

Eine Luftsprudelanlage gegen Eis einsetzen – Wärmelehre

Lothar Delling, Berlin

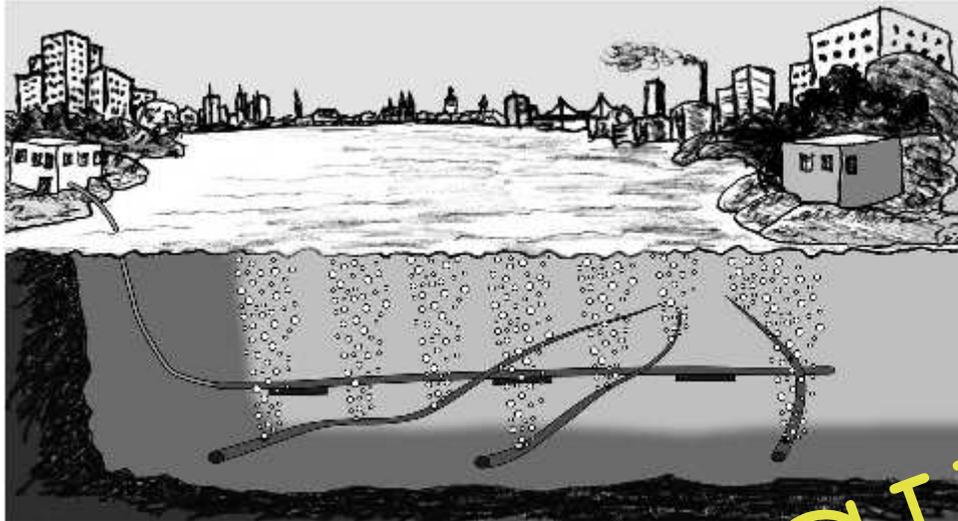


Abb. 1: Das prinzipielle Schema einer Diffusionsbelüftung zur Eisfreiheit: Eine der ältesten Aufgaben der Menschheit besteht in der Eisfreiheit von Wasserwegen. Da Wasser seine größte Dichte bei +4 °C hat, weisen die Wasserschichten an der Gewässersohle selbst bei zugefrorener Wasseroberfläche normalerweise 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/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26437>

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

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!

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.

Tipp

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



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

Methode 1



Abb. 4: Eisbrecher auf dem Stettiner Haff.

Auf dem als Eisbrecher eingesetzten Tonnenleger „Görmitz“ beobachtet am 07.01.2016 ein Bootsmann das Aufbrechen der teilweise mehr als 15 cm starken Eisdicke auf dem Stettiner Haff vor Ueckermünde (Mecklenburg-Vorpommern).

Auf rund 30 Kilometern Länge will die Crew die Fahrrinne zwischen dem Industriehafen Ueckermünde und der polnischen Grenze brechen.

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

Methode 2 (Alternative)

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 ...

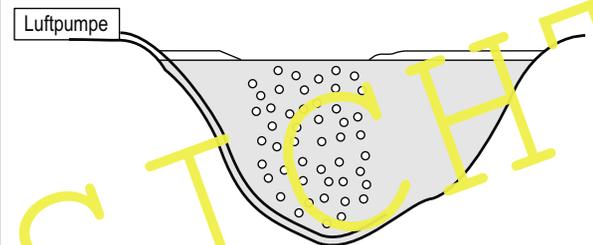


Abb. 5: Prinzip der Eisfreihaltung durch Blasenbildung

Zur Formel: $Q = c_w \cdot m_w \cdot \Delta\vartheta$; $[c_w] = \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

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

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 2 Die Wassertemperaturen in einem See

Wasser hat wie alle Stoffe bei unterschiedlichen Temperaturen eine unterschiedliche Dichte. Das bedeutet, dass ein Liter Wasser abhängig von der Temperatur unterschiedlich schwer ist. Bei steigender Temperatur wird die Dichte geringer und umgekehrt nimmt die Dichte bei fallender Temperatur zu. Die einzigartige Besonderheit des Wassers ist, dass es bei 4 °C, also in flüssigem Zustand, die **größte Dichte** hat und damit am schwersten ist. Dieses Verhalten wird als **Anomalie des Wassers** bezeichnet.

Abb. 6 und Abb. 9 zeigen die **Temperaturverteilung** in einem See im Sommer und im Winter.

Sommer

Das von der Sonne an der Oberfläche erwärmte Wasser ist leichter als das Wasser in der Tiefe und schwimmt oben. Das Wasser mit der Temperatur von 4 °C hat die größte Dichte und befindet sich am Boden des Sees. Es entsteht die dargestellte Temperaturverteilung.

