

## II.F.24

Energetik – chemisches Gleichgewicht – Kinetik

# Schmelztemperaturen wässriger Lösungen – Molare Masse, Isotonie und latente Wärme

Hubert Giar



© RAABE 2024

© stsmhn/iStock/Getty Images Plus

Das Gefrieren des Wassers bei frostigen Temperaturen führt in vielen Bereichen des Alltags zu großen Problemen. Dem Wasser zugesetzte Frostschutzmittel verhindern die Eisbildung auf Straßen und Gehwegen und schützen geschlossene Rohrleitungssysteme. Die zugrunde liegende Gesetzmäßigkeit ist die im Vergleich zum reinen Lösungsmittel niedrigere Schmelztemperatur der Lösung. Da diese Gefrierpunktniedrigung von der Menge – aber nicht von der Art des gelösten Stoffes abhängig ist, lassen sich mit einfachen Versuchen molare Massen, Osmolaritäten und Schmelzenthalpien bestimmen.

---

### KOMPETENZPROFIL

Klassensstufe: 10/12 (G8), 11/13 (G9)

Dauer: 7 Unterrichtsstunden (Doppelstunden)

Kompetenzen: 1. Naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten und Theorien fachspezifisch beschreiben, anwenden und überprüfen; 2. Experimente nach Anleitung durchführen, beschreiben und auswerten; 3. Sachverhalte in naturwissenschaftlichen Zusammenhängen bewerten; 4. Einsatz und Wirkung in der alltäglichen Anwendung reflektieren und beurteilen.

Inhalt: Mehrwertige Alkohole, Löslichkeit, Aggregatzustände, Konzentration, Isotonie, Schmelz- und Verdampfungsenthalpien, sensible und latente Wärme, Reaktionskinetik

---

## Auf einen Blick

### Vorbemerkungen

Die GBU zu den verschiedenen Versuchen finden Sie als **Download**.

### 1./2. Stunde

**Thema:** Wasser und Eis

**M 1** Frostschutzmittel

**Dauer:** **Vorbereitung:** 30 min, **Durchführung:** 30 min

**Chemikalien:**

- Lösung A aus 3 g Natriumchlorid und 7 g Wasser
- Lösung B aus 3 g Ethandiol und 7 g Wasser
- Lösung C aus 3 g Glycerin (Propantriol) und 7 g Wasser
- Lösung D aus 1,2-Propandiol und 7 g Wasser

**Geräte:**

- Schutzbrille
- 5 Kunststoffpipetten (3 ml)
- Thermometer (mind. 1/10°, digital)
- Stoppuhr
- Becherglas (1 l) mit Kältemischung aus zerkleinertem Eis und Natriumchlorid (etwa -10 °C)

**M 2** Gefrierpunktserniedrigung

**Dauer:** **Vorbereitung:** 30 min, **Durchführung:** 30 min

**Chemikalien:**

- Lösung A aus 0,5 g Glycerin (Propantriol) und 10 g Wasser
- Lösung B aus 0,8 g Glycerin (Propantriol) und 10 g Wasser
- Lösung C aus 1,1 g Glycerin (Propantriol) und 10 g Wasser
- Lösung D aus 1,4 g Glycerin (Propantriol) und 10 g Wasser

**Geräte:**

- Schutzbrille
- Stativ mit 2 Klemmen und 2 Muffen
- 4 Kunststoffpipetten (3 ml)
- Thermometer (mind. 1/10°, digital)
- Wasserbad (1 l) mit 5 °C
- Becherglas (1 l) mit Kältemischung aus zerkleinertem Eis und Natriumchlorid (etwa -15 °C)
- Stoppuhr

## 3./4. Stunde

Thema: Bestimmungen

M 3 Molare Masse

Dauer: Vorbereitung: 30 min, Durchführung: 30 min

Chemikalien:  1-g-Probe eines weißen kristallinen Stoffes (X) in einem 50-ml-Erlenmeyerkolben

Geräte:  Schutzbrille  Wasserbad (1 l) mit 5 °C  
 Waage oder Messzylinder (10 ml)  Becherglas (1 l) mit Kältemischung aus zerkleinertem Eis und Natriumchlorid (etwa -15 °C)  
 Stativ mit 2 Klemmen und 2 Muffen  Stoppuhr  
 1 Kunststoffpipette (3 ml)  Thermometer (mind. 1/10°, digital)

M 4 Osmolarität

Dauer: Vorbereitung: 30 min, Durchführung: 40 min

Chemikalien:  Apfelsaft (Lösung A)  Emser® (Osmolaritätslösung)  
 Isotonische Limonade (CO<sub>2</sub>-frei) (Lösung B)  Glucose  
 Bier (alkoholfrei, CO<sub>2</sub>-frei) (Lösung C)  Zitronensäure 

