

Das Schicksal der Erde? [09. Jan.]

Möglicherweise ist es eine der Fragen, die Sie sich bereits selbst gestellt haben:

Wie wird es im Bereich der Erde in einigen Milliarden Jahren aussehen?

Wird die Erde noch existieren, wenn die Sonne zu einem *Roten Riesen* [1] geworden ist?

Bei der Beantwortung dieser Frage spielen entwickelte Sterne eine wichtige Rolle. Diese Sterne tragen zur Anreicherung des *interstellaren Mediums* (ISM) [1] mit *schweren Elementen* [1] und damit zur chemischen Entwicklung des Universums entscheidend bei.

Wissenschaftler schließen aus **Beobachtungen des Roten Riesensterns L2 Pup** [1] im Sternbild *Achterdeck des Schiffs* (*Puppis*) [1] (Abb. 1) auf die Zukunft des Sonnensystems. Der Stern gleicht der Sonne fast wie ein Zwilling, jedenfalls in Bezug auf die Frage, was aus der Sonne in rund 6 Milliarden Jahren werden wird. Die Entdeckung eines *Exoplaneten* [1] um den Stern L2 Pup könnte eine **Vorschau auf das Schicksal der Erde** in der Zukunft sein.

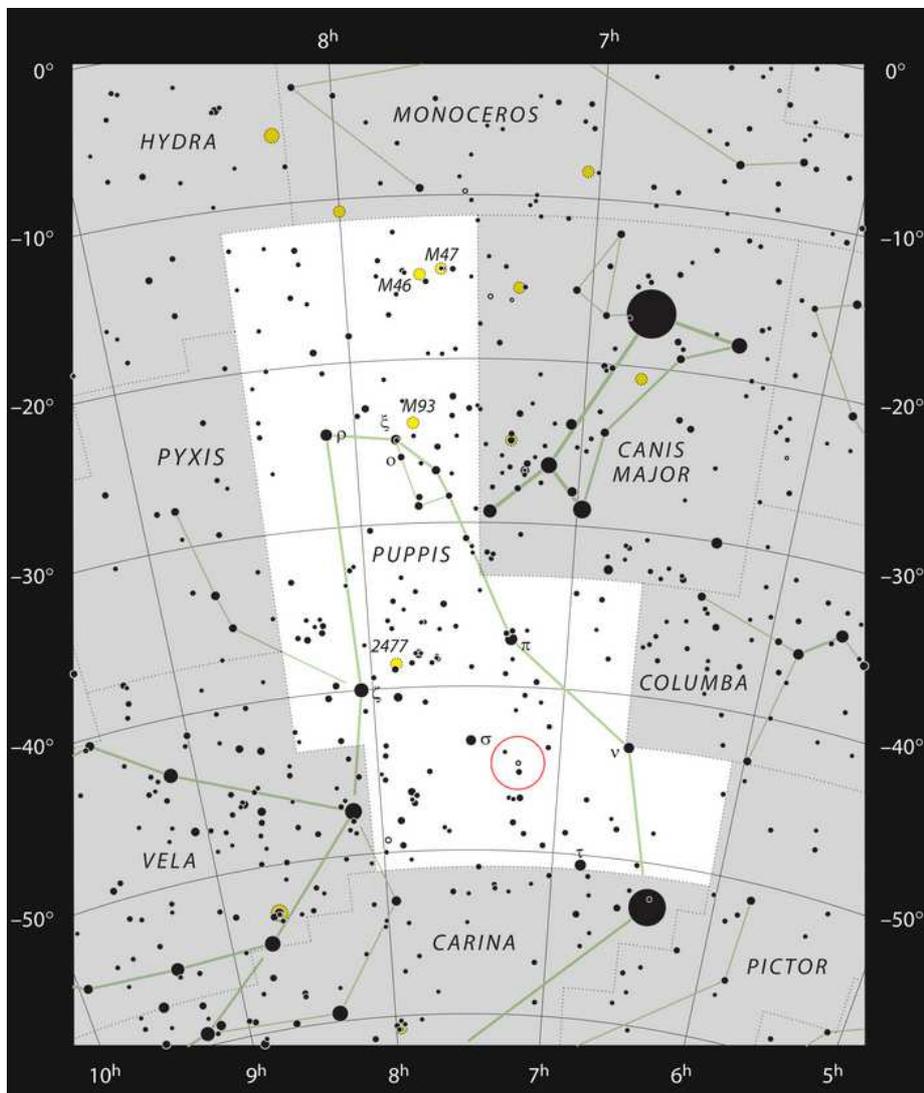


Abb. 1 Position des Sterns L2 Pup im Sternbild Achterdeck des Schiffs.

