

# Bestimmung der Radien von Planetenbahnen mit Fernglas und Sternkarte

U. Backhaus

(Praxis der Naturwissenschaften **39/5**, 10(1990))

Wie viele, denen die „*Keplerschen Gesetze*“ so leicht von der Zunge gehen, haben jemals einen Planeten *gesehen*, das heißt, nicht nur einfach als einen hellen Stern gezeigt bekommen, sondern sich etwas mit ihm angefreundet und seiner Wegspur durch die Sternbilder, seinem zögernden Gang, seinem heimlichen Aufglänzen? (*Wagenschein* 1967)

## 1 Einleitung

An dem von *Wagenschein* 1967 beschriebenen Mangel an Erfahrungen mit Vorgängen am Himmel bei Schülern und Erwachsenen hat sich bis heute wenig geändert. Noch immer werden die Phasengestalten des Mondes von einem großen Teil der Befragten auf den Erdschatten zurückgeführt, noch immer sind die Planeten und ihre Bewegungen nur theoretisch bekannt („Kann man die mit bloßen Augen sehen?“). Die Behandlung astronomischer Kenntnisse wird weiterhin von Lehrplänen und Schulbüchern stiefmütterlich behandelt. Wenn sie aber trotzdem Gegenstand von Unterricht sind, werden kaum eigene Beobachtungen gesammelt, ja nicht einmal mögliche Beobachtungen beschrieben und ausgewertet. („Im vorliegenden Buch vermisst man jedoch diesen didaktischen Primat der Beobachtung. So wird beispielsweise die Schleifenbewegung der Planeten nicht als beobachtbares Phänomen eingeführt, sondern sie tritt - nach einer kurzen Erwähnung als Motivation für das ptolemäische Weltbild - erst nach der Behandlung des kopernikanischen Systems, der *Keplerschen Gesetze* und des Gravitationsgesetzes in Erscheinung, und zwar theoretisch hergeleitet als geozentrische Konsequenz aus den heliozentrischen Planetenbahnen.“(*Zimmermann* 1990) „Bei der Durchnahme der *Keplerschen Gesetze* in der Klasse 12 beschleicht den Physiklehrer in der Regel ein gewisses Unbehagen: Einige Bemerkungen über die fantastischen Beobachtungsdaten von *Tycho Brahe* und die jahrelange, mühselige Rechenarbeit von *Johannes Kepler* münden ziemlich bald in die Formulierung der drei *Keplerschen Gesetze*, die auf diese Weise ziemlich unvermittelt vom Himmel des heliozentrischen Weltbildes fallen. Es folgt dann die Herleitung des Gravitationsgesetzes. Ich möchte den umgekehrten Weg vorschlagen: Eine Computersimulation, die nur das Gravitationsgesetz benutzt, ‚zeigt‘ die *Keplerschen Gesetze*.“ (*Berg* 1990)

Bis vor einigen Jahren waren auch für mich die Planeten nur helle Sterne, deren Namen ich zwar kannte, aber keinem der vielen Lichtpunkte am Himmel zuordnen konnte. Das

änderte sich schnell, als ich im Rahmen eines didaktischen Seminars mit Studenten über *Wagenscheins* Aufsatz sprach und wir gemeinsam die ersten Versuche unternahmen, den Planeten auf die Spur zu kommen. Seit mir dann noch ein Kollege am Ratsgymnasium in Osnabrück sein altes astronomisches Beobachtungsbuch zur Verfügung stellte und mich auf zwei seiner Aufsätze (*Brankamp* 1952/53 und *Brankamp* 1957/58) hinwies, habe ich die Planeten nicht mehr aus den Augen verloren. Seitdem gibt es in meiner Familie regelmäßig Diskussionen, wenn Stativ, Nachtglas und Himmelsatlas noch in das vollgepackte Urlaubsauto passen müssen.

Ich möchte mit diesem Aufsatz an die Aufsätze von *J. Brankamp* erinnern und dazu anregen, sich mit den Planeten anzufreunden und schließlich ihre Bewegung auch quantitativ auszuwerten.

## 2 Die scheinbare Bewegung der Planeten und ihre Deutung

Die Planeten Venus, Jupiter und Mars sind nach Sonne und Mond die hellsten Objekte am Sternenhimmel, und auch Saturns Helligkeit wird nur von wenigen Fixsternen übertroffen. Merkur kann zwar auch sehr hell werden, ist aber wegen seiner Nähe zur Sonne schwierig zu beobachten. Ich habe ihn erst ein paar Male als Lichtpunkt in der Dämmerung ausmachen können. (Damit bin ich aber bereits erfolgreicher als *Kopernikus*, der ihn nie mit eigenen Augen gesehen haben soll!). Die Planeten verändern ihre Position am Sternenhimmel. Anders als beim Mond offenbart sich ihre Bewegung aber erst einem geduldigen und genauen Beobachter, der gelernt hat, denselben Planeten über längere Zeit am Himmel wiederzufinden und sich seine Stellung relativ zu den umgebenden Fixsternen zu merken. Dann allerdings offenbaren sich dem Betrachter faszinierende und verwirrende Verhaltensweisen der Planeten bereits mit dem bloßen Auge: Venus und Mars bewegen sich zeitweilig sehr schnell, Jupiter bereits wesentlich langsamer, und bei Saturn muss man schon sehr genau aufpassen, um seiner Bewegung auf die Spur zu kommen. Wie der Mond wandern die Planeten gewöhnlich von West nach Ost über den Fixsternhimmel (also entgegen der allen Sternen gemeinsamen täglichen Bewegung von Ost nach West). Manchmal aber verzögert sich ihr Lauf, um sich bald darauf sogar umzukehren. Dabei durchlaufen sie Kurven mit den unterschiedlichsten Formen: Mal wandern sie ein Stück ihres Weges zurück, mal zeichnen sie elegante S-Kurven oder gar Schleifen an den Himmel. Ein Teil der Planeten (die „inneren“: Venus und insbesondere Merkur) bleibt dabei immer in der Nähe der Sonne, der andere (die „äußeren“ Planeten) nimmt im Laufe der Zeit jede Winkeldistanz zur Sonne an. Bei ihnen kommt es deshalb vor, dass sie der Sonne genau gegenüberstehen, also aufgehen, wenn die Sonne untergeht, und deshalb die ganze Nacht zu beobachten sind. Man sagt dann, der Planet stehe in „Opposition“ zur Sonne.

