

Planet Nine – 4 Kandidaten für den neuen 9. Planeten [23. Apr.]

Die Geschichte der Astronomie hat uns gelehrt, *Bahnanomalien* [1] innerhalb des *Sonnensystems* [1] nicht außer acht zu lassen. Zwei bekannte Beispiele hierfür sind die Entdeckung des Planeten *Neptun* [1] und die Nicht-Existenz des vermeintlichen Planeten *Vulcan* [1]. Die Vorhersage der Existenz des Planeten Neptun basierte auf der *Bahnanomalie* [1] des Planeten *Uranus* [1]. Neptun wurde nach der Vorhersage im Jahr 1846 von *Le Verrier* [1] entdeckt.

Die Nicht-Entdeckung des Planeten Vulcan führte dennoch zu zahlreichen neuen revolutionären Ideen innerhalb der Physik, beispielsweise der geometrischen Interpretation der *Schwerkraft* [1]. Dadurch konnte die anomale *Präzession* [1] des Planeten *Merkur* [1] von *Albert Einstein* [1] erstmals zufriedenstellend erklärt werden.

Bahnanomalien von Kleinplaneten

Im Jahr 2016 entdeckten zwei Forscher [2] anhand von exzentrischen Bahnen einiger *Kleinplaneten* [1] im *Kuiper-Gürtel* [1] (*ETNOs* [1]), daß diese von einem massereichen Himmelskörper beeinflusst werden könnten. Der Kuiper-Gürtel enthält mindestens 1.700 Objekte, die aus der Frühphase des Sonnensystems stammen.

Die Bahnen der ETNOs befinden sich außerhalb der Neptunbahn in Entfernungen von 150-1.500 *Astronomischen Einheiten* (AE) [1]. Bis September 2016 waren insgesamt 19 ETNOs registriert. Davon scheinen 6 ETNOs außerhalb von 150 AE von einem bisher unbekanntem Himmelskörper beeinflusst zu werden [2]. Jedenfalls verhalten sich ihre Bahnen anders als erwartet.

Das auf Computersimulationen basierende Ergebnis gilt als **indirekter Beweis** für die **Existenz eines großen Planeten** von der Größe des Planeten Neptun im *äußeren Sonnensystem* [1] (Abb. 1), außerhalb der Bahn des *Zwergplaneten Pluto* [1]. Die Berechnungen zeigen, daß ein Himmelskörper von der Größe und der Masse des Neptuns die merkwürdigen Bahnen der Kleinplaneten durch dessen Gravitationswirkung erklären kann. Allerdings würde der potentielle neue Planet die Sonne in 10.000-20.000 Jahren umkreisen. Im Vergleich dazu benötigt Pluto für einen Umlauf um die Sonne rund 247 Jahre [1].

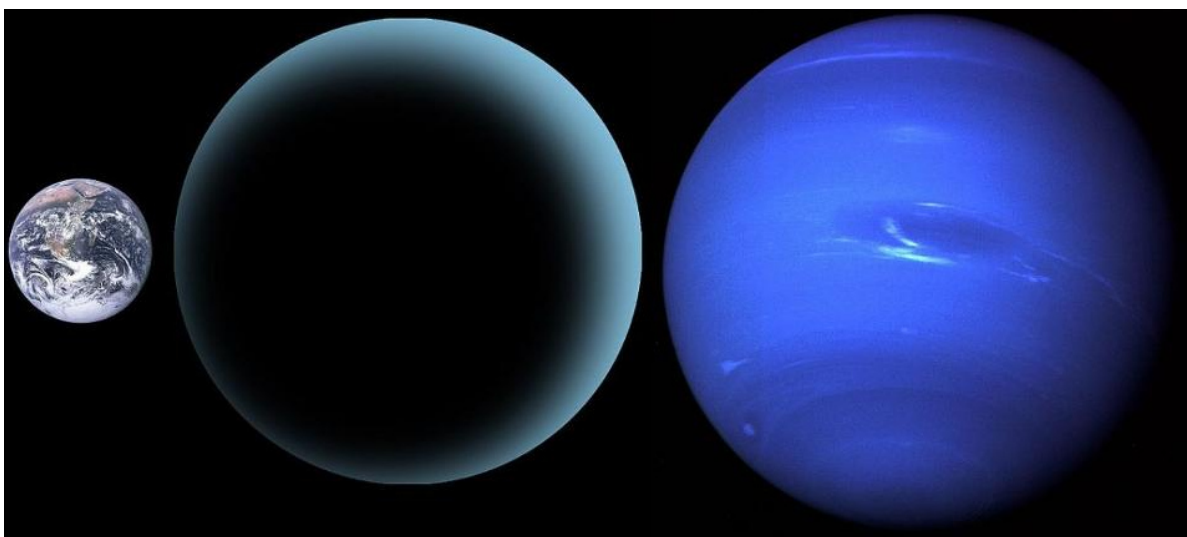


Abb. 1 Größenvergleich der Erde-Planet Nine-Neptun.

