

Gemeinsame Abituraufgabenpools der Länder**Beispielaufgaben****Aufgabe für das Fach Physik****Kurzbeschreibung**

Aufgabentitel	Wellenlängenbestimmung mit dem Doppelspalt
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	<ul style="list-style-type: none">◆ Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen<ul style="list-style-type: none">◆ Überlagerung von Wellen◆ Interferenz am Doppelspalt
Materialien	<ul style="list-style-type: none">◆ M 1 Material zum Doppelspaltexperiment◆ M 2 Aufnahme des Schirmbildes◆ M 3 Versuchsaufbau mit Ultraschall◆ M 4 Versuchsaufbau mit Messkurve◆ M 5 Prinzip eines Versuchs mit Dreifachspalt
Quellenangaben	<ul style="list-style-type: none">◆ Alle Materialien und Abbildungen wurden im Auftrag des IQB erstellt.
Hilfsmittel	<ul style="list-style-type: none">◆ Wissenschaftlicher Taschenrechner◆ Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/> Zeitzuschlag: -

1 Aufgabe

Wellenlängenbestimmung mit dem Doppelspalt

In der Aufgabe geht es um die Bestimmung der Wellenlänge von Licht bzw. Ultraschall in einem Doppelspalt-Experiment. In einer zusätzlichen Überlegung wird der Doppelspalt zu einer Anordnung mit drei Öffnungen erweitert.

	BE
1 In M 1 ist ein Doppelspalt-Experiment mit Licht dargestellt. Der Licht-Detektor soll längs der eingezeichneten Strecke verschiebbar sein. Erläutern Sie auf der Grundlage von M 1, warum beim Verschieben des Detektors periodisch abwechselnde Helligkeit gemessen wird.	4
2 Würde man ein Doppelspalt-Experiment mit einer Folge einzelner Photonen ausführen, so würde eine lang belichtete Aufnahme mit einer speziellen, sehr empfindlichen Kamera das Bild in M 2 ergeben. Dabei stellt man fest, dass es Punkte P gibt, an denen ein Detektor niemals ein Photon registriert. Beurteilen Sie die Eignung der in 1 verwendeten Modellvorstellung von Licht zur Erklärung dieser Beobachtung.	4
3 Die Wellenlänge von Ultraschall lässt sich mithilfe des in M 3 gezeigten Doppelspalt-Aufbaus experimentell bestimmen. Der hier verwendete Ultraschall hat eine deutlich größere Wellenlänge als Licht. Begründen Sie dies anhand des Versuchsaufbaus. Erklären Sie das aus dem Unterricht bekannte Verfahren zur Bestimmung der Wellenlänge mithilfe eines Doppelspaltes. Begründen Sie die dabei verwendete Gleichung. Fertigen Sie zur Begründung geeignete Skizzen an. Ermitteln Sie anhand der Messergebnisse in M 4 die Wellenlänge des Ultraschalls möglichst genau. Beschreiben Sie Ihr Vorgehen.	4 4 4
4 In dem Doppelspalt-Experiment mit Ultraschall wird wie in M 5 ein weiterer Spalt eingefügt. Dann beobachtet man, dass nun an den Orten vorheriger Intensitätsminima Intensität gemessen werden kann. Erklären Sie diese Beobachtung.	6 4

