

Astronomie mit Fahrradfelgen



JOACHIM MICHAEL WALLASCH

Fahrradfelgen sind mit hoher Präzision gefertigte Bauteile; sie sind nahezu perfekt kreisförmig und die Nippellöcher weisen untereinander exakte Abstände auf. Felgen stellen daher sehr präzise Winkelmessgeräte dar, die sich hervorragend für astronomische Experimente und zum Bau von Modellen und Messgeräten eignen. Besonders vorteilhaft für quantitative Messungen ist die Möglichkeit, unterschiedliche Felgen einzusetzen, die sich im Durchmesser, der Anzahl und u. U. auch in der Größe der Nippellöcher unterscheiden.

1 Freihandexperimente

1.1 Der Vollmond

Das einfachste der leicht durchführbaren Freihandexperimente ist gleichzeitig auch das mit dem erfahrungsgemäß größten Überraschungspotential: es betrifft ein (psychologisch wohl immer noch nicht ganz zufriedenstellend erklärbares) Phänomen, dem sich auch heute noch fast niemand entziehen kann: »Ew. Hoheit werden ohne Zweifel schon die Bemerkung gemacht haben, daß der Mond, wenn er auf- oder untergeht, uns viel grösser scheinert, als wenn er mitten am Himmel steht: und jederman giebt dieses Phänomen zu.« (EULER, 1986). Natürlich sagt bereits eine einfache logische Überlegung, dass nicht sein kann, was man zu sehen meint. Aber auch in solch einem Fall bietet sich ein Experiment an, für das eine 24-Zoll-Felge ideal geeignet ist. Sie besitzt 36 Nippellöcher und ein Ventilloch und ist durch folgende Größen gekennzeichnet: Felgenradius $R_F = 308$ mm; Ventilloch-Durchmesser $d_v = 7$ mm; Nippelloch-Durchmesser $d_N = 3,4$ mm. Der Durchmesser des Ventillochs schließt demnach einen Zentriwinkel von $1,3^\circ$ und folglich einen Peripheriewinkel von $0,65^\circ = 39'$ ein. Der mittlere Monddurchmesser beträgt etwa $0,5^\circ = 30'$. Hält man sich also die Felge mit beiden Händen vor ein Auge und blickt von außen her so durch ein Nippelloch, dass der Mond im Sichtfeld des diesem Loch praktisch gegenüberliegenden Ventillochs steht, dann sieht man den Mond deutlich kleiner als das Ventilloch (Abb. 1)! Schon die Beobachtung, dass der Mond am Himmel tatsächlich so klein ist, verblüfft nicht nur Kinder, sondern auch manche Erwachsene. Und durch ein Felgenloch betrachtet sind der horizontnahe Mond und der zenitnahe Mond tatsächlich gleich groß, was die scheinbare Größe des aufgehenden oder untergehenden Mondes unzweifelhaft als Täuschung des menschlichen Wahrnehmungsvermögens beweist.

1.2 Planetenbahnen an der Sphäre

Beim Blick durch das Ventilloch einer 24-Zoll-Felge sind gleichzeitig drei gegenüberliegende benachbarte Nippellöcher sichtbar, daher sind also direkt Peripheriewinkel kleiner als 10° zu erfassen. Um Winkelabstände zwischen Planetenpositionen und hinreichend hellen Fixsternen mit bloßem Auge auszumessen, positioniert der Beobachter die Felge so, dass Planet und Fixstern gleichzeitig auf dem Felgenrand liegen und das hellere Objekt direkt über einem Nippelloch liegt. Hat man mindestens zwei Winkel zwischen einem Planeten und je einem Fixstern gemessen, kann die Position des Planeten relativ zur Sphäre in eine Karte des entsprechenden Sternbilds einge-

