

Markante Figur am Winterhimmel Das Sternbild Orion (Mitte) symbolisiert einen Jäger der griechischen Mythologie. Der Rote Überriese Beteigeuze befindet sich in der Konstellation links oben. Das Bild mit 62 Minuten Belichtungszeit nahm Tankred Schmitt mit einer Nikon D5600 und einem Tiffen-Filter (DF1) in der Nähe des pfälzischen Weinorts Wachenheim auf.

Tankred Schmitt

Beteigeuze Vom Gelben zum Roten Überriesen

W I S wissenschaft
in die schulen!

Vorteleskopische Beobachtungen als Erkenntnisschlüssel

Im Dezember ist Antares am Nachthimmel nicht zu sehen, doch der Hauptstern im Sternbild Skorpion namens Alpha Scorpii ist der rötteste Stern überhaupt, der mit bloßem Auge beobachtet werden kann. Sein griechischer Name bedeutet »wie Mars«, also dass er diesem in der Farbe ähnelt. Mars lässt sich zurzeit im Sternbild Stier die ganze Nacht über erblicken. In den verschiedensten Kulturen werden Mars und Antares seit je als rot beschrieben. Dies entspricht in etwa auch der modernen Definition, wobei Mars etwas weniger rot ist als Antares.

Es gibt noch einen anderen auffallend roten Stern. Im Osten geht jetzt abends das bestimmende Sternbild unserer Wintermonate auf, der Himmelsjäger Orion (siehe »Markante Figur am Winterhimmel«). Sein östlicher Schulterstern Alpha Orionis, auch als Beteigeuze bekannt, ist fast so rot wie Antares. Doch das war nicht immer so: Vor rund 2000 Jahren glich Beteigeuze, aus dem Arabischen für »Hand der Riesin«, mitnichten dem roten Antares bezie-

hungsweise dem Planeten Mars, sondern war nur so gelblich-orange wie der Planet Saturn. Der Farbindex – die Differenz der Helligkeiten eines Objekts in zwei Filtern – von Saturn ist aber deutlich verschieden von Mars und erst recht von Antares. Saturn zeigt sich am Anfang der Nacht gerade noch im Westen (siehe S. 48).

Sowohl mit Hilfe vorteleskopischer Beobachtungen als auch naturwissenschaftlicher Methodik lässt sich nun zeigen, dass Beteigeuze in historischer Zeit eine Farbänderung durchlief. Diese Erkenntnis erlaubt dann auch neue astrophysikalische Schlussfolgerungen.

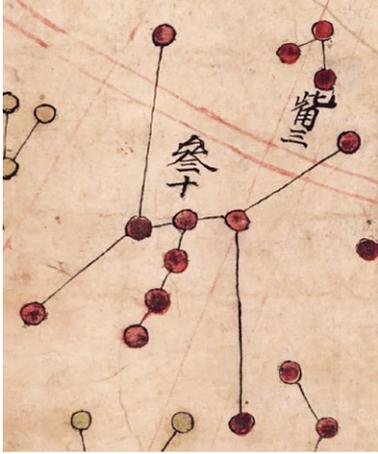
Nutzung alter Überlieferungen

Historische Himmelsbeobachtungen finden sich in vielen Kulturen. Die entsprechenden Berichte stellen für die moderne Astronomie durchaus ein sehr nützliches Archiv dar. Allerdings ist bei ihrer Verwendung größte Umsicht geboten, die in der Vergangenheit nicht immer hinreichend zum Tragen kam.

Daher wurde in den letzten Jahren ein strenges methodisches Vorgehen entwickelt, etliche Publikationen zeigen dies. Bei der historisch-kritischen Aufbereitung der Quellen bedarf es unter anderem der Hilfestellung durch Philologie und Naturphilosophie, denn das Verstehen der überlieferten Texte ist kein Selbstläufer. Herausfordernd ist auch das Operationalisieren beziehungsweise Quantifizieren der qualitativen Aussagen.

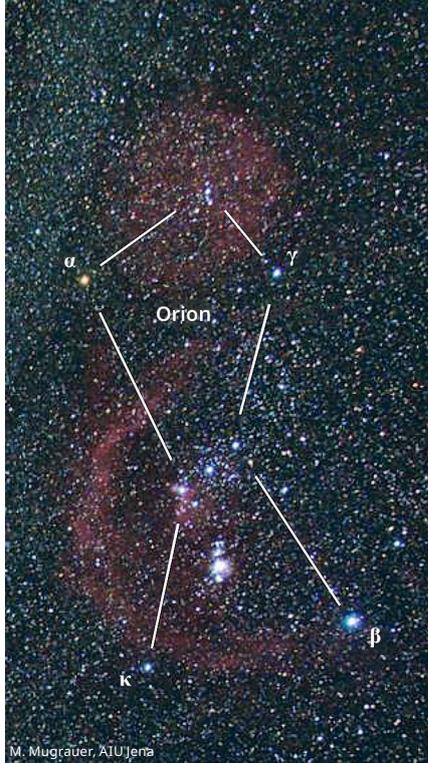
Vorteleskopische Beobachtungen von Beteigeuze

