

Gemeinsame Abituraufgabenpools der Länder

Beispielaufgaben

Aufgabe für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Wasserstoff – ein Stoff mit Zukunftspotenzial
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Chemische Reaktionen <ul style="list-style-type: none"> ◆ Elektronenübergänge ◆ Lebenswelt und Gesellschaft <ul style="list-style-type: none"> ◆ Aktuelle Technologien und chemische Produkte <ul style="list-style-type: none"> ◆ Rohstoffgewinnung und -verarbeitung ◆ Ökonomische und ökologische Aspekte der Chemie <ul style="list-style-type: none"> ◆ alternative Energieträger
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> ◆ M 1 Grün, türkis, blau oder grau – die Farben des Wasserstoffes ◆ M 2 Die Brennstoffzelle ◆ M 3 Elektroauto: Batterie oder Brennstoffzelle?
Quellenangaben	<ul style="list-style-type: none"> ◆ M 1: EWE-Aktiengesellschaft (Hrsg., o. D.). <i>Die Farben des Wasserstoffes</i>. Verfügbar unter: https://www.ewe.com/de/konzern/zukunft-gestalten/wasserstoff/die-farben-des-wasserstoffes (Zugriff am 15.02.2021) ◆ M 2: Rosenberg, M., Gent, M. & Ziegler, W. (2021). <i>Brennstoffzelle</i>. Planet Wissen. Verfügbar unter: https://www.planet-wissen.de/technik/energie/brennstoffzelle/index.html (Zugriff am 15.02.2021) ◆ Alle weiteren Materialien und Abbildungen wurden im Auftrag des IQB erstellt.
Hilfsmittel	◆ PSE
fachpraktischer Anteil	ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/> Zeitzuschlag: -

1 Aufgabe

Wasserstoff – ein Stoff mit Zukunftspotenzial

Eine der großen Herausforderungen für die Menschheit in den nächsten Jahren wird es sein, die Energieversorgung klimafreundlich zu gestalten.

Die Wasserstofftechnologie kann bei der Energiewende eine zentrale Rolle spielen und dazu beitragen, dass die in der Weltklimakonferenz 2015 abgestimmten Klimaschutzziele auch erreicht werden können.

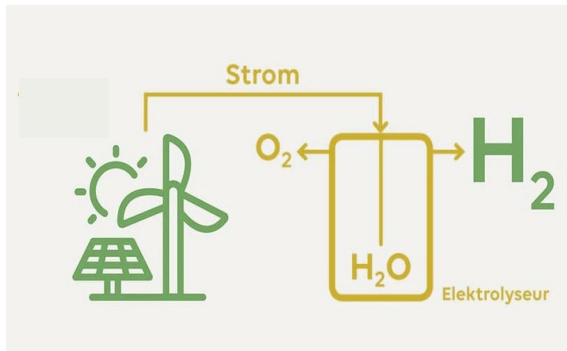
	BE
<p>1 Wasserstoff kann mithilfe unterschiedlicher Verfahren hergestellt werden.</p> <p>Stellen Sie die Reaktionsgleichungen für die Herstellung von „grünem“, „türkischem“ und „grauem“ Wasserstoff auf den dargestellten Produktionswegen auf (M 1).</p>	3
<p>2 Analysieren Sie die Kohlenstoffdioxidfreisetzung bei den verschiedenen Produktionswegen aus Aufgabe 1; beachten Sie dabei auch die Herkunft der benötigten Energie für die Prozesse (M 1).</p> <p>Stellen Sie eine Vermutung für die verschiedenen Farbbezeichnungen des Wasserstoffs in den dargestellten Produktionswegen auf (M 1).</p>	11
<p>3 Der produzierte Wasserstoff kann z. B. in Brennstoffzellen genutzt werden.</p> <p>Beurteilen Sie den Text (M 2) zur Brennstoffzelle mithilfe der Darstellung. Gehen Sie auf insgesamt drei Aspekte ein und erläutern Sie diese unter fachlichen Gesichtspunkten.</p>	8
<p>4 Elektroauto: Batterie oder Brennstoffzelle?</p> <p>Diskutieren Sie diese Frage – unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit – auf der Grundlage von drei relevanten Kriterien aus unterschiedlichen Perspektiven (M 3).</p>	8