Die Position des Sterns befindet sich innerhalb des roten Kreises. Bei guten Beobachtungsbedingungen kann der Stern mit dem bloßen Auge aufgefunden werden. In einem Teleskop erscheint er als rötlicher Stern.

Die Zukunft der Erde?

Wir befinden uns in einem neuen Jahr. Ein Jahr weniger als der Zeitraum, nach dem der Erde nichts Gutes im *Sonnensystem* [1] bevorsteht. In rund 6 Milliarden Jahren wird sich die Sonne in einen Roten Riesenstern verwandelt haben, ihrem letzten Stadium bevor sie ihre äußere Hülle abwirft, der sich zu einem *Planetarischen Nebel* [1] formt, und in ihrem Zentrum einen *Weißer Zwergstern* [1] zurückläßt. Aber bis dahin ist noch viel Zeit.

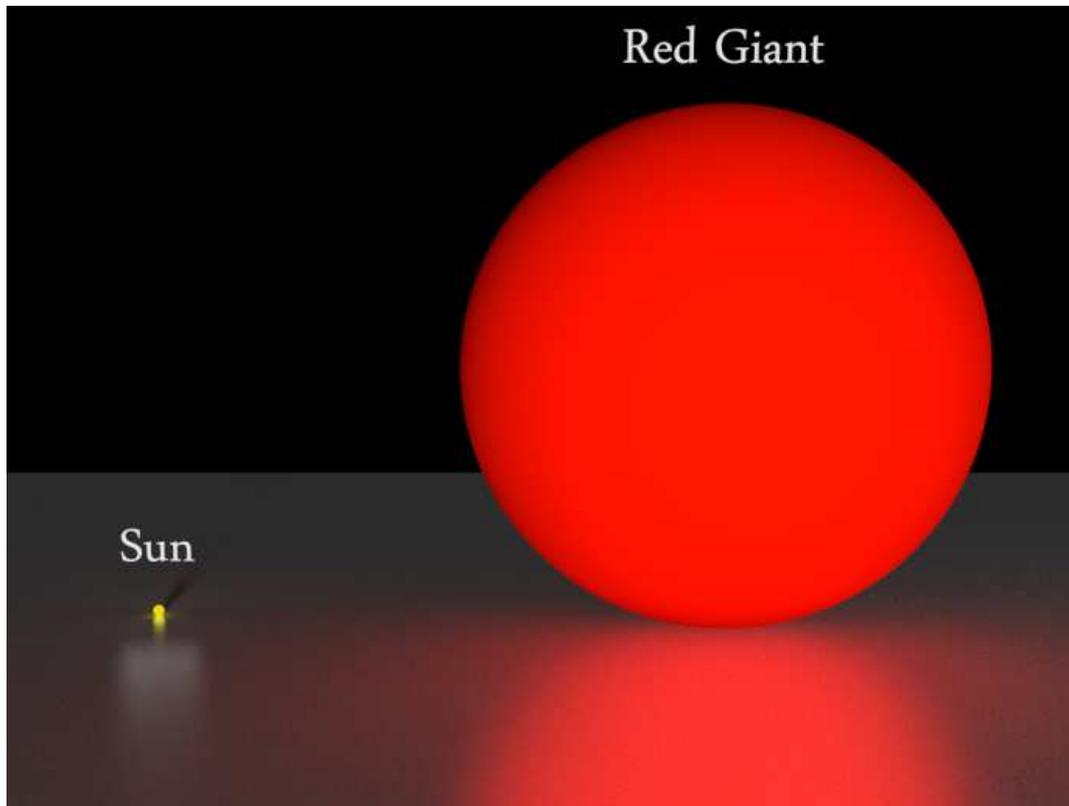


Abb. 2 Schematischer Vergleich Sonne – Roter Riesenstern.

