

NEPTUN und SEPP

In Bezug auf die Rubrik „Aktuelles am Himmel“ in SuW 8/2014, 10/2014 und 1/2015

Joachim Michael Wallasch

Am 29. August 2014 erreicht **Neptun** seine diesjährige Opposition¹; beim Durchlaufen der (fast zu einer Linie verengten) Oppositionsschleife steht Neptun an drei speziellen Tagen praktisch im gleichen Punkt an der Sphäre: am **01. März 2014**, am **01. Oktober 2014** und am **01. Januar 2015**. An Hand dieser speziellen Tagesdaten kann mit Hilfe der **SEPP-Methode** ein hervorragend guter Näherungswert für den Abstand Sonne-Neptun ermittelt werden. Erstaunlicherweise wird diese Methode weder in Fach- noch in Schulbüchern der Astronomie behandelt².

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Planeten	Neptun , Uranus, Bahnschleifen, Oppositionsstellungen
Physik	Mechanik	Gravitation, keplersche Gesetze
Fächer- verknüpfung	Astro-Mathematik Astro-Geschichte	Geometrie der Pyramiden, sin-Definition, Dreiecksberechnungen, astronomische Weltbilder, Himmelskarten
Lehre allgemein	Kompetenzen	Lesekompetenz , Modellkompetenz , Fahrradfelgen -Modell von Planetenbahnen, Astronomische Weltbilder , Bilder auswerten , Berechnungen und Vergleiche

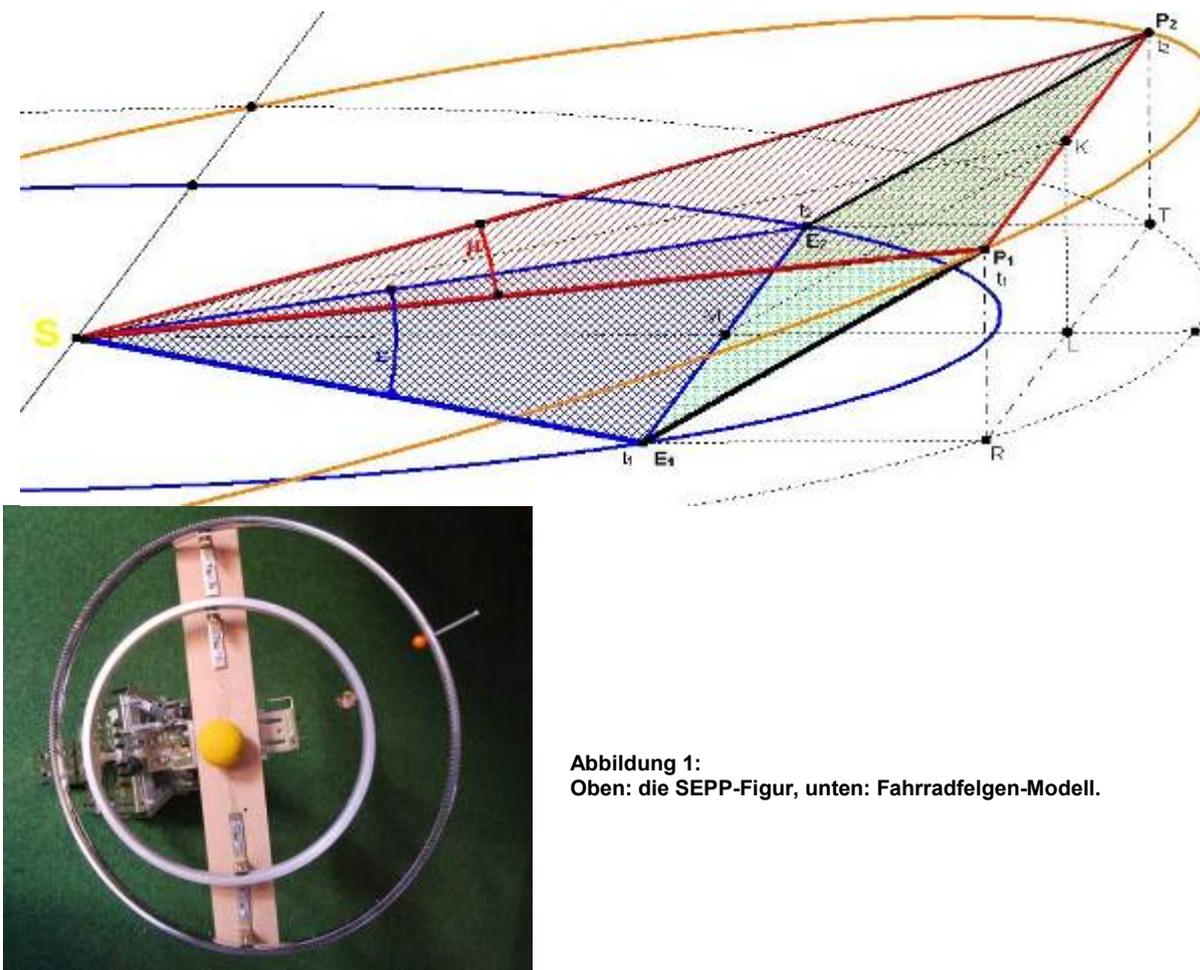


Abbildung 1:
Oben: die SEPP-Figur, unten: Fahrradfelgen-Modell.

¹ Sterne und **Weltraum** Kalender für Sternfreunde 2014, Spektrum der Wissenschaft, Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg, S. 119

² Die Methode ist für alle äußeren Planeten / Asteroiden anwendbar

Die SEPP-Methode oder: Wie groß ist das Sonnensystem

Zeitpunkte und Orte zweier Oppositionsstellungen eines äußeren Planeten liefern seine siderische Umlaufzeit, Zeitpunkte und Orte der Umkehrpunkte liefern die Bahngeschwindigkeit. Aus den Schleifenformen ergeben sich sehr gute Näherungswerte für den (relativen) Abstand von der Sonne. Besonders einfach ist dies für geschlossene Schleifen mit einem „**Bahnschleifenschnittpunkt**“ (im Weiteren mit B_{SS} bezeichnet). Diese elementarste Methode zur Bestimmung der Ausdehnung des Sonnensystems soll aus Gründen, die später deutlich werden, als „**SEPP-Methode**“ bezeichnet werden. Die Methode funktioniert auch bei Schleifen, die zu einer Linie entartet sind.

Die grundlegende geometrische Beziehung der SEPP-Methode ist in **allen** weiterführenden Schulformen regulärer Inhalt des Mittelstufenunterrichts; die Methode kann mit Hilfe eines einfachen Modells experimentell nachvollzogen werden; und die realen Positionen eines Planeten an der Sphäre können sehr einfach fotografisch dokumentiert werden.

In den folgenden Aufgaben 1. – 13. soll die SEPP-Methode auf verschiedene Planeten angewendet werden. Aufgabe 14 beinhaltet eine Analyse von Fach- und Schulbüchern hinsichtlich der zahlreichen Mängel und Fehler in Abbildungen von Planetenschleifen, der Erklärungen ihres Zustandekommens und eine Diskussion der damit verbundenen Problematik.

Aufgabe 15 beinhaltet eine Recherche zur Geschichte der Himmelsatlanten.

Aufgaben

1. Recherchieren Sie in Himmelsjahrbüchern, Zeitschriften und im Internet nach Abbildungen der aktuellen Bahnschleife des Planeten Neptun! Erläutern Sie, was unter einem „Bahnschleifenschnittpunkt“ B_{SS} zu verstehen ist!
2. Erstellen Sie eine geeignete (nicht maßstabgetreue!) Zeichnung, die die jeweiligen Positionen der Erde und des Planeten wiedergeben! Beschreiben Sie das Verfahren, mit Hilfe zweier Oppositionsstellungen die siderische Umlaufzeit eines Planeten zu bestimmen!
3. Konstruieren Sie aus unterschiedlich großen Fahrradfelgen ein Modell zweier /dreier Planetenbahnen und demonstrieren Sie experimentell das Zustandekommen verschiedener Planetenschleifen! Untersuchen Sie im Detail die Auswirkungen zweier zueinander geneigter Bahnebenen!
4. Studieren Sie die Axiome, die Kopernikus seinem Modell des Sonnensystems zu Grunde gelegt hat! Benennen Sie das für das Verständnis eines B_{SS} entscheidende Axiom! Diskutieren Sie auch die im wörtlichen Sinn „weltanschauliche“, revolutionäre Bedeutung dieses Axioms!
5. Erläutern Sie die geometrische Konsequenz, die sich im Rahmen des kopernikanisch-keplerschen Modells des Sonnensystems aus dem Phänomen eines Bahnschleifenschnittpunktes B_{SS} ergibt! Erläutern Sie die Bedeutung des Acronyms „SEPP“!
6. Erläutern Sie die besondere Eigenschaft der SEPP-Figur und begründen Sie qualitativ, warum man mit ihrer Hilfe den Abstand Sonne-Planet bestimmen kann!
7. Leiten Sie für den Fall einer geschlossenen Bahnschleife die mathematische Beziehung her, mit deren Hilfe die Abstände Sonne-Planet näherungsweise berechnet werden können! Wenden Sie diese Beziehung für eine aktuelle Planetenschleife an!

8. Beschreiben Sie die Bedeutung verschiedener astronomischer Koordinatensysteme für die SEPP-Methode!
9. Diskutieren Sie, warum ein Bahnschleifenschnittpunkt im ptolemäischen Weltsystem nicht physikalisch sinnvoll interpretiert werden kann!
10. Untersuchen Sie verschiedene Situationen geschlossener Bahnschleifen des Mars und ermitteln Sie die jeweiligen Abstände Sonne-Mars! Diskutieren Sie insbesondere die Perioden, die beim Durchlaufen von Bahnschleifenschnittpunkten auftreten!
11. Untersuchen Sie Abbildungen geschlossener Bahnschleifen anderer Planeten / Planetoiden und bestimmen Sie daraus die jeweiligen Näherungswerte für die Abstände der Objekte zur Sonne! Vergleichen Sie Ihre Werte mit den Literaturwerten der jeweiligen Perihel- und Apheldistanzen!
12. Diskutieren Sie an Hand der Näherungswerte für die Planetenabstände die Gültigkeit des 3. keplerschen Gesetzes als empirische Regel!
13. Analysieren Sie die Verallgemeinerung der SEPP-Methode auf den Fall offener, S-förmiger Bahnschleifen!
14. Recherchieren Sie Abbildungen von Planetenschleifen in Schulbüchern verschiedener Verlage und analysieren Sie die dort auftretenden Mängel bzw. Fehler! Diskutieren Sie die damit verbundene Problematik!
15. Gehen Sie der Frage nach, wann zum ersten Mal Planetenschleifen bildlich dargestellt wurden!

Kompetenzprofil

- ◆ Niveau: Mittelstufe, Oberstufe, weiterführend
- ◆ Fachlicher Bezug: Astronomie / Physik (Sonnensystem); Mathematik (Geometrie, Trigonometrie, Vektorrechnung); Wissenschaftsgeschichte (Kopernikus, Brahe, Kepler, Doppelmayr, Rost,)
- ◆ Problemlösen: Beobachtungen beschreiben, Darstellungen verwenden, Lösungen berechnen, Lösungen abschätzen, Ergebnisse reflektieren
- ◆ Medien: Fachbücher analysieren; Recherchen in Fachmagazinen, Internet, Formelsammlungen
- ◆ Methoden: Einzel- oder Gruppenarbeit; Referate; selbständige Forschung
- ◆ Inhalt in Stichworten: Bahnschleife, Bahnschleifenschnittpunkt, Dreiecksberechnungen, Planetensystem, keplersche Gesetze
- ◆ Basiskompetenzen: Beobachten, interpretieren, argumentieren, vergleichen
- ◆ Modellkompetenz: astronomische Weltmodelle vergleichen

Lösungen

1. Am 29. August 2014 steht Neptun in Opposition; seine Oppositionsschleife zeigt zwei Besonderheiten: sie fällt beinahe mit der Ekliptik zusammen und der Planet steht **dreimal** zu besonders günstigen Zeitpunkten (am 01. März, am 01. Oktober und am 01. Januar 2015) praktisch im gleichen Punkt an der Sphäre.

Am 07. Oktober 2014 Uranus steht in Opposition; auch seine Oppositionsschleife fällt beinahe mit der Ekliptik zusammen; am 01. April 2014 und am 01. Februar 2015 steht der Planet praktisch im gleichen Punkt an der Sphäre.



