



Hamburg

Behörde für Schule,  
Familie und Berufsbildung

## Schriftliche Abiturprüfung Schuljahr 2025/2026

---

### Chemie auf erhöhtem Anforderungsniveau an allgemeinbildenden gymnasialen Oberstufen

Haupttermin  
Freitag, 24. April 2026, 09:00 Uhr

Unterlagen für die Lehrkräfte

---

Diese Unterlagen sind nicht für die Prüflinge bestimmt.

---

#### Diese Unterlagen enthalten:

1. Allgemeines
  2. Rückmeldebogen für die Zweiddurchsicht
  3. Hinweise zu den Aufgaben
  4. Hinweise zum Korrekturverfahren
  5. Bewertung und Erwartungshorizont
- 

#### 1. Allgemeines<sup>1</sup>

- Weisen Sie bitte die Prüflinge auf die allgemeinen Arbeitshinweise hin.
- Die Arbeitszeit beträgt **300 Minuten**.
- Eine gesonderte Lese- oder Auswahlzeit wird nicht gewährt.
- Hilfsmittel: Taschenrechner (nicht programmierbar, nicht grafikfähig), zugelassene Formelsammlung mit Periodensystem

---

<sup>1</sup> Entsprechend der „Richtlinie über die Gewährung von Erleichterungen für neu zugewanderte Schülerinnen, Schüler und Prüflinge bei Sprachschwierigkeiten in der deutschen Sprache“ (MBISchul Nr. 08, 7. Oktober 2016, S. 60) werden für die betroffenen Prüflinge die folgenden Erleichterungen gewährt:

- Die Bearbeitungszeit wird um 30 Minuten auf **330 Minuten** erhöht.
  - Ein nicht-elektronisches Wörterbuch Deutsch – Herkunftssprache / Herkunftssprache – Deutsch wird bereitgestellt.
-

## 2. Rückmeldebogen für die Zweiddurchsicht

Bitte umgehend ausfüllen und

- a) an die Schule senden, die die externe Zweiddurchsicht übernimmt,  
oder ggf.
- b) an die Kollegin/den Kollegen geben, die/der die interne Zweiddurchsicht übernimmt.

### Information für die Zweiddurchsicht

**Fach:**

Chemie  
auf erhöhtem Anforderungsniveau

Kurs-Nummer: \_\_\_\_\_

Bearbeitet wurden die folgenden Aufgaben:

| Aufgaben-Nr. |     | Anzahl |            |
|--------------|-----|--------|------------|
| I            | von |        | Prüflingen |
| II           | von |        | Prüflingen |
| III          | von |        | Prüflingen |
| IV           | von |        | Prüflingen |

### 3. Hinweise zu den Aufgaben

- Die Lehrkraft erhält **vier** Aufgaben und reicht diese an die Prüflinge weiter.
- Die Prüflinge wählen **drei** Aufgaben aus und bearbeiten diese.
- Sie vermerken auf dem Deckblatt und der Reinschrift, welche Aufgaben sie bearbeitet haben.

### 4. Hinweise zum Korrekturverfahren

- Die Korrekturen werden gemäß der „Richtlinie für die Aufgabenstellung und Bewertung der Leistungen in der Abiturprüfung“ (Abiturrichtlinie) in der geltenden Fassung vorgenommen.
- Die für das Fach zuständige Lehrkraft begutachtet die Arbeiten unter Beachtung zentraler Bewertungsvorgaben und unter Kennzeichnung ihrer Vorzüge und Mängel, der richtigen Lösungen und der Fehler und bewertet jede Arbeit mit einer Punktzahl (siehe Erstkorrekturbogen). Entwürfe können ergänzend zur Bewertung herangezogen werden.
- Jede Arbeit wird sodann von der zweiten Fachlehrkraft durchgesehen, die sich entweder (auf dem Erstkorrekturbogen) der Bewertung durch die für das Fach zuständige Lehrkraft anschließt oder (auf dem Zweiddurchsichtbogen) ein ergänzendes Gutachten mit Bewertung anfertigt.
- Die oder der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses legt die endgültige Punktzahl fest. Beträgt die Differenz der im Erstgutachten und im ergänzenden Gutachten erteilten Punktzahlen nicht mehr als drei Punkte, bildet sie oder er den Mittelwert beider Punktzahlen; eine gebrochene Zahl wird zur nächsten vollen Punktzahl aufgerundet. Beträgt die Differenz der im Erstgutachten und im ergänzenden Gutachten erteilten Punktzahlen mehr als drei Punkte, legt die oder der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses die endgültige Punktzahl in Auseinandersetzung mit den erstellten Gutachten entsprechend dem Erfordernis der Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit der Bewertung der Prüfungsleistungen fest und begründet die Entscheidung auf dem Formular „Festlegung der Note bei einer Differenz der im Erstgutachten und im ergänzenden Gutachten erteilten Punktzahlen von mehr als drei Notenpunkten“.
- Die Bewertungsbögen sind als Download zu finden auf der Plattform Prüfungen (vormals HERA) in LMS.

## 5. Bewertung und Erwartungshorizont

### I. Bewertung

Jeder Aufgabe sind 40 Bewertungseinheiten (BE) zugeordnet. In allen Teilaufgaben werden nur ganze oder halbe BE vergeben. Die erbrachte Gesamtleistung ergibt sich aus der Summe der Bewertungseinheiten in den drei Aufgaben. Insgesamt sind somit 120 BE erreichbar. Bei der Festlegung von Notenpunkten gilt die folgende Tabelle:

| Notenpunkte | mindestens zu erreichender Anteil an den insgesamt zu erreichenden Bewertungseinheiten | erreichte Bewertungseinheiten |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 15          | 95 %                                                                                   | 114 – 120                     |
| 14          | 90 %                                                                                   | 108 – 113,5                   |
| 13          | 85 %                                                                                   | 102 – 107,5                   |
| 12          | 80 %                                                                                   | 96 – 101,5                    |
| 11          | 75 %                                                                                   | 90 – 95,5                     |
| 10          | 70 %                                                                                   | 84 – 89,5                     |
| 9           | 65 %                                                                                   | 78 – 83,5                     |
| 8           | 60 %                                                                                   | 72 – 77,5                     |
| 7           | 55 %                                                                                   | 66 – 71,5                     |
| 6           | 50 %                                                                                   | 60 – 65,5                     |
| 5           | 45 %                                                                                   | 54 – 59,5                     |
| 4           | 40 %                                                                                   | 48 – 53,5                     |
| 3           | 33 %                                                                                   | 40 – 47,5                     |
| 2           | 27 %                                                                                   | 32,5 – 39,5                   |
| 1           | 20 %                                                                                   | 24 – 32                       |
| 0           | 0 %                                                                                    | 0 – 23,5                      |

Schwerwiegende und gehäufte Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit oder gegen die äußere Form führen zu einem Abzug von bis zu zwei Notenpunkten in einfacher Wertung. Mangelhafte Gliederung, Fehler in der Fachsprache, Ungenauigkeiten in Zeichnungen oder unzureichende oder falsche Bezüge zwischen Zeichnungen und Text sind als fachliche Fehler zu werten. Ein Abzug für Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit soll nicht erfolgen, wenn diese bereits Gegenstand der fachspezifischen Bewertungsvorgaben sind.

### II. Erwartungshorizont

Bei den auf den folgenden Seiten dargestellten erwarteten Schülerleistungen handelt es sich um Lösungsskizzen. Oft sind aber Lösungsvarianten möglich, die in der Skizze nur zum Teil beschrieben werden konnten. Grundsätzlich gilt deshalb, dass alle Varianten, die zu richtigen Lösungen führen, mit voller Punktzahl bewertet werden, unabhängig davon, ob die gewählte Variante in der Lösungsskizze aufgeführt ist oder nicht. Kursiv gedruckte Passagen sind Hinweise an die korrigierenden Lehrkräfte. Sie sind nicht Bestandteile der erwarteten Schülerleistung.

