

# Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik

(Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 01.12.1989 i.d.F. vom 05.02.2004)

Die Länder werden gebeten, die neugefassten Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung (EPA) für die Fächer Biologie, Physik, Chemie, Informatik, Französisch, Italienisch, Spanisch, Russisch, Türkisch und Dänisch spätestens zur Abiturprüfung im Jahre 2007 umzusetzen. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 12.03.2004)

## Inhaltsverzeichnis

<b>FACHPRÄAMBEL .....</b>	<b>2</b>
<b>I FESTLEGUNGEN FÜR DIE GESTALTUNG DER ABITURPRÜFUNG .....</b>	<b>3</b>
1 FACHLICHE INHALTE UND QUALIFIKATIONEN .....	3
1.1 Fachliche und methodische Kompetenzen .....	3
1.2 Fachliche Inhalte .....	4
1.3 Weitere Sachgebiete .....	5
1.4 Differenzierung zwischen Grundkurs- und Leistungskursfach .....	5
1.4.1 Anforderungen .....	5
1.4.2 Aufgabenbeispiele für die Differenzierung .....	6
2 ANFORDERUNGSBEREICHE .....	10
2.1 Allgemeine Hinweise .....	10
2.2 Fachspezifische Beschreibung der Anforderungsbereiche .....	10
3 SCHRIFTLICHE PRÜFUNG .....	13
3.1 Allgemeine Hinweise .....	13
3.2 Aufgabenarten .....	13
3.3 Hinweise zum Erstellen einer Prüfungsaufgabe .....	13
3.4 Beschreibung der erwarteten Prüfungsleistungen (Erwartungshorizont) .....	15
3.5 Bewertung von Prüfungsleistungen .....	16
4 MÜNDLICHE PRÜFUNG .....	18
4.1 Besonderheiten und Aufgabenstellung .....	18
4.2 Kriterien für die Bewertung .....	19
4.3 Fünfte Prüfungskomponente .....	19
<b>II AUFGABENBEISPIELE .....</b>	<b>21</b>
1 AUFGABENBEISPIELE FÜR DIE SCHRIFTLICHE PRÜFUNG .....	21
1.1 Ausführlich kommentierte Beispiele .....	21
1.1.1 Compact Disk (Leistungskursfach) .....	21
1.1.2 Gewebeuntersuchungen mit Positronen (Leistungskursfach) .....	28
1.1.4 Photonen im Mach-Zehnder-Interferometer (Grundkursfach) .....	35
1.2 Weitere Beispiele für das Leistungskursfach .....	38
1.2.1 Gold Cap als Energiespeicher .....	38
1.2.2 Elektromagnetische Induktion mit Modellbildung .....	40
1.2.3 Schwingungen und Chaos .....	46
1.2.4 Franck-Hertz-Versuch .....	52
1.3 Weitere Beispiele für das Grundkursfach .....	53
1.3.1 Gold-Cap-Umladungen .....	53
1.3.2 Exotischer Kernzerfall .....	56
1.3.3 Bandgummi .....	58
2 AUFGABENBEISPIELE FÜR DIE MÜNDLICHE PRÜFUNG .....	59
2.1 Analogien zwischen elektrischem und magnetischem Feld .....	59
2.2 Theorie des elektrischen Feldes und Analogien zwischen elektrischem und magnetischem Feld .....	60
2.3 Diagramme in der Physik .....	62
2.4 Die Bedeutung der Quantenphysik – Das Bombentest-Experiment .....	63
2.5 Das Oszilloskop .....	64
2.6 Spalte und Gitter .....	65
2.7 Fraunhofersche Linien .....	65
2.8 Glimmlampe .....	66
2.9 Wirbelstrom .....	67
2.10 Exotischer Kernzerfall .....	67

## Fachpräambel

Die Vereinbarung zur Gestaltung der gymnasialen Oberstufe in der Sekundarstufe II (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 07.07.1972 i.d.F. vom 16.06.2000) beschreibt die grundlegenden Anforderungen an den Unterricht im mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Aufgabenfeld:

„Im mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Aufgabenfeld sollen Verständnis für den Vorgang der Abstraktion, die Fähigkeit zu logischem Schließen, Sicherheit in einfachen Kalkülen, Einsicht in die Mathematisierung von Sachverhalten, in die Besonderheiten naturwissenschaftlicher Methoden, in die Entwicklung von Modellvorstellungen und deren Anwendung auf die belebte und unbelebte Natur und in die Funktion naturwissenschaftlicher Theorien vermittelt werden.“

Die Bedeutung des Unterrichtsfaches Physik erschließt sich aus den Merkmalen der Fachwissenschaft Physik. Physik

- ist eine *theoriegeleitete Erfahrungswissenschaft*
- betrachtet die Natur unter bestimmten Aspekten (*Aspektcharakter*)
- hat einen hohen Grad an *Formalisierung* und *Mathematisierung*
- entwickelt ein spezifisches *Methodenrepertoire*
- hat starke *Anwendungsbezüge* und hohe *gesellschaftliche Relevanz*
- ist ein *historisch-dynamischer Prozess*

Viele dieser Merkmale teilt die Physik mit anderen, insbesondere naturwissenschaftlichen Fächern, worin der gemeinsame fächerübergreifende Bildungsauftrag begründet ist. Der Ausprägungsgrad der genannten Merkmale unterscheidet die Physik von anderen Fächern. Die Merkmale der Physik machen den Kern dessen aus, was das Unterrichtsfach zur Allgemeinbildung beiträgt, um den Bildungsauftrag der gymnasialen Oberstufe zur vertieften Allgemeinbildung mit Wissenschaftspropädeutik und Studierfähigkeit zu erfüllen. Hieraus ergeben sich die Ziele des Physikunterrichts in der gymnasialen Oberstufe und die spezifischen Kompetenzen und Inhalte, die im Physikunterricht vermittelt werden und die für die Abiturprüfung zur Verfügung stehen müssen. Dies erfordert einen problem- und kontextorientierten Unterricht mit einem hohen Maß an Schülerorientierung und Selbstständigkeit. Wie im Unterricht so müssen auch in der Prüfung die verschiedenen Kompetenzbereiche (Fachkenntnisse, Fachmethoden, Kommunikation und Reflexion) sowie alle Anforderungsbereiche an den verschiedenen Inhalten angesprochen werden.

Zur Sicherung eines einheitlichen und angemessenen Anforderungsniveaus in den Prüfungsaufgaben enthalten die Einheitlichen Prüfungsanforderungen für das Fach Physik

- eine Beschreibung der Prüfungsgegenstände, d.h. der nachzuweisenden Kompetenzen sowie der fachlichen Inhalte, an denen diese Kompetenzen eingefordert werden sollen
- Kriterien, mit deren Hilfe überprüft werden kann, ob eine Prüfungsaufgabe das anzustrebende Anspruchsniveau erreicht
- Hinweise und Aufgabenbeispiele für die Gestaltung der schriftlichen und mündlichen Prüfung sowie zu anderen Prüfungsformen.

Als Hilfsmittel für die Konstruktion von Prüfungsaufgaben sowie für die Gestaltung der mündlichen Prüfung und anderer Prüfungsformen in 4.3 dient die Beschreibung von drei Anforderungsbereichen. Mit ihrer Hilfe und nach Maßgabe des vorangegangenen Unterrichts, dem die Lehrpläne der Länder zugrunde liegen, werden Prüfungsinhalte ausgewählt und Prüfungsaufgaben erstellt.

# I Festlegungen für die Gestaltung der Abiturprüfung

## 1 Fachliche Inhalte und Qualifikationen

### 1.1 Fachliche und methodische Kompetenzen

Die Anforderungen für die schriftliche und mündliche Prüfung sowie für alternative Prüfungskomponenten sind so zu gestalten, dass ein möglichst breites Spektrum von Qualifikationen und Kompetenzen an geeigneten Inhalten überprüft werden kann. Die im Folgenden aufgeführten Kompetenzbereiche sind ein Instrument der Analyse und dürfen in der Anwendung auf Prüfungsaufgaben nicht isoliert von Inhalten gesehen werden. Die nachzuweisenden fachlichen Kompetenzen gelten sowohl für die Prüfungen im Grundkursfach als auch im Leistungskursfach.

*Kompetenzbereich Fachkenntnisse: Physikalisches Wissen erwerben, wiedergeben und nutzen*

#### Die Prüflinge

- verfügen über ein *strukturiertes physikalisches Basiswissen* (z.B. Begriffe, Größen, Gesetze) zu den zentralen physikalischen Teilgebieten
- haben ein gefestigtes Wissen über physikalische *Grundprinzipien* (z.B. Erhaltungssätze, Kausalität, Systemgedanke) und über zentrale historische und erkenntnistheoretische Gegebenheiten
- kennen die *Funktionen* eines Experiments (Phänomenbeobachtung, Entscheidungsfunktion in Bezug auf Hypothesen, Initialfunktion in Bezug auf Ideen, Grundlagenfunktion in Bezug auf Theorien) und wissen, was eine physikalische *Theorie* auszeichnet (Systemcharakter), was sie zu leisten vermag und wie sie gebildet wird
- können Strategien zur *Generierung* (z.B. Texterschließung, Informationsbeschaffung, Schlussfolgerungen aus Beobachtungen und Experimenten) und zur *Strukturierung* physikalischen Wissens nutzen.

*Kompetenzbereich Fachmethoden: Erkenntnismethoden der Physik sowie Fachmethoden beschreiben und nutzen*

#### Die Prüflinge

- wissen, dass die *Methode der Physik* gekennzeichnet ist durch Beobachtung, Beschreibung, Begriffsbildung, Experiment, Reduktion, Idealisierung, Modellierung, Mathematisierung
- können Beobachtungen und Experimente zur *Informationsgewinnung* einsetzen und Ergebnisse in vertraute Modellstrukturen einordnen
- haben eigene Erfahrungen mit *Methoden des Experimentierens* (Planung, Durchführung, Dokumentation, Auswertung, Fehlerbetrachtung, Bewertung, moderne Messmethoden)
- haben Erfahrungen mit *Strategien der Erkenntnisgewinnung* und *Problemlösung* (z.B. Beobachten, intuitiv-spekulatives Entdecken, Hypothesen formulieren, induktives, deduktives Vorgehen, analoges Übertragen, Modellbildern).

### *Kompetenzbereich Kommunikation: In Physik und über Physik kommunizieren*

#### Die Prüflinge

- verfügen über *Methoden der Darstellung* physikalischen Wissens und physikalischer Erkenntnisse in unterschiedlichen Formen (z.B. Sprache, Bilder, Skizzen, Tabellen, Graphen, Diagrammen, Symbole, Formeln)
- verfügen über eine angemessene *Fachsprache* und wenden sie sachgerecht an
- haben Erfahrungen im adressaten- und situationsgerechten *Präsentieren* von physikalischem Wissen, physikalischen Erkenntnissen, eigenen Überlegungen und von Lern- und Arbeitsergebnissen
- haben Erfahrungen im *diskursiven Argumentieren* auf angemessenem Niveau zu physikalischen Sachverhalten und Fragestellungen.

### *Kompetenzbereich Reflexion: Über die Bezüge der Physik reflektieren*

#### Die Prüflinge

- haben Erfahrungen mit der *Natur- und Weltbetrachtung* unter physikalischer Perspektive und dem Aspektcharakter der Physik
- vermögen die wechselseitige Beziehung zwischen *Physik und Technik* aufzuzeigen
- sind in der Lage, die historische und gesellschaftliche *Bedingtheiten* der Physik zu reflektieren
- sind vertraut mit *Bewertungsansätzen* und sind in der Lage, persönlich, sachbezogen und kritikoffen *Stellung* zu beziehen.

## 1.2 *Fachliche Inhalte*

Bei den für die Abiturprüfung erforderlichen Inhalten wird zwischen grundlegenden Inhalten einerseits und vertiefenden, erweiternden und ergänzenden Inhalten andererseits unterschieden. Beim Nachweis der fachlichen Kompetenzen kommt den unter 1.2 beschriebenen **grundlegenden fachlichen Inhalten** aus den Sachgebieten Felder, Wellen, Quanten und Materie nach Maßgabe der Lehrpläne der Länder besondere Bedeutung zu. Sie werden für die Abiturprüfung vorausgesetzt. Darüber hinaus müssen noch Inhalte aus der **vertieften** bzw. **erweiterten Behandlung** dieser Sachgebiete oder Inhalte aus anderen, z. B. den unter 1.3 aufgeführten **ergänzenden Sachgebieten** zur Verfügung stehen. Dies gilt für den Leistungskurs wie für den Grundkurs gleichermaßen.

### *Grundlegende fachliche Inhalte aus den Sachgebieten **Felder, Wellen, Quanten und Materie:***

- Grundlegende Eigenschaften und Anwendungen von **elektrischen Feldern, magnetischen Feldern und Gravitationsfeldern** in einfachen Situationen  
*Beschreibungen von Feldern, Darstellungsformen, Größen, Naturkonstanten, Energiebetrachtungen, Kräfte, Wechselwirkung mit Materie, einfache Anwendungen*

- Grundlegende Phänomene und Eigenschaften von **mechanischen und elektromagnetischen Wellen** unter Einbezug von **Licht**  
*Entstehung von Wellen, harmonische Welle, Größen, einfache mathematische Beschreibungen, Interferenz, Beugung, Polarisation, Überlagerung von Wellen*
- Grundlegende Merkmale von **Quantenobjekten** unter Einbezug erkenntnistheoretischer Aspekte  
*Wellenmerkmal, Quantenmerkmal, stochastisches Verhalten, Komplementarität, Nichtlokalität, Verhalten beim Messprozess*
- Grundlegende Merkmale der Struktur der **Materie** und beispielhafte Untersuchungsmethoden  
*Atome, Kerne, Quarks, ausgewählte Elementarteilchen, Untersuchungsmethoden (Spektren, hochenergetische Strahlung, Detektoren)*

### 1.3 Weitere Sachgebiete

In der Abiturprüfung können die vorstehend genannten verbindlichen grundlegenden Inhalte (auf der Basis der Bestimmungen der Länder) vertieft oder durch andere Sachgebiete ergänzt werden, z.B.

- Astrophysik
- Chaos (nichtlineare Systeme)
- Dynamik (unter Einbezug von Schwingungen)
- Elektronik
- Festkörperphysik
- Relativitätstheorie
- Thermodynamik

### 1.4 Differenzierung zwischen Grundkurs- und Leistungskursfach

#### 1.4.1 Anforderungen

Die Vereinbarung zur Gestaltung der gymnasialen Oberstufe vom 07.07.1972 (i.d.F. vom 16.06.2000) weist den Kurstypen in der Qualifikationsphase unterschiedlich akzentuierte Aufgaben zu: den Grundkursen die Vermittlung einer wissenschaftspropädeutisch orientierten Grundbildung, den Leistungskursen die systematische, vertiefte und reflektierte wissenschaftspropädeutische Arbeit.

Beiden Kursarten gemeinsam ist die Förderung und Entwicklung grundlegender Kompetenzen in 1.1 als Teil der Allgemeinbildung und Voraussetzung für Studium und Beruf.

Grundkurse im Fach Physik sollen in grundlegende Fragestellungen, Sachverhalte, Problemkomplexe und Strukturen des Faches einführen. Sie sollen wesentliche Arbeits- und Fachmethoden, Darstellungsformen des Faches bewusst und erfahrbar machen sowie Zusammenhänge im Fach und über die Grenzen dessen hinaus in exemplarischer Form erkennbar werden lassen. Der Unterricht in Grundkursen fördert durch lebensweltliche Bezüge Einsicht in die Bedeutung des Faches sowie durch schülerzentriertes und handlungsorientiertes Arbeiten die Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler.

Leistungskurse zielen zusätzlich auf eine systematische Auseinandersetzung mit Inhalten, Theorien und Modellen, welche die Komplexität und den Aspektreichtum des Faches verdeutlichen. Der Unterricht ist gerichtet auf eine vertiefende Beherrschung der Arbeits- und Fachmethoden, deren selbstständige Anwendung, Übertragung und Reflexion. Leistungskurse erzielen einen hohen Grad an Selbsttätigkeit der Schülerinnen und Schüler vor allem beim Experimentieren und bei der Wissensgenerierung

Die Anforderungen im Grundkursfach bzw. im Leistungsfach sollen sich nicht nur quantitativ, sondern vor allem qualitativ unterscheiden. Die Unterschiede bei den Prüfungen bestehen insbesondere in folgenden Aspekten:

- Umfang und Spezialisierungsgrad bezüglich des Fachwissens, des Experimentierens und der Theoriebildung
- Grad der Elementarisierung und Mathematisierung physikalischer Sachverhalte und im Anspruch an die verwendete Fachsprache
- Komplexität der Kontexte sowie der physikalischen Sachverhalte, Theorien und Modelle.

#### 1.4.2 Aufgabenbeispiele für die Differenzierung

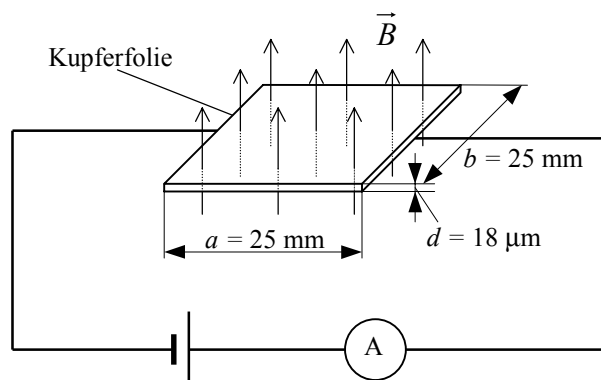
##### Beispiel 1 Hall-Effekt

Erläuterungen:

Die Aufgabe setzt voraus, dass der Halleffekt zumindest qualitativ im Unterricht behandelt wurde. Für die Prüfung im Grundkursbereich wird zusätzlich die nachstehende Abbildung vorgegeben.

In einem Experiment wird der Halleffekt an einer quadratischen Kupferfolie untersucht. Es besteht ein Strom der Stärke 15 A. Ein homogenes zeitlich konstantes magnetisches Feld der Flussdichte  $B = 0,2 \text{ T}$  durchsetzt die quadratische Fläche der Folie senkrecht. Die gemessene Hallspannung beträgt  $8,8 \mu\text{V}$ .

Grundkursfach-Niveau:



- Erläutern Sie an Hand der Abbildung die Entstehung der Hallspannung.
- Es gilt für die Hallspannung  $U_H = b \cdot v_D \cdot B$  und für die Stromstärke  $I = n \cdot e \cdot v_D \cdot A$ , wobei  $v_D$  die Driftgeschwindigkeit der Elektronen,  $e$  die Elementarladung und  $A$  die vom Strom durchsetzte Querschnittsfläche der Folie bezeichnen. Leiten Sie unter Benutzung dieser Beziehungen eine Formel für die Konzentration  $n$  der frei beweglichen Elektronen her und berechnen Sie diese Ladungsträgerkonzentration.
- In einem zweiten Experiment wird eine Folie anderer Breite verwendet. Diskutieren Sie den Einfluss auf die Hallspannung.
- Beschreiben Sie ein Verfahren, mit dem sich mittels der Hallspannung magnetische Felder messen lassen.

*Leistungskursfach-Niveau:*

- Erklären Sie an Hand einer zu fertigenden Skizze die Entstehung der Hallspannung.
- Die Kupferfolie hat die Abmessungen  $a = 25 \text{ mm}$  und  $b = 25 \text{ mm}$  und die Dicke  $d = 18 \text{ }\mu\text{m}$ . Auf welche Ladungsträgerkonzentration in dieser Kupferfolie kann man auf Grund der oben angegebenen Messwerte schließen? Berechnen Sie die Anzahl der frei beweglichen Elektronen, die im Mittel auf ein Kupfer-Atom dieser Folie entfällt.
- Begründen Sie, dass für Hallsonden statt Metallfolien n-dotierte Halbleiterblättchen verwendet werden.

*Beispiel 2 Lochblende*

*Erläuterungen:*

- *Im Grundkurs wurden Einzelspalt und Gitter behandelt, die Lochblende wurde erwähnt.*
- *Im Leistungskurs sind der Doppelspalt und das Gitter ausführlich behandelt worden. Die Objekte A-C wurden im Unterricht demonstrierend „gestreift“ und erwähnt. Die Elektronenbeugung wurde intensiv behandelt.*

*Grundkursfach-Niveau:*

Laserlicht trifft auf eine Lochblende. Es wird ein Interferenzbild erzeugt.

- Übertragen Sie Ihre Kenntnisse über den Einzelspalt auf die Lochblende und erklären Sie das Zustandekommen des Interferenzbildes.
- Beschreiben Sie, wie man aus dem Interferenzbild den Durchmesser der Lochblende bestimmen kann.

*Leistungskursfach-Niveau:*

- Ein Laser emittiert kontinuierlich Photonen der Wellenlänge  $632 \text{ nm}$ . Das Laserlicht trifft jeweils senkrecht auf folgende Objekte:

- A: Lochblende
- B: Blende mit stochastischer Lochverteilung
- C: rotierendes Gitter

Begründen Sie, dass jedes der Objekte ein symmetrisches Interferenzmuster mit kreisförmigen Ringen erzeugt. Wodurch unterscheiden sich die Ringe?

- In der Elektronenbeugungsröhre entsteht auf dem Schirm ebenfalls eine Ringstruktur. Begründen Sie qualitativ und quantitativ (Mittlere Geschwindigkeit der Elektronen  $v_e = 3,75 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ ), dass das Interferenzbild der Elektronenbeugung nicht mittels Lochblende entsteht.