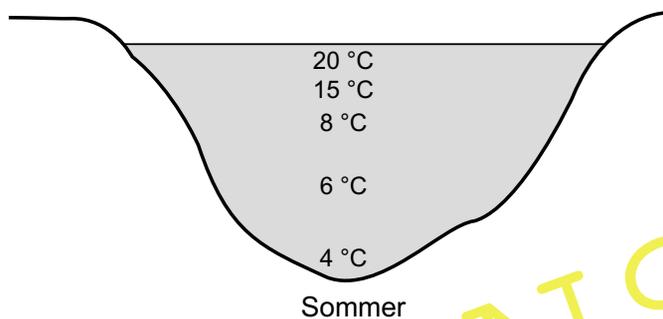


Abb. 6: Temperaturverteilung im See im Sommer

Abb. 7: Baden im See im Sommer

Winter

Im Herbst kühlt sich das Oberflächenwasser ab und erreicht allmählich eine Temperatur von 4 °C. Der See hat dann überall die gleiche Temperatur und das Wasser seine größte Dichte. Kühlt sich das Wasser im Winter an der Oberfläche weiter ab, nimmt wegen der Anomalie auch seine Dichte ab. Es wird leichter, bleibt oben und schwimmt auf dem wärmeren Wasser mit 4 °C. Bei weiterer Abkühlung wird die Dichte immer geringer und es stellt sich die im Vergleich zum Sommer **umgekehrte Temperaturverteilung** ein. Gefriert das Oberflächenwasser, bildet sich eine Eisschicht mit noch geringerer Dichte und das Eis schwimmt auf dem Wasser. Die Temperaturverteilung ist in Abb. 9 dargestellt.



Abb. 8: Schlittschuhläufer

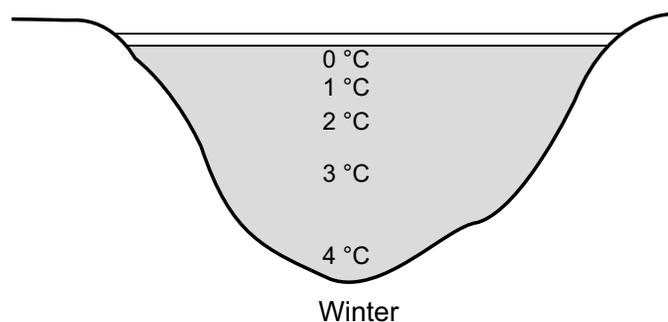


Abb. 9: Temperaturverteilung im See im Winter

M 4 Celsius in Kelvin umwandeln – ein Spiel

-2 °C	2 °C	4 °C
8 °C	23 °C	65 °C
8 K	123 K	273,15 K
284 K	302 K	380 K
10 K	32 K	70 K

I/C

VORANSICHT

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:

$$-271,15 \quad \curvearrowright \quad -2 \text{ }^\circ\text{C} = x \text{ K}$$

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

$-2 \text{ }^\circ\text{C} = 271,15 \text{ K}$, 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 Eisreihaltung einzusetzen, scheint aufwendig zu sein. Könnte man Vereinfachungen vornehmen? Darüber hat sich der Bootsbesitzer, Herr P., Gedanken gemacht und posted in einem Internetforum folgende Frage:

Um mein Boot im Winter gegen Eisdruck zu schützen, will ich eine Eisfrei-Anlage 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 Hermisdorf/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?

M 8 Die Luftsprudelanlage – teste dein Wissen!

Aufgaben

1. Eisfreihaltung bei Wasser und Stearin:

Ist das in Material **M 1** beschriebene Verfahren der Eisfreihaltung auch in der Stearinwelt einsetzbar?

Tipp Nimm Material M 1 und deine Aufzeichnungen zu Hilfe.

Ist deine Antwort „Ja“, begründe (2 bis 3 Sätze). Wenn sie „Nein“ ist, beschreibe ein Verfahren, das in der Stearinwelt eine Fahrrinne eisfrei hält, und begründe.

2. Hier ein Text eines Verlages über eine Eisfreihalteanlage und eine physikalische Erklärung der Funktionsweise der Anlage:

Text zur Eisfreihalteanlage	Funktionsweise der Anlage (Erklärung)
<p>Seen gefrieren im Winter immer an der <u>Oberfläche</u>. Bei strengem Frost wird die Eisschicht immer dicker und sie kann schließlich den Grund des Sees erreichen. Wichtige Verbindungswege und Anlagen, wie Fährwege, Schleusen und Wehre, müssen eisfrei gehalten werden. Auch im Wasser liegende Boote muss man vor Eisdruck schützen. Dies wird oft durch Luftsprudelanlagen erreicht. Im See verlegt man Schläuche mit kleiner Öffnungen, durch die Luft gepumpt wird. Die aufsteigenden Luftblasen bringen das Eis zum Schmelzen und halten das Wasser in einem See oder einen Fluss eisfrei.</p>	<p>Da Wasser bei 4 °C seine größte Dichte hat, befindet es sich am Boden des Sees. Wasser mit einer Temperatur von etwa 1 °C oder 2 °C hat eine geringere Dichte und steigt nach oben. Wasser mit einer Temperatur von 4 °C sinkt nach unten. So hat die Oberfläche des Wassers eine niedrigere Temperatur als am Boden und gefriert zuerst. Begünstigt wird die Abkühlung der Oberfläche durch Luftbewegung über der Oberfläche und Wärmeabgabe durch Wärmestrahlung. Die Luft in den Schläuchen nimmt die Temperatur von 4 °C des umgebenden Wassers an. Die aufsteigenden Luftblasen bewirken, dass das darüber liegende Eis mit einer Temperatur von 0 °C und weniger schmilzt oder dass das Wasser nicht gefriert.</p>

