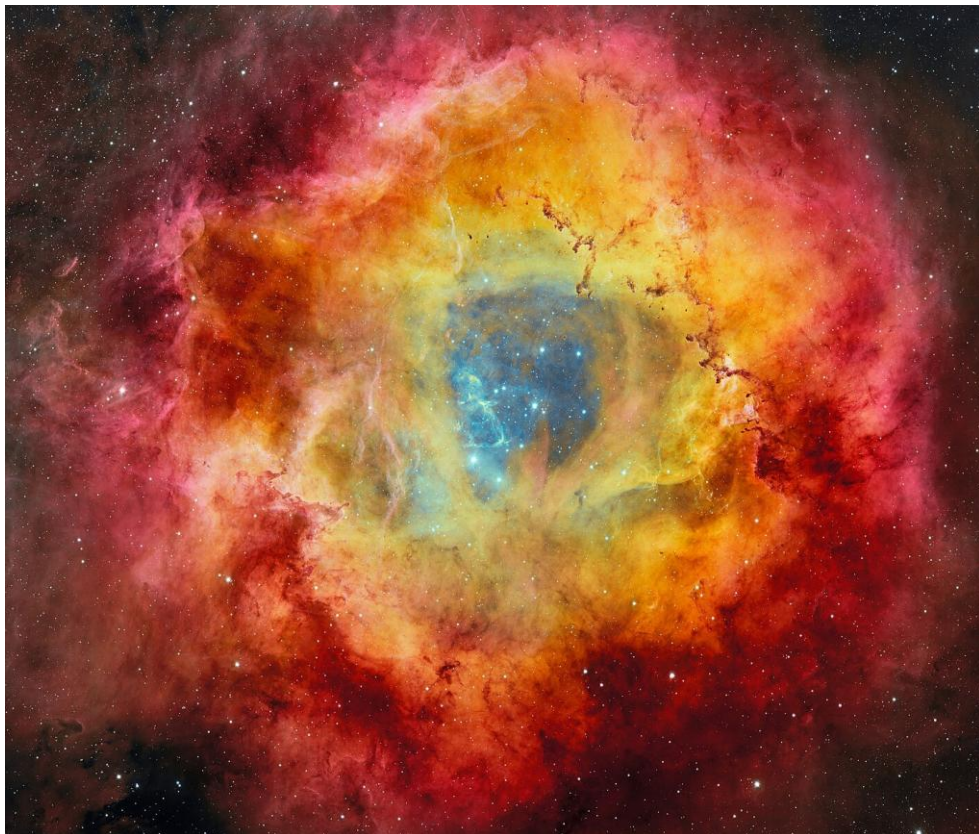


Spektralanalyse der Zentralsterne des Rosettennebels NGC 2244



Version 1.0

Richard Walker 03/2025

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Eigenschaften und Besonderheiten der stellaren O-Klasse	4
3	Der Zentralbereich des Rosettennebels	4
4	Die Anregung des Emissionsnebels NGC2244	5
5	Aufnahme und Bearbeitung der Spektren	5
6	Grobanalyse der Sternspektren	6
7	Das Nebelspektrum von NGC 2244	6
8	Vergleich Rosettennebel NGC2244 vs Orionnebel M42	8
9	AAVSO Finder Chart	9
10	Literatur	10

Titelbild: Rosettennebel NGC 2244, Credit: Wikipedia noirlab creative commons

Aufnahme mit dem 4 Meter Teleskop des Cerro Tololo Observatoriums, mit Linienfilter für die Emissionen von angeregtem Sauerstoff (blau), Wasserstoff und Stickstoff (gelb), sowie Schwefel (rot).

1 Einleitung

Der ca. 5200 Lj entfernte Rosettennebel ist wohl eines der Top-Motive für Astrofotografen. Aber nur wenigen dürfte bekannt sein, welche außergewöhnliche Sternkonfiguration im Zentrum von NGC2244 für die Anregung dieses fotogenen Emissionsnebels verantwortlich ist. Diese Publikation analysiert die extrem heißen Zentralsterne der Spektralklasse O. NGC2244 bietet zudem die Möglichkeit an, an einem einzigen Sternhaufen einen repräsentativen Querschnitt dieser extrem seltenen Sternklasse zu studieren.