Abbildung 2:
Zur Veranschaulichung des Phänomens von Planetenbahnschleifen kann man heute auf zahlreiche sehr realitätsnahe, optisch attraktive Beispiele zurückgreifen. Für die Abbildung wurden mehrere zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommene Photographien überlagert, auf denen gleichzeitig die je Positionen der Planeten Mars (helle rötliche Scheibchen) und Uranus (dicht nebeneinander liegende Punkte entlang einer Strecke) relativ zu den Fixsternen erfasst sind.
(Quellen: [5], [20])

2. Ausgangspunkt der Zeichnungen sind die Oppositionstellungen, in denen Sonne, Erde und Planet praktisch in einer Linie stehen. Vom Tag der Opposition aus können die Positionen der Planeten rekonstruiert werden, da die siderischen Umlaufzeiten als bekannt vorausgesetzt werden dürfen.
3. Zwei verschieden große Fahrradfelgen werden auf eine Gewindestange gesteckt, die als Knotenlinie dient. Mit Hilfe der gleichmäßig angeordneten Felgenlöcher lassen sich (unter der vereinfachenden Annahme konstanter Winkelgeschwindigkeiten) die jeweiligen Erd- und Planetenpositionen und damit auch die räumlichen Orientierungen der jeweiligen Sichtlinien unmittelbar veranschaulichen. Das Phänomen der (scheinbaren) Schleifenbahnen lässt sich so anschaulich verdeutlichen.

Allerdings darf man diese Apparatur zur korrekten Demonstration einer Bahnschleife nicht nur im Klassenraum einsetzen, unbedingt müssen die scheinbaren Positionen des Modellplaneten vor der „realen“ Sphäre zusätzlich nachts im Freien demonstriert werden!

4. Die Axiome des Nikolaus Kopernikus zitiert nach [37]:

- 1) *"Für alle Himmelskörper oder Sphären gibt es nicht nur einen Mittelpunkt."*
- 2) *"Der Erdmittelpunkt ist nicht der Mittelpunkt der Welt, sondern nur der der Schwere und des Mondbahnkreises."*
- 3) *"Alle Bahnkreise umgeben die Sonne, als stünde sie in aller Mitte, und daher liegt der Mittelpunkt der Welt in Sonnennähe."*
- 4) *"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."*
- 5) *"Alles, was an Bewegung am Fixsternhimmel sichtbar wird, ist nicht von sich aus so, sondern von der Erde aus gesehen. Die Erde also dreht sich mit den ihr anliegenden Elementen in täglicher Bewegung einmal ganz um ihre unveränderlichen Pole. Dabei bleibt der Fixsternhimmel unbeweglich als äußerster Himmel."*
- 6) *"Alles, was uns bei der Sonne an Bewegungen sichtbar wird, entsteht nicht durch sie selbst, sondern durch die Erde und unseren Bahnkreis, mit dem wir uns um die Sonne drehen, wie jeder andere Planet. Und so wird die Erde von mehrfachen Bewegungen dahingetragen."*
- 7) *"Was bei den Wandelsternen als Rückgang und Vorrücken erscheint, ist nicht von sich aus so, sondern von der Erde aus gesehen. Ihre Bewegung allein genügt also für so viele verschiedenartige Erscheinungen am Himmel."*

Für die Idee der SEPP-Methode ist das vierte Axiom wegen seiner geometrischen Konsequenzen entscheidend:

- *Blickt man zu beliebigen Zeitpunkten von der Erde aus zum gleichen Stern, dann sind die Sichtlinien parallel.*
- *Von der Erde aus parallel gerichtete Sichtlinien müssen an den gleichen Punkt der Sphäre (zum gleichen Stern) zeigen.*

Dieses Axiom enthält die für die Menschen des Mittelalters (und auch der Neuzeit!) aus philosophisch-religiöser Sicht vermutlich am schwersten zu akzeptierende Hypothese eines unendlich großen Universums.

5. Durchläuft ein Planet / Asteroid vor und nach seiner Oppositionsstellung vor dem Hintergrund der Fixsternsphäre eine geschlossene Bahn, anders ausgedrückt: schneidet sich die Bahn in sich selbst, dann durchläuft der Planet von der Erde aus gesehen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten t_1 bzw. t_2 den **gleichen** Punkt B_{SS} an der Sphäre. Planet und Erde stehen aber zu diesen Zeitpunkten t_1 bzw. t_2 tatsächlich in je zwei **verschiedenen** Punkten P_1 und P_2 bzw. E_1 und E_2 ihrer Bahnen. Räumlich gesehen wird die Situation im Falle gegeneinander geneigter Bahnen also grundsätzlich durch eine Pyramide (Abb. 3) beschrieben, in deren Spitze die Sonne steht und deren Grundfläche durch die vier Planeten- und Erdpositionen gebildet wird.

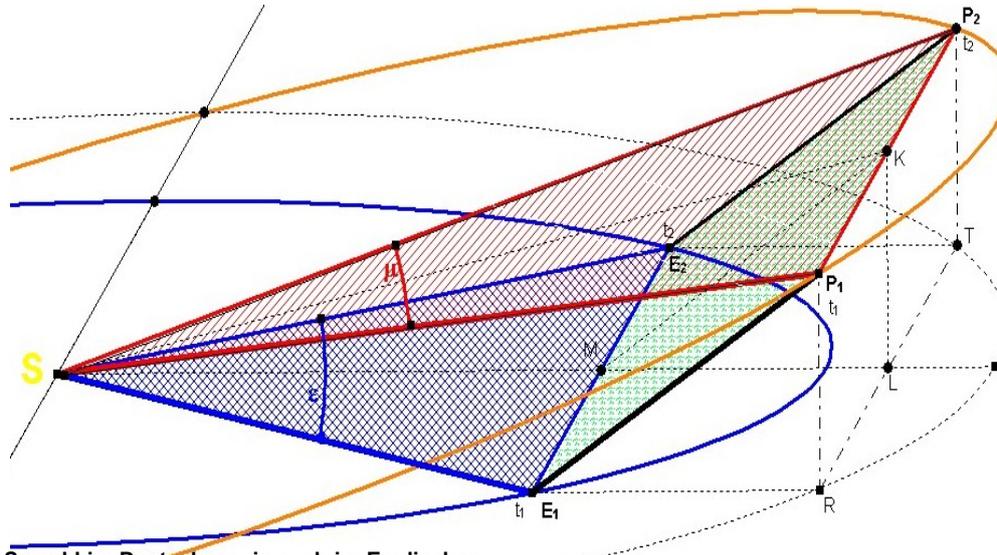
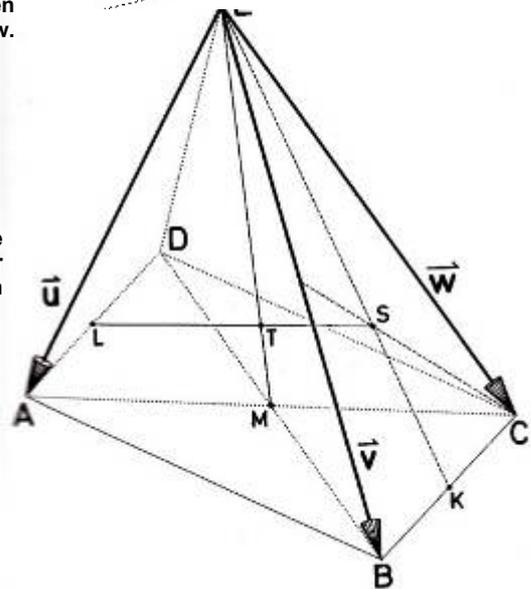


Abbildung 3: SEPP. Sowohl im Deutschen wie auch im Englischen würde das Akronym SEPP (Sonne-Erde-Planeten-Pyramide bzw. Sun-Earth-Planet-Pyramid) Sinn machen! (Quelle: [32])

Abbildung 4: Mit der einem Schulbuch für Analytische Geometrie entnommenen Abbildung 3 hat man im Prinzip die Figur vor Augen, die fast perfekt zur Beschreibung von Planetenschleifen und zur Bestimmung von Planetenbahnen dient. (Quelle: [4])



6. Entscheidend ist, dass die Strecken E_1P_1 und E_2P_2 **exakt parallel** zueinander sind! Die Pyramidengrundfläche $E_1P_1E_2P_2$ ist im einfachsten Spezialfall kreisförmiger Bahnen sogar ein Rechteck, dann ist auch $E_1E_2 = P_1P_2$.

Die Winkel $\varepsilon_{1,2} = \text{Winkel}(E_1SE_2)$ und $\mu_{1,2} = \text{Winkel}(P_1SP_2)$ ergeben sich für (in erster Näherung) kreisförmige Bahnen und konstante Winkelgeschwindigkeiten aus den siderischen Umlaufzeiten beider Planeten und aus der Zeitspanne $t_2 - t_1$.

Daraus lässt sich der Abstand $SP_1 = SP_2 = R$ konstruieren bzw. berechnen.

Der Idealfall einer geschlossenen Bahnschleife liegt vor, wenn die Opposition zeitlich genau zwischen den beiden Durchgängen durch den Bahnschleifenschnittpunkt erfolgt: in diesem Fall ist der Oppositionsbahnpunkt des Planeten der Punkt mit dem größten Abstand von der Ekliptikebene, in der die Erde sich um die Sonne bewegen muss. Offene Schleifenbahnen ohne B_{SS} ergeben sich für Oppositionsstellung in der Nähe eines der beiden Knotenpunkte.

7. Vereinfachte Geometrie zur Erklärung der „Bahnschleifenschnittpunkte“

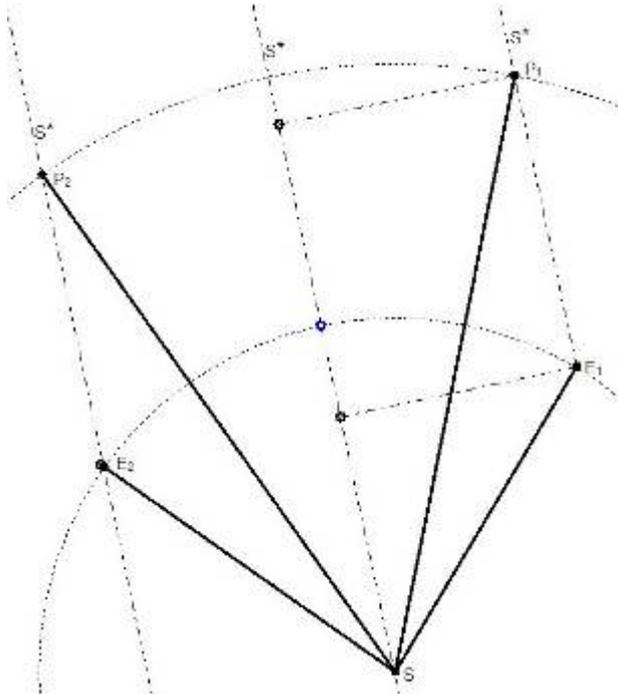


Abbildung 5: Spezialfall
Die Radien SE_1 , SP_1 , SE_2 und SP_2 werden jeweils senkrecht auf die Strecke SP_{Opp} projiziert.
Die Strecke E_1E_2 ist exakt gleich groß wie die Strecke P_1P_2 :
 $E_1E_2/2 = SE_1 \sin(\epsilon_{1,2}/2) = \sin(\epsilon_{1,2}/2) =$
 $P_1P_2/2 = SP_1 \sin(\mu_{1,2}/2)$
 $SP_1 = \sin(\epsilon_{1,2}/2) / \sin(\mu_{1,2}/2)$

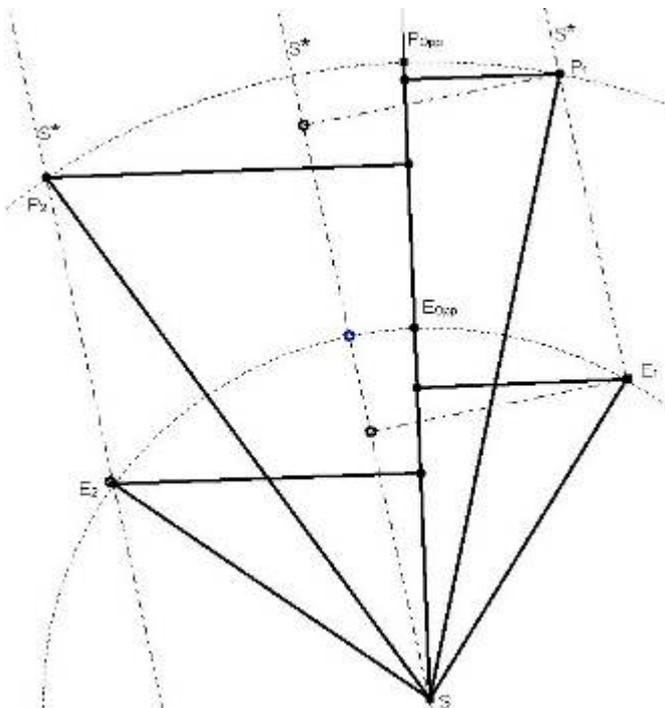


Abbildung 6: Allgemeiner Fall
Die Radien SE_1 , SP_1 , SE_2 und SP_2 werden jeweils senkrecht auf die Strecke SP_{Opp} projiziert.
Die Strecke E_1E_2 ist fast so groß wie die Strecke P_1P_2 .

