

# Die Scheinermethode

Anleitung zur schnellen Justierung  
parallaktischer Montierungen  
mit dem Micro-Guide Okular

Dr. Matthias Knülle

03.12.2000

## Azimutale oder Parallaktische Montierung ?

Immer leistungsfähigere und kostengünstigere Mikrocomputer auch im amateurastronomischen Bereich machen es heute möglich, Fehler bei der Aufstellung parallaktischer Montierungen zu bestimmen und die Motoren der Montierung (in Rektaszension und Deklination) so zu steuern, dass das Teleskop die Erdrotation trotzdem bis auf geringe Restfehler richtig nachgeführt wird. Sogar die Nachführung azimutaler Montierungen wird so möglich. Dies führte zu einer steigenden Anzahl auch größerer azimutal montierter Geräte auf dem Markt von Amateurgeräten.

Vorreiter dieser Entwicklung zurück zur azimutalen Montierung war der professionelle Gerätebau: Die immer mächtigeren Teleskope mit über 8m Spiegeldurchmesser und die entsprechend anwachsenden Massen der beweglichen Teile zwangen die Konstrukteure diesen Weg zu gehen, um die Kosten im Rahmen des machbaren zu halten. Auf Grund der statisch günstigeren Lage der Achsen ist eine azimutale Montierung gleicher Stabilität wesentlich leichter zu realisieren als eine parallaktische Konstruktion.

Warum also sollte man sich im Amateurbereich heute noch mit der zeitraubenden Justierung parallaktischer Montierungen abquälen ?

Der Nachteil der azimutalen Montierung ist die Rotation des Bildfeldes während der Nachführung (Abbildung (1)): Bei einer parallaktischen Montierung wird die Erddrehung durch eine parallele und entgegengesetzt gerichtete Drehung kompensiert (weitere Bewegungen sind nicht notwendig), daher bleibt die Lage des Tubus (bis auf eine Parallelverschiebung) und damit auch die des Bildfeldes relativ zum Himmel unverändert. Bei einer azimutalen Montierung erfolgt die Nachführung um zwei Achsen, deren Lage im Raum sich nicht an der Rotationsachse der Erde orientiert. Dies bedeutet, dass sich bei einer azimutalen Montierung der Tubus während der Nachführung relativ zum Himmel dreht, und mit ihm auch das Bildfeld. Objekte im Okular oder auf der Filmebene führen daher eine scheinbare Drehung um den Punkt am Himmel aus, auf den das Teleskop nachgeführt wird (z.B. um den Leitstern).

Diese sogenannte *Bildfeldrotation* ist sicher auch jedem Astrophotographen bekannt, der eigentlich mit einer parallaktischen Montierung arbeitet. Immer wenn die Montierung, etwa aus Zeitmangel, nicht sorgfältig genug justiert wurde, sind die Sterne am Bildfeldrand je nach Belichtungszeit zu mehr oder weniger langen Kreisbögen auseinander gezogen, ähnlich wie bei einer kurzbelichteten Aufnahme des Himmelspols. Auch dies ist eine Folge der Bildfeldrotation auf Grund der nicht korrekten Ausrichtung der Stundenachse.

Um mit einer azimutalen Montierung langbelichtete Aufnahmen machen zu können ist somit eine dritte Drehung notwendig, nämlich die Drehung der Photoplatte oder des Photoapparats relativ zum Teleskoptubus. Diese Drehung erfolgt mit sogenannten Bildfeldrotatoren, die zwischen Teleskop und Kamera montiert werden. In der professionellen Astronomie werden hierfür sehr aufwendige Konstruktionen verwendet, die den hohen Anforderungen an die Nachführgenauigkeit genügen, die im professionellen Bereich gefordert werden ( $<0.1''$ ). Die Kosten für ein solches System sind trotz der extremen Fertigungstoleranzen ungleich günstiger als der Mehraufwand für eine parallaktische Montierung für ein Großteleskop und daher in jeder Hinsicht gerechtfertigt.

Im Amateurbereich sind es insbesondere die Dobson-Teleskope (kompakte Newton-

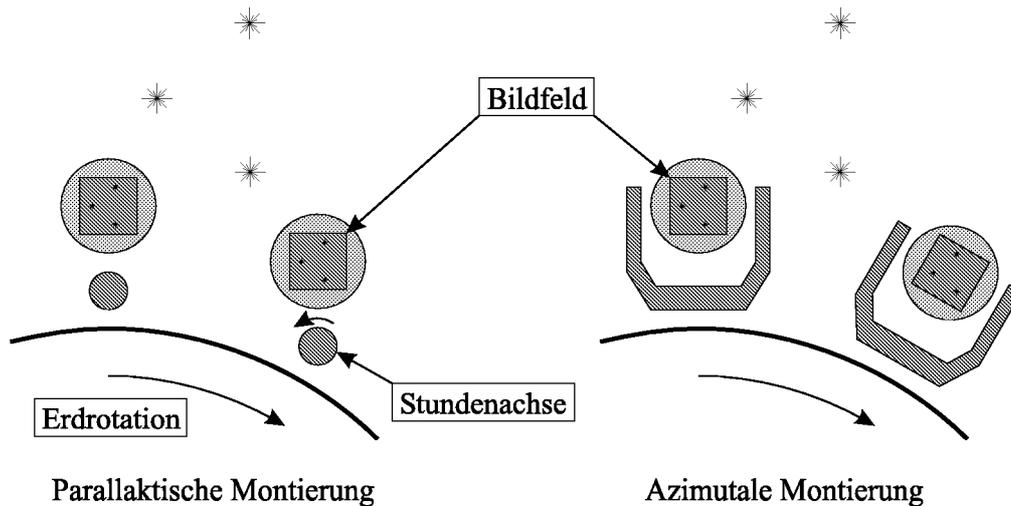


Abbildung 1: Bei der parallaxischen Montierung wird auf Grund der zur Erdachse parallel ausgerichteten Stundenachse die korrekte Nachführung durch eine einzige Drehung erreicht, nicht nur für einen Bildpunkt, sondern für ein ausgedehntes Bildfeld, da die Lage des Teleskops relativ zum Himmel (abgesehen von einer Parallelverschiebung) unverändert bleibt (linkes Bild). Bei der azimutalen Montierung müssen zwei Achsen bewegt werden, um das Instrument einem ausgewählten Punkt am Himmel nachzuführen. Trotzdem verdreht sich das Teleskop während der Nachführung relativ zum Himmel, so dass eine dritte Drehbewegung notwendig wird, um nicht nur einen Bildpunkt, sondern ein Bildfeld korrekt nachführen zu können, wie es für die Astrophotographie unumgänglich ist (rechtes Bild).

Reflektoren), die mit azimutalen Montierungen ausgestattet sind. Dies ist durchaus sinnvoll, da sie als kostengünstige Lösung gedacht und für die rein visuelle Beobachtung ausgelegt sind. Doch zunehmend werden auch SC-Teleskope der amerikanischen Marktführer alternativ mit azimutalen Gabelmontierungen angeboten. Eine wirkliche Neuentwicklung stellen diese Geräte kaum dar: Ausgerüstet mit Motoren auf beiden Achsen wird lediglich der parallaxische Aufsatz weggelassen und die Gabel direkt auf das Stativ gesetzt, neu ist nur die aufwendigere elektronische Steuerung. Einziger Vorteil der azimutalen Aufstellung: Die mechanischen Instabilitäten der Gabelmontierung durch die nicht mehr auf Biegung belasteten Gabelarme („Stimmgabeleffekt“) und durch die senkrecht ausgerichtete Stundenachse werden gelindert.

