

Gemeinsame Abituraufgabenpools der Länder

Beispielaufgaben

Aufgabe für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Die Chemie der selbsterhitzenden Getränkebecher
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	♦ Stoffe, Strukturen, Eigenschaften ♦ Strukturen ausgewählter organischer und anorganischer Stoffe ♦ intermolekulare Wechselwirkungen ♦ Ionengitter ♦ Chemische Reaktionen ♦ Energetische und kinetische Aspekte chemischer Reaktionen ♦ Enthalpie ♦ Satz von Hess ♦ 2. Hauptsatz der Thermodynamik ♦ Entropie ♦ freie Enthalpie ♦ Gibbs-Helmholtz-Gleichung
Materialien	♦ M 1 Selbsterhitzende Getränkebecher ♦ M 2 Calciumchlorid ♦ Anhang: Thermodynamische Standardgrößen
Quellenangaben	♦ M 2 und Anhang: Aylward, G.H.; Findlay, T.J.V. (2014). <i>Datensammlung Chemie in SI-Einheiten</i>. Vierte, bearbeitete und erweiterte Auflage. Weinheim, WILEY-VCH Verlag. ♦ Alle Materialien und Abbildungen wurden im Auftrag des IQB erstellt.
Hilfsmittel	♦ Taschenrechner
zusätzliche inhaltliche und methodische Voraussetzungen	♦ Ionensubstanzen mit Kristallwasser ♦ energetische Aspekte des Lösens von Ionensubstanzen: Lösungs-, Gitter-, Hydratationsenthalpie ♦ Anwendung: Gibbs-Helmholtz-Gleichung und Satz von Hess
fachpraktischer Anteil	ja ☐ nein ☒ Zeitzuschlag: -
Hinweise	♦ Hinweise zum Anforderungsniveau

1 Aufgabe

Die Chemie der selbsterhitzenden Getränkebecher

In Outdoor-Geschäften gibt es ein interessantes Angebot: selbsterhitzende Getränkebecher. Es richtet sich zum Beispiel an Bergwandernde, die eine Rast in der Natur einlegen und dabei gern einen Becher heißen Kaffee trinken möchten. In dieser Aufgabe geht es um die Chemie und Funktionsweise selbsterhitzender Getränkebecher.

- | | B
E |
|--|----------------|
| 1 Beschreiben Sie den Lösevorgang einer Ionensubstanz auf der Teilchenebene. Erklären Sie die Funktionsweise eines selbsterhitzenden Getränkebechers (M 1). | 8 |
| 2 Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für
<ul style="list-style-type: none"> ♦ die Bildung von Calciumchloridhexahydrat, ♦ das Lösen von Calciumchloridhexahydrat und ♦ das Lösen von wasserfreiem Calciumchlorid. Berechnen Sie jeweils die molare Standardreaktionsenthalpie. Entscheiden Sie begründet, welches Calciumchlorid in selbsterhitzenden Getränkebechern zum Einsatz kommt (M 1 und M 2). | 10 |
| 3 Erklären Sie den unterschiedlich gerichteten Wärmeaustausch beim Lösen von wasserfreiem Calciumchlorid und Calciumchlorid-Hexahydrat. | 6 |
| 4 Diskutieren Sie auf der Grundlage einer weiteren Berechnung den Einfluss von Enthalpie und Entropie auf die Freiwilligkeit des Lösevorgangs von wasserfreiem Calciumchlorid.
Belegen Sie mithilfe der Gibbs-Helmholtz-Gleichung die Freiwilligkeit des Lösevorgangs bei einer Temperatur von 15 °C. | 10 |
| 5 Beurteilen Sie die Hinweise zur Lagerung und zum Gebrauch von selbsterhitzenden Getränkebechern auf der Basis von Calciumchlorid (M 1). | 6 |

2 Material

Material 1

Aufbau und Funktionsweise eines selbsterhitzenden Getränkebechers

Die Becher bestehen oft aus einer mit Kunststoff ummantelten Blechdose, deren Innenraum in mehrere Kammern gegliedert ist. Dies ermöglicht eine Erwärmung zur gewünschten Zeit. Dieser Wärmeentwicklung liegt eine chemische Reaktion zugrunde. Das Salz Calciumchlorid und Wasser befinden sich in zwei durch eine dünne Folie getrennten Kammern im unteren Teil des Bechers.

