

Wasser und Tennisbälle

Markus Schlager

Der Mond hat schon eh und je die Menschen fasziniert, ihre Fantasie angeregt und sie zu neuen Taten ermuntert. Von der Neugier angetrieben gelang es der Menschheit im letzten Jahrhundert, die ersten Astronauten zum Mond zu schicken. Die Entdeckungsreise zum Mond endete mit diesen Besuchen nicht. Der Mond ist immer noch Ziel der Forschung. Die NASA-Mondsonde LCROSS (Lunar Crater Observation and Sensing Satellite) konnte nun auf dem Mond Wasser in Form von Eis nachweisen. In dem vorliegenden WIS-Beitrag werden zunächst die drei Aggregatzustände der Stoffe mit Hilfe eines **schülernahen Teilchenmodells** in einem Lesetext beschrieben. Das Modell erleichtert das Verständnis des Zusammenhangs zwischen Temperatur, Druck und Aggregatzustand eines Stoffes. In Folge (Arbeitsblatt) wird dann auch klar, wieso auf dem Mond noch Eis existiert.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Kleinkörper	Mond
Physik	Thermodynamik	Teilchenmodell, Aggregatzustände (fest, flüssig, gasförmig), Temperatur, Druck, Sublimation, Energietransport (Strahlung, Leitung)
Fächer- verknüpfung	Astro-Ch	Moleküle, Wasser
Lehre allgemein	Kompetenzen (Wissen und Erkenntnis), Unterrichtsmittel	Lesekompetenz, Arbeit mit Modellen, Lesetext, Arbeitsblatt

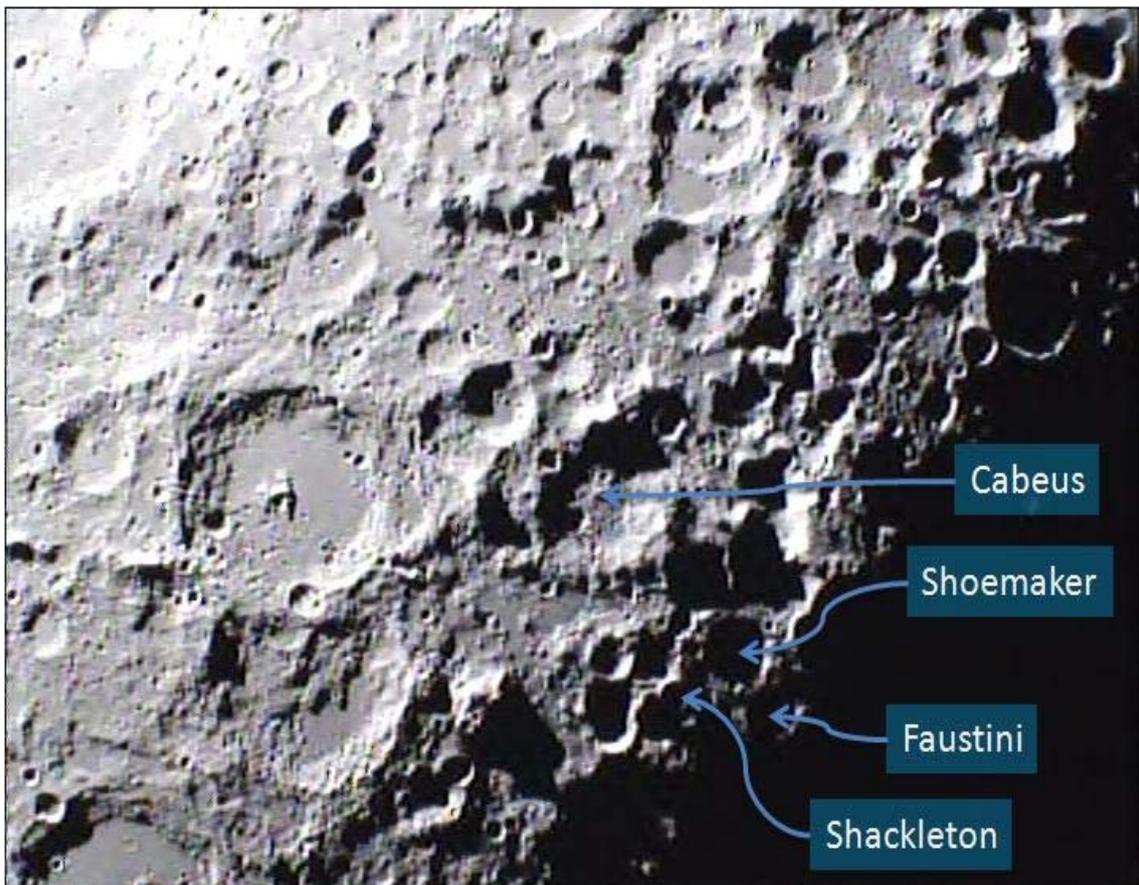


Abbildung 1: Südpol des Mondes. Die mit Namen gekennzeichneten Krater waren für die LCROSS-Mission interessant (Quelle: NASA, http://www.nasa.gov/394479main_Visible-Camera-South-Pole%20wLabels_full.png).

