

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** 77 (2019)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Hertzsprung-Russel-Diagramm von Sternhaufen  
**Autor:** Kohn, Jos / Rime, Valentin  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-960550>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.02.2025

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

## Photometrische Analyse von Sternen

# Hertzprung-Russel-Diagramm von Sternhaufen

In der Sternwarte R. A. Naef können Physikstudenten der Universität Fribourg regelmässig Praktika absolvieren. Im nachfolgenden Beitrag zeigen wir, wie es möglich ist, photometrisch mehr über die Sterne in Sternhaufen zu erfahren.

Die Sternwarte R. A. Naef, benannt nach einem Zürcher Astronomen, befindet sich im kleinen Dorf Ependes im französischsprachigen Kanton Fribourg der Schweiz und ist etwa 10 km von der Kleinstadt Fribourg entfernt. Es handelt sich um eine öffentliche Sternwarte, die etwa dreimal pro Woche Besucher empfängt. Das Hauptinstrument der Sternwarte ist ein Cassegrain-Teleskop mit einem 50 cm Hauptspiegel und 5 m Brennweite. Auch wissenschaftliche Arbeiten werden an der Sternwarte durchgeführt. In den vergangenen 10 Jahren wurden mehr als 300 Asteroiden in der Sternwarte (Minor Planet Center Code A13) entdeckt und deren Bahnparameter analysiert. Das Observatorium hat eine direkte Verbindung zur Universität Fribourg. Physikstudenten können hier

ein Praktikum in der Astronomie belegen. In diesen werden etwa Experimente wie die Bestimmung der Höhe eines Mondkraters, Spektroskopie von Planeten, Nebeln und Doppelsternen oder Photometrie-Experimente durchgeführt. Wir werden hier eines unter die Lupe nehmen, indem Sternhaufen analysiert werden, um mehr über die darin enthaltenen Sterne zu erfahren.

## STERNFARBE

Es gibt zwei Haupttypen von Sternhaufen: Kugel- und offene Sternhaufen. Kugelsternhaufen sind ähnlich alt wie unsere Milchstrasse, wurden etwas ausserhalb der Galaxienebene geformt und können mehr als 1 Million Sterne enthalten. Die Sterndichte nimmt



Abbildung 1: Die beiden Autoren Valetin Rime (links) und Jos Kohn (rechts).

Bild: Sternwarte Ependes



Abbildung 2: Aufnahme des Sternhaufens M13.

Bild: Peter Kocher

in Richtung Zentrum des Haufens zu und alle Sterne sind durch die Gravitation miteinander verbunden. Auf Bildern von Kugelsternhaufen wie M 13 ist gut zu erkennen, dass Sterne mit bläulicher und orangener Farbe enthalten sind. Diese Farbunterschiede entsprechen Sternpopulationen in verschiedenen Entwicklungsstadien. Offene Sternhaufen sind wesentlich jünger als Kugelsternhaufen und bilden sich meistens in der Ebene der Milchstrasse. Des Weiteren enthalten sie weniger Sterne und sind auch weniger stark durch die Gravitation aneinander gebunden, sodass es vorkommen kann, dass einzelne Sterne den Sternhaufen verlassen können. Wir wollen die Sternpopulationen von offenen Sternhaufen mit denen der Kugelsternhaufen vergleichen.

Sternpopulationen können miteinander verglichen werden, indem sie in einem Hertzsprung-Russell-Diagramm (HR Diagramm) dargestellt werden. Das zweidimensionale HR Diagramm (siehe Bilder 5 und 6) stellt auf der vertikalen Achse die Lichtintensität dar und auf der horizontalen Achse die Farbe, der auch eine Temperatur zugeordnet werden kann. Das HR Diagramm wird konstruiert, indem die Helligkeiten der Sterne in zwei verschiedenen Farbbereichen miteinander verglichen werden. In unserem Fall

werden wir die Sternhelligkeiten im blauen und grünen Wellenlängenbereich.

