

Schleifenbewegung von Planeten

Monika Maintz

Beobachtet man die Position der äußeren Planeten Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun am Nachthimmel, so stellt man fest, dass sich diese relativ zu den Fixsternen im Jahreslauf verändert. Die Bewegung der Planeten am Firmament ist aber nicht gleichmäßig. Mal bewegen sie sich schneller, mal langsamer. Manchmal drehen sie sogar ihre Bewegungsrichtung um und durchlaufen eine Schleife. Diese ungleichmäßige Bewegung der äußeren Planeten vor dem Fixsternhintergrund war schon den Babyloniern bekannt. Die Griechen, bei denen sich ein geozentrisches Weltbild mit der Erde im Mittelpunkt durchgesetzt hatte, erklärten diese Beobachtung recht umständlich durch ineinander geschachtelte Kreise (Epizykel), auf denen sich die Planeten bei ihrem Umlauf um die Erde bewegen sollten. Erst durch die Planetengesetze, die Johannes Kepler in seiner *Astronomia Nova* im Jahr 1609 veröffentlichte, gelang der Nachweis, dass nicht die Erde, sondern die Sonne im Mittelpunkt der Planetenbahnen steht. Damit war der Siegeszug des kopernikanischen (*heliocentrischen*) Weltbildes nicht mehr aufzuhalten. Die scheinbare ungleichmäßige Bewegung der Planeten und eine damit einhergehende Schleifenbewegung kann in diesem System durch einen rein geometrischen Effekt erklärt werden. Im Folgenden wird gezeigt, wie dieser Effekt zustande kommt und was man daraus über die Bahngeschwindigkeiten der Planeten lernen kann. Dazu wird eine Planetenschleife konstruiert.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Physik	Mechanik	3. Keplersches Gesetz, Zweikörperproblem, Bewegung im Zentralkraftfeld
Astronomie	Planeten, Positionsastronomie	Himmelsmechanik, Planetenschleifen, Konjunktionen