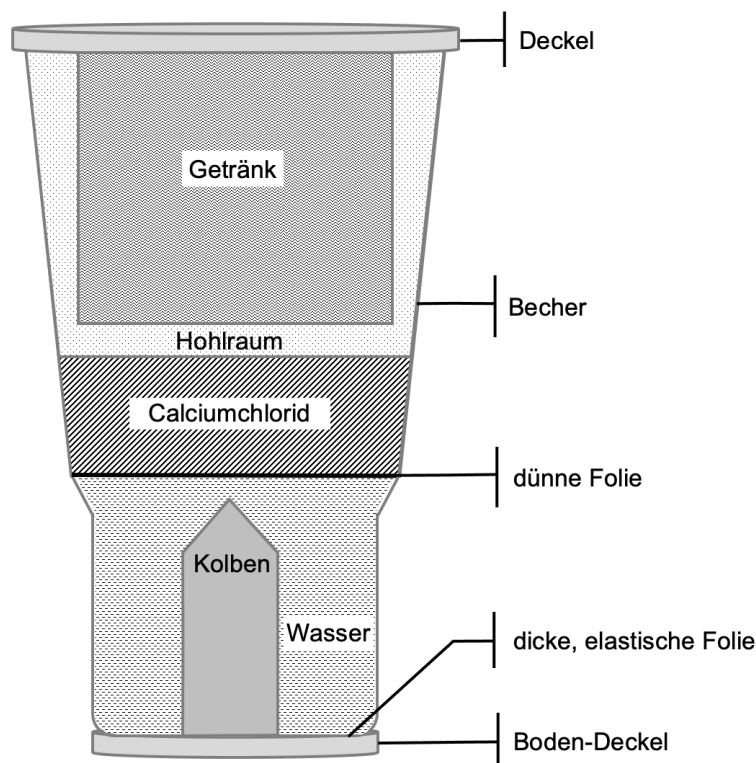


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines Selbsterhitzenden Bechers, IQB

Die Benutzung selbsterhitzender Getränkebecher ist einfach:

- ◆ Becher umdrehen,
- ◆ Boden-Deckel öffnen,
- ◆ dicke, elastische Folie nach unten eindrücken,
- ◆ kräftig schütteln,
- ◆ umdrehen,
- ◆ 3 Minuten warten,
- ◆ Deckel öffnen und genießen!

Hinweise zur Lagerung und zum Gebrauch:

1. Lagern Sie den Getränkebecher in trockener Umgebung.
2. Verhindern Sie direkte Sonneneinstrahlung oder eine Überhitzung von mehr als 60 °C.
3. Äußerlich beschädigte Getränkebecher (z. B. Risse) nicht mehr verwenden, im Hausmüll entsorgen.

Material 2

Calciumchlorid

Calciumchlorid kommt in der Natur in Kochsalz-Solen gelöst vor. In Reinform bildet es farblose Kristalle.

Wasserfreies, festes Calciumchlorid ist stark hygroskopisch. Das heißt, es reagiert mit der Luftfeuchtigkeit und bildet festes Calciumchlorid-Hexahydrat. In diesen Kristallen ist jede CaCl_2 -Einheit von einer Hydrathülle aus 6 Wasser-Molekülen umgeben.

Löst man Calciumchlorid-Hexahydrat in Wasser, führt dies, wie beim Lösen von wasserfreiem Calciumchlorid, zu einer spürbaren Temperaturveränderung.

Tab 1: Vergleich von wasserfreiem Calciumchlorid und Calciumchlorid-Hexahydrat

	wasserfreies Calciumchlorid	Calciumchlorid-Hexahydrat
Formel	CaCl_2	$\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
Aggregatzustand bei 25 °C	fest	fest
Molare Masse M in $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$	111,0	219,1
Dichte ρ in $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	2,1	1,7

Quelle: Aylward, G.H.; Findlay, T.J.V. (2014). *Datensammlung Chemie in SI-Einheiten*. Vierte, bearbeitete und erweiterte Auflage. Weinheim, WILEY-VCH Verlag, S. 32.

