

Titan – der Mond mit Atmosphäre

Aus der Übergeneralisierung von Wissen resultiert u. a. die falsche Vorstellung, dass alle Planeten eine Atmosphäre haben bzw. alle Monde keine Atmosphäre besitzen. Sowohl der ungetrübte Blick des irdischen Beobachters auf die Mondoberfläche als insbesondere der schwarze Himmel über der Mondoberfläche, den die Apollo-Astronauten sehen konnten, zeugen vom Fehlen von Absorption und Streuung durch atmosphärische Moleküle auf dem Erdmond. Doch nicht jeder Mond ist atmosphärenlos bzw. jeder Planet besitzt eine Atmosphäre. Der Saturnmond Titan besitzt vermutlich als einziger Mond im Sonnensystem eine Atmosphäre. Warum hat aber Titan eine Atmosphäre und der Mond keine? Diese Frage könnte Motivation sein, die Gasteilchenbewegung näher zu betrachten oder das physikalische Verständnis der Situation zu testen. Die notwendigen Zusammenhänge für die Antwort, die verschiedene Bezüge zur kinetischen Energie herstellen, sind im Folgenden dargestellt. Eine Analogiebetrachtung macht die Stoffearbeitung einfacher (siehe Datei [Analogiebetrachtung](#)). Die Möglichkeit zur Anwendung der physikalischen Zusammenhänge wird mit einer Aufgabe gegeben, wobei die anfangs aufgeworfene Frage nach dem Unterschied zwischen Mond und Titan eine konkrete Antwort findet (siehe [Aufgabe](#)). Infrarotaufnahmen von Titan bei verschiedenen Wellenlängen können die Titanatmosphäre oder die Titanoberfläche sichtbar machen. Ein aus verschiedenen Aufnahmen kombiniertes Bild bietet Gelegenheit, die Mächtigkeit der Titanatmosphäre abzuschätzen bzw. die (wahre) Größe des Titan zu ermitteln. Zudem kann die Rotationsdauer des Titan abgeschätzt werden (siehe [Bildauswertung](#)). Diese Aufgaben fördern das wissenschaftliche Interpretieren von astronomischen Aufnahmen (sehen ist theoriegeleitet). Fachunterricht erfährt seine Bestätigung, wenn seine Inhalte nicht mehr isoliert, sondern in natürlicher Vermengung mit den Inhalten anderer Disziplinen dem Schüler begegnen. Parallelen zwischen den Atmosphären der Erde und des Titan erlauben faszinierende fächerverknüpfende Betrachtungen ([Fächerverknüpfung](#)). Titan gehört zu den Monden des Sonnensystems, die schon mit einfachen optischen Hilfsmitteln beobachtet werden können. Die eigene Beobachtung ist für die Motivation ungeheuer wichtig. In der Datei [Beobachtungsaufgabe](#) (beobachtung.doc) findet sich eine Beobachtungsaufgabe.



Links: Mond aus irdischer Sicht. ©: Torsten Edelmann (wonderplanets.de) - Eigenes Werk, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1700437>.

Mitte: Blick vom Mond zur Erde (Apollo 8). ©: NASA/Bill Anders - <http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/alsj/a410/AS8-14-2383HR.jpg><https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/apollo/apollo8/html/as08-14-2383.html>, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=306267>.

Rechts: Aufnahme des durch eine dicke Atmosphäre verschleierte Saturnmondes Titan (Aufnahme der Raumsonde Cassini). ©: Von NASA/JPL/Space Science Institute - Diese Mediendatei wurde vom Jet Propulsion Lab der US-amerikanischen National Aeronautics and Space Administration (NASA) unter der Datei-ID PIA11603 kategorisiert., Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8095901>

Kinetische Energie in der Makro- und in der Mikrowelt - Entweichgeschwindigkeit und Gasteilchenbewegung

Der Besitz oder Nichtbesitz einer Atmosphäre ist wesentlich von der Fähigkeit eines Himmelskörpers abhängig, die Gasteilchen in seinem Schwerfeld zu halten. Für ein sich bewegendes Gasteilchen gilt ebenso wie für eine vom Himmelskörper startende Rakete, dass es nur bei entsprechend großer Geschwindigkeit von diesem ohne Rückkehr entweichen kann. Dazu sind zwei Angaben wichtig, die sich zwei verschiedenen Gebieten der Physik zuordnen lassen und dabei die Größe der kinetischen Energie gemeinsam haben. Eine Vernetzung der Lehrinhalte wird befördert.

