

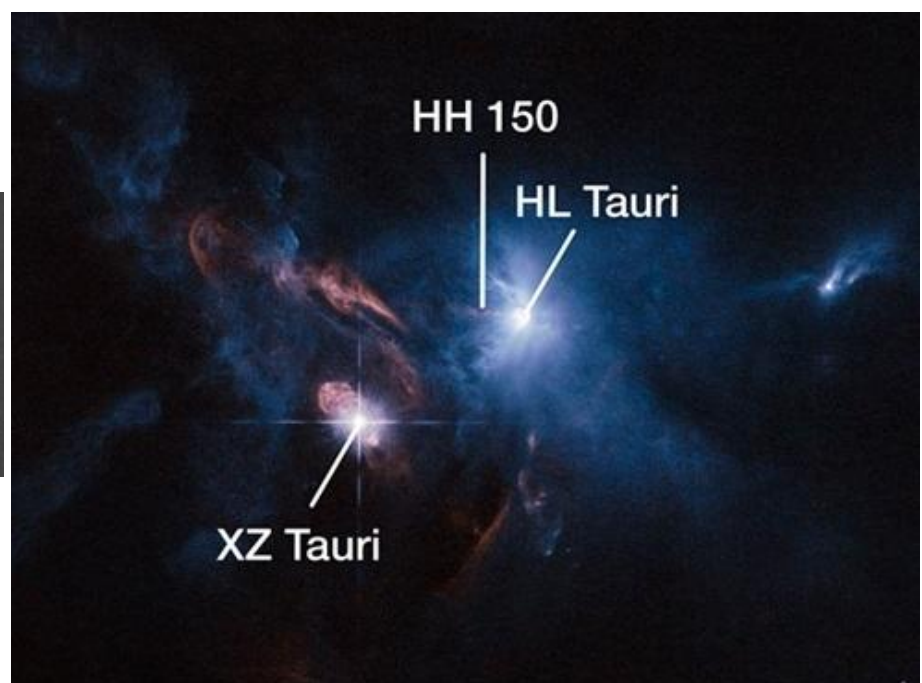
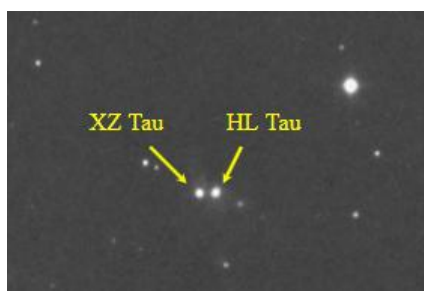
Ein Planetensystem entsteht [17. Apr.]

Wie entstehen Planetensysteme? und Wie entstehen neue Planeten?



Abb. 1 Lage der Sternentstehungsregion um den Stern HL Tau.  
Der Stern HL Tau ist Teil einer der uns nächstgelegenen Sternentstehungsregionen.  
Dort existieren zahlreiche junge Sterne und riesige Staubwolken.  
© ESO/DSS2

Der Stern HL Tau [1] im Sternbild Stier (Tau) [1] (Abb. 1, 2) ist ein sehr junger sonnenähnlicher Stern [1], der von einer staubigen zirkumstellaren Scheibe [1] und einer Hülle umgeben ist. Wahrscheinlich ist HL Tau erst rund 100.000 Jahre alt; auf alle Fälle ist der Stern jünger als eine Million Jahre.