8. Ein und dieselbe Position an der Sphäre kann unabhängig von Koordinatensystemen relativ zu den umgebenden Fixsternepositionen eindeutig angegeben werden.

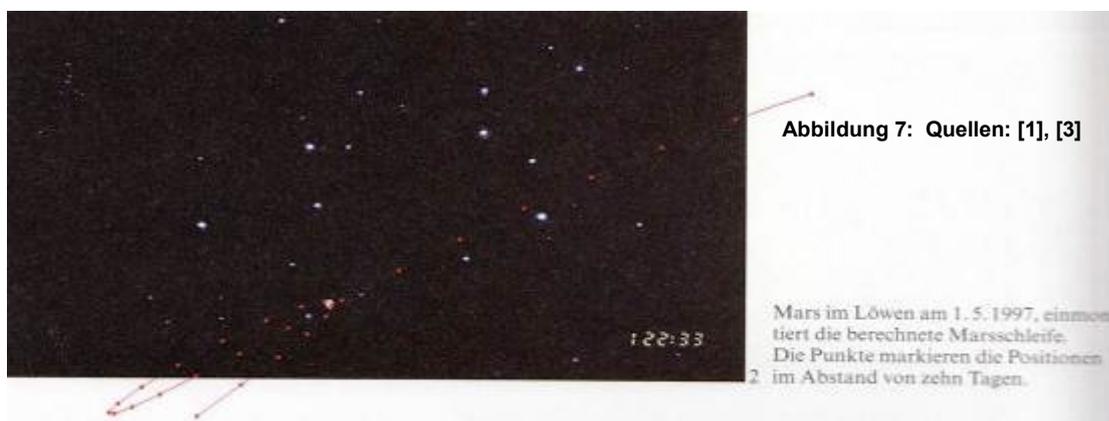
9. Im ptolemäischen Weltsystem, das die Planetenbewegungen mit Hilfe von Deferenten und Epizykeln beschreibt, kann dem Bahnschleifenschnittpunkt keine physikalische / geometrische Bedeutung zugeschrieben werden.

10. Daten für Mars:

Jahr	t_1 (B _{SS})	T _{opp}	t_2 (B _{SS})	R/AE
1945-1946	20.11.1945	14.01.1946	27.04.1946	1,388
1947	18.11.1947	18.02.1948	04.05.1948	1,418
1949-1950	08.12.1949	24.03.1950	27.04.1950	1,345
1954	20.06.1954	25.06.1954	05.09.1954	1,568
1956	29.06.1956	11.09.1956	10.10.1956	1,618
1960-1961	25.11.1960	30.12.1960	13.04.1961	1,367
1962-1963	17.11.1962	04.02.1963	05.05.1963	1,418
1964-1965	25.11.1964	09.03.1965	01.05.1965	1,380
1967	16.02.1967	15.04.1967	28.03.1967	1,566
1971	14.06.1971	10.08.1971	10.10.1971	1,653
1975	06.12.1975	15.12.1975	11.03.1976	1,446
1977	18.11.1977	22.01.1978	01.05.1978	1,404
1979-1980	20.11.1979	25.02.1980	04.05.1980	1,408
1982	22.12.1981	31.03.1982	22.04.1982	1,379
1986	13.06.1986	10.07.1986	25.09.1986	1,590
1988	24.07.1988	28.09.1988	02.10.1988	1,614
1992-1993	21.11.1992	07.01.1993	22.04.1993	1,372
1994-1995	17.11.1994	11.02.1995	05.05.1995	1,422
1996-1997	02.12.1996	17.03.1997	29.04.1997	1,369

Tabelle 1

In den Tagesdaten der B_{SS}-Durchläufe sind Perioden erkennbar: 2, 4, 16, 30, 32, 47 Jahre. Die periodisch schwankenden Näherungswerte zeigen, dass die Marsbahn deutlich von einer idealen Kreisform abweicht.



Der Bahnschleifenschnittpunkt ist ausdrücklich drucktechnisch markiert: zwar ist in Abbildung 7 die Marsposition vom „1.5.1997“ hervorgehoben; dieses Datum wurde aber offenbar nicht gewählt, um auf den (fast mit diesem Punkt übereinstimmenden) Schleifenschnittpunkt hinzuweisen.

In dem folgenden Beispiel einer Ephemeridentabelle ist nachzuvollziehen, dass es relativ mühsam ist, einen B_{SS} allein aus den Zahlenwerten der Koordinaten zu erkennen; trägt man die entsprechenden Planetenpositionen in die Karte ein, ist die Identifizierung des B_{SS} hingegen sehr einfach.

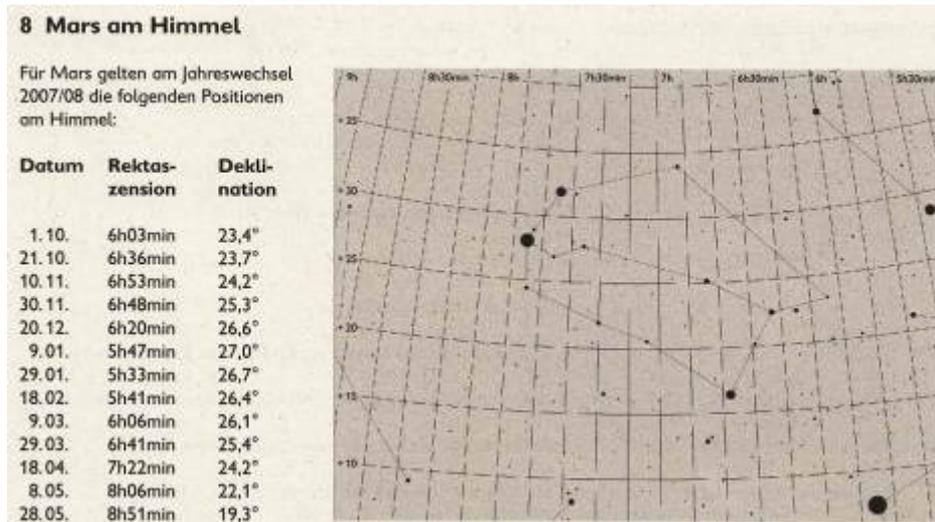
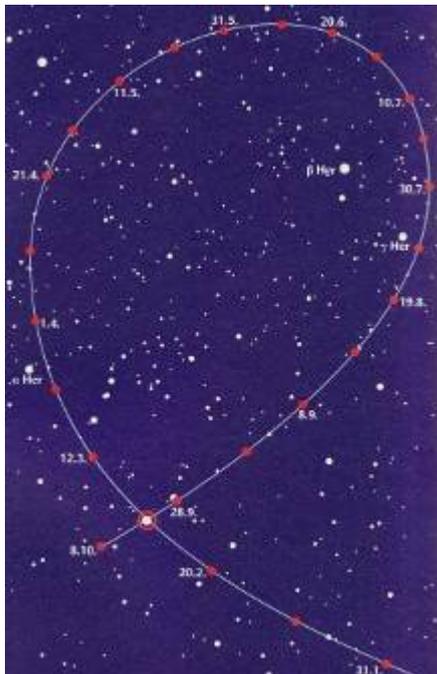


Abbildung 8: Arbeitsheft zu [1], S. 18. Weitere Beispiele finden sich in astronomischen Jahrbüchern und im Internet.

11. Pallas



Planet	Jahr	t_1 (B_{SS})	T o p	t_2 (B_{SS})	R/AE	P/AE	A/AE
Ceres	2011	29.05.2011	16.09.2011	24.12.2011	2,548	2,546	2,987
VESTA	2010	17.01.2010	18.02.2010	13.06.2010	2,153	2,151	2,572
(7) IRIS	2010/2011	22.12.2010	24.01.2011	15.05.2011	3,047	1,838	2,936
JUPITER	2010/2011	10.06.2010	21.09.2010	26.01.2011	5,413	4,950	5,46
SATURN	2008	27.12.2007	24.02.2008	07.08.2008	8,787	9,01	10,07
PLUTO	2004	08.12.2003	11.06.2004	16.08.2004	48,67	29,65	49,317

Tabelle 2:

R: Näherungswert des Bahnradius, P und A: Perihel- bzw. Aphelwerte
AE: Astronomische Einheit

Abbildung 9: Der Bahnschleifenschnittpunkt des Planetoiden Pallas fiel 2001 praktisch mit der Position des relativ hellen Fixsterns kappa Oph zusammen, was durch einen kleinen Kreis um diesen Stern ausdrücklich angezeigt wird (Abbildung 9). Es erscheint beinahe kurios, dass solche nahen Begegnungen von Planeten mit Fixsternen in Himmelsjahrbüchern, Jahreskalendern u. ä. zwar recht häufig Erwähnung finden, die physikalisch viel bedeutsameren Schleifenschnittpunkte aber nicht einmal dann berücksichtigt werden, wenn sie derart „offensichtlich“ sind. Quelle: [21].

12. Die Wertepaare (T_{sid}^2 / R^3) werden in einem geeigneten Koordinatensystem dargestellt; zu prüfen ist, ob die Streuung der Punkte für eine entsprechende empirische Regel spricht oder nicht. Bereits aus der Analyse eines einzigen Bahnschleifenschnittpunktes je einer Planetenbahn ergeben sich sehr überzeugende Näherungswerte für die jeweiligen Sonnenabstände der betreffenden Planeten und damit unmittelbar die richtige Größenordnung des Planetensystems! Und natürlich darf das 3. keplersche Gesetz erst auf der Grundlage dieser Daten als empirisch entdeckte Regel im Unterricht eingeführt werden.

13. Die SEPP-Methode bedeutet eine Änderung des didaktischen Einstiegs in das Thema „Planetenbewegungen“: es muss nicht von vornherein die vereinfachende Annahme eingeführt werden, dass alle Planetenbahnen in der gleichen Ebene liegen! Im Gegenteil, die gegenseitige Neigung zweier Planetenbahnen ist ein entscheidender Vorteil für das anschauliche Verständnis der geometrischen Zusammenhänge: die Methode ist ja gerade dann um so leistungsfähiger, je größer die Neigung der Planetenbahnebene gegen die Erdbahnebene ist, denn umso deutlicher fällt das Phänomen des Bahnschleifenschnittpunkts auf.

Im Fall einer offenen Schleife (Abbildung 10) muss die SEPP-Methode verallgemeinert werden: die Schleifenphase kann schon von dem Zeitpunkt an betrachtet werden, in dem der Planet, noch in prograder Bewegung befindlich, den Bahnpunkt W' durchläuft, der die gleiche ekliptikale Länge λ_w besitzt wie der westliche Umkehrpunkt W (analog für den östlichen Umkehrpunkt O und den Bahnpunkt O'').

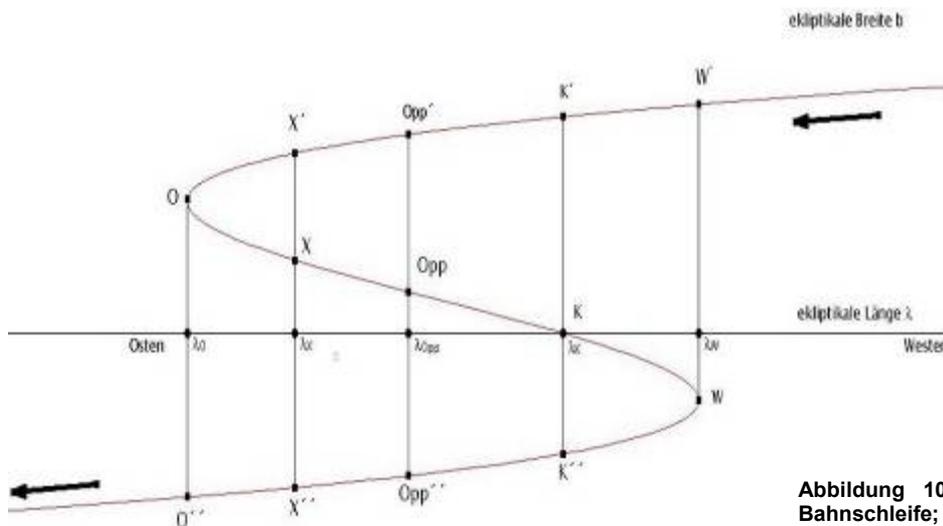


Abbildung 10: Schema einer offenen Bahnschleife; nicht maßstabsgetreu.