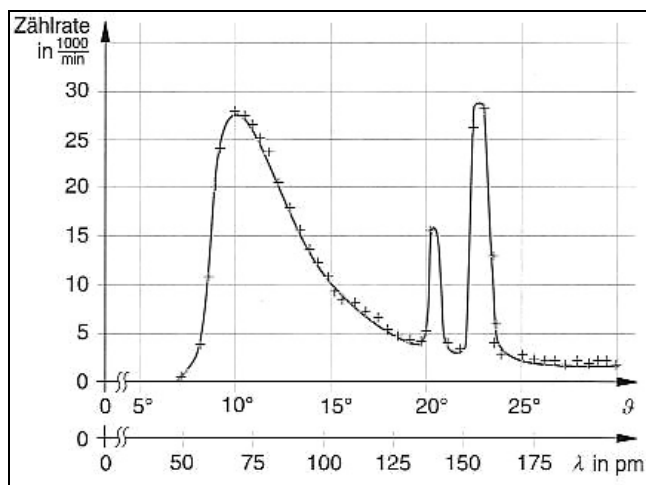
### Beispiel 3 Drehkristallmethode

Erläuterungen:

- Dem Grundkurs liegt das Intensitätsspektrum als  $I(\lambda)$ -Diagramm und dem Leistungskurs als  $I(2\vartheta)$ -Diagramm vor. Die Diagramme zeigen die kurzwellige Grenze sowie die  $K_\alpha$ -Linie und die  $K_\beta$ -Linie 1. Ordnung.
- In beiden Kursen wurde das charakteristische Spektrum im Unterricht behandelt.

Grundkursfach-Niveau:

Gegeben ist das mit Hilfe der Drehkristallmethode aufgenommene Röntgenemissionsspektrum eines unbekanntes Elementes.



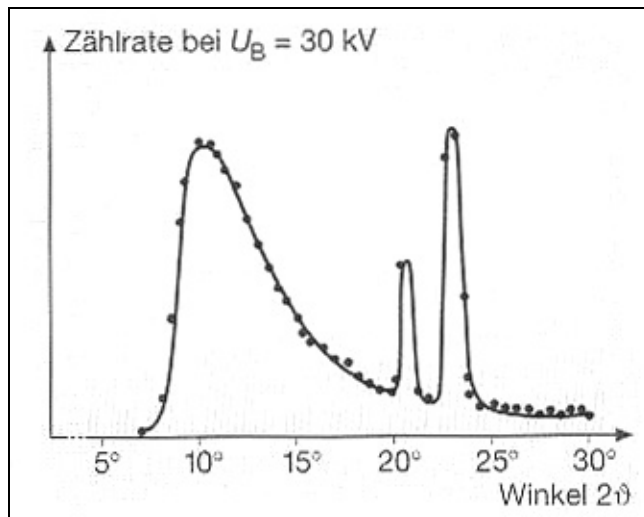
Physik, Metzler, S. 378

- Erläutern Sie die physikalischen Vorgänge, die der Drehkristallmethode zu Grunde liegen.
- Bestimmen Sie die Wellenlängen des charakteristischen Spektrums und machen Sie begründete Aussagen über das Anodenmaterial.

Leistungskursfach-Niveau:

Gegeben ist das mit Hilfe der Drehkristallmethode (1. Ordnung, Netzebenenabstand des verwendeten Kristalls  $d = 201$  pm) aufgenommene Röntgenemissionsspektrum eines unbekanntes Elementes.





*Impulse II, Klett, S. 226*

- Erläutern Sie die physikalische Ursache für das Zustandekommen des dargestellten Spektrums.
- Werten Sie das Spektrum in Bezug auf die Versuchsbedingungen und das Anodenmaterial aus.

## 2 Anforderungsbereiche

### 2.1 Allgemeine Hinweise

Die Abiturprüfung soll das Leistungsvermögen der Prüflinge möglichst differenziert erfassen. Dazu werden im Folgenden drei Anforderungsbereiche unterschieden.

Obwohl sich weder die Anforderungsbereiche scharf gegeneinander abgrenzen noch die zur Lösung einer Prüfungsaufgabe erforderlichen Teilleistungen in jedem Einzelfall eindeutig einem bestimmten Anforderungsbereich zuordnen lassen, kann die Berücksichtigung der Anforderungsbereiche wesentlich dazu beitragen, ein ausgewogenes Verhältnis der Anforderungen zu erreichen, die Durchschaubarkeit und Vergleichbarkeit der Prüfungsaufgaben zu erhöhen sowie die Bewertung der Prüfungsleistungen transparent zu machen.

Beim Entwurf einer Prüfungsaufgabe wird jede von den Prüflingen erwartete Teilleistung mindestens einem der drei Anforderungsbereiche zugeordnet.

Die Zuordnung zu den Anforderungsbereichen hängt davon ab, ob die jeweils aufgeworfene Problematik eine selbstständige Auswahl unter Bearbeitungsansätzen in einem durch Übung bekannten Zusammenhang erfordert oder ob kreatives Erarbeiten, Anwenden und Bewerten in komplexeren und neuartigen Zusammenhängen erwartet wird. Sie ist abhängig vom vorangegangenen Unterricht bzw. von im Lehrplan verbindlich vorgeschriebenen Zielen und Inhalten sowie von der Leistungsfähigkeit zugelassener Hilfsmittel.

### 2.2 Fachspezifische Beschreibung der Anforderungsbereiche

Die in 1.1 beschriebenen **Kompetenzbereiche** geben die **Breite** der fachlichen und methodischen Anforderungen an. Die fachspezifischen **Anforderungsbereiche** beschreiben deren **Tiefe**. Schriftliche und mündliche Prüfungen testen sowohl die Breite wie die Tiefe in angemessener Weise ab.

#### *Anforderungsbereich I*

Im Anforderungsbereich I beschränken sich die Aufgabenstellungen auf die Reproduktion und die Anwendung einfacher Sachverhalte und Fachmethoden, das Darstellen von Sachverhalten in vorgegebener Form sowie die Darstellung einfacher Bezüge.

#### *Fachkenntnisse – Wiedergeben von Sachverhalten*

- Wiedergeben von einfachen Daten und Fakten sowie von Begriffen, Größen und Einheiten und deren Definitionen
- Wiedergeben von einfachen Gesetzen und Formeln sowie deren Erläuterung
- Entnehmen von Informationen aus einfachen Texten

#### *Fachmethoden - Beschreiben und Einsetzen von Fachmethoden*

- Aufbauen eines einfachen Experiments nach vorgelegtem Plan oder eines bekannten Experiments aus der Erinnerung
- Beschreiben eines Experiments
- Durchführen von Messungen nach einfachen Verfahren
- Umformen von Gleichungen und Berechnen von Größen aus Formeln

- sachgerechtes Nutzen einfacher Software
- Auswerten von Ergebnissen nach einfachen Verfahren

#### *Kommunikation - Darstellen von Sachverhalten in vorgegebenen Formen*

- Darstellen von Sachverhalten in verschiedenen Darstellungsformen (z.B. Tabelle, Graph, Skizze, Text, Bild, Diagramm, Mindmap, Formel)
- mündliches oder schriftliches Beantworten von Fragen zu einfachen physikalischen Sachverhalten
- schriftliches oder mündliches Präsentieren einfacher Sachverhalte
- fachsprachlich korrektes Fassen einfacher Sachverhalte
- Kommunizieren einfacher Argumente und Beschreibungen

#### *Reflexion - Angeben von Bezügen*

- Beschreiben einfacher Phänomene aus Natur und Technik
- Darstellen einfacher historischer Bezüge
- Beschreiben von Bezügen zu Natur und Technik.

#### *Anforderungsbereich II*

Im Anforderungsbereich II verlangen die Aufgabenstellungen die Reorganisation und das Übertragen komplexerer Sachverhalte und Fachmethoden, die situationsgerechte Anwendung von Kommunikationsformen, die Wiedergabe von Bewertungsansätzen sowie das Herstellen einfacher Bezüge.

#### *Fachkenntnisse – Anwenden von Sachverhalten eines abgegrenzten Gebietes*

- fachgerechtes Wiedergeben von komplexeren Zusammenhängen
- Auswählen und Verknüpfen von Daten, Fakten und Methoden eines abgegrenzten Gebietes
- Entnehmen von Informationen aus komplexeren Texten

#### *Fachmethode - Anwenden von Fachmethoden*

- Übertragen von Betrachtungsweisen und Gesetzen
- Selbstständiger Aufbau und Durchführung eines Experiments
- Planen einfacher experimenteller Anordnungen zur Untersuchung vorgegebener Fragestellungen
- Gewinnen von mathematischen Abhängigkeiten aus Messdaten
- Auffinden der relevanten physikalischen Variablen eines Vorgangs
- Erörtern von Fehlerquellen und Abschätzen des Fehlers bei Experimenten
- Erörtern des Gültigkeitsbereichs von Modellen und Gesetzen
- Optimieren von Modellen hinsichtlich eines Realexperiments
- Nutzen von Modellbildungssystemen zur Überprüfung oder zur graphischen Veranschaulichung physikalischer Abhängigkeiten
- mathematisches Beschreiben physikalischer Phänomene
- begründetes Herleiten der mathematischen Beschreibung eines einfachen physikalischen Sachverhaltes

### *Kommunikation – Situationsgerechtes Anwenden von Kommunikationsformen*

- Strukturieren und schriftliches oder mündliches Präsentieren komplexerer Sachverhalte
- adressatengerechtes Darstellen physikalischer Sachverhalte in verständlicher Form
- Führen eines Fachgespräches auf angemessenem Niveau zu einem Sachverhalt
- fachsprachliches Fassen umgangssprachlich formulierter Sachverhalte
- präzises Kommunizieren einfacher Argumente und Beschreibungen

### *Reflexion - Herstellen einfacher Bezüge und Wiedergeben von Bewertungsansätzen*

- Einordnen und Erklären von physikalischen Phänomenen aus Natur und Technik
- Einordnen von Sachverhalten in historische und gesellschaftliche Bezüge.

### *Anforderungsbereich III*

Im Anforderungsbereich III verlangen die Aufgabenstellungen das problembezogene Anwenden und Übertragen komplexer Sachverhalte und Fachmethoden, die situationsgerechte Auswahl von Kommunikationsformen, das Herstellen von Bezügen und das Bewerten von Sachverhalten.

### *Fachkenntnisse - Problembezogenes Erarbeiten, Einordnen, Nutzen und Werten von Wissen*

- Auswählen und Verknüpfen von Daten, Fakten und Methoden
- problembezogenes Einordnen und Nutzen von Wissen in verschiedenen inner- und außerphysikalischen Wissensbereichen
- Entnehmen von Informationen aus komplexen Texten

### *Fachmethode - Problembezogenes Auswählen und Anwenden von Fachmethoden*

- Entwickeln eigener Fragestellungen bzw. sinnvolles Präzisieren einer offenen Aufgabenstellung
- Planen und gegebenenfalls Durchführen und Auswerten eigener Experimente für vorgegebene Fragestellungen
- Erheben von Daten zur Überprüfung von Hypothesen
- Entwickeln alternativer Lösungswege, wenn dieses in der Aufgabenstellung gefordert wird
- Entwickeln neuer Modellelemente mit einem Modellbildungssystem
- begründetes Herleiten der mathematischen Beschreibung eines physikalischen Sachverhaltes

### *Kommunikation - Kommunikationsformen situationsgerecht auswählen und einsetzen*

- Analysieren komplexer Texte und Darstellung der daraus gewonnenen Erkenntnisse
- Beziehen einer Position zu einem physikalischen Sachverhalt, Begründen und Verteidigen dieser Position in einem fachlichen Diskurs
- Darstellen eines eigenständig bearbeiteten komplexeren Sachverhalt für ein Fachpublikum (z.B. in einer Facharbeit)
- präzises Kommunizieren naturwissenschaftlicher Argumentationsketten

### *Reflexion - Herstellen von Bezügen und Bewerten von Sachverhalten*

- Erkennen physikalischer Fragestellungen
- Finden von Anwendungsmöglichkeiten physikalischer Erkenntnisse

- Erklären physikalischer Phänomene komplexer Art aus Natur und Technik
- bewusstes und begründetes Einnehmen einer physikalischen Perspektive
- Herausfinden von physikalischen Aspekten aus Fragekomplexen anderer Fachgebiete, Ausarbeiten und Bewerten dieser Aussagen
- Beziehen einer Position zu gesellschaftlich relevanten Fragen unter physikalischer Perspektive, Begründen und Verteidigen dieser Position in einem Diskurs.

### 3 Schriftliche Prüfung

#### 3.1 Allgemeine Hinweise

Eine Prüfungsaufgabe ist die Gesamtheit dessen, was ein Prüfling zu bearbeiten hat. Die Zahl der Aufgaben in einer Prüfungsaufgabe für die schriftliche Abiturprüfung im Fach Physik soll drei nicht überschreiten. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer zusätzlichen experimentellen Aufgabe.

Die Prüfungsaufgabe enthält mindestens zwei verschiedene Sachgebiete aus 1.2 und darf sich nicht auf die Inhalte nur eines Kurshalbjahres beschränken (vgl. Vereinbarung über die Abiturprüfung der gymnasialen Oberstufe in der Sekundarstufe II (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 13.12.1973 i.d.F. vom 16.06.2000), § 5 Abs. 4)).

Die Hälfte der Anforderungen muss sich auf die unter 1.2 genannten grundlegenden fachlichen Inhalte beziehen. Es ist zu gewährleisten, dass mit einer Prüfungsaufgabe alle Kompetenzbereiche in 1.1 abgedeckt werden.

#### 3.2 Aufgabenarten

Die Prüfungsaufgabe bezieht sich in der Regel auf Experimente oder auf vorgelegte Materialien. Für die schriftliche Prüfung sind Aufgabenstellungen geeignet, die

- vorgeführte oder selbst durchgeführte Experimente beschreiben und auswerten lassen
- fachspezifisches Material (z.B. Diagramme, Tabellen, dokumentierte Experimente) auswerten, kommentieren, interpretieren und bewerten lassen
- fachspezifische Fragen beantworten lassen
- Formeln kommentiert herleiten lassen und kommentierte Berechnungen fordern
- fachliche Sachverhalte in historische Bezüge oder aktuelle Kontexte einordnen lassen
- begründete Stellungnahmen zu Aussagen oder vorgelegtem Material einfordern
- strukturiertes Fachwissen in einem größeren Zusammenhang darstellen lassen
- mehrere Lösungswege ermöglichen.

Die Formulierungen der Aufgabenstellung sollten Art und Umfang der geforderten Leistungen erkennbar machen. Unterscheidungsmerkmale für die Aufgabenstellung in Grundkurs- und Leistungskursfach sind in 1.4 benannt.

#### 3.3 Hinweise zum Erstellen einer Prüfungsaufgabe

Die Prüfungsaufgabe ist so anzulegen, dass vom Prüfling Leistungen sowohl von möglichst großer Breite (Kompetenzbereiche) als auch von angemessener Tiefe (Anforderungsbereiche) zu erbringen sind.

Eine Prüfungsaufgabe muss sich auf alle vier in 1.1 beschriebenen Kompetenzbereiche erstrecken. Dabei soll der Schwerpunkt auf den Kompetenzbereichen *Fachkenntnisse* und *Fachmethoden* liegen.

Eine Prüfungsaufgabe muss sich auf alle drei in 2.2 beschriebenen Anforderungsbereiche erstrecken. Dadurch wird eine Beurteilung ermöglicht, die das gesamte Notenspektrum umfasst. Die Prüfungsaufgabe erreicht dann ein angemessenes Niveau, wenn das Schwergewicht der zu erbringenden Prüfungsleistungen im Anforderungsbereich II liegt und der Anforderungsbereich I in höherem Maße als der Anforderungsbereich III berücksichtigt wird.

Die Berücksichtigung mehrerer Sachgebiete aus 1.2 in einer Aufgabe ist erwünscht. Es wird empfohlen, durch eine geeignete Vernetzung der Fragestellungen die Bedeutungs- und Beziehungshaltigkeit der Physik zum Ausdruck zu bringen.

Jede Aufgabe kann in Teilaufgaben gegliedert sein. Die Aufgliederung einer Aufgabe darf nicht so detailliert sein, dass dadurch ein Lösungsweg zwingend vorgezeichnet wird. Ausdrücklich erwünscht sind offene Aufgabenstellungen, die mehrere Lösungswege ermöglichen.

Die Teilaufgaben einer Aufgabe sollen so unabhängig voneinander sein, dass eine Fehlleistung in einem Aufgabenteil nicht die Bearbeitung der anderen Teilaufgaben unmöglich macht. Falls erforderlich, können Zwischenergebnisse in der Aufgabenstellung enthalten sein.

Bei experimentellen Aufgabenstellungen ist für den Fall des Misslingens vorab eine Datensicherung vorzunehmen.

Aus der Aufgabenstellung gehen Art und Umfang der geforderten Leistung hervor. Dazu ist der Gebrauch von Operatoren nützlich.

<i>Operator</i>	<i>Beschreibung der erwarteten Leistung</i>
abschätzen	durch begründete Überlegungen Größenordnungen physikalischer Größen angeben
analysieren / untersuchen	unter einer gegebenen Fragestellung wichtige Bestandteile oder Eigenschaften herausarbeiten untersuchen beinhaltet unter Umständen zusätzlich praktische Anteile
anwenden	einen bekannten Sachverhalt oder eine bekannte Methode auf etwas Neues beziehen
aufbauen (Experimente)	Objekte und Geräte zielgerichtet anordnen und kombinieren
auswerten	Daten, Einzelergebnisse oder sonstige Elemente in einen Zusammenhang stellen und gegebenenfalls zu einer Gesamtaussage zusammenführen
begründen / zeigen	Sachverhalte auf Regeln, Gesetzmäßigkeiten bzw. kausale Zusammenhänge zurückführen
berechnen / bestimmen	aus Größengleichungen physikalische Größen gewinnen
beschreiben	Strukturen, Sachverhalte oder Zusammenhänge strukturiert und fachsprachlich richtig mit eigenen Worten wiedergeben
bestätigen	die Gültigkeit einer Hypothese, Modellvorstellung, Naturgesetzes durch ein Experiment verifizieren

bestimmen	einen Lösungsweg darstellen und das Ergebnis formulieren
beurteilen	zu einem Sachverhalt ein selbstständiges Urteil unter Verwendung von Fachwissen und Fachmethoden formulieren und begründen
bewerten	Sachverhalte, Gegenstände, Methoden, Ergebnisse etc. an Beurteilungskriterien oder Normen und Werten messen
darstellen	Sachverhalte, Zusammenhänge, Methoden und Bezüge in angemessenen Kommunikationsformen strukturiert wiedergeben
deuten	Sachverhalte in einen Erklärungszusammenhang bringen
diskutieren / erörtern	in Zusammenhang mit Sachverhalten, Aussagen oder Thesen unterschiedliche Positionen bzw. Pro- und Contra-Argumente einander gegenüberstellen und abwägen
dokumentieren	alle notwendigen Erklärungen, Herleitungen und Skizzen darstellen
durchführen (Experimente)	an einer Experimentieranordnung zielgerichtete Messungen und Änderungen vornehmen
entwerfen / planen (Experimente)	zu einem vorgegebenen Problem eine Experimentieranordnung erfinden
entwickeln / aufstellen	Sachverhalte und Methoden zielgerichtet miteinander verknüpfen. Eine Hypothese, eine Skizze, ein Experiment, ein Modell oder eine Theorie schrittweise weiterführen und ausbauen
erklären	einen Sachverhalt nachvollziehbar und verständlich machen
erläutern	einen Sachverhalt durch zusätzliche Informationen veranschaulichen und verständlich machen
ermitteln	einen Zusammenhang oder eine Lösung finden und das Ergebnis formulieren
herleiten	aus Größengleichungen durch mathematische Operationen eine physikalische Größe freistellen
interpretieren / deuten	kausale Zusammenhänge in Hinblick auf Erklärungsmöglichkeiten untersuchen und abwägend herausstellen
nennen / angeben	Elemente, Sachverhalte, Begriffe, Daten ohne Erläuterungen aufzählen
skizzieren	Sachverhalte, Strukturen oder Ergebnisse auf das Wesentliche reduziert übersichtlich darstellen
strukturieren / ordnen	vorliegende Objekte kategorisieren und hierarchisieren
überprüfen / prüfen / testen	Sachverhalte oder Aussagen an Fakten oder innerer Logik messen und eventuelle Widersprüche aufdecken
vergleichen	Gemeinsamkeiten, Ähnlichkeiten und Unterschiede ermitteln
zeichnen	eine möglichst exakte grafische Darstellung beobachtbarer oder gegebener Strukturen anfertigen

### 3.4 Beschreibung der erwarteten Prüfungsleistungen (Erwartungshorizont)

„Den Aufgaben der schriftlichen Prüfung werden von der Aufgabenstellerin bzw. dem Aufgabensteller eine Beschreibung der von den Schülerinnen und Schülern erwarteten Leistungen einschließlich der Angabe von Bewertungskriterien beigegeben. Dabei sind von der Schulaufsichtsbehörde gegebene Hinweise für die Bewertung zu beachten und auf die gestellten Aufgaben anzuwenden.“ (§ 5 Absatz 3 der „Vereinbarung über die Abiturprüfung der gymnasialen Oberstufe in der Sekundarstufe II“ (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 13.12.1973 i.d.F. vom 16.06.2000))

Die erwarteten Prüfungsleistungen sind darzustellen. Werden Prüfungsaufgaben nicht zentral gestellt, so sind das eingeführte Lehrbuch anzugeben und der vorangegangene Unterricht, aus dem die vorgeschlagene Prüfungsaufgabe erwachsen ist, so weit kurz zu erläutern, wie dies zum Verständnis der Aufgabe notwendig ist. Damit soll zugleich der Bezug zu den Anforderungsbereichen durch Angabe des Anforderungsbereiches einsichtig gemacht werden.

Zugelassene Hilfsmittel sind anzugeben. Beim Einsatz der Hilfsmittel muss der Grundsatz der Gleichbehandlung gewahrt bleiben.

