

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2025

Aufgaben für das Fach Physik

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Hochfeld-Magnetspule
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	♦ Elektrische und magnetische Felder ♦ Das Feldkonzept zur Beschreibung von Wechselwirkungen ♦ Magnetische Flussdichte
Materialien	♦ M 1 Magnetfeld einer von Strom durchflossenen Zylinderspule ♦ M 2 Zusammenhang zwischen der magnetischen Flussdichte im Inneren einer Spule und der Stärke des Stromes ♦ M 3 Hochfeld-Magnetspulen des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf (HZDR) ♦ M 4 Biologische und gesundheitliche Wirkungen statischer Magnetfelder
Quellenangaben	♦ M 3 in Anlehnung an: ♦ Herrmannsdörfer, T., Wosnitza, J. (2020). <i>Hochfeld-Magnetlabor Dresden – Hohe Magnetfelder für die Forschung, Dresden</i>. Verfügbar unter: https://hzdr-innovation.de/wp-content/uploads/2020/07/Hochfeld-Magnetlabor-Dresden-%E2%80%93-Hohe-Magnetfelder-f%C3%BCr-die-Forschung.pdf (Zugriff am 04.12.2023) ♦ Pobell, F. (2005). Das Hochfeldlabor Dresden, <i>Physik Journal</i>, 4 (2005), 25-30. Verfügbar unter: https://www.pro-physik.de/restricted-files/105401 (Zugriff am 08.07.2023) © Copyright [2005] Wiley-VCH GmbH und verbundene Unternehmen. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien. ♦ M 4 in Anlehnung an: Bundesamt für Strahlenschutz (2025). <i>Elektromagnetische Felder</i>. Verfügbar unter: https://www.bfs.de/DE/themen/emf/nff/wirkung/statische/statische.html (Zugriff am 13.11.2025)

Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat¹ ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	nein
Hinweise:	

¹ siehe „Hinweise zur Verwendung von Hilfsmitteln“

1 Aufgabe

Hochfeld-Magnetspulen

Im Hochfeld-Magnetlabor des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf (HZDR) werden unter Verwendung von Spulen extrem starke Magnetfelder erzeugt. Mithilfe dieser starken Magnetfelder können neue Materialien entwickelt werden.

	BE
1 a Geben Sie die Polung der im Material 1 dargestellten Spannungsquelle an.	1
b Beschreiben Sie drei Eigenschaften des im Material 1 dargestellten Magnetfeldes.	3
2 In einem Experiment wurde die magnetische Flussdichte B im Inneren einer luftgefüllten Spule in Abhängigkeit von der Stromstärke I , von der die Spule durchflossen wird, gemessen. Im Material 2 sind der Versuchsaufbau und das Ergebnis der Messung aufgeführt. Beschreiben Sie unter Beachtung des Materials 2 die wesentlichen Schritte der Durchführung des Versuchs.	3
3 a Weisen Sie anhand der im Material 2 gegebenen Messwerte nach, dass der Zusammenhang zwischen B und I mithilfe der Gleichung $B = k \cdot I$ angegeben werden kann.	4
b Ermitteln Sie unter Berücksichtigung aller Messwerte einen Wert für k .	3
c Erklären Sie, dass sich bei Vergrößerung der Windungszahl der Spule unter sonst gleichen Bedingungen die Größe k ändert. Geben Sie dabei auch an, wie sich k qualitativ ändert.	3
4 Berechnen Sie die maximale Stromstärke der im Material 3 beschriebenen Hochfeld-Magnetspule. Nutzen Sie dazu das Diagramm in Material 3.	3
5 Die sehr großen Ströme, die den Spulendraht der Hochfeld-Magnetspulen durchfließen, würden nach kurzer Zeit zur Zerstörung der Spulen durch Erhitzen führen. Erläutern Sie unter Verwendung des Materials 3 zwei Maßnahmen, durch die das verhindert wird.	3
6 Aus Gründen des Arbeitsschutzes soll geprüft werden, ob von den im Material 3 beschriebenen, stromdurchflossenen Hochfeld-Magnetspulen eine Gefahr für Personen ausgeht, die sich in der Nähe dieser Spulen befinden.	
a Beurteilen Sie, ob es prinzipiell eine physikalische Wirkung auf eine Person im Magnetfeld einer Hochfeld-Magnetspule geben kann. Berücksichtigen Sie, dass menschliches Gewebe elektrischen Strom leiten kann.	4
b Beurteilen Sie, ob das Material 4 geeignet ist, um gesundheitliche Gefahren für Personen zu bewerten, die sich in der Nähe von in Betrieb befindlichen Hochfeld-Magnetspulen aufhalten.	3