Um auch Astrophotographie mit diesen Geräten zu ermöglichen, werden von einigen Herstellern mittlerweile Bildfeldrotatoren angeboten. Allerdings liegen hier die Sachverhalte etwas anders als im Profiflager: Während nämlich ein parallaxischer Aufsatz für die Gabelmontierung eines SC-Teleskop für wenige hundert DM zu haben ist, kostet ein Bildfeldrotator etwa das 5-fache!

Trotz des hohen Preises ist in Bezug auf die Nachführgenauigkeit dieses System eine gewisse Skepsis angebracht: Auch in der Amateurastronomie sollten bei langen Brennweiten durch die Mechanik Nachführgenauigkeiten von unter  $<1''$  möglich sein. Dies ist

nur mit einem entsprechenden Fertigungsaufwand zu erreichen. Ob die für Amateurgeräte angebotenen Bildfeldrotatoren diese Genauigkeit erbringen, bleibt fraglich. Mir ist zumindest keine Veröffentlichung einer gelungenen langbelichteten Astroaufnahme bekannt, die mit Hilfe eines Bildfeldrotators an einem azimutal montierten Amateurgerät aufgenommen wurde.

Doch auch der Aufwand für die Herstellung der Montierung wird höher, wenn ein Bildfeldrotator die Bildrotation mit der oben geforderten Genauigkeit korrigieren soll. So muß zum Beispiel die Lage der beiden Montierungsachsen zueinander genau definiert sein (vorzugsweise sollten sie in einem rechten Winkel zueinander stehen). Die zu großen Fertigungstoleranzen dürfte daher einer der Gründe sein, dass die oben erwähnten Hersteller den Einsatz ihrer Bildfeldrotatoren für die Astrophotographie nur bis zu einer Deklination von  $45^\circ$  empfehlen.

Ein Weg, dieses Problem zu lösen, wäre die aktive Korrektur der Nachführung *und* der Bildfeldrotation mit Hilfe von Leitsternen. Die beiden unabhängige Bewegungen (man spricht von zwei Freiheitsgraden) machen die gleichzeitige Positionsüberwachung von zwei Leitsternen notwendig, einen zur Kontrolle der Teleskopausrichtung (wie bei der parallaktischen Montierung) und einen für die Überprüfung der Bildfeldrotation. Visuell ist dies allerdings kaum mehr zu schaffen, hier helfen nur CCD-Kameras (Autoguider).

Um die Rotationsbewegung mit hinreichender Genauigkeit vermessen zu können, müssen die beiden Leitsterne einen Abstand zueinander haben, der etwa der Bildfelddiagonalen des Aufnahmeformats entspricht. Eine mögliche Anordnung wäre ein Zweifach-Off-Axis Ansatz, der zu beiden Seiten des Aufnahmeformates Teile des Bildfeldes für die Autoguider auslenkt.

Da der Mittelpunkt der Bildfeldrotation der Punkt am Himmel ist, auf den das Teleskop positioniert und nachgeführt wird, müssen durch Eichmessungen die Positionen der CCD-Bildfelder zueinander und relativ zur mechanischen Rotatorachse bestimmt werden. Dies kann mit Hilfe ortsfester Eichquellen geschehen, um auszuschließen, dass Fehler des Teleskopantriebs die Messung verfälschen. Aus diesen Daten und den Positionsmessungen der Leitsterne kann einer der beiden Autoguider (der „Master“) die Korrekturen für die Nachführung und die Bildfeldrotation berechnen und die entsprechenden Korrekturbewegungen von Montierung und Rotator auslösen. Der zweite Autoguider (der „Slave“) übernimmt allein die Positionsmessung des zweiten Leitsterns und den Datentransfer dieser Daten. Um kurze Reaktionszeiten und damit eine feinfühligere Nachführung zu gewährleisten, ist eine schnelle Schnittstelle zwischen beiden Kameras erforderlich.

Abgesehen von den nicht unerheblichen Kosten für die zweite CCD-Kamera sind bis heute keine Geräte dieser Art auf dem Markt, die mit einer entsprechenden Software zur Nachführung azimutaler Montierungen mit Bildfeldrotator ausgerüstet sind. Für versierte Programmierer bliebe hier die Möglichkeit, einen separaten Computer für die Auslese der CCD-Kameras, die Umrechnung der Daten und die Steuerung des Teleskops zu spendieren und die hierzu notwendigen Programme selbst zu schreiben.

Der scheinbare Vorteil einer schnelleren Aufstellung des Instruments durch den Wegfall der Polachsenjustierung ist somit teuer erkauft, sobald langbelichtete Astroaufnahmen mit dem Teleskop gemacht werden sollen. Doch nicht nur die höheren Anschaffungskosten

sten gilt es zu bedenken. Hinzu kommt, dass der Bildfeldrotator als zusätzliches Element eine höhere Fehleranfälligkeit des gesamten Systems Montierung-Teleskop-Kamera bedeutet. Auch die aktive Kontrolle über CCD-Kameras ändern hieran nichts, ganz abgesehen davon, dass es selten gelingen dürfte, gleichzeitig zwei geeignete Leitsterne zu finden.

Doch selbst wenn alle diese Probleme gelöst wären, so hilft der Bildfeldrotator nur bei Aufnahmen mit der Teleskopoptik. Langbelichtete Aufnahmen mit normalen Fotoobjektiven (wobei die Kamera z.B. am Teleskoptubus befestigt wird) sind mit einer azimutalen Montierung nicht möglich (zur Korrektur der Bildfeldrotation wäre die Drehung der ganzen Kamera nötig). Und diese Art der Astrophotographie dürfte die am weitesten verbreitete im Amateurbereich sein.

All diese Argumente zeigen, dass eine parallaktische Montierung für den Amateurastronom immer noch die ideale Lösung darstellt, wenn nicht von vorne herein die rein visuelle Beobachtung das alleinige Ziel ist. Um ihre Vorteile voll nutzen zu können, kommt man allerdings um eine genaue Aufstellung dieses Montierungstyps nicht herum. Dass hierzu weit weniger Zeit geopfert werden muß, als oft angenommen wird, soll die folgende Anleitung zeigen.

## Das Prinzip der Scheiner-Methode

Das genaueste Verfahren zur Justierung der Polachse ist und bleibt die Scheinermethode. Bei diesem Verfahren erfolgt die Justierung der Stundenachse direkt mit Hilfe eines Leitsterns, dessen Position bei laufender Nachführung der Stundenachse mit einem Fadenkreuzokular kontrolliert wird. Die Stundenachse wird Schritt für Schritt solange verstellt, bis der Leitstern mindestens 10 Min. lang nicht mehr nach Norden oder Süden vom Fadenkreuz abdriftet. Abweichungen in Ost-West-Richtung können auch durch Getriebefehler des Stundenantriebs verursacht sein und jederzeit über den Motorantrieb korrigiert werden. Sie werden bei der Justierung nicht weiter beachtet.

