

Ein Planet(ensystem) um TW Hydrae? [27. Jan.]

Seitdem der erste *Exoplanet* [1] um den sonnenähnlichen Stern *51 Pegasi* [1] im Sternbild *Pegasus* [1] im Jahr 1995 entdeckt wurde, konnten bis zum Jahr 2015 bereits **mehr als 5.000 Exoplaneten-Kandidaten** gefunden werden. Dabei stellt die Mehrheit der entdeckten extrasolaren Planeten *Mehrfachplanetensysteme* [1]; daher sind die meisten Wissenschaftler der Meinung, daß in der Milchstraße ebenfalls Planetensysteme wie unser *Sonnensystem* [1] existieren.

Die Strukturen **junger zirkumstellarer Scheiben** [1] können wichtige Einblicke in die Bildung und Entwicklung von Planetensystemen liefern. Mithilfe von Beobachtungen im *Infraroten- und Millimeter- bzw. Submillimeter-Bereich* [1] des Spektrums wurden bereits im Jahr 2011 mithilfe von Modellrechnungen vorhergesagte **komplexe Strukturen** wie Lücken, Löcher, *Spiralarme* [1] oder asymmetrische Strukturen bei zahlreichen protoplanetaren Scheiben entdeckt.

Das System TW Hya

Bei dem Objekt **TW Hydrae** (*TW Hya*, *HIP 53911* [1]) im Sternbild *Wasserschlange* (Hyd) [Abb. 1] handelt es sich um einen jungen Stern mit einer **protoplanetaren Scheibe** [1], der sich noch nicht auf der sog. *Hauptreihe* [1] – wie die Sonne – befindet.



Abb. 1 Lage des Sterns TW Hya im Sternbild Wasserschlange (Hya).

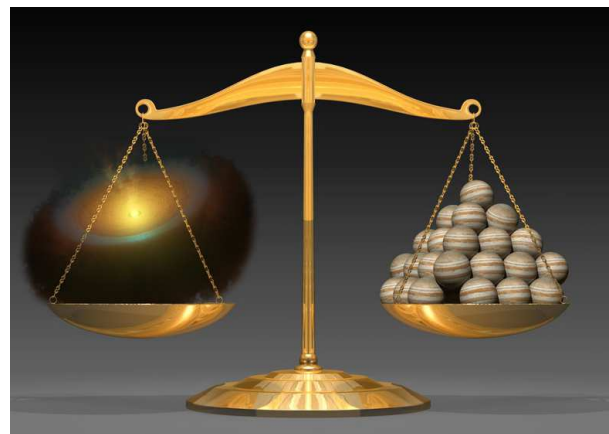
Der junge Stern *TW Hya* (weißer Kreis, unten) befindet sich unterhalb der Hauptlinie des Sternbilds *Wasserschlange*. Die *scheinbare Helligkeit* [1] des Sterns beträgt 10,9 mag [1].

© NASA/ESA

TW Hya ist rund **10 Millionen Jahre alt** und damit wesentlich jünger als unsere Sonne. Die **Masse** des Sterns beträgt etwa 0,55 *Sonnenmassen* [1], die **der Scheibe** rund 0,05 *Sonnenmassen* [3] (Abb. 2).

Abb. 2 Vergleich der Masse der protoplanetaren Scheibe des Sterns TW Hya mit der Jupitermasse.

© ESA



Aus *optischen, Infrarot- und Radiobeobachtungen* [1] schließen die Wissenschaftler auf einen **Scheibendurchmesser** von 150-230 *Astronomischen Einheiten* (AE) [1].

Da es sich bei *TW Hya* um einen jungen Stern handelt, könnte sich das System **mitten im Prozeß der Planetenbildung** befinden; damit würden die Wissenschaftler einen direkten Blick in den Zustand eines Planetensystems erhalten, das unserem vor rund 4,5 Milliarden Jahren ähnelt.

Modellrechnungen weisen seit langem auf eine ringartige Struktur der protoplanetaren Scheibe hin, in der sich **Lücken** befinden, die durch die Anwesenheit eines Exoplaneten entstehen. Die Entdeckung mehrerer Lücken in der Scheibe wäre ein wichtiger Schritt, das Mysterium der Entstehung eines Planetensystems zu ergründen.

