

Die Beobachtung der Zwergplaneten und die Lichtkurve von Haumea

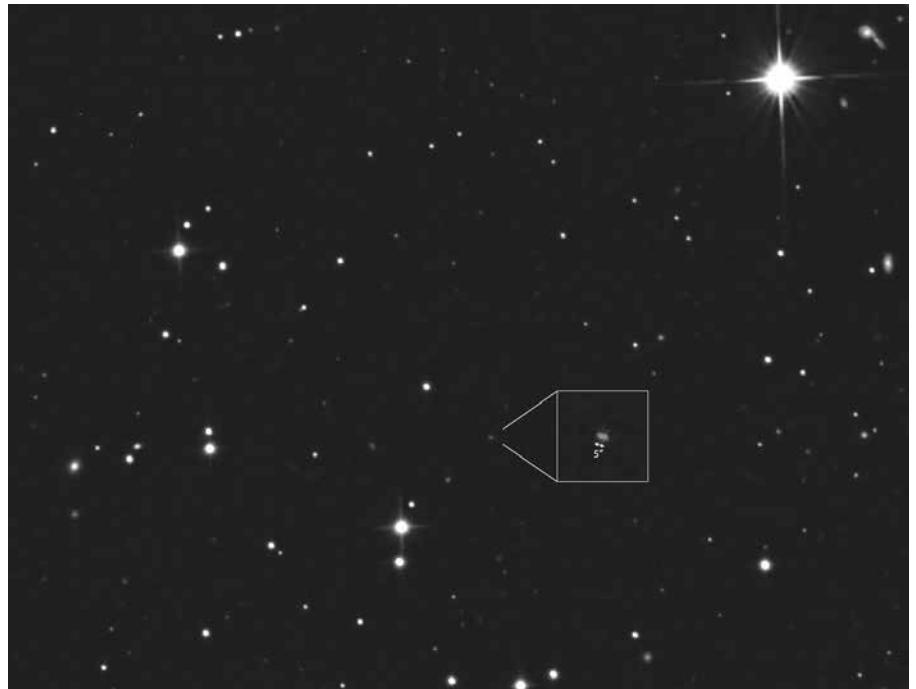
von Jürgen Dirscherl

2005 wurde die Entdeckung von gleich drei transneptunischen Objekten bekanntgegeben: (136108) Haumea, (136199) Eris und (136472) Makemake. Da diese Objekte von vergleichbarer Größe wie Pluto sind, wurde von der IAU bald darauf die neue Kategorie der Zwergplaneten eingeführt und die drei neuen Objekte sowie (134340) Pluto und (1) Ceres in diese aufgenommen. Diese Degradation von Pluto zum Zwergplaneten ist heute noch umstritten. Neben diesen bisher offiziell anerkannten fünf Zwergplaneten gibt es noch viele weitere Kandidaten, bei denen die bekannten Daten noch nicht ausreichen für eine Einstufung als Zwergplanet.

Ceres ist mit einer Helligkeit von bis zu 6,6 mag leicht zu beobachten. Mit einem maximalen Durchmesser von rund 0,8" ist jedoch selbst sie als nächster Zwergplanet nicht als Scheibchen auflösbar (mit Amateurmitteln). Um die Oppositionszeit bewegt sie sich scheinbar mit über 30" pro Stunde, so dass ihre Bewegung visuell und fotografisch leicht zu erfassen ist (siehe z. B. [1]).

Pluto ist mit einer maximalen Helligkeit von etwa 14 mag visuell nur mit größeren Teleskopen sichtbar. Er bewegt sich zur Oppositionszeit mit rund 3,8" pro Stunde (Abstand 33 AE = Astronomische Einheiten). Damit ist seine Bewegung fotografisch schon nach ein bis zwei Stunden gut nachweisbar. Die fünf Monde von Pluto – wie auch die der anderen Zwergplaneten – entziehen sich (bislang) einer Beobachtung durch Amateure.