2 Material

Material 1: Magnetfeld einer von Strom durchflossenen Zylinderspule

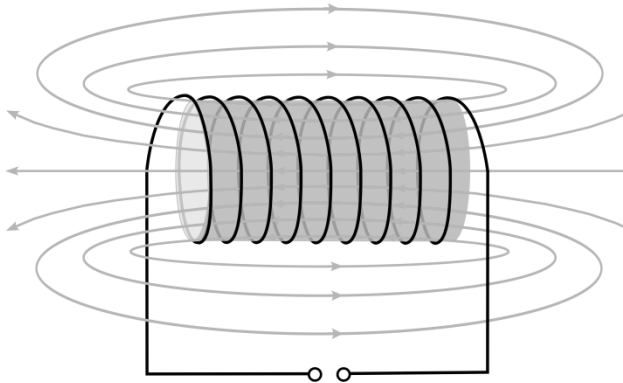


Abb. 1: Gegenüber dem tatsächlichen Aufbau vereinfachte Darstellung einer im Hochfeld-Magnetlabor verwendeten Spule

Material 2: Erfassung des Zusammenhangs zwischen der magnetischen Flussdichte im Inneren einer Spule und der Stärke des Spulenstromes

Die Messspitze des Magnetfeldsensors befand sich während der Messungen auf der Spulenachse im Punkt P und in der Mitte der Spule. Vor dem Anlegen der Spannung U wurde der Messwert des Magnetfeldsensors auf 0 mT gesetzt.

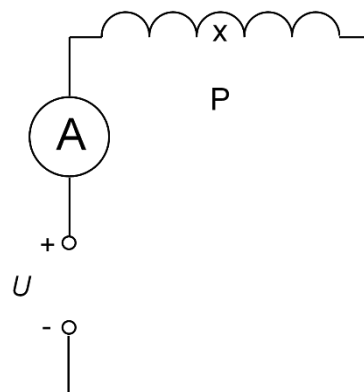


Abb. 2: Schaltplan

Folgende Messwerte wurden aufgenommen:

I in mA	B in mT
31	0,9
61	1,9
90	2,8
119	3,4
151	4,5

Material 3: Hochfeld-Magnetspulen des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf (HZDR)

Bei den Hochfeld-Magnetspulen des HZDR werden Flussdichten von bis zu 100 Tesla erreicht, indem die Spulen von Strömen mit Stärken bis 400 kA durchflossen werden. Die Spulen werden wie folgt betrieben:

- ◆ Der Strom fließt „gepulst“ durch die Spulen, das heißt, dass der Strom jeweils nur einige Millisekunden fließt und den Strompulsen jeweils eine kurze Pause folgt.
- ◆ Die Spulen werden kontinuierlich mit flüssigem Stickstoff gekühlt.

Die Abbildung 3 zeigt den zeitlichen Verlauf der magnetischen Flussdichte in einer im HZDR getesteten Hochfeld-Magnetspule. Im Inneren dieser Spule befindet sich Luft. Für den Zusammenhang zwischen der magnetischen Flussdichte B im Inneren der Spule und der Stromstärke

I durch die Spule gilt $B = k_H \cdot I$ mit $k_H = 3,93 \cdot 10^{-4} \frac{\text{T}}{\text{A}}$.

