

Mecklenburg-Vorpommern



Musterabitur ab 2025

Chemie

Leistungskurs

Prüfungsaufgaben

Hinweise für den Prüfling

- Aufgabenbearbeitung:** Die Prüfung besteht aus vier Aufgaben zur Auswahl. Bearbeiten Sie drei von vier Aufgaben.
- Geben Sie auf der Reinschrift Ihren Namen sowie die bearbeiteten Aufgaben an und nummerieren Sie die Seiten Ihrer Arbeit fortlaufend.
- Für die Bewertung gilt die Reinschrift.
- Entwürfe können nur dann ergänzend herangezogen werden, wenn sie zusammenhängend konzipiert sind und die Reinschrift etwa drei Viertel des erkennbar angestrebten Gesamtumfangs beträgt.
- Die Lösungen sind in einer sprachlich einwandfreien und mathematisch exakten Form darzustellen. Alle Lösungswege müssen nachvollziehbar sein.
- Alle Prüfungsunterlagen sind vollständig zurückzugeben.
- Bearbeitungszeit:** Die Bearbeitungszeit beträgt einschließlich Auswahlzeit 300 Minuten.
- Bewertung:** Für jede Aufgabe werden zur Benotung maximal 40 Bewertungseinheiten (BE) vergeben.
- Für jede Teilaufgabe werden zur Benotung Bewertungseinheiten vergeben, deren Maximalzahl neben der Aufgabenstellung angegeben wird.
- Grundlage der Bewertung ist § 36 „Korrektur und Bewertung der schriftlichen Prüfung“ der Abiturprüfungsverordnung in der derzeit gültigen Fassung.
- Hilfsmittel:** Ihnen stehen folgende Hilfsmittel zur Verfügung:
- an der Schule zugelassenes Tafelwerk ohne Musterlösungen
 - Wörterbuch der deutschen Rechtschreibung in gedruckter oder digitaler Form
 - zweisprachige Wörterbücher in gedruckter oder digitaler Form für Prüflinge mit nichtdeutscher Herkunftssprache (Erstsprache-Deutsch/Deutsch-Erstsprache)

Überblick zu den Aufgaben und Materialien

Aufgabe 1:

Die Chemie der selbsterhitzenden Getränkebecher

Material 1
Material 2

Aufgabe 2:

Segen und Fluch von Mineraldüngern

Material 3
Material 4
Material 5
Material 6

Aufgabe 3:

Herstellung eines Klebstoffes aus Alltagschemikalien

Material 7
Material 8
Material 9

Aufgabe4:

Polyurethanschaum in Medizintechnik und als Verpackungsmaterial

Material 10
Material 11
Material 12

1 Die Chemie der selbsterhitzenden Getränkebecher 40 BE

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

- 1.1 Beschreiben Sie den Lösevorgang einer Ionensubstanz auf der Teilchenebene. 8 BE
Erklären Sie die Funktionsweise eines selbsterhitzenden Getränkebechers (M 1).
- 1.2 Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für 10 BE
- die Bildung von Calciumchloridhexahydrat,
- das Lösen von Calciumchloridhexahydrat und
- das Lösen von wasserfreiem Calciumchlorid.
Berechnen Sie jeweils die molare Standardreaktionsenthalpie. Entscheiden Sie begründet, welches Calciumchlorid in selbsterhitzenden Getränkebechern zum Einsatz kommt (M 1 und M 2).
- 1.3 Erklären Sie den unterschiedlich gerichteten Wärmeaustausch beim Lösen von 6 BE
wasserfreiem Calciumchlorid und Calciumchloridhexahydrat.
- 1.4 Diskutieren Sie auf der Grundlage einer weiteren Berechnung den Einfluss von 10 BE
Enthalpie und Entropie auf die Freiwilligkeit des Lösevorgangs von wasserfreiem Calciumchlorid.
Belegen Sie mithilfe der Gibbs-Helmholtz-Gleichung die Freiwilligkeit des Lösevorgangs bei einer Temperatur von 15 °C.
- 1.5 Beurteilen Sie die Hinweise zur Lagerung und zum Gebrauch von selbsterhitzenden 6 BE
Getränkebechern auf der Basis von Calciumchlorid (M 1).

2 Segen und Fluch von Mineraldüngern

40 BE

Die ständig wachsende Weltbevölkerung steht vor der Herausforderung, auf der ihr zur Verfügung stehenden Ackeranbaufläche genügend Nahrungsmittel zu produzieren. Deshalb werden dem Boden mithilfe von Mineraldüngern verschiedene Nährstoffe zugeführt, die aber bei falscher Dosierung auch eine Belastung der Umwelt mit sich bringen können.

- 2.1 Formulieren Sie für die Herstellung von Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) die beiden Reaktionsgleichungen (M 3). 7 BE
- Begründen Sie die Verwendung des Stoffes Ammoniumnitrat als Düngemittel mithilfe Ihrer Kenntnisse über eine ausgewählte Stoffeigenschaft und die zugrundeliegende Struktur.
- 2.2 Ermitteln Sie experimentell – mithilfe eines sensor- und computergestützten Messwerterfassungssystems – die molare Lösungsenthalpie von Ammoniumnitrat (M 4). 16 BE
- Skizzieren Sie den aufgenommenen Graphen oder drucken Sie diesen aus.
- Berechnen Sie, ausgehend von Ihrem Versuchsergebnis, die Lösungsenthalpie von Ammoniumnitrat.
- Begründen Sie mithilfe des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik, dass der Lösungsvorgang von Ammoniumnitrat freiwillig verläuft.
- Hinweis: Für den Fall, dass Sie keine auswertbaren Ergebnisse erzielt haben, können Sie sich gegen den Abzug von zwei Bewertungseinheiten eine Hilfefkarte geben lassen.
- 2.3 Ermitteln Sie aus der grafischen Darstellung den Einfluss von Temperatur und pH-Wert auf die Ammoniakkonzentration und begründen Sie den Einfluss des pH-Wertes anhand des Ammoniak-/Ammonium-Ionen-Gleichgewichts (M 5a). 12 BE
- Begründen Sie unter Angabe von Reaktionsgleichungen und unter Berücksichtigung von M 5b und M 5c, dass auch bei Überdüngung mit Ammoniumnitrat in Binnengewässern die Gefahr des Fischsterbens besteht.
- 2.4 Interpretieren Sie die Grafik aus Abbildung 1 in M 6 unter dem Gesichtspunkt der Folgen von Überdüngung für die Umwelt. 5 BE

3 Herstellung eines Klebstoffes aus Alltagschemikalien

40 BE

Klebstoffe sind nichtmetallische Werkstoffe, denen in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens und der Industrie eine große Bedeutung zukommt. Sie werden genutzt, um zwei oder mehrere Substrate zu Verbundwerkstoffen zu verbinden. Die Verbindung der Substrate erfolgt durch Haftung auf den zu verklebenden Teilen (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion).

Der im Rahmen dieser Aufgabe herzustellende Klebstoff besteht aus den Ausgangsstoffen Citronensäure und Glycerin. Betrachtet werden sollen sowohl die Eignung als Klebstoff als auch die Umweltverträglichkeit.

