

A2 Inklusion: Wir speichern Wärme – Vom Wärmespeicher zur Salzsammelze

1 Zentrale Fragestellung

Bei vielen technischen Prozessen und insbesondere im Zusammenhang mit regenerativen Energiequellen fällt Wärme an, die oft ungenutzt an die Umwelt abgegeben wird. Eine wichtige Zukunftsfrage ist daher, wie diese Wärme gespeichert und genutzt werden kann. Die Wärmespeicherung mittels Wasser wird häufig bereits im Unterricht untersucht.

Mit den vorgeschlagenen Experimenten wird gezeigt, dass Wärme auch über längere Zeiträume gespeichert werden kann, beispielsweise mit Salzsammelzen, die beim Erstarren (Kristallisieren) große Mengen Wärme abgeben können. Untersucht wird dazu ein handelsübliches Wärmekissen, das mit einem Natriumsalz der Essigsäure gefüllt ist.

2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

2.1 Fachliche Grundlagen

Während die Übergänge zwischen den Zustandsformen fest, flüssig und gasförmig den Schülerinnen und Schülern schon früh aus dem Alltag bekannt sind – besonders am Beispiel des Wassers – ist ihnen die Tatsache, dass jeder Übergang mit Energieumsätzen verbunden ist, nicht immer bewusst. Die Experimente eignen sich, auf diesem alltäglichen Vorwissen aufzubauen und ein tieferes Verständnis dafür zu entwickeln, dass Schmelz- und Verdampfungs-Wärme auch zur Speicherung von Energie genutzt werden können.

Eine Vertiefung stellt die Betrachtung auf der Teilchenebene dar, auf der Wärme als Bewegung interpretiert wird bzw. der Ordnungsgrad eine Rolle spielt für den Energiegehalt eines Stoffes.

2.2 Lehrplanrelevanz

Kompetenzschwerpunkte in ausgewählten Lehrplänen von Sachsen-Anhalt

Physik Klasse 6:

Wärmeübergänge ermitteln und beeinflussen

- die Formen der Wärmeübertragung an Beispielen beschreiben
- Möglichkeiten zur Verbesserung und Behinderung der Wärmeübertragung nennen

Physik Klasse 7/8:

Wärmewirkungen erklären und Wärmeaustauschprozesse bilanzieren

- die von einem Stoff aufgenommene bzw. abgegebene Wärme berechnen
- Eigenschaften und Aggregatzustandsänderungen von Stoffen mit dem Teilchenmodell erläutern

Chemie Klasse 7/8:

Säuren, Basen und Salze des Alltags untersuchen und vergleichen

- anhand eines Vertreters der jeweiligen Stoffklasse Zusammenhänge zwischen Bau, Eigenschaften und Verwendung erläutern

Technik Klasse 9/10

Technische Systeme beschreiben und analysieren

- Anlage zur Nutzung erneuerbarer Energien (exemplarisch)
- Einfluss von baulichen und äußeren Bedingungen auf den Wirkungsgrad
- Vor- und Nachteile des Einsatzes

Die Schülerinnen und Schüler ...

- lernen, den Übergang zwischen dem flüssigen und festen Aggregatzustand als Ursache für Wärmefreisetzung zu verstehen.
- erkennen darin eine Möglichkeit, anfallende Wärme zu speichern und später nutzen zu können.
- lernen zu verstehen, dass alle Übergänge zwischen Aggregatzuständen mit Energieumsätzen verbunden sind.

2.3 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

Vorgeschlagen werden hier zwei mal zwei Experimente:

- Die beiden ersten thematisieren die Möglichkeit, mittels handelsüblichen Wärmekissen Wärme zu speichern.
- Die beiden folgenden benutzen das Wärmekissen bzw. dessen Inhalt (ein Natriumsalz der Essigsäure), um den Energieumsatz bei der Aggregatzustandsänderung (hier Kristallisieren) zu berechnen und vorzuführen.