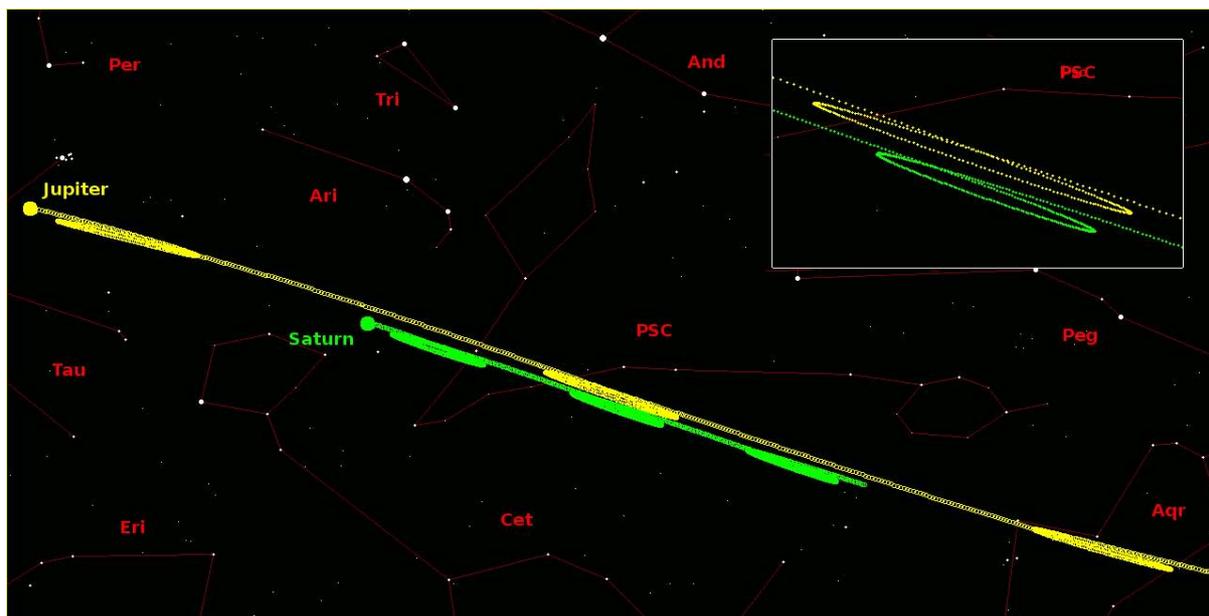


Abbildung 1: Bahnbewegung von Jupiter (gelb) und Saturn (grün) im Zeitraum vom 1. März 8 v. Chr. bis zum 22. März 5 v. Chr. Beide Planeten durchlaufen in dieser Zeit drei Bahnschleifen. Infolge der Dreifachkonjunktion von Jupiter und Saturn im Jahr 7 v. Chr. liegen die beiden mittleren Schleifen übereinander (rechts oben vergrößert dargestellt). Erläuterungen zu den abgekürzten Namen der Sternbilder, durch die die Planeten wandern, finden sich im Anhang, Tabelle 1. (Bild: Monika Maintz, unter Verwendung der Planetarium-Software BESSEL 5 von Antonius Schrode, www.astronomie-exakt.de)

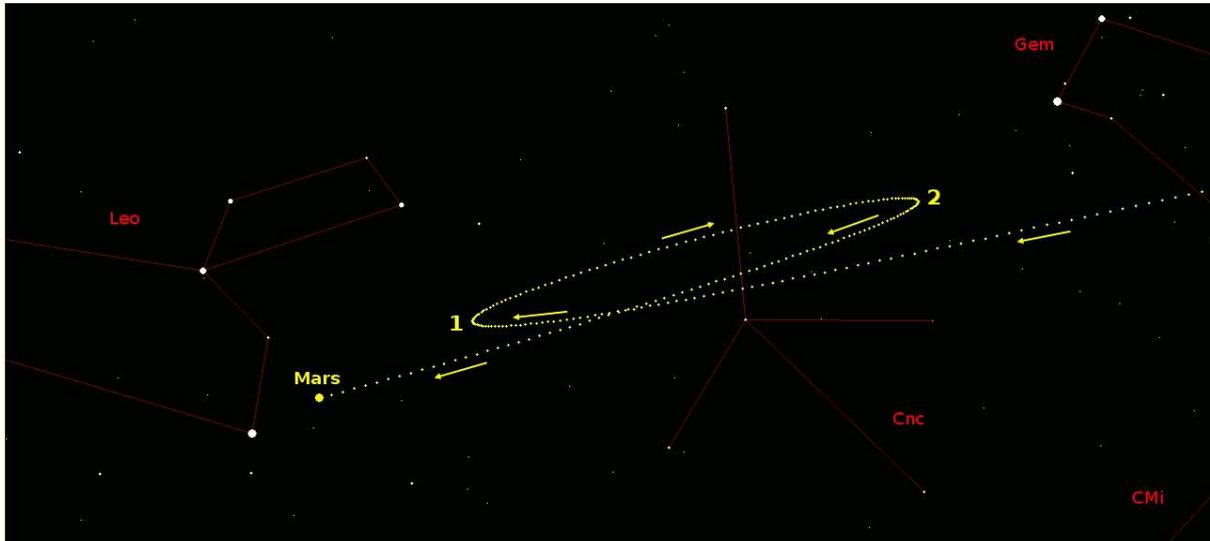


Abbildung 2: Schleifenbewegung des Planeten Mars. Die kleinen gelben Punkte geben die Position des Planeten am Sternhimmel im Abstand von jeweils einem Tag an. Die jeweiligen Bewegungsrichtungen sind durch gelbe Pfeile gekennzeichnet. Mit „1“ bzw. „2“ sind die Positionen markiert, an denen Mars scheinbar für einige Zeit am Himmel still steht. Die roten Verbindungslinien kennzeichnen die Sternbilder, durch die sich Mars gerade bewegt. Bezüglich der Sternbildnamen siehe Anhang, Tabelle 1. (Bild: Monika Maintz, unter Verwendung der Planetarium-Software BESSEL 5 von Antonius Schrode, www.astronomie-exakt.de)

