

## Beteigeuze – ein schwächelnder Riesenstern erwacht [15. Apr.]

Die meisten Menschen kennen das **Wintersternbild Orion** (Ori) (Abb. 1). Der *Himmelsjäger* erstreckt sich über einen großen Teil des Sternenhimmels. Selbst von der Stadt aus erkennt man relativ leicht vier hellere „Ecksterne“ und drei schräg stehende Sterne inmitten des Rechtecks, dem *Gürtel des Orion*. Die oberen beiden Sterne des großen Rechtecks, *Beteigeuze* und *Bellatrix*, nennt man die *Schultersterne* des Himmelsjägers.

Abb. 1

### Schematische Darstellung des Wintersternbilds Orion (Ori).

Im Winter kann man das Sternbild Orion bereits inmitten einer Stadt erkennen. Es macht sich vor allem durch die vier hellen Ecksterne und drei schräg stehende Sterne in der Mitte des Rechtecks bemerkbar. Die oberen beiden Sterne bezeichnet man als Schultersterne des Orion. Rechts unten leuchtet weißlich der helle Stern *Rigel*. Links oben befindet sich der orangefarbene Stern *Beteigeuze*.

© Stellarium/yaw



## Beteigeuze, der Riesenstern

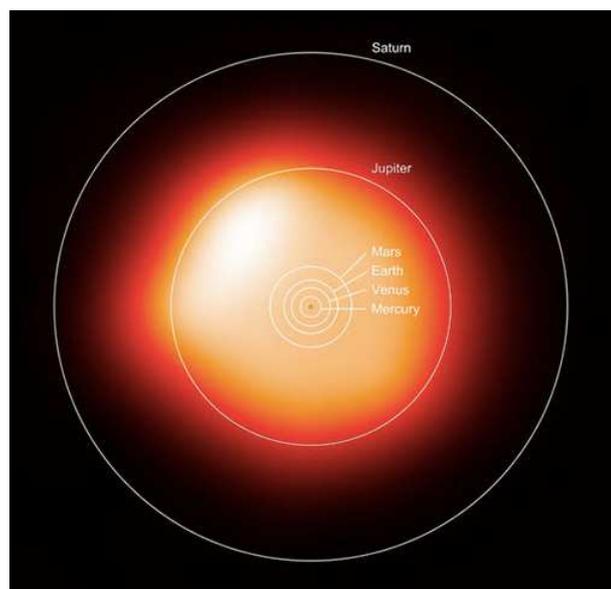
Den Stern Beteigeuze kennen die meisten *Amateurastronomen* als einen der beiden hell leuchtenden Sterne im oberen Bereich des Sternbilds Orion (Ori). Gegenüber dem weißlich leuchtenden Stern *Rigel* (rechts unten) strahlt Beteigeuze eher orangefarben am Himmel.

Beteigeuze ist einer der uns nächstgelegenen **Roten Überriesensterne** (Roter Überriese) und der hellste *Überriese* (Überriese), den man am Nachthimmel mit dem bloßen Auge erkennen kann. Der Riesenstern ist seit langem ein interessantes Studienobjekt, wenn es um die letzten Entwicklungsphasen derart massereicher Sterne geht. Der **Durchmesser** des Sterns liegt bei dem rund 800-fachen unserer Sonne (Abb. 2).

Abb. 2

### Schematische Darstellung des Durchmessers von Beteigeuze.

Der Durchmesser des Überriesensterns würde weit über die Bahn des *Riesenplaneten Jupiter* ragen. (Durchmesser Beteigeuze in Falschfarben dargestellt.) - © ESO



Beteigeuze befindet sich in einer Entfernung von rund *722 Lichtjahren* (Lj) von der Erde. Erst seit rund 100.000 Jahren befindet er sich im Stadium eines Roten Überriesensterns. Noch vor etwa 8-9 Millionen Jahren befand sich der Stern in einem Stadium, in dem er – wie die Sonne – *Wasserstoff* (H) zu *Helium* (He) verbrannte, jedoch leuchtete er damals bläulich und war wesentlich heißer.

### Konvektive Zellen

Die Wissenschaftler beobachten seit Jahren **Variationen der Oberflächenhelligkeit** von Beteigeuze. Die Helligkeitsschwankungen werden durch riesige *Konvektive Zellen* (Abb. 3) verursacht, die sich auf der „Oberfläche“ Roter Überriesen befinden. Diese großskaligen „Sternflecken“ werden dem enormen *Magnetfeld* in den Oberflächenschichten des Sterns zugeschrieben.

