

# POLACHSENJUSTIERUNG

Zu den elementaren, dennoch aber wichtigsten Problemkreisen der Astrofotografie mit transportablen Geräten zählt die möglichst rasche und effiziente Polachsenjustierung - also das Ausrichten der Instrumentenpolachse auf den wahren Himmelspol. Die meisten handelsüblichen Montierungen werden mittlerweile mit Polsucherfernrohren ausgerüstet, wodurch zumindest eine überschlägige Justierung der Polachse mit geringem Aufwand möglich geworden ist. Polsucherfernrohre erlauben jedoch bestenfalls eine Einstellgenauigkeit von ca. 3 Bogenminuten - ein Wert, der, wie noch gezeigt werden wird, für die Langzeitastrofotografie in der Regel nicht ausreicht. Gelingt es uns nicht, die Polachse extrem genau auf den Himmelspol auszurichten, so entsteht trotz perfekter Nachführung die sogenannte Bildfelddrehung. Sterne in zunehmender Distanz zum Leitstern werden nicht mehr punktförmig abgebildet sondern entarten im Extremfall zu Kreisbögen, in deren Zentrum sich der Leitstern befindet. Mit größer werdendem Abstand zum Leitstern und / oder wachsender Belichtungszeit nimmt die Länge dieser Bögen zu.

Schon im Jahre 1897 entwickelte Scheiner ein Verfahren, welches bei gekonnter Anwendung verhältnismäßig rasch eine hochgenaue Polachsenjustierung ermöglicht und seither zumindest im deutschen Sprachraum auch seinen Namen trägt. Dieses Verfahren beruht im wesentlichen auf der Tatsache, daß im Falle einer Dejustierung der Polachse die Sterne bei längerer Beobachtung in Deklination auswandern. Das Ausmaß dieser "Deklinationsdrift" kann gemessen und daraus die notwendige Korrektur der Polachse unseres Teleskops ermittelt werden.

Ohne Beweis, der Kenntnisse der sphärischen Trigonometrie erfordert, sei angeführt, daß sich die Differenz zwischen dem durch die Fehljustierung verursachten scheinbaren Stundenwinkel und dem wahren Stundenwinkel  $h' - h$  sowie der scheinbaren und der wahren Deklination  $\delta' - \delta$  wie folgt darstellen läßt:

$$\Delta h = h' - h = (\xi \sin(h) - \eta \cos(h)) \tan(\delta) + \eta \tan(\Phi) \quad (1)$$

$$\Delta \delta = \delta' - \delta = (\xi \cos(h) + \eta \sin(h)) \quad (2)$$

mit	$h', h$	Stundenwinkel	$\delta$	Deklination
	$\xi$	Fehler in der Polhöhe	$\eta$	= $A \cos(\Phi)$
	$A$	Fehler in Azimut	$\Phi$	geogr. Breite

Differenziert man die Gleichungen (1) und (2) nach der Zeit, so ergibt sich die zeitliche Änderung der Differenz zwischen dem scheinbaren und dem wahren Stundenwinkel sowie zwischen der scheinbaren und der wahren Deklination. Die beiden resultierenden Gleichungen (3) und (4) geben somit die mathematischen Zusammenhänge zwischen den Justierfehlern  $\xi$  und  $\eta$ , der Deklination  $\delta$ , der Deklinationsdrift ( $d\Delta\delta / dt$ ), der Stundenwinkeldrift ( $d\Delta h / dt$ ) und der geographischen Breite  $\Phi$  wieder:

$$d\Delta h / dt = (\xi \cos(h) + \eta \sin(h)) \tan(\delta) \omega \quad (3)$$

$$d\Delta \delta / dt = (-\xi \sin(h) + \eta \cos(h)) \omega \quad (4)$$

mit	$d\Delta h / dt$	Stundenwinkeldrift
	$d\Delta \delta / dt$	Deklinationsdrift
	$\omega$	Änderung des Stundenwinkels pro Zeiteinheit

Wie man der Gleichung (3) leicht entnimmt, tritt bei einer Mißweisung der Polachse auch eine "Stundenwinkeldrift" auf, die aber aufgrund der Imperfektion (periodischer Schneckenfehler) jedes Teleskopantriebs mit Mitteln des Amateurs kaum genau zu messen ist. Aus diesem Grund erfolgt die Bestimmung der Fehler der Justierung für das Azimut und die Polhöhe stets durch Messung der Deklinationsdrift.