Die Bahnpunkte X' , X und X'' weisen gleiche ekliptikale Länge λ_X auf, entsprechendes gilt für alle anderen Punktetripel (K' , K , K'') usw. Die Zusammenhänge zwischen jeweils drei beliebigen Schleifenpunkten mit gleicher ekliptikaler Länge können auf zwei Weisen analysiert werden:

- geometrisch durch zwei Dreiecke in der Erdbahnebene, denen zwei Dreiecke in der Ebene der Planetenbahn entsprechen. Diese Variation ist anwendbar, wenn beide Bahnebenen zusammenfallen und die „Schleife“ zur Hin- und Herbewegung entlang einer Linie entartet und sie lässt sich auf jeden einzelnen Punkt des rückläufigen Bahnabschnitts anwenden!

- analytisch können sowohl die ekliptikale Breite b als auch die ekliptikale Länge λ als Funktionen der Zeit t betrachtet werden (Abbildung 11). Mindestens zehn (10) spezielle Zeitpunkte charakterisieren diese Funktion, es können noch je drei Zeitpunkte für beliebig gewählte allgemeine Punkte X' , X und X'' hinzukommen.

- Handelt es sich bei $b(t)$ und $\lambda(t)$ eher um Sinusfunktionen oder um Funktionen 3. Grades? Welche physikalische Bedeutung hätten im letztgenannten Fall die Koeffizienten?

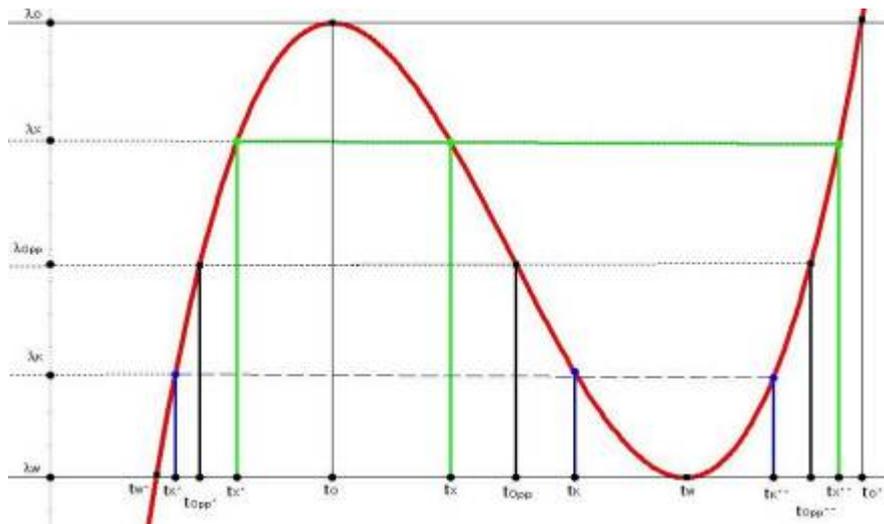


Abbildung 11:
Funktion $\lambda(t)$;
nicht maßstabsgetreu.

Eine Verallgemeinerung der SEPP-Methode ist auch für die Fälle möglich, in denen die Schleife fast zu einer linearen Bewegung zusammenfällt, d. h. jeder der im Prinzip beliebig vielen Punkte, die während der retrograden (rückläufigen) Bewegung des Planeten durchlaufen werden, kann als „Bahnschleifenschnittpunkt“ aufgefasst werden.

14. Das Phänomen des Bahnschleifenschnittpunktes kommt als Thema des Astronomie- und/oder Physikunterrichts nicht vor. Faktisch bedeutet dieses Versäumnis die Nichtbeachtung des 4. kopernikanischen Axioms. Über Gründe für die Nichtbeachtung eines solch elementaren (und fundamentalen) Phänomens lassen sich nur Vermutungen anstellen. Die einfachste Erklärung dafür, dass die Fachdidaktik das Thema nicht aufgreift, könnte darin liegen, dass sich ja auch die Fachwissenschaft nicht weiter damit befasst. Die Frage ist dann, warum die SEPP-Methode in der Fachwissenschaft nicht thematisiert wird. Möglicherweise ist die „offensichtliche“ elementare Überlegung zur Bedeutung des B_{SS} aus fachwissenschaftlicher Sicht derart einfach, ja geradezu trivial, dass sich eine ausdrückliche Erwähnung erübrigt. Das zentrale Problem zur Bestimmung der Parameter der Planetenbahnen ist mit dem Gravitationsgesetz und der gaußschen Drei-Punkte-Methode ein für alle Mal exakt gelöst, das genügt für alle fachwissenschaftlich relevanten Fragestellungen bzgl. der Bewegungen von Körpern im Planetensystem; die Beschäftigung mit einer Näherungsmethode, sei sie auch noch so anschaulich, mag also aus streng wissenschaftlicher Sicht als nicht mehr notwendig und also als überflüssig angesehen werden.

Für die Fachdidaktik kann eine solche Sicht nicht gelten. Nach wie vor ist es eine unverzichtbare Aufgabe dieser wissenschaftlichen Disziplin, für den allgemeinbildenden Unterricht der Schulen zentrale Unterrichtsgegenstände zu identifizieren und geeignete Möglichkeiten ihrer Vermittlung aufzuzeigen. Dazu gehören auch möglichst elementare Methoden, um Verständnis für wissenschaftlich bedeutsame Fakten ermöglichen zu können.

Im Fall der „Bahnschleifenschnittpunkte“ zeigt sich nicht nur ein rein fachspezifisches Defizit der Physikdidaktik, sondern auch ein daraus zwangsläufig folgender zusätzlicher Mangel an einer Fähigkeit, die im modernen Sprachgebrauch etwa als „Fächerverbindungskompetenz“ bezeichnet werden könnte: da Physik- und Astronomiedidaktik das Thema „Bahnschleifenschnittpunkte“ völlig unbeachtet lassen, vermögen sie der Mathematik auch keine entsprechenden Hinweise für sinnvolle fachinhaltliche Abstimmung und Kooperation geben. Von der Mathematik her ist es wahrscheinlich schwieriger, den Zusammenhang zwischen Pyramiden und scheinbaren Planetenbewegungen an der Sphäre unmittelbar zu erkennen. Nach Kenntnis der Verfassers gibt es (noch) kein Fach- oder Schulbuch und folglich auch kein diesen Fächern zuzuordnendes didaktisches Werk, in dem derartige Zusammenhänge ihrer Bedeutung nach gebührend thematisiert werden. Vielmehr ist festzustellen, dass in den meisten der seit Jahrzehnten zum Thema „Planetenbewegungen“ publizierten Abbildungen und Erklärungen eine Fülle von Ungenauigkeiten und Fehlern enthalten sind.

Unter der Vielzahl ungenauer, oberflächlicher und zum Teil grob fehlerhafter Abbildungen zum Thema „Planetenbewegungen“ verdient eine „Bilderfamilie“ besondere Aufmerksamkeit: die Urfassung der Abbildung einer Planetenbahnschleife ist bereits mindestens 55 (!) Jahre alt und ihre Nachkömmlinge, die verschiedene didaktische Modifikationen erfahren haben, sind auch heute noch in einigen aktuellen Schulbüchern zu finden.

In Abbildung 12 zeigen sich mehrere Probleme:

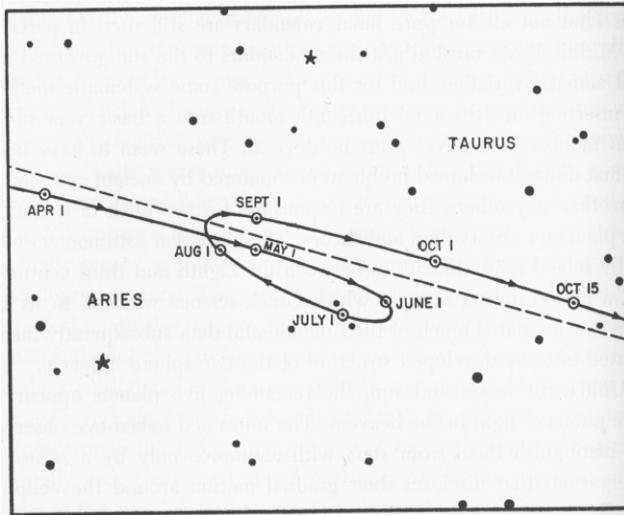


Abbildung 12: Zitat: „The retrogressions of Mars are always approximately of this form and duration, but they do not always occur on the same date or in the same part of the sky.” (Quelle: [15]).

- die Jahresangabe fehlt;
- die Bewegungsrichtung des Planeten und die Orientierung der Sternbilder „Aries“ („Widder“) „Taurus“ („Stier“) zeigen, dass die Graphik um 180° verdreht ist;
- nur einige der mehr als dreißig, mit drei unterschiedlichen Symbolen (Helligkeiten?) gekennzeichneten Sterne können konkret identifiziert werden;
- die Erläuterung ist insofern zu kritisieren, als sie die Existenz offener S-förmiger Schleifen unerwähnt lässt.
- Schwerer wiegt allerdings, dass grundsätzlich kein äußerer Planet Mitte Juli im Sternbild Stier in Opposition stehen kann! Auf welchem Quellenmaterial beruht also diese Abbildung, die erstmals 1957 erschien, 1977 unverändert in die 9. englischsprachige Auflage und 1981 in die deutsche Übersetzung „Die kopernikanische Revolution“ übernommen wurde?

Einige Jahrzehnte nach der Erstveröffentlichung der Abbildung 12 beginnt mit den Abbildungen 13 und 14 die zweite und dritte Karriere der ursprünglichen Vorlage.

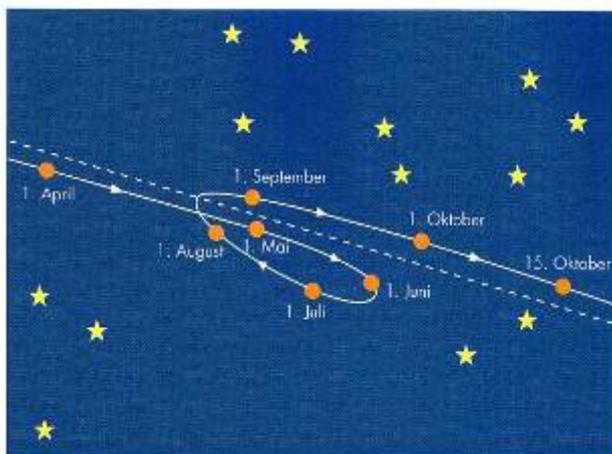


Abbildung 13: (Quelle: [6]).

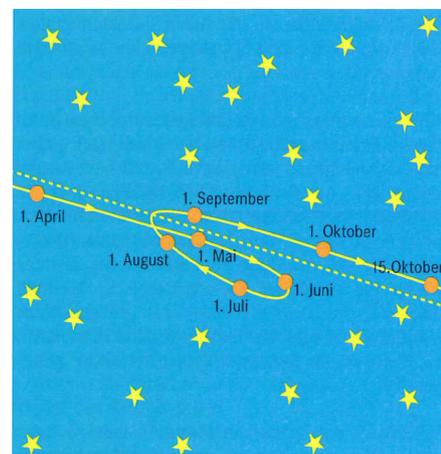


Abbildung 14: (Quelle: [14]).

Offensichtlich beruhen beide auf der gleichen Vorlage wie für Abbildung 12; Abbildung 12 wurde einer dreifachen „didaktischen Reduktion“ unterzogen:

- i. die Anzahl der Fixsterne wurde verringert;
- ii. der Einfachheit halber wurden die verbliebenen dreizehn Sterne alle mit dem gleichen Symbol versehen;
- iii. die Namen der Sternbilder wurden weggelassen.

In dieser Form wurde sie im Lauf von fünfzehn (15!) Jahren nacheinander in mindestens vier Heften der Reihe „Biographien“ [6] des Verlags Spektrum der Wissenschaft unverändert und unkorrigiert weiterverwendet; ein Hinweis wie zu Abbildung 12 fehlt in diesen Publikationen völlig.

