

Das Plutosystem - erste wissenschaftliche Veröffentlichungen [02. Apr.]

Vor fast einem Jahr, im Juli 2015, passierte die Plutomission New Horizons [1] erstmals das Plutosystem [1-3]. Die Mission ermöglicht der Menschheit einen ersten direkten Blick auf den bisher grösstenteils unerforschten Bereich des äusseren Sonnensystems [1].

Bereits seit Jahrzehnten vermuteten Forscher aufgrund von Beobachtungen mit grossen Teleskopen, dass der Zwergplanet Pluto [1-3] eine komplexe Atmosphäre besitzt. Aus der Ferne gestaltete sich jedoch eine Detailanalyse als schwierig. Eines der wichtigsten Ziele der Plutomission war daher die Untersuchung der Struktur und der Zusammensetzung der Atmosphäre (Abb. 1) sowie die Rate, mit der Material aus ihr entweicht.

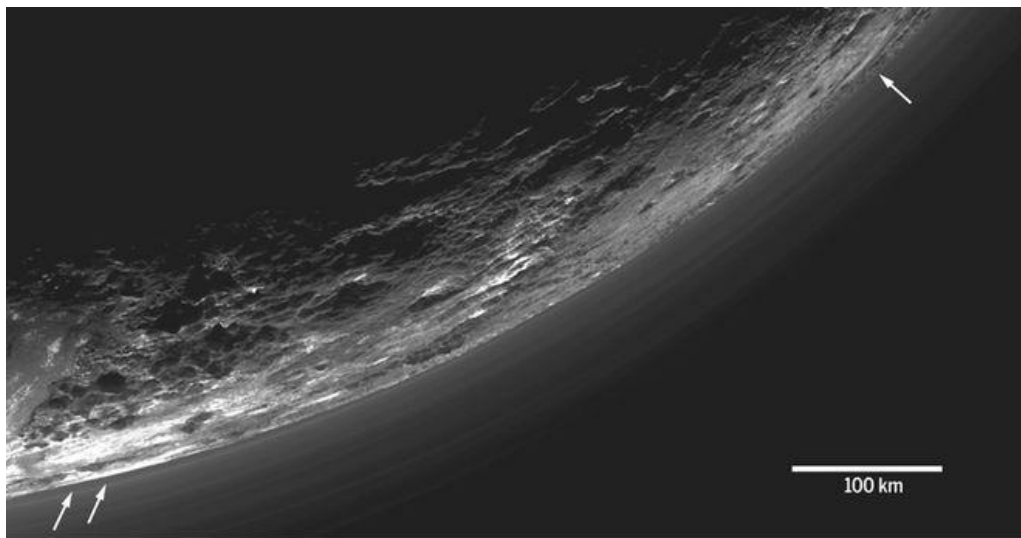


Abb. 1 Die komplexe Plutoatmosphäre.

Kurz nach der grössten Annäherung der Plutosonde New Horizons am 14. Juli 2015 entstand diese Aufnahme der Atmosphäre des Zwergplaneten. Sie zeigt etwa 20 unterschiedliche Dunstschichten der dünnen Atmosphäre, die Pluto umgibt.

© G.R. Gladstone et al./Science (2016)

Endlich haben die Wissenschaftler der Plutomission - rund sieben Monate nach dem Vorbeiflug am Zwergplaneten - ihre ersten (fünf) wissenschaftlichen Arbeiten veröffentlicht [3].

Zusammenfassung der Erkenntnisse

Der Schlüsselsatz, der die Ergebnisse sämtlicher Facharbeiten [3] beschreibt, ist: Pluto ist nicht so wie man bisher dachte.

Sämtliche bisherigen Aufnahmen und Daten zeigen, dass Pluto ein wesentlich aktiverer Himmelskörper ist als vermutet und seine Oberfläche eine unglaubliche Vielfalt bezüglich vorhandener Strukturen und geologischer Prozesse besitzt. Insgesamt tragen die Ergebnisse immens zu unserem Verständnis der Körper des äusseren Sonnensystems bei.

