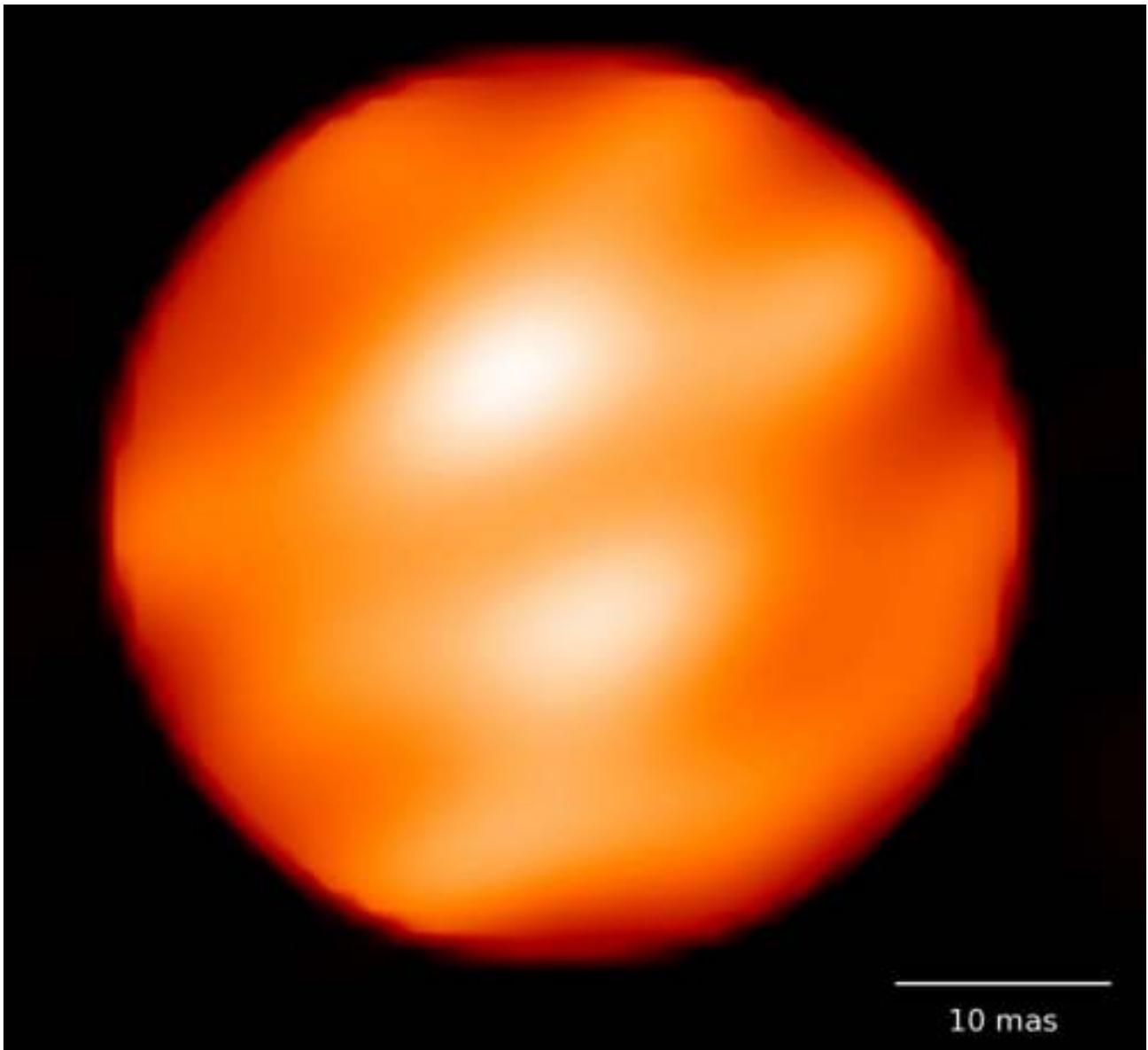


Beteigeuze



Roter Überriese im Orion.

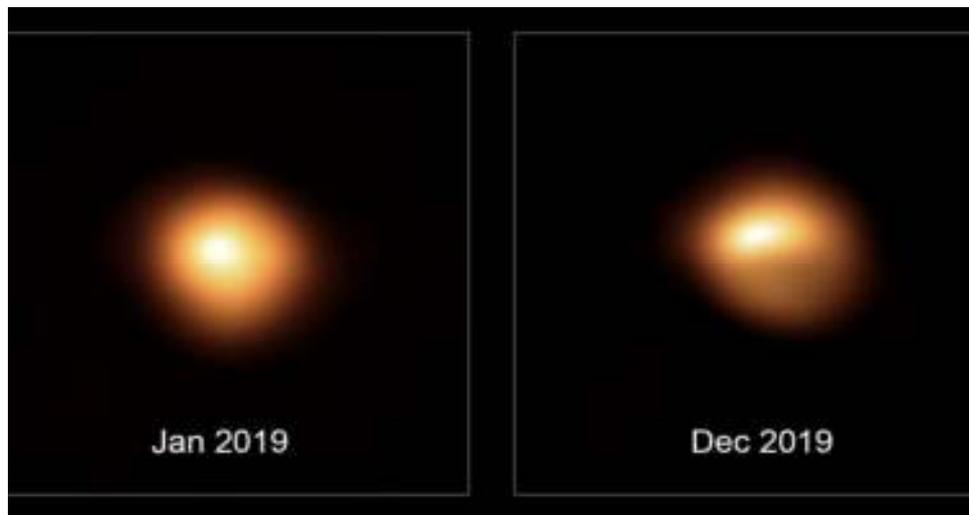
@KVHS – Astrostammtisch

Reinhard Woltmann

13.03.2020

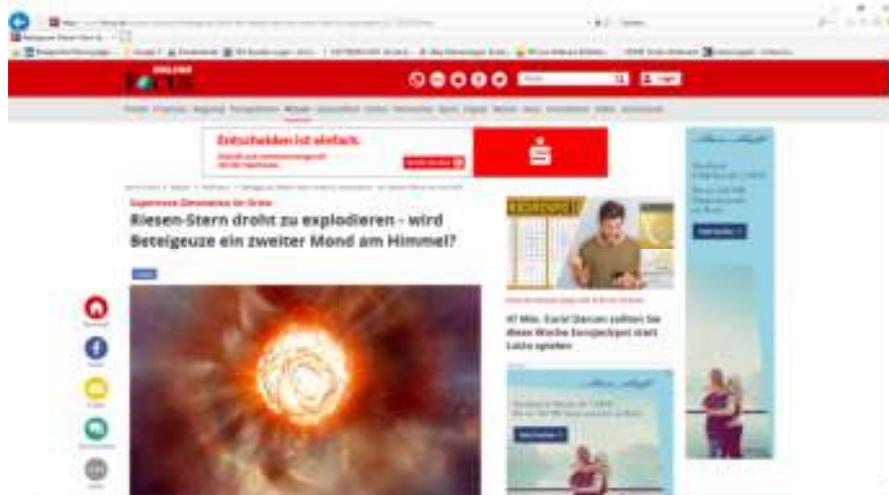
Es kommt zwar nicht sehr oft vor, aber ab und zu gibt es auch mal was Neues am nächtlichen Sternenhimmel. So begann das neue Jahrzehnt mit einer Meldung die aufhorchen ließ.

