



# Rote Riesen und ALMA – das größte **WIS** wissenschaft in die schulen! Radioteleskop der Welt

*Seit Oktober 2011 beobachten Astronomen mit dem Atacama Large Millimeter/submillimeter Array. ALMA ist das größte Teleskop seiner Art und zeigt die ganze Palette astronomischer Objekte in neuem Licht. Beim Roten Riesen R Sculptoris offenbarte sich ein zuvor unbekannter spiralförmiger Sternwind.*

**A**m Ende ihres Lebens haben Sterne mit Massen von bis zu zehn Sonnenmassen ihren ganzen Brennstoff im Inneren aufgebraucht. Der Kern eines solchen Sterns besteht dann aus Kohlenstoff und Sauerstoff. Er ist umgeben von einer dünnen Schale, in der Helium zu Kohlenstoff und Sauerstoff verbrennt. Außerhalb dieser Schale liegt eine dünne Schicht, in der Wasserstoff zu Helium verbrennt. Der Rest

des Sterns besteht aus einer große Hülle von Wasserstoff, die wie kochendes Wasser per Konvektion Materie vom Inneren an die Oberfläche mischt. Ein solcher Stern wird von den Astronomen Roter Riese genannt oder auch AGB-Stern. Dabei steht AGB für »Asymptotic Giant Branch« (englisch), und spielt an auf seine Position im asymptotischen Riesenast im Hertzsprung-Russell-Diagramm.

Der Brennvorgang in einem AGB-Stern in den zwei Schalen um den Kohlen- und Sauerstoffkern dauert mehrere Millionen Jahre an. Regelmäßig aber kommt es zu einer explosionsartigen Heliumverbrennung. Die zusätzliche Energie, die dadurch erzeugt wird, drückt die Helium- und Wasserstoffschalen nach außen. Auf diese Weise vermischen sich die unterschiedlichen Verbrennungsregionen.

Dieser so genannte thermische Puls dauert nur einige hundert Jahre. Danach endet die Verbrennung in der Heliumschale und der Stern kehrt zu seiner ursprünglichen Struktur zurück. Daraufhin beginnt er wieder die normale Heliumverbrennung in dieser Schale in gemäßigter Art. Der Zyklus wiederholt sich alle 10 000 bis 50 000 Jahre.

Durch die regelmäßige Vermischung von Verbrennungsregionen bildet sich

## Steckbrief – R Sculptoris

R Sculptoris ist ein Roter Riese. Er ist von einer spiralförmig gewundenen Struktur aus molekularem Gas umgeben. Sie rührt her aus der Rotation um den gemeinsamen Schwerpunkt mit einem unbeobachteten Doppelsternpartner.

Position:  $1^{\text{h}} 26^{\text{m}} 58^{\text{s}}, -32^{\circ} 32' 35''$   
Sternbild Bildhauer  
Helligkeit: 5,8 mag, variabel  
Entfernung: knapp 1000 Lichtjahre  
Masse: rund eine Sonnenmasse  
Radius: rund 600 Sonnenradien

Zum Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) gehören insgesamt 66 Antennen, wovon hier die zentrale Gruppe mit einer Sammelfläche von jeweils zwölf oder sieben Metern Durchmesser zu sehen sind. Sie sind auf dem Chajnantor-Plateau in der nordchilenischen Atacamawüste in rund 5000 Meter Höhe aufgestellt, wo kaum noch der für die Beobachtungen hinderliche atmosphärische Wasserdampf vorkommt. Sie bilden ein für Wellenlängen zwischen 0,3 und 9,6 Millimeter empfindliches Interferometer, das Auflösungen zwischen 4,7 und 151 Millibogensekunden ermöglicht.



ALMA / ESO / NAOJ / NRAO

Den Roten Riesen R Sculptoris im Sternbild Bildhauer (lateinisch: Skulptor) umgibt eine spiralförmig um den Stern gewundene Materiespur. Die Beobachtungen mit ALMA, dem Atacama Large Millimeter/submillimeter Array, enthüllen diese Struktur zum ersten Mal. Sie wird vermutlich durch einen noch verborgenen Begleitstern verursacht, der mit R Sculptoris ein Doppelsternsystem bildet.

zwischen den Schalen ein komplexes Netzwerk kernphysikalischer Prozesse, in dem ein Großteil aller bekannten Elemente entsteht. Diese Elemente werden durch die äußeren Schichten des Sterns an die Oberfläche gemischt. In der oberen Atmosphäre des Sterns kühlt sich das Gas ab, und aus den Elementen formen sich Moleküle. Wenn dieses molekulare Gas noch weiter abkühlt, bilden die Moleküle gar kleinste Staubteilchen. Diese absorbieren das vom Stern emittierte Licht und werden vom ihm in einem Sternwind weggeblasen. Dabei ziehen sie das restliche molekulare Gas mit sich und erzeugen eine riesige zirkumstellare Hülle, die sich ausbreitet (siehe Bild oben). Auf diese Weise werden die neu erzeugten Elemente aus dem Stern ins Weltall geblasen.