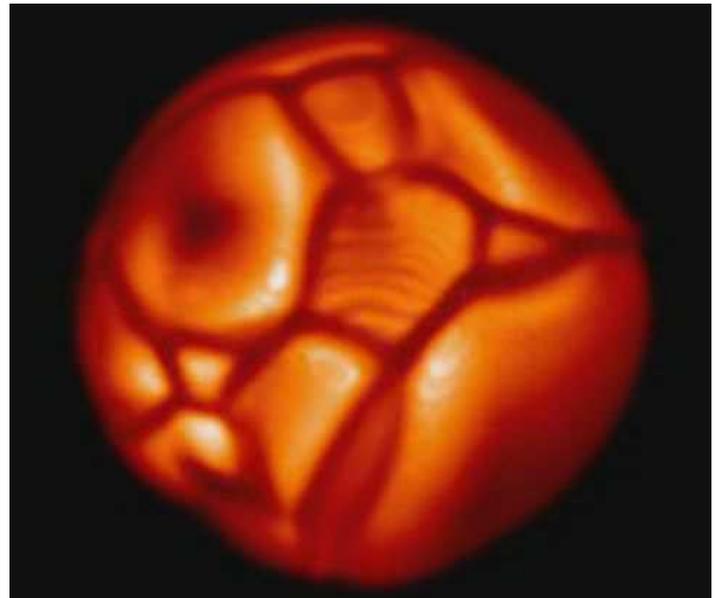


Abb. 3

Schematische Darstellung riesiger stellarer konvektiver Zellen bei Überriesensternen.

Schon lange vermutet man, daß die Oberfläche von Überriesensternen von enormen konvektiven Zellen durchsetzt ist. Die Sonne zeigt ebenfalls Konvektionszellen, die jedoch wesentlich geringere Durchmesser besitzen.

© B. Freytag//Inst. for Astronomy and Space Physics//Univ. Uppsala

Die riesigen konvektiven Zellen enthalten **hell leuchtende Flecken** (Abb. 3, 4). Die Strukturen zeigen teilweise enorme zeitliche Veränderungen, was mit Helligkeitsschwankungen der Sterne einhergeht. Eine Simulation findet sich unter [2].

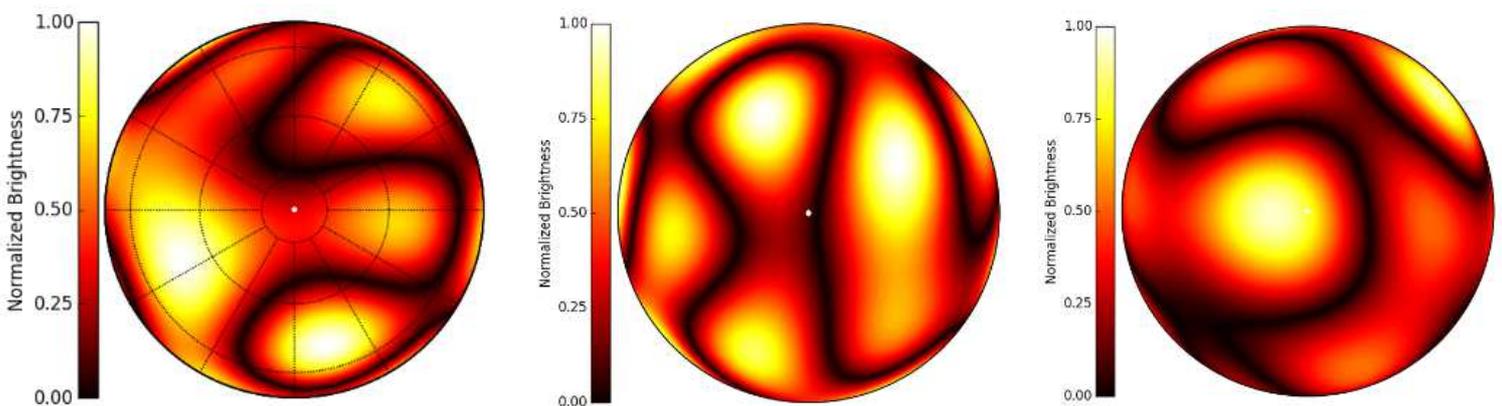


Abb. 4 Konvektive Zellen des Überriesen Beteigeuze von Januar 2014 bis Dezember 2016.

