



Bernd Hanisch,
Vier Spektrographen - ein Ergebnis?

Artikel erschienen im
Journal für Astronomie Nr. 13, Schwerpunkt Spektroskopie
Vereinszeitschrift der [Vereinigung der Sternfreunde e.V. \(VdS\)](#).

Bereitgestellt durch die [VdS-Fachgruppe Spektroskopie](#).

Referenz:

B. Hanisch, VdS-Journal Nr. 13 (2004) 15ff

Vier Spektrographen – ein Ergebnis?

Praktische Erfahrungen mit vier Spektrographen bezüglich der Dispersionsverhältnisse und der daraus resultierenden Anwendungsmöglichkeiten für den Amateur.

von Bernd Hanisch

Für Amateure, die Sternspektren aufnehmen wollen, stellt sich die Frage nach einem geeigneten Instrumentarium und den damit zu erreichenden Beobachtungszielen. Die Wünsche des Amateurs können dabei von der Gewinnung einfacher Übersichtsspektren zur groben Spektralklassifikation über die Auswertung von Detailinformationen zur Feinklassifikation von Spektral- und Leuchtkraftklasse bis zur Sichtbarmachung von Bewegungsprozessen in der Sternatmosphäre durch die Analyse von Linienprofilen reichen.

Mögen die Ziele spektrographischer Amateurbearbeitung vielfältig sein, die instrumentellen Möglichkeiten, diese Ziele zu verwirklichen, sind es ganz bestimmt. So gibt zunächst die Fernrohroptik vor, wie viel Licht von einem bestimmten Stern zur Aufnahme eines Spektrums zur Verfügung steht. Art und Beschaffenheit des Prismas oder Gitters zur Lichtzerlegung bestimmen die erzielte Dispersion und das Detektionsprinzip (z. B. CCD oder Fotoemulsion) determiniert in erheblichem Maße Möglichkeiten und Grenzen von Spektrenaufnahme und -auswertung. Nicht zuletzt begrenzt für manchen Amateur auch ein gewisser finanzieller Aufwand die ursprünglich höher gesteckten Ziele.

Nachfolgend soll über die Erfahrungen des Autors mit vier verschiedenen Spektrographen, drei Objektivprismen-Reflektor-Kombinationen und einer Reflektor-Gitter-Anordnung berichtet werden. Dabei werden insbesondere die verschiedenen Dispersionsverhältnisse im sichtbaren Spektralbereich sowie daraus resultierende Anwendungen dieser Spektrographen diskutiert und verglichen.

1. Beschreibung der verwendeten Spektrographen

Bei den in diesem Aufsatz verwendeten Objektivprismenspektrographen wird das zur Lichtzerlegung erforderliche Prisma direkt vor dem Objektiv angebracht, so dass das Licht das Prisma im Minimum der Ablenkung, also parallel zur Basiskante, passiert. Der prinzipielle Aufbau eines Objektivprismenspektrographen sowie die Berechnung des Winkels zur Anbringung des Prismas sind