Bahnbewegung der Planeten

Beobachtet man die Bewegung der äußeren Planeten Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun vor dem Hintergrund des Sternhimmels in regelmäßigen Zeitabständen, dann stellt man folgendes fest:

1.) Die Planeten legen in Bezug auf die Sterne in gleichen Zeiträumen unterschiedlich lange Strecken zurück (vgl. Abb. 2: Die Abstände der gelben Punkte, die die Position des Mars für aufeinander folgende Tage am Sternhimmel markieren, variieren zu bestimmten Zeiten beträchtlich). D.h. die Planeten bewegen sich in gleichen Zeiträumen unterschiedlich schnell vor dem Hintergrund des Sternhimmels.

2.) Zu bestimmten Zeiten werden die Planeten langsamer (Abb. 2, Bewegung in Richtung „1“), um schließlich für einige Zeit still am Himmel stehen zu bleiben (Abb. 2, Position 1). Dann kehren sie ihre Bewegungsrichtung um (d. h. sie werden „rückläufig“) und bewegen sich entgegengesetzt zur ursprünglichen Richtung mit zunehmender Geschwindigkeit weiter, um dann erneut langsamer zu werden und ein zweites Mal stehen zu bleiben (Abb. 2, Bewegung von Position 1 zu Position 2). Dann kehren sie wieder um und bewegen sich mit zunehmender Geschwindigkeit wieder in ihre ursprüngliche Richtung (Abb. 2, Bewegung ab Position 2). Auf diese Weise entsteht eine Schleifenbewegung.

Wir wissen nun, wie sich die Planeten vor dem Hintergrund des Sternhimmels verhalten und welche scheinbaren Bewegungen sie ausführen. Im Folgenden soll untersucht werden, welcher Effekt für die Entstehung der Planetenschleifen tatsächlich verantwortlich ist.

Aufgaben

Betrachte Abbildung 3 bzw. das Aufgabenblatt: Die blauen und roten Quadrate geben die Positionen von Erde und Mars in Bezug zur Sonne (gelbe Kreisfläche) in einem Zeitraum von etwa neun Monaten maßstabsgetreu wieder.

- 1.) Konstruiere die Bewegung des Planeten Mars, wie man sie von der Erde aus an einer hypothetischen unendlich weit entfernten Fixsternkugel (schwarzer Kreisbogen) beobachten würde. Verbinde dazu die mit denselben Zahlen gekennzeichneten Positionen von Erde und Mars auf dem Aufgabenblatt mit Lineal und Stift und verlängere die Verbindungslinie so, dass sie den schwarzen Kreisbogen schneidet. Nummeriere den Schnittpunkt mit der Zahl, die der Position der beiden Planeten bezüglich der Sonne entspricht.
- 2.) Betrachte die entstandenen Bogensegmente und überlege, was ihre Länge über die scheinbare Geschwindigkeit des Planeten aussagt.
- 3.) Betrachte die scheinbaren Positionen des Mars an der hypothetischen Fixsternkugel und versuche, diese Positionen und ihr Verhalten durch die tatsächlichen Bewegungsvorgänge im Sonnensystem (erschließbar durch die Positionen der blaue und rote Quadrate) zu erklären.
- 4.) Vergleiche die Strecken, die Erde und Mars tatsächlich im selben Zeitraum zurücklegen. Was lässt sich daraus über die Umlaufgeschwindigkeiten der beiden Planeten ableiten?