Die Analyse der oberen Sternschichten Beteigeuzes zeigt eine asymmetrische Verteilung der konvektiven Zellen, die sich zeitlich gesehen relativ schnell verändert, hier am Beispiel von Beobachtungen im Januar 2014 (links), Dezember 2015 (Mitte) und Dezember 2016 (rechts). – Farben entsprechen Helligkeiten: gelb=sehr hell, dunkle Bereiche=lichtschwach, normierter Helligkeitsbereich (0-1).

Wahrscheinlich handelt es sich bei Beteigeuze um einen Stern mit ursprünglich rund 20 *Sonnenmassen*. Am Ende seiner Entwicklung könnte er in einer *Supernova vom Typ II* enden. Wann das geschieht, ist unklar.

Die äußersten Bereiche des *Gasriesen* rotieren mit einer Geschwindigkeit von rund 15 Kilometern pro Sekunde, viel schneller als die gewöhnlicher Roter Überriesensterne. Dies könnte darauf hindeuten, daß der Stern aus einem *Doppelsternsystem* hervorgegangen ist.

## Helligkeitsschwankungen

Beteigeuzes Helligkeit wird seit mehr als einem Jahrhundert von professionellen und Amateur-astronomen beobachtet.

Die **Lichtkurve** des Überriesen schwankt mit einer Periode von rund 425 Tagen und resultiert aus *Pulsationen* des Sterns sowie einer weiteren Periode von etwa 5,9 Jahren\*.

Am **7. Dezember 2019** berichtete ein Astronom [3] von einer extrem geringen Helligkeit des Sterns, der geringsten seit 50 Jahren (Abb. 5).