Besonders bei Mars fällt die Änderung seiner Helligkeit auf. Einmal darauf aufmerksam geworden, bemerkt man sie auch bei Venus, Jupiter und Saturn. Bei allen schwankt die Helligkeit im Rhythmus ihrer Wanderung: Venus wird am hellsten in der Nähe ihrer Umkehrpunkte, Mars, Jupiter und Saturn glänzen auf, wenn sie der Sonne gegenüberstehen. Es ist viel Zeit nötig, um mit diesen Vorgängen vertraut zu werden, und noch mehr, um aus ihnen Schlüsse zu ziehen. Nur wenige Konsequenzen liegen unmittelbar auf

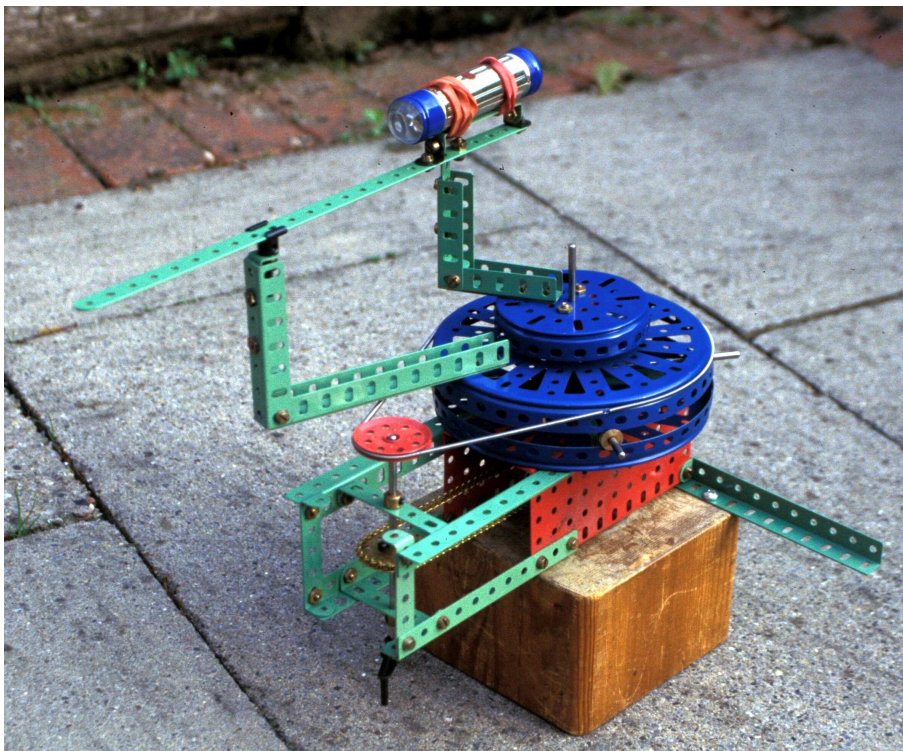


Abbildung 1: Modell aus Teilen eines Märklin-Modell-Baukastens zur Veranschaulichung der Entstehung der Planetenschleifen im kopernikanischen System: Der Strahl der Taschenlampe zeichnet die Blickrichtung an die Zimmerwand. Die Radien der beiden Kreise (Verhältnis 1.5) sind so gewählt, dass sie etwa das System Venus - Erde wiedergeben, wenn der äußere Kreis als Erdbahn betrachtet wird, andernfalls das System Erde - Mars.

der Hand: Die ähnliche Form der Bahnkurven legt einen ähnlichen „Mechanismus“, eine gleiche „Ursache“ nahe. Dann spricht die unterschiedliche Schnelligkeit der Bewegung für verschiedene Abstände von der Erde. Die Änderung dieser Entfernungen führt zu einem Anwachsen und Abnehmen der Helligkeit. Mars, Jupiter und Saturn scheinen also in dieser Reihenfolge immer weiter von der Erde entfernt zu sein und diesen Abstand relativ immer weniger zu verändern.

Die Griechen beschrieben die Bahnkurven durch die Bewegung der Planeten auf Kreisen und Epizyklen um die Erde (*Ptolemäisches Weltbild*), seit *Kopernikus* führen wir sie auf die gemeinsame Bewegung der Erde und der anderen Planeten um die Sonne zurück (*kopernikanisches Weltbild*). Da beide Weltbilder die scheinbaren Bewegungen zutreffend beschreiben, das ptolemäische System sogar zunächst deutlich besser als das kopernikanische, macht man es sich zu einfach, wenn man die lange Lebensdauer des ptolemäischen Systems als „langes und stures Festhalten am Falschen“ (*Lermer 1989*) charakterisiert.

Das Zustandekommen der Schleifenbewegungen wird z.B. sehr anschaulich von *Teichmann* (1983) dargestellt. In seinem Buch werden auch die Modelle gezeigt, mit denen im Deutschen Museum demonstriert wird, dass beide Weltsysteme diese Bewegungen richtig wiedergeben. Man kann solche Apparate mit Modellbaukästen (Abb.1) leicht nachbauen. Die scheinbare Rückwärtsbewegung bei gleichsinnigem Umlauf der Erde und der anderen Planeten um die Sonne wird im kopernikanischen System auf die Überholvorgänge zwischen den unterschiedlich schnellen Planeten zurückgeführt. Im Falle linearer Bewegungen ist jeder mit dem Zurückbleiben des Langsameren vertraut. Die charakteristische Bewegungsumkehr gibt es jedoch nur bei Bewegungen auf geschlossenen Bahnen. Wenn man darauf achtet, kann man sie bei Karussellfahrten beobachten: Normalerweise läuft die Blickrichtung zu einem anderen Fahrer im Sinne der Kreisbewegung um; nur beim Überholen verändert sich die Blickrichtung gegensinnig.

### 3 Bestimmung der Bahnradien

Wenn man sich soweit mit den qualitativen Eigenschaften der Planetenbewegung vertraut gemacht hat, wächst irgendwann auch der Wunsch, aus seinen Beobachtungen quantitative Schlüsse zu ziehen. Wie für physikalische Betrachtungen typisch, müssen dabei Vereinfachungen gemacht werden, die einen Teil der Erfahrungen ausblenden. So sind die folgenden Überlegungen, in denen ich mich an das von *Brankamp* beschriebene Verfahren anlehne, nur richtig unter folgenden Bedingungen:

- Alle Planeten bewegen sich in der Ebene der Ekliptik.
- Die Bahnkurven sind Kreise.
- Die Winkelgeschwindigkeit jedes Planeten ist konstant.

	$i$	$\epsilon$	$T_{sid}$	$\mu$
Merkur	$7.0^\circ$	0.206	88.0	71.42
Venus	$3.4^\circ$	0.007	224.7	27.96
Erde	$0.0^\circ$	0.017	365.3	17.2
Mars	$1.8^\circ$	0.093	687.0	9.15
Jupiter	$1.3^\circ$	0.048	4335.2	1.45
Saturn	$2.5^\circ$	0.055	10821.6	0.58

Die Tabelle zeigt zwar, dass diese Voraussetzungen recht gut erfüllt sind (die dritte ist eine Folge der kreisähnlichen Bahnen), trotzdem kann unter diesen Bedingungen nur die Rückläufigkeit der Planeten, nicht aber die Formenvielfalt ihrer Schleifen erfasst werden. Unter diesen Voraussetzungen ist für die inneren Planeten die Bestimmung des Bahnradius einfach: Man misst dazu lediglich mehrfach den Winkelabstand zwischen Planet und Sonne (kurz vor Sonnenuntergang ist das grob bereits durch Peilen über ein großes Geodreieck möglich!) und bestimmt auf diese Weise den größten auftretenden Wert  $\eta_{max}$ . In dieser Stellung muss das Dreieck Erde-Planet-Sonne beim Planeten rechtwinklig sein. Es gilt dann also

$$\cos\eta_{max} = \frac{r_{PL}}{r_E} \rightarrow r_{PL} = \cos\eta_{max}AE.$$

Auf diese Weise ergeben sich für Venus Werte um  $45^\circ$ . Ihr Bahnradius beträgt also etwa 0.7 AE.