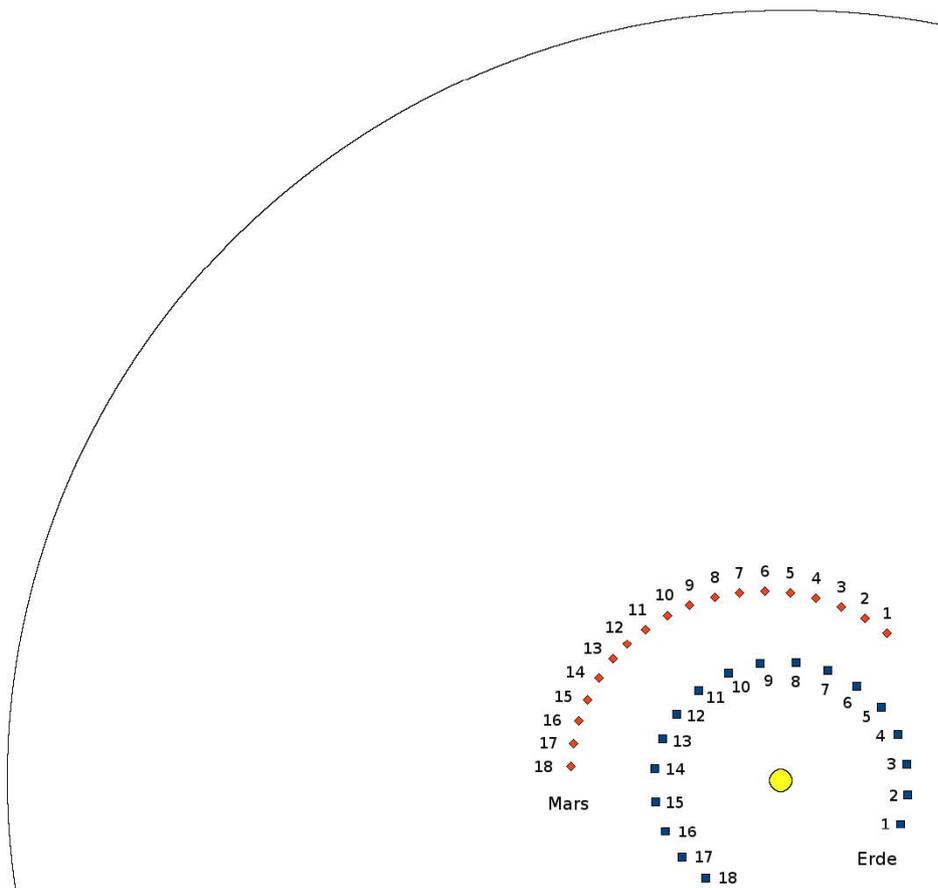
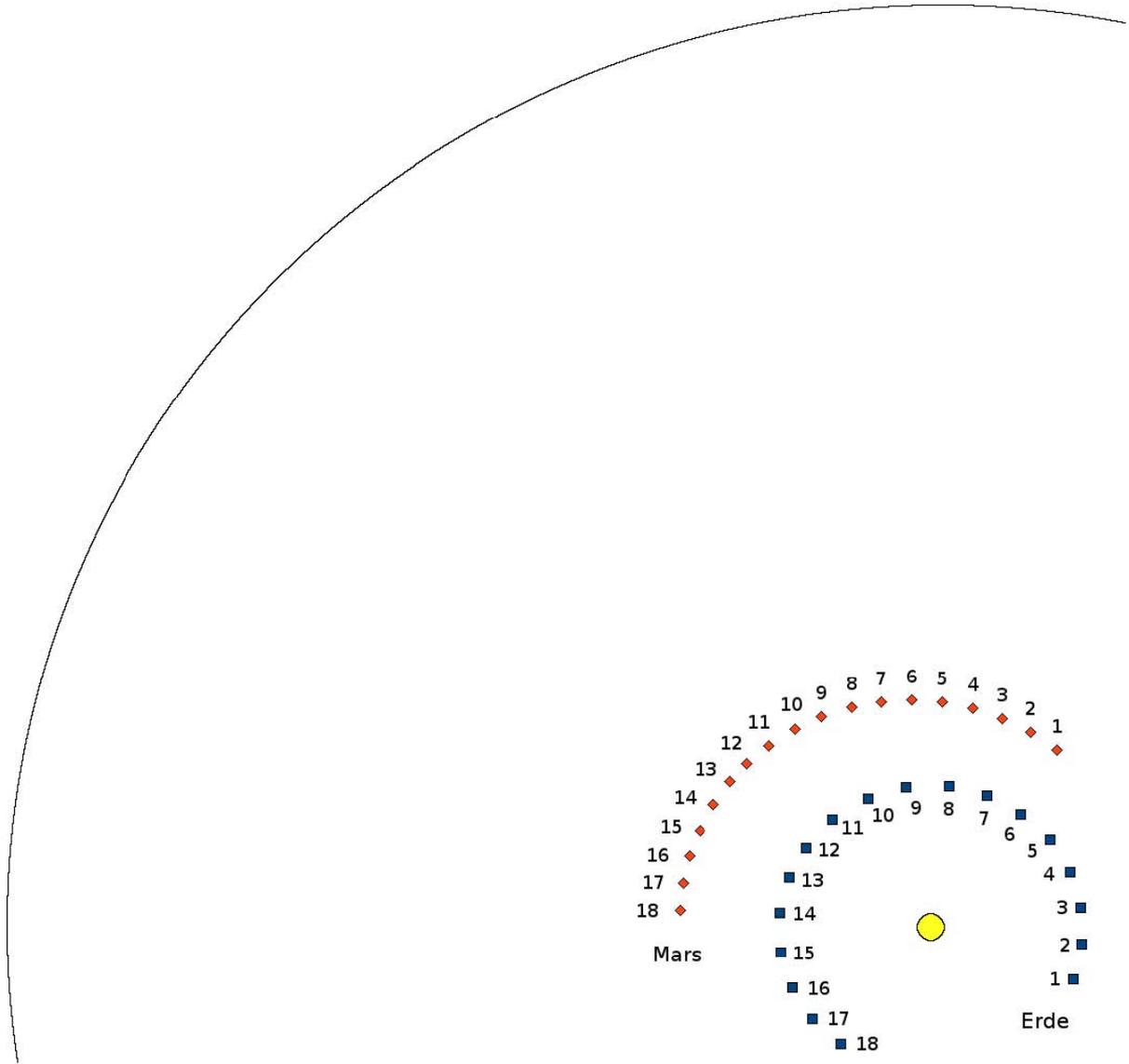