2.3.1 Teilexperiment a): Änderung der Temperatur eines Wärmekissens

Der erste Versuch zur Schmelz- bzw. Kristallisationswärme nutzt das Phänomen, dass ein Wärmekissen mit flüssigem Inhalt beim Kristallisieren heiß wird und über einen längeren Zeitraum Wärme bei konstanter Temperatur abgibt. Die Tatsache, dass zum Schmelzen eines Feststoffes Energie (in Form von Wärme) zugeführt werden muss, ist den Schülerinnen und Schülern aus dem Alltag bekannt (z. B. bei Kerzenwachs). Die Umkehrung, nämlich dass beim Erstarren (auch Festwerden oder Kristallisieren) Wärme frei wird, ist dennoch verblüffend. Beim Wärmekissen ist dieser Effekt besonders deutlich, da es sich bei der Flüssigkeit um eine unterkühlte Schmelze handelt, die erst durch Knicken eines Metallplättchens zum Kristallisieren angeregt wird. (Das Knicken bewirkt die Bildung von Kristallisationskeimen, ähnlich wie das Reiben mit einem Glasstab, siehe Teilexperiment 4.)

Der Versuch kann beliebig oft wiederholt werden, indem das Wärmekissen für ca. 10 Minuten bzw. bis zur völligen Schmelze der Kristalle in sehr heißes Wasser (ca. 90 °C) eingelegt wird. (Es empfiehlt sich, dass dies die Lehrkraft mit einem Wasserkocher in der Vor- oder Nachbereitung des Versuchs selbst macht.)

Die Schülerinnen und Schüler sollen den Temperaturverlauf mit Messungen verfolgen, die gemessenen Werte in eine Tabelle eintragen und daraus einen Graphen (Temperatur über Zeit) anfertigen. Anhand des angefertigten Graphen sehen sie gut, wie die Temperatur des Wärmekissens langsam sinkt.

2.3.2 Telexperiment b): Steigere die Effektivität des Wärmekissens: Das Kissen bleibt länger warm, wenn ...

Um die durch ein Wärmekissen gespeicherte Wärme auch nach längerer Zeit noch nutzen zu können, muss es möglichst gut wärmeisoliert werden. Die Schülerinnen und Schüler sollen dazu das Telexperiment 1 wiederholen und dabei verschiedene alltäglich verfügbare Materialien einsetzen. Der Temperaturverlauf gibt dann Auskunft über die Güte der Wärmedämmung und die praktischen Speichermöglichkeiten. Wenn das ausgewählte Material gut isoliert, wird die Temperatur langsamer abfallen als ohne Isolierung.

2.3.3 Telexperiment c): Ermittle, wie viel Wärme ein Wärmekissen abgibt

In diesem Versuch wird die Übertragung der Wärme des Wärmekissens auf Wasser untersucht. Es wird davon ausgegangen, dass die von dem Wärmekissen abgegebene Wärme genauso groß ist, wie die vom Wasser aufgenommene Wärme.

Die Erfassung der Messwerte in diesem Experiment wird den Schülerinnen und Schülern gut gelingen. Hier liegt die Herausforderung in der mathematischen Auswertung der Messwerte mit der Grundgleichung der Wärmelehre $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$.

Damit diese Aufgabe allen Schülerinnen und Schülern gelingt, wurde dem Experiment eine Lernhilfe hinzugefügt.

2.3.4 Telexperiment d): Wie das Wärmekissen Wärme speichert – Ein Salz, mal fest, mal flüssig

Zur genaueren Untersuchung der Vorgänge kann ein Wärmekissen geöffnet werden. Der Inhalt wird dann teilweise in ein Reagenzglas gegeben, zum Schmelzen gebracht und nach dem Abkühlen durch Reiben mit einem Glasstab zum Kristallisieren gebracht. Dabei wird die Temperatur messend verfolgt.

Es zeigt sich, dass beim Festwerden immer die gleiche Temperatur erreicht wird (je nach Typ des Wärmekissens ca. 50 °C bis 58 °C), was dem Schmelzpunkt des Feststoffes entspricht. (Tatsächlich sind die gemessenen Werte beim Schülerexperiment wegen Wärmeverlusten oft niedriger.) Dieses Experiment kann nur bedingt wiederholt werden, da beim Erhitzen immer etwas Wasser entweicht. Dadurch verändert sich die Zusammensetzung von Schmelze und Feststoff und schließlich bildet sich keine klare Flüssigkeit mehr.

Hinweis: Das Auftrennen eines erstarrten Wärmekissens und das Verteilen des Salzes an die Schülerinnen und Schüler erfolgt am besten durch die Lehrkraft selbst. Der Rest des Salzes kann in einem dicht verschlossenen Gefäß aufgehoben und für Experimente mit weiteren Klassen verwendet werden. (Evtl. ab und zu ein paar Tropfen Wasser hinzufügen, um Verdampfungsverluste zu kompensieren). Da neun Kissen mitgeliefert werden, hat man so immer Kissen für acht Schülergruppen.

