

AUSGABE 3/4 • JUNI 2015

Pädagogische Zeitschriften bei Friedrich in Velber
in Zusammenarbeit mit Klett
Best. Nr. 536147 · 52. Jahrgang

ASTRONOMIE + RAUMFAHRT

147/148

im Unterricht

**Astronomie
– Jena 2014**

- Spektroskopie mit Schulteleskopen
- Wiederverwendbare Trägerraketen
- Gott im astronomischen Weltbild
- „Herschel“ und die Fern-Infrarot-Astronomie

FRIEDRICH



5 36 147 0 000 002

DER HIMMELSLAUF IM
SCHULJAHR 2015/2016
(Poster)

Sensationen am Himmel – Galilei und Marius entdecken die Jupitermonde – und der Streit ums richtige Weltsystem

von Pierre Leich

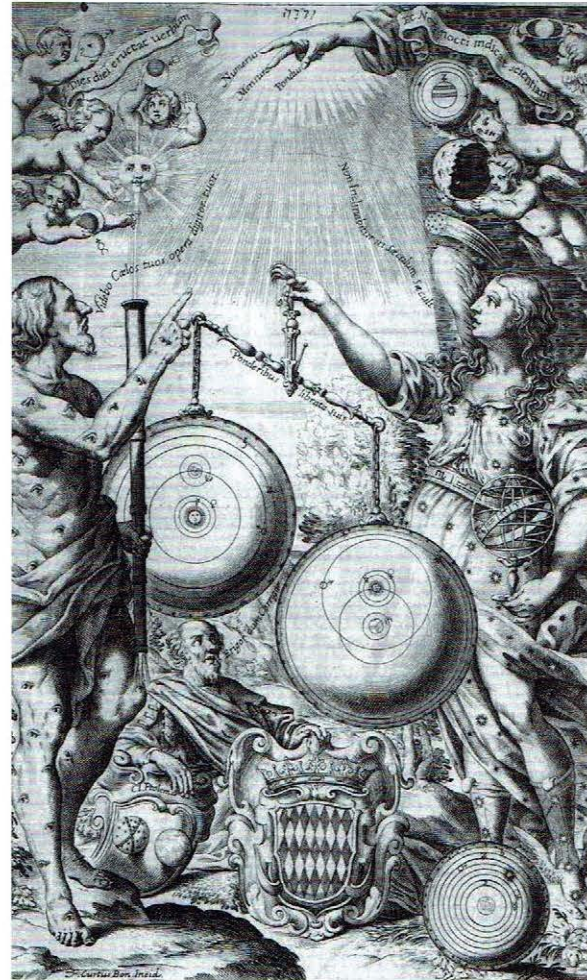
Während der populärwissenschaftlichen Literatur das Hauptwerk von Nicolaus Copernicus aus dem Jahr 1543 gemeinhin als Beweis des heliozentrischen Weltsystems gilt, zeigt ein näherer Blick auf „*De revolutionibus orbium coelestium, libri VI*“, dass Copernicus zwar gute Argumente vorbringen konnte, die Rede von Beweisen aber einer kritischen Betrachtung nicht standhalten kann. Der folgende Beitrag zeigt am Beispiel von Galileo Galilei und Simon Marius, dass selbst zu Beginn des 17. Jahrhunderts die Frage noch nicht entschieden, ja schlimmer, noch nicht entscheidbar war, wenngleich sich das Blatt auf dem Weg zu Newtons „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“ allmählich wendete.

Der Verlauf zur Einsicht in die Zentralstellung der Sonne ist dabei weniger von historischem Interesse, sondern ermöglicht ein Verständnis nicht nur der Copernicanischen Wende, sondern der Art, wie wissenschaftliche Erkenntnis im Spannungsfeld von Theoriebildung und empirischen Befunden vorstättgeht. Mithin erweist sich die Fragestellung nach dem richtigen Weltsystem auch als fruchtbar für die Entstehung der neuzeitlichen Naturwissenschaft, wie sie in modernen Industriegesellschaften zur Allgemeinbildung gehören sollte.