Der Stern *TW Hya* ist bereits in zahlreichen Wellenlängenbereichen untersucht worden. Nach einigen Jahren bemerkten die Wissenschaftler die Anwesenheit eines **Schattens** auf der Scheibe (Abb. 5), der sich mit einer Periode von 16 Jahren um den Stern bewegt.

Die **Entfernung** des Sterns *TW Hya* beträgt nach *Gaia-Messungen* [1] rund 175 *Lichtjahre* [1]. Dieser Wert ist etwa 10 Prozent größer als der, der von dem Satelliten *Hipparcos* [1] gemessen wurde.

Scheibenstruktur

Die über den Polen des Sterns *TW Hya* befindliche Scheibe (Abb. 6) zeigt Anzeichen aktiver Planetenentstehung, obwohl man ihr Alter erst auf rund 7-10 Millionen Jahre schätzt. Die Strukturen, die auf die Existenz eines möglichen Planeten deuten, sind ein **aufgeräumter Innenbereich der Scheibe** bis zu einer Entfernung von rund 2,6 AE vom Stern und eine Teillücke bei etwa 89 AE (rund 6 Milliarden Kilometer) im optischen und NIR-Bereich (*Near InfraRed*) [1] sowie eine Lücke im Bereich von 22-27 AE (Abb. 3).

Die Lücke bei rund 80 AE wurde bereits im Jahr 2013 entdeckt, die Lücke bei rund 20 AE (Abb. 3) weist auf die Anwesenheit einer *Staubkomponente* [1] (*Staubteilchendurchmesser 0,1-1 Mikrometer* [1]) hin. Das Wachstum von Staub ist ein wichtiger Schritt im Entstehungsprozeß von Planeten.

Erst im letzten Jahr wurde eine **weitere Lücke bei 7 AE** beobachtet.

Mithilfe **neuer Beobachtungen** des Sterns *TW Hya* mit dem *Weltraumteleskop Hubble* (HST) [1] ergeben sich kleinere Winkelabstände der Scheibenlücken. Die neuen Aufnahmen sollen untersuchen, ob in der protoplanetaren Scheibe **zeitlich variable Strukturen** der Helligkeit – wie sie in anderen protoplanetaren Scheiben existieren – auftreten.

Eine animierte Darstellung der **Helligkeitsvariationen** in der protoplanetaren Scheibe um *TW Hya* finden Sie unter [2].