Bei dem vermeintlich neuen 9. Planeten soll es sich um eine Supererde handeln, die einen Durchmesser ähnlich dem des Planeten Neptun besitzt. Im Vergleich der Durchmesser der Erde, des Planet Nine und Neptun (rechts).

Dennoch zweifeln einige Wissenschaftler an dieser Theorie und der Existenz eines neuen neunten Planeten und versuchen, die exzentrischen Bahnen der ETNOs mit anderen Mitteln zu erklären.

Neues aus dem Kuiper-Gürtel

Die klassischen kalten, spektral rötlichen Objekte des Kuiper-Gürtels besitzen geringe Bahnneigungen und *Exzentrizitäten* [1]. Sie sind höchstwahrscheinlich im Bereich des Kuiper-Gürtels entstanden und bis zur Gegenwart dort verblieben. Rund 30 Prozent dieser Objekte befinden sich in Doppelsystemen, in denen sich zwei Objekte umkreisen und dabei gemeinsam auf einer Bahn um die Sonne bewegen.

Eine **neue Untersuchung** des Kuiper-Gürtels zeigt, daß dort zudem eine spektral gesehen andere, bisher unbekannte Gruppe von Objekten existiert [4]. Bei der Gruppe dieser Kleinplaneten handelt es sich um sehr blaue Objekte, die sich bevorzugt in Doppelpaaren bewegen und einander umkreisen – wie der Mond die Erde. Bisher war man davon ausgegangen, daß sich vorwiegend rötliche Objekte im Kuiper-Gürtel aufhalten.

Die **bläulichen Kleinplaneten** sollen sich nicht im Kuiper-Gürtel gebildet haben, sondern bereits als Doppelpaare in geringerer Sonnennähe entstanden sein. Von dort aus sollen sie vor einigen Milliarden Jahren als Anhängsel des Planeten Neptun bis zu ihrem gegenwärtigen Aufenthaltsort gewandert sein. Beispielsweise soll die Wanderung des Neptuns von seinem vormaligen Standort bei 20 AE zu seinem heutigen Aufenthaltsort bei 30 AE sehr langsam und ruhig verlaufen sein. Diese Wanderung habe bewirkt, daß die fragilen und gravitativ lose gebundenen Begleitobjekte, die besagten spektral bläulichen Kleinplaneten, ebenfalls in eine größere Entfernung von der Sonne gelangt sind.

Die bereits damals gebundene Doppel-Kleinplanetenstruktur sei daher bis in die Gegenwart erhalten geblieben. Das neue Ergebnis soll dazu beitragen, die Frühstadien der Planetenentstehung besser zu verstehen.

Wo ist Planet Nine?

Eines der Probleme den vermeintlich **neuen Planeten zu finden** ist dessen geringe (*scheinbare*) *Helligkeit* [1]; die Wissenschaftler vermuten, daß er rund 1.000 mal lichtschwächer sein könnte als Pluto (19,9 mag - 22,7 mag [1]).

Falls Planet Nine auf alten Aufnahmen bereits (zufällig) beobachtet wurde, gilt es sämtliche dieser Beobachtungsdaten zu durchforsten und zudem neue Beobachtungen durchzuführen, die die vorhergesagte Bahnposition des Neulings verifizieren würden. - Je mehr solcher Bahnpunkte man finden kann, desto genauer können die Bahn und die heutige Position des vermeintlich neuen Planeten vorhergesagt werden.

Eine intensive Suche des wissenschaftlichen Projektes **Zooniverse** [1] nach dem vermeintlichen neuen 9. Planeten, *Planet Nine* [1, 2], hat nach lediglich 3 Tagen intensiver Suche auf alten Aufnahmen insgesamt mögliche **4 Kandidaten** gefunden (Abb. 2, 3). Dies zeigt erneut, welches Potential eine gesteuerte wissenschaftliche Suche unter Mitwirkung von „normalen“ interessierten Bürgern aufweisen kann. Die Suche nach Planet IX fand in Realzeit statt.

Insgesamt nahmen weltweit rund 60.000 Menschen an der Suche nach dem neuen Planeten teil. Dabei wurden anhand von Daten des *Siding Springs SkyMapper-Teleskops* [1] nicht nur insgesamt **4 Kandidaten für Planet IX** entdeckt, sondern ebenfalls rund 5 Millionen andere Himmelsobjekte klassifiziert. Das Projekt steht unter der Leitung des Forschers *Brad Tucker* [1].