Lesetext für die Schüler: Drei Aggregatzustände der Stoffe im Modell

Um diese Frage beantworten zu können, nutzen wir ein Modell für das Wassermolekül. Ein Molekül besteht aus mindestens zwei Atomen. Beim Wassermolekül sind es sogar drei: zwei Wasserstoffatome und ein Sauerstoffatom. Die Chemiker bezeichnen Wasser aus diesem Grund als H_2O . In einer chemischen Reaktion verbinden sich die einzelnen Atome in einer für das Molekül typischen Anordnung zum Molekül.

Die Aggregatzustände, die Materie einnehmen kann, sollen am Beispiel von Wasser gezeigt werden. Dafür benutzen wir unsere Fantasie und konstruieren ein **Teilchenmodell**: Wir nehmen ein H_2O -Molekül und verwandeln es in ein Tennisballmännchen mit Händen und Füßen. Abbildung 2 zeigt unser Fantasie-Tennisballmännchen.

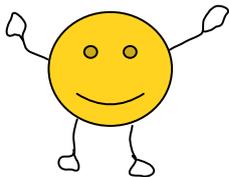


Abbildung 2: Das Fantasie-Tennisballmännchen – ein Teilchenmodell für das Wassermolekül.

Anschließend sperren wir es in einen Raum. Dort ist es in Bewegung – es springt auf und ab und rudert mit den Armen. Dies tut es umso heftiger, je höher seine Temperatur ist. Nun kommen sehr viele Tennisballmännchen hinzu, die ebenfalls in Bewegung sind (auch sie besitzen Bewegungsenergie). Da

ihre Temperatur nicht so hoch ist, schaffen es die Männchen, sich gegenseitig zu packen und festzuhalten (sie verbinden sich). Die Verbindung der Tennisballmännchen untereinander erzeugt einen festen und zusammenhängenden großen Tennisballkörper.

In dieser Form beschreibt das Modell den **festen Aggregatzustand** der Materie. Teilchen (Atome und / oder Moleküle) verbinden sich dabei miteinander zu einem Körper, können in diesem aber noch schwingen. Den festen Aggregatzustand von Wasser kennen wir als Eis oder Schnee (viele Eiskristalle).

Wenn wir ein Tennisballmännchen aus dem Verband nehmen wollen, müssen wir Kraft aufwenden. Ein Tennisballmännchen ist über die Hände und die Beine mit seinen Nachbarn verbunden. Die Kraft, die wir aufbringen müssen, muss also größer als die „Verbindungskraft“ sein, die die Tennisballmännchen untereinander zusammenhält.

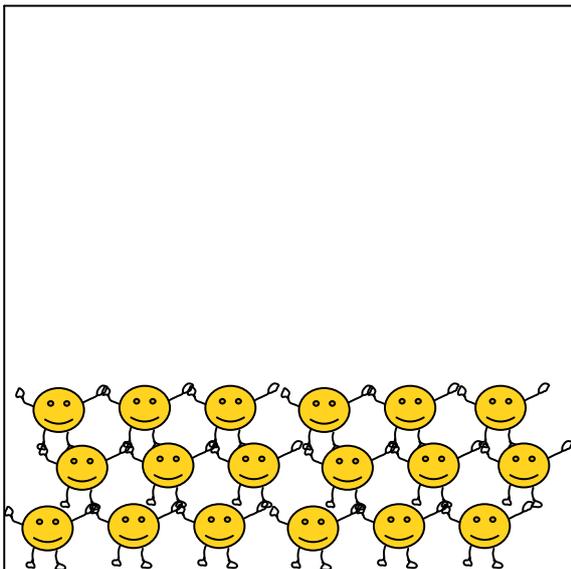


Abbildung 3: Ein fester Tennisballkörper (Eis) liegt vor, wenn die Bewegung der Tennisballmännchen (Wassermoleküle) nicht ausreicht, um ihren Zusammenhalt zu zerstören.