2 Eigenschaften und Besonderheiten der stellaren O-Klasse

Die Spektralklasse O umfasst die heißesten, massereichsten und kurzlebigen Sterne des Universums [6]. Diese werden alle in einer Kernkollaps-Supernova der Klasse Ib oder Ic enden und als Überrest einen Neutronenstern, oder im Extremfall ein schwarzes Loch hinterlassen. Statistisch umfasst diese Klasse, in der weiteren Umgebung der Sonne, nur ca. 0.00003% aller Sterne [6]. Die folgende Tabelle zeigt die eindrucksvolle Spannweite der stellaren Parameter von der späten bis zur frühen Spektralklasse O. Masse, Radius und Leuchtkraft werden hier im Verhältnis zu den entspr. Werten der Sonne (\odot) angegeben.

Masse M/M_{\odot}	Lebensdauer auf Hauptreihe (Mio. Jahre)	Effektivtemperatur [K]	Radius R/R_{\odot}	Leuchtkraft L/L_{\odot}
~20 – 60	~10 – 1	~25'000 – 50'000	9 – 15	90'000 – 800'000

Die O-Klasse ist nach oben offen, aktuell mit einer einzigen O2-Topklassierung (!). Die extrem kurze Lebensdauer der O-Sterne zeigt, dass NGC2244 zwangsläufig sehr jung sein muss und dieses Leuchtspektakel, in kosmischen Massstäben gemessen, sehr bald durch Supernovae beendet werden wird.

3 Der Zentralbereich des Rosettennebels

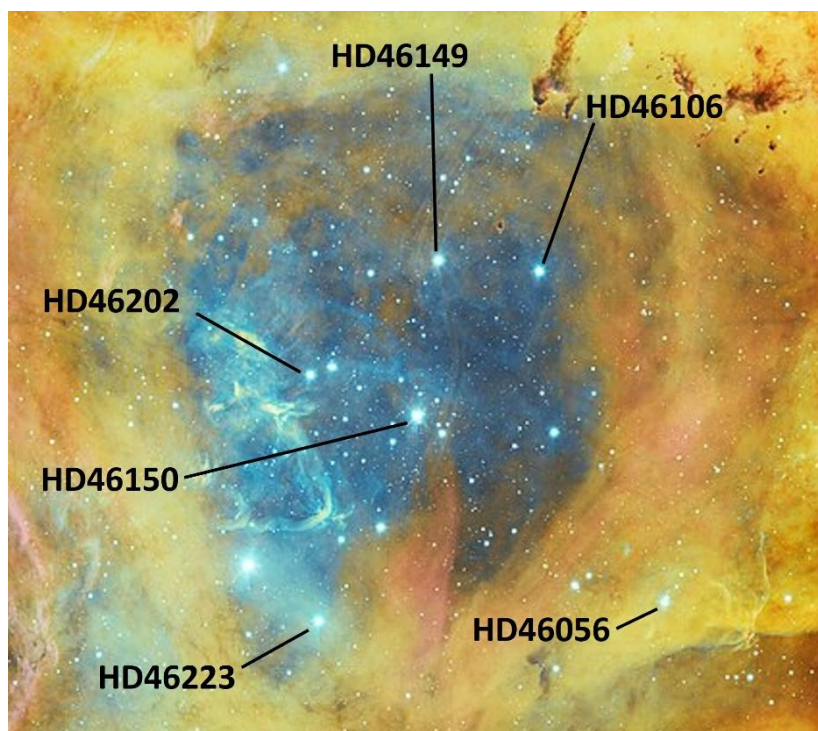


Abb. 1 Zentralbereich des Rosettennebels mit eingebetteten O-Sternen

Über diesen Zentralbereich existieren zahlreiche, wissenschaftliche Publikationen, z.B. [2] [3] und [4]. Abb. 1 zeigt den durch Strahlungsdruck teilweise von Staub und Gasen "bereinigten" Zentralbereich, mit einem Radius von ca. 6.2 pc. Die folgende Tabelle zeigt die Parameter der sechs eingebetteten O Sterne gemäss [1]. Die Reihenfolge ist geordnet mit von oben nach unten abnehmender Effektivtemperatur [5]. Infolge der O-Klasse-typischen, stellaren Instabilitäten, können zwischen verschiedenen Quellen und Datenbanken, unterschiedliche Klassierungen auftreten.