Beteigeuze..... ein roter Überriese in unserer Nachbarschaft, etwa 640 Lichtjahre von uns entfernt, war etwas schwer ins neue Jahr gekommen, soll heißen, er schwächelte ein bisschen. Genau genommen nahm seine Helligkeit dramatisch ab.



Natürlich gab es in der einschlägigen Presse die wildesten Spekulationen und Untergangsszenarien zu diesem Thema, deshalb soll hier kurz beleuchtet werden, was hier aus astronomischer Sicht tatsächlich geschehen ist.





Man kennt ihn natürlich, den Schulterstern im Sternbild Orion, auch bekannt unter dem wissenschaftlichen Namen „Alpha Orionis“ oder im englischen „BetelTschus“...



Wie auch immer, dieser rote Überriese ist ein gewaltiger Brocken, mindestens 700, wahrscheinlich bis zu 1000 mal im Durchmesser größer als unsere Sonne und er würde, setzt man ihn an die Stelle der Sonne, bis zur Jupiterbahn reichen.

700 mal bis 1000 mal größer, warum sind die Spannen bei den Daten so groß? Genau genommen haben wir einige von solchen Überriesen auf dem Radar, nur üblicherweise sind diese in Verbindung mit einem 2. Stern in einem Doppelstern-System unterwegs und da kann man die Daten sehr gut ermitteln, weil dieser 2. Stern eine gegenseitige Rotation um ein gemeinsames Zentrum herbeiführt und es somit ermöglicht, z.B. mittels Radialgeschwindigkeitsmethode, einige wichtige Daten, zum Beispiel die Masse zu berechnen.

Ja, das haben wir hier, bei Beteigeuze, nicht. Obwohl in unserer näheren Nachbarschaft ist der Abstand des Sterns ungewiss, da die direkte Parallaxenmessung einen Abstand von etwa 495 Lichtjahren ergab. Manchmal wurde auch eine Entfernung von 570 Lichtjahren angeführt.

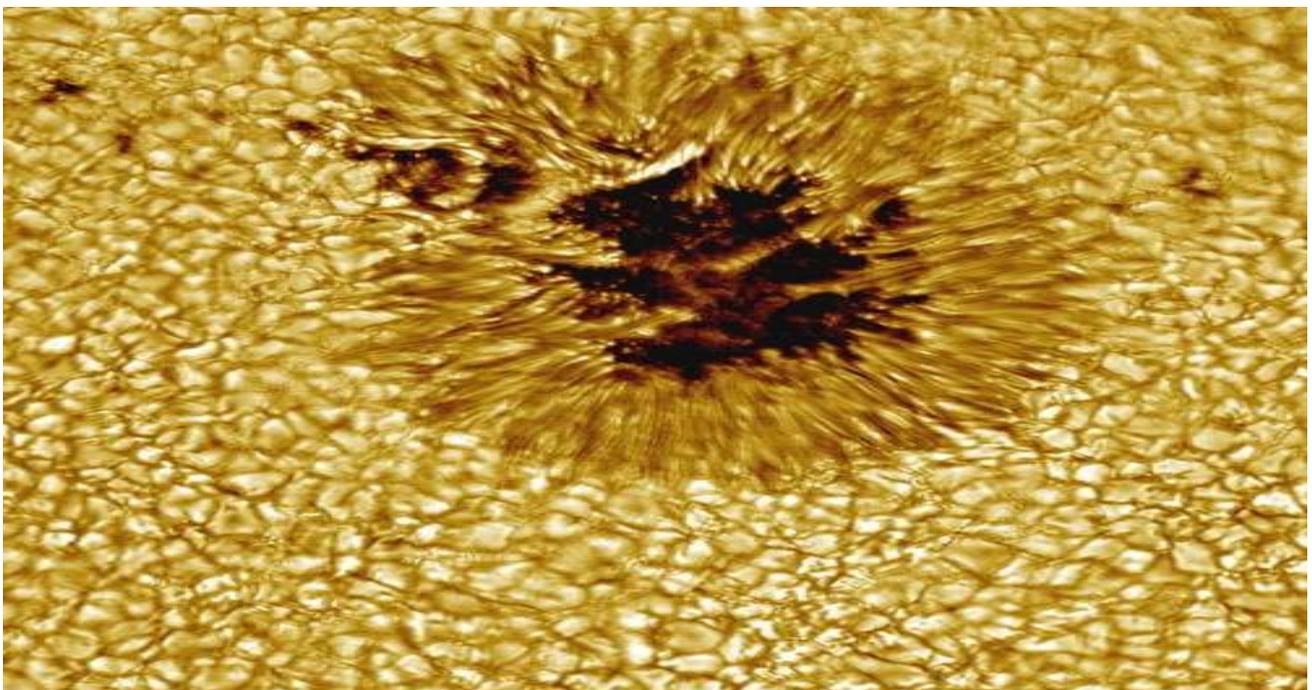
Aufgrund aktueller Daten auch von der Mission GAIA, bei der inzwischen 1,9 Milliarden Sterne vermessen wurden und zwar präziser als je zuvor, hat man jetzt eine Entfernung von 640 Lichtjahre festgelegt.



Bei den Gaia-Daten wurde übrigens für einige der hellsten beobachteten Sterne die jeweilige Position so genau definiert, als wenn man von der Erde aus die genaue Stelle einer auf der Mondoberfläche liegenden Euromünze feststellen könnte.