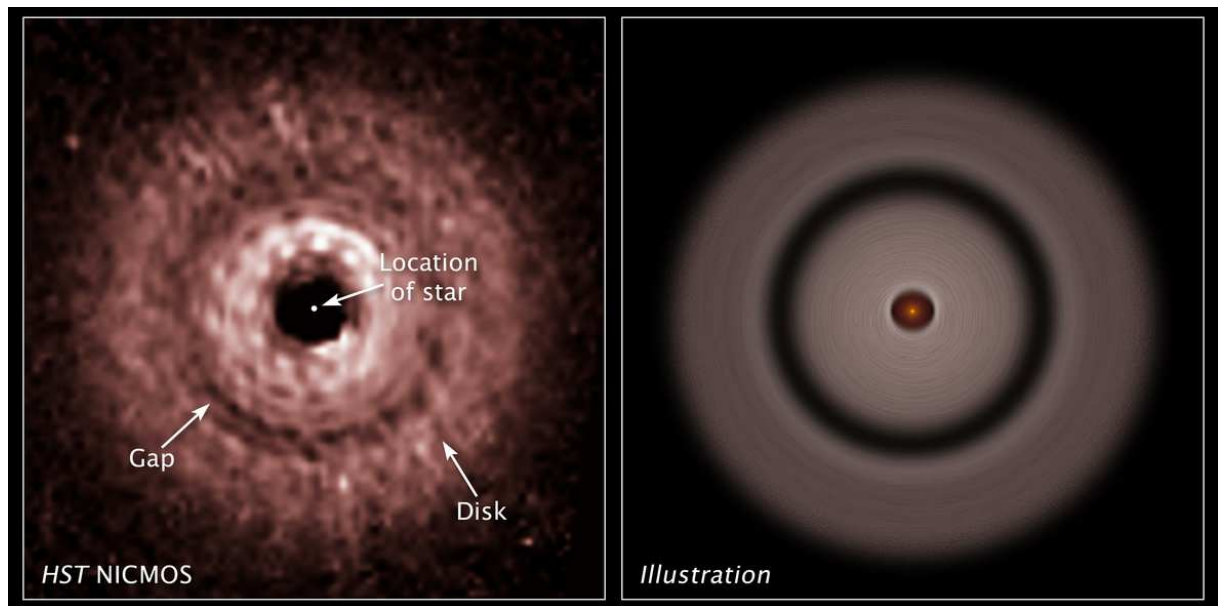


Abb. 3 *TW Hydrae* und die Lücken in der protoplanetaren Scheibe.

Beobachtungen mit dem Weltraumteleskop *Hubble* zeigen in der protoplanetaren Scheibe um den Stern *TW Hya* (Bildmitte) Lücken (*Gap*, linke Abb.). Eine entsprechende Modellierung (links) zeigt, daß eine derartige Lücke tatsächlich entstehen kann, wenn sich Planeten bilden.

© NASA/ESA

Die **Helligkeitsvariationen in der Scheibe um TW Hya** sind bereits während des Ablaufs eines Jahres deutlich zu sehen, hier im Zeitraum 2015-2016, (Abb. 4):

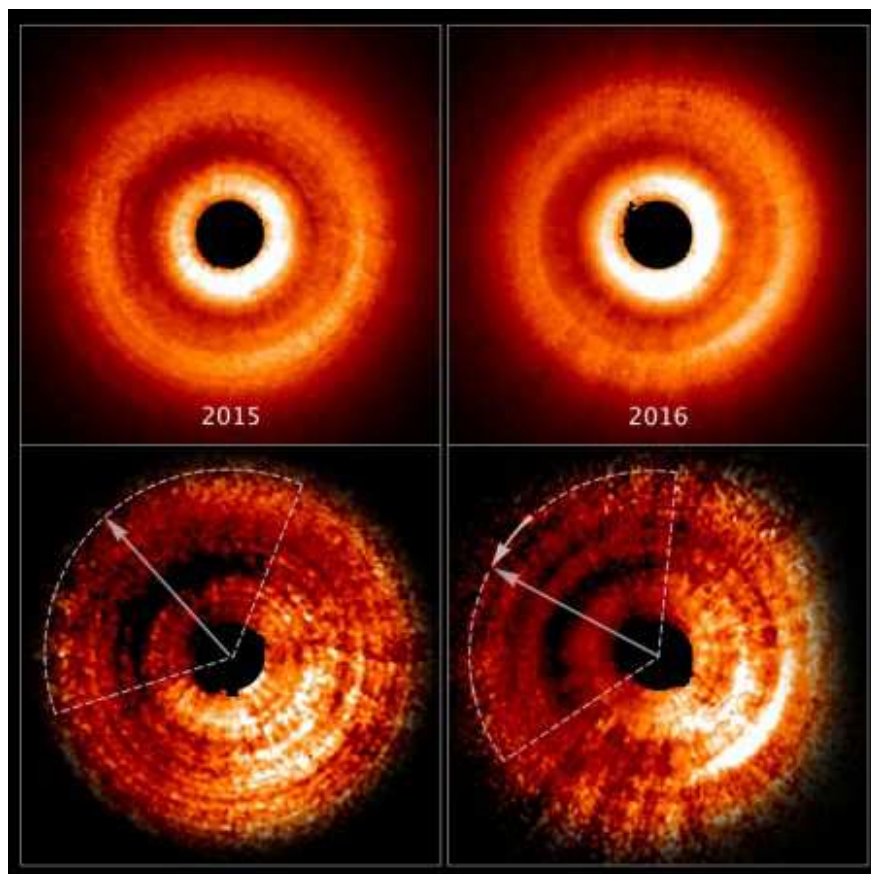


Abb. 4 Helligkeitsvariationen in der protoplanetaren Scheibe um *TW Hya*.