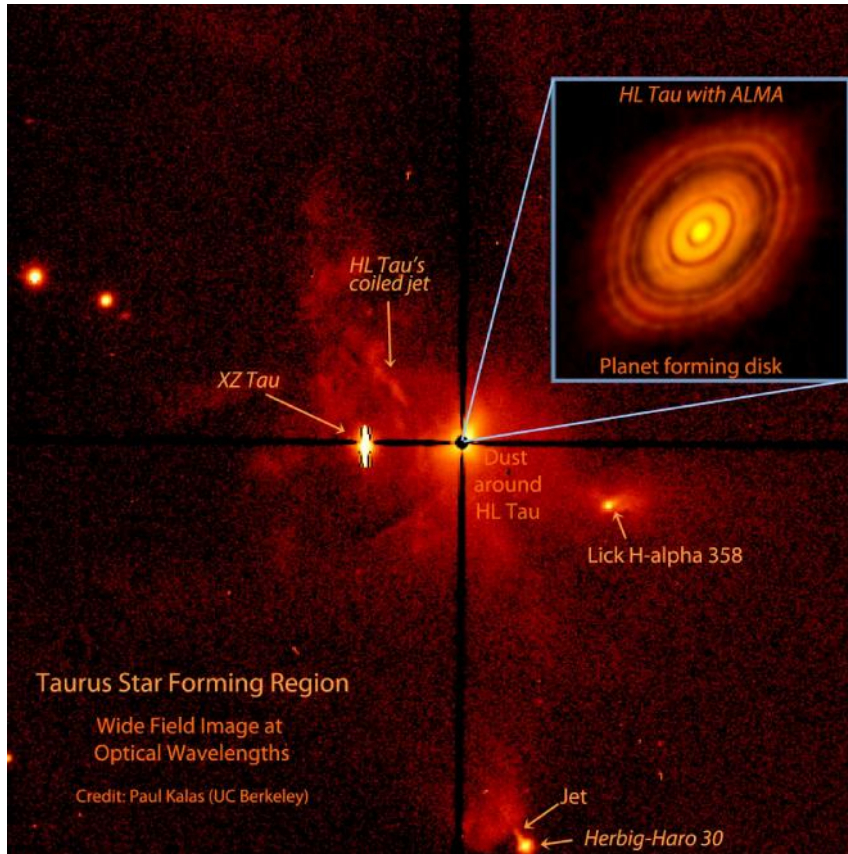


### Abb. 2 Lage des Sterns HL Tau.

Links: HL Tau und XZ Tau im Optischen Bereich. Rechts: Der Stern HL Tau befindet sich im Sternbild Stier, in der Nähe des Objekts HH 150 [1] und des Sterns XZ Tau [1]. Die jungen Sterne sind von riesigen Gas- und Staubwolken umgeben.

© Palomar Sky Survey // NASA/HST

Das System HL Tau befindet sich in einer Entfernung von rund 500 Lichtjahren (Lj) [1] in einer Region, in der neue Sterne entstehen (Abb. 3).



### Abb. 3 Umgebung des Sterns HL Tau.

Der Stern HL Tau befindet sich in einer Umgebung, in der sich viele junge Sterne befinden. Weit ausserhalb der den Stern umgebenden Gas- und Staubscheibe befinden sich grosse Mengen von Staub (Dust around HL Tau). Es scheint fast als blicke man in die Kinderstube unseres Planetensystems vor einigen Milliarden Jahren.

© NASA/HST/P. Kalas/UC Berkeley

Seit 1975 weiss man, dass HL Tau von einer Staubscheibe umgeben ist, die etwa 40 mal grösser ist als der Durchmesser des Sonnensystems [1] (Abb. 3).

Der Stern besitzt eine Masse, die nur etwa 10 Prozent der Sonnenmasse [1] beträgt. Das reicht nicht aus, um einen zweiten Stern zu bilden, aber möglicherweise viele Planeten.

HL Tau zeigt alle Eigenschaften eines aktuell entstehenden Planetensystems [1]: der Stern ist von einer Scheibe mit Bereichen umgeben, in denen wahrscheinlich Planeten entstehen (Abb. 4). Computersimulationen scheinen dies zu bestätigen (Abb. 5).