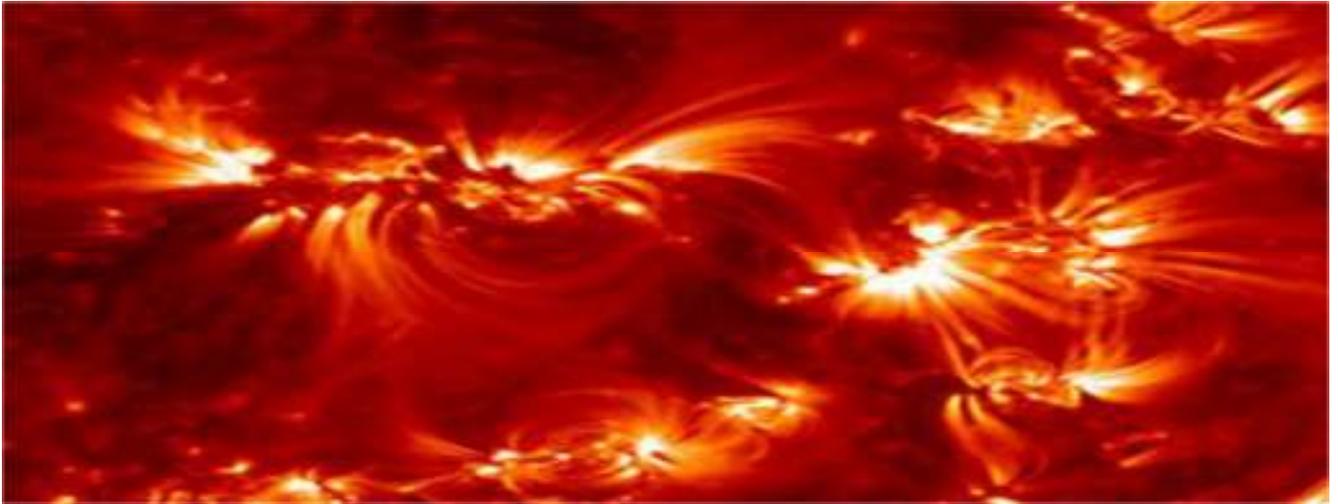
Ja, es gibt hier große Unsicherheiten, generell sind rote Riesen und Überriesen mit Unsicherheiten verbunden. Zum einen, es gibt nicht so viele davon, zum anderen sie existieren für astronomische Verhältnisse nicht so lange und... sie sind ziemlich unruhig.

Rote Riesen sind gewaltige Gas- und Plasmakugeln. Sie treiben riesige Sternwinde an, also viele geladene Teilchen die an der Oberfläche entweichen. Da gibt es große Strömungen, Konvektionsrollen, das kennen wir auch von unserer Sonne, nur in viel größeren Ausmaßen. Da bilden sich sogenannte Granulen, die Strömungen aus dem Inneren hervorbringen, abkühlen und wieder nach unten absinken.

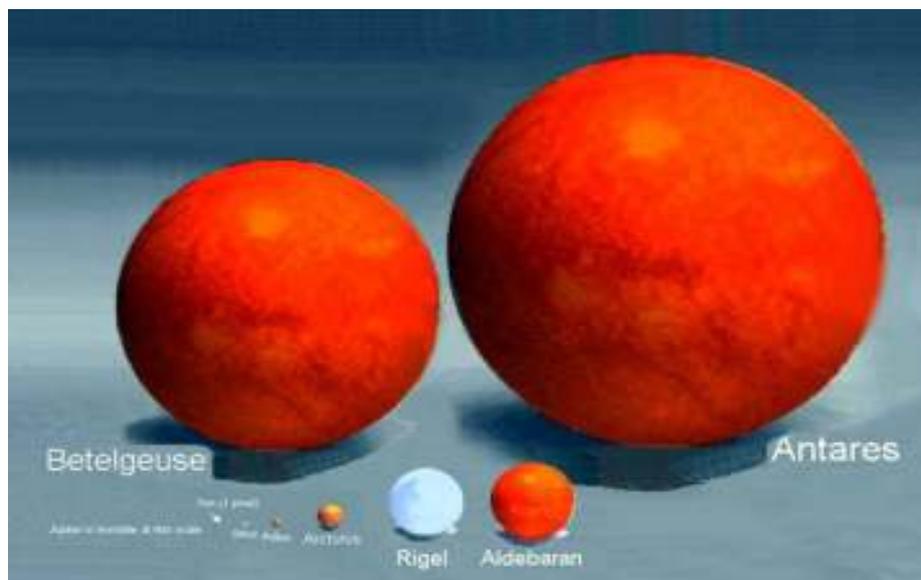


Da entstehen dann auch Sternenflecken, wenn die Ströme unterbunden werden durch Magnetfeldlinien und all diese Dinge.

Aber hier, bei einem roten Überriesen, da ist all das sehr viel größer und dominanter. Da gibt es riesige Bezirke an seiner Oberfläche die hier gemeinsam gewaltige Konvektionsrollen ausführen können.

