Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 55 (1997)
Heft: 282

Artikel: Die Bildrotation bei nachgeführten Teleskopen mit Azimutal-Montierung
Autor: Villars, Léon
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-898688

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Bildrotation bei nachgeführten Teleskopen mit Azimutal-Montierung.

LÉON VILLARS

Den meisten Besitzern von Teleskopen mit Azimutal-Montierung (AM), die ihr Teleskop nur gelegentlich für die visuelle Beobachtung des Himmels benutzen, wird das Phänomen der Bildrotation kaum jemals negativ aufgefallen sein.

Es wird erst sichtbar beim fotografieren des Himmels über längere Belichtungszeiten und äussert sich darin, dass sämtliche Objekte im Bildfeld um das Bildzentrum rotieren. Dies führt z.B. beim fotografieren eines Sternbildes dazu, dass unser Foto anstatt aus den langersehnten scharfen Sternpunkten aus einer Schar konzentrischer Kreisstücke um das Bildzentrum besteht: ähnlich etwa, wie wenn wir mit einer feststehenden Kamera die Gegend des Himmelspoles fotografieren. Fast unerwarteterweise ist aber die Rotationsgeschwindigkeit, je nach Kompassrichtung und Höhe über dem Horizont, sehr unterschiedlich. Dies ist denn auch der Grund, wieso dieses Problem hier näher untersucht wird. Die naheliegende Absicht ist, eventuell Zonen zu finden mit besonders kleiner Rotationsgeschwindigkeit.

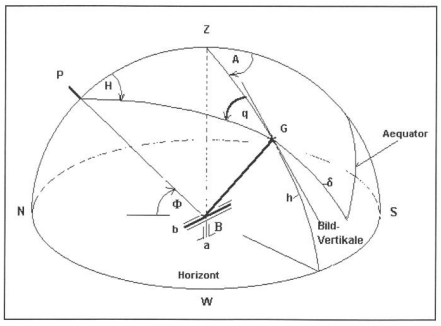
Eng verbunden mit der Bildrotation in Bezug auf unser Teleskoprohr ist die Lage der Nordrichtung am Himmel. Weil von grundsätzlichem Interesse, auch wenn wir den Himmel ohne Teleskop betrachten, soll dieses Thema ebenfalls zur Sprache kommen.

Versuchen wir beispielsweise einen Himmelsatlanten durch drehen zur Deckung mit einem bestimmten Himmelsausschnitt zu bringen, so ist die Kenntnis der ungefähren Lage des Polmeridians in diesem Ausschnitt eine grosse Hilfe. Liegt der Polarstern nicht in unserem Blickfeld, könnten sonst unsere Drehübungen sehr leicht zu Genickschmerzen führen.

Azimutal - und Äquatorial-Montierung

Figur 1 zeigt die Achsanordnung bei einer AM. Das Teleskop lässt sich im Azimut um eine vertikale Achse a drehen, bei der Bewegung im Höhenwinkel um die Achse b bleibt das Teleskoprohr BG stets in derselben Vertikalebene durch den Zenit Z.

Fig. 1: B Beobachter, G Gestirn, P nördl. Himmelspol, Z Zenit, Φ Geogr. Ortsbreite, H Stundenwinkel, δ Deklination, A Azimut, h Höhenwinkel, q Parallaktischer Winkel (Neigungswinkel der Nordrichtung gegenüber der Bildvertikalen)



Bei der Äquatorial-Montierung ist a nicht auf den Zenit, sondern auf den Himmelspol P gerichtet, a entspricht der Stundenachse, b (das ebenfalls senkrecht zu a steht), der Deklinationsachse.

Ausser der anderen Lage von a gegenüber dem Horizont besteht zwischen den Lagern der AM und der Äquatorial-Montierung kein prinzipieller Unterschied. Für die Nachführung müssen bei der AM allerdings beide Achsen mit Antrieben versehen sein.

Umkehrungen durch die Teleskopoptik

Alle hier gemachten Richtungsangaben gelten für eine «Eins zu Eins Optik» d.h. das Bildfeld entspricht demjenigen eines am Teleskop befestigt gedachten rechteckigen Drahtsuchers, dessen obere und untere Begrenzung beim bewegen des Teleskopes stets horizontal bleibt; eine angenehme Eigenschaft der AM. Falls in ihrem Instrument Richtungsumkehrungen erfolgen, müssen Sie zusätzlich berücksichtigt werden. Auf die in den Tabellen 1 und 2 angegebenen, maximal zulässigen Belichtungszeiten hat die Optik keinen Einfluss.