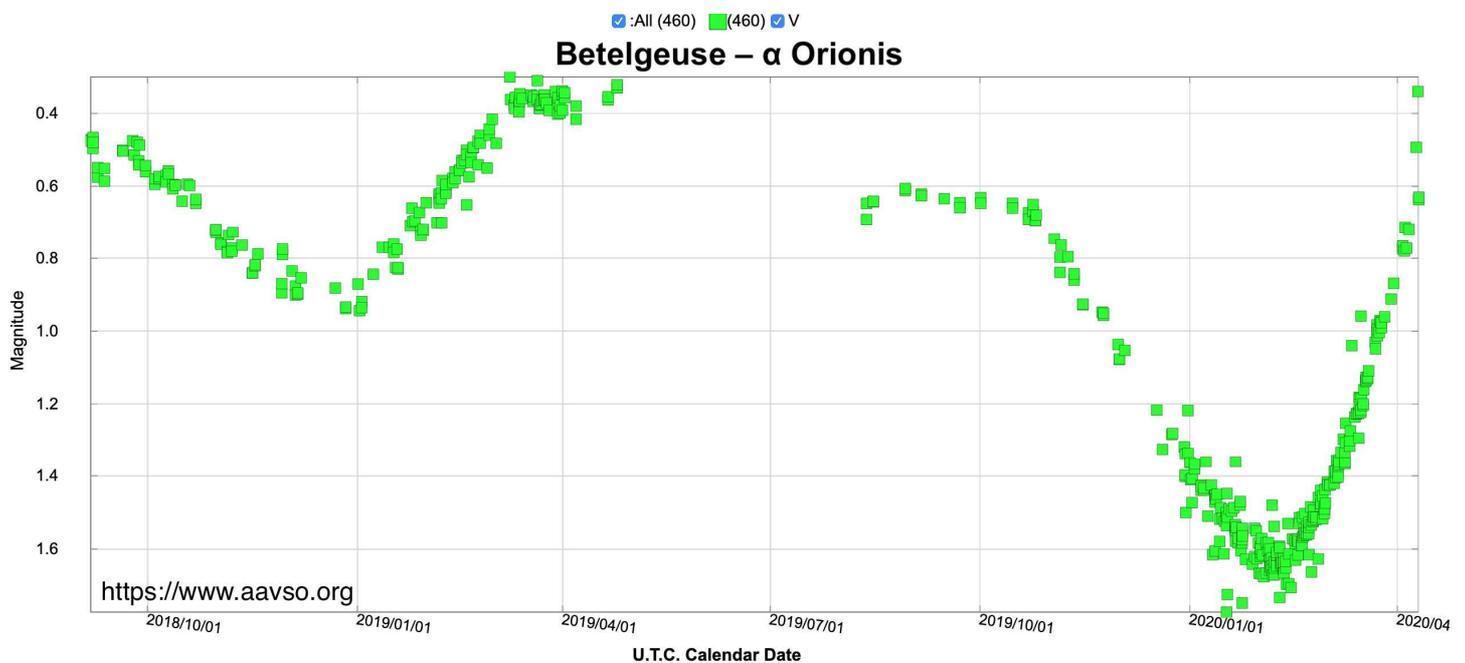


Abb. 5 Lichtkurve des Überriesen Beteigeuze von Oktober 2018 bis April 2020.

Der Stern Beteigeuze ist ein veränderlicher Stern, seine Helligkeit schwankt. Jedoch wurde erstmals seit 50 Jahren ein tiefes Helligkeitsminimum des Überriesen beobachtet, das bisher nicht genau erklärt werden kann. – Datumsformat JJJJ/MM/DD, Magnitude=scheinbare Helligkeit [mag].

© AAVSO

Im Vergleich zur uns bekannten „normalen“ maximalen *scheinbaren Helligkeit* des Sterns von 0,2-0,3 mag sank sie auf lediglich 1,12 mag. Während der nächsten zwei Monate sank Beteigeuzes Helligkeit weiter [4], am 30.01.2020 betrug sie lediglich 1,61 mag (Abb. 6).

Erste Vorhersagen erklärten den **Helligkeitsabfall des Sterns** mit einer gegenseitigen Beeinflussung beider genannten Perioden\* und sagten eine minimale Helligkeit für den Zeitraum 14.-28.02.2020 voraus.

Abb. 6

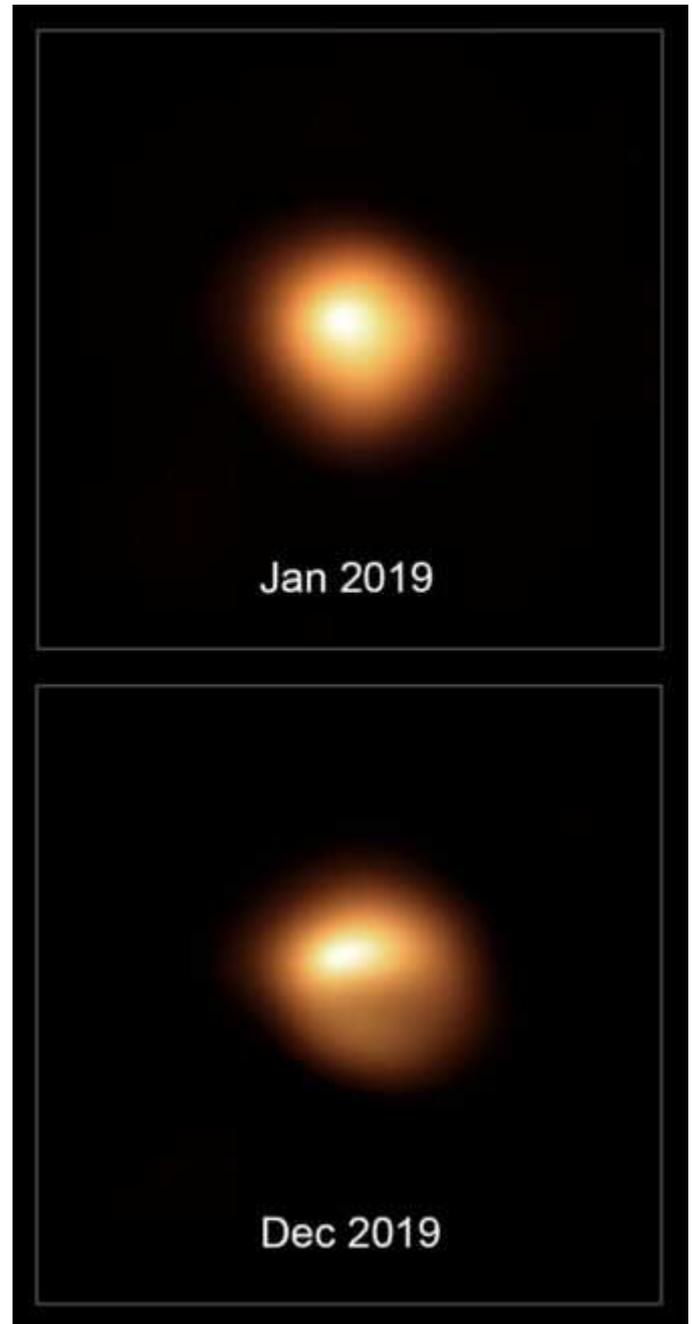
Vergleich der Helligkeit des Sterns Beteigeuze im Januar und im Dezember 2019.