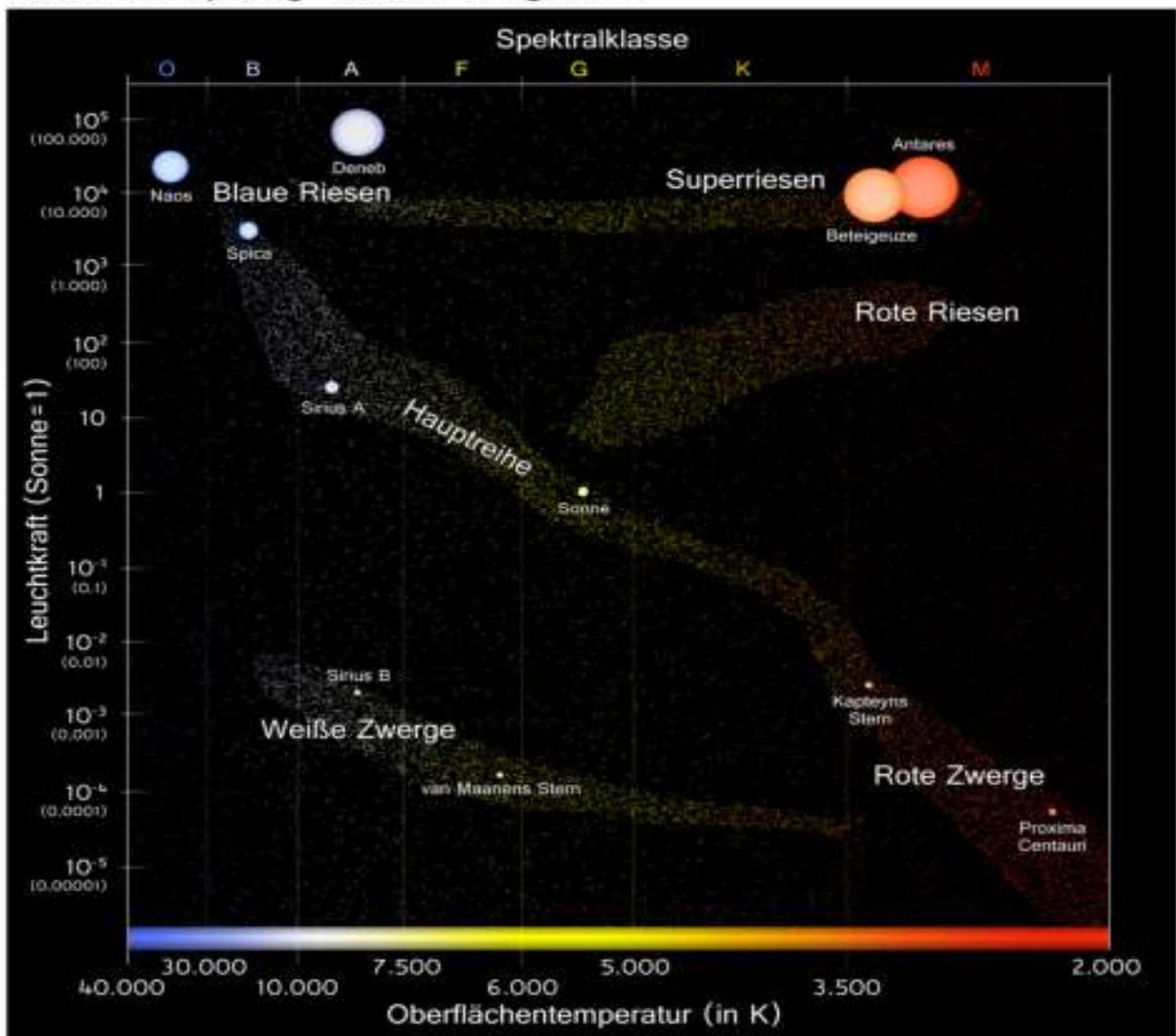


Und die Oberfläche ist wirklich gewaltig. Wenn wir von einem Durchmesser von etwa 900 Sonnendurchmessern ausgehen, darauf hat man sich inzwischen geeinigt, dann ist die Oberfläche ca. 800.000 mal größer als die der Sonne. Oder wenn man sich ausrechnet, wie oft die Sonne hineinpasst in ein so großes Gebilde wie Beteigeuze. Ja, das sind grob gerechnet $(900)^3$ also rund 730 Millionen mal hat die Sonne Platz in solch einem Überriesen.



Das Ausmaß aller dieser Einflüsse ist gigantisch. Der zentrale Fusionsofen im Inneren, der verteilt jetzt seine Energien auf einer viel größeren Oberfläche, dementsprechend ist die Temperatur dort sehr viel geringer als auf unserer Sonne. Während auf der Sonnenoberfläche ca. 5780 Kelvin herrschen, haben wir es hier mit etwa 3450 Kelvin zu tun, Tendenz fallend.

Das Hertzsprung-Russell-Diagramm



Und da stecken wir schon mitten drin im Problem. Die Daten änderten sich in den letzten Monaten dramatisch. Insgesamt war Beteigeuze schon eine ganze Weile am Schrumpfen, die Temperatur an der Oberfläche hat ca. 150 Kelvin eingebüßt, und die Helligkeit, die aufgrund der großen Oberfläche natürlich immens ist obwohl die Temperatur geringer ist als auf

der Sonne, da reden wir von 55000 mal Sonnenleuchtkraft hat rapide nachgelassen, deshalb ist Beteigeuze aus den Top Ten der hellsten Sterne am Nachthimmel auf Platz 21 zurückgefallen. All das sind bereits schon große Veränderungen, die man zum Teil auch mit dem bloßen Auge erkennen kann.



Das macht die Leute natürlich neugierig, was ist da los? Und typischerweise, wenn ein roter Überriese solche dramatischen Veränderungen zeigt, dann könnte das natürlich auf eine sich anbahnende Supernova hindeuten.

Hier das Bild der Supernova SN 1994D in der Galaxie NGC 4526 im Sternbild Jungfrau. Die Galaxie wurde bereits 1784 von Wilhelm Herschel entdeckt und ist etwa 50 Mio LJ von uns entfernt. Die max. Helligkeit der SN betrug 11,8 mag, die der Galaxie 10,0 mag. In dieser Galaxie wurde schon einmal im Jahr 1969 die Supernova SN 1969 E entdeckt.

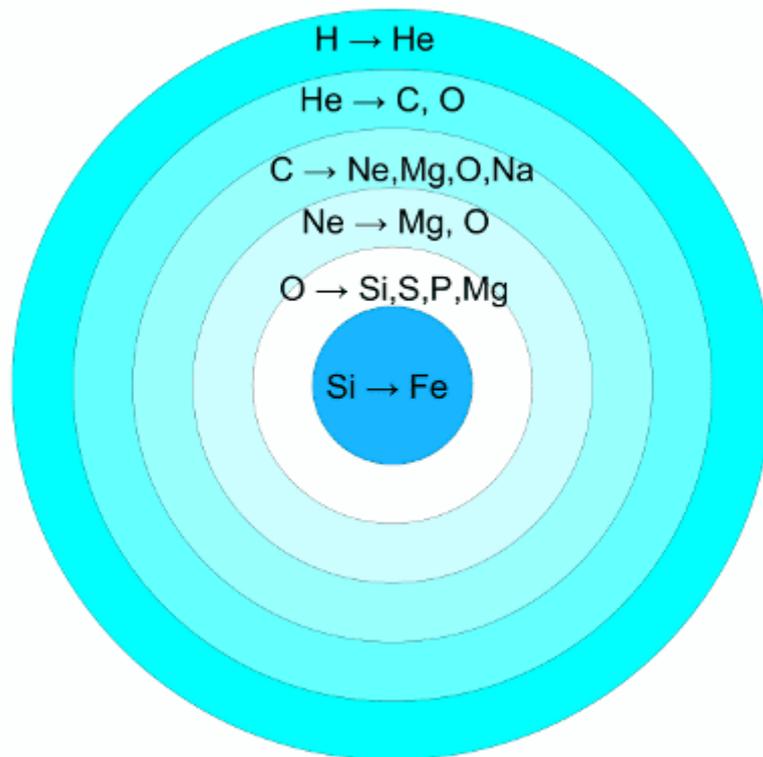


Genau genommen würden wir theoretisch erwarten das die Helligkeit erst einmal rapide ansteigt und dann erst im nächsten Schritt dieses Abfallen stattfindet. Aber bei solchen Überriesen kann auch mal einer aus dem üblichen Rezept herausfallen.