Zur Erklärung der Beobachtungen auf dem Zwergplaneten Pluto und seinen Monden existieren bisher vielfältige Ansätze; die aktuellen Veröffentlichungen heben diese Diskussion auf ein neues Niveau.

Die neuen wissenschaftlichen Ergebnisse verändern unseren Blick auf Pluto und zeigen, dass der bisher ferne und unbekannte ehemalige Planet eine reale Welt mit vielfältiger und aktiver Geologie ist (Abb. 2), exotischer Oberflächenchemie, einer komplexen Atmosphäre (Abb. 1), eine verwirrende Wechselwirkung mit der Sonne besitzt sowie ein bisher nicht erklärliches System aus kleinen Monden (Abb. 3).

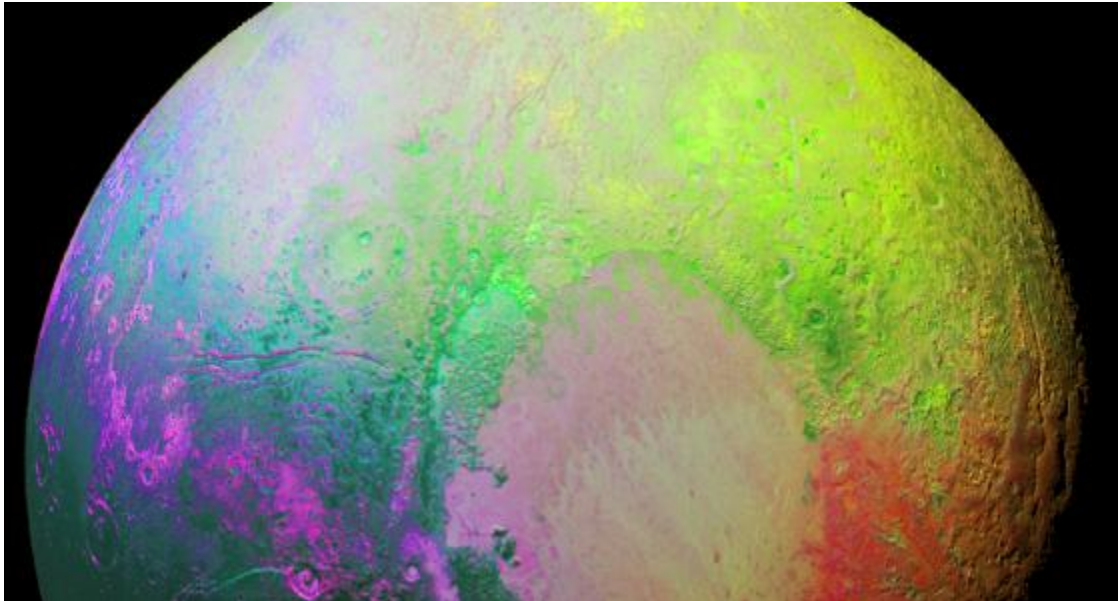


Abb. 2 Plutos vielfältige Oberfläche (Falschfarbenaufnahme).
Der Zwergplanet Pluto besitzt eine strukturreiche geologische und geografische Oberfläche, die auch jahreszeitlichen Veränderungen unterworfen ist.
© NASA/JHUAPL/SwRI

Die Plutooberfläche ändert kontinuierlich ihr Aussehen, ist geprägt von Wechselwirkungen ihrer flüchtigen Bestandteile wie Stickstoff-, Methan- und Kohlenmonoxid-Eis [1], einer grossen Menge Wassereis [1] sowie nicht-flüchtigen sog. Tholinen [1]. Die Verdampfung und Kondensation dieser Bestandteile formt die Plutooberfläche. Die entsprechenden Prozesse sind intensiver als auf der Erde.

