

## Beteigeuze - Tod eines Riesen ?

Abb. 1: Sternbild Orion ([Credits:](#)

[ESO Press Releases 2009](#))

Der rote Überriese **Beteigeuze** (engl. Betelgeuse), der linke obere Schulterstern des [Sternbildes Orion](#), ist in vielerlei Hinsicht ein außergewöhnlicher Stern: zunächst mal ist er riesig. Sein Durchmesser ist etwa 700 mal größer als der unserer Sonne, Sol, und er strahlt etwa 10.000 mal so hell wie diese. Wäre Beteigeuze der zentrale Stern in unserem Sonnensystem, so würde er dieses bis knapp an die Bahn des Gasriesen Jupiter ausfüllen, siehe auch unten Abb. 3 auf dieser Seite. Beteigeuze steht in etwa 640 Lichtjahren Entfernung zu uns und ist wegen seiner Größe neben [Mira im Sternbild Walfisch](#) der einzige Stern, der mit heutiger Teleskoptechnik als eine Scheibe aufgelöst werden kann. Sein Durchmesser von etwa 1.4 Mrd. km (!) erscheint von der Erde aus als verwaschener Fleck von etwa 43 Milli-Bogensekunden.

Beteigeuze ist der zehnthellste Stern am terranischen Himmel. Er befindet sich in der letzten Phase seines - für Sterne dieser Dimensionen - ohnehin recht kurzen Lebens von nur einigen Millionen Jahren. Er ist unruhig und bläst in Form eines heftigen "Sternenwinds" eine riesige Menge an Molekülen und Staub ins freie Weltall. Dieses Material fließt in den Kreislauf der Elemente und dient als Baustoff für die nächste Generation von Sternen, vielleicht auch für Planeten ähnlich der Erde. Wie gewaltig dieser Materieverlust ist, läßt sich eindrucksvoll fotografisch an z.B. Mira sehen: dieser rote Riese zieht eine [Schleppe von Gas und Auswurfmaterial](#) hinter sich her, die 13 Lichtjahre lang ist. Diese Schleppe enthält die durch die thermonuklearen Vorgänge im Sterninneren erbrüteten schwereren Elemente wie Kohlenstoff, Silizium, Phosphor bis hin zu Eisen, aus denen auch unsere Erde und wir Menschen selbst bestehen.

Abb. 2: hochaufgelöste Aufnahme von Beteigeuze vom Weltraumteleskop Hubble. Die Aufnahme zeigt die Inhomogenität der Sternoberfläche. Der weisse Bereich in der Mitte ist 2000 K heisser als seine Umgebung. ([Credits: Wikipedia](#))

Abb. 3: Schematische Darstellung der Dimensionen von Beteigeuze ([ESO PR Foto 27d/09](#))

Man weiß durch Interferometrie-Messungen, dass der Durchmesser von Beteigeuze in regelmäßigen Abständen schwankt. Bei dieser Messmethode werden zwei oder mehr Einzelteleskope zusammengeschaltet und liefern so eine höhere Winkelauflösung als ein Einzelteleskop. Das Very Large Telescope Interferometer (VLTi) auf dem Cerro Paranal in Chile, das von der Europäischen Südsternwarte (ESO) betrieben wird, ist eines der größten Interferometer der Erde. Mit diesem Gerät und einer speziell entwickelten Messtechnik, bei der die Interferometrie-Ergebnisse mit kurz belichteten Zufallsbildern kombiniert werden ("Lucky Imaging"), bei denen aufgrund der kurzen Belichtungszeiten die Erdatmosphäre-Unschärfeeefekte minimalisiert werden, konnten die bisher höchstaufgelösten Bilder von Beteigeuze geschossen werden, die es bis dato gibt.

Die Ergebnisse dieser Messungen sind höchst interessant. Zunächst einmal zeigt sich, dass es in der Atmosphäre dieses Riesen gewaltig brodelt. Beteigeuze entwickelt gigantische Gasblasen aus Sternenmaterie, die teilweise den Durchmesser der Marsbahn haben und damit selbst den Durchmesser von kleineren Sonnen erreichen und sich mit 40.000 km/h bewegen ! Diese Gasblasen werden asymmetrisch ausgestossen. Damit fließt die Materie nicht ruhig und gleichförmig als Sternenwind ab, sondern eher explosiv in Form von Materiebögen oder Klumpen. Der Masseverlust selbst ist enorm.

Daneben zeigt der Vergleich der Messungen von 1993 und 2009, dass Beteigeuze in absolutem Maßstab trotz aller periodischen Schwingungen schrumpft - und zwar sehr schnell für kosmische Maßstäbe. In den 15 Jahren seit den ersten Messungen ist der Durchmesser des Sterns im Mittel von 1,64 Mrd. Kilometern Durchmesser auf 1,38 Mrd Kilometer und damit um 15% geschrumpft, vielleicht auch wegen des gewaltigen Masseverlustes von mehr als einer Erdmasse pro Jahr.

