

Astropraktikum

A) Beobachtung und Klassifizierung
astronomischer Objekte

B) Atmosphärische Refraktion

Betreuer: Markus Mugrauer
Stand: April 2026



Abbildung 2: Himmelsausschnitt um das Sternbild Kreuz des Südens.
Foto: M. Mugrauer

Zudem wurden Sternbilder von Seefahrern und Kartographen des Himmels, z. B. Johann Bayer (1572-1625), Johannes Hevelius (1611-1687) oder Nicolas Louis de Lacaille (1713-1762), erfunden. Lacaille fügte 14 Sternbilder (Hilfsgeräte der Wissenschaft und Kunst) hinzu und die verbliebenen Lücken am Südhimmel wurden dann mit Sternbildern gefüllt, die von anderen Astronomen erfunden wurden. Einige Sternbilder wurden später wieder abgeschafft, z. B. Argo Navis (Schiff) → Carina (Schiffski), Vela (Segel), Puppis (Hinterdeck des Schiffs).

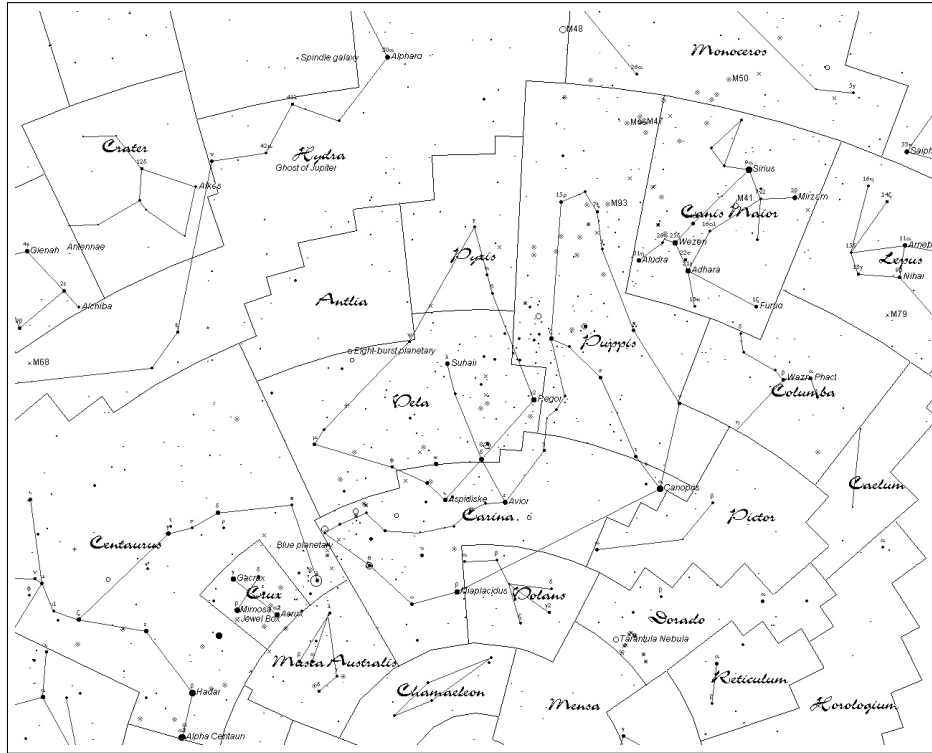


Abbildung 3: Das antike Sternbild Argo Navis.

Innerhalb eines Sternbildes werden die Sterne ungefähr ihrer Helligkeit nach bis etwa zur 4. Größenklasse mit kleinen griechischen Buchstaben bezeichnet (nach J. Bayer). Schwächere Sterne werden mit kleinen lateinischen Buchstaben oder auch mit Zahlen bezeichnet (nach F. Flamsteed [1646-1719]). Die vollständige Bezeichnung eines Sterns setzt sich danach zusammen aus dem griechischen bzw. lateinischen Buchstaben oder einer Zahl, gefolgt vom Genitiv des lateinischen Sternbildnamens oder dessen Abkürzung, z. B. α Lyrae = α Lyr, γ Leonis = γ Leo, 32 Ursae Majoris = 32 UMA. Für die hellsten Sterne sind auch heute noch Eigennamen gebräuchlich, die oft arabischen Ursprungs sind.

1.2 Kataloge astronomischer Objekte

Sternkatalogen listen dies aber auch schwächere Sterne. Sie werden darin mit der Abkürzung des Katalogs und einer Nummerierung benannt.

Tabelle 1: Gebräuchliche Sternkataloge

Name	Abkürzung	Limit [mag]	Anzahl der Sterne	Äquinoxtium
Bonner Durchmusterung	BD	9.5	$3.2 \cdot 10^5$	1855
Henry-Draper-Katalog	HD	9.0	$2.2 \cdot 10^5$	1900
Positions & Proper Motions Star Catalogue Heidelberg	PPM	12.0	$1.8 \cdot 10^5$	2000
Smithsonian Astrophysical Observatory Catalogue	SAO	12.2	$2.6 \cdot 10^5$	1950
Hipparcos Input Catalogue	HIC	12.5	$1.1 \cdot 10^5$	2000
The Hipparcos & Tycho Catalogues	HIP	11.5	10^6	1991.25
The 2 Micron All Sky Catalogue	2MASS	15.8	$4.7 \cdot 10^8$	2000
Gaia DR3 Catalogue	Gaia DR3	21.0	$1.8 \cdot 10^9$	2016

So kann ein und derselbe Stern durch unterschiedliche Angaben bezeichnet werden, z. B. Wega = α Lyrae = α Lyr = BD+38° 3238 = HD 172167 = ($\alpha_{2000} = 18^h 36^m 56^s$; $\delta_{2000} = +38^\circ 47' 01''$). In ähnlicher Weise werden auch andere Himmelsobjekte, wie Sternhaufen, Gasnebel, Galaxien, Radio-, Röntgen- oder Infrarotobjekte bezeichnet. Die helleren, bei der Beobachtung mit kleineren Teleskopen als Nebelflecke erscheinenden Objekte werden auch heute noch unabhängig von ihrer physikalischen Beschaffenheit vielfach durch die Nummer in älteren "Nebel"-Katalogen in Verbindung mit der Katalogabkürzung bezeichnet. Online sind die unterschiedlichen Objektbezeichner zusammen mit weiteren Eigenschaften der Objekte in der astronomischen Datenbank SIMBAD¹ abrufbar.