- 3.1 Erläutern Sie die Einteilung der Klebstoffe (M 7). 5 BE
- 3.2 Leiten Sie aus der fachlich korrekten Bezeichnung für Glycerin die Strukturformel ab (M 8). 5 BE
- Erläutern Sie für die Reaktion von Citronensäure und Glycerin den Reaktionstyp.
- Formulieren Sie für die Synthese des Klebstoffs die Reaktionsgleichung bis zum Dimer.
- 3.3 Wählen Sie, rechnerisch begründet, eine geeignete Masse Glycerin aus, die in einem Experiment mit einer von Ihnen gewählten Masse Citronensäure (zwischen 10 g und 20 g) reagieren kann. Gehen Sie für die Berechnung davon aus, dass alle funktionellen Gruppen zur Reaktion kommen sollen. 10 BE
- Stellen Sie aus dem von Ihnen gewählten Versuchsansatz einen Klebstoff her (M 8).
- Notieren Sie Ihre Beobachtungen.
- Hinweis: Sollte Ihnen die Berechnung der einzusetzenden Massen nicht oder nicht vollständig gelingen, können Sie die Werte gegen den Abzug von maximal sechs Bewertungseinheiten bei der Aufsicht führenden Lehrkraft anfordern. Teillösungen können gegebenenfalls gewertet werden.*
- Für den Fall, dass die Versuchsergebnisse in einzelnen Teilen unbrauchbar erscheinen, können Sie gegen den Abzug von zwei Bewertungseinheiten Ergebnisse bei der Aufsicht führenden Lehrkraft anfordern.*
- 3.4 Erläutern Sie, ausgehend von einem möglichen Formelausschnitt des Reaktionsprodukts und der angegebenen Struktur von Glas, die zu beobachtenden Eigenschaften des Klebstoffs. Berücksichtigen Sie dabei auch die bei der Kohäsion und Adhäsion auftretenden inter- und intramolekularen Wechselwirkungen (M 7, M 8 und M 9). 11 BE
- 3.5 Stellen Sie den Zusammenhang zwischen den Eigenschaften des Klebstoffs und potentiellen Nutzungsmöglichkeiten im Alltag dar. 9 BE
- Bewerten Sie den Einsatz unter Berücksichtigung von mindestens drei verschiedenen Aspekten.
- Hinweis: Die Aufgaben 2 und 3 enthalten jeweils fachpraktische Anteile. Bei tatsächlichen Prüfungen wird höchstens eine der vier Wahlaufgaben fachpraktische Anteile enthalten.**

4 Polyurethanschaum in Medizintechnik und als Verpackungsmaterial 40 BE

Kunststoffe sind als Werkstoffe von einer enormen Vielfalt gekennzeichnet, ihre Einsatzbereiche erstrecken sich über praktisch alle Bereiche der Lebens- und Arbeitswelt. So wird z. B. Polyurethanschaum in der Wundbehandlung sowie als Verpackungsmaterial eingesetzt.

- 4.1 Erläutern Sie unter Verwendung von Skizzen jeweils die Eigenschaften der Kunststoffklassen „Thermoplaste“, „Duromere“ und „Elastomere“. 9 BE

Ordnen Sie Polyurethanschaum einer Kunststoffklasse zu und beurteilen Sie anhand zweier Aspekte dessen Eignung in der Behandlung der großflächigen, schweren Hautwunden (M 10).

- 4.2 Für die Synthese des Polyurethanschaumes sind zunächst die Monomere vorzulegen (M 10 und M 11). 11 BE

Formulieren Sie die Reaktionsgleichung zur Synthese eines aliphatischen Diisocyanats aus Phosgen und einem Diamin (M 10 und M 11).

Erläutern Sie die Geometrie der Amino-Gruppe und des Phosgen-Moleküls auf Grundlage des Elektronenpaar-Abstoßungs-Modells (EPA-Modell).

Beurteilen Sie, ob die Reaktion durch die Geometrie der Ausgangsstoffe erleichtert oder erschwert wird.

- 4.3 Erläutern Sie den zugrundeliegenden Reaktionsmechanismus zur Bildung der Urethan-Gruppe (M 11). 10 BE

Erklären Sie das Aufschäumen des Polyurethans, auch unter Einbeziehung einer entsprechenden Reaktionsgleichung (M 11).

- 4.4 Stellen Sie den Zusammenhang zwischen der Nutzung von Polyurethanschaumnetzen und toxischen aromatischen Aminen in exotischen Früchten dar. 10 BE

Bewerten Sie die Herstellung und den Einsatz von Polyurethanschaumnetzen zur Verpackung von empfindlichen Früchten hinsichtlich dreier verschiedener Kriterien (M 11 und M 12).

Mecklenburg-Vorpommern



Musterabitur ab 2025

Chemie

Leistungskurs

Materialbeilage

Überblick zu den Aufgaben und Materialien

Aufgabe 1: Die Chemie der selbsterhitzenden Getränkebecher	Material 1 Material 2
Aufgabe 2: Segen und Fluch von Mineraldüngern	Material 3 Material 4 Material 5 Material 6
Aufgabe 3: Herstellung eines Klebstoffes aus Alltagschemikalien	Material 7 Material 8 Material 9
Aufgabe4: Polyurethanschaum in Medizintechnik und als Verpackungsmaterial	Material 10 Material 11 Material 12

Aufgabe 1 Die Chemie der selbsterhitzenden Getränkebecher

Material 1 zu Aufgabe 1

Aufbau und Funktionsweise eines selbsterhitzenden Getränkebechers

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

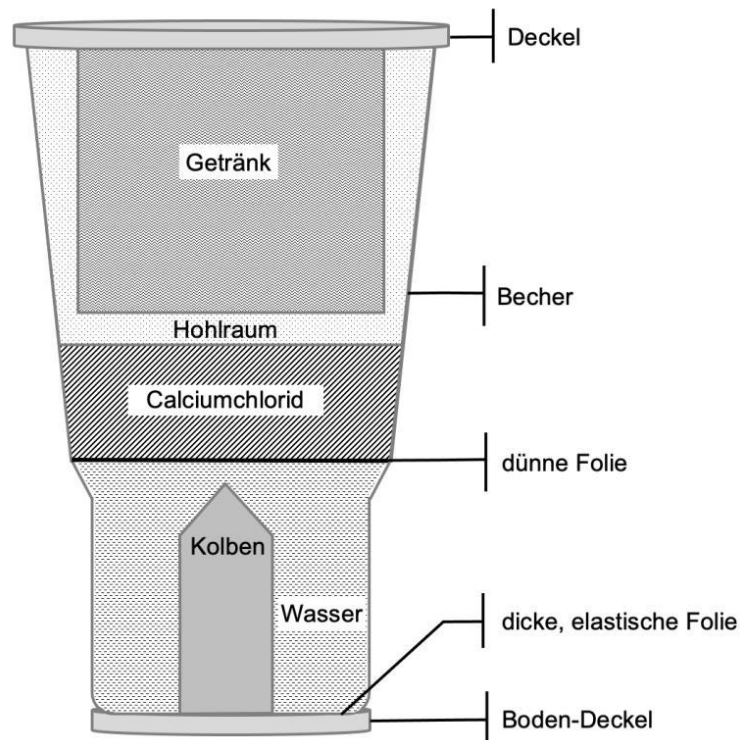


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Selbsterhitzenden Bechers, IQB

Die Benutzung selbsterhitzender Getränkebecher ist einfach:

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

Hinweise zur Lagerung und zum Gebrauch:

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

Material 2 zu Aufgabe 1

Calciumchlorid

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

Wasserfreies, festes Calciumchlorid ist stark hygroskopisch. Das heißt, es reagiert mit der Luftfeuchtigkeit und bildet festes Calciumchloridhexahydrat. In diesen Kristallen ist jede CaCl_2 -Einheit von einer Hydrathülle aus 6 Wasser-Molekülen umgeben. Löst man Calciumchloridhexahydrat in Wasser, führt dies, wie beim Lösen von wasserfreiem Calciumchlorid, zu einer spürbaren Temperaturveränderung.

