

Wie Kollisionen Himmelskörper formen

Kollisionen spielen bei der Entstehung und Entwicklung von Planeten, Asteroiden und Monden eine fundamentale Rolle. Mit Simulationen aufgrund der Daten von Weltraummissionen konnten Berner Astrophysiker etwa zeigen, dass unser Mond möglicherweise vor langer Zeit mit einem zweiten, kleinen Mond kollidierte.

Von Martin Jutzi

Aus einer riesigen, kollabierenden Molekülwolke bildete sich vor rund 4,5 Milliarden Jahren die Sonne, umkreist von einer sogenannten protoplanetaren Scheibe. In dieser Scheibe ballten sich Staubteilchen zu immer grösseren Klumpen zusammen. Diese kollidierten, aggregierten und wuchsen so zu immer grösseren Körpern heran: zuerst zu Protoplaneten und schlussendlich zu Planeten. Während der ganzen Phase der Planetenentstehung spielen Kollisionen eine entscheidende Rolle. Allerdings führen Kollisionen zwischen zwei Körpern nicht zwangsläufig zu einem grösseren Objekt, sondern können auch zu einem Einschlagkrater oder – wie man das aus dem Alltag kennt – zu vielen kleinen Bruchstücken führen. Entscheidend sind Kollisionsgeschwindigkeit, Aufprallwinkel sowie Grösse und Beschaffenheit der involvierten Objekte. Ein wichtiger «Klebstoff» stellt die Gravitation dar: Durch diese können sich grosse Objekte relativ einfach vereinigen.

Letzte grosse Kollisionen prägen einen Planeten

Auch am Ende der Entstehungsphase der Planeten spielen Kollisionen zwischen den nun schon fast fertigen Planeten (hier spricht man von «giant collisions») eine entscheidende Rolle. Die letzten dieser Kollisionen bestimmen nämlich viele Eigenschaften der fertigen Planeten und deren Monde. So wird zum Beispiel die ungewöhnlich hohe Dichte des Planeten Merkur durch eine späte «giant collision» mit einem Protoplaneten erklärt. Auch die Entstehung des Erdmonds basiert auf einer solchen Kollision (möglicherweise entstanden dabei sogar zwei Monde).

In der Endphase der Planetenentstehung befanden sich noch unzählige kleinere Objekte im Sonnensystem. Durch die Wech-



Eine Momentaufnahme aus der 3D-Simulation: Die Kollision des Asteroiden Vesta mit einem rund zehnmal kleineren Asteroiden jagt gigantische Massen von Material hoch.

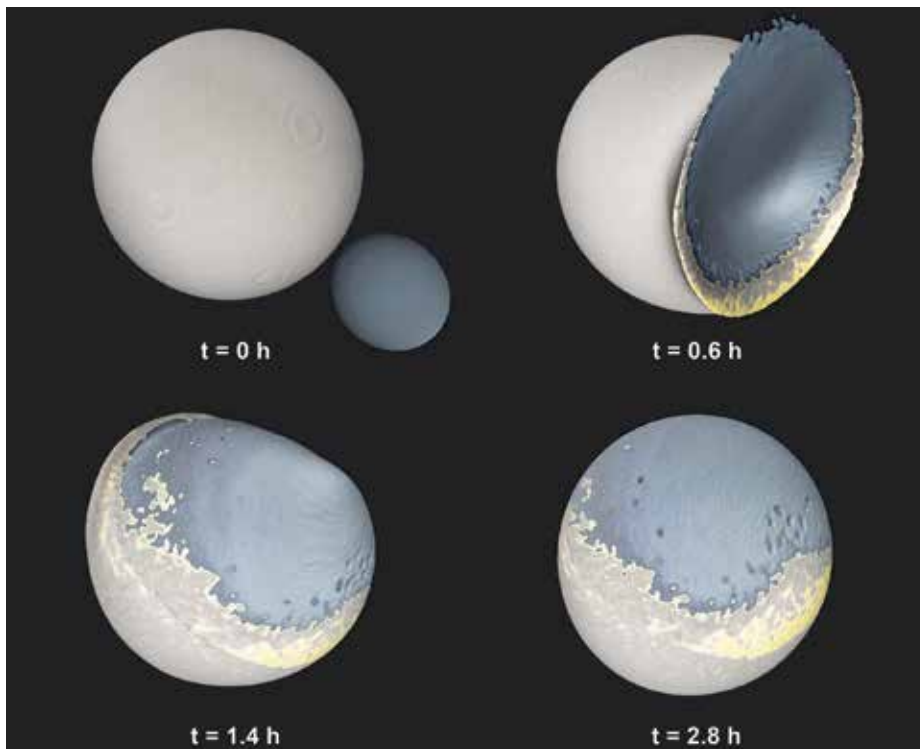
© Martin Jutzi, CSH, Uni Bern/ Pascal Coderay, EPFL