Tabelle 2: Gebräuchliche Nebel-Kataloge

Name	Abkürzung	Anzahl der Objekte
Messier-Katalog	M	103
New General Catalogue of Nebulae & Clusters of Stars	NGC	7840
Index Catalogue	IC	5386

Beispiele: Orionnebel = M 42 = NGC 1976 (Gasnebel), Krebsnebel = M 1 = NGC 1952 (Supernovaüberrest), Praesepe = M 44 = NGC 2632 (offener Sternhaufen), Andromedanebel = M 31 = NGC 224 (Galaxie)

¹<https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

1.3 Sternkarten

In Verbindung mit Sternkatalogen werden vielfach Sternkarten als bildliche Darstellungen von Teilen der Himmelskugel veröffentlicht, die oft zu Sternatlanten zusammengefasst werden. Sie dienen u. a. zur Orientierung am Himmel, zum besseren Auffinden von Objekten, von denen die Koordinaten gegeben sind, oder zum Einzeichnen neu entdeckter und sich bewegender Objekte, z. B. Kometen und Planetoiden. Die Karten beziehen sich, wie auch die Kataloge, immer auf ein bestimmtes Normaläquinoktium. Dies ist zu beachten, wenn Koordinaten aus Katalogen entnommen oder wenn Objekte in die Karten neu eingezeichnet werden.

Tabelle 3: Ausgewählte Sternkarten und Himmelsatlanten

Bezeichnung	Limit [mag]	Äquinoktium
Bonner Durchmusterung	9.5	1855
Atlas Coeli	7.8	1950
Sternatlas (1975.0)	6.0	1975
Atlas Stellarum	14.5	1950
POSS-1	21.0	1950
POSS-2	21.0	2000
2MASS	15.0	2000
PanSTARRS (PS1)	22.0	2000

Online können die Himmelsatlanten mit dem Programm *Aladin Sky Atlas*² dargestellt und mit Katalogen aus der astronomischen Datenbank *VizieR*³ kombiniert werden.

1.4 Drehbare Sternkarten

Für eine rasche Orientierung am Sternhimmel sind drehbare Sternkarten geeignet. Sie bestehen im Prinzip aus einem runden Grundblatt mit zwei am Rande angebrachten Teilungen, von denen eine für die Einstellung des Beobachtungsdatums, die andere zum Ablesen der Rektaszension dient, sowie aus einem Deckblatt mit einem ellipsenförmigen Ausschnitt. Dieser gibt von dem gesamten für einen Ort prinzipiell beobachtbaren Teil des Himmels, der auf dem Grundblatt dargestellt ist, jeweils den zu einem bestimmten Zeitpunkt über dem Horizont befindlichen Teil frei. Zum Einstellen der Uhrzeit befindet sich auf dem Deckblatt eine entsprechende Skala. Außerdem enthält das Deckblatt im Allgemeinen auch noch Skalen zur Ablesung der Höhe und des Azimuts der Gestirne und das Grundblatt eine Skala zur Ablesung der Deklination.

Mit einer drehbaren Sternkarte als Analogrechner lassen sich für deren Gültigkeitsbereich (vorgegebene geographische Breite, festes Äquinoktium) eine Reihe einfacher Aufgaben (mit geringer Genauigkeit) lösen:

²<https://aladin.cds.unistra.fr/>

³<https://vizier.cds.unistra.fr/>

1. Bestimmung des Himmelsausschnittes, der sich zu einem bestimmten Zeitpunkt (MEZ) über dem Horizont befindet: Der Ausschnitt des Deckblatts zeigt dann den über dem Horizont befindlichen Teil des Himmels, wenn über dem Beobachtungsdatum auf dem Grundblatt die wahre Ortszeit, also die Zeit unter Berücksichtigung der Differenz zwischen den geographischen Längen vom Bezugsmeridian für MEZ ($\lambda = 15^\circ$) und vom Beobachtungsort, ausgedrückt im Zeitmaß, auf dem Deckblatt eingestellt ist.

2. Bestimmung der Sternzeit für einen bestimmten Zeitpunkt in MEZ: Wie unter 1. ist die wahre Ortszeit über dem Beobachtungsdatum einzustellen. Beim Stundenwinkel 12 h (Süd-Richtung) auf dem Deckblatt wird auf der Rektaszensionskala des Grundblatts die Sternzeit abgelesen.

3. Bestimmung der Auf- bzw. Untergangszeit von Gestirnen: Der Ort des Gestirns wird mit dem Ost- bzw. Westrand des Ausschnitts auf dem Deckblatt zur Deckung gebracht. Über dem gewünschten Datum lässt sich dann die Uhrzeit des Auf- bzw. Untergangs ablesen.

4. Bestimmung von Sternkoordinaten im Äquator- oder Horizontssystem: Mit Hilfe des Koordinatennetzes auf dem Grundblatt können Rektaszension und Deklination eines Objekts bestimmt werden; Azimut und Höhe lassen sich nach Einstellen des Beobachtungszeitpunktes direkt mit Hilfe des Koordinatennetzes auf der Deckscheibe ablesen.

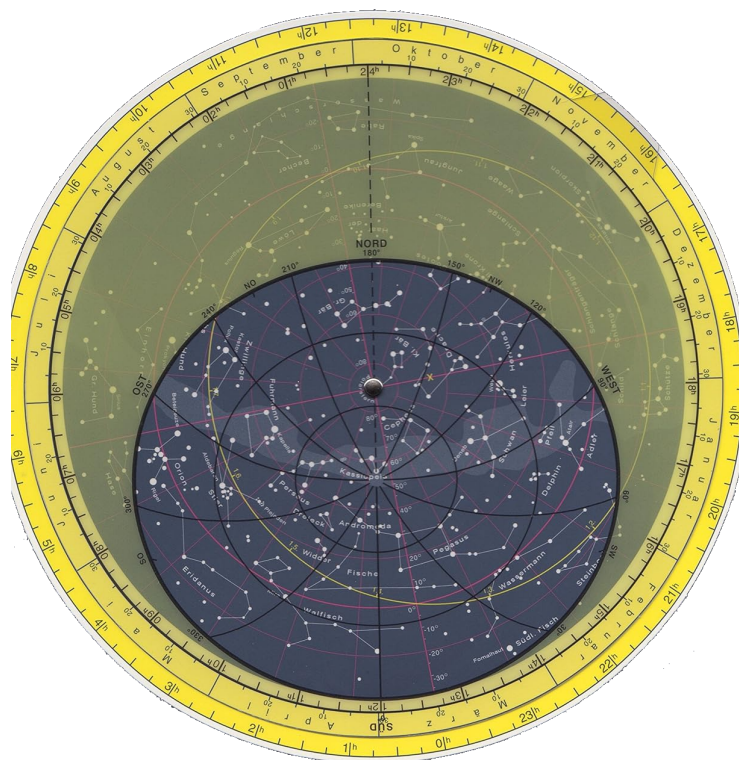


Abbildung 4: Die im Versuch verwendete drehbare Sternkarte.

1.5 PC-Programme zur Darstellung des Himmels

Astronomische Visualisierungsprogramme sind für Rechner verfügbar. Sie gestatten in der Regel, äquatoriale und horizontale Koordinaten in verschiedenen Projektionen darzustellen, die freie Wahl des Beobachtungsortes und der Beobachtungszeit, die Anzeige von Objekttypen wie Sterne, Planeten, Mond, Sonne, Sternhaufen und Galaxien, aber auch Sternbilder und Sternbildgrenzen, sie verfügen über Editier- und Druckoptionen und bieten Aufrüstmöglichkeiten für die Steuerung kleinerer Teleskope.

