

Dinosauriern zu Vögeln als eine der bestbegründeten Evolutionsabfolgen gilt.

[AGNOLIN FL, MOTTA MJ, BRISSON EGLI F, LO COCO G & NOVAS FE (2019) Paravian Phylogeny and the Dinosaur-Bird Transition: An Overview. *Front. Earth Sci.* 6:252. doi: 10.3389/feart.2018.00252 • JUNKER R (2019) Sind Vögel Dinosaurier? Eine kritische Analyse fossiler Befunde. Internet-Publikation. https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/b-19-4_dinos-voegel.pdf] R. Junker

■ Das Urknallmodell unter Zeitdruck

Quasare gehören zu den hellsten Objekten im Universum und sind deshalb auch über größte Distanzen auffindbar. Ein Quasar ist das aktive Zentrum einer Galaxie, bestehend aus einem Schwarzen Loch, welches von einer Gasscheibe umgeben ist. Durch die Gravitations-Anziehung kommt das Gas dem Schwarzen Loch immer näher und heizt sich dabei auf. Dadurch sendet es Licht unterschiedlicher Wellenlänge aus, das so hell sein kann, dass es das Licht aller Sterne in der Galaxie um ein Vielfaches übertrifft. Einige Quasare sind zusätzlich von zwei entgegengesetzten Jets begleitet, durch welche Strahlung und Materie in die Umgebung hinausgeschleudert werden.

Im Januar 2021 kündigte ein internationales Team von Astronomen an, dass es mit dem Quasar J0313–1806 den bislang am weitesten entfernten Quasar entdeckt habe (WANG et al. 2021). Dabei

wurde die Entfernung aus der Rotverschiebung des Lichtspektrums abgeleitet, welche für kosmologische Objekte mit zunehmender Distanz anwächst. Im Standardmodell der Kosmologie muss das Licht bereits kurz nach dem Urknall ausgesandt worden sein, damit es genügend Zeit zur Verfügung hatte, um die riesige Distanz zu unserer Milchstraße zurückzulegen. Die Autoren geben an, dass das beobachtete Licht den Quasar nur 630 Millionen Jahre nach dem Urknall und damit um 20 Millionen Jahre früher als den bislang entferntesten Quasar verlassen haben muss.

Mit Hilfe des Lichtspektrums konnten die Forscher grob abschätzen, wie schwer das Schwarze Loch des Quasars J0313–1806 damals gewesen sein muss. Überraschenderweise stellte es sich als sehr massereich heraus, und zwar $1,6 \pm 0,4$ Milliarden Mal schwerer als die Sonne. Dies wirft die Frage auf, wie ein solch massereiches Schwarzes Loch in vergleichsweise kurzen 630 Millionen Jahren entstehen konnte. Aus der kosmischen Hintergrundstrahlung schließt man nämlich, dass die Materie kurz nach dem Urknall extrem gleichförmig verteilt gewesen sein muss. Außerdem ist bekannt, dass Sterne und Schwarze Löcher nicht beliebig schnell wachsen können (sogenannte Eddington-Grenze). Je mehr Materie diese Objekte an sich ziehen, desto heller strahlen sie und desto mehr verdrängt die Strahlung das zum Wachstum benötigte Gas aus der Umgebung. Selbst wenn das Schwarze Loch mit maxi-

maler Geschwindigkeit gewachsen wäre, hätte der Quasar zur Zeit der ersten Sterne bereits eine Masse von über 10.000 Sonnenmassen haben müssen. Dieser Wert liegt aber jenseits der maximalen Masse der damaligen Schwarzen Löcher, bei denen man davon ausgeht, dass sie durch den Kollaps der ersten Sterne entstanden sind.

Welche Erklärungen gibt es dafür, dass bereits 630 Millionen Jahre nach dem Urknall ein so massereicher Quasar existieren haben könnte? Gegenüber *ScienceNews* schlug Xiaohui FAN, ein Mitautor der Studie, zwei Möglichkeiten vor (TEMING 2021). Entweder können Schwarze Löcher viel schneller wachsen als bisher gedacht oder es gibt einen anderen Mechanismus, durch den Schwarze Löcher im frühen Universum entstanden sein könnten. Dies könnte so abgelaufen sein, dass Schwarze Löcher nicht nur aus dem Kollaps von Sternen, sondern direkt aus dem Kollaps von Gas und Dunkler Materie entsprungen sein könnten (BEGELMAN et al. 2006). Gemäß FAN sind beide Möglichkeiten denkbar, aber keine konnte bisher nachgewiesen werden. Eine dritte Möglichkeit besteht darin, dass der Quasar nicht durch natürliche Prozesse, sondern auf übernatürliche Weise erschaffen worden ist.

