



Asteroid Ida
mit Mond Dactyl. Bildquelle: NASA

Asteroiden

Neben den allseits bekannten Planeten existieren in unserem Sonnensystem noch zahlreiche andere Himmelskörper unterschiedlichster Größe, Zusammensetzung und Bahn um die Sonne. Einige stammen noch aus der Frühzeit des Sonnensystems und verraten uns viel über seine Geschichte. Andere wurden in der Zwischenzeit durch verschiedenste Prozesse intensiv umgestaltet. Einige sind wahre Schatztruhen verschiedenster Metalle, andere enthalten große Menge einer mindestens ebenso wertvollen Substanz: Wasser. Aus der Ferne ist das alles schwer zu beurteilen, wobei ein Parameter hier sehr helfen kann: die Dichte.

Aber wie misst man die Dichte von Himmelskörpern? Die Schülerinnen und Schüler messen für den Einstieg die Dichte von Referenzmaterialien hier auf der Erde: von Metallen, Gesteinen und von Meteoriten. Danach geht es ins Weltall und sie lernen Methoden kennen, wie man ganze Planeten vermessen kann. Schließlich betrachten sie die Werte der etwa 200 Asteroiden, deren Dichte bereits bekannt ist, und suchen nach Korrelationen zu anderen Messgrößen dieser Himmelskörper, zum Beispiel zu Bahnparametern oder zu den optischen Eigenschaften. Auf diese Weise erhalten die Schülerinnen und Schüler spannende Einblicke in die bunte Welt unseres Sonnensystems.

Asteroiden

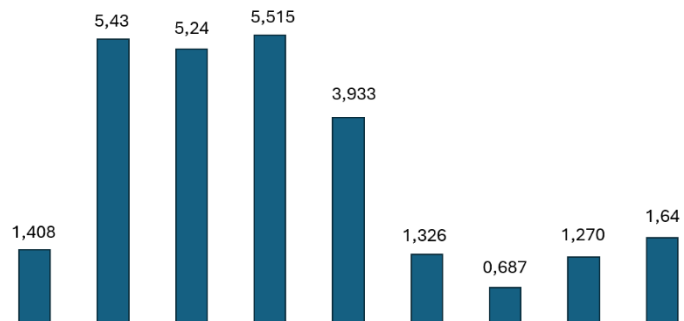
Dichtebestimmung nach dem Archimedischen Prinzip

Die Dichte, die Masse in einer bestimmten Volumeneinheit, ist eine wichtige Eigenschaft fester, flüssiger oder gasförmiger Körper. Sie verrät sehr viel über die Zusammensetzung der Körper und erlaubt Vorhersagen über das Verhalten von Körpern in einem Schwerfeld. Für Körper hier auf der Erde existieren sehr viele verschiedene Methoden der Dichtemessung, wobei die im Versuch verwendete Form der Dichtewaage eine der ältesten und praktikabelsten ist. Sie funktioniert nach dem Archimedischen Prinzip, wonach das Gewicht eines Körpers in einem flüssigen oder gasförmigen Medium um das Gewicht des verdrängten Mediums verringert wird. Nach Messung des Auftriebs eines vollständig untergetauchten Körpers lässt sich also bei bekannter Dichte des Wassers von ungefähr 1 g/cm^3 das Volumen des Körpers berechnen. Zusammen mit der Masse des Körpers ergibt sich dann seine Dichte. Die Schülerinnen und Schüler erhalten eine Reihe verschiedener Gesteine und Metalle



Kleine Auswahl der für den Versuch zur Verfügung stehenden Gesteinsproben (oberste Reihe), Metallproben (mittlere Reihe) und Meteoritenproben (unterste Reihe)

Dichte im Sonnensystem



Dichte der Planeten des Sonnensystems. Bildquelle: HSZG

sowie zwei Meteoritenproben. Sie sollen mithilfe von Dichtebestimmungen die Zusammensetzung der beiden Meteoritenproben ermitteln. Dazu sollen sie von drei Gesteinen, drei Metallen und den beiden Meteoritenproben jeweils die Dichte bestimmen. Sie erhalten als Hilfsmittel dazu eine entsprechende Wiegevorrichtung, sollen sich das Prinzip der Dichtebestimmung aber möglichst selbst erarbeiten.