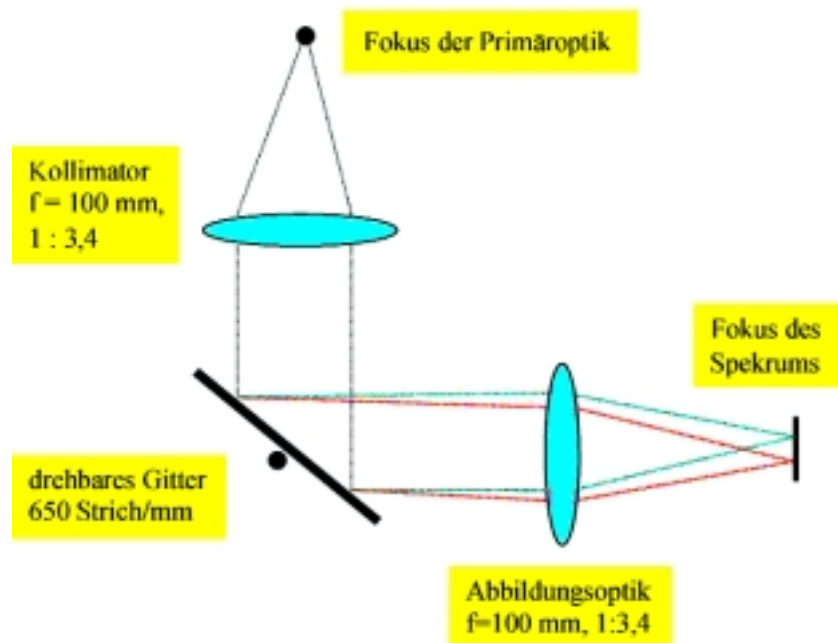


Abb. 1: Prinzip der Gitteranordnung hinter dem Fokus der Primäroptik

in [1] beschrieben. Vorteile solcher Spektrographen bestehen im Verzicht auf Kollimatoren und in der Möglichkeit, Spektren eng benachbarter Sterne gleichzeitig aufnehmen zu können. Nachteilig können sich andererseits eine mögliche Spektrenüberlappung sowie die Beschaffung und Anbringung eines Prismas in der Größenordnung des Objektivdurchmessers auswirken. Allerdings ist

auch die Verwendung kleinerer Prismen im Vergleich zum Objektivdurchmesser unter Akzeptanz eines Lichtverlustes prinzipiell möglich. Aus der Erfahrung des Autors sind Objektivprismenspektrographen wegen des einfachen Aufbaus insbesondere für Einsteiger empfehlenswert.

Beim vierten vorgestellten Spektrographen handelt es sich um eine Reflektor-Gitter-Anordnung mit Kollimator, aber

Spektrograph	Beschreibung
N 45	Newton-Spiegel 120 mm / 690 mm mit Objektivprisma von 110 mm Kantenlänge und 45° brechendem Winkel aus Borkron-2-Glas (BK 2)
M 5	Meniscas-Cassegrain-Spiegel 180 mm / 1800 mm von Zeiss-Jena mit Objektivprisma von 205 mm Durchmesser und 5° brechendem Winkel aus Schwerflint-2-Glas (SF 2)
M 45	Meniscas-Cassegrain-Spiegel 180 mm / 1800 mm von Zeiss-Jena mit Objektivprisma von 110 mm Kantenlänge und 45° brechendem Winkel aus Borkron-2-Glas (BK 2)
MG 650/3,4	Meniscas-Cassegrain-Spiegel 180 mm / 1800 mm von Zeiss-Jena mit einem Reflexions-Beugungsgitter von 650 Strich/mm und einem Kollimator bzw. einer Abbildungsoptik von jeweils 30 mm / 100 mm (1 : 3,4).

