

Gemeinsame Abituraufgabenpools der Länder

Beispielaufgaben

Aufgabe für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Offshore-Windparks
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	♦ Stoffe, Strukturen, Eigenschaften ♦ Chemische Bindung ♦ Ionenbindung ♦ Strukturen ausgewählter organischer und anorganischer Stoffe ♦ inter- und intramolekulare Wechselwirkungen (einschließlich Ionen-Dipol-Wechselwirkungen) ♦ Chemische Reaktionen ♦ Elektronenübergänge ♦ Redoxreaktionen als Elektronenübergang ♦ elektrochemische Spannungsreihe ♦ Korrosion
Materialien	♦ M 1 Korrosion an Offshore-Windenergieanlagen ♦ M 2 Experiment zum Korrosionsschutz
Quellenangaben	♦ Bethke, C. & Schwarzer, R. (2017). Generierung einer mikro- und nanostrukturierten Kupferoberfläche mit Lotos-Effekt - Ein Versuch für die Sekundarstufen I und II. Wiley Online Library. Verfügbar unter: https://online-library.wiley.com/doi/10.1002/ckon.201710290 (Zugriff am 03.06.2021) ♦ Alle Materialien und Abbildungen wurden im Auftrag des IQB erstellt.
Hilfsmittel	♦ Formelsammlung
zusätzliche inhaltliche und methodische Voraussetzungen	♦ Korrosion: Sauerstoff- und Säurekorrosion mit aktivem und passivem Korrosionsschutz
fachpraktischer Anteil	☐ ja ☒ nein Zeitzuschlag: -

1 Aufgabe

Offshore-Windparks¹

Korrosion ist ein großes Problem an den Eisen-Stützkonstruktionen von Offshore-Windenergieanlagen. Deshalb sind in diesem Zusammenhang bestehende und zukünftige Korrosionsschutz-Systeme von enormer Bedeutung.

	BE
1 Formulieren Sie die Teilgleichungen zu den Redoxprozessen bei der Sauerstoffkorrosion von Eisenteilen. Beschreiben Sie das zugrundeliegende Donator-Akzeptor-Konzept.	5
2 Ordnen Sie begründet die drei in Abb. 2 dargestellten Eisenteile nach Zunahme der Korrosionsbeständigkeit (M 1).	7
3 Erklären Sie die Funktion der Zinkblöcke in den tieferen Wasserschichten anhand einer Skizze, die die Vorgänge auf Teilchenebene darstellt (M 1).	5
4 Vergleichen Sie die Benetzbarkeit der Platten nach den Arbeitsschritten 2 und 3 (M 2). Begründen Sie die Unterschiede unter Beachtung der zwischenmolekularen Kräfte.	7
5 Beurteilen Sie die Anwendbarkeit der Ergebnisse des Experiments für einen Korrosionsschutz im Spritzwasserbereich der Offshore-Windenergieanlagen. Berücksichtigen Sie dabei drei relevante Kriterien (M 2).	6

¹ Offshore = vor der Küste

2 Material

Material 1

Korrosion an Offshore-Windenergieanlagen

Offshore-Windparks in der Nord- und Ostsee sind wichtige Stützpfeiler der Energiewende. Das offene Meer mit starken Winden, hohem Wellengang und Salzwasser bietet aber ideale Bedingungen für Schädigungen der Eisenkonstruktionen, mit denen die Windenergieanlagen im Meeresboden verankert sind.

Je nach Meerestiefe sind dabei unterschiedliche Korrosionsprozesse relevant. Im Spritzwasserbereich überwiegt die Sauerstoffkorrosion. In größeren Meerestiefen mit geringerem Sauerstoffgehalt kommt es in gewissem Umfang zur Säurekorrosion. Deshalb werden die Eisenstützen von Offshore-Windenergieanlagen mit verschiedenartigen Verfahren vor Korrosion geschützt (siehe Abb.1).