zeichnet werden (BACKHAUS, 1990). Die dabei erreichbare Genauigkeit ist hinreichend gut, um im Verlauf einiger Wochen die Schleifenform der scheinbaren Bahnen der Planeten zu erfassen. Dabei kann natürlich nicht die Genauigkeit der Messungen TYCHO BRAHES erreicht werden. Dessen Messgenauigkeit von mindestens $2'$ entspricht dem zwanzigsten Teil des Ventilloch-Durchmessers einer 24-Zoll-Felge; ein solch kleiner Winkel ist auch für einen geübten Beobachter selbst unter günstigsten Beobachtungsbedingungen nicht zu unterscheiden. Aber ein Winkel von $8'$, etwa ein Fünftel des Durchmessers des Ventillochs, kann (bei einiger Übung) mit einer Felge gerade noch einigermaßen abgeschätzt werden. Für KEPLER war die Diskrepanz von $8'$ zwischen BRAHES Positionsdaten und seinen eigenen theoretischen Berechnungen entscheidend für die Erkenntnis der elliptischen Form der Marsbahn. Die unmittelbare Anschauung kann also zumindest ein gewisses Verständnis für die einzigartigen Leistungen BRAHES und KEPLERS vermitteln. Bei diesen Beobachtungen sollten immer unterschiedliche Felgen eingesetzt werden, die sich sowohl im Durchmesser als auch in der Zahl der Nippellöcher und damit in den Größen der charakteristischen Peripheriewinkel unterscheiden. Darüber hinaus bietet es sich zur Verbesserung der Messgenauigkeit an, zwei leicht verschiebbare Markierungen aus Pappe o. ä. auf dem Felgenrand zu positionieren, zwischen denen die Positionen des Planeten und des Fixsterns eingeschlossen werden. Für den Abstand der Marken ist leicht eine Ablesegenauigkeit von 1 mm zu erreichen, was bei einer 24-Zoll-Felge einem Winkelwert von rund $20'$ entspricht.

2 Modelle

2.1 Modelle des Himmelsäquators und der Ekliptik

Zwei unterschiedlich große Felgen werden mit vier Schrauben an vier Metallwinkelteilen konzentrisch auf einer möglichst schmalen Leiste befestigt, die in ihrem Mittelpunkt mit Hilfe einer geeigneten Montierung¹ an einer Schraube drehbar angebracht ist. Wird diese Schraube auf den Himmelspol ausgerichtet, dann ist sie parallel zur Erdachse (Abb. 2). Die innere Felge repräsentiert den Erdäquator, dessen Verlängerung an die Sphäre dann dem Himmelsäquator entspricht. Der besseren Anschaulichkeit wegen bietet sich ergänzend an, eine halbierte Styroporkugel als Modell der Erde auf der Drehachse anzubringen. Die gegen die innere geneigte äußere Felge repräsentiert die Ekliptik. Die »Schnittpunkte« von Himmelsäquator und Ekliptik entsprechen den sogenannten »Frühlings-« bzw. »Herbstpunkten«, in denen die Sonne zu den Frühlings- bzw. Herbsttagundnachtgleichen steht. Die im Jahreslauf entlang der Ekliptik gegen den Uhrzeigersinn wechselnden Positionen der Sonne können durch beweglich angebrachte Marken (z. B. gelbe Wäscheklammern, vgl. Abb. 2) repräsentiert werden. Durch die daraus resultierenden Positionsänderungen relativ zur Knotenlinie, der gedachten Schnittgeraden der beiden Felgenebenen, werden die jahreszeitlichen Veränderungen der Tag- und Nachtlängen anschaulich verdeutlicht. Damit wird auch unmittelbar der Unterschied zwischen Sterntag (Zeitspanne einer vollen Umdrehung der Leiste bzw. der Erde relativ zur Sphäre) und dem bürgerlichen Sonnentag (Zeitspanne zwischen zwei aufeinander folgenden Kulminationen der Sonne für einen ortsfesten Beobachter auf der Erde = 24 h) ersichtlich.

¹ Der Verfasser hat verschiedene extrem stabile, dennoch mobile und vor allen Dingen sehr preiswerte Montierungen aus standardisierten Metallwinkelementen konstruiert; auf Nachfrage werden gerne detaillierte Erläuterungen gegeben. Zahlreiche Anregungen für alternative Konstruktionen finden sich bei (MILLS, 1994)

2.2 Bahnschleifengerät

In der nach Auffassung des Verfassers wichtigsten Anwendung überhaupt stellt die Zwei-Felgen-Apparatur (Abb. 3) ein Modell des heliozentrischen Systems dar. Eine der Felgen stellt die Erdbahn, die andere je nach Wahl die Bahn eines inneren oder äußeren Planeten dar. Da das Modell nur dazu dienen soll, Planetenbewegungen qualitativ zu veranschaulichen, ist es nicht notwendig, die Unterschiede zwischen den tatsächlich elliptischen Planetenbahnen und einfachen Kreisbahnen zu berücksichtigen. Die Positionen beider Planeten können mit einfachen Materialien markiert werden; mit Fäden, dünnen Aluminiumrohren o. ä. können die veränderlichen Richtungen und Längen der Sichtlinien Erde-Planet demonstriert werden. Auf diese Weise können alle wesentlichen Phänomene der Planetenbewegungen (Oppositionsstellung, Rückläufigkeit, Umkehrpunkte, offene/geschlossene Bahnschleifen) veranschaulicht und die aus ihnen abzuleitenden geometrischen Schlussfolgerungen erklären werden:

