

Es ist schwierig, die Diskrepanzen zwischen den Beobachtungen verschiedener Beobachter zu erklären. Wenn man bedenkt, daß sich diese Diskrepanzen auf prominente Objekte beziehen und die Ergebnisse so unterschiedlich interpretiert werden, brauchen wir uns nicht zu wundern, daß wir noch weit davon entfernt sind, so etwas wie eine allumfassende oder einmütige Kenntnis des Geschehens auf Jupiter erhalten zu haben. Diese Diskrepanzen sind zu bedauern, obwohl auch schwer einzusehen ist, wie sie im Hinblick auf die sehr unterschiedlichen Bedingungen, die auf die einzelnen Beobachter einwirken, und die Vorstellungen und Vorurteile, die mehr oder weniger unser Urteilsvermögen beeinflussen, beseitigt werden können.

W.F. Deeming in "The Observatory", September 1885

Systematische Fehler bei der Schätzung von Zentralmeridianpassagen auf Jupiter

von Grischa Hahn, Dresden

veröffentlicht in "Mitteilungen für Planetenbeobachter", ISSN 0175-6729, Jahrgang 15, 1 (1991)

Two kinds of systematic error that influence Jovian C.M. transit times have been numerically extracted from G.R.S. position series and model experiments: Personal errors and the phase effect. The personal errors of all regarded observers can be explained with (1) a right-shift of the "personal C.M." and - presumably - (2) a premature transit timing relative to it. Position differences between two experienced observers up to 10° or so become possible. The phase effect - due to Jovian terminator darkening that is not considered in the C.M. tables - has been estimated to 12% of the planets phase angle.

Unter den Amateur-Jupiterbeobachtern ist die Schätzung von Zentralmeridianpassagen (ZMP) zur einfachen und relativ genauen Bestimmung von jovigraphischen Längenpositionen weit verbreitet. Um in der späteren Auswertung auch die möglichst volle Information dieser Längenwerte ausnutzen zu können, ist die Kenntnis einer Reihe dabei auftretender systematischer Fehler notwendig. Eine erste Einleitung ist dazu schon in [1] gegeben worden.

1. Beobachterspezifische systematische Fehler

Bei der Auswertung umfangreicher Serien von ZMP fällt auf, daß zwischen den einzelnen Beobachtern signifikante systematische Unterschiede in den geschätzten Positionen auftreten. Ob diese Differenzen nun rein persönlicher Natur sind oder/und mit der verwendeten Bildorientierung zusammenhängen, soll im weiteren noch einmal näher untersucht werden. Dazu führte ich einen ähnlichen Modellversuch wie in [1] durch.

1.1 Der Modellversuch

Es wurden drei Jupiterschablonen (Poldurchmesser 59 mm) mit einem großen, dunklen, ovalen Fleck ähnlich dem GRF in drei verschiedenen Strömungszonen (-20° , 0° , $+20^\circ$ jov. Breite) präpariert. Dabei wurden ihre Südhalften, dem vorjährigen Fernrohranblick entsprechend, etwas dunkler gehalten (Abb. 1). Der Fleck befand sich auf einem in Länge verschiebbaren Papierstreifen, dessen Abweichung von der Mittellage auf der Rückseite in Millimetern ablesbar war.

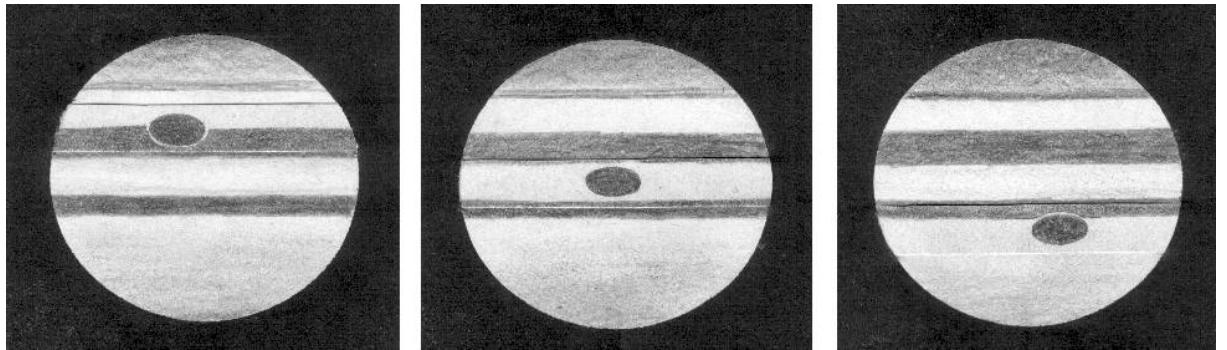


Abbildung 1: Die verwendeten Jupiterschablonen mit einem dunklen, ovalen Fleck in drei verschiedenen Breitenlagen

Geschätzt wurde der Ort der ZMP unter den vier verschiedenen Bildorientierungen:

- SR ... Süden oben, Bild seitenrichtig; Rotation v.r.n.l.
- SV ... Süden oben, Bild seitenverkehrt; Rotation v.l.n.r.
- NR ... Norden oben, Bild seitenrichtig; Rotation v.l.n.r.
- NV ... Norden oben, Bild seitenverkehrt; Rotation v.r.n.l.