Der hinter der Spektralklassierung in Doppelklammer gesetzte Buchstabe ((f)) zeigt, dass hier eine "milde" Form der Subklasse "Of" vorliegt [6]. Dies ist am schwachen Emissionsbuckel der Linie He I 4921.93 erkennbar. Of Sterne werden aktuell als Vorläufer von LBV- und Wolf Rayet Sterne (WR) gehandelt [6].

Stern	Spektralklasse	Vmag
HD 46223	O4 V ((f))	7.28
HD 46150	O5 V ((f))	6.73
HD46056	O8 Vn	8.16
HD 46149	O8.5 V	7.61
HD 46202	O9.2 V	8,27
HD 46106	O9.7 III (n)	7.93

4 Die Anregung des Emissionsnebels NGC2244

Um das vorwiegend aus Wasserstoff, aber auch Teilen von Stickstoff und Sauerstoff bestehende Gas eines Emissionsnebels zum Leuchten anzuregen, muss es ionisiert werden. Dazu ist mindestens ein Stern – oder besser mehrere – mit einer Effektivtemperatur [5] von mindestens 25'000 K notwendig. Nur Sterne der extrem heissen Spektralklasse O und dem direkt nachfolgenden, heissesten Subtypen BO, produzieren dazu genügend Energie. Die folgende Tabelle zeigt die erforderliche Ionisationsenergie in Elektronenvolt [eV] für die Elemente einiger typischer Nebelgase:

H II	He II	N II	O II	O III	C II	C III	C IV	S II	Ne II
13.6	24.6	14.5	13.6	35.1	11.3	24.4	47.9	10.4	21.6

Als absolute Besonderheit ist hier das Zentrum von gleich sechs O-Sternen besetzt, welche zudem noch fast das ganze Spektrum der Subklassen von O9 bis O4, mit einem Temperaturbereich von ca. 25'000 – 40'000 K repräsentieren. Infolge dieser eindrücklichen Temperaturspanne ist der Anteil der Subklasse an der Anregungsenergie entscheidend, weil sich die gesamte, abgestrahlte (bolometrische) Energie F_{Bol} eines Sterns proportional zur vierten Potenz seiner Effektivtemperatur T_{eff} verhält! In der folgenden Formel ist σ die Boltzmannkonstante und Proportionalitätsfaktor.

$$F_{Bol} = \sigma T_{eff}^4$$

5 Aufnahme und Bearbeitung der Spektren

Aufzeichnung mit DADOS Spektrograf, Spaltbreite 0.25 μ m.

Kamera Atik 314L+, 2x2 Binning. Belichtungszeiten zwischen 400 und 500 Sekunden, mit je 2 gestackten Aufnahmen pro Stern (IRIS).

Standardauswertung mit den IRIS und Visual Spec Programmen. Der Intensitätsverlauf des Pseudokontinuums wurde entfernt ("rectified spectrum"), was den direkten Intensitätsvergleich der Spektrallinien ermöglicht.

6 Grobanalyse der Sternspektren

Die folgende Grafik zeigt 5 überlagert montierte Spektralprofile der insgesamt sechs O-Sterne im Zentrum von NGC2244. Die Reihenfolge ist, von oben nach unten, nach abnehmender Effektivtemperatur [5] geordnet, in einem Bereich von ca. 40'000 – 25'000 K.