Die beiden oberen Aufnahmen der 4-er Serie zeigen eine ungleichmäßige Helligkeitsverteilung in der protoplanetaren Scheibe um *TW Hya*. Nach der Bildbearbeitung (Aufnahmen unten) werden die dunklen Bereiche der Scheibe noch deutlicher. Die lichtschwächeren Bereiche der Scheibe (oben links) werden durch einen Schattenwurf über den äußeren Bereich der Scheibe erzeugt). Die gestrichelten Linien beschreiben den Bereich dieser Abdunklung. Die langen Pfeile deuten an, wie schnell sich der Schatten innerhalb eines Jahres (2015-2016) bewegt hat; die Bewegung entspricht rund 20 Grad (rund 40 *Vollmonddurchmesser* [1]). Die Umlaufperiode des Schattens beträgt rund 16 Jahre. Staub und Gas der Scheibe umkreisen den Stern mit einer geringeren Geschwindigkeit. Das bedeutet der Schatten ist kein Bestandteil der Scheibe, sondern wird wahrscheinlich durch die Anziehung eines bisher unentdeckten Exoplaneten verursacht, der den Stern in geringer Entfernung umkreist. Während seines Umlaufs bewegt der Exoplanet Material in der Scheibe und verursacht eine Verdrehung der inneren Bereiche, was Licht des Sterns blockiert und einen Schatten auf die äußere Scheibe wirft.

Der merkwürdige Schatten auf der protoplanetaren Scheibe des Sterns *TW Hya* deutet somit auf die Anwesenheit eines Exoplaneten. Der Ring um den jungen Stern besteht aus Gas und Staub, daher ist es schwierig neu entstandene Planeten dieses Systems direkt zu beobachten.

© NASA/ESA/J. Debes/STScI

Asymmetrien

Die beobachtete Asymmetrie der Oberflächenhelligkeit der Scheibe um *TW Hya* verändert ihren *Positionswinkel* [1] (Abb. 4). Im Entfernungsbereich von 50-141 AE bewegt sich die Materie der Scheibe in Bezug auf die Helligkeitsasymmetrie mit konstanter *Winkelgeschwindigkeit* [1] (22,7 Jahre) entgegen dem Uhrzeigersinn; das ist äquivalent mit einer Kreisbewegung einer Umlaufperiode von 15,9 Jahren. Sowohl die kurze Periode und die mangelnde radiale Abhängigkeit der sich bewegenden Schattenstruktur sind mit einer sog. *Keplerrotation* [1] bei diesen Entfernungen vom Stern unvereinbar.

Die Wissenschaftler vermuten, daß die beobachtete Asymmetrie von einer im Innenbereich (bis zu einer Entfernung von 1 AE) geneigten Scheibe stammt, die aufgrund der Anwesenheit eines Planeten oder dessen Vorgängerstadiums zudem eine *Präzession* [1] der Scheibe verursacht und somit die Außenbereiche der Scheibe teilweise verdeckt.

Beobachtungen mit dem *SUBARU-Teleskop* [1] im Jahr 2015 zeigen **Details der Lücke** in der protoplanetaren Scheibe bei rund 20 AE (Abb. 5) [3], die in etwa der Bahn des Planeten *Uranus* [1] um die Sonne (rund 19.19 AE) entspricht.