Abb. 4: Beteigeuze im normalen Teleskopbild von der Erde ([Credits: ESO PR 27c/09](#))

Abb. 5: Asymmetrische Gaswolken um Beteigeuze im nahen Infrarot aufgenommen mit der AMBER/Lucky Imaging-Technik ([Credits: ESO PR 27c/09](#))

Der Tod von Beteigeuze steht in kosmischen Maßstäben unmittelbar bevor: In einigen Tausend bis Hunderttausend Jahren wird Beteigeuze als kosmisches Feuerwerk aufflammen - als Supernova. Dabei implodiert der gesamte riesige Stern innerhalb von Sekundenbruchteilen und schleudert seine gesamte äußere Masse in den Weltraum. Zurück bleibt ein superdichter Neutronenstern von einigen Kilometern Durchmesser, der langsam in einigen Hunderttausend Jahren abkühlt und als brauner Zwerg endet. Da der Gigant der Erde mit 640 Lichtjahren vergleichsweise nahesteht, wird man dieses kosmische Feuerwerk mit bloßem Auge sogar am Taghimmel sehen können. Es würde die Helligkeit der Vollmondscheibe haben und mehrere Tage bis Monate sichtbar sein. Glücklicherweise ist die Rotationsachse dieses Giganten von der Erde weggerichtet, sodaß der mit dem Tod des Sternes einhergehende gewaltige Gammastrahlenblitz uns verfehlen und für die Biosphäre unseres Solystems keine Auswirkungen haben würde.

Das Eintreten des Supernovaereignisses ist nicht vorherzusehen, die Schätzungen belaufen sich auf einige Hundert, über einige Tausend, bis hin zu etwa Hunderttausend Jahren. In kosmischen Dimensionen gedacht also - **jetzt !** Nach der Theorie ist der Beginn der Bildung einer Supernova geknüpft an ein Schrumpfen eines Sterns, wenn das Gleichgewicht zwischen der Kernfusionsreaktion im Innern mangels weiterem Brennstoff und der Schwerkraftdruck der Gashülle eines Sterns nicht mehr gegeben ist. Der Schrumpfungsprozeß beschleunigt sich immer mehr, weil der gewaltigen Gravitationsmasse des Sterns keine entsprechende Gegenreaktion im Sterninneren mehr gegenübersteht. Ab einer kritischen Distanz beschleunigt sich der Prozeß derart, daß plötzlich der Stern in einem Sekundenbruchteil kollabiert und seine äußere Hülle in einer unvorstellbaren Explosion abstößt - eine Supernova wird geboren.

Besonders faszinierend ist es, sich vorzustellen, dass Beteigeuze sein Ende bereits gefunden haben und zu dem Zeitpunkt, wenn Sie diesen Artikel lesen, bereits zu einem Neutronenstern geworden sein könnte. Aufgrund der Entfernung von 640 Lichtjahren kann es nun noch bis zu 640 Jahren dauern, bis wir dieses Ereignis auch optisch mitbekommen - so es denn schon stattgefunden haben sollte.

Einige Links für weitere Informationen zu diesen faszinierenden Vorgängen im Weltraum:

<http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2009/pr-27-09.html>

<http://www.astronews.com/news/artikel/2009/07/0907-041.shtml>

<http://www.freihonnefer.de/beteigeuze.htm>

<http://www.raumfahrer.net/news/astronomie/30072009151733.shtml>

**zwei heiße Konvektionszonen auf der Oberfläche von Beteigeuze. Der größere der beiden Flecken hat einen Durchmesser, der der 1,5 fachen Entfernung der Erde von der Sonne entspricht. Unsere Sonne wäre nur ein winziges Pünktchen in einem der Flecke.**  
die Beteigeuze umgebende

Gaswolke im IR-Licht der

VISIR-Kamera des VLT ([Credit:](#)

[ESO/P. Kervella](#))

**in früheren Jahrtausenden von Beteigeuze in konzentrischen Ringen weggeschleuderte Materie trifft in etwa 5000 Jahren auf eine interstellare Staubwolkengrenze. Diese wird schon jetzt von Beteigeuze im fernen**

**Infrarot beleuchtet**  
[Update 19.01.2010]

In einem Fachartikel bei Astronomy & Astrophysics vom 18. Januar 2010 (**X. Haubois, G. Perrin, S. Lacour, T. Verhoelst, S. Meimon, L. Mugnier, E. Thiebaut, J.P. Berger, S.T. Ridgway, J.D. Monnier, R. Millan-Gabet, W. Traub:** Imaging the spotty surface of Betelgeuse in the H band, [2009, A&A, 508, 923](#)) gelang es einem Team von Astronomen beim Observatoire de Paris, Details der Oberfläche von Beteigeuze sichtbar zu machen. So konnten sie hellere und dunklere Bereiche nachweisen, also kältere und heißere Regionen auf dem Stern. Sie dürften durch Konvektion entstehen, einem Prozess, bei dem Wärme durch

aufsteigende und absinkende Materie transportiert wird. Die Beobachtungen wurden mit dem aus drei Teleskopen bestehenden Infrared-Optical Telescope Array (IOTA) in Arizona gemacht.