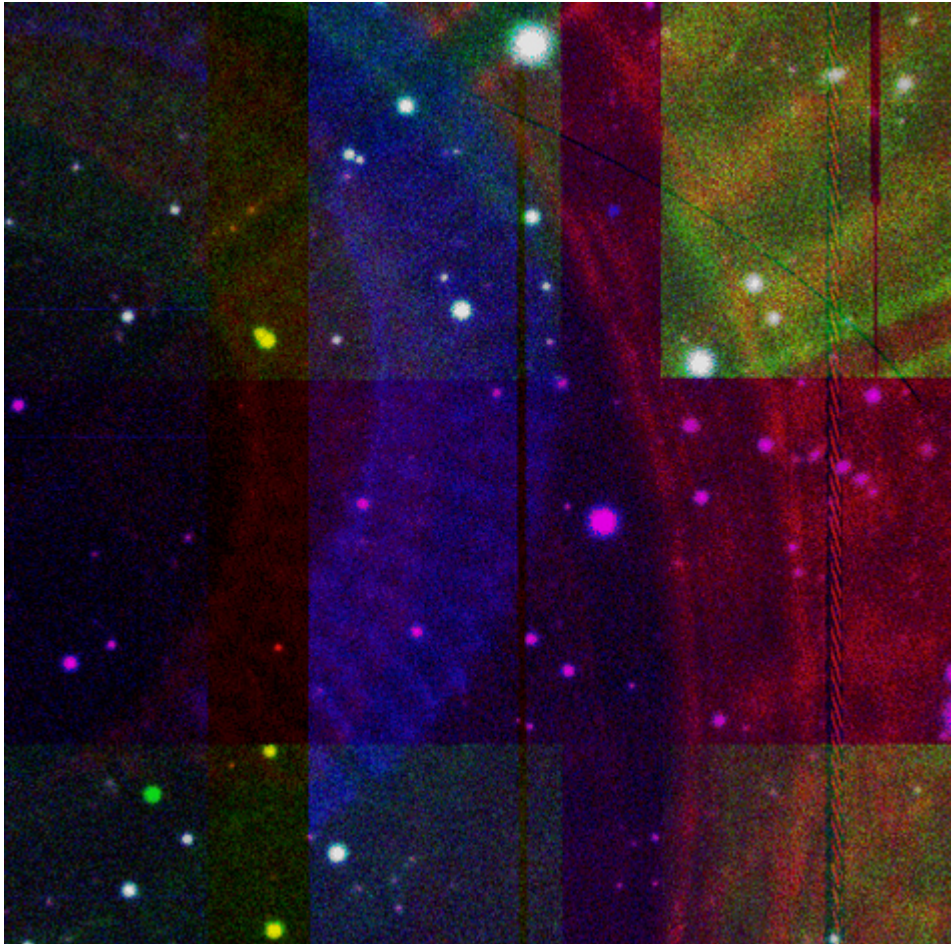


Abb. 2 Beispielaufnahme des Zooniverse-Projekts für die nach Planet Nine.

Die Aufnahme zeigt drei hellere Punkte, einen **grünen** in der blauen-schwarzen Region der Aufnahme unten links, einen kleineren **rötlichen** im schwarzen Band weiter rechts und einen **blauen** in der gekrümmten roten Region oben rechts vom Zentrum. Diese Punkte bilden eine Linie.

© Zooniverse

Zehntausende Freiwillige durchforsteten mehrere Hunderttausend Aufnahmen des SkyMapper-Teleskops. Vier Jahre wissenschaftlicher Beobachtungen konnten auf diese Art und Weise innerhalb von 3 Tagen gesichtet werden. Ein Freiwilliger hat sogar 12.000 Objekte klassifiziert.

Abb. 3

Aufnahme für die Suche nach Planet Nine.

Ob es sich bei dem **rötlichen** Objekt (Pfeil) um einen neuen Himmelskörper handelt, wissen wir bisher noch nicht.

© Zooniverse



Mithilfe der Suche nach einem etwa neptungroßen Planeten konnten bisher rund 90 Prozent der Himmelsobjekte des südlichen Sternenhimmels bis zu einer Tiefe von rund 350 AE ausgeschlossen werden.

Nun soll die Suche nach dem vorhergesagten Planeten weitergehen. Dabei wollen die Forscher bestätigen, ob es sich bei einem der 4 potentiellen Kandidaten tatsächlich um Planet Nine handelt. In der Zwischenzeit soll das Zooniverse-Projekt mit der Suche nach dem 9. Planeten weitergehen.

Neue Gegenargumente?

Die Gegner der Planet Nine-Vorhersage haben möglicherweise ein **neues Gegenargument** gefunden: die Entdeckung des Kleinplaneten **2013 SY 99** (SY99) [1, 8]. Die kleine Eisswelt befindet sich im äußeren Planetensystem und umkreist die Sonne in rund 20.000 Jahren. Der neue Kleinplanet wurde im Rahmen der *Outer Solar System Origins Survey* [1] mit dem *kanadisch-französischen Teleskop auf Hawaii* [1] entdeckt. SY99 bewegt sich aufgrund seiner großen Entfernung sehr langsam über den Himmel.