## Aufgabe I: Aspartam – ein gefahrloser Zuckerersatzstoff?

### Schwerpunkt: Moleküle des Lebens

|    | <b>Lösungsskizze</b><br>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Zuordnung Bewertung                                         |                                |     |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----|
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | I                                                           | II                             | III |
| a) | <u>Kennzeichnung und Benennung von zwei Gruppen, z. B.:</u><br><br>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.<br><br><u>Beurteilung:</u><br>Ein Dipeptid ist eine Verbindung, die aus zwei Aminosäure-Bausteinen zusammengesetzt ist.<br>Das Aspartam-Molekül enthält eine Peptidgruppe, die zwei Aminosäure-Bausteine verbindet. Aber zusätzlich ist ein Aminosäure-Baustein mit einem Methanol-Baustein verestert.<br>Sachurteil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2                                                           | 2                              | 1   |
| b) | <u>Formulierung der Reaktionsgleichungen:</u><br>1. hydrolytische Spaltung in ein Dipeptid-Molekül und ein Methanol-Molekül:<br><br>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.<br><br>2. hydrolytische Spaltung in zwei Aminosäure-Moleküle:<br><br>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                             | 3<br><br><br><br><br><br><br>3 |     |
| c) | <u>Planung der Durchführung zur Untersuchung eines zuckerfreien Erfrischungsgetränks:</u><br>Zuerst wird mit verdünnter Salzsäure unter Erwärmung das Aspartam des zu untersuchenden Erfrischungsgetränks hydrolysiert, da Asparaginsäure-Lösung und Phenylalanin-Lösung als Kontrollproben vorliegen.<br><br>Das Laufmittel wird in die Trennkammer gegeben. Die Startlinie wird auf der DC-Platte gekennzeichnet. Mithilfe der Mikrokapillaren werden Tropfen der hydrolysierten Probe und der Kontrollproben auf die Startlinie der DC-Platte gegeben.<br>Die DC-Platte wird nun in das Laufmittel gestellt und gewartet, bis die Laufmittelfront fast am oberen Ende der Platte angekommen ist.<br><br>Die Platte wird entnommen. Die Laufmittelfront wird gekennzeichnet, die Platte getrocknet, mit Ninhydrin-Lösung besprüht und mit einem Föhn erwärmt.<br><br>Ninhydrin ist ein Nachweisreagenz für die meisten Aminosäuren. Bei positivem Ergebnis zeigt sich eine violette Färbung. Durch den Abgleich | 1<br><br><br><br><br><br><br>1<br><br><br><br><br><br><br>1 | 1<br><br><br><br><br><br><br>2 | 1   |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   |   |   |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|
|    | mit den Kontrollproben wird eventuell vorhandenes Aspartam im Erfrischungsgetränk nachgewiesen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   |   |   |
|    | Fertigung einer Skizze:<br><br>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.<br><br>1: Startlinie<br>2: Laufmittelfront<br>3: Phenylalanin-Lösung<br>4: Asparaginsäure-Lösung<br>5: hydrolysiertes aspartamhaltiges Erfrischungsgetränk<br><br><i>Hinweis für die Lehrkraft: Reihenfolge der Aminosäure-Lösung kann variieren.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |   |   |
| d) | Begründung der zunehmenden Löslichkeit:<br>Das Aspartam-Molekül besitzt eine Carboxygruppe und eine Aminogruppe, die abhängig vom pH-Wert protoniert und deprotoniert werden.<br><br>Je größer die Konzentration der Oxonium-Ionen ist, umso stärker liegt das Gleichgewicht auf der Seite mit den protonierten und dadurch positiv geladenen Teilchen.<br><br>Wechselwirkungen mit den polaren Wasser-Molekülen sind gut möglich. Daraus resultiert eine bessere Wasserlöslichkeit des Aspartams bei Zunahme des Citronensäure-Anteils.<br><br>Ableitung der optimalen Bedingungen:<br>trocken als Pulver oder Tablette lagern, da hohe Stabilität<br><br>Temperatur:<br>Die Löslichkeit von Aspartam nimmt mit steigender Temperatur zu. Deswegen sollte die Temperatur möglichst hoch sein, allerdings nicht höher als 30 °C, da ansonsten ein bitter schmeckendes Diketopiperazin entsteht.<br><br>pH-Wert:<br>Aspartam ist umso besser löslich, je saurer die Lösung ist. Bei einem pH-Wert unter 2 kann es unter Wärmeeinfluss allerdings zu einem Zerfall der Moleküle kommen.<br><br>Optimale Bedingungen für die Löslichkeit zur Verwendung in der Lebensmittelindustrie sind bei einer Temperatur bei knapp unter 30 °C und bei einem pH-Wert im sauren Bereich oberhalb von pH = 2. | 2 | 1 | 2 |
| e) | Berechnung der Masse an Methanol:<br>1 L zuckerfreie Cola enthält 130 mg Aspartam ( $M = 294,3 \frac{g}{mol}$ )<br><br>$n = \frac{m}{M}; n = m \cdot M$<br>$n_{(Aspartam)} = \frac{0,130g}{294,3 \frac{g}{mol}}$<br>$n_{(Aspartam)} = 4,42 \cdot 10^{-4} mol$<br><br>Da $n_{(Aspartam)} = n_{(Methanol)}$ , gilt:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   | 2 | 2 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |    |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|---|
| $m_{(\text{Methanol})} = 32,0 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 4,42 \cdot 10^{-4} \text{mol}$ $m_{(\text{Methanol})} = 14,1 \text{ mg}$ <p><u>Berechnung des Volumens:</u><br/>         Die letale Dosis an Methanol liegt bei <math>100 \frac{\text{mg}}{\text{kg Körpergewicht}}</math> pro Tag, das entspricht 7000 mg Methanol bei einer 70 kg schweren Person.</p> $V(\text{Cola}) = \frac{7000 \text{mg}}{14,1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = 496,5 \text{ L}$ <p>Eine 70 kg schwere Person dürfte ca. 496 L aspartamhaltige Cola trinken, ohne dadurch die letale Dosis zu überschreiten.</p> <p><u>Beurteilung des Risikos einer Methanolvergiftung:</u><br/>         Theoretisch müsste man über 496 L eines aspartamhaltigen Cola-Getränk trinken, um den letalen Bereich von Methanol zu erreichen. Es ist bei dieser Menge – trotz der Anreicherung im Körper – nicht möglich, dass es durch den Verzehr eines aspartamhaltigen Cola-Getränks zu einer Methanolvergiftung kommt.</p> | 1  | 2  | 2 |
| Insgesamt 40 BE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 11 | 21 | 8 |

## Aufgabe II: Methansäure in Entkalkungsmitteln mit Indikator

### Schwerpunkt: Chemie beeinflusst unsere Umwelt

|    | <b>Lösungsskizze</b><br>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung.<br>Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Zuordnung Bewertung |    |     |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----|-----|
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | I                   | II | III |
| a) | <u>Begründete Zuordnung:</u><br>Methylorange ändert seine Farbe in sauren Lösungen bei pH-Werten von 3,0 bis 4,4 von Rot nach Gelborange.<br><br>Gelborangefärbung in der Lösung II zeigt einen höheren pH-Wert als 4,4 an; zudem ist keine Gasentwicklung zu beobachten; Lösung II entspricht der Natronlauge.<br><br>Die Säurestärke in den weiteren Lösungen nimmt in der Reihenfolge Propansäure ( $pK_s = 4,87$ ), Methansäure ( $pK_s = 3,75$ ), Salzsäure ( $pK_s = -7$ ) zu.<br><br>Propansäure-Lösung enthält demnach eine geringere Stoffmengenkonzentration an Oxonium-Ionen, der pH-Wert ist höher als in den beiden anderen sauren Lösungen. Methylorange färbt sich in Propansäure-Lösung orange (Lösung IV) und in Methansäure-Lösung und Salzsäure rot.<br>Die Gasentwicklung ist in dieser Lösung am schwächsten.<br><br>Um die Lösungen I und III zu unterscheiden, muss die Stärke der Gasentwicklung herangezogen werden: je stärker die Gasentwicklung, desto höher ist die Stoffmengenkonzentration der reagierenden Teilchen. Da gleichkonzentrierte Lösungen untersucht wurden, beruht die stärkere Gasentwicklung bei Lösung I auf der größeren Säurestärke, also Salzsäure. Lösung III enthält Methansäure. | 1                   |    |     |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1                   | 1  |     |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1                   | 1  |     |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2                   | 1  |     |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                     | 1  | 2   |
| b) | <u>Angabe von vier Hinweisen:</u><br>Es müssen gleiche Volumina der verwendeten Lösungen I bis IV eingesetzt werden.<br>Es muss dieselbe Tropfenanzahl bei der Zugabe der Methylorange-Lösung zu den Lösungen I bis IV hinzugefügt werden.<br>Es müssen nahezu gleich große Marmorstücke zu den Lösungen I bis IV hinzugegeben werden.<br>Es muss dieselbe Stückzahl an Marmorstücken zu den Lösungen I bis IV hinzugegeben werden.<br><br><u>Begründung:</u><br>Bei einer experimentellen Untersuchung darf immer nur eine Bedingung verändert werden und alle anderen müssen konstant gehalten werden, um zu gesicherten Erkenntnissen zu gelangen.<br>Die Verwendung verschiedener Lösungen I bis IV stellt eine variable Bedingung dar, daher müssen alle verwendeten Mengen und Reaktionsbedingungen konstant gehalten werden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     | 4  |     |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1                   | 1  |     |
| c) | <u>Zuordnung der Titrationskurven:</u><br>Titrationskurve A gehört zur Lösung III (Methansäure-Lösung).<br>Titrationskurve B gehört zur Lösung I (Salzsäure-Lösung).<br>Titrationskurve C gehört zur Lösung IV (Propansäure-Lösung).<br>Titrationskurve D gehört zur Lösung II (Natronlauge-Lösung).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                     | 3  |     |

