

Haumea: Überraschung mit Ring

von Thomas Müller

Bis 1992 war die Planetenwelt in unserem Sonnensystem noch in Ordnung. Es gab die vier erdähnlichen Planeten im Innern, den Asteroidengürtel in der Mitte und die vier Gasriesen weiter draußen. Pluto mit seinen fünf Monden war aufgrund seiner exzentrischen und geneigten Bahn im Planetenkreis schon immer ein Exot, auch bezüglich der Größe kann er mit den anderen Planeten nicht mithalten. Nach der Entdeckung weiterer transneptunischer Objekte in den 1990er Jahren zweifelten dann immer mehr Wissenschaftler an Plutos Planetenstatus. Inzwischen kennen wir fast 2000 Objekte jenseits der Neptunbahn, die oft auch Kuipergürtelobjekte genannt werden. Zusätzlich sind mehr als 700 „Streuobjekte“ bekannt, die die Bahnen der äußeren Planeten kreuzen, deren Ursprung aber auch im Kuipergürtel zu suchen ist. Insgesamt erwartet man dort draußen etwa 50.000 Körper mit

mehr als 100 km Durchmesser.

Mit der Entdeckung von Eris, Haumea und Makemake – alle annähernd Pluto-groß und prominent – wurde die Kritik an der alten Planetendefinition stärker, da die Anzahl planetenähnlicher Körper im Sonnensystem stetig stieg. 2006 führte die IAU für Pluto & Co die Kategorie „Zwergplanet“ ein, mit dem Argument, dass diese Objekte sich zwar im hydrostatischen Gleichgewicht befinden – also eine annähernd kugelige Form besitzen –, aber zu leicht sind, um ihre Bahn von anderen Kleinkörpern zu bereinigen. In dieser neuen Kategorie der Zwergplaneten befinden sich Pluto, Eris, Makemake und Haumea sowie Ceres im Hauptasteroidengürtel. Weitere sechs haben Durchmesser von mehr als 900 km und gehören sehr wahrscheinlich ebenfalls dieser Zwischenklasse zwischen Planeten und Kleinplaneten an, mehr als 100 sind bereits als mögliche Kandidaten gelistet.

Die Zwergplaneten haben eine herausragende Rolle in den äußeren Bereichen unseres Sonnensystems. Man muss sich nur die Bilder des Pluto-Systems anschauen, die die Raumsonde New Horizons beim Vorbeiflug im Juli 2015 aufgenommen hat (Abbildung 1, rechte Seite). Aussehen und Form, die verschiedenen Oberflächenstrukturen und -farben, die Atmosphäre, die fünf Monde, das alles passt fantastisch gut in unsere Vorstellungen von einem echten Planeten und lässt die gravitative Schwäche als völlig nebensächlich erscheinen. Leider wissen wir nur sehr wenig über die anderen Zwergplaneten bzw. Kandidaten. Unsere Möglichkeiten, selbst mit den größten Teleskopen am Boden und im Weltraum, sind sehr beschränkt, und interplanetare Missionen sind teuer und dauern lange. Abbildung 2 zeigt die gegenwärtig besten Aufnahmen der Zwergplaneten Makemake und Eris mit ihren Monden aus der Perspektive des Hubble Space Tele-



Abbildung 1: links: künstlerische Darstellung von Haumea mit Ring; rechts: Pluto (maßstabsgetreu) von der New Horizons NASA Mission aufgenommen

Sylvain Cruddé – SIGAL – LESIA, Observatoire de Paris



NASA, ESA, M. Brown (Caltech)



NASA, ESA, A. Parker, M. Buie (SR), W. Grundy (LO), K. Neill (GSFC)



Keck-Telescope, CalTech, Mike Brown et al.

