

940
STÜCKELBERGER, A.
1998

Alfred Stückelberger (Bern)

Ptolemaios und das heliozentrische Weltbild: Zur Geschichte eines Paradigmenwechsels

Man hat sich seit jeher gewundert, daß Ptolemaios, jener hochqualifizierte, mathematisch bestens geschulte Astronom aus Alexandria, bekanntlich nicht das von Aristarch von Samos entworfene heliozentrische Weltbild übernommen, sondern hartnäckig am geozentrischen, später so nach ihm benannten „ptolemäischen“ Weltbild festgehalten und so die Akzeptanz der Entdeckung des Aristarch für fast zwei Jahrtausende hinausgeschoben hat. Es handelt sich hier um einen in der Wissenschaftsgeschichte zwar nicht einmaligen, aber doch auffallenden Tatbestand, der hier etwas eingehender erklärt werden soll. Freilich werden im folgenden keine absolut neuen Forschungsergebnisse vorgelegt; die wichtigsten Aspekte sind dem Spezialisten längst vertraut.¹ Die verständnislose Art aber, in der vielerorts in wissenschaftsgeschichtlichen Handbüchern oder Schulbüchern über Ptolemaios und sein „rückständiges Weltbild“ berichtet wird, läßt es doch geraten erscheinen, die ganze Frage einmal im Zusammenhang zu betrachten.

Der bekannte Wissenschaftstheoretiker Thomas Samuel Kuhn skizziert in seinem Buch *The Structure of Scientific Revolutions* den in der Geschichte der Wissenschaften vielfach zu beobachtenden Paradigmenwechsel etwa so, daß eine ältere wissenschaftliche Erkenntnis mit beobachteten Sachverhalten nicht mehr kompatibel ist, daß dann – gerne von einer jüngeren Generation – ein neues, den erweiterten Erkenntnissen besser entsprechendes Paradigma entworfen wird, daß es dann über eine gewisse Zeit zu einem Kampf zwischen Konservativen und Erneuerern kommt, bis sich schließlich die neue Theorie dank besseren Argumenten – oder spätestens mit dem Aussterben der älteren Generation – durchsetzt.² Dieser sonst typische Ablauf will für einen der folgenreichsten Paradigmenwechsel der europäischen Geistesgeschichte, nämlich für die Ablösung des geozentrischen durch das heliozentrische Weltbild, nicht so ganz stimmen,

1 Vgl. z.B. W. Ekschmitt, *Weltmodelle*, Mainz ²1990, 150; D.C. Lindberg, *Von Babylon bis Bestiarium* (dt. Übers. aus dem Amerik.), Stuttgart 1994, 104; B.L. van der Waerden, *Die Astronomie der Griechen*, Darmstadt 1988, 132.

2 Th.S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago ²1970, bes. 89ff. (dt. Übers. von H. Vetter, Frankfurt ²1989). Vgl. dens., *Die Kopernikanische Revolution*, Braunschweig 1981 (dt. Übers. der engl. Ausg. 1977), 44ff.

IN: AKAN 8 (1998) p.85-99

konnte sich doch die überlegenere Theorie, trotz besseren Argumenten, in der ganzen Antike nicht durchsetzen und mußte – wie gesagt – fast zweitausend Jahre auf ihre Wiederentdeckung durch Kopernikus warten. Wie ist dies zu erklären?

Zunächst zu Aristarch: Unsere Kenntnis, daß Aristarch von Samos (Wirkungszeit um 280 v.Chr.), jener bedeutende Astronom der früheren Ptolemäerzeit, bekanntlich unzweideutig ein heliozentrisches Weltbild propagiert hat, verdanken wir im wesentlichen zwei Testimonien,³ die angesichts des Verlustes der betreffenden Aristarch-Schrift von unschätzbarem Wert sind.⁴ Das ältere Zeugnis stammt von einem jüngeren Zeitgenossen, dessen Name für die Zuverlässigkeit bürgt, nämlich von Archimedes (ca. 287–212 v.Chr.), der möglicherweise bei seinem Studienaufenthalt in Alexandria sogar mit Leuten in Berührung kam, die Aristarch noch persönlich kannten.⁵ In seinem *Sandrechnung* (*arenarius*) sagt er (aren. 1,4f.):

Aristarch von Samos dagegen hat in seinen Schriften die Lehre aufgestellt, ... daß die Fixsterne und die Sonne unbeweglich bleiben (μένειν ἀκίνητον), die Erde sich aber auf einer Kreisbahn um die Sonne bewegt, die sich im Mittelpunkt befindet (τὰν δὲ γὰρ περιφέρεισθαι περὶ τὸν ἄλιον κατὰ κύκλου περιφέρειαν). Die Fixsternsphäre, die denselben Mittelpunkt umwölbt, sei so groß, daß die Erdbahn zur Fixsternsphäre dasselbe Verhältnis habe wie der Mittelpunkt einer Kugel zu deren Oberfläche.

Dem Archimedes geht es an der genannten Stelle nicht um das heliozentrische Weltbild an sich, sondern um die Veranschaulichung der Größe des Weltalls, in welchem sich nicht nur die Erde, sondern sogar die Umlaufbahn der Erde um die Sonne wie ein Punkt ausnehme, wie Aristarch behauptete. Gerade dieser Punkt ist aber von hohem Interesse, läßt er doch vermuten, daß schon Aristarch sich mit denselben mathematischen Gegenargumenten gegen sein heliozentrisches Modell konfrontiert sah, die auch später Ptolemaios vorbringen wird; da-

3 Zwei weitere Testimonia bei Plut. mor. 1006c (vgl. dazu auch unten) und bei Ps.-Plut. Placit. philos. 2,24 p. 891a, welche das heliozentrische Weltbild mit dem Namen Aristarchs verknüpfen, bieten inhaltlich nichts Neues.

4 Eine hilfreiche Zusammenstellung aller diesbezüglichen Belegstellen zu Aristarch sowie eine sorgfältige Analyse der Rezeptionsgeschichte des heliozentrischen Weltbildes bei Beate Noack, Aristarch von Samos, Serta Graeca I, Wiesbaden 1992, 3–17.

