

Eine Luftsprudelanlage gegen Eis einsetzen – Wärmelehre

Lothar Delling, Berlin

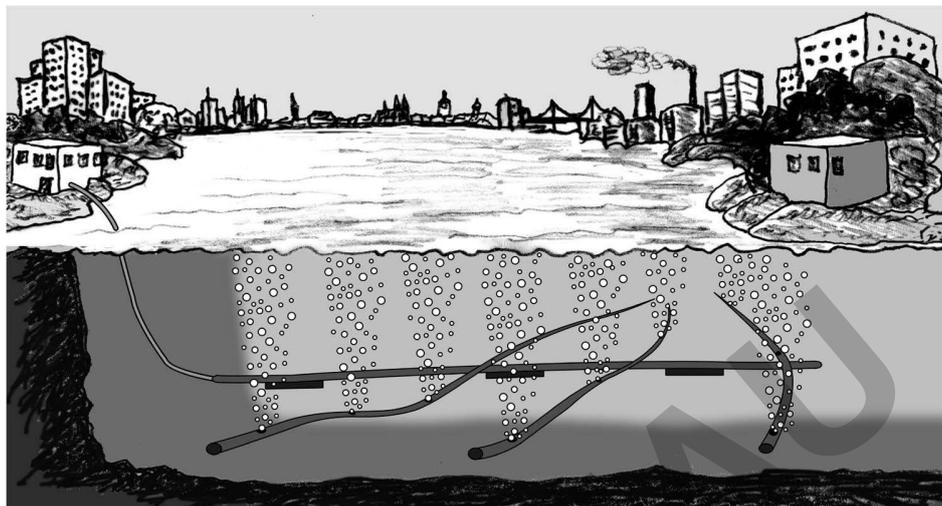


Abb. 1: Das prinzipielle Schema einer Diffusionsbelüftung zur Eisfreiheit: Eine der ältesten Aufgaben der Menschheit besteht in der Eisfreiheit von Wasserwegen. Da Wasser seine größte Dichte bei +4 °C hat, weisen die Wasserschichten an der Gewässer-
sohle selbst bei zugefrorener Wasseroberfläche normalerweise diese Temperatur auf. Die durch einen Blasenvorhang aufsteigende Strömung bringt das wärmere Wasser der tieferen Schicht an die Oberfläche und schafft somit eine eisfreie Zone.¹

Mit diesem Material haben Sie die Möglichkeit, grundlegende Phänomene der Wärmelehre (Grundgleichung, Schmelzwärme, Temperaturabhängigkeit der Dichte etc.) in einem interessanten Kontext zu unterrichten. Zeitungsartikel und Bilder stellen den Bezug zwischen den physikalischen Inhalten und der Lebenswelt der Schüler her.

Der Beitrag im Überblick	
<p>Klasse: 8/9</p> <p>Dauer: 4–5 Stunden</p> <p>Ihr Plus:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Geeignet für fachübergreifenden Unterricht (Mathematik, Biologie) ✓ Kontextorientierung ✓ Spiel zur Umwandlung von Temperaturen von Grad Celsius in Kelvin und umgekehrt 	<p>Inhalt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Physik der Luftsprudelanlage • Interpretationen der Grundgleichung der Wärmelehre $Q = m \cdot c \cdot \Delta \vartheta$ • Temperatureinheiten Grad Celsius und Kelvin • Temperaturschichtung in einem Wassersee und Vergleich mit einem Stearinsee • Komplexe Aufgaben zur Weiterführung und Vertiefung

¹ <http://agoberlin.de/eisfreiheitanlagen/>

Didaktisch-methodische Hinweise

Lehrplanbezug

Das Verhalten von Stoffen bei Erwärmung (hier von Wasser) ist Teil der Rahmenlehrpläne in allen Bundesländern und in unterschiedlichen Klassenstufen. Als Beispiel sei der Lehrplan von Bayern für Physik (Klasse 8)² genannt:

- Die Schüler können natürliche Phänomene und technische Abläufe, die zum Themenbereich Wärmelehre gehören, selbstständig untersuchen und zugehörige Erklärungen finden.
- Fächerübergreifendes Unterrichtsvorhaben:

„Lebensraum Wasser“ – Definition des absoluten Temperaturnullpunkts

$$0 \text{ K} = -273,15^\circ \text{ C}$$

Oder der sächsische Physiklehrplan³:

Die Temperatur und der Zustand von Körpern wird einschließlich der **Anomalie des Wassers** in Klasse 6 und in Klasse 8 unter dem Punkt „Thermische Energie“ angegeben, ebenso wie die Formel für die quantitative Erfassung der Wärme $Q = m \cdot c \cdot \Delta \vartheta$. Dazu werden Beispiele aus der Natur und der Technik gefordert.

Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

Einstieg in die Unterrichtseinheit

Bilder, wie rechts dargestellt, präsentieren Sie Ihren Schülern. Die Beschreibung des Bildes führt zum **Problem** hin:

Die Schiffe stecken im Eis fest.

Es ist Winter und es ist kalt. Seen und auch Flüsse frieren zu. Fahren können nicht mehr fahren, Eis drückt gegen die Boote und Fische erhalten keinen Sauerstoff mehr aus der Luft.

Was kann man dagegen tun?

Oft wird eine Luftsprudelanlage eingesetzt, um die gewünschten Bereiche der Gewässer **eisfrei** zu halten. Diese Anlageart wird hier vorgestellt.

Wir verwenden die **Anomalie des Wassers**, um die Konstruktion und Funktionsweise der Anlage physikalisch zu begründen.

Mehrere Erweiterungen geben Raum für weiterführende Gedanken.



Foto: Patrick Pleul/dpa

Abb.2: Ein polnischer Schubverband, der im deutsch-polnischen Grenzfluss Oder auf eine Sandbank aufgelaufen ist, liegt am 07.01.2016 eingeschlossen zwischen den Eisschollen auf dem Fluss nahe Reitwein (Brandenburg) fest. In der vergangenen Nacht hat der Eisstau auf der Oder auch den Schubverband nun vollständig erreicht. Das Havarieschiff wurde durch den Druck der Eismassen um 180 Grad stromaufwärts gedreht. Nach Auskunft des Wasser- und Schifffahrtsamtes (WSA) Eberswalde war der Schubverband trotz eines Verbotes der polnischen Behörden dort stromabwärts unterwegs.

² <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/content/serv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26437>

³ http://www.schule.sachsen.de/lpdb/web/downloads/lp_gy_physik_2011.pdf?v2

Zur Bearbeitung von Material **M 2** werden wie bei der Bearbeitung von **M 1** Schülergruppen gebildet, die sich selbstständig über die Inhalte des Blattes **M 2** informieren.

Zur **Festigung und Übung** erhalten Ihre Schüler vorab als **Hausaufgabe** mit **M 4** und **M 5 Kärtchen mit Temperaturangaben** und die Aufgabe,

1. durch Umrechnen von Celsius in die Einheit Kelvin die richtige Zuordnung der Kärtchen zu Paaren herzustellen,
2. ihre Temperaturen in jeweils eine Skizze des Sees im Sommer und im Winter an der Tafel oder auf einer Folie des Sees einzutragen.

Die Skizzen fertigen Sie an. Laminieren Sie die Kärtchen zu besserer Haltbarkeit!

Die Skalen müssen bekannt sein. Temperaturen unter 0 °C und über 30 °C geben Anlass zur **Diskussion** (Zustand des Wassers – Bis wie viel Grad ist Leben möglich? – Sauerstoffgehalt im Wasser – ...).