Wie könnte sich die Frage nach der Entstehung der ersten Quasare weiter entwickeln? Es ist davon auszugehen, dass in Zukunft dank neuer Technik noch weiter entfernte Quasare entdeckt werden. Nach dem Urknallmodell sollten diese umso masseärmer sein, je weiter sie entfernt sind. Es wird spannend sein zu beobachten, ob sich diese Erwartung erfüllen wird. Bei der Frage nach den Entstehungsmechanismen ist nicht zu erwarten, bald mehr Gewissheit zu haben. Da die vorgeschlagenen Mechanismen lediglich theoretisch oder mit Simulationen, jedoch nicht mit Laborexperimenten untersucht werden können, wird immer eine Unsicherheit bestehen bleiben. Im besten Fall könnten Beobachtungen den einen oder anderen Mechanismus mehr oder weniger plausibel machen.



Abb. 1 Künstlerische Darstellung des Quasars J0313–1806 (NOIRLab/NSF/AURA/J. DA SILVA, CC BY 4.0)

[BEGELMAN MC, VOLONTERI M, & REES MJ (2006) Formation of Supermassive Black Holes by Direct Collapse in Pregalactic Halos. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 370, 289–298. doi:10.1111/j.1365-2966.2006.10467.x • TEMMING M (2021) The most ancient supermassive black hole is bafflingly big. <https://www.sciencenews.org/article/most-ancient-supermassive-black-hole-quasar-bafflingly-big> • WANG F, YANG J et al. (2021) A Luminous Quasar at Redshift 7.642. *The Astrophysical Journal Letters* 907, L1. doi:10.3847/2041-8213/abd8c6] P. Trüb

■ Planeten ohne Stern

Gegenwärtig werden immer mehr Exoplaneten entdeckt. Das sind Planeten, die sich außerhalb unseres eigenen Sonnensystems befinden. In der letzten Ausgabe des *Studium Integrale Journal* wurde darüber ausführlich berichtet (EHRMANN 2021). Das Kepler-Weltraumteleskop, das eigens zum Zweck des Aufspürens von Exoplaneten in eine Umlaufbahn um die Erde gebracht wurde, hat schon mehrere Tausende Exoplaneten entdeckt. Die allermeisten Exoplaneten drehen sich, wie die Planeten in unserem Sonnensystem, um einen Stern. Einige jedoch sind sternlos und damit im wahrsten Sinne des Wortes Planeten, d. h. rastlose Wanderer. Offiziell werden sie als FFP bezeichnet (englisch für Free-Floating Planet, d. h. freitreibender Planet). FFPs sind kleiner als braune Zwerge, die kleinsten und lichtschwächsten Sterne, aber in der Regel größer als Jupiter. Weil sie selbst kein Licht ausstrahlen, sind die „obdachlosen“ FFPs nur schwer zu entdecken. Als erfolgversprechendste Methode gilt gravitatives Microlensing. Bei dieser Methode (HAN 2004) werden geringfügige Verzerrungen im Licht von Hintergrundsternen gemessen und analysiert. Die Schwerkraft der herrenlosen Planeten ändert vorübergehend die Richtung und Intensität dieses Lichts. Die Dauer sowie die Stärke der Lichtverzerrungen geben dabei Aufschluss über die Größe und Masse der sonst unsichtbaren FFPs.

In einem kürzlich erschienenen Beitrag (McDONALD 2021) berichtet eine internationale Astronomen-Gruppe über neueste Microlensing-