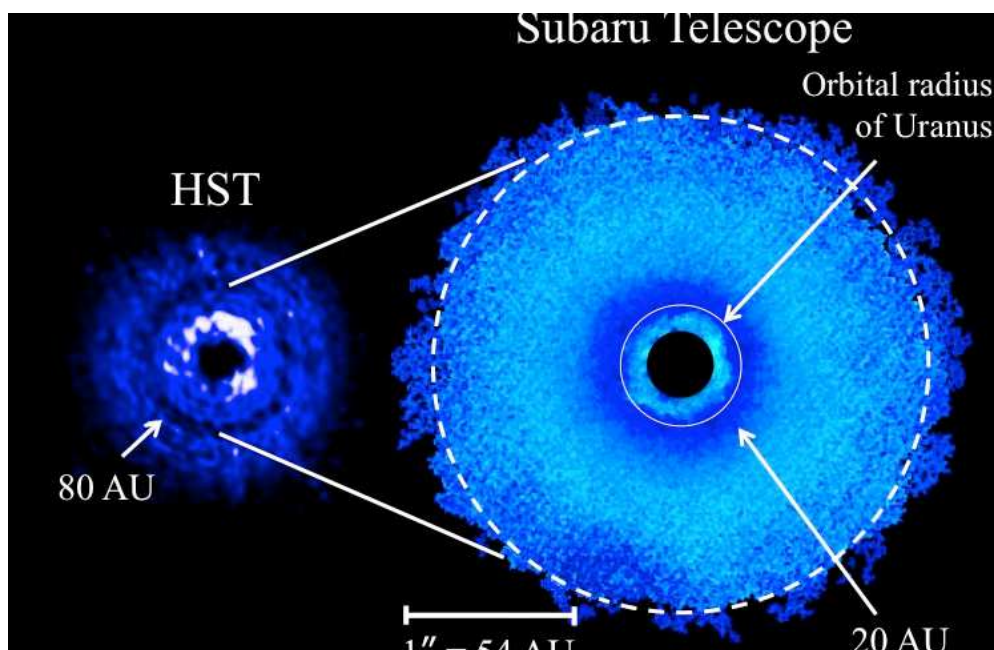


Abb. 5 Vergleich der Beobachtungen von *TW Hya* mit dem HST und SUBARU.

Die mit dem HST im NIR-Bereich beobachtete Lücke in der protoplanetaren Scheibe um *TW Hya* bei rund 80 AE (links) konnte mithilfe des SUBARU-Teleskops detaillierter beobachtet werden (rechts). Die SUBARU-Aufnahme entspricht einem Durchmesser von 80 AE (gestrichelter Kreis). Der schwarze Kreis in der Bildmitte stammt von der *Teleskopmaske* [1] (Radius 11 AE). Die Lücke bei 20 AE (Kreis) wurde erst kürzlich entdeckt.

© NAOJ/SUBARU

Die ringförmigen Lücken in protoplanetaren Scheiben sind deutliche **Hinweise auf die Anwesenheit von Planeten** um Sterne (Abb. 6). Die Lücken in der protoplanetaren Scheibe um *TW Hya* deuten auf multiple **Planetesimale** [1], d.h. Bausteine für die spätere Entstehung eines oder mehrerer Planeten, die sich aus dem Scheibenmaterial in unterschiedlichen Entfernungen vom Zentralstern bilden.

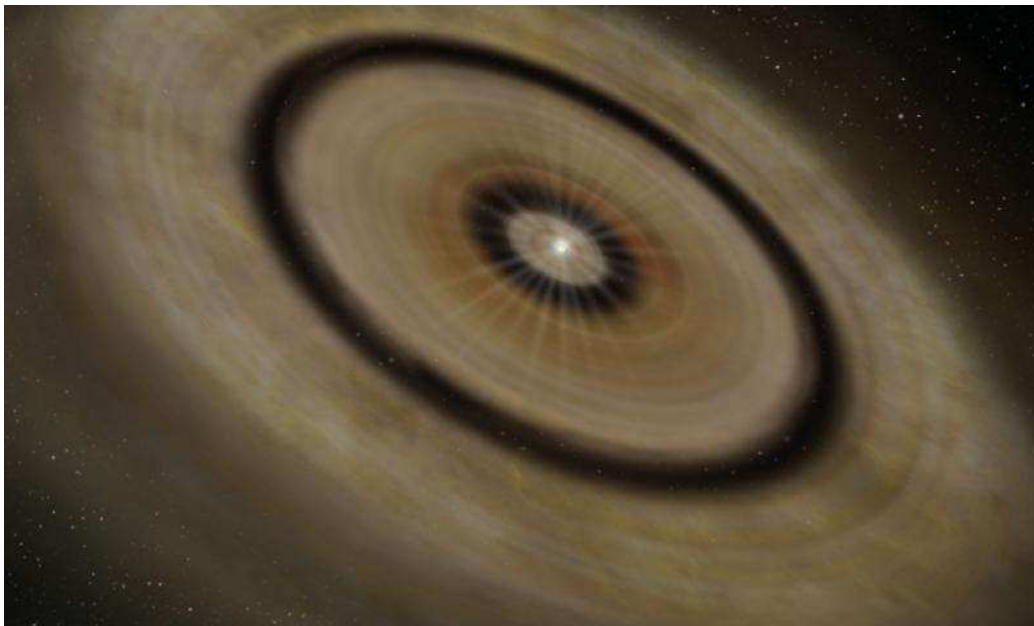


Abb. 6 Künstlerische Darstellung der protoplanetaren Scheibe um *TW Hya*.