Den **flüssigen Aggregatzustand** kennt ihr vom Schwimmen oder vom Trinken. Doch noch sind die Tennisballmännchen mit ihren Nachbarn über ihre Hände oder ihre Füße miteinander verbunden. Wie bekommen wir die Tennisballmännchen nun dazu, dass sie sich zumindest teilweise voneinander lösen und damit zueinander verschiebbar werden?

Dazu könnte man entweder ihre Temperatur (Bewegungsenergie) erhöhen, indem man sie in die Sonne setzt, d. h. bestrahlt (Energie durch Strahlung zuführt) oder indem man sie anstößt (mechanische Energie überträgt).

Der zweite Weg soll hier näher beschrieben werden. Dazu führen wir eine neue Sorte von Tennisbällen ein, welche modellartig die Moleküle der Atmosphäre eines Himmelskörpers darstellen sollen. Wir nennen sie die „Hektiker“. Diese Tennisbälle haben andersartige Arme und Beine (die hier nicht dargestellt sind), so dass sie keine Verbindung mit den Tennisballmännchen eingehen können. Die Hektiker besitzen eine viel höhere Bewegungsenergie und somit eine höhere Temperatur als die Tennisballmännchen.



Abbildung 4: Das „Hektiker“-Teilchen (ein Atmosphärenmolekül).

Die Hektiker zappeln und drehen sich um ihre eigene Achse, während sie sich durch den ganzen Raum bewegen. Sie prallen dabei auf den Tennisballkörper oder werden an den Wänden sowie der Decke reflektiert (Annahme: Die Wände und die Decke haben die gleiche Temperatur, wie die Teilchen). Beim Zusammenstoßen mit der Tennisballkörperoberfläche übertragen die Hektiker Bewegungsenergie auf die Tennisballmännchen. Diese bekommen dadurch mehr Bewegungsenergie, d. h. sie werden erwärmt. Die Bewegung der Tennisballmännchen im Tennisballkörper nimmt von Stoß zu Stoß zu, bis sie sich nicht mehr untereinander festhalten können. Die Bewegungsenergie ist dann größer als die Bindungsenergie. Die einzelnen Tennisballmännchen können sich nun im Tennisballkörper bewegen und übertragen ihrerseits Bewegungsenergie auf ihre Nachbarn. Der Tennisballkörper zerfällt (das Eis schmilzt). Die Bewegung der Tennisballmännchen verläuft dabei zufällig. Sie kann mit Hilfe der Brownschen Bewegung nachgewiesen werden.

Das Modell mit den Tennisballmännchen zeigt nun den **flüssigen Aggregatzustand**. Nehmen wir jetzt ein Tennisballmännchen aus dem Verband des flüssigen Tennisballkörpers, müssen wir zwar weniger Kraft aufwenden, wie zuvor beim festen Zustand, doch es gibt noch einen Zusammenhalt zwischen den nun zueinander verschiebbaren Teilchen (Kohäsionskraft).

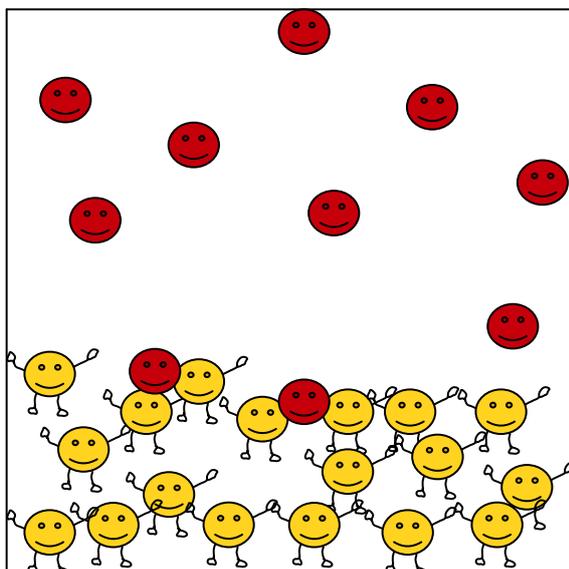


Abbildung 4: Flüssiger Tennisballkörper. Die Tennisballmännchen (Wassermoleküle) werden durch die Zusammenstöße mit den Hektikern (Atmosphärenmoleküle) erwärmt. Die Bewegungsenergie und somit die Temperatur der Tennisballmännchen steigt. Die Tennisballmännchen verbinden sich immer wieder über ihre Hände und Füße mit anderen Tennisballmännchen, d. h. es existiert noch ein Zusammenhalt.