1.6 Jahrbücher

Jahrbücher sind astronomische Kalender, die vorausberechnete Gestirnskoordinaten (Ephemeriden) für ein ganzes Jahr enthalten. Für die Sonne und die Planeten sind die Örter im Allgemeinen für jeden Tag, für den Mond für jede Stunde und für die Fixsterne für Intervalle von 10 Tagen gegeben. Daneben enthalten Jahrbücher noch zahlreiche weitere Angaben, z. B. über Finsternisse, Sternbedeckungen oder Satellitenörter. In Sternkalendern findet man neben den Angaben über die Bewegungen der Körper des Planetensystems auch Verzeichnisse von astronomischen Beobachtungsobjekten des Fixsternhimmels. Dabei sind in der Regel Doppelsterne, veränderliche Sterne der verschiedenen Typen, offene und kugelförmige Sternhaufen, Gasnebel und Galaxien aufgelistet.

2 Astronomische Koordinatensysteme

Eine präzise Positionsangabe eines Objektes am Himmel ist mit Koordinaten in verschiedenen Koordinatensystemen möglich.

2.1 Horizontales Koordinatensystem

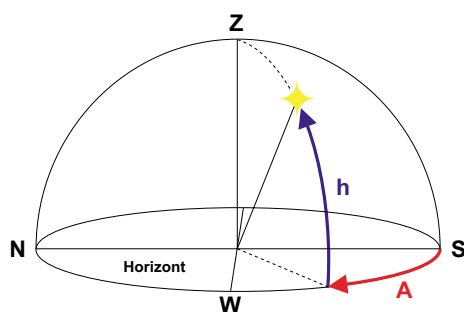


Abbildung 5: Horizontales System

A: Azimut oder auch Azimutwinkel

Ist der Winkel zwischen dem Großkreis, der durch die Punkte (N, Z, S) geht (Meridian), und dem Großkreis, der durch das Objekt und Z verläuft und von Süden aus in westlicher Richtung gemessen wird $[0^\circ \leq A < 360^\circ]$

h: Höhe

Ist der Winkel zwischen dem Objekt und dem Horizont und wird von -90° (Nadir) über 0° (Horizont) bis $+90^\circ$ (Zenit) gemessen

Vorteil: einfache Positionsangabe eines Objektes

Nachteil: Koordinaten sind wegen der Erddrehung zeitabhängig und können sich bereits in kurzen Zeitabständen stark ändern (Sterne bewegen sich am Himmel von Ost nach West \Rightarrow Erddrehung von West nach Ost)

2.2 Äquatoriales Koordinatensystem

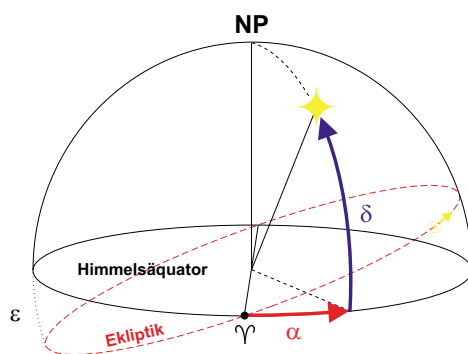


Abbildung 6: Äquatoriales System

α : Rektaszension

Winkel zwischen dem Objekt und dem Frühlingspunkt Υ gemessen in östlicher Richtung $[0^h \leq \alpha < 24^h]$

δ : Deklination

Winkel zwischen dem Objekt und dem Himmelsäquator, gemessen in nördlicher Richtung vom Himmelsnordpol (NP) bei $\delta = +90^\circ$ bis zum Himmelsnordpol (SP) bei $\delta = -90^\circ$

Der Frühlingspunkt Υ (Widderpunkt) ist der Schnittpunkt des Himmelsäquators mit der jährlichen Bahn der Sonne am Himmel, der Ekliptik, bei dem die Sonne auf ihrer Bahn den Himmelsäquator von Süd nach Nord durchläuft. Zum

Frühlingsbeginn (21.3.) steht die Sonne am Frühlingspunkt ($\alpha = 0^h$), wandert dann östlich entlang der Ekliptik zum nördlichen Sommerpunkt ($\alpha = 6^h$), den sie am 21.6. erreicht. Dann steigt sie wieder nach Süden ab und erreicht den Herbstpunkt Ω ($\alpha = 12^h$) am 23.9. Am 21.12. erreicht die Sonne ihren nördlichen Winterpunkt ($\alpha = 18^h$).

Die Ekliptik ist nichts anderes als der Schnittkreis der Erdbahnebene mit dem äquatorialen Koordinatensystem. Da die Rotationsachse der Erde um $\varepsilon = 23.5^\circ$ gegen das Lot zu ihrer Umlaufebene um die Sonne geneigt ist, sind folglich auch Himmelsäquator und Ekliptik um diesen Winkel zueinander verkippt.

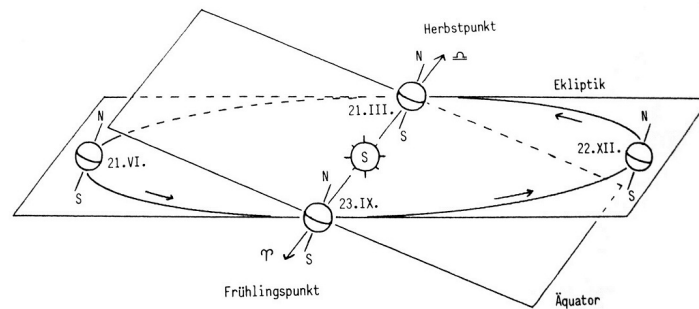


Abbildung 7: Jährliche Bewegung der Erde im Sonnensystem.

2.3 Transformation der Koordinatensysteme

Das sphärischen Dreieck zwischen Himmelsnordpol, Zenit und Objekt wird als das **astronomische Dreieck** bezeichnet.

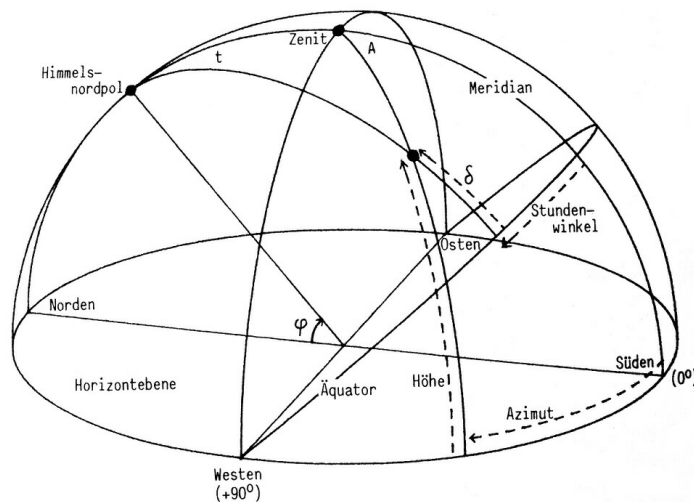


Abbildung 8: Graphischer Zusammenhang zwischen dem äquatorialen und horizontalen Koordinatensystem.