Dabei erfolgt die Justierung des Azimutwinkels und die der Polhöhe nacheinander in zwei getrennten Schritten, wobei mit der Einstellung des Azimutwinkels begonnen wird. Hierzu wird ein Leitstern ausgewählt, der sich möglichst genau im Süden befindet und eine Höhe von mindestens  $45^\circ$  über dem Horizont erreicht hat, um den Einfluß der Refraktion gering zu halten. Im Zweifelsfall sollte der Leitstern eher in Richtung Osten als nach Westen versetzt sein. Er wird sich dann während der Nachführung dem Südmeridian von selbst weiter annähern.

Da sich ein Leitstern in Südrichtung unabhängig von der Deklination "waagrecht" am Himmel bewegt, hat die gerade eingestellte Polhöhe der Stundenachse keinen Einfluß auf die Genauigkeit der Nachführung. Mit Hilfe des südlichen Leitsterns ist es also möglich, den Azimutwinkel unabhängig vom Polhöhenfehler mit hoher Genauigkeit zu justieren. Werden bei der Justierung des Azimutwinkels keine Abweichungen des Leitsterns in Nord-Süd-Richtung mehr beobachtet, ist der Azimutwinkel korrekt eingestellt.

Abbildung (2) macht den Justiervorgang im Detail verständlich. Der Leitstern folgt einer Bahn, die parallel zum Himmelsäquator verläuft. Ist die Stundenachse in Richtung Osten verdreht, so driftet die Nachführung des Teleskops immer weiter nach Süden ab, der Leitstern wandert also auf dem Fadenkreuz langsam nach Norden. Ist die Mon-

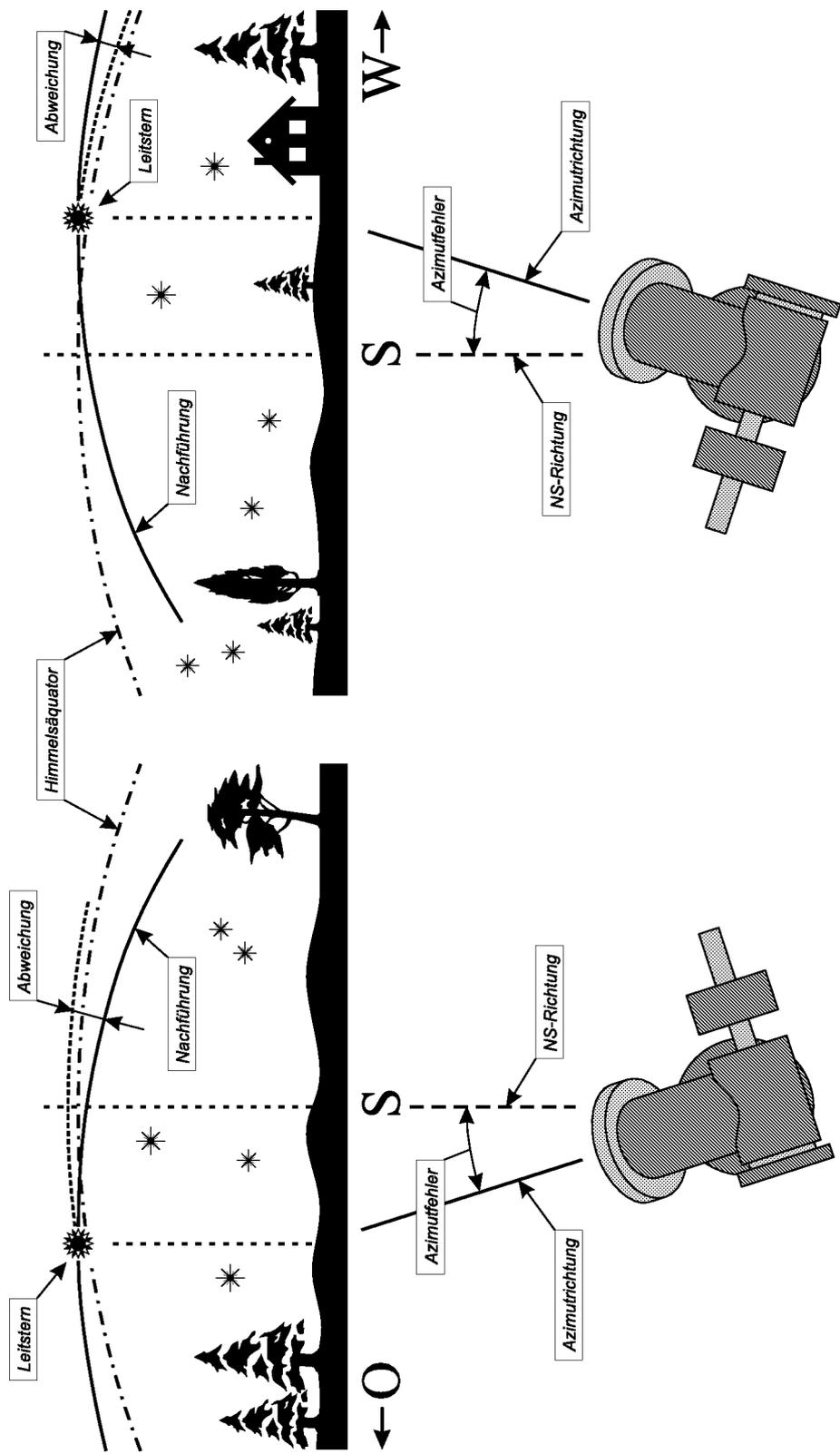


Abbildung 2: Die Abbildung verdeutlicht den Einfluß einer fehlerhaften Azimutrichtung auf die Nachführung einer parallaktischen Montierung. Das Teleskop ist auf einen Leitstern im Süden ausgerichtet, dessen scheinbare Bahn (punktlierte Linie) parallel zum Himmelsäquator (strichpunktlierte Linie) verläuft. Im linken Bild ist die Montierung zu weit nach Osten verdreht (von oben gesehen gegen den Uhrzeigersinn), die Nachführung driftet daher langsam nach Süden ab (durchgezogene Linie), so dass der Leitstern im Okular scheinbar nach Norden wandert. Im rechten Bild zeigt die Stundenachse zu weit nach Westen (von oben gesehen im Uhrzeigersinn), die Nachführung (durchgezogene Linie) driftet daher langsam nach Norden ab, so dass der Leitstern im Okular scheinbar nach Süden wandert.