Die neuen Messungen zeigen, daß sich der neue Kleinplanet auf einer langgestreckten Ellipse um die Sonne bewegt. Der sonnennächste Punkt dieser Bahn befindet sich bei rund 50 AE (Abb. 4), das entspricht dem 50-fachen Abstand zwischen der Sonne und der Erde; Plutos Bahn liegt in rund 40 AE Entfernung von der Sonne. Der sonnenfernste Punkt liegt weit außerhalb der Region, in der sich die bisher entdeckten Kleinplaneten – wie (90377) *Sedna* [1] oder 2013 *VP113* [1] – befinden und liegt bei sagenhaften 1.400 AE (*Aphel*) [8]. SY99 ist ein kleiner, spektral gesehen rötlicher Kleinplanet mit einem Durchmesser von rund 250 Kilometern.

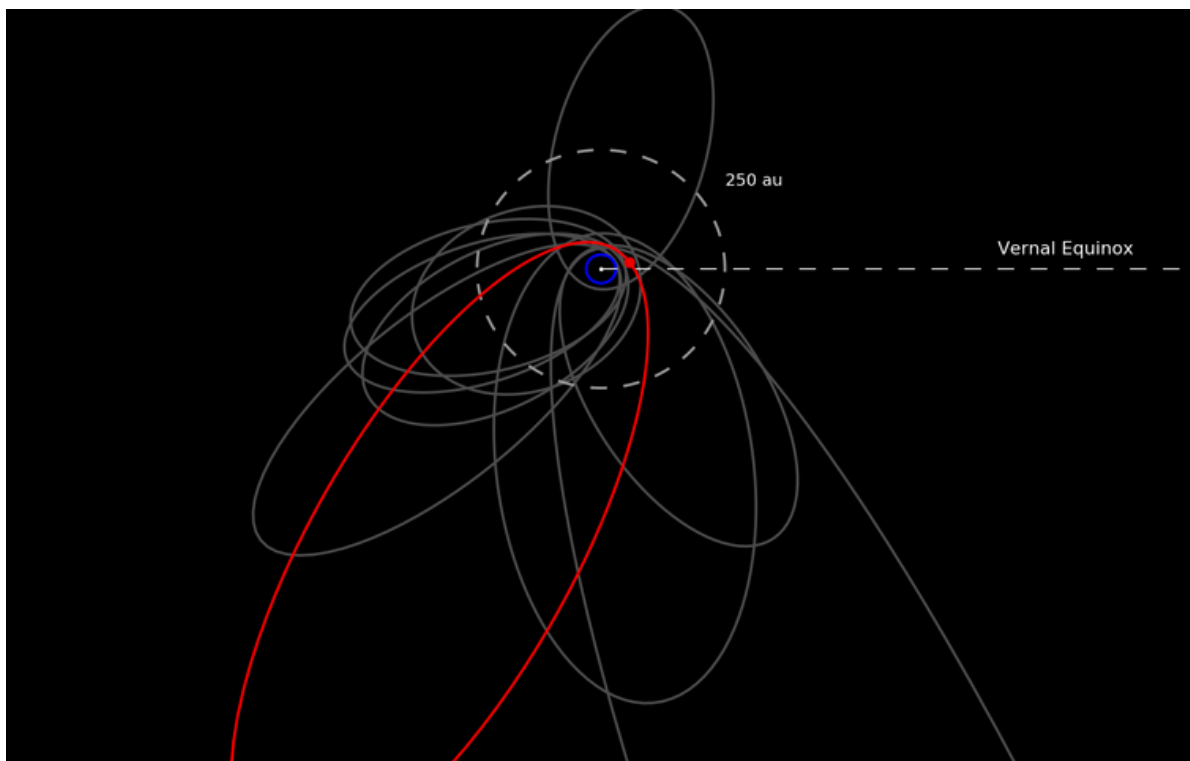


Abb. 4 Schematische Darstellung der Bahn des neuen Kleinplaneten 2013 SY 99.

Die Bahn des neu entdeckten Kleinplaneten 2013 SY 99 (rot) ist im Vergleich zu den Bahnen der bisher bekannten transneptunischen Kleinplaneten ebenfalls sehr elliptisch; die sonnennächsten Punkte der Bahnen liegen allesamt bei mindestens 250 AE (gestrichelter Kreis). Die Bahnen liegen alle außerhalb der Neptunbahn (blauer Kreis).

Bei SY99 handelt es sich um eine von 7 kleinen Eiswelten, deren Bahnen weit außerhalb der Neptunbahn liegen. Wie diese ETNOs ihre Bahnen erreichten ist bisher unklar.