Tab. 1: Spektrographenparameter

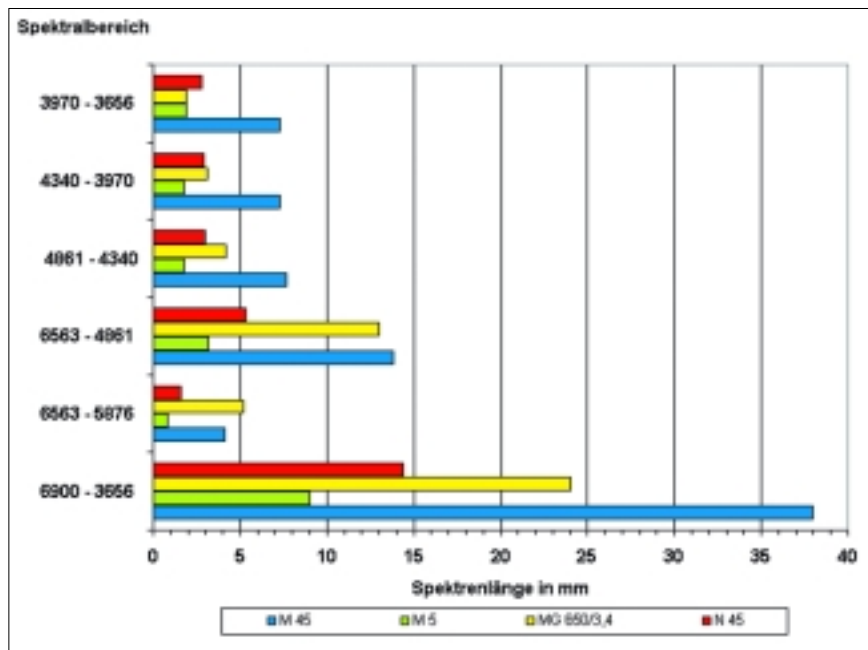


Abb. 2:
Spektralbereiche der vier Spektrographen

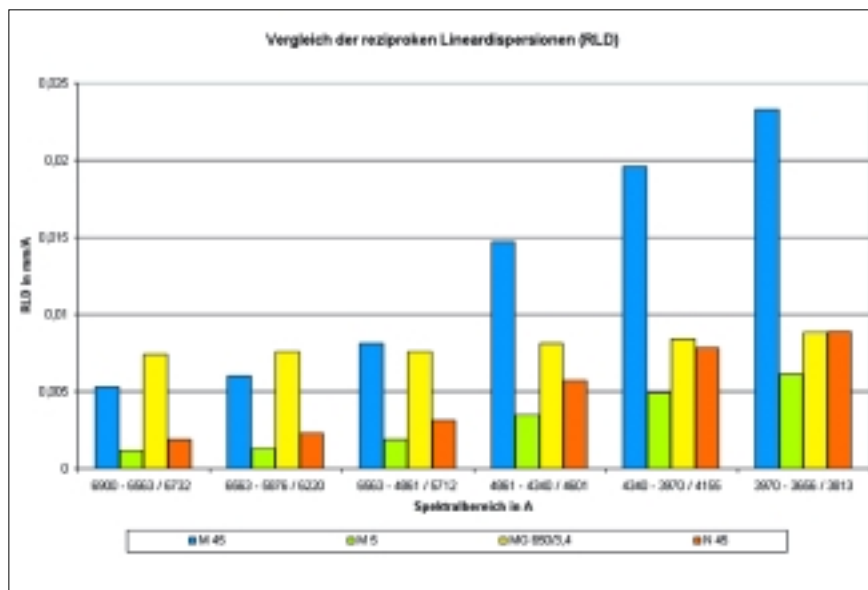


Abb. 3:
Reziproke Lineardimensionen der vier Spektrographen

ohne Spalt. Diese Gitteranordnung ist im Vergleich zu den Objektivprismenspektrographen erst vor kurzer Zeit fertig gestellt und erprobt worden und hinsichtlich der Abbildungsqualität der Spektren noch nicht hinreichend optimiert. Der prinzipielle Aufbau der Gitteranordnung hinter dem Fokus der Primäroptik ist in der Abbildung 1 dargestellt. Gitter, Kollimator und Abbildungsoptik sind in einem stabilen Holzkasten untergebracht und können so bequem auch an andere Fernrohre angebracht werden. Die optischen Parameter der erprobten Spektrographen sind aus der Tabelle 1 zu entnehmen.

Zur Detektion wurden bisher ausschließlich Fotoemulsionen verschiedener Empfindlichkeit verwendet. Als besonders geeignet stellten sich dabei KODAK T-MAX 400 und 3200, ORWO PAN 400 sowie zur Spektroskopie des H α -Bereiches KODAK TP heraus. Die Anwendung einer CCD-Kamera als Detektor empfiehlt sich u. a. wegen der Abbildungslinearität der pro Zeiteinheit empfangenen Lichtintensität sowie der hohen Empfindlichkeit. Nachteilig gegenüber einer Kleinbildkamera kann die geringe Länge der CCD-Chips sein, so dass oft mehrere Aufnahmen zur Abdeckung des gesamten sichtbaren

Spektralbereiches erforderlich sind.

2. Dispersionsverhältnisse

Im Rahmen der Bauplanung für einen Spektrographen sind insbesondere Aussagen darüber interessant, wie stark das Licht durch das Prisma oder Gitter zerlegt wird. Ein wichtiger Parameter ist zum Beispiel die Länge des Spektrums eines bestimmten Spektralbereiches in der Fokalebene, um beurteilen zu können, ob dieser auf dem Format der CCD bzw. der Fotoemulsion vollständig abgebildet wird. Diese Länge wird für einen definierten Spektralbereich insbesondere durch solche Kenndaten des Prismas wie brechender Winkel und Glassorte aber auch durch die Brennweite der Abbildungsoptik bestimmt. Die entsprechenden Längen der Spektren für vorgegebene Spektralbereiche sind für die vier vorgestellten Spektrographen aus der nachfolgenden Abbildung 2 ersichtlich. Für den Gitterspektrographen MG 650/3,4 gilt die angegebene Länge des Spektrums für die 1. Ordnung.