Abbildung 3: Positionen von Erde (blaue Quadrate) und Mars (rote Quadrate) in Bezug zur Sonne (gelbe Kreisfläche) zu bestimmten Zeitpunkten in einem Zeitraum von ca. neun Monaten. Zwei aufeinander folgende Positionen unterscheiden sich um jeweils rund 15 Tage. Der schwarze Kreisbogen stellt die unendlich weit entfernt gedachte Fixsternkugel dar, an die die Bewegung von Mars projiziert wird. (Bild: Monika Maintz, unter Verwendung der Planetarium-Software BESSEL 5 von Antonius Schrode, www.astronomie-exakt.de)

Arbeitsblatt



Lösungen

Das Ergebnis der Konstruktion der Marsbewegung ist in Abb. 4 dargestellt. Gelbe Punkte markieren die Positionen, an denen der Planet im zeitlichen Abstand von jeweils etwa 15 Tagen an der gedachten Fixsternkugel zu beobachten ist. Anhand der Nummerierung ist folgendes zu erkennen:

- 1.) Die Entfernungen von jeweils zwei benachbarten Punkten bzw. Positionen, d.h. die Längen der entsprechenden Kreissegmente variieren stark.
- 2.) Die Kreissegmente zwischen den Positionen 1 bis 9 werden kontinuierlich kleiner. Dies entspricht einer scheinbar immer kleiner werdenden Bahngeschwindigkeit des Mars.
Durch den Vergleich der Positionen 1 bis 9 von Erde (Abb. 4, blaue Quadrate) und Mars (Abb. 4, rote Quadrate) in Bezug auf die Sonne (Abb. 4, gelbe Kreisfläche) wird deutlich, dass dieses scheinbare „langsamer Werden“ dadurch hervorgerufen wird, dass sich die Erde immer weiter auf Mars zu bewegt und ihn schließlich einholt.
- 3.) Zwischen Position 9 und 13 kehrt sich die Bewegungsrichtung von Mars um. Man sagt: „Mars wird rückläufig“. Dabei wird er zwischen Position 9 und 11 wieder schneller, um dann zwischen Position 11 und 13 wieder langsamer zu werden (d.h. die Kreissegmente zwischen den gelben Punkten werden erst etwas größer und dann wieder kleiner).
Der Vergleich der Positionen 9 bis 13 von Erde und Mars bezüglich der Sonne zeigt, dass die Erde beginnt, Mars zu überholen, und schließlich an ihm vorbeizieht.
- 4.) Zwischen Position 13 und 18 kehrt sich die Bewegungsrichtung von Mars wieder um und er läuft in seiner ursprünglichen Richtung weiter. Die Länge der Kreissegmente nimmt dabei wieder kontinuierlich zu. D.h. Mars wird wieder „schneller“.
Der Vergleich der Positionen 13 bis 18 von Erde und Mars bezüglich der Sonne zeigt, dass die Erde ihren Überholvorgang abgeschlossen hat und sich nun wieder kontinuierlich von Mars entfernt.
- 5.) Zwischen den Positionen 6 und 16 durchläuft Mars eine Schleife (siehe auch Abb. 5). Diese Bewegung lässt sich dadurch erklären, dass sich die Erde während ihres Umlaufs um die Sonne in einem bestimmten Zeitraum an Mars annähert und ihn dann überholt oder salopp gesagt, dass die Erde „auf der Innenkurve an Mars vorbeizieht“.