Makemake hat eine scheinbare Helligkeit von rund 17 mag und dürfte damit visuell mit Amateurmitteln nicht beobachtbar sein. Er hat einen Mond und benötigt 307 Jahre für einen Umlauf um die Sonne. Fotografisch ist das rund 1.430 km große Objekt



1 Zwergplanet (136199) Eris: Strichspur Mitte und vergrößerter Ausschnitt. Aufnahme mit 10-Zoll-Newton-Teleskop, Brennweite 1.000 mm, Kamera ZWO ASI 1600 MMC mit VIS-Filter. Insges. 176 Einzelbelichtungen (60 s und 120 s) im Zeitraum von 20:34 bis 01:23 Uhr MEZ am 16./17.11.2018.

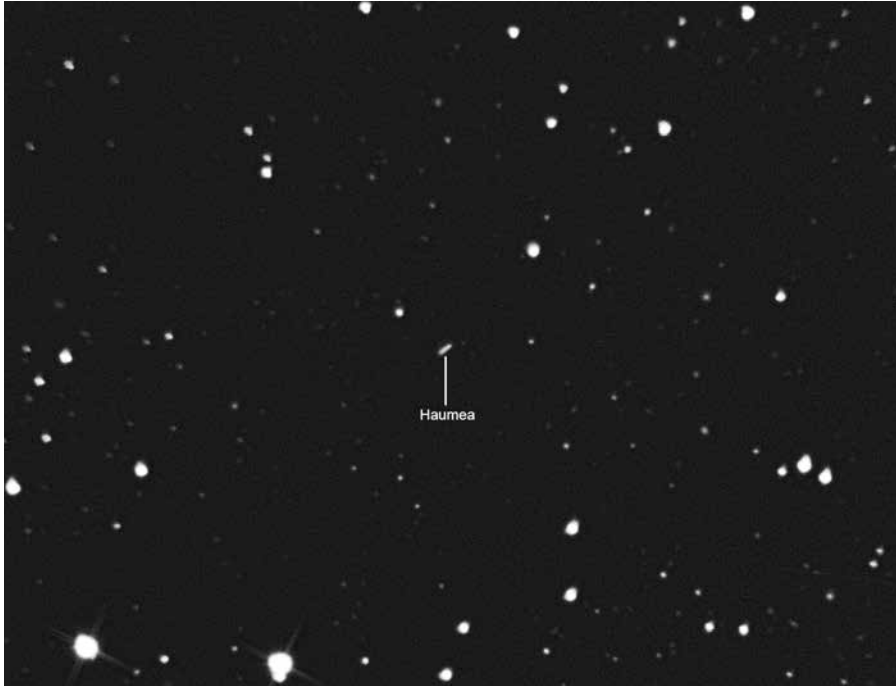
problemlos mit einem Teleskop erfassbar. Allerdings ist Makemake zur Opposition 51,7 AE von uns entfernt und bewegt sich daher vor dem Fixsternhintergrund nur mit maximal etwa 2,4" pro Stunde. Für die Erfassung der Bewegung sollten Aufnahmen im Abstand von mindestens zwei Stunden eingeplant werden.

Eris ist der massereichste und nach Pluto größte Zwergplanet. Sie hat einen Mond und bewegt sich auf einer stark exzentrischen Bahn mit einer Umlaufzeit von 557 Jahren um die Sonne. Aktuell ist sie rund 96 AE von der Sonne entfernt (Helligkeit 18,7 mag) und war damit lange das entfernteste bekannte Objekt im Sonnensystem. Dementsprechend beträgt ihre maximale scheinbare Bewegung am Himmel nur etwa 1,4" pro Stunde und eine längere Beobach-

tungszeit (drei bis vier Stunden?) ist nötig, um die Bewegung zu erfassen. Die Abbildung 1 zeigt die kurze Strichspur von Eris am 16./17. November 2018 über knapp fünf Stunden hinweg.

Haumea nimmt unter den Zwergplaneten aufgrund ihrer Form eine Sonderrolle ein. Sie ist zur Opposition 49,5 AE von uns entfernt, hat zwei Monde und einen schmalen Ring aus Eis und Gestein. Sie benötigt 285 Jahre für einen Umlauf um die Sonne. Ähnlich wie Makemake bewegt sie sich scheinbar mit bis zu 2,5" pro Stunde vor dem Fixsternhintergrund.