- a) Lies den Text. Wie können die Luftblasen die Eisbildung verhindern? Beantworte die Frage auf der Grundlage deiner physikalischen Kenntnisse schriftlich.
- b) Lies den Text noch einmal kritisch. Überlege, ob sich Textteile besser formulieren lassen. Schreibe eine eigene Version des Textes.
- c) Vergleiche die gegebene Erklärung der Funktionsweise mit deiner eigenen.

Gibt es Übereinstimmungen oder Unterschiede?

Formuliere diesen Textteil neu, sodass eine physikalisch saubere und verständliche Erklärung als Endfassung entsteht.

Tipp

Überprüfe auch den linken Textteil und deine unter 2. erstellte vorläufige eigene Version. Lässt sich der Text verbessern?

- d) Schreibe einen **Leserbrief** an den Verlag, in dem du die Kritikpunkte benennst und zur Begründung deine Version anbietest.

Erläuterungen und Lösungen

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

1. und 2. Fortsetzung der Beschreibung etwa so:

Wenn dann der Frost beginnt und der See zufriert, muss die Fahrrinne eisfrei gemacht werden. Durch die Schläuche wird Luft gepumpt, die durch die kleinen Öffnungen entweicht. Die Luft steigt nach oben. Dabei treibt sie warmes Wasser vom Grund des Sees mit nach oben. Dieses Wasser hat eine Temperatur von 4 °C und lässt das Eis schmelzen bzw. verhindert, dass der See in der Fahrrinne zufriert.

3. Plausible Annahmen:

- Am Boden des Sees hat das Wasser eine Temperatur von 4 °C.
- Das schmelzende Eis hat eine Temperatur von 0 °C.
- Formel: $Q = c_w \cdot m_w \cdot \Delta\vartheta$ für die zu liefernde Wärmeenergie und $Q_s = 335 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ für die geforderte Schmelzwärme von Eis

Rechnung:

Dann ist die folgende einfache **Energiebilanz** möglich: Die vom Tiefenwasser zu liefernde Wärme deckt den Bedarf für den Schmelzvorgang:

$$c_w \cdot m_w \cdot \Delta\vartheta = m_E \cdot Q_s \quad (1)$$

Hieraus und mit den gegebenen Werten kann m_w berechnet werden:⁴

$$c_w = 4,183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}; \quad \Delta\vartheta = 4 \text{ K}; \quad m_E = 1 \text{ kg}; \quad Q_s = 335 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$(1) \text{ umgeformt: } m_w = \frac{m_E \cdot Q_s}{c_w \cdot \Delta\vartheta} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{335 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{4,183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 4 \text{ K}} \approx 20 \text{ kg}$$

20 kg Wasser entsprechen etwa 2 vollen Eimern.

Bemerkung: In der **Realität** werden diese Anlagen eingesetzt, um zu verhindern, dass Wasser gefriert. Ist es einmal gefroren, ist diese Anlagenart nicht mehr sinnvoll, wie man auch anhand der Lösung der Rechenaufgabe sieht.

Auch „**Je – desto**“-**Betrachtungen** sind möglich. Ihre Schüler sollen zur Übung und zur Vorbereitung der Erweiterungen die Gleichungen interpretieren.

Beispiel: Je größer $\Delta\vartheta$, desto kleiner m_w .

Unter der Annahme, dass sich die größte Dichte nicht bei 4 °C, sondern bei 8 °C einstellt, gilt allgemein: Wenn sich $\Delta\vartheta$ verdoppelt, muss keine neue Rechnung durchgeführt werden. Es genügt, mit der **umgekehrten Proportionalität** zu argumentieren. Dazu wird die Gleichung (1) so umgeformt, dass die beiden variablen Größen auf der einen Seite und die Konstanten auf der anderen Seite stehen:

$$m_w \cdot \Delta\vartheta = \frac{m_E \cdot Q_s}{c_w}, \text{ allgemeine Form: } \bullet \cdot \blacksquare = \textcircled{\bullet}, \text{ wobei } \textcircled{\bullet} \text{ konstant ist.}$$

Verdoppelt sich \bullet , muss \blacksquare halbiert werden (siehe Erweiterung 1.3 zu **M 1** auf **CD-ROM 46**).

Bei 8 °C wären nur noch 10 l Wasser nötig.

⁴ http://www.chemie.de/lexikon/Spezifische_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4t.html