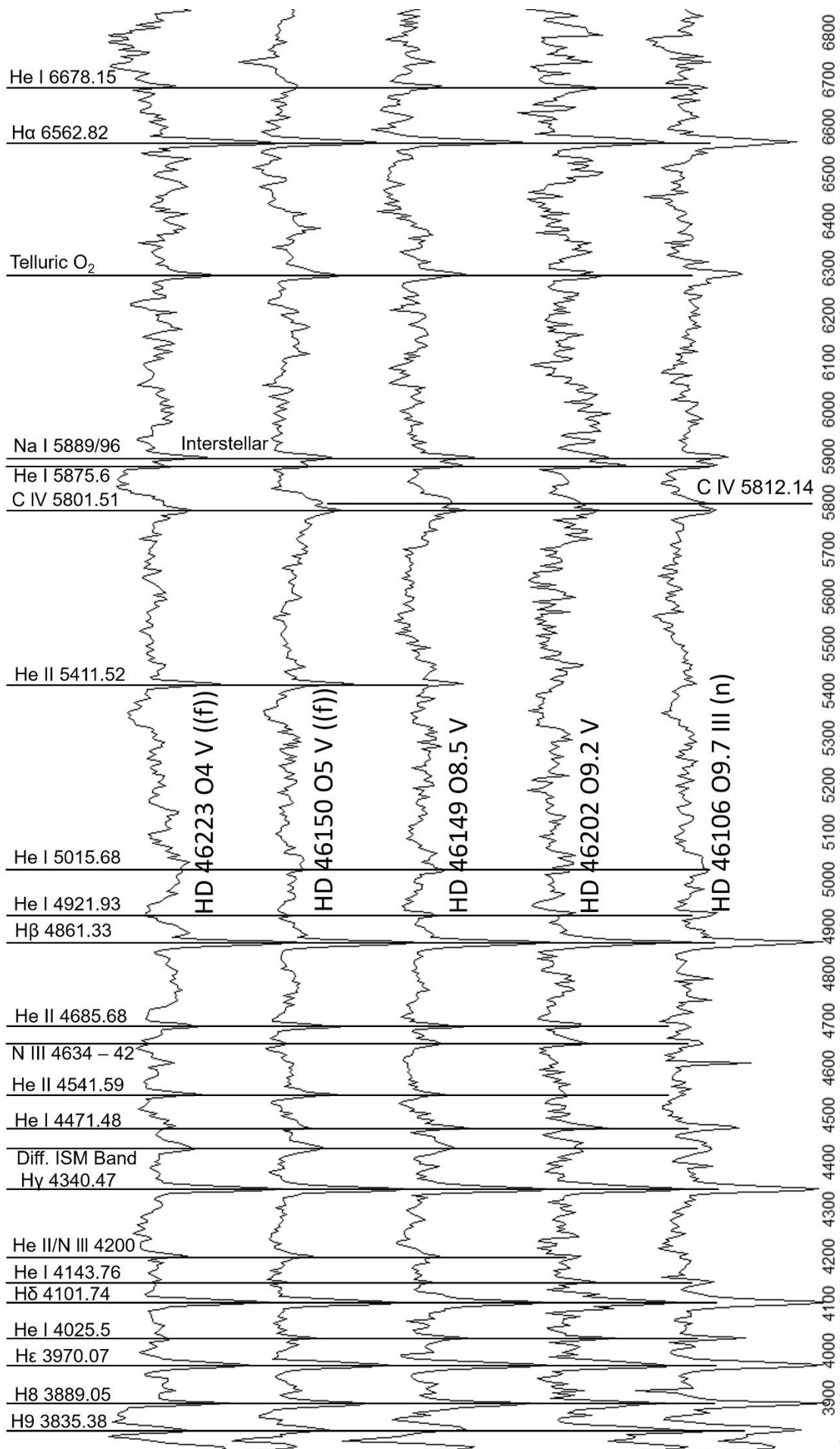
Historisch wurde die Grenze zwischen der B- und der heissesten O-Klasse mit dem Auftreten von ionisiertem Helium He II festgelegt. Deshalb wird sofort klar, dass hier die Spektralklasse O vorliegt. Mit heutiger Technologie kann dieses Ion aber auch noch in der Klasse B0 nachgewiesen werden.