Zum einen gilt es, die aus der Mechanik bekannte Entweichgeschwindigkeit von einem Himmelskörper der Masse M ausgehend vom Abstand R ins Feld zu führen. Diese Geschwindigkeit, die sich aus der Energieerhaltung ergibt, erhält man aus

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma \cdot M}{R}}, \quad \left(\Leftarrow \frac{m}{2} \cdot v^2 = \gamma \cdot M \cdot m \cdot \left(\frac{1}{R} \right) \Leftarrow E_{\text{kin}} = -E_{\text{pot}} \right).$$

Zum anderen muss die Gasteilchengeschwindigkeit ermittelt werden. Die Tatsache, dass die Gasteilchen sich bewegen, lässt sich durch die Brownsche Bewegung indirekt untermauern. Dabei haben die Teilchen verschiedene Geschwindigkeiten. Die mittlere kinetische Geschwindigkeit der Gasteilchen ergibt sich, wie es der Name schon andeutet, aus ihrer mittleren kinetischen Energie. Der Zusammenhang zwischen der mittleren kinetischen Energie von Gasteilchen der Masse μ und der absoluten Temperatur T (Temperatur als Maß der mittleren kinetischen Energie) erlaubt die Berechnung der mittleren kinetischen Geschwindigkeit der Teilchen (k...Boltzmannkonstante) auf Grundlage einer Temperaturangabe.

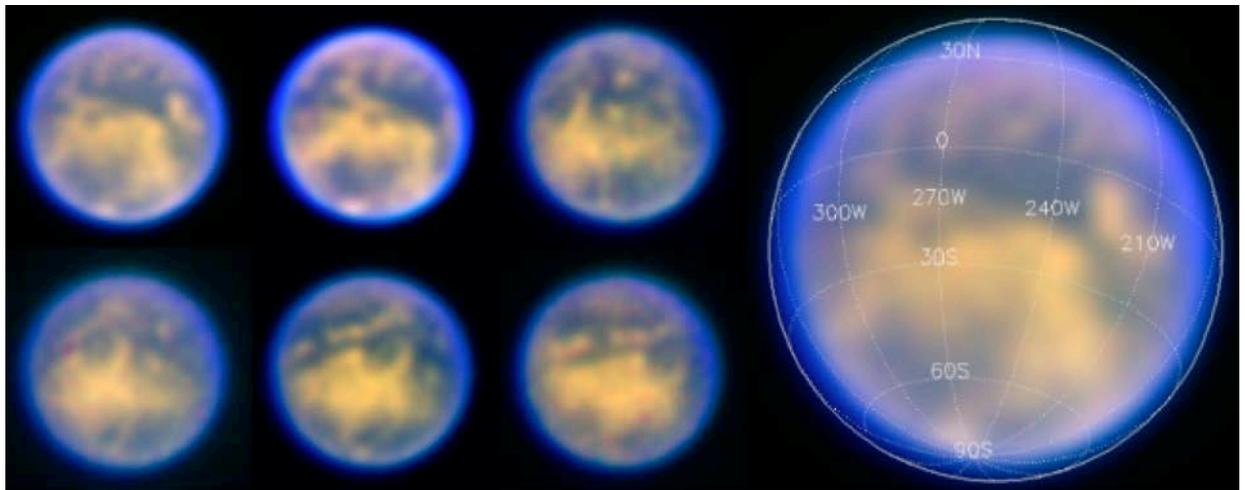
$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T}{\mu}}, \quad \left(\Leftarrow \frac{\mu}{2} \cdot \bar{v}^2 = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T \right).$$

Erste Anwendung der Formalismen - Aufgabe

Man berechne die Entweichgeschwindigkeit sowie die mittlere kinetische Geschwindigkeit der Atmosphärenmoleküle für den Saturnmond Titan sowie für die Moleküle einer hypothetischen Atmosphäre des Erdmondes. Titan hat einen Durchmesser von 5150 km und eine mittlere Dichte von 1,94 t/m³. Für die hypothetische Mondatmosphäre wird eine Temperatur von ca. 20°C angenommen. Am Ort von Titan kann mit einer Temperatur von etwa -180°C gerechnet werden (abschätzbar aus der Verdünnung des Strahlungsflusses der Sonne). Es wird angenommen, dass für beide Atmosphären die Masse des Stickstoffmoleküls als repräsentativ gelten kann. Die Ergebnisse sind abschließend zu vergleichen und zu diskutieren (Lösung in Datei [Lösung zur Aufgabe](#)).