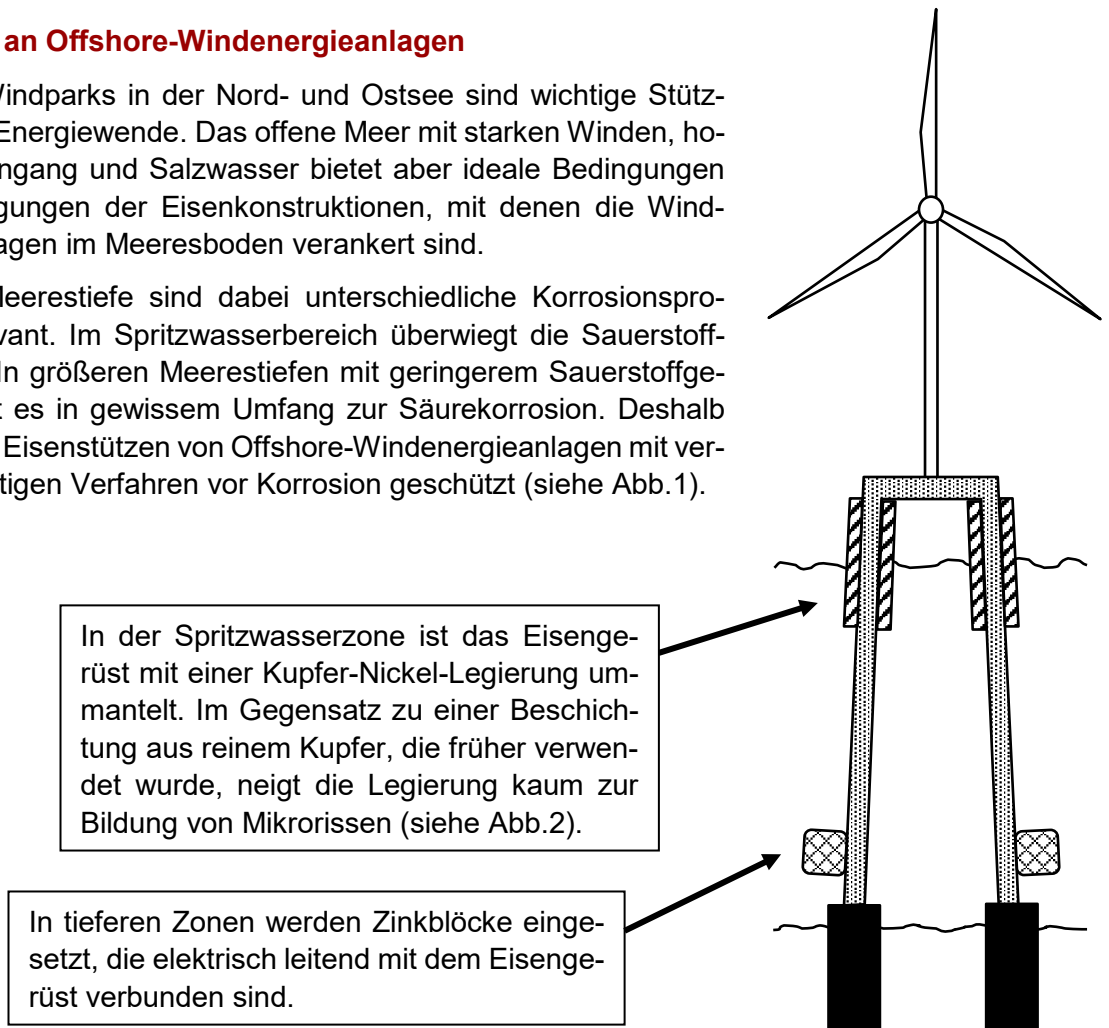


Abb. 1: Offshore-Windenergieanlage mit Verankerung (schematisch), IQB

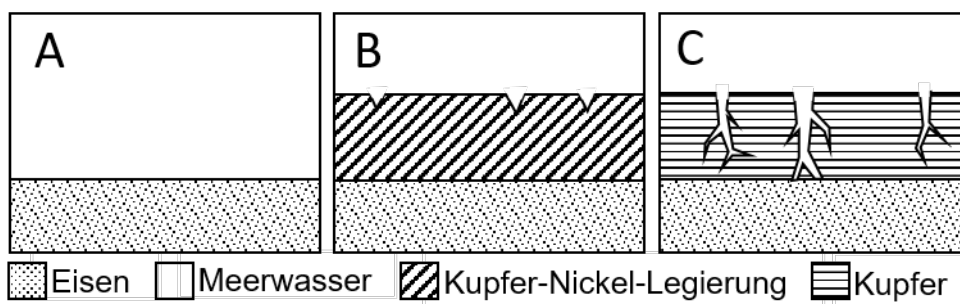


Abb. 2: Dem Meerwasser ausgesetzte Eisenteile, IQB

Material 2

Experiment zum Korrosionsschutz

Korrosionsprozesse an Metallteilen werden durch die Benetzbarkeit der Oberfläche mit Wasser beeinflusst. Dabei gilt: Je größer die Benetzbarkeit einer Oberfläche ist, desto besser können Korrosionsprozesse ablaufen. Die Benetzbarkeit wird über den Kontaktwinkel β eines Wassertropfens zu der untersuchten Oberfläche gemessen (siehe Abb. 3).