I/C

Teil 3: Übung M 7 und Test M 8

Die Aufgabe zur Eisfreihaltung (**M 7**) führt unter **Reduktion auf das Wesentliche** zur physikalischen Kernaussage zurück: durch Verzicht auf den Luftsprudelvorhang wird eine vereinfachte technische Ausführung einer Eisfreihalteanlage realisiert. Nicht die Luft, sondern das Wasser ist für die Eisfreihaltung wesentlich. Ein Vergleich der Verfahren mit und ohne Luftsprudleinrichtung kann auch im Plenum erfolgen. Ihre Schüler müssen ihre Erfahrungen und Kenntnisse in neuem Zusammenhang einbringen und begründete **Sachurteile** entwickeln. Sie bewerten alternative technische Lösungen (mit Pumpe!) unter physikalischen und ökologischen Aspekten. Wenn die Aussagekraft der spezifischen Wärmekapazität erkannt ist, genügen hier auch halbquantitative Aussagen (je – desto): Je größer die spezifische Wärmekapazität, desto größer die transportierte Wärme – bei gleicher Masse und Temperatur.

Bezug zu den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz

Allg. physikalische Kompetenz	Inhaltsbezogene Kompetenzen Die Schüler ...	Anforderungsbereich
F 1, F 2, F 4	... kennen verschiedene Verfahren zur Eisfreihaltung,	I, II
F 1, F 2, E 1, E 4	... können die Formel für die Wärmeenergie interpretieren und anwenden und eine Energiebilanz aufstellen,	I, II
F 1, F 2, F 4	... kennen die Anomalie des Wassers,	II
F 1, F 2, E 1, E 2, E 4 K 1, K 2, K 6, K 7, B 2	... können aus Sachtexten zur Eisfreihaltung gezielt Informationen beschaffen, auswählen und kritisch auf Widerspruchsfreiheit prüfen, ... können eigene Ergebnisse zu komplexen Fragestellungen zur Eisfreihaltung präsentieren,	I–III
F 1, F 2, F 4, K 1, K 6, B 2	... können verschiedene Methoden der Eisfreihaltung vergleichen und bewerten.	I–III

Für welche Kompetenzen und Anforderungsbereiche die Abkürzungen stehen, finden Sie auf beiliegender **CD-ROM 46**.

Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit SV = Schülerversuch Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt

⌚ D = Durchführungszeit LV = Lehrerversuch Fo = Folie Sp = Spiel

LEK = Lernerfolgskontrolle

M 1	Ab	Was tun gegen das Eis? – Methoden der Eisbekämpfung
M 2	Ab	Die Wassertemperaturen in einem See
M 3		Ein See aus Stearin – einen Vergleich anstellen
M 4	Sp	Celsius in Kelvin umwandeln – ein Spiel
M 5	Sp	Celsius in Kelvin umwandeln – Lösung
M 6		Tippkarten
M 7		Eine Übungsaufgabe: Recherche im Internet
M 8	LEK	Die Luftsprudelanlage – teste dein Wissen!

I/C

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 15.

Minimalplan

Wie in den **Hinweisen** beschrieben, hat der Unterrichtsvorschlag drei Teile. Daraus ergeben sich verschiedene Möglichkeiten, den Vorschlag an die Situation vor Ort anzupassen:

1. Sie verwenden nur Teil 1 mit Arbeitsblatt **M 1**, mit oder ohne Erweiterungen.
2. Teil 1 mit **M 1** und Teil 2 mit den Blättern **M 2–M 5** finden Einsatz. Dabei kann Teil 2 vorgezogen werden.
3. Teil 1 mit **M 1** und Teil 3 mit Material **M 7** werden eingesetzt. Aufgaben können Sie auswählen.

Differenzierung

Die **Tippkarten (M 6)** helfen schwachen Schülern.

Lernerfolgskontrolle

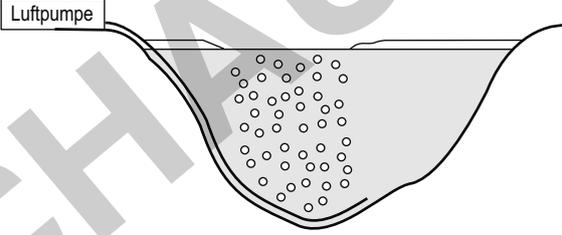
Beachten Sie, dass Sie den Test (**M 8**) nur einsetzen können, wenn Sie die gesamte Unterrichtseinheit durchgeführt haben.