Bildauswertung - die wahre Größe von Titan

Bis 1980 nahm man an, dass Titan mit einem Durchmesser von 5550 km der größte Mond des Sonnensystems sei. Aufnahmen der Raumsonde Voyager 1 zeigten dann, dass Titan eine im sichtbaren Spektralbereich undurchsichtige Atmosphäre besitzt, die die Größenbestimmung bis dahin verfälscht hat. Der eigentliche Himmelskörper ist kleiner als die visuell sichtbare Scheibe. Beobachtungen in bestimmten Wellenlängenbereichen des Infraroten (IR) erlauben dagegen einen Blick, der bis auf den Mondkörper reicht und Oberflächendetails zeigt. Im Bild unten, das aus der Kombination von Aufnahmen in verschiedenen IR-Wellenlängenbereichen entstand, wurde die empfangene Bildinformation bei 1,575 μm und 1,6 μm rot und grün kodiert, was in der Mischung den gelben Farbton ergibt, in dem viele Oberflächendetails dargestellt sind. Im blau codierten Wellenlängenbereich bei 1,625 μm dagegen absorbiert das Methan die Strahlung und allein die Atmosphäre ist sichtbar (blauer Ring im Bild). Auf Grundlage der kombinierten Falschfarbenbilder des Titan, die in aufeinander folgenden Nächten gewonnen wurden, ist zu einen die wahre Größe des Saturnmondes und zum anderen seine Rotationsdauer abzuschätzen (Ergebnisse in Datei: [Astrobild Titan Ergebnisse](#)).



Six Nightly Views of Titan's Surface
(VLT YEPUN + NACO/SDI)

ESO PR Photo 11d/04 (14 April 2004)

© European Southern Observatory



Falschfarbenaufnahme von Titan kombiniert aus Infrarotaufnahmen in den Wellenlängenbereichen bei 1,575 μm (rot), 1,6 μm (grün) und 1,625 μm (blau). Bild (phot-11d-04-fullres.jpg) unter [Astrobild Titan](#) im Zusatzmaterial.

©: ESO, <https://www.eso.org/public/images/eso0412d/>.

Fächerverknüpfendes beim Thema Titanatmosphäre – die andersartige Welt

Das Thema Titanatmosphäre birgt einen Knotenpunkt der Fächerverknüpfung. Es ist sinnstiftend für den Fachunterricht, auf Begriffe und Zusammenhänge hinzuweisen, die durch andere Unterrichtsfächer bedient werden. Die Fächerverknüpfung kann an folgendem faszinierenden Geschehen aufgezeigt werden. Dabei kann im Gespräch eine Gedankenkette durch analoges Schließen entwickelt werden.

Die Titanatmosphäre enthält neben dem Hauptbestandteil Stickstoff (ca. 90%) unter anderen auch Methan (Ch). Dieses Gas ist primordialen Ursprungs, d. h. es stammt aus der Urzeit der Entstehung des Sonnensystems aus einem Molekülwolkenkern (Astro). Auf der Erde ist es nützlich als Hauptbestandteil von Erdgas und gefürchtet im Bergbau (Ch, Geo). Entsprechend dem Abstand von Titan zur Sonne (Astro) herrscht dort eine Temperatur von etwa -180°C . Diese Temperatur liegt gerade zwischen dem Schmelz- und dem Siedepunkt von Methan ($-182,6^{\circ}\text{C}$ und $-161,7^{\circ}\text{C}$, Ph, Ch), so dass es sowohl flüssig als auch gasförmig vorkommen kann (sicher auch in fester Form möglich). Man denke dabei an die Verhältnisse auf der Erde, wo Wasser bei etwa 20°C sowohl in flüssiger als auch in gasförmiger Form vorkommt (Geo, Ph). Analog zum Wasser auf der Erde könnte Methan auf dem Titan verdunsten und analog zur Luftfeuchtigkeit zu einer „atmosphärischen Methanfeuchtigkeit“ führen (Ph, Geo). Wie die Erde, so empfängt auch Titan am Äquator mehr Strahlung als an den Polen, so dass die Atmosphäre dort stärker erwärmt wird (Astro, Geo, Ph). Dies führt vermutlich zur Ausbildung einer meridionalen Zirkulationsströmung wie auf der Erde (Geo, Ph). Verdunstendes Methan steigt auf und kondensiert vermutlich auch zu Wolkentröpfchen. In Analogie zum irdischen (Wasser-)Regen könnte es also auf Titan einen Methanregen geben, der Seen und Flüsse aus Methan speist und vielleicht sogar Methanmeere bildet. Zum irdischen Wasserkreislauf (Geo) ergibt sich so als Parallele einen titanischer Methankreislauf.