Auf den vorgestellten Bildern lassen sich erstmals zwei Flecken erkennen und es war sogar möglich, den Durchmesser des größeren Flecks zu ermitteln. Er beträgt rund ein Viertel des Durchmessers von Beteigeuze, was etwa der eineinhalbfachen Entfernung der Erde von der Sonne (!!!) entspricht. Bei der Analyse der Helligkeiten der Flecken ergab sich, dass sie etwa 500 Grad heißer sind als die mittlere Temperatur des Sterns, die 3.600 Kelvin beträgt.

[Update 24.06.2011]

Ein neues Bild der VISIR Kamera des Very Large Telescopes (VLT) der ESO zeigt, dass die Gaswolken um Beteigeuze herum größer sind als bisher gedacht. Das Bild ist eine Infrarotaufnahme und zeigt in Falschfarben die verschiedenen Bereiche der Gaswolke, die sich in bis zu 400 AE ( 1AE = Entfernung Sonne - Erde) um den eigentlichen Stern herum ausbreiten. Dies sind fast 2 Lichtjahre ! Der kleine rote Kreis im Zentrum des Bildes (siehe Vergrößerung durch Klicken auf das Bild) markiert die Grenzen der sichtbaren Sonnenscheibe, die sich im Solarsystem bis zur Umlaufbahn des Jupiter erstrecken würde. In einer neuen [Veröffentlichung von P. Kervalla et.al.](#) sind die Details beschrieben.

Die Gaswolke stammt zum Teil aus dem Sonneninneren, da innerhalb der Sonne große Konvektionszonen (teilweise von der Größe der Marsbahn !) Material aus verschiedenen Regionen des Sonnenkörpers durchmischen. Analysen der Gaswolke haben ergeben, dass sie zum großen Teil aus Silizium und Aluminium besteht, also aus innerhalb der Sonne durch Kernfusion "erbrüteten" höheren Elementen, aus denen sich Planeten bilden können. Darüberhinaus besteht sie zu großen Teilen aus komplexen Molekülen bis hin zu Kohlenwasserstoffen, die sich bei Abkühlung der ursprünglich heißen Gase bilden können.

Wir blicken hier direkt auf die Entstehungsgeschichte unseres eigenen Sonnensystems und auch uns selbst. Die Bildung von höheren Elementen und Molekülen, aus denen die Planeten und wir selbst bestehen, geschieht in Riesensonnen durch Kernfusion. Wir bestehen quasi aus Sternenstaub, der in Sonnen wie Beteigeuze gebildet worden ist. Siliziumdioxid,  $\text{SiO}_2$ , ist Sand, aus dem mehr als 60% der Erde besteht. Terra besteht somit aus "Wind" von roten Riesen und Überriesen.

Vor Milliarden von Jahren hat ein roter Überriese, wie heute bei Beteigeuze zu sehen, große Mengen von Siliziumdioxid-Staub vermischt mit organischen Substanzen und höheren Elementen in den umliegenden Raum geblasen. Aus diesem bestehen die interstellaren Wolken. Eine dieser Wolken ist irgendwann zu unserer Sonne kondensiert und hat sie und die Planeten gebildet, wie wir sie heute kennen. Wir selbst bestehen aus anorganischem und organischem Material, das in roten Überriesen gebildet wurde. Unsere Sonne, Sol, vom G-Typ, ist aufgrund ihres Alters und Größe nicht in der Lage, solche höheren Elemente zu bilden, denn in unserer Sonne bildet sich durch Kernfusion unter heute herrschenden Bedingungen von Temperatur und Druck aus dem Rohmaterial Wasserstoff "nur" das nächsthöhere Element Helium. Erst ganz am Ende ihrer Lebenszeit wird Sol aufgrund der dann stattfindenden atomaren Prozesse bei höheren Drücken und Temperaturen in der Lage sein, höhere Elemente bis hin zum Eisen zu bilden. Zu der Zeit wird sie dann selbst ein roter Riese geworden sein und alle Planeten bis hin zur Marsbahn geschluckt haben.

Somit ist heute alles Material in unserem Sonnensystem, das nicht aus Wasserstoff besteht, in früheren Sonnengenerationen entstanden. Der Mensch ist im wahrsten Sinne des Wortes ein aus Sternenstaub entstandenes Sternkind.

[Update 23. Januar 2013]

Eine [neue Veröffentlichung des Herschel-Weltraumteleskops der ESA](#) zeigt weitere Vorgänge bei Beteigeuze. Der Masseverlust des Sternes dauert schon länger an und zum ersten Mal wurde im fernen Infrarot dokumentiert, dass sich die von Beteigeuze in der Vergangenheit abgelösten Materiewolken einer interstellaren Staubwolke nähern.

Diese ist von der Riesensonne beleuchtet und das in früheren Ausbrüchen ausgeschleuderte Material des Sterns bewegt sich mit etwa 30 km/s vom Stern weg und wird in etwa 5000 Jahren auf die Staubwolke treffen. Beteigeuze selbst wird weitere 12.500 Jahre später die Staubbarriere erreichen.