Die Plutomonde

Das Plutosystem ist überraschend komplex: die sechs Objekte befinden sich nahezu in einer Ebene und umkreisen Pluto auf Kreisbahnen [1] (Abb. 3). Beim Start der Plutosonde im Jahr 2005 waren nur die beiden kleinen Monde Nix [1] und Hydra [1] bekannt. Die Monde Kerberos [1] und Styx [1] wurden erst 2011 und 2012 entdeckt.

In Bezug auf die Plutomonde zeigen die Aufnahmen, dass die Monde hochgradig reflektiv sind, stärker als andere Körper des Kuiper-Gürtels [1]. Daher sind die Forscher der Auffassung, dass die Monde wahrscheinlich aus dem Kuiper-Gürtel eingefangen wurden. Möglicherweise sind sie jedoch das Ergebnis einer Kollision, aus der das Plutosystem entstanden ist. Die Oberflächen einiger Plutomonde sind rund 4-4,5 Milliarden Jahre alt.

Diese beiden Ergebnisse lassen darauf schliessen, dass sich die kleinen Monde nach der Kollision bildeten, aus der das Pluto-Charon-System [1] hervorgegangen ist.

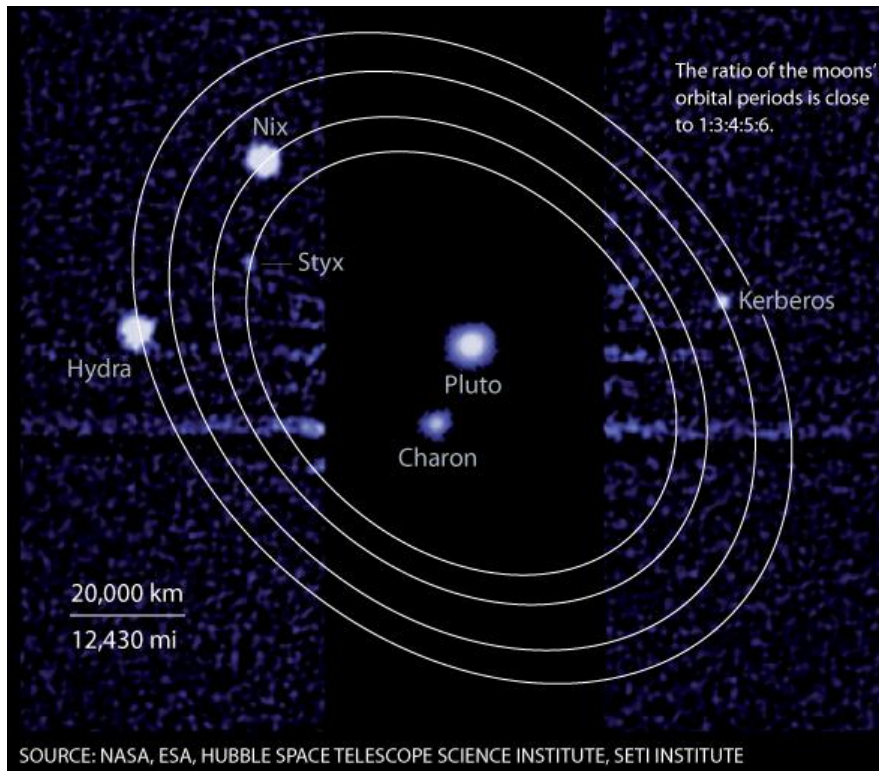


Abb. 3 Das Plutosystem mit seinen Monden.

Das Plutosystem besteht neben dem Zwerghplaneten aus einem grossen (Charon) und mehreren kleinen Monden. Die Herkunft der unterschiedlichen Trabanten ist unklar.

© NASA/ESA/HST/SETI Inst.