Sie rotiert in weniger als vier Stunden um die eigene Achse und zeigt dabei – im Gegensatz zu den anderen Zwergplaneten – einen starken Lichtwechsel von etwa 25%.



2 Zwergplanet (136108) Haumea (Strichspur) mit 24-Zoll-Newton-Teleskop, Brennweite 1.500 mm, Kamera ZWO ASI 1600 MMC mit VIS-Filter. Insges. 288 Einzelbelichtungen (60 s) im Zeitraum von 21:24 bis 02:30 Uhr MEZ am 27./28.03.2020.

Die maximale scheinbare Helligkeit beträgt dabei 17,3 mag. Die wechselnde Helligkeit rührt von zwei Effekten her: Zum einen hat Haumea eine elliptische Form mit geschätzten Abmessungen von 2.100 x 1.680 km und einem Poldurchmesser von 1.070 km. Immer wenn sie uns die breite Seite zuweist, reflektiert sie mehr Licht der Sonne zu uns und erscheint heller. Zum anderen ist der Lichtwechsel nicht gleichmäßig, was auf einen rötlichen Fleck auf einer Seite zurückgeführt wird, der weniger Licht der Sonne reflektiert als die restliche eisige Oberfläche. Durch den Fleck fällt jedes zweite Maximum und Minimum etwas niedriger als die dazwischenliegenden aus [1].

Die Messung der Lichtkurve eines derart schwachen Objekts wie Haumea ist eine deutlich größere Herausforderung als die rein fotografische Abbildung. Um über die Rotationszeit von vier Stunden die zwei Lichtmaxima und -minima zeitlich sauber aufzulösen, sollte die Messzeit pro Datenpunkt nicht über 5 min liegen. Um innerhalb dieser Zeit eine Messung der Helligkeit relativ zu umgebenden Fixsternen mit ausreichendem Signal-zu-Rauschverhältnis zu schaffen, ist ein möglichst „schnelles“ Tele-

skop (großes Verhältnis Öffnung zu Brennweite) mit ausreichender Ortsauflösung für das Fitten einer Gaußkurve in das Sternbild erforderlich (s. u.).

Wir setzten dafür das 24-Zoll-Newton-Teleskop der Johann-Kern-Sternwarte Wertheim ein (normales Öffnungsverhältnis 1:5). Durch einen (low-cost-) Reduzierer wurde die Brennweite halbiert, auf Kosten der Abbildungsqualität außerhalb der Bildmitte (s. Abb. 2), was hierfür aber keine Rolle spielte.