Die Anwendung des Sinussatzes im sphärischen Dreieck liefert:

$$\cos h \cdot \sin A = \cos \delta \cdot \sin t$$

Die Anwendung der Kosinussätze im sphärischen Dreieck ergibt:

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

$$\sin \delta = \sin h \cdot \sin \varphi - \cos h \cdot \cos \varphi \cdot \cos A$$

mit dem Stundenwinkel t eines Objektes: $t = \Theta - \alpha$

Θ gibt den Rektaszensionswert an, der gerade im Meridian steht, ist als eine für den beobachtenden Astronomen wichtige Größe, die als die sogenannte **Sternzeit** bezeichnet wird. Die Sternzeit läuft wie die Sonnenzeit von 0 bis 24 h, dies aber mit der Rotationszeit der Erde, die $23^h 56^m 4^s$ beträgt.

Die lokale Sternzeit (LMST) zum Beobachtungszeitpunkt in Jena und damit auch der Stundenwinkel eines Objekts können mit der unten angegebenen Sternzeitabelle bestimmt werden.

Sternzeitabelle für Jena um 0 UT

Datum			LMST		Datum			LMST	
dd	mm	yyyy	hh	mm	dd	mm	yyyy	hh	mm
01	04	2026	13	24	01	05	2026	15	22
02	04	2026	13	28	02	05	2026	15	26
03	04	2026	13	32	03	05	2026	15	30
04	04	2026	13	36	04	05	2026	15	34
05	04	2026	13	40	05	05	2026	15	38
06	04	2026	13	44	06	05	2026	15	42
07	04	2026	13	48	07	05	2026	15	46
08	04	2026	13	51	08	05	2026	15	50
09	04	2026	13	55	09	05	2026	15	54
10	04	2026	13	59	10	05	2026	15	58
11	04	2026	14	03	11	05	2026	16	02
12	04	2026	14	07	12	05	2026	16	06
13	04	2026	14	11	13	05	2026	16	09
14	04	2026	14	15	14	05	2026	16	13
15	04	2026	14	19	15	05	2026	16	17
16	04	2026	14	23	16	05	2026	16	21
17	04	2026	14	27	17	05	2026	16	25
18	04	2026	14	31	18	05	2026	16	29
19	04	2026	14	35	19	05	2026	16	33
20	04	2026	14	39	20	05	2026	16	37
21	04	2026	14	43	21	05	2026	16	41
22	04	2026	14	47	22	05	2026	16	45
23	04	2026	14	51	23	05	2026	16	49
24	04	2026	14	55	24	05	2026	16	53
25	04	2026	14	58	25	05	2026	16	57
26	04	2026	15	02	26	05	2026	17	01
27	04	2026	15	06	27	05	2026	17	05
28	04	2026	15	10	28	05	2026	17	09
29	04	2026	15	14	29	05	2026	17	13
30	04	2026	15	18	30	05	2026	17	16

Abbildung 9: Lokale Sternzeit für Jena um 0 UT.

3 Optische Eigenschaften von Teleskopen

Teleskope haben die Aufgabe, das von den Beobachtungsobjekten einfallende Licht zu sammeln und dieses auf den Empfänger oder die Eintrittsöffnung eines Zusatzgerätes abzubilden. Der Nachweis, die Messung und die Analyse der von einem Himmelskörper kommenden Strahlung erfolgen mit Hilfe verschiedener Empfänger (z. B. Auge, Photoplatte, Sekundärelektronenvervielfacher, CCD-Detektor) und oft in Verbindung mit Zusatzgeräten (z. B. Spektrograph, Polarimeter). Die wichtigsten optischen Eigenschaften von Teleskopen werden im Folgenden betrachtet.

3.1 Beugung am Objektiv

Das Objektiv eines Teleskops kann vereinfacht als Einzelspalt betrachtet werden.

Für das Beugungsbild gilt: $I(x) = I_0 \left(\frac{\sin x}{x} \right)^2$ mit $x = \pi \frac{D}{\lambda} \sin \alpha$

Mit dem maximalen Wegunterschied Δs für unter einem Winkel α auf den Spalt eintreffende Lichtstrahlen: $\Delta s = D \cdot \sin \alpha$ und der Bedingung für Beugungsminima: $\Delta s = n \cdot \lambda$ mit $n \in \mathbb{N}$

\Rightarrow Bedingung für Beugungsminima: $D \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda$ mit $n \in \mathbb{N}$

$\Rightarrow \alpha = n \cdot \frac{\lambda}{D}$ (Kleinwinkelnäherung) mit dem ersten Minimum bei: $\tilde{\alpha} = \frac{\lambda}{D}$

Die Rechnung mit einer Kreisblende als Objektiv liefert die Airy-Funktion:

$I(x) = 4I_0 \left(\frac{J_1(x)}{x} \right)^2$ Besselfunktion: $J_1(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k!(k+1)!} \left(\frac{x}{2} \right)^{2k+1}$

\Rightarrow Beugungsbild $\hat{=}$ Airy-Scheibchen

Das erste Minimum liegt hier bei $x = \pi \cdot \frac{D}{\lambda} \cdot \sin \alpha_m = 3.8317$ und für kleine Winkel $\Rightarrow \tilde{\alpha} = \frac{3.8317}{\pi} \cdot \frac{\lambda}{D} = 1.22 \frac{\lambda}{D}$ (im Bogenmaß)

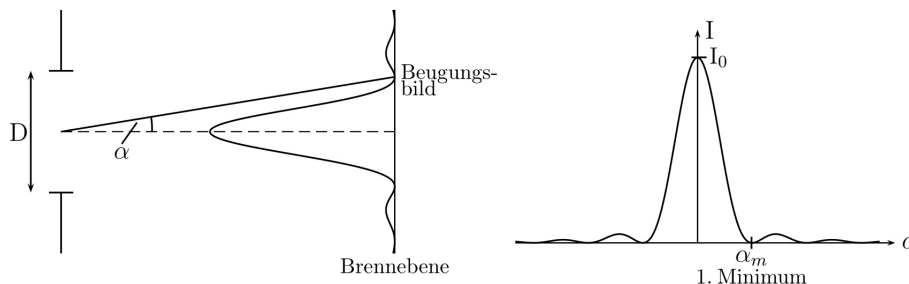


Abbildung 10: Beugung am Objektiv des Teleskops.