Der Parallaktische Winkel q

Mit q bezeichnen wir den Winkel PGZ. Es ist der Winkel, den die Nordrichtung GP mit dem Zenitmeridian GZ bildet. Ändert G im Laufe der Erddrehung seine Stellung in Bezug auf den Horizont, (H nimmt zu, während P, Z und die Deklination stehen bleiben), so verändert sich q. Dies bewirkt eine Bildrotation. Bleibt q konstant (wie wir sehen werden, ist dies in gewissen Himmelsregionen glücklicherweise nahezu der Fall), so bleibt das Bild in unserem Drahtsucher für kurze Zeit praktisch stehen.

Messen wir das Azimut A von Süden aus, so ergibt sich

$$\tan q = \sin A / (\cos h \cdot \tan \phi + \sin h \cdot \cos A) \quad \text{(Gl. 1)}$$

oder in Funktion des Stundenwinkels und der Deklination

$$\tan q = \sin H / (\cos \delta \cdot \tan \phi - \sin \delta \cdot \cos H) \quad \text{(Gl. 2)}$$

Entlang des Südmeridians sind A und H gleich Null, und es gilt q = 0. Für zunehmendes H wächst q zunächst, und die Nordrichtung dreht sich von B aus gesehen im Uhrzeigersinn. Befindet sich G im Zenit Z, so ist $H = 0$ und $\delta = \phi$,

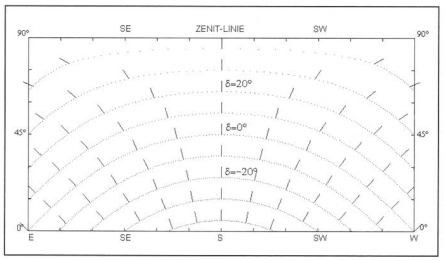


Fig. 2: Nordrichtung entlang Gestirnsbahnen mit konstanter Deklination. (Südhorizont) Die Nordrichtung wird jeweils im Zeitabstand von einer Stunde in ihrer wahren Lage zur Bildvertikalen dargestellt. Zeitabstand der Punkte=4 Min., resp. 1° im Stundenwinkel

(Gl. 2) ergibt 0 / 0, q ist unbestimmt. Im Dreieck PZG wird ZG in Zenitnähe sehr klein gegenüber PZ und der kleinste Zuwachs von H bewirkt beim Überqueren des Zenits eine sprunghafte Änderung von A und q. Ein Umstand, der beim Teleskop eine plötzliche Drehung der Gabel um 180° verursacht. Für ein am Nordpol installiertes Teleskop fällt der Himmelspol P mit dem Zenit Z zusammen. Die Zenitrichtung ist überall identisch mit der Nordrichtung, q ist überall

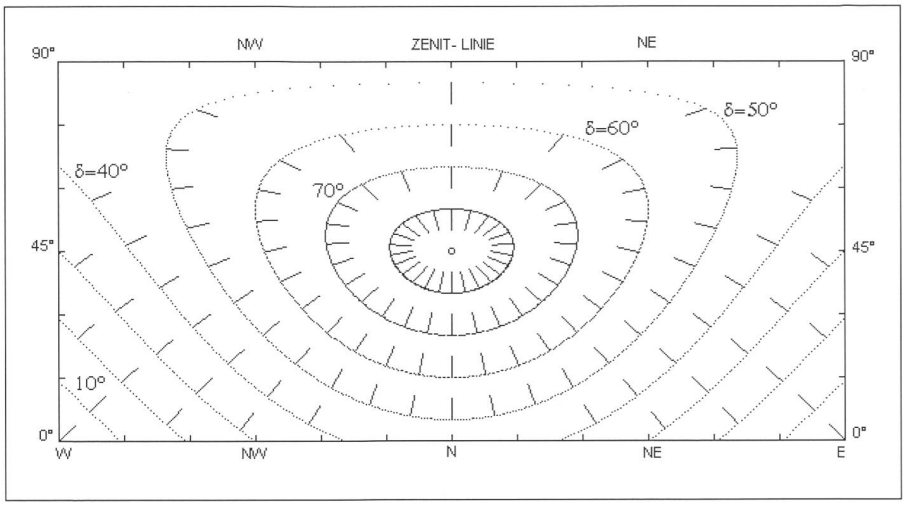


Fig. 3: Nordrichtung entlang Gestirnsbahnen mit konstanter Deklination. (Nordhorizont) Die Nordrichtung wird jeweils im Zeitabstand von einer Stunde in ihrer wahren Lage zur Bildvertikalen dargestellt. Zeitabstand der Punkte=4 Min., resp 1° im Stundenwinkel

Null. Ausgenommen bleibt der singuläre Punkt G = Z. Entlang dem horizontal liegenden Kleinkreis h = ϕ sind die beiden Schenkel ZG und ZP gleich lang, es gilt deshalb überall q = H.