Im Vergleich zu einem Roten Riesenstern ist die Sonne ein winziger Stern. Erreicht unser Zentralgestirn in rund 5 Milliarden Jahren dieses Entwicklungsstadium, wird ihr Durchmesser bis zur Merkurbahn [1] reichen.

© wikipedia

Gegenwärtig ist die Sonne ein *gelblicher Hauptreihenstern* [1], der in seinem Inneren *Wasserstoff* zu *Helium* [1] verbrennt. Von diesem stabilen Stern und dessen ausgeglichener Strahlung leben wir; das Leben auf der Erde konnte nur mithilfe der Sonne entstehen. **Was aber geschieht, wenn sich die Sonne weiterentwickelt?**

Wenn sich die Sonne in rund 6 Milliarden Jahren zu einem Roten Riesen entwickelt hat, beträgt ihr Durchmesser etwa das Hundertfache ihrer gegenwärtigen Größe (Abb. 2). Während dieser Phase erlebt unser Zentralstern einen enormen Masseverlust durch den sog. **Sternwind** [1]. Am Ende dieser Entwicklung, in rund 7 Milliarden Jahren, endet die Sonne als Weißer Zwergstern. Ein Weißer Zwerg besitzt typischerweise die Größe der Erde. Ein **Teelöffel dieser Materie** wiegt rund 5 Tonnen oder *5 Citröen C5* [1].

Die ehemals strahlend gelbliche Sonne, Grundbaustein des Lebens wie wir es kennen, wird dann zu einem bizarren dichten Sternenrest, dessen Gleichgewicht nur durch den sog. *entarteten Elektronendruck* [1] aufrecht gehalten wird. Ein Exemplar dieser exo-

tischen Himmelsobjekte befindet sich in der Nachbarschaft der Sonne, beispielsweise dem Stern *Sirius B* [1] im Sternbild *Großer Hund* (CMa) [1].

Das System L₂ Puppis

Genau dieser Sternentwicklungsphase haben die Wissenschaftler mit dem größten *Radioteleskop* [1] nachgespürt, denn wir können nicht weitere 5 Milliarden Jahre warten bis die Sonne zum Roten Riesenstern geworden ist. Mithilfe des *ALMA-Radioteleskops* [1] untersuchte ein internationales Team von Astronomen einen alten, benachbarten Stern, der der Sonne in ihrer zukünftigen Entwicklung gleicht bzw. ihr bereits voraus ist.

Die Beobachtungen dieses Roten Riesen könnten darauf hinweisen, wie sich unser Sonnensystem verändert, wenn die Sonne in ihre letzte Entwicklungsphase eintritt.

Die Forscher untersuchten den **Stern L₂ Pup** (*HD 56096, HIP 34922, HR 2748*), einen *Mira-ähnlichen Stern* [1] mit einer Periode von rund 138 Tagen, der sich in rund 208 *Lichtjahren* [1] Entfernung von der Erde befindet. Seine scheinbare Helligkeit [1] beträgt 7 mag, sein Durchmesser rund 120 *Sonnendurchmesser* [1] und seine Oberflächentemperatur [1] etwa 3.500 Grad (Sonne rund 6.000 Grad).

Vor rund 5 Milliarden Jahren glich der Stern L₂ Pup unserer Sonne fast „bis aufs Haar“; er besaß die gleiche Masse und physikalischen Eigenschaften. L₂ Pup ist inzwischen rund 10 Milliarden Jahren alt und besteht wahrscheinlich zu rund 90 Prozent aus *Helium* [2]. Der Stern hat während seiner letzten Entwicklungsphase rund ein Drittel seiner Masse verloren. Das gleiche Schicksal wird die Sonne in ferner Zukunft ereilen.