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |            |           |                        |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|------------------------|
|                 | <p><u>Begründung der Zuordnung:</u><br/>Anhand eines typischen Punktes im Kurvenverlauf:<br/>pH-Wert am Halbäquivalenzpunkt entspricht dem <math>pK_s</math>-Wert; der von Methansäure beträgt 3,75.</p> <p>Anhand der Berechnung eines pH-Wertes:<br/><math>pH_{Anfang} \approx \frac{1}{2}(3,75 - \lg(0,1)) = 2,38</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1          | 1         |                        |
| d)              | <p><u>Formulierung einer Reaktionsgleichung:</u><br/><math>HCOOH + H_2O \rightleftharpoons HCOO^- + H_3O^+</math></p> <p><u>Berechnung der Stoffmengenkonzentration:</u><br/><math>1,5 \approx \frac{1}{2}(3,75 - \lg(c_0))</math><br/><math>c_0 \approx 10^{0,75}</math><br/><math>c_0 \approx 5,6 \frac{\text{mol}}{\text{L}}</math></p> <p><u>Ableitung eines Sicherheitshinweises:</u><br/>Es handelt sich hierbei um eine saure Lösung mit einer hohen Stoffmengenkonzentration, daher muss man beim Verschütten bzw. bei Kontakt mit der Haut mit viel Wasser spülen (Verdünnung).</p>                                                                                    | 1<br><br>1 | <br><br>2 | <br><br><br><br>1<br>1 |
| e)              | <p><u>Formulierung einer Reaktionsgleichung:</u><br/><math>CaCO_3 + 2 H_3O^+ + 2 HCOO^- \rightarrow Ca^{2+} + 3 H_2O + CO_2 + 2 HCOO^-</math></p> <p><u>Berechnung der Masse an Calciumcarbonat:</u><br/><math>n(CaCO_3) = \frac{1}{2} \cdot n(H_3O^+)</math><br/><math>m(CaCO_3) = \frac{1}{2} \cdot c(H_3O^+) \cdot V(Lsg) \cdot M(CaCO_3)</math><br/><math>m(CaCO_3) = \frac{1}{2} \cdot 5,6 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,125 \text{ L} \cdot 100,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}</math><br/><math>m(CaCO_3) = 35,0 \text{ g (mit Ersatzwert: 37,5 g)}</math></p>                                                                                                       | 2<br><br>1 | <br><br>2 |                        |
| f)              | <p><u>Diskussion des Nutzens der Beimischung von Methylorange:</u></p> <p>Pro-Argumente:<br/>Der enthaltene Indikator bietet eine gute Kontrollmöglichkeit für den Anwendenden, denn bleibt die Lösung rot, war der Entkalkungsvorgang erfolgreich; ist die Lösung nach der Anwendung gelborange gefärbt, ist die Methansäure-Konzentration zu niedrig für einen schnellen Entkalkungsvorgang.</p> <p>Contra-Argumente:<br/>Methylorange ist an der Zersetzungsreaktion von Calciumcarbonat nicht beteiligt und liegt nach dem Entkalkungsvorgang weiterhin gelöst vor; das erfordert ein Nachspülen der Geräte, damit es nicht vom Menschen aufgenommen wird.</p> <p>Fazit</p> |            | 2         | 1<br><br>1<br><br>1    |
| Insgesamt 40 BE |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 12         | 21        | 7                      |

## Aufgabe III: Nickel-Eisen-Akkumulator

### Schwerpunkt: Chemische Energiespeicher und Mobilität

|    | <b>Lösungsskizze</b><br>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Zuordnung Bewertung |    |     |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----|-----|
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | I                   | II | III |
| a) | <p>Skizze so oder ähnlich:</p> <p>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p> <p>Das unedlere Metall Eisen geht an der Elektrode als <math>\text{Fe}^{2+}</math>-Ion in Lösung, die abgegebenen Elektronen wandern über den Leiter zur Nickelelektrode, an der Nickelionen (<math>\text{Ni}^{2+}</math>) aus der Lösung entladen werden. Sulfationen wandern als Ladungsausgleich durch das Diaphragma.</p> <p><math>\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^-</math><br/> <math>\text{Ni}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Ni}</math></p> <p>Bei Standardbedingungen ergibt sich eine Potentialdifferenz von</p> <p><math>U = (-0,23 \text{ V} - (-0,41 \text{ V})) = 0,18 \text{ V}</math></p> <p><i>(Sollte der Prüfling andere Werte, beispielsweise aus anderen Formelsammlungen, verwenden, ist dies als richtig zu werten.)</i></p> | 4                   |    |     |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1                   | 1  |     |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1                   | 1  |     |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1                   | 1  |     |
| b) | <p>Das Potential der Eisenelektrode ist bei angenommenen Normbedingungen (<i>die hier nicht gegeben sind</i>) <math>-0,41 \text{ V}</math>. Die Zellspannung soll <math>1,3 \text{ V}</math> betragen, also ist</p> <p><math>1,3 \text{ V} = (x \text{ V} - (-0,41 \text{ V}))</math>, also ist <math>x \text{ V} = 0,89 \text{ V}</math></p> <p>Um auf die genannte Spannung von <math>1,3 \text{ V}</math> zu kommen, muss die edlere Nickelelektrode ein Potential von <math>+0,89 \text{ V}</math> besitzen.</p> <p>Das Redoxpaar ist laut Gleichung 1 in Material 1 <math>\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}^{3+}</math>.</p> <p><i>(Sollte der Prüfling andere Werte, beispielsweise aus anderen Formelsammlungen, verwenden, ist dies als richtig zu werten, falls diese die <u>Verhältnisse in alkalischer Lösung</u> wiedergeben.)</i></p>                                      | 4                   | 4  |     |
| c) | <p>Das Überdruckventil ist erforderlich, da laut Material 2 nach Erreichen der vollen Akkuladung das Wasser aus dem Elektrolyt zu Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt wird. Diese müssen aus der Zelle entweichen können. <i>(Es könnte auch ein automatisch abschaltendes Ladegerät</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     | 2  | 2   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |    | 2   |