3.2 Auflösungsvermögen

Als Auflösungsvermögen bezeichnet man den kleinsten Winkelabstand zweier punktförmiger Lichtquellen, bei dem diese gerade noch getrennt wahrgenommen werden. Durch die Beugung des Lichts an der kreisförmigen Eintrittsöffnung des Teleskops (Eintrittspupille) wird eine punktförmige Lichtquelle als Beugungsfigur (zentrales Scheibchen mit konzentrischen Ringen abnehmender Helligkeit) abgebildet. Die Beugungstheorie liefert für den Radius $\tilde{\alpha}$ des ersten dunklen Ringes im Bogenmaß:

$$\tilde{\alpha} = 1.22 \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (\text{Rayleigh-Kriterium})$$

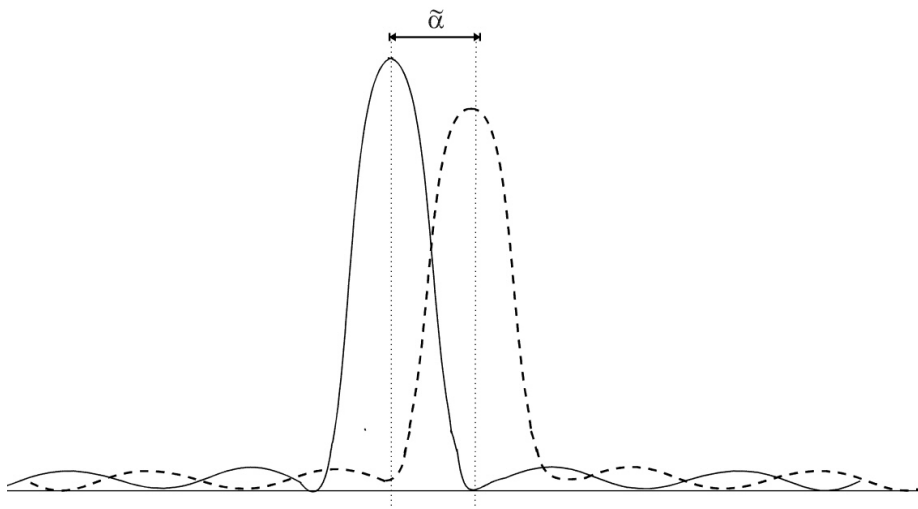


Abbildung 11: Das Rayleigh-Kriterium.

Eng benachbarte Sternbildchen werden aber auch schon dann getrennt erkannt, wenn das Helligkeitsmaximum des einen ungefähr am Rande des Beugungsscheibchens des anderen Sterns liegt. Man definiert daher als theoretisches Auflösungsvermögen eines Teleskops den Winkelabstand im Bogenmaß:

$$\tilde{\alpha}_{\text{Limit}} = \lambda/D$$

Wählt man $\lambda = 560 \text{ nm}$, was dem Maximum der Augenempfindlichkeit entspricht, so ergibt sich die Faustformel:

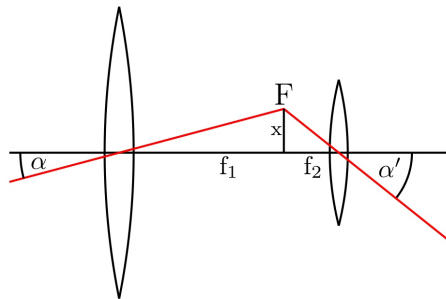
$$\tilde{\alpha}_{\text{Limit}} = 115/D[\text{mm}] \quad (\text{theoretisches Auflösungsvermögen})$$

Die hier gegebene Definition des theoretischen Auflösungsvermögens eines Teleskops berücksichtigt nur die Effekte, die durch die Weitung eines Lichtpunktes zu einem Beugungsscheibchen durch Lichtbeugung an der Eintrittsöffnung begründet sind. Bei Teleskopen mit einer freien Öffnung $D \gtrsim 150 \text{ mm}$ wird das Auflösungsvermögen aber wesentlich durch die Richtungszintillation bestimmt, die durch Turbulenzelemente in der Atmosphäre

mit variablen Brechzahlen verursacht wird, welche starken witterungsbedingten Schwankungen unterliegen. Das reale Auflösungsvermögen eines Teleskops kann daher von Nacht zu Nacht unterschiedlich sein. Es lässt sich beispielsweise durch die Beobachtung von Doppelsternen mit unterschiedlichen Winkelabständen bestimmen. Große erdgebundene Teleskope bringen daher ohne weitere Hilfsmittel keinen Gewinn beim Auflösungsvermögen, wohl aber bei der Menge des gesammelten, für Messungen zur Verfügung stehenden Lichts.

3.3 Vergrößerung

Bei visueller Beobachtung ist die Vergrößerung V des Teleskops wichtig. Darunter versteht man das Verhältnis der Größe der Blickwinkel mit (α') und ohne Teleskop (α) zu einem weit entfernten Objekt. Für kleine Winkel gilt:



Aus der Geometrie folgt:

$$x = f_1 \cdot \tan \alpha = f_2 \cdot \tan \alpha' \Rightarrow$$

Vergrößerung:

$$V = \frac{\alpha'}{\alpha} \approx \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{f_{\text{Teleskop}}}{f_{\text{Okular}}}$$

Förderliche Vergrößerung:

$$1 \cdot A_{\text{Auge}} = V_{\text{förderlich}} \cdot A$$

Mit $A_{\text{Auge}} \approx 2'$ und $A = 1.22 \cdot \frac{\lambda}{D}$ bei $\lambda = 560 \text{ nm}$ folgt:

$$\text{Förderliche Vergrößerung: } V_{\text{förderlich}} = \frac{A_{\text{Auge}}}{A} \approx D[\text{mm}]$$

Maximal sinnvolle Vergrößerung:

Das Auflösungsvermögen des Teleskops ist vom Beobachter theoretisch optimal erkennbar, falls gilt: $2 \cdot A_{\text{Auge}} = V_{\text{max}} \cdot A \Rightarrow$

$$\text{Maximale sinnvolle Vergrößerung: } V_{\text{max}} = 2 \cdot \frac{A_{\text{Auge}}}{A} \approx 2 \cdot D[\text{mm}]$$

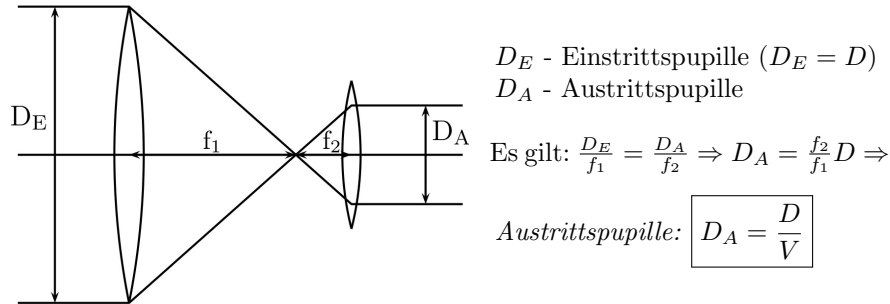
Minimal sinnvolle Vergrößerung:

Maximaler Pupillendurchmesser des Auges beträgt ca. 6 mm \Rightarrow

$$D_A \leq D_{\text{Auge}}, \text{ sonst Lichtverlust! } \Rightarrow D_A = \frac{D}{V} \leq D_{\text{Auge}} \Rightarrow V \geq \frac{D}{D_{\text{Auge}}} \Rightarrow$$

$$\text{Minimale sinnvolle Vergrößerung: } V_{\text{min}} = \frac{D}{D_{\text{Auge}}} \approx \frac{D[\text{mm}]}{6}$$

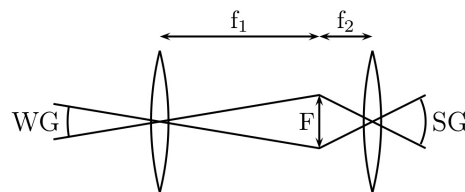
3.4 Austrittspupille



Die Vergrößerung ist also gleich dem Verhältnis der Größe der Eintrittspupille D zu der der Austrittspupille D_A . Die Austrittspupille darf nicht größer werden als der Pupillendurchmesser des Beobachters, ansonsten geht Licht verloren.