#### GRUNDLAGEN ZUR PHOTOMETRIE

Es ist möglich, die Helligkeit von Sternen (Photometrie) mit einfachen Mitteln zu analysieren. Dazu wird ein nachgeführtes Teleskop benötigt, desweiteren eine gekühlte CCD Kamera (in unserem Fall eine FLI 1.211, die auf  $-30^{\circ}\text{C}$  gekühlt wird) und einen grünen und blauen *Johnson-Cousin* Filter (Astrodon, USA). Die Auswertung kann entweder mit Hilfe einer Photometrie-Option eines Computerprogrammes wie Prism durchgeführt werden oder auch manuell wie in unserem Fall mit einer Programmierungssoftware wie Matlab.

Wir vergleichen hier den Kugelsternhaufen Messier 13 im Sternbild Herkules mit dem offenen Sternhaufen M 37 in Sternbild Fuhrmann. M13 befindet sich in einer Distanz von etwa 22'000 Lichtjahren und M37 deutlich näher in ungefähr 4'500 Lichtjahren Entfernung. Für beide Sternhaufen wurden 20 Aufnahmen pro Filter mit 20 s Belichtungszeit für M 13 und 30 s für M 37 aufgenommen. Das thermische Rauschen (Dark) wurde automatisch abgezo-

gen und Effekte der Optik werden mit einer Aufnahme einer homogen beleuchteten Fläche (Flat) korrigiert.

### BESTIMMUNG DER STERNPOSITIONEN

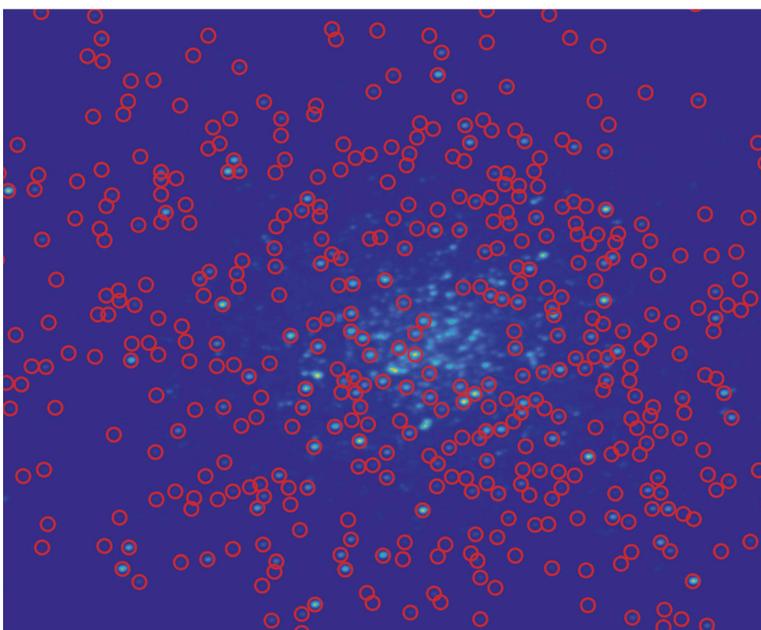
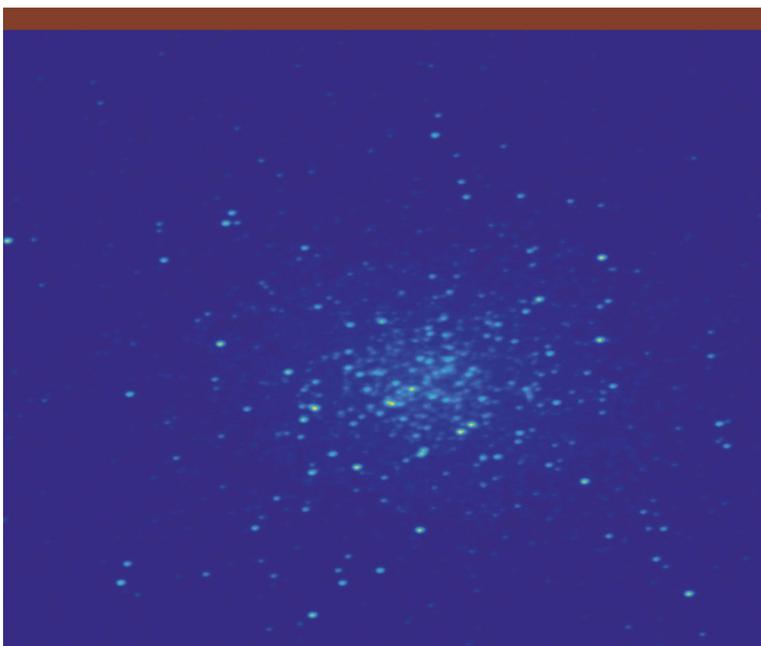
Nach dem Einlesen der Bilder mit der Software Matlab können etwaige Effekte der Nachführung korrigiert werden und alle grünen und blauen Bilder zusammenaddiert werden. Das Bild kann dann in Matrixform (siehe Bilder 3) dargestellt werden, wo jedes Matrixelement der Intensität eines Pixels entspricht. Die Sterne heben sich in dieser Darstellung als gelblich, rötliche Punkte vom Hintergrund ab.

