

Gemeinsame Abituraufgabenpools der Länder

Beispielaufgaben

Aufgabe für das Fach Physik

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Sternspektren – Fingerabdrücke der Sterne
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Quantenphysik und Materie <ul style="list-style-type: none"> ♦ Atomvorstellung <ul style="list-style-type: none"> ♦ qualitative Betrachtung eines quantenmechanischen Atommodells ♦ Emission und Absorption, Zusammenhang zwischen diskretem Spektrum und Energieniveauschema
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> ♦ M 1 Emissionsspektrum von Wasserstoff ♦ M 2 Absorptionsspektren von Sternen ♦ M 3 Spektrallinien ausgewählter Elemente und Moleküle ♦ M 4 Die Entdeckung der Absorptionslinien im Licht der Sterne
Quellenangaben	<ul style="list-style-type: none"> ♦ M 1, Abb. 1: [scanned by NobbiP] (2010). <i>DBP 1987 1313 Joseph von Fraunhofer, Sonnenspektrum</i>. Verfügbar unter: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12235518 (Zugriff am 05.05.2020) ♦ M 2, Abb. 3 und 4: Im Auftrag des IQB erstellt, in Anlehnung an Wissenschaft in die Schulen (o. J.). <i>Spektraldaten Stern 1: HD9547</i>. Verfügbar unter: http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/spektraldaten-stern-1-hd9547/1049760 (Zugriff am 05.05.2020) ♦ M 4: Ernst Florens Friedrich Chladni, Brief an Ludwig Wilhelm Gilbert. In: <i>Annalen der Physik</i> 1818, 5. Stück, S. 1ff. Zitiert nach: Riekher, R. (2009). Fraunhofer und der Beginn der Astrospektroskopie. <i>Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin</i> 103 (2009), S. 111. Verfügbar unter: https://leibniz-sozietat.de/wp-content/uploads/2012/11/09_riekher.pdf (Zugriff am 05.05.2020) ♦ Alle weiteren 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

Sternspektren – Fingerabdrücke der Sterne

Durch die Untersuchung des Lichtes von Sternen können physikalische und chemische Eigenschaften dieser Sterne ermittelt werden. Dazu wird das Licht in ein Spektrum zerlegt. Es entstehen Absorptionsspektren (s. Abb. 1). Joseph Fraunhofer entdeckte 1813 ein derartiges Spektrum bei der Zerlegung des Lichtes der Sonne. Da jeder Stern ein etwas anderes Absorptionsspektrum hat, wird ein solches Spektrum auch als Fingerabdruck des Sterns bezeichnet.



Abb. 1: Sonderbriefmarke der Deutschen Bundespost zum 200. Geburtstag von Fraunhofer mit einer Darstellung eines Absorptionsspektrums, [scanned by NobbiP], 2010.

- | | BE |
|---|-----------|
| 1 Skizzieren Sie die prinzipiellen Versuchsaufbauten für die Erzeugung eines Emissionsspektrums und eines Absorptionsspektrums. Beschriften Sie auch Ihre Skizzen. | 4 |
| 2 Erklären Sie mit einem geeigneten Atommodell die Entstehung von Emissionslinien und von Absorptionslinien. | 6 |
| 3 Bestimmen Sie mithilfe von M 1 aus den Daten von drei Linien des Wasserstoffs die Konstante k . | 5 |
| 4 Erläutern Sie allgemein mithilfe der Materialien, wie anhand des von Sternen ausgesandten Lichts Aussagen über die stoffliche Zusammensetzung dieses Sterns gewonnen werden können. | 4 |
| Begründen Sie, dass der Stern HD9547 Wasserstoff enthält. | 2 |
| Ermitteln Sie mithilfe von M 3 zwei weitere Elemente bzw. Moleküle, die dieser Stern enthält. | 2 |
| 5 Begründen Sie aus heutiger Sicht, dass Chladnis Äußerungen in M 4 zur Tragweite der Entdeckung Fraunhofers zutreffend sind. | 3 |
| Erläutern Sie zwei mögliche Ursachen dafür, dass Fraunhofer die Bedeutung der Entdeckung für die Astronomie noch nicht erkannt hatte. | 4 |

2 Material

Material 1

Emissionsspektrum von Wasserstoff

In der nebenstehenden Abbildung sind Emissionslinien des Spektrums von atomarem Wasserstoff dargestellt. Insgesamt gibt es im sichtbaren Bereich vier Linien. Sie werden mit $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ und $H\delta$ bezeichnet und besitzen bestimmte Wellenlängen.