Schon in der Antike soll sich Aristarch von Samos für eine Bewegung der Erde ausgesprochen haben. Neben spärlichen Informationen bei Archimedes, Plutarch, Vitruv und Aetius ist es Aristarchs einzig erhaltene Arbeit „Über Größen und Entfernungen von Sonne und Mond“, in der er sich in genialer Weise Klarheit über die Größenverhältnisse in der näheren Erdumgebung verschafft. Unter Verwendung von nur drei Phänomenen – Halbmond, Sonnenfinsternis und Mondfinsternis – gelang es ihm, durch eine elementare geometrische Betrachtung zu zeigen, dass das Volumen der Sonne etwa 300 Mal größer ist als das der Erde. Das ist gelinde gesagt ein wenig untertrieben, und der wahre Faktor ist 1.291.468, doch sein Ergebnis ist im Sinne einer Minimalforderung zu werten und erlaubt die Vermutung, ob es nicht plausibler ist anzu-

nehmen, die kleine Erde drehe sich um die große Sonne als umgekehrt.

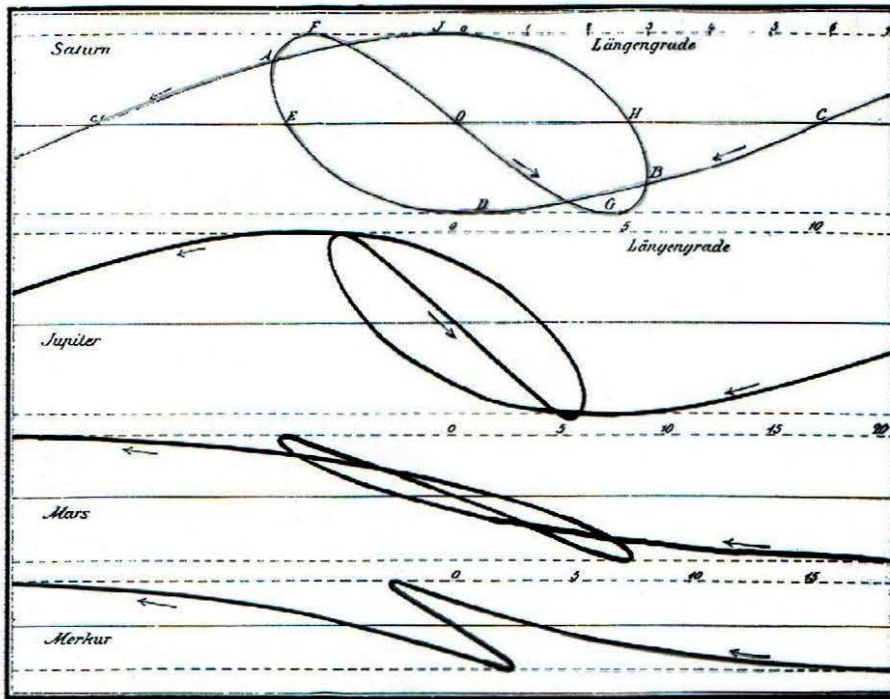
Wir wissen, dass sein System bei den Griechen kaum Anhänger fand. Die Gründe der Ablehnung dürften weniger religiöser oder ideologischer Natur gewesen sein als schlicht der Widerspruch zum gesunden Menschenverstand: Wäre bei einer bewegten Erde nicht zu erwarten, dass die Wolken weggeblasen werden oder zumindest einen Schweif bilden wie bei Kometen? Müssten fallende Körper nicht hinter der Erdbewegung zurückbleiben? Und sollte schließlich die Erde aufgrund der Rotation – die Erdgröße war seit Eratosthenes recht gut bekannt – nicht auseinanderbrechen? Auf all diese naheliegenden Fragen gab es noch keine Antwort. Wir spüren eben nichts von einer Erdbewegung, und so blieb es beim Geozentrismus (Bild 1).



1 Beim Auswiegen der Weltsysteme erschienen noch Mitte des 17. Jahrhunderts die Argumente für das copernicanische System als zu leicht. Schwerer wog ein semi-tychonisches System. Giovanni Battista Riccioli, *Almagestum novum*. Bologna 1651; Staats- und Stadtbibliothek Augsburg.