### 3.5 *Bewertung von Prüfungsleistungen*

Nach § 6 Absatz 5 der „Vereinbarung über die Abiturprüfung der gymnasialen Oberstufe in der Sekundarstufe II“ (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 13.12.1973 i.d.F. vom 16.06.2000) soll aus der Korrektur und Beurteilung der schriftlichen Arbeit hervorgehen, „welcher Wert den von der Schülerin bzw. dem Schüler vorgebrachten Lösungen, Untersuchungsergebnissen oder Argumenten beigemessen wird und wieweit die Schülerin bzw. der Schüler die Lösung der gestellten Aufgaben durch gelungene Beiträge gefördert oder durch sachliche oder logische Fehler beeinträchtigt hat. Die zusammenfassende Beurteilung schließt mit einer Bewertung gemäß Ziffer 9.1 und 9.2 der Vereinbarung vom 07.07.1972 i.d.F. vom 16.06.2000.“

Das Beurteilen der von den Prüflingen erbrachten Prüfungsleistung erfolgt unter Bezug auf die beschriebene erwartete Gesamtleistung. Den Beurteilenden steht dabei ein Beurteilungsspielraum zur Verfügung.

In die Bewertung gehen Leistungen aus dem Kompetenzbereich Kommunikation ein. Erläuternde, kommentierende und begründende Texte, die die Schlüssigkeit der Argumentation belegen, sind unverzichtbare Bestandteile der Prüfungsleistung. Mangelhafte Gliederung, Fehler in der Fachsprache, Ungenauigkeiten in Zeichnungen oder unzureichende oder falsche Bezüge zwischen Zeichnungen und Text sind als fachliche Fehler zu werten.

Schwerwiegende und gehäufte Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit in der Muttersprache (Unterrichtssprache) oder gegen die äußere Form sind gemäß § 6 Abs. 5 der „Vereinbarung über die Abiturprüfung der gymnasialen Oberstufe in der Sekundarstufe II“ (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 13. 12. 1973 i.d.F. vom 16.06.2000) zu bewerten.

Liefern Prüflinge zu einer gestellten Aufgabe (z.B. offene Aufgabenstellungen) oder Teilaufgabe Bearbeitungen, die in der Beschreibung der erwarteten Prüfungsleistungen nicht erfasst waren, so sind die erbrachten Leistungen angemessen zu berücksichtigen. Dabei kann der vorgesehene Bewertungsrahmen für die Teilaufgabe nicht überschritten werden.

Jede Prüfungsaufgabe enthält verschiedene zu bewertende Anforderungen, für die der jeweilige Anteil an der Gesamtleistung anzugeben ist. Die Bewertung stützt sich auf die erbrachten Teilleistungen und bezieht insbesondere die Eigenständigkeit und Qualität der Lösungsansätze, die Schlüssigkeit der Argumentation und die Qualität der Darstellung (Aufbau, Gedankenführung und fachsprachlicher Ausdruck) ein.



Die Festlegung der Schwelle zur Note „ausreichend“ (05 Punkte) und die Vergabe der weiteren Noten sind Setzungen, die in besonderem Maße der pädagogischen Erfahrung und Verantwortung der Beurteilenden unterliegen.

Die Note „ausreichend“ (05 Punkte) soll erteilt werden, wenn annähernd die Hälfte (mindestens 45 Prozent) der erwarteten Gesamtleistung erbracht worden ist. Dazu reichen Leistungen allein im Anforderungsbereich I nicht aus. Oberhalb und unterhalb dieser Schwelle sollen die Anteile der erwarteten Gesamtleistung den einzelnen Notenstufen jeweils ungefähr linear zugeordnet werden, um zu sichern, dass mit der Bewertung die gesamte Breite der Skala ausgeschöpft werden kann.

Die Note „gut“ (11 Punkte) soll erteilt werden, wenn annähernd vier Fünftel (mindestens 75 Prozent) der erwarteten Gesamtleistung erbracht worden ist. Dabei muss die gesamte Darstellung der Prüfungsleistung in ihrer Gliederung, Gedankenführung, Anwendung fachmethodischer Verfahren sowie in der fachsprachlichen Artikulation den Anforderungen voll entsprechen.

## 4 Mündliche Prüfung

### 4.1 Besonderheiten und Aufgabenstellung

Die mündliche Prüfung muss sich auf alle vier in 1.1 beschriebenen Kompetenzbereiche erstrecken. Dabei soll der Schwerpunkt auf den Kompetenzbereichen *Kommunikation* und *Reflexion* liegen und bezieht sich auf mindestens zwei verschiedene Sachgebiete unter 1.2. Die Prüflinge sollen zeigen, dass sie über physikalische Sachverhalte in freiem Vortrag berichten und im Gespräch zu physikalischen Fragen und Problemstellungen Stellung nehmen können.

Die Aufgabenstellung für die mündliche Prüfung darf keine verkürzte schriftliche Prüfung sein, sondern Aufgaben, Materialien, Experimente, fachliche Probleme, Situationen, Geräte, Objekte, Quellen u. a. umfassen, die folgende Kriterien erfüllen:

- physikalische Kompetenzen kurz und auskunftssicher überprüfen
- vielfältige fachliche Methoden tangieren
- verschiedene Sachgebiete verbinden
- eine Fachkommunikation ermöglichen, in der diskursiv argumentiert wird.

Geeignet sind Aufgabenstellungen, die

- Experimentieranordnungen beinhalten, woran sich eine diskursive Fachkommunikation entzünden kann
- vergleichende Materialien (z.B. Geräte, Zeichnungen, Tabellen) nutzen
- authentisches Material (z.B. Zeitungsartikel, Diagramme, Abbildungen, Alltagsgegenstände) nutzen
- Ergebnisse, Skizzen, Zusammenhänge usw. vorgeben, an denen wesentliche Gedankengänge zu erläutern sind
- Aufgabenteile enthalten, die sich auf eine Erläuterung des Gedankenganges beschränken, ohne dass die zugehörigen Details im Einzelnen auszuführen sind
- Übersichten und Zusammenstellungen beinhalten, die fachgerechte Ergänzungen erfordern und sachgebietsübergreifende Bezüge erlauben.

Zur Erarbeitung der Lösungen bieten sich an:

- die Nutzung geeigneter Werkzeuge (z.B. Software, Fachliteratur)
- der Einsatz von Hilfsmitteln zur Präsentation der Lösungswege und Ergebnisse (z.B. Folien, Modelle, Experimente und Datenprojektion).

Aufgaben, die sich in Teilaufgaben zunehmend öffnen, bieten dem Prüfling eine besondere Chance, den Umfang seiner Fähigkeiten und die Tiefe seines physikalischen Verständnisses darzustellen. Für den Prüfungsausschuss ermöglichen sie die differenzierte Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Prüflings.

Die Prüfungsaufgabe muss einen einfachen Einstieg erlauben. Sie muss andererseits so angelegt sein, dass in der Prüfung unter Beachtung der Anforderungsbereiche in 2.2, die auf der Grundlage eines Erwartungshorizontes zugeordnet werden, grundsätzlich jede Note erreichbar ist.

## 4.2 Kriterien für die Bewertung

Bei der Bewertung der mündlichen Prüfungsleistung sollen neben den in 1.1 beschriebenen Kompetenzen vor allem folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- Umfang und Qualität der nachgewiesenen physikalischen Kenntnisse und Fertigkeiten
- sachgerechte Gliederung und folgerichtiger Aufbau der Darstellung
- Verständlichkeit der Darlegungen, adäquater Einsatz der Präsentationsmittel
- Fähigkeit, das Wesentliche herauszustellen und die Lösung in sprachlich verständlich und in logischem Zusammenhang zu referieren
- Verständnis für physikalische Probleme sowie die Fähigkeit, Zusammenhänge zu erkennen und darzustellen, physikalische Sachverhalte zu beurteilen, auf Fragen und Einwände einzugehen und gegebene Hilfen aufzugreifen (Diskursivität)
- Kreativität und Eigenständigkeit im Prüfungsverlauf.

## 4.3 Fünfte Prüfungskomponente

„Die Abiturprüfung umfasst mindestens 4, höchstens 5 Komponenten. Fünfte Komponente ist entweder eine schriftliche oder eine mündliche Prüfung in einem weiteren Fach oder eine besondere Lernleistung.“ (Vereinbarung zur Gestaltung der gymnasialen Oberstufe in der Sekundarstufe II (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 07.07.1972 i.d.F. vom 16.06.2000), 8.2.1)) Im Rahmen der fünften Prüfungskomponente können die Länder neue Prüfungsformen entwickeln. Für alle Formen der fünften Prüfungskomponente gelten die Abschnitte 1 bis 4.2 sinngemäß.

Im Folgenden werden für die fünfte Prüfungskomponente als „mündliche Prüfung in neuer Form“ für das Fach bzw. Referenzfach Physik Festlegungen getroffen, die über die Bestimmungen der Abschnitte 1 bis 4.2 hinausgehen.

### 4.3.1 Besonderheiten

Die fünfte Prüfungskomponente als „mündliche Prüfung in neuer Form“ zielt insbesondere auf die Einbeziehung größerer fachlicher Zusammenhänge und fachübergreifender Aspekte in die Abiturprüfung. Sie sollte deshalb vor allem gekennzeichnet sein durch

- einen längeren zeitlichen Vorlauf und
- einen besonderen Stellenwert der vorbereiteten Präsentation.

Hinzu kommt die Möglichkeit, Gruppenprüfungen durchzuführen. Dabei ist durch Begrenzung der Gruppengröße, die Aufgabenstellung und die Gestaltung des Prüfungsgesprächs dafür Sorge zu tragen, dass die individuelle Leistung eindeutig erkennbar und bewertbar ist. Für Gruppenprüfungen eignen sich im Fach Physik insbesondere Prüfungsaufgaben, bei denen unterschiedliche Aspekte eines Problems behandelt werden.

Die Gewährung eines längeren zeitlichen Vorlaufs kann insbesondere nötig sein bei Prüfungsaufgaben mit komplexerer Fragestellung oder aufwändigerer Erschließung z.B. durch Literatur- oder Internet-Recherche, projektartige Bearbeitung, Experiment, Exkursion.

Die Präsentation wird bestimmt durch die verfügbaren technischen Möglichkeiten, z.B. Folien, Modelle, für Physik geeignete Software, Präsentationssoftware. Sie geht aus von einer vorzulegenden Dokumentation der Vorbereitung.

#### 4.3.2 *Bewertung*

Bei der Bewertung der fünften Prüfungskomponente kommen neben der nachgewiesenen Fach- und Methodenkompetenz folgende Merkmale besondere Bedeutung zu:

- der dokumentierten Vorbereitung
- der Klarheit, Vollständigkeit und Angemessenheit von Dokumentation und Präsentation
- der Selbstständigkeit und dem Einfallsreichtum bei der Ausführung der Arbeitsanteile und Arbeitsschritte
- dem Grad der Durchdringung und den aufgezeigten Vernetzungen
- der Souveränität im Prüfungsgespräch.

#### 4.3.3 *Beispiele für Themenbereiche*

Die Themenstellung soll durch Reichhaltigkeit der innerphysikalischen oder fachübergreifenden Bezüge gekennzeichnet sein. Sie soll in hohem Maße Originalität und Kreativität bei der Bearbeitung ermöglichen.

Die folgenden Beispiele beschreiben Themenbereiche, aus denen Teilaspekte als Prüfungsthemen für die fünfte Prüfungskomponente als „mündliche Prüfung in neuer Form“ besonders geeignet erscheinen:

- Modellierungsprozesse mit Modellbildungssystemen
- Experimentelle Untersuchung und Dokumentation
- Erhebung und Auswertung von Daten
- Simulationen physikalischer Vorgänge
- Darstellung von Ansätzen wissenschaftlicher Arbeit (z.B. dokumentierte Mitarbeit im Hochschulbereich)
- Dokumentierte Teilnahme an einem Wettbewerb (z.B. Jugend forscht)
- Aufarbeitung und Darstellung besonderer Leistungen von Physikerinnen und Physikern
- Experimentelle Demonstration und Dokumentation physikalischer Sachverhalte.

## II Aufgabenbeispiele

Mit Rücksicht auf die unterschiedliche Praxis in den Ländern bilden die aufgeführten Beispiele für sich keine geschlossenen Prüfungsaufgaben; sie ergeben vielmehr erst durch Hinzufügen weiterer Aufgaben auch unterschiedlichen Umfangs eine vollständige Prüfungsaufgabe. Dabei muss sichergestellt werden, dass in der vollständigen Prüfungsaufgabe alle Bedingungen entsprechend den Festlegungen in Teil I, 3.3 bzw. 4.1 berücksichtigt werden.

Durch die ausgewählten Beispiele sollen weder besondere thematische Schwerpunkte gesetzt noch thematische Festlegungen getroffen werden. Vielmehr soll die Vielfalt der Möglichkeiten bei der Themenauswahl, bei der Aufgabenkonstruktion sowie bei den verwendeten Ausdrucks- und Schreibweisen verdeutlicht werden. Die Beispiele betonen neuere fachdidaktische Entwicklungen, ohne auf bewährte Aufgabenstellungen zu verzichten. Sie sind jedoch nicht repräsentativ hinsichtlich formaler und anwendungsbezogener Anteile der Prüfungsaufgabe.

### 1 Aufgabenbeispiele für die schriftliche Prüfung

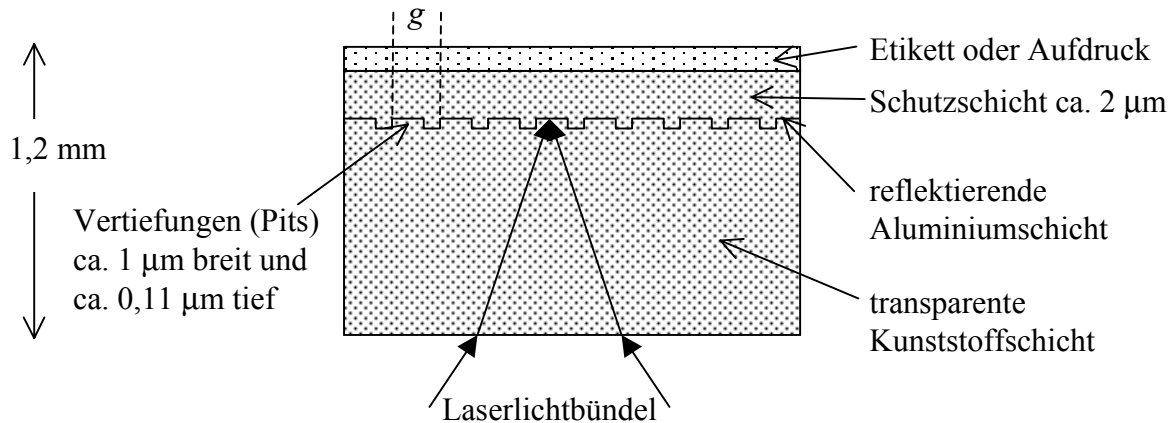
Die Aufgabenbeispiele enthalten Angaben über die Zielsetzung der Aufgabe, die unterrichtlichen Voraussetzungen, die zugelassenen Hilfsmittel und über die vorgesehene Bearbeitungszeit. Die Beispiele in Abschnitt 1.1 sind ausführlicher dargestellt. Sie enthalten zusätzlich die Lösungsskizzen, die Zuordnungen zu den Anforderungsbereichen und die vorgesehenen Bewertungseinheiten.

Die in den Anmerkungen beschriebenen unterrichtlichen Voraussetzungen dienen dazu, die Angemessenheit der jeweiligen Aufgabenstellung zu beurteilen. Bei allen Zeitangaben handelt es sich um Richtwerte.

#### *1.1 Ausführlich kommentierte Beispiele*

##### *1.1.1 Compact Disk (Leistungskursfach)*

Compact Discs (CDs) sind vertraute Alltagsgegenstände. Auf einer CD werden Informationen digital durch unterschiedlich lange, spiralförmig angeordnete Vertiefungen (so genannte Pits) gespeichert, die sich mit einem Laser im CD-Player auslesen lassen.



### Die Spurbreite der CD

Um Informationen zum Aufbau einer CD zu gewinnen, wird eine CD in einem Experiment mit dem monochromatischen Licht der Wellenlänge  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  bestrahlt. Das Experiment liefert Informationen über den Abstand der Spurlinien.

- Beschreiben Sie das vorgeführte Experiment und deuten Sie das zu beobachtende Schirmbild.
- Leiten Sie für den Spurabstand  $g$  der Pits die folgende Beziehung her:

$$g = \frac{\lambda}{\sin\left(\arctan\frac{a}{b}\right)}, \text{ mit } a: \text{ Abstand zum 1. Maximum, } b: \text{ Abstand zwischen CD und Schirm}$$

Brechungseffekte beim Übergang von Luft in die Kunststoffschicht müssen bei der Herleitung nicht berücksichtigt werden.

Zeigen Sie, dass bei der untersuchten CD der Wert von  $g$  innerhalb des Toleranzbereichs des von der deutschen Norm angegebenen Wertes von  $g = (1,6 \pm 0,1) \mu\text{m}$  liegt.

Beschreiben Sie mögliche Fehlerquellen.

- Betrachtet man den Aufbau der CD, wäre es denkbar, dass die Beobachtungen durch eine Interferenz hervorgerufen werden, die durch Reflexion an der Ober- bzw. Unterseite der transparenten Kunststoffschicht entsteht. Beschreiben Sie qualitativ an Hand einer Skizze, wie es zu einer konstruktiven Interferenz an dünnen Schichten kommen kann.

Es gibt mehrere Gründe, warum es sich bei dem vorgeführten Experiment nicht um eine Interferenz an einer dünnen Schicht handeln kann. Führen Sie einen dieser Gründe aus.

### *Farbige Streifen auf der CD*

Beugungs- und Interferenzexperimente ermöglichen genaue Materialuntersuchungen oder, bei bekanntem Material, Rückschlüsse auf die einfallende Strahlung. Wenn man eine CD in den Händen hält, fallen sofort die sichtbaren farbigen Spektren auf. Halten Sie die Ihnen zur Verfügung gestellte CD waagrecht mit dem Etikett in Richtung zum Fußboden, so dass das Licht der Deckenlampe Spektren erzeugt. Kippen Sie die CD nun so zur Lampe hin, dass sich die Spektren gut beobachten lassen.

- d) Beschreiben Sie die Farberscheinungen und erläutern Sie das Zustandekommen. Gehen Sie hierbei insbesondere auf die Reihenfolge der Farben ein. Ergänzen Sie Ihre Erläuterungen gegebenenfalls mit qualitativen Skizzen.
- e) Ersetzt man die normale Raumbelichtung durch eine Quecksilberdampf Lampe, so erkennt man im Wesentlichen nur noch die Farben Gelb, Grün und Blau.  
Die Gerätekarte zur Hg-Lampe allerdings gibt an, dass die Lampe in *sechs* Wellenlängen [407,7 nm, 435,8 nm, 491,6 nm, 546,1 nm, 579,0 nm und 579,1 nm] strahlt.  
Erläutern Sie sowohl diese (scheinbare) Diskrepanz als auch die Unterschiede zwischen den im Klassenraum beobachteten Spektren und den Spektrallinien der Hg-Lampe.  
Bestimmen Sie hierzu u. a. die Energien der von der Hg-Lampe abgestrahlten Photonen in eV und tragen Sie diese in ein maßstäblich korrektes Energieschema ein.
- f) Entwickeln Sie auf der Grundlage dieses Freihandversuches einen Messversuch, um die in der Gerätekarte angegebenen Wellenlängen experimentell ausmessen zu können.
- g) In Anlehnung an die Photonenstruktur von Licht postulierte de Broglie Welleneigenschaften von Elektronen.  
Beschreiben Sie ein Experiment zum Nachweis der Elektronenbeugung.  
Vergleichen Sie dieses Elektronenbeugungsexperiment mit dem durchgeführten CD-Experiment.

*Anmerkungen zur Aufgabenstellung:*

Das kontextorientierte Aufgabenbeispiel ist gekennzeichnet durch eigenständige Untersuchungen von unterschiedlichen Interferenzerscheinungen und Bezügen zur Atom- und Quantenphysik. In der relativ offen formulierten Teilaufgabe f) wird das selbstständige Planen eines Messversuchs verlangt.

*Unterrichtliche Voraussetzungen:*

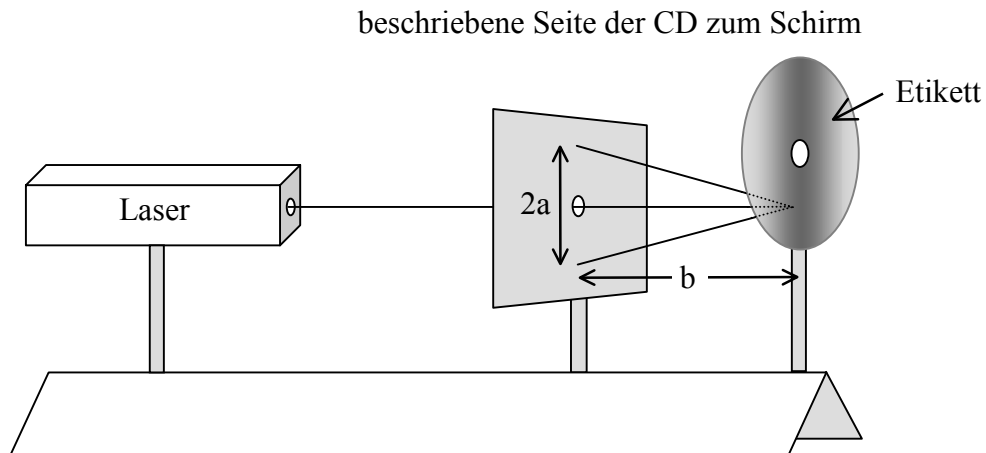
Interferenzversuche in Transmission wurden ausgiebig analysiert und besprochen. Die Aufgabenstellung in Aufgabe c) soll die Möglichkeit geben, die Parallelität zur Bragg-Reflexion zu erkennen, die im Zusammenhang der Untersuchung von Materie im Unterricht behandelt wurde. In den letzten Aufgaben müssen Kenntnisse aus den verschiedenen Bereichen der Sachgebiete Wellen und Quanten miteinander kombiniert werden.