2 Material

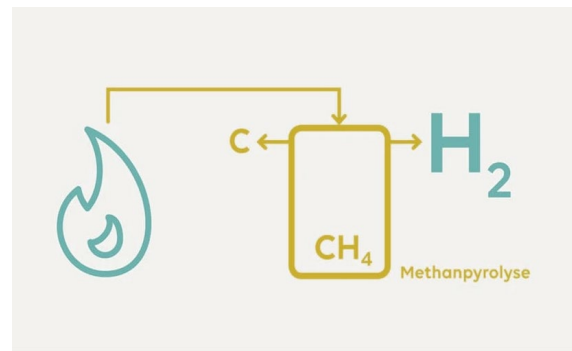
Material 1

Grün, türkis, blau oder grau – „Die Farben des Wasserstoffs“

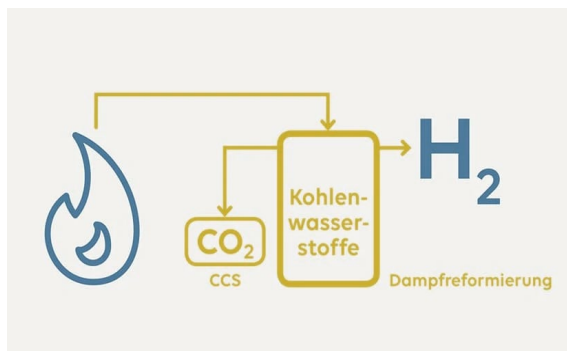
Je nach Produktionsweg erhält der Wasserstoff unterschiedliche „Farbbezeichnungen“:



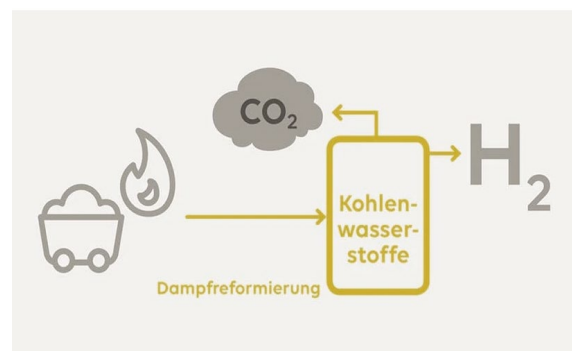
„grüner“ Wasserstoff



„türkiser“ Wasserstoff



„blauer“ Wasserstoff



„grauer“ Wasserstoff

Abb. 1: Die Farben des Wasserstoffs, EWE AG.

Hinweise



Erdgas, z. B. Methan



Kohlenstoff

Dampfreformierung ist die endotherme Reaktion eines kohlenstoffhaltigen Brennstoffes (z. B. Methan oder Kohlenstoff) mit Wasserdampf.

Pyrolyse bezeichnet die thermochemische Spaltung von organischen Verbindungen bei hohen Temperaturen in Abwesenheit von Sauerstoff.

CCS (carbon capture and storage) bezeichnet die Einlagerung von Kohlenstoffdioxid in unterirdischen Gesteinen.

Material 2

Die Brennstoffzelle

„Die Brennstoffzelle ist eine Wandlertechnik. Sie wandelt chemische Reaktionsenergie in elektrischen Strom und Wärme. Das Prinzip ist relativ simpel: Zwei Elektroden sind durch eine Trennschicht voneinander getrennt, den so genannten Elektrolyten. Auf der einen Seite strömt Wasserstoff ein, auf der anderen Sauerstoff.“

Der Wasserstoff wird in seine Bestandteile aufgeteilt: zwei Elektronen und zwei Protonen. Die Protonen gelangen durch den Elektrolyten auf die Sauerstoffseite. Die Elektronen müssen den Umweg über einen Stromkreis nehmen, um zur Sauerstoffseite zu gelangen, wo ein Elektronenmangel herrscht. Aus Protonen, Elektronen und Sauerstoff entsteht dann Wasser.“

Quelle: Rosenberg, Gent & Ziegler, 2021.