selwirkung mit den Planeten wurden viele aus dem Sonnensystem herausgeschleudert. Ein Teil davon aber schlug in die Planeten und Monde ein, was die heute noch sichtbaren Krater bezeugen. Andere Kleinkörper haben zwar auch Kollisionen erfahren, aber überlebt; dies sind die heutigen Asteroiden und Kometen. Diese Körper haben ihre Zusammensetzung seither kaum verändert und stellen sozusagen das Rohmaterial der Planeten dar. Sie bergen deshalb unschätzbare Informationen

zur Entstehung unseres Sonnensystems (siehe Seite 7).

Kollisionen im Labor und Simulationen am Computer

Einschläge und Kollisionen zwischen Himmelskörpern spielen also eine fundamentale Rolle bei der Entstehung und Entwicklung der Planeten und Kleinkörper im Sonnensystem. Das Verständnis der physikalischen Prozesse solcher Ereignisse ist deshalb von enormer Bedeutung.



Der Mond kollidiert mit einem zweiten, kleinen Mond. Die Computersimulation zeigt, dass es mehrere Stunden gedauert haben muss, bis der kleine Mond als dicke Kruste auf der einen Seite des grossen Mondes zurückblieb. © CSH Uni Bern

In der Abteilung für Weltraumforschung und Planetologie der Universität Bern wurden in den vergangenen 15 Jahren numerische Modelle entwickelt, welche die physikalischen Prozesse einer Kollision nachbilden (simulieren). In einer Simulation einer Kollision werden die Differentialgleichungen, welche die involvierten physikalischen Prozesse beschreiben, durch numerische Integrationsmethoden mit Hilfe von Computern gelöst. Diese theoretischen Modelle werden getestet, indem sie beispielsweise mit Einschlagexperimenten im Labor verglichen werden. Experimentell können Geschwindigkeiten bis zu etwa 10 Kilometern pro Sekunde erreicht werden; es können aber natürlich nur Kollisionen zwischen relativ kleinen Objekten untersucht werden. Die theoretischen Modelle hingegen können auf allen Skalen angewendet werden und ermöglichen es, Kollisionen zwischen Himmelskörpern (also z. B. Planeten, Monden oder Asteroiden) zu untersuchen.

Wenn man nun diese theoretischen Modellrechnungen von Kollisionsprozessen mit Beobachtungen von Planeten oder Asteroiden kombiniert, erlaubt dies Rückschlüsse auf die Eigenschaften und die Entwicklung der untersuchten Himmelskörper. Dank Fernbeobachtung und vor allem dank den Weltraummissionen der letzten Jahrzehnte steht dafür eine immer grössere Menge an wertvollen Daten zur Verfügung (etwa Informationen über die Topografie, Oberflächenzusammensetzung, Dichte oder die Einschlagkraterverteilung).

Die folgenden zwei aktuellen Beispiele von solchen Studien konnten kürzlich im Fachjournal «Nature» publiziert werden.