- aus Oppositionsstellungen eines Planeten ergeben sich die siderischen Umlaufzeiten;
- aus den Umkehrpunkten können die relativen Bahngeschwindigkeitswerte des Planeten ermittelt werden (WALLASCH, 2011a);
- aus geschlossenen Bahnschleifen können auf elementargeometrische Art und Weise hervorragend gute Näherungswerte der relativen Abstände Sonne-Planet ermittelt werden (WALLASCH, 2011b); S-förmige offene Schleifen können nur bei Oppositionen in der Umgebung der Knotenpunkte auftreten, dagegen führen Oppositionen in der Umgebung der nördlichsten (südlichsten) Bahnabschnitte oberhalb (unterhalb) der Ekliptik zwangsläufig zu geschlossenen Schleifen, die sich in sich selbst schneiden.

Während der erste Punkt (als Übungsbeispiel für Bruchgleichungen) in den meisten Fach- und Schulbüchern behandelt wird, werden die beiden letztgenannten Punkte erstaunlicherweise weder in der fachwissenschaftlichen noch in der fachdidaktischen Literatur behandelt. Die Schule verzichtet dabei auf Möglichkeiten, zwei fundamentale Bedeutungen von Vektoren zu veranschaulichen: zum einen handelt es sich um ein sehr interessantes Anwendungsbeispiel für Vektorzerlegungen und zum zweiten geht es um die Folgerung aus dem vierten Kopernikanischen Axiom: »Das Verhältnis der Entfernung Sonne – Erde zur Höhe des Fixsternhimmels ist kleiner als das vom Erdhalbmesser zur Sonnenentfernung, so daß diese gegenüber der Höhe des Fixsternhimmels unmerklich ist.« (ZINNER, 1988). Denn daraus folgt ja, dass zwei im dreidimensionalen Raum parallele Richtungsvektoren auf den gleichen Punkt der Sphäre zeigen! Und im Umkehrschluss folgt, dass zwei Sichtlinien, die von der Erde aus zu zwei verschiedenen Zeitpunkten den gleichen Planeten im gleichen Punkt der Sphäre zeigen, zueinander exakt parallel gerichtet sein müssen. Um diese Sachverhalte umfassend zu demonstrieren, sollte das Felgenmodell nicht nur im Klassenzimmer, sondern unbedingt auch im Freien eingesetzt werden. Aus fachdidaktischer Sicht sollte die fundamentale Bedeutung der Bahnschleifenschnittpunkte ein zentraler Gegenstand in der Schulastronomie sein. Es wäre nach Auffassung des Verfassers ein wichtiger Fortschritt, wenn diesem Phänomen zukünftig stärkere Beachtung geschenkt würde. Ein weiterer Punkt ist zu bedenken: in der fachdidaktischen Literatur wird praktisch immer nur der vereinfachende Spezialfall einer identischen Bahnebene beider Planetenbahnen behandelt (OBERSCHELP, 2009). Offensichtlich besteht der besondere Vorteil des Zwei-Felgen-Modells nun gerade darin, dass auf diese Beschränkung verzichtet werden kann, ja muss. Denn tatsächlich lassen sich die beobachtbaren Phänomene der Planetenbewegungen vor der Sphäre nur unter Berücksichtigung der Neigung zwei-

er Planetenbahnen angemessen verstehen.