Die 11 wichtigsten Ergebnisse der Plutomission [1-3]:

- Die Altersbestimmung der Plutooberfläche mithilfe von Kraterzählungen zeigt, dass Pluto während der letzten 4 Milliarden Jahre geologisch aktiv war. Die Abwesenheit von Kratern in der Region Sputnik Planum [1], einer weiten Eisebene, weist darauf hin, dass sie geologisch jung ist; ihr Alter wird auf weniger als 10 Millionen Jahre geschätzt.
- Der Zwerghplanet zeigt eine Vielfalt von Prozessen, die seine Oberfläche über verschiedene Zeitspannen (jahreszeitlich bis geologisch) verändern kann. Der Hauptteil dieser Aktivität basiert auf flüchtigen Eissorten wie Stickstoff- und Kohlenmonoxid-Eis [1], die selbst bei den auf dem Zwerghplaneten herrschenden Temperaturen von rund -230 Grad Celsius mobilisiert werden können.

Diese Eissorten sublimieren [1] und verdampfen jahreszeitlich bedingt, sie fliessen wie Gletscher [2]. Bei ihrer Bewegung über die Plutooberfläche wechselwirken sie mit Material wie beispielsweise Wassereis. Obgleich das harte Wassereis selbst inaktiv ist, scheint es durch die Wechselwirkung mit den genannten flüchtigen Eissorten geformt zu werden.

Das Methaneis [1] spielt eine gesonderte Rolle: das Eis kondensiert in grossen Höhen auf der winterlichen Hemisphäre und trägt zur Ausbildung einiger ungewöhnlicher Oberflächenstrukturen bei.

- Der Plutomond Charon besitzt eine alte Oberfläche (Abb. 4). Beispielsweise handelt es sich bei der grossen äquatorialen Ebene Vulcan Planum [1] wahrscheinlich um einen breiten cryovulkanischen Fluss [1] bzw. Flüsse, der/die vor rund 4 Milliarden Jahren aus der Oberfläche des Mondes ausgebrochen ist/sind. Diese Flüsse stehen wahrscheinlich mit dem Gefrieren eines unter der Oberfläche befindlichen Ozeans in Zusammenhang, der die Kruste des Mondes global aufgebrochen hat.

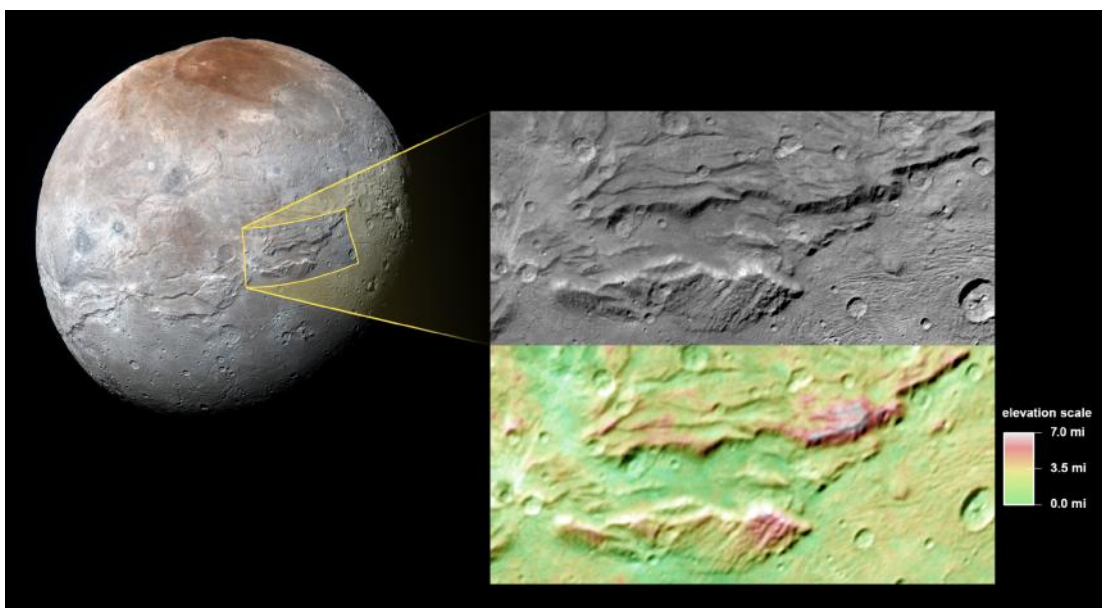


Abb. 4 Der Plutomond Charon.