Die Untersuchung der Länge der Kreissegmente zwischen einzelnen Positionen der Erde bzw. des Mars auf ihren Umlaufbahnen um die Sonne, d.h. der Vergleich der jeweiligen Strecken, die die Erde bzw. der Mars in gleichen Zeiträumen zurückgelegt haben, führt zu folgendem Ergebnis:

- 1.) Die Strecken, die die Erde im Abstand von jeweils etwa 15 Tagen zurückgelegt hat, sind größer als diejenigen Strecken, die der Mars in denselben Zeiträumen zurückgelegt hat.
- 2.) Wenn Mars im Vergleich zur Erde in denselben Zeiträumen kürzere Strecken zurücklegt, lässt das den Schluss zu, dass die Geschwindigkeit von Mars auf seiner Umlaufbahn um die Sonne niedriger ist als die Umlaufgeschwindigkeit der Erde. Diese Schlussfolgerung stimmt mit der Aussage des 3. Kepler'schen Gesetzes überein. Es besagt, dass Planeten, die weiter von der Sonne entfernt sind, kleinere Umlaufgeschwindigkeiten haben.

Fazit: Die Erde steht näher an der Sonne als Mars und hat daher eine größere Bahngeschwindigkeit. Folglich kann sie Mars bei ihrem Umlauf um die Sonne überholen, wodurch dieser am Sternhimmel eine Schleife durchläuft. Diese scheinbare Schleifenbewegung ist somit durch einen geometrischen Effekt vollständig erklärbar, der durch die unterschiedliche Bahngeschwindigkeit von Erde und Mars hervorgerufen wird.

