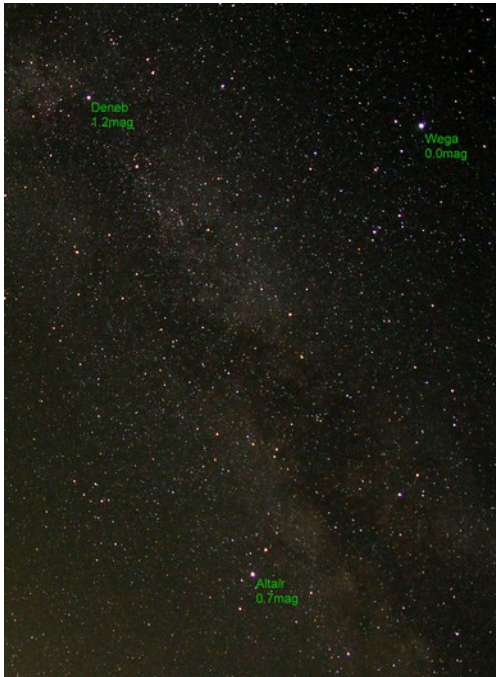


Wie hell sind Punkte im Dunkeln? Die Helligkeiten der Stars im Meer der Gaskugeln

Auch für Astronomen gibt es eine „Bibel“, ähnlich alt wie das Buch der Bücher und ebenso gültig bis ins 17. Jahrhundert. Erst dann kamen die Einsichten, dass so manches anders richtiger ist. Im Buch 7-8 des „**Almagest**“ von **Ptolemäus** – der beste Astronomiebuchschreiber des Altertums – steht etwas über die hellen Punkte am damals dunklen Himmel. Seitdem (~150 n.Chr.) gelten die hellsten als Sterne 1. Größe (magnitude), die schwächsten, damals besser als heute sichtbaren, als 6. Größenklasse (6. Gkl. = 6mag). Niemand wollte diese Ordnung ändern, auch nicht als um 1860 zwei Wiener Wissenschaftler namens Weber und Fechner ein Grundgesetz der Sinne und der Wahrnehmung aufstellten. Rund 100 Stufungen zwischen 1. und 6. Gkl schafft jedes gesunde Auge – auch wenn es mühsam ist. So definierte der Engländer Pogson damals die neue **Helligkeitsskala** mit mathematischer Präzision: der Unterschied von 1mag zu 2mag = $m = 2,511$. (Beweis: von 1- 6mag = $2,511 \times m \times m \times m \times m = 99,82$) Hier ein Blick in die Praxis, zum Dreieck aus den Sternen Deneb-Wega-Altair in der Sommermilchstraße:



Schon auf den ersten, etwas längeren Blick fallen die kleinen Unterschiede auf. Was die alten Griechen mit den bloßen Augen konnten, einige Profi-Astronomen im 19. Jahrhundert auf 1/10 genau, schafft ein neugieriger Mensch mit Digitalkamera heute so fix wie das Regelwerk eines Computerspiels. Hier die Anleitung: (Ok, ein Programm (Iris-freeware) benötigt man und am besten noch jemanden, den/die es interessiert, so wie die Astronomen seit Beginn der Fotografie.)

Bestimmung der Magnituden mit Iris „Blenden-Photometrie“

1. Bild als jpeg oder NEF öffnen; Helligkeit mit Schieber regeln, notfalls Auto.
2. Analysis: Aperture Photometry öffnen; 1 Circle Number; Radius ~12 (nicht zu groß!)
3. Bekannten Stern anklicken, anschließend direkt neben dem Stern Hintergrund anklicken:

Die Werte der Helligkeit (Strahlungsstrom/Intensität) Stern und Hintergrund werden im Fenster angegeben, sowie Pixelzahl der Blende:

→ $I = I^* \text{ minus } I^\circ$ (Hintergrund) x Pixelzahl(Blende) =>

z.B. $10640 - 3160 = 7480$ multipliziert mit Pixelzahl der „Blende“ (Radius 12=440pix)
=> $7480 \times 440 = 3291200$ => $\log 6.51$

→ $m = \Delta 2.5 \times \log I$ (Fehlerbereich ~0.05mag; Hauptgrund ist Rauschen der Pixel bei hohen ISO-Werten ebenso geringe Überbelichtung)

→ $m = \Delta 2.5 \times \log 6.51 = 16.27$ => 6.5mag i.o.a.Fall (*2.5 resultiert aus Magnitudendifferenz zwischen den Größenklassen)

4. Zur Sicherheit mit 2. bekannten (schwächer oder heller) Stern ebenso verfahren. Der 2. Stern differiert z.B mit $m = 16,77$ um +0,5 => (Gklassen sind „Negativwerte“) => d.h. der Stern ist 0.5mag heller) = 6.0mag

(E.W. 8.Aufl. S.222f) Gilt nur bei korrekter Belichtung = knapp gesättigte Pixel; jpg (255)/RAW(-16384)

(Notfalls also auf zur Zukunftswerkstatt!)