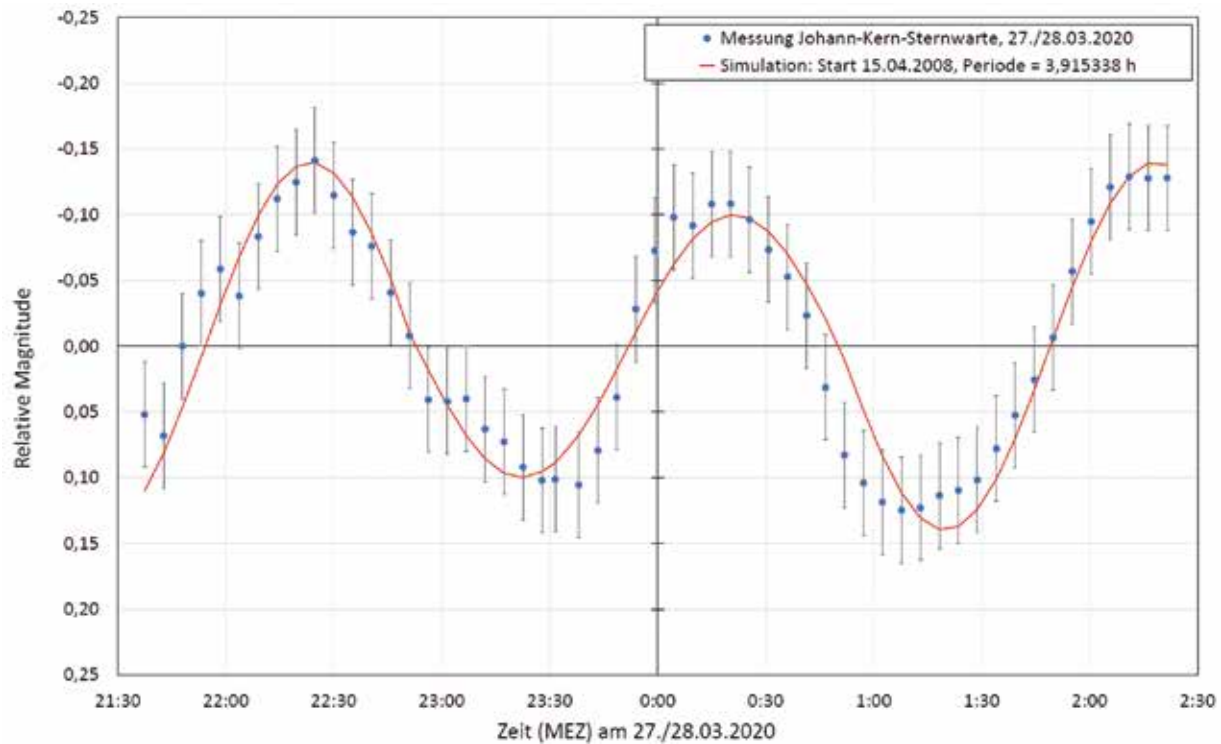
Als Kamera kam eine ZWO ASI 1600 MMC mit auf -20 °C gekühltem CMOS-Chip zum Einsatz. Die Einzelbelichtungszeit betrug 1 min mit VIS-Filter (UV/IR-Sperrfilter). Die Einzelbelichtungszeit war begrenzt durch die Nachführungsgenauigkeit am Teleskop (Nachführungskorrektur durch TDM, ohne Autoguiding). Die Abbildung 2 zeigt die Strichspur von Haumea im Aufnahmezeitraum von 21:24 Uhr MEZ am 27. März 2020 bis 02:30 Uhr MEZ am 28. März. Insgesamt wurden 288 Bilder aufgenommen und ausgewertet. Die über fünf Stunden Messzeit waren nötig, um mehr als eine vollständige Periode von Haumeas Rotation aufzuzeichnen. Jeweils fünf der Einzel-

bilder wurden mit Fitsworks gestackt (ohne Darks, jedoch mit Flat-Korrektur). Das Flat wurde künstlich durch ein stark weichgezeichnetes Gesamt-Summenbild erzeugt und dabei sichergestellt, dass Haumea und die Referenzsterne im Bild nicht von Artefakten aufgrund heller Sterne beeinträchtigt wurden.

Die Summenbilder (über je 5 min) wurden in Fitsworks relativ zu vier Referenzsternen vermessen. Fitswork arbeitet nicht mit einer Apertur, sondern fittet eine Gaußkurve in das jeweilige Sternbild, so spielen weder Hintergrund noch Apertur eine Rolle – zumindest in der Theorie. In der Praxis zeigte sich für die Anfangszeit eine leichte Messabweichung und hohe -streuung, da Haumea kaum aus dem noch hellen Himmelshintergrund herausragte.

Die vier gemessenen Helligkeitswerte jedes Summenbilds wurden in Excel eingetragen und gemittelt. Da die ursprünglich gewählten Referenzsterne alle heller als Haumea waren, ergab sich (aufgrund des hellen Himmelshintergrundes) für die erste Zeit eine zu flache Lichtkurve. Für diese Zeit wurde zusätzlich ein gleich heller Referenzstern ausgewertet, der die korrekte Amplitude der Lichtkurve bestätigte, allerdings mit stärkerem Rauschen.

Während bei der Vermessung von helleren Sternen (etwa ab 12 mag bei Öffnungsverhältnis 1:4) mit Fitsworks eine Messgenauigkeit deutlich besser als 1% möglich ist, sind die Schwankungen bei dem nur 17,3 mag schwachen Zwergplaneten Haumea doch deutlich größer. Die Abbildung 3 zeigt die gemessene Lichtkurve als blaue Punkte (für die Summenbilder), wobei diese noch mittels gleitendem Mittelwert über je drei Punkte geglättet wurden. Für die ersten zwei Stunden musste die Höhe der Kurve normiert werden, um die oben erwähnte



3 Lichtkurve von Zwergplanet (136108) Haumea, Aufnahmedaten wie in Abb. 2, blaue Punkte: Messkurve, rote Linie: Simulation, Details s. Text

Signalabschwächung durch den Hintergrund zu kompensieren. Die Höhe der Fehlerbalken von $\pm 0,04$ mag wurde aus der Streuung abgeschätzt.

