

Temperaturkontrolle des Marsrovers

von StR Rainer Kling

Zusammenfassung

Der Artikel zeigt, wie Schüler der 8. Jahrgangsstufe das im Chemie- und Physikunterricht erworbene Wissen zu den Aggregatzuständen, den Änderungen der Aggregatzustände und dem Teilchenmodell in einer Schülerübung anwenden. Im Kontext einer Marsmission sollen sie dabei den Stoff Natriumthiosulfat-Pentahydrat auf seine Eignung als Wärmespeicher in einem Marsrover testen.

Schlagwörter: Aggregatzustände, Teilchenmodell, Schmelzen, Erstarren, Schmelzenergie

Sachanalyse

Ein Latentwärmespeicher (lat. *latere* ‚verborgen sein‘); ist eine Einrichtung, die thermische Energie verlustarm über längerer Zeit speichern kann. Man nutzt dazu sogenannte *phase change materials* (PCM, „Phasenwechselmaterialien“), deren latente Schmelzwärme, wesentlich größer ist als die Wärme, die sie aufgrund ihrer normalen spezifischen Wärmekapazität (ohne den Phasenumwandlungseffekt) speichern können. Beispiele sind Wärmekissen, Kühlakkus oder mit Paraffin gefüllte Speicherelemente in den Tanks von solarthermischen Anlagen. [1] Das Grundprinzip eines Latentwärmespeichers besteht also darin, dass beim Schmelzen eines Feststoffes Wärmeenergie aufgewendet werden muss, beim Erstarren wird diese Energie wieder abgegeben. Natriumthiosulfat-Pentahydrat ist aus mehreren Gründen gut als Modellsystem für einen Latentwärmespeicher geeignet: Es hat eine für ein Salz ungewöhnlich niedrige Schmelztemperatur von etwa 49°C. Beim Schmelzen dieses Salzhydrats wird zunächst das Kristallwassergitter zerstört, bevor das Ionengitter aufgebrochen wird. („Der Kristall schmilzt in seinem Kristallwasser“). Zum Anderen lassen sich relativ leicht unterkühlte Schmelzen erzeugen. Was damit zusammenhängt, dass bei sinkender Temperatur die Wassermoleküle nur allmählich die Plätze in den Zwischenräumen des Ionengitters einnehmen. Bei vorsichtiger Handhabung bleibt die Kristallisation über einen weiten Temperaturbereich aus. Erschütterungen oder die Zugabe von Impfkristallen injizieren das sofortige Auskristallisieren und die Freisetzung der gespeicherten („latenten“) Wärme. [2]



Didaktische Analyse

Lehrplanbezug

Am Beispiel Wasser wird bereits in der fünften Jahrgangsstufe im Fach Natur und Technik das Thema Aggregatzustände eingegangen. [3]

Bezüge zum Grundwissen des Chemielehrplans der 8. Klasse am naturwissenschaftlich-technologischen Gymnasium finden sich bei: [4]

- „Die Schüler können Stoffe aufgrund wichtiger Kenneigenschaften ordnen.“
Der Schmelzpunkt als eine dieser Kenneigenschaften ist Gegenstand dieser Unterrichtseinheit.
- „Sie sind mit wichtigen Aussagen des Teilchenmodells vertraut.“
Mit Hilfe des Teilchenmodells können die Aggregatzustände und die Phasenübergänge auf submikroskopischer Ebene erklärt werden.

Darüber hinaus finden sich für das Fach Physik in der 8. Jahrgangsstufe folgende Lehrplanbezüge: [5]

- Aufbau der Materie
 - Beschreiben der Aggregatzustände nach dem Teilchenmodell
 - Beschreiben von Schmelzen [...] nach dem Teilchenmodell
- Innere Energie
 - Zusammenhang zwischen Temperaturänderung bzw. Änderung des Aggregatzustands und der Änderung der inneren Energie [...]



Lernziel

Die Unterrichtseinheit verfolgt folgende Lernziele.

Fachspezifische Lernziele

Die Schüler sollen ...

- ...überprüfen, inwieweit sich die Substanz Natriumthiosulfat-Pentahydrat als Wärmespeicher für einen Marsrover eignet.
- ...dazu sollen Sie die Substanz über den Schmelzpunkt erwärmen, die Schmelze abkühlen und die unterkühlte Schmelze durch Zugabe eines kleinen Impfkristalls auskristallisieren lassen. Dabei soll die Temperatur gemessen werden.
- ... aus den Messwerten ein Temperatur-Zeit-Diagramm erstellen.
- ... die Beobachtungen mit entsprechend kommentierten Fotos dokumentieren.
- ... näherungsweise die Schmelztemperatur des Salzes ermitteln.
- ... auf Grundlage des Teilchenmodells den Temperaturverlauf während des Schmelzens sowie beim Auskristallisieren der unterkühlten Schmelze erklären können.
- ... anhand der gewonnenen Messergebnisse beurteilen, ob Natriumthiosulfat als Wärmespeicher in einem Marsrover geeignet ist.