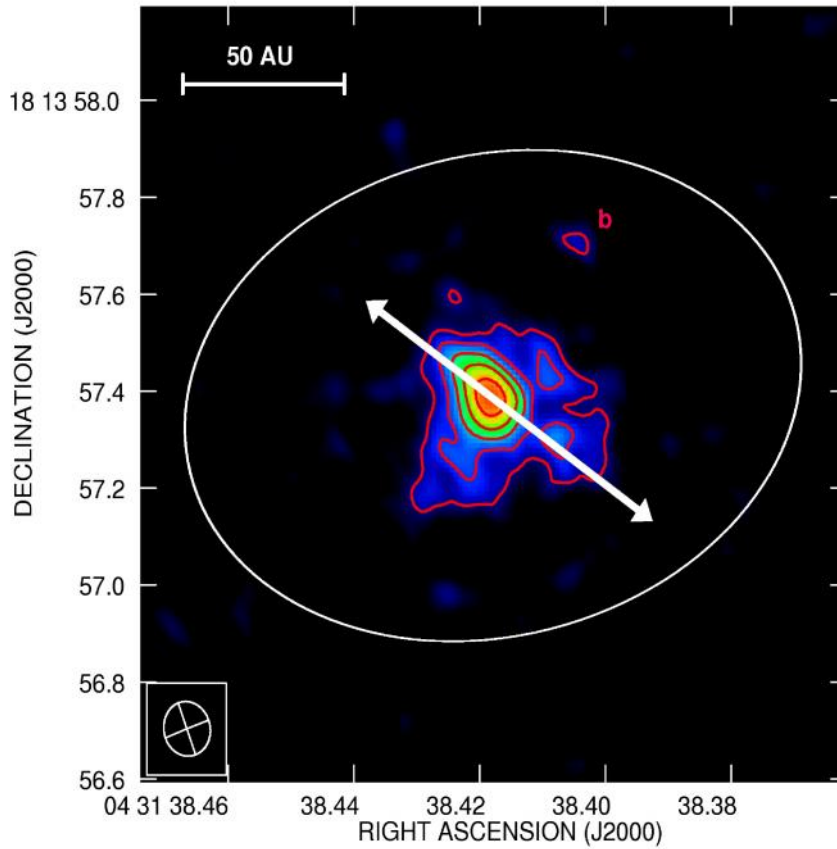


Abb. 4 Falschfarbenaufnahme der Radiostrahlung der Region um den Stern HL Tau.  
 Der Stern HL Tau befindet sich in der Bildmitte. Der Stern ist von einer staubigen, gekippten Scheibe umgeben (weisse Ellipse). Die Position des vermuteten Protoplaneten ist mit b gekennzeichnet. Die Skala von rund 50 Astronomischen Einheiten (AE) [1] bezeichnet die Entfernung des Zwergplaneten Pluto [1] zur Erde. Der Pfeil markiert die Richtung von Jets [1] aus heissem Gas, die von dem jungen Planetensystem ausgeschleudert werden.  
 © VLA/Pie Town Antenna

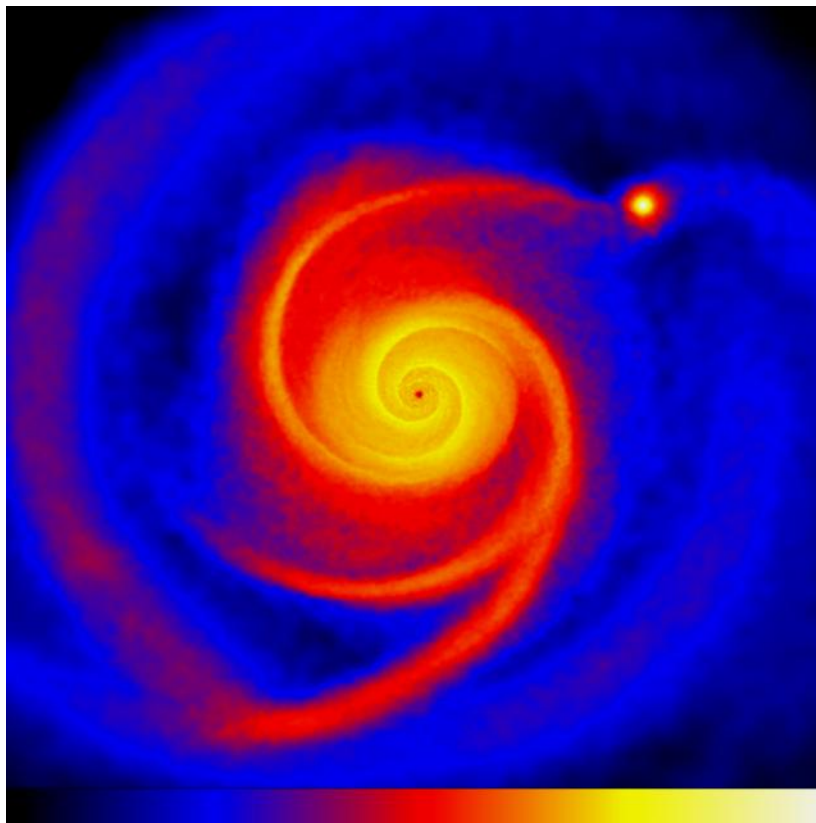


Abb. 5 Computersimulation des Systems um den Stern HL Tau.