5 Daß sich Aristarch mindestens zeitweilig in Alexandria aufhielt, ist höchst wahrscheinlich, gilt er doch als Hörer des Straton von Lampsakos, der vor 285 v.Chr. längere Zeit als Erzieher des späteren Königs Ptolemaios II. in Alexandria wirkte (s. dazu B. Noack [wie Anm. 4] 1f.).

bei stellte er die für die damalige Zeit völlig unglaubliche These auf, daß die ganze Umlaufbahn der Erde um die Sonne, von der er sich dank seinen Berechnungen der Abstandsverhältnisse von Mond und Sonne immerhin eine gewisse Vorstellung machen konnte, sich im Weltall wie ein Punkt ausnehme (darauf wird noch zurückzukommen sein).

Die andere, etwas spätere Stelle findet sich in der wohl doch dem Plutarch gehörenden Schrift *de facie in orbe lunae* (de fac. 6,923a):⁶

Verwickle uns nur nicht in eine Anklage wegen Unglaubens, wie einst Kleantes meinte, die Griechen müßten gegen Aristarch von Samos Anklage wegen Unglaubens erheben (ἀσεβείας προσκαλεῖσθαι), weil er den Mittelpunkt (τὴν ἐστίαν) des Kosmos (d.h. die Erde) in Bewegung versetze, um – wie er meinte – die Himmelserscheinungen erklären zu können (τὰ φαινόμενα σώζειν). Er lehrte nämlich, die Fixsternsphäre stehe fest, die Erde aber kreise in einem geneigten Kreis (um die Sonne) und drehe sich gleichzeitig um ihre Achse (ἐξελίττεσθαι δὲ κατὰ λοξοῦ κύκλου τὴν γῆν ἅμα καὶ περὶ τὸν αὐτῆς ἄξονα δινομένην).

Die Stelle ist in dreierlei Hinsicht bedeutungsvoll. Zunächst zeigt sie recht anschaulich, zu welchen Widerständen vor allem aus religiösem Lager bereits in der Antike ein Paradigmenwechsel führen konnte, soll doch dem Aristarch ein Asebieprozeß gedroht haben: Der Galileiprozeß scheint vorgespurt. Zweitens ist die Stelle wichtig, da sie mit aller nur wünschbaren Deutlichkeit die zwei Bewegungen der Erde auseinanderhält, die Achsendrehung der Erde und die Umlaufbahn um die Sonne. Drittens gibt die Stelle, was in unserem Zusammenhang besonders bedeutsam ist, Hinweise auf die Überlegungen, die Aristarch zu seiner Hypothese führten: Die möglicherweise sich an Aristarchs Wortlaut anlehnenden Worte τὰ φαινόμενα σώζειν (wörtl. „die Erscheinungen retten“) haben hier eine ganz konkrete Bedeutung: Mit den spätestens seit Arat zum *terminus technicus* gewordenen φαινόμενα (*phainόμενα*) sind die Himmelserscheinungen, d.h. die Gestirnsbewegungen, gemeint, und zwar in allererster Linie die immer im Zentrum der Diskussion stehenden, bis anhin mit der Sphärentheorie oder der Epizyklen-theorie nie einwandfrei erklärten Planetenbewegungen. Mit σώζειν ist ein aus der Syllogistik und Mathematik bekanntes Fachwort gebraucht, das die Bedeutung hat „die logischen oder mathematischen Regeln

6 Zur ab und zu angefochtenen Authentizität der Schrift s. H. Cherniss, Plutarch's Moralia, Bd. 12, London 1957, 3; in unserem Zusammenhang ist lediglich wichtig, daß die Schrift nach der l.c. 931d genannten Sonnenfinsternis von 75 n.Chr. einigermaßen datierbar ist.

wahren bzw. korrekt anwenden“;⁷ so sagt man etwa σώζειν τὴν ὑπόθεσιν (die Hypothese wahren)⁸, oder ἡ τοῦ συλλογισμοῦ χρειαία σώζεται (die Schlußfolgerung wird korrekt angewendet),⁹ im Gegensatz zu μάχεσθαι (widersprechen/im Widerspruch stehen).¹⁰ Τὰ φαινόμενα σώζειν heißt somit hier: „die Gestirnsbahnen, insbesondere die Planetenbahnen, gemäß den Regeln der Mathematik bzw. Astronomie widerspruchsfrei erklären“. Diese Feststellung ist deshalb wichtig, weil sich damit Aristarch von Samos rein methodisch grundsätzlich unterscheidet von allfälligen Vorläufern in pythagoreischen Kreisen.¹¹

Bereits im 5. Jh. v. Chr. hatten bekanntlich Vertreter der jüngeren pythagoreischen Schule mit recht spekulativen Argumenten eine Bewegung der Erde erwogen. So läßt Philolaos von Kroton (ca. 470-400 v. Chr.) Erde und Sonne um ein ‚Zentralfeuer‘ kreisen und postuliert eine immer unsichtbar bleibende ‚Gegengerde‘.¹² Hiketas von Syrakus (Mitte 5. Jh. v. Chr.) denkt nur an eine Rotation der Erde um ihre eigene Achse, was zwar die Bewegung der Fixsterne, nicht aber die der Planeten erklären kann.¹³ Eine ähnliche Eigenrotation der Erde läßt Platon den Pythagoreer Timaios an einer viel diskutierten Stelle im gleichnamigen Dialog entwerfen, wo dieser von einer Erde spricht, „die sich um die durch das All gespannte Achse dreht“ (γῆν ... ἰλλομένην ... περὶ τὸν διὰ παντὸς πόλον τεταμένον, Tim. 40b);¹⁴ jedenfalls interpretiert Aristoteles, der die

7 Zum ganzen Ausdruck s. G.E.R. Lloyd, *Saving the Appearances*, in: CQ 28, 1978, 202-222; J. Mittelstrass, *Die Rettung der Phänomene*, Berlin 1962.

8 Aristot. cael. 306a29.

9 Alex. Aphr. in Top. 100a25 (betr. Definition des Syllogismus), CAG 2,2,9,26; vgl. I.c. 10,5; ders. in SE 168a34, CAG 2,3,58,29f. ὡς οὐκ ἔστιν ὁ τοιοῦτος (συλλογισμὸς) σώζων ἐν ἑαυτῷ τὸν συλλογισμοῦ ὅρισμόν.