Die bisherige Vermutung der Existenz eines 9. Planeten basiert auf der Anhäufung der Bahnen der ETNOs aufgrund des gravitativen Einflusses dieser Supererde weit außerhalb der Neptunbahn. Die Anziehung des Planeten könnte demnach die Bahnen der ETNOs beeinflussen, sie verformen und zur Seite kippen. Jedoch konnte diese Theorie bisher nicht bewiesen werden.

Die Existenz von Planet Nine gründet sich auf den Bahnen von nur 6-7 Objekten, die allesamt sehr lichtschwach und schwer zu beobachten sind, selbst mit großen Teleskopen. Einige Forscher vergleichen das mit dem Blick in einen tiefen Ozean. Die Fische, die nahe der Oberfläche schwimmen, sind deutlich sichtbar. Die Fische, die einen Meter unterhalb der Meeresoberfläche schwimmen, sind lichtschwächer, es dauert bis man sie findet. Fische, die sich noch tiefer im Ozean befinden, sind von außen nicht sichtbar. Jedoch kennen die Fische nahe der Oberfläche die Fischkollegen weiter unterhalb.

Die Existenz von SY99 kann die Existenz von Planet Nine weder beweisen noch negieren. Simulationen der Entdecker zeigen jedoch, daß Planet Nine ein unfreundlicher Nachbar für die ETNOs wäre. Sein gravitativer Einfluß würde die Bahn von SY99 so stark verändern, daß er aus dem Sonnensystem herausgeschleudert werden oder eine hochgradig geneigte und entfernte Bahn einnehmen würde, so daß er nicht mehr beobachtbar wäre.

Diffusion von TNOs?

Eine weitere Erklärung für die stark elliptischen Bahnen der TNOs basiert auf Computersimulationen, die den Alltagseffekt der **Diffusion** [1] enthalten [8]. Die Diffusion erklärt die zufällige Bewegung einer Substanz von einer Region hoher Konzentration in eine mit niedriger Konzentration – ähnlich der Verbreitung von Parfum in einem Raum.

Die Forscher [8] behaupten, daß ein Prozeß, der der Diffusion gleicht, für die **Änderung der Bahnen der Kleinplaneten** verantwortlich ist: dabei kann sich eine elliptische Bahn, deren sonnenfernster Punkt sich bei rund 730 AE befindet, in eine Bahn mit einem Perihel ändern, das bei mindestens 2.000 AE liegt; anschließend kann sich die Bahn wieder in den vorherigen Zustand zurückändern.

In diesem Szenario ändert sich die Größe jeder Bahn um einen zufälligen Wert. Wenn SY99 sich auf dem Weg der größten Sonnennähe befindet, was alle rund 20.000 Jahre geschieht, befindet sich der Planet Neptun meist in einem anderen Teil seiner Bahn auf der gegenüberliegenden Seite des Sonnensystems.

Wenn sich jedoch beide Objekte, SY99 und Neptun, nahe beieinander, im gleichen Raumbereich befinden, beeinflußt Neptuns Anziehung den Kleinplaneten und verändert dessen Bahngeschwindigkeit. Dadurch bewegt sich SY99 stetig von der Sonne weg; die Form seiner weiteren Bahn wäre verändert. Die lange Achse seiner Bahn wird dann entweder größer oder kleiner, jedoch geschehe das nicht kurzfristig, sondern Zeitskalen von einigen Millionen Jahren. Die große Bahnachse könnte sich dabei über Hunderte Astronomische Einheiten verändern.

Ebenso könnten andere ETNOs mit kleineren Bahnen dem Diffusionseffekt unterliegen. Gemäß der Computersimulationen könnte der Diffusionseffekt auf Millionen kleine Himmelsobjekte einwirken, die sich im Nahbereich der *Oortschen Wolke* [1] befinden. Somit könnten uns die Bahnen dieser Objekte im Laufe der Zeit immer näher kommen, wo wir sie schließlich als ETNOs wahrnehmen.

Allerdings kann dieser Diffusionseffekt die entfernte Bahn von Sedna **nicht** erklären. Sednas sonnenfernster Bahnpunkt liegt so weit außerhalb der Neptunbahn, daß er von ihm gravitativ nicht beeinflußt werden kann. Möglicherweise wurde Sednas Bahn jedoch durch die Passage eines nahen Stern in der Vergangenheit beeinflußt.