und separat für das linke und das rechte Auge. Die Schablonen wurden dabei aus einem Abstand von ca. 40 cm betrachtet, was einer etwa 700fachen Vergrößerung entsprechen würde. Diese etwas ungewöhnliche Anordnung wurde gewählt, da alles im "Selbstversuch" handhabbar sein mußte. Dabei kam mir eine permanente Kurzsichtigkeit zugute, so daß der "Jupiter" aus dieser Entfernung schon leicht unscharf erschien und damit einen guten Fernrohreindruck entstehen ließ. Das jeweils nicht benutzte Auge wurde abgedeckt. Um eine größtmögliche Unvoreingenommenheit zu erreichen, sind die Millimeterskalen der Schablonen noch um einen bestimmten Betrag versetzt worden. Jede Schätzung wurde insgesamt zehnmal ausgeführt und zu einem Mittel zusammengefaßt; insgesamt lagen also 240 ZMP-Schätzungen vor.

Zusätzlich wurden 20 Tage später noch 120 "Mittenschätzungen" unter irregulärer Rotationsrichtung, d.h. die Mittellage wurde durch ein mehrmaliges Hin- und Herschieben des Papierstreifens ermittelt, durchgeführt. Damit sollten Effekte, hervorgerufen durch eine spezielle Rotationsrichtung, besser analysiert werden können.

Die bei den Versuchen ermittelten Abweichungen vom wahren ZM zeigt Tab. 1. Dabei gilt:

- "+" ... relativ zum wahren ZM zu weit rechts geschätzt,
- "-" ... relativ zum wahren ZM zu weit links geschätzt.

		linkes Auge							rechtes Auge						
Süd oben	a	SV	±	IR	±	SR	±	SV	±	IR	±	SR	±		
	0.33	+1.5°	0.1°	+2.4°	0.1°	+2.1°	0.2°	-0.2°	0.2°	+0.9°	0.1°	+1.8°	0.2°		
	0.50	+0.9°	0.1°	+1.7°	0.2°	+1.9°	0.2°	-0.8°	0.3°	-0.1°	0.1°	+1.3°	0.1°		
	0.67	+1.8°	0.2°	+2.5°	0.1°	+2.6°	0.2°	+1.0°	0.1°	+1.3°	0.2°	+2.3°	0.2°		
Nord oben	a	NR	±	IR	±	NV	±	NR	±	IR	±	NV	±		
	0.33	+1.2°	0.2°	+1.6°	0.1°	+2.3°	0.2°	0°	0.2°	+0.4°	0.2°	+2.4°	0.1°		
	0.50	+1.7°	0.1°	+1.7°	0.1°	+2.5°	0.2°	-0.1°	0.2°	+1.0°	0.1°	+1.4°	0.1°		
	0.67	+0.8°	0.1°	+1.5°	0.1°	+1.6°	0.2°	+0.3°	0.1°	+0.9°	0.1°	+1.3°	0.2°		

a = Abstand des Objektes vom oberen Rand der Schablone in Einheiten des Polardurchmessers.

Tabelle 1: Ermittelte Abweichungen in den ZMP-Schätzungen relativ zum wahren ZM im Modellversuch des Verfassers

Um noch vorhandene, unbekannte Schablonenfehler ($<0.3^\circ$) zu minimieren und Differenzen, die durch unterschiedliche Intensitätsverteilung auf der Jupiterscheibe hervorgerufen werden, zu beseitigen -so daß alles etwas aussagekräftiger wird- wurden die Werte "Süden oben" mit "Nord oben" gemittelt (Tab. 2, Abb. 2). Zum Vergleich wurden in Tab. 2 noch die Werte des ähnlich gelagerten Versuchs aus [1] aufgenommen.

a	Rotation:	linkes Auge			rechtes Auge		
		vlnr.	irr.	vrnl.	vlnr.	irr.	vrnl.
0.33	vlnr.	+1.4°	+2.0°	+2.2°	-0.1°	+0.7°	+2.1°
0.50		+1.3°	+1.7°	+2.2°	-0.4°	+0.5°	+1.3°
0.67		+1.3°	+2.0°	+2.1°	+0.7°	+1.1°	+1.8°
Mittel		+1.3°	+1.9°	+2.2°	-0.1°	+0.7°	+1.7°
(Mittel vlnr./vrnl.)			(+1.8°)			(+0.9°)	
Berger					-1.8°		+6.0°
Mettig					+1.0°		+4.2°

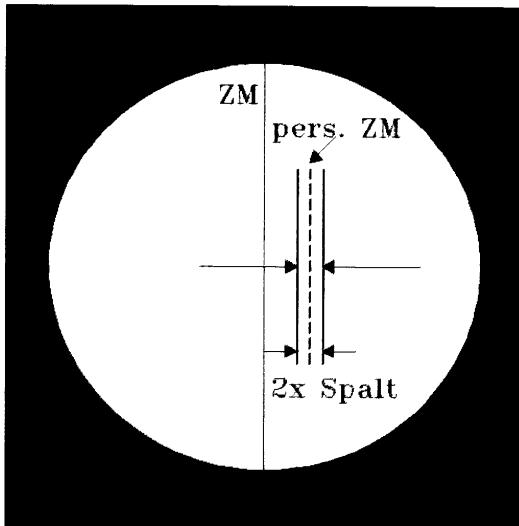
vlnr. = Rotation von links nach rechts (SV, NR)

irr. = irreguläre Rotationsrichtung (IR)

vrnl. = Rotation von rechts nach links (SR, NV).