Gute Argumente von Copernicus

Eine neue Physik mit Trägheitssatz und Bewegungsgesetz konnte auch Copernicus nicht anbieten, doch führte ihn seine Abneigung des Ptolemäischen Ausgleichspunktes zu einem Wechsel des Bezugspunktes, der eine elegante Erklärung der scheinbaren Schlei-

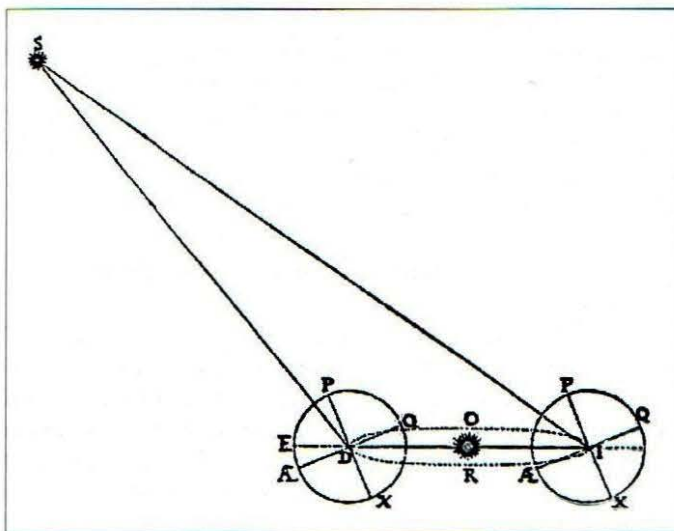


2 Die Planeten vollführen, von der Erde aus betrachtet, Schleifen mit Stillständen und Rückläufigkeiten. Giovanni V. Schiaparelli, Die homocentrischen Sphären des Eudoxus, des Kallippus und des Aristoteles. In: Abhandlung zur Geschichte der Mathematik 1 (1877)

fenbewegung der Planeten erlaubte. Während sich die Bewegung von Mond, Sonne und des Fixsternhimmels mit sphärischer Geometrie schon seit der Antike in guter Näherung beschreiben ließ, bereiteten die periodischen Stillstände und Rückläufigkeiten der Planeten einen Erklärungsnotstand, als dessen beste Lösung sich das Modell durchsetzte, das die Planeten auf Kreisen abrollen ließ, deren Mittelpunkte die Erde umkreisen. [1]

Mit seinem Perspektivenwechsel kann Copernicus zeigen, dass sich die Planetenschleifen auch erklären las-

sen, indem wir annehmen, das Himmelsschauspiel von einer bewegten Erde aus zu betrachten (Bild 2). Immer wenn die Erde einen äußeren Planeten überholt oder ihrerseits von einem inneren Planeten überholt wird, treten die Schleifen auf, die sich somit als nicht real erweisen und nur perspektivisch zustande kommen. Damit wird ebenfalls klar, warum Sonne und Mond keine Schleifenbewegung aufweisen, was in einem durchgängig geozentrischen System ja zu erwarten wäre. Ebenso erschließt sich ohne komplizierte Zusatzannahmen, warum



3 Die jährliche Parallaxe. Beim Umlauf der Erde sollten Sterne im Frühjahr unter einem anderen Winkel erscheinen als im Herbst. John Wallis, Opera mathematica, Bd. 3. Oxford 1699, S. 706

sich von der Erde aus gesehen Merkur und Venus stets in der Nähe der Sonne aufhalten.

Dies alles sind sicherlich keine Beweise, aber gute Argumente. Darüber hinaus gibt es eine Reihe ambivalenter Phänomene und einen schwerwiegenden Einwand: Sollte sich die Erde um die Sonne drehen, so wäre doch zumindest bei nahen Sternen zu erwarten, dass sie in halbjährlichem Abstand unter leicht verschiedenem Winkel zu sehen sind. Diese Folgerung aus dem heliozentrischen System konnte jedoch nicht beobachtet werden. Als Grund für die fehlende Fixsternparallaxe nannte zwar schon Copernicus den außerordentlichen Abstand der Sterne, doch musste dies den Zeitgenossen so erscheinen, als ob hier eine Ungeheuerlichkeit – die Bewegung der Erde – durch eine andere – die Größe des Weltalls – erklärt werden soll (Bild 3). Dennoch konnte Copernicus erstmals demonstrieren, dass vom mathematischen Standpunkt aus und im Rahmen der damaligen Beobachtungsgenauigkeit eine Beschreibung der Bewegungsvorgänge – oder sagen wir präziser: der Leuchtspuren am Himmel – auch mit der Sonne als Zentrum gelingt.