Auf den ersten Blick sind zwischen den einzelnen Profilen kaum Unterschiede festzustellen. Genauer betrachtet wird offensichtlich, dass mit zunehmender Temperatur die Absorptionsintensität des neutralen Heliums He I abnimmt. Umgekehrt nimmt sie für das einfach ionisierte Helium He II zu, was auch mit der Theorie übereinstimmt. Gut zu sehen ist dies für He I an den Linien $\lambda 4025.5$, und $\lambda 4471.48$. Für He II sind die Linien $\lambda 5411.52$, $\lambda 4686.68$ und $\lambda 4541.59$ exemplarisch.

Die Intensität der H-Balmer Serie von H α bis H9 scheint hier von der Temperaturdifferenz kaum beeinflusst zu werden. Zu erwarten wäre jedoch mit steigender Temperatur eine Abnahme der H-Intensität.

7 Das Nebelspektrum von NGC 2244

Die ursprüngliche Überlegung war, als Sekundärziel das Emissionsspektrum des Nebels im "Beifang" zu den zahlreichen Sternspektren zu gewinnen. Trotz Belichtungszeiten von bis zu 500 s im 2x2 Binning Mode war neben keinem der Sterne ein brauchbares Nebelspektrum zu gewinnen. Bei M42 ist das mit gleichem Equipment in ca. 60 s machbar [6].



8 Vergleich Rosettennebel NGC2244 vs Orionnebel M42

NGC2244 ist mit 5200 Lj ca. 4x so weit entfernt wie M42 mit 1300 Lj. Der Rosettennebel wird von sechs O-Sternen angeregt, welche locker über die zentrale Blase verteilt sind. Beim Orionnebel ist es der sehr kompakte zentrale Haufen der Trapezsterne [6]), bestehend aus einem einzigen O-Stern (O7V) und 3 weiteren, welche die O Klasse knapp verpassen B1V, B1.5V, und B0.5V. Dies führt dazu, dass die einzige O-Komponente HD 37022 für >50% der Leuchtleistung von M42 verantwortlich ist!