Überfachliche Ziele

Die Schüler sollen ...

- ...durch die Anwendung auf ein Forschungsvorhaben auf dem Mars motiviert werden.
- ...sich für naturwissenschaftlich Arbeitsweisen begeistern, indem sie Untersuchungen durchführen, auswerten und anhand der experimentellen Ergebnisse Aussagen über den Anwendungsbereich eines Stoffes treffen können.
- ... sollen durch soziale Lernformen die Fähigkeit im Team zu arbeiten, lernen.
- ... überfachliche Arbeitsmethoden wie genaues Beobachten, exaktes Messen und erstellen von Diagrammen einüben.

Unterrichtssequenz und -mittel

Die Unterrichtssequenz umfasst zwei Unterrichtsstunden (eine Doppelstunde). Die erste Stunde dient dem Einlesen, der Planung und Koordination des experimentellen Vorgehens und dem selbstständigen Experimentieren in zweier Gruppen. In der zweiten Stunde erfolgt, ebenfalls in zweier Teams, die eigenständige Auswertung. Am Ende der zweiten Stunde werden die Versuchsergebnisse aller Gruppen im Plenum diskutiert.

Vorbereitende Maßnahmen

Die Lehrkraft stellt die Arbeitsblätter und die für den Versuch erforderlichen Materialien und Chemikalien, so wie sie auf dem Arbeitsblatt angegeben sind, zur Verfügung.

Unterrichtssequenz

Zum Stundebeginn erhalten die Schüler das Arbeitsblatt mit einem einführenden Text. Darin werden die starken tageszeitlichen Temperaturschwankungen auf der Marsoberfläche beschrieben. Dadurch ergeben sich Probleme für die Bordelektronik des Marsrovers, die nur in einem Temperaturfenster von -40 bis $+40$ °C zuverlässig funktioniert. Bislang erfolgt die Temperaturkontrolle im Marsrover durch eine entsprechende Isolierung und spezielle Heiz- und Kühlelemente. Die Problematik führt zur zentralen Fragestellung der Unterrichtssequenz hin: Gibt es Möglichkeiten um überschüssige Wärme zu speichern und bei Bedarf wieder freizusetzen? Ist Natriumthiosulfat-Pentahydrat ein für diese Erfordernisse geeigneter Wärmespeicher?

Nach der Hinführung ist es sinnvoll die Schüler darauf aufmerksam zu machen das Arbeitsblatt mit den Hinweisen zur Durchführung und den Aufgaben zur Auswertung vollständig durchzulesen, um so eine zielgerichtetes Vorgehen sicherzustellen.

Die Hinweise zur Durchführung konzentrieren sich auf wenige Eckpunkte:

Das Thermometer soll ausreichend tief in die Substanz eintauchen, ohne Kontakt zur Glaswand zu haben. Um ein gleichmäßiges Erwärmen zu garantieren wird im Wasserbad auf etwa 60°C erhitzt und anschließend mit Eiswasser auf etwa 15°C abgekühlt. Um ein Auskristallisieren der unterkühlten Schmelze vor der Zugabe des Impfkristalls zu verhindern, müssen Erschütterungen vermieden werden. Darüber hinausgehende Hinweise von Seiten der Lehrkraft sind nicht erforderlich. Das experimentelle Vorgehen, z.B. Arbeitsteilung bei der Messwerterfassung, ergibt sich für die in Zweierteams arbeitenden Schülern aus den Aufgabenstellungen. Für das Foto zur Dokumentation der Kristallisation der unterkühlten Schmelze ist entweder ein Mitglied einer anderen Zweiergruppe, oder ein zweiter Durchgang notwendig.



Abb. 1 u. 2: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ während des Schmelzens und Impfkristalle.

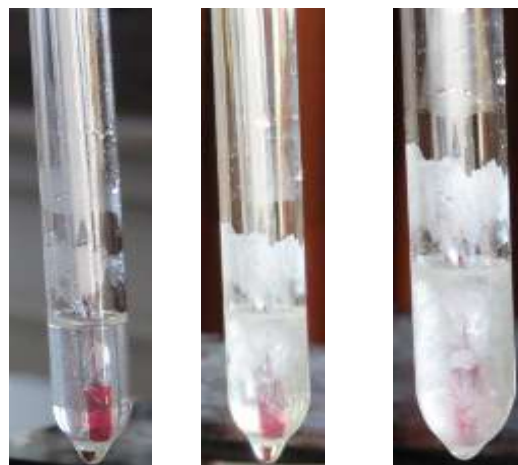


Abb. 3: Kristallisation der unterkühlten Schmelze.

Während der gesamten Planungs- und Arbeitsphase hält sich die Lehrkraft im Hintergrund und hat höchstens die Aufgabe eines Beraters.