Das Modell zeigt die Bildung dichter Klumpen (oben rechts) mit Massen von rund 8 Jupitermassen [1] in einer Entfernung von rund 75 Astronomischen Einheiten vom Zentralstern. Die Simulation zeigt ausserdem unterschiedlich breite Ringe, in denen sich die Restmaterie des Systems befindet.  
© Greaves et al. (2008)

### Alte Beobachtungen

Bereits vor zwei Jahren zeigten hochauflösende Beobachtungen des ALMA (Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array) [1] die detailreichsten Aufnahmen, die jemals von einem sich in der Entstehung befindlichen Planetensystems gemacht wurden [2] (Abb. 6).

Sterne wie HL Tau und unsere Sonne bilden sich in riesigen Gas- und Staubwolken [1], die irgendwann unter ihrer eigenen Schwerkraft kollabieren. Nach einiger Zeit bleiben die dort befindlichen Staubteilchen "aneinander kleben", wachsen bis sie schliesslich zu grösseren Gesteinsbrocken werden, die sich möglicherweise in der den jungen Stern umgebenden Scheibe sammeln, dort wo sich Asteroiden [1], Kometen [1] und Planeten bilden.

Wenn diese Himmelskörper ausreichend viel Masse besitzen, verändern sie die Struktur der den umgebenden Scheibe, bilden Ringe und Lücken aus (Abb. 6), sorgen dafür, dass der dort befindliche Staub und das Gas dichter zusammenrücken, wenn sich die Vorstufen der Planeten durch die Scheibe bewegen.

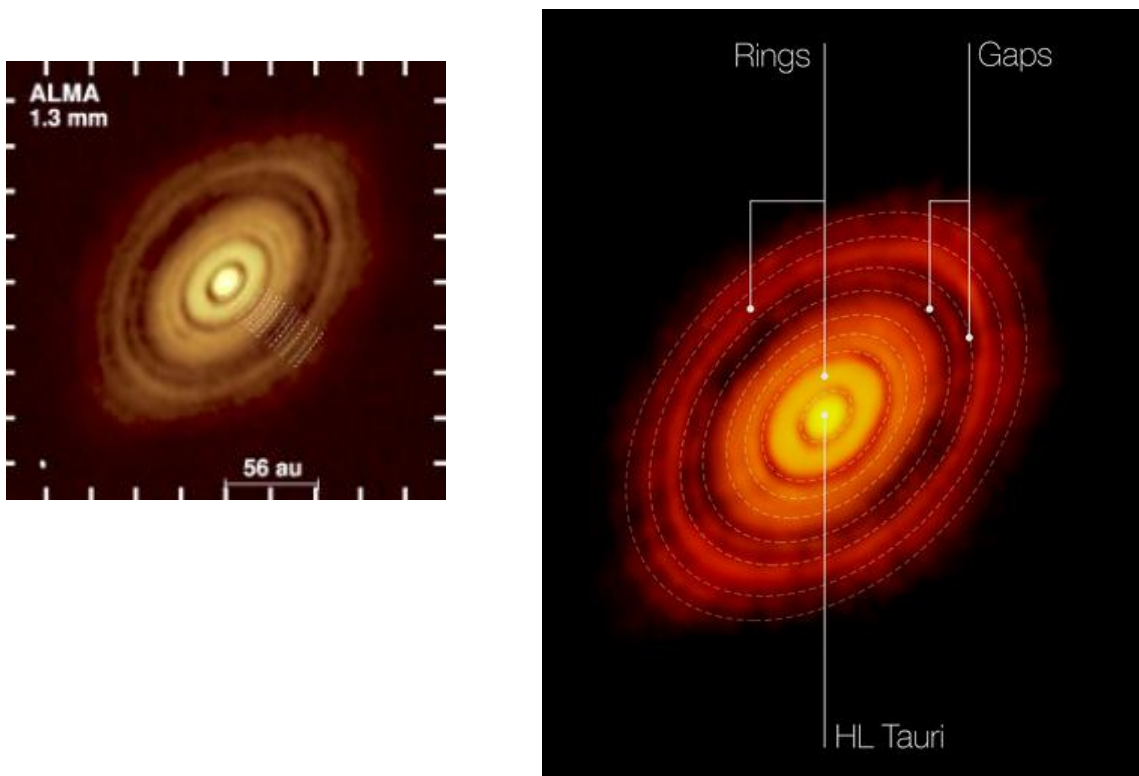


Abb. 6 Erklärung der Strukturen um den Stern HL Tau.