Abbildung 2: links: 136199 Eris und Dysnomia (links neben Eris), rechts: 136472 Makemake und S/2015 (136472) (mit Pfeil markiert)

Abbildung 3: Bild des Keck Teleskops (CalTech) von 136108 Haumea, mit den Monden Hi'iaka (oben) und Naumaka (unten)

skops: Planet? Zwergplanet? Planetoid? Die Kategorisierung ist hier schwierig, andererseits aber auch weitgehend unbedeutend für die wissenschaftliche Arbeit. Bei Haumea war die Situation von Anfang an besonders: Haumea wurde 2005 fast zeitgleich von einer amerikanischen und einer spanischen Gruppe beobachtet. Die Einzigartigkeit zeigt sich somit schon beim Streit um die Erstsichtung: Noch immer sind die Mitglieder beider Gruppen als Entdecker geführt. Die Bahn ist ähnlich exzentrisch wie bei Pluto, allerdings stärker geneigt und immer außerhalb der Neptunbahn. Die Umlaufdauer beträgt 284 Jahre und ist damit 36 Jahre länger als bei Pluto. Der Zwergplanet Haumea ist deutlich kleiner als Pluto und Eris, hat aber eine sehr langgestreckte Form und dreht sich alle 3,91 Stunden einmal um die eigene Achse – Rekordzeit für Objekte mit mehr als 100 km Größe. Die Rotationsachse fällt mit der kürzesten Körperachse zusammen und wurde aus den gemessenen periodischen Helligkeitsschwankungen (Lichtkurven) abgeleitet. Gleichzeitig erscheint eine Oberflächenregion in einem dunkleren Rot, die mit einem Einschlag in Verbindung stehen könnte. Spektroskopische Messungen im nahen Infrarotbereich zeigen, dass die Oberfläche von Haumea mit kristallinem Wassereis bedeckt sein muss, mit höheren Anteilen an kohlenstoffhaltigen (organischen) Materialien im Bereich des dunklen Flecks. Neben den beiden Monden Hi'iaka (Abbildung 3, oben) und Naumaka (unten), gibt es noch eine Reihe weiterer transneptunischer Objekte, die

aufgrund ähnlicher Bahnen und Oberflächeneigenschaften ebenfalls Haumea zugeordnet werden und wohl aus einer Kollision hervorgegangen sind. Die Haumea-Familie ist im Übrigen die einzig bisher bekannte Kollisionsfamilie in den Außenbezirken jenseits der Gasriesen. Die Größenabschätzungen von Haumea aus verschiedenen hochauflösenden Bildern bzw. aus der radiometrischen Methode über Infrarotaufnahmen reichten von weniger als 1000 km bis zu Werten über 2000 km, je nach Datensatz, Interpretation und Beobachtungszeitpunkt. Haumea ist in vieler Hinsicht interessant und wurde deshalb mit den leistungsstärksten Teleskopen der Welt immer wieder beobachtet. Trotzdem haben kürzlich pub-

lizierte spektakuläre Ergebnisse ihren Ursprung in Beobachtungen mit kleinen bis mittelgroßen Teleskopen: die Entdeckung eines Rings und die extrem langgestreckte Form von Haumea (Abbildung 1, linke Seite). Wie ist das möglich?

Haumea zieht im Augenblick durch das Sternbild Bootes (Bärenhüter) unweit vom hellen Stern Arktur. Die scheinbare Bahn verläuft dabei immer wieder nahe an Hintergrundsternen vorbei. Haumea verdeckt dabei gelegentlich schwache Sterne und lässt diese für bis zu zwei Minuten verschwinden. Die Vorhersage solcher Ereignisse ist schwierig, da weder die Sternpositionen noch die Haumea-Bahn mit der notwendigen Genauigkeit bekannt

Bedeckter Stern	URAT1 533-182543 Scheinbarer Durchmesser $\sim 0,007$ Millibogen- sekunden, Helligkeit in V: 17,93 ^m
Bedeckungsobjekt	136108 Haumea mit Ring Scheinbarer Durchmesser ~ 44 Millibogen- sekunden, Helligkeit in V: 16,77 ^m
Bedeckungszeitraum	21. Januar 2017 03:00 – 03:20 Uhr UT
Schattengeschwindigkeit auf der Erde	13,1 km/s
Haumea Bedeckungsellipse	1704 km \times 1138 km
Ring Bedeckungsellipse	2287 ⁺⁷⁵ _{.45} km \times 541 \pm 15 km, Breite: ca. 70 km
Haumea Ellipsoid Halbachsen	$a=1161 \pm 30$ km, $b=852 \pm 4$ km, $c=513 \pm 16$ km
Haumea Dichte	1757 – 1885 kg/m ³
Haumea Albedo	0,51