3.5 Gesichtsfelddurchmesser

Bei der visuellen Beobachtung ist auch der Gesichtsfelddurchmesser des verwendeten Okulars wichtig, da dieser definiert, welche Objekte noch vollständig am Himmel beobachtet werden können.



- Das wahre Gesichtsfeld WG ist der Winkeldurchmesser des kreisförmigen Himmelsausschnitts, der mit einem Okular am Teleskop betrachtet werden kann.
- Das scheinbare Gesichtsfeld SG eines Okulars ist der Winkeldurchmesser, unter dem das kreisförmige Gesichtsfeld des Okulars dem Beobachter erscheint.

$$WG = 2 \arctan \frac{F}{2f_1} \quad SG = 2 \arctan \frac{F}{2f_2} \quad (\text{wahres \& scheinbares Gesichtsfeld})$$

Der wahre Gesichtsfelddurchmesser eines Okulars WG lässt sich aus Messungen der Durchlaufzeit Δt eines Sterns mit der Deklination δ durch das Gesichtsfeld des Okulars ermitteln (Driftmethode):

$$WG = k_1 \cdot k_2 \cdot \cos(\delta) \cdot \Delta t \quad (\text{wahres Gesichtsfeld eines Okulars})$$

mit $k_1 = 360^\circ/24\text{h} = 15^\circ/\text{h} = 15''/\text{s}$.

Bei der Messung des Gesichtsfelddurchmessers eines Okulars ist darauf zu achten, dass der Stern zentral durch das Gesichtsfeld des Okulars driftet.

3.6 Grenzhelligkeit

Bei visuellen Beobachtungen bezeichnet man die scheinbare Helligkeit der lichtschwächsten, gerade noch erkennbaren Sterne als Reichweite oder Grenzhelligkeit. Der Reichweitengewinn $\Delta m = m_{\text{Teleskop}} - m_{\text{Auge}}$ (in mag) bei der Beobachtung punktförmiger Lichtquellen mit einem Teleskop ergibt sich aus der Objektivöffnung D und dem Durchmesser D_{Auge} der Augenpupille auf Grund der Beziehung zwischen dem Verhältnis der Strahlungsflüsse und der astronomischen Größenklassen:

$$\Delta m = -5 \cdot \log(D_{\text{Auge}}/D_{\text{Teleskop}}) \quad (\text{Reichweitengewinn})$$

Die Grenzhelligkeit des Beobachters m_{Auge} und damit dann auch die Grenzhelligkeit der Sterne, die noch mit einem Teleskop m_{Teleskop} erkannt werden können, kann durch Beobachtung der Polsequenz ermittelt werden. Dazu wird nach vollständiger Dunkeladaptation der Augen das Sternbild Ursa Minoris beobachtet und die darin leuchtschwächsten noch erkennbaren Sterne bestimmt.

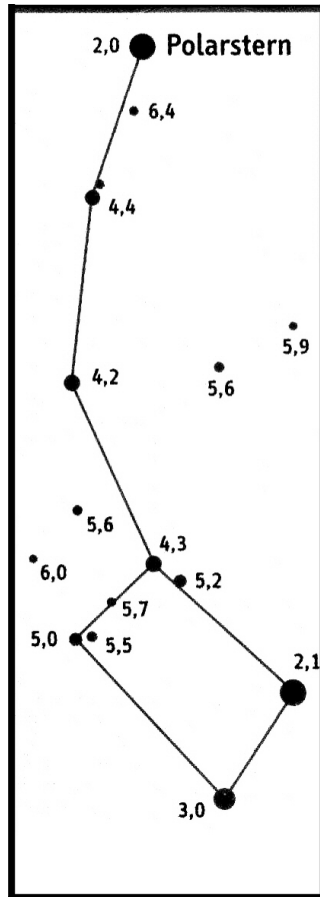


Abbildung 12: Sternkarte der Polsequenz mit den hellsten Sternen im Sternbild Ursa Minoris. Die scheinbaren Helligkeiten der Sterne sind in Magnituden angegeben.

Für die Messung schwacher Lichtquellen spielt die vom Empfänger detektierte Flächenhelligkeit S eine große Rolle. Dabei ist S proportional zur Teleskopöffnung und umgekehrt proportional zur Fläche der abgebildeten Lichtquelle:

$S \propto D^2/l^2$ mit l dem Durchmesser der abgebildeten Lichtquelle, für den gilt:

$$l = f_{\text{Teleskop}} \cdot \tilde{\alpha} \propto f_{\text{Teleskop}}/D \Rightarrow S \propto \left(\frac{D}{f_{\text{Teleskop}}}\right)^2 \cdot D^2$$

Für eine Flächenlichtquelle mit dem Winkeldurchmesser α gilt: $l = f_{\text{Teleskop}} \cdot \alpha$

$$\Rightarrow S \propto \left(\frac{D}{f_{\text{Teleskop}}}\right)^2$$

Zum Nachweis leuchtschwacher ausgedehnter Objekte benötigt man daher ein möglichst großes Öffnungsverhältnis, zum Nachweis schwacher Punktlichtquellen hingegen eine möglichst große Teleskopöffnung.

Die Grenzhelligkeit hängt aber auch ab von der Eigenschaft des Auges als Strahlungsempfänger, von der Helligkeit des Himmelshintergrundes und des Streulichts im Teleskop, von der Turbulenz in der Erdatmosphäre (Szintillation) und von den Lichtverlusten in der Erdatmosphäre und im Fernrohr. Da diese Einflüsse zum Teil größeren Schwankungen unterworfen sind, ist auch die tatsächliche Reichweite eines visuell genutzten Fernrohrs keine konstante Größe. Sie kann u. a. dadurch ermittelt werden, dass man ein Sternfeld durchmustert, für das eine durch eine Folge von Sternen bekannter scheinbarer Helligkeit festgelegte Helligkeitsskala existiert. Geeignet dafür sind die Polsequenz aber auch Sternhaufen wie die Plejaden oder die Praesepe. Dabei ist zu beachten, dass die Augen eine unterschiedliche Empfindlichkeit für unterschiedliche Wellenlängen haben. Hinzu kommt, dass sich die spektrale Empfindlichkeit des Auges beim Nachtsehen von der beim Tagsehen unterscheidet: Rote Objekte erscheinen nachts dunkler, blaue dagegen heller (Purkinje-Effekt). Sterne mit unterschiedlicher spektraler Flussverteilung werden deshalb auch bei gleicher bolometrischer Helligkeit als unterschiedlich hell empfunden. Die visuelle Grenzhelligkeit ist daher auch vom Spektraltyp der beobachteten Sterne abhängig.