Dichteverteilung der Planeten

Während die Bestimmung der Dichte eines Körpers hier unten auf der Erde kein Problem ist, benötigt man für Himmelskörper andere Methoden. Wie auf der Erde geht es auch im Weltall um die Bestimmung der Masse und des Volumens eines Körpers. Beide Größen lassen sich für die Planeten unseres Sonnensystems recht gut bestimmen. Die Massen ergeben sich aus der Analyse der Umlaufbahnen der Monde des jeweiligen Planeten, das Volumen aus der Größe seines Durchmessers, eventuell unter Berücksichtigung seiner Abflachung. Die Dichte der Planeten unseres Sonnensystems kann also gut bestimmt werden. Bei einem Vergleich der Werte fällt auf, dass die inneren Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars deutlich höhere Dichten haben als die übrigen großen Himmelskörper im Sonnensystem. Dies liegt daran, dass diese Planeten wegen ihrer Nähe zur Sonne einen großen Teil ihrer leichten Bestandteile (insbesondere Wasserstoff) verloren haben. Dadurch entwickelten sie sich anders als die Gasriesen im äußeren Sonnensystem zu Gesteinsplaneten mit hohen Dichten. Gesteine haben allerdings üblicherweise Dichten zwischen 2 und $3,5 \text{ g/cm}^3$. Da die

Asteroiden



Karteikarten mit Bahneigenschaften, der Dichte und weiteren Charakteristika verschiedener Himmelskörper. Bildquelle: HSZG

Dichten der Gesteinsplaneten deutlich über diesen Werten liegen, müssen sie zusätzlich zur ihrem Gesteinsanteil auch einen hohen Metallanteil enthalten. Dieser Metallanteil ist beim Planeten Mars interessanterweise auffällig gering.

Dichteverteilung der Asteroiden

Für die kleineren Asteroiden gestaltet sich die Bestimmung ihrer Dichte deutlich schwieriger als bei den Planeten. Deswegen wurden die Dichten bisher nur bei einer kleinen Zahl bestimmt und sind auch noch mit deutlich größeren Unsicherheiten behaftet als bei den Planeten (Carry, 2012). Eine Bestimmung der Masse eines Asteroiden gelingt oft dann, wenn der Asteroid noch einen Begleiter hat, künstlicher oder natürlicher Herkunft, der ihn umkreist. Das Volumen der Asteroiden wird aus einer aufwändigen Analyse des vom Asteroiden abgestrahlten Lichts abgeleitet. Nur große Asteroiden zeigen annähernd Kugelgestalt, was eine halbwegs einfache Bestimmung ihres Volumens erlaubt. Die meisten Asteroiden sind hingegen sehr unregelmäßig gebaut. Je nachdem, auf welche Weise diese

Asteroiden auf ihrer Bahn rotieren, ändert sich das von ihnen abgestrahlte Licht. Die sich ergebende Lichtkurve dieser Asteroiden erlaubt die Ableitung eines 3D-Modells, das dann dazu dient, ihr Volumen zu berechnen.

Weitere Informationsquellen zur Zusammensetzung von Asteroiden

Neben der Dichte existieren noch weitere Informationsquellen zur Zusammensetzung von Asteroiden. Da ist zum einen die spektrale Analyse des von den Asteroiden zurückgeworfenen Sonnenlichts (vor allem im sichtbaren Bereich und Infrarotbereich), die es erlaubt, die Asteroiden in bestimmte Gruppen einzuteilen. Diese spektrale Analyse beruht auf der Tatsache, dass bestimmte Stoffe, wie zum Beispiel Wasser oder Eis, sichtbares Licht oder Infrarotstrahlung in bestimmten Wellenlängenbereichen besonders gut absorbieren. Zum anderen sind im Laufe der Erdgeschichte eine ganze Reihe von Asteroiden als Meteoriten auf die Erde gefallen. Bei diesen Meteoriten kann man nicht nur Dichteuntersuchung und