10 Etwa an der genannten Stelle Aristot. cael. 306a27.

11 Diesen Unterschied erkennt Th.S. Kuhn, *Die kopernikanische Revolution* (wie Anm. 2) 44f.

12 Vgl. VS 44 A 16/21 bei Ps.-Plut. placit. philos.

13 Vgl. VS 50 A 1 bei Cic. ac. 2,123 (nach Theophrast): s. unten Anm. 21.

14 Ausführlich dazu A.E. Taylor, *A Commentary on Plato's Timaeus*, Oxford 1928 (Ndr. 1962), ad loc. 226-239 (mit einer eingehenden Würdigung vorausgegangener Stellungnahmen). Taylor hat I.c. 233f. überzeugend nachgewiesen, daß das umstrittene ἰλλομένην weder textkritisch anzufechten und durch εἰλλομένην zu ersetzen ist (so heute L. Brisson, *Platon, Timée*, Paris 1992, 238), noch – als Präsenstypizip – mit „um die ... Achse zusammengeballt“ o. dergl. übersetzt werden kann (so heute die Übers. von R. Rufener), sondern nur als Verb einer Bewegung im Sinne einer Achsenrotation verstanden werden kann. – In jüngerer Zeit dazu J.-P. Vernant, *Hestia-Hermès. Sur l'expression religieuse de l'espace et du mouvement chez les Grecs*, in: *Mythe et pensée chez les Grecs*, Maspero 1965, 97-143; F.M. Brignoli, *La dinamica immobilità della terra nella concezione platonica dell'universo*, in: *Giornale Italiano di Filologia* 11, 1958, 246-260; Ekschmitt (wie Anm. 1) 112ff.

Diskussion um diese Frage ja miterlebt hatte, die Stelle in diesem Sinn.¹⁵ Wenn wir dem gewichtigen Zeugnis des Theophrast trauen dürfen, hat sogar Platon selbst in späteren Jahren mit der Möglichkeit einer Erdbewegung gerechnet, freilich nicht mit einer Achsenrotation im Sinne der genannten *Timaios*-Stelle, sondern mit einer den früheren Pythagoreern näherstehenden Vorstellung einer Bewegung um ein feuriges Zentrum. „Plato habe nämlich“, so berichtet Plut. mor. 1006c nach Theophrast, „in reiferem Alter bereut, der Erde einen ihr nicht zustehenden Platz in der Mitte des Alls zugewiesen zu haben (wie er dies im Schlußmythos des *Phaidon* und der *Republik* getan hat)“.¹⁶ Die Aussage wird bestätigt durch eine andere Stelle bei Plutarch (Num. 11), „daß Platon hinsichtlich der Erde der Meinung gewesen sei, daß sie einen anderen Ort (nicht das Zentrum) einnehme, daß aber das Zentrum, der wichtigste Ort (κυριωτάτη χώρα), einem anderen, wertvolleren Wesen (ἐτέρῳ τινι κρείττονι) zustehe.“¹⁷ Diese recht spekulativen, von einer Wertskala ausgehenden Begründungen veranlaßten dann Aristoteles in seiner ausführlichen Auseinandersetzung mit den Vertretern einer Erdbewegung in *de caelo* 293a15ff. zur kritischen, zweifellos auf Platon und seine Schüler abzielenden Bemerkung, daß derartige Überlegungen „nicht aus den Phänomenen abgeleitet seien, sondern vielmehr aus Theorien/Spekulationen“.¹⁸ – Auch für den bald der Akademie, bald dem Peripatos zugerechneten Herakleides Pontikos (um 390-310 v. Chr.), der bekanntlich die These einer Erdrotation wieder aufgegriffen hat, ergeben die spärlichen Quellen keine Anhaltspunkte für eine eingehendere mathematische Begründung.¹⁹

15 Aristot. cael. 293b30ff.: ἐνιοὶ δὲ καὶ κειμένην ἐπὶ τοῦ κέντρου φασὶν αὐτὴν ἰλλεσθαι καὶ κινεῖσθαι περὶ τὸν διὰ παντὸς τεταμένον πόλον, ὥσπερ ἐν τῷ Τιμαίῳ γέγραπται. Wohl nach dieser Stelle Cicero ac. 2,123: atque hoc etiam Platonem in Timaeo dicere quidam arbitrantur, sed paulo obscurius. Vgl. auch Plut. mor. 1006c (dazu gleich unten).

16 Plut. mor. 1006c: τῷ Πλάτῳ πρεσβυτέρῳ γενομένῳ μεταμέλειν ὡς οὐ προσήκουσαν ἀποδόντι τῇ γῇ τὴν μέσσην χώραν τοῦ παντός.

17 Plut. Num. 11: διανοεῖσθαι περὶ τῆς γῆς, ὡς ἐν ἐτέρᾳ χώρᾳ καθεστῶσης, τὴν δὲ μέσσην καὶ κυριωτάτην ἐτέρῳ τινι κρείττονι προσήκουσαν.

18 Aristot. cael. 293a29f. οὐκ ἐκ τῶν φαινόμενων ἀλλὰ μᾶλλον ἐκ τῶν λόγων. Ganz ähnlich hebt Aristoteles an anderer Stelle, im Zusammenhang mit der Atomlehre, das spekulative Vorgehen Platons vom ‚physikalischen‘ Denken der Naturwissenschaftler (hier Demokrit) ab: gen. corr. 316a10ff.: διαφέρουσιν οἱ φυσικῶς καὶ λογικῶς σκοποῦντες.

19 Vgl. Simpl. in cael. 2,13 CAG 7,519 (= fr. 106 Wehrli): Herakleides Pontikos ging von der Annahme aus, daß sich die im Zentrum befindliche Erde um ihre Achse drehe (ἐν κέντρῳ δὲ οὖσαν τὴν γῆν καὶ κύκλῳ κινουμένην), der Himmel aber ruhe (ἡρεμεῖν), und glaubte so die Himmelserscheinungen zu retten (σώζειν ... τὰ φαινόμενα).

Das Gesagte macht deutlich, wie bedeutend die Leistung des Aristarch war, wenn er – unter Vermeidung von Spekulationen – versuchte τὰ φαινόμενα σώζειν, d.h. eben mit wissenschaftlichen Methoden die beobachteten Planetenbewegungen mit mathematischen Gesetzen in Einklang zu bringen. So ist es ihm denn als erstem gelungen, die zwei verschiedenen Bewegungen der Erde, die Achsenrotation und die Sonnumlaufbahn, klar auseinanderzuhalten.