Die Anpassungszeit des menschlichen Auges von dunkel nach hell erfolgt bereits nach nur etwa drei Minuten, die vollständige Dunkeladaption dagegen liegt in der Größenordnung von einer Stunde. Vor Bestimmung der Grenzhelligkeit ist darauf zu achten, dass keine hellen Lichtquellen beobachtet werden. Am besten begibt man sich vor der Beobachtung der Polsequenz in einen dunklen Raum und wartet dort mindestens 15 Minuten, bevor man die Beobachtung durchführt. Der Helligkeitseindruck bei der Beobachtung lässt sich steigern, indem man Objekte nicht direkt betrachtet, sondern etwas daran vorbeiblickt (indirektes Sehen). In der Netzhautgrube (in Richtung der optischen Achse des Auges) ist nämlich die Dichte der Stäbchen, die das Sehen bei geringen Beleuchtungsstärken ermöglichen, etwas geringer als in der Randzone der Netzhaut. Die erreichbare Genauigkeit beim visuellen Helligkeitsvergleich zweier Lichtquellen hängt von deren Flächenausdehnung ab. Bei ausgedehnten Lichtquellen lässt sich eine Genauigkeit von ca. ± 0.02 mag, bei Punktlichtquellen von etwa ± 0.2 mag erreichen.

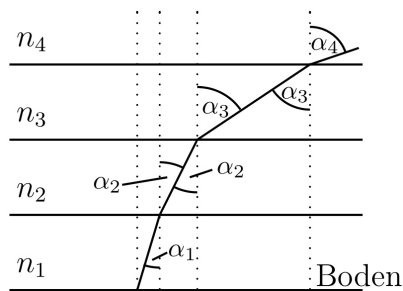
4 Atmosphärische Refraktion

Eine elektromagnetische Welle wird an der Grenzschicht zweier Medien mit unterschiedlichem Brechungsindex n gebrochen. Für den Einfallswinkel α_1 im Medium mit dem Brechungsindex n_1 und den Winkel des gebrochenen Lichtstrahls α_2 im Medium mit dem Brechungsindex n_2 gilt:

$$\boxed{n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2} \quad (\text{Snellius-Gleichung})$$

Die Winkel α_i werden vom Lichtstrahl in den Medien jeweils zum Lot auf die Grenzfläche gemessen. Da die Dichte der Atmosphäre ρ mit der Höhe h gemäß der barometrischen Höhenformel ($\rho = \rho_0 \cdot e^{-h/H}$) abnimmt, verringert sich auch der Brechungsindex der Luft mit der Höhe n (Erdboden) $> n$ (Weltraum) $= 1 \Rightarrow$ ein aus dem Weltraum einfallender Lichtstrahl wird in der Atmosphäre gebrochen (Refraktion).

Berechnung der Refraktion für kleine Zenitwinkel $z_S \leq 45^\circ$ mit dem planparallelen Atmosphärenmodell:



$$\begin{aligned} n_1 \cdot \sin \alpha_1 &= n_2 \cdot \sin \alpha_2 \\ n_2 \cdot \sin \alpha_2 &= n_3 \cdot \sin \alpha_3 \\ n_3 \cdot \sin \alpha_3 &= n_4 \cdot \sin \alpha_4 \\ &\vdots \\ \Rightarrow n_1 \cdot \sin \alpha_1 &= n_\infty \cdot \sin \alpha_\infty = \sin \alpha_\infty \end{aligned}$$

α_1 : scheinbarer Zenitwinkel z_S
 α_∞ : wahre Zenitwinkel z

$$\Rightarrow n \cdot \sin z_S = \sin z \text{ und } z > z_S$$

mit $z = R + z_S$ und R dem Refraktionswinkel oder kurz Refraktion

$$\Rightarrow n \cdot \sin z_S = \sin (R + z_S)$$

mit Additionstheoremen folgt: $n \cdot \sin z_S = \sin z_S \cdot \cos R + \cos z_S \cdot \sin R$

für kleine z folgt auch ein kleines $R \Rightarrow n \cdot \sin z_S \approx \sin z_S + \cos z_S \cdot R \Rightarrow$

$$\boxed{R = (n - 1) \cdot \tan z_S} \quad (\text{Refraktion im Bogenmaß})$$

Für Luft gilt bei Luftdruck P und Temperatur T :

$$\boxed{n - 1 = a(\lambda) \cdot \frac{P}{T} \cdot \frac{T_0}{P_0}}$$

mit den Normalbedingungen: $P_0 = 1013.25 \text{ hPa}$ und $T_0 = 273.15 \text{ K}$

$$a(\lambda) = 2.876 \cdot 10^{-4} + 1.629 \cdot 10^{-6} \cdot \lambda^{-2} + 1.36 \cdot 10^{-8} \cdot \lambda^{-4} \quad (\lambda \text{ in } \mu\text{m})$$

$a(\lambda)$ wird mit zunehmender Wellenlänge λ kleiner \Rightarrow Refraktionswinkel R nimmt mit der Wellenlänge ab \Rightarrow Dispersion der Erdatmosphäre (besonders stark bei großem Zenitwinkel z).

Die Berechnung der Refraktion bei großen Zenitwinkeln erfolgt mit dem Kugelschalen-Atmosphärenmodell. Darin ist die Erdatmosphäre aus unendlich vielen Kugelschalen infinitesimaler Dicke zusammengesetzt und man erhält:

$$R = K_1 \cdot \tan z_S - K_2 \tan^3 z_S + \dots$$

Für $45^\circ < z_S \leq 75^\circ$ bei Normalbedingungen im sichtbaren Spektralbereich ($\lambda = 560 \text{ nm}$) gilt:

$$R = 60.39'' \cdot \tan z_S - 0.07'' \tan^3 z_S$$

Für noch größere Zenitdistanzen müssen Reihenglieder mit noch höherer Ordnung berücksichtigt werden. Am Horizont gilt im Sichtbaren: $R \approx 0.5^\circ$.

Durch Messung der scheinbaren Zenitdistanz z_S eines Gestirns und Vergleich mit seiner berechneten wahren Zenitdistanz z zum Beobachtungszeitpunkt kann die Refraktionskurve $R(z)$ bestimmt werden.

Die Höhenmessung der Sterne erfolgt dabei mit einem Theodoliten bei Meridianpassage in Südrichtung. Ein Theodolit ist ein Instrument zur Messung von Horizontal- und Vertikalwinkeln (bei Eignung zur Messung beider Winkel wird er auch als Universalinstrument bezeichnet). Damit ist der Theodolit hervorragend zur Messung der Koordinaten des Horizontsystems (Azimut, Höhe bzw. Zenitdistanz) geeignet. Zur Bestimmung der durch die Refraktion bedingten scheinbaren Änderungen der Zenitdistanzen von Punkten an der scheinbaren Himmelskugel sind sogenannte Sekundentheodoliten erforderlich, die, wie ihr Name schon andeutet, eine Messgenauigkeit von $\pm 1''$ haben. Im Prinzip besteht ein Theodolit aus einem feststehenden Unterteil (wesentlich: Dreifuß und Horizontalkreis) und einem drehbaren Oberteil (wesentlich: Zielfernrohr und Vertikalkreis).