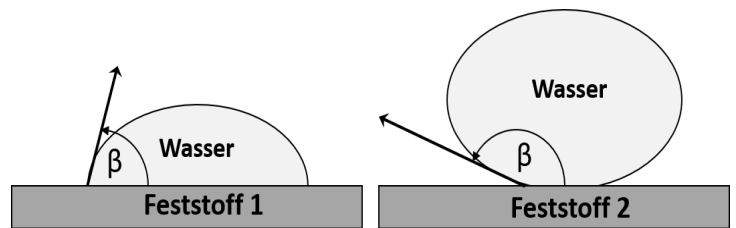
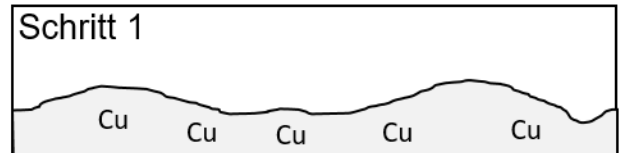


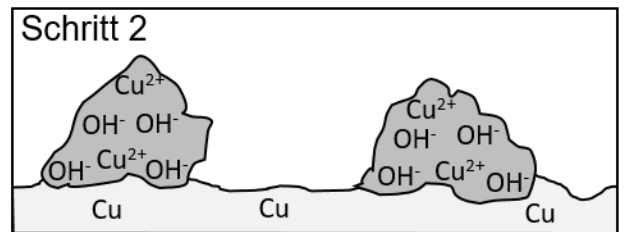
Abb. 3: Beispiele für die Bestimmung des Kontaktwinkels eines Flüssigkeitstropfens auf einem Festkörper, in Anlehnung an Bethke, C. & Schwarzer, R. (2017).

Zur Beeinflussung der Benetzbarkeit einer Kupferoberfläche wird folgendes Experiment durchgeführt:

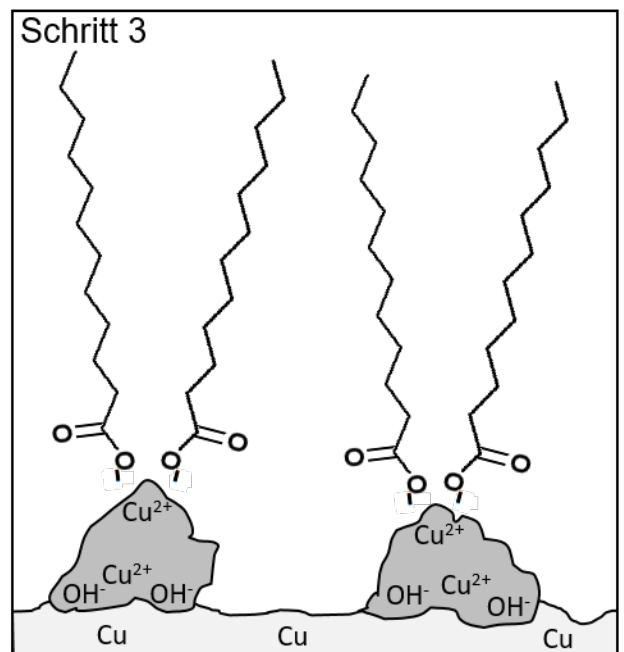
Schritt 1: Die Oberfläche einer Kupferplatte wird mit feinem Schmirgelpapier aufgeraut und mit Ethanol gereinigt.