Tabelle 1: Vergleich von wasserfreiem Calciumchlorid und Calciumchloridhexahydrat

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

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

Tabelle 2: Thermodynamische Standardgrößen bei 25 °C und 101,3 kPa

Name	Formel	Aggregatzustand bei 25 °C	Molare Standardbildungsenthalpie $\Delta_f H_m^0$ in $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	Molare freie Standardbindungsenthalpie $\Delta_f G_m^0$ in $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	Molare Standardentropie ΔS_m^0 in $\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
Calcium-Ionen	Ca^{2+}	aq	-543	-553	-56
Calciumcarbonat	CaCO_3	s	-1207	-1129	93
Calciumchlorid	CaCl_2	s	-796	-748	105
Calciumchloridhexahydrat	$\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	s	-2608	*	*
Chlor	Cl_2	g	0	0	223
Chlor-Atome	Cl	g	121	105	165
Chlorid-Ionen	Cl^-	aq	-167	-131	57
Wasser	H_2O	g	-242	-229	189
Wasser	H_2O	l	-286	-237	70

(s) fest; (l) flüssig; (g) gasförmig; (aq) hydratisiert. (*) Es existieren keine tabellierte Werte.

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

Aufgabe 2 Segen und Fluch von Mineraldüngern

Material 3 zu Aufgabe 2

Stickstoffverbindungen in Mineraldüngern

Stickstoffverbindungen spielen für das Pflanzenwachstum eine große Rolle, da sie zur Bildung von Proteinen und damit zum Zellstoffwechsel und Zellwachstum unentbehrlich sind. Ca. 80 % der Luft sind reiner Stickstoff, welchen die Pflanzen in dieser Form jedoch nicht nutzen können. Stickstoff kann von den Pflanzen nur in Form von Nitrat- oder Ammonium-Ionen aufgenommen werden.

Um anorganischen Dünger herzustellen, nutzt man den Stickstoff aus der Luft. Im ersten Schritt wird dabei Stickstoff in Ammoniak überführt und aus diesem stellt man anschließend durch Reaktion mit Salpetersäure Ammoniumnitrat her.

Ammoniumnitrat ist Hauptbestandteil des Mineraldüngers Kalkammonsalpeter. Die Nitrat-Ionen werden von den Pflanzen leicht in großen Mengen aufgenommen und stehen ihnen direkt zur Verfügung. Die Ammonium-Ionen dagegen können die Pflanzen nur in geringen Mengen aufnehmen, weil diese an Bodenpartikel gebunden werden. Diese Ammonium-Ionen stehen im Bodenwasser mit Ammoniak-Molekülen im chemischen Gleichgewicht.

Material 4 zu Aufgabe 2

Experimentelle Ermittlung der molaren Lösungsenthalpie von Ammoniumnitrat – mithilfe eines sensor- und computergestützten Messwerterfassungssystems

Geräte

- Kalorimeter (100 mL)
- Messzylinder (100 mL)
- Magnetprüher mit Rührfisch
- Spatel
- sensor- und computergestütztes Messwerterfassungssystem (Messanordnung für eine Temperaturermittlung)

Chemikalien

- 2 g Ammoniumnitrat
- 50 mL destilliertes Wasser



Tabelle 1: Grundgleichung und spezifische Wärmekapazität des Wassers

Kalorimetrische Grundgleichung	$\Delta_R H = - \frac{m(\text{Lösung}) \cdot c_p(\text{H}_2\text{O}) \cdot \Delta T}{n}$
Spezifische Wärmekapazität des Wassers	$c_p(\text{H}_2\text{O}) = 4,19 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$ <p>Die Dichte und die spezifische Wärmekapazität der Lösung entsprechen näherungsweise denen von Wasser. Die Wärmekapazität des Kalorimeters bleibt unberücksichtigt.</p>

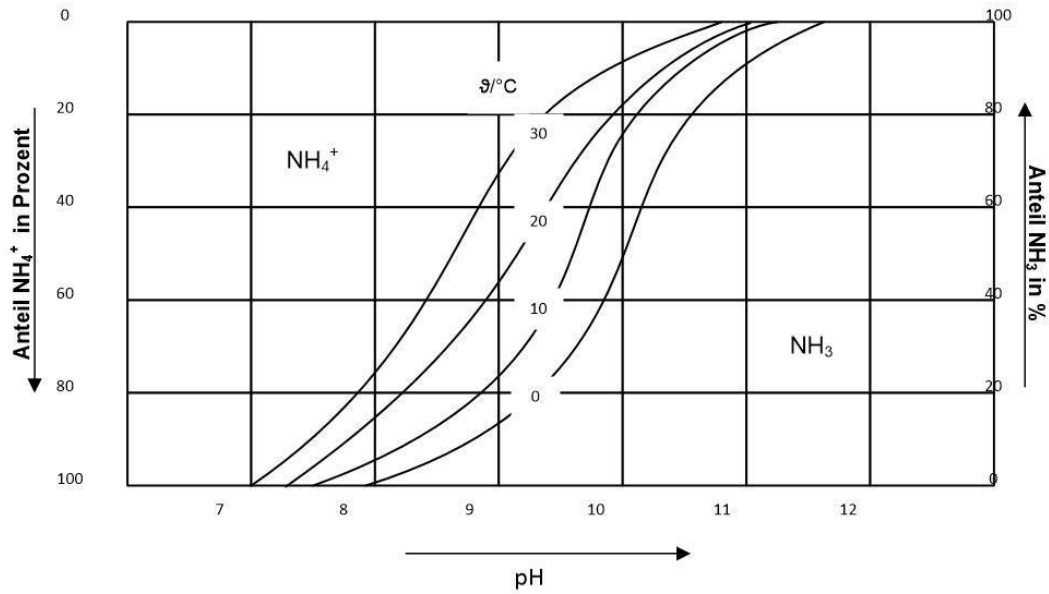
Material 5 zu Aufgabe 2**M 5a Ammoniak-/Ammonium-Ionen-Gleichgewicht in wässriger Lösung.**

Abbildung 2: Ammoniak-/Ammonium-Ionen-Gleichgewicht in wässriger Lösung, IQB

M 5b Fischsterben in der Jagst

Ende August 2015 kam es im Landkreis Schwäbisch Hall zu einem Großbrand in einer Mühle. Infolge der Löscharbeiten gelangte eine große Menge handelsüblicher Mineraldünger (Ammoniumnitrat) in die Jagst, was ein dramatisches Fischsterben – es wurden ca. 20 t tote Fische geborgen – zur Folge hatte.



Abbildung 3: Fischsterben in der Jagst. Hohenloher Tagblatt, Anna Berger, 25.08.2015.

M 5c Säure- und Basenkonstanten

$$K_S(\text{NH}_4^+) = 5,6 \cdot 10^{-10} \text{ mol / L}$$

$$K_B(\text{NO}_3^-) = 4,8 \cdot 10^{-16} \text{ mol / L}$$

Quelle: Das große Tafelwerk interaktiv 2.0. 2011, S. 157.