### 3.1 Ableitung einer Formel zur Bestimmung der Bahnradien der äußeren Planeten

Die äußeren Planeten muss man, um ihren Bahnradius zu bestimmen, während ihrer Rückläufigkeit verfolgen. Das ist

einfach, da sie in dieser Zeit der Sonne fast gegenüberstehen und deshalb fast die ganze Nacht durch zu sehen sind. Abb. 2 zeigt – neben einer Andeutung der Erklärung für die Rückläufigkeit – zwei Konstellationen von Erde und Planet: 1. einige Zeit vor der Opposition und 2. zum Zeitpunkt der Opposition. Wendet man auf das Dreieck  $SE_1P_1$  den Sinussatz an, ergibt sich

$$\frac{r_{PL}}{r_E} = \frac{\sin\mu}{\sin(\beta + \delta)} = \frac{\sin(\epsilon + \delta)}{\sin(\beta + \delta)}.$$

Dabei gilt die letzte Gleichheit, weil  $\mu + \epsilon + \delta = 180^\circ$  ist. Bahnradius des Planeten lässt sich also bestimmen aus

$$r_{PL} = \frac{\sin(\epsilon + \delta)}{\sin(\beta + \delta)}AE$$

(Aus einer völlig entsprechenden Zeichnung ergibt sich dieselbe Formel für den Bahnradius eines inneren Planeten.) Um diese Formel anwenden zu können, ist es erforderlich, die Stellung des Planeten am Tage seiner Opposition zu bestimmen. Verdecken an diesem

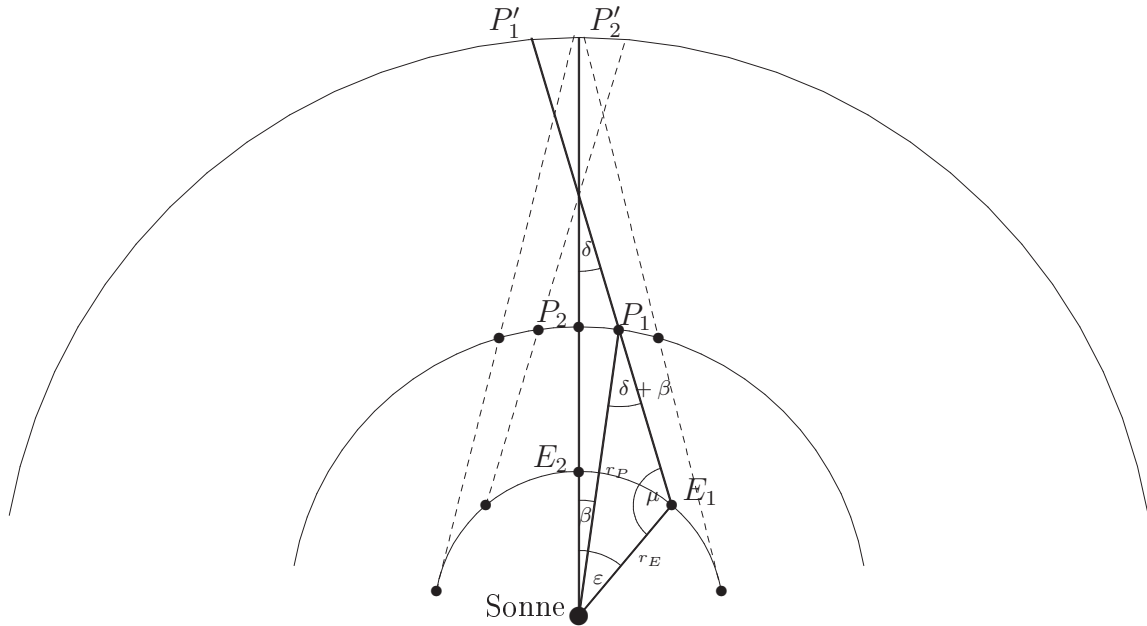


Abbildung 2: Zur Ableitung der Formel, mit deren Hilfe der Bahnradius eines äußeren Planeten bestimmt werden kann. Die gestrichelten Linien deuten die Erklärung für das Zustandekommen der Rückläufigkeit an: Zwischen den Positionen 0 und 1 bzw. 3 und 4 verändert sich die Blickrichtung entgegen dem Uhrzeigersinn, dazwischen in der entgegengesetzten Richtung.

Tage Wolken den Himmel, misst man stattdessen die Stellung des Planeten ein zweites Mal während seiner Rückläufigkeit. Für die Winkel bei beiden Messungen muss gelten:

$$r_{PL} = \frac{\sin(\epsilon_1 + \delta_1)}{\sin(\beta_1 + \delta_1)} AE = \frac{\sin(\epsilon_2 + \delta_2)}{\sin(\beta_2 + \delta_2)} AE$$

Zwar hat man die Winkel  $\delta_1$  und  $\delta_2$  und nicht einzeln gemessen, wohl aber die Verschiebung des Planeten  $\eta = \delta_2 - \delta_1$  zwischen den beiden Beobachtungszeitpunkten. Damit muss gelten:

$$r_{PL} = \frac{\sin(\epsilon_1 - \eta + \delta_2)}{\sin(\beta_1 - \eta + \delta_2)} AE = \frac{\sin(\epsilon_2 + \delta_2)}{\sin(\beta_2 + \delta_2)} AE$$

Das ergibt eine Bestimmungsgleichung für den Winkel  $\delta_2$ , die man entweder graphisch lösen kann oder numerisch, indem man die Nullstelle der folgenden Funktion

$$f(\delta) = \sin(\beta_2 + \delta) \sin(\epsilon_1 - \eta + \delta) - \sin(\epsilon_2 + \delta) \sin(\beta_1 - \eta + \delta),$$

z.B. mit dem *Newton*-Verfahren, bestimmt. Das Programm-Listing zeigt eine entsprechende Pascal-Routine.

### 3.2 Vorgehensweise

Eingangsdaten des Verfahrens sind die Zentralwinkel, die seit der Opposition von den Leitstrahlen Sonne-Planet ( $\beta_1$  und  $\beta_2$ ) und Sonne-Erde ( $\epsilon_1$  und  $\epsilon_2$ ) überstrichen worden

```

(* Die Beweglichkeiten der Planeten müssen dem Programm bekannt
sein: *)
VAR bewegl: ARRAY [1..9] OF REAL;

FUNCTION Bahnradius(Nr: INTEGER; (*Nummer des Planeten *)
                    d1, d2, (* Tage seit Opposition *)
                    alpha1, delta1,
                    alpha2, delta2, (* Äquator. Koordinaten *)
                    : REAL): REAL;

VAR eta, eps1, eps2, beta1, beta2, delta: REAL;

FUNCTION arccos(w: REAL): REAL;

VAR P1: REAL;

BEGIN
P1:=4.0*arctan(1.0);
IF x < 0.0
THEN arccos:=arctan(sqrt(1.0/sqr(x)-1.0))
ELSE IF x < 0.0 THEN arccos:=-arctan(sqrt(1/sqr(x)-1.0))+P1
ELSE arccos:=P1/2.0
END; (* arccos *)

FUNCTION f(delta: REAL): REAL;
(* von f wird die Nullstelle gesucht *)

BEGIN
f:=sin(beta2+delta)*sin(eps1-eta+delta)-
sin(eps2+delta)*sin(beta1-eta+delta)
END; (* f *)

FUNCTION f1(delta: REAL): REAL; (* Ableitung von f *)

BEGIN
f1:=sin(beta2+eps1-eta+2.0*delta)
-sin(eps2+beta1-eta+2.0*delta)
END; (* f1 *)

FUNCTION Nullstelle(FUNCTION f(x: REAL): REAL;
FUNCTION f1(x: REAL): REAL;
Anfang, Genauigkeit: REAL): REAL;
(* Newton - Verfahren *)

VAR x0, x1: REAL;

BEGIN
x0:=Anfang;
LOOP
x1:=x0-f(x0)/f1(x0);
EXIT IF ABS(x0-x1)<Genauigkeit;
x0:=x1
END;
Nullstelle:=x1
END; (* Nullstelle *)

BEGIN (* Bahnradius *)
eta:=arccos(sin(delta1)*sin(delta2)+
cos(delta1)*cos(delta2)*cos(alpha1-alpha2));
(* scheinbare Verschiebung des Planeten *)
eps1:=bewegl[3]*d1; eps2:=bewegl[3]*d2;
(* Zentralwinkel der Erde *)
beta1:=bewegl[Nr]*d1; beta2:=bewegl[Nr]*d2;
(* Zentralwinkel des Planeten *)
delta:=Nullstelle(f, f1, 0.0, 0.0001);
Bahnradius:=sin(eps2+delta)/sin(beta2+delta);
END; (* Bahnradius *)