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |                     |                             |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---------------------|-----------------------------|
|                 | <p>verwendet werden, um die Gasentwicklung zu vermeiden.) Beide Gase könnten separat aufgefangen und weiter verwendet werden.</p> $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$ <p>Das Kohlendioxid aus der Luft würde mit der Kalilauge schwerlösliches Kaliumcarbonat bilden und so den Elektrolyt schädigen. Die Reaktionsgleichung lautet</p> $2 \text{KOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3\downarrow + \text{H}_2\text{O}$ <p>(Sollte das Entstehen von <math>\text{NiCO}_3</math> oder <math>\text{FeCO}_3</math> postuliert werden, kann diese Idee bei gleichzeitigem Hinweis auf deren Schwerlöslichkeit mit der halben Punktzahl gewertet werden.)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    | 2<br>2<br>2         |                             |
| d)              | <p>Die Akkus sind prinzipiell aufgrund der langen Lebensdauer für Speicherung von Solarenergie etc. gut geeignet. Außerdem bestehen sie aus preisgünstigen Materialien und die Stoffe sind nicht besonders gefährlich.</p> <p>Eine Nutzungsdauer von 20 Jahren entspricht allerdings <math>20 \text{a} \times 365 \text{d/a} = 7300</math> Tagen. Diese Nutzungsdauer wird laut Material 3 aber nur erreicht, wenn der Akku höchstens um ca. 25% entladen wird. Das ist aber nicht realistisch, da entweder ein viel zu großer Akku installiert werden müsste (mit entsprechenden Kosten und Platzbedarf) oder bei der üblichen täglichen Entladungstiefe (wie etwa bei einem Handy) von 80% (20% Restkapazität) verkürzt sich die Lebensdauer auf etwa 1100 Ladezyklen = 1100 Tage oder etwa 3 Jahre. Die Aussage muss daher präzisiert werden.</p> <p>(Außerdem könnte eine Kostenrelation zu anderen, eventuell teureren, aber länger haltenden Akkutypen hergestellt werden. Ist der Platzbedarf ein relevanter Faktor, könnte die Leistungsdichte als weiteres Kriterium herangezogen bzw. benannt werden. Dies kann zur Bewertung herangezogen werden, jedoch nicht über die Maximalpunktzahl der Teilaufgabe hinaus.)</p> | 1  | 1<br><br>1<br><br>1 | <br><br>2<br><br>2<br><br>2 |
| Insgesamt 40 BE |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 12 | 18                  | 10                          |

## Aufgabe IV: Nachhaltige Luftpolsterverpackungen

### Schwerpunkt: Moderne Werkstoffe und chemische Produkte

|    | <b>Lösungsskizze</b><br>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.                                                                                                                                                                                                                               | Zuordnung Bewertung |    |     |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----|-----|
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | I                   | II | III |
| a) | <u>Skizze eines Übersichtschemas zur Gewinnung von Polyvinylalkohol:</u><br><br>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.<br><br><u>Formulierung der Reaktionsgleichung:</u><br>$2 \text{C}_2\text{H}_4 + 2 \text{CH}_3\text{COOH} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$                                                             |                     | 6  |     |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                     | 1  | 1   |
| b) | <u>Formulierung des Reaktionsmechanismus:</u><br><u>Benennung der einzelnen Schritte:</u><br><br>1. Bildung von zwei Startradikalen:<br><br>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.<br><br>2. Startreaktion:<br><br>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.<br><br>3. Kettenwachstum:<br><br>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt. | 4                   | 4  |     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                   |                   |                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <p>4. Kettenabbruchreaktion:</p> <p>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                   |                   |                   |
| <p>c) <u>Beschreibung der Einteilung der Kunststoffe:</u></p> <p>Thermoplast:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- lineare oder wenig verzweigte Makromoleküle</li> <li>- wird weich und formbar beim vorsichtigen Erhitzen und behält seine Form beim Abkühlen</li> </ul> <p>Duroplast:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- engmaschig, dreidimensional vernetzte Makromoleküle</li> <li>- hart, spröde, schmilzt nicht, sondern verkohlt und zersetzt sich bei Überhitzung</li> </ul> <p>Elastomer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- weitmaschig vernetzte Makromoleküle</li> <li>- gummielastisch, erweicht, aber schmilzt nicht, sondern verkohlt und zersetzt sich bei Überhitzung</li> </ul> <p><u>Zuordnung von PVA:</u></p> <p>PVA lässt sich den Thermoplasten zuordnen, da es aus unvernetzten, linearen Makromolekülen aufgebaut ist</p>                                                     | <p>6</p> <p>1</p> | <p>1</p>          |                   |
| <p>d) <u>Erklärung des Verschweißens:</u></p> <p>Durch die erhöhte Temperatur steht mehr Energie zur Verfügung, um die Wechselwirkungen zwischen temporären Dipolen einerseits und permanenten Dipolen (hier Wasserstoffbrücken) andererseits zu lösen.</p> <p>Durch Druck gleiten die nun beweglichen Molekülketten aneinander vorbei und ordnen sich an der Schweißnaht neu an. Beim Abkühlen bilden sich neue Wechselwirkungen aus.</p> <p>Nach dem Abkühlen steht im System nicht mehr genug Energie zur Verfügung, um die neu ausgebildeten Wechselwirkungen zu lösen. Die beiden Beschichtungsfolien sind so dauerhaft miteinander verbunden.</p> <p><i>Andere fachlich korrekte Erklärungen können gleichwertig gewertet werden.</i></p> <p>Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.</p> <p><u>Skizzen zur Anordnung der Teilchen (3a) und Darstellung der intermolekularen Wechselwirkungen (3b)</u></p> |                   | <p>3</p> <p>1</p> | <p>3</p> <p>2</p> |
| <p>e) <u>Bewertung der PVA-Folie im Vergleich zur PE-Folie:</u></p> <p>Rohstoffgewinnung</p> <p>PVA- und PE-Herstellung aus erneuerbaren Rohstoffen in mehreren Schritten möglich, aber Gewinnung von PE derzeit vorwiegend aus Erdöl</p> <p>Recycling</p> <p>Papier/PVA: Zweikomponentenwerkstoff, von dem beim Recycling eine Komponente zurückgewonnen wird</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <p>2</p>          | <p>2</p>          | <p>2</p>          |

|                                                                                        |    |    |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|----|---|
| PE: Einkomponentenwerkstoff, der werkstofflich oder thermisch recycelt werden kann     |    |    |   |
| Umweltverträglichkeit                                                                  |    |    |   |
| PVA: biologisch abbaubar                                                               |    |    |   |
| PE: nicht biologisch abbaubar, Gefahr der Bildung von Mikro- und Nanoplastik-Partikeln |    | 1  |   |
| Werturteil                                                                             |    |    |   |
| Insgesamt 40 BE                                                                        | 13 | 19 | 8 |



Hamburg

Behörde für Schule,  
Familie und Berufsbildung

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
Name / Kurs-Nr.

## Schriftliche Abiturprüfung Schuljahr 2025/2026

### Chemie auf erhöhtem Anforderungsniveau an allgemeinbildenden gymnasialen Oberstufen

Haupttermin  
Freitag, 24. April 2026, 09:00 Uhr

Unterlagen für die Prüflinge

#### Allgemeine Arbeitshinweise

- Überprüfen Sie diese Unterlagen auf Vollständigkeit.
- Schreiben Sie auf alle Prüfungsunterlagen Ihren Namen und zusätzlich auf dieses Deckblatt Ihre Kursnummer.
- Kennzeichnen Sie Ihre Entwurfsblätter (Kladde) und Ihre Reinschrift.

#### Fachspezifische Arbeitshinweise<sup>1</sup>

- Die Arbeitszeit beträgt **300 Minuten**.
- Eine gesonderte Lese- oder Auswahlzeit wird nicht gewährt.
- Hilfsmittel: Taschenrechner (nicht programmierbar, nicht grafikfähig), zugelassene Formelsammlung mit Periodensystem

#### Aufgabenauswahl

- Sie erhalten **vier** Aufgaben zu unterschiedlichen Schwerpunkten.
- Wählen Sie **drei** Aufgaben aus und bearbeiten Sie diese.
- Vermerken Sie auch auf der Reinschrift, welche Aufgaben Sie bearbeitet haben.

Bearbeitet wurden die folgenden Aufgaben (Bitte kreuzen Sie an):

|     |                                           |  |
|-----|-------------------------------------------|--|
| I   | Moleküle des Lebens                       |  |
| II  | Chemie beeinflusst unsere Umwelt          |  |
| III | Chemische Energiespeicher und Mobilität   |  |
| IV  | Moderne Werkstoffe und chemische Produkte |  |

<sup>1</sup> Entsprechend der „Richtlinie über die Gewährung von Erleichterungen für neu zugewanderte Schülerinnen, Schüler und Prüflinge bei Sprachschwierigkeiten in der deutschen Sprache“ (MBISchul Nr. 08, 7. Oktober 2016, S. 60) werden für die betroffenen Prüflinge die folgenden Erleichterungen gewährt:

- Die Bearbeitungszeit wird um 30 Minuten auf **330 Minuten** erhöht.
- Ein nicht-elektronisches Wörterbuch Deutsch – Herkunftssprache / Herkunftssprache – Deutsch wird bereitgestellt.