In einem ersten Schritt wollen wir die ungefähren Sternpositionen ermitteln. Hier gilt es zu erwähnen, dass die Sterne im Zentrum des Haufens oder Doppelsterne, die nicht separat aufgelöst werden können, von der Analyse ausgeschlossen werden, da ihre Helligkeit nur schwer zu bestimmen ist oder mit zu grossen Unsicherheiten behaftet wäre. Die ungefähre Position der Sterne wird

ermittelt, indem wir ein Programm implementieren, das eine 7x7 Pixel grosse Matrix über das gesamte Bild wandern lässt und jeweils die Maxima bestimmt, welche mehr als 4 Pixel vom nächsten entfernt sind und auch einen gewissen Kontrast gegenüber ihrem Umfeld besitzen. Dieser Schritt wird für das blaue und grüne Bild durchgeführt und nur Sternpositionen, die auf beiden Bildern, mit einer maximalen Abweichung von 2 Pixeln, gefunden wurden, werden zurückbehalten.

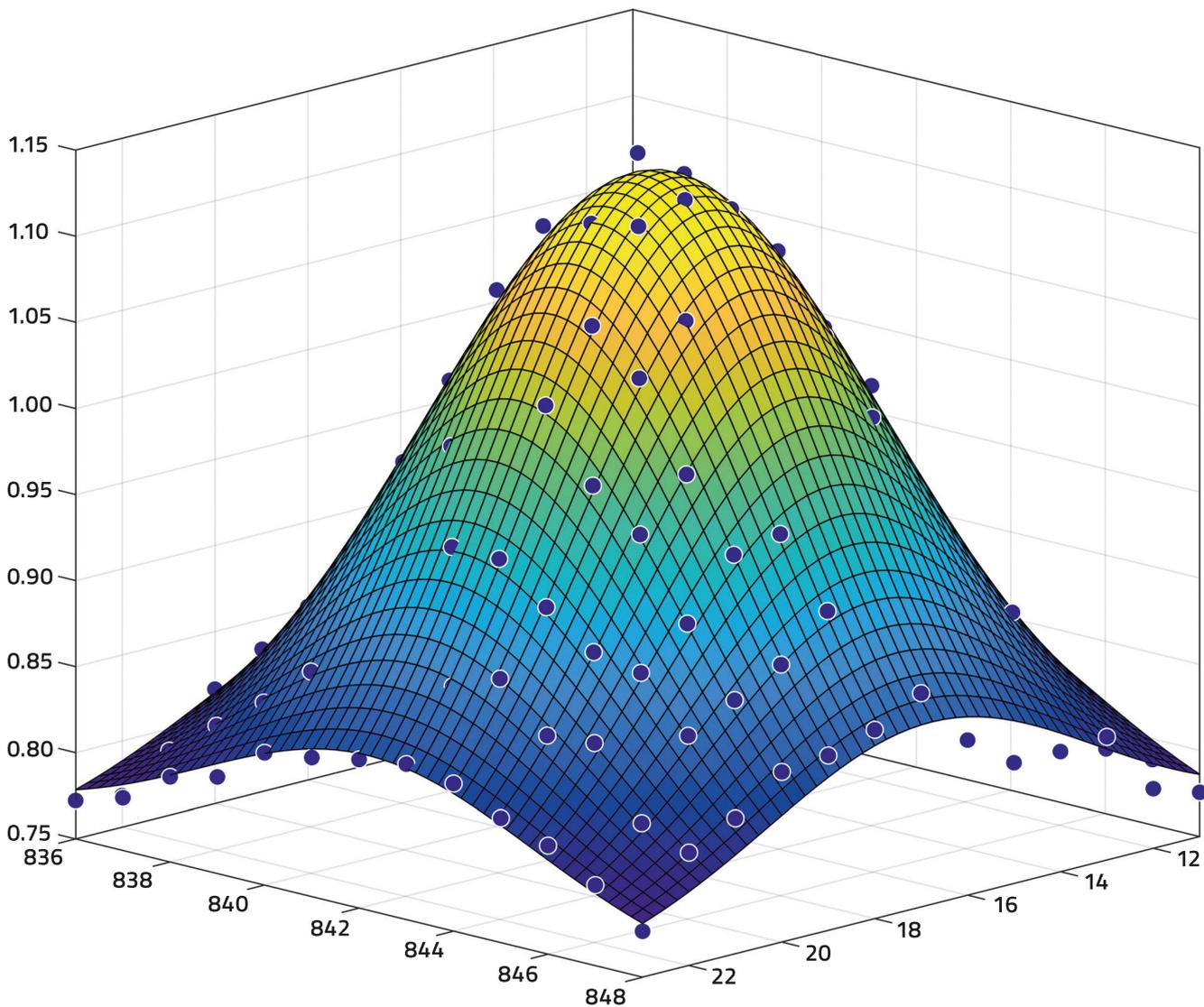
### STERNHELLIGKEIT

Da wir jetzt die Position der Sterne kennen, können wir ihre Helligkeit bestimmen. Die Abbildung des Sterns auf der Kamera entspricht in guter Näherung einer zweidimensionalen Gaussfunktion (siehe Bild 4), die wir mit Hilfe von Matlab an das Helligkeitsprofil anpassen können. Die Helligkeit des Sterns kann direkt aus dem Integral der Fläche unter dem Helligkeitsprofil des Sterns gewonnen werden und hängt von der Amplitude und der Breite der