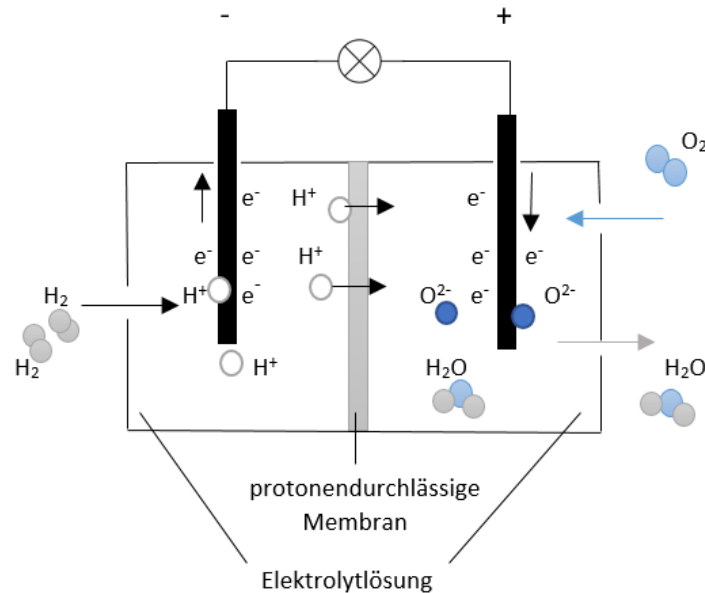


Abb. 2: Aufbau einer Brennstoffzelle, IQB

Material 3

Elektroauto: Batterie oder Brennstoffzelle?

Ein Wasserstoffauto ist auch ein Elektroauto. Der Unterschied liegt im Energiespeicher. Elektroautos sind in der Regel batterieelektrische Fahrzeuge.

Wasserstoffautos müssen an einer Wasserstofftankstelle tanken. Etwa vier bis sechs Autos können innerhalb von einer Stunde an einer Säule betankt werden. Die Kosten für die Errichtung einer Wasserstofftanksäule werden mit 1 Million Euro angegeben. Auch deren Betrieb ist teuer, da Wasserstoff mit Tanklastwagen zu Tankstellen transportiert werden muss. Dabei spielen Sicherheitsprobleme eine große Rolle. Im August 2020 gab es z. B. 134 Wasserstofftankstellen europaweit, 60 % davon befanden sich in Deutschland-

E-Autos könnte man in der Regel zu Hause (z. B. über eine Wall-Box) laden (für eine Reichweite von 100 km benötigt man ca. 1 h Ladezeit). Im öffentlichen Bereich gibt es Ladestationen mit sechs bis acht Ladesäulen. Die Kosten einer Ladestation belaufen sich auf zwar 100.000 Euro, sie benötigen aber kaum eine Wartung.

Eine Tankfüllung eines Wasserstoffautos der oberen Mittelklasse reicht zurzeit für ca. 500 km. Mit einem E-Auto vergleichbarer Klasse wären zurzeit ca. 560 km zu schaffen.

Betrachtet man die Energieeffizienz der beiden Antriebsarten, dann kann man feststellen, dass beim Wasserstoffauto hohe Energieverluste auftreten und nur ca. 20-30 % der eingesetzten Energie genutzt werden kann. Die Akkus der E-Autos dagegen speichern Strom direkt und geben ihn direkt wieder ab. Somit können sie ca. 70-80 % der eingesetzten Energie nutzen.

Gute Brennstoffzellen haben eine Lebensdauer von bis zu 450.000 km. Allerdings gelten diese als empfindlich. Die neusten sehr stabilen Akkus lassen die Autos bis zu ca. 1,6 Millionen km fahren.

Der Kaufpreis von Wasserstoff- und E-Autos ist in etwa gleich. Allerdings ist die Lebensdauer des Antriebs des Wasserstoffautos geringer. Das hat Auswirkungen auf den Wert des Autos.

Für die Herstellung von Akkus der E-Autos benötigt man u. a. die Metalle Kobalt und Lithium. Die Förderung und Verarbeitung dieser Metalle ist aus verschiedenen Gründen nicht unproblematisch. Deshalb wurde in den zeitgemäßen Akkus der E-Autos der Kobalt-Anteil bereits auf 1/6 reduziert. Die Quote des Recyclings der Akkus liegt bei ungefähr 95 %.