Bisher steht jedenfalls außer Frage, daß die beiden inneren Planeten *Merkur* und *Venus* [1] verdampfen, wenn die Sonne in die Phase des Roten Riesen eintritt. Jedoch ist das **Schicksal der Erde zu diesem Zeitpunkt unklar**. Die Sonne wird zwar viel größer und heller, so daß sie wahrscheinlich jegliches Leben auf unserem Planeten zum Erliegen bringt; jedoch bleibt unklar, ob der Gesteinskern der Erde die Rote Riesen-Phase der Sonne übersteht und den zukünftigen Überrest der Sonne, den Weißen Zwerg, weiter umkreisen wird (Abb. 2).

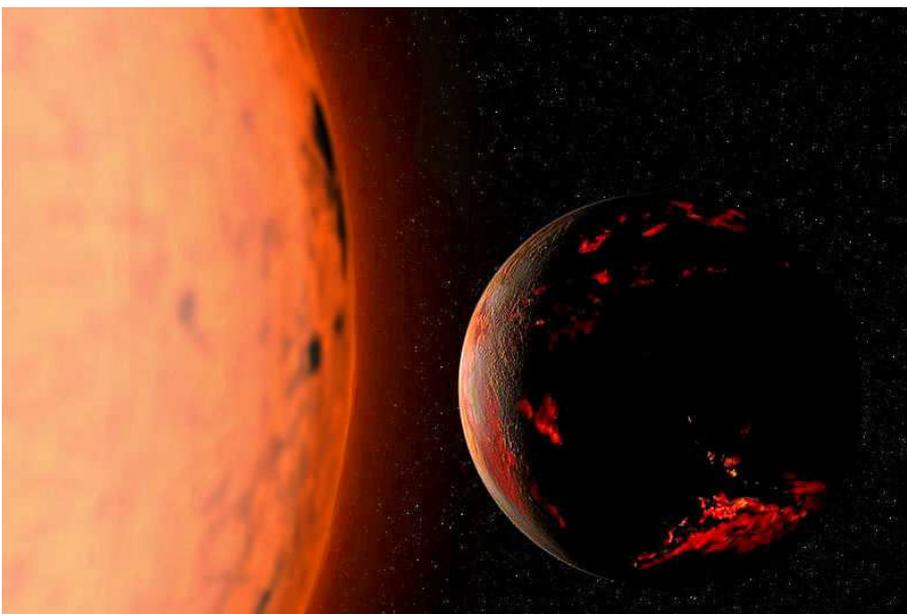


Abb. 2 Schematischer Vergleich Sonne als Roter Riese – Erde.

Wenn die Sonne in rund 5 Milliarden Jahren das Stadium des Roten Riesen erreicht, wird ihr Durchmesser bis zur Merkurbahn [1] reichen und die Erde stärker erwärmen.