*Hinweise zum Experiment:*

Das vom Lehrer zu Beginn der Bearbeitung durchgeführte Experiment bleibt während der gesamten Bearbeitungszeit aufgebaut stehen und eine unbeschriebene CD wird zur Verfügung gestellt.



*Versuchsaufbau:*



*Versuchsdurchführung:*

Auf dem Schirm wird ein Blatt Millimeterpapier fixiert, die zu beobachtenden Maxima werden mit einem Stift markiert. Der Abstand  $b$  zwischen Schirm und CD wird in Schritten von 5 cm verändert, die jeweiligen ersten Maxima werden ausgemessen.

Als Messwerte ergeben sich exemplarisch:

$b / \text{cm}$	$a / \text{cm}$
9,5	4,0
14,5	6,1
19,5	8,2
24,5	10,4
29,5	12,5

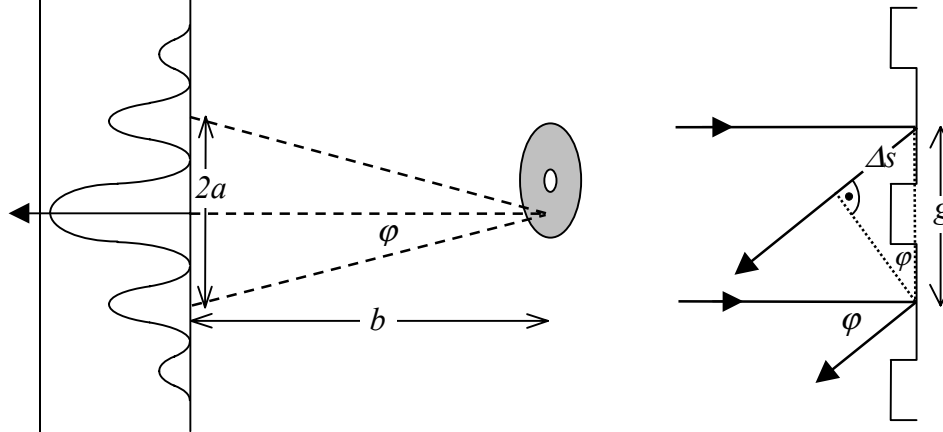
Diese Messwerte werden den Prüflingen bei Misslingen der Durchführung des Experimentes zur Verfügung gestellt.

*Vorgesehene Bearbeitungszeit:* 250 Minuten

*Erwartungshorizont:*

Lösungsskizze		I	II	III
a)	Beschreibung und Skizze des Versuchsaufbaues (vgl. oben) Auf dem Schirm zeigen sich charakteristische Interferenzmuster, wie sie aus den Untersuchungen zu Einzel- und Doppelspalt bekannt sind. Verweise sowohl auf Versuche mit dem Laser als auch auf die Elektronenbeugung. Das Muster kommt durch Gangunterschiede zustande, wodurch sich Wellenlängen gegeneinander verschieben. Die zu beobachtenden Maxima sind Orte konstruktiver Interferenz.	8	5	

b) Herleitung der Beziehung für den Spurbstand an Hand von Skizzen:



$$\frac{\Delta s}{g} = \sin \varphi; \quad \Delta s = \lambda; \quad \frac{a}{b} = \tan \varphi \rightarrow g = \frac{\lambda}{\sin\left(\arctan \frac{a}{b}\right)}$$

Mittelwert für den Spurbstand:

Ausgehend von den genannten exemplarischen Werten ergeben sich für die Spurbreite  $g$  die folgenden Werte:  $1,631 \mu\text{m}$ ,  $1,632 \mu\text{m}$ ,  $1,632 \mu\text{m}$ ,  $1,619 \mu\text{m}$ ,  $1,622 \mu\text{m}$ . Der Mittelwert ist  $1,627 \mu\text{m}$ .

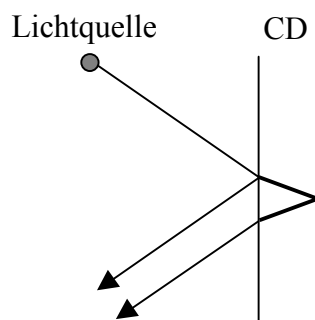
Die Abweichung des Mittelwerts ( $0,027 \mu\text{m}$ ) als auch die maximale Abweichung der Einzelwerte ( $0,032 \mu\text{m}$ ) von der Norm liegen deutlich unterhalb der Toleranzgrenze.

Aus dem Versuchsaufbau heraus können Fehler von etwa  $0,1 \text{ cm}$  bei Längenmessungen auftreten. Als maximaler relativer Fehler bei den Messwerten dürfte nur  $0,1 \text{ cm} : 4,0 \text{ cm} = 2,5\%$  auftreten. Die auftretende maximale Abweichung  $0,032 \mu\text{m} : 1,6 \mu\text{m} = 2\%$  liegt in diesem Bereich. Wegen der sehr genauen Angabe der Wellenlänge des Lasers müssen daraus resultierende Abweichungen nicht berücksichtigt werden.

10

8

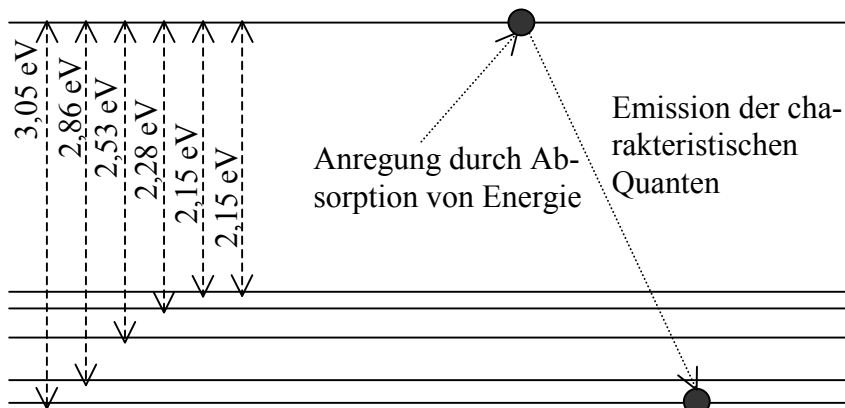
c)



Ein Teil des Lichtes von der Quelle dringt in die CD ein und wird an der hinteren Seite reflektiert. Dieser Teil legt eine längere Strecke zurück als der direkt reflektierte Strahl. Unter Berücksichtigung der anderen Ausbreitungsgeschwindigkeit im Kunststoffmaterial (Brechung) ergibt sich ein bestimmter effektiver Wegunterschied  $\Delta x$ . Wenn  $\Delta x$  ein Vielfaches von  $\lambda$  ist, kommt es zu konstruktiver Interferenz und es ist unter einem bestimmten Winkel bei einer bestimmten Dicke ein Maximum zu erkennen.

6

	<p>Mögliche Gründe: Die beschriebene Interferenz erfolgt nur, wenn die einfallende Welle schräg kommt. Beim Experiment erfolgt der Einfall aber senkrecht. Bei der beschriebenen Interferenz gibt es nur eine Richtung, unter der die reflektierte Welle erscheint, während beim Experiment in mehrere Richtungen Abstrahlung erfolgt, die auch noch symmetrisch liegen.</p>			4
d)	<p>Beschreibung der Farberscheinungen: Die Farben ergeben sich aus der Spektralzerlegung des „weißen“ Lichtes der Leuchtstoffröhren im Physikraum. Wenn möglich, sollte das Tageslicht abgeschirmt werden, da das Sonnenspektrum sich sonst überlagerte. Man erkennt ein einigermaßen kontinuierliches Spektrum, in dem allerdings die Übergänge zwischen einzelnen Farben bzw. Spektralbereichen deutlich schärfer aussehen als beim Licht einer Glühlampe bzw. beim Sonnenspektrum. Am Spektrum ist erkennbar, dass Blau weniger abgelenkt wird als Rot. Begründungen für das Zustandekommen der beobachtbaren Farbbereiche: Die Aufspaltung beruht auf der unterschiedlichen Wellenlänge und der dadurch bedingten unterschiedlichen Beugung. Der mathematische Zusammenhang ergibt sich ähnlich wie in Teilaufgabe b). Längerwelliges (z. B. rotes) Licht wird stärker abgelenkt als kurzwelliges.</p>	5		5
e)	<p>Erklärung der Diskrepanz zwischen den beobachteten Farben und den angegebenen Wellenlängen: Die beiden Wellen mit 579,0 nm und 579,1 nm lassen sich nicht getrennt wahrnehmen. Die Wellenlängen mit 407,7 nm und 435,8 nm liegen im UV-Bereich und sind mit dem Auge nicht erkennbar. Der Hauptunterschied zwischen den Spektren der Leuchtstoffröhren und dem Spektrum der Hg-Lampe liegt darin, dass Leuchtstoffröhren kontinuierlich abstrahlen, um möglichst nah an das Spektrum von Glühlampen bzw. der Sonne heranzureichen. Allerdings gibt es Unterschiede in der Intensität der einzelnen Anteile. Die Hg-Lampe strahlt Licht bestimmter Wellenlängen ab, da die Hg-Atome nur einige diskrete Energiewerte absorbieren bzw. emittieren können. Nach <math>E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}</math> ergeben sich für die emittierten Photonen die folgenden Energien:</p> <p><math>\lambda</math> / nm 407,7 435,8 491,6 546,1 579,0 579,1</p> <p><math>E</math> / eV 3,05 2,86 2,53 2,28</p>		6	5



	2,15 2,15	6		
f)	Beschreibung eines möglichen Versuchsaufbaues: Befestigung der CD Fokussierung des Lichts der Hg-Lampe auf die CD mit Blende und Linse Maxima im optischen Bereich sind wieder auf dem Schirm erkennbar Nachweis der Maxima im UV-Bereich mit Detektor für hochenergetische Strahlung (Photodiode oder Photozelle) oder fluoreszierendem Schirm			6
g)	Beschreibung des Experimentes zur Elektronenbeugung: z. B. Elektronenbeugungsröhre mit polymorphem Graphit Vergleich von Elektronenbeugung und Lichtbeugung an CD: Parallelen: der übergreifende Wellencharakter, Beugungserscheinungen, Intensitätsverteilungen Unterschiede: Struktur, an der Beugung erfolgt (Spiegelflächen bzw. Kristallstrukturen); Gitterkonstanten liegen um einige Größenordnungen auseinander; Elektronenbeugung muss im Vakuum erfolgen		8	
	Insgesamt 90 BWE	32	48	10

### 1.1.2 Gewebeuntersuchungen mit Positronen (Leistungskursfach)

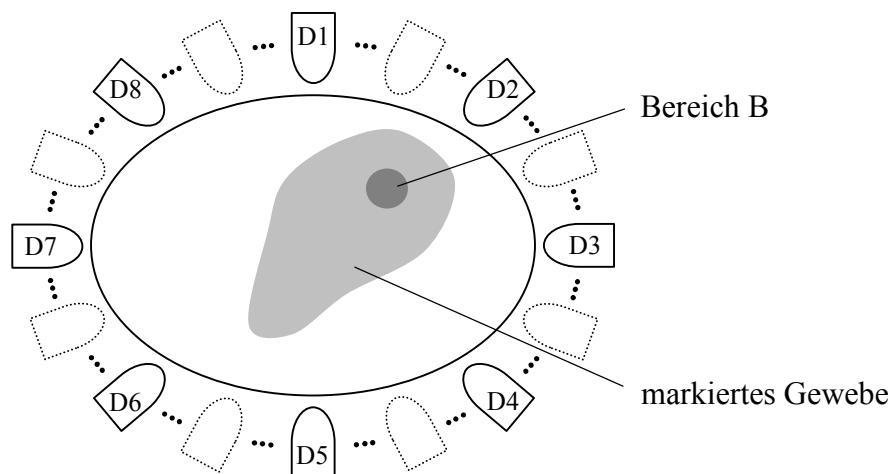
Stoffwechselfvorgänge im menschlichen Körper lassen sich unter anderem dadurch beobachten, dass man eine der beteiligten Substanzen mit einem radioaktiven Präparat, z. B. dem Fluorisotop  $^{18}\text{F}$  als  $\beta^+$ -Strahler, markiert. In einer radiologischen Praxis wird einem Patienten eine  $^{18}\text{F}$ -haltige Zuckerlösung verabreicht. Die Halbwertszeit von  $^{18}\text{F}$  beträgt  $T_{1/2} = 109,7$  min.

- Bestimmen Sie die für die Untersuchung verbleibende Zeit, wenn die  $\beta^+$ -Aktivität des  $^{18}\text{F}$  dabei um höchstens 10% abnehmen darf.
- Geben Sie die Gleichung für den  $\beta^+$ -Zerfall von  $^{18}\text{F}$  an.  
Geben Sie den Umwandlungsprozess an, bei dem das Positron entsteht.  
Zeigen Sie, wie sich aus den Atommassen der beteiligten Atome seine maximale kinetische Energie errechnet, und begründen Sie, dass die meisten Positronen eine geringere kinetische Energie erhalten.

Ein im Körpergewebe freigesetztes Positron ist nach wenigen Millimetern Wegstrecke abgebremst und reagiert dann mit einem ruhenden Elektron durch Paarvernichtung. Im Folgenden kann angenommen werden, dass dabei genau zwei Gammaquanten entstehen.

- c) Begründen Sie, dass sich die zwei Gammaquanten in entgegengesetzte Richtungen ausbreiten und die gleiche Energie von 511 keV besitzen.

Bei der Untersuchung wird der Patient in eine waagrechte Röhre gelegt, an deren Innenwand viele Gammadetektoren angebracht sind. Wenn zwei Detektoren (z. B. D2 und D6 in der Abbildung) annähernd gleichzeitig ansprechen und die beiden Gammaquanten nicht abgelenkt wurden, muss der „Geburtsort“ des Gammaquantenpaares auf der Verbindungsstrecke dieser beiden Detektoren liegen. Mit einem angeschlossenen Computer lässt sich ein „Bild“ erstellen, das Rückschlüsse auf die Verteilung der Zuckerlösung ermöglicht.



Wie in der Abbildung dargestellt, hebt sich nur ein kleiner Bereich B im markierten Gewebe infolge einer hohen Positronen-Emission grafisch heraus.

- d) Erläutern Sie, wie mithilfe der oben angesprochenen Verbindungsstrecken-Methode die genaue Position von B bestimmt werden kann.

Um zu den Detektoren zu gelangen, müssen die beiden Gammaquanten zunächst das Körpergewebe durchdringen. Dabei kann eines der Gammaquanten Comptonstreuung erfahren.

- e) Begründen Sie, dass der Bereich B nicht mehr auf der Verbindungsstrecke der beiden gleichzeitig ansprechenden Detektoren liegen muss, wenn eines der Gammaquanten Comptonstreuung erfahren hat.  
Erläutern Sie, wie sich ein solches Gammaquant identifizieren lässt, sodass man es für die Bildberechnung ausschließen kann.



b)	<p>Zerfall: <math>{}^{18}_9\text{F} \rightarrow {}^{18}_8\text{O} + e^+ + \nu</math></p> <p>Umwandlungsprozess: <math>p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu</math></p> <p>maximale kinetische Energie:</p> $m_A({}^{18}_9\text{F}) \cdot c^2 = m_A({}^{18}_8\text{O}) \cdot c^2 + m(e^-) \cdot c^2 + m(e^+) \cdot c^2 + \Delta E$ $\rightarrow \Delta E = [m_A({}^{18}_9\text{F}) - m_A({}^{18}_8\text{O}) - 2m(e)] \cdot c^2$ <p>Die meisten Positronen haben eine geringere Energie, da das Neutrino einen Teil der beim Prozess frei werdenden Energie erhält.</p>	1	2	
c)	<p>Die beiden Gammaquanten müssen sich aufgrund des Impulserhaltungssatzes (Anfangsimpuls von Elektron und Positron ist nahezu Null) in entgegengesetzte Richtungen und mit gleicher Energie ausbreiten.</p> <p>Berechnung der Energie: Jedem Gammaquant steht die Ruheenergie <math>E = m_e \cdot c^2</math> des zerstrahlten Elektrons bzw. Positrons zur Verfügung. Daraus folgt: <math>E = 511 \text{ keV}</math>.</p>		2	
d)	<p>Da sich zwei aus der Zerstrahlung ergebende Gammaquanten in entgegengesetzter Richtung ausbreiten, braucht man noch mindestens ein weiteres Paar aus der unmittelbaren Nachbarschaft, die zwei andere gegenüber liegende Detektoren erreichen.</p> <p>Der Schnitt beider Linien ergibt den „Geburtsort“ beider Paare. Da im Bereich B eine hohe Aktivität herrscht, kann dies praktisch zugesichert werden.</p> <p>Das Verfahren ist entsprechend der Dosierung über eine hinreichend lange Zeit fortzuführen, um die weniger häufigen Fälle der Geradenschnittpunkte von Gammapaaren, die nicht in B entstanden sind, auszuschließen.</p>	1	2	3
e)	<p>Bei der Comptonstreuung tritt ein Gammaquant mit einem Elektron in Wechselwirkung. Dabei überträgt es einen Teil der Energie auf das Elektron. Ein neues Gammaquant, das den Rest der Energie besitzt, bewegt sich in anderer Richtung weiter.</p> <p>Aufgrund der Richtungsänderung kann B nicht auf der Verbindungsgeraden der beiden Detektoren liegen.</p> <p>Solche Gammaquanten, die wegen des Comptoneffekts eine fehlerhafte Richtung liefern würden, kann man anhand ihrer geringeren Energie, sofern die Detektoren diese feststellen können, identifizieren und bei der Auswertung ausschließen.</p>	2	1	2
f)	<p>Bekannte Energiewerte: <math>E = m_e \cdot c^2</math> und <math>E' = 0,98 \cdot E</math></p> <p>Compton-Beziehung: <math>\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e \cdot c} \cdot (1 - \cos \vartheta)</math></p> <p>Daraus folgt: <math>\frac{h \cdot c}{E'} - \frac{h \cdot c}{E} = \frac{h}{m_e \cdot c} \cdot (1 - \cos \vartheta)</math></p> <p>Ergebnis: <math>\vartheta = 12^\circ</math></p>	3	5	
Insgesamt 36 BWE		10	21	5

### 1.1.3 Spannungs-Stromkennlinie einer LED (Grundkursfach)

Für die Ihnen vorliegende Leuchtdiode (LED) soll die Spannungs-Strom-Kennlinie im Bereich  $-0,5\text{ V}$  bis  $1,80\text{ V}$  aufgenommen werden. Als Geräte stehen Ihnen zur Verfügung: eine LED, ein regelbares Netzgerät, ein Steckbrett für elektronische Bauteile, ein Schalter, zwei Vielfachmessgeräte, ein Widerstand ( $100\ \Omega$ ). Der Betrieb der Diode erfordert einen Vorwiderstand. Die Polung der LED ist zu beachten.

- a) Zeichnen Sie einen Schaltplan, nehmen Sie die Messwerte auf und beschreiben Sie die Durchführung der Messungen.
- b) Stellen Sie die Kennlinie mit Ihren Messwerten in einem geeigneten Maßstab dar. Schätzen Sie aus dem Graphen die Spannung  $U_D$  ab, bei der ein Elektron in der Lage ist, die Grenzschicht am pn-Übergang zu überwinden.  
Anmerkung: Im Folgenden kann ersatzweise mit  $U_D \approx 1,7\text{ V}$  gerechnet werden.

### Wellenlänge für Licht einer LED

Die Wellenlänge des Lichtes der vorliegenden Leuchtdiode soll durch subjektive Betrachtung der Interferenz an einem Gitter mit der Gitterkonstanten  $g = 1,0 \cdot 10^{-5}\text{ m}$  gemessen werden.

- c) Begründen Sie die Beziehungen  $\lambda = g \cdot \sin \alpha$  und  $\tan \alpha = \frac{a}{l}$  zur Berechnung der Wellenlänge  $\lambda$ . Dabei bezeichnen  $\alpha$  den Beugungswinkel für das Maximum 1. Ordnung,  $a$  den Abstand zwischen LED und einem Maximum 1. Ordnung und  $l$  den Abstand zwischen Gitter und LED.
- d) Beschreiben Sie einen geeigneten Aufbau und messen Sie die notwendigen Größen zur Bestimmung des Winkels  $\alpha$ .  
Berechnen Sie die Wellenlänge aus den aufgenommenen Messwerten.  
Anmerkung: Im Folgenden kann ersatzweise mit  $\lambda \approx 660\text{ nm}$  gerechnet werden.

### Licht und Energie bei einer LED

- e) Beschreiben Sie das Leitungsverhalten einer Diode. Erläutern Sie Unterschiede zwischen einer LED und einer nichtleuchtenden Diode.
- f) Die Strahlung einer LED entsteht bei der Rekombination beweglicher Elektronen und Elektronenfehlstellen am pn-Übergang. Diesen Effekt bezeichnet man oft als *Umkehrung des Fotoeffektes*. Erläutern Sie, ausgehend vom Fotoeffekt, diese Aussage.  
Ordnen Sie den Fotoeffekt in seiner Bedeutung für die Quantenphysik ein.
- g) Die Formel  $\frac{h \cdot c}{\lambda} = q_e \cdot U_D$  beschreibt einen Zusammenhang zwischen der Wellenlänge  $\lambda$ , der Spannung  $U_D$  und bekannten Naturkonstanten. Dabei bezeichnen  $h$  die Planckkonstante,  $c$  die Lichtgeschwindigkeit und  $q_e$  die Ladung eines Elektrons.  
Leiten Sie die Beziehung her.  
Setzen Sie Ihre Ergebnisse aus b) und d) ein und bewerten Sie mögliche Fehler.