Ein Vergleich der Längen der beiden mit derselben Abbildungsoptik (Zeiss Meniscas 180/1800 mm) aufgenommenen Spektren zeigt eine Überlegenheit des Spektrographen M 45 gegenüber der Anordnung M 5. Obwohl beim Schwerflintglas des M 5 - Spektrographen eine wesentlich größere Differenz der Brechungsindizes für zwei definierte Wellenlängen gegenüber dem Borkronglas des M 45 zu verzeichnen ist [2], bewirkt der Unterschied der brechenden Winkel (45° bei M 45 und 5° bei M 5) einen signifikanten Unterschied in den Spektrumslängen. Der Vergleich der Spektrumslängen von M 45 und MG 650/3,4 macht deutlich, dass der Gitterspektrograph in dieser Ausführung dem Spektrographen M 45 nur im roten Spektralbereich (etwa ab 5800 \AA) überlegen ist. Ein Vorteil der Gitterspektrographen liegt jedoch in der Linearität der Dispersion, die sich in gleichen Spektrumslängen bei gleichen Wellenlängendifferenzen zeigt. Der Spektrograph N 45 mit einer Abbildungsbrennweite von 690 mm ist hingegen ein guter Kompromiss zwischen den Spektrographen M 45 und M 5.

Aus der Spektrumslänge kann direkt die Dispersion als ein Maß für die Zerlegung des Lichtes durch den Spektrographen abgeleitet werden. Häufig wird dabei die sogenannte reziproke Lineardispersion (RLD) angegeben. Sie gibt Auskunft darüber, welche Länge (in mm) für die Wellenlängendifferenz von 1 \AA in der