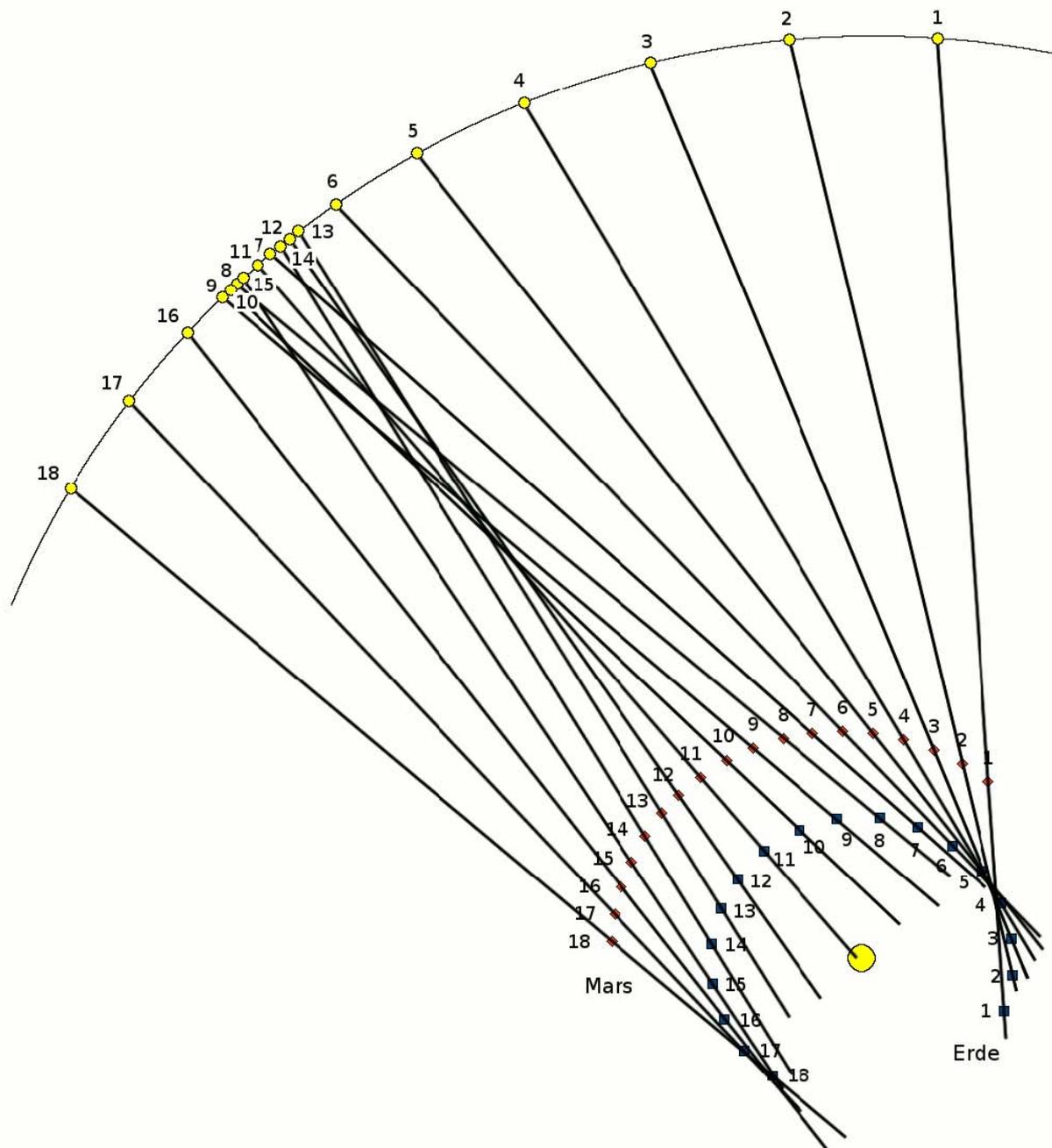


Abbildung 4: Ergebnis der Konstruktion der Bewegung des Mars vor dem Fixsternhintergrund. Die durchnummerierten gelben Punkte geben die scheinbaren Positionen des Mars an der unendlich weit entfernt gedachten Fixsternkugel wieder. (Bild: Monika Maintz)

Dies gilt analog auch für die anderen äußeren Planeten, Jupiter und Saturn (Abb. 1) sowie Uranus und Neptun. Auch bei diesen Planeten kann man Schleifenbewegungen beobachten, die sich durch die unterschiedlichen Bahngeschwindigkeiten der Planeten erklären lassen.