Asteroid Vesta – kleiner Planet mit riesigen Kratern

Einem Asteroid namens Vesta gilt in der Weltraumforschung besondere Aufmerksamkeit: Mit seinen rund 500 Kilometern Durchmesser gehört er zu den drei grössten Asteroiden und wird als Protoplanet betrachtet. Zudem ist er der einzige bekannte Asteroid, der eine erdähnliche Struktur aufweist – mit einem Kern, einem Mantel und einer Kruste. Vesta befindet sich im Asteroidengürtel zwischen den Umlaufbahnen von Mars und Jupiter.

Vesta wurde mit dem Weltraumteleskop «Hubble» intensiv beobachtet, kürzlich von der Raumsonde «Dawn» der NASA besucht und zwischen 2011 und 2012 ein Jahr lang umkreist. Bilder im optischen Bereich sowie weitere Messdaten lieferten Informationen über die Topografie des Asteroiden sowie über die Zusammensetzung der Mineralien, die an seiner Oberfläche sichtbar sind. Dabei zeigte sich unter anderem, dass die schon von Hubble beobachtete riesige Vertiefung am Südpol aus zwei riesigen, teilweise überlappenden Kratern besteht.

Von diesen Informationen ausgehend, wurde an der Universität Bern mit dreidimensionalen Computersimulationen gezeigt, wie zwei nacheinander erfolgte Einschläge von Himmelskörpern genau zur

Bildung der beobachteten überlappenden Krater führten. Diese überspannen beinahe die ganze südliche Hemisphäre von Vesta. Die Modellierungen zeigen Grösse (rund 60 Kilometer Durchmesser), Geschwindigkeit (rund 5 Kilometer pro Sekunde) und Einschlagwinkel der Körper, die mit Vesta kollidierten. Die Simulationen können die von «Dawn» gemessene Form und Topografie von Vestas südlicher Hemisphäre gut reproduzieren. Sie können deshalb dazu benutzt werden, um Informationen über bisher verborgene Eigenschaften von Vesta zu gewinnen. So vermuten die Simulationen zum Beispiel, dass das von den Einschlägen ausgeworfene Material aus Tiefen von bis zu 100 Kilometern stammt. Dies erlaubt erstmals, Rückschlüsse über die inneren Strukturen von Vesta zu ziehen.

Gab es einen zweiten Erdmond?

Bereits seit über 50 Jahren ist der Erdmond Ziel von Weltraummissionen. Seit den ersten Sowjet- und NASA-Missionen, die erstmals Bilder aus einem Mondorbit lieferten, hat sich das Datenmaterial vervielfacht. Diese Daten sind wichtige Grundlagen für die Theorien zur Entstehung und Entwicklung des Mondes. Es wurden auch einige merkwürdige Eigenschaften des Mondes entdeckt: etwa die Gegensätzlichkeit seiner Topografie zwischen der erdzu- und erdabgewandten Seite. Die Vorderseite ist eher flach und wird von dunklen Ebenen vulkanischen Ursprungs dominiert, die Rückseite ist geprägt von hohem Gebirge und tiefen Kratern. Zudem ist die Mondkruste auf der Rückseite wesentlich dicker als auf der Vorderseite. Die Ursache dieser Asymmetrie ist umstritten. In Zusammenarbeit mit Forschenden aus Kalifornien wurde kürzlich in Bern eine neue mögliche Erklärung für die Ungleichheit der beiden Seiten unseres Trabanten erarbeitet: Demnach ist ein kleinerer, zweiter Mond rund 100 Millionen Jahre nach der Entstehung des Erdmond-Systems mit dem heutigen Erdtrabanten kollidiert. Mit Hilfe von Computersimulationen konnte gezeigt werden, dass diese relativ langsame Kollision nicht zu einer grossen Zerstörung (Krater) führte, sondern dass sich der kleine Mond auf einer Seite des Mondes (der heutigen Rückseite) anlagerte. Dieses Szenario könnte die Entstehung der dicken Kruste und des Hochlands auf der Mondrückseite erklären.

Kontakt: Dr. Martin Jutzi, Oberassistent am Center for Space and Habitability, Physikalisches Institut, Abteilung für Weltraumforschung und Planetologie, martin.jutzi@space.unibe.ch