```

Abbildung 3: Pascal-Listing zur Bestimmung des Bahnradius eines Planeten. Der Routine müssen folgende Parameter übergeben werden: die Nummer des Planeten, der Abstand beider Beobachtungen vom Oppositionszeitpunkt und die äquatorialen Koordinaten des Planeten an den beiden Beobachtungstagen während der Rückläufigkeit.

sind, und der Winkel  $\eta$ , den der Planet in der Zwischenzeit am Himmel zurückgelegt hat. Die Zentralwinkel kann man angeben, wenn man den Zeitpunkt der Opposition und die mittlere tägliche Bewegung  $\mu$  von Erde und Planet kennt.  $\mu_{Erde}$  ergibt sich aus der bekannten Jahreslänge von 365,25 Tagen. Die mittlere Bewegung des Planeten kann man obiger Tabelle entnehmen, den Oppositionszeitpunkt einem astronomischen Kalender. Befriedigender wäre vielleicht die eigene Bestimmung auch dieser Größen, die aber nicht einfach ist: Der Planet steht der Sonne genau gegenüber, wenn er zwölf Stunden (genauer: zwölf Stunden und zwei Minuten) nach der Sonne kulminiert, d.h. die höchste Stellung über dem Horizont erreicht. Man müsste also im entsprechenden Zeitraum öfters die Kulminationszeiten von Planet und Sonne bestimmen (wegen des Unterschiedes zwischen mittlerer und wahrer Sonne ist das auch bei der Sonne nicht überflüssig!).

Die mittlere tägliche Bewegung könnte man folgendermaßen ermitteln: Aus den Zeitpunkten zweier aufeinanderfolgender Oppositionen ergibt sich die synodische Umlaufzeit. Der vom Leitstrahl der Erde in dieser Zeit überstrichene Zentralwinkel ist um einen Vollwinkel größer als der entsprechende Winkel für den äußeren Planeten. (Bei einem inneren Planeten ist es gerade umgekehrt.) Daraus ergibt sich die siderische Umlaufzeit:

$$\begin{aligned} \omega_{Erde} T_{syn} - 2\pi &= \omega_{Planet} T_{syn} \\ \implies \frac{1}{T_{sid}} &= \frac{\omega_{Planet}}{2\pi} = \frac{1}{T_{Erde}} - \frac{1}{T_{syn}} \end{aligned}$$

Die eigentliche Messgröße des Verfahrens ist der Winkel  $\eta$ . Er beschreibt die Änderung der Blickrichtung von der Erde auf den Planeten. Diese macht sich, wegen der sehr großen Entfernung der Fixsterne, direkt in der Verschiebung des Planeten gegenüber den benachbarten Sternen bemerkbar. Diese kann man z.B. dadurch bestimmen, dass man den Planeten und das umgebende Sternfeld fotografiert, die beiden Negative so übereinanderlegt, dass sich die Fixsterne decken, und dann den Abstand der beiden Planetenoppositionen misst. Mit Hilfe der Brennweite des benutzten Objektivs ergibt sich daraus der gesuchte Winkel.

Einfacher ist folgendes Verfahren: Man beobachtet den Planeten und prägt sich seine Stellung innerhalb der umgebenden Sterne genau ein. Nützlich ist es dazu, nach auffälligen Konstellationen wie Geraden, gleichschenkligen, rechtwinkligen oder gleichseitigen Dreiecken zu suchen. Das kann man bereits mit bloßen Augen mit befriedigendem Erfolg versuchen. Genauere Positionierungen gelingen natürlich mit einem Fernglas (ich benutze Gläser 8x50 und 15x80). Man trägt die Position in eine Sternkarte ein, in der man dann die zugehörigen äquatorialen Koordinaten abliest.

## 4 Auswertung von Beobachtungsdaten

Abb.4 zeigt meine ersten beiden so entstandenen Eintragungen im astronomischen Beobachtungsbuch, in denen die Stellung Jupiters am 18.8. und 1.10.1985 in einer einfachen Sternkarte (*Schaifers et al. 1984*) festgehalten ist. Aus diesen Eintragungen ergaben sich folgende Koordinaten:

Jupiterpositionen 1985:



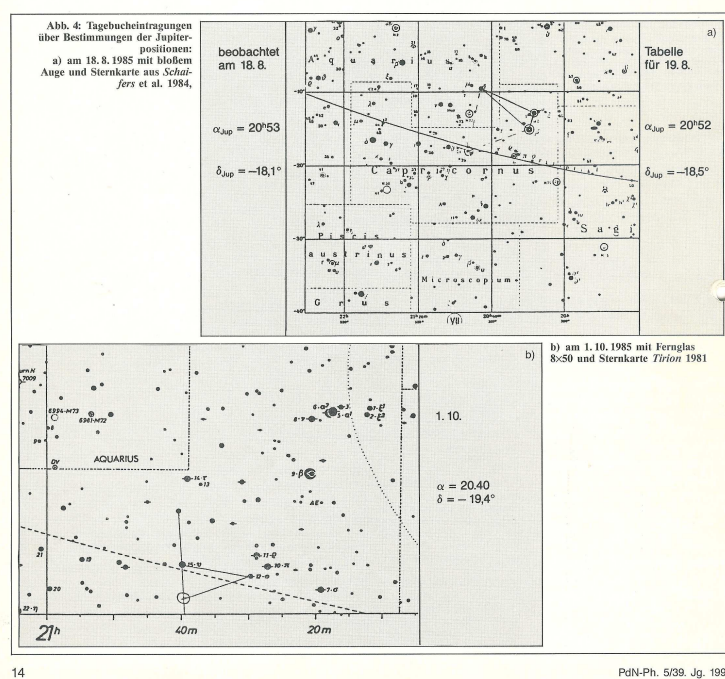


Abbildung 4: Tagebucheintragen über Bestimmungen der Jupiterpositionen: am 18.8.1985 mit bloßem Auge und Sternkarte aus *Schaifers et al.1984*