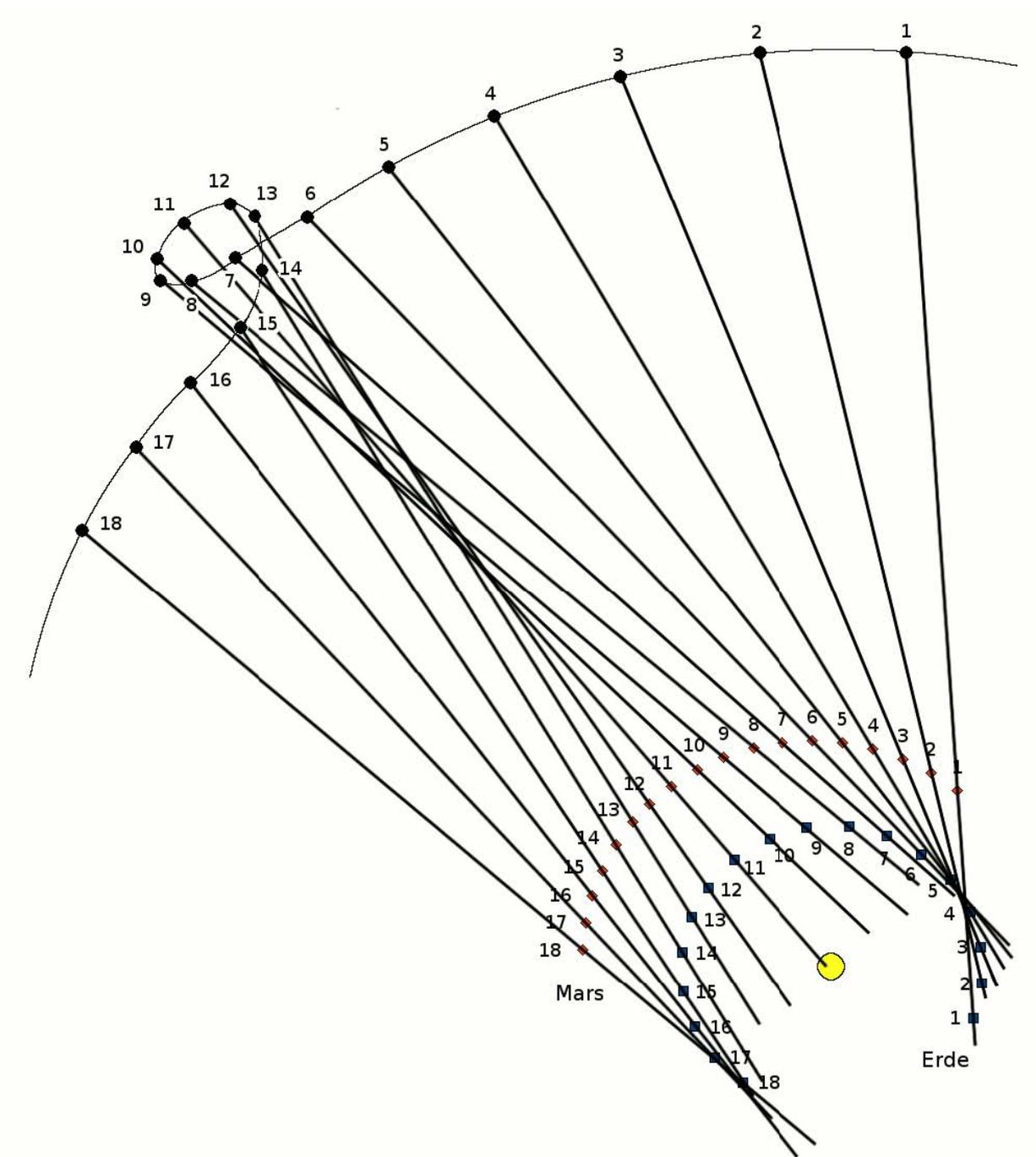


Abbildung 5: Ergebnis der Konstruktion der Bewegung des Mars vor dem Fixsternhintergrund. Um die Schleifenbewegung besser sichtbar zu machen, sind die Marspositionen im Gegensatz zur Darstellung in Abb. 4 auseinander gezogen und durch eine schwarze Linie verbunden. (Bild: Monika Maintz)

Anhang

Standardabkürzung	Lateinische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung
And	Andromeda	Andromeda
Ari	Aries	Widder
Aqr	Aquarius	Wassermann
Cet	Cetus	Walfisch
CMi	Canis Minor	Kleiner Hund
Cnc	Cancer	Krebs
Eri	Eridanus	Eridanus
Gem	Gemini	Zwillinge
Leo	Leo	Löwe
Peg	Pegasus	Pegasus
Per	Perseus	Perseus
Psc	Pisces	Fische
Tau	Taurus	Stier
Tri	Triangulum	Dreieck

Tabelle 1: Name der in Abbildung 1 und 2 auftretenden Sternbilder