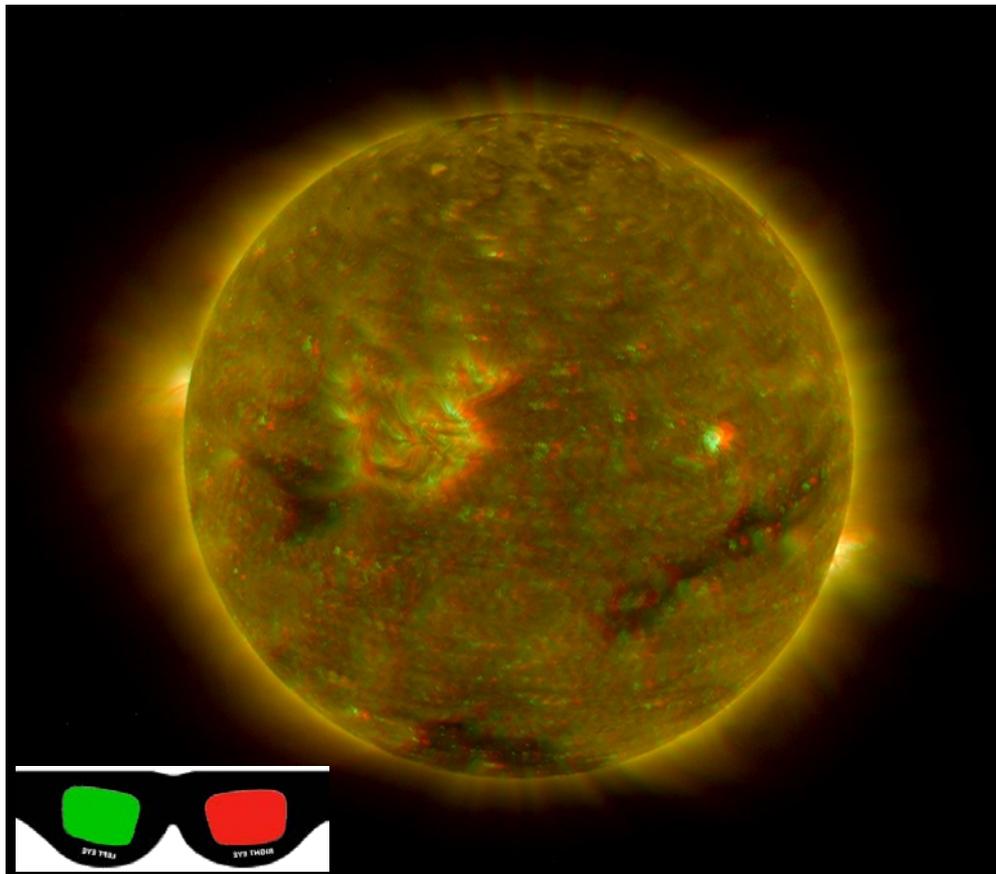


## Die Astro-Hitliste 6/2007 - Faszinierendes aus der aktuellen Astronomie

Olaf Fischer

Beginnen Sie den Unterricht doch ab und zu mit einem Blick auf die aktuellsten Forschungsergebnisse der Astronomie. Diese stehen in keinem Lehrbuch, dafür aber im SuW-Brennpunkt. Ihre Hitliste wird die Schüler motivieren, insbesondere dann, wenn Sie den Bogen zu ungeklärten Fragen der Naturwissenschaft spannen, interessante Bezüge aufzeigen und dabei das eigene Staunen nicht verhehlen. In diesem WiS!-Beitrag soll dies exemplarisch demonstriert und unterstützt werden. Übrigens: Auch die Schüler haben ihre Hits.

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Physik	Mechanik, Thermodynamik	<a href="#">Energieerhaltungssatz</a> , <a href="#">Kreisbahngeschwindigkeit</a> (1. kosmische Geschwindigkeit), Fallbeschleunigung, <a href="#">mittlere kinetische Geschwindigkeit</a> , <a href="#">Entweichgeschwindigkeit</a> (2. kosmische Geschwindigkeit), <a href="#">Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung</a> , <a href="#">Modellexperiment</a>
Astronomie	Planeten, Kleinkörper	<a href="#">Exoplaneten</a> , <a href="#">heiße Jupiter</a> , Jupiter, <a href="#">Phobos</a> , <a href="#">Transit</a>
Fächer- verknüpfung	Astro-Ma	<a href="#">Strahlensatz</a>



**Abbildung 1:** Die Sonne räumlich sehen. Im April 2007 erschienen die ersten dreidimensionalen Bilder der Sonne, die von beiden Stereo-Sonden aufgenommen wurden. Sie lassen sich mit einer Rot-Grün-Brille (hier aus Trägersicht gezeigt) betrachten.