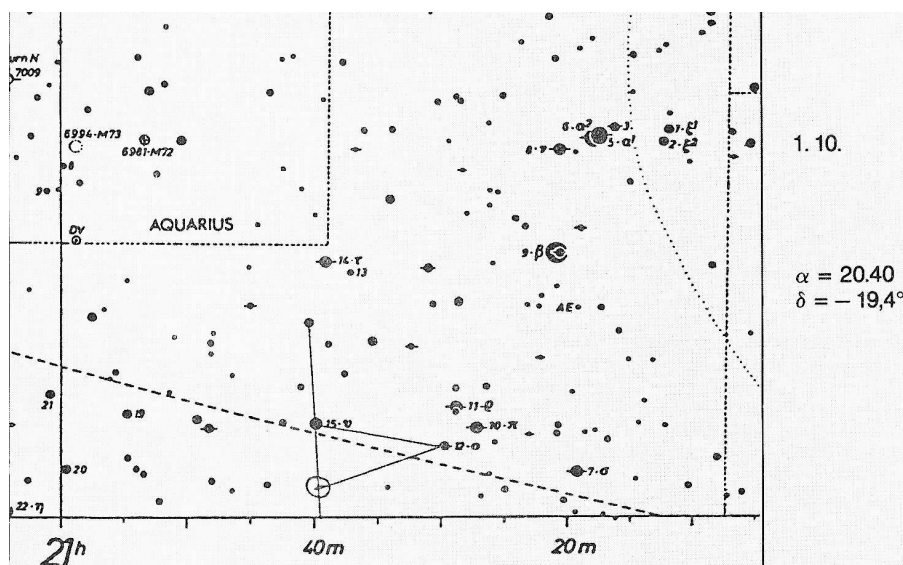


Abbildung 5: am 1.10.1985 mit Fernglas 8x50 und Sternkarte *Tirion 1981*

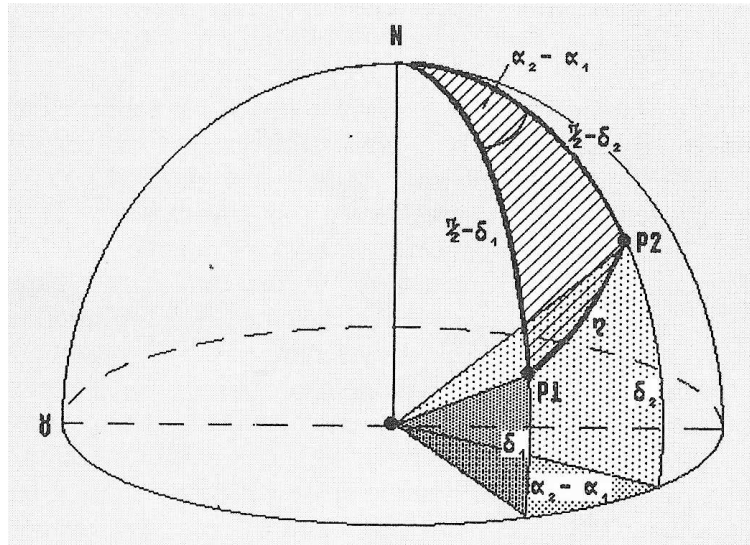


Abbildung 6: Zur Bestimmung des Verschiebungswinkels  $\eta$  aus den äquatorialen Koordinaten der beiden registrierten Planetenpositionen  $P_1$  und  $P_2$  wird der Seitenkosinussatz auf das sphärische Dreieck  $NP_1P_2$  angewendet.

Rückläufigkeit: 5.6.-3.10., Opposition: 4.8.1985

18.8.1985:  $\alpha_1 = 20.53$  Uhr,  $\delta_1 = -18.1^\circ$

1.10.1985:  $\alpha_2 = 20.54$  Uhr,  $\delta_2 = -19.4^\circ$

Es ist möglich, einen Näherungswert für die Verschiebung  $\eta$  direkt aus der Sternkarte zu entnehmen. Genauer ist folgendes Verfahren: In Abb.4 ist das sphärische Dreieck  $NP_1P_2$  zu erkennen, das vom Himmelsnordpol und den beiden Planetenpositionen gebildet wird. Wendet man auf dieses den Seitenkosinussatz an, dann folgt:

$$\cos \eta = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2).$$

Aus den ersten Messergebnissen ergibt sich daraus  $\eta = 3.34^\circ$  und damit, Jupiter hatte am 4.8.1985 in Opposition zur Sonne gestanden,

$$r_{Jupiter} = 5.0 \text{ AE (Literaturwert: 5.2 AE)}.$$

Ermutigt durch dieses Ergebnis registrierte ich Jupiters Stellung in den folgenden Wochen noch einige Male. Die Ergebnisse aller dieser Messungen schwanken zwischen 4.6 AE und 5.1 AE.

Während der schönen Marsschleife des Jahres 1986 gelangen mir nur zwei genaue Beobachtungen in geringem zeitlichen Abstand (Abb.6):

Marspositionen 1986:

Rückläufigkeit: 10.6.-12.8., Opposition: 10.7.1986

24.7.1986  $\alpha_1 = 19.02$  Uhr,  $\delta_1 = -28,6^\circ$ ,

2.8.1986  $\alpha_2 = 18.56$  Uhr,  $\delta_2 = -28,7^\circ$ .

Aus diesen ergibt sich eine Verschiebung von  $\eta = 1,32^\circ$  und damit  $r_{Mars} = 1.6 \text{ AE}$  (Literaturwert: 1,5 AE).

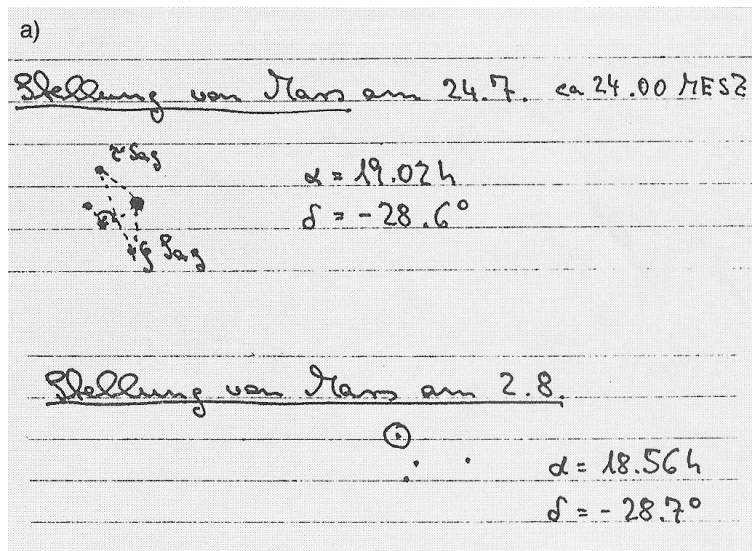


Abbildung 7: Tagebucheintragen über die Marsbeobachtungen vom a) 24.7. und b) 2.8.1986 zur Bestimmung der genauen Position im Schützen. Benutzt wurde ein Feldstecher 15x80.