## Bewertung

Jeder Aufgabe sind 40 Bewertungseinheiten (BE) zugeordnet. In allen Teilaufgaben werden nur ganze oder halbe BE vergeben. Die erbrachte Gesamtleistung ergibt sich aus der Summe der Bewertungseinheiten in den drei Aufgaben. Insgesamt sind somit 120 BE erreichbar. Bei der Festlegung von Notenpunkten gilt die folgende Tabelle.

| Notenpunkte | mindestens zu<br>erreichender Anteil<br>an den<br>insgesamt zu<br>erreichenden<br>Bewertungseinheiten | erreichte<br>Bewertungseinheiten |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 15          | 95 %                                                                                                  | 114 – 120                        |
| 14          | 90 %                                                                                                  | 108 – 113,5                      |
| 13          | 85 %                                                                                                  | 102 – 107,5                      |
| 12          | 80 %                                                                                                  | 96 – 101,5                       |
| 11          | 75 %                                                                                                  | 90 – 95,5                        |
| 10          | 70 %                                                                                                  | 84 – 89,5                        |
| 9           | 65 %                                                                                                  | 78 – 83,5                        |
| 8           | 60 %                                                                                                  | 72 – 77,5                        |
| 7           | 55 %                                                                                                  | 66 – 71,5                        |
| 6           | 50 %                                                                                                  | 60 – 65,5                        |
| 5           | 45 %                                                                                                  | 54 – 59,5                        |
| 4           | 40 %                                                                                                  | 48 – 53,5                        |
| 3           | 33 %                                                                                                  | 40 – 47,5                        |
| 2           | 27 %                                                                                                  | 32,5 – 39,5                      |
| 1           | 20 %                                                                                                  | 24 - 32                          |
| 0           | 0 %                                                                                                   | 0 – 23,5                         |

Schwerwiegende und gehäufte Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit oder gegen die äußere Form führen zu einem Abzug von bis zu zwei Notenpunkten in einfacher Wertung. Mangelhafte Gliederung, Fehler in der Fachsprache, Ungenauigkeiten in Zeichnungen oder unzureichende oder falsche Bezüge zwischen Zeichnungen und Text sind als fachliche Fehler zu werten. Ein Abzug für Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit soll nicht erfolgen, wenn diese bereits Gegenstand der fachspezifischen Bewertungsvorgaben sind.

## Aufgabe I: Aspartam – ein gefahrloser Zusatzstoff?

40 BE

### Schwerpunkt: Moleküle des Lebens

Aspartam ist ein Zuckerersatzstoff. Er ist wesentlich süßer als Haushaltszucker. Viele zuckerfreie Lebensmittel enthalten diesen Zuckerersatzstoff, so z. B. auch Cola und andere Erfrischungsgetränke.

### Teilaufgaben

- I.a **Kennzeichnen** und **benennen** Sie zwei funktionelle Gruppen des Aspartam-Moleküls (M 1). **Beurteilen** Sie die Einordnung des Aspartam-Moleküls als Dipeptid-Molekül (M 1). 5 BE
- I.b **Formulieren** Sie Reaktionsgleichungen für beide Schritte des Abbaus von Aspartam im Körper unter Verwendung von Strukturformeln (M 1). 6 BE
- I.c **Planen** Sie die Durchführung der Untersuchung eines zuckerfreien Erfrischungsgetränks mithilfe der angegebenen Materialien (M 1, M 2). **Stellen** Sie das Ergebnis in einer beschrifteten Skizze der DC-Platte nach der Versuchsdurchführung **dar** (M 1, M 2). *Hinweis: Gehen Sie davon aus, dass das getestete zuckerfreie Erfrischungsgetränk Aspartam enthält.* 11 BE
- I.d **Begründen** Sie die veränderte Löslichkeit von Aspartam in Wasser mit zunehmendem Anteil an Citronensäure (M 1, M 3). **Leiten** Sie Bedingungen für eine optimale Lagerung und für eine optimale Löslichkeit von Aspartam in Wasser zur Verwendung in der Lebensmittelindustrie **ab** (M 1, M 3). 9 BE
- I.e **Berechnen** Sie das Volumen eines aspartamhaltigen Cola-Getränks aus Material 1, das eine 70 Kilogramm schwere Person an einem Tag trinken kann, ohne dadurch die letale Methanol-Dosis zu überschreiten (M 1, M 4). **Beurteilen** Sie auf Grundlage Ihrer Berechnungen das Risiko einer Methanolvergiftung durch aspartamhaltige Cola-Getränke (M 1, M 4). 9 BE

## Anlage zur Aufgabe I: Aspartam – ein gefahrloser Zusatzstoff?

### Material M1 Aspartam: Struktur und Eigenschaft

Aspartam ist ein synthetischer Zuckerersatzstoff, der als Lebensmittelzusatzstoff unter der Nummer E 951 bekannt ist. Aspartam hat eine 200-fach höhere Süßkraft als Haushaltszucker (Saccharose) und ist heutzutage der am meisten genutzte Süßstoff. Beispielsweise enthält ein Liter eines zuckerfreien Cola-Getränks 130 mg Aspartam.

Tab. 1: Angaben zu Aspartam

| Strukturformel eines Aspartam-Moleküls                       | Molare Masse von Aspartam               |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt. | $M = 294,3 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ |

Der Abbau des Aspartams im Körper beginnt mit der hydrolytischen Spaltung des Aspartam-Moleküls in ein Methanol-Molekül und ein anderes Molekül. Das andere Molekül wird weiter hydrolytisch in ein Asparaginsäure-Molekül und ein Phenylalanin-Molekül gespalten. Diese Reaktionen verlaufen im Körper enzymkatalysiert, im Labor wird diese Hydrolyse im Säuren ( $\text{pH} < 2$ ) und unter Erwärmung durchgeführt.

### Material M2 Untersuchung eines Erfrischungsgetränks auf Aspartam

Ein zuckerfreies Erfrischungsgetränk soll auf das Vorhandensein von Aspartam als Inhaltsstoff untersucht werden.

Folgende Materialien und Geräte stehen zur Verfügung:

**Material:** Dreifuß, Brenner, geeignete Chromatografie-Platte, Mikrokapillaren, Trennkammer, kleine Bechergläser, Bleistift, Lineal, Föhn.

**Chemikalien:** zu testendes zuckerfreies Erfrischungsgetränk, Asparaginsäure-Lösung, Phenylalanin-Lösung, Ninhydrin-Lösung, geeignetes Laufmittel, verdünnte Salzsäure.

### Material M3 Stabilität und Verarbeitung von Aspartam

Aspartam ist bis zu einem Feuchtigkeitsgehalt von 8 % sehr lange haltbar. In gelöster Form kann es bei einem pH-Wert über 6 und Temperaturen ab 30 °C zu einer Reaktion kommen, bei dem ein Diketopiperazin entsteht. Diketopiperazine haben einen stark bitteren Geschmack.

Aspartam ist unlöslich in Öl und Ethanol und schlecht löslich in Wasser. Da es in der Lebensmittelindustrie oft in gelöster Form eingesetzt wird, muss die Löslichkeit in Wasser durch die Temperatur und den pH-Wert optimiert werden.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 1: Löslichkeit von Aspartam in Wasser

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 2: Löslichkeit von Aspartam in Citronensäure-Lösung bei 20 °C

### Material M4 Methanol im Stoffwechsel

Bei der Verstoffwechselung von Aspartam im menschlichen Körper entsteht als Zwischenprodukt

Methanol ( $M = 32,0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ ).

Methanol führt ab einer Aufnahme von etwa  $100 \frac{\text{mg}}{\text{kg Körpergewicht}}$  zum Tod. Die toxische Wirkung setzt aber schon viel früher ein. Methanol wird in der Leber zu Methanal und dann zu Methansäure umgesetzt. Da die Ausscheidung über die Nieren nur sehr langsam abläuft, kommt es zur Anreicherung im Körper.

---

## Literatur- und Quellenverzeichnis zu Aufgabe I

### Material M1

*Aspartam* (2024). Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Aspartam&oldid=241794339>  
(Zugriff am: 05.07.2024).