Diese Situation war auch Ausgangspunkt für Galilei und Marius. Inzwischen waren die Verhältnisse allerdings noch drastischer geworden, denn der dänische Astronom Tycho Brahe konnte die Präzision deutlich steigern und glaubte, die Sterne als kleine Scheiben zu erkennen. Wenn dies richtig wäre und man ein heliozentrisches Weltsystem annehmen wollte, wären die Sterne nicht nur unermesslich weit entfernt – damit der Parallaxeneffekt unter die Beobachtungsgenauigkeit fällt –, sondern auch ungeheuerlich groß. Er errechnete Durchmesser, die bis zur Marsbahn reichen. Nun wissen wir heute, dass es solche Riesensterne gibt, doch sie sind nicht die Regel. Da Tycho in der unveränderlichen Himmelssphäre neue Sterne – wir nennen sie Supernovae – und Kometen, die mehrere Planetensphären kreuzten, nachweisen konnte, waren jedoch auch die Zweifel am geozentrischen Weltbild größer geworden, und er formulierte ein alternatives Weltmodell, bei dem sich Sonne und Mond zwar weiterhin um die Erde drehen, jedoch alle weiteren Planeten die Sonne umkreisen.

Marius erfährt vom Teleskop

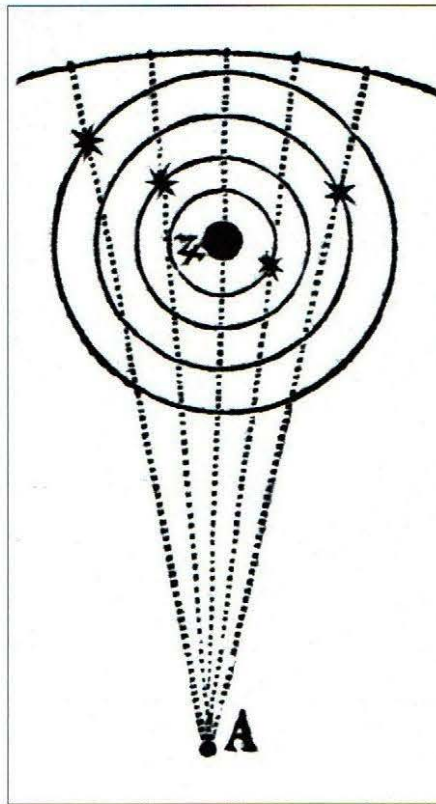
Im Oktober 1608 breitete sich von den Niederlanden die Nachricht einer völlig neuen optischen Erfindung über ganz Europa aus. Der Middelburger Brillenmacher *Hans Lipperhey* hatte am Hof des Prinzen *Moritz von Nassau* ein Teleskop vorgestellt. Ein entsprechender Patentantrag wurde jedoch abgelehnt, da inzwischen mehrere Personen die Erfindung beanspruchten und das Gerücht ging, ein Händler habe bereits auf der Frankfurter Herbstmesse 1608 ein Fernrohr angeboten.

Der erste Berufsastronom, der Kenntnis vom Teleskop erlangte, war der markgräfliche Hofastronom *Simon Marius*, der seit 1608 als Hofmathematicus in Ansbach beschäftigt war, wozu auch die Erstellung von Kalendern und die Tätigkeit als Arzt gehörten.

Der am 10. Januar 1573 in Gunzenhausen geborene *Simon Mayr* war bereits in der präteleskopischen Ära ein versierter Beobachter. Er hatte über den Kometen von 1596 publiziert und die Position der Supernova im Sternbild des Schlangenträgers von 1604 präzise bestimmt. Im Jahr 1599 veröffentlicht er ein umfangreiches Tabellenwerk, und seit 1594 erstellte *Marius* meteorologische Aufzeichnungen. 1601 stellte ihm *Markgraf Georg Friedrich von Brandenburg-Ansbach-Kulmbach* ein Schreiben aus, das ihn *Tycho Brahe* als Assistenten empfahl. Zu einer Zusammenarbeit kam es leider nicht mehr, da *Brahe* starb, doch *Marius* lernte in Prag das – wie man heute sagen würde – Weltkompetenzzentrum Astronomie und die Science Community kennen. Eine Freundschaft mit *David Fabricius*, einem der Mitentdecker der Sonnenflecke, pflegte er bis zu dessen Tod. Ob er *Johannes Kepler* schon damals kennen lernte, ist unwahrscheinlich, doch diente Prag als vielseitiger Bezugspunkt.