Tabelle 1: Die Sternbedeckung durch Haumea in Zahlen und Zusammenfassung der wissenschaftlichen Ergebnisse

J. L. Ortiz et al., Nature 550, 219–223 (Oktober 2017)



Abbildung 4: Der Verlauf des Schattenwurfs (Haumea verdeckt den Stern URAT1 533-182543) am 21.1.2017: Die durchgezogenen blauen Linien markieren den Rand des Schattenbereichs, die Zentrallinie ist gestrichelt; an den grün eingezeichneten Beobachtungsorten wurde die Bedeckung beobachtet, am blau markierten Ort (Mount Agliale) wurde nur die Bedeckung durch den Ring gemessen, während die beiden roten Markierungen die dem Schattenbereich nächsten Beobachtungsorte sind, an denen keine Bedeckung festgestellt wurde.

sind. Mögliche Sternbedeckungen müssen deshalb durch sorgfältige astrometrische Messungen in den Tagen und Wochen zuvor überprüft und verbessert werden. Deshalb wurden die Positionen von Haumea und den Sternen in der Nähe präzise vermessen und so die Vorhersage für den Schattenpfad auf der Erde stetig verbessert. Erstmals musste auch die kleine Bahnstörung durch den Mond Hi'iaka berücksichtigt werden. Durch die große Entfernung von mehr als 50 AE wirkt sich dieser gravitative Einfluss stark aus und verschiebt Haumeas Schattenwurf um mehrere hundert Kilometer. Ein weiterer Effekt spielt eine große Rolle: Die Bahnrechnungen basieren immer auf vielen Positionsmessungen über einen längeren Zeitraum. Das Photozentrum stimmt aber bei Mehrfachsystemen nicht mit der Position des Zentralkörpers überein, da ein Teil des Lichts von den Monden kommt, hier vor allem von Hi'iaka. Für die echte Haumea-Position musste deshalb eine zeitabhängige Korrektur angebracht werden, die den berechneten Schattenwurf zum Bedeckungszeitpunkt um etwa 10.000 (!) km verschoben hat. Am 21.1.2017 war es dann so weit: Von Zentraleuropa aus gesehen (Abbildung 4) verdeckte Haumea den

Stern URAT1 533-182543 gegen 3:10 Uhr UT. Abbildung 5 zeigt den zeitlichen Haumea-Stern-Helligkeitsverlauf wie er von verschiedenen Standpunkten aus registriert wurde. Im günstigsten Fall verschwand der Stern für fast zwei Minuten, am Rand des Schatten-

pfades nur für wenige Sekunden. Insgesamt haben mehr als 30 Beobachter in Europa das Ereignis gemessen und ihre Ergebnisse an die Initiatoren und Koordinatoren aus Granada in Spanien weitergeleitet. Aus den verlässlichen Daten zehn verschiedener Observatorien konnten Größe und projizierte Form bestimmt werden. Die eigentliche Sensation liegt aber in den Sekundäreignissen vor und nach der Bedeckung: Sie lassen sich nur durch die Existenz eines Rings um Haumea erklären. Abbildung 6 stellt das Ergebnis maßstabsgetreu dar. Die 3D-Rekonstruktion des „Mutterkörpers“ beruht auf der Zuhilfenahme von Lichtkurven, die besagen, dass die Sternbedeckung zum Zeitpunkt der minimalen Querschnittsfläche stattfand. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Weitere Untersuchungen und eine Neuinterpretation existierender Messungen ergaben, dass der Ring etwa 5% zur Gesamthelligkeit des Haumea-Systems beiträgt und zum Bedeckungszeitpunkt etwa 50% des Sternenlichts absorbiert hat. Der Ring liegt in Haumeas Äquatorebene, ähnlich der Bahnlage des äußeren Mondes Hi'iaka, und in der 3:1 Resonanzzone, d.h. Haumea rotiert dreimal schneller als das Ringmaterial. Der Ring liegt so nahe am stark elongierten Zwergplaneten, dass die Entstehung eines festen Körpers aus diesem