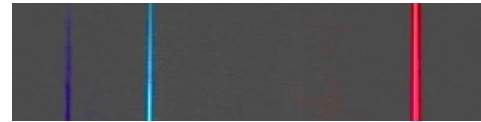


Abb. 2:
Foto eines Ausschnitts des Wasserstoffspektrums mit drei erkennbaren Emissionslinien, IQB

Im Jahr 1885 entdeckte Johann Jakob Balmer eine Regelmäßigkeit dieser Linien. Er

fand heraus, dass sich die beobachteten Wellenlängen mit Hilfe der Gleichung $\lambda = k \cdot \frac{n^2}{n^2 - 4}$

berechnen lassen, wenn man für n die natürlichen Zahlen 3, 4, 5 bzw. 6 einsetzt. Dabei ist k eine von Balmer aus den experimentellen Daten ermittelte Konstante. Diese Gleichung wird auch Balmer-Formel genannt. Alle damit berechenbaren Spektrallinien werden zur Balmer-Serie zusammengefasst.

Tab. 1: Balmer-Serie

Linie	$H\alpha$	$H\beta$	$H\gamma$	$H\delta$
/	656,2 nm	486,1 nm	434,0 nm	410,1 nm
n	3	4	5	6

Material 2

Absorptionsspektren von Sternen

Sterne wie unsere Sonne sind selbstleuchtende heiße kugelförmige Objekte. Ihr Licht entsteht in ihrem Innern. Es breitet sich in alle Richtungen aus und durchquert die kühleren, weiter außen befindlichen Bereiche des Sterns. Das sich in Richtung Erde ausbreitende Licht des Sterns durchquert die Erdatmosphäre. Dieses Licht kann spektral zerlegt werden. Mithilfe des Spektrums eines Sterns können Aussagen über seine Eigenschaften gewonnen werden. Das Spektrum lässt sich als spektrale Intensitätsverteilung in Abhängigkeit von der Wellenlänge darstellen. Dabei entsprechen die lokalen Minima den dunklen Linien im Spektrum.

Das Diagramm auf der nächsten Seite zeigt einen solchen Zusammenhang für den Stern HD9547 im Sternbild Andromeda.

Bei der Analyse der Spektren für die Lösung der Aufgaben kann die Absorption in der Atmosphäre der Erde vernachlässigt werden.

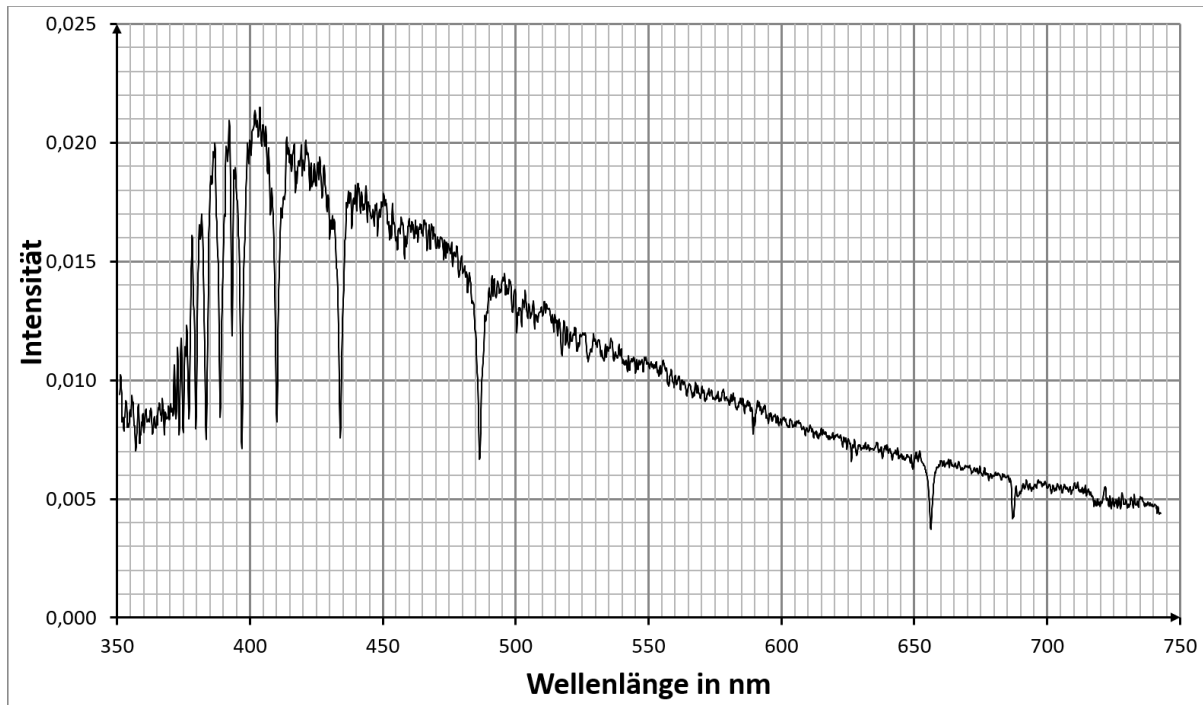


Abb. 3: Spektrum des Sterns HD9547 im Sternbild Andromeda, IQB, in Anlehnung an Wissenschaft in die Schulen.