Als **Fazit** behaupten die Forscher in ihrer neuen Theorie, daß der Diffusionseffekt ETNOs aus der inneren Oortschen Wolke in das äußere Sonnensystem bringen könnte, **ohne eine Notwendigkeit für die Existenz eines 9. Planeten.**

Das große ABER – Wenn Planet Nine existiert

Es gilt zu bedenken, daß eine optische Erfolgsmeldung zunächst keine bis wenig Information über die Masse und die Größe des vermeintlichen 9. Planeten enthält. Der vermutliche **Winkeldurchmesser** von Planet Nine beträgt auf einer Himmelsaufnahme – abhängig von dessen exakter Entfernung und Größe – wahrscheinlich nur einige Zehn *Mikrobogensekunden* [1]. - Vergleich: Der Durchmesser des Vollmonds beträgt 30 *Bogenminuten* [1] bzw. $30 \times 60 = 1.800$ Bogensekunden bzw. $1.800 \times 1.000 = 18.000$ Mikrobogensekunden.

Aufgrund des extrem geringen Winkeldurchmessers des neuen Bewohners des Planetensystems könnte nur ein *Interferometer* [1] mit einer Basis von rund einem Kilometer den Radius des potentiellen neuen Planeten messen (Genauigkeit rund 3 Prozent); gegenwärtig ist das eine schwierige Aufgabe, falls das neue Himmelsobjekt lichtschwächer als 20 mag ist. Einige Forscher schlagen daher vor, den Radius von Planet Nine – sofern man dessen Position kennt – mithilfe von *Sternbedeckungen* [1] und seine Masse durch *Microlensing* [1] eines Hintergrundsterns zu bestimmen. [3]

Besitzt Planet Nine eine Atmosphäre?

Inzwischen laufen Simulationen zum Aussehen des vermeintlich neuen Planet Nine. Demnach sollen eisige Supererden, die sich über lange Zeitskalen (0,1-1 Milliarden Jahre) in großen Entfernungen (200-1.000 AE) von ihrem Zentralstern gebildet haben – wie Planet Nine –, **wasserstoffreiche Atmosphären** besitzen.

Gemäß Modellen zur **Entstehung von Planetenatmosphären** auf Supererden entsteht dort der Wasserstoff entweder

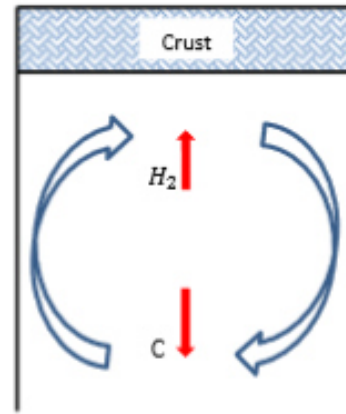
- (1) **bei der Entstehung des Planeten** im inneren Sonnensystem und vor dessen *Migration* [1] ins äußere Planetensystem; dazu müßte sich der Planet relativ schnell gebildet haben, innerhalb von 1-10 Millionen Jahren, und Wasserstoff bzw. *Helium* [1] aus dem *protosolaren Nebel* [1] aufgenommen haben; in diesem Fall besäße die Supererde eine chemische Zusammensetzung, die der der Eisgiganten Uranus und Neptun ähnelt; oder
- (2) **durch den hohen Druck**, der *Methan* [1] in *Ethan*, *Butan* oder *Diamant* [1] verwandelte und dabei Wasserstoff freisetzte. In diesem Fall wäre Planet Nine eine Supererde mit einer großen Menge flüchtiger Stoffe, der ursprünglich ausschließlich aus eisigen *Planetesimalen* [1] bestand und vernachlässigbare Mengen Wasserstoff und Helium aus dem protosolaren Nebel aufgesammelt hätte. Seine Atmosphäre bestünde demnach aus ausgasenden Stoffen aus seinem Inneren (Abb. 5).

Abb. 5

Schematische Darstellung der Freisetzung von Wasserstoff auf Supererden.

Man nimmt an, daß sich die Planetenkruste (oben) von Supererden oberhalb einer großskaligen *Konvektionszelle* [1] befindet, die die Kruste (*crust*) aufbrechen kann. Innerhalb der Konvektionszelle wird Methan in Richtung des Planeteninneren gedrückt, wo es unter dem hohen Druck dissoziiert und Wasserstoff (roter Pfeil nach oben) freisetzt. Dieser Wasserstoff kann nach außen transportiert werden und dadurch die Atmosphäre erreichen bzw. diese ausbilden.

© [5]



Ein Beispiel hierfür ist die **Supererde GJ 1132b** [1, 6], die erste Supererde, bei der man eine Atmosphäre entdeckt hat. GJ 1132b ist 1,4 mal so groß wie die Erde und 1,6 mal so schwer. Sie umkreist den *Roten Zwergstern* [1] *Gliese 1132* [1]. Das System befindet sich in einer Entfernung von 39 *Lichtjahren* (Lj) [1] Entfernung von der Erde.