**Abbildung 3:** Sternhaufen M13, helle Sterne heben sich mit gelber und rötlicher Farbe vom blauen Hintergrund ab. Die rot markierten Sterne von M13 (unten) wurden für das HR-Diagramm berücksichtigt. Im Zentrum wurden weniger Sterne ausgewählt

Foto: Valentin Rime & Jos Kohn



**Abbildung 4:** Das Intensitätsprofil eines Sternes (Blaue Punkte) kann gut mit einer zweidimensionalen Funktion dargestellt werden.

Grafik: Valentin Rime & Jos Kohn

Gaussfunktion ab. Dieser Schritt kann für jeden der zurückbehaltenen Sterne durchgeführt werden. Um enge Doppelsterne und Fehlerpixel zu eliminieren, setzen wir die Bedingung voraus, dass die Breite des Sternprofils zwischen 1 bis 3.5 Pixeln liegen muss. Des Weiteren werden nur die Sterne zurückbehalten, deren angepasstes Sternprofil nicht mehr als 20% vom realen Helligkeitsprofil abweicht. Diese Konditionen müssen für das blaue sowie für das grüne Bild erfüllt sein, damit ein Stern fürs HR Diagramm berücksichtigt werden kann. Nach dieser strengen Auswahl verbleiben noch 481 Sterne für M13 (siehe Bild 3) und 356 für M37, von denen wir jetzt das HR Diagramm erstellen können.