Ein Vergleich der Helligkeit des Sterns Beteigeuze zeigt im Jahr 2019 eine deutliche Änderung der Helligkeit und des Aussehens des Superriesens.

© ESO//M. Montargès et al.

Mithilfe hochauflösender Aufnahmen des VLT (*Very Large Telescope*) vom Dezember 2019 präsentierte sich Beteigeuze mit einer deutlich lichtschwächeren südlichen Hemisphäre im Vergleich zu Aufnahmen vom Januar 2019 (Abb. 6).

Die Presse verwandelte die Helligkeitsabnahme des Sterns sofort in die Spekulation, er würde bald in einer hellen Supernova enden und schürte bereits Panik.



## Erklärungsversuche

Eine mögliche wissenschaftliche Erklärung für die plötzlichen Helligkeitsänderungen basiert auf der Annahme, daß **Variationen der riesigen konvektiven Zellen** in der oberen Sternatmosphäre zu einer temporären Abnahme der Sternhelligkeit führen könnten. Eine andere Erklärung konzentriert sich auf einen episodischen **Masseverlust**, wobei sich Sternmaterie in einer *zirkumstellaren Scheibe* angesammelt hätte und hierdurch *optische Strahlung* des Sterns abschatten könne.

### Die zirkumstellare Scheibe

Der Stern Beteigeuze besitzt möglicherweise aufgrund von massivem Masseverlust während seiner Entwicklung eine **zirkumstellare Scheibe**, wie viele massereiche Rote Überriesensterne (Abb. 7, 8). Im Fall von Beteigeuze kann man durch die Scheibe hindurchblicken, bis zur *Photosphäre* des Sterns, dem Ort, an dem wahrscheinlich die Beschleunigung der Materie nach außen stattfindet.

Die den Stern umgebende aus Gas bestehende Scheibe ist stark asymmetrisch, ihr Durchmesser beträgt etwa 2-3 *Sternradien*. Eine ebenfalls asymmetrische und unvollständige Scheibe aus Gas befindet sich innerhalb von 3 Sternradien.

Die Anwesenheit von Staub in der unmittelbaren Nähe des Sterns wird von *Sternwind* beeinflusst. Die beobachtete Asymmetrie bestätigt die Annahme, daß der Masseverlust des Sterns in Verbindung mit den konvektiven Bewegungen in der Atmosphäre steht.