In der Folgezeit wird die These einer Eigenbewegung der Erde mindestens in der damaligen Fachwelt des öfteren diskutiert. Belege bei Archimedes und Plutarch haben wir bereits angetroffen. Letzterer bezeugt in seinen *quaestiones Platonicae* in einer Erörterung zur genannten *Timaos*-Stelle, daß neben Aristarch auch Seleukos von Babylon (wohl Ende 3. Jh./Anf. 2. Jh.) eine Eigenbewegung der Erde vertreten und diese sogar ‚anschaulich nachgewiesen habe‘ (Plut. mor. 8,1006c):

Man muß sich die Erde, ‚die sich um die das ganze All durchquerende Achse windet (ἰλλομένην) (Tim. 40b)‘ nicht als zusammengeballt und als stillstehend vorstellen, sondern als sich drehend (στρεφόμενην) und herumgetrieben (ἀνειλουμένην), wie dies später Aristarch und Seleukos bewiesen haben (ἀπεδείκνυσαν), wobei der eine (Aristarch) lediglich die Grundsätze festgelegt (ὑποτιθέμενος), Seleukos aber es anschaulich nachgewiesen (ἀποφαίνόμενος) hat.²⁰

Freilich finden sich schon bei Seleukos keine eindeutigen Belege mehr, daß die zwei verschiedenen, von Aristarch gefundenen Bewegungen der Erde, die Achsenrotation und die Sonnumlaufbahn, auseinandergehalten werden, und auch

20 Plut. mor. 1006c (im Anschluß an eine Erörterung über die genannte *Timaos*-Stelle): καὶ ἔδει τὴν γῆν ἰλλομένην περὶ τὸν διὰ πάντων πόλον τεταμένον μεμηχανῆσθαι μὴ συνεχομένην καὶ μένουσαν ἀλλὰ στρεφόμενην καὶ ἀνειλουμένην νοεῖν, ὡς ὕστερον Ἀρίσταρχος καὶ Σέλευκος ἀπεδείκνυσαν, ὁ μὲν ὑποτιθέμενος μόνον, ὁ δὲ Σέλευκος καὶ ἀποφαίνόμενος. (Worin nun die besondere Leistung des Seleukos bestanden haben soll, ist schwer zu sagen: Das ἀποφαίνεσθαι hat gewöhnlich dieselbe Bedeutung wie das vorher beiden zugebilligte ἀποδεικνύναι [beweisen]; vielleicht liegt in ἀποφαίνεσθαι, daß Seleukos die Thesen mit mathematischen Skizzen veranschaulicht hat. Die von van der Waerden [Die Astronomie der Griechen, Darmstadt 1988, 149] vorgeschlagenen Übersetzungen ‚beweisen‘ für ἀποδεικνύναι und ‚aufzeigen‘ für ἀποφαίνεσθαι helfen nicht weiter). Zu Seleukos vgl. auch Dox. Gr. 383b26ff. Beide Stellen (die letztere spricht nur von einer dem Mond entgegengesetzten Rotation der Erde) belegen die Vorstellung einer Eigenbewegung der Erde, erlauben aber nicht, für Seleukos ein eigentliches heliozentrisches Modell vorzusetzen. Vgl. dazu auch S. Pines, Un fragment de Séleucus, in: Rev. d'Hist. des Sciences 16, 1963, 193-209.

in späterer Zeit ist meist nur von einer Rotation der am Ort bleibenden Erde die Rede. Somit lautet die Antithese meist nicht mehr heliozentrisch – geozentrisch, sondern geodynamisch – geostatisch. Bei Cicero ac. 1,123 wird, mit Quellenangabe ut ait Theophrastus, auf die Vorstellung des Hiketas von Syrakus von einer Achsenrotation der Erde zurückgegriffen, die zwar im Hinblick auf den täglichen Umlauf der Gestirne „dieselben Phänomene auftreten läßt wie bei stillstehender Erde und sich bewegendem Himmel“, die aber die Planetenbahnen nicht erklären konnte.²¹ Wohl im Anschluß an Cicero erwähnt Seneca nat. 7,2,3 ohne besondere Namensnennung Vertreter einer Erdbewegungs-These: Er nennt es ‚eine der Betrachtung würdige Sache‘ (digna res contemplatione):

„... zu wissen, ob das Himmelsgewölbe sich dreht bei stillstehender Erde oder die Erde bei stillstehendem Himmelsgewölbe. Es gab nämlich solche, welche behaupteten, daß wir es seien, die – ohne daß wir es merkten – von der Natur in Bewegung gesetzt würden, und daß Aufgang und Untergang (der Gestirne) nicht durch die Bewegung des Himmels verursacht würden, sondern daß wir selbst auf- und untergingen.“²²

Seneca freilich bezieht in der Streitfrage keine Stellung.

So etwa ist die Ausgangslage gewesen, als sich Ptolemaios um die Mitte des 2. Jh. n.Chr. beim Abfassen seiner *mathematike syntaxis* genötigt sah, sich zu entscheiden zwischen den zwei widersprechenden Weltmodellen, dem geodynamischen und dem tradierten geostatischen. Wie wir gesehen haben, hatte man in Fachkreisen das geodynamische Modell mehrfach diskutiert und propagiert: Neben Aristarch von Samos und Seleukos von Seleukia kommt es etwa bei Cicero, Seneca, Plutarch zur Sprache, wobei es freilich mehr beiläufig erwähnt, aber immerhin doch als diskutabile Möglichkeit anerkannt wird. Ptolemaios hat sich dagegen bekanntlich dezidiert zu einem geostatischen Modell bekannt, das er gleich zu Beginn seines astronomischen Hauptwerkes mit seinen fünf Thesen verteidigt (Ptol. Alm. 1,2 Heiberg 9):

1. Das Himmelsgewölbe hat Kugelgestalt (σφαίροειδής) und dreht sich wie eine Kugel.

21 Cic. ac. 2,123: Hicetas Syracosius, ut ait Theophrastus, caelum solem lunam stellas supra denique omnia stare censet, neque praeter terram rem ullam in mundo moveri; quae cum circum axem se summa celeritate convertat et torqueat, eadem effici omnia, quasi stante terra caelum moveretur.

22 Sen. nat. 7,2,3: ... ut sciamus, utrum mundus terra stante circumeat an mundo stante terra vertatur. fuerunt enim, qui dicerent nos esse, quos rerum natura nescientes ferat, nec caeli motu fieri ortus et occasus, <sed nos> ipsos oriri et occidere.