Anhang:

Thermodynamische Standardgrößen

Tabellierungsbedingungen für molare Standardgrößen: 25 °C (298 K) und 101,3 kPa;

$\Delta_f H_m^0$: molare Standardbildungsenthalpie; $\Delta_f G_m^0$: molare freie Standardbildungsenthalpie;

ΔS_m^0 : molare Standardentropie; (s) fest; (l) flüssig; (g) gasförmig; (aq) hydratisiert.

Name	Formel	Aggre- gatzu- stand bei 25 °C	$\Delta_f H_m^0$ in kJ · mol ⁻¹	$\Delta_f G_m^0$ in kJ · mol ⁻¹	ΔS_m^0 in J · mol ⁻¹ · K ⁻¹
Calcium-Ionen	Ca ²⁺	aq	-543	-553	-56
Calciumcarbonat	CaCO ₃	s	-1207	-1129	93
Calciumchlorid	CaCl ₂	s	-796	-748	105
Calciumchlorid-Hexahydrat	CaCl ₂ · 6 H ₂ O	s	-2608	*	*
Chlor	Cl ₂	g	0	0	223
Chlor-Atome	Cl	g	121	105	165
Chlorid-Ionen	Cl ⁻	aq	-167	-131	57
Wasser	H ₂ O	g	-242	-229	189
Wasser	H ₂ O	l	-286	-237	70

* Es existieren keine tabellierten Werte.

Quelle: Aylward, G.H.; Findlay, T.J.V. (2014). *Datensammlung Chemie in SI-Einheiten*. Vierte, bearbeitete und erweiterte Auflage. Weinheim, WILEY-VCH Verlag.

3 Erwartungshorizont

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.

		BE/AFB		
		I	II	III
1	<i>Beschreiben Sie den Lösevorgang einer Ionensubstanz auf der Teilchenebene.</i> <i>Erklären Sie die Funktionsweise eines selbsterhitzenden Getränkebechers (M1).</i> Die Lernenden ... S 3 interpretieren Phänomene der Stoff- und Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen; S 6 unterscheiden konsequent zwischen Stoff- und Teilchenebene; E 1 leiten chemische Sachverhalte aus Alltagssituationen ab; K 6 unterscheiden zwischen Alltags- und Fachsprache. <i>Die Beschreibung erfolgt sachlogisch auf Teilchenebene und unter Verwendung der Fachbegriffe, sodass der Lösevorgang gut nachvollziehbar ist.</i> ♦ polare Wassermoleküle greifen Ionengitter an → Ion-Dipol-Wechselwirkungen → einzelne Ionen werden aus ihrer Gitterposition herausgezogen → um Kationen und Anionen bildet sich eine Hydrathülle <i>Die Erklärung der Funktionsweise orientiert sich an der Reihenfolge der beschriebenen Schritte und wird durch chemische Sachverhalte, z. B. exothermer Lösevorgang, Wärmeaustausch etc. sachlogisch ergänzt.</i> ♦ Eindrücken der dicken, elastischen Folie → innerer Kolben durchstößt dünne Folie → Wasser fließt in benachbarte Kammer → Calciumchlorid löst sich exotherm → Energie wird in Form von Wärme abgegeben ♦ Getränk nimmt die abgegebene Wärme auf → Schütteln unterstützt Durchwärmung des Getränks → nimmt Zeit in Anspruch (3 Minuten warten) → Getränkeseite öffnen → Becherinhalt verzehrbereit	4		
2	<i>Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für</i> ♦ die Bildung von Calciumchloridhexahydrat, ♦ das Lösen von Calciumchloridhexahydrat und ♦ das Lösen von wasserfreiem Calciumchlorid. <i>Berechnen Sie jeweils die molare Standardreaktionsenthalpie. Entscheiden Sie begründet, welches Calciumchlorid in selbsterhitzenden Getränkebechern zum Einsatz kommt (M 1 und M 2).</i> Die Lernenden ... S 16 entwickeln Reaktionsgleichungen; S 17 wenden bekannte mathematische Verfahren auf chemische Sachverhalte an;			