Wüssten wir wenigstens wie alt das Gebilde tatsächlich ist, wäre es auch wieder einfacher, aber da haben wir nur Schätzungen zwischen 7 oder 8, maximal 10 Millionen Jahre. Ja, Millionen Jahre, hier reden wir von ganz anderen Zeitskalen als von unserer Sonne beispielweise, da reden wir von Milliarden Jahren.

Aber hier haben wir auch ca. 20 Sonnenmassen. Das heißt die Kernprozesse laufen sehr viel schneller ab als auf der Sonne. Aber auch hier haben wir bei der Masse leider wieder eine große Unsicherheit. Es könnten auch nur 15 Sonnenmassen sein. All das macht es schwierig eine konkrete Vorhersage zu erstellen, was jetzt hier genau vor sich gegangen ist, weil wir noch nicht einmal sicher sein können was Beteigeuze gerade

in seinem Zentralbereich fusioniert. Sehr wahrscheinlich sind wir noch in dem Prozess wo Helium zu Kohlenstoff fusioniert wird, also beim Heliumbrennen.



Es könnte aber auch schon weiter sein. Sind wir noch bei der Helium/Kohlenstoff Fusion dann wird eine Supernova irgendwann mal in einigen 100.000 Jahren passieren. Dann wäre die damalige Aufregung ein wenig verfrüht. Wenn man so die Presse verfolgt hat, Anfang des Jahres hatte man den Eindruck, man müsste unbedingt Vorsorge treffen,, weil es gibt eine Supernova, die Welt geht unter und so weiter.

Also erstmal Ruhe bewahren, einige 100.000 Jahre ist noch eine lange Zeit.

Sollte Beteigeuze allerdings mit seinen Kernprozessen doch schon einen Schritt weiter sein, okay dann könnte es auch schon sehr viel früher soweit sein.

| Dauer einer Brennphase im Kern des Sterns | | |
|--|----------------------------------|----------------------------------|
| Brennphase | Stern mit 15 Sonnenmassen | Stern mit 25 Sonnenmassen |
| Wasserstoffbrennen | 11 Mio. Jahre | 7 Mio. Jahre |
| Heliumbrennen | 2 Mio. Jahre | 500 bzw. 700 Tsd. Jahre |
| Kohlenstoffbrennen | 2.000 Jahre | 600 Jahre |
| Neonbrennen | 0,7 Jahre | 1 Jahr |
| Sauerstoffbrennen | 2,6 Jahre | 6 Monate |
| Siliziumbrennen | 18 Tage | 1 Tag |

Im Extremfall geht's dann doch sehr rapide, denn die Zyklen vom Kohlenstoff zu Neon, von Neon zu Sauerstoff, von Sauerstoff zu Silizium, von Silizium bis hin zum Endprodukt Eisen laufen immer schneller ab. So dauert zum Beispiel das Siliziumbrennen, also der Zyklus wo Silizium zu Eisen fusioniert wird, bei einem Stern dieser Größe nur noch wenige Tage.

Der Stern versucht ja mit der gewonnenen Energie dem nach Innen gerichteten Gravitationsdruck entgegenzuwirken, um einen Kollaps zu verhindern. Weil aber immer weniger Energie bei den einzelnen Kernprozessen herauskommt, muss der Stern immer schneller seine Vorräte verballern.

Warum ist aber nun nach dem Siliziumbrennen, wo Silizium zu Eisen fusioniert wird, eigentlich Schluss. Das hat einfach damit zu tun, dass die Bindungsenergie pro Nukleon beim Eisen am höchsten ist. Das heißt, trotz des gewaltigen Drucks durch die Schwerkraft auf die Eisenkerne kommt keine Kernfusion

zustande und wird somit auch keine Energie freigesetzt, die eine Gegenkraft zur Schwerkraft bildet.

Beim Wasserstoffbrennen zum Beispiel werden in unserer Sonne pro Sekunde ca. 564 Mio Tonnen Wasserstoff zu 560 Mio Tonnen Helium umgewandelt, d.h. 4 Mio Tonnen pro Sekunde werden in Energie umgesetzt und die ist nach Einsteins Formel $E=m*c^2$ gewaltig.

Gegeben:

$$\text{Masse} = 4.000.000 \text{ to/s}$$

$$\text{Lichtgeschwindigkeit} = 300.000 \text{ km/s}$$

$$\text{Masse} \quad m = 4*10^9 \text{ kg/s}$$

$$\text{Lichtgeschwindigkeit} \quad c = 3*10^8 \text{ m/s}$$

Gesucht:

$$\text{Energy } E = m*c^2$$

$$E = 4 * 10^9 \text{ kg/s} * (3 * 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$E = 4 * 10^9 \text{ kg/s} * 9 * 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 36 * 10^{25} \text{ kg*m}^2/\text{s}^3 \text{ bzw. } 3,6 * 10^{26} \text{ kg*m}^2/\text{s}^3$$

$$\text{kg*m}^2/\text{s}^3 = \text{Watt also } E = 3,6 * 10^{26} \text{ Watt bzw. 360 Billionen Terawatt}$$

Und das ist nur unsere unbedeutend kleine Sonne im Vergleich zu dem gewaltigen Fusionsreaktor eines solchen roten Überriesen.

Also die Energiefreisetzungen, die hier bei Beteigeuze eine Rolle spielen, sind sehr schwer in Worte zu fassen. Schon die riesige Energiemenge, die von der Sonne erzeugt wird, kann man sich kaum vorstellen und hier wird das noch mal um ein Vielfaches übertroffen.

Aber zurück zur Frage, was passierte denn jetzt hier konkret. Stellen wir also eine astronomische Diagnose für unseren Patienten Beteigeuze.