Saalfrank, F. (2013). *Gesundheitliche Bewertung von Süßstoffen unter besonderer  
Schwerpunktsetzung auf Aspartam* (Bachelorarbeit, Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
Hamburg). HAW Hamburg. [https://reposit.haw-  
hamburg.de/bitstream/20.500.12738/6347/1/BA\\_Franziska\\_Saalfrank.pdf](https://reposit.haw-hamburg.de/bitstream/20.500.12738/6347/1/BA_Franziska_Saalfrank.pdf)

### Material M3

*Aspartam* (2024). Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Aspartam&oldid=241794339>  
(Zugriff am: 05.07.2024).

Saalfrank, F. (2013). *Gesundheitliche Bewertung von Süßstoffen unter besonderer  
Schwerpunktsetzung auf Aspartam* (Bachelorarbeit, Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
Hamburg). HAW Hamburg. [https://reposit.haw-  
hamburg.de/bitstream/20.500.12738/6347/1/BA\\_Franziska\\_Saalfrank.pdf](https://reposit.haw-hamburg.de/bitstream/20.500.12738/6347/1/BA_Franziska_Saalfrank.pdf)

### Material M4

*Methanol* (2024). Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Methanol&oldid=241602772>  
(Zugriff am: 05.07.2024).

Saalfrank, F. (2013). *Gesundheitliche Bewertung von Süßstoffen unter besonderer  
Schwerpunktsetzung auf Aspartam* (Bachelorarbeit, Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
Hamburg). HAW Hamburg. [https://reposit.haw-  
hamburg.de/bitstream/20.500.12738/6347/1/BA\\_Franziska\\_Saalfrank.pdf](https://reposit.haw-hamburg.de/bitstream/20.500.12738/6347/1/BA_Franziska_Saalfrank.pdf)

## Aufgabe II: Methansäure in Entkalkungsmitteln mit Indikator 40 BE

### Schwerpunkt: Chemie beeinflusst unser Leben

Methansäure ist Bestandteil verschiedener Entkalkungsmittel, die im Haushalt z. B. zur Entfernung von Kalkbelag in Warmwassergeräten verwendet werden. Zu diesem Zweck werden im Handel Entkalkungsmittel angeboten, die zusätzlich einen Farbindikator enthalten.

### Teilaufgaben

- II.a **Ordnen** Sie die Lösungen I bis IV den in Material 1 genannten Lösungen mithilfe der Beobachtungen beider Versuchsreihen begründet **zu** (M 1, M 3, M 4).  
11 BE
- II.b **Geben** Sie vier Hinweise **an**, die bei der Durchführung der in Material 1 beschriebenen Untersuchung zu beachten waren, damit vergleichbare Ergebnisse erzielt werden konnten. **Begründen** Sie.  
6 BE
- II.c **Ordnen** Sie die Titrationskurven A bis D den in Material 1 genannten Lösungen **zu** (M 1, M 2). **Begründen** Sie Ihre Zuordnung bei Methansäure-Lösung anhand eines typischen Punktes im Kurvenverlauf und der Berechnung eines zur Titrationskurve passenden pH-Wertes (M 1, M 2).  
7 BE
- II.d **Formulieren** Sie eine Reaktionsgleichung für die Reaktion von Methansäure mit Wasser (M1). **Berechnen** Sie die Stoffmengenkonzentration von Methansäure in dem in Material 3 beschriebenen Entkalkungsmittel und **leiten** Sie daraus einen Sicherheitshinweishinweis für die Anwendung **ab**.  
6 BE
- II.e **Formulieren** Sie eine Reaktionsgleichung für die Reaktion, die der Entfernung von Kalkablagerungen durch Methansäure-Lösung zugrunde liegt (M 3). **Berechnen** Sie die Masse Calciumcarbonat, die laut Anwendungsempfehlung entfernt werden kann (M 3).  
*Hinweis: Für den Fall, dass Sie die Stoffmengenkonzentration von Methansäure im Entkalkungsmittel bei Teilaufgabe 4 nicht ermitteln konnten, gehen Sie von dem Ersatzwert  $c = 6,0 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$  aus.*  
5 BE
- II.f **Diskutieren** Sie anhand von zwei Argumenten, ob die Beimischung von Methylorange für den Anwender von Nutzen ist (M 3, M 4).  
5 BE

## Anlage zur Aufgabe II: Methansäure in Entkalkungsmitteln mit Indikator

### Material M1 Experimentelle Untersuchung verschiedener Lösungen

In einem Versuch wurden vier Lösungen (I bis IV) gleicher Stoffmengenkonzentration unter vergleichbaren Bedingungen untersucht: Salzsäure, Natronlauge, Methansäure ( $\text{HCOOH}$ ) und Propansäure ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ ). Der  $\text{p}K_{\text{S}}$ -Wert von Propansäure beträgt 4,87. In einem ersten Schritt wurde Methylorange-Lösung hinzugefügt. In einem zweiten Schritt wurden Marmorstücke zu den Lösungen gegeben. Marmor besteht größtenteils aus Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).

Dabei ergaben sich die folgenden Beobachtungen:

Nach Zugabe von Methylorange-Lösung:

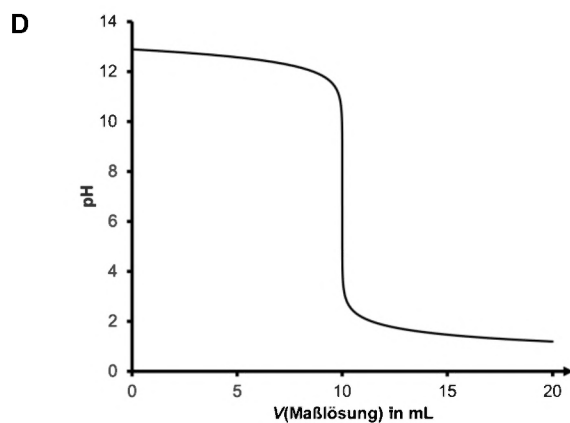
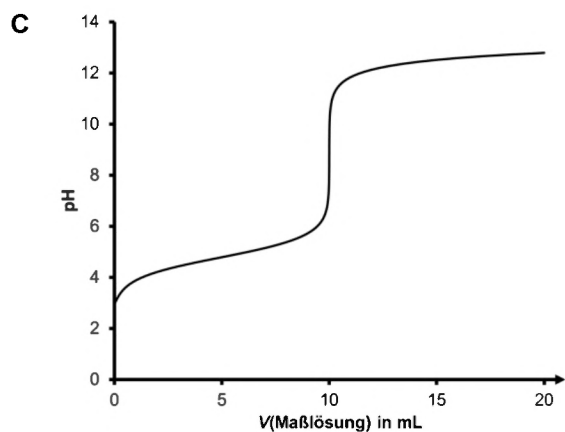
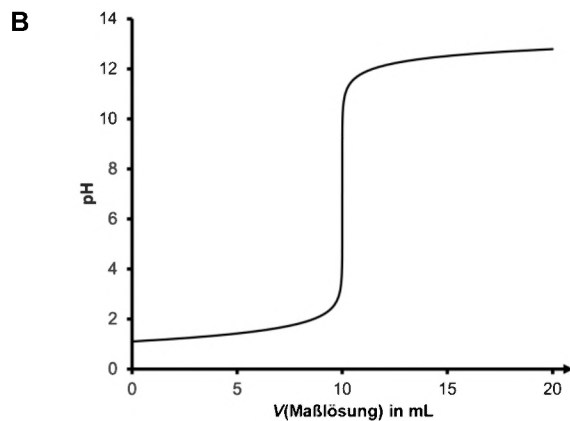
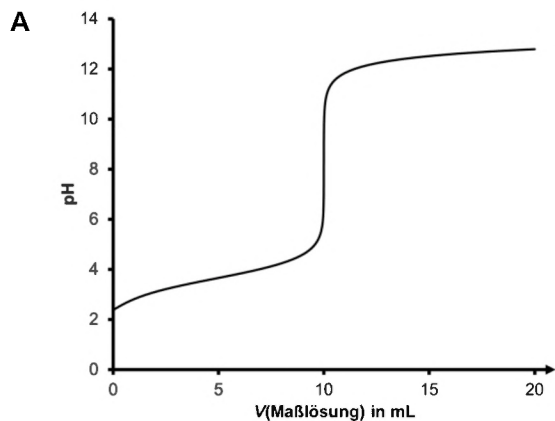
|          |     |            |     |        |
|----------|-----|------------|-----|--------|
| Lösung:  | I   | II         | III | IV     |
| Färbung: | Rot | Gelborange | Rot | Orange |

Nach Zugabe von Marmorstücken:

|              |                        |                   |                             |                              |
|--------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Lösung:      | I                      | II                | III                         | IV                           |
| Beobachtung: | heftige Gasentwicklung | keine Veränderung | mittelstarke Gasentwicklung | sehr schwache Gasentwicklung |

## Material M2 Titrationskurven verschiedener Säure-Base-Titrationen

Mit 100 mL der Lösungen I bis IV wurde jeweils eine Säure-Base-Titration durchgeführt. Die Stoffmengenkonzentration  $c$  der Maßlösungen betrug  $1,0 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ , die der jeweiligen Probelösung  $0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ .



### Material M3 Entkalkungsmittel mit Farbindikator

Bei der Warmwasserbereitung kommt es zur Ablagerung von Kalk. Hauptbestandteil ist schwerlösliches Calciumcarbonat. Die molare Masse von Calciumcarbonat beträgt  $M = 100,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ . Kalkablagerungen sehen nicht nur unschön aus, sie beeinträchtigen zunehmend die korrekte Funktionsweise von z. B. Kaffeemaschinen oder Wasserkochern. Daher müssen diese Geräte regelmäßig mit Entkalkungsmitteln gereinigt werden. Hierfür kommen Säuren zum Einsatz.

Ein Hersteller bietet ein Entkalkungsmittel mit Farbindikator an. Im Sicherheitsdatenblatt dieses Produktes findet man folgende Informationen:



In einer Produktbeschreibung heißt es:



Eine Anwendungsempfehlung für die Entkalkung einer Kaffeemaschine sieht vor, 125 mL Entkalkungsmittel mit 500 mL Wasser aufzufüllen.

### Material M4 Methylorange

Methylorange wird als Säure-Base-Indikator verwendet. Das Farbspektrum reicht von Rot in stark sauren Lösungen über Orange im Umschlagbereich bis hin zu Gelborange.

Auszug aus einem Sicherheitsdatenblatt einer 0,1%-igen Methylorange-Indikatorlösung:

Der Text wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Er ist unter folgender Quellenangabe zu finden:

*Freiwillige Sicherheitsinformation in Anlehnung an das Sicherheitsdatenblattformat gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) (2024, 21. September).*

[https://www.carlroth.com/medias/SDB-T119-AT-](https://www.carlroth.com/medias/SDB-T119-AT-DE.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNDI2NjV8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGFEa3pMMmc1TWk4NU1UYzFOamMyT1RjM01UZ3IMMU5FUWw5VU1URTVYMEZVWDBSRkxuQmtaZ3xmZWY1MzllZWExNTBkZTdiMGYzY2QxNTE5ODc2YjFkMTQ5ZGVhM2lwNjVlNDliYTZiMTY1MWU3NjQ4M2E0MzUx)

[DE.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNDI2NjV8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGFEa3pMMmc1TWk4NU1UYzFOamMyT1RjM01UZ3IMMU5FUWw5VU1URTVYMEZVWDBSRkxuQmtaZ3xmZWY1MzllZWExNTBkZTdiMGYzY2QxNTE5ODc2YjFkMTQ5ZGVhM2lwNjVlNDliYTZiMTY1MWU3NjQ4M2E0MzUx](https://www.carlroth.com/medias/SDB-T119-AT-DE.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNDI2NjV8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGFEa3pMMmc1TWk4NU1UYzFOamMyT1RjM01UZ3IMMU5FUWw5VU1URTVYMEZVWDBSRkxuQmtaZ3xmZWY1MzllZWExNTBkZTdiMGYzY2QxNTE5ODc2YjFkMTQ5ZGVhM2lwNjVlNDliYTZiMTY1MWU3NjQ4M2E0MzUx) (Zugriff am: 08.04.2025).

---

## Literatur- und Quellenverzeichnis zu Aufgabe II

### Material M3

*Sicherheitsdatenblatt gemäß EU-Verordnung 453/2010* (2015, 12. Januar). [https://schmees-kosmetik.de/wp-content/uploads/2024/08/Blitzentkalker\\_0024\\_SDB\\_D.pdf](https://schmees-kosmetik.de/wp-content/uploads/2024/08/Blitzentkalker_0024_SDB_D.pdf) (Zugriff am: 16.12.2024).  
Entkalker mit Farbindikator (o. D.). <https://de.trotec.com/shop/entkalker-mit-farbindikator-1l.html> (Zugriff am: 02.12.2024).

### Material M4

*Methylorange* (2024, 06. September). Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/wiki/Methylorange> (Zugriff am: 04.10.2024).  
*Freiwillige Sicherheitsinformation in Anlehnung an das Sicherheitsdatenblattformat gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH)* (2024, 21. September).  
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-T119-AT-DE.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNDI2NjV8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGFEa3pMMmc1TWk4NU1UYzFOamMyT1RjM01UZ3IMMU5FUWw5VU1URTVYMEZVWDBSRkxuQmtaZ3xmZWY1MzllZWExNTBkZTdiMGYzY2QxNTE5ODc2YjFkMTQ5ZGVIM2lwNjVINDliYTZiMTY1MWU3NjQ4M2E0MzUx> (Zugriff am: 08.04.2025).

## Aufgabe III: Nickel-Eisen-Akkumulator

40 BE

### Schwerpunkt: Chemische Energiespeicher und Mobilität

Elektromobilität ist keineswegs eine Erfindung der Neuzeit. Thomas A. Edison fuhr bereits 1917 einen Detroit Electric Modell 47. Das Auto konnte wahlweise mit Bleiakku oder gegen Aufpreis mit den von Edison erfundenen Nickel-Eisen-Akkumulatoren bestellt werden.

### Teilaufgaben

- III.a **Skizzieren** Sie ein galvanisches Element aus je einer Nickel- und Eisenhalbzelle und **beschreiben** Sie die Abläufe in den Halbzellen auch mit Reaktionsgleichungen. **Berechnen** Sie die zu erwartende Spannung beim Betrieb der Zelle unter Standardbedingungen (M4).  
10 BE
- III.b **Leiten** Sie mithilfe der Angaben aus M1 und M4 das Redoxpaar sowie das Potential der Nickelelektrode unter den genannten Bedingungen **her**. Nehmen Sie dabei als gegeben an, dass die Eisenlektrode Standardpotential besitzt. Vernachlässigen Sie in diesem Fall, dass der Elektrolyt Kalilauge enthält.  
8 BE
- III.c Die Akkus müssen eine Sicherheitseinrichtung (Überdruckventil) zur Regelung eines entstehenden Überdrucks aufweisen und gleichzeitig vor eindringendem Kohlenstoffdioxid aus der Luft geschützt werden. **Begründen** Sie diese beiden Sachverhalte, auch mithilfe von Reaktionsgleichungen unter Verwendung von M2.  
12 BE
- III.d **Beurteilen** Sie die Aussagen zu Anwendungen der Nickel-Eisen-Akkus aus den Materialien M1 und M2 unter Berücksichtigung der Aussagen von M3. Gehen Sie davon aus, dass pro Tag ein Lade-/Entladevorgang abläuft.  
10 BE

## Anlage zur Aufgabe III: Eisen-Nickel-Akkumulator

### Material M1 Der Nickel-Eisen-Akkumulator

Der Text wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Er ist unter folgender Quellenangabe zu finden:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Nickel-Eisen-Akkumulator> (Zugriff am 28.10.24).

### Material M2 Neue Anwendungen der Nickel-Eisen-Akkus

Der Text wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Er ist unter folgender Quellenangabe zu finden:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Nickel-Eisen-Akkumulator> (Zugriff am 28.10.24).

### Material M3 Abhängigkeit der Anzahl möglicher Ladezyklen von der regelmäßigen Entladungstiefe

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 1: Auftragung der Lade-/Entladevorgänge gegen Entladungstiefe

### Material M4 Spannungsreihe (Ausschnitt)

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 2: Ausschnitt der Spannungsreihe

---

## Literatur- und Quellenverzeichnis zu Aufgabe III

### Material 1

<https://de.wikipedia.org/wiki/Nickel-Eisen-Akkumulator> (Zugriff am 28.10.24).