Die Aufnahmen zeigen die Scheibenstruktur um den Stern HL Tau. Links: Die Beobachtung der Scheibenstruktur bei einer Wellenlänge [1] von 1,3 Millimetern (2014). Rechts: Die aktuelle Beobachtung der Scheibe um den Stern HL Tau mit der Zuordnung von Ringen (Rings) und Lücken (Gaps), in der Bildmitte befindet sich der Stern HL Tau.

© ALMA

Im sichtbaren Bereich [1] wird HL Tau teilweise von den Stern umgebenden massereichen Staub- und Gaswolken verdeckt. Mithilfe bestimmter Wellenlängen ist es jedoch möglich, durch diese Wolken hindurchzusehen und in Richtung des neuen Stern zu blicken.

Die Untersuchung der protoplanetaren Scheibe trägt zum Verständnis der Bildung der Erde in unserem Sonnensystem bei. Die Analyse der ersten Stadien der Entstehung von Planeten um den Stern HL Tau könnte uns helfen zu verstehen wie unser eigenes Planetensystem vor 4 Milliarden Jahren ausgesehen hat.

### Neue Beobachtungen

Seit rund 10 Jahren beobachtet man im Sternsystem HL Tau einen Materieauswurf, der darauf schliessen läßt, dass sich in der Scheibe des jungen Sterns bereits neue Planeten bilden. Beobachtungen des CARMA (Combined Array for Research in Millimeterwave Astronomy) [1] weisen darauf hin, dass die protoplanetare Scheibe instabil ist und bereits fragmentiert.

Beobachtungen mit dem VLA (Very Large Array) [1] mit einer Auflösung von 12 Astronomischen Einheiten (AE) [1] zeigen bei einer Entfernung von 65 AE eine kompakte Struktur innerhalb der Scheibe (Abb. 7). Die Forscher interpretieren die Beobachtungen mit einem Protoplaneten [1].

Nun konnten Beobachtungen [3] der Staubemission der Scheibe mit ALMA mit einer Auflösung bis zu 3,5 AE beweisen, dass dort Strukturen wie symmetrische helle und dunkle Ringe (Abb. 6) bestehen, die wahrscheinlich mit dichten bzw. dünnen Staubstrukturen in der Scheibe übereinstimmen.

Simulationen erklären diese Strukturen mit der möglichen Existenz von Planeten unterhalb der Jupitermasse bis hin zu individuellen massereicheren Planeten. Alternative Erklärungen favorisieren magnetisierte Scheibe ohne die Anwesenheit von Planeten. Beobachtungen mit dem LBT (Large Binocular Telescope) [1] schliessen die Anwesenheit massereicher Planeten (10-15 Sonnenmassen [1]) eher aus und favorisieren die Existenz von Planeten mit niedrigerer Masse.

Neue Beobachtungen mit dem VLA-Radioteleskop blicken tiefer in die Scheibe um HL Tau. Sie zeigen den innersten Teil einer Geburtsstätte von Planeten um den jungen Stern HL Tau in bisher unerreichter Auflösung: Dabei wird ein Staubklumpen (Abb. 7) sichtbar, dessen Masse rund 3-8 Erdmassen [1] entspricht.

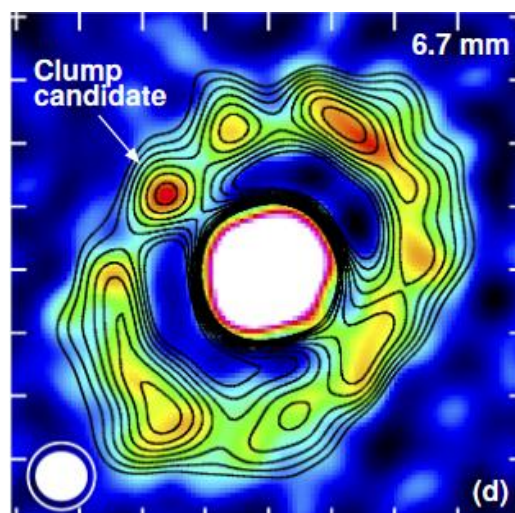


Abb. 7 Erklärung der Strukturen um den Stern HL Tau.