Es gibt im Prinzip zwei wesentliche nahezu gleiche Szenarien. Beginnen wir mit der ersten Variante. Beteigeuze hat einfach mal wieder ein bisschen Dampf abgelassen, das ist ganz normal für solche Überriesen, die blasen gewaltige, riesige Teilchenströme von sich. Dabei schwankt die Massenverlustrate zwischen 10^{-7} bis 10^{-3} Sonnenmassen pro Jahr. Da reden wir also von dem Verlust einer ganzen Sonnenmasse in ca. 100.000 Jahren die hier einfach in den Raum geschleudert wird.

Diese Teilchenströme können natürlich abkühlen und Wolken bilden und in der Sichtlinie zu uns würde das dann eine wesentliche Beeinträchtigung der Helligkeit darstellen, wenn sich so eine Wolke plötzlich in den Weg stellt. Dann hat das natürlich nichts zu tun mit einer sich anbahnenden Supernova, dann ist das einfach nur das übliche Prozedere eines solchen Überriesen der einen Sonnen- respektive Sternenwind bläst.

Ein weiteres Szenarium ist, da es sich um einen sogenannten pulsierenden veränderlichen Stern handelt, das regelmäßige Schwanken der Helligkeit in zeitlich festen Abständen. Bei Beteigeuze gibt es einen Hauptzyklus der alle 2070 Tage die Helligkeit schwanken läßt, sowie zwei Nebenzyklen mit etwa 420 bzw. 150 Tagen. Wenn diese 3 Zyklen zu einem Zeitpunkt zusammenwirken, dann ist natürlich auch ein extremer Einbruch der Helligkeit denkbar. In diesem Fall haben die 3 Zyklen ein kleinstes gemeinsames Vielfache von 144900 Tagen, d.h. alle 397 Jahre tritt so ein Fall auf.

Also wir merken schon, dass wir sehr wenig über die Vorgänge in einem roten Überriesen wissen. Es bleibt immer auch ein hätte, wäre, wenn, bei den Betrachtungen.

Wenn es nun tatsächlich eine Supernova werden würde, dann sind wir natürlich alle davon begeistert, aber es ist zur Zeit nicht sehr wahrscheinlich, dass es in den nächsten Jahren passiert, schon gar nicht in den nächsten Tagen oder Wochen, wie es teilweise in den Medien zu lesen war.

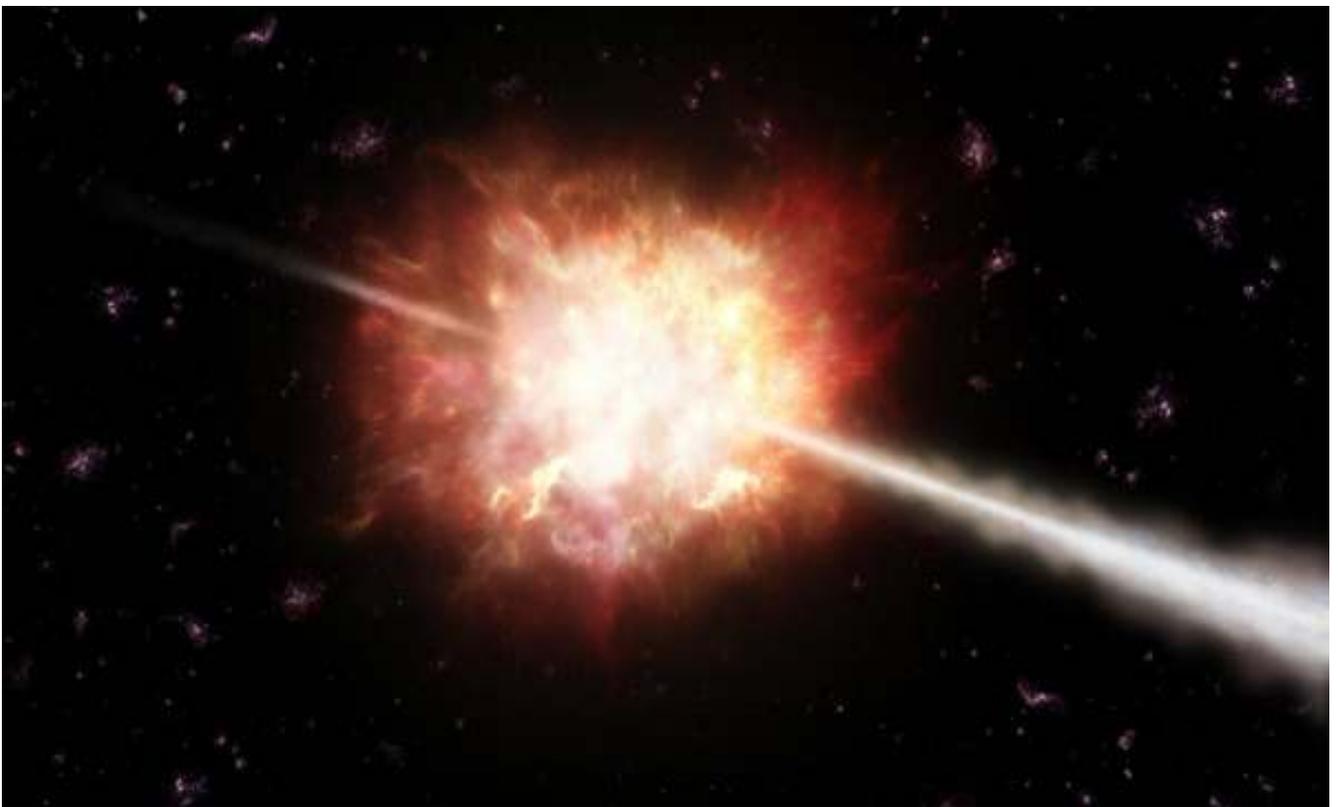
Wenn es aber mal passiert, dann wird es für uns Erdlinge spektakulär. Nie zuvor gab es eine solche Sternexplosion in Erdnähe, seitdem wir Menschen das Weltall beobachten. Wir Erdenbewohner könnten das Schauspiel aus nächster Nähe erleben - der explodierte Stern würde vermutlich wochenlang so hell am Himmel leuchten, wie der Vollmond und würde sogar Schatten werfen. Selbst tagsüber wäre die Supernova sichtbar.



Supernova mit der Sonne am Taghimmel

Ein paar Monate nach dem eigentlichen Supernova-Ausbruch kommt es nochmal zu einem weiteren Helligkeitsanstieg. Das hat damit zu tun das die ausgeschleuderten Teilchen, die in unsere Blickrichtung fliegen, eine Art Mauer, vergleichbar einer Schallmauer, vor sich herschieben und dann schließlich durchbrechen.