2 Material

Material 1

Material zum Doppelspaltexperiment

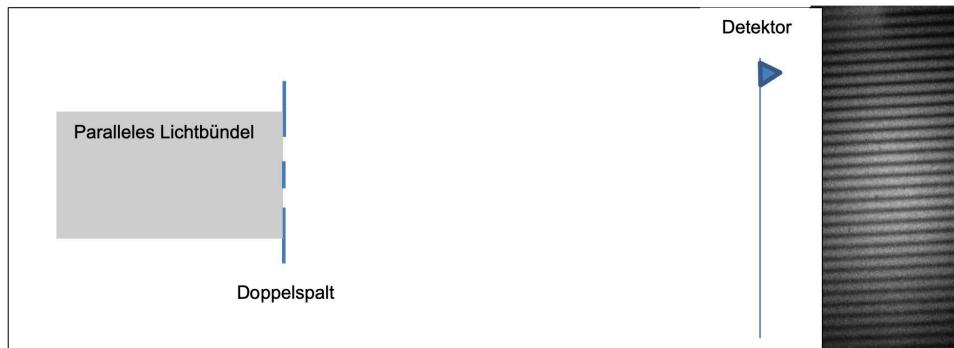


Abb. 1: Prinzip des Versuchsaufbaus, IQB

Der Lichtdetektor ist längs der eingezeichneten Strecke verschiebbar.
Die Abbildung rechts zeigt das auf einem Schirm entstehende Bild.

Material 2

Aufnahme des Schirmbildes



Abb. 2: Aufnahme des Schirmbildes (mit einer empfindlichen Kamera), IQB

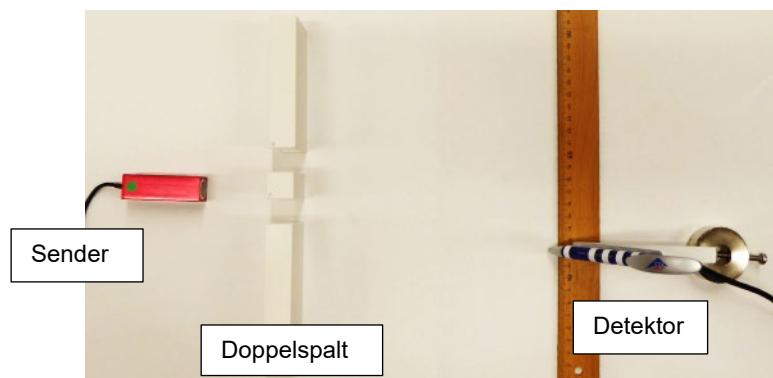
Material 3**Versuchsaufbau mit Ultraschall**