Die Deklinationsdrift (4) kann hingegen problemlos für die Bestimmung der Dejustierung herangezogen werden. Bei einem Stundenwinkel von 0 Uhr (also im Meridian) geht der Sinusterm gegen 0, der Cosinusterm hingegen gegen 1. Das sich der Stundenwinkel in 23.934 Stunden oder 1436.04 Minuten um 360 Grad ( $2\pi$ ) ändert, ergibt sich für  $\omega$  der Wert 0.004375355 (Kehrwert daher 228.55) und es kann aus der Deklinationsdrift in einem vorgegebenen Zeitintervall bereits auf die Größe  $\eta$  geschlossen werden.

Somit verbleibt für die Messung im Meridian lediglich folgender Ausdruck:

$$\begin{aligned} d\Delta \delta / dt = \eta \omega &\Rightarrow \eta = (d\Delta \delta / dt) / \omega = 228.55 d\Delta \delta / dt \\ \eta = A \cos(\Phi) &\Rightarrow A = (228.55 / \cos(\Phi)) d\Delta \delta / dt \end{aligned}$$

Es besteht demnach ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Deklinationsdrift und dem Azimutfehler folgender Art:

Der Azimutfehler ist 228.55 dividiert durch den Cosinus der geographischen Breite mal größer als die Deklinationsdrift pro Zeitminute im Meridian.

In der Regel ist schon wegen des Seeings eine Zeitminute viel zu kurz, um die durch die Dejustierung verursachte Drift des Sterns ausreichend genau bestimmen zu können. Als günstiges Beobachtungsintervall erweisen sich bei 2 m Brennweite 10 Zeitminuten. Dann ergibt sich anstelle des Faktors 228.55 ein Faktor von gerundet 22.86 (einfach ein Zehntel des obigen Wertes).

Noch simpler kann der Fehler in Polhöhe ermittelt werden. Es genügt die Deklinationsdrift im Osten (oder Westen), also bei einem Stundenwinkel von 6 h (oder 18 h) zu messen, da dann der Cosinusterm gegen 0 geht, der Sinusterm hingegen gegen  $\pm 1$ . Daraus resultiert:

$$d\Delta\delta / dt = \xi\omega \quad \Rightarrow \quad \xi = (d\Delta\delta / dt) / \omega = 228.55 d\Delta\delta / dt$$

Es besteht also auch ein eindutiger Zusammenhang zwischen der Deklinationsdrift und dem Fehler in der Polhöhe:

Der Fehler in der Polhöhe ist 228.55 mal größer als die Deklinationsdrift pro Zeitminute im Osten (oder Westen).

Letztlich stellt sich noch die Frage, wie die Verstellung des Teleskops in der Höhe und in Azimut möglichst genau bzw. kontrolliert vorgenommen werden kann und in welche Richtung die Achsen verstellt werden müssen:

Wir werden sinnvollerweise sowohl für die Polhöhe als auch für das Azimut danach trachten, die Deklination für das Einstellen so zu wählen, daß der zu verstellende Betrag möglichst groß ist (Erhöhung der Einstellgenauigkeit), dennoch aber in einem Zug mit dem Micro-Guide-Okular durchgeführt werden kann (das Okular weist nur 60 Unterteilungen auf, die notwendige Korrektur sollte daher wenn möglich auch unter 60 Einheiten bleiben).

Die Einstellung des ermittelten Korrekturbetrages Polhöhe erfolgt ganz einfach bei senkrecht gestelltem Deklinationsfaden an einem etwa im Meridian stehenden Stern, der grundsätzlich eine beliebige Deklination aufweisen darf. Die Richtung der Korrektur ist wie folgt vorzunehmen:

Haben wir in Osten eine positive Deklinationsdrift, also ein Auswandern in Richtung Norden, gemessen, so ist die Polachse abzusenken (siehe Anmerkung 1).