2. Ihrer Gestalt nach ist die Erde für die sinnliche Wahrnehmung, als Ganzes betrachtet, gleichfalls eine Kugel.
3. Ihrer Lage nach nimmt die Erde einem Zentrum vergleichbar (κέντρο παραπλήσιως) die Mitte des ganzen Himmelsgewölbes ein.
4. Ihrer Größe und Entfernung nach steht die Erde zur Fixsternsphäre in dem Verhältnis eines Punktes (σημείου λόγον ἔχει).
5. Die Erde hat ihrerseits keinerlei Ortsveränderung verursachende Bewegung (μηδεμίαν μεταβατικήν κίνησιν ποιουμένη).

Im folgenden begründet Ptolemaios ausführlich die einzelnen Thesen und setzt sich dabei eingehend mit den ihm wohlvertrauten Vertretern einer Erdbewegung auseinander (Alm. 1,7 Heiberg 24):

Nun stellen sich manche (Philosophen), ohne gegen die hier entwickelten Ansichten etwas einwenden zu können, ein nach ihrer Meinung glaubwürdigeres System zusammen und geben sich dem Glauben hin, daß keinerlei Zeugnis wider sie sprechen werde, wenn sie z.B. das Himmelsgewölbe als unbeweglich annähmen, während sie die Erde um dieselbe Achse von Westen nach Osten täglich nahezu eine Umdrehung machen ließen, oder wenn sie beiden eine Bewegung von einem gewissen Betrag erteilten, nur, wie gesagt, um dieselbe Achse und in dem für das gegenseitige Überholen passenden Verhältnis.²³

Zunächst ist auffallend, daß Ptolemaios den Aristarch von Samos, den Hauptvertreter dieses Modells, hier nicht nennt,²⁴ obwohl er diesen sehr wohl kennt und an anderen Orten mehrfach namentlich anführt.²⁵ Dies mag damit zu erklären sein, daß geodynamische Anschauungen – wie oben dargestellt – in weiteren Fachkreisen diskutiert wurden und nicht nur mit dem Namen des Aristarch in Verbindung gebracht zu werden brauchten. Ferner ist erstaunlich, daß hier zwar zwei Bewegungen erwähnt werden, daß aber neben der deutlich angesprochenen Achsenrotation der Erde nur recht unbestimmt von einer offenbar konzentrischen Gegenbewegung des Himmels die Rede ist, eine Umlaufbahn der Erde um die Sonne dagegen nicht ausdrücklich erwähnt wird.

²³ Hier und im folgenden lehne ich mich an die *Almagest*-Übersetzung von K. Manitius (Leipzig 1912/13) an.

²⁴ So schon Manitius zur Stelle (Bd. 1,18).

²⁵ So Alm. 3,1 zur Beobachtung von Sommersonnenwenden (Heiberg 203, 206, 207).

Uns interessieren hier nun vor allem die Gegenargumente, die Ptolemaios bei seiner Begründung der 3. These (der geozentrischen Lage der Erde: Alm. 1,5) und der 5. These (des Fehlens einer Eigenbewegung der Erde: Alm. 1,7) vorbringt. Es wird sich dabei zeigen, daß er sich physikalischer und mathematischer Überlegungen bedient, die vom damaligen Kenntnisstandpunkt aus gesehen durchaus stichhaltig sind: In Alm. 1,5 widerlegt Ptolemaios die Möglichkeit einer dezentralen Lage der Erde: Liegt die Erde nicht im Zentrum, sind nach ihm nur drei Fälle möglich:

- a) Sie liegt außerhalb der Achse, aber gleichweit entfernt von den Polen.
- b) Sie liegt auf der Achse, aber einem Pol näher.
- c) Sie liegt weder auf der Achse noch gleichweit entfernt von den Polen.

Zunächst gilt für alle drei exzentrischen Lagen – so folgert Ptolemaios richtig –, daß durch die Horizontebene bzw. die Meridianebene die Himmelskugel in zwei ungleiche Schalenhälften unterteilt würde: Somit würde im Falle a) die Zeit von Aufgang bis Kulmination nicht gleich der Zeit von Kulmination bis Untergang sein; im Falle b) würde der Himmel durch die Horizontebene nicht in zwei gleiche Hälften geteilt, so daß man je nach Zeitpunkt verschieden große Teile des Himmels zu sehen bekäme, was augenscheinlich nicht der Fall ist; im Falle c) kumulieren sich die zwei genannten Schwierigkeiten (vgl. Abb. 1).

Im vorliegenden Zusammenhang ist vor allem die unter a) genannte Annahme interessant, die mit einer Verschiebung (παραχώρησις) der Erde nach Osten oder Westen rechnet: Sie ergibt sich aus der Annahme des Aristarch einer in der Ost-West-Ebene liegenden zirkumsolaren Bahn der Erde, die hier offenbar als Möglichkeit ins Auge gefaßt wird. Des Ptolemaios Hauptargument gegen eine solche West-Ost-Verschiebung der Erde läßt aufhorchen (Alm. 1,5 Heiberg 18):

Wenn man aber wieder mit Bezug auf die Lage gewisser Orte eine Verschiebung (παραχώρησις) in der Richtung nach Osten oder Westen annehmen wollte, dann würde für diese Orte der Fall eintreten, daß erstens die Größen und die gegenseitigen Abstände (τὰ διαστήματα) der Gestirne im östlichen Horizont scheinbar nicht die gleichen und nämlich wie im westlichen sein würden, und daß zweitens die Zeit vom Aufgang bis Kulmination nicht gleich sein

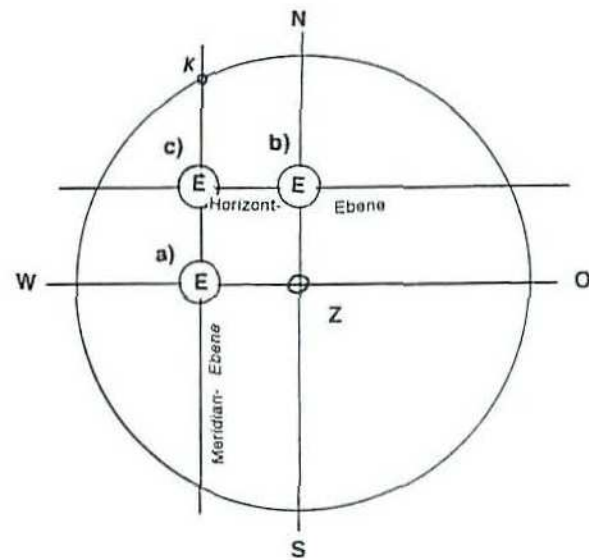


Abb. 1: Drei mögliche exzentrische Lagen der Erde (E) nach Ptolemaios I.c. In jedem Fall würde die Fixsternsphäre durch die Horizont-Ebene bzw. durch die Meridian-Ebene in zwei ungleiche Hälften geteilt; somit wären der sichtbare und der unsichtbare Teil des Himmels bzw. die Zeit vom Aufgang bis Kulmination (K) und Kulmination bis Untergang verschieden.