*Anmerkungen zur Aufgabenstellung:*

Die Aufgabenstellung ist gekennzeichnet durch eigenständiges Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten für vorgegebene Fragestellungen.

*Unterrichtliche Voraussetzungen:*

Die Aufgabe erfordert Erfahrungen im eigenen Experimentieren im Bereich elektrischer Schaltungen, Grundkenntnisse über Halbleiter und die Funktionsweise von Dioden. Grundlagen Elektrische Felder, Interferenz von Licht bei subjektiver und objektiver Beobachtung und Fotoeffekt müssen bekannt sein.

*Hinweise zum Experiment:*

Die Spannung  $U_D$ , die zur Überwindung der Sperrschicht benötigt wird, kann für jede LED durch lineare Extrapolation aus der Kennlinie abgeschätzt werden. Diese Spannung kann in erster Näherung als diejenige betrachtet werden, bei der die Diode zu leiten und gleichzeitig zu leuchten beginnt, da sie die Rekombination von beweglichen Ladungsträger und Elektronenfehlstellen in der Grenzschicht ermöglicht. Unterschiedlich farbige LEDs führen zu unterschiedlichen Spannungen  $U_D$ , dabei kann in erster Näherung ein linearer Zusammenhang zwischen den Spannungen  $U_D$  und den Frequenzen des ausgesandten Lichtes angenommen werden.

Zur Bearbeitung der Teilaufgabe a) erhalten die Prüflinge bekanntes Experimentiermaterial zur Elektronik und eine rot leuchtende LED. Sie haben zu beachten, dass nicht die anliegende Spannung sondern die Teilspannung über der LED zu messen ist und die LED in dem Versuch nur mit Vorwiderstand zu betreiben ist.

Für die subjektive Beobachtung der Wellenlänge ist zu beachten, dass die Messfehler eingeschätzt und durch geeignete Wahl der Versuchsanordnung minimiert werden müssen.

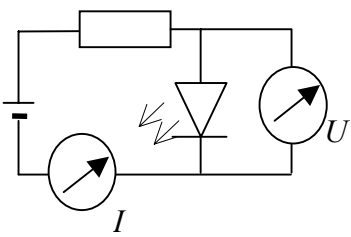
Die Beziehung in Teilaufgabe g) liefert nur eine ungefähre Übereinstimmung. Die Abweichung liegt in Unsicherheiten bei der Bestimmung und in der Temperaturabhängigkeit der Spannung  $U_D$  begründet.

*Zusätzliche Hilfsmittel:*

Experimentiermaterial: 1 LED, 1 regelbares Netzgerät, 1 Steckbrett für elektronische Bauteile, 1 Schalter, 2 Vielfachmessgeräte, 1 Widerstand (100  $\Omega$ ), Kabel, 1 Gitter mit  $g = 1,0 \cdot 10^{-5}$  m, 1 Maßstab, 1 Papierstreifen

*Vorgesehene Bearbeitungszeit:* 150 Minuten

Erwartungshorizont:

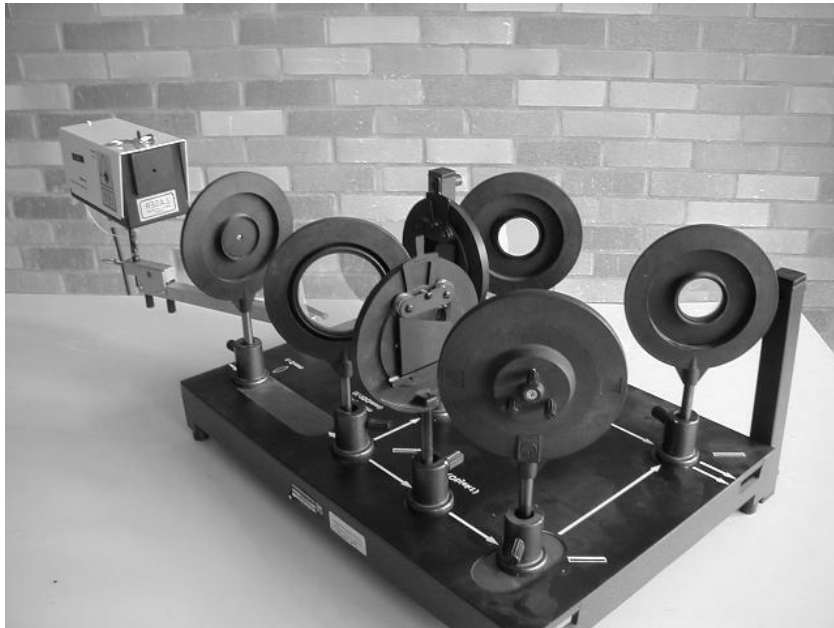
Lösungsskizze		I	II	III
a)	Entwurf eines Schaltplanes 		3	
	Beschreibung und Messungen	8		
b)	Darstellung der Kennlinie Abschätzung der Spannung zu $U_D = 1,6 \text{ V}$ durch lineare Extrapolation der Kennlinie im Durchlassbereich auf die Spannungsachse	4		
c)	Begründung der Beziehungen		4	



d)	Entwicklung und Beschreibung des Versuches		4	
	Aufbau des Versuches und Messung von z. B. $l = 0,64 \text{ m}$ und z. B. $a = 0,042 \text{ m}$		3	
	Berechnung der Wellenlänge: Aus $\tan \alpha = \frac{a}{l} = 0,0656$ erhält man $\alpha = 3,76^\circ$ . Die Wellenlänge beträgt: $\lambda = g \cdot \sin \alpha = 655 \cdot 10^{-9} \text{ m}$		2	
e)	Beschreibung mit dotierten Schichten, Grenzschicht und Modellvorstellung zur Spannung, Ventilfunktion Erläuterung der Unterschiede in den Diffusionsspannungen zwischen Leuchtdioden und normalen Dioden, Temperaturabhängigkeit		4	3
f)	Erläuterung zur Aussage mit Beschreibung des Fotoeffektes Einordnung des Fotoeffektes		3 2	

g)	Herleitung der Formel $\frac{h \cdot c}{\lambda} = q_e \cdot U_D$		2	
	Bestätigung mit ca. 13% Abweichung Bewertung der Abweichung mit Unsicherheiten in der Bestimmung von $U_D$ , möglicher Temperaturabhängigkeit von $U_D$		1	3
	Insgesamt 50 BWE	17	27	6

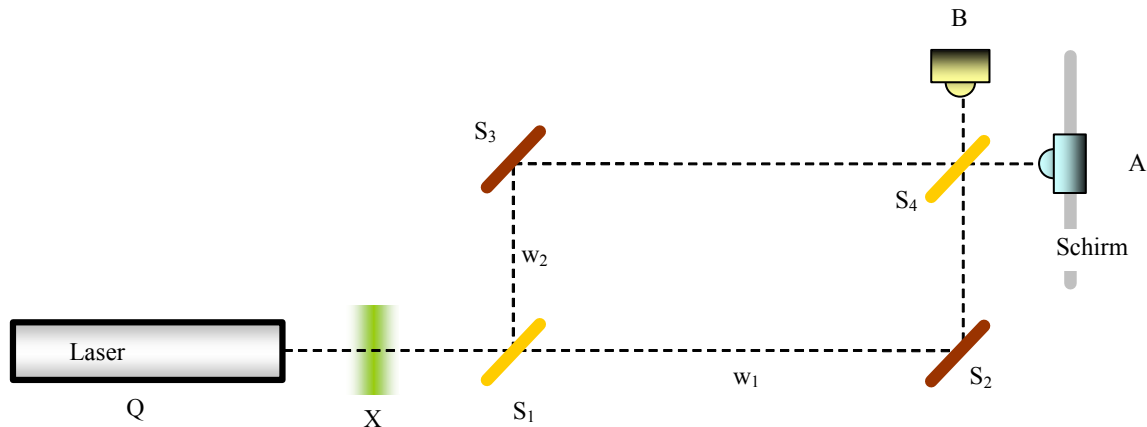
#### 1.1.4 Photonen im Mach-Zehnder-Interferometer (Grundkursfach)



Ein *Mach-Zehnder-Interferometer* besteht aus einer Photonenquelle Q, zwei halbdurchlässigen Spiegel  $S_1$  und  $S_4$ , zwei vollständig reflektierenden Spiegeln  $S_2$ ,  $S_3$  und Photonendetektoren A und B (im Foto nicht dargestellt). Die Spiegel  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  und  $S_4$ , sind an den Ecken eines Rechtecks angeordnet. (Hinweis: Der Durchgang durch einen der beiden halbdurchlässigen Spiegel führt zu einem Phasensprung von  $\pi/2$ ; die Reflexion an einem Spiegel führt zu einem Phasensprung von  $\pi$ .) Im Foto sind noch zwei Polarisatoren abgebildet.

Die Photonenquelle ist ein Laser mit hoher Intensität. Durch eine passende Vorrichtung (Abschwächer X) wird die Intensität so weit abgeschwächt, dass sich pro Minute nur ein Photon in der Anlage befindet.

Es werden drei Varianten des Experimentes durchgeführt:  
 Exp-1: Kurzer Betrieb (einige Minuten) ohne Abschwächer X  
 Exp-2: Kurzer Betrieb (einige Minuten) mit Abschwächer X  
 Exp-3: Langer Betrieb (einige Wochen) mit Abschwächer X



Diskutieren Sie bei den folgenden Fragestellungen immer jeweils die drei Varianten des Experimentes. Erläutern Sie jeweils die Modellvorstellung, die Sie Ihrer Vorhersage zu Grund legen.

- Nennen und erläutern Sie eine Voraussage darüber, welcher der beiden Photonendetektoren A oder B ansprechen wird.  
Beschreiben Sie das zu erwartende Schirmbild, wenn Sie den Sensor A durch einen Schirm ersetzen.
- In den Weg  $w_1$  wird ein Hindernis gebracht.  
Erläutern Sie daran das Prinzip der „wechselwirkungsfreien“ Messung.
- Es wird die Behauptung aufgestellt: Ein Photon spaltet sich an einem der halbdurchlässigen Spiegel in zwei Teile auf.  
Entwerfen Sie ein Experiment, mit dem Sie diese Behauptung testen können.
- In beide Teilwege  $w_1$  und  $w_2$  wird jeweils ein Polarisator gebracht.  
Beschreiben und begründen Sie die Beobachtung, wenn die beiden Polarisationsrichtungen parallel zueinander ausgerichtet sind.  
Beschreiben und begründen Sie die Beobachtung, wenn die beiden Polarisatoren senkrecht zueinander – also unter  $-45^\circ$  bzw.  $+45^\circ$  - gestellt werden.  
Beschreiben und begründen Sie die Beobachtung, wenn man direkt vor dem Schirm einen dritten Polarisator einbaut und dessen Polarisationsrichtung zwischen  $-45^\circ$  und  $+45^\circ$  verdreht.

*Anmerkungen zur Aufgabenstellung:*

Der Schwerpunkt dieser Aufgabe liegt im Bereich der Merkmale von Quantenobjekten. Die Prüflinge sollen unter Beweis stellen, inwieweit sie bekannte verwickelte Gedankengänge zu leicht variierten Situationen der Quantenphysik in Zusammenhängen argumentativ darstellen können. Im Unterricht wurden die Merkmale der Quantenobjekte (Wellenmerkmal, Quantenmerkmal, stochastisches Verhalten, Komplementarität, Nichtlokalität, Verhalten beim Messprozess) am Doppelspalt, am Interferometer oder einer anderen geeigneten Anordnung unterrichtet. Das Mach-Zehnder-Interferometer ist den Prüflingen vom Unterricht her in ähnlichen Argumentationssituationen und Simulationen bekannt. Die Koinzidenzmessung in Aufgabe c) wurde an einer anderen experimentellen Anordnung behandelt.

Vorgesehene Arbeitszeit: 90 min

Erwartungshorizont:

	Lösungsskizze	I	II	III
a)	<p>In allen drei Experimenten spricht immer nur der Sensor A an.</p> <p>Nach der Versuchsskizze gibt es zwei Möglichkeiten (Wege) von der Quelle Q bis zum Sensor B zu kommen:</p> <p>1. Möglichkeit – <math>w_1</math>: Von der Quelle Q (Laser) durch den halbdurchlässigen Spiegel <math>S_1</math> (50% Spiegel), reflektiert am Spiegel <math>S_2</math>, durch den halbdurchlässigen Spiegel <math>S_4</math> (50% Spiegel) in den Sensor B.</p> <p>2. Möglichkeit – <math>w_2</math>: Von der Quelle Q (Laser) reflektiert am halbdurchlässigen Spiegel <math>S_1</math> (50% Spiegel), reflektiert am Spiegel <math>S_3</math>, reflektiert am halbdurchlässigen Spiegel <math>S_4</math> (50% Spiegel) in den Sensor B.</p> <p>Die Wege <math>w_1</math> und <math>w_2</math> sind gleich lang. Die Reflexionen an den Spiegeln und die Durchgänge durch die 50% Spiegel bringen aber – schon aus der Sicht der klassischen Wellenoptik - insgesamt eine Phasendifferenz von <math>\Delta\varphi = \pi</math> zwischen diesen beiden Möglichkeiten. Schon im klassischen Wellenmodell ist zu erwarten, dass sich diese beiden Möglichkeiten gegenseitig auslöschen. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass in B ein Quantenobjekt landet, verschwindet (<math>P_{Q-B}=0</math>); der Sensor B spricht also nie an.</p> <p>Betrachtet man analog die Wege von Q nach A, stellt man fest, dass diese beiden Möglichkeiten (Wege) in Phase liegen – also sich gegenseitig verstärken. Das Quantenobjekt landet mit einer Wahrscheinlichkeit <math>P_{Q-A}=1</math> in A.</p> <p>Wird der Sensor A durch einen Schirm ersetzt, erhält man bei Exp-1 Interferenzringe. Bei Exp-2 erhält man auf dem Schirm „stochastische Treffer“, die im Exp-3 im Laufe der folgenden Experimentierzeit Interferenzringe ausbilden.</p>	6		
b)	<p>Die Photonen landen ohne Hindernisse in A. Blockiert man einen der beiden Wege, dann landen 50% der Quantenobjekte stochastisch verteilt in A oder B. Die restlichen 50% werden vom Hindernis absorbiert. Bei der Variante Exp-1 zeigt der Sensor A die volle Intensität, während der Sensor B nicht anspricht. Bei den Varianten Exp-2 und Exp-3 registriert der Sensor A immer nur Einzelereignisse. Für den Fall im Exp-3, bei dem sich jeweils immer nur ein Photon in der Anlage befindet, ist das ein recht erstaunliches Ergebnis; denn wenn im Sensor B ein Quanten-Treffer registriert wird, dann kann man daraus schließen, dass einer der beiden Teilwege blockiert war. Erstaunlich ist hierbei, dass man diese Information über das Hindernis bekommt, ohne dass das Quantenobjekt „einen Kontakt im klassischen Sinne“ (wechselwirkungsfreie Messung) mit dem Hindernis hatte, sonst wäre es nämlich vom Hindernis absorbiert worden und wäre nicht im Sensor B gelandet.</p>		6	

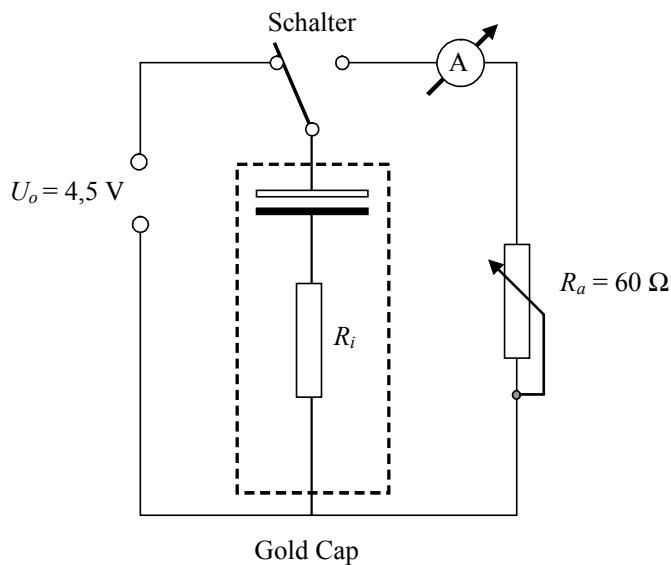
c)	Man kann die Aufspaltung untersuchen, indem man zwei Photosensoren in die beiden Teilstrahlen eines halbdurchlässigen Spiegels stellt, die beiden Photosensoren miteinander verbindet (Koinzidenzmessung) und ein Photon in die Anlage schickt. Man wird dann nicht feststellen, dass beide Sensoren gleichzeitig ansprechen. Es spricht immer nur einer der beiden Sensoren an und er registriert ein „vollständiges Photon“ der Energie $E=h\cdot f$ . Die Vorstellung, dass halbe Photonen die beiden möglichen Wege gehen und dann mit sich selbst interferieren, ist nicht haltbar. Aber schon dieses einzelne Photon „macht Interferenz“ – denn es „meidet“ z.B. das Minimum und trägt so zum Gesamtinterferenzbild bei.			5
d)	<p>Stellt man die Polarisatoren parallel zueinander ein, dann haben alle Photonen die gleiche Polarisationsrichtung und man sieht ein Interferenzbild auf dem Schirm. Nur der Photosensor A spricht an.</p> <p>Stellt man die Polarisatoren senkrecht zueinander, dann wird ein Teil der Photonen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit in dem Polarisator absorbiert – ein anderer Teil wird durchgelassen. Vor dem Auftreffen auf den Polarisator kann den Photonen keine Vorzugsrichtung zugeschrieben werden. Direkt nach dem Polarisator haben die durchgehenden Photonen die Vorzugsrichtung des Polarisators. Sie sind mit dieser Vorzugsrichtung präpariert. Die Interferenz verschwindet auf Grund der „Welche-Weg-Information“.</p> <p>Die beiden Polarisatoren in den Teilwegen stehen nun unter <math>-45^\circ</math> bzw. <math>+45^\circ</math>. Stellt man einen dritten Polarisator z.B. unter <math>-45^\circ</math> vor den Schirm, dann gelangen die Photonen auf den Schirm, die eine Polarisationsrichtung von <math>-45^\circ</math> haben, die anderen Photonen werden absorbiert. Man erhält also kein Interferenzbild. Bei der Stellung <math>+45^\circ</math> erhält man ebenfalls kein Interferenzbild.</p> <p>Stellt man den dritten Polarisator vor dem Schirm so ein, dass seine Polarisationsrichtung unter <math>0^\circ</math> - also exakt symmetrisch zu den Richtungen der beiden anderen Polarisatoren in den Teilwegen steht - , dann sieht man ein Interferenzbild – alle Photonen hinter diesem dritten Polarisator haben die gleiche Polarisationsrichtung. In den Zwischenstellungen sieht man einen kontinuierlichen Übergang. Die „Welche-Weg-Information“ ist gelöscht.</p>	2	4	5
	Insgesamt 30 BWE	10	15	5

## 1.2 Weitere Beispiele für das Leistungskursfach

### 1.2.1 Gold Cap als Energiespeicher

Ein „Gold Cap“ ist ein Kondensator mit sehr hoher Kapazität, der sich durch eine kleine Baugröße auszeichnet. Auf einem handelsüblichen Gold-Cap-Kondensator findet man die Aufschrift: „Gold Cap 5 V 1 F“.

In der folgenden Schaltung wird der Gold-Cap-Kondensator aufgeladen; anschließend wird der Schalter umgelegt.



- a) Berechnen Sie die Plattenfläche eines Plattenkondensators, der bei einem Plattenabstand von  $10 \mu\text{m}$  und einer Dielektrizitätskonstanten von 100 die Kapazität von  $1,0 \text{ F}$  hat.
- b) Während der Entladung werden folgende Messwerte am Strommessgerät, dessen Innenwiderstand vernachlässigbar klein angenommen wird, abgelesen:

Zeit $t$	0 s	10 s	30 s	50 s	70 s	90 s
Stromstärke $I(t)$	38,0 mA	34,9 mA	29,4 mA	24,9 mA	21,1 mA	17,8 mA

Zeichnen Sie das zugehörige  $t$ - $I$ -Diagramm und zeigen Sie, dass der Innenwiderstand des Gold-Cap  $58 \Omega$  beträgt.

- c) Zeigen Sie, dass die obigen Messwerte mit der Formel  $I(t) = I_0 \cdot e^{-k \cdot t}$  verträglich sind. Bestätigen Sie mit den vorliegenden Daten den Zusammenhang:  $k = \frac{1}{(R_i + R_a) \cdot C}$ .
- d) Wenn man den Computer ausschaltet, versorgt bei einigen Computertypen ein Akkumulator gewisse Speicherbausteine mit einer Versorgungsspannung, damit die darin gespeicherten Daten nicht verloren gehen. Man möchte nun einen defekten Akkumulator durch einen Gold-Cap-Kondensator mit der Kapazität  $1,0 \text{ F}$  ersetzen. Berechnen Sie die Zeit, bis die Anfangsspannung von  $5,0 \text{ V}$  an einem Gold-Cap-Kondensator auf  $3,5 \text{ V}$  abgesunken ist, wenn der Speicherbaustein einen Widerstand von  $4,8 \text{ M}\Omega$  hat.

*Anmerkungen zur Aufgabenstellung:*

Das Aufgabenbeispiel ist gekennzeichnet durch seinen Bezug zur Technik und überprüft Kompetenzen zur Auswertung von Experimenten.

Unterrichtliche Voraussetzungen:

Grundkenntnisse zum Kondensator; nur qualitativer Verlauf der Entladungskurve eines Kondensators; keine mathematische Behandlung oder Diskussion des oben angegebenen funktionalen Zusammenhangs  $I(t)$ .