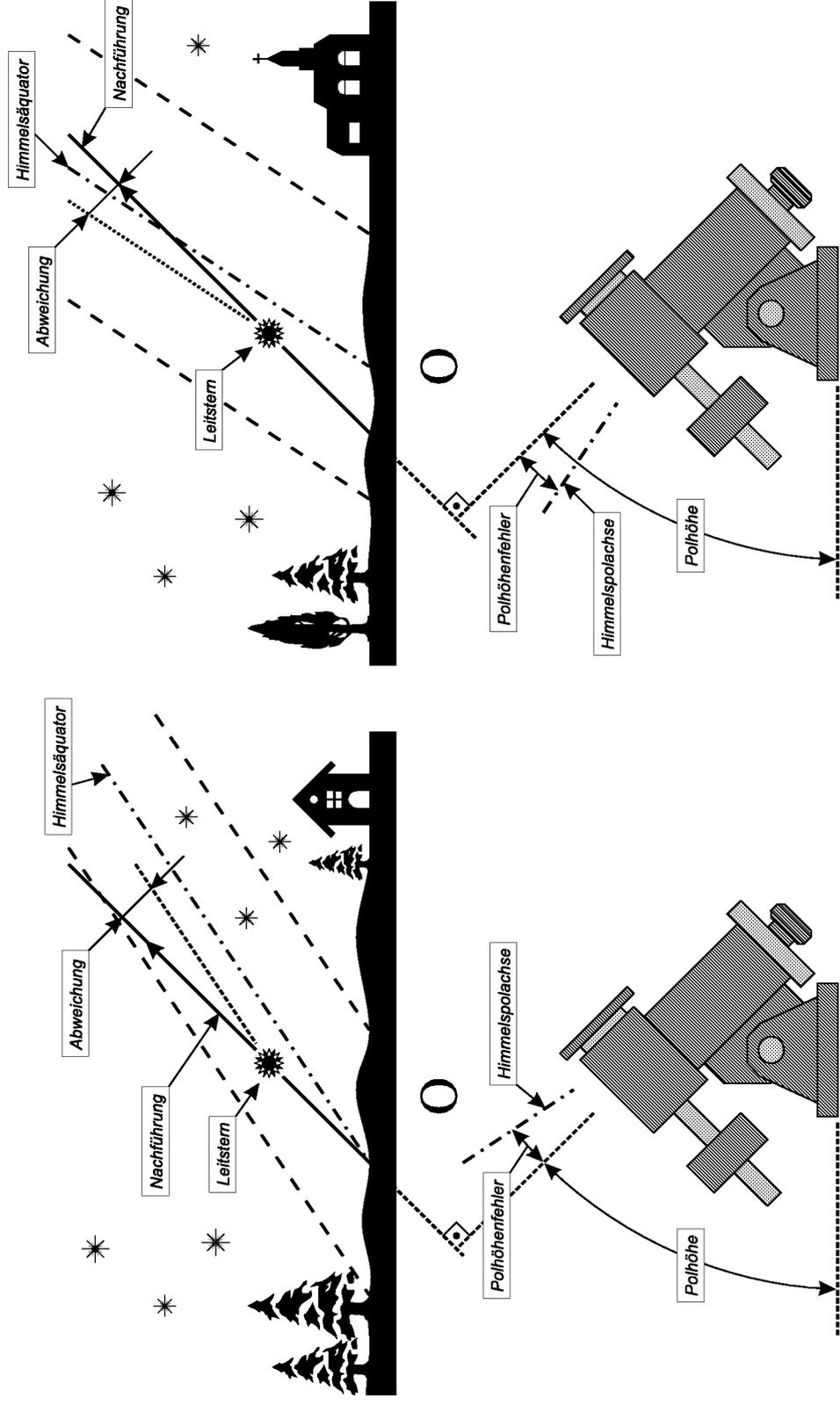


Abbildung 3: Die Abbildung verdeutlicht den Einfluß einer fehlerhaften Polhöhe auf die Nachführung einer parallaktischen Montierung. Das Teleskop ist auf einen Leitstern im Osten ausgerichtet. Seine scheinbare Bahn (punktirierte Linie) verläuft parallel zum Himmelsäquator (strichpunktirierte Linie). Im linken Bild ist die Stundenachse zu flach ausgerichtet, die Nachführung (durchgezogene Linie) driftet daher nach Norden ab, so dass der Leitstern im Okular scheinbar nach Süden wandert. Im rechten Bild ist die Stundenachse zu steil ausgerichtet und die Nachführung driftet nach Süden ab, im Okular wandert der Leitstern somit scheinbar nach Norden. Für einen Leitstern im Westen drehen sich die Richtungen genau um (Abbildung (4)).