Neue Beobachtungen mit dem VLA zeigen deutlich eine Masseverdichtung innerhalb der den Stern umgebenden Scheibe. Dabei könnte es sich um einen Protoplaneten handeln.

© VLA

Die Beobachtungen entsprechen den idealen Bedingungen für die Bildung eines Planeten: die Existenz eines Materiekumpens in der protoplanetaren Scheibe um den Stern HL Tau mit einer Masse, die zwischen der Masse der Erde und der des Planeten Neptun [1] liegt. Ein derartiger Befund deutet auf die Lösung eines grundlegenden Problems der Bildung von Planeten: Wie können sich Planeten innerhalb einer begrenzten Zeitskala bilden?

Die gegenwärtig akzeptierte Theorie der Planetenentstehung besagt: Wolken aus Gas und Staub werden komprimiert und beginnen sich einander anzunähern. Wenn ausreichend viel Materie zusammengeklumpt ist, bildet sich ein Stern und beginnt mit dem Prozess der Kernfusion [1]. Da der Stern, die ihn umgebende Wolke aus Gas und Staub rotieren, sammeln sich weitere Materiekumpen in der Wolke und können Planeten bilden.

Die Wissenschaftler haben zahlreiche Hinweise, dass die Entstehung von Planeten genau so abläuft, jedoch ist es schwierig einen Einblick in die Frühstadien der Planetenentstehung zu erhalten, um die Theorie zu beweisen.

Mithilfe des VLA konnten im Radiobereich erstmals Aufnahmen der Frühstadien des Prozesses der Planetenentstehung gemacht werden.

Die beteiligten Forscher glauben, dass der beobachtete dichte Klumpen in der protoplanetaren Scheibe um HL Tau das früheste Stadium der Entstehung von Protoplaneten darstellt. Niemals zuvor konnte in eine derart frühe Phase geblickt werden.

Der Klumpen entspricht wahrscheinlich einem planetaren Embryo mit einer Masse von 3-8 Erdmassen. Das reicht aus, um einige erdähnliche Planeten zu bilden wie sie in unserem Sonnensystem vorkommen. Innerhalb der nächsten Millionen Jahre könnte sich dort mindestens ein Planet bilden.

Die neue Entdeckung hat weitreichende Folgen: Seit langem wissen die Forscher, dass die einfachsten Modelle der Planetenentstehung ein Problem mit der Zeitdauer haben. In diesen Modellen sind die protoplanetaren Scheiben aus Gas und Staub gleichmässig und homogen.

Die Prozesse zur Entstehung von Planeten finden auf kleinen Skalen statt: die Staubkörner werden zusammengebacken und wachsen bis sich Planeten gebildet haben. Allerdings ist das Wachsen der Himmelskörper ein sehr langsamer Prozess, zu langsam für die zur Verfügung stehende Zeitspanne. Denn während rund 10 Millionen Jahren werden das Gas und der Staub der Scheibe durch die intensive Strahlung des jungen Sterns weggeblasen. Ohne Gas und Staub können sich Planeten um den Stern niemals bilden, erst recht nicht massereiche Planeten.

Die neuen Beobachtungen scheinen eine beschleunigte, ultraschnelle Planetenbildung zu zeigen: der Gasfluss innerhalb der Scheibe erzeugt lokale

Konzentrationen aus Staub. Daher kann die Planetenbildung in den dichten Staubregionen schneller als üblich stattfinden. Eine derartig schnelle Entstehung von Planeten wird durch Computersimulationen bestätigt.

Die Folge: in den um die jungen Sterne befindlichen dichten Staubringen bilden sich klumpige Fragmente. Im Fall von HL Tau könnte der beobachtete dichte Klumpen tatsächlich naheliegende Materie anziehen und weiter anwachsen.