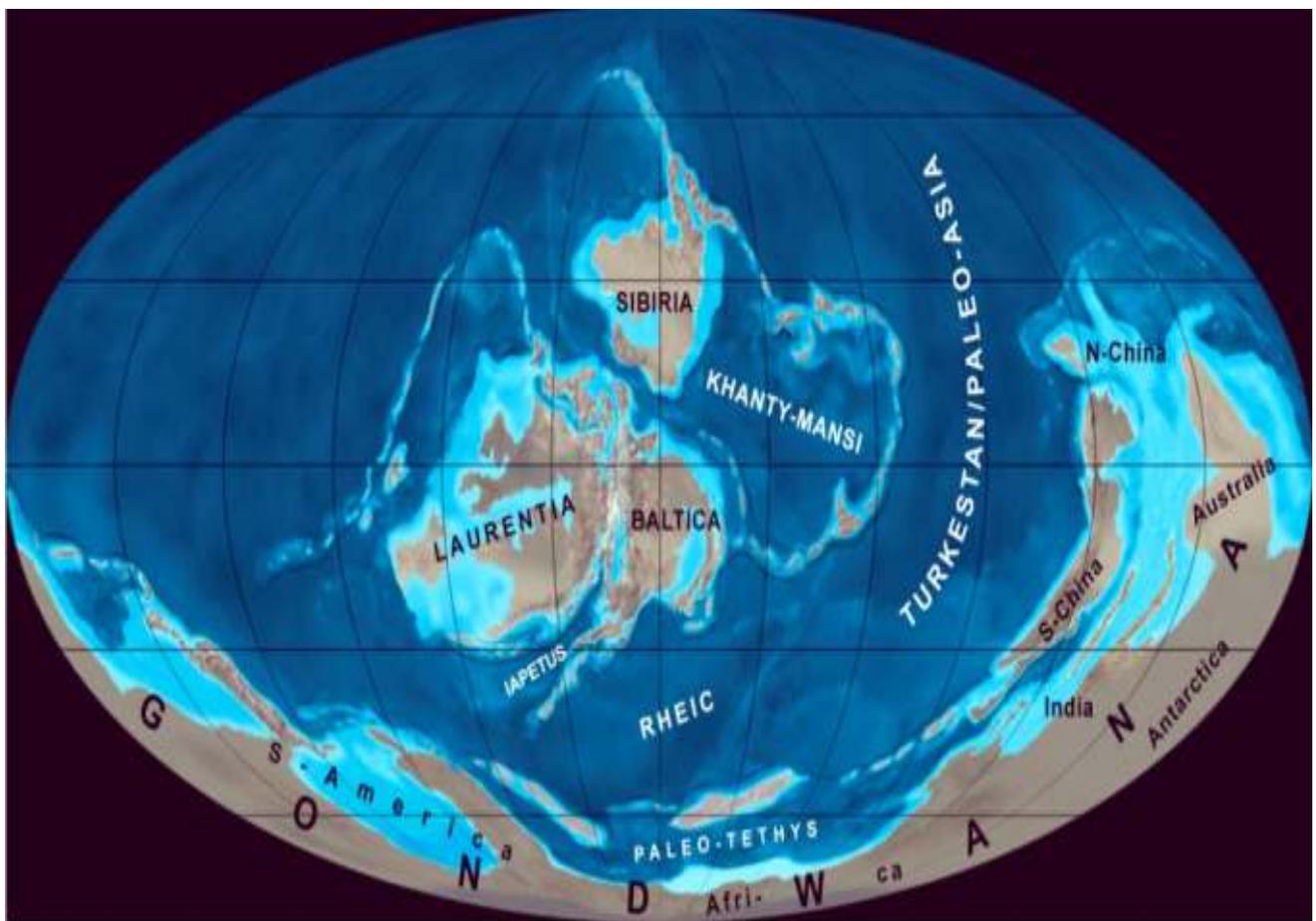
All das wäre von hier auf der Erde aus genüsslich zu beobachten, in völliger Sicherheit, ohne irgendwelche Bedrohungen. Warum, weil wir, wie schon mehrfach erwähnt, 640 Lichtjahre, also weit genug entfernt sind. Bedrohlich wäre eine solche Supernova schon, aber da müssten wir um den Faktor 10 näher dran sein, also ab ca. 60 Lichtjahren, oder die Erde läge genau in der elektromagnetischen Achse zu Beteigeuze. Dann würde man auch auf der Erde durch den sogenannten Gammastrahlenjet gefährliche harte Strahlung abbekommen.



Aber wir haben Glück, die Achse zeigt in eine andere Richtung und tut uns nichts. Beteigeuze ist für unsere Erde und für uns Menschen somit völlig ungefährlich.

Erhebt sich die Frage, ob es in der Erdgeschichte eventuell schon mal eine Supernova in bedrohlicher Nähe zur Erde gegeben hat. Und da gibt es tatsächlich Hinweise.

Im Erdzeitalter des Ordoviziums, vor etwa 450 Millionen Jahren, zeigen sich erste Spuren darauf.



Erde im Ordovizium

Und zwar in den Sedimenten am Südpazifik, dort wo die Sedimentation am geringsten ist, wo man also sehr weit, anhand der Ablagerungen, in die Erdgeschichte zurückrechnen kann, zeigt sich ein verräterisches Element, was nur bei

Supernova-Explosionen entstehen kann, das Eisen-60 Isotop, beziehungsweise das bereits daraus zerfallene Nickel-60. Das passt auch gut zusammen mit der dort gefundenen großen Fossilienhäufigkeit, die auf eine Aussterbewelle hindeuten, bei der etwa 50% der damaligen Meeresbewohner ausstarben.



Das Land war zu dem Zeitpunkt noch nicht besiedelt, das passierte erst viele Millionen Jahre später im Erdzeitalter des Silur und des Devon.

Ob das einen direkten Bezug auf eine nahe Supernova hatte, ist nur eine Spekulation, aber es ist durchaus möglich.

Heute schützt uns die Atmosphäre und die Ozonschicht vor harter Gamma-Strahlung aus dem All, aber damals war die Ozonschicht noch nicht voll ausgebildet und somit war das damalige Leben durchaus gefährdet.

Weitere nahe Sternexplosionen haben in den vergangenen zehn Millionen Jahren ebenfalls die Entwicklung der Erde beeinflusst. Das zeigen auch die Untersuchungen von Sedimentablagerungen aus Pazifik, Atlantik und Indischem Ozean durch ein internationales Forscherteam.