In Publikationen, deren unmittelbarer Einsatz nicht direkt auf den Schulunterricht zielt, mögen solche, einer gewissen Oberflächlichkeit geschuldeten Mängel vielleicht hinnehmbar sein. Aber Abbildung 12 steht auch am Anfang eines Prozesses, der letztlich bis heute in aktuelle Schulbuchgestaltung hineinwirkt: spätestens 1992 erfolgte als dritter Schritt der Einstieg in die pädagogische Literatur: aus Anlass der Neubearbeitung eines Oberstufenbandes einer bekannten Physikschulbuchreihe³ wurde die Vorlage nun (im Gegensatz zur Entwurf der Abbildung 13) einer quantitativen Aufwertung unterzogen: für die im Schulbuch verwendete Abbildung 4 wurden gegenüber Abbildung 3 zwölf zusätzliche Sternsymbole neu eingeführt, deren Positionen allerdings keinerlei Bezug zur Realität aufweisen, die also allein der freien Phantasie entsprungen sein müssen⁴. Die Frage nach der zu Grunde liegenden didaktischen Intention liegt auf der Hand.

Weitere mangelbehaftete Abbildungen



Abbildung 15: Quelle: [10].

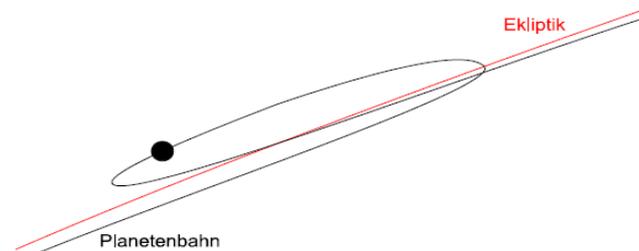


Abbildung 16: Schema einer Planetenschleife vor dem Hintergrund des Fixsternhimmels. Da Ptolemäus die vertikale Abweichung von der Ekliptik zunächst außen vor lässt, reduziert sich das Modell auf die Rückwärtsbewegung während dieser Phase.

Abbildung 16: Quelle: [23].

- Kann eine Schleife **drei** Umkehrpunkte haben?
- Kann eine Schleife die Ekliptik in **zwei** so nahe beieinander liegenden Punkten schneiden?
- Wie ist der Umlaufsinn des Planeten?
- Macht es Sinn, Ekliptik, Schleife und Planet ohne Hintergrundsterne darzustellen?

³ Siehe [14]

⁴ Eines der Forschungsgebiete des Autors Wilfried Kuhn waren laut aktueller Internetwerbung des Verlags „physikhistorische Fallstudien“.

Die aus einem renommierten amerikanischen Collegelehrbuch, dem seit Jahrzehnten mehrfach neu aufgelegten, für Fachastronomen als Standardwerk geltenden „Unsöld“ und einem Handbuch für den Oberstufenunterricht entnommenen Abbildungen 17 - 19 belegen exemplarisch, dass es bei graphischen Erklärungen des Zustandekommens einer Planetenschleife eine gewisse Jahrzehnte alte, international verbreitete Tradition gibt:

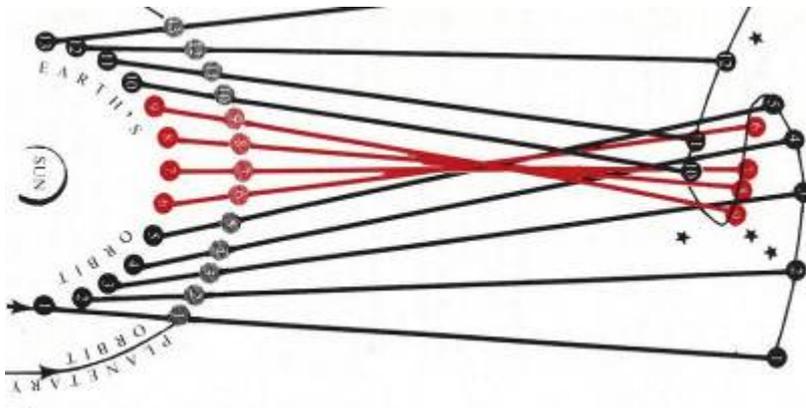


Abbildung 17:
Quelle: [19].

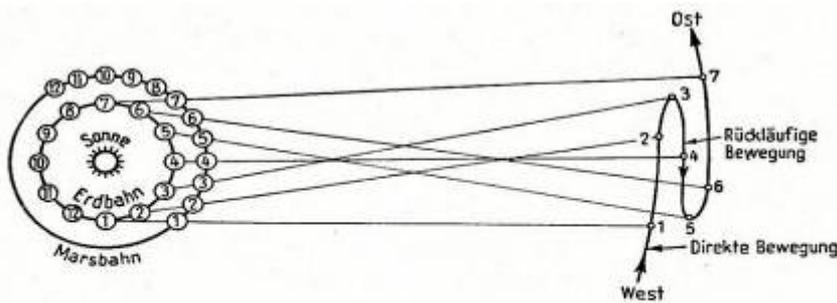


Abb. 5.1. Direkte (West-Ost-) und rückläufige (retrograde; Ost-West-) Bewegung des Planeten Mars. Die Stellungen von Erde und Mars auf ihren Bahnen sind von Monat zu Monat nummeriert. Bei 4 befindet sich Mars in Opposition zur Sonne; hier wird er von der Erde überholt und ist daher rückläufig. Gleichzeitig steht er uns am nächsten und ist am günstigsten zu beobachten. Die Marsbahn ist gegen die der Erde, d. h. die Ekliptik, um $1,9^\circ$ geneigt

Abbildung 18:
Quellen: [26], [27].

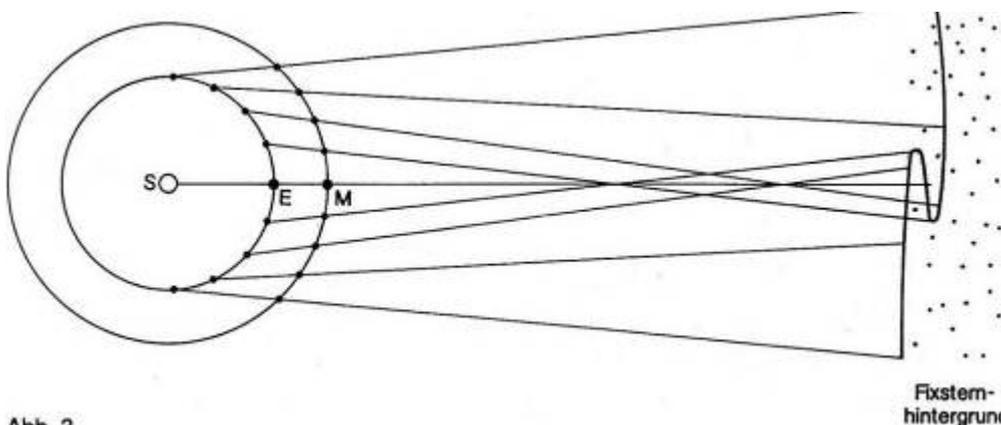


Abbildung 19:
Quelle: [13].

- unausgesprochen werden die Vogelperspektive auf die Ebene der Planetenbahnen und die dazu senkrechte Blickrichtung von der Erde aus an die Sphäre miteinander vermischt. So kann (natürlich unbeabsichtigt) der Eindruck erweckt werden, als würde sich der Planet zeitweise im Raum zwischen den Fixsternen hindurch und zeitweise radial auf die Sonne zu (auf „amerikanische“ Art, Abb. 17) oder von ihr weg (auf „deutsche“ Art, Abb. 18, 19) bewegen.
- Abb. 18 verzichtet gänzlich auf Symbole für die Fixsterne.
- so wie dargestellt wird nicht unmittelbar einsichtig, warum das Helligkeitsmaximum stets mit dem Zeitpunkt der Oppositionsstellung während der Rückläufigkeit zusammenfällt.
- es wird nichts darüber gesagt, dass eine offene, S-förmige Schleife auf Grund der gegenseitigen Neigung der Planetenbahnebenen nur in der Umgebung der sogenannten Knotenpunkte auftreten kann.
- der zentrale Fehler, der auch in allen folgenden Beispielen auftritt, betrifft die Richtungen der Sichtlinien und die Lage der zugehörigen Schleifenpunkte: es handelt sich hierbei um eindeutige Verstöße gegen die logische Schlussfolgerung aus dem für das Modell des kopernikanischen Systems wohl wichtigsten 4. Axiom: z. B. müssten sich in Abbildung 9 die zu den Sichtlinien 5-5 und 6-6 gehörigen Punkte „5“ und „6“ rechts von dem durch die Sichtlinie 1-1 festgelegten Punkt „1“ befinden; analoges gilt für die Punkte „2“, „3“ und „7“.

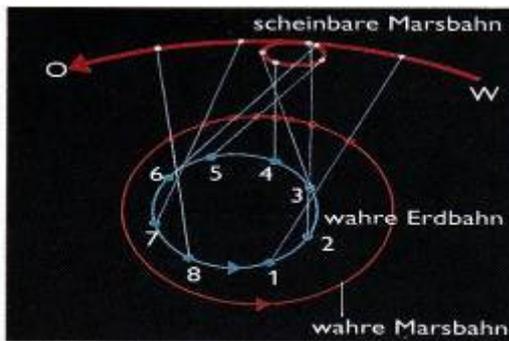


Bild 55/1: Entstehung einer Marsschleife

Abbildung 20: Quelle: [18].

- in Abbildung 20 sind die Sichtlinien „2“ und „4“ bzw. „5“ und „6“ parallel, sie müssten also jeweils auf den gleichen Punkt der Sphäre zeigen.
- Punkt 5/6 müsste an der Sphäre rechts von Punkt 1 liegen.
- Die Punkte auf der Erdbahn sind äquidistant, nicht aber die Punkte auf der Marsbahn: glaubt man der Graphik, so ist die Bahngeschwindigkeit des Mars zwischen seinen Bahnpunkten „1“ und „2“ viel größer als zwischen „3“ und „4“, und zwischen „4“ und „5“ steigt sie wieder an: das soll vielleicht an das 2. Keplergesetz erinnern, passt so aber keineswegs mit der dargestellten Marsbahn zusammen: gerade wegen der perspektivisch gestauchten Bahnen müsste das Marsperihel ganz links, zwischen den Erdbahnpunkten „6“ und „7“ liegen.

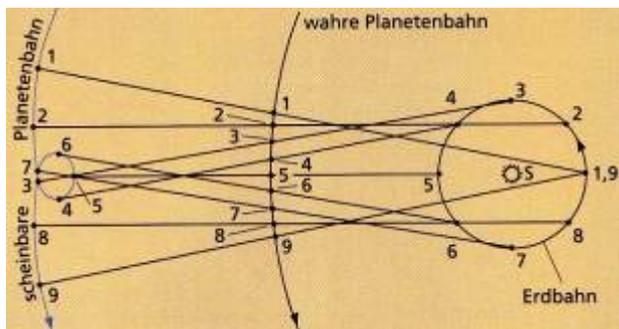
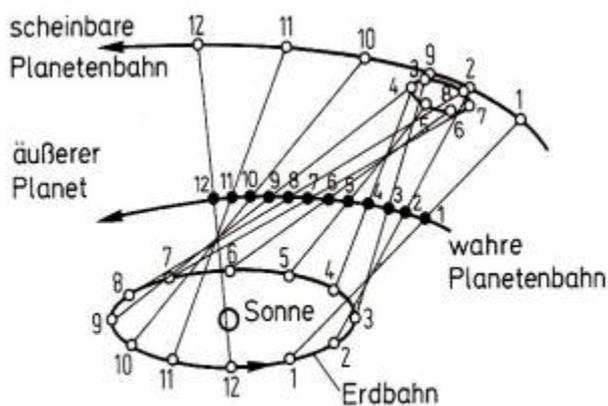


Abbildung 21: Quelle: [11].

Die Sichtlinien 2, 5 und 8 in Abbildung 21 sind exakt parallel zueinander, sie müssten sich folglich im gleichen Punkt an der Sphäre treffen; die Schleifenpunkte 2, 5 und 8 sind verkehrt dargestellt.



Rückläufigkeit eines äußeren Planeten

20

Abbildung 22:
Quellen: [11], [17].