Der grösste Plutomond Charon besitzt zahlreiche Canyons, die bis zu 1.800 Kilometer lang und 7,5 Kilometer tief sind. Im Vergleich beträgt die Länge des Grand Canyon [1] rund 450 Kilometer und eine Tiefe von 1,6 Kilometern.

© NASA/JHUAPL/SwRI

Die Färbung des Mondes in den Polarregionen lässt auf einen thermisch kontrollierten Erzeugungsprozess des ausgeschleuderten Materials schliessen.

- Die Verteilung der chemisch unterschiedlichen Bereiche der Plutoatmosphäre (von stickstoffreich hin zu methanreich bzw. wasserreich) ist überraschend komplex und stellt die Forscher bezüglich des Verständnisses des Klimas und der geologischen Entwicklung vor ein Rätsel. Die Forscher fanden eine Variation der Oberflächenzusammensetzung wie sie nirgendwo sonst im äusseren Planetensystem existiert.
- Die Temperatur der oberen Plutoatmosphäre ist wesentlich kälter als erwartet. Statt der erwarteten rund 100 Kelvin (K) [1] bzw. -170 °C beträgt die Temperatur etwa 70 K bzw. -200 °C . Daher gelangt die dünne Atmosphäre nicht weit genug in den Weltraum, um vollständig durch den Sonnenwind [1] weggerissen zu werden. Diese Wechsel-

wirkung wurde erst in einem Abstand von etwa 7.000 Kilometern von der Plutooberfläche gemessen.

Die Forscher mussten die Entweichrate [1] der atmosphärischen Gasteilchen um einen Faktor 10.000 (0,01 Prozent bzw. auf 10^{23} Moleküle pro Sekunde) revidieren. Merkwürdigerweise entweichen keine Stickstoffteilchen aus der oberen Atmosphäre, sondern lediglich Methanmoleküle, jedoch nur wenige. Die Forscher können diesen Befund bisher nicht erklären.

Möglicherweise wird die Wärme in der oberen Plutoatmosphäre durch einen anderen Prozess abgeführt, beispielsweise Wasserstoffcyanid [1] oder Acetylen [1], was erdgebundene Messungen jedoch bezweifeln.

Die Messung des Atmosphärendrucks beträgt etwa 10-11 Mikrobar [1] (Abb. 5), das entspricht nur etwa 0,001 Prozent des irdischen Atmosphärendrucks auf Meereshöhe.

