



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR KULTUS, JUGEND UND SPORT

Abiturprüfung an den allgemein bildenden Gymnasien

Haupttermin **2025**

Prüfungsfach: **Chemie**

Bearbeitungszeit: **300** Minuten einschließlich Auswahlzeit

Hilfsmittel:

- Nachschlagewerke zur deutschen Rechtschreibung
- das „Formeldokument Chemie“ des IQB
- der im jeweiligen Kurs eingeführte **wissenschaftliche Taschenrechner (WTR)**

Hinweise: Sie erhalten **vier** Aufgaben.

Sie sind verpflichtet, die vorgelegten Aufgaben vor Bearbeitungsbeginn auf Vollständigkeit zu überprüfen (Anzahl der Blätter, Anlagen usw.).

Wählen Sie davon **drei** Aufgaben zur Bearbeitung aus und vermerken Sie auf der Reinschrift und dem Entwurf, **welche** Aufgaben Sie bearbeitet haben.

Sie werden gebeten, für jede Aufgabe einen neuen Bogen Papier zu verwenden.

Lösungen auf den Aufgabenblättern werden **nicht** gewertet; ausgenommen sind Eintragungen in Abbildungen, die auf entsprechend gekennzeichneten Anlagen vorzunehmen sind.

Sollten Sie mehr als drei Aufgaben bearbeitet haben, so müssen Sie diejenigen **drei** Aufgaben deutlich kennzeichnen, die zur Bewertung Ihrer Prüfungsarbeit herangezogen werden sollen.

Biodiesel

Biodiesel ist ein Biokraftstoff, der als Alternative zu fossilem Dieselkraftstoff entwickelt wurde. Zur Herstellung von Biodiesel werden pflanzliche Öle, z. B. Rapsöl, mit Methanol umgesetzt.

- | | | |
|---|---|----|
| | | BE |
| 1 | <p>Geben Sie den systematischen Namen (nach IUPAC) von Glycerin an (M 1).
 Beurteilen Sie die Löslichkeit von Glycerin in Wasser (M 1).
 Formulieren Sie das Massenwirkungsgesetz für die Gleichgewichtsreaktion (M 1).
 Berechnen Sie ausgehend von den gegebenen Informationen die Gleichgewichtskonstante (M 1, M 2).
 <i>Hinweis: Für die Berechnung können in diesem Fall Stoffmengen anstelle der Stoffmengenkonzentrationen verwendet werden.</i>
 Geben Sie an, welche Information über die Lage eines chemischen Gleichgewichts aus dem Zahlenwert der zugehörigen Gleichgewichtskonstante abgeleitet werden kann.</p> | 13 |
| 2 | <p>Erklären Sie die Auswirkung der Zugabe von weiterem Methanol auf die Ausbeute an Biodiesel (M 1, M 2).
 Geben Sie die Funktion von Natriummethanolat an, und begründen Sie, dass es keinen Einfluss auf die Gleichgewichtskonzentrationen der Reaktionsteilnehmer hat (M 2).
 Geben Sie an, welche Produkte in Tank 1 und in Tank 2 vorliegen und welches der Produkte mit Rapsöl verunreinigt ist (M 2).</p> | 9 |
| 3 | <p>Berechnen Sie die Wärmemenge Q_1, die im beschriebenen Experiment vom Wasser aufgenommen wird (M 3).
 Ermitteln Sie die Wärmemenge Q_2, die im beschriebenen Experiment laut Hersteller abgegeben wird (M 3).
 Erklären Sie die stark unterschiedlichen Beträge von Q_1 und Q_2 anhand von drei Aspekten (M 3).</p> | 8 |
| 4 | <p>Berechnen Sie den Brennwert von fossilem Dieselkraftstoff (M 4).
 Bewerten Sie die Nachhaltigkeit von fossilem Diesel und von Biodiesel anhand von drei Aspekten (M 3, M 4, M 5).</p> | 10 |

Material M 1: Vom Rapsöl zum Biodiesel

Zur Herstellung von Biodiesel wird Rapsöl mit Methanol umgesetzt. Dabei stellt sich ein chemisches Gleichgewicht ein (Abbildung 1). Zur Vereinfachung wird hier davon ausgegangen, dass die langkettigen Fettsäurereste (R) in den Rapsöl-Molekülen identisch sind.

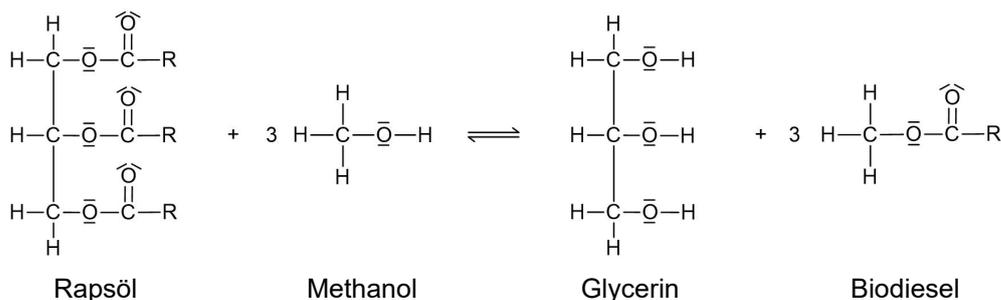


Abbildung 1: Reaktionsgleichung für die Herstellung von Biodiesel

Material M 2: Industrielle Herstellung von Biodiesel

Die industrielle Herstellung von Biodiesel verläuft in mehreren Schritten. Der Gesamtprozess kann durch ein Fließdiagramm dargestellt werden (Abbildung 2).

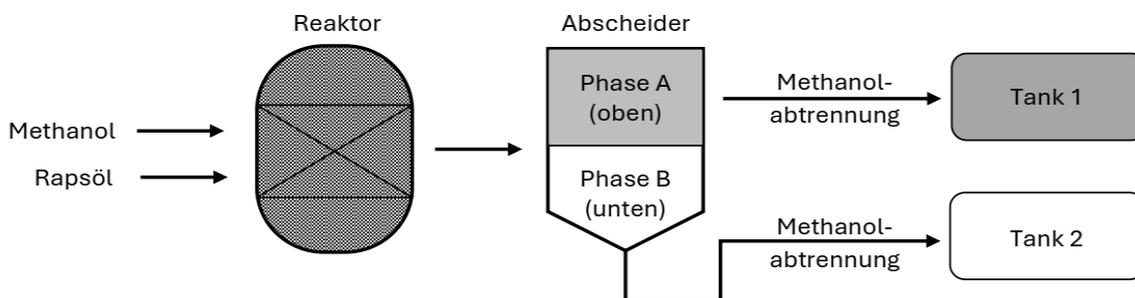


Abbildung 2: Fließdiagramm für die industrielle Herstellung von Biodiesel (vereinfacht)

Folgende chemische Aspekte sind dabei relevant:

- Rapsöl und Methanol werden in einem beheizten Reaktor zur Reaktion gebracht. Es bildet sich ein Gemisch aus Rapsöl, Methanol, Glycerin und Biodiesel, das mehrere Stunden lang bei Temperaturen zwischen 50 °C und 80 °C gerührt wird.
- Nach Einstellung eines chemischen Gleichgewichts wird weiteres Methanol zugegeben. Insgesamt wird die doppelte Stoffmenge an Methanol eingesetzt, die für einen vollständigen Umsatz erforderlich wäre. Auf diese Weise werden bis zu 94 % des eingesetzten Rapsöls umgesetzt. Wenn z. B. 1 mol Rapsöl mit 6 mol Methanol zur Reaktion gebracht wird, bleiben nach Einstellung des Gleichgewichts nur 0,06 mol Rapsöl im Reaktionsgemisch.
- Damit sich das chemische Gleichgewicht schnell genug einstellt, wird dem Reaktionsgemisch Natriummethanolat (NaCH₃O) zugesetzt. Das Natriummethanolat nimmt an der Reaktion teil, geht aber unverändert aus ihr hervor.