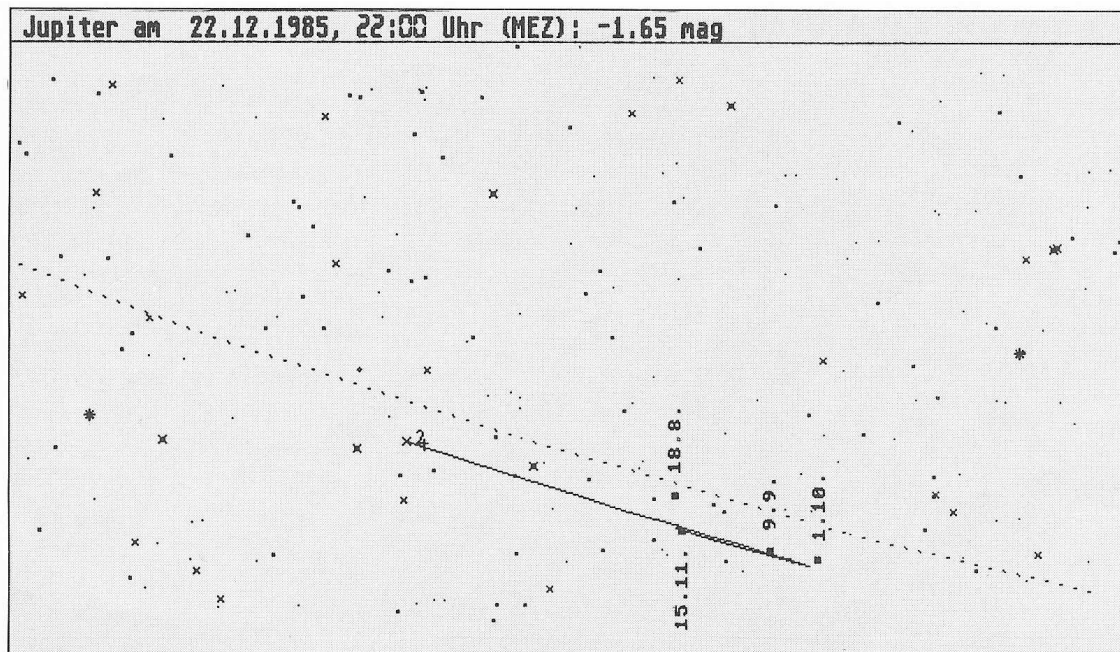


Abbildung 8: Berechnete Jupiterschleife 1985 im Steinbock (die beiden hellen Sterne oben rechts sind  $\beta$  und  $\alpha^2$  Cap.). Eingetragen sind die eigenen Beobachtungsdaten.

## 5 Vergleich der Messergebnisse mit berechneten Daten

In den folgenden Jahren entstand das Computerprogramm „Planetarium“ (siehe *Backhaus* 1990), mit dessen Hilfe es möglich ist, Messergebnisse mit den Vorhersagen zu vergleichen. Abb.7 zeigt die für 1985 berechnete Jupiterschleife.

Die simulierten Fernrohrdurchblicke (Abb.8) zeigen eine nahezu vollkommene Übereinstimmung mit den in Abb.6 abgebildeten Tagebucheintragungen. Abb.9 zeigt, wie gut die gemessenen Marspositionen auf der berechneten Schleife liegen.

## 6 Diskussion

Alle hier beschriebenen Messergebnisse wurden mit Feldstecher und Sternkarte gewonnen. Nur bei der ersten Beobachtung hatte ich (in Südfrankreich) weder Feldstecher noch Sternkarte zur Hand, konnte mir deshalb mit bloßen Augen nur die Stellung relativ zu den fast  $10^\circ$  weit entfernten hellen Sternen des Dreiecks  $\epsilon$  Aqu,  $\beta$  Cap und  $\alpha^2$  Cap merken. Obwohl die spätere Eintragung in die Sternkarte deutlich neben der wahren Bahn Jupiters liegt, zeigt der erste Wert für den Bahnradius gute Übereinstimmung mit dem Literaturwert. Das Verfahren scheint also nicht besonders kritisch auf Beobachtungsfehler zu reagieren.

Die nächsten Ergebnisse wurden mit einem Feldstecher 8x50 erzielt. Die beobachtete Stellung wurde nach mehrfachem Vergleich zwischen Fernrohrdurchblick und Sternkarte direkt in diese eingetragen. Die Ergebnisse zeigen deshalb eine wesentlich bessere Übereinstimmung mit den Vorhersagen.

Bei den Marsbeobachtungen 1986 benutze ich bereits einen billigen Feldstecher 15x80 und eine größere Sternkarte (*Tirion* 1981). Das Ergebnis ist deshalb sehr gut. Seit ich eine Sternkarte mit noch mehr Sternen (bis etwa 9.5 mag, *Tirion et al.* 1987 und 1988) benutze, sind Abweichungen zwischen gemessenem und Literaturwert für die Bahnradien nicht mehr auf Beobachtungsungenauigkeiten zurückzuführen. In ihnen spiegeln sich nun die Abweichungen der Planetenbahnen von der Kreisbahn und ihre Neigung gegen die Ekliptik. Bei den inneren Planeten sind entsprechende Beobachtungen schon deshalb schwieriger, weil der zweite Abschnitt ihrer Schleife nur vor Sonnenaufgang beobachtet werden kann. Zwar kann bei Venus die Bahn oft ganz gut verfolgt werden, aber während der Rückläufigkeit, die für die hier angestellten Überlegungen besonders wichtig ist, steht sie recht dicht an der Sonne. So überstrich sie während ihrer Rückläufigkeit 1989/90 zwar einen Winkel von etwa  $18^\circ$ , hatte dabei aber einen maximalen Abstand zur Sonne von nur  $30^\circ$ . Wegen der Lage der Ekliptik stand sie deshalb bereits bei Sonnenunter- bzw. Aufgang nur etwa  $15^\circ$  über dem Horizont, so dass eine Beobachtung in der Dämmerung schwierig war. Merkur ist noch schwieriger zu beobachten. Da bei ihm außerdem die Voraussetzungen über die Bahn am schlechtesten erfüllt sind, wird es kaum möglich sein, für ihn vernünftige Werte zu erzielen. Die geeignetsten Objekte für diese Art von Beobachtungen und Messungen sind also Mars, Jupiter und Saturn. Bewegung und Helligkeitsänderung von Mars während der Oppositionsperiode sind sehr auffällig. Diese ereignet sich aber nur etwa alle zwei Jahre, während Jupiter und Saturn fast jährlich ihre Oppositionsstellung erreichen.