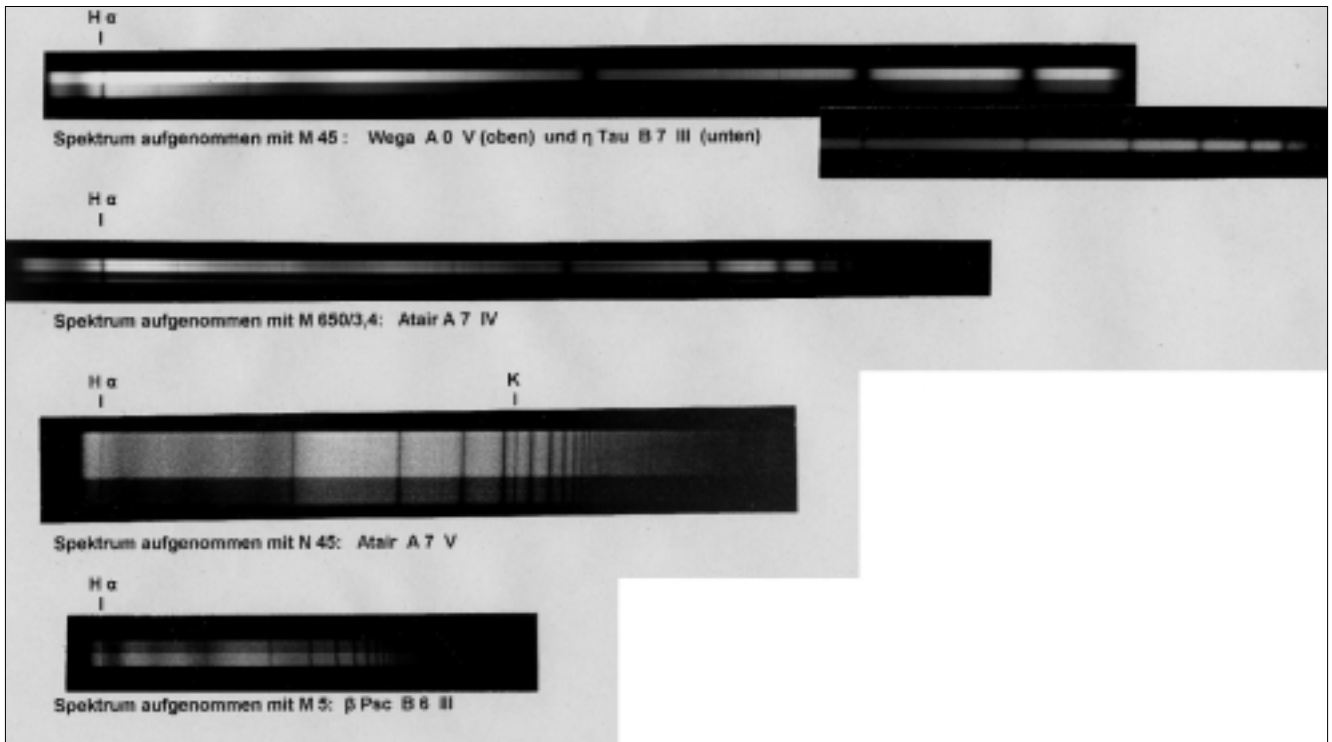


Abb. 4: Beispielspektren

Beispiele spektrographischer Beobachtung	Spektrograph			
	M 45	M 5	MG 650/3,4	N 45
Spektroskopie lichtschwächerer Sterne (< 5 mag) zur Gewinnung niedrig aufgelöster Übersichtsspektren mit relativ kurzen Belichtungszeiten (< 5 min bei ≥ 400 ASA)		X		
Spektroskopie hellerer planetarischer Nebel (ohne Verbreiterung) mit ≥ 3200 ASA und mit Belichtungszeiten von 20 bis 60 Min		X		
Gewinnung von Übersichtsspektren hellerer Sterne zur Grobklassifikation von Spektralklasse und Leuchtkraft	X	X	X	X
Gewinnung von Übersichtsspektren hellerer Sterne zur Feinklassifikation von Spektral- und Leuchtkraftklasse	X		(X)	(X)
Größenordnungsmäßige Bestimmung von Radialgeschwindigkeiten > 100 km/s (im blauen Spektralbereich ab H γ)	X			
Erhöhung der Dispersion im roten Bereich (H α) (bei helleren Sternen auch in 2. Ordnung)			X	
Ermittlung von Linienprofilen von Be- und Hüllensystemen (im blauen Spektralbereich ab H β)	X			
Kometenspektroskopie mit kleinem Komadurchmesser	(X)	X	X	X
Aufnahmen von Flash-Spektren bei Sonnenfinsternissen	X	X	X	X
größenordnungsmäßige Ableitung von Rotationsgeschwindigkeiten aus dem Linienprofil, blauer Spektralbereich (ab H β)	X			
größenordnungsmäßige Ableitung von Rotationsgeschwindigkeiten aus dem Linienprofil, roter Spektralbereich (um H α), in 2. Ordnung			X	

Tab. 2:

Mögliche Anwendungsgebiete der vier vorgestellten Spektrographen,

X: für diese Beobachtung geeignet, (X): für diese Beobachtung bedingt geeignet

Fokalebene zur Verfügung steht. Ist der Wert für die reziproke Lineardispersion groß, steht für eine Wellenlängendifferenz von z. B. 1 Å vergleichsweise viel Platz zur Verfügung. Das Licht wird in diesem Fall stark zerlegt. Die reziproken Lineardispersionen der vier vorgestellten Spektrographen zeigt die Abbildung 3. Die im Diagramm dargestellten RLD-Werte gelten genau genommen nur für das arithmetische Mittel (AM) der auf der Abszisse dargestellten Intervalle.

Deutlich sichtbar wird die Zunahme der reziproken Lineardispersion der Prismenspektrographen im blauen Spektralbereich. Allerdings bedeutet eine Zunahme der Dispersion auch, dass das vorhandene Sternlicht (bei gleicher Spektrerverbreiterung) auf eine größere Fläche verteilt wird. Dies hat Konsequenzen hinsichtlich der notwendigen Belichtungszeit der Spektren. Je größer die Fläche, auf die das Sternlicht im Spektrum verteilt wird, ist, desto länger werden bei gleicher Empfindlichkeit des Detektors die Belichtungszeiten. Zur eindeutigen Sichtbarmachung der Spektrallinien ist bei Anwendung der vorgestellten Spektrographen eine Mindestverbreiterung der Spektren auf 3 bis 4 mm in der Fokalebene erforderlich.

3. Mögliche Anwendungsgebiete

Einen Universalspektrographen für alle gewünschten Anwendungen zu bauen ist nicht möglich. Für viele Anwendungs-

Linie	$\lambda / \text{Å}$
H α	6562,85
H β	4861,33
H γ	4340,47
H δ	4101,74
H ϵ	3970,07
H ζ	3889,06
H η	3835,40
H θ	3797,91
H ι	3770,63

Tab. 3:
Wellenlängen der Balmerlinien

gebiete ist eine große Dispersion erforderlich, wodurch die Grenzhelligkeit der zu spektroskopierenden Himmelsobjekte limitiert wird. Verzichtet man dagegen auf große Dispersionen, so sind bei vergleichbarer Öffnung und Detektorempfindlichkeit der Spektrographen prinzipiell lichtschwächere Objekte spektroskopierbar. Einen kleinen, jedoch sicherlich nicht vollständigen Überblick hinsichtlich möglicher spektroskopischer Beobachtungen mit den vorgestellten Spektrographen soll die Tabelle 2 geben.