	K 7 nutzen geeignete Darstellungsformen für chemische Sachverhalte [...]. Das Lösen verschiedener Salze soll in chemische Zeichensprache (Reaktionsgleichungen) überführt werden: $\text{CaCl}_{2(s)} + 6 \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}_{(s)}$ $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}_{(s)} \rightarrow \text{Ca}_{(aq)}^{2+} + 2 \text{Cl}_{(aq)}^- + 6 \text{H}_2\text{O}_{(l)}$ $\text{CaCl}_{2(s)} \rightarrow \text{Ca}_{(aq)}^{2+} + 2 \text{Cl}_{(aq)}^-$ Berechnungen: $\Delta_r H_m^0 = \sum v_i \Delta_f H_m^0(\text{Produkte}) - \sum v_i \Delta_f H_m^0(\text{Edukte})$ ♦ Bildung von Calciumchloridhexahydrat: $\Delta_r H_m^0 = \Delta_f H_m^0(\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}_{(s)}) - \Delta_f H_m^0(\text{CaCl}_{2(s)}) - 6 \cdot \Delta_f H_m^0(\text{H}_2\text{O}_{(l)})$ $\Delta_r H_m^0 = [(-2608) - (-796) - 6 \cdot (-286)] \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = \mathbf{-97 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}$ ♦ Lösen von Calciumchloridhexahydrat: $\Delta_r H_m^0 = \Delta_f H_m^0(\text{Ca}_{(aq)}^{2+}) + 2 \cdot \Delta_f H_m^0(\text{Cl}_{(aq)}^-) + 6 \cdot \Delta_f H_m^0(\text{H}_2\text{O}_{(l)}) - \Delta_f H_m^0(\text{CaCl}_{2(s)})$ $\Delta_r H_m^0 = [(-543) + 2 \cdot (-167) + 6 \cdot (-286) - (-2608)] \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = \mathbf{+15 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}$ ♦ Lösen von wasserfreiem Calciumchlorid: $\Delta_r H_m^0 = \Delta_f H_m^0(\text{Ca}_{(aq)}^{2+}) + 2 \cdot \Delta_f H_m^0(\text{Cl}_{(aq)}^-) - \Delta_f H_m^0(\text{CaCl}_{2(s)})$ $\Delta_r H_m^0 = [(-543) + 2 \cdot (-167) - (-796)] \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = \mathbf{-81 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}$ Nur wasserfreies Calciumchlorid kann in selbsterhitzenden Getränkebechern zum Einsatz kommen, da nur dieser Lösevorgang exotherm verläuft und die zum Erwärmen notwendige Energie liefert.		3	
3	<i>Erklären Sie den unterschiedlich gerichteten Wärmeaustausch beim Lösen von wasserfreiem Calciumchlorid und Calciumchloridhexahydrat.</i> Die Lernenden ... S 12 deuten Stoff- und Energieumwandlungen hinsichtlich [...] des Umbaus chemischer Bindungen; S 13 nutzen Modelle zur chemischen Bindung und zu [...] intermolekularen Wechselwirkungen; E 7 wählen geeignete [...] Denkmodelle [...] aus und nutzen sie, um chemische Fragestellungen zu bearbeiten; K 8 strukturieren und interpretieren ausgewählte Informationen und leiten Schlussfolgerungen ab; K 10 erklären chemische Sachverhalte und argumentieren fachlich schlüssig. ♦ Die Erklärung <i>erfolgt sachlogisch</i> und basiert auf dem Satz von Hess, wobei der Zusammenhang zwischen Gitterenthalpie, Hydratationsenthalpie und der Lösungsenthalpie als Gesamtwärmesumme zum Ausdruck gebracht wird.		5	2