Anschließend studierte *Marius* bis 1605 Medizin in Padua, wo zeitgleich *Galilei* mathematische Vorlesungen hielt. Da *Marius* im Verband der Studenten der nördlichen Länder verschiedene leitende Positionen innehatte, dürften sich beide zumindest bekannt gewesen sein. Bis zu seinem Tod am 26. Dezember 1624 (gregorianisch: 1625) war *Marius* in Ansbach Hofastronom.

Mathematische Exzellenz bewies *Marius* 1610 und gab als Übersetzung aus dem Griechischen „Die Ers-



4 Die früheste Darstellung der großen Jupitermonde mit ihren Bahnen. *Simon Marius*, *Prognosticon* auf 1612, Bl. C3; Staatsarchiv Nürnberg

ten Sechs Bücher *Elementorum Euclidis*“ heraus. In *Johannes Philipp Fuchs von Bimbach*, der den Markgrafen seit spätestens 1599 als einflussreichster Beamter und Militärberater diente, 1616 in kaiserliche Dienste wechselte und 1626 als General-Oberst in der Armee des Dänenkönigs *Christian IV.* in der Schlacht bei Lutter am Barenberge fiel, hatte *Marius* einen Förderer, der sich aus dieser Arbeit Hilfestellungen beim Militär versprach, etwa für die Ballistik.

Dieser *Fuchs von Bimbach* war es auch, der laut *Marius* bereits auf der Frankfurter Herbstmesse 1608 ein Fernrohr kennen lernte und die Nachricht nach Ansbach mitbrachte. Da das angebotene Instrument außerordentlich teuer war und zudem eine Linse einen Sprung hatte, kam ein Kauf nicht zustande und beide versuchten in Franken mit Hilfe Nürnberger Linsenmacher erfolglos einen Nachbau.

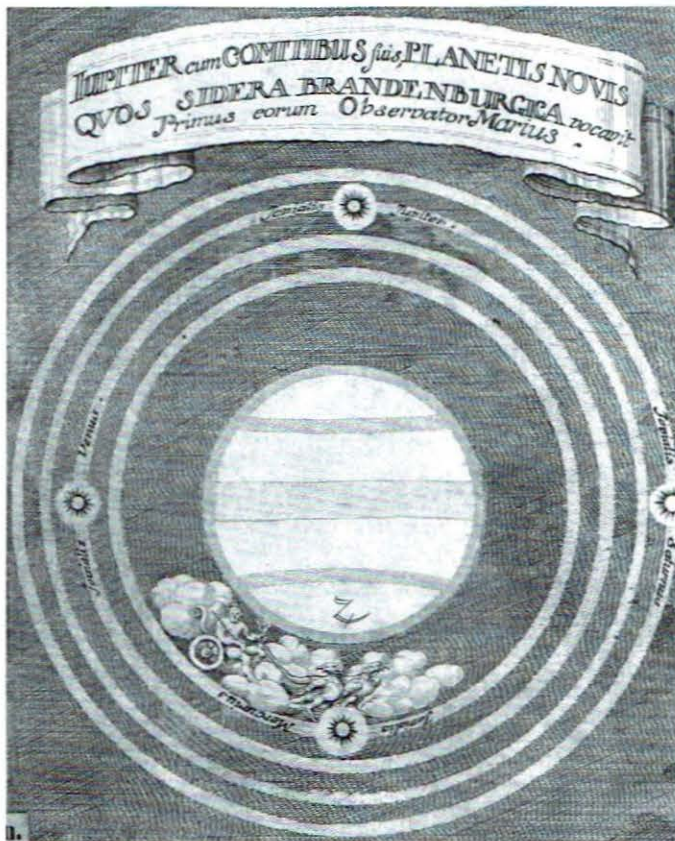
Fuchs von Bimbach erhielt dann im Sommer 1609 ein belgisches Fernrohr, und *Marius* bemerkte: „Manchmal durfte ich es mit nach Hause nehmen, besonders um das Ende des November; dort betrachtete ich gewöhnlich in meiner Sternwarte die Sterne.“