Geräte:  Schutzbrille  Wasserbad (1 l) mit 5 °C  
 Waage  Becherglas (1 l) mit Kältemischung aus zerkleinertem Eis und Natriumchlorid (etwa -15 °C)  
 Messkolben (100 ml)  Stoppuhr  
 Stativ mit 2 Klemmen und 2 Muffen  Thermometer (mind. 1/10°, digital)  
 6 Kunststoffpipetten (3 ml)

## 5. bis 7. Stunde

Thema: Schmelzen und Erstarren

M 5 Schmelzenthalpie

Dauer: Vorbereitung: 30 min, Durchführung: 40 min

Chemikalien:  Eis (zerkleinert)

Geräte:  Schutzbrille  Papiertücher  
 Waage  Wasserkocher  
 Schüssel (1 l)  Dewargefäß mit bekanntem Wasserwert  
 Thermometer (mind. 1/10°, digital)  Magnetrührer mit Rührfisch

M 6 Speiseeis



- Dauer:** **Vorbereitung:** 20 min, **Durchführung:** 40 min
- Chemikalien:**  Eis (zerkleinert)  100 g Erdbeersahnejoghurt  
 Speisesalz  10 g Erdbeermarmelade
- Geräte:**  Schutzbrille  Thermometer (mind. 1/10°, digital)  
 Kunststoffschüssel (3 l)  Metallschüssel (500 ml)  2 Rührstäbe

**M 7** Latente Wärme

- Dauer:** **Vorbereitung:** 30 min, **Durchführung:** 40 min
- Chemikalien:**  Lösung aus 10 g Natriumchlorid und 50 g Wasser in einem 60-ml Schnappdeckelglas aus der Kältebox (Tempera-  
 tur  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- Geräte:**  Schutzbrille  Thermometer (mind. 1/10°, digital)  
 Dewargefäß (300 ml) mit bekanntem Wasserwert  Waage

## 8. Stunde



- Thema:** **Wasser und Wasserdampf**
- M 8** Siedepunktserhöhung
- Dauer:** **Vorbereitung:** 30 min, **Durchführung:** 40 min
- Chemikalien:**  Natriumchlorid
- Geräte:**  Schutzbrille  Luftpöher mit Schliff  
 Waage, Digital  Heizpilz  
 Rechenglas (250 ml)  Magnetrührer mit Rührfisch  
 Ständer mit Klemme und Muffe  Thermometer (mind. 1/10°, digital) mit Schliffadapter  
 Zweifelsrundkolben (250 ml) mit Schliff  Stoppuhr

## Gefrierpunktserniedrigung

M 2

Die Gefrierpunktserniedrigung ( $\Delta T_m$ ) ist der Unterschied der Schmelztemperatur der Lösung ( $T_{m2}$ ) zur Schmelztemperatur des reinen Lösungsmittels ( $T_{m1}$ ):  $\Delta T_m = T_{m2} - T_{m1}$ . Sie wird in Kelvin (K) angegeben. Die Schmelztemperatur eines Stoffes entspricht seinem Gefrierpunkt, auch Schmelz-, Erstarrungs- oder Festpunkt genannt. Die Gefrierpunktserniedrigung ist größer, wenn eine größere Menge eines Stoffes in einer bestimmten Menge Lösungsmittel gelöst ist. Für die Menge des Stoffes in einer bestimmten Menge Lösungsmittel wird statt der Stoffmengenkonzentration die Molalität verwendet, also der Quotient aus der Stoffmenge des gelösten Stoffes ( $n$ ) und der Masse des Lösungsmittels ( $m_l$ ):  $b = n/m_l$  in mol/kg. Die Gefrierpunktserniedrigung ( $\Delta T_m$ ) ist bei relativ stark verdünnten Lösungen zur Molalität proportional. Der Proportionalitätsfaktor ist eine für das Lösungsmittel spezifische Größe, die kryoskopische Konstante ( $K_k$ ):  $\Delta T_m = K_k \cdot b$ .

Die Gefrierpunktserniedrigung ( $\Delta T_m$ ) ist unabhängig von der Art des gelösten Stoffes. Das bedeutet, dass die Lösung eines jeden Stoffes in einem bestimmten Lösungsmittel bei gleicher Molalität die gleiche Gefrierpunktserniedrigung aufweist. Die Gefrierpunktserniedrigung ist damit eine kolligative Eigenschaft (*colligere* (lat.) sammeln), die also nur von der Teilchenzahl, nicht aber von der Art der Teilchen abhängt. Bei Salzen ist zu beachten, dass die Stoffmengen aller Ionen beachtet werden muss. Zum Beispiel liefert ein mol Natriumchlorid zwei mol Ionen.

In dem folgenden Versuch soll die kryoskopische Konstante von Wasser bestimmt werden.