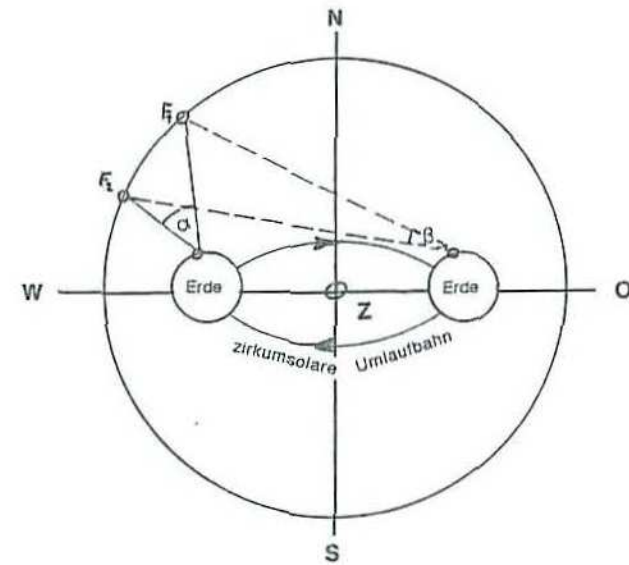


Abb. 2: Bei einer Bewegung der Erde auf einer zirkumsolaren Umlaufbahn müßte sich nach Ptolemaios I.c. eine Parallaxe der Fixsterne ergeben, d.h. man müßte z.B. die Fixsterne F_1 und F_2 im Frühling unter einem anderen Winkel (α) sehen als im Herbst (β).

würde der Zeit von Kulmination bis Untergang, was sichtlich mit den Erscheinungen vollkommen im Widerspruch steht.

Es sind keine Verschiebungen der gegenseitigen Abstände, d.h. es sind keine Parallaxen der Fixsterne auszumachen (vgl. Abb. 2): Das ist offenbar das Hauptargument gegen eine dezentrale Lage der Erde, ein mathematisch einwandfreies Argument, das bis zum Nachweis im 19. Jh., daß solche Parallaxen tatsächlich existieren, nicht widerlegt werden konnte.²⁶

Die fehlende Parallaxe ist ein bei Ptolemaios mehrfach herangezogenes Argument: Alm. 1,6 dient es zum Beweis, daß die Erde zu den Himmelskörpern im Verhältnis eines Punktes steht (Alm. 1,6 Heiberg 20):

Daß die Erde zu der Entfernung bis zur Sphäre der sogenannten Fixsterne für die sinnliche Wahrnehmung wirklich nur in dem Verhältnis eines Punktes steht, dafür ist ein zwingender Beweis, daß von allen Teilen aus die scheinbaren Größen und gegenseitigen Abstände der Sterne zu denselben Zeiten allenthalben strecken- und winkelgleich (ἴσα καὶ ὅμοια) sind.

(Daß sich aber nicht nur die Erde, sondern sogar die Erdbahn um die Sonne, von deren immenser Größe man seit Aristarchs Distanzberechnungen immerhin eine gewisse Vorstellung hatte, im Verhältnis zum All wie ein Punkt ausnehmen sollten, wie dies Aristarch nach der angeführten Archimedes-Stelle ausdrücklich postuliert hatte, konnte man sich aus verständlichen Gründen ganz einfach nicht vorstellen).

Im Einleitungskapitel des 7. Buches, unmittelbar vor dem Fixsternkatalog, geht Ptolemaios nochmals auf fehlende Parallaxen ein. Er begründet dort (Alm. 7,1 Heiberg 2,2) die Bezeichnung ‚Fixstern‘ (ἀστῆρες ἀπλανεῖς):

Weil die Sterne an sich sowohl die gleichen Figuren (σχήματα ὅμοια) als auch die gleichgroßen Abstände (διαστήματα ἴσα) einander gegenüber anscheinend ewig beibehalten, so dürfen wir sie treffend als Fixsterne bezeichnen.

Im folgenden zieht er dreihundert Jahre zurückliegende Beobachtungen des Hipparch heran und stellt fest, daß die damals beschriebenen geometrischen Figuren (Sterne, die auf einer Linie liegen oder nur wenig davon abweichen) ge-

26 Bereits Aristoteles bringt cael. 2,14,296b3ff. das Argument der fehlenden Parallaxe gegen die Hypothese einer Erdbewegung vor: τοῦτου δὲ συμβαίνοντος (d.h. wenn die Erde sich bewegte) ἀναγκαῖον γίνεσθαι παρόδους καὶ τροπὰς τῶν ἐνδεδεμένων ἀστρῶν.

nau gleich geblieben sind. In diesem Zusammenhang braucht er auch das Stichwort ἀπαράλλακτος, von welchem sich der Terminus *Parallaxe* herleitet.²⁷

Nach dem Postulat der ortsverändernden Bewegung der Erde, das mit dem Nachweis der fehlenden Parallaxen widerlegt schien, bekämpft Ptolemaios in Alm. 1,7 die Annahme einer Achsenrotation der Erde. Hier werden physikalische Gegenargumente vorgebracht, die wiederum aus seiner Sicht eine gewisse Berechtigung hatten. Die zentrale Lage der Erde ergibt sich, nach gut aristotelischer Physik,²⁸ aus der ihr notwendig zukommenden Bindung an das Schwerezentrum des Alls. Eine Achsenrotation dagegen konnte man sich angesichts der ungeheuren Geschwindigkeiten, die dabei auftreten müßten, rein physikalisch kaum vorstellen (Alm. 1,7 Heiberg 25):

So müßten sie (d.h. die Vertreter einer Achsenbewegung) doch zugeben, daß die Drehung der Erde die gewaltigste von ausnahmslos allen in ihrem Bereich existierenden Bewegungen wäre, insofern sie in kurzer Zeit (d.h. in 24 Stunden) eine so ungeheuer schnelle Wiederkehr zum Ausgangspunkt bewerkstellte, daß alles, was auf ihr nicht niet- und nagelfest wäre, scheinbar immer in einer einzigen Bewegung begriffen sein müßte, welche der Bewegung der Erde entgegengesetzt verlief (d.h. immer zurückbleiben müßte). So würde sich weder eine Wolke noch sonst etwas, was da fliegt oder geworfen wird, in der Richtung nach Osten ziehend bemerkbar machen, weil die Erde stets alles überholen und nach Osten vorausseilen würde.