Die Bildrotation entlang einer Gestirnsbahn

Sie ist eine direkte Folge der Änderung von q und lässt sich durch Angabe der Nordrichtung samt der Gestirnsbahn am besten in einem Koordinatensystem darstellen, in dem auf der horizontalen Achse das Azimut und auf der vertikalen Achse der Höhenwinkel abgetragen werden. Die Nordrichtung ist in den Bildern mit einem kurzen Strich so dargestellt, wie sie im oben besprochenen Drahtsucher, d.h. in der Bildebene am Himmel in Bezug auf die Bildvertikale, erscheinen würde. Ausser ihrem Anfangspunkt haben die Striche keinen Bezug mehr zu den Koordinaten A und h! Die Gestirnsbahnen gelten für eine mittlere nördliche Breite von 45°. Figuren 2 und 3 zeigen deutlich die rapide Geschwindigkeitszunahme der Azimutbewegung in Zenitnähe und gegen den Südmeridian hin. Auch die Rotationsgeschwindigkeit des Bildes ist dort höher. Gegen Westen und Osten hin erfolgt die Bildrotation langsamer. Die Punkte sind im Abstand von 4 Sternzeitminuten, (dH = 1°), die Nordrichtungen alle Stunden angegeben.

Die Rotationsgeschwindigkeit dq / dH

Der beim Fotografieren infolge der Bildrotation erzeugte Schmiereffekt ist umso ausgeprägter, je länger wir belichten und je rascher das Bild rotiert. Es ist deshalb sinnvoll, den Verlauf von dq / dH für verschiedene Himmelsorte zu berechnen. dH ist zwar nicht direkt ein Zeitintervall dt, aber die nachträgliche Umrechnung ist problemlos. Leiten wir q von (Gl. 2) unter Konstanthaltung von δ nach H ab, so ergibt sich mit der Substitution

$$z = \cos H \cdot \cos \delta \cdot \tan \phi - \sin \delta \quad \text{(Gl. 3)}$$

und

$$n = (\cos \delta \cdot \tan \phi - \sin \delta \cdot \cos H)^2 + (\sin H)^2 \quad \text{(Gl. 4)}$$

für die Rotationsgeschwindigkeit

$$dq / dH = z / n \quad \text{(Gl. 5)}$$

Die Werte von dq / dH variieren je nach Himmelsregion in einem weiten Bereich von minus unendlich über null bis plus unendlich.

Am interessantesten sind jene Punkte, in denen das Bild still steht, d.h. wo z = 0 und n ungleich 0 gilt. Sie liegen alle auf der Grenzlinie zwischen Süd- und Nordhorizont, d.h. entlang dem Ost- und Westmeridian. Es gilt dort

$$\cos H = \tan \delta / \tan \phi \quad \text{(Gl. 6)}$$

Einsetzen von (Gl. 6) in (Gl. 3) ergibt in der Tat z = 0. Der Zenit Z bleibt allerdings ausgeschlossen, denn dort ist wegen H = 0 und $\delta = \phi$ auch n = 0. (Gl. 5) ergibt für dq / dH das unbestimmte Resultat 0 / 0.

Zwei spezielle Punkte am Himmelszelt sind noch erwähnenswert. Der erste ist der Himmelpol P. Dort beträgt dq / dH gleich minus eins. Das Bild rotiert im Gegenuhrzeigersinn, entgegengesetzt der Erdrotation. Da P sich gegenüber dem Horizont nicht bewegt, steht die Nachführung still. P gegenüberliegend, d.h. am Südhorizont mit A = 0 und h = ϕ, liegt eine Art Gegenpunkt zum Himmelspol, für ihn gilt dq / dH = 1. Wegen h = ϕ liegt dieser Punkt gleich hoch über dem Südhorizont wie der Himmelspol P über dem Nordhorizont. Wie leicht gezeigt werden kann, gilt dort

$$\delta = 2 \cdot \phi - 90°.$$

Setzen wir in (Gl. 5) H = 0, und für $\delta = 2 \cdot \phi - 90°$, so ergibt sich in der Tat für die Rotationsgeschwindigkeit der Wert eins. Das Bild rotiert im Gegenpunkt im Uhrzeigersinn gleich rasch wie um P, aber in entgegengesetzter Drehrichtung. Unter der Annahme einer nördl. Breite von 45° käme dieser Gegenpunkt gerade auf den Südpunkt des Himmelsäquators zu liegen. Mit beispielsweise Delta Orionis im Bildzentrum und im Transit würden alle seine Namensgenossen mit etwa der halben Geschwindigkeit des Stunden- zeigers um den rechten Gürtelstern kreisen.