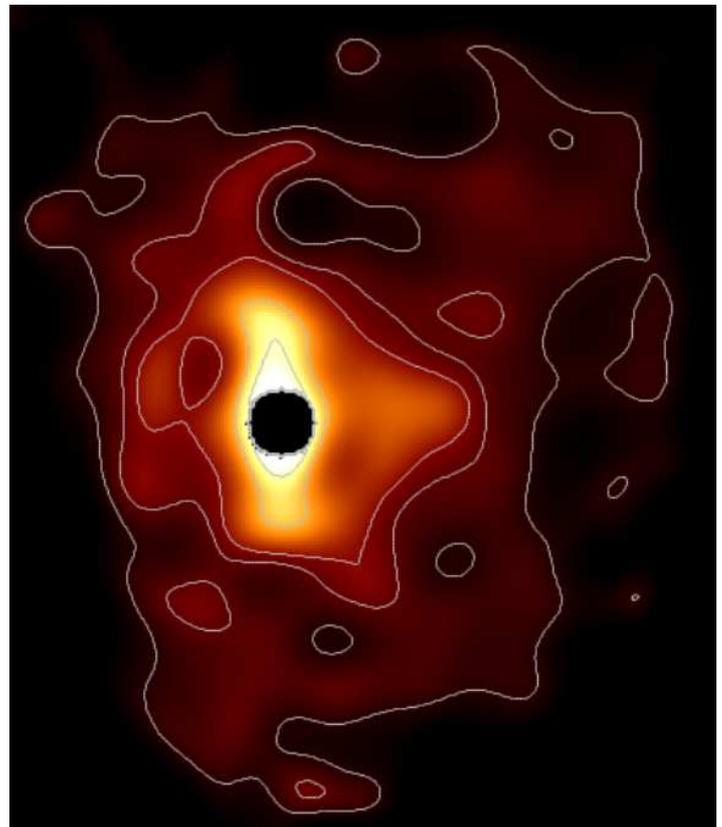


Abb. 7

Lage und Form der zirkumstellaren Scheibe um den Stern Beteigeuze im *NeII*-Bereich.

Beteigeuze ist von einer heißen Gas- und einer Staubscheibe umgeben, die beide ein stark asymmetrisches Aussehen besitzen.

© ESO//P. Kervalla

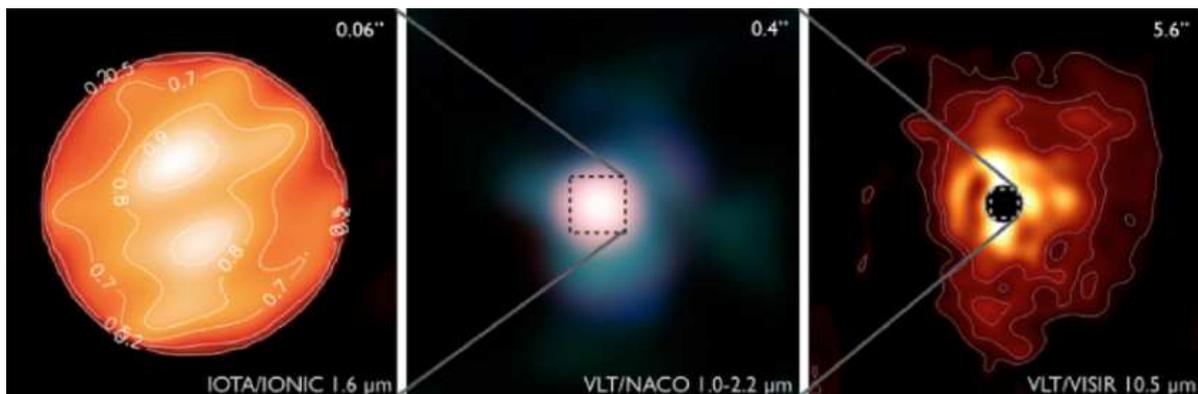


Abb. 8 Lage und Form der zirkumstellaren Scheibe um den Stern Beteigeuze.

Der Stern Beteigeuze (links) ist nicht nur von einer Staubscheibe (Mitte), sondern auch von einer *molekularen Scheibe* (rechts) umgeben.

© P. Kervalla

Ergebnisse der *optischen Spektrometrie* vom 15.02.2020 mit dem 4,3m *Lowell Discovery Telescope* (LDT) deuten an, daß die niedrigere mittlere Oberflächentemperatur des Sterns im Vergleich zu Beobachtungen aus dem Jahr 2004 mit dem Auftreten starker optischer **TiO-Banden** (*Titanoxid*) verbunden ist. TiO-Banden stehen in einem direkten Zusammenhang mit der Temperatur in den oberen Schichten von Überriesensternen.

Modellatmosphären von Überriesensternen zeigen, daß die Temperatur der äußeren Schichten von Beteigeuze lediglich maximal 50 Grad niedriger sein sollte als im Jahr 2004, jedoch kann dies die relativ große Helligkeitsabnahme des Sterns nicht erklären; sie entspräche mindestens einer Temperaturabsenkung von 100 Grad. Die Temperaturabnahme steht daher offensichtlich nicht in einem direkten Zusammenhang mit der geringeren scheinbaren Helligkeit Beteigeuzes. Ansonsten müßten die TiO-Banden wesentlich stärker ausgeprägt sein und die Temperaturabnahme wesentlich höher.

Die Ergebnisse deuten eher auf eine temporäre „**kalte Periode**“ der **Sternoberfläche** hin, möglicherweise aufgrund einer Veränderung in der Konvektion des Sternes.