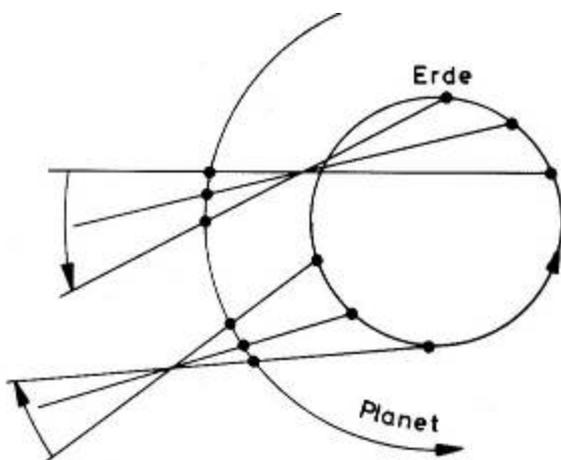


Abbildung 23:
Quelle: [35].

Abbildung 22 aus einem Lehrband ist noch komplizierter gestaltet: da ein dreidimensionaler Effekt erreicht werden soll, ist es sehr viel schwieriger, die Orientierungen der Sichtlinien und damit die Positionen der Punkte an der Sphäre zu beurteilen. Die Abbildung enthält einen zusätzlichen, von der Sichtlinienproblematik unabhängigen Mangel: Sichtlinie „12“, verläuft direkt durch die Sonne, eine für ein Astronomie-Lehrerhandbuch nicht unproblematische Darstellung⁵. Oder soll diese Sichtlinie über die Sonne hinweg gerichtet sein? Was würde dies für die räumliche Lage der Planetenbahn bedeuten?

Schneiden sich jeweils drei Sichtlinien Erde-Planet immer in einem gemeinsamen Punkt, wie in Abbildung 23 zweifach dargestellt? Nein: wenn die Punkte „E1“ und „E3“ auf der Erdbahn äquidistant gewählt und die Planetenpositionen „M1“ und „M3“ beliebig bestimmt werden, dann sind die Sichtlinien „1“ und „3“ festgelegt. Wird nun von „E2“ aus die Sichtlinie „2“ so gelegt, dass sie durch den Schnittpunkt der beiden zuvor festgelegten Sichtlinien geht, dann liegt der Bahnpunkt „M2“ aber nicht zwingend äquidistant zwischen „M1“ und „M3“. Auch für die Linien „4“ – „6“ sind zwar die Erd-, aber nicht die entsprechenden Planetenbahnpunkte äquidistant! Auch passt der Abstand der Punkte „E3“ und „E4“ auf der Erdbahn zeitlich gesehen nicht zum Abstand der entsprechenden Punkten „M3“ und „M4“.

⁵ Vgl. die kritische Analyse der Schulbuchdarstellungen des Roemer-Verfahrens in [31].

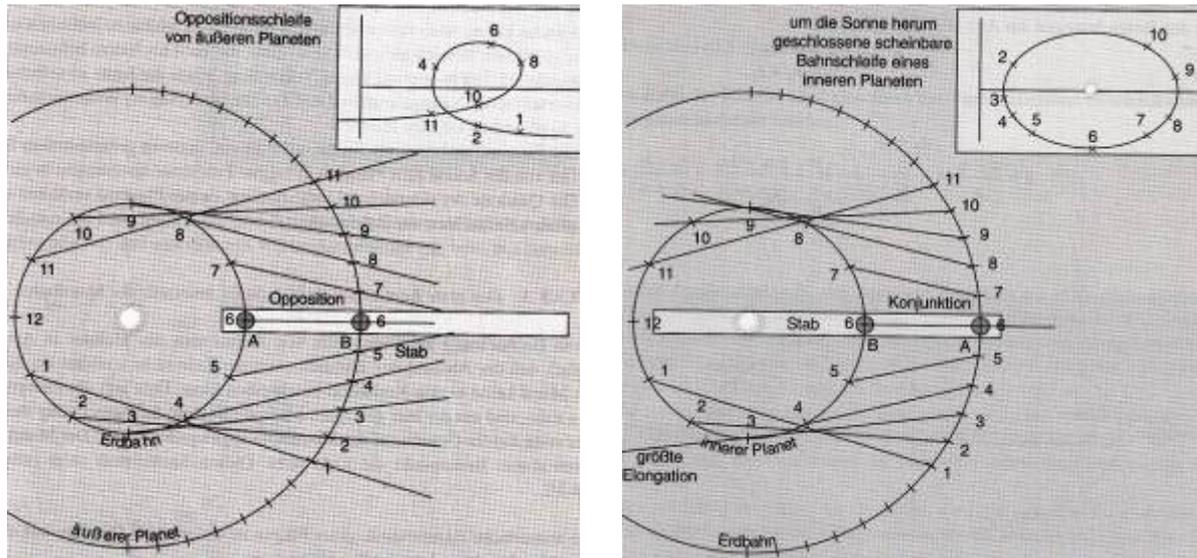


Abbildung 25: Quelle: [9].

- Punkt „2“ müsste an der Sphäre deutlich rechts von Punkt „6“ liegen.
- Sollen der horizontale und der vertikale Strich in dem eingeschobenen Bild Koordinatenachsen repräsentieren? Falls ja, welche? Die Vermutung liegt nahe, dass die vertikale Achse die ekliptikale Breite bedeuten soll: falls die horizontale Linie die Ekliptik darstellen soll, wäre die Lage der Schleife relativ zu der Ekliptik völlig verkehrt: zwischen „2“ und „3“ bzw. „8“ und „10“ lägen Knotenpunkte (= Schnittpunkte der Marsbahn mit der Erdbahnebene), was eine absurde räumliche Form der Marsbahn bedeuten würde.
- Punkt „1“ müsste an der Sphäre rechts von Punkt „10“ liegen.
- Punkt „4“ müsste an der Sphäre links von Punkt „3“ liegen.
- Die Punkte „4“ und „5“ müssten an der Sphäre fast zusammenfallen.
- Hier wird die Bedeutung der horizontalen Linie deutlich; es soll die Ekliptik sein, denn die Sonnenposition liegt auf ihr (vgl. die Bemerkung zu Abbildung 11).
- Eine Bahnschleife kann also niemals die oben dargestellte Form annehmen.

In Abbildung 26a sind die Sichtlinien didaktisch sinnvoll (unter der in guter Näherung akzeptablen Annahme konstanter Winkelgeschwindigkeiten beider Planeten) links und rechts symmetrisch zur Oppositionsstellung eingezeichnet. Daher sind die relativen seitlichen Positionen der durch die Sichtlinien Erde-Mars bestimmten Punkte an der Sphäre korrekt erfasst. Aber in Abbildung 26b sind die verwendeten Koordinaten problematisch! Die farblich hervorgehobenen parallelen Sichtlinien 3, 6 und 9 führen zu Punkten gleicher ekliptikaler Länge (und auf Grund der Neigung der beiden Bahnebenen zu unterschiedlichen ekliptikalen Breiten), und daher nicht notwendig zu Punkten gleicher Rektaszension!

Die Abbildungen 27 und 28 beruhen offensichtlich auf der zeitlich früher entstandenen Abbildung 26: Abbildung 27 ist gegenüber diesem Vorbild leicht vereinfacht (die Winkel sind weggefallen, drei parallele Sichtlinien sind nicht mehr optisch hervorgehoben); Abbildung 28 aber wurde gegenüber der Vorlage durch Einarbeitung sehr vieler zusätzlicher Sternpunkte und Hilfslinien der Sternbilder „Leo“ und „Virgo“ optisch „aufgepeppt“ (vgl. Abbildung 14!). Warum mussten es gerade diese Konstellationen sein? Jetzt kann nämlich die Lage der Schleife in Bezug auf die Ekliptik überprüft werden, und da passt nichts richtig zusammen: die dargestellte Schleife würde von der Ekliptik in zwei dicht nebeneinander liegenden Schleifenpunkten geschnitten! Dies ist (wie bereits an anderer Stelle gesagt) aus elementargeometrischen Gründen für die Bahn eines äußeren Planeten unmöglich. Im Bereich der Sternbilder „Leo“-„Virgo“ liegen reale geschlossene Marsschleifen nördlich (oberhalb) der Ekliptik, ohne diese so zu schneiden, wie es der Graphik nach sein soll.

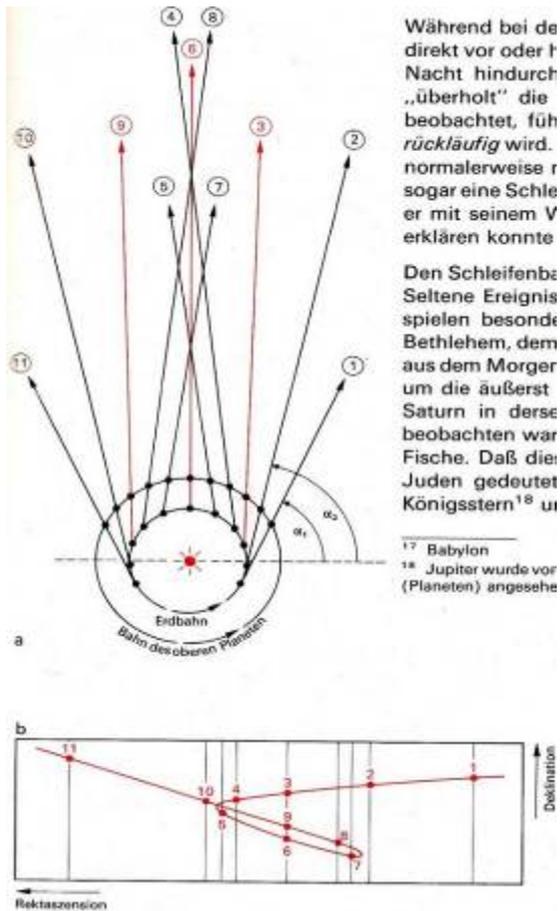


Abbildung 26 a,b: Quelle: [16].

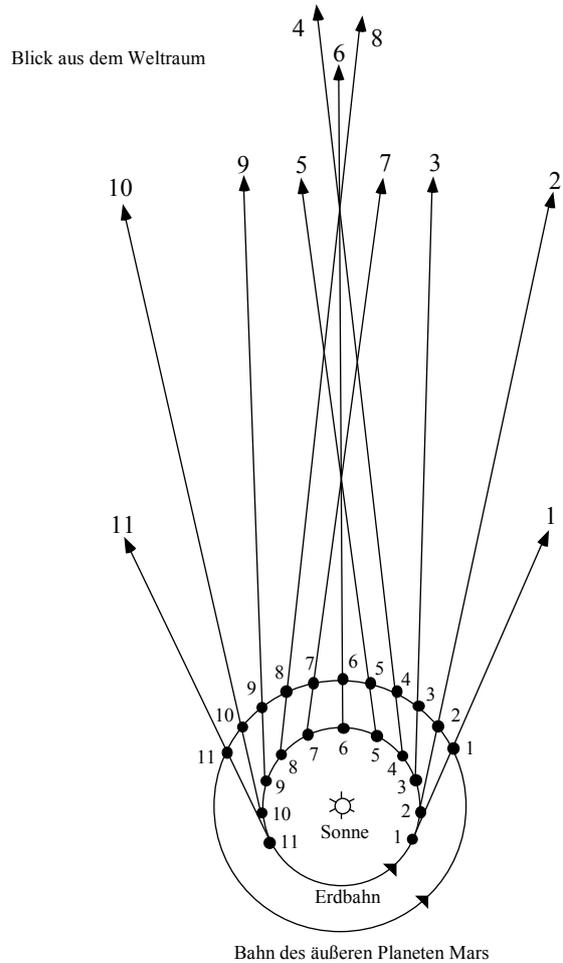


Abbildung 27: Quelle: [22].

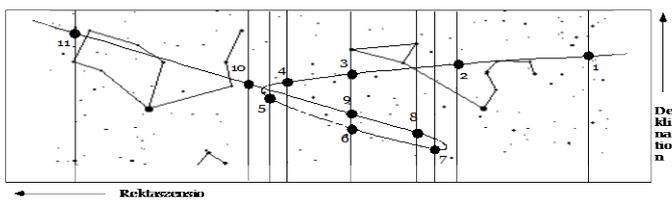


Abbildung 28: Quelle: [22].

Handelt es sich also auch hier um eine rein fiktive Darstellung? Für welches Jahr gilt die dargestellte Schleife? Und welcher Planet ist es denn nun: Saturn wie in Abb. 26 oder Mars wie in Abb. 27?

Auch bei modernen, als Didaktiker angesehenen Autoren finden sich Darstellungen, in denen die graphisch dargestellten Positionen der Schleifenpunkte nicht in Übereinstimmung mit den Richtungen der Sichtlinien sein können (Abb. 29). Und der Vergleich der Schleife in Abbildung 30 mit der tatsächlichen Bahn zeigt eine falsche Lage der Schleife und unsinnige Lage eines Knotenpunktes unmittelbar neben der Schleife!