- Das Reaktionsgemisch wird nach dem Abkühlen in einen Abscheider geleitet (Abbildung 2). Entsprechend der Löslichkeitsverhältnisse und der Dichten der Reaktionsteilnehmer (Tabelle 1) teilt es sich in zwei Phasen A und B auf.

Tabelle 1: Dichten der Reaktionsteilnehmer

Stoff	Rapsöl	Methanol	Glycerin	Biodiesel
Dichte in $\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$ bei $20\text{ }^\circ\text{C}$	0,92	0,79	1,26	0,90

- Nach der Methanolabtrennung erhält man zwei Produkte, die in Tanks abgefüllt werden. Eines der beiden Produkte ist geringfügig mit nicht umgesetztem Rapsöl verunreinigt.

Material M 3: Kalorimetrie mit Biodiesel

In einem Schulversuch wird Biodiesel energetisch untersucht.

Dazu wird 1 g Biodiesel in einer Aluminiumschale verbrannt, er brennt mit rußender Flamme. Es werden 100 g Wasser erwärmt.

Die Wassertemperatur steigt von $21,4\text{ }^\circ\text{C}$ auf $61,8\text{ }^\circ\text{C}$. Laut Hersteller hat der eingesetzte Biodiesel einen Brennwert von $H_s = 40\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

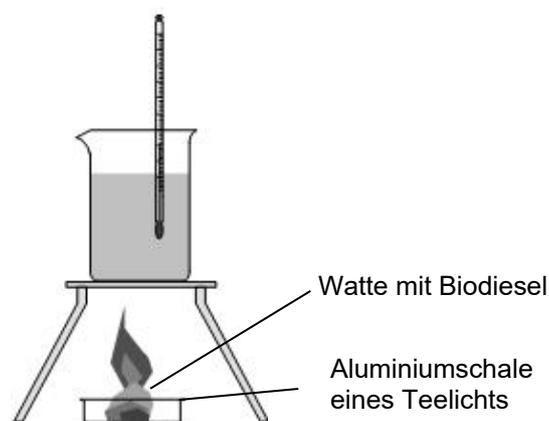


Abbildung 3: Schulversuch zur Kalorimetrie

Material M 4: Fossiler Dieselkraftstoff

Fossiler Dieselkraftstoff ist ein Gemisch aus verschiedenen längerkettigen Kohlenwasserstoffen. Ein typischer Vertreter ist Undecan ($\text{C}_{11}\text{H}_{24}$). Die Verbrennung von Diesel im Motor lässt sich vereinfacht durch die folgende Reaktionsgleichung beschreiben:

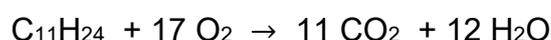


Tabelle 2: ausgewählte Standardbildungsenthalpien

	$\text{C}_{11}\text{H}_{24}$ (l)	CO_2 (g)	H_2O (g)	H_2O (l)
$\Delta_f H^\circ$ in $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	-327	-394	-242	-286

Material M 5: Nachhaltigkeit

Im Zusammenhang mit der Diskussion über zukunftsfähige Antriebssysteme im Individualverkehr wird häufig über den Begriff der Nachhaltigkeit gesprochen.

Unter Nachhaltigkeit versteht man eine Zukunftsentwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart so befriedigt, dass die Möglichkeiten zukünftiger Generationen nicht eingeschränkt werden.

Natürliche Polymere – geschützte Zellen

Die Zellwände von Pflanzenzellen und Bakterien sind unter anderem aus natürlichen Polymeren aufgebaut. Die am Aufbau der Zellwände beteiligten Polymere unterscheiden sich deutlich, obwohl sie vergleichbare Funktionen erfüllen; sie bieten Schutz vor mechanischer Beanspruchung, verhindern das Eindringen von Zellgiften und müssen gleichzeitig für andere Stoffe, z. B. Nährstoffe durchlässig sein.

- | | | |
|---|---|----|
| | | BE |
| 1 | <p>Zeichnen Sie einen charakteristischen Strukturformelausschnitt eines Cellulose-Moleküls, der zwei Monomer-Bausteine aufweist (M 1).</p> <p>Erklären Sie unter Verwendung von Strukturformeln das Zustandekommen von α- und β-Form beim Ringschluss der Monosaccharid-Moleküle.</p> <p><i>Hinweis: Es können vereinfachte Strukturformeln verwendet werden.</i></p> | 9 |
| 2 | <p>Vergleichen Sie die Struktur des Moleküls, das dem Baustein A zugrunde liegt, mit der Struktur eines β-D-Glucose-Moleküls (M 2), unter Angabe von zwei Gemeinsamkeiten und einem Unterschied.</p> <p>Benennen Sie die Verknüpfung zwischen den beiden Bausteinen A und A' (M 2).</p> | 5 |
| 3 | <p>Zeichnen Sie eine Strukturformel des Moleküls, das dem Baustein B zugrunde liegt und benennen Sie das Molekül (M 2).</p> <p>Erklären Sie das Zustandekommen der Bindung zwischen Baustein B und dem L-Alanin-Baustein der verzweigten Peptidkette mit Strukturformeln und benennen Sie den Reaktionstyp.</p> <p><i>Hinweis: Es können vereinfachte Strukturformeln verwendet werden, eine Beschreibung des Mechanismus ist nicht verlangt.</i></p> | 7 |
| 4 | <p>Zeichnen Sie eine Strukturformel eines Aminosäure-Moleküls der verzweigten Peptidkette (Baustein C) in Fischer-Projektion und erklären Sie daran die Bezeichnungen L-α- und D-α-Aminosäure.</p> <p>Begründen Sie, dass beim Glycin-Molekül weder die Bezeichnung L- noch D- verwendet wird (M 2).</p> | 6 |
| 5 | <p>Benennen und beschreiben Sie die in Abbildung 2 dargestellte Bindung zwischen dem Cu^{2+}-Ion und den Stickstoff-Atomen in der Peptidkette (M 3).</p> <p>Ergänzen Sie die Tabelle in M 4.</p> <p>Erklären Sie für die beiden Hydrolysate jeweils ein positives Nachweisergebnis.</p> | 13 |

Material M 1: Cellulose – Bestandteil der Zellwand von Pflanzen

Pflanzen besitzen starre Zellwände, deren primärer Strukturbestandteil die Cellulose ist. Cellulose ist ein Polymer, dessen Moleküle aus bis zu 15.000 β-D-Glucose-Bausteinen bestehen.

Material M 2: Peptidoglykane – Bestandteil der Zellwand von Bakterien

Peptidoglykane sind ein essenzieller Bestandteil der Zellwände nahezu aller Bakterien. Sie sind aus vier charakteristischen Bausteinen A, A', B und C aufgebaut (Abbildung 1).

- Die zwei Monosaccharidbausteine A und A' sind abwechselnd aneinandergereiht und bilden sogenannte Saccharidstränge.
- Baustein B verbindet die Saccharidstränge mit Baustein C.
- Bei Baustein C handelt es sich um eine verzweigte Polypeptidkette, die aus verschiedenen D- und L-Aminosäurebausteinen aufgebaut ist.