Vorgesehene Bearbeitungszeit: 90 Minuten

Erwartungshorizont:

	Lösungsskizze	I	II	III
a)	$A = \frac{C \cdot d}{\epsilon_r \cdot \epsilon_0} = \dots = 1,1 \cdot 10^4 \text{ m}^2$	3		
b)	Zeichnung des $t$ - $T$ -Diagramms Ansatz: $\frac{U_0}{I(0)} = R_i - R_a$ Daraus folgt: $R_i = 58 \Omega$	2	4	3
c)	Bestätigung der Verträglichkeit über das $t$ - $\ln(I/I_0)$ -Diagramm oder durch Berechnung der Werte für $k$ für die einzelnen Messwertpaare. Bestätigung des Zusammenhangs mit Berechnung auf der Grundlage von Messwerten $k = -\frac{1}{t} \cdot \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = \dots = 8,5 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{s}}$ und mit den Daten der Bauteile $k = \frac{1}{(R_i + R_a) \cdot C} = \dots = 8,5 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{s}}$ .		5	
d)	Aus $U(t) = R \cdot I(t) = R \cdot I_0 \cdot e^{\frac{-t}{(R+R_i)C}} \approx R \cdot I_0 \cdot e^{\frac{-t}{R \cdot C}}$ erhält man $t = -R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{U(t)}{U_0}\right) = \dots = 20 \text{ Tage}$		7	
	Insgesamt 30 BWE	5	22	3

### 1.2.2 Elektromagnetische Induktion mit Modellbildung

Sie erhalten Abbildungen von drei Schaltungen mit Messergebnissen und folgende Aufgabenstellungen:

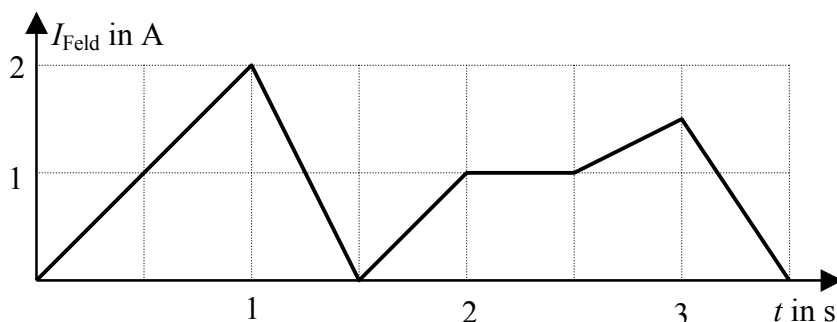
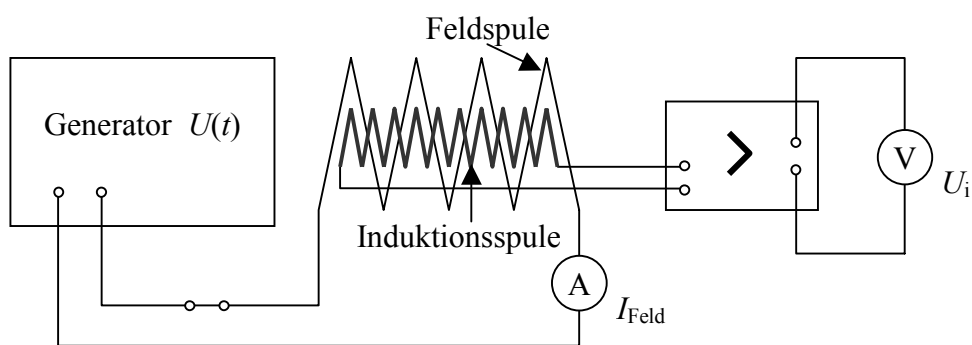
- a) Stellen Sie für Schaltung 1 sowohl den zeitlichen Verlauf der magnetischen Feldstärke für den Innenraum der Feldspule in einem  $B(t)$ -Diagramm als auch den zeitlichen Verlauf der Induktionsspannung  $U_i$  in einem  $U_i(t)$ -Diagramm dar.



- b) Entwickeln Sie mit Hilfe des Modellbildungssystems ein Modell, das den Ein- und Ausschaltvorgang in der Schaltung 2 beschreibt. Stellen Sie für den Ein- und Ausschaltvorgang die in der Spule induzierte Spannung sowie den durch die Spule fließenden Strom grafisch dar. Erläutern Sie deren zeitlichen Verlauf anhand geeigneter Gleichungen.
- c) Erläutern Sie ausgehend von den Abbildungen 1 und 2 das Funktionsprinzip der Schaltung 3.
- d) Ermitteln Sie aus Abbildung 2 die zeitliche Änderung  $\frac{\Delta I}{\Delta t}$  des Stromes, der bei durchgeschaltetem Transistor durch das ohmsche Bauelement mit dem Widerstand  $1 \Omega$  fließt. Berechnen Sie hiermit die Induktivität der Primärspule des Transformators.
- e) Der Transistor wechselt in den nichtleitenden Zustand. Berechnen Sie die vor dem Wechsel in der Spule gespeicherte Energie sowie die mittlere Leistung, die das ohmsche Bauelement mit dem Widerstand von  $100 \text{ k}\Omega$  umsetzen muss.

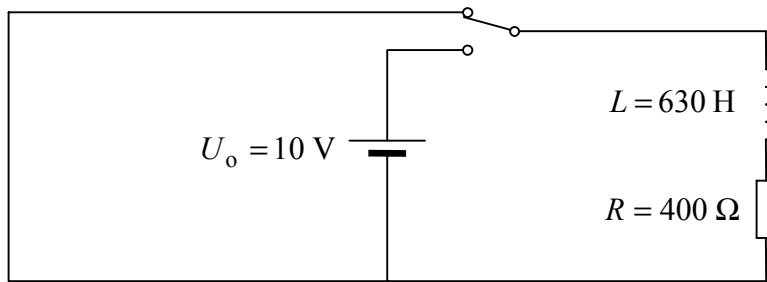
*Schaltung 1: Induktionsspannung*

Eine Feldspule (Windungszahl  $N_F = 2000$ , Länge  $l = 30 \text{ cm}$ ) wird von einem Strom durchflossen, dessen zeitlicher Verlauf im Diagramm unten dargestellt ist. In der Feldspule befindet sich achsenparallel eine Induktionsspule gleicher Länge (Windungszahl  $N_I = 1000$ , Inhalt der Querschnittsfläche  $A = 25 \text{ cm}^2$ ), die über einen Messverstärker an ein Voltmeter angeschlossen ist.



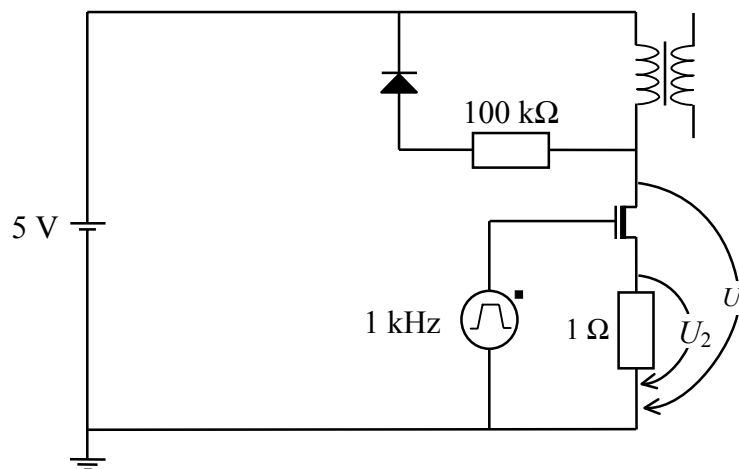
*Schaltung 2: Ein- und Ausschaltvorgänge*

Gegeben ist die folgende Serienschaltung von Spule und ohmschem Bauelement.



*Schaltung 3: Netzteil*

Für die Energieversorgung tragbarer Geräte ist ein kleines, leichtes Netzteil (Schaltnetzteil) erforderlich. Die folgende Schaltung zeigt das Prinzip eines Schaltnetzteils ohne Belastung.



In der folgenden Abbildung 1 ist der zeitliche Verlauf der Spannung  $U_1$  am Transistor und in Abbildung 2 der zeitliche Verlauf der Spannung  $U_2$  am ohmschen Bauelement dargestellt.

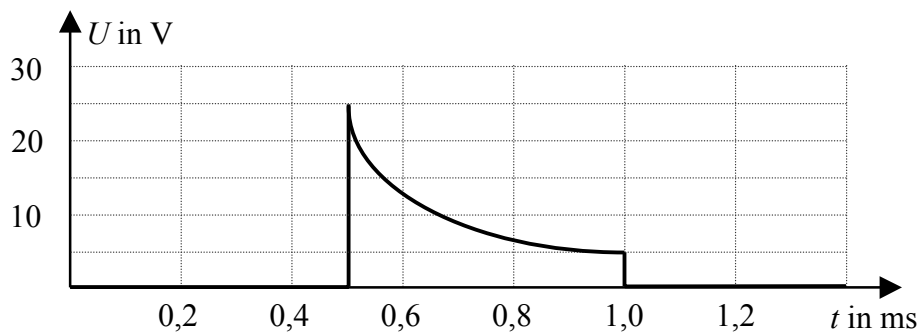


Abbildung 1

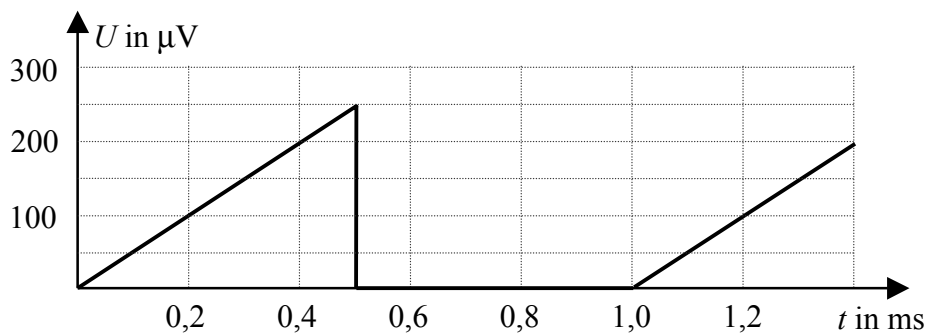


Abbildung 2

*Anmerkungen zur Aufgabenstellung:*

Das Aufgabenbeispiel ist gekennzeichnet durch die Variation der Arbeitsmethoden zu einem bestimmten Gebiet unter Einsatz eines Modellbildungssystems.

*Unterrichtliche Voraussetzungen:*

Die Prüflinge haben Erfahrungen in der Anwendung eines Modellbildungssystems sowie im Erschließen von Schaltbildern.

*Zusätzliche Hilfsmittel:*

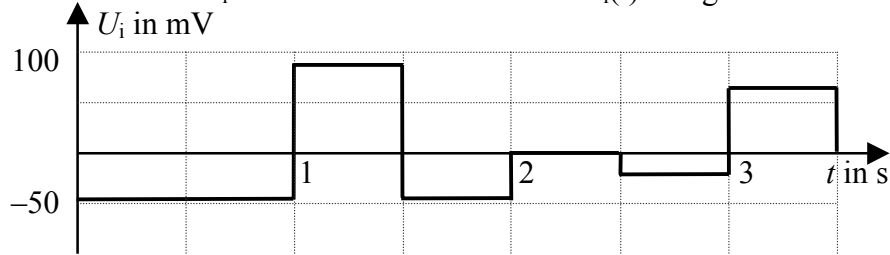
PC mit Modellbildungssystem

*Vorgesehene Bearbeitungszeit:* 150 min

*Erwartungshorizont:*

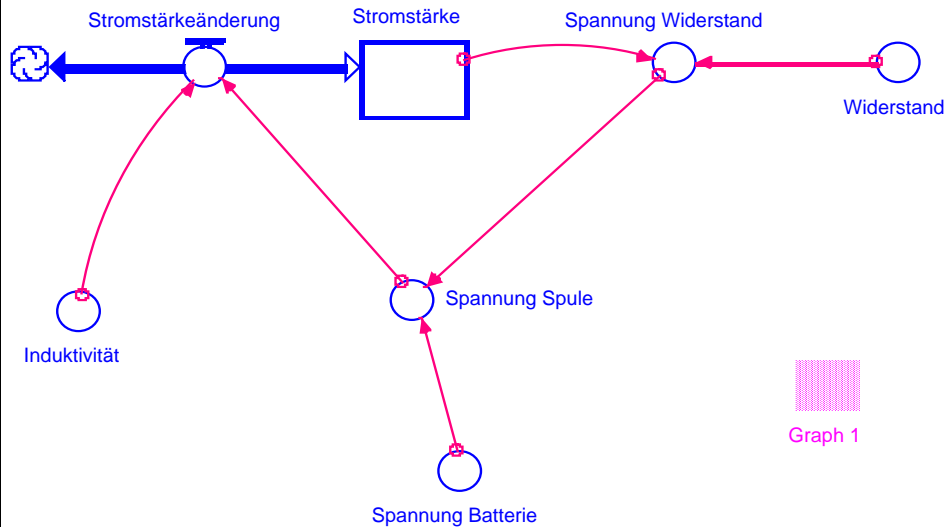
Lösungsskizze		I	II	III
a)	Berechnen von $B$ -Werten und Zeichnen des $B(t)$ -Diagramms 	5		

Berechnen von  $U_i$ -Werten und Zeichnen des  $U_i(t)$ -Diagramms



5

b) Entwickeln des Modells und Erzeugen des Diagramms z. B. mit STELLA



$\text{Stromstärke}(t) = \text{Stromstärke}(t - dt) + (\text{Stromstärkeänderung}) * dt$   
 INIT Stromstärke = 0 {A}

INFLOWS:

$\text{Stromstärkeänderung} = \text{Spannung\_Spule} / \text{Induktivität}$

$\text{Induktivität} = 630 \text{ {H}}$

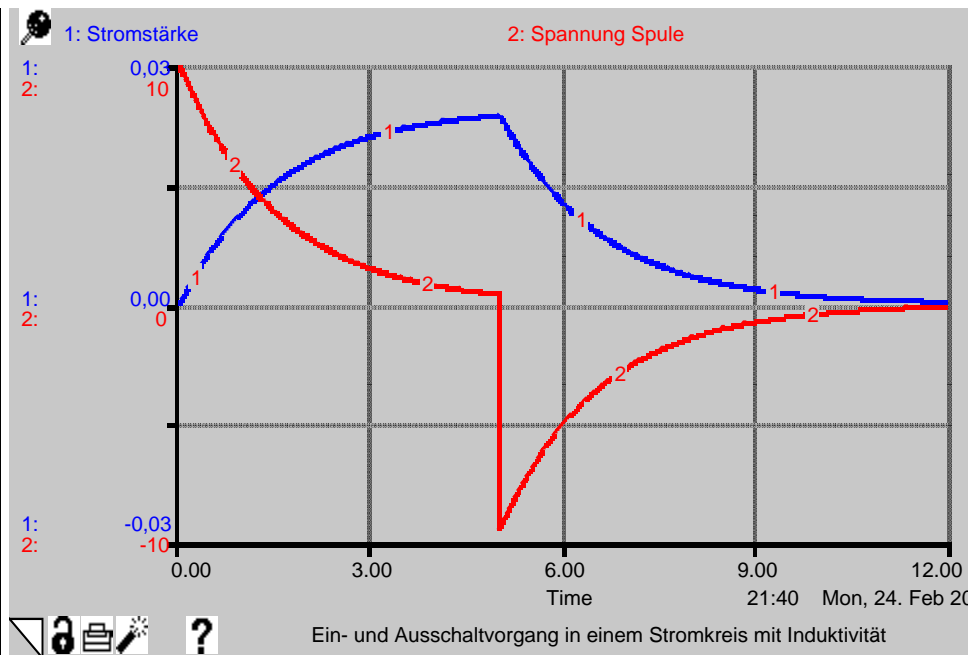
$\text{Spannung\_Batterie} = \text{IF TIME} < 5 \text{ THEN } 10 \text{ {V}} \text{ ELSE } 0 \text{ {V}}$

$\text{Spannung\_Spule} = \text{Spannung\_Batterie} - \text{Spannung\_Widerstand}$

$\text{Spannung\_Widerstand} = \text{Stromstärke} * \text{Widerstand}$

$\text{Widerstand} = 400 \text{ {\Omega}}$

6



4

Wird der Schalter geschlossen (10V liegen über Spule und Widerstand), so ändert sich die elektrische Stromstärke mit der Änderungsrate  $\frac{dI}{dt}$ . Da-

durch wird eine Induktionsspannung  $L \cdot \frac{dI}{dt}$  in der Spule erzeugt. Über dem Widerstand fällt die Spannung  $I \cdot R$  ab. Somit gilt nach der Kirchhoff'sche Maschenregel:  $U_0 - I \cdot R - L \cdot \frac{dI}{dt} = 0$ .

4

Am Anfang ist  $I(t) = 0$  und die Induktionsspannung damit gleich der Batteriespannung. Die Änderungsrate der Stromstärke ist dann  $\left(\frac{dI}{dt}\right)_0 = \frac{U_0}{L}$ .

1

Steigt die Stromstärke an, so wird der Spannungsabfall  $I \cdot R$  größer, die Stromstärke nimmt langsamer zu. Mit  $I(t) > 0$  beträgt die Änderungsrate

$$\frac{dI}{dt} = \frac{U_0 - I \cdot R}{L}$$

1

Die elektrische Stromstärke nimmt noch zu, ihre Änderungsgeschwindigkeit nimmt jedoch ab. Den Endwert des Stromes erhält man, indem man

$$\frac{dI}{dt} = 0 \text{ setzt. Daraus folgt: } I_e = \frac{U_0}{R}$$

2

Ähnliche Argumentation für geöffneten Schalter, ausgehend von der Maschenregel  $-I \cdot R - L \cdot \frac{dI}{dt} = 0$ .

3

c) Der Impulsgenerator schaltet den Transistor 1000 mal pro Sekunde durch, d. h. der Transistor wird im Wechsel für 0,5 ms ein- und ausgeschaltet.

2

	Wechselt der Transistor in den leitenden Zustand, so liegt der Anfang eines Einschaltvorganges wie bei Teilaufgabe b) vor. Da der Zeitabschnitt sehr klein ist, steigt die Spannung über dem ohmschen Bauelement mit dem Widerstand $1 \Omega$ nahezu linear auf $0,25 \text{ mV}$ an. Die Spannung an der Primärspule beträgt dann $U_S \cong 5 \text{ V}$ , da die Spannung am ohmschen Bauelement gegenüber der Batteriespannung vernachlässigt werden kann. Wechselt der Transistor in den nichtleitenden Zustand, so addiert sich die Induktionsspannung zur Batteriespannung. Die Diode wird leitend und die in der Spule gespeicherte Energie wird im ohmschen Bauelement mit dem Widerstand $100 \text{ k}\Omega$ umgewandelt.			3	
				3	
d)	Über $U = R \cdot I$ lässt sich $\Delta U = 0,25 \text{ mV}$ in $\Delta I = 0,25 \text{ mA}$ umrechnen. Damit folgt: $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 0,5 \frac{\text{A}}{\text{s}}$ . Mit $U_S = L \cdot \frac{dI}{dt}$ folgt: $L = \frac{U_S}{\frac{dI}{dt}} = \frac{5\text{V}}{0,5 \frac{\text{A}}{\text{s}}} = 10\text{H}$ .		2		
				3	
e)	$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 = 0,3125 \mu\text{J}$ Die in der Spule gespeicherte Energie wird im ohmschen Bauelement mit dem Widerstand $100 \text{ k}\Omega$ umgewandelt. In $1 \text{ s}$ werden $1000$ Impulse zu je $0,3125 \mu\text{J}$ umgesetzt. Die Leistung muss daher $P = 0,3125 \text{ mW}$ betragen.		2		
					4
Insgesamt 50 BWE			20	24	6

### 1.2.3 Schwingungen und Chaos

Sie führen ein Schwingungsexperiment durch und erhalten Abbildungen diverser Schwingungsanordnungen mit entsprechenden Messdaten zur Auswertung.

- a) Die Experimentieranordnung in Abbildung 1 zeigt einen Wagen der Masse  $m$  an einer Feder auf einer schiefen Ebene mit dem Neigungswinkel  $\alpha$ . Die ungedehnte Feder hat die Länge  $l_0$ , die Federkonstante ist  $D$ .  
Entwerfen und beschreiben Sie ein Verfahren, mit dem man mit dem beigelegten Material (Feder, Lineal, Stoppuhr, Massestücke) die Federkonstante  $D$  bestimmen kann.  
Leiten Sie entsprechende Gleichungen her, experimentieren Sie und bestimmen Sie  $D$ .  
Die Tabelle 1 zeigt die Modellierung mit einem Modellbildungssystem für verschiedene Reibungskoeffizienten  $R$ . Ermitteln Sie experimentell den besten Reibungskoeffizienten.  
Nennen Sie die Differenzialgleichung für den Reibungsfall einmal mit allgemeinen Parametern und einmal mit konkreten Werten.
- b) Der Wagen in Abbildung 2 mit der Masse  $m = 1,0 \text{ kg}$  rollt von  $s_0 = 0,60 \text{ m}$  die schiefe Ebene mit dem Neigungswinkel  $\alpha = 30^\circ$  herab, trifft auf die Feder der Länge  $l_0 = 0,40 \text{ m}$ . Die Kurve 1 in Abbildung 4 zeigt das mit dem Modellbildungssystem modellierte  $t$ - $s$ -Diagramm für die Federkonstante  $D_1 = 50 \text{ N/cm}$ . Die Kurve 2 gehört zu einer anderen Federkonstanten.

Bestimmen Sie die Federkonstante der Feder, die zu Kurve 2 gehört. Als Hilfslinie ist eine Waagrechte für  $s = 0,40$  m empfehlenswert.