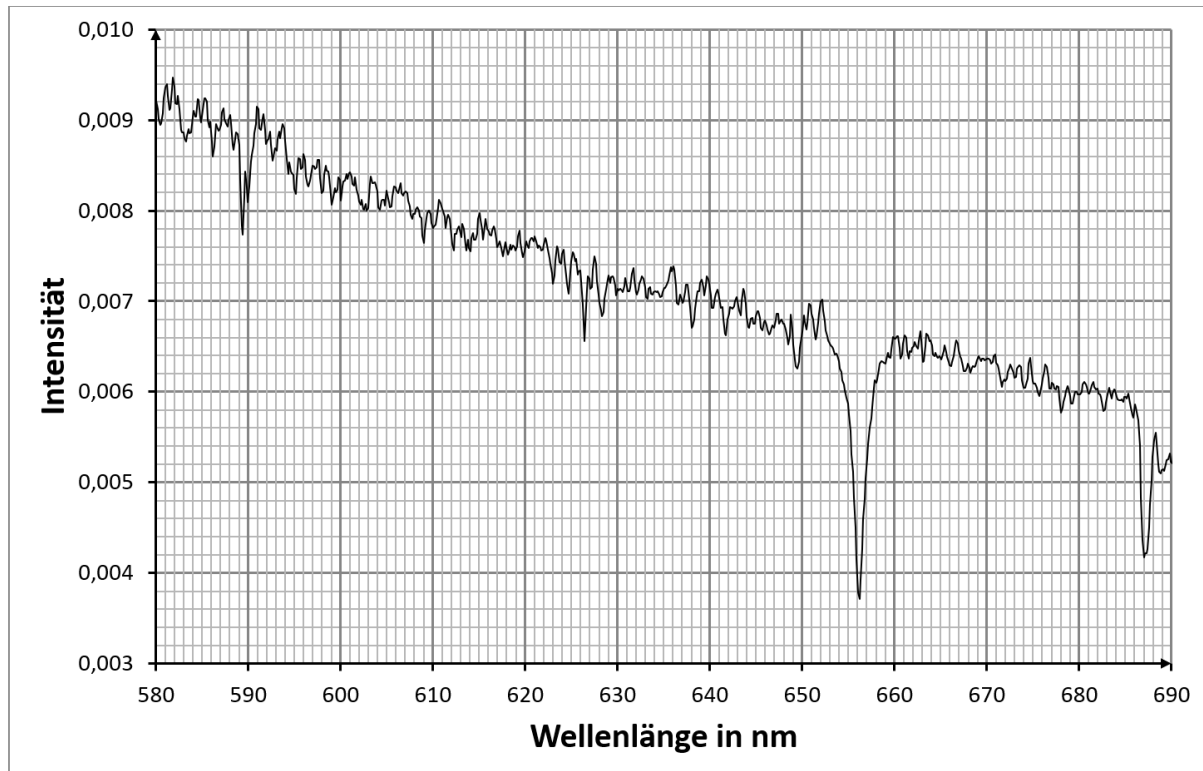


Abb. 4: Vergrößerter Ausschnitt des Spektrums von HD9547, IQB, in Anlehnung an Wissenschaft in die Schulen.

Material 3

Spektrallinien ausgewählter Elemente und Moleküle

Die folgende Tabelle enthält die Wellenlängen von Spektrallinien einiger ausgewählter Elemente und Moleküle.