Im Fall von Beteigeuze finden sich mehrere historische Überlieferungen: Bei Hygienus in Rom (gestorben zirka 17 n. Chr., *De Astronomia*) heißt es, der Planet Saturn gliche in der Farbe dem östlichen Schulterstern des Orion. Auch das genaue Lesen der Schriften anderer Autoren des Mittelmeerraums, einschließlich Ptolemäus (2. Jahrhundert, *Almagest* und *Tetrabiblos*), macht deutlich, dass Beteigeuze in der Antike unmöglich auch nur



FSU Jena | ThULB

Orion im Fernen Osten Dieser Ausschnitt aus einer koreanischen Sternkarte aus dem 14. Jahrhundert zeigt das Sternbild Shen, wie Orion im chinesischen Kulturraum dargestellt wird. Die chinesischen Schriftzeichen darin bedeuten: »Shen 10« steht für »Shen mit 10 Sternen« und »Zui 3« für das kleinere Sternbild Zui mit drei Sternen, unter anderem Lambda Orionis.



M. Mugrauer, AIU Jena

Mysteriöser Schwächeanfall Die Aufnahme stammt vom Jahreswechsel von 2019 auf 2020, als Beteigeuze für Furore sorgte, weil seine Helligkeit signifikant abfiel und ein Minimum im Februar 2020 erreichte. Stand eine Supernova unmittelbar bevor? Nein, tatsächlich verdunkelte Material den Schein des Roten Riesen, gleichwohl behielt er seine rote Farbe. Das Bild wurde am 30. Dezember 2019 nahe La Serena in Chile aufgenommen. Es besteht aus drei Aufnahmen, die jeweils 200 Sekunden mit einer Canon EOS 70D (ISO 3200, $f=10$ mm mit Blende $f/D=3,5$) belichtet wurden.

annähernd so rot wie Mars oder gar Antares gewesen sein kann. Völlig unabhängig von den Quellen aus dem mediterranen Raum, zeigt sich auch in einem zentralen Text aus dem alten China (um 100 v. Chr., Tianguan Shu) ein ähnliches Bild: Hier wird die Farbe Gelb mit Beteigeuze bestimmt, während für Rot Antares genannt wird und für Weiß der Stern Sirius im Großen Hund. Zudem wird Gelb mit Saturn und Rot mit Mars in Verbindung gesetzt (siehe »Orion im Fernen Osten«).

Aus all diesen vergleichenden Angaben lassen sich quantitative Aussagen ableiten, die in der Astronomie Farbindexe genannt werden. Mit Hilfe späterer Beobachtungen, unter anderem aus dem arabi-

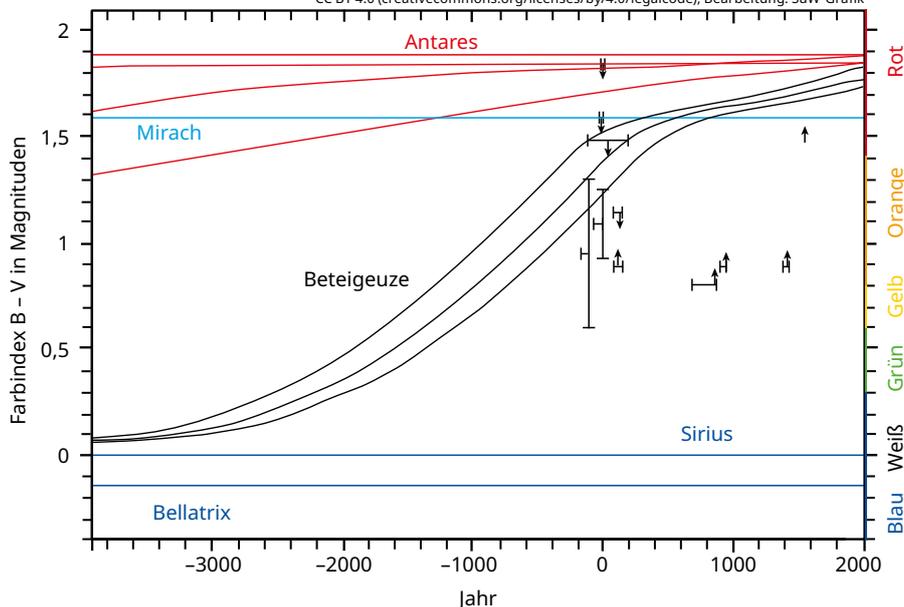
schen Kulturkreis, insbesondere aber von Tycho Brahe (1572/73), lässt sich die Veränderung von Beteigeuze hin zum Roten Überriesen verfolgen (siehe »Sternfarben im Wandel der Jahrtausende«).