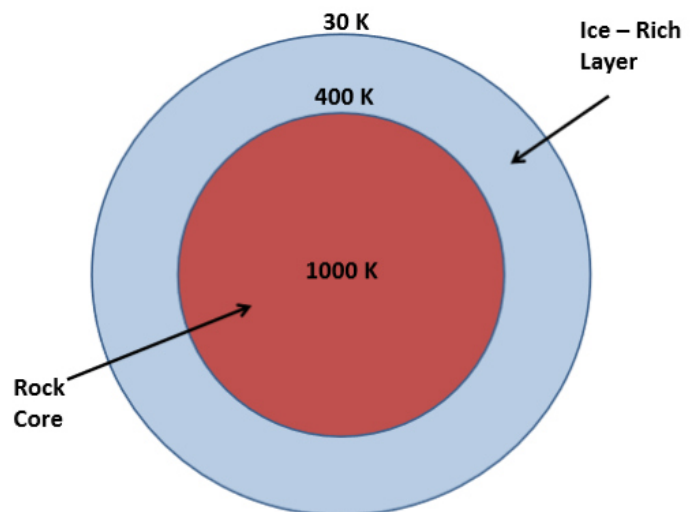
Die obige Analyse nimmt an, daß ein primordialer Planet Nine, der in der Region entstand, in der er sich gegenwärtig befindet, einen Gesteinskern besitzt, der von einem Eismantel umgeben ist (Abb. 6). Wahrscheinlich besteht der Eismantel aus einer Mischung von *Wasser-, Methan- und Ammoniak*eis [1], wobei Ammoniak eis wahrscheinlich nur zu einem geringen Teil vorhanden ist. Die Häufigkeiten der unterschiedlichen Eissorten sind allerdings bisher spekulativ.

Abb. 6

Schematischer Aufbau einer Supererde.

Computersimulationen lassen vermuten, daß Supererden – wie Planet Nine – einen Gesteinskern (*Rock Core*) besitzen, der von einer Schicht aus unterschiedlichen Eissorten (*Ice-Rich Layer*) umgeben ist. Falls die Berechnungen stimmen, besitzen die Supererden im Zentrum – aufgrund des Materiedrucks von außen – Temperaturen von rund 1.000 Kelvin (K) [1] bzw. rund 700 Grad Celsius, die Eisschichten etwa 400 K bzw. -127 Grad Celsius. Die Temperatur der Oberfläche der Supererden liegt dagegen wahrscheinlich nur bei rund 30 K bzw. rund -240 Grad Celsius.

© [5]



Besitzt die Supererde eine **dünne Atmosphäre**, könnten *Absorptionslinien* [1] auf die unterschiedlichen Eissorten hinweisen. Bei einer **dichteren Atmosphäre** liegt das gasförmige Methan wahrscheinlich im gefrorenen Zustand vor. Das Spektrum des Eisriesen könnte in diesem Fall Spuren von Wolkenstrukturen enthalten, ebenso Absorptionslinien von Wasserstoff und Methan. Aus derartigen Beobachtungen könnten die Forscher auf die mittlere Dichte des Planeten schließen und den Radius der Supererde abschätzen.

In Atmosphären von Eisplaneten, die sich in größerer Entfernung von ihrem Zentralstern befinden und Oberflächentemperaturen von rund 10 K bzw. -263 Grad Celsius oder reine Eiskrusten besitzen, könnte der **Wasserstoff-Treibhauseffekt** [1] Temperaturen und Drucke erzeugen, die jenseits des *Tripelpunktes* [1] von Wasser liegen. Jedoch ist die Existenz eines unterplanetaren Ozeans eher unwahrscheinlich. Vielmehr dringt der intern erzeugte bzw. vorhandene Wasserstoff eher durch Ausgasen in die Atmosphäre der Supererde. In derartigen Fällen kann der Atmosphärendruck bis zu rund 10.000 *bar* [1] erreichen.