	♦ Lösungsenthalpie = Gitterenthalpie + Hydratationsenthalpie $\Delta_L H = +\Delta_G H + (-\Delta_H H)$ ♦ (Hinweis: Dies soll verbal-sprachlich unter Verwendung der Fachbegriffe geschehen.) Die Gitterenthalpien ändern sich geringfügig. Die Ursache liegt hauptsächlich in der Hydratation. Wasserhaltiges Calciumchlorid gibt weniger Energie bei der Hydratation ab, da das Salz schon teilweise durch das vorhandene Wasser hydratisiert ist. $\Delta_L H (\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}) > 0, \text{ da } \Delta_G H > \Delta_H H \text{ beziehungsweise}$ $\Delta_L H (\text{CaCl}_2) < 0, \text{ da } \Delta_G H < \Delta_H H .$			6	
4	Diskutieren Sie auf der Grundlage einer weiteren Berechnung den Einfluss von Enthalpie und Entropie auf die Freiwilligkeit des Lösevorgangs von wasserfreiem Calciumchlorid. Belegen Sie mithilfe der Gibbs-Helmholtz-Gleichung die Freiwilligkeit des Lösevorgangs bei einer Temperatur von 15 °C. Die Lernenden ... S 3 interpretieren Phänomene der Stoff- und Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen; S 17 wenden bekannte mathematische Verfahren auf chemische Sachverhalte an. ♦ Berechnung der Entropieänderung beim Lösen von wasserfreiem Calciumchlorid: $\Delta S_m^0 = \sum v_i S_m^0(\text{Produkte}) - \sum v_i S_m^0(\text{Edukte})$ $\Delta S_m^0 = S_m^0(\text{Ca}_{(\text{aq})}^{2+}) + 2 \cdot S_m^0(\text{Cl}_{(\text{aq})}^-) - S_m^0(\text{CaCl}_{2(\text{s})})$ $\Delta S_m^0 = [(-56) + 2 \cdot 57 - 105] \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = -47 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ♦ Die Diskussion führt beide Triebkräfte chemischer Reaktionen an und verknüpft sie mit den entsprechenden Werten. $\Delta_r H_m^0 = -81 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ und } \Delta S_m^0 = -47 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ Ein Vergleich der Vorzeichen von Enthalpie- und Entropieänderung bringt die Gegenläufigkeit der Triebkräfte hervor. ♦ Berechnung mithilfe der Gibbs-Helmholtz-Gleichung: $\Delta_r G = \Delta_r H - T \cdot \Delta S$ $\Delta_r G = (-81) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - \frac{288 \text{ K} \cdot (-47) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}{1000} = -67,46 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ Die Reaktion ist bei 15 °C exergonisch.		3	4	3
5	Beurteilen Sie die Hinweise zur Lagerung und zum Gebrauch von selbst-erhitzenden Getränkebechern auf der Basis von Calciumchlorid (M 1). Die Lernenden ... B 6 beurteilen Chancen und Risiken ausgewählter [...] Produkte [...] fachlich und bewerten diese;				

	B 7 treffen mithilfe fachlicher Kriterien begründete Entscheidungen in Alltagssituationen. Hinweise aus M1 1. <i>Lagern Sie den Getränkebecher in trockener Umgebung.</i> Sinnvoller Hinweis, da durch trockene Umgebung ein verfrühtes, unkontrolliertes Lösen des Salzes verhindert wird. 2. <i>Verhindern Sie direkte Sonneneinstrahlung oder eine Überhitzung von mehr als 60 °C.</i> Sinnvoller Hinweis, da Inhaltsstoffe bei hohen Temperaturen verderben könnten. 3. <i>Äußerlich beschädigte Getränkebecher (z. B. Risse) nicht mehr verwenden, im Hausmüll entsorgen.</i> Sinnvoller Hinweis, da durch eindringende Luftfeuchtigkeit Calciumchlorid-Hexahydrat gebildet wird, was beim Lösen für Abkühlung sorgt.	2		
			2	
			2	
	Summe	10	24	6
	Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent	25	60	15

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	3, 6	1	6	
2	16, 17		7	
3	12, 13	7	8, 10	
4	3, 17			
5				6, 7

5 Bewertungshinweise

Die Bewertung der erbrachten Prüfungsleistungen hat sich für jede Teilaufgabe nach der am rechten Rand der Aufgabenstellung angegebenen Anzahl maximal erreichbarer Bewertungseinheiten (BE) zu richten.

Für die Bewertung der Gesamtleistung eines Prüflings ist ein Bewertungsraster¹ vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

6 Hinweise zum Anforderungsniveau

Die Aufgabe auf erhöhtem Anforderungsniveau geht wie die gleichnamige Aufgabe auf grundlegendem Anforderungsniveau von chemischen Sachverhalten mit alltagsnahem Bezug aus. Jedoch erfordert die Aufgabenlösung auf der Ebene der Sachkompetenz eine detailliertere Betrachtung chemischer Sachverhalte und eine umfangreichere sowie tiefere Mathematisierung. Im Bereich der Kommunikationskompetenz sind abstraktere Darstellungsformen und ein umfangreicheres Fachvokabular erforderlich.

¹ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.