Material 6 zu Aufgabe 2

Düngemittel und ihre Auswirkungen

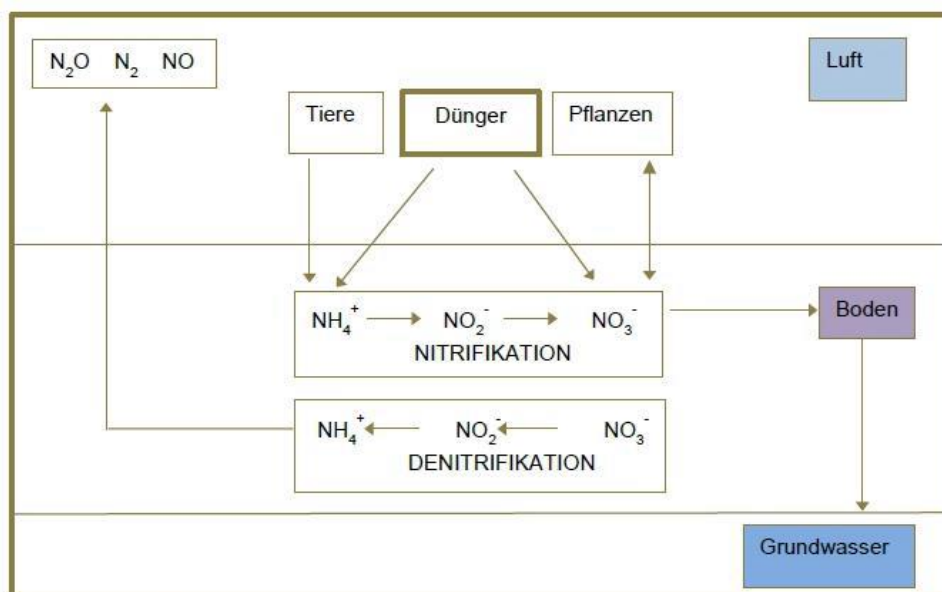


Abbildung 4: Mögliche Wege des Stickstoffs in der Natur, IQB

Aufgabe 3

Herstellung eines Klebstoffes aus Alltagschemikalien

Material 7 zu Aufgabe 3

Klebstoffe

Die Einteilung der Klebstoffe kann auf unterschiedliche Art und Weise vorgenommen werden:

Die meisten heute eingesetzten Klebstoffe sind organische Verbindungen, die eine natürliche (Proteine, Kohlenhydrate, Wachse oder Harze) oder eine synthetische organische (meistens polymere Werkstoffe) Basis haben. Klebstoffe auf rein natürlicher Basis (zum Beispiel Bienenwachs oder Baumharz) sind relativ selten, da sie häufig keine ausreichenden Verklebungseigenschaften für die praktische Anwendung besitzen. Viele Klebstoffe enthalten daher sowohl natürliche als auch synthetische Komponenten.

Darüber hinaus werden die Klebstoffe in die zwei folgenden Gruppen unterteilt:

- Chemisch härtende Klebstoffe bestehen aus zwei Komponenten. Das Polymer entsteht durch eine chemische Reaktion der Bestandteile bei der Härtung.
- Bei physikalisch abbindenden Klebstoffen liegen die Polymere bereits in der endgültigen Zusammensetzung und Größe vor. Die Polymere werden zum Beispiel in einem Lösungsmittel gelöst oder geschmolzen. Sie verändern sich beim Aushärten nicht.

Die Einteilung in Thermoplaste, Duromere und Elastomere, wie bei den Kunststoffen üblich, gibt dem Nutzer wichtige Hinweise über die Eigenschaften des verwendeten Klebstoffs.

Insgesamt stellt die Herstellung von Klebstoffen auf synthetischer Basis einen wichtigen Bereich der Kunststoffchemie dar.

Material 8 zu Aufgabe 3

Versuchsanleitung: Herstellung eines Klebstoffs aus Citronensäure und Glycerin

Geräte:

- Becherglas (50 mL)
- Becherglas (200 mL)
- Glasstab
- Thermometer (200 °C)
- Pipette (2 mL)
- Objektträger (oder Glasplatten)
- Spatel
- Stoppuhr
- Heizplatte
- Stativmaterial
- Waage

Chemikalien:

- Glycerin (Propan-1,2,3-triol)
- Citronensäure, wasserfrei (2-Hydroxypropan-1,2,3-tricarbonsäure)

Strukturformel von Citronensäure

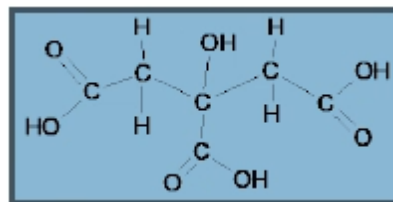


Abbildung 5: Strukturformel von Citronensäure, IQB



Durchführung,

1. Stellen Sie in dem 50 mL-Becherglas auf der Heizplatte aus Glycerin und Citronensäure einen Klebstoff her. Halten Sie dabei die Temperatur über 10 bis 15 Minuten bei ca. 150 °C. Rühren Sie hin und wieder um. Setzen Sie die in Aufgabe 3 berechneten Massen ein.

Citronensäure Glycerin g M 192mol g M 92mol □□

2. Verkleben Sie mit dem Produkt die zwei Objektträger.

3. Weichen Sie anschließend die Materialien in einem 200 mL-Becherglas mit Wasser ein und nehmen Sie dieses mit an den Arbeitsplatz.

4. Prüfen Sie den Zusammenhalt und die Konsistenz nach ca. 15 Minuten erneut.

Material 9 zu Aufgabe 3

Was ist Glas?

Gläser sind nichtkristalline, anorganische Feststoffe. Das „normale“ Laborglas (Kalk-Natron-Glas), aus dem zum Beispiel Objektträger bestehen, entsteht durch das Zusammenschmelzen von Siliciumdioxid SiO_2 (ca. 75 %) mit Natriumcarbonat Na_2CO_3 (ca. 15 %) und Calciumcarbonat CaCO_3 (ca. 10 %).

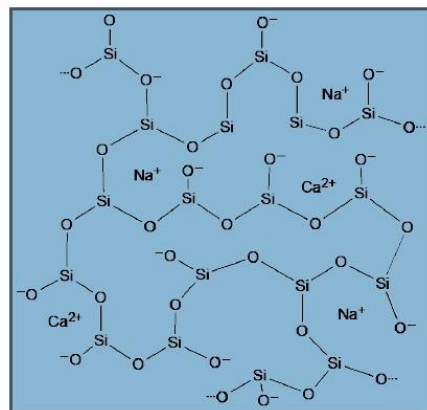


Abbildung 6: Zweidimensionale Darstellung eines Ausschnitts der Struktur von Kalk-Natron-Glas, aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die ausgehend von den Silicium-Atomen nach unten oder nach oben ragenden Sauerstoff-Atome weggelassen, IQB

Aufgabe 4

Polyurethanschaum in Medizintechnik und als Verpackungsmaterial

Material 10 zu Aufgabe 4

Polyurethanschaum in der Wundheilung

Schäume auf Grundlage von Polyurethan kommen mit großem Erfolg in der Wundversorgung zur Anwendung. Besonders großflächige oder komplizierte tiefe Hautwunden können als Wundheilungshilfe mit Polyurethanschaum versorgt werden. Solche Hautwunden kommen bei Verbrennungen oder bei chronischen Erkrankungen vor und nehmen bisweilen über die Hälfte der Körperoberfläche ein.

Polyurethanschaum fungiert hier nicht nur als schützende Wundabdeckung. Er dient vielmehr zusätzlich teilungsfähigen Hautstammzellen als Anheftungs- und Gerüstsubstanz. Die Hautstammzellen wandern aus tieferliegenden Hautschichten in den Polyurethanschaum ein, um dort die Haut neu zu bilden und damit die Wunde zu schließen. Die eingesetzten Polyurethanprodukte in der Wundversorgung werden in der Hautwunde durch körpereigene Substanzen und Stoffwechselprozesse nach und nach abgebaut. Dieser Abbau wird dadurch begünstigt, dass die eingesetzten Isocyanate keine aromatischen Molekülbestandteile aufweisen (aliphatische Isocyanate).

Material 11 zu Aufgabe 4

Synthese von Polyurethan

Zur Synthese werden zwei Monomere benötigt:

Monomer 1 ist ein Isocyanat, welches zwei bis vier Isocyanat-Gruppen enthält. Dieses wird durch Reaktion eines Diamins $\text{H}_2\text{N-R}_1\text{-NH}_2$, (R_1 beliebiger Rest) mit Phosgen (Cl_2CO) hergestellt. Phosgen sowie Isocyanat-Produkte sind stark giftige Substanzen.