Für die Justierung des Azimuts ist hingegen zu berücksichtigen, daß der ermittelte Korrekturterm laut obigen Gleichungen nur für die Horizontebene gilt. Genau am Horizont läßt sich aber in aller Regel kein geeigneter Stern finden. Durch die Anwendung der Gesetze der sphärischen Trigonometrie läßt sich jedoch nachweisen, daß für einen über dem Horizont stehenden Stern anstelle des für die Horizontebene geltenden Wertes lediglich der mit dem Sinus der Zenitdistanz multiplizierte Korrekturwert herangezogen zu werden braucht. Die Zenitdistanz eines im Meridian stehenden Sterns entspricht aber der Differenz zwischen der geographischen Breite und seiner Deklination  $\Phi - \delta$ . Es ergibt sich daher:

$$\lambda = 228.55 (\sin(\Phi - \delta) / \cos(\Phi)) d\Delta\delta / dt$$

mit  $\lambda$  = Verstellung für einen Stern beliebiger Höhe

Die Richtung der Verstellung ist wie folgt vorzunehmen:

Haben wir im Meridian eine positive Deklinationsdrift, also ein Auswandern in Richtung Norden, gemessen, so ist die Montierung im Uhrzeigersinn zu drehen (siehe Anmerkung 1).

Wie können nun diese theoretischen Überlegungen zielführend bei der praktischen Arbeit im Feld angewendet werden? Wir erstellen zunächst Tabellen für 10 und 20 Minuten Meßdauer der Deklinationsdrift, welche unter Berücksichtigung obiger Beziehungen sofort das Ablesen des Verstellwertes in Azimut und Polhöhe erlauben. Diese Tabellen gelten aber nur für ca. 48 Grad geographische Breite.

In der äußerst linken Spalte ist die vermessene Deklinationsdrift abzulesen, in den 7 darauf folgenden Spalten die notwendige Verstellung in Einheiten für das Azimut bei unterschiedlichen Deklinationen des für die Verstellung (nicht die Messung) herangezogenen Sterns, in der letzten Spalte die Einheiten der Verstellung der Polhöhe (jeweils in beliebigen - natürlich aber gleichen - Einheiten). Die Tabellen gelten grundsätzlich unabhängig von der Größe der gemessenen Einheiten, können aber sinnvoll nur dann angewendet werden, wenn eine Einheit nicht wesentlich größer als 10 Bogensekunden ist.

Geographische Breite 48 Grad      Meßdauer 10 Minuten								
Drift	Azimutverstellung bei gegebener Deklination							Höhe
	-15	-10	-5	0	5	10	15	
0.25	7.6	7.2	6.8	6.3	5.8	5.3	4.7	5.7
0.50	15.2	14.5	13.6	12.7	11.6	10.5	9.3	11.4
0.75	22.8	21.7	20.5	19.0	17.5	15.8	14.0	17.1
1.00	30.4	29.0	27.3	25.4	23.3	21.0	18.6	22.9
1.25	38.1	36.2	34.1	31.7	29.1	26.3	23.3	28.6
1.50	45.7	43.5	40.9	38.1	34.9	31.5	27.9	34.3
1.75	53.3	50.7	47.7	44.4	40.8	36.8	32.6	40.0
2.00	60.9	57.9	54.6	50.8	46.6	42.1	37.2	45.7
2.25	68.5	65.2	61.4	57.1	52.4	47.3	41.9	51.4
2.50	76.1	72.4	68.2	63.5	58.2	52.6	46.5	57.2

Geographische Breite 48 Grad      Meßdauer 20 Minuten								
Drift	Azimutverstellung bei gegebener Deklination							Höhe
	-15	-10	-5	0	5	10	15	
0.25	3.8	3.6	3.4	3.2	2.9	2.6	2.3	2.9
0.50	7.6	7.2	6.8	6.3	5.8	5.3	4.7	5.7
0.75	11.4	10.9	10.2	9.5	8.7	7.9	7.0	8.6
1.00	15.2	14.5	13.6	12.7	11.6	10.5	9.3	11.4
1.25	19.0	18.1	17.1	15.9	14.6	13.1	11.6	14.3
1.50	22.8	21.7	20.5	19.0	17.5	15.8	14.0	17.1
1.75	26.6	25.4	23.9	22.2	20.4	18.4	16.3	20.0
2.00	30.4	29.0	27.3	25.4	23.3	21.0	18.6	22.9
2.25	34.2	32.6	30.7	28.6	26.2	23.7	20.9	25.7
2.50	38.1	36.2	34.1	31.7	29.1	26.3	23.3	28.6

Nun können wir bereits mit einem einfachen Schema weiterarbeiten:

- Anpeilen eines Sterns in der Nähe des Meridians und Justierung des Meßfadens des Micro-Guide-Okulars in Nord-Süd-Richtung.
- Schwenken des Teleskops nach Osten (Westen) bei 6 h (18 h) Stundenwinkel und Einstellen eines Sterns in etwa 70 Grad Deklination. **Achtung:** Das Teleskop weist bei 70 Grad Deklination in Osten (Westen) bereits ziemlich in Richtung des Himmelspols. Diese zunächst eigenartig anmutende Einstellung von ca. 70 Grad Deklination ist aber notwendig, um den Einfluß der Refraktion auf die Meßgenauigkeit möglichst gering zu halten.
- Deklinationsdrift des Sterns in (beispielsweise) 10 Zeitminuten in Einheiten des Micro-Guide-Okulars messen. Aus der Tabelle in der Spalte "Höhe" ablesen, um wieviele Einheiten die Polhöhe verstellt werden muß (Beispiel: 1.5 Einheiten Drift ergeben bei 10 Minuten Meßdauer etwa 34.3 Einheiten Verstellung). Ist der Stern in Richtung Norden (bei einer Messung im Osten) ausgewandert, so muß die Polachse abgesenkt, andernfalls angehoben werden (für die Messung im Westen drehen sich die Richtungen um).
- Teleskop auf einen im Süden stehenden Stern (Meridian) mit ca. 30 Grad Deklination (Ausgleich der Refraktion für die nachfolgende Messung des Azimutfehlers) richten. Die Polachse entsprechend der Tabelle mit dem Micro-Guide-Okular absenken oder anheben.
- Den zuletzt für die Polhöhenverstellung benutzten Stern in die Mitte des Fadenkreuzokulars stellen und die Deklinationsdrift in (beispielsweise) 10 Zeitminuten messen.
- In der Tabelle jene Deklination wählen, für die die Verstellung bei gegebener Drift möglichst groß aber unter 60 Einheiten liegt (das Micro-Guide-Okular weist 60 Teilstriche auf). Danach ist das Okular um 90 Grad zu drehen, sodaß ein Stern bei Bewegung mit dem Rektaszensionsmotor auf dem Faden läuft.
- Nun den Stern in die Mitte stellen und laut Tabelle die notwendige Verstellung in Azimut vornehmen. Ist der Stern in 10 Zeitminuten beispielsweise 1.5 Teilstriche in Richtung Norden ausgewandert, so muß der Polkopf bei einer Deklination von -15 Grad um 45.7 Teilstriche im Uhrzeigersinn verdreht werden (bei einer Drift nach Süden natürlich im Gegenuhrzeigersinn).

Dieses Schema sollte in der Mondphase eingeübt werden, um die in der Dunkelheit leicht auftretenden Probleme zu vermeiden. So muß sozusagen im Blinden klar sein, welche Drehrichtung an der Polhöhenverstellung ein Anheben der Polachse bewirkt bzw. welche Richtung zu einem Absenken führt. Sinngemäß dasselbe gilt natürlich für die Drehrichtung der Azimutkorrekturschrauben. Es ist daher sinnvoll, zunächst bei Tageslicht die Wirkung der diversen Korrekturschrauben zu überprüfen und sich die Drehrichtungen einzuprägen - andernfalls besteht die Gefahr der Verstellung in die entgegengesetzte Richtung. Natürlich ist darauf zu achten, wo im Okular Norden und wo Süden ist - ein Zenitprisma dreht beispielsweise die Richtungen um!

Weiters ist die Klemmung in Azimut und Polhöhe während der Messung unbedingt fest anzuziehen, da Abweichungen im Bogensekundenbereich gemessen werden müssen. Ebenso sind natürlich die Rektaszensions- und Deklinationsachse hundertprozentig zu klemmen.

Bei den Messungen ist vor Beginn und nach Ablauf des Meßintervalls einige Sekunden die Position des Prüfsterns zu beobachten, da das Seeing dessen Position bei Teleskopen geringer Öffnung verändern kann.

Zuletzt ist auf einen häufig vernachlässigten Punkt besonders Augenmerk zu richten:

Das Stativ muß fixiert und gegen ein einseitiges Absinken gesichert werden. Diese Fixierung kann beispielsweise durch kegel- oder pyramidenförmige Spitzen erfolgen, welche in den Boden gerammt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht im Unterlegen von großen Platten (zur Reduktion der Flächenpressung) oder der Aufstellung auf festem Untergrund (Beton, Gestein etc.) Schon ein Absinken eines der Beine um nur 3/10 mm führt bei 1 m Distanz zwischen den Beinen zu einer unbeabsichtigten Polhöhenverstellung um eine Bogenminute.