Tab. 2: Spektrallinienwellenlängen ausgewählter Elemente

<u>Barium</u>	<u>Helium</u>	<u>Kalzium</u>	<u>Natrium</u>
455,4 nm	471,3 nm	422,7 nm	589,0 nm
493,4 nm	501,6 nm	657,3 nm	589,6 nm
553,6 nm		393,4 nm	
		396,8 nm	
<u>Quecksilber</u>	<u>Sauerstoff O</u>	<u>Sauerstoff O₂</u>	
435,8 nm	374,9 nm	686,8 nm	
578,97 nm	411,9 nm		
579,1 nm	441,5 nm		
	464,9 nm		
	615,8 nm		

Material 4

Die Entdeckung der Absorptionslinien im Licht der Sterne

Joseph Fraunhofer beobachtete 1813 die Absorptionslinien in den Spektren der Sterne. Fraunhofer leitete eine Werkstatt zur Herstellung von optischen Präzisionsgeräten. Im Jahr 1817 beschrieb er erstmalig die dunklen Linien im Licht unseres Sternes, der Sonne. Er nutzte diese Linien zur genauen Vermessung der hergestellten Gläser. Der Titel seiner Veröffentlichung lautete: „Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre.“ In einer kurzen Bemerkung am Ende seines Aufsatzes beschrieb er auch die sorgfältig vermessenen Linien im Licht einiger anderer Sterne. Die Astronomie konzentrierte sich zu jener Zeit vor allem auf das Bestimmen der Positionen der Sterne am Himmel.











Der Physiker Ernst Florens Friedrich Chladni (1756–1827) schrieb in einem Brief am 30. Januar 1818:

„Herrn Fraunhofers [...] Entdeckung der verschiedenen Systeme von Streifen in dem Lichtspektrum der Sonne und anderer Sterne [...] scheint mir unter die wichtigsten zu gehören, die seit geraumer Zeit zum Vorschein gekommen sind. Der wackere Entdecker scheint selbst nicht einmal ganz zu ahnen, welches weite Feld, nicht etwa nur für Untersuchungen über die verschiedene Brechbarkeit des Lichts, sondern auch für Erweiterung unserer physisch-astrophysikalischen Kenntnisse dadurch eröffnet worden ist.“

Quelle: Riekher, 2009, S. 111.

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>Skizzieren Sie die prinzipiellen Versuchsaufbauten für die Erzeugung eines Emissionsspektrums und eines Absorptionsspektrums. Beschriften Sie auch Ihre Skizzen.</p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>K 6 veranschaulichen Informationen und Daten in ziel-, sach- und adressatengerechten Darstellungsformen, auch mithilfe digitaler Werkzeuge.</p> <p>z. B.:</p> <p><u>Erzeugen eines Emissionsspektrums</u></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  Lichtquelle, z.B. Natriumdampf- lampe </div> <div style="text-align: center;">  Prisma (oder Gitter) </div> <div style="text-align: center;">  Schirm mit einzel- nen Linien (Linien- spektrum) </div> </div> <p>oder:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  weißes Licht </div> <div style="text-align: center;">  Prisma (oder Gitter) </div> <div style="text-align: center;">  Schirm mit kontinuierlichem Spektrum </div> </div> <p><u>Erzeugen eines Absorptionsspektrums</u></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	2		
		2		

	<p>weißes Licht</p> <p>luftleerer Glaskolben mit Atomen, z. B. heißer Na-Dampf</p> <p>Prisma (oder Gitter)</p> <p>kontinuierliches Spektrum mit schwarzen Linien</p>			
2	<p><i>Erklären Sie mit einem geeigneten Atommodell die Entstehung von Emissionslinien und von Absorptionslinien.</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>S 6 erklären bekannte Auswerteverfahren und wenden sie auf Messergebnisse an.</p> <p>Die Elektronen befinden sich in der Atomhülle auf diskreten Energieniveaus. Wechselt ein Elektron von einem Niveau höherer Energie E_m auf ein Niveau geringerer Energie E_n, so sendet es dabei Photonen der Frequenz f aus. Dabei wird die Energie $\Delta E = E_m - E_n = h \cdot f$ emittiert. Da die Elektronen auf den Niveaus nur bestimmte Energiebeträge annehmen können, ergeben sich bei den Übergängen zwischen den Niveaus bestimmte Frequenzen. Daher sind im Spektrum einzelne Linien zu sehen. Die Frequenzen hängen vom jeweiligen Element ab.</p> <p>Umgekehrt kann ein Elektron durch Energieaufnahme von einem Niveau geringerer Energie auf eine Bahn höherer Energie wechseln. Dabei muss die Energie wiederum bestimmte Werte besitzen, die jeweils einer Differenz $\Delta E = E_m - E_n = h \cdot f$ entspricht.</p>	6		
3	<p><i>Bestimmen Sie mithilfe von M 1 aus den Daten von drei Linien des Wasserstoffs die Konstante k.</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>S 7 wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Sachverhalte an.</p> <p>Die Lernenden wählen die Gleichung aus, stellen diese um und wenden diese auf die Daten aus dem Material an. Sie fassen die Werte für k mit einer Mittelwertbildung zusammen.</p> $k = \lambda \cdot \frac{n^2 - 4}{n^2}$ $k_{H\alpha} = 6,562 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \frac{3^2 - 4}{3^2} \approx 3,646 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $k_{H\beta} = 4,861 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \frac{4^2 - 4}{4^2} \approx 3,646 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ $k_{H\delta} = 4,101 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \frac{6^2 - 4}{6^2} \approx 3,645 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ <p>Mittelwert: $\bar{k} \approx 3,646 \cdot 10^{-7} \text{ m}$</p> <p><i>Sollte k aus nur einer Messung ermittelt worden sein, werden 2 BE nicht erteilt.</i></p>		5	