Monomer 2 ist ein Polyalkohol, welcher zwei bis vier Hydroxy-Gruppen aufweist.

Monomer 1 und 2 reagieren miteinander unter Bildung der Urethan-Gruppe, welche kennzeichnend für Polyurethane ist.

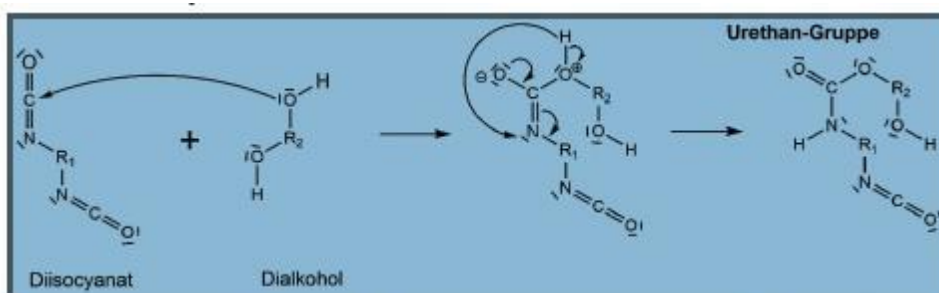


Abbildung 7: Mechanismus zur Herstellung der Urethan-Gruppe, vereinfachend wird von bifunktionellen Molekülen ausgegangen, IQB

Die Porengröße und -anzahl wird im Herstellungsprozess des Polyurethanschaumes unter anderem durch die Menge an Wasser reguliert, welches dem Gemisch der Edukte beigefügt wird. Wasser reagiert dabei mit der im Überschuss zugegebenen Isocyanat-Komponente unter Bildung eines als Treibgas fungierenden Stoffes, welches die Aufschäumung des Produktes bewirkt. Dieses Treibgas ist farb- und geruchlos und nicht brennbar.

Material 12 zu Aufgabe 4

Polyurethanschaum als Verpackungsmaterial

Eine weitere Anwendung von Polyurethanschaum liegt in der Verpackung von Lebensmitteln, z. B. von Obst oder Gemüse. Empfindliche exotische Früchte, die über lange Strecken transportiert werden sollen, werden etwa durch ein Polyurethanschaumnetz vor mechanischer Belastung geschützt (Abbildung 8). Da hierbei, im Gegensatz zu der Wundheilungshilfe aus Polyurethanschaum, der Abbau nicht erwünscht ist, werden resistenterere Polyurethanschäume eingesetzt, deren Monomere aromatische Molekülbestandteile enthalten, z. B. TDI (Abbildung 9).

Im Zuge regelmäßiger Lebensmittelüberwachungen werden in exotischen Früchten bisweilen aromatische Amine in toxischen Konzentrationen nachgewiesen, z. B. 2,4-Diaminotoluol. Hierbei besteht ein gesicherter Zusammenhang zur Verpackung dieser Früchte in Polyurethanschaum



Abbildung 8: Einzeln mit Polyurethanschaumnetzen verpackte Früchte, IQB

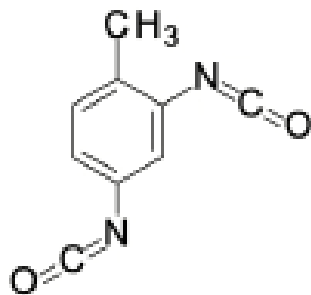


Abbildung 9 TDI (Toluol-2,4-diisocyanat), IQB

Mecklenburg-Vorpommern



Musterabitur ab 2025

Chemie

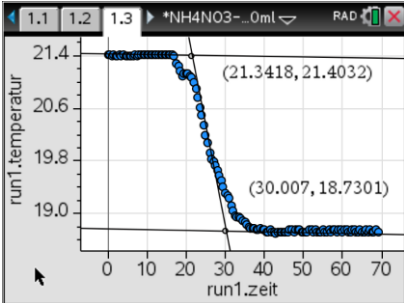
Leistungskurs

Musterlösung

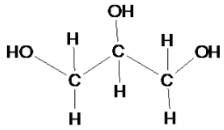

1	Die Chemie der selbsterhitzenden Getränkebecher	Komp	AFB	BEs
1.1	<p>Die Beschreibung erfolgt sachlogisch auf Teilchenebene und unter Verwendung der Fachbegriffe, sodass der Lösevorgang gut nachvollziehbar ist:</p> <p>polare Wassermoleküle greifen Ionengitter an → Ion-Dipol-Wechselwirkungen → einzelne Ionen werden aus ihrer Gitterposition herausgezogen → um Kationen und Anionen bildet sich eine Hydrathülle</p> <p>Die Erklärung der Funktionsweise orientiert sich an der Reihenfolge der beschriebenen Schritte und wird durch chemische Sachverhalte, z. B. exothermer Lösevorgang, Wärmeaustausch etc. sachlogisch ergänzt.</p> <p>Eindrücken der dicken, elastischen Folie → innerer Kolben durchstößt dünne Folie → Wasser fließt in benachbarte Kammer → Calciumchlorid löst sich exotherm → Energie wird in Form von Wärme abgegeben → Getränk nimmt die abgegebene Wärme auf → Schütteln unterstützt Durchwärmung des Getränks → nimmt Zeit in Anspruch (3 Minuten warten) → Getränkeseite öffnen → Becherinhalt verzehrbereit</p>	S3 S6 E1 K6	I	8
1.2	<p>Das Lösen verschiedener Salze soll in chemischer Zeichensprache (Reaktionsgleichungen) überführt werden:</p> $\text{CaCl}_{2(s)} + 6\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(s)} \rightarrow \text{Ca}^{2+}_{(aq)} + 2\text{Cl}^{-}_{(aq)} + 6\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ $\text{CaCl}_{2(s)} \rightarrow \text{Ca}^{2+}_{(aq)} + 2\text{Cl}^{-}_{(aq)}$ <p>Berechnungen:</p> $\Delta_r H_m^0 = \sum_{\text{Produkte}} \nu_i \cdot \Delta_f H_m^0 - \sum_{\text{Edukte}} \nu_i \cdot \Delta_f H_m^0$ <p>Bildung von Calciumchloridhexahydrat:</p> $\begin{aligned} \Delta_r H_m^0 &= \Delta_r H_m^0(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(s)}) \\ &= -(\Delta_r H_m^0(\text{CaCl}_{2(s)}) + 6 \cdot \Delta_r H_m^0(\text{H}_2\text{O}_{(l)})) \\ &= [(-2608) - (-796) - 6 \cdot (-286)] \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = -97 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \end{aligned}$ <p>Lösen von Calciumchloridhexahydrat:</p>	S16 S17 K7	II	10