### R Sculptoris im Blick von ALMA

Eines der ersten Objekte, das ALMA in regulären wissenschaftlichen Beobachtung untersucht hat, war der sterbende AGB-Stern R Sculptoris. Schon vorher war bekannt, dass dieser Stern einen riesigen Durchmesser vom Fünf- bis Siebenhundertfachen unserer Sonne (Radius: 4,8 bis 6,7 Astronomische Einheiten) aufweist und von einer dünnen Schale aus Staub und Gas umgeben ist.

Diese Schale wurde während eines thermischen Pulses erzeugt. Für die Dauer des Pulses erhöht sich der Massenverlust durch den Sternwind und formt eine dichte Schale aus Staub und Gas, die sich ausbreitet. Da der Puls aber nur einige hundert Jahre andauert, verringert sich der Massenverlust wieder, und die dichte Schale bleibt verhältnismäßig dünn.

Das Ziel der Beobachtungen mit ALMA war es, diese Schale um R Sculptoris mit hoher Genauigkeit zu vermessen. Zu ih-

## ZUM NACHDENKEN

# R Sculptoris – Massenverlust und Doppelsternperiode



Der Veränderliche R Sculptoris entpuppte sich auf einer Aufnahme mit dem Millimeter/submillimeter-Observatorium ALMA als komplexes Gebilde: Er ist von einer Hülle mit einem scheinbaren Radius von  $\varrho = 18,5''$  umgeben, die eine spiralförmig gewundene Materiespur umgibt. Ziemlich genau  $n = 5$  Windungen lassen sich auf der Aufnahme erkennen (siehe Bilder S. 24). Vor  $\Delta t = 1800$  Jahren unterlag R Sculptoris einem so genannten thermischen Puls, der nicht länger dauerte als  $t_{\text{TP}} = 200$  Jahre. In dieser Phase extrem starken Sternwinds blies R Sculptoris eine Masse von insgesamt  $\Delta m = 2,5 \cdot 10^{-3} M_{\odot}$  in seine Umgebung ab.

**Aufgabe 1:** Man leite aus der Zahl der Windungen und der Zeitspanne, in der sie entstanden, die Umlaufperiode  $P$  des Doppelsternsystems ab. Man vergleiche mit der aus dem heutigen Sternwind abgeleiteten Umlaufdauer von  $P_h = 350$  Jahre.

**Aufgabe 2:** Die Distanz von R Sculptoris liegt bei  $d = 290$  pc. Welchen Radius  $r$  hat die Hülle des Systems? Man vergleiche das Ergebnis mit dem Kuiper-Gürtel unseres Sonnensystems, dessen äußerer Rand bei  $r_K = 50$  bis  $100$  AE liegt, und mit der Oort'schen Wolke, die sich jenseits des Kuiper-Gürtels bis zu  $r_{\text{Oo}} =$