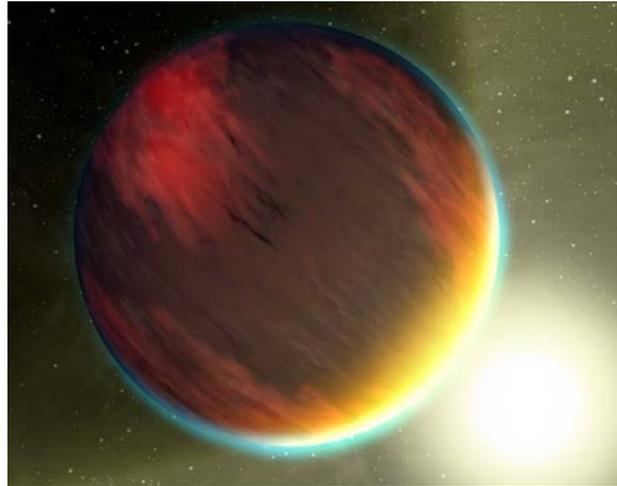
©: NASA / JPL-Caltech / NRL / GSFC, [https://www.nasa.gov/images/content/174608main\\_Image1A.jpg](https://www.nasa.gov/images/content/174608main_Image1A.jpg).

## WiS! zum Brennpunkt-Beitrag

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

### Staubige Exoplaneten

Der **heiße Jupiter** beim Stern HD 209458 (ein Planet, der etwa Jupitermasse hat, aber seinem Stern beträchtlich näher ist als Merkur der Sonne) kann seine Atmosphäre trotz seiner großen Gravitationswirkung nicht halten. Von den nachgewiesenen Atmosphärenbestandteilen (H, O, C, Na) entweicht vor allem Wasserstoff (10.000 t pro Sekunde). Dass dies so sein muss, lässt sich mit Hilfe eines einfach herzustellenden Modellexperiments (**Experiment für zu Hause**, Aufgabe für Schüler) plausibel erklären. Wenn man dann genauer „hinschaut“ und etwas rechnet, dann wird die Erklärung genauer aber komplexer. Mehr Physik kommt ins Spiel. Empfehlung: Man beginne mit dem Modellexperiment.



Künstlerische Darstellung eines wolkeigen jupiterartigen Exoplaneten. ©: NASA/JPL-Caltech/T. Pyle (SSC), <http://www.spitzer.caltech.edu/images/1758-ssc2007-04d-Hot-Dry-and-Cloudy-Planet>.

### Rechnung

Wie schnell sind die Moleküle des Wasserstoffs und des Sauerstoffs bei einer Temperatur von 1000°C in der Atmosphäre von HD 209458b? Wie groß ist die Entweichgeschwindigkeit auf HD 209458b?

<b>Geg.:</b> Gravitationskonstante	$\gamma = 6,6726 \cdot 10^{-11} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$
Boltzmannkonstante	$k = 1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ Nm/K}$
Masse Jupiter	$M_J = 1,9 \cdot 10^{27} \text{ kg}$
Radius Jupiter	$R_J = 71800 \text{ km}$
Molekülmasse von Wasserstoff	$\mu_{\text{H}_2} = 3,35 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Molekülmasse von Sauerstoff	$\mu_{\text{O}_2} = 5,31 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

**Ges.:** Entweichgeschwindigkeit und mittlere kinetische Geschwindigkeit  $v$ ,  $\bar{v}$

### Lösung

Die **Entweichgeschwindigkeit** von HD 209458b - wenn man für ihn Jupiterwerte annimmt - beträgt