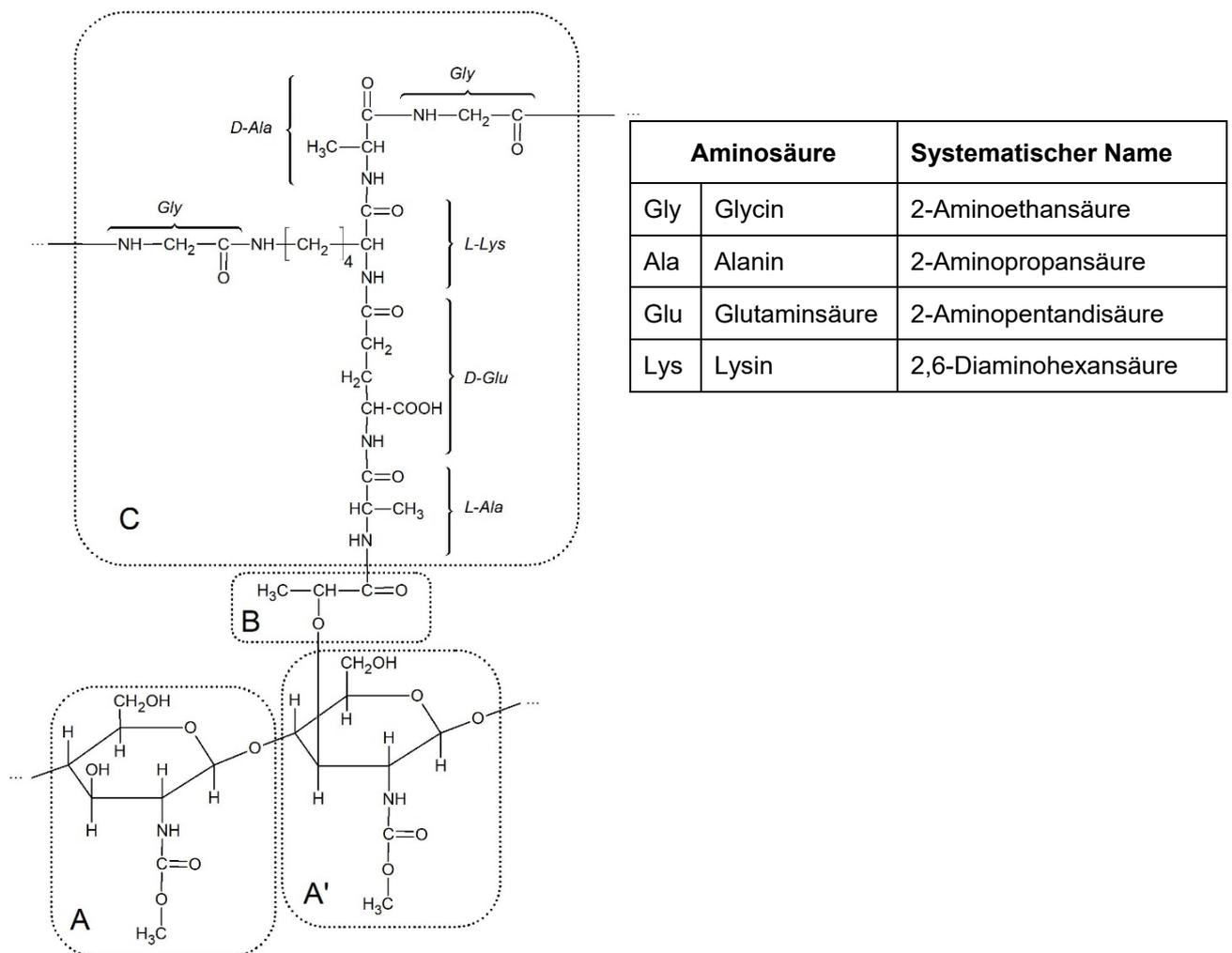


Abbildung 1: Darstellung eines Strukturausschnitts eines Peptidoglykans und am Aufbau der Seitenkette beteiligte Aminosäuren

Material M 3: Nachweis von Peptiden

Peptide können in wässriger Lösung mit der Biuret-Probe nachgewiesen werden. Bei einem positiven Nachweis kommt es zu einem Farbumschlag der zuvor hellblauen Lösung. Der Farbumschlag erfolgt aufgrund der Bildung des farbigen Kupferbiuret-Komplexes (Abbildung 2).

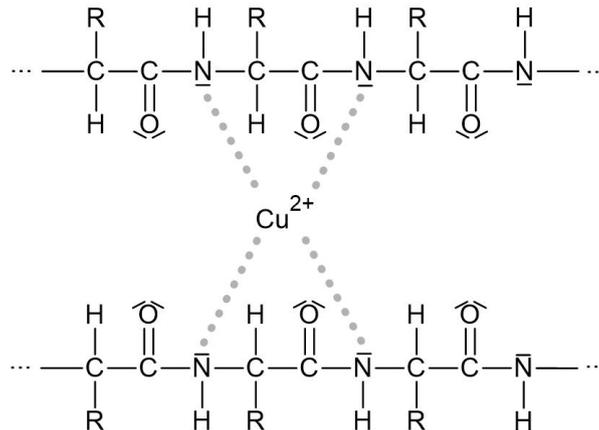


Abbildung 2: schematische Darstellung des Kupferbiuret-Komplexes

Zu- und Vorname: _____

Chiffre der Schule

Chiffre des Schülers



Prüfungsfach: Chemie (Haupttermin 2025)

Aufgabe II

Chiffre der Schule

Chiffre des Schülers

Blatt 4 von 4

Material M 4: Untersuchung der Polymere

In einem Laborversuch werden Cellulose und das Peptidoglykan hydrolysiert. Nach der vollständigen Spaltung in die Monomere werden mit jedem der Hydrolysate Nachweisreaktionen durchgeführt. Die Ergebnisse werden in einer Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1: Dokumentation der Ergebnisse

Nachweisreaktion	1	2	3	4
Name	GOD-Test		Ninhydrin-Test	Biuret-Test
Nachweis für/auf		reduzierende Wirkung		Peptide
Beobachtung bei positivem Nachweis				Farbumschlag von hellblau nach violett
Ergebnis mit Cellulose-Hydrolysat				negativ
Ergebnis mit Peptidoglykan-Hydrolysat	negativ			negativ

Altes, neues Plexiglas®

Plexiglas® ist ein Kunststoffprodukt. 1933 meldeten die deutschen Chemiker Otto Röhm und Walter Bauer die Marke Plexiglas® an, die Grundlage einer bis heute wachsenden Produktpalette für vielfältige Anwendungen ist. Plexiglas® ist ein Kunststoff, der sich gut recyceln lässt.