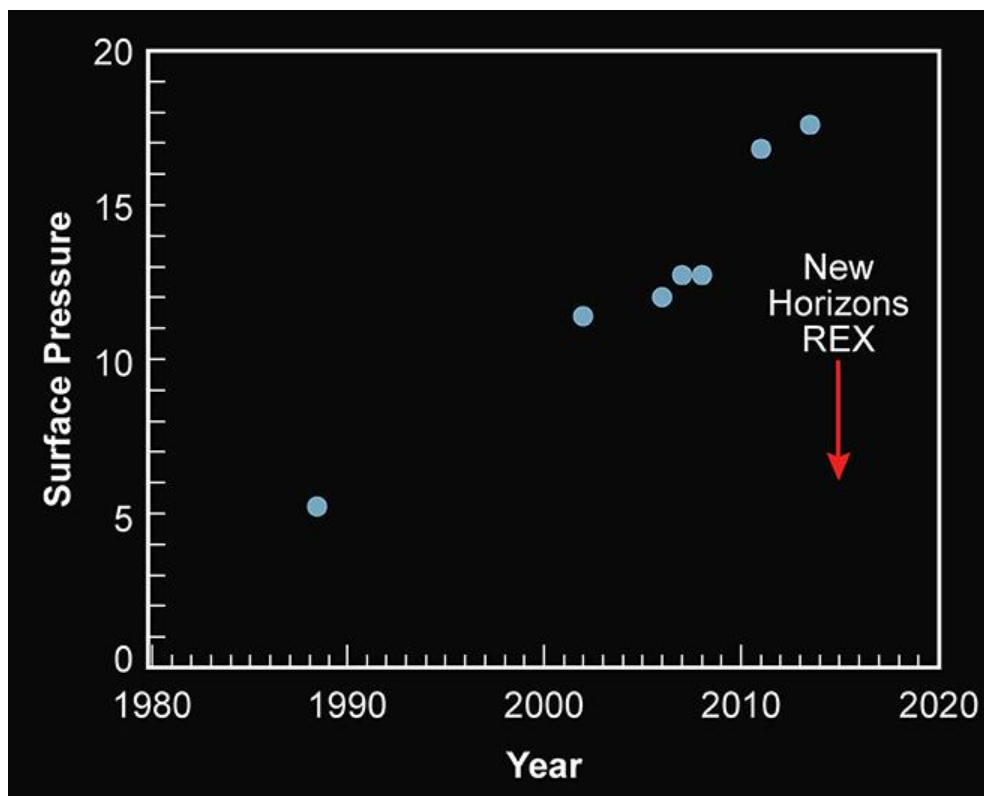


Abb. 5 Änderung des Atmosphärendrucks des Zwergplaneten Pluto.
Während der letzten rund 30 Jahre hat sich der Atmosphärendruck (surface pressure) des Pluto stark verändert, er stieg um einen Faktor 3 an.

© NASA/JHUAPL/SwRI

Die Grund für den Anstieg des Atmosphärendrucks könnte die extreme Neigung der Rotationsachse [1] des Zwergplaneten sein: sein Nordpol ist um 120 Grad nach unten geneigt (Abb. 6). Während seiner 248 Jahre dauernden Umkreisung der Sonne befindet sich daher einer der Pole ständig im Sonnenlicht, der andere in völliger Dunkelheit.

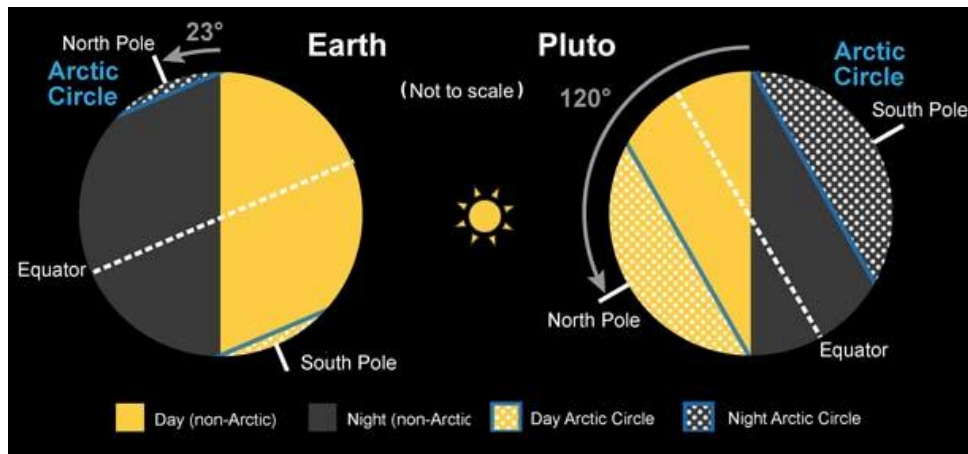


Abb. 6 Vergleich der Bahnneigung der Erde und des Plutos.