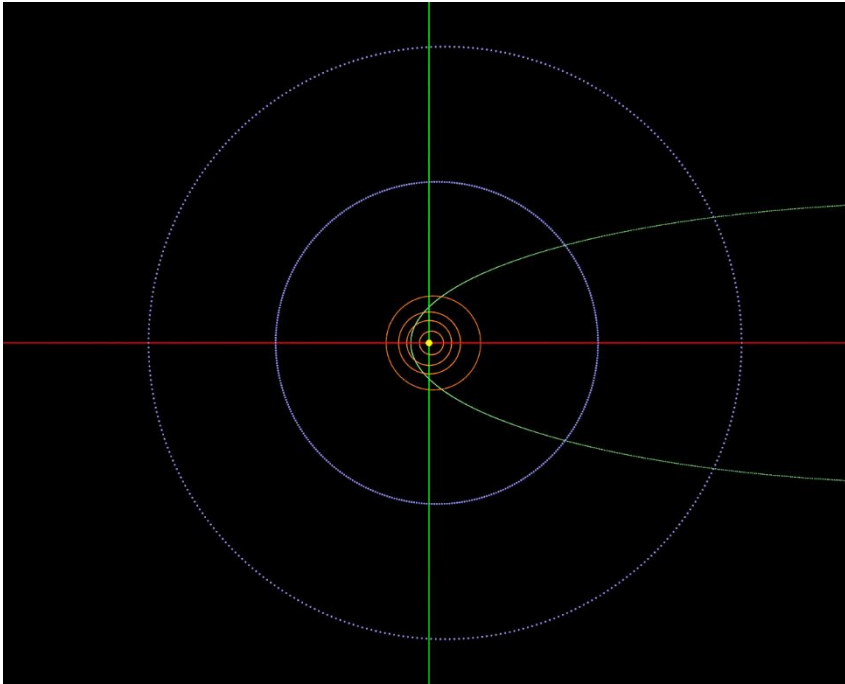
spektrale Analysen durchführen, man kann auch die Zusammensetzung dieser Meteoriten direkt analysieren. Durch diese Untersuchungen ergab sich ein kompliziertes System aus vielen verschiedenen Gruppen. Der Einfachheit halber wird dieses komplizierte System hier in wenige, einfache Gruppen zusammengefasst: a) Chondrite: Asteroiden aus sehr vielen verschiedenen, fein verteilten Bestandteilen, die insbesondere kleine Silikatkügelchen enthalten. b) Gesteinsasteroiden und c) Metallasteroiden. In den letzten Jahren hat sich zudem gezeigt, dass es sich bei vielen Asteroiden um Zusammenballungen stark fragmentierter Bruchstücke handelt („rubble piles“, d). Neben diesen Asteroiden im engeren Sinne existieren noch viele Himmelskörper aus den äußeren Bereichen des Sonnensystems mit einem hohen Anteil an Wassereis (e).

Die Entwicklung der Materie im Sonnensystem

Wie hängen diese verschiedenen Gruppen miteinander zusammen? Zunächst einmal ist davon auszugehen, dass die Chondrite und die wasserreichen Objekte aus den äußeren Bereichen des Sonnensystems der ursprünglichen Form der Materie des Sonnensystems entsprechen. Dabei wurden durch die Strahlung der frühen Sonne die leichten Elemente, insbesondere Wasserstoff aus den inneren Bereichen des Sonnensystems verdrängt. Große Mengen an Wassereis existieren deswegen vor allem bei Himmelskörpern in den äußeren Bereichen.

Innerhalb der rotierenden Scheibe des frühen Sonnensystems ballte sich zufällig Materie zusammen und erwärmte sich dabei. Bei Körpern, die heiß genug wurden, um einen Großteil ihrer Materie aufzuschmelzen, kam es daraufhin zur Differenzierung der Materie: Die dichten Metalle sanken ins Zentrum der kugelförmigen Körper und bildeten

Asteroiden



Sonnensystems einschließlich der ausgewählten Himmelskörper. Die Farbe der jeweiligen Bahnen kann von den Schülerinnen und Schülern im 3D-Skript angepasst werden.

3D-Modell des Sonnensystems bis zur Bahn des Saturn. Die Bahnen von Jupiter und Saturn sind blau dargestellt, die Bahnen der Gesteinsplaneten orange. Der Halley'sche Komet ist in grüner Farbe eingetragen. Bildquelle: HSZG

metallische Kerne, die weniger dichten Gesteine den äußeren Mantel. Diese Art der Differenzierung kennen wir von den Gesteinsplaneten, sie ist auch bei einigen Asteroiden anzutreffen. Häufiger sehen wir allerdings Bruchstücke solch differenzierter Himmelskörper, Gesteinsasteroiden oder Metallasteroiden, die also nach Kollisionen aus dem Mantel oder Kern dieser Himmelskörper entstanden. „Rubble piles“ schließlich entstehen, wenn Asteroiden durch wiederholte Kollisionen stark fragmentiert werden.