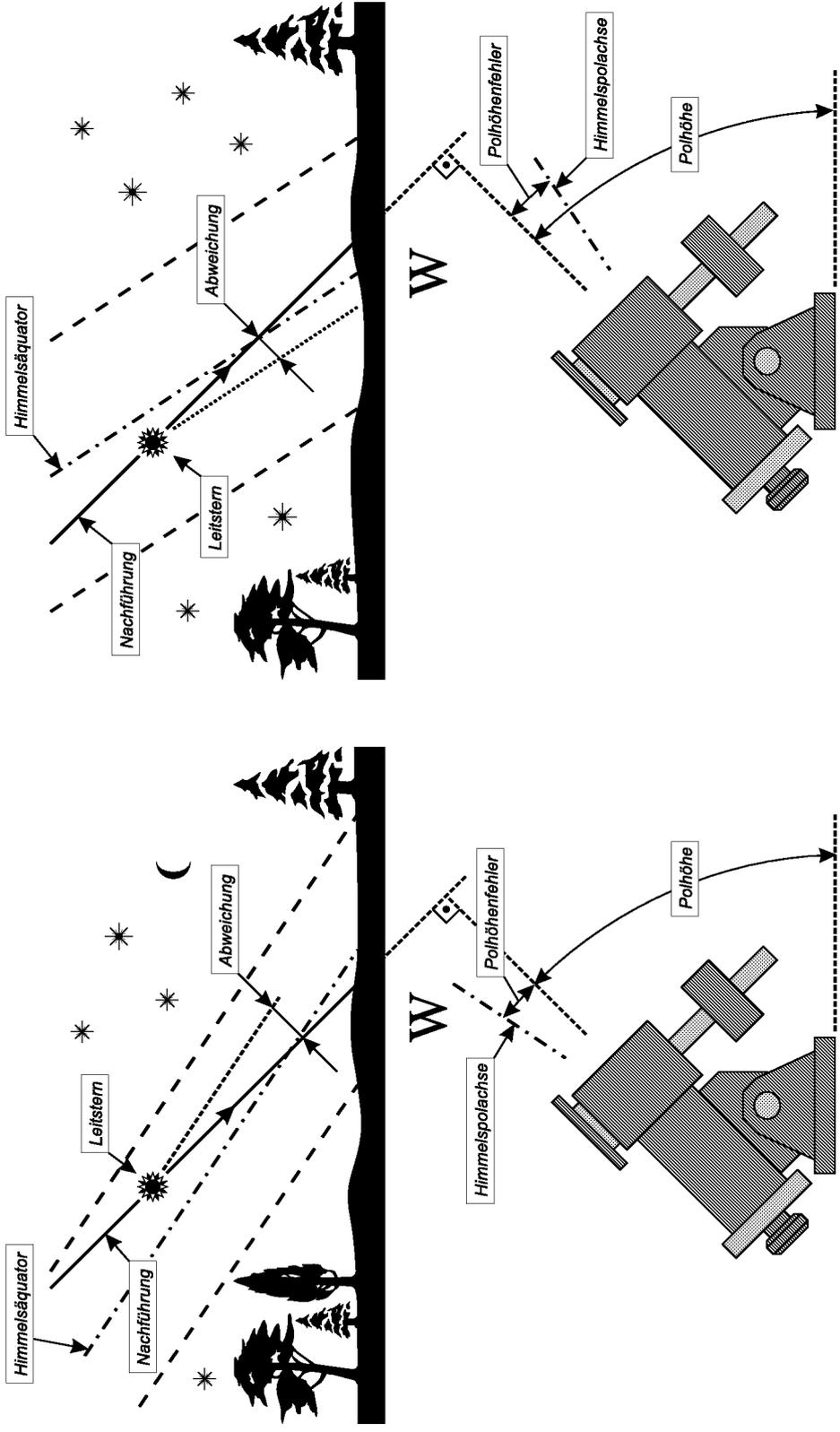


Abbildung 4: Die Abbildung verdeutlicht den Einfluß einer fehlerhaften Polhöhe auf die Nachführung einer parallaktischen Montierung. Das Teleskop ist auf einen Leitstern im Westen ausgerichtet. Seine scheinbare Bahn (punktirierte Linie) verläuft parallel zum Himmelsäquator (strichpunktirierte Linie). Im linken Bild ist die Stundenachse zu flach ausgerichtet, die Nachführung (durchgezogene Linie) driftet daher nach Süden ab, so dass der Leitstern im Okular scheinbar nach Norden wandert. Im rechten Bild ist die Stundenachse zu steil ausgerichtet und die Nachführung driftet nach Norden ab, im Okular wandert der Leitstern somit scheinbar nach Süden. Für einen Leitstern im Osten drehen sich die Richtungen genau um (Abbildung (3)).

tierung in Richtung Westen verdreht, so driftet das Teleskop Richtung Norden ab und der Stern wandert im Fadenkreuz nach Süden. Es läßt sich also folgende Regel für die Justierung des Azimutwinkels ableiten:

*Driftet der Leitstern während der Nachführung im Fadenkreuzokular nach Norden ab, so muß die Azimutrichtung der Montierung von oben gesehen im Uhrzeigersinn gedreht werden. Driftet der Leitstern im Fadenkreuzokular nach Süden ab, so muß die Azimutrichtung der Montierung von oben gesehen gegen den Uhrzeigersinn gedreht werden.*

Ist die Justierung des Azimutwinkels abgeschlossen, folgt der Abgleich der Polhöhe. Diesmal dient ein Leitstern im Osten oder im Westen als Justierhilfe. Da in diesen Himmelsrichtungen die scheinbaren Sternbahnen die größtmögliche Steigung relativ zum Horizont aufweisen, sind Nachführfehler durch eine nicht korrekt eingestellte Polhöhe der Stundenachse hier am deutlichsten. Um den Einfluß der Refraktion der Erdatmosphäre gering zu halten, sollte der Leitstern mindestens  $30^\circ$  über dem Horizont stehen. Abbildung (3) und (4) verdeutlichen die Vorgehensweise bei der Justierung der Polhöhe. Wieder verläuft die scheinbare Bahn des Leitsterns am Himmel parallel zum Himmelsäquator. Ist die Polhöhe zu steil, so wird relativ zu einem Leitstern im Osten die Nachführung nach Süden abdriften, so dass der Leitstern vom Fadenkreuz weg nach Norden wandert. Ist die Polhöhe zu flach, so driftet die Nachführung nach Norden und der Leitstern wandert im Fadenkreuzokular nach Süden (Abbildung (3)). Bei einem Leitstern im Westen drehen sich die Richtungen genau um (Abbildung (4)). Somit erhalten wir folgende Regel für die Justierung der Polhöhe:

*Driftet während der Nachführung ein östlicher Leitstern Richtung Norden oder ein westlicher Leitstern Richtung Süden von seiner ursprünglichen Position im Fadenkreuzokular ab, so muß die Stundenachse flacher eingestellt werden (Polhöhe ist zu steil).*

*Driftet während der Nachführung ein östlicher Leitstern Richtung Süden oder ein westlicher Leitstern Richtung Norden von seiner ursprünglichen Position im Fadenkreuzokular ab, so muß die Stundenachse steiler eingestellt werden (Polhöhe ist zu flach).*

Es empfiehlt sich, bei jedem Justierschritt der Stundenachse die Verstellwege an Hand des Leitsterns im Fadenkreuzokular zu kontrollieren. So weiß man stets, wie weit die Montierung beim letzten Mal bewegt wurde. Hat man die Stundenachse zu weit verstellt, so wird die letzte Änderung nur zur Hälfte zurückgenommen. Anschließend nähert man sich der korrekten Position in immer kleineren Schritten an, bis etwa 10 bis 20 Min. lang keine Nord-Süd-Drift des Leitsterns mehr zu beobachten ist.

Wandert während der Justierung des Azimutwinkels der Leitstern zu weit vom Meridian ab oder nähert sich bei der Justierung der Polhöhe der Leitstern zu sehr dem Horizont, so wird einfach ein neuer Leitstern in einer günstigeren Position am Himmel eingestellt und mit der Justierung fortgefahren. Um zu gewährleisten, dass sich während der Justierung der Polhöhe der Azimutwinkel nicht wieder verstellt, muß bei der Aufstellung der Montierung die Drehebene des Azimutwinkels (in der Regel ist dies die Auflagefläche des Stativs) mit einer Wasserwaage eben ausgerichtet werden. Um die Anzahl der Justierschritte möglichst klein zu halten sollte die Stundenachse grob ausgerichtet sein, z. B. durch Anvisieren des Polarsterns, bevor mit der Justierung nach Scheiner begonnen wird.

## Die Messmethode nach Kersche und Rhemann

Der Vorteil der Scheinermethode liegt in ihrer Genauigkeit, ihr Nachteil ist der relativ hohe Zeitaufwand. Durch die wiederholten Kontrollen der Nachführgenauigkeit und die in immer feineren Schritten vorgenommenen Korrekturen („sukzessive Approximation“) benötigt man oft über 1 Stunde für die korrekte Aufstellung der Montierung.

Dieser Zeitaufwand läßt sich wesentlich reduzieren, wenn die Abweichungen bei der Nachführung des Leitsterns nicht nur qualitativ verfolgt, sondern mit Hilfe von Skalenokularen genau vermessen werden. Aus diesen Messwerten kann dann die Missweisung der Stundenachse sehr genau bestimmt werden. Die Justierung der Montierung kann dann ebenfalls mit dem Skalenokular an einem Leitstern erfolgen. Auf diese Weise ist für die Korrektur des Azimutwinkels und der Polhöhe jeweils nur eine Messung notwendig und die gesamte Justierung dauert mit etwas Übung nur etwa 30 Minuten, kann also noch vor Ende der astronomischen Dämmerung abgeschlossen werden. Als zusätzliche Daten werden lediglich die Deklination der Leitsterne und die geographische Breite des Beobachtungsortes benötigt. Beides läßt sich mit Hilfe geeigneter Atlanten schnell ermitteln.

Das hier beschriebene Verfahren geht auf Franz Kersche und Gerald Rhemann zurück ([KER 95]), die es erfolgreich bei Ihren Exkursion anwenden. Als Skalenokular wird ein Okular mit einer linearen Messskala benötigt. Sehr gut eignet sich das Micro-Guide Okular, dessen Strichplatte über zwei parallele Skalen verfügt, zwischen die der Leitstern positioniert wird. Auf diese Weise wird der Stern nicht durch die Gravuren abgedeckt und es können auch schwächere Sterne sicher verfolgt werden (Abbildung (5)).