Schritt 2: Die gereinigte Platte wird mit einem starken Oxidationsmittel behandelt. Dadurch bilden sich kristalline Bereiche von Kupfer(II)-hydroxid ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) auf der Oberfläche der Platte.



Schritt 3: Die oxidierte Platte wird für 30 min in eine Lösung mit Dodecansäure ($\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$) getaucht.



Nach jedem Arbeitsschritt wird mit einer Platte der Kontaktwinkel β beim Benetzen der Oberfläche mit Wasser gemessen (siehe Tab.1).

Tab. 1 Gemessene Kontaktwinkel

Schritt	Kontaktwinkel β
1	60°
2	4°
3	160°

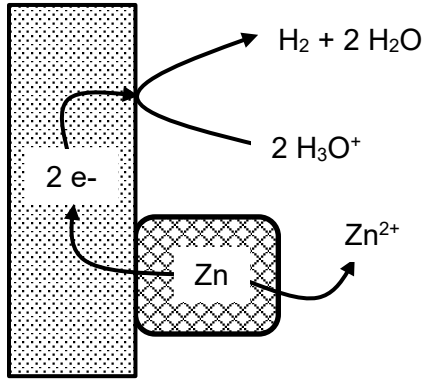
Quelle: IQB, in Anlehnung an Bethke, C. & Schwarzer, R. (2017).

Abb. 4: Vereinfachte Darstellung der Oberfläche der Kupferplatte nach jedem Behandlungsschritt, in Anlehnung an Bethke, C. & Schwarzer, R. (2017).

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	Formulieren Sie die Teilgleichungen zu den Redoxprozessen bei der Sauerstoffkorrosion von Eisenteilen. Beschreiben Sie das zugrundeliegende Donator-Akzeptor-Konzept. Die Lernenden ... S 7 beschreiben [...] das Donator-Akzeptor-Prinzip und wenden diese(s) an; S 16 entwickeln Reaktionsgleichungen. Ox: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^-$ Red: $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$ Beschreibung des Prinzips der Elektronenübertragung bei Redoxreaktionen an obigem Beispiel.	1 1 3		
2	Ordnen Sie begründet die drei in Abb. 2 dargestellten Eisenteile nach Zunahme der Korrosionsbeständigkeit (M 1). Die Lernenden ... S 2 leiten Voraussagen über die Eigenschaften der Stoffe auf Basis chemischer Strukturen und Gesetzmäßigkeiten begründet ab; S 9 erklären unterschiedliche Reaktivitäten und Reaktionsverläufe; E 3 stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf. Begründete Ordnung: C Beschleunigte Korrosion durch Bildung eines Kontaktelements: Mikrorisse in Kupferbeschichtung; Meerwasser kann zum Eisen vordringen; Elektronenübertragung von Eisen über Kupfer zu Sauerstoff möglich A Korrosion ohne zusätzliche Einflussfaktoren B Kaum/Keine Korrosion aufgrund von passivem Korrosionsschutz: Nickel-Kupfer-Legierung verhindert Kontakt von Meerwasser und Sauerstoff; Hinweis für die Lehrkraft: Eine korrekte Ordnung ohne Begründung kann nicht zur Erlangung von 1 BE führen. Die Aufgliederung der BE soll aber zeigen, wie die einzelnen Aspekte zu werten sind.	1 1 1	1 1 1	1