Auch das Argument, welches Vertreter der Erdrotation offenbar vorbrachten, daß nämlich die Atmosphäre sich mitdrehe und somit die genannten Erscheinungen nicht auftreten, mochte Ptolemaios nicht gelten lassen (Alm. 1,7 l.c.), konnte er sich doch als guter Mathematiker, dem der Erdumfang sehr wohl bekannt war, durchaus eine Vorstellung machen von den tatsächlich recht unglaublichen Tangentialgeschwindigkeiten, die durch die Erdrotation auftreten müßten und von denen wir nichts verspüren: Sie betragen am Äquator immerhin etwa 463 m/Sek. Die Folgerung, daß eine solche Geschwindigkeit sich irgendwie bemerkbar machen müßte, ist somit in einer Zeit, da die Trägheitsgesetze noch nicht bekannt waren, verständlich.

Wichtig ist das Ergebnis der bisherigen Ausführungen: Für Ptolemaios waren nicht irgendein unbelehrbarer Konservatismus oder gar eine weltanschauliche Voreingenommenheit für die Ablehnung des heliozentrischen Weltbildes aus-

27 Ptol. Alm. 7,1 Heiberg 2,3 οἱ κατὰ τὸν Ἰππαρχον ... τετηρημένοι σχηματισμοὶ καὶ νῦν ἀπαράλλακτος οἱ αὐτοὶ θεωροῦνται.

28 Vgl. Aristot. cael. 2,14,296b12ff.

schlaggebend, sondern mathematisch vorerst durchaus stichhaltige und physikalisch mindestens nachvollziehbare, seinem Kenntnisstand durchaus angemessene Argumente.

Nun noch kurz ein Wort zur weiteren Geschichte des Paradigmenwechsels. Wie zu erwarten, werden im Zusammenhang mit der kopernikanischen Wende die beiden von Ptolemaios vorgebrachten Gegenargumente, das astronomisch-mathematische und das physikalische, wieder aufgegriffen. Bemerkenswert ist zunächst, daß sich Kopernikus selbst in seiner Auseinandersetzung mit dem ptolemäischen Weltbild im 1. Buch seines Werkes *de revolutionibus orbium caelestium* (1543) ausdrücklich auf Aristarch von Samos als Gewährsmann für das heliozentrische System beruft: Aristarchum Samium ferunt in eadem fuisse sententia.²⁹ Daß dem Kopernikus die an recht versteckter Stelle überlieferten Aristarch-Testimonia nicht verborgen blieben, zeugt jedenfalls von beachtlicher Belesenheit.³⁰ Kurz vorher setzt sich Kopernikus mit dem von Ptolemaios vorgebrachten physikalischen Argument gegen eine Bewegung der Erde auseinander (de rev. 1,7):

Wenn daher, sagt der Alexandriner Ptolemäus, die Erde sich drehte, wenigstens in einer täglichen Umdrehung, so müßte die Bewegung die heftigste (concitatissimum motum) und deren Geschwindigkeit unübertreffbar (celeritatem insuperabilem) sein, die in vierundzwanzig Stunden den ganzen Umfang der Erde durchmesse. Was aber in jähe Drehung versetzt wird, scheint für eine Zusammenballung vollkommen ungeeignet zu sein; eher würde Vereinigtes zerstreut, wenn nicht die zusammenhängenden Teile mit einer Festigkeit zusammengehalten würden. Und schon längst, sagt er, hätte die zerstreute Erde den Himmel selbst verwüstet (was lächerlich ist), und noch weniger würden die Lebewesen und alle sonstigen losgelösten Massen unerschüttert bleiben.

29 Kopernikus, *de revolutionibus orbium caelestium*, Autograph fol. 11v, lib. 1, II (abgebildet bei A. Stückelberger, Einführung in die antiken Naturwissenschaften, Darmstadt 1988, 203): Credibile est hisce similibusque causis Philolaum mobilitatem terrae sensisse, quod etiam nonnulli Aristarchum Samium ferunt in eadem fuisse sententia. Die Stelle ist später von Kopernikus im Manuskript anlässlich der Drucklegung im Zuge einer Kürzung gestrichen worden und erscheint nur in neuen textkritischen Ausgaben des Werkes (vgl. etwa die Ausg. von H.M. Nobis und B. Sticker, Hildesheim 1984, 488).

30 Wenn dem Kopernikus die Stelle aus dem *arenarius*, der erst 1544 gedruckt wurde, kaum zugänglich war, dürfte er doch die Plutarchstelle gekannt haben: Die editio princeps der *moralia*, eine Aldina, erschien 1509 in Venedig.

Kopernikus, auch er in Unkenntnis der Trägheitsgesetze, entgegnet ganz aristotelisch mit der ‚natürlichen Bewegung‘, die keine solche zerstörerischen Folgen haben könne (de rev. 1,8):

Aus diesen und ähnlichen Gründen behauptet man, daß die Erde in der Mitte der Welt ruhe ... Wenn aber einer der Meinung ist, die Erde drehe sich, so wird er gewiß auch die Ansicht vertreten, daß diese Bewegung natürlich und nicht gewaltsam ist (motum esse naturalem, non violentum). Was aber der Natur gemäß ist, das bringt Wirkungen hervor, die dem entgegengesetzt sind, was durch Gewalt geschieht ... Was aber von Natur geschieht, verhält sich richtig und bleibt in seinem besten Zustand bestehen (quae vero a natura fiunt, recte se habent et conservantur in optima sua compositione). Ohne Grund also fürchtet Ptolemaios, daß die Erde und alle irdischen Gegenstände bei einer durch die Tätigkeit der Natur entstandenen Umdrehung zerstreut würden.

Im 11. Kapitel desselben Buches kommt Kopernikus auf das Problem der Parallaxe zu sprechen und erklärt, noch ohne dabei besondere Schwierigkeiten zu sehen, die Tatsache, „daß Erdachse und Äquator - trotz der zirkumsolaren Bewegung - immer in dieselbe Himmelsrichtung zeigen“,³¹ mit dem seit Aristarch bekannten Argument der ungeheuren Entfernungen.