© Wikimedia Commons/
Fsgregs

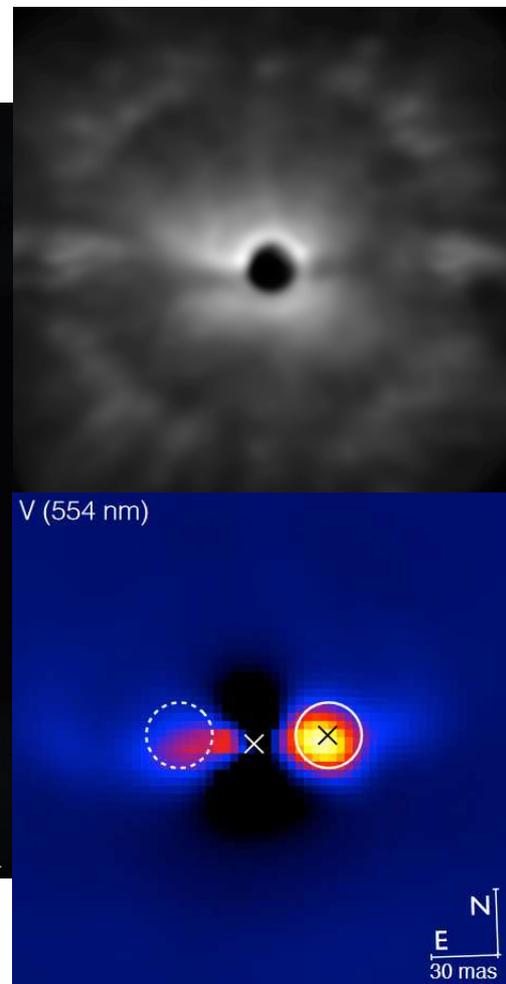
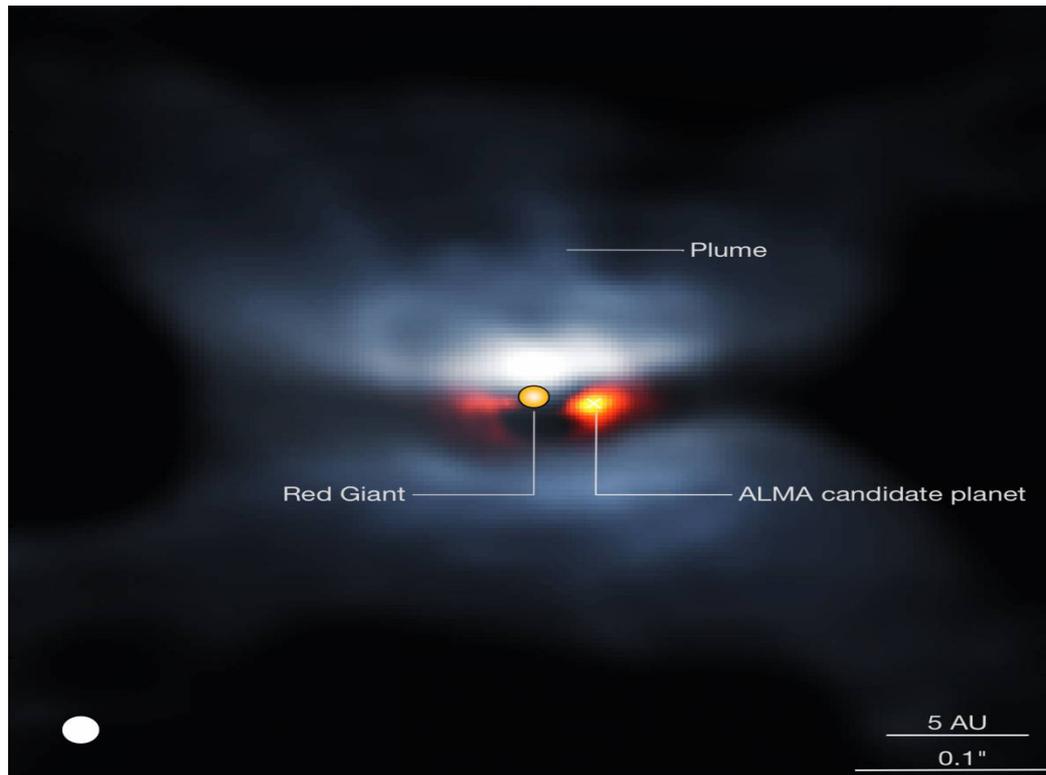


Abb. 3 Kompositaufnahme der Umgebung des Sterns L₂ Pup.

Rechts oben: Die Umgebung des Sterns L₂ Pup zeigt eine zirkumstellare Scheibe, die aus klumpigen Wolken zu bestehen scheint. Die Aufnahme entstand mithilfe eines *Koronographen* [1], der das helle Licht des Sterns ausblendet, um Details in der Umgebung sichtbar zu machen. Die Maße der Aufnahme betragen 0,91"x0,91". [2] – Rechts unten: Die Aufnahme entstand mithilfe der Subtraktionsmethode im visuellen Bereich und zeigt innerhalb eines Gebietes von rund 100 Mikrobogensekunden zwei Objekte, die sich um einen gemeinsamen Schwerpunkt (weißes Kreuz) bewegen. Rechts befindet sich der Rote Riesenstern L₂ Pup A (weißer Kreis), links der wahrscheinliche Begleiter L₂ Pup B (gestrichelter Kreis), ein Exoplanet oder ein Brauner Zwerg. Links: Die Aufnahme des Zentralbereichs aus der rechten Abbildung besteht aus der Überlagerung von mehreren Aufnahmen in verschiedenen Wellenlängen, hier im *sichtbaren Bereich* (VLT/SPHERE [1], bläuliche Färbung) und dem *Kontinuum* [1] (ALMA, orangefarbene Färbung). Das Licht des Zentralsterns wurde von der ALMA-Aufnahme abgezogen, um das den Stern umkreisende Objekt besser darstellen zu können. Beschriftung: Roter Riesenstern (*Red Giant*), Exoplaneten-Kandidat (*candidate planet*), rauchfahnenartige Struktur (*plume*)