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma \cdot M_J}{R_J}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,6726 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot 1,9 \cdot 10^{27} \text{ kg}}{7,18 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^2}} \approx \underline{\underline{59.400 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Die **mittlere kinetischen Geschwindigkeiten** der Moleküle betragen

$$\bar{v}_{\text{H}_2} = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T}{\mu_{\text{H}_2}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ Nm} \cdot 1273 \text{ K}}{3,35 \cdot 10^{-27} \text{ kg K}}} \approx \underline{\underline{4000 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} \quad \text{und}$$

$$\bar{v}_{\text{O}_2} = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T}{\mu_{\text{O}_2}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ Nm} \cdot 1273 \text{ K}}{5,31 \cdot 10^{-26} \text{ kg K}}} \approx \underline{\underline{1000 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

### **Feststellung**

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Die mittlere kinetische Geschwindigkeit ist selbst für die Wasserstoffmoleküle noch zu klein, um zu so großen Verlusten zu führen.

### **Aber - heißes Gas dehnt sich aus!**

Die Annahme, dass HD 209458b Jupiterradius besitzt, ist zu grob. Die hohe Temperatur bedingt eine Ausdehnung der Atmosphäre des heißen Jupiters im Vergleich zu unserem „kalten“ Jupiter auf etwa 200.000 km. (Dies könnte man mit dem allgemeinen Gasgesetz stark vereinfacht durch  $V/T = \text{konstant}$  plausibel machen).

Die Entweichgeschwindigkeit aus der oberen Atmosphäre von HD 209458b reduziert sich damit auf:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma \cdot M_J}{R_J}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,6726 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot 1,9 \cdot 10^{27} \text{ kg}}{20 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^2}} \approx \underline{\underline{35.600 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

### **Aber - in Sternnähe wirken starke Gezeiten!**

HD 209458b ist seinem Stern sehr nahe (7 Mio km), was dazu führt, dass sich der Planet infolge der Gezeitenkraft entlang der Verbindungslinie zum Stern länglich verformt. Es wird also Bereiche der Atmosphäre geben, die noch weiter außen liegen, so dass die Entweichgeschwindigkeit noch weiter sinkt (z. B. bei  $R=300.000$  km auf rund 29.000 m/s).

### **Aber - es gibt auch schnellere Moleküle**

In einem idealen Gas bewegen sich nicht alle Teilchen mit der gleichen Geschwindigkeit, sondern mit Geschwindigkeiten, die statistisch verteilt sind und der **Maxwellschen Geschwindigkeitsverteilung** gehorchen. Es wird also auch Gasmoleküle geben, die sich mit weitaus höherer Geschwindigkeit bewegen und dabei in den Bereich der Entweichgeschwindigkeit kommen.

### **Aber – in Sternnähe weht ein starker Sternwind**

Aus der Sternatmosphäre werden Protonen und Elektronen als sogenannter Sternwind ins All geschleudert. Trifft dieser Wind auf die Atmosphäre, so überträgt er Impuls und schleudert die getroffenen Moleküle aus der Atmosphäre heraus. Nimmt man an, dass HD 209458 einen Wind wie unsere Sonne erzeugt, so kann man mit dem Entfernungs-Quadrat-Gesetz ausrechnen, dass der Wind bei HD 209458b  $(150 \cdot 10^6 \text{ km} / 7 \cdot 10^6 \text{ km})^2 \approx 460$ -mal stärker ankommt als der Sonnenwind bei unserer Erde.

**Modellexperiment „Tanz der Moleküle“**

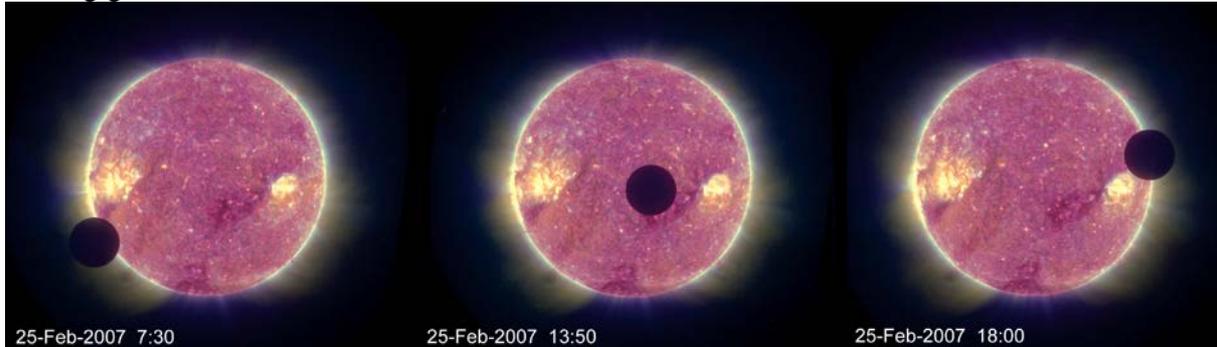
[\(→zurück zum Anfang\)](#)