Tabelle 2: Auf den Rotationssinn bezogene Abweichungen der ZMP-Schätzungen in den Modellversuchen

linkes Auge



rechtes Auge

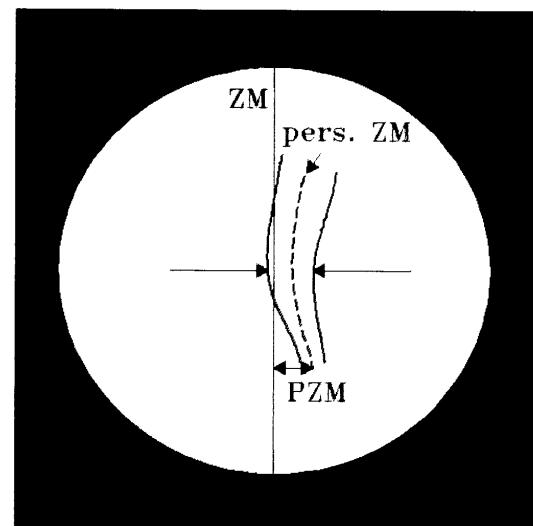


Abbildung 2: Abweichungen der ZMP-Schätzungen im Modellversuch des Verfassers relativ zum wahren ZM (Darstellung achtfach überhöht!)

Klammert man einmal Differenzen in unterschiedlichen Breiten aus, läßt sich aus den Modellversuchen zunächst folgendes verallgemeinern:

Jeder Beobachter hat einen persönlichen ZM, der im Modellversuch durch die "irreguläre Rotationsrichtung" repräsentiert wurde. Er läßt sich offensichtlich auch durch den mittleren Ort aus den ZMP-Schätzungen der beiden unterschiedlichen Rotationsrichtungen beschreiben, da die Differenzen der Schätzungen von definierter zu irregulärer Rotationsrichtung betragsmäßig in etwa gleich groß sind. In

den Modellversuchen weicht dieser persönliche relativ zum wahren ZM nach rechts ab. Dabei ist der Sinn dieser Abweichung in meinem Versuch für das linke und das rechte Auge gleich, allerdings links etwa doppelt so groß wie für das geübte Beobachterauge rechts. Diese Differenz zwischen persönlichem und wahren ZM heiße PZM; dabei gilt:

PZM "+" ... persönlicher ZM weicht relativ zum wahren ZM nach rechts ab
 PZM "-" ... persönlicher ZM weicht relativ zum wahren ZM nach links ab

Relativ zu diesem persönlichen ZM werden die ZMP nun in den Modellversuchen generell zu früh gesehen; die Größe dieser Abweichung in jovigraphischer Länge sei mit SP (Spalt) bezeichnet. Hier soll gelten:

SP "+" ... ZMP werden relativ zum persönlichen ZM zu spät gesehen
 SP "-" ... ZMP werden relativ zum persönlichen ZM zu früh gesehen

In Abb. 2 sieht man auch, daß der Spalt bei Rotation v.l.n.r. mit dem bei Rotation v.r.n.l. in etwa übereinstimmt. Erklären kann man sich das mit der Art und Weise, wie ZMP exakterweise geschätzt werden: Der Beobachter stellt sich nämlich auf die beobachtete Rotationsrichtung ein; die Feststellung, wann die ZMP erfolgt, geschieht durch die ständige Wiederholung folgender Vergleiche:

1. Abstand zwischen vorangehendem Jupiterrand und Objekt **zu** ...
2. Abstand zwischen Objekt und nachfolgendem Jupiterrand **und** ...
3. Vergleich in Bezug auf die näherliegende bzw. obere Polarkalotte,

und immer nur in dieser Reihenfolge. Damit ist aber auch die Art der Beobachtung einer ZMP in beiden Rotationsrichtungen im Sinne der Rotation gleich, was dann analoge Abweichungen zum persönlichen ZM in beiden Rotationsrichtungen zur Folge haben müßte.

Aus dem beschriebenen Sachverhalt ergeben sich folgende Beziehungen:

- (1) $\lambda_{SV/NR} = \lambda_0 + PZM + SP$
- (2) $\lambda_{SR/NV} = \lambda_0 - PZM + SP$

und daraus folgt:

- (3) $PZM = 0.5 (\lambda_{SV/NR} - \lambda_{SR/NV})$
 - (4) $SP = 0.5 (\lambda_{SV/NR} + \lambda_{SR/NV}) - \lambda_0$
 - (5) $\lambda_0 = \lambda_{Beob.} - SP \left\{ \begin{array}{l} + PZM \quad \text{bei SR/NV, d.h. Rotation v.r.n.l.} \\ - PZM \quad \text{bei SV/NR, d.h. Rotation v.l.n.r.} \end{array} \right.$
- mit: λ_0 ... "wahrer" jov. Längenwert (im Modellversuch gilt: $\lambda_0=0^\circ$)
 $\lambda_{Beob.}$... beobachtete jov. Länge:
 $\lambda_{SR/NV}$... bei Rotation v.r.n.l.
 $\lambda_{SV/NR}$... bei Rotation v.l.n.r.