	BE
1 Beschreiben Sie die Einteilung der Kunststoffe in drei Kunststoffklassen anhand ihres mechanisch-thermischen Verhaltens. Geben Sie dabei auch strukturelle Merkmale der Kunststoff-Moleküle an. Ordnen Sie PMMA begründet einer der drei Klassen zu (M 1).	8
2 Geben Sie die Strukturformel des Monomers von PMMA an (M 1). Beschreiben Sie unter Verwendung von Strukturformeln den Reaktionsmechanismus der radikalischen Polymerisation zur Synthese von PMMA (M 1). <i>Hinweis: Verwenden Sie zum Beispiel R-R als Starter-Molekül.</i>	10
3 Planen Sie für das Kunststoffgemisch ein mögliches experimentelles Vorgehen, um jeden Kunststoff als Feststoff getrennt zu erhalten (M 2).	7
4 Beschreiben Sie kurz das rohstoffliche, werkstoffliche und energetische Recycling (thermische Verwertung). Beurteilen Sie die drei Verfahren im Hinblick auf ihre ökologische und ökonomische Eignung zum Recyceln von PMMA (M 3).	10
5 Erläutern Sie das zu erwartende Ergebnis der Laboruntersuchung auch unter Angabe einer Reaktionsgleichung in Strukturformelschreibweise (M 3).	5

Material M 1: Polymethylmethacrylat (PMMA)

Plexiglas® (auch Acrylglas) ist ein Kunststoffprodukt auf Basis von Polymethylmethacrylat (PMMA).

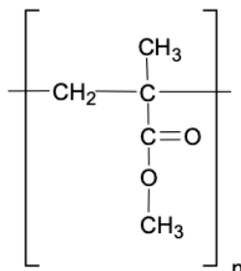


Abbildung 1: Strukturformelausschnitt von PMMA

Material M 2: Eigenschaften verschiedener Kunststoffe

Es liegt ein Gemisch aus Kunststoffschnipseln von PE, PS, PET und PMMA vor.

Diese Kunststoffe lassen sich aufgrund ihrer Eigenschaften für eine Wiederverwertung sortenrein trennen.

Tab. 1: Eigenschaften der Kunststoffe

Kunststoff	Dichte in g·cm ⁻³	Verhalten bei mechanischer Einwirkung	Löslichkeit in Aceton	Schmelzbe- reich in °C
PE (Polyethylen)	0,92 – 0,96	biegsam	schlecht	105 – 120
PS (Polystyrol)	1,05	hart und spröde	gut	240 – 270
PET (Polyethylenterephthalat)	1,3	biegsam bis hart	schlecht	220 – 260
PMMA (Polymethylmethacrylat)	1,18	hart und spröde	gut	85 – 105

Anmerkung: Bei 20 °C beträgt die Dichte einer 14%igen Kochsalz-Lösung $\rho = 1,11 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

Material M 3: Recycling von Kunststoffen

Zur Wiederverwertung werden die meisten Kunststoffe verbrannt. Alternativ können sie werkstofflich recycelt und danach zu anderen, geringwertigen Produkten verarbeitet werden. Das ist das sogenannte Downcycling.

Plexiglas® kann auch durch rohstoffliches Recycling wieder in seine Monomere zerlegt werden. Da das Polymer PMMA auf Basis eines einzigen Ausgangsstoffes synthetisiert wird, ist es möglich, durch Depolymerisation von PMMA zum Edukt zurückzukehren.

Hier kommt das *Hamburger Verfahren* zum Einsatz. Es ist ein Verfahren der kontinuierlich arbeitenden Pyrolyse zum Recyceln von Kunststoffen, wie z. B. PMMA.

PMMA wird als Reinkunststoff in einem Wirbelschichtreaktor bei Temperaturen um 450 °C unter Sauerstoffausschluss zersetzt. Als Wirbelgas wird Stickstoff oder Pyrolysegas verwendet, das bei der Pyrolyse entsteht und nach der Abscheidung der Kondensationsprodukte wieder in den Reaktor zurückgeführt wird. Sauerstoff darf nicht verwendet werden, es handelt sich hier um eine Pyrolyse und keine Verbrennung. Daher erfolgt auch die Beheizung indirekt durch Brenner oder elektrisch. Die Polymere reagieren innerhalb von wenigen Sekunden. Nach der Pyrolyse werden die Produkte in mehreren Schritten abgekühlt und abgeschieden.

Eine Erfolgskontrolle im Labor kann erfolgen, indem eine Probe des Pyrolysats mit wenigen Tropfen in Wasser gelöstem Brom versetzt und geschüttelt wird.

Gewinnung von Reinkupfer

Kupfer ist ein vielfältig einsetzbares Metall, das aus natürlich vorkommendem Kupfererz gewonnen wird. Insbesondere für eine Verwendung in der Elektroindustrie ist so genanntes Reinkupfer mit einem besonders hohen Reinheitsgrad erforderlich.

	BE
<p>1 Stellen Sie die Reaktionsgleichungen für Reaktionen 1 und 2 auf (M 1). Begründen Sie mit Hilfe von Oxidationszahlen, welche Atome bei Reaktion 2 oxidiert und welche reduziert werden (M 1).</p>	9
<p>2 Stellen Sie eine Reaktionsgleichung für die Gewinnung von Kupfer aus „Zementwasser“ auf (M 1, M 2). Erklären Sie mit Hilfe von Standardpotenzialen, dass diese chemische Reaktion freiwillig abläuft.</p>	5
<p>3 Erklären Sie die Vorgänge sowie die Beobachtungen im Verlauf des Schulversuchs auf Teilchenebene (M 3). Begründen Sie, dass eine Überschreitung der angelegten Spannung zu metallischen Verunreinigungen des Reinkupfers führen kann (M 3). Ermitteln Sie die zu erwartende Massenzunahme der Reinkupfer-Elektrode im Verlauf der Elektrolyse (M 3).</p>	16
<p>4 Beurteilen Sie, ob die Vermutungen der drei Schüler (A – C) jeweils plausibel sind (M 3, M 4). <i>Hinweis: Sulfat-Ionen nehmen nicht am Elektrodenprozess teil.</i> Beschreiben Sie ein experimentelles Vorgehen zur Überprüfung der Vermutung von Schüler A.</p>	10

Material M 1: Chemische Verarbeitung von Kupfererz durch Bioleaching

Bei der chemischen Verarbeitung von Kupfererz (vereinfacht: Kupfer(II)-sulfid, CuS) zu elementarem Kupfer gewinnt das sogenannte „Bioleaching“ (to leach: auswaschen) zunehmend an Bedeutung. Ziel dieses Verfahrens ist das „Auswaschen“ von Cu^{2+} -Ionen aus dem wasserunlöslichen Erz unter Beteiligung von Mikroorganismen. Dazu wird zerkleinertes kupfererzhaltiges Gestein aufgehäuft und mit einer wässrigen Suspension besprüht, welche unter anderem Fe^{3+} -Ionen sowie spezielle Mikroorganismen enthält. Während die Suspension nach unten sickert, laufen verschiedene Reaktionen ab. Diese lassen sich vereinfacht wie folgt beschreiben:

Reaktion 1: Die in der Suspension enthaltenen Fe^{3+} -Ionen reagieren mit den im Kupfererz enthaltenen Sulfid-Ionen, wobei Fe^{2+} -Ionen und Schwefel-Atome entstehen.

Reaktion 2: Schwefel-Atome aus Reaktion 1 reagieren mit Sauerstoff-Molekülen und Wasser-Molekülen zu Sulfat-Ionen (SO_4^{2-}) und Oxonium-Ionen.

Am Ende des Prozesses enthält die Suspension einen hohen Anteil an gelöstem Kupfer(II)-sulfat (CuSO_4). Diese Suspension wird als „Zementwasser“ bezeichnet.