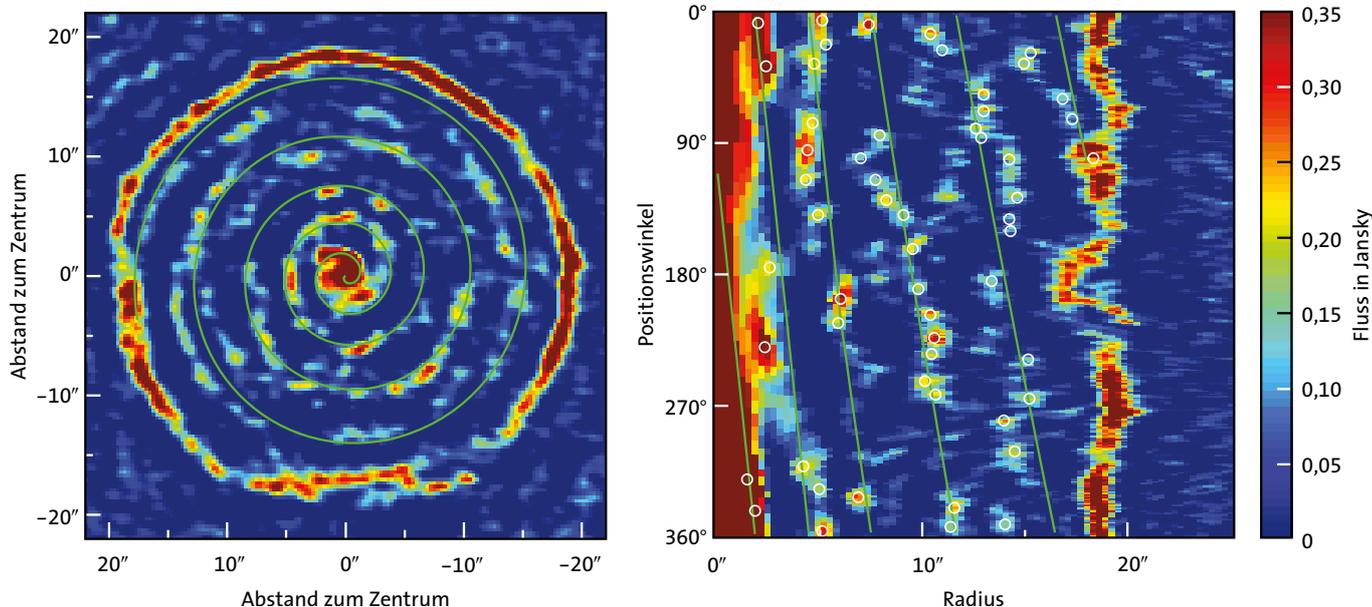
$100\,000$  AE erstreckt. Die Astronomische Einheit ist:  $1 \text{ AE} = 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$ .

**Aufgabe 3:** Welche mittlere Geschwindigkeit  $v$  ergibt sich aus der Annahme gleichförmiger Expansion bis zum Radius der Hülle über die Zeitspanne, die seit dem thermischen Puls verstrichen ist?

**Aufgabe 4:** Die Messungen mit ALMA legen nahe, dass die Gesamtmasse der den Stern umgebenden Hülle gleich  $\Delta m$  ist. Wie groß war die Massenverlustrate  $\dot{M}$  des Sterns während des thermischen Pulses? Man gebe das Ergebnis in Sonnenmassen pro Jahr an.

**Aufgabe 5:** Die Massenverlustrate vor dem thermischen Puls lag bei weniger als  $\dot{M}_v = 10^{-6} M_{\odot}/\text{a}$ , die heutige wird zu  $\dot{M}_h = 3 \cdot 10^{-7} M_{\odot}/\text{a}$  abgeschätzt. **a)** Um welchen Faktor  $f_v$  nahm die Verlustrate während des thermischen Pulses zu, und **b)** um welchen Faktor  $f_h$  nahm sie danach ab? AMQ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **13. März 2015** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern Preise verlost: siehe S. 101



rer großen Überraschung entdeckten die Wissenschaftler in den ALMA-Daten der Materie innerhalb der dünnen Schale, die den Stern umgibt, zusätzlich eine Spiralform. Die Spiralform entsteht im Zusammenspiel mit einem unsichtbaren Begleitstern, der R Sculptoris umkreist.

Dieser Fund ist deshalb so überraschend, weil es bis jetzt keine anderen Anzeichen für einen Begleiter von R Sculptoris gegeben hat. Die Beobachtungen wurden mit ALMA in einer Frühphase des wissenschaftlichen Betriebs des Teleskops gemacht. In dieser Phase bestand ALMA aus nur 16 einzelnen Teleskopen. Zu einem Interferometer zusammengeschaltet, ergaben sie ein Teleskop mit einem Durchmesser von 160 Metern. In seiner mittlerweile erreichten fertigen Zusammenstellung besteht ALMA aus 66 Teleskopen, die zusammen ein Teleskop mit bis zu 16 Kilometer Durchmesser ergeben. Aber schon in seiner frühen Anfangsphase war ALMA das stärkste Teleskop seiner Art. Die Beobachtungen und Ergebnisse, die von R Sculptoris mit ALMA erzielt wurden, hätten sich mit keinem anderen Instrument in der Welt machen lassen.