4	<p><i>Erläutern Sie allgemein mithilfe der Materialien, wie anhand des von Sternen ausgesandten Lichts Aussagen über die stoffliche Zusammensetzung dieses Sterns gewonnen werden können.</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>S 6 erklären bekannte Auswerteverfahren und wenden sie auf Messergebnisse an;</p> <p>K 1 recherchieren zu physikalischen Sachverhalten zielgerichtet in analogen und digitalen Medien und wählen für ihre Zwecke passende Quellen aus;</p> <p>K 4 formulieren unter Verwendung der Fachsprache chronologisch und kausal korrekt strukturiert.</p> <p>z. B.</p> <p>Die dunklen Linien im Spektrum sind Wellenlängen des Lichts, die absorbiert werden. Sie entsprechen den lokalen Minima.</p> <p>Jedes Element hat aufgrund unterschiedlicher Energieniveaus in den Atomhüllen seine charakteristischen Linien.</p> <p>Treten diese Linien im zu untersuchenden Spektrum auf, ist das jeweilige Element vorhanden.</p>		4	
	<p><i>Begründen Sie, dass der Stern HD9547 Wasserstoff enthält.</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>S 6 erklären bekannte Auswerteverfahren und wenden sie auf Messergebnisse an.</p> <p>Die vier Linien aus M 1 sind enthalten. Damit ist Wasserstoff nachgewiesen.</p>		2	
	<p><i>Ermitteln Sie mithilfe von M 3 zwei weitere Elemente bzw. Moleküle, die dieser Stern enthält.</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>S 6 erklären bekannte Auswerteverfahren und wenden sie auf Messergebnisse an.</p> <p>Mit Hilfe des Materials lässt sich z. B. anhand der Wellenlängen 589,0 nm und 589,5 nm Natrium identifizieren. Entsprechend deutet die Wellenlänge 686 nm auf Sauerstoff (O₂) hin.</p>		2	
5	<p><i>Begründen Sie aus heutiger Sicht, dass Chladnis Äußerungen in M 4 zur Tragweite der Entdeckung Fraunhofers zutreffend sind.</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>E 9 reflektieren die Relevanz von Modellen, Theorien, Hypothesen und Experimenten für die physikalische Erkenntnisgewinnung.</p> <p>Fraunhofers Entdeckungen waren ein wesentlicher Beitrag zur Entwicklung der Astronomie. Durch die Untersuchung des Spektrums des von kosmischen Objekten ausgesandten Lichtes ist es heute</p>		3	

	möglich, Aussagen über die chemische Zusammensetzung dieser Objekte zu machen.			
	<p><i>Erläutern Sie zwei mögliche Ursachen dafür, dass Fraunhofer die Bedeutung der Entdeckung für die Astronomie noch nicht erkannt hatte.</i></p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>E 11 reflektieren Möglichkeiten und Grenzen des konkreten Erkenntnisgewinnungsprozesses sowie der gewonnenen Erkenntnisse (z.B. [...] Vorläufigkeit).</p> <p>Erläutern zweier möglicher Ursachen für die Vorläufigkeit der Erkenntnisse Fraunhofers, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Schwerpunkt der Arbeit von Fraunhofer war die Herstellung von Gläsern und Instrumenten, nicht die astronomische Forschung. ♦ Die Schwerpunkte der astronomischen Forschung zu Lebzeiten Fraunhofers waren nicht die Eigenschaften der astronomischen Objekte. ♦ Die Deutung der Spektrallinien als spezifische Fingerabdrücke der Elemente ist historisch erst viel später erfolgt, so dass Fraunhofer hier keine Zusammenhänge herstellen konnte. 			4
	Summe	10	16	4
	Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent	33,3	53,3	13,3

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1			6	
2	6			
3	7			
4	6		1, 4	
5		9, 11		

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.