Material M 2: Gewinnung von Reinkupfer aus „Zementwasser“

Im nächsten Schritt wird dem „Zementwasser“ Eisen zugesetzt, welches mit dem „Zementwasser“ unter Bildung von Kupfer reagiert. Dieses Kupfer enthält noch metallische Verunreinigungen und wird als Rohkupfer bezeichnet. Das Rohkupfer wird in einem weiteren Schritt elektrolytisch zu Reinkupfer verarbeitet (Abb. 1).



Abbildung 1: Schritte der Gewinnung von Reinkupfer aus „Zementwasser“

Material M 3: Schulversuch zur elektrolytischen Raffination von Rohkupfer

In einem Schulversuch wird das Prinzip der elektrolytischen Raffination von Rohkupfer angewendet. In Abbildung 2 sind die bei der Elektrolyse ablaufenden Vorgänge schematisch dargestellt.

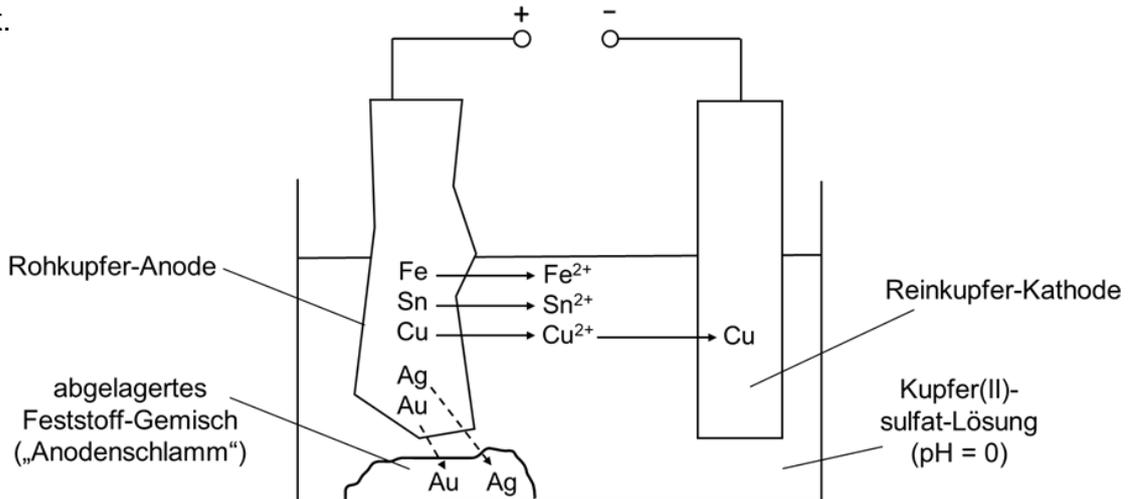


Abbildung 2: Vorgänge bei der elektrolytischen Raffination von Rohkupfer

Im Verlauf der Elektrolyse kann beobachtet werden, dass die Rohkupfer-Anode „dünner“ und die Reinkupfer-Kathode „dicker“ wird. Außerdem bildet sich unterhalb der Rohkupfer-Anode der sogenannte „Anodenschlamm“.

Als Elektrolyt dient eine schwefelsaure Kupfer(II)-sulfat-Lösung (pH = 0). Es wird für eine Dauer von $t = 60$ min bei einer Spannung von $U = 0,45$ V und einer Stromstärke von $I = 0,2$ A unter Standardbedingungen elektrolysiert. Zur Vermeidung von metallischen Verunreinigungen im entstehenden Reinkupfer darf die angelegte Spannung den Wert von $U = 0,45$ V nicht wesentlich überschreiten.

Material M 4: Schulversuch zur Elektrolyse einer Kupfer(II)-sulfat-Lösung

Der Versuchsaufbau aus Abbildung 2 wird abgewandelt, indem anstelle der Rohkupfer-Elektrode eine Kohlenstoff-Elektrode verwendet wird. Bei Anlegen einer Spannung wird an der Kohlenstoff-Elektrode die Bildung eines Gases beobachtet. Schüler äußern dazu folgende Vermutungen:

Das gebildete Gas ist Sauerstoff.

Schüler A

An der Anode werden Oxonium-Ionen reduziert.

Schüler B

Die Gasbildung ist auf die Oxidation von Hydroxid-Ionen zurückzuführen.

Schüler C

Für die Fachlehrerin / den Fachlehrer

Es gelten die Vorgaben zum Erwartungshorizont in den Beurteilungs- und Korrekturrichtlinien für die Abiturprüfung an den allgemein bildenden Gymnasien in der aktuell gültigen Fassung.

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

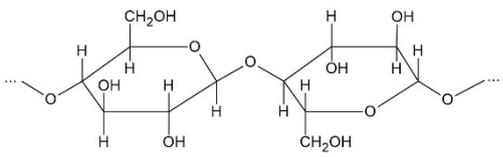
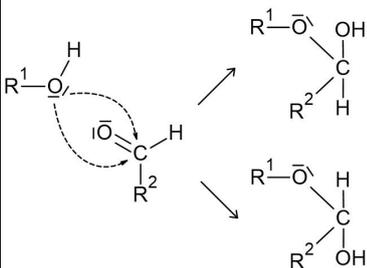
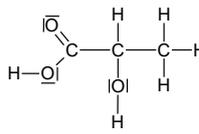
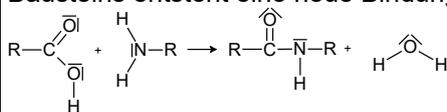
		BE/AFB		
		I	II	III
1	<p><u>Systematischer Name:</u> Propan-1,2,3-triol</p> <p><u>Beurteilung der Wasserlöslichkeit von Glycerin:</u> Wenn verschiedene Stoffteilchen starke Wechselwirkungen untereinander ausbilden können, sind die zugehörigen Stoffe gut ineinander löslich. Glycerin-Moleküle können über ihre drei Hydroxy-Gruppen Wasserstoffbrücken zu Wasser-Molekülen ausbilden. Propan-1,2,3-triol (Glycerin) ist gut in Wasser löslich.</p> <p><u>Formulierung des MWG:</u> $K_C = \frac{c(\text{Glycerin}) \cdot c^3(\text{Biodiesel})}{c(\text{Rapsöl}) \cdot c^3(\text{Methanol})}$</p> <p><u>Berechnung der Gleichgewichtskonstanten:</u> $K_C = \frac{0,94 \text{ mol} \cdot (3 \cdot 0,94 \text{ mol})^3}{0,06 \text{ mol} \cdot (6 \text{ mol} - 3 \cdot 0,94 \text{ mol})^3} = 10,9$</p> <p><u>Aussage über Lage des chem. Gleichgewichts:</u> Ist der Zahlenwert größer als Eins, liegt das chemische Gleichgewicht auf Seiten der Produkte. Ist der Zahlenwert kleiner als Eins, liegt das chemische Gleichgewicht auf Seiten der Edukte.</p>	1	3	4
2	<p><u>Erklärung der Auswirkung einer Konzentrationserhöhung:</u> Nach dem Prinzip von Le Chatelier bewirkt eine Erhöhung der Konzentration eines Edukts die Erhöhung der Konzentration der Produkte. Die Zugabe von weiterem Methanol bewirkt also bei diesem chemischen Gleichgewicht eine höhere Ausbeute an Biodiesel.</p> <p><u>Funktion von Natriummethanolat:</u> Natriummethanolat wird hier als Katalysator verwendet. In seiner Gegenwart wird jeweils die Reaktionsrate für Hin- und Rückreaktion gleichermaßen vergrößert, so dass weder die Produkt- noch die Eduktbildung begünstigt wird.</p> <p><u>Angabe der Stoffe in den Tanks:</u> Tank 1: Biodiesel, verunreinigt mit Rapsöl Tank 2: Glycerin</p>	1	3	3
3	<p><u>Berechnung der Wärmemenge Q₁:</u> $Q_1 = c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Wasser}} \cdot \Delta T = 4,183 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 0,1 \text{ kg} \cdot 40,4 \text{ K} \approx 16,9 \text{ kJ}$</p> <p><u>Ermittlung der Wärmemenge Q₂:</u> $H_s = 40 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 40 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} \rightarrow Q_2 = 40 \text{ kJ}$</p>	3	1	1