Galilei holt mächtig auf

Die Lebensumstände des italienischen Philosophen, Mathematikers, Physikers und Astronomen *Galileo Galilei* sind hinlänglich bekannt und brauchen hier nicht wiederholt zu werden. Bemerkenswert ist allerdings, dass *Galilei* trotz seiner exzellenten europaweiten Kontakte behauptete, ihn habe das Gerücht dieses Augenglases erst etwa Mitte Mai 1609 erreicht. Das wäre ein halbes Jahr nach *Marius*.

Ende Juli 1609 tauchte auch in Padua ein Händler auf und wollte der Venezianischen Stadtregierung ein Fernrohr vorführen. Dies konnte *Galilei* noch verhindern, aber es wurde ihm klar, dass nun höchste Eile geboten war, wenn er aus dieser Angelegenheit noch Profit ziehen wollte. Wie bekannt, gelang ihm dies bravourös, und am 24. August konnte er auf dem Campanile von San Marco dem Dogen sein Instrument vorführen. Schon am Tag darauf wurde ihm sein Amt auf Lebenszeit verliehen und das Gehalt auf 1000 Gulden pro Jahr fast verdoppelt. Allerdings wechselte *Galilei* bald nach Florenz als „Filosofo e Matematico Primario del Serenissimo Gran Duca di Toscana“ zu Großherzog *Cosimo II.*, dem *Galilei* früher Unterricht erteilt hatte und der 1609 den Thron bestiegen hatte.

Befreit von Lehrverpflichtungen beobachtete *Galilei* zahlreiche bislang unbekannte Sterne, Gebirge auf dem Mond und stieß am 7. Januar 1610 auf drei Pünktchen um den Jupiter, die er zunächst für Fixsterne hielt. Sie setzten ihn „dennoch in einiges Erstaunen, weil sie auf einer vollkommen geraden Linie parallel zur Ekliptik zu liegen und heller als die übrigen Sterne gleicher Größe zu glänzen schienen.“ Als in der kommenden Nacht Jupiter östlich der Sternchen stand, hielt er es noch für möglich, dass es gewöhnliche Sterne waren und Jupiter rechtläufig war, obwohl die astronomischen Tafeln bereits die rückläufige Schleifenbewegung voraussagten. Doch bald wurde ihm klar, dass er eine astronomische Sensation entdeckt hatte, die ihn weltberühmt machen würde, wenn er sie nur als Erster veröffentlichen konnte. Sofort begann er noch in seinem Tagebuch Anweisungen an den Holzschneider zu notieren und sprang vom Italienischen ins Lateinische – die Sprache der internationalen Wissenschaft.



8 Die Darstellung der Jupitermonde als „Sidera Brandenburgica“, der Jupiter mit Wolkenstreifen. Friedrich Madeweis, Jupiter, una cum sideribus Brandenburgicus, 1679

Für Johannes Kepler passte die Rotation der Sonne perfekt zu seiner Vorstellung einer Art Wirbelkraft, die die Planeten mitriss. Zumindest bringen sie ins Bewusstsein, dass mit dem bestehenden Weltbild einiges nicht stimmt. Während die Flecken auf dem Mond ja schon mit bloßem Auge sichtbar sind, galt die Sonne von makelloser Idealgestalt (macula = Fleck!). Zusätzliche Brisanz entstand durch die christliche Identifizierung mit der unbefleckten Empfängnis.

Ptolemäus wird falsifiziert

Systematisch am bedeutendsten sind die Venusphasen, die Galilei im Dezember 1610 notierte und Marius zwei Monate später wahrnahm. Sie erlauben die Folgerung, dass die Planeten offenbar keine selbstleuchtenden Himmelskörper sind und dass notwendigerweise Venus wie wohl auch Merkur sich um die Sonne drehen. Damit war der Beweis erbracht, dass das ptolemäisch-aristotelische Weltsystem zumindest hinsichtlich seiner Aussagen über die inneren Planeten definitiv falsch ist. Dies erzwingt zumindest das sog. Ägyptische System, bei dem die Erde von Mond, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn umkreist

wird, während sich dabei Merkur und Venus um die Sonne drehen.