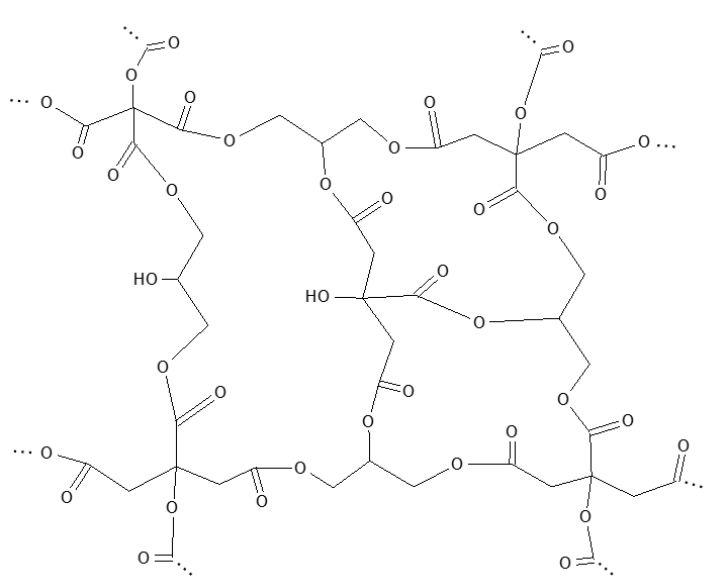
	$\Delta_r H_m^0 = \Delta_r H_m^0(\text{Ca}^{2+}_{(\text{aq})}) + 2 \cdot \Delta_r H_m^0(\text{Cl}^-_{(\text{aq})})$ $+ 6 \cdot \Delta_r H_m^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}) - \Delta_r H_m^0(\text{CaCl}_{2(\text{s})})$ $= [(-543) + 2 \cdot (-167) + 6 \cdot (-286) - (-2608)] \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ $= +15 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ <p>Lösen von wasserfreiem Calciumchlorid:</p> $\Delta_r H_m^0 = \Delta_f H_m^0(\text{Ca}^{2+}_{(\text{aq})}) + 2 \cdot \Delta_f H_m^0(\text{Cl}^-_{(\text{aq})})$ $- \Delta_f H_m^0(\text{CaCl}_{2(\text{s})})$ $= [(-543) + 2 \cdot (-167) - (-796)] \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = -81 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ <p>Nur wasserfreies Calciumchlorid kann in selbsterhitzenden Getränkebechern zum Einsatz kommen, da nur dieser Lösevorgang exotherm verläuft und die zum Erwärmen notwendige Energie liefert.</p>			
1.3	<p>Die Erklärung erfolgt sachlogisch und basiert auf dem Satz von Hess, wobei der Zusammenhang zwischen Gitterenthalpie, Hydratationsenthalpie und der Lösungsenthalpie als Gesamtwärmesumme zum Ausdruck gebracht wird.</p> <p>Lösungsenth. = Gitterenth. + Hydratationsenth.</p> $\Delta_L H = +\Delta_G H + (-\Delta_H H)$ <p><i>Hinweis: Dies soll verbal-sprachlich unter Verwendung der Fachbegriffe geschehen.</i></p> <p>Die Gitterenthalpien ändern sich geringfügig. Die Ursache liegt hauptsächlich in der Hydratation. Wasserhaltiges Calciumchlorid gibt weniger Energie bei der Hydratation ab, da das Salz schon teilweise durch das vorhandene Wasser hydratisiert ist.</p> <p>$\Delta_L H(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) > 0$, da $\Delta_G H > \Delta_H H$ bzw.</p> <p>$\Delta_L H(\text{CaCl}_2) < 0$, da $\Delta_G H < \Delta_H H$</p>	S12 S13 E7 K8 K10	III	6
1.4	<p>Berechnung der Entropieänderung beim Lösen von wasserfreiem Calciumchlorid:</p> $\Delta S_m^0 = \sum_{\text{Produkte}} \nu_i \cdot S_m^0 - \sum_{\text{Edukte}} \nu_i \cdot S_m^0$ $= S_m^0(\text{Ca}^{2+}_{(\text{aq})}) + 2 \cdot S_m^0(\text{Cl}^-_{(\text{aq})}) - S_m^0(\text{CaCl}_{2(\text{s})})$ $= [(-56) + 2 \cdot 57 - 105] \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = -47 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ <p>Die Diskussion führt beide Triebkräfte chemischer Reaktionen an und verknüpft sie mit den entsprechenden Werten.</p>	S3 S17	II	10

	$\Delta_r H_m^0 = -81 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \text{ und } \Delta S_m^0 = -47 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ <p>Ein Vergleich der Vorzeichen von Enthalpie- und Entropieänderung bringt die Gegenläufigkeit der Triebkräfte hervor.</p> <p>Berechnung mithilfe der Gibbs-Helmholtz-Gleichung:</p> $\Delta_r G = \Delta_r H - T \cdot \Delta S$ $= -81 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 288\text{K} \cdot (-47) \frac{\text{kJ}}{1000 \cdot \text{mol} \cdot \text{K}} = -67,46 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ <p>Die Reaktion ist bei 15 °C exergonisch.</p>			
1.5	<p>Hinweise aus M1:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lagern Sie den Getränkebecher in trockener Umgebung. → Sinnvoller Hinweis, da durch trockene Umgebung ein verfrühtes, unkontrolliertes Lösen des Salzes verhindert wird. 2. Verhindern Sie direkte Sonneneinstrahlung oder eine Überhitzung von mehr als 60 °C. → Sinnvoller Hinweis, da Inhaltsstoffe bei hohen Temperaturen verderben könnten. 3. Äußerlich beschädigte Getränkebecher (z. B. Risse) nicht mehr verwenden, im Hausmüll entsorgen. → Sinnvoller Hinweis, da durch eindringende Luftfeuchtigkeit Calciumchlorid-Hexahydrat gebildet wird, was beim Lösen für Abkühlung sorgt. 		I/ II	6
	10 BE in AFB I, 24 BE in AFB II, 6 BE in AFB III	Summe:		40

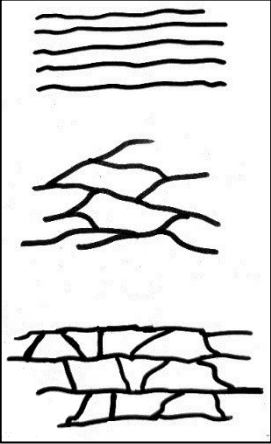
2	Segen und Fluch von Mineraldüngern	Komp	AFB	BEs
2.1	$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{NO}_3$ <p>Ausgewählte Stoffeigenschaft, z. B.: Wasserlöslichkeit ist die Voraussetzung für die Verwendung des Salzes Ammoniumnitrat in Düngemitteln;</p> <p>Erklärung dieser Stoffeigenschaft anhand der Struktur, z. B. aufgrund starker elektrostatischer Wechselwirkungen zwischen den Dipol-Molekülen des Wassers und den Ionen des Ammoniumnitrats.</p>	S2 S16 K10	I/II	7
2.2	<p>Durchführung: Grafische Darstellung, z B.:</p>  <p>$\Delta T = -2,7\text{K}$</p> <p>Auswertung:</p> $n = \frac{m}{M} \rightarrow n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = \frac{2\text{g}}{80\frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,025\text{mol}$ $\Delta_{\text{R}}H = -\frac{m(\text{Lösung}) \cdot c_p(\text{H}_2\text{O}) \cdot \Delta T}{n}$ $\rightarrow \Delta_{\text{R}}H(\text{NH}_4\text{NO}_3) = -\frac{52\text{g} \cdot 4,19\frac{\text{J}}{\text{gK}} \cdot (-2,7\text{K})}{0,025\text{mol}} \approx 23,5\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ <p>Begründung: endothermer Lösevorgang verläuft freiwillig, weil: $\Delta_{\text{R}}H > 0$, experimentell ermittelt $\Delta_{\text{R}}S > 0$, Ionengitter zerfällt in frei bewegliche Ionen</p> $\text{NH}_4\text{NO}_3 \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ <p>Das Experiment bestätigt bei Zimmertemperatur den freiwilligen Verlauf des Lösevorgangs. Es gilt: $\Delta_{\text{R}}G < 0$, wegen $\Delta_{\text{R}}H < T \cdot \Delta_{\text{R}}S$</p>	S17 E5 E6 E10	I-III	16
2.3	Ermitteln und begründen:	S8 S16	II-III	12