Für die Fachlehrerin / den Fachlehrer

	<p><u>Erklärung der Differenz:</u> Bei der sehr einfachen Apparatur wird ein Großteil der abgegebenen Wärme nicht auf das Wasser übertragen. Die rußende Flamme zeigt, dass bei dieser Versuchsdurchführung keine vollständige Verbrennung erfolgt. Das sich bei der Verbrennung des organischen Stoffes bildende Wasser liegt gasförmig als Wasserdampf vor, d.h. die in der Brennwertangabe des Herstellers erfasste Kondensationsenergie wird hier nicht erfasst.</p>			3
4	<p><u>Berechnung des Brennwertes von Dieselkraftstoff:</u> Verbrennung von 1 mol Undecan: $\Delta_r H = 11 \text{ mol} \cdot (-394 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) + 12 \text{ mol} \cdot (-286 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - 1 \text{ mol} \cdot (-327 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$ $\approx -7439 \text{ kJ}$ $m(\text{Undecan}) = 156 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 1 \text{ mol} = 156 \text{ g}$ $H_s = -\frac{-7439 \text{ kJ}}{156 \text{ g}} \approx 47,7 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} = 47,7 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$</p> <p><u>Bewertung der Nachhaltigkeit:</u> Aspekte der Bewertung, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vergleich der Brennwerte - CO₂-Bilanz - Flächenverbrauch - Nachwachsende vs. fossile Brennstoffe <p>Eigenes Werturteil</p>	4	2	1
Summe		12	20	8
Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent		30	50	20

	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	2, 6, 7	3	4, 9, 10	
2	7, 8		9	
3	17	3	9	
4	17			6,11, 13

Für die Fachlehrerin / den Fachlehrer

		BE/AFB		
		I	II	III
1	<p><u>Strukturformelausschnitt des Cellulose-Moleküls:</u></p>  <p><u>Erklärung der Entstehung von α- und β-Form</u></p>  <p>Beim Ringschluss z. B. des D-Glucose-Moleküls reagiert das O-Atom der Hydroxygruppe des C-5-Atoms mit dem C-1-Atom. Die neu entstehende Hydroxygruppe am asymmetrisch substituierten C-1-Atom kann zwei unterschiedliche räumliche Orientierungen aufweisen. Die zwei unterschiedlichen Moleküle werden bei D-Glucose als α- (OH-Gruppe an C-1-Atom in Haworth-Projektion unten) und β-Form (OH-Gruppe an C-1-Atom in Haworth-Projektion oben) bezeichnet.</p>	3		
2	<p><u>Vergleich der Moleküle:</u></p> <p>Gemeinsamkeiten: Anzahl Kohlenstoff-Atome im Ring, Ausrichtung der funktionellen Gruppen an den asymmetrisch substituierten Kohlenstoff-Atomen, D-Konfiguration Unterschied: funktionelle Gruppe am zweiten Kohlenstoff-Atom.</p> <p><u>Verknüpfung der Bausteine A und A':</u> β -1,4-glycosidische Bindung</p>	1	1	1
3	<p><u>Molekül, das Baustein B zugrunde liegt:</u></p>  <p>Benennung: 2-Hydroxypropansäure (Milchsäure)</p> <p><u>Erklärung:</u> Durch die Reaktion der Carboxygruppe von Baustein B mit der Aminogruppe eines L-Alanin-Bausteins entsteht eine neue Bindung (Amidbindung).</p>  <p><u>Benennung:</u> Bei der Reaktion handelt es sich um eine Kondensationsreaktion.</p>		2	1
4	<p><u>Erklärung von L-α- und D-α-Bezeichnung anhand einer Strukturformel:</u></p> <p>Strukturformel eines Aminosäure-Moleküls, z. B. Alanin Bei D-Alanin-Molekülen befindet sich die Aminogruppe in Fischer-Projektion am α-C-Atom (C-2-Atom) auf der rechten Seite. Bei L-Alanin-Molekülen befindet sich die Aminogruppe in Fischer-Projektion am α-C-Atom (C-2-Atom) dagegen auf der linken Seite.</p> <p><u>Begründung beim Glycin-Molekül:</u> Ein Glycin-Molekül besitzt kein asymmetrisch substituiertes Kohlenstoff-Atom. Somit entfällt die L- oder D-Benennung.</p>		2	2

Für die Fachlehrerin / den Fachlehrer

5	<p><u>Benennung und Beschreibung einer koordinativen Bindung:</u> In Abbildung 2 wird eine koordinative Bindung dargestellt. Die koordinative Bindung wird durch die gestrichelten Linien als Wechselwirkung zwischen dem Metall-Kation (Cu^{2+}) und den nichtbindenden Elektronenpaaren der Stickstoff-Atome veranschaulicht.</p> <p>Tabelle:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nachweisreaktion</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> <tr> <th>Name</th> <th>GOD-Test</th> <th>z. B. Tollens-Probe</th> <th>Ninhydrin-Test</th> <th>Biuret-Test</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nachweis für/auf</td> <td>Glucose</td> <td>reduzierende Wirkung</td> <td>Aminosäuren</td> <td>Peptide</td> </tr> <tr> <td>Beobachtung bei positivem Nachweis</td> <td>(Grün-)Färbung auf dem Teststreifen</td> <td>Silberspiegel</td> <td>Violett-färbung</td> <td>Farbumschlag von hellblau nach violett</td> </tr> <tr> <td>Ergebnis mit Cellulose-Hydrolysat</td> <td>positiv</td> <td>positiv</td> <td>negativ</td> <td>negativ</td> </tr> <tr> <td>Ergebnis mit Peptidoglykan-Hydrolysat</td> <td>negativ</td> <td>positiv</td> <td>positiv</td> <td>negativ</td> </tr> </tbody> </table>	Nachweisreaktion	1	2	3	4	Name	GOD-Test	z. B. Tollens-Probe	Ninhydrin-Test	Biuret-Test	Nachweis für/auf	Glucose	reduzierende Wirkung	Aminosäuren	Peptide	Beobachtung bei positivem Nachweis	(Grün-)Färbung auf dem Teststreifen	Silberspiegel	Violett-färbung	Farbumschlag von hellblau nach violett	Ergebnis mit Cellulose-Hydrolysat	positiv	positiv	negativ	negativ	Ergebnis mit Peptidoglykan-Hydrolysat	negativ	positiv	positiv	negativ	2	1	1
		Nachweisreaktion	1	2	3	4																												
Name	GOD-Test	z. B. Tollens-Probe	Ninhydrin-Test	Biuret-Test																														
Nachweis für/auf	Glucose	reduzierende Wirkung	Aminosäuren	Peptide																														
Beobachtung bei positivem Nachweis	(Grün-)Färbung auf dem Teststreifen	Silberspiegel	Violett-färbung	Farbumschlag von hellblau nach violett																														
Ergebnis mit Cellulose-Hydrolysat	positiv	positiv	negativ	negativ																														
Ergebnis mit Peptidoglykan-Hydrolysat	negativ	positiv	positiv	negativ																														
		3	1	1																														
	<p><u>Erklärung für jeweils ein positives Nachweisergebnis:</u> z. B.: GOD-Test bei dem Cellulose-Hydrolysat Die Monosacchrid-Bausteine bei Cellulose-Molekülen sind D-Glucose-Moleküle, daher ist der GOD-Test, der für Glucose spezifisch ist, positiv. Ninhydrin-Test bei dem Peptidoglykan-Hydrolysat Aminosäuren sind Bestandteile des Peptidoglykans. Bei einer vollständigen Hydrolyse befindet sich demnach ein Aminosäure-Gemisch in dem Hydrolysat. Der Nachweis verläuft positiv.</p>	1	3																															
	Summe	11	20	9																														
	Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent	27,5	50	22,5																														