Im ersten Schritt wird wie zuvor beschrieben zur Justierung des Azimutwinkels ein Leitstern im Süden anvisiert, der mindestens  $45^\circ$  über dem Horizont steht (Refraktion!). Die lineare Skala des Skalenokulars wird in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet. Durch Drehung der Deklinationsachse kann diese Richtung mit Hilfe des Leitsterns schnell ermittelt werden. Der Leitstern wird anschließend in die Mitte der linearen Skala positioniert. Liegt die Stundenachse nicht genau parallel zur Erdachse, so wird bei laufender Nachführung der Stern langsam entlang der linearen Skala in Nord-Süd-Richtung aus der Mitte des Okulars abwandern, wobei Nachführfehler in Ost-West-Richtung mit Hilfe der Teleskopsteuerung korrigiert werden dürfen. Nach einer festen Zeit (etwa 5 bis 10 Min.) wird die Nord-Süd-Abweichung von der ursprünglichen Position vermessen (Abbildung (6/A)).

Aus diesem Messwert kann nun die Missweisung des Azimutwinkels  $\Delta d_A$  berechnet werden. Ist  $\Delta t_A$  die Messzeit (in Minuten),  $\Delta x_A$  der gemessene Nachführfehler in Nord-Süd-Richtung (in Skaleneinheiten des Messokulars),  $\delta$  die Deklination des Leitsterns und  $\varphi$  der geographische Breitengrad des Beobachtungsortes, so gilt:

$$\Delta d_A = 228.6 [\text{Min.}] \cdot \frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos \varphi} \cdot \frac{\Delta x_A}{\Delta t_A} \quad (1)$$

Um diesen Winkel  $\Delta d_A$  (in Skaleneinheiten des Messokulars) muß nun die Montierung gedreht werden. Hierzu wird die lineare Skala des Okulars in Ost-West-Richtung gedreht und anschließend der Leitstern wieder auf der linearen Skala positioniert. Nun wird die Azimutrichtung der Montierung vorsichtig so weit verstellt, bis der Leitstern

aus der Skala genau um den Betrag  $\Delta d_A$  gewandert ist (Abbildung (6/B)). Die Richtung, in welcher die Drehung erfolgen muß, folgt aus der im vorangegangenen Kapitel abgeleiteten Merkregel.

Im zweiten Schritt wird zur Justierung der Polhöhe das Teleskop auf einen Stern im Osten oder im Westen gerichtet. Wieder wird die lineare Messskala des Okulars in Nord-Süd-Richtung gedreht, der Leitstern mittig positioniert und nach einer festen Zeit (wieder 5 bis 10 Min.) die Nord-Süd-Abweichung des Leitsterns von seiner ursprünglichen Position gemessen (Abbildung (6/C)). Auch diesmal können Nachführfehler in Ost-West-Richtung über die Teleskopsteuerung korrigiert werden, um ein genaues Ablesen des Meßwertes zu ermöglichen.

Aus diesem zweiten Messwert  $\Delta x_P$  folgt nun der Fehler  $\Delta d_P$  der Polhöhe. Ist  $\Delta t_P$  wieder die Messzeit (in Minuten) und  $\Delta d_P$  die gemessene Abweichung des Leitsterns, so gilt:

$$\Delta d_P = 228.6 \text{ [Min.]} \cdot \frac{\Delta x_P}{\Delta t_P} \quad (2)$$

Um den Polhöhenwinkel um diesen Betrag korrigieren zu können, wird wieder auf einen Leitstern in Südrichtung gewechselt, das Skalenokular bleibt in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet. Nun wird vorsichtig die Polhöhe solange verstellt, bis der Leitstern um den zuvor berechneten Betrag gewandert ist (Abbildung (6/D)). Die Richtung, in der die Polhöhe verstellt werden muß, folgt auch hier wieder aus der im vorangegangenen Kapitel abgeleiteten Merkregel.

Da die Justierung der parallaktischen Montierung in der späten Dämmerung oder bei Nacht erfolgt, wenn wegen Dunkelheit und Kälte bereits mit Taschenlampen und Handschuhen gearbeitet werden muß, sollten die oben dargestellten Berechnungen nicht erst am Beobachtungsplatz durchgeführt werden. Es empfiehlt sich vielmehr, die Korrekturwerte in Abhängigkeit von den Messzeiten für verschiedene Abweichungen in Tabellen zusammenzufassen, auf die während der Justage zurückgegriffen werden kann. Wer öfter an verschiedenen Standorten beobachtet, für den lohnt sich das Schreiben eines kleinen Programms zur Berechnung dieser Tabellen, auch die üblichen Datenverwaltungsprogramme (z. B. Excel, MathCad) lassen sich hierfür gut einsetzen.

Als Beispiel sind in Tabelle (1) die Korrekturwerte für eine geographische Breite von  $48^\circ$  aufgelistet. Sie gilt für beliebige Instrumente (die Korrekturwerte hängen nicht von der Brennweite des Teleskops ab) und für jedes Messokular. Die Anwendung ist denkbar einfach: In der Spalte der verwendeten Messzeit sucht man nach dem Wert, der der gemessenen Drift des Leitstern entspricht. In der gleichen Zeile kann nun der Korrekturwert für den Azimutwinkel oder die Polhöhe abgelesen werden. Der Korrekturwert des Azimutwinkel hängt dabei noch von der Deklination des Leitsterns ab.

Sowohl für die Korrektur des Azimutwinkels wie auch der Polhöhe gilt: Ist der Korrekturwert größer als die Länge der Skala (beim Micro-Guide Okular sind dies  $6 \text{ mm} \hat{=} 60$  Skaleneinheiten), so muß die Korrektur in mehreren Schritten erfolgen. Aus diesem Grund sollte man den Leitstern vor dem Verstellen der Montierung möglichst an den Anfang der Skala positionieren, um eine möglichst lange Messstrecke zur Verfügung zu haben.

Ein Beispiel soll diese Vorgehensweise verdeutlichen: Bei der Vermessung des Azimutfehlers wandert ein Leitstern mit einer Deklination von etwa  $15^\circ$  innerhalb von 5 Minu-

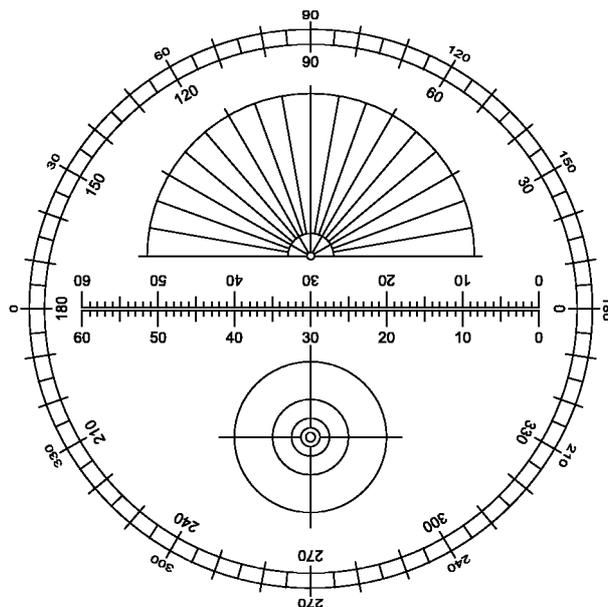


Abbildung 5: Die Strichplatte des Micro-Guide Okulars mit ihren unterschiedlichsten Skalen und Messhilfen ermöglicht die indirekte Nachführung von Kometen genauso wie die Vermessung von Mondkratern und die genaue Bestimmung der Teleskopbrennweite. Für die schnelle Justierung einer parallaktischen Montierung wird die lineare Messskala verwendet. Die 6mm langen „Lineale“ sind in 60 Skaleneinheiten von je  $100\mu\text{m}$  unterteilt.