3 Erwartungshorizont

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

		BE/AFB		
		I	II	III
1	<p><i>Stellen Sie die Reaktionsgleichungen für die Herstellung von „grünem“, „türkischem“ und „grauem“ Wasserstoff auf den dargestellten Produktionswegen auf (M 1).</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>S16 entwickeln Reaktionsgleichungen;</p> <p>K 7 nutzen geeignete Darstellungsformen für chemische Sachverhalte und überführen diese ineinander.</p> <p>Reaktionsgleichungen:</p> <p>„grüner“ Produktionsweg: $2 \text{ H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2 \text{ H}_2 + \text{ O}_2$</p> <p>„türkischer“ Produktionsweg: $\text{CH}_4 \rightleftharpoons \text{C} + 2 \text{ H}_2$</p> <p>„grauer“ Produktionsweg: $\text{CH}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 4 \text{ H}_2$ oder $\text{C} + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2 \text{ H}_2$</p>	3		
2	<p><i>Analysieren Sie die Kohlenstoffdioxidfreisetzung bei den verschiedenen Produktionswegen aus Aufgabe 1; beachten Sie dabei auch die Herkunft der benötigten Energie für die Prozesse (M 1).</i></p> <p><i>Stellen Sie eine Vermutung für die verschiedenen Farbbezeichnungen des Wasserstoffs in den dargestellten Produktionswegen auf (M 1).</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>K 8 [...] interpretieren ausgewählte Informationen und leiten Schlussfolgerungen ab;</p> <p>B 4 analysieren und beurteilen die Auswahl von [...] Darstellungsformen im Zusammenhang mit der Intention der Autorin/des Autors;</p> <p>B 6 beurteilen Chancen und Risiken ausgewählter Technologien [...] fachlich und bewerten diese;</p> <p>B 10 bewerten die [...] ökologische Bedeutung der angewandten Chemie.</p> <p><i>Hinweise:</i></p> <p><i>Der Prüfling muss analysieren,</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ <i>ob beim Produktionsweg und bei der Bereitstellung der benötigten Energie für die Prozesse Kohlenstoffdioxid entsteht</i> <p><i>und muss erkennen,</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ <i>dass durch Speicherung von Kohlenstoffdioxid die Atmosphäre nicht belastet wird.</i> 			

	<p><i>und dabei z. B. Folgendes schlussfolgern:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Bei der Herstellung des grünen Wasserstoffes durch Elektrolyse wird mit Hilfe erneuerbarer Energien kein Kohlenstoffdioxid produziert. ◆ Bei der Herstellung des türkisen Wasserstoffs wird Energie benötigt. Die Frage ist hierbei, woher die Energie kommt, die dabei benötigt wird. ◆ Bei der Herstellung des grauen Wasserstoffs entsteht Kohlenstoffdioxid. Dieses wird in die Atmosphäre freigesetzt. Auch hier stellt sich die Frage, woher die benötigte Energie kommt. ◆ Wird das Kohlenstoffdioxid, welches bei der Herstellung des grauen Wasserstoffs entsteht, in Erdlagern gespeichert (blauer Wasserstoff), nimmt es keinen Einfluss auf die Atmosphäre. <p>Vermutungen für die Farbbezeichnungen, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Grün soll „ökologisch unbedenklich“ assoziieren. ◆ Türkis und blau sollte mit „Sauberkeit/Klarheit“ assoziiert werden. ◆ Grau assoziiert „Umweltbelastung“, etwas „Altes“. <p>Die Assoziationen spiegeln dabei die Umweltbelastung durch die Verfahren wieder.</p>		6	2
3	<p><i>Beurteilen Sie den Text (M 2) zur Brennstoffzelle mithilfe der Darstellung. Gehen Sie auf insgesamt drei Aspekte ein und erläutern Sie diese unter fachlichen Gesichtspunkten.</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>K 4 überprüfen die Vertrauenswürdigkeit verwendeter Quellen und Medien (z. B. anhand ihrer Herkunft und Qualität);</p> <p>K 9verwenden Fachbegriffe und -sprache korrekt;</p> <p>K 10erklären chemische Sachverhalte und argumentieren fachlich schlüssig;</p> <p>B 2beurteilen die Inhalte verwendeter Quellen und Medien (z. B. anhand der fachlichen Richtigkeit und Vertrauenswürdigkeit).</p> <p><i>Hinweise:</i> <i>Der Prüfling soll drei Aspekte im Text durch den Vergleich mit der Abb. finden und jeweils fachlich korrekt erläutern (pro Aspekt mit Erläuterung 2 BE), z. B.:</i></p> <p>„Wandlertechnik“:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ „Wandler“: es findet die Oxidation von Wasserstoff statt, die exotherm verläuft. Die chemische Energie wird in elektrische Energie umgewandelt. ◆ „-technik“ im Sinne von galvanischem Element, welches in der Technik eingesetzt wird. ◆ „Prinzip“: Die Trennschicht ist eine protonendurchlässige Membran und nicht der Elektrolyt. Die Membran trennt den Anoden- mit dem Kathodenraum. Beide enthalten jeweils eine Elektrode und die Elektrolytlösung. 			