© P. Kervella et al. (CNRS/U. de Chile/Observatoire de Paris/LESIA/ESO/ALMA)

Die Antwort auf diese Situation könnte uns der Stern L₂ Pup geben. Die Wissenschaftler entdeckten ein Objekt, das L₂ Pup in einer Entfernung von etwa 300 Millionen Kilometer umkreist, das entspricht etwa der zweifachen Erdentfernung von der Sonne (Abb. 3, 4).

Der Rote Riese L₂ Pup A besitzt eine **Masse** von rund 0,66 Sonnenmassen (Masse innerhalb von 2,5 *Astronomischen Einheiten* (AE) [1, 2]) und ist von einer *zirkumstellaren, teils klumpigen Staubscheibe* [1] umgeben, die den südlichen Teil des Sterns verdeckt [2] (Abb. 4). Der Durchmesser der Scheibe beträgt mindestens 10 AE, das entspricht dem 10-fachen Erdbabstand von der Sonne.

Das den Stern umkreisende Objekt L₂ Pup B besitzt eine **Masse** von rund $12 \pm 16 M_{\text{Jup}}$ (*Jupitermassen* [1]) und eine **Bahnperiode** von rund 5 Jahren. Die Beobachtungen weisen darauf hin, daß das Objekt von einer ausgedehnten molekularen Atmosphäre oder einer Akkretionsscheibe [1] umgeben ist (Abb. 3, 4).

Bei dem Objekt um L₂ Pup A handelt es sich entweder um einen **Exoplaneten** [1] oder einen **Braunen Zwergstern** [1] niedriger Masse, der nach der Umwandlung des Sterns intakt geblieben ist. Dieses Objekt könnte ein Phänomen zeigen, das die Forscher bereits bei einigen planetaren Objekten um Rote Riesen beobachtet haben, eine Art „Gigantismus“, der durch die *Akkretion* [1] des ausströmenden Sternwindes durch den Planeten verursacht wird. Im Fall von L₂ Pup könnte der Exoplanet oder Braune Zwerg das Material, das von dem Roten Riesen durch den Sternwind ausgeschleudert wurde, akkretiert haben und in Form von *polaren Jets* [1] wieder wegschleudern [2].

L₂ Pup B – Ein Exoplanet?

Wenn es sich bei dem Begleitobjekt L₂ Pup B um einen **Exoplaneten** handelt, könnte es sich entweder um einen alten Exoplaneten handeln, der zusammen mit dem Stern entstanden ist, oder alternativ um einen Exoplaneten der 2. Generation, der sich erst kürzlich in der Scheibe gebildet hat. Die bisher nicht exakt bestimmbare Masse des Begleiters gleicht bisher einem massearmen Gesteinsobjekt, das sich in relativ kurzer Zeit in der Scheibe gebildet haben könnte. Andere Beobachtungen berichten von Scheiben um Riesensterne, die als Grundlage für die Entstehung von planetaren Himmelskörpern der 2. Generation dienen könnten.

L₂ Pup B – Ein Brauner Zwerg?

Wenn es sich bei dem Begleitobjekt L₂ Pup B um einen **gasförmigen Riesen oder einen Braunen Zwerg** handelt, würde die riesige *konvektive* [1] Hülle des Roten Riesen L₂ Pup A starke Gezeitenkräfte auf den Begleiter L₂ Pup B ausüben. Befindet sich der Begleiter zu nah am Hauptstern (< 3 AE), könnten ihn die Gezeiten in die Hülle des Sterns ziehen; das gilt laut Modellen auch für einen Exoplaneten.

Überlebt der Begleiter die weitere Entwicklung?