5 Versuchsdurchführung

5.1 Einnordung des Telementors

Um die Stundenachse der parallaktischen Montierung des Telementors parallel zur Erdrotationsachse auszurichten (Einnordung), wird zunächst der Telementor mit dem 40 mm-Huygensokular fokussiert. Danach wird die Stundenachse der Montierung grob nach Norden ausgerichtet und die Polhöhe des Beobachtungsstandortes grob eingestellt. Nun wird die Montierung mittels der auf ihr installierten Dosenlibelle horizontalisiert. Im nächsten Schritt wird der Stundenwinkel des Polarsterns ($\alpha \text{ UMi}$) zum Beobachtungszeitpunkt berechnet. Durch Lösen der Klemmung der Stundenachse wird der Stundenwinkel eingestellt und die Achse

danach wieder geklemmt. Die Deklination des Polarsterns wird durch Lösen der Klemmung der Deklinationsachse eingestellt und die Achse danach wieder geklemmt. Danach werden die Klemmungen der Polhöhen- und Azimut-Achse der Montierung gelöst und der Polarstern im Fadenkreuz des 40 mm-Huygensokular zentriert. Befindet sich der Polarstern im Zentrum des Fadenkreuzes des Okulars, werden die beiden Achsen der Montierung wieder geklemmt. Nun ist die Montierung des Telementors eingenordet und es kann mit der nächtlichen Beobachtung begonnen werden.

5.2 Aufgabenstellung

1. Bestimmen Sie den Gesichtsfelddurchmesser aller Okulare mittels der Driftmethode.
2. Bestimmen Sie das Auflösungsvermögen des Telementors mit Hilfe von Doppelsternen aus Tabelle 4.
3. Messen Sie mit dem Telementor den Winkelabstand zweier Sterne.
4. Beobachten Sie die Sonne (falls vor Sonnenuntergang möglich), den Mond, alle Planeten und weitere helle Objekte, die am Himmel sichtbar sind.
5. Fertigen Sie Zeichnungen aller beobachteten Objekte an und halten Sie darin die wichtigsten Eigenschaften dieser Objekte fest, die Sie bei der Beobachtung mit dem Telementor erkannt haben.
6. Bestimmen Sie die Grenzhelligkeit m_{Auge} anhand der Polsequenz und berechnen Sie damit die Grenzhelligkeit m_{Teleskop} , die mit dem Telementor erreicht wird.

Name	RA			Dec			Epoche	sep	M ₁	M ₂
	hh	mm	ss	dd	mm	ss				
δ Cephei	22	29	10	+58	24	55	2009	40.8	4.2	6.1
β Cygni	19	30	43	+27	57	35	2009	34.6	3.2	4.7
ψ Draconis	17	41	56	+72	08	58	2009	30.0	4.6	5.6
α Ursae Minoris	02	31	47	+89	15	51	2009	18.2	2.1	9.1
ζ Ursae Majoris	13	23	55	+54	55	32	2009	14.3	2.2	3.9
η Cassiopeiae	00	49	05	+57	49	00	2009	13.1	3.5	7.4
γ Andromedae	02	03	54	+42	19	48	2009	9.5	2.3	5.0
ξ Cephei	22	03	47	+64	37	40	2009	7.9	4.5	6.4
γ Arietis	01	53	32	+19	17	39	2010	7.5	4.5	4.6
α Geminorum	07	34	36	+31	53	19	2010	4.7	1.9	3.0
γ Leonis	10	19	58	+19	50	31	2010	4.7	2.4	3.6
ρ Herculis	17	23	41	+37	08	45	2009	4.5	4.5	5.4
ι Tringuli	02	12	22	+30	18	11	2009	3.8	5.3	6.7
ε Draconis	19	48	10	+70	16	05	2007	3.1	4.0	6.9
ε ² Lyrae	18	44	23	+39	36	46	2010	2.4	5.3	5.4
ε ¹ Lyrae	18	44	20	+39	40	12	2010	2.3	5.2	6.1

Tabelle 4: Liste von Doppelsternen zur Bestimmung des Auflösungsvermögens des Telementors.

5.3 Kontrollfragen

1. Erläutern Sie mittels einer Skizze das Zustandekommen der Beziehung für das wahre Gesichtsfeld eines Okulars: $WG = k_1 \cdot k_2 \cdot \cos(\delta) \cdot \Delta t$. Geben Sie dann noch den Zahlenwert für k_2 auf vier Nachkommastellen genau an.
2. Wie groß ist die Vergrößerung der benutzten Okulare mit dem Telementor?
3. Wovon hängt die Reichweite eines Teleskops ab?
4. Wie unterscheiden sich Huygens- von orthoskopischen Okularen?
5. Was versteht man unter dem Auflösungsvermögen eines Teleskops und wovon hängt es ab?
6. Erläutern Sie den Begriff "Förderliche Vergrößerung". Geben Sie dann noch für den verwendeten Telementor die minimal und maximal noch sinnvoll nutzbare Okularbrennweite (in mm) an.
7. In welchen Sternbildern befinden sich am Beobachtungsabend die hellen Planeten?
8. In welcher Konstellation sind die Beobachtungsbedingungen für einen inneren bzw. für einen äußeren Planeten am günstigsten?
9. Was ist ein offener, was ein kugelförmiger Sternhaufen?
10. Welcher Unterschied besteht zwischen Emissions- und extragalaktischen Nebeln?

11. Was ist die "Schiefe der Ekliptik"?
12. Warum wird für die Höhenmessung bei Bestimmung der Refraktionskurve die Südrichtung bevorzugt?
13. Wie beeinflussen Druck und Temperatur den Refraktionswinkel?
14. Unter welchen Bedingungen gilt die Formel $R = 60.3'' \cdot \tan z_S$?
15. Wie wirkt sich die Refraktionskurve auf Zeit und Erscheinungsbild von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang aus?
16. Wie lässt sich die Erscheinung des grünen Aufblitzens (engl.: *green flash*) der Sonne kurz vor ihrem Auf- oder Untergang erklären?

5.4 Geräte und Hilfsmittel

- Telementor (Fraunhofer-Achromat mit $D = 63 \text{ mm}$, $f/D = 13.\bar{3}$)
- Deutsche Montierung inkl. Gegengewicht, Dreibeinstativ & Ablageplatte
- 40 mm-Huygensokular mit Fadekreuz, 25 mm-Huygensokular und 16 mm-orthoskopisches Okular mit drehbarem Fadenkreuz
- Sonnenprojektionsschirm
- Imbusschlüssel zur Einstellung der Polhöhe
- Transportbox mit Tragegurten
- drehbare Sternkarte

Zur Nachtbeobachtung sollten neben warmer Kleidung auch ein *Smartphone* mit installierter Stoppuhr- und Rotlicht-App mitgebracht werden.



Abbildung 13: Das im Versuch verwendete Telementor-Teleskop.