Skizzieren Sie qualitativ die  $t$ - $v$ -Diagramme und die Phasendiagramme, die zu den  $t$ - $s$ -Diagrammen in Abbildung 4 gehören.

Beschreiben und begründen Sie die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede zwischen den beiden Bewegungen.

- c) Abbildung 5 zeigt zwei Zeit-Weg-Diagramme des rechten Wagens in Abbildung 3. Die Anfangsbedingungen wurden dabei, so gut es ging, beibehalten.

Begründen Sie das chaotische Verhalten, indem Sie auf die Bedingungen für chaosfähige Systeme eingehen.

Skizzieren Sie qualitativ ein Phasendiagramm zu der Bewegung.

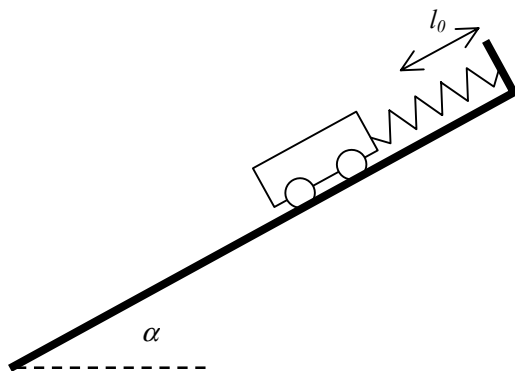


Abbildung 1

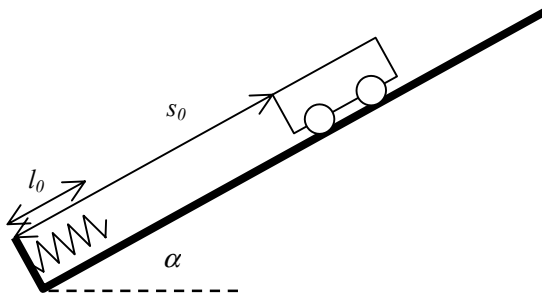


Abbildung 2

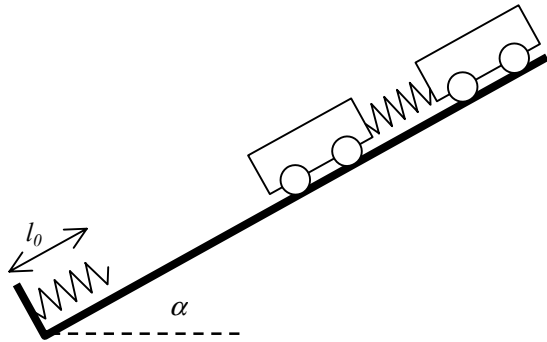


Abbildung 3

	R=0	R=0,3	R=0,6	R=0,9	R=1,2	R=1,5
13:46 Uhr	08.02.1997					
	Table 1: Page 2					
TIME	1: s	2: s	3: s	4: s	5: s	6: s
,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
,20	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
,30	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
,40	-0,03	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01
,50	-0,07	-0,06	-0,05	-0,05	-0,04	-0,03
,60	-0,09	-0,08	-0,07	-0,07	-0,06	-0,05
,70	-0,10	-0,09	-0,08	-0,07	-0,07	-0,06
,80	-0,09	-0,08	-0,07	-0,06	-0,06	-0,05
,90	-0,06	-0,05	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04
1,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
1,10	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
1,20	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
1,30	0,09	0,08	0,06	0,06	0,04	0,03
1,40	0,10	0,08	0,07	0,05	0,04	0,04
1,50	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
1,60	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
1,70	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1,80	-0,04	-0,03	-0,02	-0,01	-0,01	-0,00
1,90	-0,07	-0,05	-0,04	-0,03	-0,02	-0,01
2,00	-0,10	-0,07	-0,05	-0,04	-0,03	-0,02
2,10	-0,10	-0,07	-0,05	-0,04	-0,03	-0,02
2,20	-0,08	-0,06	-0,04	-0,03	-0,02	-0,02
2,30	-0,05	-0,04	0,03	-0,02	-0,02	-0,01
2,40	-0,00	-0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
2,50	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01
2,60	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01
2,70	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01
2,80	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01
2,90	0,08	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01
Final	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
Reibungszahlen: (1)						



Tabelle 1

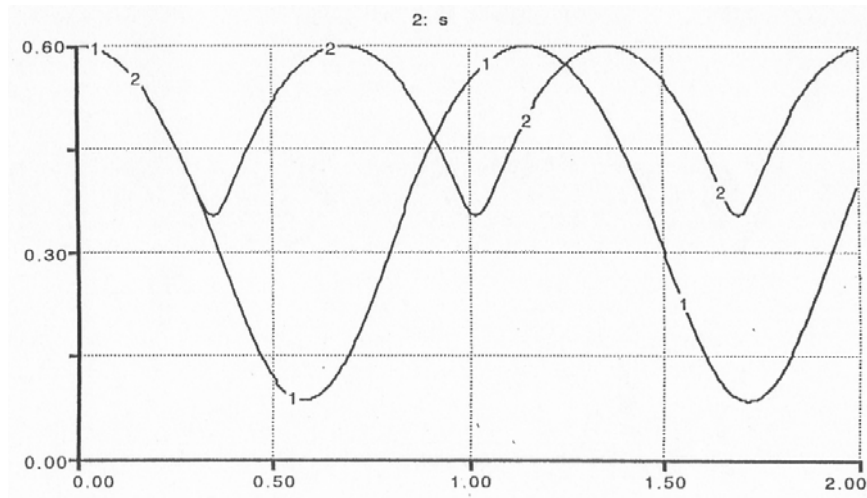


Abbildung 4

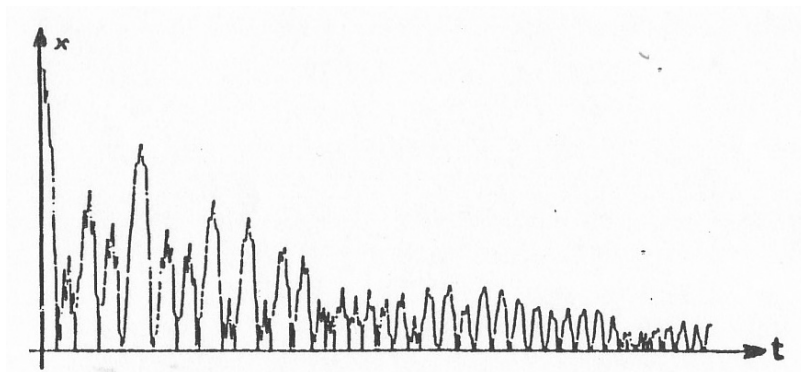


Abbildung 5a

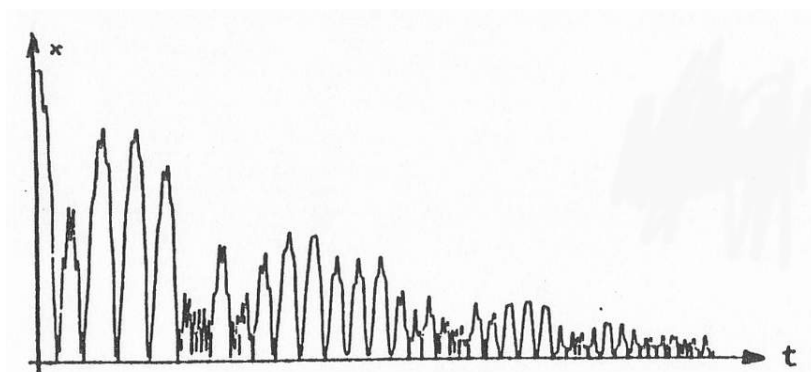


Abbildung 5b

*Anmerkungen zur Aufgabenstellung:*

Das Aufgabenbeispiel behandelt ein Thema der modernen Physik in Verbindung mit klassischen Fragestellungen.

Das Experiment zum Ausmessen und die Experimentiermaterialien befinden sich im bewachten Nebenraum, wo die Prüflinge einzeln in angemeldeter Reihenfolge ihre Experimente durchführen können.

*Unterrichtliche Voraussetzungen:*

Das Themengebiet *Nichtlineare dynamische Systeme und Chaos* wurde unterrichtlich anhand schwingungsfähiger Systeme behandelt und mit Modellbildungssysteme modelliert. Die Bedingungen chaosfähiger Systeme wurden intensiv behandelt und der Umgang mit Phasendiagrammen wurde im Unterricht geübt.

*Zusätzliche Hilfsmittel:*

Experimentiermaterial (Feder, Lineal, Stoppuhr, Massestücke)

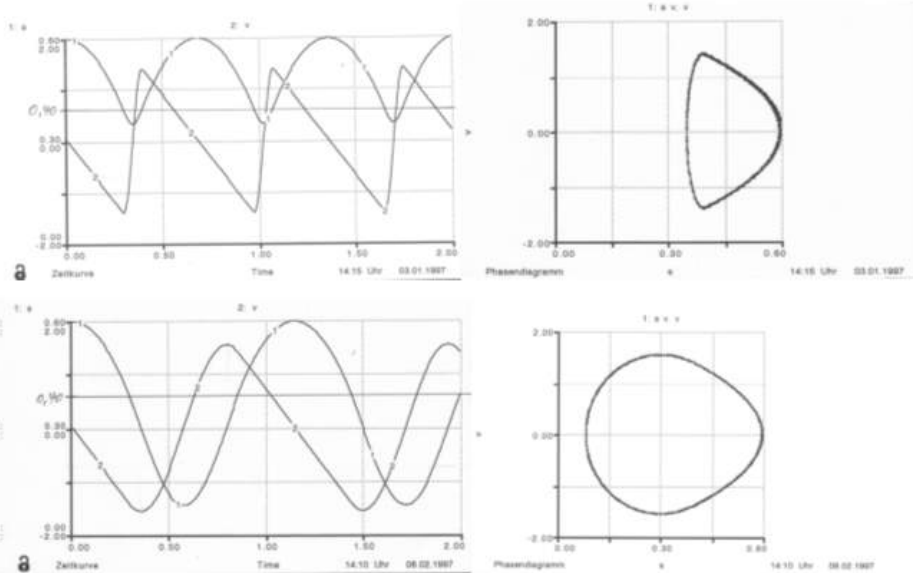
*Vorgesehene Bearbeitungszeit:* 150 min

*Erwartungshorizont:*

	Lösungsskizze	I	II	III
a)	<p>Erfindung und Beschreibung eines geeigneten Verfahrens über die Messung der Schwingungsdauer oder über die Auslenkung aus der Ruhelage.</p> <p>Herleitung einer entsprechenden Formel <math>D = \frac{F}{l - l_0}</math> oder <math>D = \frac{4\pi^2 \cdot m}{T^2}</math> und Berechnung von D.</p> <p>Aus der Tabelle kann man die Schwingungsdauer <math>T = 1,4</math> s entnehmen und die experimentellen Amplitudenabnahmen legen im Vergleich mit den Tabellenwerten ergeben einen Reibungskoeffizienten von <math>R = 0,6</math> Ns/m.</p> <p><math>m \cdot \ddot{s} + R \cdot \dot{s} + D \cdot s = 0</math></p> <p><math>0,153 \text{ kg} \cdot \ddot{s} + 0,6 \frac{\text{Ns}}{\text{m}} \cdot \dot{s} + 3,3 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot s = 0</math>, wobei <math>s</math> die Auslenkung der Schwingung um die Ruhelage ist, sonst muss <math>m \cdot g \cdot \sin 30^\circ</math> addiert werden.</p>	6	6	
b)	<p>Die maximale Spannenergie der Feder (im Umkehrpunkt) ist gleich der Differenz der Höhenenergien:</p> $\frac{1}{2} \cdot D \cdot (l_0 - s)^2 = m \cdot g \cdot (s_0 - s) \cdot \sin \alpha$ <p>Daraus folgt <math>D \sim \frac{s_0 - s}{(l_0 - s)^2}</math></p> <p>Aus Abbildung 4 können folgende Werte entnommen werden:</p> <p>Feder</p> <p><math>s_0 - s</math></p> <p><math>l_0 - s</math></p> <p>1</p> <p>0,51 m</p> <p>0,32 m</p> <p>2</p> <p>0,25 m</p> <p>0,05 m</p>	3	5	2

Damit ergibt sich für die Federkonstante von Feder 2:

$$D_2 = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot \frac{0,25}{0,50} \cdot \frac{0,32^2}{0,05^2} = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Für  $s > l_0$  liegen bei beiden Federn die gleiche freie Bewegung auf der schiefen Ebene mit konstanter Verzögerung, gleiche Steigung für  $v(t)$  und gleiche Parabelbögen für  $s(t)$  vor.

Für  $s < l_0$  ist die Phase des Zusammendrückens der Feder 2 länger und die Beschleunigung geringer. Die Steigung beim Graphen von  $v(t)$  ist geringer. Diese Feder ist weicher.

Die maximalen Geschwindigkeiten sind bei beiden Federn gleich, da sie nur durch die Beschleunigung vor der Berührung mit der Feder bestimmt wird.

c) Bedingungen für chaosfähige Schwingungssysteme:

- nichtlinear, damit das starke Kausalitätsprinzip verletzt ist
- mindestens drei Freiheitsgrade, damit es bei den Trajektorien im Phasenraum keine Überschneidungen gibt, die der Determinismus verbietet.

Die Nichtlinearität bewirkt, dass

- das System „außer Tritt“ kommen kann und „stolpert“
- kleine Einflüsse große Wirkungen (sensitive Abhängigkeit von Anfangsbedingungen und Störungen) haben können
- Amplitude und Frequenz gekoppelt werden.

Bei dem vorliegenden System liegt die Nichtlinearität in der sprunghaften Änderung der Bewegung beim Berühren der Feder. Das Doppelwagensystem hat drei Freiheitsgrade: Jeder Wagen bringt zwei Freiheitsgrade mit und die Energieerhaltung verringert die Zahl auf drei.

Skizze des Phasendiagramms

Insgesamt 50 BWE

4

4

6

4

2

2

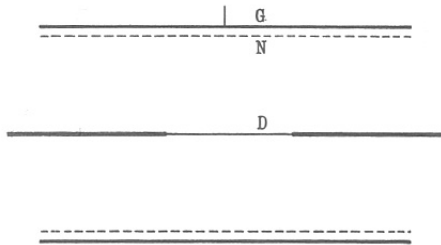
15

27

8

#### 1.2.4 Franck-Hertz-Versuch

Im Jahr 1913 führten J. Franck und G. Hertz Elektronenstoßversuche durch. Ihrer Veröffentlichung fügten sie die nebenstehende Skizze bei. Dazu heißt es im Text:



„[...] D ist ein Platindraht, dessen mittleres Stück dünner ist und durch elektrischen Strom zum Glühen gebracht werden kann. N ist ein feines Platindrahtnetz, welches den Draht D im Abstand von vier Zentimetern zylindrisch umgibt, und G eine zylindrische Platinfolie, welche von N einen Abstand von 1 bis 2 mm hat. [...] Die meisten Ansätze laufen darauf hinaus, daß die Frequenz einer bestimmten Eigenschwingung eines Elektrons multipliziert mit der Konstanten  $h$  gleich der zur Ionisation benötigten Energie gesetzt wird. [...]“.

- Skizzieren Sie die Schaltung des Franck-Hertz-Versuchs, wie er z. B. mit der Quecksilberdampföhre durchgeführt wird. Beschriften Sie alle wesentlichen Teile und zeichnen Sie auch die benötigten Messgeräte ein. Geben sie an, welchen Teilen Ihrer Schaltskizze die Teile D, N und G der Originalveröffentlichung entsprechen.
- Schreiben Sie den letzten Satz des Zitats als physikalische Gleichung. Wie deutet man heute die angesprochene Frequenz? Erläutern Sie, ob die genannte Energie tatsächlich zur Ionisation aufgewendet wird.
- Skizzieren Sie in einem Spannung-Strom-Diagramm eine für den Versuch charakteristische Messkurve. Erklären Sie unter Zuhilfenahme dieses Diagramms die wesentlichen physikalischen Vorgänge. Gehen Sie auch darauf ein, warum die Stromstärke bei steigender Spannung nicht mehr auf Null zurückgeht.
- Entwickeln Sie einen zusätzlichen Versuchsaufbau, mit dem man im Prinzip die Energie eventuell auftretender Strahlung bestimmen kann. Geben Sie dabei die Messgrößen an und legen Sie dar, wie sich hieraus die Energie bestimmen lässt.

#### *Anmerkungen zur Aufgabenstellung:*

Die Aufgabe ist gekennzeichnet durch einen historischen Text zu einem physikgeschichtlich bedeutsamen Experiment und der entsprechenden Deutung. Die Prüflinge müssen hierbei Verbindungen zwischen aktuellen und historischen Versuchsaufbauten und Erklärungsformulierungen herstellen. Der letzte Teil der Aufgabe ist relativ offen formuliert und erlaubt unterschiedliche Lösungsansätze.

*Unterrichtliche Voraussetzungen:*

Aufbau, Durchführung und Deutung des Versuchs mit der Quecksilberdampfzöhre sind im Unterricht behandelt worden. Sowohl Experimente aus der Wellenoptik zur Bestimmung von Wellenlängen als auch Experimente zum Photoeffekt als Grundlage für die Energiebestimmung von Photonen wurden im Unterricht behandelt.

*Vorgesehene Bearbeitungszeit:* 90 min

*Erwartungshorizont:*

	Lösungsskizze	I	II	III
a)	Skizze zum Franck-Hertz-Versuch, wie er im Unterricht durchgeführt wurde; Zuordnung der Bauteile aus dem historischen Versuch.	5	3	
b)	Gleichung $nhf = nE_{ion}$ und deren Deutung; Erläuterungen zur Energie		4	3
c)	Skizze und Erklärung von Maxima; Erklärung, warum Stromstärke nicht auf Null zurückgeht.	5	2	
d)	Es kann z. B. entweder ein Versuch zur Wellenlängenbestimmung durch Gitterbeugung oder über den Photoeffekt beschrieben werden; prinzipielle Versuchsbeschreibung und Auswertung		8	
	Insgesamt 30 BWE	10	17	3

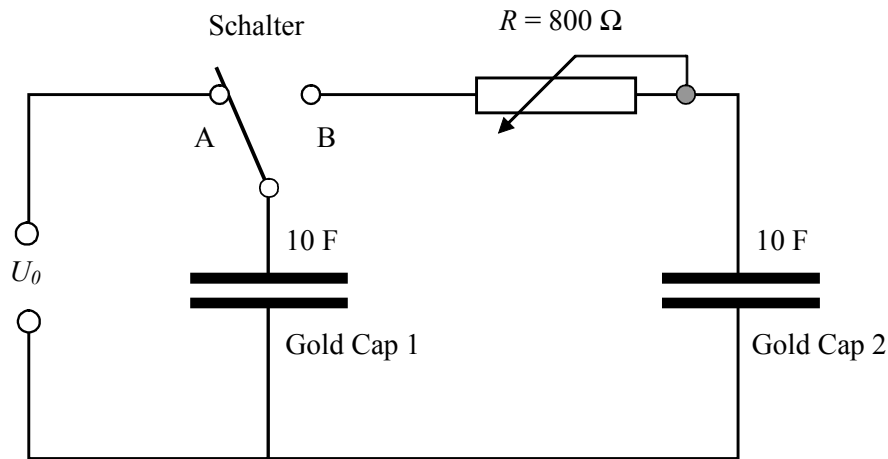
*1.3 Weitere Beispiele für das Grundkursfach*

*1.3.1 Gold-Cap-Umladungen*

Ein „Gold Cap“ ist ein Kondensator mit sehr hoher Kapazität, der sich durch eine kleine Baugröße auszeichnet. Auf einem handelsüblichen „Gold-Cap-Kondensator“ findet man die Aufschrift: „Gold Cap 2.3 V 10F“.

- Berechnen Sie die Plattenfläche eines Plattenkondensators, der bei einem Plattenabstand von 10  $\mu\text{m}$  und einer Dielektrizitätskonstante von 100 die Kapazität von 10 F hat.
- Zwei Kondensatoren dieses Typs sind in der Schaltung eingebaut. Der Schalter befindet sich zunächst in der Stellung „A“.

Nennen und begründen Sie den maximalen Wert, auf den man die Spannung  $U_0$  höchstens einstellen darf um sicherzustellen, dass der Gold Cap nicht zerstört wird.



Abbildung

1

- c) Die Spannung  $U_0$  wird auf 2,0 V eingestellt. Bestimmen Sie die Energie, die dann im elektrischen Feld des Gold-Cap 1 gespeichert ist. Nun wird der Schalter von der Position „A“ in die Position „B“ umgelegt. Berechnen Sie die Spannung, die sich lange Zeit nach der Umlegung des Schalters an den beiden Kondensatoren einstellt. Bestimmen Sie die dann im elektrischen Feld der beiden Kondensatoren gespeicherte Energie.
- d) Zeigen Sie, dass immer dann, wenn die beiden Kapazitätswerte gleich sind, unabhängig von der angelegten Spannung  $U_0$  und dem Wert des Widerstands  $R$  folgendes gilt: Nach dem Umlegen des Schalters sind 50 % der Energie, die zuvor im elektrischen Feld des Gold-Cap 1 gespeichert war, nicht mehr als Energie elektrischer Felder der beiden Kondensatoren vorhanden.
- e) Eine der Stärken der Physik besteht darin, scheinbar völlig verschiedene Teilgebiete der Physik in mathematisch analoger Weise zu beschreiben. In einer dieser Analogien entspricht der Kondensator aus der E-Lehre der Feder in der Mechanik und zu dem obigen Kondensatorversuch passt das folgende mechanische Experiment:

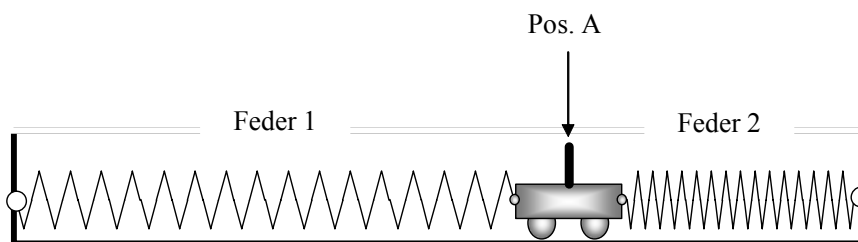


Abbildung 2

In der obigen Anordnung wird der Wagen bei Position A so festgehalten, dass die Feder 1 gespannt, während die Feder 2 gerade entspannt ist; beide Federn sind völlig gleich gebaut.