Die Stabilität gegenüber Gezeiten ist jedoch bei entwickelten Sternen nur teilweise verstanden. Mit dem beobachteten Abstand von 2,4 AE könnte der Begleiter bereits dabei sein, sich in Richtung des Hauptsterns zu bewegen und später in die Hülle des Roten Riesen eintauchen. Gemäß mehrerer Modelle würde ein Begleiter im Bereich einiger Jupitermassen in der gemeinsamen Hülle langsam zerstört werden und seine Bahn um den späteren Weißen Zwerg (nach dem Ende der Rote Riesen-Phase) verlassen.

Bei Begleitern geringerer Masse, beispielsweise Exoplaneten, ist es wahrscheinlicher, daß sie auf ihrer Bahn um den Roten Riesen überleben; ihr Bahnradius wird mit zunehmendem Masseverlust größer. Allerdings kann die Akkretion von Materie auf dem Begleiter, die Verdampfung (aufgrund erhöhter Temperaturen), ein *anisotropischer Masseverlust* [1] des Roten Riesen, *Jets* [1] oder jegliche *viskose Wechselwirkung* [1] mit der Scheibe die Bahnentwicklung des Begleiters beeinflussen.

Währenddem Gezeiten die Bahn des Begleiters eher relativ schnell kreisförmiger machen, trägt eine anisotropische Wechselwirkung des Begleiters mit der Scheibe eher zur Destabilisierung der Bahn (Neigung) bei oder auch zur Verdrehung der zirkumstellaren Scheibe.

Mögliche Auswirkung im Sonnensystem

In Bezug auf die zukünftige Entwicklung der Sonne deuten die beobachteten Eigenschaften des Sterns L₂ Pup A an, daß die Planeten Merkur und Venus aufgrund ihrer geringen Entfernung zum Zentralstern (0,6 AE) sehr wahrscheinlich in die Hülle um die Sonne eintauchen werden, wenn diese sich im Stadium eines Roten Riesen befinden wird. Wenn die Bahnenergie des Begleiters um L₂ Pup während seiner Entstehung konstant war, betrug sein Bahnradius etwa 1,6 AE als der Stern ein gewöhnlicher Hauptreihenstern – wie die Sonne – war. Das entspricht etwa der Lage der heutigen *Marsbahn* [1] um die Sonne.

Die Anwesenheit des Begleiters L₂ Pup B ist damit konsistent mit dem minimalen Radius von 1,15 AE, von dem angenommen wird, daß Planeten außerhalb des Radius in einer Bahn um den Stern überleben. Bei der Anwesenheit mehrerer Planeten spielen deren Bahnwechselwirkungen untereinander eine wichtige Rolle für deren Überlebenschance. Beispielsweise würde die Wanderung des Planeten Jupiter [1] in das innere Sonnensystem großen Einfluß auf die inneren Planeten ausüben. Das **Schicksal der Erde** hängt ebenfalls davon ab wie die Entwicklung des Roten Riesen weiter verläuft, insbesondere im Hinblick auf Asymmetrien im Sternwind und den zeitlichen Verlauf bzw. der Effizienz des Masseverlusts des Riesensterns. Leider ergeben unterschiedliche Modellrechnungen verschiedene Szenarien für das Überleben der Erde im Sonnensystem; daher können Schlußfolgerungen aus den Beobachtungen von L₂ Pup Hinweise auf den weiteren Verlauf der Entwicklung im Sonnensystem liefern.