### Spiralförmiger Sternwind

Zusammen mit der dünnen Schale um den Stern aus der Phase des thermischen Pulses ermöglicht die Beobachtung der Spirale zum allerersten Mal die direkte Messung des Sternwinds während und nach einem thermischen Puls. Die Beobachtungen zeigen, dass R Sculptoris vor rund 1800 Jahren einen solchen thermischen Puls durchlaufen hat und dabei die Schale erzeugte. Der Begleitstern brachte

danach den Sternwind in die beobachtete Spiralform.

Aus der Spiralform lassen sich nun mehrere Informationen ablesen. Jede Windung der Spirale entspricht einer Umkreisung des Begleitsterns um R Sculptoris. Anhand der inneren zwei Windungen und der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Hülle nahe des Sterns lässt sich die Dauer einer Umkreisung messen. Die Spirale lässt sich somit als Uhr dieses Doppelsternsystems verwenden.

Der Abstand zwischen zwei Windungen wird durch die aktuelle Geschwindigkeit des Sternwinds bestimmt, die Intensität entlang der Windungen hingegen durch die Menge an Materie, die zum entsprechenden Zeitpunkt vom Stern weggeblasen wurde. Die Wissenschaftler können daher messen, mit welcher Geschwindigkeit der Stern wieviel Materie verloren hat. Das Ergebnis zeigt, dass viel mehr Gas verloren wurde, als es theoretische Modelle erwarten ließen.

Erst durch die Beobachtungen mit ALMA war es den Astronomen möglich, mit so großer Genauigkeit nachzuvollziehen, was vor, während und nach dem thermischen Puls geschehen ist. Und es ist von nicht geringer Bedeutung, diese Entwicklung zu verstehen, da AGB-Sterne die Hauptlieferanten des Rohmaterials für die Bildung von neuen Sternen und Planeten und somit auch für das Leben im Universum sind.

*MATTHIAS MAERCKER promovierte in Stockholm. Nach vier Jahren bei der ESO wechselte er zurück nach Schweden zum Onsala Space Observatory (OSO) in Göteborg.*

**In den ALMA-Beobachtungen des AGB-Sterns R Sculptoris ist deutlich eine dünne Schale aus Gas zu sehen, die das System umgibt, sowie eine Materiespirale, die von der äußeren Schale in fünf Windungen zum zentralen Stern verläuft. Die äußere Schale entstand als Folge eines thermischen Pulses – ein Prozess, bei dem ein Großteil aller bekannten Elemente entsteht. Im rechten Teil der Grafik ist der Positionswinkel der Spiralstrukturen gegen den Abstand vom Stern abgewickelt. Dadurch zeigt sich, dass die inneren Teile der Spirale enger beieinander liegen – die Neigung der grünen Mittellinie ist dort steiler. Die Spirale wurde nach dem Puls durch einen bisher unbekannten Begleitstern um R Sculptoris dessen Sternwind aufgeprägt.**

### Literaturhinweise

**Maercker, M. et al.:** Unexpectedly Large Mass Loss During the Thermal Pulse Cycle of the Red Giant Star R Sculptoris. In: *Nature* 490, S. 232–234, 2012

**Maercker, M. et al.:** The Detached Dust Shells around the Carbon AGB Stars R Sculptoris and V644 Scorpii. In: *Astronomy and Astrophysics* 570, A101, 2014



Didaktische Materialien:

[www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1156171](http://www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1156171) und [1156164](http://www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1156164)



**Sky-Watcher®**  
*Be amazed.*

**ESPRIT**

Die Sky-Watcher Topmodelle der Esprit dreilinsigen ED apochromatischen Refraktoren, bieten Ihnen eine großartigen Einblick in das Universum mit dem höchst möglichen Kontrast.

**Esprit 80/400** Bildfeld: 3,9° mit APS-C Format (15x23mm)  
F/D = 5  
Linsenmaterial: FPL 53



**Esprit 100/550** Bildfeld: 4,5° Vollformat (24x36mm)  
F/D = 5,5  
Linsenmaterial: FPL 53



**Esprit 120/840** Bildfeld 2,9° Vollformat (24x36mm)  
F/D = 7  
Linsenmaterial: FPL 53



**Esprit 150/1050** Bildfeld 2,3° Vollformat (24x36mm)  
F/D = 7  
Linsenmaterial: FPL 53



[www.skywatcher.com](http://www.skywatcher.com)