2.4 Durchführungsvarianten

- Alle Experimente können sowohl einzeln als auch in kleinen Gruppen durchgeführt werden. Die Messung des Temperaturverlaufs sollte in Arbeitsgruppen von mindestens zwei Schülern durchgeführt werden, damit das Ablesen und das Notieren der Messwerte getrennt erfolgen kann.
- Um gut reproduzierbare Messung zu erhalten, empfiehlt es sich, auf einer isolierenden Unterlage (z. B. Wellpappe) zu arbeiten, das Wärmekissen um den Fühler des Messgerätes herumzulegen und ggf. das Ganze mit einem Gummiring (oder Bindfaden) zu sichern.
- Falls aus dem Fundus Ihrer Schule genug Reagenzgläser und Stopfen zur Verfügung stehen, könnte nach Abschluss des Teilexperiments 4 das Reagenzglas mit dem erstarrten Na-Acetat mit einem Stopfen verschlossen werden. So aufbewahrt, kann das Natriumacetat immer wieder verwendet werden.
- Die Teilexperimente 1 und 3 sollten nach Anleitung durchgeführt werden. Teilexperiment 2 könnte auch von den Schülerinnen und Schülern selbst entwickelt und dann durchgeführt werden. Diese Vorgehensweise stellt eine gute Möglichkeit dar, naturwissenschaftliche Arbeitsweisen planvoll einzusetzen und anzuwenden.

Um bei Teilexperiment 2 eine gute Isolation des Wärmekissens zu erhalten, muss man mehrere Dämmstoffe ausprobieren. Ein Wolltuch um das Wärmekissen gelegt bewirkt nur, dass die Temperatur im Lauf von 20 Minuten um 3 °C weniger absinkt als ohne Isolierung (siehe Tabelle).

	Start-Temperatur	Nach 3 min	Nach 6 min	Nach 9 min	Nach 12 min	Nach 15 min	Nach 18 min
Wasser im Reagenzglas	46,5 °C	41,4 °C	37,6 °C	35,1 °C	32,5 °C	30,3 °C	28,5 °C
Mit Wolltuch	47,4 °C	43,5 °C	40,5 °C	37,9 °C	35,5 °C	33,5 °C	31,6 °C

- Um das Verständnis für die Wärmeaufnahme beim Schmelzen zu vertiefen, kann man den Temperaturverlauf beim Erwärmen einer Eis-Wasser-Mischung aufnehmen lassen: Solange noch ein Rest Eis vorhanden ist, bleibt die Temperatur der Mischung bei 0 °C. Als Demonstrationsexperiment geeignet ist in gleicher Weise das Sieden und Verdampfen von Wasser: Hier bleibt die Temperatur der Flüssigkeit bis zum Schluss bei 100 °C (oder je nach Höhe und Luftdruck darunter).
- Bei älteren Schülerinnen und Schülern bzw. in höheren Klassen kann zur Erklärung der Wärme auch die Teilchenebene betrachtet werden.
- Unbedingt thematisiert werden sollten die technisch-praktischen Anwendungen der Langzeitwärmespeicherung. So werden beispielsweise schon heute moderne Bürogebäude mittels saisonalen Wärmespeichern beheizt: Im Sommer heizt die Sonne Wasser auf, das in einem unterirdischen Kiesbecken gut gedämmt gespeichert wird. Im Winter gibt dieses Wasser dann wieder Wärme an die Heizungssysteme ab.
Mit anderen Salzen als Natriumacetat kann Wärme auch in anderen Temperaturbereichen gespeichert werden. Zurzeit werden hochschmelzende Salzmischungen bis ca. 800 °C genutzt. Die Energie wird dann häufig wieder in einen technischen Prozess eingespeist, z. B. zum Vorwärmen eines Stoffes vor einer chemischen Reaktion. Auch in Solarthermiekraftwerken wie Andasol in Südspanien werden Salzschmelzespeicher eingesetzt. Mit einer bei ca. 400 °C schmelzenden Kalium-Natriumnitratmischung läuft das Kraftwerk auch ohne Sonne nachts noch 7 h mit Volllast weiter.

3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experimentes finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemensstiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org> (vgl. Experimento | 10+: A2 Wir speichern Wärme (Lehreranleitung)).