Kommen wir im weiteren nun zu den realen Beobachtungen am Fernrohr.

1.2 Ergebnisse aus Beobachtungen des AKP/DDR von 1969 bis 1990

Bei der Auswertung der vorliegenden ZMP des GRF stellte sich die Frage, auf welchen Bezugspunkt die einzelnen Beobachter zu reduzieren seien. Exaktere photographische Positionen waren für den interessierenden Zeitraum leider nicht in ausreichendem Maße vorhanden. So habe ich unseren

langjährigen und treuesten GRF-Beobachter *Siegfried Seliger* kurzerhand zum "absoluten Nullpunkt" erklärt und alle Beobachtungen gegen seine SR-Werte reduziert. Die mittleren Abweichungen $\Delta\lambda$ ($=\lambda_{\text{Beobachter}} - \lambda_{\text{Seliger}}$) ausgewählter Beobachter zu *S. Seliger* sind in Tab. 3 verzeichnet.

SV	$\Delta\lambda$	n	SR	$\Delta\lambda$	n
Mettig	+3.2°	48	Blasberg	+1.0°	73
Mosch	+1.0°	33	Greißner	+0.4°	93
			Mosch	+0.4°	86
			Seliger	0°	278
			Hahn	-0.1°	55
			Berger	-0.4°	13
			Mau	-0.6°	155
			Ahnert	-0.8°	57
			Mettig	-2.4°	59
<hr/>					
NR			NV		
Berger	+4.8°	101	Voigt	+1.2°	60
Brauckhoff	+4.3°	38	Berger	0.0°	5
Mettig	+2.9°	4			
Bretschneider	+1.8°	16			
Lhotzky	+0.1°	15			
Viertel	-0.2°	23			
<hr/>					
Mittel					
SV	+2.3°	81	SR	-0.2°	868
NR	+3.5°	191	NV	+1.1°	65
<hr/>					
Rotation vlnr.	+3.2°	278	Rotation vrnl.	-0.1°	933

Tabelle 3: Mittlere beobachterspezifische systematische Fehler in den einzelnen Bildorientierungen

Streuungen der $\Delta\lambda$ -Werte von $\pm 1.5^\circ$ zwischen den einzelnen Oppositionen sind, wie aufgrund des Verfahrens nicht anders zu erwarten ist, keine Seltenheit. Trotzdem stellt das Mittel $\Delta\lambda$ m.E. eine recht brauchbare Größe dar. Zum Vergleich seien in Tab. 4 noch zusätzlich die Werte von anderen ausgewählten Objekten aufgelistet.

		Hahn (SR) - Berger (NR)		Hahn (SR) - Mettig (SR)	
Objekt	β''	$\Delta\lambda$	n	$\Delta\lambda$	n
WOS / STB	-32°	-4.3°	25	+3.0°	18
GRF	-21°	-4.5°	160	+2.3°	101
Barren N-NEB (1989/90)	+15°	-2.6°	135		
Barren NTB	+30°	-4.8°	9		

Tabelle 4: Längendifferenzen in den ZMP-Schätzungen bei verschiedenen Objekten

Anschließend habe ich noch versucht, die Abweichung der Bezugsgröße "Seliger (SR)" zur wahren jovigraphischen Länge (λ_0) zu ermitteln. Aus diversen Veröffentlichungen photographischer Längenwerte bzw. Mikrometermessungen erhielt ich eine Differenz *Seliger* (SR) - λ_0 im Bereich von $+1^\circ \dots -5^\circ$,

allerdings streut diese Größe von Opposition zu Opposition wesentlich mehr als die DI-Werte in Tab. 3. Das Mittel von ca. -1.5° ist somit etwas mit Vorsicht zu genießen. Praktisch veranschaulicht dieses Dilemma auch folgender Auszug aus [2], hier in einer freien Übersetzung wiedergegeben:

Bei der Auswertung der 85iger Opposition "... wurden das erste Mal hervorragende photographische und visuelle Längenwerte zusammen verwendet. Ein Vergleich zeigt, daß die meisten visuellen ZMP systematisch früher, die entsprechenden Längenwerte also kleiner, als die aus den Photographien erhaltenen, ausfallen. Die Differenzen betragen für einige Beobachter, inbegriffen der Verfasser (Orientierung SR), bis zu 5° (im Mittel für alle Beobachter $2^\circ \dots 3^\circ$ - Anm. d. Verf.). Obgleich systematische Differenzen zwischen visuellen Beobachtern schon aus der Vergangenheit her bekannt sind, ist es erstaunlich, daß die aktuellen Fehler (zu den photographischen Längenwerten) alle in eine Richtung weisen. Diese Diskrepanzen waren besonders um die Opposition augenscheinlich, so daß sich diese definitiv vom allseits bekannten Phaseneffekt unterscheiden müßten ... 1984 wurden im übrigen keine signifikanten Differenzen zwischen visuellen und photographischen Werten erhalten; die Anzahl brauchbarer visueller ZMP war allerdings sehr gering ...".