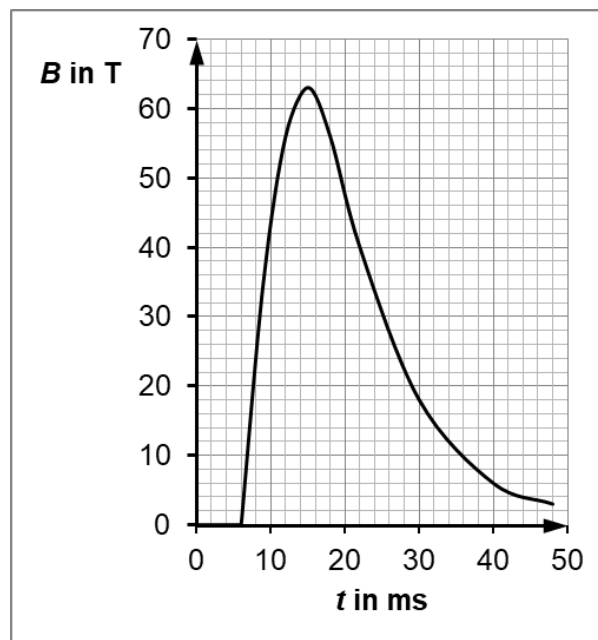


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der magnetischen Flussdichte in einer Hochfeld-Magnetspule
© Copyright [2005] Wiley-VCH GmbH und verbundene Unternehmen. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

Material 4: Biologische und gesundheitliche Wirkungen statischer Magnetfelder

In einer Veröffentlichung des Bundesamts für Strahlenschutz² wird ausgeführt:

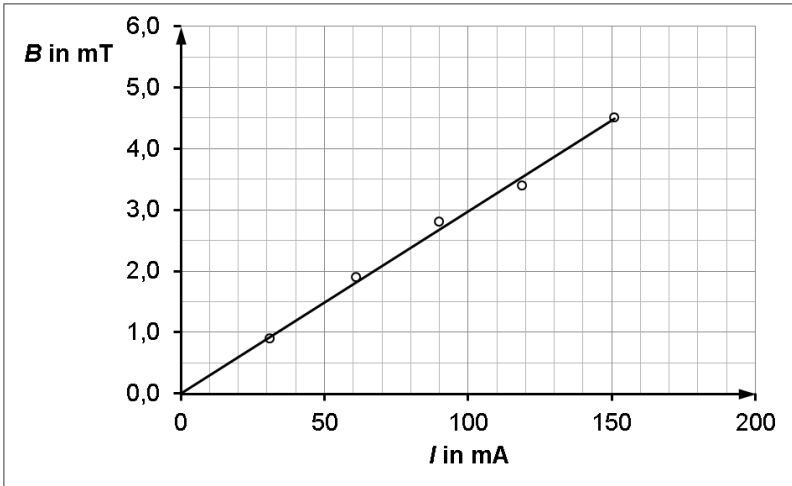
„Biologische und gesundheitliche Wirkungen statischer Magnetfelder:

- ◆ Statische Magnetfelder üben Kräfte auf magnetisierbare Metalle [...] aus.
- ◆ Der Mensch nutzt stärkere Magnetfelder beispielsweise für bildgebende medizinische Verfahren.
- ◆ Untersuchungen zeigten bisher keine [...] negativen biologischen und gesundheitlichen Wirkungen statischer Magnetfelder bis zu einer Magnetflussdichte von vier Tesla.
- ◆ Die Auswirkungen stärkerer statischer Magnetfelder müssen weiter erforscht werden.“

² in Anlehnung an: Bundesamt für Strahlenschutz (2025). *Elektromagnetische Felder*. Verfügbar unter: <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/nff/wirkung/statische/statische.html> (Zugriff am 13.11.2025)

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	a Der linke Anschluss der im Material 1 dargestellten Spannungsquelle ist der Minuspol. b Der Abbildung 1 kann z. B. entnommen werden: ♦ Im Inneren der Spule ist das Magnetfeld homogen. ♦ Außerhalb des Innenraums der Spule ist das Magnetfeld inhomogen. ♦ Die magnetische Flussdichte ist im Inneren der Spule am größten. ♦ Es liegt Drehsymmetrie des Magnetfeldes relativ zur Spulenachse vor.	1								
		3								
2	Im Inneren der Spule ist ein Magnetfeldsensor positioniert. Für verschiedene Stromstärken wird die magnetische Feldstärke im Inneren der Spule gemessen. Die Stromstärken und magnetischen Flussdichten werden protokolliert. Die verschiedenen Ströme werden durch Variieren der Spannung an der Spannungsquelle eingestellt.		3							
3	a Diagramm:  Zwischen B und I besteht ein proportionaler Zusammenhang, da die Punkte in guter Näherung auf einer Ursprungsgeraden liegen und damit gilt die angegebene Gleichung. Alternativer Lösungsweg: Quotientengleichheit prüfen b <table><tr><th>I in mA</th><th>B in mT</th><th>$\frac{B}{I}$ in $\frac{T}{A}$</th></tr><tr><td>31</td><td>0,9</td><td>0,029</td></tr></table>	I in mA	B in mT	$\frac{B}{I}$ in $\frac{T}{A}$	31	0,9	0,029		4	
I in mA	B in mT	$\frac{B}{I}$ in $\frac{T}{A}$								
31	0,9	0,029								
			3							