### ***Staubkörner***

Im letzten Jahr untersuchten Wissenschaftler die **Entstehung von Staubkörnern um Rote Überriesensterne**.

Im Fall von Beteigeuze vermuten Forscher die Existenz von Staubkörnern mit einem Durchmesser von etwa  $0,3\mu\text{m}$ ; sie befinden sich wahrscheinlich in einem **Staubhalo** um den Stern (Abb. 7, 8), wahrscheinlich in einer Entfernung eines halben Radius oberhalb der Photosphäre (Abb. 7, links) [6], einer Region, in der der größte Teil der Lichtabschwächung durch zirkumstellaren Staub stattfindet (Abb. 9).

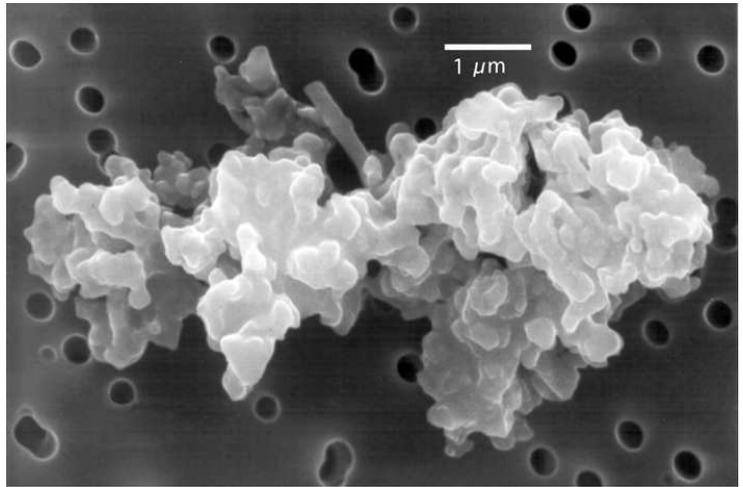


Abb. 9 *Ansicht interstellares Staubkorn.*

Gewöhnliche interstellare Staubkörner besitzen Durchmesser von einigen Mikrometern. Im Vergleich beobachtet man, daß der Stern Beteigeuze von einer zirkumstellaren Scheibe, in der sich Staubkörner mit Durchmessern von  $0,3$  Mikrometern befinden, umgeben ist. Sie sind wesentlich kleiner als die des *interstellaren Raumes*.

© Wikipedia

Derartig große Staubkörner – wie man sie in der zirkumstellaren Scheibe um Beteigeuze findet, kennt man aus der Umgebung einiger *Novae*. Die Wirkung größerer Staubkörner ist ein „**Vergrauen**“ des **Sternlichtes** im *optischen Spektralbereich*.

Die Zeitskala der Abschwächung des Sternlichtes von Beteigeuze stimmt zudem mit Studien zum Masseverlust und der Staubeinstehung um Rote Überriesen überein. Beobachtungen von zirkumstellare Staubschalen um diese Sternarten zeigen **episodische Ausbrüche und asymmetrischen Masseverlust** [7].

Beobachtungen aus dem Jahr 2018 [6] weisen auf einen asymmetrischen Masseverlust sowie die Entstehung von Staub um Beteigeuze. In unserer Nachbargalaxie, der *Großen Magellhanschen Wolke* (LMC) existieren Rote Überriesen, deren zirkumstellare Rötung des Lichts im Zeitraum von Monaten variiert.

Daher könnte die **Zunahme größerer Staubkörner** durch einen episodischen Masseverlust von Beteigeuze entstanden sein und die aktuelle Entwicklung seiner Lichtkurve erklären.

Anfang 2019 entdeckte man auf Aufnahmen mit dem VLT ausgedehnte dunkle Regionen im Bereich der südlichen Hemisphäre von Beteigeuze, die jedoch keinen bedeutsamen Abfall der Temperatur aufweisen.