Erwartungsgemäß werden später in der ausführlichen Diskussion um das kopernikanische Weltsystem, in Galileis *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, Tolmaico e Copernicano* (1632),³² die von Ptolemaios geltend gemachten Einwände wieder vorgebracht, wobei hier nun das parallaktische Argument im Vordergrund steht.³³ Im dritten Tag des *Dialogo* wird ausführlich über die anscheinend fehlenden Parallaxen der Fixsterne diskutiert: Zunächst wendet Simplicio, der Vertreter des aristotelisch-ptolemäischen Konzeptes, ein:

Aber doch werden wir diese Schwierigkeiten noch nicht los, da auch von jener geringen Verschiedenheit (sc. der Sternpositionen), die vorhanden sein müßte, erfahrungsgemäß nichts bekannt ist. Ist diese

31 de rev. 1,11: ut axis terrae et in ipso maximus parallelorum aequinoctialis in eandem fere mundi partem spectent.

32 Auch Galilei kennt natürlich den Aristarch von Samos: vgl. *Dialogo* (hier zitiert nach der Übersetzung von E. Strauss, hg. von R. Sexl und K. v. Meyenn, Stuttgart 1982), 290, 333 und öfter.

33 Auch das physikalische Gegenargument des Ptolemaios wird im *Dialogo* verschiedentlich aufgegriffen: z.B. 2. Tag (l.c. 193ff.), wo das Problem besprochen wird, daß die Vögel bei der rasenden Geschwindigkeit des täglichen Umlaufs nicht zurückbleiben.

Verschiedenheit aber gleich Null, so muß man notgedrungen zugeben, daß auch die jährliche der Erde beigelegte Bewegung längs des orbis magnus (= Erdumlaufbahn) gleich Null sei.³⁴

Darauf muß Salviati, der Vertreter des kopernikanischen Systems, zugeben:

Ich habe schon früher gesagt, daß meines Wissens niemand Beobachtungen darüber angestellt hat, ob zu verschiedenen Jahreszeiten irgendwelche Fixsternverschiebungen wahrzunehmen sind, welche sich auf die jährliche Erdbewegung zurückführen ließen,³⁵

und schließt darauf die Vermutung an:

Es ist vielleicht doch nicht ganz ausgeschlossen, daß im Verlauf der Zeit sich an den Fixsternen eine Erscheinung beobachten läßt, welche einen Rückschluß auf den Sitz der jährlichen Umdrehung erlaubt.³⁶

Darauf stellt Salviati Überlegungen an über die Ungenauigkeit der Fernrohre und die Eigentümlichkeiten der Parallaxen, die bei den Sternen in der Polregion am größten sein müßten. Dann wiederholt er seine Vermutung, ohne sie irgendwie beweisen zu können, daß es solche Parallaxen der Fixsterne geben müsse, und bekräftigt das Argument, das zu seiner Zeit ebenso unglaublich wirken mußte wie zur Zeit des Ptolemaios, daß diese Parallaxen trotz der riesigen Umlaufbahn der Erde unmerklich klein sein müßten:

Aber sollte diese Parallaxe auch nicht sinnlich wahrzunehmen sein, so ist damit die Erdbewegung noch nicht widerlegt, die Unbeweglichkeit noch nicht zwingend erwiesen. Denn möglicherweise macht die ungeheure Entfernung der Sternensphäre, wie Kopernikus behauptet, solche minimalen Erscheinungen (der Parallaxen) der Beobachtung unzugänglich. Überdies hat man, wie gesagt, bisher vielleicht noch nicht einmal den Versuch gemacht, sie zu konstatieren, oder wenn auch versucht, so doch nicht in der richtigen Weise, nämlich nicht mit der Genauigkeit, die für so minutiöse Dinge erforderlich wäre. Eine solche Genauigkeit ist schwer zu erzielen wegen der Mängel der astronomischen Instrumente.³⁷

34 Galilei, *Dialogo* I.c. 394.

35 Galilei I.c. 394.

36 Galilei I.c. 400.

37 Galilei I.c. 404f.

Nicht verwunderlich ist, daß sich Simplicio mit diesen an sich richtigen, zu dieser Zeit aber durchaus unbeweisbaren Argumenten nicht zufrieden gibt:

Um offen zu reden, es widerstrebt mir in der Tat sehr, den Fixsternen einen so großen Abstand zuzuerkennen, daß die besprochenen Unterschiede (sc. die Parallaxen) völlig unmerklich sein sollten.³⁸

Man spürt während der ganzen, sehr ausführlichen Debatte, daß es Galilei nicht recht wohl war, hier am entscheidendsten Punkt seiner ganzen Beweisführung zugunsten des kopernikanischen Systems nur Vermutungen und keine schlagenden Beweise anführen zu können, um die letztlich auf Ptolemaios zurückgehenden Argumente zu widerlegen. Freilich sollte sich seine zuversichtliche Vermutung als richtig erweisen, daß allein die mangelnde Meßgenauigkeit der Geräte daran schuld sei, daß man vorderhand keine Fixsternparallaxen nachweisen könne.

Die endgültige Beweisführung, die Galilei recht geben sollte, ließ nochmals gut zweihundert Jahre auf sich warten. Im Winter 1837/38 führte Friedrich Wilhelm Bessel in seiner Sternwarte in Königsberg so genaue Messungen durch, daß er tatsächlich solche Parallaxen nachweisen konnte: Er wies für 61 Cygni, einen der nächsten Fixsterne, eine Parallaxe von dem verschwindenden Betrag von 0,3136" nach.³⁹ Erst damit sind die Bedenken, die Ptolemaios gegen das heliozentrische Weltsystem vorgebracht hatte, wirklich ausgeräumt: Ein Betrag von 1/3 Bogensekunde: Wer will es dem Ptolemaios verargen, daß er diesen Betrag nicht ausmachen konnte?

38 Galilei I.c. 404.

39 Vgl. E. Zinner, *Astronomie. Geschichte ihrer Probleme*, Freiburg/Br. 1951, 327ff. (Textausschnitt der Schrift von Bessel). Schon vor Bessel angestellte, höchst unzuverlässige Parallaxenmessungen von Bradley und Struve ergaben ganz unrealistisch hohe Werte.