3 Messgeräte

3.1 Die tägliche Sonnenbahn

Eine halbe Felge ergibt ein präzises Messgerät zur Vermessung der täglichen Sonnenbahn (Abb. 4). Der Felgenteil ist mit Hilfe einer durch das Ventilloch geführten 6 mm-Schraube fest mit einer horizontalen Latte (Holz, Alu-Profil o. ä.) verbunden, auf der eine Skala (Millimeterpapier, Metallmaßband) angebracht ist. Zusätzlich oder alternativ kann eine vertikal aufgestellte Skala eingesetzt werden. Zum gleichen Zeitpunkt können stets mehrere Lichtflecken auf der Skala abgelesen werden; damit ergeben sich für die je gleichen Sonnenhöhenwerte mehrere Messkurven, aus denen der Zeitpunkt des täglichen Sonnenhöchststandes und der Kulminationswinkel ermittelt werden können. Mit dieser Methode lassen sich die Tage der Sommer- und Wintersonnenwende (und damit die Länge eines Jahres) und die Neigung der Ekliptik gegen den Himmelsäquator mit hinreichend guter Genauigkeit bestimmen. Zwei rechtwinklig zueinander verbundene halbe Felgen können als Sonnenuhr verwendet werden: für detaillierte Ausführungen zu Konstruktion unterschiedlicher Modelle von Sonnenuhren sei auf das sehr ansprechende Werk von (MILLS, 1994) hingewiesen. Auch eine vollständige Felge kann für Messungen der Sonnenhöhen verwendet werden. In diesem Fall bestimmt man die Zeitpunkte, in denen untereinander parallele Lichtbündel durch ein Nippelloch ein- und durch ein anderes Nippelloch auf der der Sonne abgewandten Seite austreten. Zwar können so die Winkel der täglichen Sonnenhöchststände (der Kulminationshöhen) nur in wenigen Ausnahmefällen direkt bestimmt werden, aber sie lassen sich leicht durch Interpolation der gemessenen Winkelwerte ermitteln.

3.2 Aristarch?

Eine weitere interessante Anwendung könnte in der Demonstration des Messprinzips liegen, das Aristarchs Idee zur Bestimmung der relativen Abstände von Mond und Sonne zu Grunde liegt (OBERSCHELP, 2009). Die Felge muss so orientiert werden, dass mehrere parallele Sonnenlichtbündel durch je zwei gegenüberliegende Felgenlöcher auf einen Projektionsschirm treffen und gleichzeitig rechtwinklig zu den Lichtbündeln der Halbmond durch zwei gegenüberliegende Felgenlöcher anvisiert werden kann.

Die genaue Positionierung der Felge ist relativ aufwendig; es scheint zweckmäßig, zwei Beobachter einzusetzen. Allerdings verfügt der Verfasser bezüglich dieser Möglichkeit des Einsatzes von Felgen noch über keine eigenen praktischen Erfahrungen; Gelegenheiten, sowohl den Halbmond als auch die Sonne gleichzeitig tagsüber beobachten zu können, sind aus astronomischen Gründen zwar prinzipiell zweimal pro Monat gegeben, aus meteorologischen Gründen aber relativ selten.

Literatur

BACKHAUS, U. (1990). Bestimmung der Radien von Planetenbahnen mit Fernglas und Sternkarte. *Praxis der Naturwissenschaften* 39(5), 10.

EULER, L. (1986). *Briefe an eine deutsche Prinzessin, Zweyhundert und fünf und zwanzigster Brief*. Braunschweig-Wiesbaden: Edition Vieweg Bd. 3, Friedrich Vieweg & Sohn, 28, 283–284.

MILLS, H. R. (1994). *Practical Astronomy, A User-Friendly Handbook for Skywatchers*. Chichester: Albion Publ.

OBERSCHELP, A. (2009). Aristarch, Kopernikus und die relativen Abstände im Sonnensystem. *MNU*, 62, 132–139.

WALLASCH, J. (2011a). Links ist rechts und rechts ist links. *Unterrichtsmaterialien Physik*. Hallbergmoos Stark Verlag, I.2.17.

WALLASCH, J. (2011b). Bahnschleifenschnittpunkte. *Astronomie + Raumfahrt im Unterricht*, 48 (1), 38–47.

ZINNER, E. (1988). **Entstehung und Ausbreitung der copernicanischen Lehre**. München: Verlag C.H. Beck, 181.

StD. i. R. Dr. JOACHIM MICHAEL WALLASCH, dr.wallasch@gmx.de, Ramelshovener Straße 53, 53347 Alfter, war bis 2011 in NRW als Lehrer für Physik, Mathematik und Astronomie tätig. ■□