### **Ausblick**

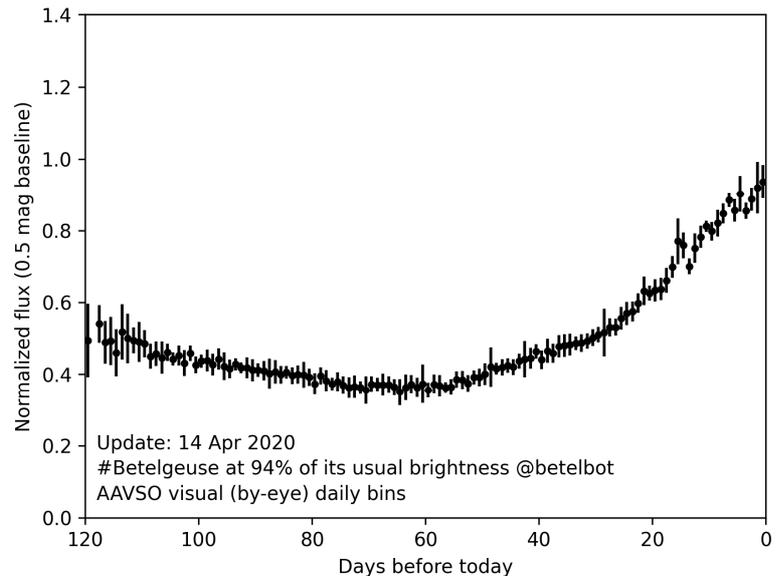
Zur Bestätigung der Theorie der Zunahme von größeren Staubkörnern um Beteigeuze sind weitere Beobachtungen notwendig. Hier könnten Beobachtungen im *UV-Bereich* Strukturen der äußeren Sternatmosphäre entdecken sowie ungewöhnliche Signaturen von Staubrektionen.

Messungen im MIR (*Mid Infrared*) könnten dazu beitragen, die Masse, die Verteilung und die Zusammensetzung des zirkumstellaren Staubes zu quantifizieren. Eine Kombination sämtlicher Beobachtungen würde helfen, den ungewöhnlichen Helligkeitsrückgang des Riesensterns zu erklären und Licht in die Entwicklung derartiger massereicher Sterne bringen, die im Endstadium als Supernovae enden können.

### Stand 14.04.2020

Im Übrigen hat die Helligkeit von Beteigeuze innerhalb der letzten Wochen wieder zugenommen, wenngleich langsam (Abb. 10). Selbst wenn der Stern in einer Supernova bisher nicht zerrissen wurde, existiert kein Grund, ihn nicht weiter zu beobachten.

Abb. 10  
Lichtkurve Beteigeuze (Stand 14.04.2020).  
Inzwischen ist Beteigeuze wieder heller geworden und hat seine „alte“ Brillanz fast erreicht.  
© AAVSO



Inzwischen besitzt Beteigeuze eine scheinbare Helligkeit von **0,64 mag** und ist damit heller als der rötlich leuchtende Hauptstern des Sternbilds Stier (*Tau*), *Aldebaran* (0,9 mag).

Rote Überriesensterne sind im allgemeinen sehr dynamisch. Die Wissenschaftler wollen mithilfe der Beobachtung dieser Sterne mehr über Temperaturfluktuationen, den sie umgebenden Staub, Konvektionszellen und ihre Entwicklung lernen, auch um erklären zu können, was letztendlich bewirkt, daß sie als Supernova enden.

Falls Sie Fragen und Anregungen zu diesem Thema haben, schreiben Sie uns unter **kontakt@ig-hutzi-spechtler.eu**

Ihre  
IG Hutzi Spechtler – Yasmin A. Walter (yaw)

Quellenangaben:

[1] Mehr Information über astronomische Begriffe  
[www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

[2] Simulation konvektiver Superzellen bei Überriesensternen  
<https://scitechdaily.com/images/Giant-Convection-Cell-Simulation.gif>

[3] Guinan, E.F., et al., <http://www.astronomerstelegam.org/?read=13341> (2019)

[4] Mehr Information zu Beteigeuzes Helligkeitsschwankungen  
<http://www.astronomerstelegam.org/?read=13365>  
<http://www.astronomerstelegam.org/?read=13410>  
<http://www.astronomerstelegam.org/?read=13439>  
<http://www.astronomerstelegam.org/?read=13512>  
<http://www.astronomerstelegam.org/?read=13525>  
<http://www.astronomerstelegam.org/?read=13601>

[5] López Ariste, A., et al., *A&A* 620, A199 (2018)

[6] Haubois, X., et al., *A&A* 628, A101 (2019)

[7]

Scicluna et al., *Proceedings of the International Astronomical Union* (2015)

Scicluna et al., *A&A*, 584, 10 (2015)

Levesque, E.M., Massey, P., *APJL* (2020) – *accepted for publication*