Farben-Helligkeits-Diagramm

Astrophysikalisch ist die Farberscheinung von Sternen im Grundsatz gut verstanden. Da es sich dabei um Wärmestrahlung handelt, hängt die Farbe von der Temperatur und somit auch von Masse und Alter der Objekte ab. Planeten dagegen reflektieren Sonnenlicht, so dass sich ihre Farbe durch ihre Atmosphären- beziehungsweise Oberflächenzusammensetzung ergibt. Im Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD)

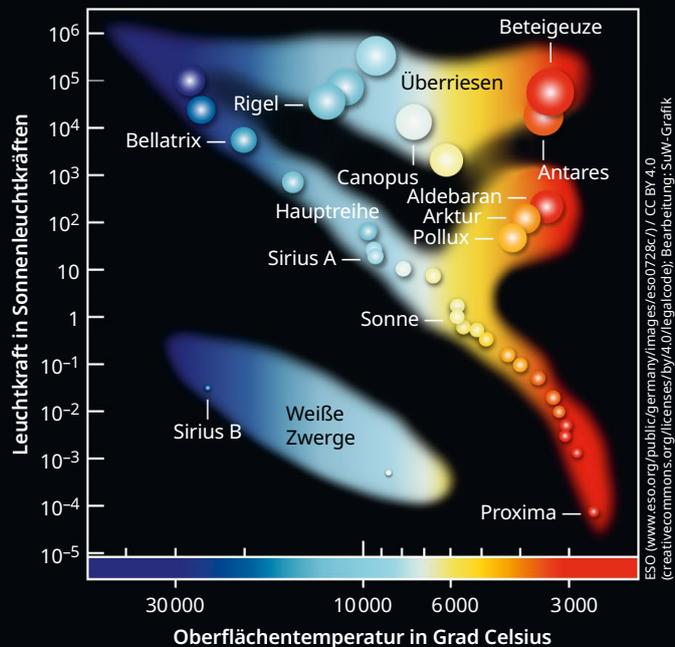
wird die Sternhelligkeit oder Leuchtkraft gegen dessen Temperatur aufgetragen. Da diese von Sternen nicht direkt messbar ist, gibt es alternativ dazu das Farben-Helligkeits-Diagramm (FHD), in dem auf der Abszisse der Farbindex aufgetragen wird (siehe »Beteigeuze im Hertzsprung-Russell-Diagramm«). In beiden Darstellungen befinden sich die meisten Sterne auf der Hauptreihe, wo sie Wasserstoff zu Helium verbrennen. Die Wasserstofffusion verlagert sich später vom Sternkern in eine darum befindliche Schale, während im Kern dann Helium zu Kohlenstoff verbrannt wird. Dadurch dehnt sich der Stern aus, so dass seine äußeren Schichten abkühlen und er somit rötler wird.

Neuhäuser, R. et al.: Colour evolution of Betelgeuse and Antares over two millennia, derived from historical records, as a new constraint on mass and age. arXiv:2207.04702, 2022, fig. 5 (arxiv.org/abs/2207.04702) / CC BY 4.0 (creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode); Bearbeitung: SuW-Grafik



Sternfarben im Wandel der Jahrtausende Die Farbe von Sternen kann sich tatsächlich über längere Zeiträume hinweg ändern. Die Sternfarbe wird hier mit dem Farbindex B-V parametrisiert, also der Differenz von Blauhelligkeit (B) um 445 Nanometer und der visuellen Helligkeit (V) um 550 Nanometer. Die Sterne Antares, Mirach, Sirius und Bellatrix blieben in der Farbe über die letzten etwa 5000 Jahre im Großen und Ganzen konstant. Die Sternfarbe von Beteigeuze veränderte sich allerdings gravierend, wie der Anstieg der Kurve zeigt. Die Linien ergeben sich aus den Entwicklungspfaden der Sterne für ihre jeweilige Masse.

Beteigeuze im Hertzsprung-Russell-Diagramm Zwei Eigenschaften von Sternen legen fest, wo sie in dieser Darstellung zu finden sind: ihre Helligkeit (alternativ: ihre Leuchtkraft) und ihre Oberflächentemperatur. Das berühmte Diagramm eignet sich hervorragend, um die Entwicklungswege von Sternen nachzuzeichnen. Der Rote Überriese Beteigeuze befindet sich oben rechts, wohingegen unsere Sonne nahe der Mitte des HRD auf der Hauptreihe lokalisiert ist. Die Hertzsprung-Lücke befindet sich in etwa im Bereich zwischen Canopus und Beteigeuze.