Die künstlerische Darstellung zeigt die Doppelringstruktur der protoplanetaren Scheibe um *TW Hya*.

© NAOJ

Die **Details der Scheibenstruktur** um *TW Hya* deuten auf einen Planeten mit etwa einer *Jupitermasse* [1], der sich relativ nah am Stern befindet, denn die Anziehung des vermeintlichen Planeten **deformiert die protoplanetare Scheibe** (Abb. 7).

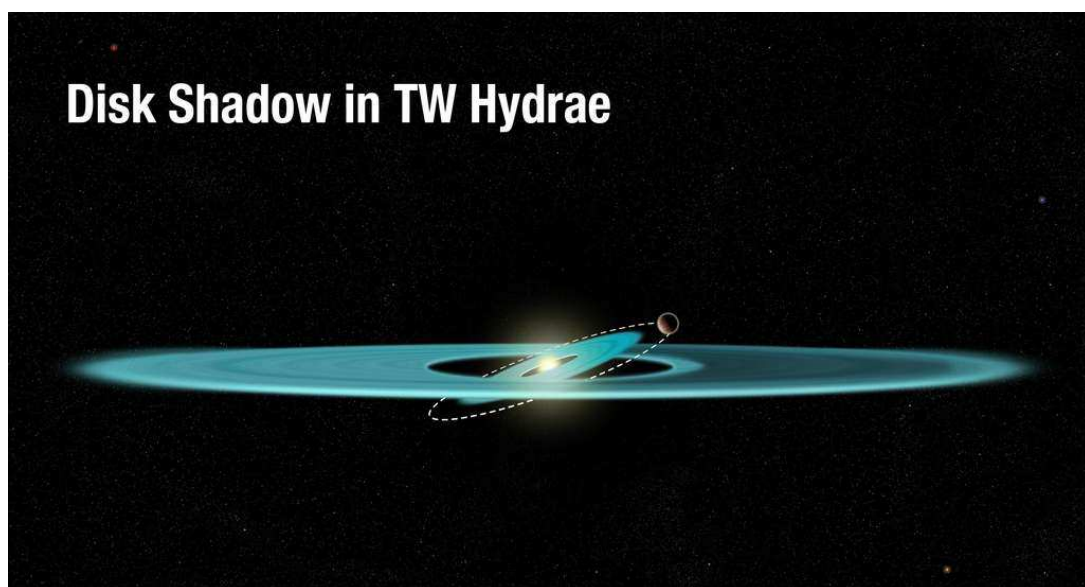


Abb. 7 Künstlerische Darstellung der Ausrichtung der protoplanetaren Scheibe um *TW Hya*.

Die künstlerische Darstellung zeigt die wahrscheinliche Struktur der Gas- und Staubscheibe um den jungen Stern *TW Hya*. Dabei ist die innere protoplanetare Scheibe geneigt. Ein junger Exoplanet – wie der Gasriese Jupiter – könnte die Ursache der Neigung der inneren protoplanetaren Scheibe (Bildmitte) um den Stern *TW Hya* sein. Möglicherweise umkreist der Planet in der Nähe der äußeren Grenze des inneren Scheibenbereichs. Der Schatten dieses geneigten Scheibenfragments könnte die dunkle Schattenstruktur erklären, der auf das äußere Scheibensystem projiziert wird (links). Die geneigte innere Scheibe blockiert das Licht des Sterns in diesem Bereich, daher entsteht ein Schattenwurf.

© NASA

ALMA-Beobachtungen

Neue Aufnahmen mit dem Antennenverbund **ALMA** (*Atacama Large Millimeter Array*) [1] weisen ebenfalls darauf hin, daß in der Scheibe um *TW Hya* mindestens ein Planet entsteht. Sie zeigen **mehrere kreisförmige, weniger dichte Strukturen** (Abb. 8, 9): eine davon befindet sich sehr nahe am Stern; dabei könnte es sich um eine Zone der Sternentstehung handeln. Die Auflösung der Aufnahmen beträgt etwa eine Astronomische Einheit.