ten um 2.5 Skaleneinheiten nach Süden. Dieser Wert in der Spalte für eine Messzeit von 5 Minuten definiert die Zeile mit dem gültigen Korrekturwert aus der Spalte für Sterne mit einer Deklination von  $15^\circ$ , in diesem Fall 93 Skaleneinheiten. Nach der Merkgel muß somit die Montierung von oben gesehen gegen den Uhrzeigersinn soweit gedreht werden, bis der Leitstern im Okular um 93 Skaleneinheiten in Ost-West-Richtung gewandert ist.

Beim Micro-Guide Okular ist die 6mm lange lineare Skala in 60 Skaleneinheiten unterteilt (Abstand  $100\mu\text{m}$ ). Um die 93 Skaleneinheiten abfahren zu können, muß somit zuerst die Montierung um die volle Strecke von 60 Einheiten gedreht werden, dann wird der Leitstern wieder an den Skalenanfang positioniert und es folgt die Drehung um die verbleibenden 33 Einheiten.

Damit beim Zerlegen der Korrekturwerte in die einzelnen Korrekturschritte keine unnötigen Fehler passieren (nachts bei Kälte und Dunkelheit nimmt die Konzentrationfähigkeit erfahrungsgemäß eher ab), sollten die Korrekturwerte umgerechnet werden wie in Tabelle (2) dargestellt ([SCH00]): Statt dem Wert 93 aus dem vorangegangenen Beispiel enthält sie die Eintragung „1 + 33.0“. Die erste Zahl steht für die Anzahl der Korrekturschritte mit der gesamten Skalenlänge, die zweite Zahl für die abschließende Restkorrektur. Solche Tabellen gelten dann allerdings nur für bestimmte Messokulare, Tabelle (2) wurde für das Micro-Guide Okular mit seinen 60 Skaleneinheiten umg-

Geographischer Breitengrad: 48.0										
Messzeit $\Delta t$ [Min.]					Deklination $\delta$ [°]					
1.0	2.0	5.0	10.0	20.0	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	
Messwert					Azimut					Polhöhe
0.05	0.10	0.25	0.5	1.0	12.7	11.6	10.5	9.3	8.0	11.4
0.10	0.20	0.50	1.0	2.0	25.4	23.3	21.0	18.6	16.0	22.9
0.15	0.30	0.75	1.5	3.0	38.1	34.9	31.5	27.9	24.1	34.3
0.20	0.40	1.00	2.0	4.0	50.8	46.6	42.1	37.2	32.1	45.7
0.25	0.50	1.25	2.5	5.0	63.5	58.2	52.6	46.5	40.1	57.2
0.30	0.60	1.50	3.0	6.0	76.2	69.9	63.1	55.8	48.1	68.6
0.35	0.70	1.75	3.5	7.0	88.9	81.5	73.6	65.1	56.1	80.0
0.40	0.80	2.00	4.0	8.0	101.6	93.2	84.1	74.4	64.2	91.4
0.45	0.90	2.25	4.5	9.0	114.2	104.8	94.6	83.7	72.2	102.9
0.50	1.00	2.50	5.0	10.0	126.9	116.5	105.2	93.0	80.2	114.3
0.60	1.20	3.00	6.0	12.0	152.3	139.8	126.2	111.6	96.2	137.2
0.70	1.40	3.50	7.0	14.0	177.7	163.1	147.2	130.2	112.3	160.0
0.80	1.60	4.00	8.0	16.0	203.1	186.4	168.3	148.9	128.3	182.9
0.90	1.80	4.50	9.0	18.0	228.5	209.7	189.3	167.5	144.4	205.7
1.00	2.00	5.00	10.0	20.0	253.9	233.0	210.3	186.1	160.4	228.6

Tabelle 1: *Diese Tabelle enthält allgemein gültige Korrekturwerte für Beobachtungsorte auf dem 48. Breitengrad, wie sie für die Justierung einer parallaktischen Montierung nach der modifizierten Scheinermethode benötigt werden. Die Spalten enthalten die Messwerte für verschiedene Messzeiten, die dazu gehörenden Korrekturwerte für den Azimutwinkel (für verschiedene Deklinationen des Leitsterns) und für die Polhöhe.*

rechnet. Der Eintrag „1 + 33.0“ bedeutet also eine Korrektur um  $1 \times 60 + 33 = 93$  Skaleneinheiten.

Das Ablesen der Korrekturwerte für die Justierung der Polhöhe erfolgt analog, nur das diesmal die Werte in einer Spalte zusammengefaßt werden können, da die Deklination des Leitsterns nicht in die Berechnung der Korrektur eingeht.

Nach nur zwei Messungen und zwei Korrekturen ist die Justierung der parallaktischen Montierung somit abgeschlossen. Die einzelnen Schritte sind in Abbildung (6) nochmals graphisch dargestellt. Es ist leicht einzusehen, dass auf Grund der hohen Auflösung und Vergrößerung der Teleskopoptik in Verbindung mit dem Skalenokular eine Messgenauigkeit erreicht wird, die mit anderen Hilfsmitteln (z.B. Wasserwaage, Kompass, Winkelskalen an der Montierung) nicht möglich ist. Die Polachsenjustierung nach der hier beschriebenen modifizierten Scheinermethode ist so genau, dass auch nach stundenlangen Belichtungszeiten auch bei großen Bildformaten keinerlei Bildfeldrotation zu erkennen ist.