Abb. 4: Schüler beim Experimentieren.

Die zweite Hälfte der Doppelstunde ist für die Auswertung vorgesehen. Neben der Dokumentation des Versuchs in Wort und Bild, fertigen die Schüler mit den ermittelten Messwerten ein Temperatur/Zeit-Diagramm an.

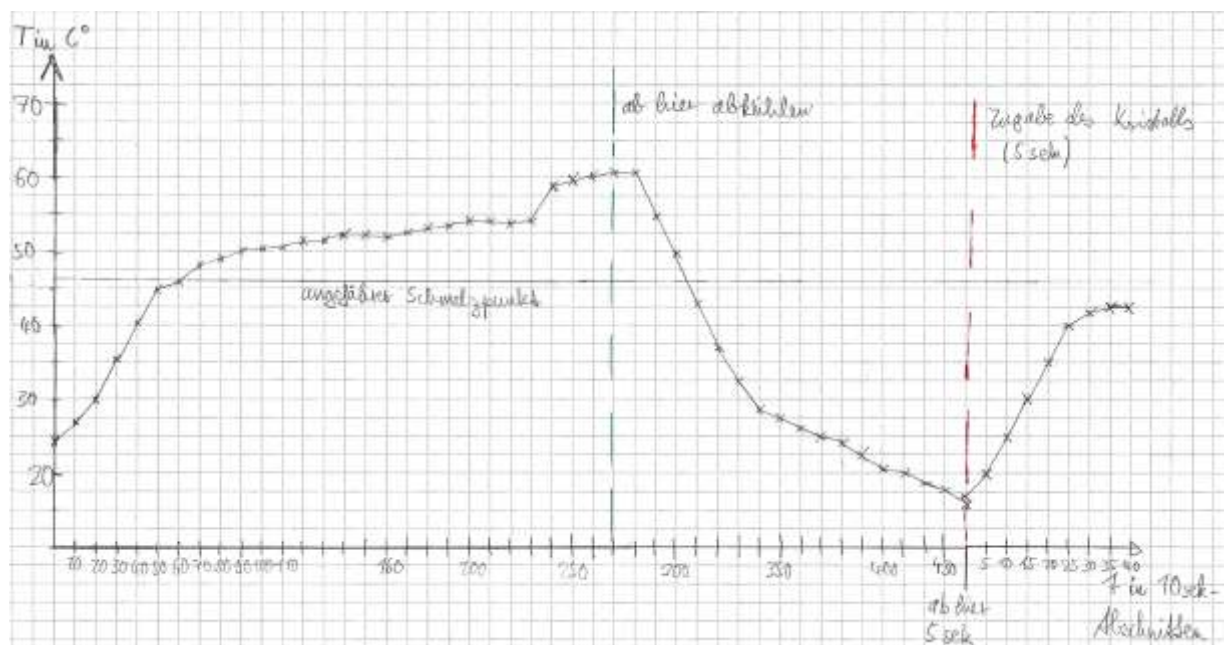


Abb. 5: Temperatur/Zeit-Diagramm eines Schülers.

Sie ermitteln graphisch die ungefähre Schmelztemperatur von Natriumthiosulfat-Pentahydrat und erklären mit dem Teilchenmodell den Temperaturverlauf während des Schmelzens und beim Erstarren der unterkühlten Schmelze. Abschließend beurteilen Sie die Eignung von Natriumthiosulfat-Pentahydrat als Wärmespeicher in einem Marsrover. Nach abgeschlossener Auswertung wird zu Überprüfung und Einschätzung der Teamleistung, den Schülern ein Lösungsvorschlag mit der Dokumentenkamera präsentiert. Die Doppelstunde endet mit der Diskussion der Versuchsergebnisse aller Gruppen im Plenum.

Möglichkeiten zur Leistungsmessung

Die Doppelstunde ist prinzipiell zur Erhebung von kleinen Leistungsnachweisen geeignet. Denkbar wäre eine Kombination aus praktischer Note für den experimentellen Teil und einer Note für die eingesammelte schriftliche Auswertung. Da in der Klasse jedoch ausreichend viele kleine Leistungsnachweise, insbesondere auch aus vorangegangenen Übungsstunden vorlagen, wurde von einer Benotung abgesehen. Eine Benotung bei der weiteren Erprobung der Unterrichtsequenz erscheint vielversprechend.

Literaturverzeichnis

[1] wikipedia.org/wiki/Latentwärmespeicher

[2] http://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/01_99.htm

[3] ISB Bayern: Natur und Technik Jgst. 5 - Lehrplan für das Gymnasium in Bayern. Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus. München (2009).

[4] ISB Bayern: Chemie Jgst. 8 - Lehrplan für das Gymnasium in Bayern. Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus. München (2009).

[5] ISB Bayern: Physik Jgst. 8 - Lehrplan für das Gymnasium in Bayern. Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus. München (2009).