Für konventionell Neugierige ergibt sich die Frage, wie es sich verhält am Himmel zwischen dem Scheinbaren und dem Wirklichen. Die Helligkeit für das Auge nennt man „scheinbare/bolometrische/visuelle“ mit der Bezeichnung: **Gkl: +/-Ziffer+mag (Wega ist der Masterstern: Gkl 0.0mag)**. Gemeint ist die Helligkeitsempfindung des sog. nachadaptierten Auges (~7mm Pupille) im Wellenlängenbereich der max. Empfindlichkeit bei ~550nm. Was unsere Augen verkraften müssen und können, hatte schon Weber und Fechner in Staunen versetzt (wer jetzt nachrechnen möchte, kann es noch besser glauben!):

Sonne: -26.7mag; Vollmond: -12.7mag; ISS-Raumstation: -5mag; Venus: ~-4.6mag; Sirius: -1.46mag; Kern der Andromeda-Galaxie: ~+3mag!; Uranus: +5.5mag

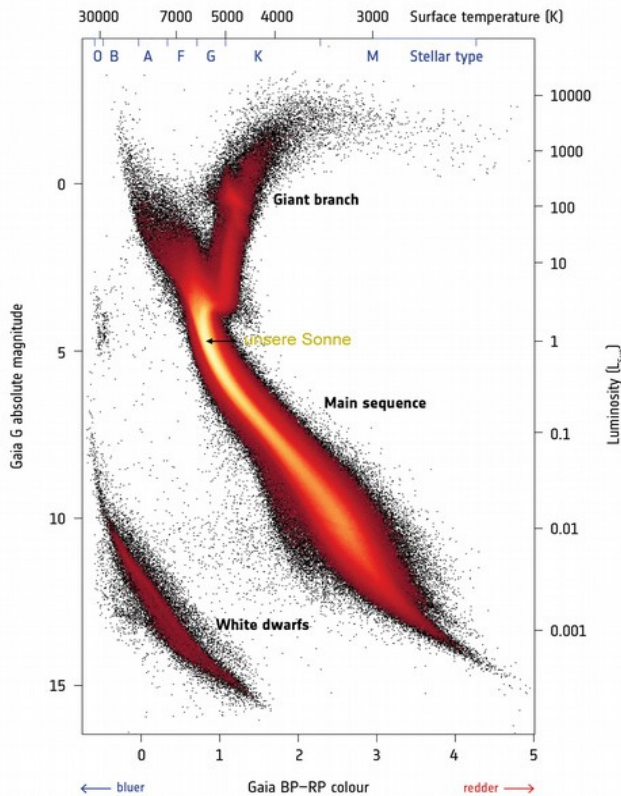
Mit den größten Teleskopen sind Sterne, bzw. Objekte der 30.Gkl. kein Problem, aber diese Leistung ist mit der Digitalfotografie verbunden. Die Zeiten für die kontinuierliche Lichtaufnahme der Photodioden in den Pixeln der Kameras werden in Stunden gezählt. Augen und Gehirn arbeiten aber im Millisekundentakt. Alle ~33msek registriert das Unbewusste einen Lichtimpuls vom Stern und nach ~600msek dann auch das Bewusstsein: da ist ein Stern! Und wie hell wäre er, wenn er anstelle unserer Sonne strahlte?

So richtig kompliziert wird es noch nicht! Frühzeitig war klar, dass die Sterne unterschiedlich große Kugeln aus Gas sein mussten, denn sie haben auch unterschiedliche Farben, was auf die Temperatur schließen ließ. Es dauerte zwar ein Jahrhundert von der ersten Messung eines „rasenden“ Sterns am Himmel (der offenbar näher sein musste als die „ruhenden“), bis alles seine Ordnung hatte. Als die Probleme der Lichtausbreitung, der Entfernung, der Strahlungsleistung und der Sternmaschinerie aber dann geklärt waren – einigermaßen, konnte über **Absolutes** nachgedacht werden. Die Helligkeit eines Riesenstern konnte nur schwer mit der des Zwergsterns Sonne konkurrieren. Man fand, dass alle Sterne in einer gerechneten Entfernung von 32,6 Lichtjahren sinnvolle Vergleiche zulassen. (Wie sich diese Entfernung ergab, beschreibt das PDF „Was ist wie weit...“) Z.B. hat der Riesenstern „Beteigeuze“ im Orion solche Ausmaße, dass die Jupiterbahn am Rand! des Sterns verlaufen würde, wäre dieser unsere Sonne.

Also alles in **32,6 LJ = 10 parsec** betrachten!

Die absolute Magnitude (**Mag**) eines Sterns zu ermitteln, ist zwangsläufig mit Rechenleistung verbunden, denn selbst wenn in genau 32,6 LJ einer stünde, kann man zunächst nur „klein mag“ genau ermitteln. Wenn nun aber die Strahlungsleistung der Sonne „mit dem Quadrat der Entfernung“ abnimmt, wie es das Gesetz der Lichtausbreitung vorgibt, wäre der nächste Schritt, den Unterschied der Lichtabnahme von 8,3 Minuten zu 32,6 Jahren zu berechnen. Ergebnis: $+4.83\text{Mag}$ = visuell kaum als Sonne zu identifizieren!