Keiner der vorgestellten Spektrographen ist für die Aufnahme größerer flächenhafter Objekte (Sonne, Planeten, Gasnebel, Kometenschweife, etc.) geeignet. Für derartige Anwendungen ist ein Spaltspektrograph erforderlich. Für quantitative Auswertungen von Lichtintensitäten (z. B.

zur Bestimmung von Äquivalentbreiten einzelner Spektrallinien) ist wegen des linearen Detektorsverhaltens ein CCD empfehlenswert.

4. Beispielspektren

Die Abbildung 4 zeigt je ein Beispielspektrum für jeden der vorgestellten Spektrographen. Die Darstellung der Spektren erfolgte mit einer einheitlichen Vergrößerung. Es wurden Sterne der Spektralklassen A oder B gewählt, da diese die Balmerlinien des Wasserstoffs besonders deutlich zeigen. Anhand der Balmerlinien kann auf einfache Art und Weise (Auszählen der Spektrallinien von links nach rechts) eine Orientierung bezüglich der Wellenlängen erfolgen. Die entsprechenden Wellenlängen der Balmerlinien sind in der Tabelle 3 angegeben.

Literaturhinweise

[1] Ahnert, 1974: *Kleine Praktische*

Astronomie, Johann Ambrosius Barth
Leipzig, 24

[2] *Die Differenz der Brechungsindices $n_{F'} -$*

n_C für die blaue Cadmium-Linie bei 4799,9 Å (F') bzw. die rote Cadmium-Linie bei 6438,5 Å (C') beträgt für BK2-Glas 0,00823 und für SF 2-Glas 0,0194.

Entnommen aus: VEB Jenaer Glaswerk, Druckschrift 0 142, 1. Teil, Ag 29 258 84-V 2 21, S. 4 und S. 16

[3] Sidel, Prokofjew, Raiski, 1961:

Spektraltabellen, VEB Verlag Technik Berlin

Versuche zur Bestimmung der Spektralklasse von Sternen

von Dieter Goretzki

Die spektrale Klassifikation der Sterne nach dem bekannten Schema mit den Buchstaben O-B-A-F-G-K-M entspricht einer Temperaturskala der Photosphäre des jeweiligen Sterns, wobei die O-Sterne das heißere Ende (>50.000 K) und die M-Sterne das kältere Ende (ca. 3.000 K) der Skala bezeichnen. Je nach Temperaturniveau der Photosphäre werden die Absorptionslinien der verschiedenen Metalle und der Elemente Wasserstoff und Helium mehr oder weniger gut sichtbar. Dies liegt daran, dass die Bedingungen zur Entstehung der verschiedenen Absorptionslinien u. a. stark von der Temperatur abhängig sind. Beobachtet man nun genügend Spektren von Sternen einer Klasse

und vergleicht diese, so stellt sich schnell heraus, dass die Unterteilung in jeweils nur einen Buchstaben zu grob ist. Aus diesem Grund wurden Unterklassen (z. B. A2, A5) eingeführt. Aber auch dies musste noch verfeinert werden, da sich herausstellte, dass neben der Temperatur auch die Größe eines Sterns einen Einfluss auf die Ausprägungen der Absorptionslinien hat. Diese weiteren Unterteilungen (auch Leuchtkraftklassen genannt) werden durch die römischen Ziffern (I bis VI) bezeichnet.

Der Stern Wega ist ein typischer Vertreter der sog. A-Hauptreihensterne mit der Bezeichnung A0V. Hauptreihensterne werden gemeinhin auch Zwerg genannt. Ihr

Durchmesser entspricht etwa dem unserer Sonne. A-Sterne eignen sich gut für spektroskopische Untersuchungen, da sie wegen des Temperaturbereiches von etwa 7.600 K bis 9.500 K ein relativ einfaches, linienarmes Spektrum liefern. Die Balmerlinien des Wasserstoffes dominieren. Dadurch wird eine Auswertung auch mit kleineren Spektrographen erleichtert. Zudem sind helle A-Sterne in genügender Zahl am Firmament zu finden. Deshalb wurde versucht, selbstgewonnene Spektren von A-Sternen nach der jeweiligen Unterklasse zu untersuchen und Kriterien für deren Zuordnung abzuleiten. Die Spektren der Sterne aus der Tabelle 1 wurden dazu verwendet.