Massereiche Sterne sind entweder blau-weiß oder eben rötlich – recht wenige befinden sich in der Entwicklung dazwischen, das heißt, sie sind grün (was aber nicht als solches detektiert werden kann), gelb oder orange. Der Übergang erfolgt – angesichts der sonst »astronomischen« Alter – in der Tat relativ schnell: Massereichere Sterne mit etwa 8 bis 18 Sonnenmassen können augenscheinliche Veränderungen durchaus in historischer Zeit vollziehen. Somit ergibt sich im HRD oder im FHD eine Lücke, die so genannte Hertzsprung-Lücke.

Es wurden nun alle Sterne bis zu einer scheinbaren Helligkeit von 3,3 mag in das Farben-Helligkeits-Diagramm eingetragen. Bis zu dieser Helligkeit lassen sich Farben bei Sternen mit dem bloßen Auge gerade noch wahrnehmen; einer der schwächsten ist zum Beispiel Iota Draconis. Nur rund ein Dutzend massereiche Sterne hält sich zurzeit in der Hertzsprung-Lücke zwischen den Blau-Weißen und den Roten Riesen auf. Darunter sind so bekannte Sterne wie Wezen (Delta Canis Majoris) und Sadr (Gamma Cygni). Der südliche Stern Canopus (Alpha Carinae) tritt gerade in diese Phase seines Lebens ein. Beteigeuze hat die Hertzsprung-Lücke just verlassen, Antares ist schon lange ein Roter Überriese.

Insofern spiegelt das Farben-Helligkeits-Diagramm wieder, was sich im Fall von Beteigeuze erstmalig auch durch historische Beobachtungen konkret aufzeigen lässt. Die über zwei Jahrtausende feststellbare Farbänderung von Orions östlichem Schulterstern lässt sich so auf

eine tatsächliche physikalische Entwicklung von Beteigeuze zurückführen.

Astrophysikalischer Erkenntnisgewinn

Es steckt aber noch mehr darin: Da man die genaue Entfernung von Beteigeuze nur schwer bestimmen kann, ist auch seine Masse beziehungsweise sein Alter nicht gut bekannt. Man weiß demnach nicht so ganz genau, auf welchem Entwicklungsweg er sich näherhin befindet. Theoretisch gerechnete Entwicklungspfade von Sternen im Hertzsprung-Russell-Diagramm, die durch viele moderne Beobachtungen geeicht sind, zeigen die zeitliche Entwicklung der Sterne in Helligkeit und Farbe.

Durch den historischen Befund – und nur dank diesem – lassen sich nun die theoretischen Modelle sehr stark einschränken. Der Entwicklungspfad von Beteigeuze muss die historische Farbänderung widerspiegeln. So können grundlegende Parameter wie Masse, Alter und Entfernung deutlich besser bestimmt werden. Hier können nun weitere Arbeiten anschließen, um die Natur von Beteigeuze umfassender zu verstehen. Erst kürzlich fiel der Stern durch eine vorübergehende, auch mit dem bloßen Auge feststellbare Helligkeitsabschwächung auf; dabei behielt er seine rote Farbe (siehe »Mysteriöser Schwächeanfall« und SuW 3/2020, S. 24).

Das methodisch neu aufgestellte Forschungsfeld, das am Astrophysikalischen Institut der Universität Jena in enger Zusammenarbeit mit anderen seit Jahren aufgebaut wird, verfolgt den Zweck, his-

torische Himmelsbeobachtungen als Erkenntnisschlüssel zu verwenden, wann immer möglich überall dort, wo Problemen mit den Mitteln der modernen Astrophysik allein nicht wirklich beizukommen ist. »Terra-Astronomie« schöpft aus terrestrischen Archiven (historischen wie auch natürlichen, zum Beispiel von Radioisotopen), um astrophysikalische Fragen voranzubringen, die auch irgendwie unsere Erde, das heißt »Terra«, betreffen – die Supernova von Beteigeuze steht freilich nach den jetzt gewonnenen neuen Erkenntnissen erst in rund 1,5 Millionen Jahren an.

Dagmar L. Neuhäuser ist Anthropologin. Sie forscht und publiziert zur kultur- und naturwissenschaftlichen Relevanz historischer Himmelsbeobachtungen; zusammen mit Ralph Neuhäuser hat sie »Terra-Astronomie« initiiert. Sie ist Koautorin einer aktuellen Veröffentlichung zu Beteigeuze.

Literaturhinweis

Neuhäuser, R. et al.: Colour evolution of Betelgeuse and Antares over two millennia, derived from historical records, as a new constraint on mass and age. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 516, 2022. doi.org/10.1093/mnras/stac1969

Weblinks

Terra-Astronomie: <https://www.astro.uni-jena.de/index.php/terra-astronomy.html>

W I S Didaktische Materialien: www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1377450