**Abbildung 2:** Oben links: Für das Modellexperiment werden gebraucht: eine durchsichtige Plastikflasche, deren Boden abgeschnitten wurde; ca. 0,5 m Plastikschlauch, der im Loch im Schraubverschluss der Flasche gehalten wird; Styroporpartikel (große blau angemalte und kleine weiße). Oben rechts: Die Plastikflasche mit angeschraubtem Schlauch wird mit dem offenen Ende nach oben gehalten und mit den Styroporpartikeln gefüllt. Die Flasche repräsentiert im Modell den Aufenthaltsraum für die Atmosphärenmoleküle. Die Modellatmosphäre soll aus Wasserstoff und Sauerstoff bestehen. Die kleinen weißen Styroporstücke stellen den Wasserstoff dar, die größeren blauen modellieren die Sauerstoffmoleküle. Sobald man in den Schlauch bläst, werden die Modellmoleküle in Bewegung versetzt. Der Luftstrom steht für den Energieeintrag durch die Sternstrahlung in die Atmosphäre des heißen Jupiters. Die leichteren Modellmoleküle (Wasserstoff, die weißen Styroporpartikel) werden dabei weitaus höher getrieben als die Modellmoleküle größerer Masse (Sauerstoff, die blauen Styroporpartikel). Wenn die weißen Styroporpartikel die Flasche verlassen, so kann dies im Modell als Entweichen aus der Atmosphäre gedeutet werden (siehe auch Videoclip [molekültanz.mpeg](#)). Wenn man die weißen Teilchen genau beobachtet, so kann man auch eine Verteilung der Geschwindigkeiten (Modellbild für **Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung**) sehen. Zu guter Letzt könnte man oben seitlich über die Flasche blasen und so den Sternwind simulieren, wie er Modellmoleküle mit sich reißt. ©: Olaf Fischer.

**Der Mond passiert die Sonne**

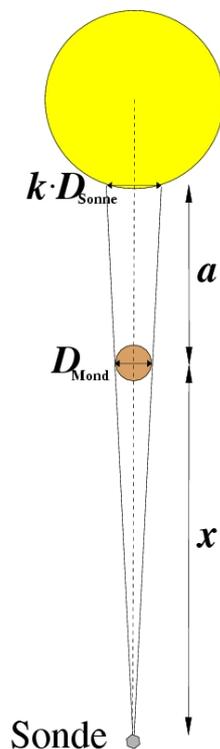
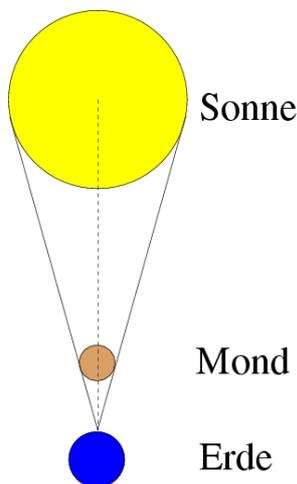
Bei einer totalen Sonnenfinsternis deckt die Mondscheibe fast genau die Sonnenscheibe ab – was für eine phantastische Einrichtung der Natur. Je weiter man sich vom Mond entlang der Verbindungslinie Sonne-Mond entfernt, desto kleiner erscheint der Mond im Verhältnis zur Sonne. Als die Sonnenbeobachtungs-Sonde Stereo-B am 25. 02. 2007 den Mond vor der Sonnenscheibe aufnahm, war sie laut Brennpunkt-Beitrag 1,6 Mio km von diesem entfernt. Diese Entfernungsangabe soll im Folgenden überprüft werden. Neben den Durchmessern von Sonne und Mond und dem Abstand Sonne-Mond wird dazu noch eine Angabe aus dem Beitrag gebraucht



©: NASA Copyright Free Policy, <http://solarviews.com/cap/vss/VSS00025.htm>.