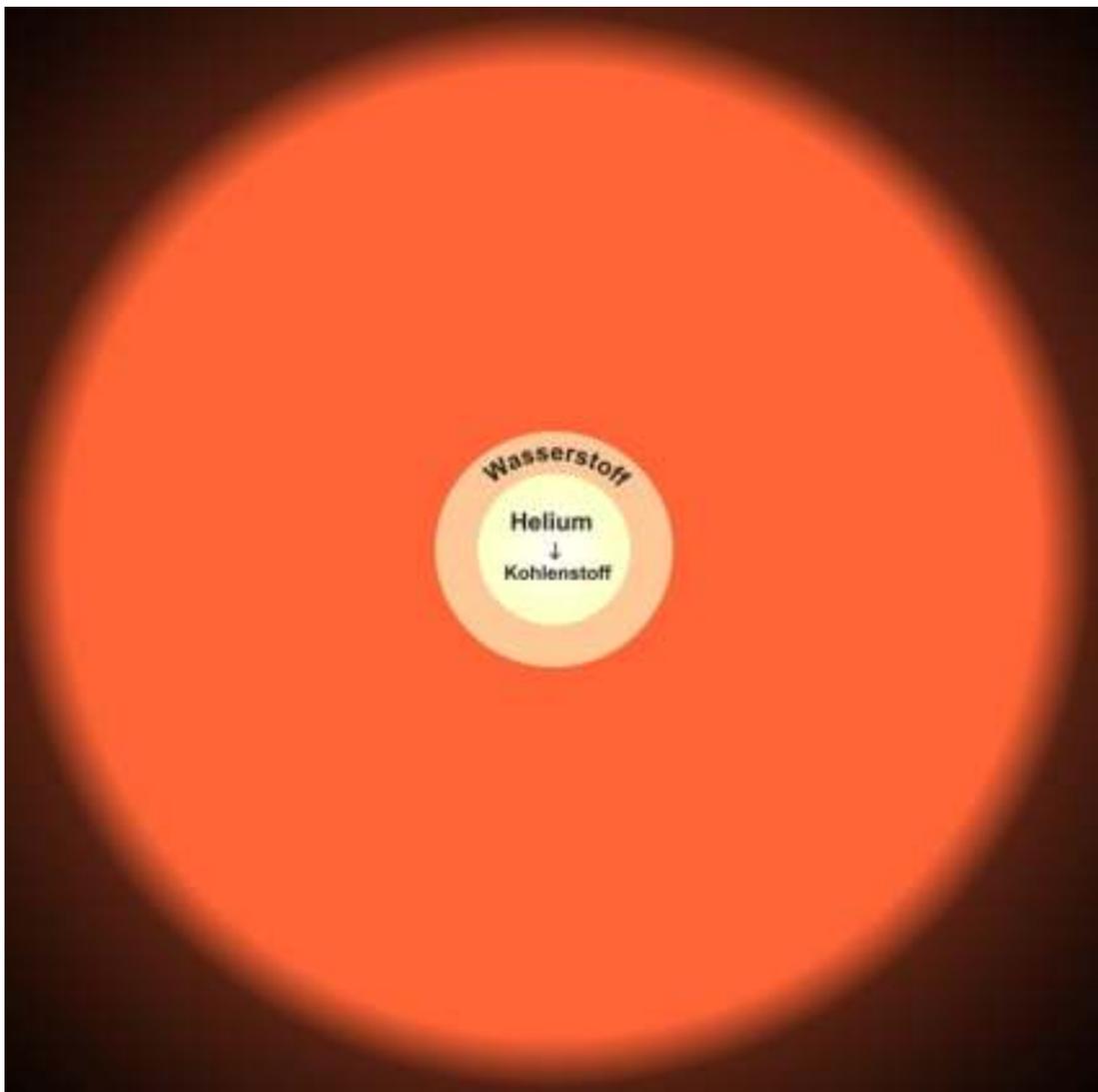
Die beiden am nächsten gelegenen Supernovae explodierten vermutlich etwa in der Zeit zwischen 1,5 und 3,2 Millionen, sowie etwa 6,5 und 8,7 Millionen Jahren vor unserer Zeit. Auch hier spielt das Isotop Eisen-60 mit einer Halbwertszeit von 2,6 Millionen Jahren eine besondere Rolle. Es kommt auf der Erde praktisch nicht natürlich vor, wird aber von Supernovae in großen Mengen ins All geschleudert. Explodiert ein Stern nahe genug an der Erde, so trifft dieses Eisen-60 schließlich als interstellarer Staub auf die Erde und lagert sich in den Sedimenten und am Meeresboden ab. Das internationale Forscherteam hat systematisch 120 Proben aus den 3 Ozeanen untersucht und dabei das Eisen-60 oder bereits die Zerfallsprodukte Kobalt-60 bzw. Nickel-60 vorgefunden. Auffällig war außerdem, dass in dieser Zeit die globale Temperatur sank und in einer Serie von Eiszeiten im Pleistozän mündete. Ein ursächlicher Zusammenhang mit den Supernovae ist jedoch nicht unbedingt nachweisbar. Soweit zur Vergangenheit.

Kommen wir zurück zum Thema. Alle paarhundert Jahre explodiert ein Stern als Supernova in unserer Galaxie. Es wäre also Zeit für das nächste Schauspiel. Wird Beteigeuze dabei der Schauspieler sein?

Es sieht nach den neuesten Meldungen nicht danach aus. Ende Februar 2020 gab es neue Daten, die zeigen, dass sich der instabile rote Überriese von seinem beispiellosen Rückgang langsam erholt. Das Rätsel um Beteigeuzes Verhalten ist allerdings noch nicht gelöst.

Forscher der AAVSO (American Association of Variable Star Observers) und der Universität Villanova in Pennsylvania, die die Studie über den beispiellosen Niedergang von Beteigeuze geleitet haben, bestätigen, dass es eine Trendwende gibt.

Alles deutet darauf hin, dass das beobachtete Dimmen tatsächlich auf das ungewöhnliche Zusammentreffen der natürlichen Schwankungszyklen des Sterns zurückzuführen ist. Das allmähliche Dimmen und wieder Aufhellen ist also ganz normal und deutet darauf hin, dass der Kern von Beteigeuze anscheinend immer noch gleichmäßig tuckert und sich im Stadium des Heliumbrennens befindet.



Damit ist mit großer Wahrscheinlichkeit das Schauspiel einer Supernova vorerst abgesagt.