Zwei der drei Aggregatzustände haben wir nun durch unser Modell erarbeitet. Es fehlt uns nur noch der **gasförmige Aggregatzustand**. Die Temperatur muss also weiter erhöht werden. Sei es nun über Strahlung, Stöße oder aus einer Kombination aus beiden Vorgängen.

Die Hektiker (Atmosphärenteilchen) besitzen immer noch genug Bewegungsenergie, um die noch locker verbundenen Tennisballmännchen weiter zu erwärmen und somit ihre Bewegungsenergie zu steigern. Um den Prozess zusätzlich zu beschleunigen, bestrahlen wir die Flüssigkeit. An der Oberfläche bekommen einige Tennisballmännchen nun soviel Bewegungsenergie, dass sie sich von ihren Flüssigkeitspartnern losreißen und entfernen können. Die Wassermoleküle verdampfen in den Raum. Sie bewegen sich in den Raum hinein bis sie an ein anderes Teilchen oder eine Wand stoßen und dort abgelenkt werden. Die „abgedampften“ Tennisballmännchen verteilen sich zusammen mit den Hektikern bedingt durch die ständigen Zusammenstöße gleichmäßig im Raum. Der **gasförmige Aggregatzustand** liegt nun vor.

Die Teilchen (Atome / Moleküle) befinden sich in der gasförmigen Phase, wenn ihre Bewegungsenergie so hoch ist, dass keine Verbindungen (Bindungsenergie deutlich kleiner als die Bewegungsenergie) aufgebaut werden. Die hohe Bewegungsenergie sorgt zusammen mit der zufälligen Bewegung dafür, dass der ganze Raum von den Teilchen (vom Gas) eingenommen wird. Das ständige Stoßen auf die Decke, den Boden sowie die Wände erzeugt einen Gasdruck. Er ist umso größer, umso größer die Bewegungsenergie und somit die Temperatur des Gases ist.

Den Gasdruck hätten wir eigentlich schon für die Hektiker herausstellen müssen als es um die Verflüssigung ging. Doch jetzt ist es an der Zeit, über seine Wirkung auf die Tennisballmännchen im Tennisballkörper weiter nachzudenken. Die Hektiker übertragen zwar einerseits Energie auf den Tennisballkörper, doch sie können auch das Entweichen eines befreiten Tennisballmännchens behindern, indem sie dieses nach Zusammenprall zurück stoßen. Dieses Verhindern des Entweichens wird umso wirksamer, desto mehr Hektiker sich über dem Tennisballkörper tummeln, d. h. desto größer ihr Gasdruck ist. Wenn der Tennisballkörper nun durch Strahlung erwärmt wird und nur wenige Hektiker vorhanden sind, so kann ein Tennisballmännchen auch sofort ganz frei werden, d. h. in den gasförmigen Zustand übergehen.

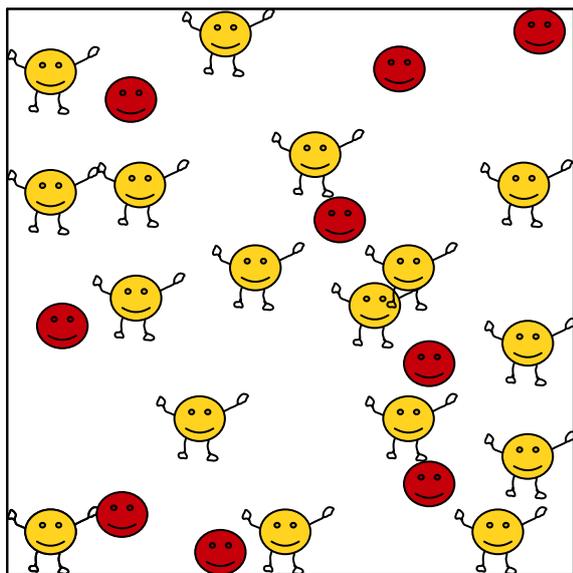


Abbildung 5: Der gasförmige Aggregatzustand. Die Tennisballmännchen (Wassermoleküle) und die Hektiker (Atmosphäremoleküle) bewegen sich kreuz und quer durch den Raum. Ihre Bewegungsenergie ist dabei so hoch, dass bei zufälligen Zusammenstößen keine dauerhafte Verbindung zwischen den Tennisballmännchen entstehen kann.

Aufgaben zum Weiterdenken

1.) Sucht im Internet die Begriffe **Sublimation** und Resublimation. Was versteht man physikalisch unter diesen beiden Begriffen?