Einordnung der Himmelskörper ins Sonnensystem

Als zweite Aufgabe – nach der Dichtebestimmung der Meteoriten – sollen

die Schülerinnen und Schüler Himmelskörper auswählen, deren Bahn sie ins Sonnensystem eintragen und nach selbstgewählten Kriterien einfärben. Bei der Auswahl der Himmelskörper haben die Schülerinnen und Schüler verschiedene Optionen. Sie können beispielsweise Himmelskörper wählen, deren Bahn die Erdbahn kreuzt, deren Bahn sich besonders weit außen im Sonnensystem befindet oder die einen besonders hohen Metallgehalt besitzen. Für die Auswahl stehen Karteikarten von etwa 200 Himmelskörpern zur Verfügung, auf denen Bahnparameter (große Halbachse und Elliptizität) sowie Daten zur wahrscheinlichen Zusammensetzung (spektroskopische Klasse und Dichte) zusammengestellt sind. Die Daten der ausgewählten Himmelskörper müssen von den Schülerinnen und Schülern in das Skript eines 3D-Modellierprogramms eingetragen werden. Dieses Programm erstellt dann eine grafische Darstellung des

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 30 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Aachen, Aachen-Merzbrück, Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Bremerhaven, Cochstedt, Cottbus, Dresden, Geesthacht, Göttingen, Hamburg, Hannover, Jena, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Oldenburg, Rheinbach, Stade, St. Augustin, Stuttgart, Trauen, Ulm, Weilheim und Zittau beschäftigt das DLR circa 11 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält darüber hinaus Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

DLR Zittau

Am DLR-Standort Zittau erweitert das DLR mit dem neuen Institut für CO₂-arme Industrieprozesse seine Kompetenzen in der Energieforschung. Ziel ist, durch Dekarbonisierung energieintensiver Industriebereiche und die nachhaltige Stromerzeugung und –speicherung, die CO₂- und Schadstoffemissionen von Industrie und Kraftwerken deutlich zu reduzieren.

Hochschule Zittau/Görlitz

Seit 1992 gibt es die Hochschule Zittau/Görlitz in der Dreiländerregion Deutschland – Polen – Tschechien. Wie kaum eine andere Hochschule steht sie für Aufbruch und Wandel. Durch ihre Lage ist die HSZG Brücke zwischen Mittel- und Osteuropa. Das Thema Energie trägt sie seit der Gründung in ihren Genen. Und die Transformation von Wirtschaft, Arbeit und Gesellschaft ist in Deutschland kaum besser zu erforschen als in der Oberlausitz.

Im Herzen Europas forschen Studierende an Lösungen für die Zukunft. Sie finden perfekte Bedingungen: Erstklassige Betreuungsquote, kein Gedränge im Hörsaal, moderne Labore und technische Ausstattungen, spannende Forschungsprojekte und Praktika, internationaler Austausch, kurze Wege, bezahlbare Mieten und eine lebenswerte Region. Hier können sich Studierende wohlfühlen und verwirklichen. Sie forschen an hochaktuellen Themen und verbessern gut gerüstet unsere Welt.

Damit die Hochschule fit für die Zukunft bleibt, entwickelt sie sich stetig weiter. Green Engineering, Gesundheitscampus und der Fort- und Weiterbildungscampus sind nur drei Schlagworte im umfangreichen University-for-Future-Prozess. An der Gestaltung der „Hochschule der Zukunft“ beteiligen sich die Studierenden und Lehrenden ebenso wie unsere rund 500 Beschäftigten.



Hinweise zum Experiment:

Alter: 15 bis 18 Jahre
Gruppengröße: 5 bis 6
Dauer: 60 Minuten
Inhaltlicher Bezug: Weltraum

DLR_School_Lab Hochschule Zittau/Görlitz
Äußere Oybiner Straße 14/16
02763 Zittau

Leitung: Thomas Fester
Telefon: 03583 612-4788
dlr-school-lab@hszg.de

DLR.de/dlrschoollab