Abb. 3: Versuchsaufbau des Doppelspalts bei Ultraschall, IQB

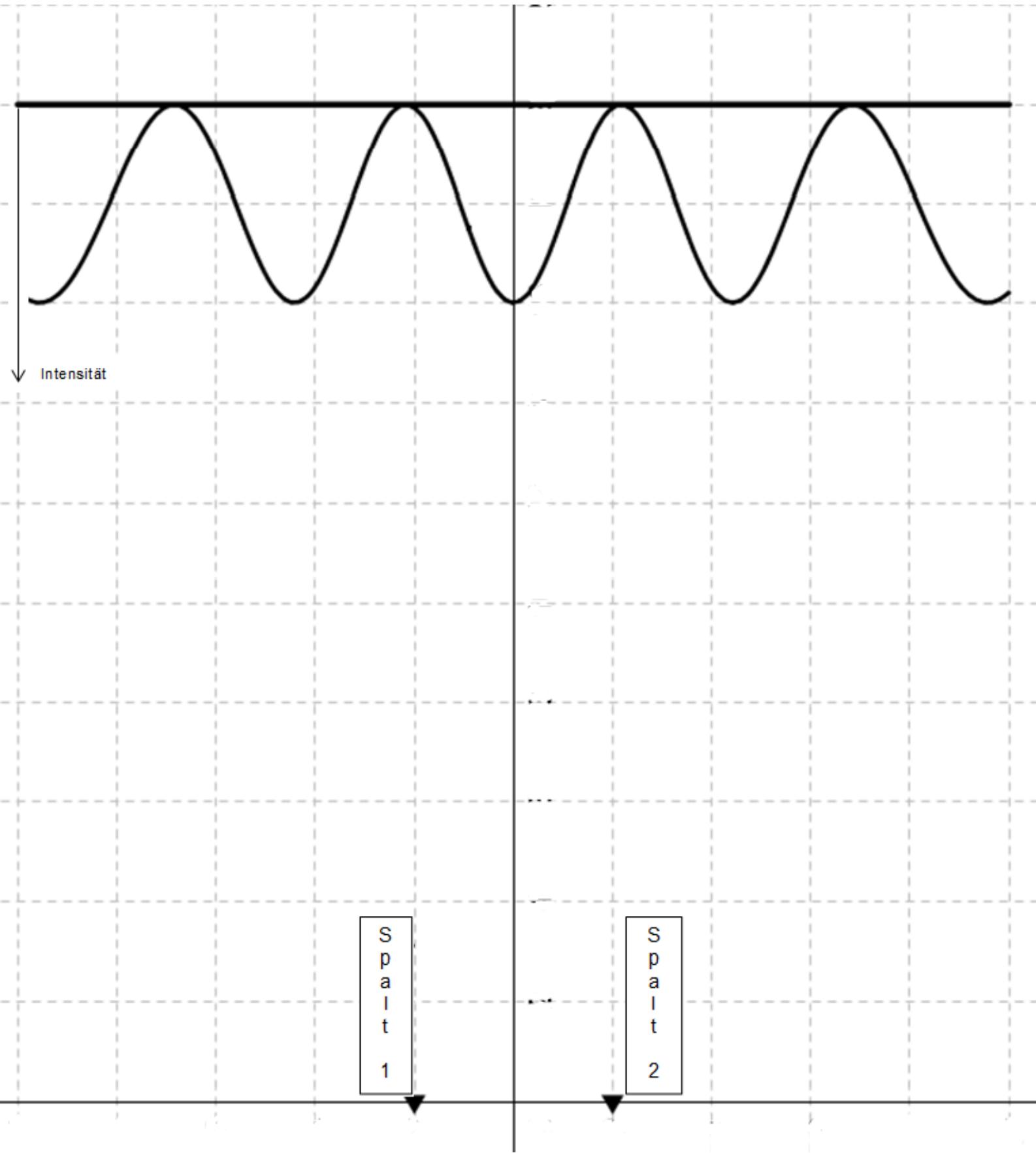
Material 4 - Versuchsaufbau mit Messkurve


Abb. 4: Darstellung des Versuchsaufbaus mit einer Messkurve der Intensität über dem Ort des Detektors in Originalgröße, IQB

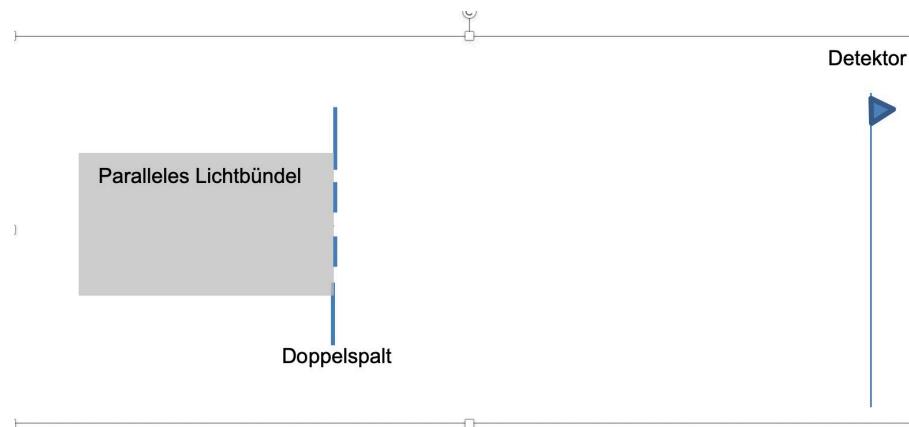
Material 5**Prinzip eines Versuchs mit Dreifachspalt**

Abb. 5: Prinzip des erweiterten Versuchs mit einem oben hinzugefügten weiteren Spalt, IQB