#### UMWANDLUNG DER STERNHELLIGKEIT IN DIE MAGNITUDEN-SKALA

Der schwierigste Teil der Arbeit ist es, die Helligkeit der Sterne in die Magnituden-Skala, in der die scheinbare Helligkeit eines Sternes ausgedrückt wird, umzuwandeln. Die Magnituden-Skala

ist logarithmisch invers (mit logarithmischer Basis 2.5). Der Nullpunkt der Skala wird mit der Helligkeit des Sterns Vega definiert. Das heisst, dass hellere Sterne als Vega negative Magnituden besitzen und schwächere positive Magnituden haben. Nach dieser Skala ist ein Stern, der eine Magnitude von 1 besitzt, 2.5-mal weniger hell als Vega. Die Basis von 2.5 wurde früher gewählt, weil ein durchschnittliches menschliches Auge erst Helligkeiten ab einem Faktor von 2.5 voneinander unterscheiden kann.

Um die Helligkeit der Sterne auf dem Kamerachip in die Magnituden-Skala umwandeln zu können, benutzen wir 10 Referenzsterne deren Magnitude ( $m_{ref}$ ) im blauen und grünen Farbbereich bekannt sind. Die Referenzsterne müssen auf den Bildern wiedergefunden werden, was teilweise nicht so einfach ist. Ihre Lichtintensität ( $L_{ref}$ ) wird ähnlich wie oben beschrieben bestimmt. Die Referenzsterne sollten so weit wie möglich die gesamte Helligkeitsskala der Sterne, die wir im HR-Diagramm darstellen wollen, abdecken.

Die Helligkeit ( $L$ ) eines Sterns auf dem Bild kann durch die nachfolgende Formel in die Magnitude ( $m$ ) umgewandelt werden:

$$m = m_{\text{ref}} - 2.5 \log\left(\frac{L}{L_{\text{ref}}}\right)$$

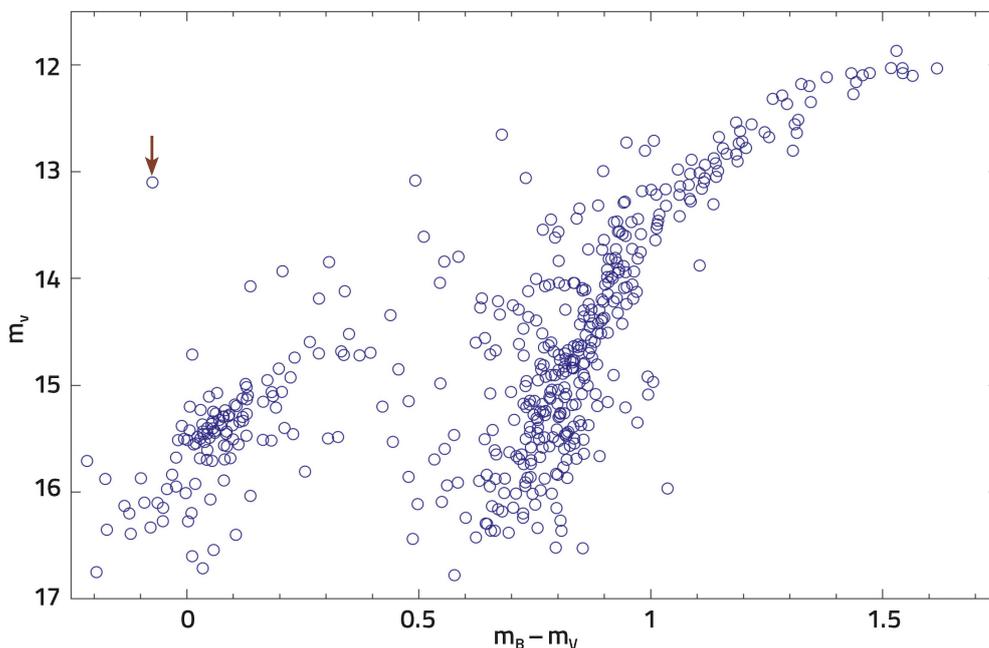
Der Faktor 2.5 stammt vom Basiswechsel des Logarithmus von Basis 2.5 auf 10. Da wir 10 Referenzsterne benutzt haben, erhalten wir für jeden Stern aus dem Haufen 10 Magnituden-Werte, wovon wir den Durchschnitt bilden können.