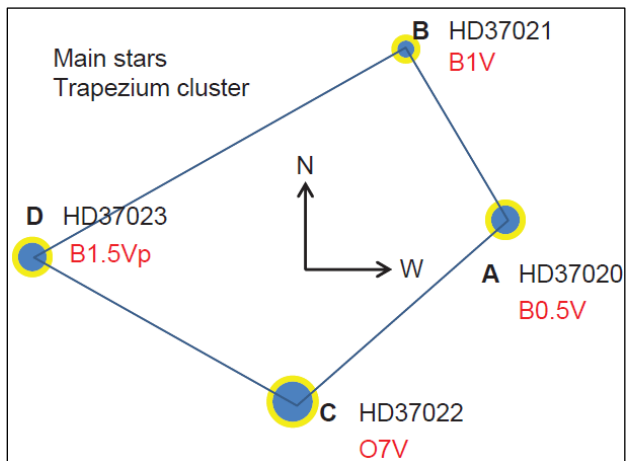
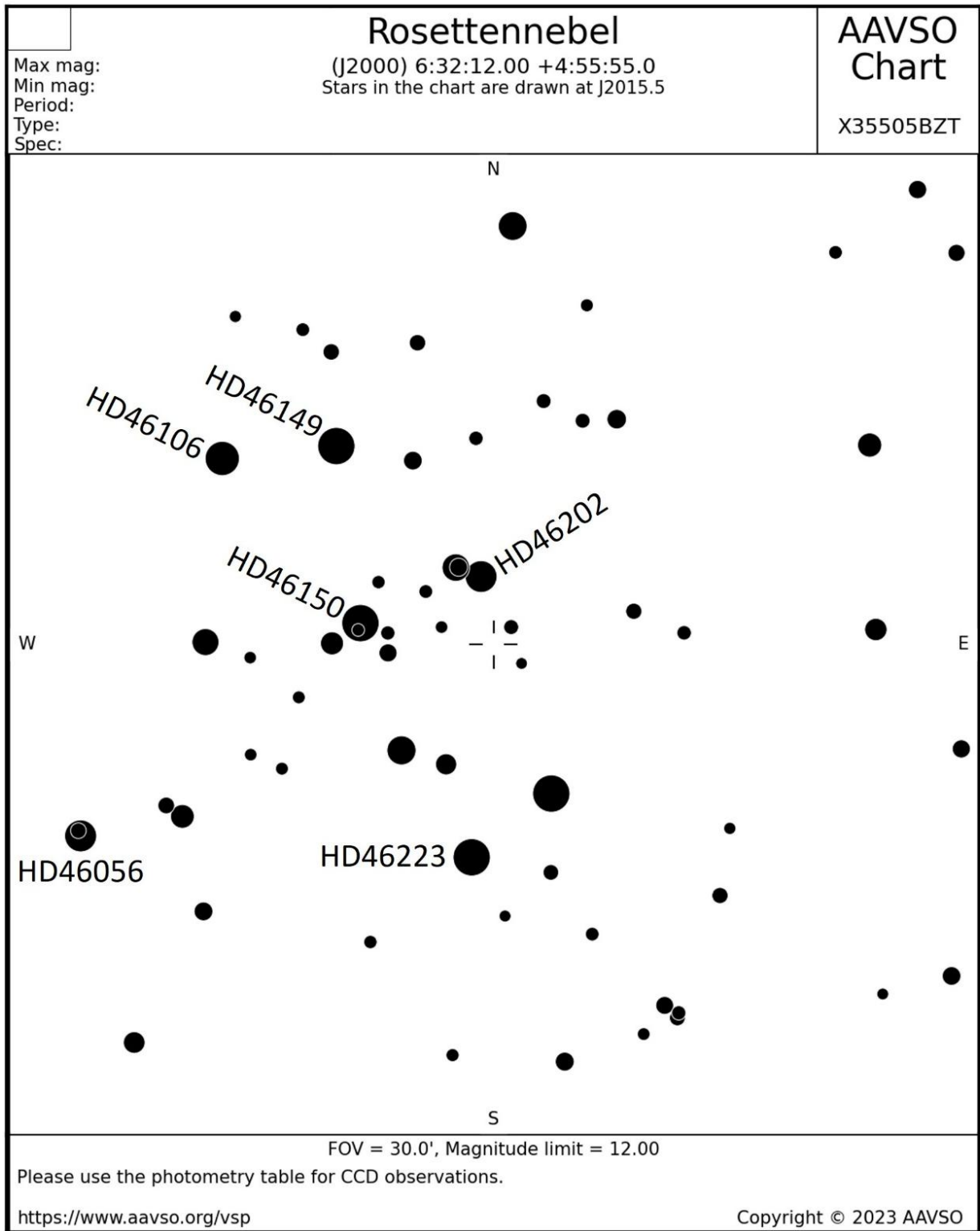


Abb. 2 Trapezsterne des Orionnebels M42 [6]

9 AAVSO Finder Chart

Die folgende Finder Chart ist für ein C8, den Spiegeleffekt eines Zenithprismas und ein 25mm Okular konfiguriert. Das FOV wurde auf 30' und das Mag Limit auf 12.0 gesetzt.



10 Literatur

- [1] SIMBAD *Astronomical Database*, CDS (Strasbourg)
- [2] L. Mahy et al. *Early-type stars in the young open cluster NGC 2244 and in the Monoceros OB2 association*, 2009 *Astronomy & Astrophysics*.
- [3] L. Mahy et al. *The multiplicity of O-type stars in NGC2244*, 2011
- [4] F. C. Bruhweiler et al. *The Young Interstellar Bubble within the Rosette Nebula*, 2010

Autor:

- [5] M. F. M. Trypsteen, R. Walker: *Spectroscopy for Amateur Astronomers -Recording, Processing, Analysis and Interpretation*, 2017 Cambridge University Press, ISBN: 9781107166189
- [6] R. Walker: *Spectral Atlas for Amateur Astronomers -A Guide to the Spectra of Astronomical Objects and Terrestrial Light Sources*, 2017 Cambridge University Press, ISBN: 9781107165908

Internet Dokumente des Autors

Diverse Dokumente zum Thema können von der Homepage des Autors heruntergeladen werden:

<https://www.ursusmajor.ch/astrospektroskopie/richard-walkers-page/index.html>