Tab. 1: Belichtungszeiten (sek) für eine Bildrotation von 2(mrad) in Funktion der Gestirnsposition bei Belichtungsbeginn. Der Azimutabstand der Kolonnen beträgt 15°, der Zeilenabstand entspricht einem Höhenwinkelzuwachs von 10°.

h	Nördl. Breite = 45°												
80°	474	25	13	9	8	7	7	7	8	10	13	26	546
70°	680	48	26	16	15	13	13	14	15	19	21	52	750
60°	814	74	39	27	22	19	19	20	22	27	39	75	900
50°	954	94	50	35	28	26	25	26	29	35	50	98	1012
40°	1029	112	59	42	34	29	29	29	34	42	60	117	1098
30°	1120	127	64	47	37	32	33	32	37	48	67	131	1157
20°	1173	129	72	51	42	37	36	37	42	52	73	142	1200
10°	1200	145	75	54	43	40	38	40	43	54	76	129	1221
0°	1221	147	75	54	44	37	37	37	44	55	78	150	1221
	E		Süd -				S			- Horizont			W
A	270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°

Eine spezielle Situation entsteht für eine am Nordpol der Erde installierte AM. Mit $\phi = 90°$ wird dq / dH Null, das Bild steht still. Nicht still steht aber der Azimut-Antrieb, er kompensiert die Erddrehung und es herrschen dieselben Verhältnisse vor wie bei einer Äquatorial-Montierung. Dasselbe gilt am Südpol der Erde. Verboten als Visierpunkt bleibt nach wie vor der stets singuläre Zenit.

Konsequenzen für Himmelsfotografen

Gehen wir davon aus, dass besonders jene Himmelsregionen für die Fotografie in Frage kommen, bei denen die Bildrotation innerhalb der Belichtungszeit unter einem bestimmten zulässigen Betrag liegt, so lässt sich folgendes feststellen:

Die Rotationsgeschwindigkeit ist am grössten in Zenitnähe und entlang des südlichen und nördlichen Zenitmeridians.

Die günstigste Himmelsregion für Fotografien liegt in westlicher und östlicher Richtung, wobei auch hier die Zenitnähe zu meiden ist.

Am Südhrizont, d.h. in der ganzen Himmelsregion, die südlich des Grosskreises Westpunkt-Zenit-Ostpunkt liegt, dreht das Bild im Uhrzeigersinn. Am Nordhorizont dreht das Bild im Gegenuhrzeigersinn.

Entlang der Grenze zwischen Süd- und Nordhorizont steht das Bild still.

Die Bild-Rotationsgeschwindigkeiten in Punkten, deren Azimut sich um 180° unterscheidet und deren Höhenwinkel gleich sind, haben entgegengesetztes Vorzeichen und gleichen Betrag. In Bezug auf die Ebene B,P, Z sind die Rotationsgeschwindigkeiten symmetrisch.

Maximal zulässige Belichtungszeiten

Zwischen dem Zeitintervall dt und dem Intervall des Stundenwinkels dH besteht folgende Beziehung:

$$dt / dH = K \quad \text{(Gl. 7)}$$

wobei K =13.713 (sekunden/milliradian) beträgt, d.h. es dauert 13.713 Sekunden, bis sich der Sternenhimmel gegenüber dem Horizont um 1 (mrad) gedreht hat. Eliminieren wir aus (Gl. 5) und (Gl. 7) das dH, so ergibt sich für dt

$$dt = K \cdot dq \cdot (n / z) \quad \text{(Gl. 8)}$$

mit $K = 13.713\ (s / mrad)$.

dt ist das Zeitintervall in Sekunden, in dem sich das Bild um dq (milliradian) gedreht hat. n und z folgen aus (Gl. 4) und (Gl. 3). Wir nehmen dabei stillschweigend an, (Gl. 8) sei auch für nicht unendlich kleine dq, wenigstens näherungsweise, verwendbar. Leider ist dies in West- und Ostrichtung, wo dt unendlich würde, nicht mehr zulässig. (Gl. 8) ergibt deshalb nur für in Süd- oder Nordnähe liegende Himmelsobjekte einen vernünftigen Schätzwert der maximal erlaubten Belichtungszeit.

Nehmen wir beispielsweise für dq einen Wert von 2 (mrad) = 2/1000 (radian) an, so würde das bedeuten, dass wir für unseren Sternpunkt eine Kreisspur zulassen, deren Länge 2 / 1000 = 1 / 500 des Abstandes vom Bildmittelpunkt beträgt. Es spielt dabei keine Rolle, ob es sich um ein Negativ oder eine Vergrösserung handelt.