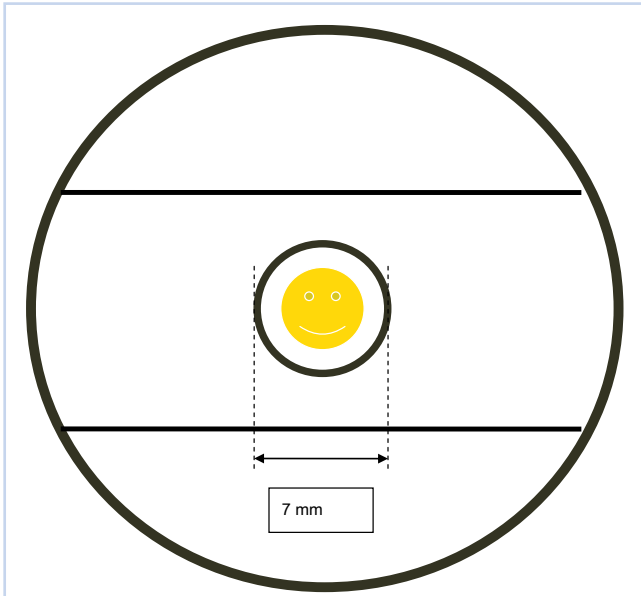


Abb. 1. Der Vollmond gesehen durch das Ventilloch

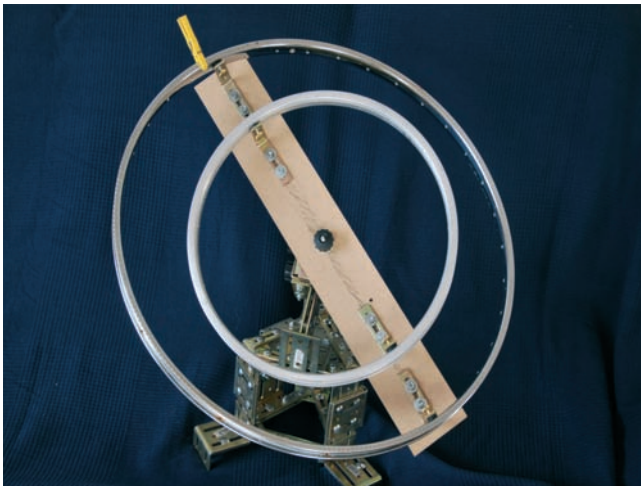


Abb. 2. Modell der Äquator- und Ekliptikebenen

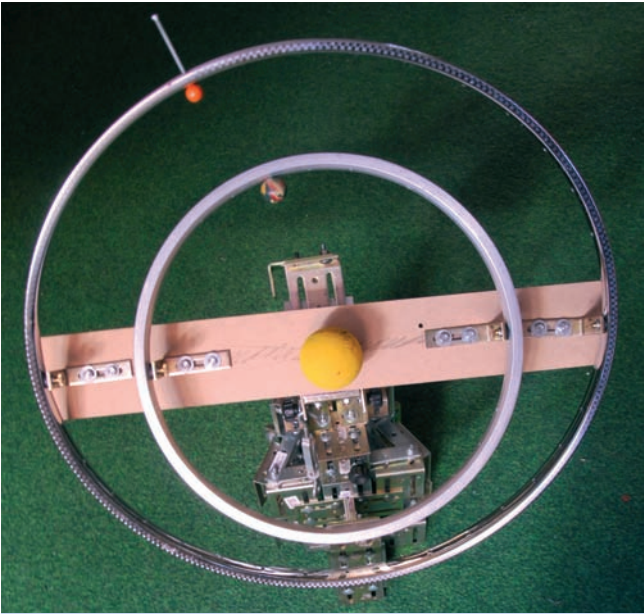


Abb. 3. Modell zweier Planetenbahnen

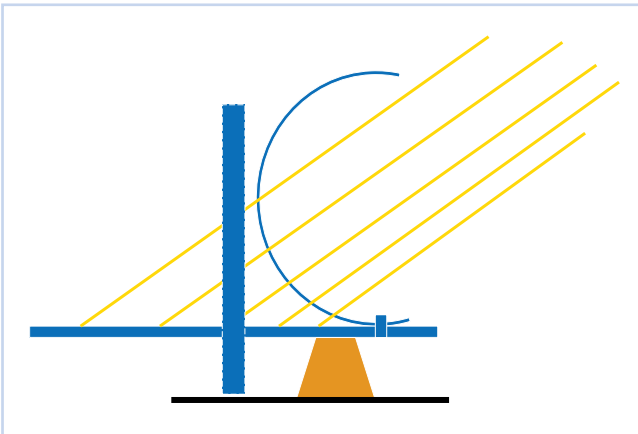


Abb. 4. Eine halbe Felge als Sonnenhöhenmessgerät mit horizontaler bzw. vertikaler Skala