### Schülerversuch: Bestimmung der kryoskopischen Konstante

Vorbereitung: 30 min, Durchführung: 30 min

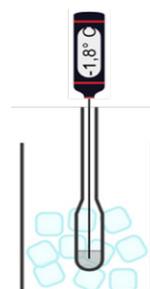


Chemikalien	Geräte	
<input type="checkbox"/> Lösung A aus 0,5 g Glycerin (Propantriol) und 10 g Wasser	<input type="checkbox"/> Schutzbrille	<input type="checkbox"/> Wasserbad (1 l) mit 5 °C
<input type="checkbox"/> Lösung B aus 0,8 g Glycerin (Propantriol) und 10 g Wasser	<input type="checkbox"/> Stativ mit 2 Klemmen und 2 Muffen	<input type="checkbox"/> Becherglas (1 l) mit Kältemischung aus zerkleinertem Eis und Natriumchlorid (etwa -15 °C)
<input type="checkbox"/> Lösung C aus 1,1 g Glycerin (Propantriol) und 10 g Wasser	<input type="checkbox"/> 4 Kunststoffpipetten (1 ml)	<input type="checkbox"/> Stoppuhr
<input type="checkbox"/> Lösung D aus 1,4 g Glycerin (Propantriol) und 10 g Wasser	<input type="checkbox"/> Thermometer (mind. 1/10 °C, digital)	

**Entsorgung:** Neutrale Lösungen in Abwasser

### Versuchsdurchführung

Jede der vier mit A, B, C und D markierten Kunststoffpipetten wird mit 1 ml der entsprechenden Lösung so befüllt, dass sich diese im Bauch der Pipette befindet. Durch den aufgekürzten, halbierten Teil der Pipette wird das Thermometer so eingeführt, dass das Ende der Lösung eintaucht und weder Boden noch Rand berührt. Die Probe wird im Wasserbad bei 5 °C vorgekühlt und dann in die Kältemischung eingetaucht. Dabei wird die Pipette mit Thermometer mit Klemmen und Muffen am Stativ fixiert. Die Stoppuhr wird gestartet und die Temperatur zum Zeitpunkt 0 sowie nach 5 Sekunden abgelesen und protokolliert. Sobald die Temperatur nach einem zwischenzeitlichen Anstieg wieder sinkt, ist die Messung beendet. Die Temperatur an dem relativen Maximum entspricht der Schmelztemperatur ( $T_{m2}$ ) der Lösung. Die Schmelztemperaturbestimmungen der Proben B, C und D erfolgen analog.



Grafik erstellt mit <https://chemix.org>

**Aufgaben**

1. Nach dem Eintauchen in die Kältemischung sinkt die Temperatur der Probe deutlich unter die Schmelztemperatur. Es liegt eine unterkühlte Flüssigkeit vor. Aus dieser erstarrt die Probe relativ spontan. Da dieser Übergang von flüssig nach fest exotherm verläuft, wird Wärmeenergie freigesetzt und die Temperatur steigt wieder an, exakt bis zur Schmelztemperatur der Probe. Anschließend sinkt die Temperatur wieder, da die Probe nach wie vor in die Kältemischung eintaucht.

Die Schmelztemperatur des Wassers wird mit 0 °C angenommen. Der Temperaturunterschied ( $\Delta\vartheta_m$ ) entspricht der gemessenen Temperatur ( $\vartheta_m$ ):  $\Delta\vartheta_m = \vartheta_m - 0$ . Die Gefrierpunktserniedrigung in Kelvin ( $\Delta T_m$  in K) hat denselben Betrag wie der Temperaturunterschied in °C:  $\Delta T_m = |\Delta\vartheta_m| \text{ K/}^\circ\text{C}$

- a) **Ergänzen** Sie in der Tabelle die gemessenen Gefrierpunktserniedrigungen.

**Berechnen** Sie aus den Massen von Glycerin und Wasser die Molalitäten der Lösungen. **Ergänzen** Sie die Werte in der Tabelle.

Lösung	A	B	C	D
$\Delta T_m$				
b				

- b) **Tragen** Sie in einem Koordinatensystem mit b als Abszisse und  $\Delta T_m$  als Ordinate die vier Wertepaare  $b/\Delta T_m$  ein.
  - c) **Erläutern** Sie, ob sich die lineare Abhängigkeit von b und  $\Delta T_m$  bestätigt.
  - d) **Berechnen** Sie schließlich die kryoskopische Konstante ( $K_f$ ). Diese entspricht der Steigung der Geraden (ggf. der Ausgleichsgeraden).
2. In einem Labor werden mit einem Kryometer die Gefrierpunktserniedrigungen ( $\Delta T_m$ ) verschiedener Natriumchlorid-Lösungen gemessen. Ein Kryometer ist ein wissenschaftliches Gerät, das nach demselben Prinzip funktioniert wie der Versuchsaufbau. Es kommt mit deutlich kleineren Proben aus und misst die Temperaturänderungen noch genauer. Die Kühlung erfolgt mit einem Kühlaggregat. Auch hinsichtlich weiterer technischer Details liefert das Gerät sehr exakte Messwerte. In der Tabelle sind die Zusammensetzungen der Lösungen und die gemessenen Gefrierpunktserniedrigungen ( $\Delta T_m$ ) angegeben.