**DAS HERTZSPRUNG-RUSSELL-DIAGRAMM**

Nach der Umwandlung der Sternhelligkeiten in die Magnituden-Skala kann das HR Diagramm erstellt werden. Auf der vertikalen Achse wird die Magnitude der Sterne im grünen Farbbereich ( $m_V$ ) dargestellt, die proportional zur Gesamthelligkeit ist. Das heisst bei einem Stern mit kleiner Magnitude handelt es sich also um einen hellen Stern. Auf der horizontalen Achse wird die Differenz der Magnituden zwischen dem blauen und grünen Filter ( $m_B - m_V$ ) dargestellt. Dies entspricht auch dem Farbindex, der oft als B-V

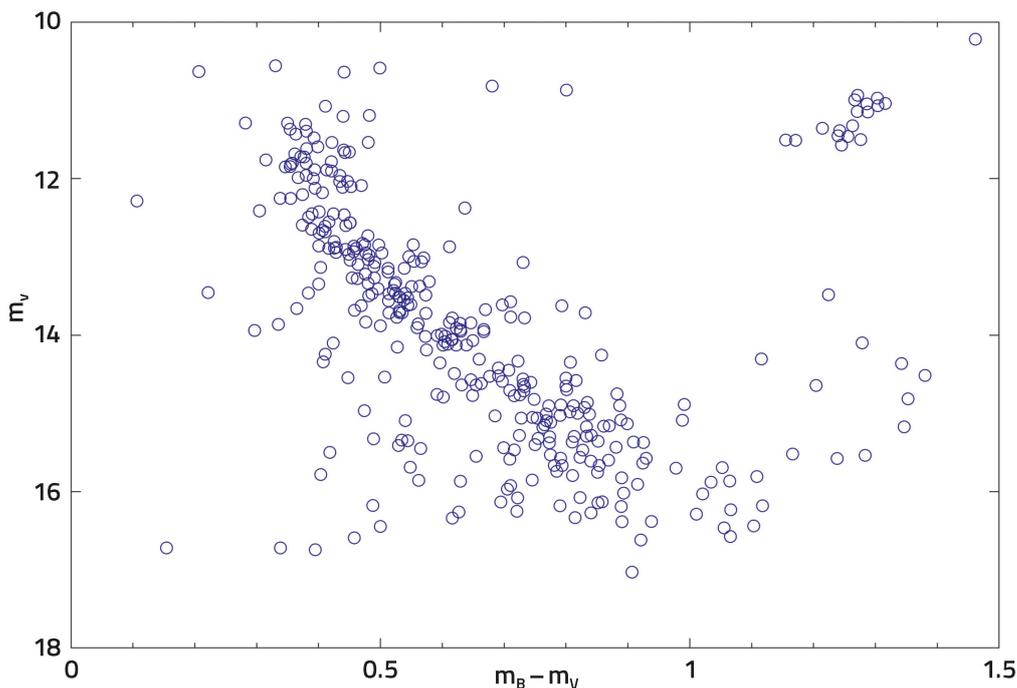
**Abbildung 5:** HR-Diagramm von Messier 13. Es sind 481 Sterne abgebildet. Die Unsicherheit beträgt 0.07 Magnituden auf der horizontalen Skala und 0.05 auf der vertikalen Achse. Der Stern «L222» unter dem Pfeil ist ein «Blue Straggler», ein Stern der sich aus unerklärten Gründen nicht in einen roten Riesen verwandelt hat.