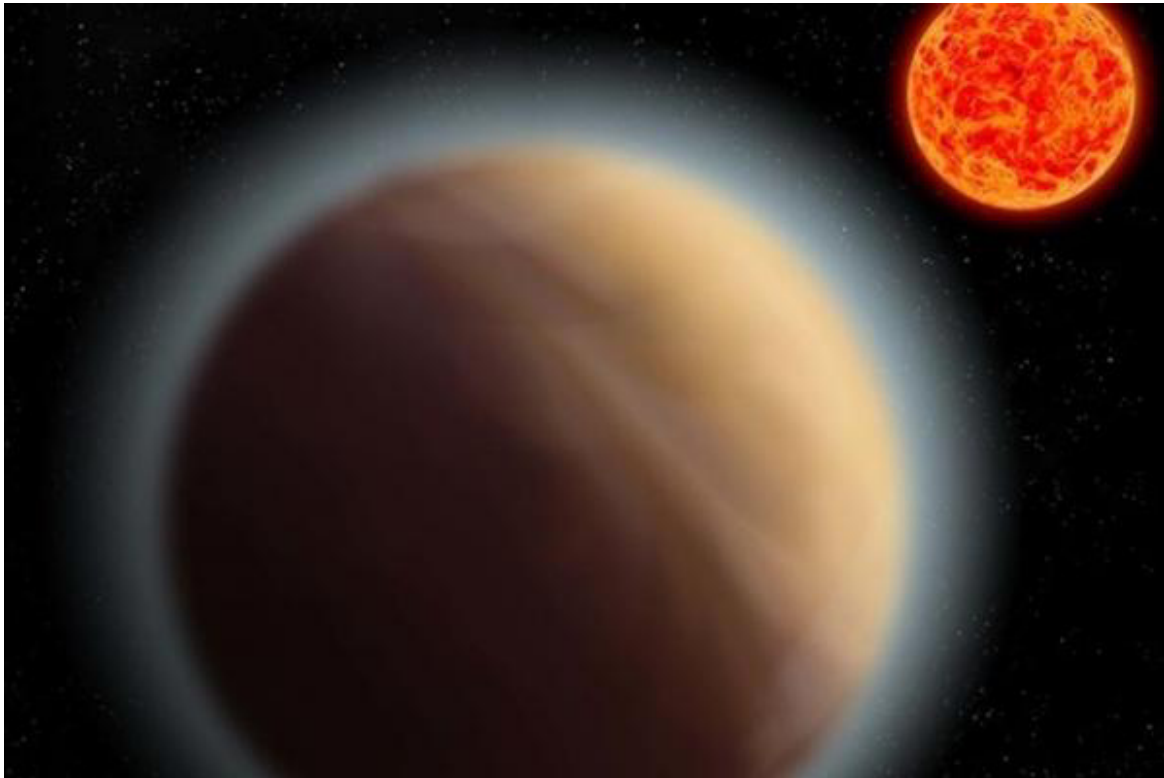


Abb. 7 Künstlerische Darstellung einer Supererde mit Atmosphäre.
Die Darstellung zeigt die Atmosphäre der Supererde GL 1132b und deren Beleuchtung durch das Licht des Roten Zwergsterns (oben rechts).
© MPIA

Dabei sollten Planet Nine-Kandidaten mit ausgegastem Wasserstoff Atmosphären (Abb. 7) besitzen, die dichter sind als solche, die überwiegend aus Helium bestehen, der aus dem protosolaren Nebel stammt. Hier könnten spektroskopische Beobachtungen und *Sternbedeckungen* [1] bei der Bestimmung der mittleren Dichte helfen und Einblicke in den Ursprung von Supererden im äußeren Sonnensystem geben.

Die physikalischen Eigenschaften der Atmosphäre hängen stark von der Freisetzung des Wasserstoffs aus dem Mantel der Supererde ab. Werden große Mengen Wasserstoff freigesetzt, kann sich eine **dichtere Atmosphäre** bilden, deren Druck etwa 10.000 bar erreichen kann. Unabhängig von dem mittleren Atmosphärendruck ist die mittlere Dichte des Planeten mit rund 2,4-3 Gramm pro Kubikzentimeter höher als der der Planeten Uranus und Neptun (1,3-1,6 Gramm pro Kubikzentimeter).

Unabhängig davon wie die Suche ausgeht hat das Zooniverse-Projekt erneut gezeigt, was erreicht werden kann, wenn viele Wissenschaftler und Astronomiebegeisterte zusammenarbeiten. In der Zukunft könnte die Datenauswertung, beispielsweise des *James Webb*-

Weltraumteleskops [1], des Nachfolgers des *Weltraumteleskops Hubble* [1], nach gleichem Vorbild erfolgen und so Ergebnisse schneller und einfacher hervorbringen.

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] Kurzartikel zu Planet Nine
http://ig-hutzi-spechtler.eu/aktuelles_9_Planet_entdeckt.html
<http://theskyatnight.de/sites/default/files/entdeckung%20von%20planet%20nine%20wird%20vorbereitet%20-%20feb%202016%20-%20tsan.pdf>
<http://theskyatnight.de/sites/default/files/wegweiser%20zu%20planet%20nine%20-%20maerz%202016%20-%20tsan.pdf>
<http://theskyatnight.de/sites/default/files/planet%20nine%20kurz%20vor%20der%20entdeckung%20-%20okt%202016%20-%20TSAN.pdf>

[3] Schneider, J. Obs. de Paris, *LUTH-CNRS* (2017)

[4] Fraser, W. C., et al., *Nature Astronomy* 1, 0088 (4 Apr 2017)

[5] Levy, A., et al., (2017)

[6] Southworth, J., et al., *AJ* (2017)

[7] Fortney, J. J., et al., *ApJ* **824**, L25 (2016)

[8] Bannister, S. T., et al., *AAS* (Apr 2017)