	<p>Abbildung 5a: Hohe Temperaturen und ein hoher pH-Wert begünstigen einen hohen Ammoniak-Anteil. Die Bildung des Ammoniaks muss endotherm verlaufen.</p> <p>Gleichgewichtsreaktion: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$</p> <p>Eine hohe Temperatur verschiebt das Gleichgewicht auf die Seite des Ammoniaks.</p> <p>Ein hoher pH-Wert bedeutet eine hohe Konzentration an Hydroxid-Ionen. Die Bildung von Ammoniak wird begünstigt.</p> <p>Begründen: z. B.</p> <p>überschüssiges Ammoniumnitrat löst sich im Binnengewässer auf: $\text{NH}_4\text{NO}_3 \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$</p> <p>Ammonium-Ionen unterliegen der Protolyse:</p> $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+$ <p>Protolyse der Nitrat-Ionen kann vernachlässigt werden, da $K_B = 4,8 \cdot 10^{-16} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$</p> <p>Schlussfolgerung:</p> <p>Es entsteht giftiges Ammoniak, das für das Fischsterben u. a. verantwortlich gemacht werden kann.</p>	E1 E8 K10		
2.4.	<p>z. B.: Die Überdüngung führt zu einem erhöhten Gehalt an Ammonium- und Nitrat-Ionen. Die Nitrat-Ionen reichern sich im Boden (auch durch Nitrifikation aus Ammonium-Ionen) an. Überschüssige Nitrat-Ionen können durch Denitrifikation in Ammonium-Ionen umgewandelt werden, die wiederum zum klimaschädlichen Gas Distickstoffmonooxid reagieren. Gleichzeitig werden Nitrat-Ionen auch aus dem Boden ausgewaschen und reichern sich im Grundwasser an.</p>	K2 B10	II	5
	9 BE in AFB I, 24 BE in AFB II, 7 BE in AFB III	Summe:		40

3	Herstellung eines Klebstoffes aus Alltagschemikalien	Komp	AFB	BEs
3.1	<p>Erläuterung der Einteilung der Klebstoffe:</p> <p>Einteilung auf der Basis des Vorkommens bzw. der Herstellung: natürlich vorkommende Klebstoffe bzw. synthetische Klebstoffe;</p> <p>Einteilung unter Bezug auf die Vorgänge bei der Verarbeitung: chemische Reaktion bei der Härtung des Klebstoffs gegenüber physikalisch abbindenden Klebstoffen, bei denen ein Lösungsmittel verdampft oder der Klebstoff geschmolzen und bei der Abkühlung wieder fest wird;</p> <p>Einteilung auf Basis der Struktur:</p> <p>Klebstoffe aus unverzweigten Makromolekülen (Thermoplaste),</p> <p>Klebstoffe aus mehr oder weniger stark verzweigten bzw. vernetzten Makromolekülen (Duromere),</p> <p>Klebstoffe aus weitmaschig vernetzten Makromolekülen (Elastomere).</p>	S1 E1 K2 K9	I/II	5
3.2	<p>Strukturformel von Glycerin:</p>  <p>Erläuterung des Reaktionstyps:</p> <p>Bei der Reaktion handelt es sich um die Herstellung eines (Poly-)Esters; es reagieren Carboxy-Gruppen und Hydroxy-Gruppen unter Wasserabspaltung (Kondensationsreaktion).</p> <p>Formulierung der zugrundeliegenden Reaktionsgleichung:</p> 	S4 S16 K7	I-II	5
3.3	<p>Begründung und Berechnung der eingesetzten Stoffmenge Glycerin:</p> <p>Citronensäure-Moleküle enthalten drei Carboxy-Gruppen und eine Hydroxy-Gruppe. Glycerin-Moleküle besitzen drei Hydroxy-Gruppen. Wenn alle funktionellen Gruppen reagieren sollen, ist das bei einem Verhältnis von 1:1 zu erwarten (Anzahl der Carboxy-Gruppen:Anzahl der Hydroxy-Gruppen).</p> <p>Daraus ergibt sich die theoretisch größtmögliche Vernetzung bei einem Verhältnis von Citronensäure zu Glycerin von 3 mol zu 2 mol.</p>	S17 E3 E5	I-III	10

	<p>Die entsprechenden Massenanteile ergeben sich aus:</p> $\frac{m(\text{Citronensäure})}{m(\text{Glycerin})} = \frac{n(\text{Citronensäure}) \cdot M(\text{Citronensäure})}{n(\text{Glycerin}) \cdot M(\text{Glycerin})}$ $= \frac{576 \text{ g}}{184 \text{ g}} \approx \frac{3,13}{1} \approx \frac{3}{1}$ <p>Die Masse des Glycerins beträgt ungefähr ein Drittel der Masse der Citronensäure. Ansatz für den Klebstoff z. B.: 12 g Citronensäure und 4 g Glycerin Durchführen des Experiments Formulierung der Beobachtungen: während des Erhitzens bildet sich eine klare, farblose Flüssigkeit, die Flüssigkeit wird zähflüssig, die Objektträger kleben fest zusammen, in wässriger Lösung wird das Gemisch dünnflüssiger <i>Hinweise für die Lehrkraft:</i> <i>Teillösungen der Berechnung der Massen können gegebenenfalls gewertet werden.</i> <i>Begründet und fachlich schlüssig argumentieren wären auch auf der Basis der berechneten Stoffportionen andere eingesetzte Massen möglich (z. B. höherer Anteil des Alkanols aufgrund der schlechten Homogenisierbarkeit des Gemisches bei zu hohem Citronensäure-Anteil oder geringerer Vernetzung aufgrund möglicher sterischer Behinderung)</i> <i>Berechnungen auf der Basis eines nicht korrekt bestimmten Stoffmengenverhältnisses werden als Folgefehler gewertet.</i></p>			
3.4.	<p>Beispiel eines möglichen Formelausschnitts für den Klebstoff aus Glycerin und Citronensäure:</p>  <p><i>Hinweis: Vereinfachte Darstellungen sind möglich.</i> Erläuterung der Eigenschaften des hergestellten Klebstoffs:</p>	S11 K9 K10	II	11

	<p>Bei der Reaktionen entstehen mehr oder weniger verzweigte Polyester. Sie gehören zu den Duromeren.</p> <p>Durch die Vernetzung (Elektronenpaarbindungen zwischen den Monomeren) entsteht die innere Festigkeit des Klebstoffs (Kohäsion).</p> <p>Die Wechselwirkungen mit den zu verbindenden Teilen (Adhäsion), hier Glas (Siliciumdioxid-Netzwerk mit eingelagerten Natrium- und Calcium-Ionen), werden durch Ausbildung von Wasserstoffbrücken bzw. Wechselwirkungen zwischen permanenten Dipolen oder Ionen-Dipol-Wechselwirkungen gewährleistet.</p> <p>In Anwesenheit von Wasser treten die Wassermoleküle mit den Polymer-Molekülen in Wechselwirkung und setzen die Kohäsionskräfte herab. Dadurch verschlechtern sich die Klebeeigenschaften und der Klebstoff wird dünnflüssiger.</p> <p><i>Hinweis: Möglich wäre hier auch die Argumentation, dass bei einem Überschuss an Wasser teilweise die Esterhydrolyse abläuft, bei der die Polykondensate wieder zu den Edukten reagieren.</i></p>			
3.5	<p>Darstellung und Bewertung der Nutzung des Klebstoffs:</p> <p>Eigenschaften/Eignung: Der Klebstoff eignet sich zum Verkleben von Oberflächen mit polarer Struktur, z. B. Cellulose/ Papier. Dauerhafte Festigkeit ist nicht gegeben.</p> <p>Nutzung: Klebstoffreste können von der Haut und anderen Materialien mit Wasser abgewaschen werden. Gut geeignet wäre der Klebstoff für Produkte, die wieder abgelöst werden sollen (z. B. Etiketten).</p> <p>Umweltfreundlichkeit: Der Klebstoff ist umweltfreundlich, da die Edukte teilweise aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden können und keine oder nur geringe Gefahren von diesen ausgehen.</p>	B7 B13	II/III	9
	9 BE in AFB I, 23 BE in AFB II, 8 BE in AFB III	Summe:		40