Inwieweit Marius nun weiter geht, zeigen seine Messungen an den Jupitertrabanten. „Nachdem ich sehr viele Beobachtungen angestellt und die periodischen Umlaufzeiten eines jeden Trabanten möglichst genau erhalten hatte, bemerkte ich noch ein anderes Phänomen: nämlich dass sie im Gleichmaß ihrer Bewegung auf den Jupiter als Zentrum ausgerichtet sind; zusammen mit dem Jupiter aber sind sie nicht auf die Erde, sondern auf die Sonne als Mittelpunkt gerichtet.“ Marius hält es damit für bewiesen, dass sich Jupiter und die anderen Planeten nicht um die Erde, sondern um die Sonne drehen (Bild 7).

Da sich in den frühen Fernrohren aber die flächige Wahrnehmung der Sterne von Brahe wiederholt, sah er sich außerstande, den Copernicanismus zu akzeptieren und votierte für das Tychonische Weltbild, das kinematisch mit dem von Copernicus identisch ist, aber die nach wie vor offenen Fragen zur Erdbewegung vermeidet. Beide Weltsysteme reproduzieren alle damals bekannten Phänomene, mithin ist es unmöglich, aus den Beobachtungen einen Beweis für das eine oder andere System zu führen. Nur das Ptolemäische

Weltsystem ist aus dem Rennen, da es durch die Venusphasen falsifiziert ist.

Man kann daher feststellen, dass Marius seine empirischen Befunde ernst nahm, während sich Galilei darüber hinwegsetzte und annahm, man würde die scheibenförmige Erscheinung der Sterne schon irgendwie wegerklären können. Damit behielt er letztlich Recht, denn Irradiation bewirkt, dass helle Gegenstände auf dunklem Grund größer wirken, und zudem vergrößern scheinbar Beugungs- und Streuungserscheinungen des Lichtes der Gestirne im Linsensystem und im Auge deren Durchmesser.

Die Wissenschaft schreitet offenbar rational voran, doch muss immer wieder ins Kalkül gezogen werden, dass einzelne unserer Annahmen unbegründet sind und einer tieferen Durchdringung harren. Die flächigen Gestirne haben Marius vor dem letzten Schritt zurückweichen lassen, während es wohl das Vorrecht des Genies ist, die Erklärung von lästigen Details auf nachfolgende Generationen zu vertagen (Bild 8).

Wann welches Vorgehen angemessen ist, bleibt für Zeitgenossen stets kontrovers, doch an dem Weltsystemstreit des 17. Jahrhunderts lässt sich in exemplarischer Weise aufzeigen, wie empirische Argumente und theoretische Überlegungen zusammenwirken, und Schüler können einen seriösen Blick darauf werfen, wie Wissenschaft „funktioniert“.

Literatur:

- [1] Nicolaus Copernicus: Über die Umschwünge der himmlischen Kreise. Hrsg. und übersetzt von Jürgen Hamel und Thomas Posch. Harri Deutsch: Frankfurt a. M. 2008 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd. 300)
- [2] Galileo Galilei: Sidereus Nuncius. Nachricht von neuen Sternen, hg. v. Hans Blumenberg, Suhrkamp: Frankfurt a. M. 1980 (erstmalig erschienen als: Sidereus nuncius magna, longeque admirabilia spectacula pandens, suspiciendaque proponens unicuique, praesertim vero philosophis atque astronomis. Thomas Baglionum: Venedig 1610)
- [3] Joachim Schlör (Hrsg.): Simon Marius: Mundus Iovialis – Die Welt des Jupiter (= Reihe Fränkische Geschichte, Bd. 4), Johann Schrenk: Gunzenhausen 1988 (erstmalig erschienen als: Simon Marius: Mundus Iovialis, Johann Lauer: Nürnberg 1614)
- [4] Marius-Portal www.simon-marius.net, hg. v. Pierre Leich, Simon Marius Gesellschaft

Pierre Leich
Hastverstraße 21
90408 Nürnberg
www.pl-visit.net