Im praktischen Einsatz sollte wie schon erwähnt mit dem Micro-Guide-Okular bei etwa 2 m Brennweite (notfalls durch Verwendung einer Barlowlinse) gearbeitet werden, da dann ein Teilstrich etwa 10 Bogensekunden entspricht. Bei 10 Bogensekunden Abstand zwischen den Teilstrichen kann mit etwas Übung noch auf etwa 2 Bogensekunden genau abgelesen werden, woraus sich bei 10 Minuten Meßdauer eine Justiergenauigkeit der Polachse von unter einer Bogenminute in einem Durchgang erreichen läßt.

Das Ausmaß der Bildfelddrehung nimmt mit zunehmender Deklination drastisch zu. Bei Aufnahmen in Regionen hoher Deklination kann, wie noch gezeigt werden wird, nicht immer mit 1 Bogenminute Genauigkeit das Auslangen gefunden werden. In diesem Fall empfiehlt sich die Wiederholung des obigen Schemas mit 20 Minuten Meßdauer (Tabelle 2) - wenn möglich mit größerer Brennweite als 2 m.

Die Tabellen sind darauf ausgelegt, daß die vorzunehmende Korrektur in Azimut und Polhöhe unter 60 Einheiten liegt, da das Micro-Guide-Okular 60 Unterteilungen aufweist. Dies bedeutet aber andererseits, daß bei 2 m Brennweite und 10 Minuten Meßdauer die Polhöhe nicht mehr als etwa 8 Bogenminuten von wahren Pol abweichen darf. Vor Einsatz des Scheinerverfahrens mit der Tabelle sollte daher bereits eine einigermaßen genaue Polachsenjustierung vorliegen. Da wir mit einem Polsucher arbeiten, läßt sich diese notwendige Voreinstellung aber mühelos bewerkstelligen. Alternativ besteht natürlich die Möglichkeit, zunächst mit einer geringeren Brennweite zu messen, sofern kein Polsucherfernrohr zur Verfügung steht.

Welche Genauigkeit ist nun überhaupt erforderlich? Im Handbuch für Sternfreunde (Hrsg. G.D. Roth) findet man folgende Tabelle:

$\delta$	Belichtungszeit 30 min	Belichtungszeit 90 min
20°	13.7'	4.5'
40°	11.4'	3.8'
60°	7.4'	2.5'
80°	2.6'	0.9'

Diese Tabelle erscheint insofern etwas problematisch, da der Einfluß der Distanz zwischen dem zu fotografierenden Objekt und dem Leitstern nicht berücksichtigt wird. Gerade bei Aufnahmen im Großformat, die zwangsläufig zu einer großen Winkeldistanz zwischen der Bildmitte und dem Nachführstern (selbst bei Nachführung auf einen im Bereich der Mitte befindlichen Stern) führen, ist unserer Erfahrung nach für höhere Deklinationen eine erheblich höhere Genauigkeit anzustreben. Bei 90 Minuten Belichtungszeit und 60 Grad Deklination sollte der verbleibende Fehler der Justierung bereits unter einer Bogenminute liegen, nimmt man nicht Deformationen der Sternpunkte an den Bildrändern bei extrem feinkörnigem Film (z.B. TP6415) in Kauf. Jedenfalls gilt ein zentraler Grundsatz:

**Der für die Nachführung verwendete Leitstern sollte sich soweit als möglich im Bereich der Bildmitte befinden.**

Anmerkungen:

1. Unter einer "positiven Deklinationsdrift, also ein Auswandern in Richtung Norden" verstehen die Autoren, daß der Stern im Gesichtsfeld nach Norden auswandert. Es ist nicht gemeint daß das Gesichtsfeld relativ zum Stern nach Norden wandert.

Die Wiedergabe dieses Artikels erfolgt mit freundlicher Genehmigung von Dipl.-Ing. Franz Kersche und Gerald Rhemann ([www.astrostudio.at](http://www.astrostudio.at)). Alle Rechte liegen bei den Autoren.

PDF-Version, Korrekturen und Anmerkungen von Michael Koch, ASTRO ELECTRONIC