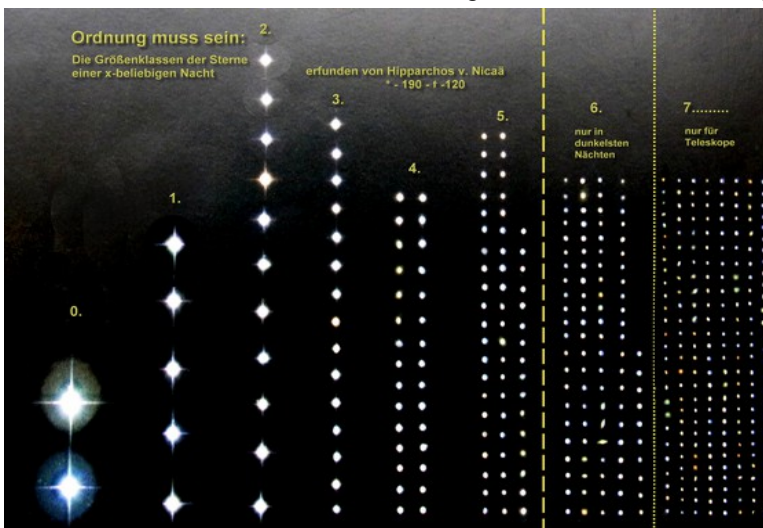
Nun hat sich in den letzten rund 100 Jahren soviel Wissen über Sterne angehäuft, dass einige Mitmenschen den Astronomen auch schon nicht mehr trauen – woher wollen die das eigentlich so genau wissen, ohne dort gewesen zu sein? Zwei dieser sorgfältigen Grundlagenforscher müssen erwähnt werden, die allerdings auf die Vorarbeiten einer Gruppe von Frauen in Harvard (USA) angewiesen waren. Das **Hertzsprung-Russell-Diagramm** in seiner modernsten Form sieht so aus:



Aufgetragen sind 1.5 Millionen Sterne, jeweils als ein Punkt, gemessen von dem gründlichsten aller bisherigen Satelliten (Gaia) und angeordnet wie zu Zeiten der o.a. Forscher, die die Zusammenhänge 1913 bei nur wenigen Sternen entdeckten. Unsere Sonne ist ein Durchschnittssterne - es gibt so viele, dass sie in der Masse der gelben (= viele) Punkte untergeht. Ihre Leuchtkraft und absolute Magnitude ist aber die Referenz für viele Vergleiche. Ihre Temperatur macht sie zu einem „Hauptreihenstern“, in dem Schwerkraft und Strahlungsdruck sich die Waage halten – für ~10 Milliarden Jahre! Das „Leben auf der **Hauptreihe**“ endet für alle Sterne heißer als K-Typen mit einem „kurzen“ Besuch auf dem „**Riesenast**“. Wenn ihre Leuchtkraft sich um den Faktor 100-1000 erhöht, weil ihre Oberfläche sich riesig ausdehnt und damit mehr Licht abstrahlt, haben sich die Kerne bereits zu einem „**Weißer Zwerg**“ verbraucht. Aber in den mittleren Tiefen funktioniert das „Brennen“ von Wasserstoff zu Helium usw. noch. Wenn das „Brennen“ in die äußeren Hüllen sich verlagert, ist das Ende nahe: für wenige B-O-Sterne die **Supernova-Explosion**, mit oder ohne das beliebte **Schwarze Loch**; für den größten Teil der Sterne die Abspaltung der Hüllen als hübsche Nebel (s. **Planetarische Nebel**) mit allen Zutaten an Atomen und Gasresten für neue Sterne und Planeten.

Nur für die Kerne bleibt kein „Leben“ mehr übrig. Sie verglimmen als erdgroße Kugeln **entarteter Materie** in Milliarden Jahren. Wie man an der Anzahl der Punkte sieht, sind Giganten und Zwerge seltener als die kühleren Sterne der Hauptreihe. Alles im Diagramm ist „absolut“, auch die wenigen „Ausreißer“. Die absolute Helligkeitsskala reicht nun von einem **Tausendstel bis zum Zehntausendfachen der Sonne!**

Wer also in einer Nacht Lust hat zu zählen, kommt auf etwa 2000 Sterne ohne Hilfsmittel! Hier hat es ein Witzbold mit einem Himmelsausschnitt gemacht, die Beschriftung ist vom Autor:



Was noch fehlt, ist eine Formelsammlung für Mathecracks:

Die scheinbare Helligkeit m ist gegeben durch:

$$m = m_{\text{ref}} - 2.5 \log_{10} (I/I_{\text{ref}})$$

Die Distanzgleichung lautet: **Entfernungsmodul**

$$m - M = 5 \log_{10} (D/10 \text{ pc}) = 5 \log_{10}(D) - 5$$

Übungen dazu gibt's beim Autor; Antworten auf Fragen ebenso und ein Dankeschön für das Interesse!

Ihr/Euer Martin Falk