	<table><tr><td>61</td><td>1,9</td><td>0,031</td></tr><tr><td>90</td><td>2,8</td><td>0,031</td></tr><tr><td>119</td><td>3,4</td><td>0,029</td></tr><tr><td>151</td><td>4,5</td><td>0,030</td></tr></table> $\bar{k} = \frac{0,029 + 0,031 + 0,031 + 0,029 + 0,030}{5} \frac{\text{T}}{\text{A}} = 0,030 \frac{\text{T}}{\text{A}}$ Alternativer Lösungsweg: k-Bestimmung aus der Steigung der Geraden: $k = \frac{\Delta B}{\Delta I} = \frac{(4,5 - 0) \text{ mT}}{(150 - 0) \text{ mA}} = 0,030 \frac{\text{T}}{\text{A}}$ c Wird unter sonst gleichen Bedingungen die Windungszahl der Spule vergrößert, so vergrößert sich die magnetische Flussdichte im Inneren der Spule. Wegen $B = k \cdot I$ folgt somit unter den angegebenen Bedingungen: Je größer die Windungszahl der Spule, desto größer ist auch k.	61	1,9	0,031	90	2,8	0,031	119	3,4	0,029	151	4,5	0,030	2	1	
61	1,9	0,031														
90	2,8	0,031														
119	3,4	0,029														
151	4,5	0,030														
4	Aus dem Diagramm im Material 3 lässt sich die magnetische Flussdichte $B = 63 \text{ T}$ ablesen. Damit lässt sich die Stromstärke mithilfe der Gleichung $I = \frac{B}{k_H}$ ermitteln: $I = \frac{63 \text{ T}}{3,93 \cdot 10^{-4} \frac{\text{T}}{\text{A}}}$ $I = 1,6 \cdot 10^5 \text{ A}$		3													
5	♦ Durch die kontinuierliche Kühlung mit Stickstoff wird Wärme vom Spulendraht abgeführt. ♦ Dadurch, dass der Strom nicht kontinuierlich fließt, sondern gepulst, nimmt der Spulendraht in den Pausen, in denen kein Strom fließt, auch keine Wärme auf. ♦ Durch beide Maßnahmen wird die vom Spulendraht aufgenommene Wärme so begrenzt, dass sich die Spule nicht überhitzt und zerstört wird.		3													
6	a ♦ Da menschliches Gewebe den elektrischen Strom leitet, müssen in diesem bewegliche Ladungsträger vorhanden sein. Ändert sich die magnetische Flussdichte im Gewebe, so wird gemäß dem Induktionsgesetz darin eine Spannung induziert, die einen Stromfluss verursacht. ♦ Da sich gemäß Abbildung 3 des Materials 3 das Magnetfeld stark ändert, werden im Gewebe einer in der Nähe der Hochmagnetfeldspule befindlichen Person, Ströme erzeugt.			4												

b	♦ Das Material 4 beschreibt mögliche Gefahren durch statische Magnetfelder auf den Menschen. ♦ Das Feld der Hochfeld-Magnetspule ist ein zeitlich veränderliches Magnetfeld. ♦ Aus dem Material können daher keine Bewertungen für die Gefährlichkeit von Magnetfeldern der Hochfeld-Magnetspulen abgeleitet werden.		3	
Summe³		10	16	4

³ Bei jeder Aufgabe liegen die Anzahlen der Bewertungseinheiten – abhängig vom Anforderungsniveau – in den Bereichen, die der folgenden Tabelle zu entnehmen sind:

Anforderungsniveau	erhöht			grundlegend		
Anforderungsbereich	I	II	III	I	II	III
Anzahl der BE	11 - 13	17 - 21	8 - 10	10 - 12	13 - 16	4 - 6

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1 a	3			
b	2			
2		5		
3 a	6			
b	6	4		
c	3			
4	3		3	
5	3			
6 a	1		3	
b				2

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 Bewertungsraster⁴ vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

⁴ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.