- a) **Berechnen** Sie die Molalitäten und **ergänzen** Sie die Werte in der Tabelle.

Lösung	D	E	F	G	H
Zusammensetzung	0,05 g NaCl in 10 g Wasser	0,1 g NaCl in 10 g Wasser	0,15 g NaCl in 10 g Wasser	0,2 g NaCl in 10 g Wasser	0,25 g NaCl in 10 g Wasser
$\Delta T_m$	-0,32 K	-0,63 K	-0,95 K	-1,27 K	-1,58 K

- b) **Berechnen** Sie die kryoskopische Konstante von Wasser ( $K_f$ ). **Vergleichen** Sie den Wert mit dem Wert aus Aufgabe 1.

## M 6

## Speiseeis

Die theoretische Grundlage zur Herstellung von Kältemischungen ist der Verbrauch an Wärmeenergie beim Übergang von Eis zu Wasser (Schmelzenthalpie) und der Verbrauch an Wärmeenergie beim Lösungsvorgang von Salz zu Salzlösung (Lösungsenthalpie).

Aus Eis und Salz wird unter Verbrauch von Wärmeenergie eine wässrige Lösung gebildet, die bei einer tieferen Temperatur erstarrt als reines Wasser (Gefrierpunktniedrigung). Diese Wärmeenergie wird dem Gefäß, der Umgebungsluft, einer eingetauchten Probe entzogen, abgeführt und in die Lösung und dem Eis. In der Folge kühlt die Mischung ab.



## Schülerversuch: Herstellen von Speiseeis

Vorbereitung: 20 min, Durchführung: 40 min

Chemikalien	Geräte
<input type="checkbox"/> Eis (zerkleinert)	<input type="checkbox"/> Schutzbrille
<input type="checkbox"/> Speisesalz	<input type="checkbox"/> Kunststoffschüssel (3 l)
<input type="checkbox"/> 100 g Erdbeersahnejoghurt	<input type="checkbox"/> Metallschüssel (500 ml)
<input type="checkbox"/> 10 g Erdbeermarmelade	<input type="checkbox"/> Thermometer (mind. 1/10°, digital)
<b>Entsorgung:</b> Neutrale Lösungen in den Abfluss	

## Versuchsdurchführung

Die Geräte, der Joghurt und die Marmelade werden im Kühlschrank vorgekühlt. In die Kunststoffschüssel kommt etwa 1 kg zerhacktes Eis. Die Temperatur des Eises wird gemessen, ebenso die Temperatur des Salzes. Unter ständigem Rühren wird das Eis portionsweise mit 300 g Kochsalz versetzt. Die Metallschüssel mit dem Joghurt und der Marmelade wird in die Eis-Kochsalz-Mischung eingebettet. Das Zutatengemisch wird intensiv gerührt. Ist die Konsistenz des Gemisches in der Metallschüssel noch cremartig, aber nicht mehr fließend, ist der Versuch beendet. Die Temperaturen der Kältemischung und des Produktes in der Metallschüssel werden bestimmt.

## Aufgaben

- Geben Sie die gemessenen Temperaturen ( $\vartheta$ ) an.
  - Beschreiben Sie das entstandene Produkt.
- Die Herstellung einer Kältemischung werden in einer gut isolierten Schüssel 100 g Wasser mit 20 g Eis und 10 g Natriumchlorid, alle mit der Temperatur 0 °C, eingesetzt. Berechnen Sie die Temperatur der Kältemischung.  
Angaben: Die Schmelzenthalpie von Wasser ( $\Delta H_{\text{fus}}$ ) beträgt 5998 J/mol, die Lösungsenthalpie von Natriumchlorid ( $\Delta H_{\text{sol}}$ ) 3890 J/mol. Die spezifische Wärmekapazität der Salzlösung ( $c$ ) wird hier mit 4,2 J/(g·K) angenommen, die Wärmekapazität der Schüssel inklusive Rührstab mit 20 J/K.
- Auf einen mit einer dünnen Eisschicht überzogenen Bürgersteig wird Streusalz aufgebracht. Bei gleichbleibender Lufttemperatur ist nach kurzer Zeit das Eis geschmolzen und „Schmelzwasser“ ist entstanden.  
**Beurteilen** Sie, ob die Temperatur des „Schmelzwassers“ im Vergleich zum vorher vorliegenden Eis höher oder niedriger ist oder gleich bleibt.