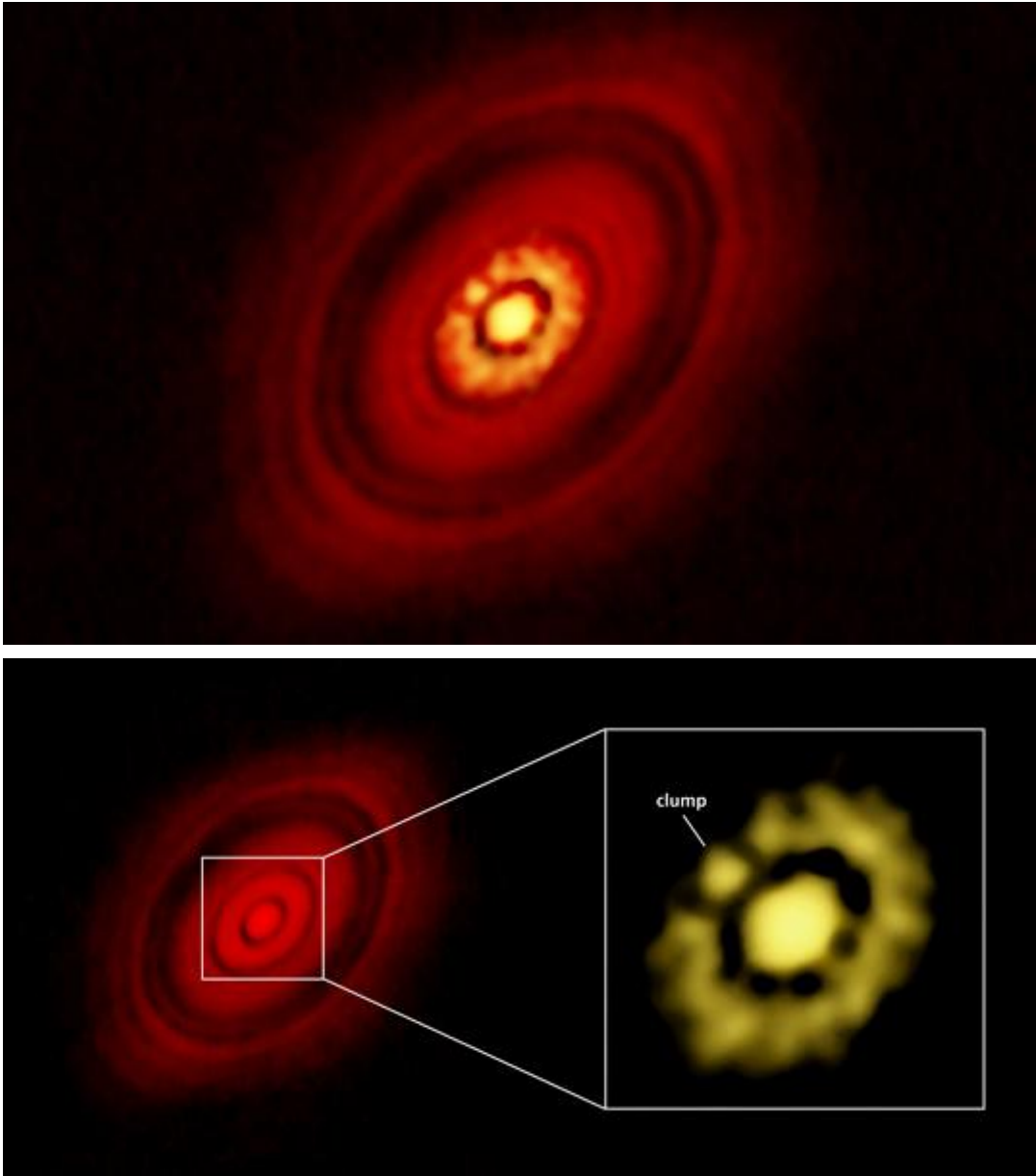


Abb. 8 Klumpenbildung in der SCheibe um HL Tau.

Links: Die protoplanetare Staubscheibe um den jungen Stern HL Tau zeigt neben einer hellen Ringstruktur auch ausgeprägte Lücken. Rechts: Die neuen Beobachtungen mit dem VLA zeigen zudem weitere Strukturen in der inneren Ringstruktur. Insbesondere ein Objekt kann als Materieklumpen interpretiert werden. Dabei handelt es sich wahrscheinlich um einen planetaren Embryo, eine Region, in der gerade ein Planet geboren wird.

