

der Oortschen Wolke ein um einen Faktor zwei erhöhtes D:H-Verhältnis. Diese Kometen bildeten sich in der Nähe der Gasriesen bei rund zehn Astronomischen Einheiten Sonnendistanz. Erst später wurden sie durch dichte Passagen an den Gasriesen auf ihre weiten Orbits von einigen tausend Astronomischen Einheiten gestreut.

Unter der Annahme, dass Wasser durch Akkretion, also das Aufsammeln von Materie aus der unmittelbaren Umgebung, und durch das Bombardement mit Asteroiden und Kometen auf die Erde gebracht wurde, hat diese Theorie somit große Aussagekraft für die Herkunft des Wassers. Die hohen Deuteriumgehalte von Wasser aus dem äußeren Sonnensystem bedeuten, dass Objekte aus diesen Regionen höchstens einen Anteil von zehn Prozent zum terrestrischen Wasser beitragen. Somit kommen hauptsächlich Asteroiden aus dem inneren Sonnensystem als Wasserverslieferanten für die Erdozeane in Frage.

### Hartley 2 tanzt aus der Reihe

Dieses Bild wurde jetzt durch neue Untersuchungen mit Hilfe des Weltraumobservatoriums Herschel in Frage gestellt. Ein Team um Paul Hartogh vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau hat bei Beobachtungen von H<sub>2</sub>O und dessen Isotop HDO im Kometen P103/Hartley 2 (siehe Bild links oben) in dessen Ausgasungen ein Verhältnis von Deuterium zu Wasserstoff von D:H = 6200 gefunden. Innerhalb der Mess- und Modellierungsgenauigkeit stimmt dies mit dem terrestrischen Wert überein. Das ist überraschend, weil der Ende 2010 von der Sonde Deep Impact besuchte Komet zur so genannten Jupiter-Familie gehört (siehe auch SuW 10/2011, S. 30). Diese Kometen stammen ursprünglich aus dem Kuipergürtel, der sich in einer Distanz von rund 30 bis 50 Astronomischen Einheiten zur Sonne befindet. Der Komet Hartley 2 formte sich somit in wesentlich größerer Entfernung als die Kometen der Oortschen Wolke mit ihren relativ erhöhten D:H-Werten. Nach der bisher gültigen Theorie sollte das D:H-Verhältnis für Objekte im Kuipergürtel dementsprechend gleich oder sogar noch höher sein, jedoch keineswegs niedriger (siehe Grafik links).

Dies kann zum einen bedeuten, dass Hartley 2 nicht aus dem Kuipergürtel stammt, sondern tatsächlich zu den Kometen der Oortschen Wolke oder zu den Trojanern in der Umlaufbahn des Jupiter ge-

## ZUM NACHDENKEN

# Deuterium und die Herkunft der Ozeane



In ihren jungen Jahren war die Erde noch so heiß, dass alle leicht flüchtigen Stoffe und insbesondere auch Wasser verdampften und in den Welt- raum entschwanden. Daher ist das jetzige Wasser der Ozeane später auf der Erdoberfläche angereichert worden – durch Einschläge von Kometen und Asteroiden. Das Verhältnis von schwerem Wasserstoff, dem Deuterium, zu Wasserstoff gibt Aufschlüsse über die Herkunft.

**Aufgabe 1:** Unter Berücksichtigung aller Wasservorkommen auf der Erdoberfläche, also Ozeane und Eismassen, ließe sich die als gleichmäßige Kugel mit Radius  $R = 6374$  km gedachte Erde mit einer  $t = 4$  km dicken Wasserhülle der Dichte  $\rho = 1000$  kg/m<sup>3</sup> umgeben. Spekulationen der Geologen, der Erdmantel könne bis zum Dreifachen dieser Menge enthalten, bleiben hier unberücksichtigt. Das Verhältnis  $k_E$  von Deuteriumatomen zu Wasserstoffatomen beträgt im irdischen Wasser  $k_E = 1,558 \cdot 10^{-4}$ . Man berechne **a)** die Masse  $m_{\text{H}_2\text{O}}$  des Oberflächen-

wassers und **b)** die Masse  $m_D$  des darin enthaltenen Deuteriums.

**Aufgabe 2:** Der solare Urnebel besaß eine geringere Konzentration von Deuterium als im irdischen heutigen Wasser von vermutlich  $k_U = 2,1 \cdot 10^{-5}$ . Das auf der Erde angesammelte Wasser muss demnach einem Anreicherungsprozess unterworfen gewesen sein. Welche Masse Deuterium  $m_D$  war dazu erforderlich?

**Aufgabe 3:** Komet Hartley 2 besitzt eine Masse von rund  $3 \cdot 10^{11}$  kg und ein D/H-Verhältnis  $k_H = 1,61 \cdot 10^{-4}$ . In welcher Anzahl Kometen von Größe und Art des Hartley 2 wäre Deuterium in der Menge  $m_D$  enthalten? **AMQ**

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **15. Januar 2012** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern **Preise** verlost: siehe S. 109

hört. Für Hartley 2 schlossen die Forscher diese Möglichkeit jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit aus. Somit legen die Beobachtungen vielmehr die Annahme nahe, dass die bisherige einfache Theorie eines radialen D:H-Gradienten überarbeitet werden muss. Die Vorstellung, dass großskalige Umwälzungen in der noch gasreichen protostellaren Scheibe für einen Austausch von Material zwischen dem inneren und äußeren Sonnensystem führten, bekommt durch die Ergebnisse weitere Unterstützung. Zur Erhärtung dieser Folgerung sind zusätzliche Beobachtungen notwendig. Die nächsten In-situ-Messungen soll die Raumsonde Rosetta ab Mai 2014 beim Kometen Tschurjumow-Gerasimenko vornehmen (siehe SuW 9/2010, S. 20).

Bisher ist Hartley 2 der einzige Komet, der die gängige Theorie in Frage stellt. Sollten sich jedoch die Beobachtungen be-

stätigen, so könnte dies bedeuten, dass die Erde nicht nur durch Kleinkörper aus dem inneren Sonnensystem, sondern auch in größerem Maße als bisher angenommen von Objekten aus dem Kuipergürtel mit Wasser beliefert wurde.

*MARKUS SCHMALZL war bis zum Frühjahr 2011 Diplomand und Doktorand am Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg. Seit seiner Promotion ist er als Postdoc bei »Allegro« (ALMA Local Expertise Group), einem Teil des europäischen ALMA Regional Centres, tätig.*

### Literaturhinweis

**Hartogh, P. et al.:** Ocean-like water in the Jupiter-family comet 103P/Hartley 2. In: Nature 478, S. 218–220, 2011