	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	6	7	9	
2	1	7, 9	8, 9, 10	
3	1, 4, 16		9	
4	1		9, 10	
5	3	2, 3, 12	2, 8, 9, 10	2

Für die Fachlehrerin / den Fachlehrer

		BE/AFB		
		I	II	III
1	<p><u>Beschreibung der Einteilung der Kunststoffe</u></p> <p><u>Thermoplast:</u> lineare oder wenig verzweigte Makromoleküle wird weich und formbar beim vorsichtigen Erhitzen und behält seine Form beim Abkühlen, bei Überhitzung thermische Zersetzung</p> <p><u>Duromer/Duroplast:</u> engmaschig, dreidimensional vernetzte Makromoleküle hart, spröde, schmilzt nicht, sondern verkohlt und zersetzt sich bei Überhitzung</p> <p><u>Elastomer:</u> weitmaschig vernetzte Makromoleküle gummielastisch, erweicht, aber schmilzt nicht, sondern verkohlt und zersetzt sich bei Überhitzung</p> <p><u>Zuordnung von PMMA:</u> PMMA gehört zu den Thermoplasten, da es aus unvernetzten, linearen Ketten aufgebaut ist.</p>	2		
			2	
				2
2	<p><u>Angabe der Strukturformel des Monomers von PMMA:</u></p> <div style="text-align: center;"> $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{C}=\text{C} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ </div> <p><u>Beschreibung des Reaktionsmechanismus:</u></p> <p><u>Radikalbildung:</u> Durch geringe Wärmezufuhr zerfallen Starter-Moleküle homolytisch in Radikale.</p> $\text{R}-\text{R} \longrightarrow \text{R}\cdot + \cdot\text{R}$ <p><u>Startreaktion:</u> Radikal reagiert mit Monomer zum MMA-Radikal</p> <div style="text-align: center;"> $\text{R}\cdot + \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{C}=\text{C} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{R}-\text{CH}_2-\text{C}\cdot \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ </div> <p><u>Kettenwachstum:</u> Das MMA-Radikal reagiert in einer Kettenreaktion mit weiteren MMA-Monomeren. die radikalische Kette wächst.</p> <div style="text-align: center;"> $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{R}-\text{CH}_2-\text{C}\cdot \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} + \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{C}=\text{C} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{R}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}\cdot \\ \quad \\ \text{C}=\text{O} \quad \text{C}=\text{O} \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$ </div>	1	1	
		1	1	
			2	
				2

Für die Fachlehrerin / den Fachlehrer

	<p>Kettenabbruch: Zwei Radikale bilden ein Molekül</p>		2	
3	<p><u>Planung des experimentellen Vorgehens:</u> Abtrennung von PE durch Wasser: Aufgrund seiner Dichte schwimmt nur PE auf Wasser. Abtrennung von PS mittels 14%iger NaCl-Lösung: Aufgrund seiner Dichte schwimmt PS auf dieser Salzlösung. PMMA in Aceton lösen und von PET abtrennen. Danach muss jedoch das Lösungsmittel verdampft werden.</p>		5	2
4	<p><u>Beschreibung der Recyclingverfahren:</u> thermische Verwertung: Nutzung der durch die Verbrennung der Kunststoffe entstehenden Wärmeenergie (z. B. zur Dampferzeugung und deren Umwandlung in elektrische Energie) werkstoffliches Recycling: direkte Verwertung des Materials, z. B. durch Ein- und Umschmelzen rohstoffliches Recycling: Zerlegung der Polymere in die Monomere und deren Wiederverwendung</p> <p><u>Beurteilung der Verfahren:</u> thermische Verwertung: Vernichtung wertvoller Rohstoffe durch Verbrennung sowie Kohlenstoffdioxid-Ausstoß ökonomisch, da kostengünstig, Nutzung der Wärmeenergie werkstoffliches Recycling: ökologisch durch Einsparung von Ressourcen ökonomisch durch Umschmelzung von Thermoplasten (PMMA) zu neuen Produkten, dadurch Einsparung von Ressourcen und Abfällen, kostengünstiges Verfahren, aber wiederholtes Einschmelzen führt zum Downcycling rohstoffliches Recycling: ökologisch durch Einsparung von Ressourcen und Abfällen ökonomisch durch Wiederverwenden von Monomeren wie MMA, aber energetisch aufwendiges Verfahren durch Beheizung</p> <p><u>Sachurteil:</u> z. B. rohstoffliches Recycling ist zu bevorzugen wegen Einsparung von Ressourcen und Abfällen sowie Rückgewinnung von hochwertigen Monomeren wie MMA.</p>	3	4	2
5	<p><u>Erläuterung des Ergebnisses bei erfolgreicher Pyrolyse:</u> Entfärbung der Lösung Brom-Moleküle werden an C,C-Doppelbindungen in den Monomer-Molekülen addiert. Bildung von C,C-Mehrfachbindungen bei erfolgreicher Pyrolyse von PMMA</p> <p><i>Hinweis: Das Monomer wird nicht erwartet, auch Lösungen mit Resten sind zulässig</i></p>	1	1	3
	Summe	12	20	8
	Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent	30	50	20

Für die Fachlehrerin / den Fachlehrer

	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	1, 2			
2	14, 16		7	
3		4	2, 8	
4	5		5, 8	13
5	12, 16		10	