4	Polyurethanschaum in Medizintechnik und als Verpackungsmaterial	Komp	AFB	BEs
4.1	<p>Schematische Skizzen:</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">  </div> <div> <p>Thermoplaste:</p> <p>Elastomere:</p> <p>Duromere:</p> </div> </div> <p>Merkmale:</p> <p>Thermoplaste (oben): bei Zimmertemperatur hart, bei Erwärmung verformbar, da die schwachen zwischenmolekularen Wechselwirkungen zwischen den unverzweigten Molekülketten leicht überwunden werden können;</p> <p>Elastomere (Mitte): elastisch, gehen nach mechanischer Beanspruchung wieder in Ausgangsform zurück, da weitmaschig-vernetzte Molekülketten mit schwachen Wechselwirkungen gut gegeneinander verschiebbar sind;</p> <p>Duromere (unten): hart und spröde, keine Verformbarkeit, zerspringen bei mechanischer Belastung, zersetzen sich bei höheren Temperaturen, da hoher Vernetzungsgrad der Molekülketten.</p> <p>Zuordnung: Elastomere</p> <p>Beurteilung: Polyurethanschaum ist geeignet, da er z. B.</p> <p>sich elastisch in die Wunde einbetten muss, Bewegungen des Patienten flexibel folgen muss, nach Druckausübung auf die Wunde wieder das ursprüngliche Volumen und die ursprüngliche Form einnehmen muss, Hohlräume für einwandernde Zellen aufweisen muss. <i>Hinweis: Zwei Aspekte genügen für die zwei Bewertungseinheiten.</i></p>	S2 S11 B7	I/II	9
4.2	<p>Reaktionsgleichung: $\text{H}_2\text{N}-\text{R}-\text{NH}_2 + 2\text{Cl}_2\text{CO} \rightarrow \text{OCN}-\text{R}-\text{NCO} + 4\text{HCl}$</p> <p>Molekülgeometrie Amino-Gruppe:</p> <p>Angabe der Lewis-Formel der Amino-Gruppe; trigonal-pyramidal (alternativ: flache, dreiseitige Pyramide, nicht regelmäßiger Tetraeder, Pseudotetraeder); freies</p>	S16 E7	II/III	11

	<p>Elektronenpaar am Stickstoff-Atom hat größere Abstoßungskräfte; drängt bindende Elektronenpaare der N-H- und N-R-Bindungen zusammen; Bindungswinkel daher kleiner als Tetraeder-Winkel</p> <p>Molekülgeometrie Phosgen:</p> <p>Angabe der Lewis-Formel von Phosgen; trigonal-planares Molekül (alternativ: ebenes, dreieckiges Molekül); Bindungswinkel Cl-C-Cl kleiner 120°, weil Bindungselektronen der C-Cl-Bindung durch die hohe EN von Cl nach außen gezogen werden und die Abstoßungskräfte sich dadurch erniedrigen, auch hat die Doppelbindung C=O größere Abstoßungskraft.</p> <p>Beurteilung:</p> <p>nicht sterisch gehindert; Stickstoff-Atom der Amino-Gruppe kann mit dem nach außen gerichteten freien Elektronenpaar das Kohlenstoff-Atom des Phosgen-Moleküls ungehindert angreifen</p>			
4.3	<p>Erläuterung (formelmäßige Darstellungen des Mechanismus können herangezogen werden), z. B.:</p> <p>stark elektronegatives Sauerstoff-Atom der Carbonyl-Gruppe des Isocyanat-Moleküls führt zur positiven Partialladung am Kohlenstoff-Atom der Carbonyl-Gruppe (elektrophil);</p> <p>stark elektronegatives Sauerstoff-Atom der Hydroxy-Gruppe des Diol-Moleküls führt zur negativen Partialladung am Sauerstoff-Atom der Hydroxy-Gruppe (nucleophil);</p> <p>Angriff des Nucleophils mit freiem Elektronenpaar an positiver Partialladung der Carbonyl-Gruppe (ein Elektronenpaar der Doppelbindung wird auf das Sauerstoff-Atom der Carbonyl-Gruppe übertragen und es entsteht eine negative Ladung;</p> <p>Sauerstoff-Atom der Hydroxy-Gruppe mit positiver Ladung;</p> <p>Umlagerung des Wasserstoff-Ions an das Stickstoff-Atom (positiv geladenes Sauerstoff-Atom zieht Bindungselektron vom Wasserstoff-Atom an);</p> <p>Anlagerung des Wasserstoff-Ions an das Stickstoff-Atom bei gleichzeitiger Rückbildung der Doppelbindung zur Carbonyl-Gruppe; Folge ist freies Elektronenpaar am Stickstoff-Atom.</p> <p><i>Hinweis: Die Benennung des Mechanismus (Polyaddition) wird nicht erwartet.</i></p> <p>Erklärung:</p> <p>Reaktionsgleichung: $R - NCO + H_2O \rightarrow R - NH_2 + CO_2$</p> <p>Überschüssiges Isocyanat reagiert, es entsteht (gasförmiges) Kohlenstoffdioxid, welches im Kunststoff Bläschen bildet (Aufschäumen).</p>	S3 S14 S16	II/III	10
4.4.	Darstellen z. B.	K8	I-III	10

	<p>Aromatische Isocyanate werden im Überfluss eingesetzt (Aufschäumung); TDI-Monomere können aus deren Verpackungen auf das Lebensmittel übergehen; aromatische Amine können in den Früchten als Reaktionsprodukt aus den Isocyanaten entstehen, dazu muss Feuchtigkeit vorhanden sein (Wasser als zweites Edukt). Bewertung: (offene Aufgabenstellung, wobei erwartet wird, dass Kriterien eigenständig aufgestellt und wertend ausgeführt werden), z. B.:</p> <p>Kriterium „Lebensmittel-Wertigkeit“ (Verbrauchererwartung, Qualitätssicherung, Lebensmittelverschwendung), z. B.: Die Verpackung ist nützlich: Verbraucher erwarten unversehrte, visuell attraktive Lebensmittel, ungeschützte Früchte bekommen Druckstellen und verderben schneller, müssen ggf. weggeworfen werden.</p> <p>Kriterium „Umwelt“ (Nachhaltigkeit, Recycling, Ökologie), z. B.: Die Verpackung ist ökologisch bedenklich: Mengen an Verpackungsmüll, keine Wiederverwendung der Polyurethanschaumnetze.</p> <p>Kriterium „Gesundheit“ (Risiken, Toxizität), z. B.: Die Herstellung und Anwendung der Verpackung kann Schaden hervorrufen: Einsatz giftiger Substanzen in der Herstellung, Risiko für im Prozess beteiligte Arbeitskräfte, toxische Belastung von Lebensmitteln.</p> <p>Eigenes Werturteil formulieren</p> <p><i>Hinweis: Für die sechs Bewertungseinheiten müssen Aspekte dreier verschiedener Kriterien wertend herausgearbeitet sein.</i></p>	<p>B6 B13</p>		
	<p>8 BE in AFB I, 25 BE in AFB II, 7 BE in AFB III</p>	<p>Summe:</p>		<p>40</p>