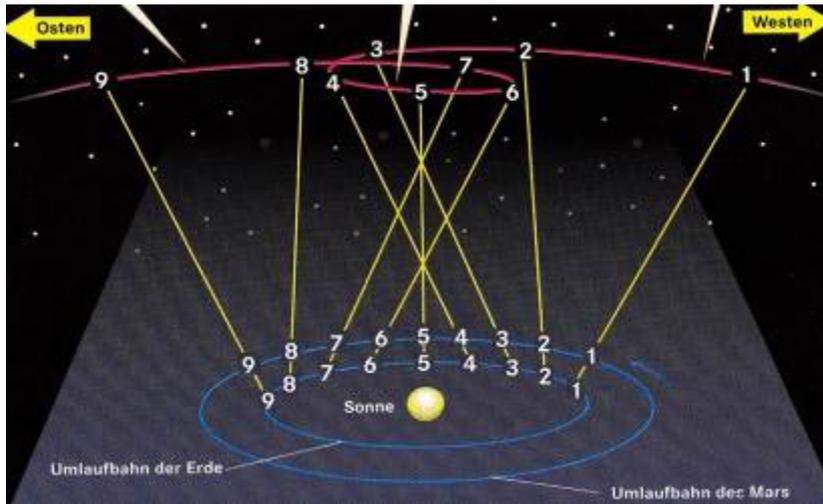


Abbildung 29: Quelle: [22].

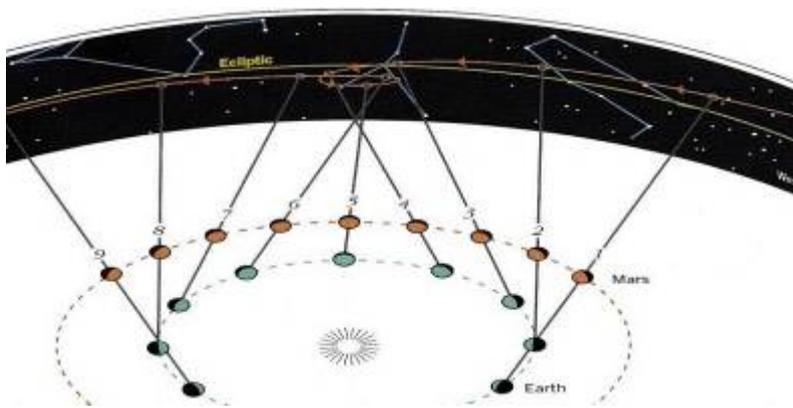


Abbildung 30: Zitat: „The numbered positions begin on October 15, 1994, and have one-month intervals up to June 15, 1995.“ Quelle: [35].



Abbildung 31: erstellt mit Cartes du Ciel.

Falls das didaktische Axiom „Ein Bild ersetzt tausend Worte“ zutrifft, kann man umgekehrt die These aufstellen, dass unter ungünstigen Bedingungen die Wirkung eines nicht sorgfältig genug ausgearbeiteten Bildes auch durch tausend Worte nur schwer korrigiert werden kann. Hier liegt vermutlich ein ernstes Problem, das der verstärkten Aufmerksamkeit der zuständigen Fachdidaktiken bedarf. Auch muss die Frage erlaubt sein, ob Unstimmigkeiten wie in Abbildung 5 im Rahmen einer Staatsexamensarbeit akzeptiert werden können: es geht immerhin um Fragen der Qualität der Ausbildung zukünftiger Lehrer(innen)!

Allen bisher angeführten Beispielen ist als zentrales Problem gemeinsam, dass es unmöglich ist, endliche Bahnen und die unendlich weit entfernte Sphäre in einer einzigen, notwendigerweise endlich begrenzten Zeichnung korrekt darzustellen. Hier müssen entweder zusätzliche Erläuterungen oder zwei deutlich voneinander getrennte Bilder Abhilfe schaffen. Dem Verfasser ist zurzeit als einzige nur die Publikation [24] mit fehlerfreier Erläuterung zum Schleifenphänomen bekannt.

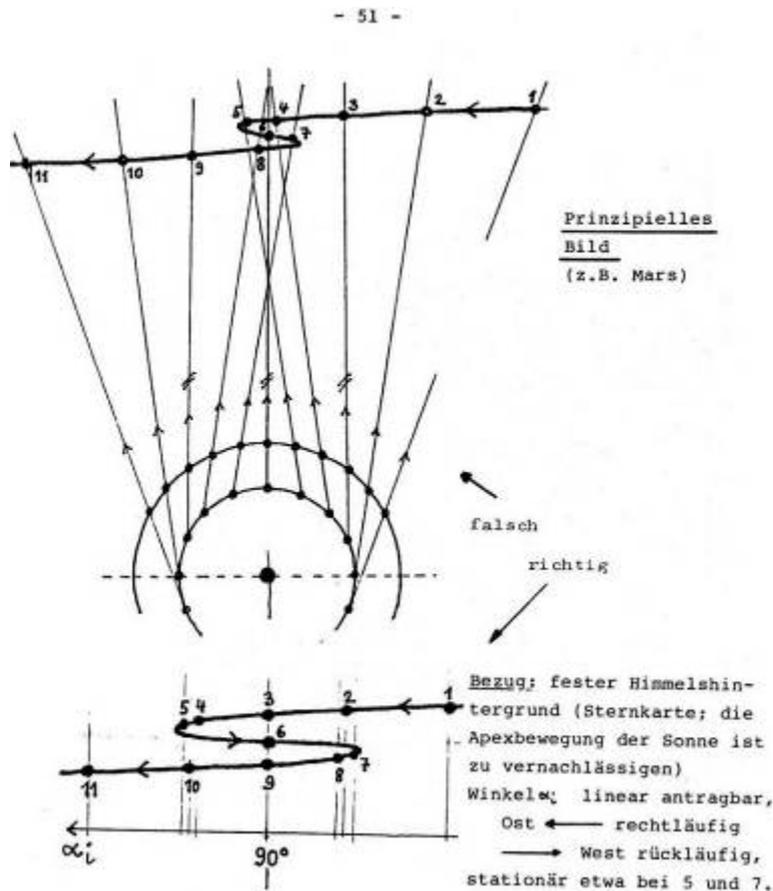


Abbildung 32: Zitat:
„Die Zeichnung auf S. 51 oben, die in den meisten Lehrbüchern der Astronomie und auch teilweise der Schulphysik verwendet wird, ist falsch. Die Projektionsebene (Himmelshintergrund) darf nämlich nicht in endlicher Entfernung von der Erde angenommen werden. Richtig ist es, die Sichtwinkel α (fortschreitend in ekliptikaler Länge) aufzutragen.“
Quelle: [24].

15. Auch wenn das Phänomen der Bahnschleifenschnittpunkte heute nicht (mehr) als erwähnenswert angesehen wird, irgendwann muss die SEPP-Methode zum ersten Mal erwähnt worden sein. Es kann wohl als ausgeschlossen gelten, dass etwa Kepler als herausragender Mathematiker nicht erkannt haben soll, dass einfache Pyramiden fundamentale Figuren zur Beschreibung der Planetenbewegungen im Rahmen des heliozentrischen Systems sind. Es könnte daher sinnvoll sein, Quellen bei Kopernikus, Kepler, Brahe⁶, Galilei, Gauss, Euler und Anderen auch unter diesem Aspekt hin zu untersuchen.

In Keplers 1606 veröffentlichtem Werk „De Stella Nova“ sind in einer Sternkarte die Position der Supernova des Jahres 1604 zusammen mit Mars-, Jupiter- und Saturnpositionen zwischen dem 17. 12. 1603 und dem 10. 10. 1604 sehr präzise in eine Sternkarte eingezeichnet: Abbildung 33 zeigt einen Ausschnitt dieser Karte. Ob Kepler die o. g. Sternkarte selbst gezeichnet hat oder eine bereits existierende Vorlage übernommen hat, konnte der Verfasser bisher nicht recherchieren.

⁶ Ausführliche Interpretationen der Beobachtungsdaten Tycho Brahes finden sich auf der Internetseite <http://www.pafko.com/tycho/home.html>

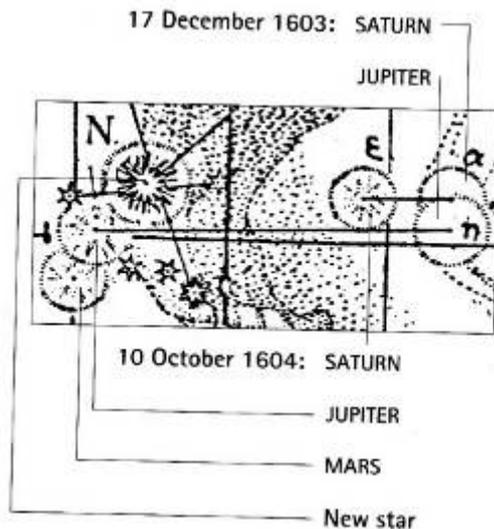


Abbildung 33: Quelle: [12].

In dem genannten Zeitraum durchliefen sowohl Jupiter als auch Saturn geschlossene Schleifenbahnen, Mars durchlief zwischen Dezember 1603 und Juni 1604 eine S-förmige Schleife in „Virgo“. Es ist plausibel anzunehmen, dass Kepler diese Bahnen kannte. Es liegt auf der Hand zu fragen, warum er nicht auch diese Bahnschleifen in der einen oder anderen Form in dieser oder weiteren Sternkarten eingetragen hat.

Die dem Verfasser älteste bekannte Darstellung einer Oppositionsschleife findet sich in Tafel 8 des Doppelmayr-Sternatlas: der Schnittpunkt der Saturnbahnschleife von 1708/1709 ist klar erkennbar. Im Vergleich mit einer Rekonstruktion zeigen sich auffallende Abweichungen der Positionen (Abbildungen 34, 35);



Abbildung 34: Quelle: [8].

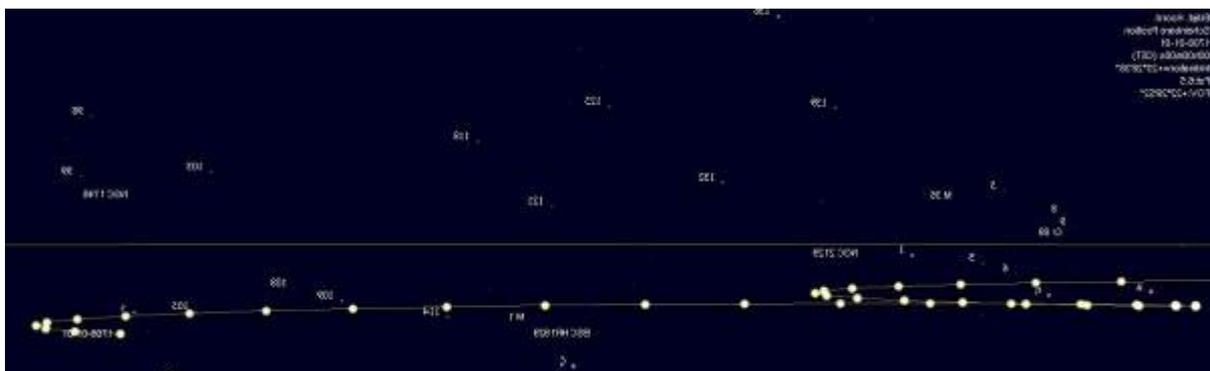


Abbildung 35: Saturnschleife von 1708/09 erstellt mit Cartes du Ciel.

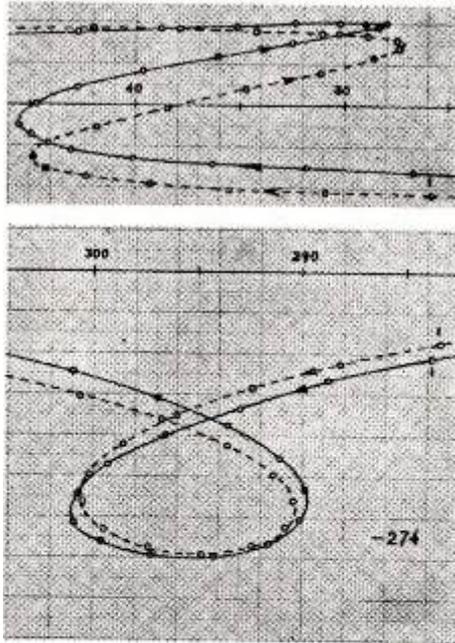


Abb. 27 Schleifenbahnen des Mars zwischen den Fixsternen • Die S-Schleife ist für die Jahreswende 236/5 v. Chr., die Kreisschleife für das Jahr 275 v. Chr. berechnet worden – und zwar in Bahnpunkten zu je zehn Tagen Abstand (weitere Erläuterungen wie in Abb. 25) (Zeichnungen, 1975).