Gemäß dieser Beobachtungen beträgt die Masse des Planeten mindestens einige Erdmassen; dann würde es sich um eine sog. *Supererde* [1] handeln.

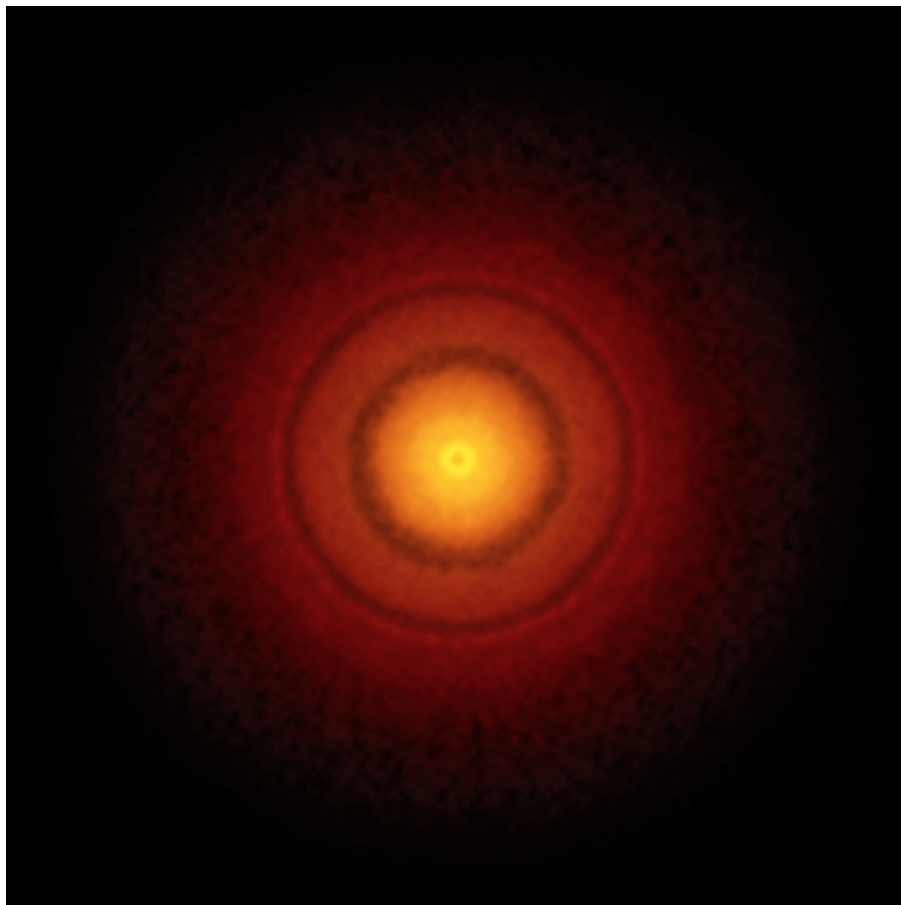


Abb. 8 *TW Hydrae* und die mit ALMA beobachtete protoplanetare Scheibe.

Beobachtungen mit dem Interferometer ALMA deuten an, daß ein neuer Planet um den Stern *TW Hya* in der gleichen Entfernung wie die der Erde von der Sonne entsteht.