Beispiel: Die Ecke eines 24 · 36 Negativs ist etwa 20 (mm) vom Zentrum entfernt. Der fünfhundertste Teil davon ist 0.04 (mm), was in der Grössenordnung der Auflösung eines Filmes liegt; d.h. dass ein kleineres dq kaum sinnvoll wäre. Für $\phi = 45°$ und den Südpunkt des Himmelsäquators, d.h. im «Gegenpunkt» von P, ergibt (n / z) = 1. Mit dq = 2 (mrad) folgt aus (Gl. 8) ein dt von ca. 27 Sekunden. Lassen wir eine längere Kreisspur zu, so können wir entsprechend länger belichten.

Tabellen 1 und 2 geben eine Übersicht der zulässigen Belichtungszeiten (Sekunden) in den verschiedenen Himmelsregionen des Süd- bezw. Nordhorizonts. Da (Gl.8) gerade für die interessanteste Region entlang des West-Ost-Meridians, wo dq / dH am kleinsten ist, versagt, wurde für die Berechnung der Belichtungszeiten direkt mit (Gl. 2) gearbeitet.

Für Azimute im Abstand von 15° und Höhenwinkel im Abstand von 10° sind zunächst die entsprechenden Werte des Stundenwinkels und der Deklination berechnet worden. Dann wurde H bei konstanter Deklination schrittweise vergrössert, bis die mittels (Gl. 2) berechnete Differenz von q ungefähr 2 (mrad) betrug, dH mittels (Gl. 7) in ein dt umgerechnet und das dt am entsprechenden «Startort» A, h in die Tabelle eingetragen. Die Tabellenorte entsprechen somit den Himmelsorten bei Beginn der Belichtung. Die Zeitangaben sind auf ganze Sekunden gerundet, und wo es die Anzahl Ziffern zulässt, auf ca. 1% genau. Wie erwartet, wachsen die Belichtungszeiten im Osten und Westen auf beträchtliche Werte an. Noch grössere Werte als in den Tabellen würden sich ergeben, falls die Belichtung etwa 12 Minuten vor dem überschreiten des Ost- bezw. West- meridians gestartet würde. Bei einer Deklination von 30° wachsen dann die Zeiten bis über eine halbe Stunde. Dies hängt mit dem Vorzeichenwechsel von dq / dH beim Übergang vom Nord- auf den Süd-Horizont, resp. Süd- auf den Nordhorizont während der Belichtung zusammen. Die Belichtungszeiten sind im Westen noch etwas grösser als im Osten. Grund ist die in Bezug auf den Südmeridian asymmetrische Lage der auf dem Ost- und Westmeridian beginnenden Belichtungsabschnitte.

Zusammenfassend stellen wir fest, dass bei Kenntnis der dafür geeigneten Himmelszonen trotz Bildrotation auch mit einer Azimutal-Montierung längere Belichtungszeiten möglich sind. Freilich bedeutet dies, zusammen mit den vom Film her gegebenen minimalen Belichtungszeiten, immer eine Einschränkung der zu einem bestimmten Zeitpunkt in Frage kommenden Fotoobjekte.

h	Nördl. Breite = 45°												
80°	546	26	13	9	8	7	7	7	8	9	13	26	474
70°	750	51	26	19	15	14	13	14	15	16	26	51	680
50°	900	64	37	27	22	19	19	19	22	27	37	64	814
50°	1012	86	50	35	29	26	25	26	28	35	50	96	954
40°	1098	114	59	42	34	29	29	29	34	42	59	115	1029
30°	1157	129	67	47	37	32	33	32	37	47	67	129	1120
20°	1200	139	72	51	42	37	36	37	42	52	73	142	1173
10°	1221	145	75	54	43	40	38	40	43	54	76	129	1200
0°	1221	147	75	54	44	37	37	37	44	55	78	150	1221
	W			Nord -			N			- Horizont			E
A	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°

Tab 2: Belichtungszeiten (sek) für eine Bildrotation von 2(mrad) in Funktion der Gestirnsposition bei Belichtungsbeginn. Der Azimutabstand der Kolonnen beträgt 15°, der Zeilenabstand entspricht einem Höhenwinkelzuwachs von 10°.

Adresse des Autors:
LÉON VILLARS
Neubrunnenstrasse 20, CH-8302 Kloten

Quellenangabe:

– JEAN MEEUS, *Astronomische Algorithmen*, Kap.13, Verlag J.A. Barth, 1994