Die Verifizierung der gemessenen Lichtkurve durch Literaturwerte erwies sich als schwieriger als erwartet. Erst nach längerer Suche wurde in [2] ein eindeutiges Maximum der Lichtkurve von Haumea identifiziert. In der Tabelle 5 in Verbindung mit der Abbildung 2 in dieser Quelle ist ein Maximum bei Julianischem Datum 2454571,801745 (Haumea-Zeit) zu finden. Die Haumea-Zeit kann über die Lichtlaufzeit von Haumea zur Erde auf unser Julianisches Datum und damit auch auf MEZ umgerechnet werden.

In [3] wurde schließlich eine hochgenaue Angabe der Rotationsperiode gefunden, die benötigt wurde, um vom Maximum aus [2] am 15. April 2008 (!) auf den 27. März 2020 hochzurechnen. Die Angabe ($3,915341 \pm 0,000005$) h war präzise genug, um die gemessenen Maxima zu verifizieren. Dazu musste neben der Lichtlaufzeit von Haumea zur Erde (für April 2008 und März 2020) auch die Weiterbewegung von

Haumea auf ihrer Bahn um die Sonne berücksichtigt werden. Ihre siderische Umlaufzeit (d. h. bezogen auf die Fixsterne) beträgt 285 Jahre. In der Zeit von 2008 bis 2020 hat sich Haumea auf ihrer Bahn weiterbewegt und zeigt uns ihre „Breitseite“ entsprechend um den 12/285-Teil einer Rotationsperiode später. Diese Korrektur entspricht der Umrechnung auf synodische Umlaufzeit (= bezogen auf die Erde). Der veränderte Blickwinkel von der Erde zu Haumea je nach Jahreszeit hat dagegen keinen relevanten Einfluss.

Auf Basis dieser Daten wurde mit einer einfachen Sinusfunktion für jede der beiden Teilwellen für großes und kleines Maximum eine Simulationskurve erzeugt (rote Kurve in Abb. 3). Die optimale Übereinstimmung der Maximum-Positionen ergab sich für eine Rotationsperiode von 3,9153384 h in sehr guter Übereinstimmung mit der Literaturangabe. Demnach hat sich Haumea seit dem Maximum am 15. April 2008 bis zum ersten Maximum am Abend des 27. März 2020 genau 26.752-mal um die eigene Achse gedreht. Die Abweichung bei Berechnung mit der Rotationsperiode aus [3] über 26.752 Rotationen (al-

so über 12 Jahre!) hinweg zum gemessenen Maximum beträgt nur 3 min (die volle Toleranz aus [3] entspricht ± 8 min).

Die eigenen Messwerte zeigen im Rahmen der Messgenauigkeit gute Übereinstimmung mit der Simulationskurve. Die Messwertkurve scheint rechts des kleineren Maximums „enger“ zu sein als die reine Sinuskurve. Legt man die Kurve in der Abbildung 2 aus [2] über die eigenen Messwerte, scheint sich dieser Effekt zu bestätigen, d. h. die Sinuskurve ist in diesem Bereich nicht geeignet, die echte Lichtkurve zu simulieren.

Literatur- und Internethinweise (Stand August 2020):

- [1] www.sternwarte-wertheim.de/results.html, Abschnitt „Zwergplaneten“
- [2] P. Lacerda, 2009: “Time-Resolved Near-Infrared Photometry of Extreme Kuiper Belt Object Haumea”, *Astron. J.* 137, 3404-3413
- [3] E. Lellouch et al., 2010: “TNOs are Cool: A survey of the trans-Neptunian region*, II. The thermal lightcurve of (136108) Haumea”, *Astron. Astrophys.* 518, L147