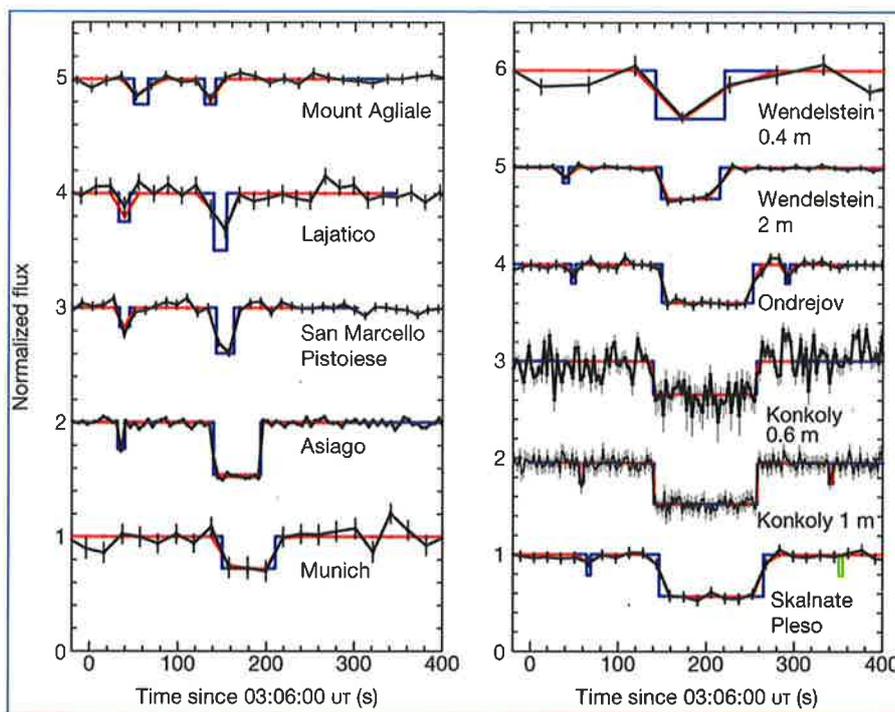
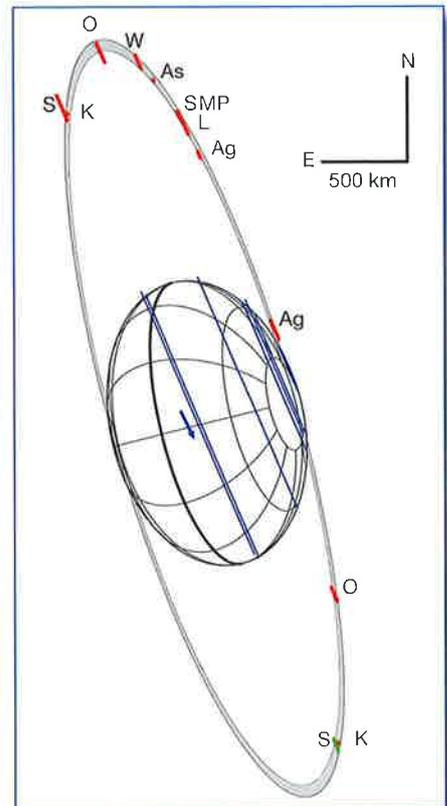


Abbildung 5: Die gemessenen Lichtsignale aus der Sternbedeckung von verschiedenen Beobachtern

J. L. Ortiz et al., Nature 550, 219–223 (Oktober 2017)



IAA-CSC/UHU



J. L. Ortiz et al. Nature 550, 219–223 (Oktober 2017)

Abbildung 6: links: maßstabsgetreue künstlerische Darstellung des Haumea-Ring-Ni'ika Systems (siehe auch MPE-Pressemitteilung vom 12.10.2017); rechts: Rekonstruktion der Größe und der Form sowie des Rings von Haumea aus den Daten verschiedener Beobachter