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 <i>Erläutern Sie auf der Grundlage von M 1, warum beim Verschieben des Detektors periodisch abwechselnde Helligkeit gemessen wird.</i>			
<p>Die Lernenden ...</p> <p>S 1 erklären Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien;</p> <p>K 4 formulieren unter Verwendung der Fachsprache chronologisch und kausal korrekt strukturiert.</p> <p><i>Erläutern mit den Kernpunkten Huygens-Prinzip, unterschiedliche Weglängen von den beiden so entstehenden Spalten zum Detektor, je nach Wegdifferenz konstruktive bzw. destruktive Interferenz.</i></p> <p><i>Mögliche Lösung:</i> Die von der Quelle ausgehende Welle trifft auf beide Spalte, die nach dem Huygens-Prinzip als punktförmige Erreger neuer Elementarwellen interpretiert werden können. Diese Elementarwellen interferieren hinter dem DSP. Bis zum Ort des Detektors auf dem Schirm legen sie unterschiedliche Wege zurück. Je nach Wegdifferenz ergibt sich konstruktive (ganzzahlige Vielfache der Wellenlänge) oder destruktive Interferenz (ungeradzahlige Vielfache der Wellenlänge). Folglich registriert der Detektor abwechselnd helle und dunkle Stellen.</p>	4		
2 <i>Beurteilen Sie die Eignung der in 1 verwendeten Modellvorstellung von Licht zur Erklärung dieser Beobachtung.</i>			
<p>Die Lernenden ...</p> <p>E 8 beurteilen die Eignung physikalischer Modelle und Theorien für die Lösung von Problemen.</p> <p><i>Beurteilen mit den Kernpunkten: Interpretation der Interferenzfigur, Nachweiswahrscheinlichkeit einzelner Photonen, Vorhersage der Nachweiswahrscheinlichkeit für die Minima des Interferenzmusters, Schlussfolgerung für die Wellenvorstellung.</i></p> <p><i>Mögliche Lösung:</i> Die Interferenzfigur kann als Maß für die Nachweiswahrscheinlichkeit einzelner Photonen interpretiert werden. Daraus ergibt sich die Vorhersage: in Minima des Interferenzmusters ist die Nachweiswahrscheinlichkeit null. Folglich ist die umgedeutete Wellenvorstellung weiterhin geeignet.</p>	4		

3	<p><i>Der hier verwendete Ultraschall hat eine deutlich größere Wellenlänge als Licht.</i></p> <p><i>Begründen Sie dies anhand des Versuchsaufbaus.</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>S 3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen.</p> <p><i>Begründen z.B. mit Bezug auf die bekannte Gleichung</i></p> $\lambda = d \cdot \sin(\alpha)$ <p><i>Mögliche Lösung:</i></p> <p>Es gilt $\lambda = d \cdot \sin(\alpha)$.</p> <p><i>d</i> erscheint im Aufbau einige cm groß, so dass bei gleicher Wellenlänge wie Licht der Winkel, unter dem das erste Maximum erscheint, winzig sein müsste.</p>			4
	<p><i>Erklären Sie das aus dem Unterricht bekannte Verfahren zur Bestimmung der Wellenlänge mithilfe eines Doppelspaltes.</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>S 5 erklären bekannte Messverfahren sowie die Funktion einzelner Komponenten eines Versuchsaufbaus.</p> <p><i>Erklären mit den Kernpunkten Messung des Abstandes / Doppelspalt-Beobachtungsebene, Messung des Abstandes s_n möglichst vieler Maxima vom Maximum nullter Ordnung, Information über den Spaltabstand d, je nach Unterricht z.B. mit der Gleichung</i></p> $n \cdot \lambda = d \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{s_n}{l}\right)\right)$ <p><i>Mögliche Lösung:</i></p> <p>Die Wellenlänge kann man nach der Formel</p> $n \cdot \lambda = d \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{s_n}{l}\right)\right) \text{ bestimmen.}$ <p>Der Abstand d der Spalte ist in der Regel bekannt. l ist der Abstand des Doppelspalts zur Beobachtungsebene und muss gemessen werden. s_n ist der Abstand des Maximums n-ter Ordnung zum Maximum nullter Ordnung in der Beobachtungsebene. Um die Wellenlänge möglichst genau zu bestimmen, sollte n so groß wie möglich gewählt werden (dann ist die Messunsicherheit bei der Messung von s_n so gering wie möglich).</p>		4	
	<p><i>Begründen Sie die dabei verwendete Gleichung.</i></p> <p><i>Fertigen Sie zur Begründung geeignete Skizzen an.</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>S 6 erklären bekannte Auswerteverfahren und wenden sie auf Messergebnisse an.</p>			8