	<p>◆ „Wasserstoff wird in seine Bestandteile aufgeteilt.“ Aussage ist fachlich falsch, weil Wasserstoffmoleküle Elektronen abgeben, wobei Wasserstoff-Ionen (Protonen, H⁺) entstehen.</p> <p>Diese Teilreaktion läuft am Minuspol ab: $2 \text{H}_2 \rightarrow 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$</p> <p>◆ „Sauerstoffseite“: Protonen strömen durch den Elektrolyten und die Membran zum Pluspol.</p> <p>◆ Die Bildung des Wassers erfolgt nicht aus Protonen, Elektronen und Sauerstoff, sondern:</p> <p>◆ Sauerstoffmoleküle nehmen Elektronen auf und bilden Oxid-Ionen (O²⁻). Anschließend reagieren Wasserstoff- und Oxid-Ionen zu Wassermolekülen.</p> <p>Teilreaktion am Pluspol: $\text{O}_2 + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{O}^{2-}$</p> <p>Folgereaktion: $4 \text{H}^+ + 2 \text{O}^{2-} \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$</p> <p><i>Der Prüfling formuliert sein eigenes Urteil zum Inhalt der Quelle:</i></p> <p>Bei einer populärwissenschaftlichen Darstellung können korrekte fachliche Inhalte verloren gehen.</p> <p>z. B.: Planet Wissen ist eine Informations- und Bildungssendung, die den Zuschauern Informationen zu unterschiedlichen Lebensbereichen liefern will.</p>		6	2
4	<p><i>Elektroauto: Batterie oder Brennstoffzelle?</i></p> <p><i>Diskutieren Sie diese Frage – unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit – auf der Grundlage von drei relevanten Kriterien aus unterschiedlichen Perspektiven (M 3).</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>K 8 strukturieren und interpretieren ausgewählte Informationen und leiten Schlussfolgerungen ab;</p> <p>B 5 entwickeln anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen in gesellschaftlich- oder alltagsrelevanten Entscheidungssituationen mit fachlichem Bezug und wägen sie gegeneinander ab;</p> <p>B 13 beurteilen und bewerten Auswirkungen chemischer Produkte, Methoden, Verfahren und Erkenntnisse sowie des eigenen Handelns im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung aus ökologischer, ökonomischer und sozialer Perspektive.</p> <p><i>Hinweis:</i></p> <p>◆ <i>Der Prüfling soll drei verschiedene Kriterien aus unterschiedlichen Perspektiven gegenüberstellen, wobei es möglich ist, dass die Kriterien mehreren Perspektiven zugeordnet werden können.</i></p> <p>◆ <i>Der Operator „diskutieren“ schließt dabei ein persönliches Fazit ein.</i></p> <p>◆ <i>Die Perspektiven sollen in ökologisch, ökonomisch und sozial unterschieden werden.</i></p>			

Elektroauto mit	Brennstoffzelle	Batterie			
ökologische Perspektive Umweltbelastung Energiebilanz	„saubere“ Energie durch Brennstoffzelle hohe Energieverluste	Belastung durch Verwendung von Kobalt im Akku Energiespeicherung und direkte Abgabe			
ökonomische Perspektive Energiekosten Kosten des Netzaus- bzw. -aufbaus Reichweite / Tankfüllung Kaufpreis	hohe Energieverluste und reduzierter Wirkungsgrad Wasserstofftanksäule: ca. 1 Million Euro vergleichbar vergleichbar, aber geringere Lebensdauer	guter Wirkungsgrad, aktuelle Akkus haben eine rel. lange Lebensdauer Ladestation: ca. 100.000 Euro vergleichbar vergleichbar			
soziale Perspektive Sicherheit Kosten für den Steuerzahler durch staatliche Subventionierung	Sicherheitsprobleme beim Transport von Wasserstoff mit Tanklastwagen hohe Kosten durch Ausbau des Tankstellennetzes	keine Sicherheitsprobleme beim Aufladen öffentliche Ladesäulen bereits vorhanden, Ladestationen sind im Prinzip wartungsfrei		6	
Der Prüfling formuliert ein persönliches Fazit. z. B.: Damit das brennstoffzellenbetriebene Auto in Zukunft eine wertvolle Ergänzung auf dem Weg zur Elektromobilität sein kann, müssen noch einige Voraussetzungen, wie z. B. ein dichteres Tankstellennetz, erfüllt werden.					2
Summe			6	18	6
Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent			20	60	20

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	16		7	
2			8	4, 6, 10
3			4, 9, 10	2
4			8	5, 13

5 Bewertungshinweise

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

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

6 Hinweise für Lehrkräfte

Weiterführende Literatur

- ◆ Micic, Pero (o. D.). Haben Wasserstoff-Brennstoffzellen-Autos eine glänzende Zukunft? *FutureManagementGroup AG*. Eltville. Verfügbar unter: <https://www.futuremanagement-group.com/de/haben-wasserstoff-brennstoffzellen-autos-eine-glaenzende-zukunft/#> (Zugriff am 15.02.2021)

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