Ein Hinweis, der ebenfalls diesen Fakt widerspiegelt, ist der Unterschied zwischen dem Wert SP von *Berger* und *Mettig* aus einerseits dem Modellversuch und andererseits der Beobachtungspraxis:

Modellversuch : $SP(Berger)$ minus $SP(Mettig)$ = -2.3°

Beobachtungen: $SP(Berger)$ minus $SP(Mettig)$ = $+1.8^\circ$,

entnommen aus Tab. 5, die mit den Beziehungen (3) und (4) erstellt wurde.

Beobachter	$\lambda_{SV/NR} - \lambda_{SR/NV}$		PZM		SP	
	Praxis	Modellversuch	Praxis	Modellversuch	Praxis*	Modellversuch
Berger	$+5.1^\circ$	$+4.2^\circ$	$+2.5^\circ$	$+2.1^\circ$	$+0.6^\circ$	-3.9°
Mettig	$+5.6^\circ$	$+5.2^\circ$	$+2.8^\circ$	$+2.6^\circ$	-1.2°	-1.6°
Hahn	-	$+1.8^\circ$	-	$+0.9^\circ$	-	-0.8°
AKP-Mittel	$+3.1^\circ$	-	$+1.5^\circ$	-	$\pm 0^\circ$	-

(*) - Werte sind relativ auf ein angenommenes AKP-Mittel von $SP=0$ bezogen.

Tabelle 5: Die "persönlichen Parameter" ausgewählter Beobachter

Was läßt sich nun daraus ableiten ?

1. Im Mittel haben also alle Beobachter einen nach rechts verschobenen ZM. Die Differenz $\lambda_{SV/NR} - \lambda_{SR/NV}$ scheint jedoch ziemlich konstant zu sein ... vergleiche Modellversuch und Praxis in Tab. 5! (Es stellt sich aber noch die Frage, ob Linkshänder den persönlichen ZM nach links verschoben sehen, da offenbar alle Beobachter des AKP Rechtshänder sind.)
2. Ganz anderes sieht es nun mit der Differenz zu den exakten Längenpositionen aus, bzw. der Fragestellung, wie und in welcher Richtung man die ZMP zu seinem persönlichen ZM einschätzt (SP!). Für die hier auftretenden größeren Unterschiede in der Bewertung muß man wohl die allseits gestreuten "unterschiedlichen Beobachtungsbedingungen" heranziehen. Immerhin kann sich SP im Bereich von $-3.5^\circ \dots +2.5^\circ$ bewegen, es ist also nicht feststellbar, ob man die ZMP - wie in den Modellversuchen - relativ zum persönlichen ZM generell zu früh sieht. Das etwaige Mittel von -1.5° für die Differenz $\lambda_{Seliger} - \lambda_0$ führt übrigens zu $SP = 0^\circ$. Falls man eine Differenz wie im oben zitierten Auszug aus [2] von -4° annimmt, würde der Spalt mit ca. -1.5° etwa denen der Modellversuche entsprechen! Hier sind also noch genauere Analysen notwendig.

2. Systematische Fehler durch den Phaseneffekt

2.1 Zur Theorie

Der Phaseneffekt beinhaltet die Tatsache, daß die beobachtete Drift eines Objekts, ermittelt durch ZMP, innerhalb einer Jupitersichtbarkeit um einen bestimmten Betrag höher ausfällt als die über mehrere Jahre geglättete, wahrscheinlichere Drift. In der Literatur ([3], [4]) wird unter vorsichtigen Abschätzungen von einem Wert von ca. $+0.02^\circ/d$ gesprochen. Hervorgerufen wird dieser Effekt durch eine schwache Randabdunklung am phasenbehafteten Rand der Jupiterscheibe (Terminator), die auch in den Ephemeriden der geometrisch beleuchteten Jupiterscheibe (also unter Berücksichtigung des Phasendefektes) nicht beachtet ist. Die dadurch entstehende Verfälschung von ZMP-Längenpositionen ($\Delta\lambda$) hängt praktisch linear von der Jupiterphase (0° bis 12°) ab und ist, entgegen der Definition des Phasenwinkels, negativwertig vor der Opposition und positivwertig danach zu verstehen (Abb.3).