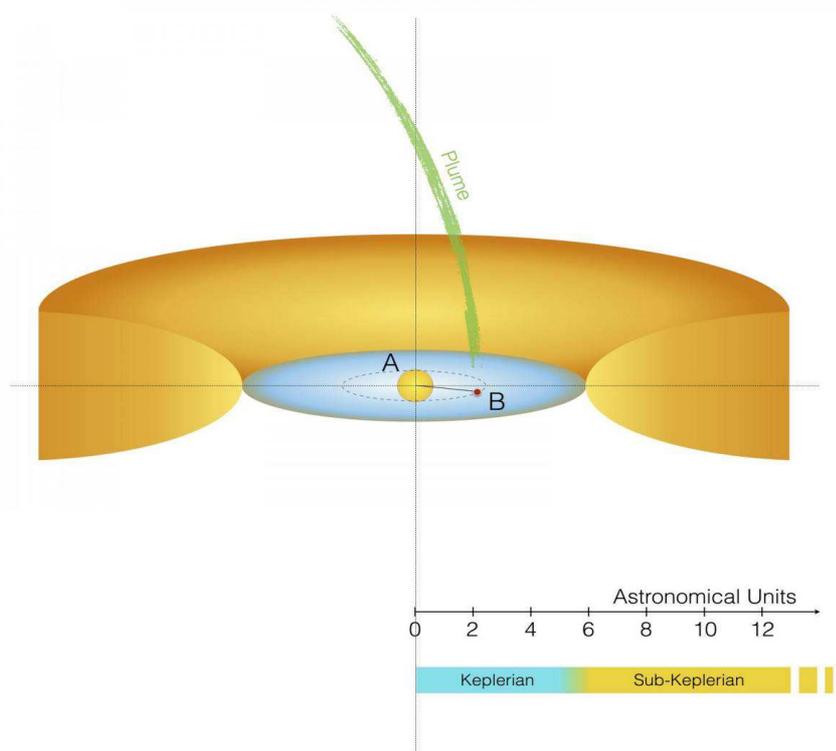


Abb. 4 Schematische Darstellung der Umgebung des Sterns L₂ Pup.

Die schematische Darstellung beschreibt die Kompositaufnahme in Abb. 3. Das L₂ Pup-System besteht aus dem zentralen Stern, L₂ Pup A (gelb), sowie einem Begleiter, L₂ Pup B (rot), mit unbekannter Natur. Dabei könnte es sich um einen Exoplaneten oder einen Braunen Zwerg handeln. Das System ist in eine zirkumstellare Scheibe (gelb-orange) eingebettet. Der Abstand des Begleitobjektes und der Scheibe sind in Astronomischen Einheiten (unten, *Astronomical Units*) angegeben.

Die rauchfahnenartige Struktur (**grün, Plume**) bezeichnet sich schnell bewegendes Material (Geschwindigkeit rund 12-20 km/s [2]).

© P. Kervella et al. (CNRS/U. de Chile/Observatoire de Paris/LESIA/ESO/ALMA)

Der Exoplanet oder Braune Zwerg könnte L₂ Pup in der Vergangenheit in geringerem Abstand umkreist haben, denn die Bahnen derartiger Objekte um Riesensterne geraten in größere Entfernungen, wenn die Sterne immer mehr Masse verlieren.

Die **Entstehung der zirkumstellaren Scheibe** könnte das Ergebnis eines andauernden verstärkten Masseverlusts des Sterns L₂ Pup A sein. Der **Einfluß des Begleiters** L₂ Pup B auf diese Entwicklung ist bislang unklar. [3] Möglicherweise befindet sich der Stern im Frühstadium der Bildung eines sog. *bipolaren Planetarischen Nebels* [3]. Gemäß Modellrechnungen endet das Stadium des Roten Riesen für L₂ Pup wahrscheinlich bereits in etwa 500.000 Jahren [2].

Offensichtlich müssen wir noch viel von dem Stern L₂ Pup lernen, insbesondere über die **Wechselwirkung** des vermeintlichen Exoplaneten mit dem Stern, bevor wir ausreichend Information darüber haben, was geschieht, wenn die Sonne zu einem Roten Riesen und wie diese Phase die Erde und den Rest des Sonnensystems beeinflussen wird.

Allerdings müssen wir uns zur Zeit **keine Gedanken machen**, ob die Erde sozusagen „sicher“ vor der Sonne ist. Das Stadium des Roten Riesen wird die Sonne erst in rund 5 Milliarden Jahren erreichen.

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

Quellenangaben:

[1] Mehr Information über astronomische Begriffe
www.wikipedia.de

[2] Mehr über die neuen Beobachtungen in L₂ Pup
Kervella, P., et al., *A&A* (May 2015)
Kervella, P., et al., *EAS Publications Services* (2015)
Kervella, P., et al., *A&A* 596, A91 (2016)

[3]
Zhen. Z., et al., *MNRAS* 460, 4, 4182-4187 (2016)
Staff, J. E., et al., *MNRAS* (Feb 2017)