2.) Wie lässt sich die Sublimation und die Resublimation mit unserem Tennisballmännchen-Modell erklären?

3.) Welchen Einfluss hat der Gasdruck auf den Aggregatzustand von Wasser, wenn man die Temperatur konstant hält? Hierzu kann zunächst folgender **Versuch** gezeigt werden: Eine Schale mit Wasser wird (bei Raumtemperatur) unter eine Vakuumblocke gestellt, welche anschließend evakuiert wird. Das Wasser beginnt bei Zimmertemperatur zu siedeln.

Was würde mit einem Eisblock geschehen, der bei einer Umgebungstemperatur von unter 0°C unter eine Vakuumblocke (wärmeisoliert von der Umgebung) im Unterdruck liegt? Denke bei deiner Antwort auch daran, wie der Eisblock durch Strahlung erwärmt wird.

4.) Welche Temperatur hat Wasser, wenn der Aggregatzustand von fest in flüssig übergeht? Welche Temperatur hat Wasser, wenn der Aggregatzustand von flüssig in gasförmig übergeht? Welchen Einfluss hat der Luftdruck auf diese Aggregatzustandsänderungen?

5.) Die **Mondsonde LCROSS** hat an den beiden Polen des Mondes Wassereis gefunden. Dieses Wassereis befindet sich auf dem Boden von Mondkratern. Wieso konnte sich gerade dort das Wassereis über Milliarden von Jahren halten? Erkundige dich auch über die Temperaturen auf dem Mond. Warum kann sich flüssiges Wasser auf dem Mond nicht lange halten?

Lösungen

Zu 1.)

Unter Sublimation versteht man den direkten Übergang eines Stoffes vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand. Resublimation ist der inverse Prozess dazu (gasförmig → fest).

Zu 2.)

Sublimation im Tennisballmännchen-Modell bedeutet, dass Tennisballmännchen sofort aus dem festen Tennisballkörper entweichen, d. h. in den gasförmigen Zustand übergehen.

Resublimation bedeutet, dass frei bewegliche Tennisballmännchen aus dem Raum auf den festen Tennisballkörper treffen und dort verbleiben. Die vorhandene Bewegungsenergie wird beim Aufprall vom Tennisballkörper vollständig aufgenommen (und in Form von Wärmestrahlung an die Umgebung abgeführt).

Zu 3.)

Dem Eisblock wird durch Strahlung Energie zugeführt. Der Eisblock wird dadurch nach und nach kleiner, weil die Wassermoleküle sublimieren.

Zu 4.)

Fest → flüssig: 0°C bei einem Luftdruck von etwa 1 bar.

Flüssig → gasförmig: 100°C bei einem Luftdruck von etwa 1 bar.

Ein höherer Luftdruck erhöht die Temperatur, ab der die Wasserteilchen verdampfen können. Ist der Luftdruck hingegen niedriger, kann das Wasser schneller verdampfen oder gar sublimieren.

Zu 5.)

Der Mond besitzt keine Atmosphäre, d. h. keine Gasteilchen an seiner Oberfläche (Hektiker im zuvor eingeführten Modell), die durch Stöße in der Lage wären, Energie auf die Wassermoleküle zu übertragen.

Im Schatten herrschen auf dem Mond Temperaturen von unter -100°C. Damit liegt Wasser in fester Form vor. In der Sonne werden Temperaturen von mehr als 100°C erreicht.

Der fehlende Druck einer Atmosphäre ermöglicht die Sublimation des Eises, wenn dem Eis anderweitig Energie zugeführt wird (durch Strahlung).

Eis kann sich also an Orten auf dem Mond halten, die von der Strahlung dauerhaft abgeschirmt sind (also im Schatten liegen). Durch die Rotation des Mondes (einmal in etwa 27 Tagen) erreicht die Sonnenstrahlung jedoch jeden Ort auf dem Mond, wenn man diesen als glatte Kugel betrachtet (und die Polpunkte vernachlässigt). Da der Mond keine glatte Kugel ist, gibt es Orte in Polnähe (in Kratermulden), die im ewigen Schatten liegen (siehe Abb. 1).

Die Masse und damit die Anziehung des Mondes genügt nicht, um frei gewordene Wassermoleküle langfristig an sich zu binden.

Auf dem Mars deutet einiges auf das Vorhandensein eines Ozeans in seiner Urgeschichte hin. Auch hier ist das Wasser zumindest größtenteils verschwunden.