Grafik: Valentin Rime & Jos Kohn



**Abbildung 6:** HR-Diagramm von Messier 37. Es sind 356 Sterne abgebildet mit einer Unsicherheit von 0.1 Magnituden auf der horizontalen Achse und 0.06 m auf der vertikalen Achse.

Grafik: Valentin Rime & Jos Kohn



abgekürzt wird. Da das Maximum vom Emissionsspektrum eines Sterns (also die Farbe) direkt von der Temperatur abhängt, kann der Farbindex auch mit der Sterntemperatur verbunden werden. Sterne, die eine hohe Leuchtkraft im blauen Bereich besitzen, haben einen kleinen B–V-Wert und befinden sich auf der linken Seite im Diagramm. Rötlichere Sterne sind umgekehrt im rechten Teil des Diagramms zu finden.

Auf den HR Diagrammen von M 13 und M 37 können jeweils zwei verschiedene klar voneinander getrennte Sternpopulationen erkannt werden, die jedoch ganz verschiedenen Stern-Entwicklungsstadien entsprechen.

#### KUGELSTERNHAUFEN M 13

Beim Kugelsternhaufen M 13 gibt es eine Trennung im Farbindex zwischen den zwei Populationen, die auch schon auf den fotografischen Aufnahmen (siehe Bild 2) zu erkennen ist. In der rechten Gruppe befinden sich die Riesen, Sterne die begonnen haben, ihren Wasserstoff in den äusseren Schalen zu fusionieren. Während diesem Prozess dehnen sie sich immer weiter aus und werden deshalb grösser und heller, aber auch kälter. Das erklärt warum, diese Gruppe sich rechts im Diagramm befindet und die Sterne einer Entwicklungskurve folgen. In der linken Gruppe befinden sich die bläulichen Überriesen, die begonnen haben, das Helium im Kern zu fusionieren. Da das Helium-Brennen mehr Energie freisetzt als das Wasserstoff-Brennen, sind sie auch wärmer als die roten Riesen, und besitzen einen Farbindex nahe 0. Einzelne Sterne können auch identifiziert werden wie etwa der umkreiste Stern namens « L222 » in M13. Dabei handelt es sich um einen blauen Nachzügler (blue straggler) eine Gruppe von Sternen, die sich aus bisher noch unerklärten Gründen nicht in einen roten Riesen verwandelt hat.

#### OFFENER STERNHAUFEN M 37

Der offene Sternhaufen M 37 zeigt eine ganz andere Struktur. Rechts oben kann eine kleine Gruppe von Riesen erkannt werden.

Die grössere Gruppe ist die Hauptreihe, auf der sich Sterne befinden, die ähnlich wie die Sonne Wasserstoff im Kern fusionieren. M 13 enthält auch Hauptreihensterne mit einer Magnitude schwächer als 17–18. Um sie aufzunehmen wäre eine deutlich längere Belichtungszeit oder ein grösserer Teleskopdurchmesser nötig.

Sterne folgen bei der Entwicklung der Hauptreihe, verlassen die Hauptreihe beim «Turn over»-Punkt und werden zum roten Riesen. Der «Turn over»-Punkt ist auch beim HR-Diagramm von M 37 zu beobachten als leichtes Abweichen von der Hauptreihe im oberen Magnituden-Bereich des Diagramms. Wenn die Sterne massereich genug sind- können sie im Kern Helium fusionieren und werden zum blauen Riesen.

Wir konnten zeigen, dass man mit ziemlich einfachen Mitteln und etwas Programmieraufwand oder automatisierter Software viele Informationen über die Sternhaufen und deren Sterne herausfinden kann, welche auf normalen Fotografien verborgen bleiben. ◀

Marokko

**SaharaSky®**  
Kasbah Hotel & Sternwarte

Einmalig dunkler  
Sternenhimmel

Komfortable Anreise von Deutschland · Komforthotel mit Spa · Hochwertige Teleskope · Visuell & Astrofotos  
Sternwarteninfos: [www.saharasky.com](http://www.saharasky.com) · Hotelinfos: [www.hotel-sahara.com](http://www.hotel-sahara.com)