	<p>Begründen unter Hinzuziehen einer geeigneten Skizze, je nach Unterricht z.B. mit den Kernpunkten Dreieck Doppelspalt-Detektor und Dreieck Spaltabstand-Wegdifferenz, zugehörige Größen und Winkel, Anwenden der Winkelbeziehungen.</p> <p>Mögliche Lösung:</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 10px;"> </div> <p>Durch Einzeichnen einer Senkrechten erhält man den Wegunterschied der vom Doppelspalt ausgehenden parallelen Lichtwege. Für den Winkel α im (blauen) Dreieck gilt:</p> $\sin(\alpha) = \frac{\Delta s}{d} \quad (1)$ <p>Für den gleichen Winkel α im ähnlichen (roten) Dreieck gilt $\tan(\alpha) = \frac{s_n}{l}$. (2)</p> <p>Damit der Detektor auf dem Schirm ein Maximum (konstruktive Interferenz) nachweist, muss gelten: $\Delta s = n \cdot \lambda$ (3)</p> <p>Durch Umformen von Gleichung (1) nach α, Einsetzen von α und Δs in Gleichung (2) und geeignete Umformungen erhält man die gesuchte Gleichung.</p>	
	<p>Ermitteln Sie anhand der Messergebnisse in M 4 die Wellenlänge des Ultraschalls möglichst genau. Beschreiben Sie Ihr Vorgehen.</p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>E 6 erklären mithilfe bekannter Modelle und Theorien die in erhobenen oder recherchierten Daten gefundenen Strukturen und Beziehungen;</p> <p>K 4 formulieren unter Verwendung der Fachsprache chronologisch und kausal korrekt strukturiert.</p> <p>Ermitteln der Wellenlänge mit dem eingeführten Verfahren.</p> <p>Beschreiben des Vorgehens mit den Kernpunkten: Nennen der Messgrößen, Vorgehen zur Erzielung großer Genauigkeit, kommentierte Anwendung eines geeigneten Rechenweges.</p> <p>Mögliche Lösung:</p> <p>Messen von d (Spalt), l (Abstand Spaltebene), s_n (Abstand des n-ten Maximums zum nullten Maximum)</p> <p>Einsetzen in die Formel</p> <p>Je nach Vorgehen erhält man als mögliches Ergebnis etwa $\lambda \approx 0,8 \text{ cm}$.</p> <p>Hinweis: Da die Reproduktion der Vorlage nicht unbedingt im Maßstab 1:1 erfolgen wird, hängt das Ergebnis auch von der mit der Aufgabe ausgetauschten Vorlage ab.</p>	4

4 Erklären Sie diese Beobachtung. Die Lernenden ... S 1 erklären Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien. Aufstellen einer Hypothese Mögliche Lösung: Im „alten“ Minimum wird nun eine größere Intensität deswegen beobachtbar, weil es nun drei statt zwei Schallwege gibt. Begründung z.B. in der Zeigerdarstellung: Zu den beiden vorher gegenphasigen Zeigern tritt jetzt ein dritter, so dass Auslöschung an dieser Stelle nicht mehr möglich ist. (Dazu ggf. Anfertigen einer je nach Argument aussagekräftigen und erläuterten Skizze).			
Summe	8	18	4
Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent	27	60	13

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	1		4	
2		8		
3	3, 5, 6	6	4	
4	1			

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.

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