Geographischer Breitengrad:					48.0						
Skaleneinheiten:					60 (Micro-Guide)						
Messzeit $\Delta t$ [Min.]					Deklination $\delta$ [°]						
1.0	2.0	5.0	10.0	20.0	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0		
Messwert					Azimut						Polhöhe
0.05	0.10	0.25	0.5	1.0	0+12.7	0+11.6	0+10.5	0+ 9.3	0+ 8.0	0+ 11.4	
0.10	0.20	0.50	1.0	2.0	0+25.4	0+23.3	0+21.0	0+18.6	0+16.0	0+ 22.9	
0.15	0.30	0.75	1.5	3.0	0+38.1	0+34.9	0+31.5	0+27.9	0+24.1	0+ 34.3	
0.20	0.40	1.00	2.0	4.0	0+50.8	0+46.6	0+42.1	0+37.2	0+32.1	0+ 45.7	
0.25	0.50	1.25	2.5	5.0	1+ 3.5	0+58.2	0+52.6	0+46.5	0+40.1	0+ 57.2	
0.30	0.60	1.50	3.0	6.0	1+16.2	1+ 9.9	1+ 3.1	0+55.8	0+48.1	1+ 8.6	
0.35	0.70	1.75	3.5	7.0	1+28.9	1+21.5	1+13.6	1+ 5.1	0+56.1	1+ 20.0	
0.40	0.80	2.00	4.0	8.0	1+41.6	1+33.2	1+24.1	1+14.4	1+ 4.2	1+ 31.4	
0.45	0.90	2.25	4.5	9.0	1+54.2	1+44.8	1+34.6	1+23.7	1+12.2	1+ 42.9	
0.50	1.00	2.50	5.0	10.0	2+ 6.9	1+56.5	1+45.2	1+33.0	1+20.2	1+ 54.3	
0.60	1.20	3.00	6.0	12.0	2+32.3	2+19.8	2+ 6.2	1+51.6	1+36.2	2+ 17.2	
0.70	1.40	3.50	7.0	14.0	2+57.7	2+43.1	2+27.2	2+10.2	1+52.3	2+ 40.0	
0.80	1.60	4.00	8.0	16.0	3+23.1	3+ 6.4	2+48.3	2+28.9	2+ 8.3	3+ 2.9	
0.90	1.80	4.50	9.0	18.0	3+48.5	3+29.7	3+ 9.3	2+47.5	2+24.4	3+ 25.7	
1.00	2.00	5.00	10.0	20.0	4+13.9	3+53.0	3+30.3	3+ 6.1	2+40.4	3+ 48.6	

Tabelle 2: Diese Tabelle enthält die Korrekturwerte für Beobachtungsorte auf dem 48. Breitengrad, angepaßt an das Micro-Guide Okular. Die Korrekturwerte wurden zerlegt in die einzelnen Korrekturschritte, die auf Grund der begrenzten Länge der linearen Skala des Okulars nacheinander ausgeführt werden. Die Zahlenangaben bedeuten jeweils die Anzahl der Korrekturen mit voller Skalenslänge und die Restkorrektur in Skaleneinheiten.

## Literatur

[KER 95] Gerald Rhemann/Franz Kersche *Astrophotographie mit transportablen Geräten* Sterne & Weltraum 7/1995 **34** (S.560)

[SCH 00] Robert Schulz *private Mitteilungen*

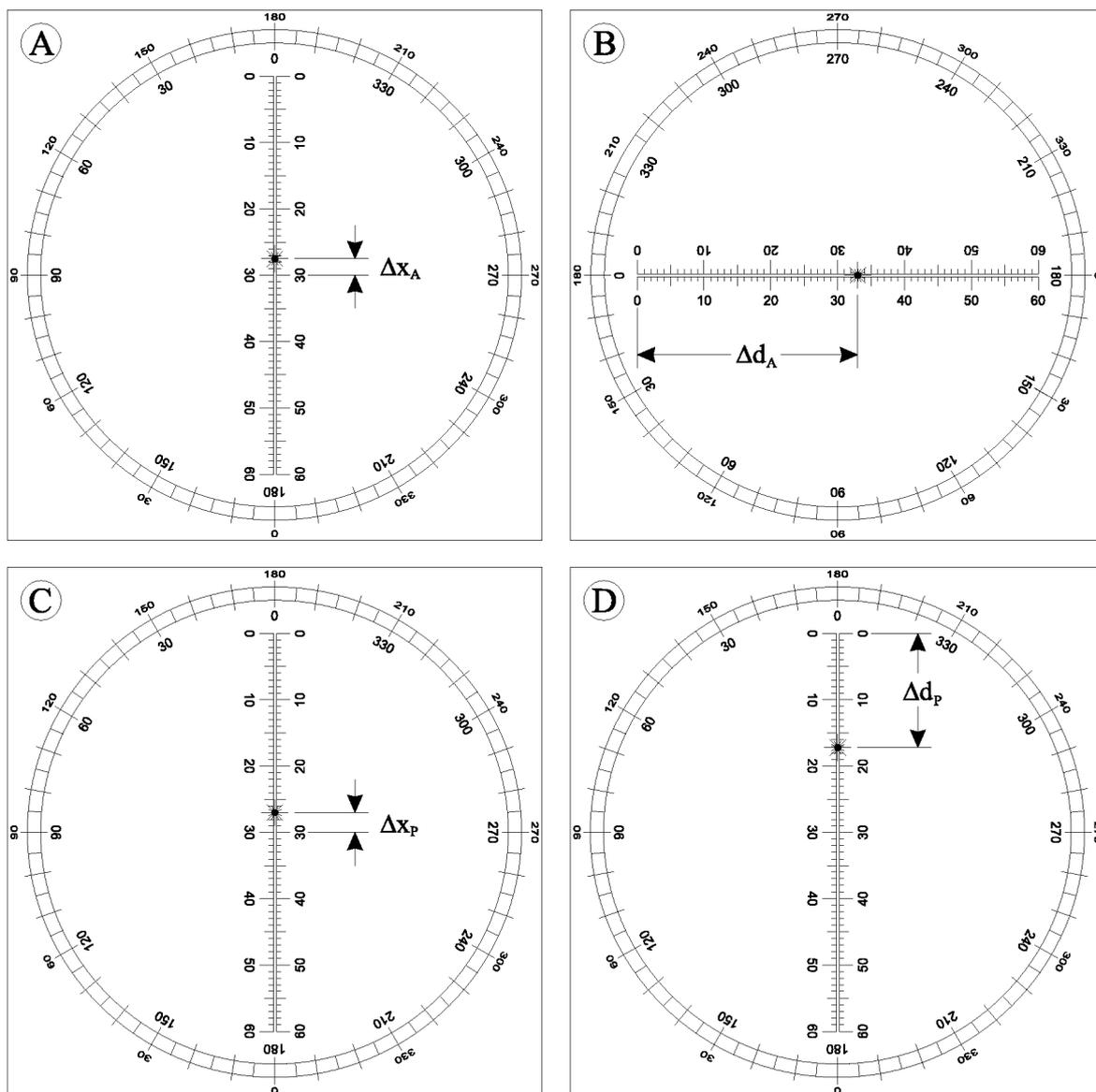


Abbildung 6: Die Abbildung zeigt die einzelnen Justageschritte mit Hilfe des Micro-Guide Okulars. Im ersten Schritt (A) wird der Nachführfehler eines südlichen Sterns vermessen. Die lineare Messskala zeigt in Nord-Süd-Richtung. Im obigen Beispiel beträgt die Abweichung 2,5 Skaleneinheiten. Im zweiten Schritt (B) wird das Okular in Ost-West-Richtung ausgerichtet und die Montierung um den Korrekturwert gedreht, im dargestellten Fall 33 Skaleneinheiten. Im dritten Schritt (C) wird ein Leitstern im Osten oder Westen anvisiert, das Okular wieder in Nord-Süd-Richtung gedreht und erneut der Nachführfehler bestimmt, im Beispiel 3 Skaleneinheiten. Im vierten Schritt (D) wird wieder auf einen südlichen Leitstern gewechselt (das Okular bleibt in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet) und die Polhöhe um den Korrekturwert verstellt, im Beispiel etwas mehr als 17 Skaleneinheiten. Die Richtungen der Korrekturen folgen aus den Merkregeln. Bei den Messungen der Nachführungsfehler ist der Startpunkt die Skalenmitte, bei den Korrekturen der Skalenanfang.