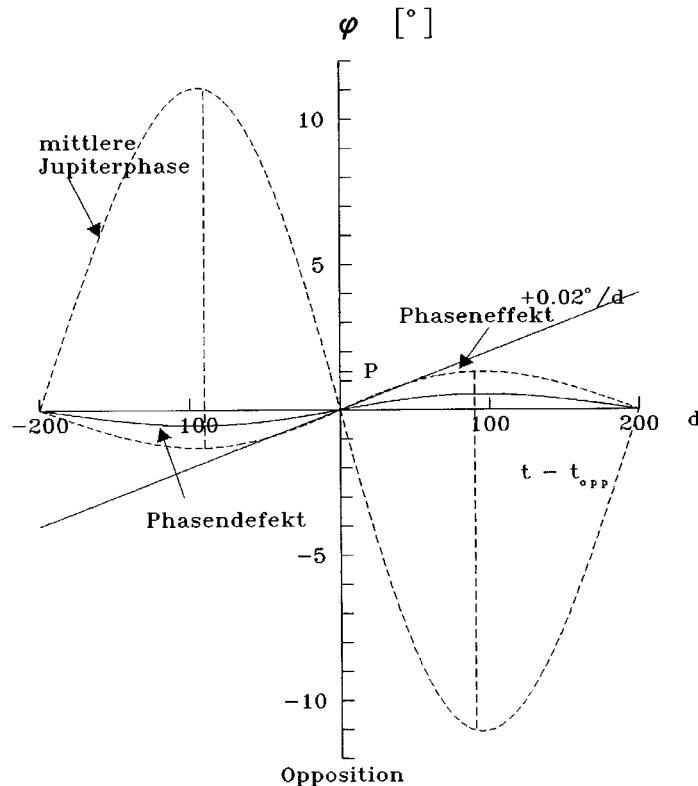


Abbildung 3: Prinzipieller Verlauf der Jupiterphase, des Phasendefektes sowie des Phaseneffektes; die Gerade stellt die in der Literatur gegebene Näherung zum Phaseneffekt dar.

Will man $\Delta\lambda$ nicht direkt an den Phasenwinkel anschließen, gilt in einer völlig ausreichenden Näherung für den Zeitraum 1800 bis 2100:

$$(6) \quad \lambda_0 = \lambda_{\text{Beob.}} - \Delta\lambda \quad \text{mit} \quad \Delta\lambda = P * \sin(2\pi * (t - 2396824) / t_{\text{syn}})$$

- und: λ_0 ... "wahre" jov. Länge
 $\lambda_{\text{Beob.}}$... beobachtete jov. Länge
 t ... Julianisches Datum des Beobachtungszeitpunktes
 t_{syn} ... 398.883 d

Nach den Literaturangaben zum Phaseneffekt müßte P, d.h. $\Delta\lambda$ zum Zeitpunkt der größten Jupiterphase nach der Opposition, im Bereich von $+0.8^\circ$ bis $+1.6^\circ$ liegen.

2.2 Die GRF-Bewegung von 1966 bis 1990

Die möglichst genaue Ableitung des Phaseneffekts stellt zunächst einige Bedingungen an das dafür heranzuhaltende Objekt. Es muß gut definiert und über einen langen Zeitraum intensiv beobachtet worden sein. Dafür kam nur der GRF im Frage. Allerdings zeigen die in Abb. 4 graphisch wiedergegebenen Positionen des GRF (Mittelwerte aus Beobachtungen des AKP/DDR, bezogen auf S. Seliger (SR)) auch recht deutlich, wie hoch sekundäre Schwingungen, angefangen bei der 90th-Periode [5], ausfallen, die den Phaseneffekt mit seiner knapp 400tägigen Periode überlagern.

Bekannt ist zunächst folgendes: $\Delta\lambda$ ist zum Zeitpunkt der Konjunktion und der Opposition gleich 0°. Daraufhin wurde ein Polygonzug durch die extrapolierten Konjunktions- und beobachteten Oppositionspositionen gelegt. Dieser sollte nun die geglättete, wahrscheinliche Drift des Flecks repräsentieren. Dann wurden die Differenzen zwischen den gemittelten Beobachtungswerten aus Abb. 4 und den ihnen zeitlich entsprechenden Positionen des Polygonzugs gebildet und abschließend auf eine einzige Sichtbarkeitsperiode reduziert. Die so erhaltenen $\Delta\lambda$ -Werte zeigt Abb. 5.