© ALMA // VLA/Carrasco-González et al./B. Saxton/NRAO/AUI/NSF

Ob es sich bei dem neu beobachteten Materieklumpen innerhalb der inneren Scheibe tatsächlich um einen Protoplaneten - in welcher Entwicklungsphase

auch immer - handelt, kann nicht bewiesen werden. Dennoch ist es sehr wahrscheinlich, dass dort neue Planeten entstehen können.

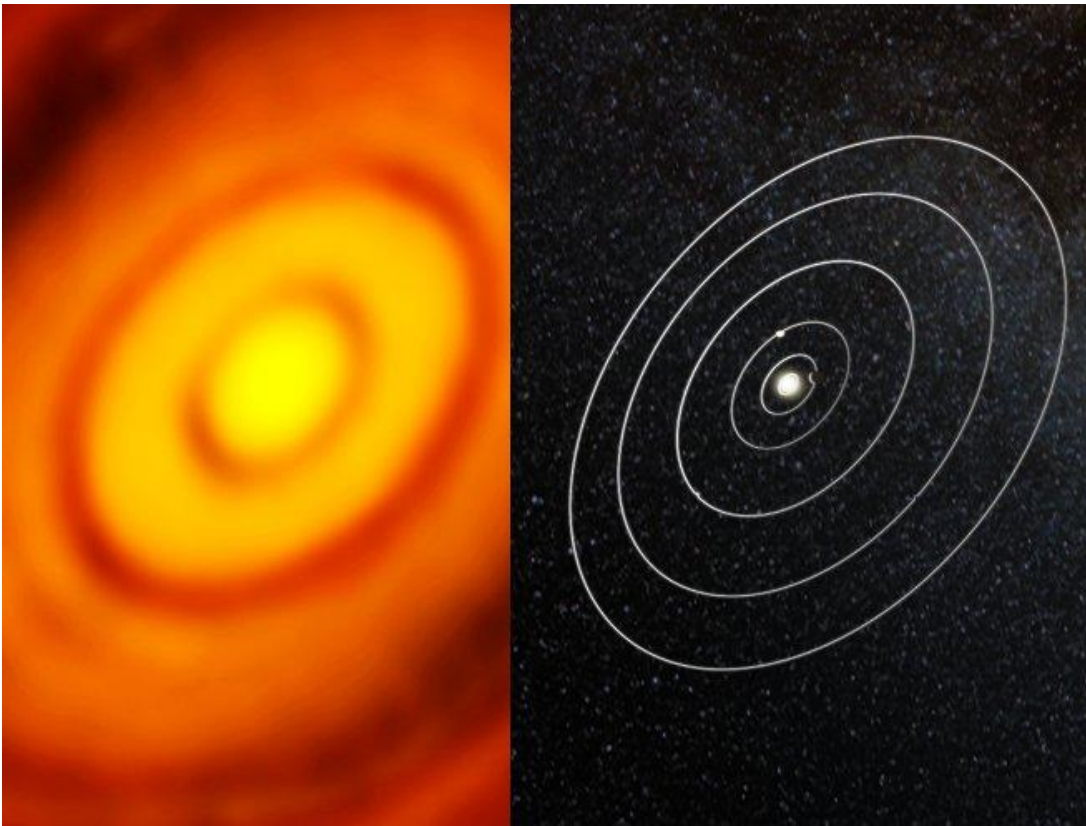


Abb. 9 Vergleich des Sternsystems HL Tau mit unserem Planetensystem.

Die Abbildungen vergleichen die Grösse des Sonnensystems (rechts) mit der des Sternsystems HL Tau und der den Stern umgebenden protoplanetaren Scheibe (links). Obwohl HL Tau wesentlich kleiner ist als unsere Sonne, umfasst die ihn umgebende Scheibe fast drei Mal die Grösse unseres Planetensystems von der Sonne bis zum Planeten Neptun.

© ALMA/ESO/NAOJ/NRAO

Falls Sie Fragen und/oder Anregungen zu diesem Thema haben, schreiben Sie uns unter [kontakt@ig-hutzi-spechtler.eu](mailto:kontakt@ig-hutzi-spechtler.eu)

Ihre  
IG Hutzi Spechtler – Yasmin A. Walter

Quellenangaben:

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

[2] Mehr Information über ALMA  
<http://www.almaobservatory.org>

[3]  
[www.mpg.de](http://www.mpg.de)  
<https://public.nrao.edu>

Carrasco-González, C., et al., APJL 821, 1 (2016)