Die Beobachtungen der erstmals 1702 im Druck publizierten Planetenschleifen wurden mit großer Wahrscheinlichkeit an der Nürnberger Eimmart-Sternwarte gemacht⁷.

Es existieren zahlreiche vor 1702 entstandene Karten, die Kometenbahnen relativ zur Fixsternsphäre zeigen; z. B. Toscanellis Darstellung des Kometen von 1457. Es erscheint unwahrscheinlich, dass nicht bereits vor Doppelmayr auch Karten mit Planetenbahnen gezeichnet worden sind. Allerdings liegen dem Verfasser dazu keine weiterführenden Erkenntnisse vor, so dass sich hier vielleicht ein Feld eigenständiger wissenschaftsgeschichtlicher Forschung eröffnen kann.

Zwei Beispiele aus der wissenschaftshistorischen Literatur seien exemplarisch angeführt: Die in Abbildung 27 genannte Jahreszahl -275 ist unzutreffend; BURGHARDT⁸ kommt zu dem eindeutigen Ergebnis, dass die dargestellte Marsschleife nur im Jahre – 254 stattgefunden haben kann. Diese von NEUGEBAUER genannte, vermutlich falsche Jahreszahl wurde aber offenbar nie nachgeprüft.

Abbildung 36: Quelle: [25].

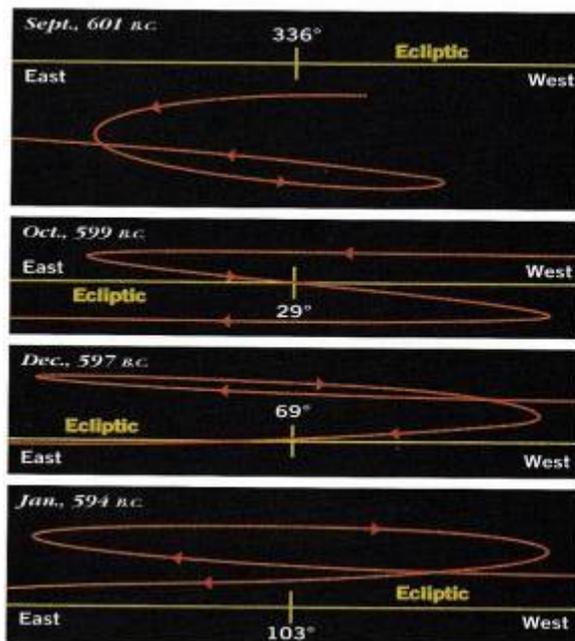


Abbildung 37: Quelle: [36].

FIGURE 2.2 Retrograde motions of Mars in Babylonian times: Mars appears at different positions along the ecliptic (indicated in degrees from the vernal equinox) for different times of retrograde motion indicated by the dates. The dates are for the *middle* of the retrograde motion. The positions along the ecliptic are measured from 0° at the position of the vernal equinox on the ecliptic. Note how the shape and size (and so the duration) of the retrograde loop vary. The Babylonian astronomers knew of these variations. The motions shown here are relative to the stars; east is to the left, west to the right. (Courtesy of Owen Gingerich.)

⁷ http://www.astronomieweg-nuernberg.de/astronomieweg_S07.asp

⁸ Burghardt, H. † (2011) Volkssternwarte Bonn, (priv. Mitteilung)

Die Simulation der beiden ersten Beispiele mit Hilfe von Cartes du Ciel ergibt deutlich andere, an der Vertikalen gespiegelte Kurven mit anderer Bewegungsrichtung!



Abbildung 38:
601 v. Ch. Erstellt mit Cartes du Ciel,



599 v. Ch. Erstellt mit Cartes du Ciel.

Die Hinweise auf „shape“ und „size“ sowie der darauf folgende Satz können möglicherweise unbeabsichtigt den Eindruck erwecken, als hätten bereits babylonische Astronomen zweidimensionale graphische Darstellungen zur Veranschaulichung der Bahnen verwendet: dies trifft natürlich nicht zu, diese Daten liegen ausschließlich als Tabellen in Keilschrift vor. Man kann sich nach Descartes kaum mehr vorstellen, wie sich allein aus solchen Tabellen, ohne geeignete bildliche Darstellung in einem zweidimensionalen Koordinatensystem eine anschauliche Vorstellung von den Bahnformen ergeben können soll; dies ist aber bei Beobachtung mit dem freien Auge unter Berücksichtigung der umgebenden Fixsterne relativ leicht möglich⁹.

Sachliche Ungenauigkeiten oder Fehler in Hochschullehrbüchern sind bedauerlich; bei Studenten der Physik/Astronomie oder ausgebildeten Spezialisten darf man vielleicht hoffen, dass Graphiken und Abbildungen trotz gewisser Mängel schon irgendwie richtig verstanden werden, weil das Entscheidende selbst im Kopf richtig ergänzt bzw. korrigiert werden kann. Aber verlässt sich die Hochschuldidaktik hier vielleicht zu voreilig auf die Vorleistungen des Schulunterrichts? Nachlässige Darstellungen in Hochschullehrbüchern können nicht als Entschuldigung dafür herhalten, Ungenauigkeiten und Mängel in Schulbüchern zu übernehmen. Auch Lehrerhandbücher, die ausgewählte Materialien für anspruchsvolle Mittel- oder Oberstufenunterrichtsinhalte der allgemeinbildenden Schulen bereitstellen, müssen höheren Ansprüchen genügen. Keinesfalls darf es im schulischen Bereich nach dem Motto gehen: „Der Schüler wird schon wissen, was gemeint ist.“ Es ist daher zwingend geboten, die bisher in Schulbüchern verwendeten Abbildungen und Erläuterungen zum Phänomen „Planetenbahnen“ zu überprüfen und zu überarbeiten. Die Fachdidaktik muss auch Antworten auf die Frage finden, inwieweit die SEPP-Methode und die damit zusammenhängenden Überlegungen als Unterrichtsgegenstand des regulären Physik- oder Astronomieunterrichts zukünftig im Unterricht einzubinden sein sollten.

⁹ Siehe [2]

Quellen

1	Backhaus, U.; Lindner, K. (2005) <i>Astronomie plus</i> . Berlin: Cornelsen, 42
2	Backhaus, U. www.didaktik.physik.uni-essen.de/~backhaus/.../PlanetenbewegungNeu.pdf
3	Backhaus, U.; Boysen, G. et al. (2007) <i>Fokus Physik</i> Gymnasium Baden-Württemberg Bd. 2. (2007). Berlin: Cornelsen, 262
4	Barth, F.; Krumbacher, G.; Barth, E. (2000). <i>Anschauliche Analytische Geometrie</i> . München: Oldenbourg Verlag, 121
5	Bennett, J.; Donahue, M.; Schneider, N.; Voit, M. (2010). <i>Astronomie</i> . München: Pearson Studium, 66
6	Spektrum der Wissenschaft Biografie Galilei 1/1998, S.33; oder Spektrum der Wissenschaft Biografie-ND Galilei 1/2002, S.33; oder Spektrum der Wissenschaft Biografie Kepler 4/2000, S.32; oder Spektrum der Wissenschaft Biografie Kopernikus 1/2003, S.16., Bildurheber: Le Scienze / Spektrum der Wissenschaft
7	Comins, N.F. (2011). <i>Astronomie</i> . Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 36
8	Doppelmayr <i>Sternatlas</i>
9	Zustandekommen der Planetenschleifenbahn bei äußeren/inneren Planeten Götz, Rainer/Dahncke, Helmut/Langensiepen, Fritz (Hrsg.): <i>Handbuch des Physikunterrichts Sek. I. Bd. 8. Atom- und Kernphysik/Astronomie/Technikbezüge</i> . Hallbergmoos: Aulis Verlag in der Stark Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG 1998, S. 267
10	Henkel, H.R. (1991). <i>Astronomie</i> . Thun: Verlag Harri Deutsch, 30
11	Herrmann, D. B.(Hrsg) (1994). <i>Astronomie Sekundarstufe I</i> . Berlin: paetec, 54
12	Hoskin, M. (ed.) (1997). <i>The Cambridge Illustrated History of Astronomy</i> . Cambridge: Cambridge University Press, 197
13	Rückläufigkeit von Planeten: Kirchhoff, Hans-W. (Hrsg.): <i>Materialien-Handbuch Physik. Bd. 1. Mechanik, Astronomie</i> . Hallbergmoos: Aulis Verlag in der Stark Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG 1991, S. 266.
14	KUHN, W. (2000). <i>PHYSIK 2 Grundkurse Sek II Westermann Schulbuchverlag, Braunschweig, 987-3-14-152141-2, 59</i>
15	Kuhn, T.S. (1957). <i>The Copernican Revolution</i> . Harvard: Harvard University Press
16	Lerner, R.: <i>Grundkurs Astronomie. Bayerischer Schulbuch-Verlag, München, 3. Auflage 1990, S. 63.</i>
17	Lindner, K.; Schukowski, M. (1994). <i>Astronomie. (Lehrerband)</i> . Berlin: Volk und Wissen , 47
18	Lindner, K.; Schukowski, M. (1994). <i>Astronomie</i> . Berlin: Volk und Wissen , 55
19	Motz, L.; Duveen, A. (1971). <i>Essentials of Astronomy</i> . New York: Columbia University Press, 135
20	nasa.gov/apod/image/0312/retrogrademars03 Copyright Tunc Tezel
21	Neckel, T.; Montenbruck, O. (2001). <i>Ahnerts Astronomisches Jahrbuch 2001</i> . Heidelberg: Verlag Sterne und Weltraum, 304
22	PARK KÖRNER <i>Astronomie I, II, III</i> . München: Verlag für digitale Unterrichtsvorbereitung
23	Rotering, T. (2008). <i>Darstellung antiker Planetenmodelle mit Hilfe von dynamischer Geometrie-Software</i> . Duisburg: Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufen II und I. rotering-net.de/edu/files/staatsarbeit1.pdf
24	Staatsinstitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung München (1988). <i>Handreichungen für den PHYSIKUNTERRICHT im Gymnasium Kollegstufe Grundkurs Astronomie</i> . Donauwörth: Verlag Ludwig Auer, 51
25	Teichmann, J. (1980). <i>Wandel des Weltbilds</i> . München: Deutsches Museum, 30
26	Unsöld, A. (1967). <i>Der neue Kosmos</i> . Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 24
27	Unsöld, Albrecht (1974): <i>Der neue Kosmos</i> . Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, ISBN: 978-3-662-06535-8, Fig. 5.1 auf Seite 23
28	Wallasch, J. (2011). <i>Die Bahngeschwindigkeit des Mars</i> . <i>Astronomie + Raumfahrt</i> 105/106, 60
29	Wallasch, J. (2010) 636 <i>Unterrichts-Materialien Physik , Aufgabe A.32.19 bzw.</i>
30	6362 <i>Unterrichts-Materialien Physik , Aufgabe I.2.17 , Freising: STARK-Verlag</i>
31	Wallasch, J. (1982). <i>Ole Roemer und die Lichtgeschwindigkeit...</i> Bad Salzdetfurth: <i>physica didactica</i> 9, 81
32	Wallasch, J. (2008). <i>Bahnschleifenschnittpunkte – ein übersehenes Phänomen?</i> <i>Astronomie + Raumfahrt</i> 121, 38
34	Weigert, A.; Wendker, H.J. (1989). <i>Astronomie und Astrophysik – ein Grundkurs</i> . Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft, 30
35	Zeilik, M. (1997). <i>Astronomy The Evolving Universes</i> . New York: John Wiley & Sons, 27
36	Zeilik, M. (1997). <i>Astronomy The Evolving Universes</i> . New York: John Wiley & Sons, 44
37	Zinner, E. (1988). <i>Entstehung und Ausbreitung der copernicanischen Lehre</i> . München: Verlag C.H. Beck, 181
38	<i>Ahnerts Astronomisches Jahrbuch 2013</i> , Heidelberg: Verlag Spektrum der Wissenschaft , 112 und 136

WIS-Quellen, die das Thema berühren

Maintz, Monika: „Schleifenbewegung von Planeten“, WIS 1/2010