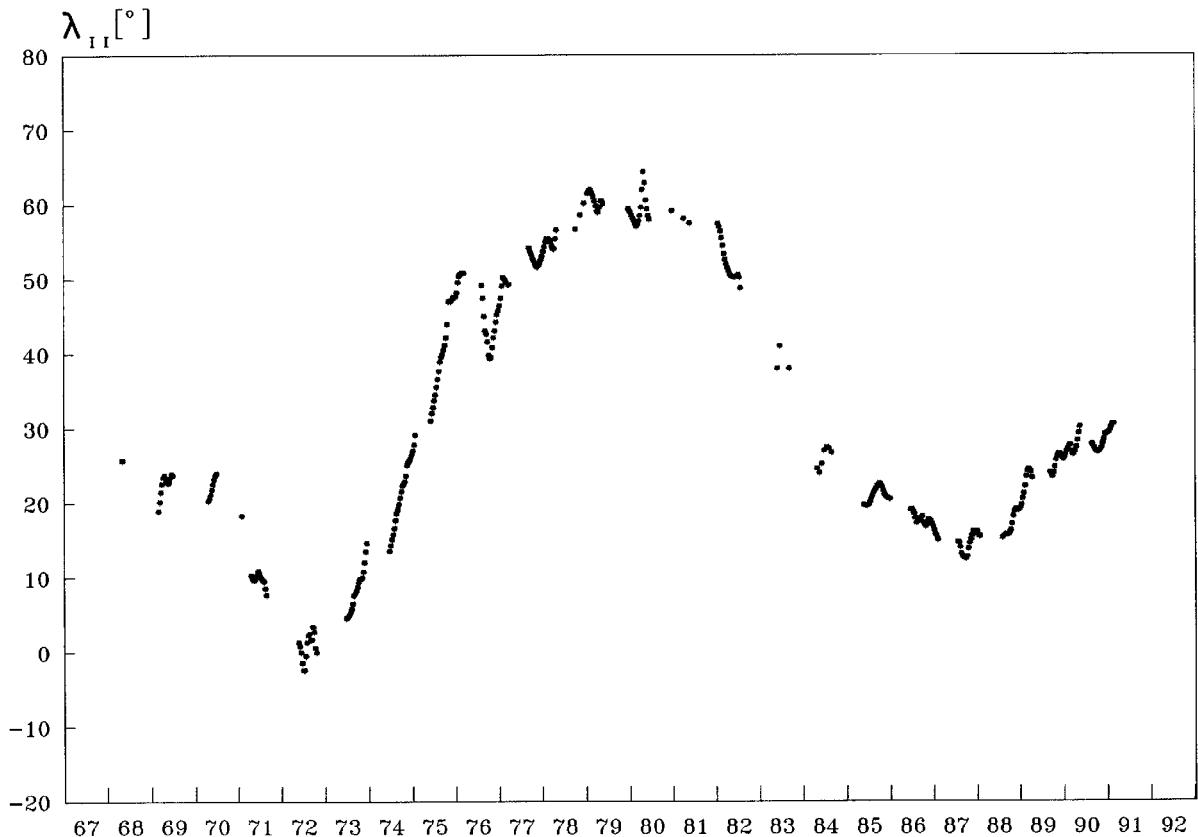


Abbildung 4: Mittelwerte der beobachteten Positionen des GRF von 1966-91 bezogen auf S. Seliger (SR)

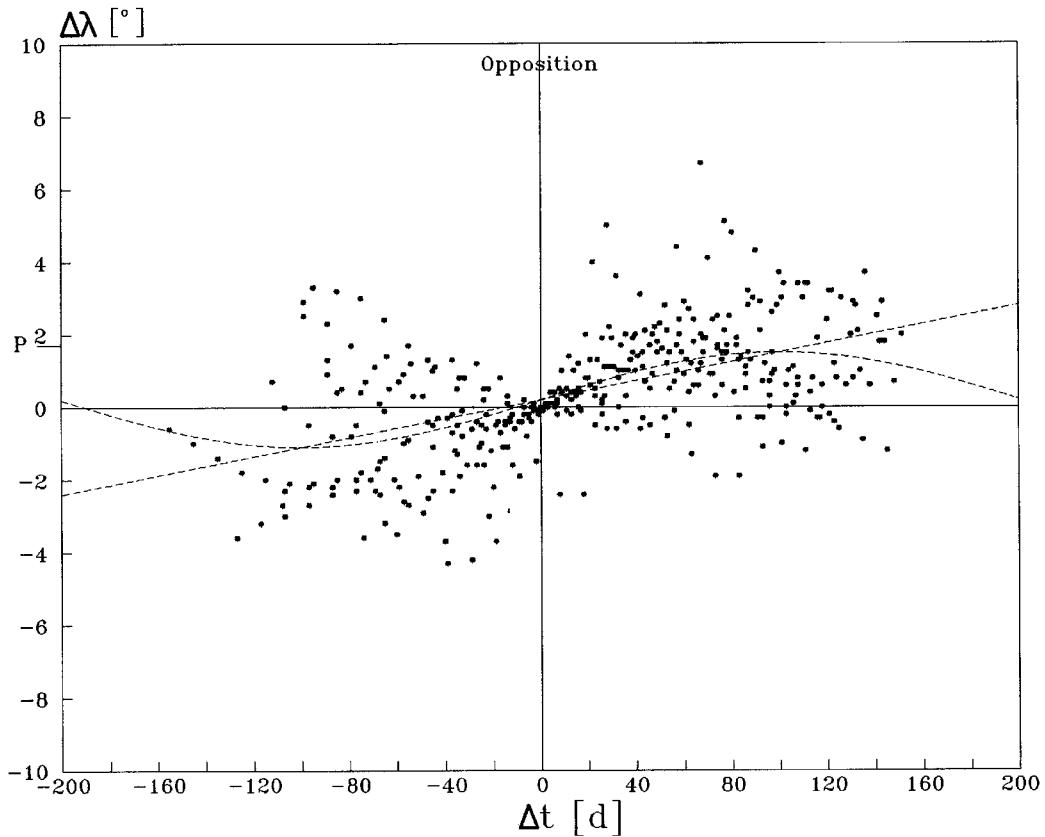


Abbildung 5: Auf eine Sichtbarkeitsperiode reduzierte Differenzen der Werte aus Abb. 4 zu den wahrscheinlichen Positionen des GRF

Wie nicht anders zu erwarten, streut $\Delta\lambda$ stark. Existiert der Phaseneffekt wirklich, müßte ein systematischer Anteil der Form:

$$\Delta\lambda = A + B * \sin(2\pi * (t - t_{\text{Opp}})/t_{\text{syn}}) \quad \text{mit } A = 0$$

existieren. Die aus 377 Werten $\Delta\lambda$ ermittelten Schätzungen für die Parameter A und B lauten:

$$A = +0.2^\circ \pm 0.1^\circ \quad \text{und} \quad B = +1.3^\circ \pm 0.1^\circ;$$

der lineare Korrelationskoeffizient von $\sin(\dots)$ und $\Delta\lambda$ beträgt 0.55.