### Material 2

<https://de.wikipedia.org/wiki/Nickel-Eisen-Akkumulator> (Zugriff am 28.10.24).

### Material 3

<https://zukunftsworkstattverkehr.wordpress.com/2018/01/30/pv-speicher-nickel-eisen-akkumulator-nife-versus-lithiumtitanat-batterie-lto/>, (Zugriff am 27.10.24, verändert).

### Material 4

<https://www.abiweb.de/anorganische-chemie/donator-akzeptor-prinzip/redox-chemie/redoxreaktionen-elektrochemie/elektrochemische-spannungsreihe.html> (Zugriff am 27.10.2024).

## Aufgabe IV: Nachhaltige Luftpolsterverpackungen

40 BE

### Schwerpunkt: Moderne Werkstoffe und chemische Produkte

Zum Schutz von Versandgütern werden häufig Luftpolsterverpackungen eingesetzt. Ein deutsches Unternehmen geht in diesem Bereich einen neuen Weg und hat Luftpolsterverpackungen entwickelt, die aus mit Polyvinylalkohol beschichtetem Papier bestehen. Diese können über den Weg des Papierrecyclings aufgearbeitet werden.

### Teilaufgaben

- IV.a **Skizzieren** Sie ein Übersichtsschema der einzelnen Reaktionsschritte bei der Gewinnung von Polyvinylalkohol aus Ethanol. Weisen Sie darin sämtliche Stoffe aus (M 1, M 2). **Formulieren** Sie die Reaktionsgleichung für den letzten Schritt der Ethenylacetatsynthese (M 2).  
8 BE
- IV.b **Formulieren** Sie den Reaktionsmechanismus zur Bildung von Polyethenylacetat aus Ethenylacetat und **benennen** Sie die einzelnen Schritte (M 1).  
*Hinweis: Der Starter aus M 1 kann mit R–R abgekürzt werden. Nicht beteiligte Molekülteile dürfen mit R1 etc. abgekürzt werden.*  
8 BE
- IV.c **Beschreiben** Sie die Einteilung der Kunststoffe in drei Kunststoffklassen anhand ihres mechanisch-thermischen Verhaltens. Gehen Sie dabei auch auf strukturelle Merkmale der Kunststoff-Moleküle ein. **Ordnen** Sie Polyvinylalkohol **begründet** einer dieser Kunststoffklassen zu (M 2).  
8 BE
- IV.d **Erklären** Sie auf Teilchenebene den Vorgang des Verschweißens zweier PVA-Folien (M 3). **Skizzieren** Sie die Anordnung der Teilchen bei der verschweißten Folie analog zu Abbildung 3a (M 3). **Stellen** Sie in Abbildung 3b die intermolekularen Wechselwirkungen zwischen PVA-Molekülen **dar** (M 3).  
9 BE
- IV.e **Bewerten** Sie anhand von drei Kriterien die PVA-Folie im Vergleich zur PE-Folie aus ökologischer Sicht (M 1 – M 5).  
7 BE

## Anlage zur Aufgabe IV: Nachhaltige Luftpolsterverpackung

### Material M1 Herstellung von Polyvinylalkohol

Polyvinylalkohol (PVA) besteht aus Makromolekülen, die Hydroxygruppen als Substituenten haben (Abb. 1). Für die Herstellung dieser Makromoleküle verwendet man Ethenylacetat (Abb. 2). Dieses wird zunächst mit einem Starter versetzt, wodurch sich letztendlich Polyethenylacetat bildet. Dieses Polymer wird im Anschluss mit Methanol zur Reaktion gebracht und es entstehen Polyvinylalkohol (PVA) und Ethansäuremethylester.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 1: Ausschnitt aus einem Polyvinylalkohol-Molekül

Abb. 2: Ethenylacetat-Molekül

### Material M2 Gewinnung von Ethenylacetat

Ethenylacetat lässt sich beispielweise nachhaltig aus Ethanol, das ausschließlich aus Biomasse hergestellt wurde, gewinnen.

Die Herstellung beginnt mit drei katalytisch gesteuerten Reaktionen, bei denen jeweils Wasser abgespalten wird. Als erstes stellt man aus Ethanol Ethen her. Danach folgen zwei Schritte, die Sauerstoff benötigen. Zunächst wird aus einem Teil des Ethens Ethansäure synthetisiert. Anschließend lässt man im letzten Schritt den anderen Teil des Ethens mit der Ethansäure zu Ethenylacetat reagieren.

### Material M3 Herstellung von Luftpolsterbeuteln

Bei der Herstellung einer Luftpolsterverpackung wird zunächst Papier mit einer Kunststoffolie aus Polyvinylalkohol beschichtet. Danach werden zwei der kunststoffbeschichteten Papierstücke mit der Kunststoffseite aufeinandergelegt und an drei von vier Seiten durch gezieltes Erwärmen verschweißt. Zum Schluss wird die so entstandene Tasche mit Luft gefüllt und durch Verschweißen der vierten Seite luftdicht verschlossen.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 3a: modellhafte Darstellung zweier Folien vor Beginn des Verschweißens auf Teilchenebene (ohne Papieranteil)

3b: Strukturformelausschnitte zweier PVA-Moleküle

Konventionelle Luftpolsterbeutel werden in der Regel aus zwei Lagen reinem Polyethen (PE) hergestellt, die nach dem gleichen Verfahren wie beim PVA-beschichtetem Papier verarbeitet werden.

### **Material M4** Aufbereitung der ausgedienten Luftpolsterbeutel

Mit PVA beschichtete Papiere können über die Altpapiersammelsysteme entsorgt werden, denn im Papierrecyclingprozess löst sich PVA und stellt daher für die Papierwiedergewinnung kein Hindernis dar.

Der gelöste PVA ist biologisch abbaubar, eventuell gebildetes Nano- und Mikroplastik kann sich so nicht anhäufen.

### **Material M5** Polyethen

Für die Herstellung von Polyethen (PE) existieren etablierte Herstellungsmethoden.

Standardmäßig wird Polyethen aus fossilen Rohstoffen wie Erdöl oder Erdgas hergestellt. Es gibt aber auch Bemühungen, Ethen aus Ethanol, das aus Zuckerrohr gewonnen wird, als Rohstoff einzusetzen. Es wird „Green PE“ genannt.

Polyethen ist verhältnismäßig einfach zu verarbeiten.

Das Polyethen aus herkömmlichen Luftpolsterfolien lässt sich werkstofflich recyceln. Da „Green PE“ nicht biologisch abbaubar ist, bleibt das Kohlenstoffdioxid, das während des Wachstumszyklus der Zuckerrohrpflanze gebunden wurde, während des gesamten Lebenszyklus im Kunststoff gespeichert.

Die Gasdurchlässigkeit von PE-Folien ist höher als die von PVA-Folien.

---

## Literatur- und Quellenverzeichnis zu Aufgabe IV

### Material M1

Autorenkollektiv Salters (2012). *Salters Chemie – Chemical Storylines – Kontexte*. Bildungshaus Schulbuchverlage.

Hagemeyer A. & Jahn U. (2012). Vinylacetat. In F. Böckler, B. Dill et al. (Hrsg.), *RÖMPP* [Online], Georg Thieme. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-22-00794>.

### Material M2

Hagemeyer A. & Jahn U. (2012). Vinylacetat. In F. Böckler, B. Dill et al. (Hrsg.), *RÖMPP* [Online], Georg Thieme. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-22-00794>.

### Material M3

*CAMM AIR PILLOWS*. (o. D.). camm. <https://www.camm.org/airpillow> (Zugriff am: 20.01.25).

Ilhan, I., Turan, D., Gibson, I. & Klooster, R. T. (2021). Understanding the factors affecting the seal integrity in heat sealed flexible food packages: A review. *Packaging Technology & Science/Packaging Technology and Science*, 34(6), S. 321–337. <https://doi.org/10.1002/pts.2564>.

### Material M4

*Camm Solutions: Eine echte Alternative zu Plastik* (2023, 22. Februar). RENEWABLE CARBON NEWS. <https://renewable-carbon.eu/news/camm-solutions-eine-echte-alternative-zu-plastik/> (Zugriff am 20.01.25).

### Material M5

*'m green™ bio-based Polyethylene* (o. D.). FKUR. <https://fkur.com/biokunststoffe/im-green-pe/> (Zugriff am: 20.01.25).