3	<i>Erklären Sie die Funktion der Zinkblöcke in den tieferen Wasserschichten anhand einer Skizze, die die Vorgänge auf Teilchenebene darstellt. (M 1)</i> Die Lernenden ... K 7 nutzen geeignete Darstellungsformen für chemische Sachverhalte [...]; K 10 erklären chemische Sachverhalte [...]. Beispielhafte Skizze zu den Vorgängen auf Teilchenebene  Erklärung des Prinzips der Opferanode (bzw. des kathodischen Korrosionsschutzes): unedleres Metall wird leichter oxidiert und sorgt für Schutz des Eisens;		3 2	
4	<i>Vergleichen Sie die Benetzbarkeit der Platten nach den Arbeitsschritten 2 und 3 (M 2).</i> <i>Begründen Sie die Unterschiede unter Beachtung der zwischenmolekularen Kräfte.</i> Die Lernenden ... S 6 unterscheiden konsequent zwischen Stoff- und Teilchenebene; S 13 nutzen Modelle [...] zu intra- und intermolekularen Wechselwirkungen; K 2 wählen relevante und aussagekräftige Informationen und Daten zu chemischen Sachverhalten und anwendungsbezogenen Fragestellungen aus und erschließen Informationen aus Quellen mit verschiedenen, auch komplexen Darstellungsformen. Schritt 2: Geringer Kontaktwinkel: starke Benetzung der Oberfläche Begründung: Ionen an der Oberfläche der Kupferhydroxid-Kristalle können mit den Wassermolekülen in Wechselwirkung treten (z. B. über Ion-Dipol-Wechselwirkungen). Schritt 3: Großer Kontaktwinkel: geringe Benetzung der Oberfläche Begründung: Dodecansäure-Anionen bilden Ion-Ion-Wechselwirkungen zu Kupfer-Kationen aus, unpolare Kohlenwasserstoff-Reste der Dodecansäure-Anionen bilden Van-der-Waals-Wechselwirkungen un-	1 1	2	

	tereinander aus; aufgrund der Abschirmung durch unpolare Kohlenwasserstoffketten keine Wechselwirkungen der polaren Wassermoleküle mit der Oberfläche möglich.		2	1
5	<i>Beurteilen Sie die Anwendbarkeit der Ergebnisse des Experiments für einen Korrosionsschutz im Spritzwasserbereich der Offshore-Windenergieanlagen. Berücksichtigen Sie dabei drei relevante Kriterien (M 2).</i> Die Lernenden ... B 6 beurteilen Chancen und Risiken ausgewählter Technologien, Produkte und Verhaltensweisen fachlich und bewerten diese. Bildung eines Sachurteils unter Beachtung von drei relevanten Kriterien. Beispiele für mögliche fachliche Kriterien: ◆ Benetzbarkeit wird deutlich verringert; Wasser kann kaum als Elektrolyt wirken; Korrosion wird erschwert; ◆ starke Wechselwirkungen zwischen den Kupfer-Ionen und den Fettsäure-Anionen; lange Haltbarkeit der wasserabweisenden Schicht möglich; ◆ zusätzliche Behandlung nötig; Kostensteigerung gegenüber herkömmlichem Korrosionsschutz; ◆ Witterungsbeständigkeit der Schutzschicht aus Fettsäure-Anionen unklar; Benetzbarkeit wäre nach deren Entfernung deutlich erhöht; Korrosion begünstigt. <i>Hinweise für die Lehrkraft:</i> <i>Einige der Kriterien erscheinen widersprüchlich. Dies ist aber damit zu erklären, dass hier verschiedene schlüssige Argumentationsbeispiele genannt sind, die Prüflingen aufgrund des fachlichen und allgemeinen Vorwissens einfallen können. Bei der Bewertung durch die Lehrkraft soll auch auf die Qualität der Kriterien geachtet werden. Es ist anzunehmen, dass die Prüflinge keine drei Kriterien so darstellen, dass auch immer AFB III beinhaltet ist. So soll beispielsweise auch mit zwei sehr guten und einer nur passenden Darstellung trotzdem volle Punktzahl ermöglicht werden.</i>		3	2
	Summe	10	15	5
	Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent	33	50	17

4 Standardbezug

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

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

Weiterführende Literatur

- ♦ Schwarzer, S. (o. J.): Du machst mich nicht nass! Wasserstrahlreflexion an nanobeschichteten Oberflächen. Friedrich Verlag. *Sekundarstufe. Naturwissenschaften. Chemie. Stoffe & ihre Eigenschaften*. Wasserabweisung durch Nanobeschichtung. Gefunden unter: <https://www.unterricht-chemie.de/blog/stoffe-und-ihre-eigenschaften/post/wasserabweisung-durch-nanobeschichtung/> (Zugriff am 22.10.2020)
- ♦ PowerTech e. V. (o. J.). *VGB/BAW-Standard*. Korrosionsschutz von Offshore-Windenergieanlage und Windparkkomponenten. Essen. Verfügbar unter: https://www.vgb.org/korrosionsschutz_offshore_windenergieanlagen.html?dfid=78987 (Zugriff am 22.10.2020)

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