Die Erdachse der Erde (links) ist um rund 23 Grad gegenüber der Bahnebene geneigt, die des Pluto dagegen um 120 Grad. Die Polarregionen umfassen daher unterschiedlich grosse Ausdehnungen (weiss gepunktete Bereiche). Der sonnenbeschienene Tagbereich ist gelb markiert, der dunkle Nachtbereich dunkelgrau.

© NASA/JHUAPL/SwRI

- Die Zusammensetzung wichtiger Bestandteile der Plutoatmosphäre (einschliesslich molekularem Stickstoff, Methan, Acetylen, Ethylen und Ethan [1]) wurde erstmals in Abhängigkeit von der Höhe über der Oberfläche gemessen.
- Die Wissenschaftler können erstmals einen plausiblen Mechanismus vorstellen, mithilfe dessen sie die Bildung der atmosphärischen Dunstschichten (Abb. 1) des Zwergplaneten erklären können. Der Mechanismus beinhaltet die Konzentration von Dunstpartikeln [1] durch aufsteigende Wellen, sog. Schwerkraftwellen [1]. Diese Wellen werden durch Winde erzeugt, die über die bergige Plutooberfläche wehen.

Allerdings bleibt es ein Rätsel, weshalb die Plutoatmosphäre aus etwa 20 verschiedenen Schichten besteht; einige Schichten sind bis zu einigen Kilometern dick. Die verschiedenen Dunstschichten reihen sich meist in regulären Abständen übereinander und erstrecken sich bis zu einer Höhe von 200 Kilometern über der Oberfläche.

Theoretisch können die oberen Dunstschichten nicht stabil sein; dort ist es nach dem Pluto-Standard warm genug, um die vorhandenen Aerosole [1] verdampfen zu lassen. Davor schützen wahrscheinlich Winde, die die vorhandene Wärme in tiefer gelegene kühlere Oberflächenregionen transportieren, was die Entstehung von Schwerkraftwellen auslösen könnte.

Die Wellen wandern in grössere Höhen und komprimieren die Dunstpartikel, was wiederum zu einer regelmässigen Anordnung der Dunstschichten führt. Das ist fast so als ob die Plutoatmosphäre (radial nach aussen) läutet - wie eine Glocke.

- Vor der Passage der Plutosonde befürchteten die Forscher aufgrund der Anwesenheit der vier kleinen Plutomonde die Anwesenheit weiterer kleiner Brocken. Die Messung bzw. Zählung des Staubs konnte jedoch innerhalb der fünf Tage während der Annäherung der Plutosonde

lediglich ein Staubteilchen messen. Das Ergebnis ähnelt der Dichte von Staubteilchen im äusseren Sonnensystem (rund 6 Teilchen pro Kubik-kilometer) und zeigt, dass die Raumregion um den Zwergplaneten nicht mit weiteren kleinen Überbleibseln gefüllt ist.

- Die Messung geladener Teilchen ergab, dass sich die Zone der Wechselwirkung der Plutoatmosphäre mit dem Sonnenwind lediglich auf der Tagseite des Zwergplaneten befindet; die Ausdehnung dieser Zone ist auf 6 Plutoradien [1] (rund 7.000 Kilometer) beschränkt. Dieser Wert ist kleiner als vermutet.
- Die hohe Albedo [1] bzw. hellen Oberflächen der kleinen, irregulär geformten und schnell rotierenden Plutomonde Styx, Nix, Kerberos und Hydra (50-80 Prozent) unterscheiden sich grundlegend von den niedrigen Albedowerten der kleinen Körper des Kuiper-Gürtels (5-20 Prozent).

Dieser Unterschied deutet ebenfalls an, dass die kleinen Plutomonde nicht aus der allgemein existierenden Population des Kuiper-Gürtels eingefangen wurden, sondern sich vielmehr durch die Agglomeration von in einer Scheibe befindlichem Material bildeten, die nach einer gewaltigen Kollision entstand, aus der sich das gesamte Plutosystem bildete.