Material nicht möglich ist. Gleichzeitig ist der Ring bisher einzigartig in diesen sonnenfernen Regionen und die Entdeckung war völlig unerwartet. Über die Entstehung und Lebensdauer des Rings wird noch spekuliert. Beobachtungskampagnen der letzten Jahre lieferten bereits Hinweise auf Ringe um die beiden viel weiter innen liegenden Zentauren Chariklo und Chiron. Komplexe Lichtvariationen könnten darauf hindeuten, dass eventuell noch weitere Objekte einen oder mehrere Ringe haben. Die Charakterisierung und Interpretation ist aber noch nicht abgeschlossen. Vielleicht liefern weitere

Entdeckungen von Ringen bei anderen Zwergplaneten neue Hinweise auf den Ursprung? Die Suche ist in vollem Gange. Die Beiträge von Amateurastronomen, vor allem bei den Sternbedeckungen, sind hier außerordentlich wichtig.

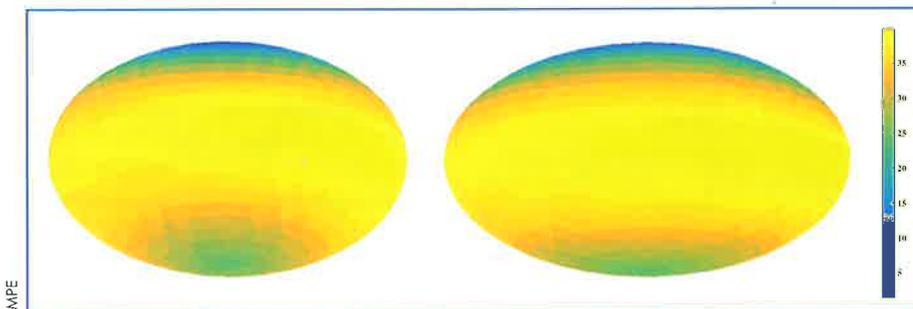
Gleichzeitig hat die neue Größenbestimmung auch eine Dichteabschätzung für Haumea geliefert. Die neuen Werte liegen deutlich unter 2000 kg/m^3 und passen viel besser ins Bild der großen Eiszwergplaneten, deuten aber auf einen inhomogenen Aufbau hin. Ein homogenes Innenleben würde im Widerspruch zu einem hydrostatischen

Gleichgewicht stehen. Dann wäre selbst die Zwergplanetendefinition für Haumea problematisch. Aber das ist ein anderes Kapitel.



Dr. Thomas Müller promovierte an der Universität Heidelberg 1997 im Fach Astronomie. Bis 1998 arbeitete er für das Max-Planck-

Institut für Astronomie in Heidelberg, dann bis 2001 bei der European Space Agency (ESA) in Madrid und seit 2002 beim Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Garching. Er war an den Infrarot-Weltraumobservatorien *ISO*, *AKARI* und *Herschel* beteiligt. Seit April 2016 koordiniert er ein EU-gefördertes Projekt zum Thema Kleinplaneten in unserem Sonnensystem und ist wissenschaftliches Mitglied der *Hayabusa-2*-Mission (japanische Weltraumbehörde JAXA) zum Kleinplaneten 162173 Ryugu. Der Kleinplanet 8793 *Thomasmueller* trägt seit 1999 seinen Namen. Weitere Informationen: www.mpe.mpg.de/~tmueller/



MPE

Abbildung 7: Da Haumea ein elliptisches Objekt ist, ändert sich durch die Rotation von der Erde aus beobachtet der Querschnitt. Diese beiden Bilder zeigen Haumea im Minimum (links) und im Maximum (rechts). Die Farbskala ist ein Maß für die Oberflächentemperatur in Kelvin. Zur Zeit der Sternbedeckung befand sich Haumea im Minimum.