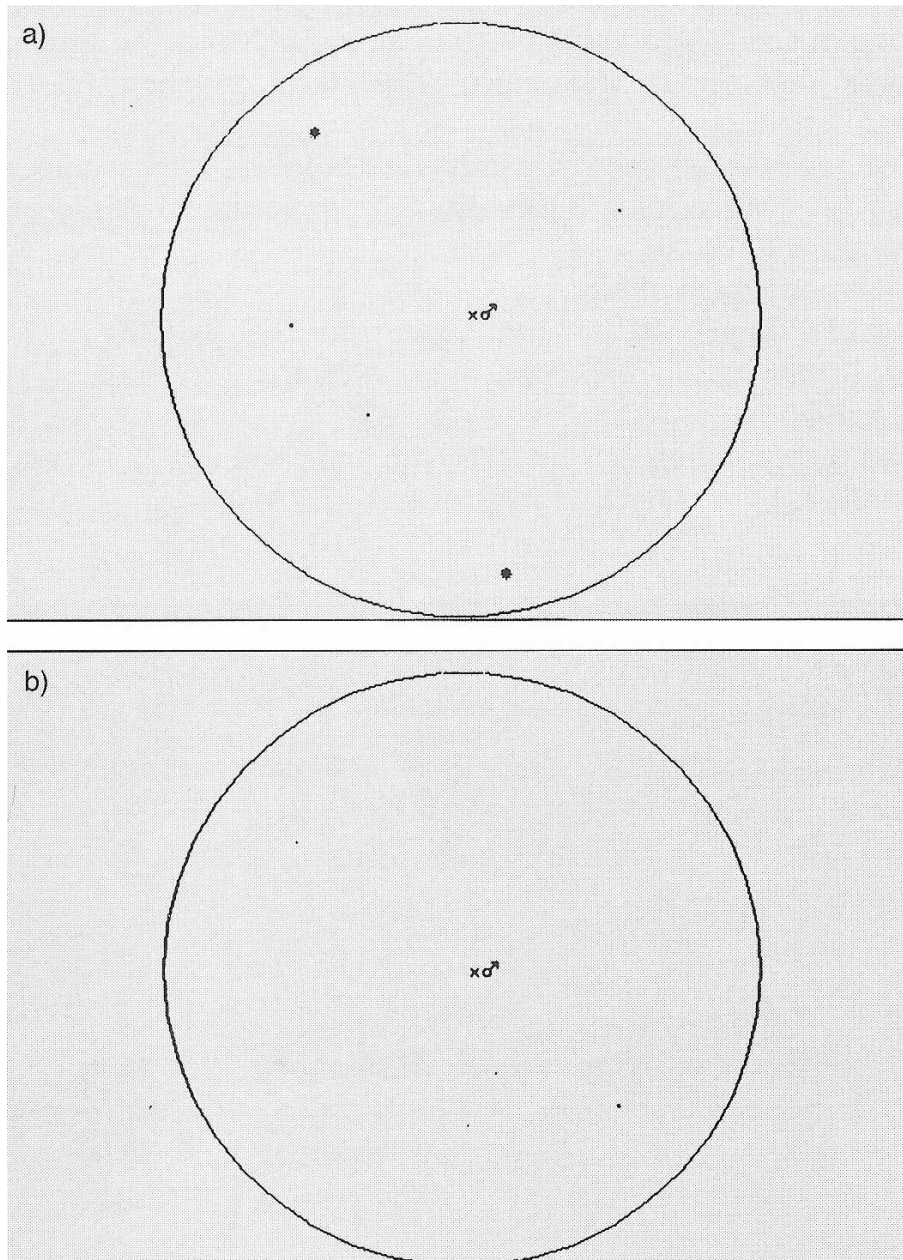


Abbildung 9: Simulierte Fernrohrdurchblicke auf Mars 1986 mit einem Fernglas 15x80 und einem Sehfeld von 45°. a) 24.7.: Die beiden hellen Sterne sind ζ und τ Sag, b) 2.8.

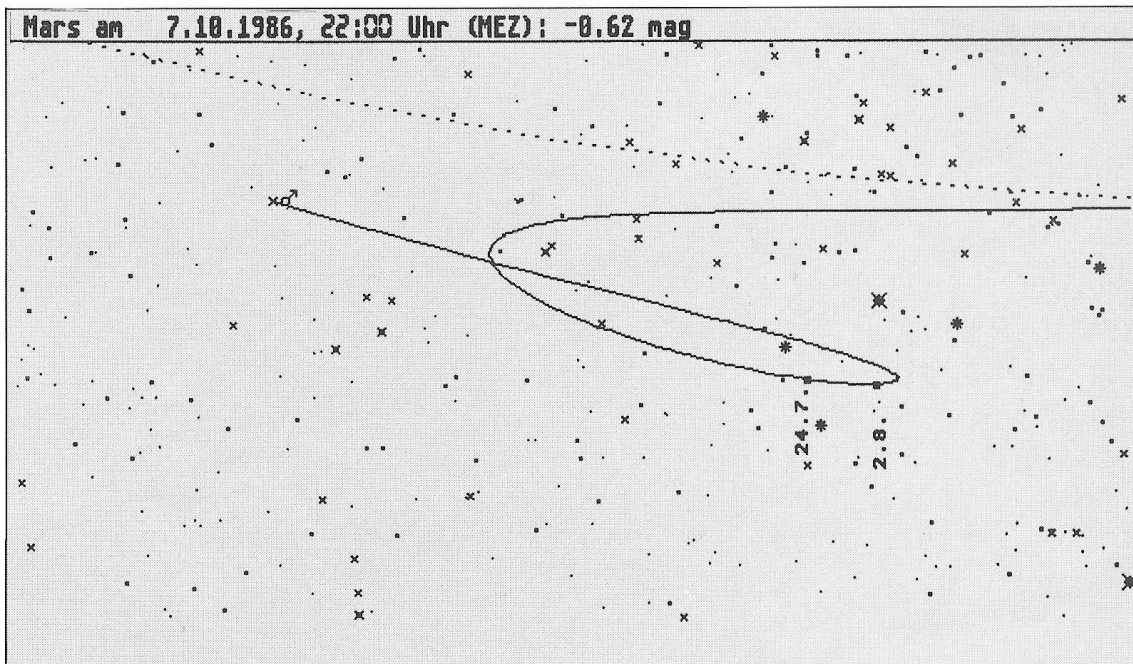


Abbildung 10: Simulierte Marsschleife 1986 im Schützen. Der hellste Stern oberhalb der Schleife  $\sigma$  Sag. Eingetragen sind auch die beiden gemessenen Positionen.

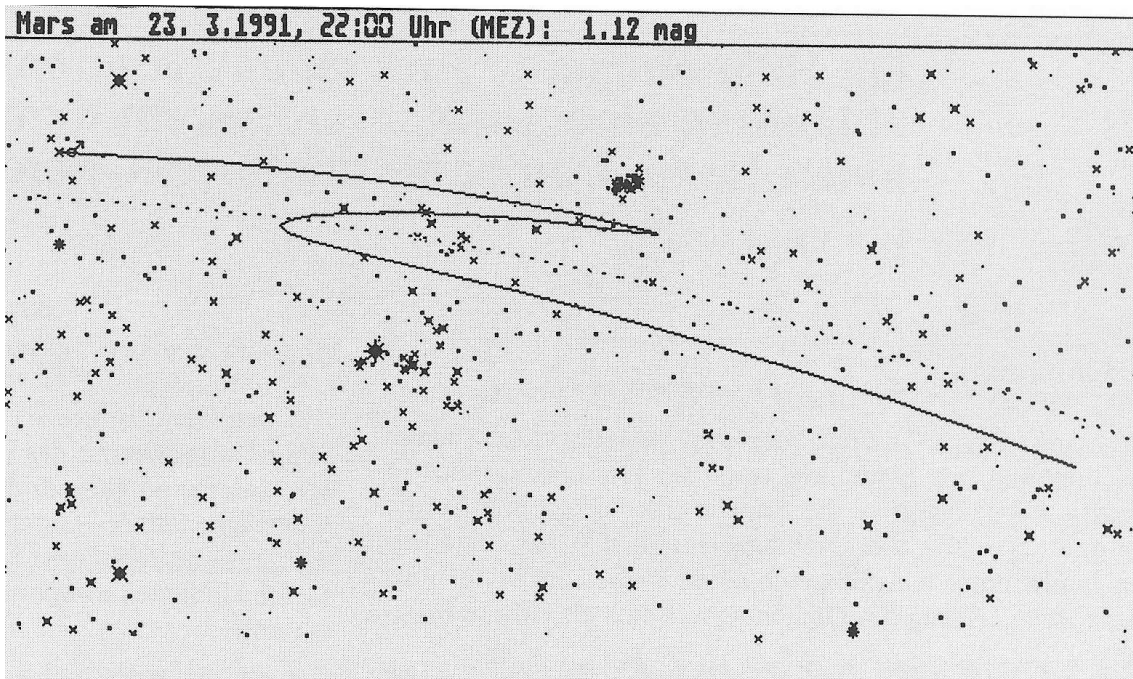


Abbildung 11: Marsschleife 1990 im Sternbild Stier. Deutlich zu erkennen sind der Kopf des Stieres und der offene Sternhaufen der Plejaden.