- Die Oberflächen der kleinen Monde sind vermutlich mit Wassereis bedeckt. Kerberos besitzt eine aus zwei Teilen bestehende Form, die möglicherweise als Folge eines Verschmelzungsprozesses zweier kleiner Körper angesehen werden kann (Abb. 7).

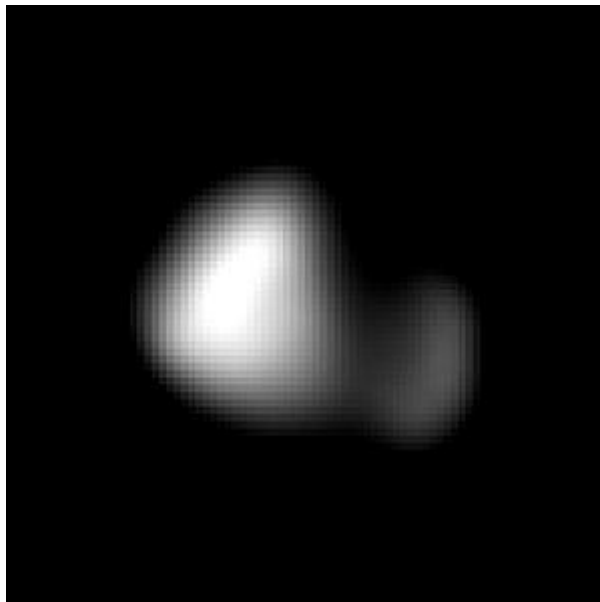


Abb. 7 Die hantelförmige Struktur des Plutomonds Kerberos.
Der Plutomond Kerberos scheint aus zwei Teilen zu bestehen, die bei der Bildung des Mondes miteinander verschmolzen sind.

© NASA/JHUAPL/SwRI

Kraterzählungen bei Nix und Hydra weisen auf ein Alter der Mondoberflächen von mindestens 4 Milliarden Jahren hin. Ein Krater der Nix-Oberfläche ist röter als die restliche Oberfläche des Mondes. Dies

könnte darauf hinweisen, dass der auf dem Mond eingeschlagene Körper eine andere chemische Zusammensetzung besaß oder das Material unterhalb der Mondoberfläche herausgeschlagen wurde.

In der letzten Märzwoche wollen Mitarbeiter der Plutomission auf einer US-amerikanischen Tagung weitere neue Ergebnisse vorstellen. Es gilt noch zahlreiche Daten zu analysieren: bisher hat New Horizons erst etwa die Hälfte der Aufnahmen seiner Plutopassage zurück zur Erde senden können. Die gesamte Datenübertragung wird wahrscheinlich erst im Oktober abgeschlossen sein.

Auch danach wird New Horizons zur Erweiterung unseres Wissens über das äussere Sonnensystem beitragen: Im Januar 2019 soll die Sonde in der Nähe des Kuiper-Objekts 2014 MU69 [1, 2] vorbeifliegen, rund 1,6 Milliarden Kilometer von Pluto entfernt.

Falls Sie Fragen und/oder Anregungen zu diesem Thema haben, schreiben Sie uns unter kontakt@ig-hutzi-spechtler.eu

Ihre
IG Hutzi Spechtler – Yasmin A. Walter

Quellenangaben:

[1] Information über astronomische und physikalische Begriffe
www.wikipedia.de

[2] Übersicht der Kurzartikel zu Pluto und New Horizons
http://www.ig-hutzi-spechtler.eu/aktuelles_pluto_hauptseite.html

[3] Mehr Information über Pluto
pluto.jhuapl.edu
nasa.gov

[4]
Moore, et al., Science 351, 6279 (18 March 2016)
Grundy, et al., Science 351, 6279 (18 March 2016)
Gladstone, R., et al., Science 351, 6279 (18 March 2016)
Weaver, et al., Science 351, 6279 (18 March 2016)
Bagenal, et al., Science 351, 6279 (18 March 2016)

[5] <http://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2016/>