Tip

Eine Kurzfassung des Versuchs zur Grundgleichung der Wärmelehre $Q = c \cdot m \cdot \Delta\theta$ finden Sie auf **CD-ROM 46**.



M 1 Was tun gegen das Eis? – Methoden der Eisbekämpfung

Methode 1	Methode 2 (Alternative)
<p data-bbox="220 392 783 757"></p> <p data-bbox="220 786 703 808">Abb. 4: Eisbrecher auf dem Stettiner Haff.</p> <p data-bbox="220 831 783 1021">Auf dem als Eisbrecher eingesetzten Tonnenleger „Görmitz“ beobachtet am 07.01.2016 ein Bootsmann das Aufbrechen der teilweise mehr als 15 cm starken Eiskecke auf dem Stettiner Haff vor Ueckermünde (Mecklenburg-Vorpommern).</p> <p data-bbox="220 1043 783 1167">Auf rund 30 Kilometern Länge will die Crew die Fahrrinne zwischen dem Industriehafen Ueckermünde und der polnischen Grenze brechen.</p> <p data-bbox="220 1189 783 1346">Am 08.01.2015 wird im Hafen Ueckermünde der Frachter „Grand“ mit 3.000 Tonnen aus dem litauischen Klaipeda erwartet. Aus eigener Kraft könnte der Frachter nicht mehr durchs Eis fahren. © dpa</p>	<p data-bbox="812 392 1374 831">Länder wie Finnland, Schweden oder Kanada haben viele Seen. Autos müssen um die großen Seen herumfahren. Lange Fahrwege lassen sich durch den Einsatz von Fähren vermeiden. Im Winter, wenn die Seen zugefroren sind, muss für eine eisfreie Fahrrinne gesorgt werden. Dazu werden im Bereich des Wasserwegs der Fähre auf den Grund des Sees Schläuche mit kleinen Öffnungen verlegt. Bei Betrieb wird durch die Schläuche Luft gepumpt, die durch die Öffnungen entweicht. Wenn dann der Frost beginnt und der See zufriert ...</p> <p data-bbox="812 853 1374 1088"></p> <p data-bbox="812 1099 1318 1155">Abb. 5: Prinzip der Eisfreihaltung durch Blasenbildung</p> <div data-bbox="823 1178 1366 1402" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p data-bbox="823 1189 1350 1245">Zur Formel: $Q = c_w \cdot m_w \cdot \Delta\vartheta$; $[c_w] = \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$,</p> <p data-bbox="823 1256 1366 1402">wobei Q = Wärme, die dem Stoff zugeführt oder entzogen wird, $\Delta\vartheta$ = Differenz von End- und Anfangstemperatur, m_w = Masse des Wassers, c_w = spezifische Wärmekapazität des Wassers</p> </div>

Aufgaben

- Die Beschreibung der Methode 2 ist unvollständig.
Führe die Beschreibung zu Ende (in 3 bis 4 Sätzen).
- Bildet Gruppen zu 4 Schülern. Vergleicht eure Beschreibungen. Formuliert dann gemeinsam einen Text für eine Endfassung der Beschreibung.
- Das von euch beschriebene Verfahren wird oft eingesetzt. Physikalische Grundlage ist der **Schmelzvorgang des Eises**.



Beantwortet folgende Frage: Wie viel Liter Wasser vom Grund des Sees werden benötigt, um ein Kilogramm Eis zu schmelzen? Gebt zunächst einen Schätzwert an.

Begründet dann die Antwort durch eine Rechnung.

Zur Erinnerung: Für die geforderte Wärmemenge gilt: $Q = c_w \cdot m_w \cdot \Delta\vartheta$ (siehe Formelkasten). Der Literaturwert für die spezifische Schmelzenergie von Eis ist: $Q_s = 335 \text{ J/g}$ bzw. 335 kJ/kg . Man braucht also 335 J , um 1 g Eis von 0°C in 1 g Wasser von 0°C umzuwandeln.