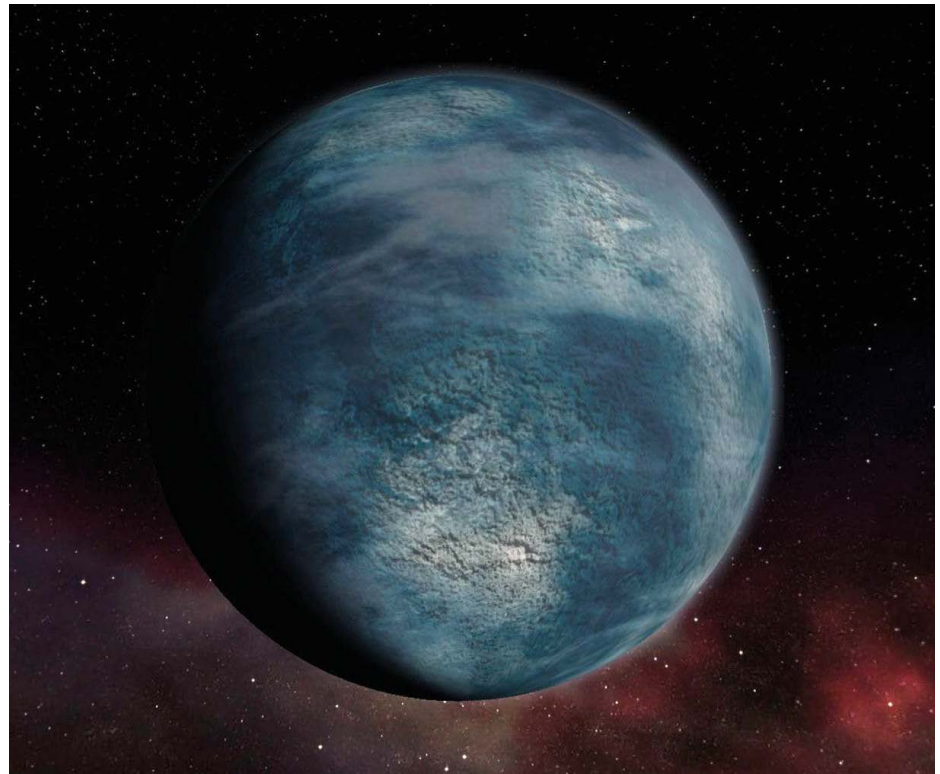


Abb. 1 Künstlerische Darstellung eines freitreibenden Planeten. (© Christian HART www.extrasolar.de)

Messungen von FFP-Kandidaten mit Hilfe des Kepler-Teleskops. Es werden dabei nur solche Ereignisse ausgewertet, die gleichzeitig auch in irdischen Microlensing-Surveys als potenzielle FFPs identifiziert wurden, um so andere Ursachen für die Messergebnisse auszuschließen. Die Kepler-Daten sind aber wesentlich genauer und ermöglichen somit präzisere Aussagen über die Beschaffenheit der entdeckten FFP-Kandidaten.

Obwohl bislang nur wenige FFP-Kandidaten gefunden wurden, wird dennoch vermutet, dass sehr viele verwaiste Planeten existieren. Diese Vermutung wird dadurch begründet, dass die Wahrscheinlichkeit, einen FFP zu entdecken, extrem gering ist: Das Kepler-Teleskop kann, nachdem es im Jahr 2016 einen Defekt in der Ausrichtung des Teleskops gab, nur noch in der galaktischen Ebene beobachten, außerdem muss der FFP während der Beobachtung genau vor einem Hintergrundstern vorbei treiben. Anhand bisheriger Beobachtungsreihen wird geschätzt, dass FFPs maximal viermal weniger (MRÓZ 2017) bis doppelt so häufig sind (SUMI 2011) wie gewöhnliche sichtbare Sterne.

Im Rahmen der gängigen Entstehungstheorie von Sternen und Planeten durch das gravitative Zusammenziehen von rotierenden Gasscheiben gibt es drei Szenarien für die Entstehung sternloser Planeten:

1. Verhinderte Sterne, d. h. die zusammenziehende Gasscheibe ist so klein, dass am Ende kein Stern, sondern ein dunkles, gasförmiges Objekt entsteht.

2. Bei der Entstehung von Planeten in der Gasscheibe stören die neuen Planeten sich gegenseitig und einige Planeten werden dadurch aus dem System geschleudert. Dies ist das unwahrscheinlichste Szenario (VERAS 2012).

3. Wenn ein Stern, um den Planeten kreisen, als Nova explodiert und dabei einen großen Teil seiner Masse verliert, sind die Planeten nicht länger durch die Schwerkraft an ihn gebunden und gehen ihren eigenen Weg.

Obwohl es noch zu früh ist, finale Schlüsse zu ziehen, passen die identifizierten FFPs bezüglich Anzahl und Größe grob zu den bisherigen Messungen (McDONALD 2021). In einem anderen Beitrag (SAMSON 2020) stellt eine Gruppe von Astronomen die Messergebnisse