Eine lineare Approximation der Form

$$\Delta\lambda = A + B * (t - t_{\text{Opp}})$$

führt zu:

$$A = +0.2^\circ \pm 0.1^\circ \quad \text{und} \quad B = +0.013^\circ \pm 0.001^\circ;$$

der lineare Korrelationskoeffizient von $(t - t_{\text{Opp}})$ und $\Delta\lambda$ beträgt 0.52.

Beachtet man die unterschiedliche Punktdichte über der Zeitachse, so würde ich den Parameter P zu $+1.3^\circ \pm 0.2^\circ$, bzw. den Phaseneffekt zu 12% des aktuellen Phasenwinkels, abschätzen, was auch dem o.g. Erwartungswert genügt.

Der Phaseneffekt tritt übrigens nicht nur bei visuellen ZMP auf, sondern wurde auch schon beim Ausmessen von Photographien gefunden: Dabei wurden die Positionen des Mondes Io in der Nähe des ZM vermessen und Differenzen zur theoretischen Bahnposition gebildet [4]. Mit diesem Verfahren gelang die Ableitung des Phaseneffekts zu 8% des Phasenwinkels (d.h. $P = +0.9^\circ$), was sich recht gut mit meinem Ergebnis deckt.

3. Zusammenfassung

Betrachtet man alle hier beschriebenen systematischen Fehler, ergeben sich die in Abb. 6 gezeigten Fehlerfunktionen von ZMP-Schätzungen im AKP/DDR.

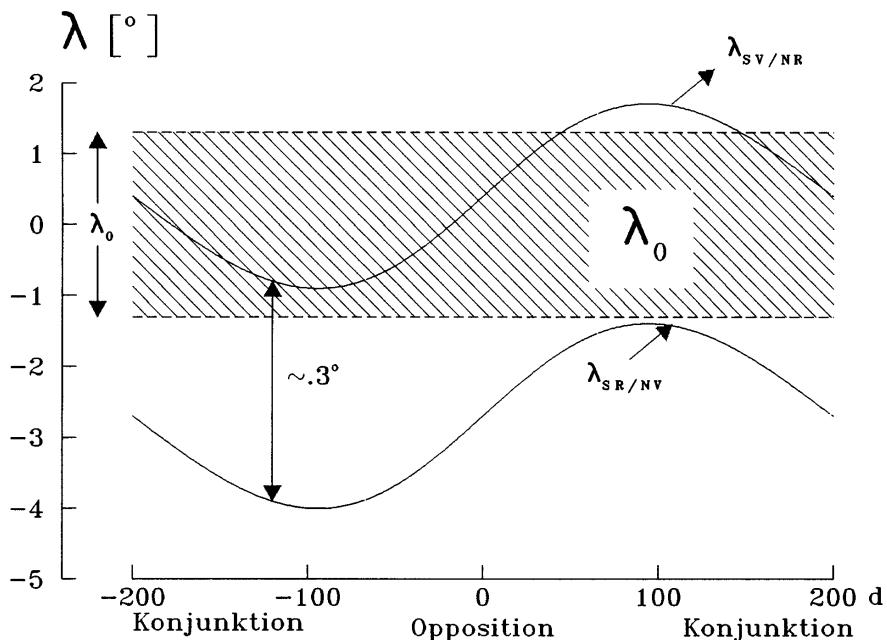


Abbildung 6: Mittlere Fehlerfunktionen von ZMP-Schätzungen im AKP/DDR

Im ungünstigsten Falle können in inhomogenen ZMP-Reihen (Verwendung unterschiedlicher Beobachter und Orientierungen) Differenzen bis 10° jovigraphischer Länge auftreten. Das ist keinesfalls mehr unter der Rubrik "zufälliger Beobachtungsfehler" abbuchbar! Es sollte sich also jeder, der ZMP auswertet, zuerst kundig machen, wie hoch zu erwartende systematische Fehler ausfallen. Auch sollte er bei aller Zahlenspielerei nie vergessen, daß ZMP halt immer nur Schätzungen sind.

4. Literatur

- [1] *Mettig, H.-J.:* Systematische Fehler bei der Bestimmung jovigraphischer Längenpositionen, MfP **10**, 2, 18 sowie MfP **10**, 3/4, 51 (1986)
- [2] *Rogers, J. H.:* Jupiter in 1985, A Report of the Jupiter Section, JBAA **98**, 3, 151 (1988)
- [3] *Phillips, T. E. R.:* On a Form of Error in Eye-estimated Transits of Spots on Jupiter, The Observatory **28**, 361, 344 (1905)
- [4] *Williams, A.S.:* Systematic Error in Transit Observations of Jovian Spots, The Observatory **28**, 362, 389 (1905)
- [5] *Reese, E.J.:* Jupiters Red Spot in 1968-1969. Icarus **12**, 249 (1970)