M 3 Ein See aus Stearin – einen Vergleich anstellen

Du weißt über die physikalischen Verhältnisse in einem See in unserer Wasserwelt Bescheid: Temperaturverteilung, Wasser und Eis, Lebewesen ... Stearin ist der Stoff, aus dem z. B. Kerzen und Seifen hergestellt werden. Stelle dir vor, es gibt eine Stearinwelt und darin einen Stearinsee. Das Stearin hat einen Schmelzpunkt von $69\text{ }^{\circ}\text{C}$. In der Stearinwelt gibt es auch Sommer und Winter. Im Sommer ist das Stearin flüssig, im Winter fest.

Vergleiche die Stearinwelt mit der Wasserwelt (Gemeinsamkeiten und Unterschiede). Fasse deine Aussagen in wenigen Sätzen in der Tabelle zusammen (Stichworte: Temperaturverteilung, Eis, Dichte ...).



Stearinkerze

© iStock/Thinkstock

Zusammenfassung: Schreib eine Zusammenfassung in dein Heft.

	Im Sommer	Im Winter
Wasserwelt		
Stearinwelt		
Zeichne einen Stearinsee (flüssiges Stearin, Stearineis, Lebewesen ... bei richtiger Temperaturverteilung)		

M 6 Tippkarten

Tipp zu M 1, Aufgabe 3

$$c_w = 4,183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}; \quad \Delta\vartheta = 4 \text{ K};$$

$$m_E = 1 \text{ kg}; \quad Q_s = 335 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$



Tipp zu M 5

Es gilt: $0 \text{ K} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$

Aus diesem Zusammenhang kannst du alle anderen Entsprechungen (z. B. durch Bildung der Differenz) herleiten, z. B. gilt:

$$\begin{array}{l} -271,15 \quad \curvearrowright \quad -2 \text{ }^\circ\text{C} = x \text{ K} \\ \quad -273,15 \text{ }^\circ\text{C} = 0 \text{ K} \end{array}$$

$-2 \text{ }^\circ\text{C} = 271,15 \text{ K}$, denn man muss von $x = 271,15 \text{ K}$ genau $271,15 \text{ K}$ abziehen, um 0 K zu erhalten.



I/C

M 7 Eine Übungsaufgabe: Recherche im Internet

Das Verfahren, eine Luftsprudelanlage zur Eisfreihaltung einzusetzen, scheint aufwendig zu sein. Könnte man Vereinfachungen vornehmen? Darüber hat sich der Bootsbesitzer, Herr P., Gedanken gemacht und postet in einem Internetforum folgende Frage:

Um mein Boot im Winter gegen Eisdruck zu schützen, will ich eine Eisfreianlage bauen. Ich stelle mir vor, einen Schlauch mit kleinen Löchern unter das Boot zu verlegen. Eine **elektrische Luftpumpe** drückt dann bei Bedarf Luft durch die Löcher. Geht es einfacher?



Abb. 10: Das Boot

© Andreas Hermsdorf/pixelio.de

Antwort eines Experten:

Den Schlauch und die Luftpumpe kannst du dir sparen. Wir machen es einfach so:

Eine **Tauchpumpe** wird unter das Boot gestellt. Das durch die Pumpe nach oben beförderte Wasser umströmt das Boot. Das Wasser rings um das Boot bleibt immer eisfrei. Dabei muss die Pumpe nicht ständig laufen. Die Betriebsdauer kannst du mit einer Zeitschaltuhr regeln.

Aufgabe

- Lies die Frage und die Antwort aufmerksam durch.
- Zeichne eine **Skizze** auf eine Folie, die die vom Experten beschriebene Anlage anschaulich darstellt.
- Stelle in einem **Kurzvortrag** die Anlage vor. Begründe dabei mit deinen physikalischen Kenntnissen, warum dieses Verfahren Erfolg hat.
- Vergleiche die Verfahren mit einer und ohne eine Luftsprudelanlage miteinander. Welche Anlage würdest du in dieser Situation einsetzen?