Für die Fachlehrerin / den Fachlehrer

		BE/AFB		
		I	II	III
1	<u>Reaktionsgleichungen:</u> $2 \text{Fe}^{3+} + \text{S}^{2-} \rightarrow 2 \text{Fe}^{2+} + \text{S}$ $2 \text{S} + 3 \text{O}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{SO}_4^{2-} + 4 \text{H}_3\text{O}^+$	2	2	1
	<u>Begründung von Oxidation und Reduktion:</u> Oxidation: Erhöhung der Oxidationszahl am S-Atom von 0 zu +VI Reduktion: Erniedrigung der Oxidationszahl am O-Atom von 0 zu -II	2	2	
2	<u>Reaktionsgleichung:</u> $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe} \rightarrow \text{Cu} + \text{Fe}^{2+}$	1	1	
	<u>Erklärung:</u> Das Redoxpaar Cu/Cu ²⁺ hat ein positiveres Standardpotenzial als das Redoxpaar Fe/Fe ²⁺ , deshalb können Cu ²⁺ -Ionen durch Fe-Atome reduziert werden (bzw. Fe-Atome können durch Cu ²⁺ -Ionen oxidiert werden).	1	2	
3	<u>Erklärung der Vorgänge und Beobachtungen:</u> An der Anode gehen Cu ²⁺ -Ionen sowie die Ionen der Metalle Eisen und Zinn in Lösung. Dadurch wird die Rohkupfer-Elektrode dünner. An der Kathode werden ausschließlich Cu ²⁺ -Ionen, nicht aber die Ionen unedlerer Metalle reduziert. Durch sich abscheidendes Kupfer wird die Reinkupfer-Elektrode allmählich dicker. Die im Rohkupfer enthaltenen Metalle Silber und Gold sind edler als Kupfer. Ihre Atome werden an der Anode folglich nicht oxidiert. Sie lösen sich beim Auflösen der Rohkupfer-Elektrode jedoch aus dem Metallatomgitter und sinken zu Boden.	3	4	1
	<u>Begründung:</u> Bei einer höheren angelegten Spannung können an der Kathode neben Kupfer-Ionen auch Ionen unedlerer Metalle reduziert werden.		2	
	<u>Ermittlung der Massenzunahme:</u> Die Massenzunahme der Reinkupfer-Elektrode entspricht der Masse an während der Elektrolyse abgeschiedenem Kupfer: $n(\text{Cu}) = \frac{I \cdot t}{z \cdot F} = \frac{0,2\text{A} \cdot 3600\text{s}}{2 \cdot 96485 \text{ C/mol}} = 3,73 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ $M(\text{Cu}) = 63,546 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}, m(\text{Kupfer}) = 0,237 \text{ g}$		3	3
4	<u>Beurteilung der Vermutungen:</u> Die Vermutung von Schüler A ist plausibel, da es sich bei der Kohlenstoff-Elektrode um die Anode handelt und dort Wasser zu Sauerstoff oxidiert werden kann. ($6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}_3\text{O}^+ + 4\text{e}^-$) Die Vermutung von Schüler B kann nicht zutreffen, da Reduktionsvorgänge an der Kathode stattfinden. Die Vermutung von Schüler C ist nicht plausibel, da die Konzentration an Hydroxid-Ionen bei pH = 0 so gering ist, dass diese Ionen nicht in nennenswertem Umfang oxidiert werden.	1	3	3
	<u>Beschreibung des experimentellen Vorgehens:</u> Auffangen des gebildeten Gases, Eintauchen einen Glühspans in das gebildete Gas, Auf-flammen des Glühspans bestätigt die Vermutung.	2	1	
Summe		12	20	8
Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent		30	50	20

Für die Fachlehrerin / den Fachlehrer

	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	4, 7, 16	7	9, 10	
2	2, 7, 10, 16	3	2, 9, 10	
3	6, 8, 9, 17	3, 7	9, 10	
4	3, 10	3,4	2, 9, 10	1

Für die Fachlehrerin / den Fachlehrer

Quellenangaben**zu Aufgabe I**

- M1: <https://de.wikipedia.org/wiki/Biodiesel> (Zugriff am: 23.01.2025)
<http://www.schulbiologiezentrum.info/Arbeitsbl%E4tter%20Raps%20Raps%F6%20Biodiesel%20Me210212.pdf>
 (Zugriff am: 23.01.2025)
 Abbildung1: eigene Darstellung
- M2: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/wie-wird-biodiesel-hergestellt> (Zugriff am: 23.01.2025)
https://ahgroup.at/user_files/Lab/UNT.216/posters/2015_GruberTheresa_Biodiesel-Herstellung.pdf
 (Zugriff am: 20.06.2024)
 Abbildung 2: eigene Darstellung
 Tabelle 1: eigene Darstellung
- M3: <http://www.schulbiologiezentrum.info/Arbeitsbl%E4tter%20Raps%20Raps%F6%20Biodiesel%20Me210212.pdf>
 (Zugriff am: 20.06.2024)
 Abbildung 3: eigene Darstellung
- M4: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/wie-wird-biodiesel-hergestellt> (Zugriff am: 23.01.2025)
 Tabelle 2: eigene Darstellung

zu Aufgabe II

- M1: Voet, D. Lehrbuch der Biochemie, Wiley-VCH-Verlag, Weinheim 2002, S. 220 f
- M2: Voet, D. Lehrbuch der Biochemie, Wiley-VCH-Verlag, Weinheim 2002, S. 227 f
 Zellwand, <https://de.wikipedia.org/wiki/Zellwand> (Zugriff am: 19.06.2024)
 Peptidoglykane; <https://de.wikipedia.org/wiki/Peptidoglycane> (Zugriff am: 19.06.2024)
 Abbildung1: eigene Darstellung
- M3: Elemente Chemie – Kursstufe, Klettverlag, Stuttgart 2022, S. 207
 Abbildung 2 abgeändert nach <https://www.chemistrylearner.com/biuret-test.html> (Zugriff am: 21.08.2024)

zu Aufgabe III

Einleitung:

- Plexiglas (2024, 26. Februar). Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/wiki/Plexiglas> (Zugriff am: 23.01.2025)
- M1: Abbildung1: eigene Darstellung
- M2: Brückmann et al. (2012). Kunststoffe im Unterricht. Aulis-Verlag in Friedrich Verlag GmbH.
 Polystyrol (PS): Eine detaillierte Betrachtung (o. D.). LINSEIS. <https://www.linseis.com/wissen/polystyrol-ps-eine-detaillierte-betrachtung/> (Zugriff am: 19.11.2024)
 Tabelle 1: eigene Darstellung
- M3: Hamburger Verfahren. Wikipedia. https://de.wikipedia.org/wiki/Hamburger_Verfahren (Zugriff am: 23.01.2025)
 Röhm GmbH (o. D.). Plexiglas®: Auch nach der Nutzung noch ein Wertstoff. PLEXIGLAS.DE. <https://www.plexiglas.de/de/nachhaltigkeit/gut-wiederzuverwerten> (Zugriff am: 27.07.2024)
 Raymond Klein (2021, 14. Mai). Acrylglas – Recycling: Vom Poly- zum Monomer und zurück. woxx Wochenzeitung. <https://www.woxx.lu/acrylglas-recycling-vom-poly-zum-monomer-und-zurueck/> (Zugriff am: 19.11.2024)

zu Aufgabe IV

- M1: <https://de.wikipedia.org/wiki/Bioleaching> (Zugriff am: 27.07.2024)
https://books.vivis.de/wp-content/uploads/2023/03/2016_MNA_233-248_Dott.pdf (Zugriff am: 27.07.2024)
https://www.uni-due.de/imperia/md/content/water-science/ws1112/1652_ws1112_sem__biolaugung_-_nutzung_.pdf
 (Zugriff am: 27.07.2024)
- M2: https://www.uni-due.de/imperia/md/content/water-science/ws1112/1652_ws1112_sem__biolaugung_-_nutzung_.pdf
 (Zugriff am: 27.07.2024)
<https://de.wikipedia.org/wiki/Kupfer> (Zugriff am: 28.07.2024)
 Abbildung 1: eigene Darstellung in Anlehnung an <https://kupfer.de/kupferwerkstoffe/kupfer/produktionsprozesse/>
 (Zugriff am: 29.07.2024)
- M3: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kupferraffination> (Zugriff am: 28.07.2024) sowie <https://www.leifichemie.de/anorganische-verbindungen/metalle-und-erze/grundwissen/kupferherstellung-elektrolytische-raffination> (Zugriff am: 28.07.2024)
 Abbildung 2 abgeändert nach <https://www.chemieunterricht.de/dc2/haus/strom.htm> (Zugriff am: 28.07.2024)