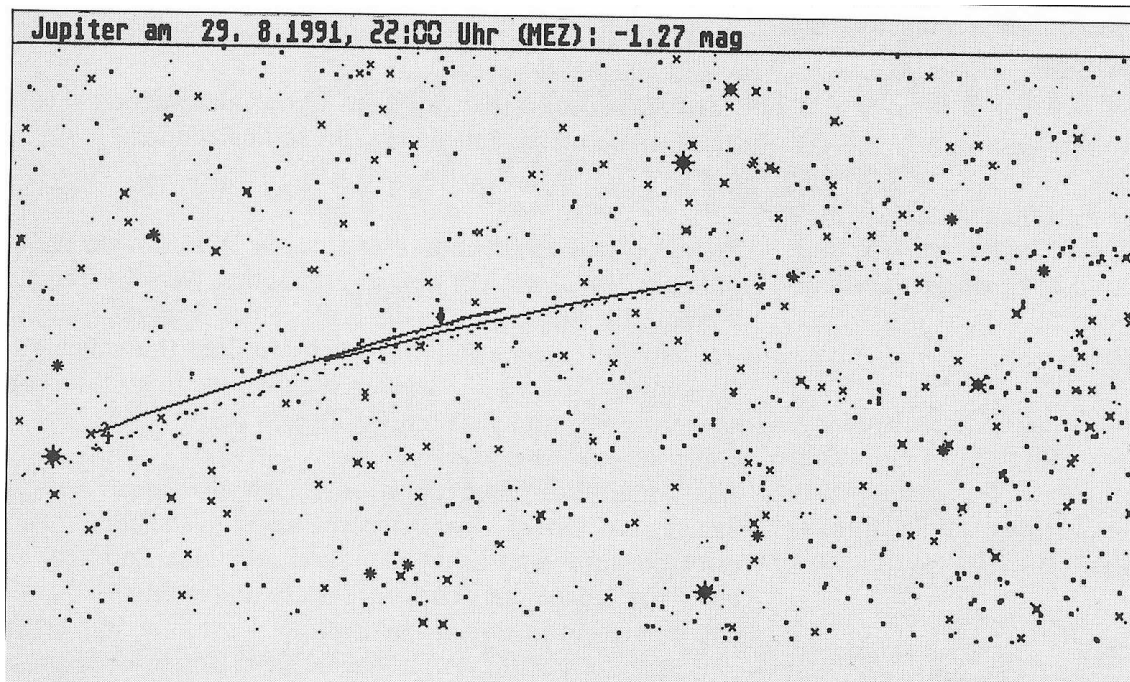


Abbildung 12: Jupiters Oppositionsbewegung 1990/91 südlich des Sternbildes Zwillinge.

## 7 Anregungen für eigene Beobachtungen 1990/91

Zum Schluss sollen noch Anregungen für eigene Beobachtungen im Zeitraum 1990/91 gegeben werden. Wer einmal allein oder mit einer Gruppe von Schülern oder Studenten mit solchen Beobachtungen begonnen hat, wird sich weitere entsprechende Informationen selbstständig besorgen, z.B. mit Hilfe eines astronomischen Jahrbuches (z.B. *Keller* 1989) oder mit einem Computerprogramm. Mars vollführt am Jahresende 1990 eine schöne Schleifenbewegung im Sternbild des Stieres (Abb.10). Jupiter vollführt seine Oppositionsbewegung ebenfalls um die Jahreswende 1990/91 (Abb.11). Saturn steht bei seiner Rückläufigkeit in der Zeit zwischen Mai und September 1990 im Sternbild Schütze bei sehr niedrigen Deklinationen, so dass er nicht einmal  $20^\circ$  über dem Horizont erreicht und deshalb, zumindest in unseren Breiten, nicht gut zu beobachten sein wird.

### *Marsschleife 1990/91*

Rückläufigkeit: 20.10.-1.1., Opposition: 27.11., während der Rückläufigkeit überstrichener Winkel:  $16,9^\circ$ .

### *Jupiterschleife 1990/91*

Rückläufigkeit: 30.11.-29.3., Opposition: 24.2., während der Rückläufigkeit überstrichener Winkel:  $9,9^\circ$ .

### *Saturnschleife 1990*

Rückläufigkeit: 5.5.-23.9., Opposition: 14.7., während der Rückläufigkeit überstrichener Winkel:  $6,6^\circ$ .

## Literatur

- [1] Backhaus, U.: *Der Computer als Planetarium*, Praxis der Naturwissenschaften, in diesem Heft
- [2] Berg, G.: *Die Keplerschen Gesetze - ein Zugang über Computersimulation*, *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* **43/1**, 19 (1990)
- [3] Brankamp, J.: *Einfache Aufnahmen astronomischer Objekte*, Winkelmessungen am Himmel und ihre rechnerische Auswertung im Unterricht, *MNU* **5**, 332 (1952/53)
- [4] Brankamp, J.: *Photographische Bestimmung der relativen Entfernungen der Planeten*, *MNU* **10**, (1957/58)
- [5] Keller, H.-U.: *Das Himmelsjahr 1990*, Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1989
- [6] Lermer, R.: *Grundkurs Astronomie*, Bayerischer Schulbuch-Verlag, München 1989
- [7] Schaifers, K., Traving, G.: *Meyers Handbuch Weltall*, Bibliographisches Institut, Mannheim 1984
- [8] Schlosser, W.: *Astronomische Musterversuche für die Sekundarstufe I* (Vorläufige Version), Bochum 1985
- [9] Teichmann, J.: *Wandel des Weltbildes*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1983
- [10] Tirion, W.: *Sky Atlas 2000.0*, Sky Publishing Corporation, Cambridge 1981
- [11] Tirion, W., Rappaport, B., Lovi, G.: *Uranometria 2000.0 Volume I (The Northern Hemisphere) und Volume II (The Southern Hemisphere)*, Willmann-Bell, Richmond 1987 und 1988
- [12] Wagenschein, M.: *Die Erfahrung des Erdballs*, *Der Physikunterricht* **1**, 1 (1967)
- [13] Zimmermann, O.: *Rezension von Lermer 1989*, *Sterne und Weltraum* **29/1**, 61 (1990)

Nachtrag 2004

In den 14 Jahren sind viele meiner Studentinnen und Studenten mit den Bewegungen der Planeten vertraut geworden. Einige von ihnen haben sich im Rahmen ihrer Examensarbeit quantitativ mit ihnen befasst (z.B. Sandra Stein, ..., Koblenz..., J. Hermann Stapelberg, ..., Koblenz...). Das hier beschriebene Verfahren ist seit langem Aufgabe im Rahmen eines Astronomischen Praktikums (<http://didaktik.physik.uni-essen.de>), in der Fotografien der Marsschleife 19 ausgewertet wurden.)