**Aufgabe – „Strahlensatz mit Sonnenstrahlen“**

Man berechne den Abstand der Sonde Stereo-B vom Mond, den sie zum Zeitpunkt der dargestellten **Transitbeobachtung** hatte. Zusatzaufgabe: Im Bild oben bedeckt der Mond etwa den 0,05ten Teil der Sonnenscheibe. Den wievielten Teil bedeckt der Mond für einen Bewohner eines extrasolaren Planeten in z. B. 10 Lichtjahren Entfernung?



**Strahlensatz:**

$$\frac{x}{D_{\text{Mond}}} = \frac{a+x}{k \cdot D_{\text{Sonne}}}$$

$$x \cdot \left( \frac{k \cdot D_{\text{Sonne}}}{D_{\text{Mond}}} - 1 \right) = a \Rightarrow x = \frac{a}{\left( \frac{k \cdot D_{\text{Sonne}}}{D_{\text{Mond}}} - 1 \right)}$$

$$x = \frac{149,2 \cdot 10^6 \text{ km}}{\left( \frac{1}{4,4} \cdot 1,4 \cdot 10^9 \text{ m} \cdot \frac{1}{3.476.000 \text{ m}} - 1 \right)} \approx \underline{\underline{1,6 \cdot 10^6 \text{ km.}}}$$

(a: 1 AE (149,6 Mio) – Entfernung Erde-Mond)

**Zusatz:** Für einen sehr weit entfernten Beobachter bedeckt der Mond in sehr guter Näherung den Teil der Sonnenscheibe, der dem Verhältnis  $v$  der Querschnittsflächen der Himmelskörper entspricht: ( $v = D_{\text{Mond}}^2 / D_{\text{Sonne}}^2 \approx 0,000006$ ).

## WiS! zum Brennpunkt-Beitrag

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

### Gesteinsproben von Phobos

Wie wichtig ist eigentlich die Verankerung der Sonde Phobos-Grunt, die voraussichtlich 2010 auf dem Marsmond weich landen soll? Die Sonde wird dazu Harpunen zur Verankerung in den Untergrund schießen.

### Aufgabe – „Sprung in den Weltraum“

Könnte man den Marsmond Phobos schon dadurch verlassen, dass man „abspringt“?

Es wird vorausgesetzt, dass man auf der Erde 60 cm hoch springen kann. Für den Marsmond Phobos wird ein mittlerer Radius von 14 km angenommen. Ein weitere für die Rechnung wichtige Größe findet sich im Brennpunkt-Beitrag.



©: MKonair - Flickr: Cebit 2011 Fm in orbit, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14729304>.



©: Von NASA / JPL-Caltech / University of Arizona - <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA10368>, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5191977>.

### Lösung

Die Abprunggeschwindigkeit auf der Erde kann man mit Hilfe des **Energieerhaltungssatzes** ausrechnen, wenn man weiß, wie hoch man springt. Es gilt:

$$E_{\text{kin}} = E_{\text{pot}}$$

$$\frac{m}{2} \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Für eine Sprunghöhe von z. B.  $h=0,6$  m beträgt die Abprunggeschwindigkeit

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,6 \text{ m}} \approx 3,43 \text{ m/s}$$

Um in eine Umlaufbahn um Phobos (Radius  $R$  etwa 14 km, Masse  $M$ ) zu gelangen, müsste man mit der entsprechenden **Kreisbahngeschwindigkeit**  $v_{\text{Kreis}}$  abspringen.

$$v_{\text{Kreis}} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot M}{R}}$$

Die Aussage, dass die Schwerkraft auf Phobos nur ein zehntausendstel der Erdschwerkraft ausmacht, hilft bei der Berechnung, denn die aus der Schwerkraft  $F$  resultierende **Fallbeschleunigung**  $g$  berechnet sich wie folgt

$$F = \frac{m \cdot \gamma \cdot M}{R^2} = m \cdot g \quad \Rightarrow \quad g = \frac{\gamma \cdot M}{R^2}$$

Die Kreisbahngeschwindigkeit kann nun mit Hilfe von  $g$  berechnet werden:

$$v_{\text{Kreis}} = \sqrt{g \cdot R} = \sqrt{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,0001 \cdot 14.000 \text{ m}} \approx 3,7 \text{ m/s}$$

Mit einem etwas stärkeren Absprung könnte man also bereits in die Umlaufbahn um Phobos springen.