© ESO/ALMA

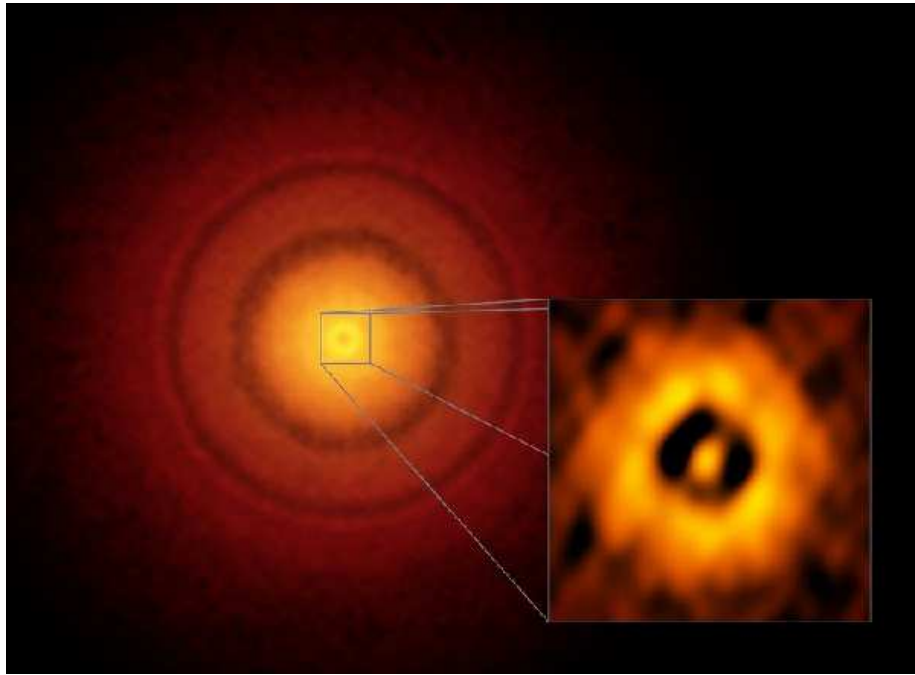


Abb. 9 ALMA-Detailaufnahme der Strukturen um *TW Hydrae*.
 Das Zentrum der protoplanetaren Scheibe um den Stern *TW Hya* zeigt Leerräume,
 die durch die Existenz eines Protoplaneten entstanden sein könnten.
 © ESO/NAOJ/NRAO/Harvard-Smithsonian CfA

AUSBLICK

Die Wissenschaftler planen weitere Millimeter- und Submillimeter-Radiobeobachtungen, die große Staubkörnchen im Inneren der protoplanetaren Scheibe um *TW Hya* entdecken können. Radiobeobachtungen sollen außerdem Gas entdecken, die Hauptkomponente großer *Gasplaneten* [1] – wie dem Planeten Jupiter – sowie Bestandteil von Atmosphären, die Gesteinsplaneten – wie die Erde – umgeben.

Falls sich ein Zusammenhang der sich bewegenden Schattenstruktur in den Außenbereichen der protoplanetaren Scheibe um *TW Hya* bestätigt, könnte die Entdeckung ähnlicher Schattenstrukturen in derartigen Scheiben die Suche nach Exo-Planetensystemen erheblich erleichtern.

Zudem soll die **Kombination von Aufnahmen** der Teleskope SUBARU und ALMA 3-dimensionale Strukturen der protoplanetaren Scheibe aufzeigen und zum weiteren Verständnis der Mechanismen beitragen, die zur Entstehung von Planeten notwendig sind.

In der Zukunft sollen ALMA und das *30-Meter Teleskop* (TMT) [1] überzeugende Information über den Ursprung der Lücken in protoplanetaren Scheiben liefern und mehr Licht in die Vorgänge der Entstehung von Planeten bringen.

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 Objekte des Sonnensystems und astronomische Begriffe
www.wikipedia.de

[2] Animierte Darstellung der protoplanetaren Scheibe um *TW Hya*
http://img2.science-et-vie.com/var/scienceetvie/storage/images/article/tw-hydrae-hubble-filme-l-ombre-d-une-planete-autour-d-une-jeune-etoile-7472/32251-1-fre-FR/TW-Hydrae-Hubble-filme-l-ombre-d-une-planete-autour-d-une-jeune-etoile_width1024.gif

<https://youtu.be/CJOpBAMyO48> (Animation 2013-2028)

[3] Mehr Information zu *TW Hya*
http://exoplanet.eu/catalog/TW%20Hya_b/
<http://sci.esa.int/herschel/51324-herschel-sizes-up-massive-protoplanetary-disc/>
http://hubblesite.org/news_release/news/2017-03 (STScI-2017-03)

Akiyama, E., et al., *APJL* **802**, No. 2 (2015)

Kohler, S., *AAS Meeting* (2016) - <http://aasnova.org>

Andrews, S. M., et al., *ApJ* **820**, L40 (2016)

Kellogg, K., et al., *ApJL* (2016)

van Boekel, R., et al., *ApJ* (2016)

Debes, J., *AAS Meeting* (Jan 2017)