Zeigen Sie, dass einige Zeit nach dem Loslassen des Wagens genau 50% der Energie, die zuvor in der Feder 1 gespeichert war, nun nicht mehr als Energie in den Federn gespeichert ist.

- f) Erläutern Sie auf der Basis der mechanischen Analogie aus e) die Vorgänge beim Umlegen des Schalters in der elektrischen Anordnung der Abbildung 1.

*Anmerkungen zur Aufgabenstellung:*

Das Aufgabenbeispiel ist gekennzeichnet durch einen aktuellen Technikbezug und fordert vor allem Kompetenzen bezüglich Analogie-Betrachtungen.

*Unterrichtliche Voraussetzungen:*

Grundkenntnisse zum „Kondensator“; Grundkenntnisse zu „mechanischen Schwingungen“.

*vorgesehene Arbeitszeit:* 90 Minuten

*Erwartungshorizont:*

	Lösungsskizze	I	II	III
a)	$A = \frac{C \cdot d}{\epsilon_r \cdot \epsilon_0} = 1,1 \cdot 10^4 \text{ m}^2$	3		
b)	Die Solldaten des Kondensators „Gold Cap 2.3 V 10 F“ sind auf dem Gerät aufgedruckt; die maximal zulässige Spannung, die man an den Kondensator anlegen darf ist demnach 2,3 V; also darf die Spannung $U_0$ höchstens auf diesen Wert eingestellt werden.	1		
c)	$E_A = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot U_0^2 = 20 \text{ J}$ Lange Zeit nach dem Umlegen des Schalters ist die elektrische Ladung, die zuvor im einen Kondensator gespeichert war $Q_A = C_1 \cdot U_0 = 20 \text{ C}$ nun gleichmäßig auf beiden Kondensatoren verteilt. Somit ist dann in jedem Kondensator eine Ladung von 10 C gespeichert und wegen $U = \frac{Q}{C}$ liegt an jedem der beiden Kondensatoren eine Spannung von 1,0 V an. Im elektrischen Feld der beiden Kondensatoren ist nach $E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$ jeweils die Energie von 5 J gespeichert; zusammen also 10 J.	3		
d)	Wenn man den Schalter in die Position B stellt, dann fließt die ursprünglich im Kondensator 1 gespeicherte Ladung zur Hälfte auf den Kondensator 2. Damit sinkt die Spannung am Kondensator 1 auf den halben Wert $U_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q_0}{C_1}$ , während die Spannung am Kondensator 2 auf diesen Wert ansteigt. Nach einiger Zeit liegt an beiden Kondensatoren die halbe Ausgangsspannung. In jedem Kondensator haben befindet sich deshalb jeweils ein Viertel der zuvor vorhandenen Energie, zusammen also nur noch 50% der zuvor vorhandenen Energie. In der hier angestellten Überlegung spielt der veränderliche Widerstand und die speziellen Kapazitäts- oder Spannungswerte keine Rolle.		4	
			6	

e)	Wenn man den Wagen loslässt, beginnt eine Schwingung, die nach einiger Zeit zum Stillstand kommt. In dieser Position ist die Feder 1 gegenüber der Ausgangslage nur noch um die halbe Strecke $\frac{s_0}{2}$ gespannt. Die Feder 2 ist ebenfalls um $\frac{s_0}{2}$ gespannt. Wegen $E = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$ steckt in jeder Feder nur noch ein Viertel der zuvor vorhandenen Energie – zusammen also nur noch 50% der zuvor vorhandenen Energie.				6		
e)	Bei der mechanischen Analogie setzt beim Loslassen des Wagens eine mechanische Schwingung ein; beim Durchgang durch die Ruhelage dieser Schwingung steckt 50% der Energie in den beiden Federn (in jeder Feder ein Viertel der Energie beim Start) und 50% der Energie steckt im Wagen. Die Energie im Wagen geht im Laufe der Schwingung durch Reibung in die Umgebung; 50% der Energie bleibt in der Ruhelage in den Federn zurück. Analog dazu setzt beim Umlegen des Schalters eine elektromagnetische Schwingung extrem hoher Frequenz ein. Wie bei der mechanischen Analogie bleibt hierbei der Energieanteil, der im elektrischen Feld der beiden Kondensatoren steckt (entspricht der Energie, die in den Federn gespeichert ist) erhalten, während der Energieanteil verloren geht, der der Energie des Wagens entspricht. Also bleibt – wie in der mechanischen Analogie – 50% der ursprünglichen Energie erhalten.				7		
Insgesamt 30 BWE					7	16	7

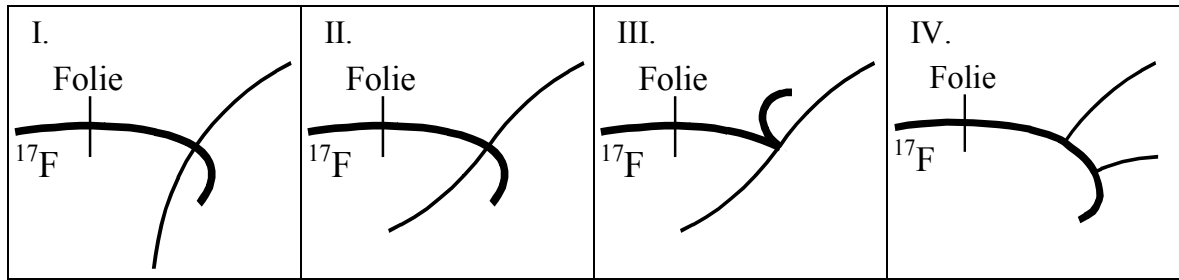
### 1.3.2 Exotischer Kernzerfall

In einem Zeitungsartikel wird von einem „exotischen“ Kernzerfall berichtet:

*„Wie Wissenschaftler [...] in Tennessee berichteten, haben sie einen ungewöhnlichen Kernzerfall mit Hilfe von radioaktivem Fluor-17 entdeckt. Sie beschleunigten Ionen dieses Nuklids auf Energien von einigen Dutzend Megaelektronenvolt und ließen sie auf eine hauchdünne Plastikfolie prallen. Dabei fingen einige der Fluorkerne jeweils ein Proton aus der protonenreichen Folie ein und wandelten sich in Kerne des ebenfalls radioaktiven Neon-18 um. Diese wiederum konnten in Kerne des normalen Sauerstoff-16 zerfallen, indem sie zwei Protonen abgaben.“*

- a) Es wäre denkbar, dass die beiden Protonen nacheinander abgegeben werden. Stellen Sie die zugehörigen Zerfallsgleichungen auf. Zeigen Sie, dass beide Zerfälle unmöglich sind, wenn die Ausgangsatome nicht angeregt sind.
- b) Es besteht auch die „exotische“ Möglichkeit, dass beide Protonen das angeregte Atom  $^{18}\text{Ne}$  gleichzeitig, aber in verschiedene Richtungen verlassen. Entscheiden Sie, bei welchen der Abbildungen I - IV es sich auf keinen Fall um Skizzen von realen Nebelkammeraufnahmen dieses Zerfalls handeln kann, und begründen Sie Ihre Antwort stichhaltig. Gehen Sie dabei davon aus, dass alle beteiligten Teilchen positiv geladen sind und dass senkrecht zur Zeichenebene ein Magnetfeld orientiert ist. Das  $^{17}\text{F}$ -Ion tritt jeweils von links in den Bildbereich ein.





Atommassen:  $m_a(^{16}\text{O}) = 15,994915 \text{ u}$ ,  $m_a(^{17}\text{F}) = 17,002095 \text{ u}$ ,  $m_a(^{18}\text{Ne}) = 18,00571 \text{ u}$ ,  
 $m_a(^1\text{H}) = 1,007825 \text{ u}$

*Anmerkungen zur Aufgabenstellung:*

Die Aufgabe stellt die Verbindung zu einem Forschungsbericht in einer populärwissenschaftlichen Veröffentlichung her. Der Prüfling muss den Text mit Hilfe seiner Kenntnisse aus der Kernphysik interpretieren. Darüber hinaus prüft die Aufgabe die Analysefähigkeit von schematisierten Zeichnungen und das Argumentationsgeschick.

*Unterrichtliche Voraussetzungen:*

Das Aufstellen von Zerfallsgleichungen und die zugehörigen Berechnungen zu Massendefekt und Energiebilanz sind im Unterricht eingehend geübt. Die einzelnen Größen, die Einfluss auf die Bahnformen nehmen, sind bekannt, die vorliegende Kombination der Einflüsse ist ungewöhnlich.

*Vorgesehene Bearbeitungszeit:* 45 min

*Erwartungshorizont:*

Lösungsskizze		I	II	III
a)	$^{18}_{10}\text{Ne} \rightarrow ^1_1\text{H} + ^{17}_9\text{F}$ $\Delta m = 18,00571 \text{ u} - 1,007825 \text{ u} - 17,002095 \text{ u} = -0,00421 \text{ u} \Rightarrow$ endotherme Reaktion $^{17}_9\text{F} \rightarrow ^1_1\text{H} + ^{16}_8\text{O}$ $\Delta m = 17,002095 \text{ u} - 1,007825 \text{ u} - 15,994915 \text{ u} = -0,000645 \text{ u} \Rightarrow$ endotherme Reaktion	1 2 1 2		
b)	Abbildung I nicht möglich: Bahnkrümmung des unteren Teilchens falsch, da beide Protonen Bahnen die gleiche Krümmungsrichtung haben müssen. Abbildung III nicht möglich: Der Impulserhaltungssatz ist verletzt, da die Richtungen der Bahnen von Neon und Sauerstoff beim Zerfall gleich sein müssen, da die Protonen in entgegengesetzte Richtungen fliegen. Abbildung IV nicht möglich: Die Protonen werden im Bild nacheinander emittiert.		3 3	3
Insgesamt 15 BWE		6	6	3

### 1.3.3 Bandgummi

Bestimmen Sie durch Messung und Berechnung die zum Dehnen eines textilen Bandgummis erforderliche Arbeit. Planen Sie das Experiment gemäß den folgenden Aufgaben und fordern Sie beim Aufsicht führenden Lehrer die erforderlichen Geräte und Hilfsmittel an.

- a) Untersuchen Sie experimentell den Zusammenhang zwischen der Dehnungskraft  $F$  und der Dehnung  $\Delta l$  an einem Bandgummi.  
Hinweis: Das Kraftintervall ist so zu wählen, dass bei maximaler Dehnungskraft die Verdopplung der Ausgangslänge des Bandgummis erreicht wird.
- b) Zeichnen Sie das  $F(\Delta l)$ -Diagramm. Entscheiden und begründen Sie, ob für den Bandgummi  $F \sim \Delta l$  gilt.
- c) Ermitteln Sie die Arbeit, die für die Dehnung des Bandgummis auf die doppelte Ausgangslänge aufgewendet werden muss.
- d) Führen Sie eine Fehlerbetrachtung durch. Beurteilen Sie dabei die Genauigkeit der Messwerte sowie der Ergebnisse.

#### *Anmerkungen zur Aufgabenstellung:*

Es handelt sich um eine zusätzliche experimentelle Aufgabe (vgl. I.3.1 Allgemeine Hinweise), die neben dem selbstständigen Experimentieren mit Auswertung und Fehlerbetrachtung auch die Möglichkeit des Nutzens von Rechentechnik bei der Weiterverarbeitung von Messreihen beinhaltet.

#### *Unterrichtliche Voraussetzungen:*

Die Prüflinge verfügen über experimentelle Erfahrungen aus anderen Untersuchungen und haben exemplarisch Regressionsfunktionen für Messreihenauswertungen verwendet.

#### *Zusätzliche Hilfsmittel:*

- Bandgummi (Mindestlänge 15 cm, z. B. textiler Bandgummi der Breite 7 mm mit Drahthaken an beiden Enden)
- Messstab (z. B. 100 cm)
- Hakenkörper und Stativmaterial

*Vorgesehene Bearbeitungszeit:* 45 min

#### *Erwartungshorizont:*

Lösungsskizze		I	II	III
a)	Anfordern geeigneter Geräte und Hilfsmittel	1		
	Aufbau der Experimentieranordnung	2		
	Ermittlung der Messwerte	3		
b)	Diagramm		2	
	Entscheidung und Begründung		2	

c)	Ermitteln der Arbeit (z. B. über Regression und Integration mit einem programmierbaren grafikfähigen Taschenrechner)		3	
d)	Abschätzen der Größe der Messfehler Beurteilung des Fehlereinflusses durch die Regression Beurteilung der Genauigkeit der Ergebnisse		1 1	2
	Insgesamt 17 BWE	6	9	2

## 2 Aufgabenbeispiele für die mündliche Prüfung

Die folgenden Aufgabenbeispiele sind Teile von möglichen Prüfungsaufgaben, die unterschiedliche Vorbereitungs- und Bearbeitungszeiten erfordern. Sie sollen die Eigenart und die besondere Zielsetzung von mündlichen Prüfungen im Unterschied zur schriftlichen Prüfung verdeutlichen.

### 2.1 Analogien zwischen elektrischem und magnetischem Feld

Auf dem Experimentiertisch befinden sich Geräte, die Sie bei der Behandlung von E-Feld und B-Feld kennen gelernt haben (Hier in den Bildern 1-9 dargestellt).

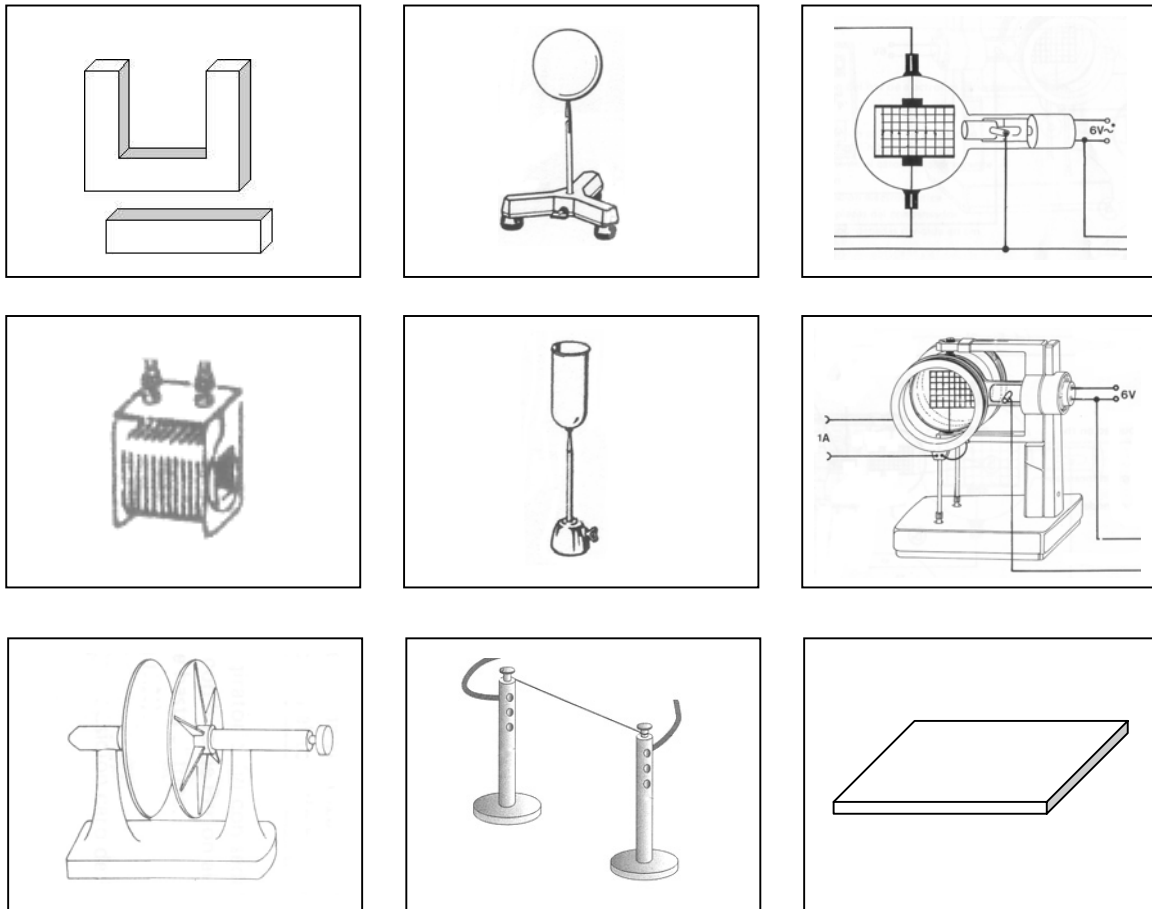
Stellen Sie unter Nutzung der Geräte in einem strukturierten Kurzvortrag die Analogien zwischen dem elektrischen und dem magnetischen Feld dar.

Gehen Sie in Ihrem Vortrag auch auf den Sinn und Zweck der Geräte und auf entsprechende Formeln und Gesetze ein.

#### *Ergänzende Aufgaben für das diskursive Prüfungsgespräch:*

Stellen Sie an selbstgewählten Geräten aus dem Alltag und aus der Technik physikalische Bezüge zu den Geräten auf dem Experimentiertisch her.

Bauen Sie mit den Geräten einen elektrischen Schwingkreis mit möglichst großer Schwingungsdauer auf. Begründen Sie Ihren Aufbau.



## 2.2 Theorie des elektrischen Feldes und Analogien zwischen elektrischem und magnetischem Feld

Bereiten Sie unter Nutzung der Begriffskarten im Briefumschlag einen strukturierten Kurzvortrag zum Thema „Elektrisches Feld“ vor.

Wählen Sie aus den mitgelieferten Bildkarten passende Experimentieranordnungen aus und ordnen Sie diese an passende Stellen in Ihr Begriffsnetz ein.

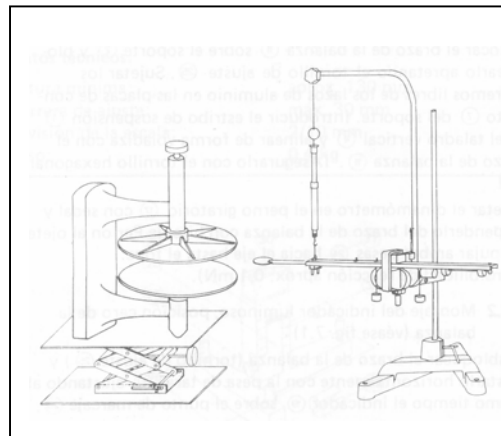
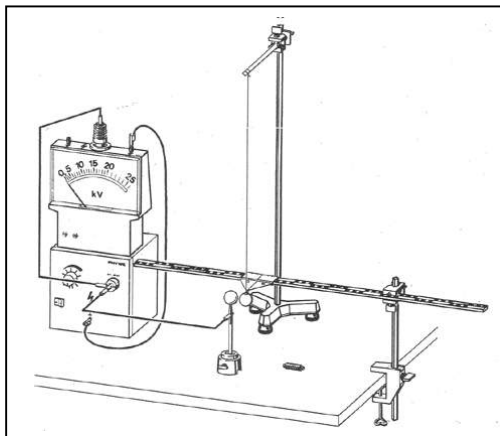
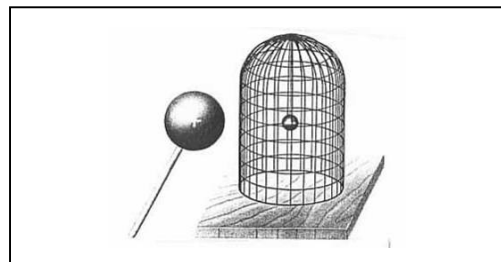
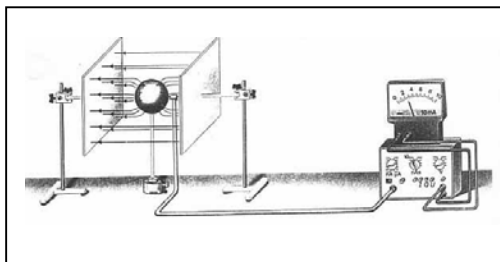
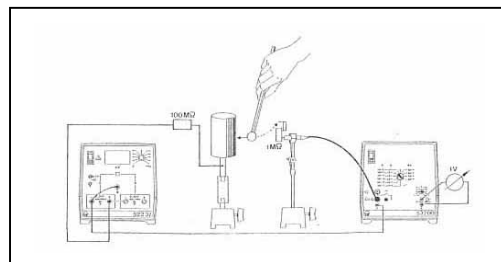
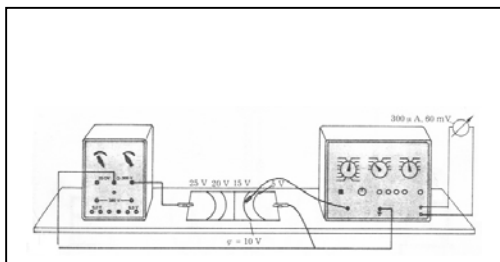
*Ergänzende Aufgaben für das diskursive Prüfungsgespräch:*

Tragen Sie in das Begriffsnetz analoge Begriffe für das magnetische Feld ein und diskutieren Sie die Analogie zwischen dem elektrischen und dem magnetischen Feld.

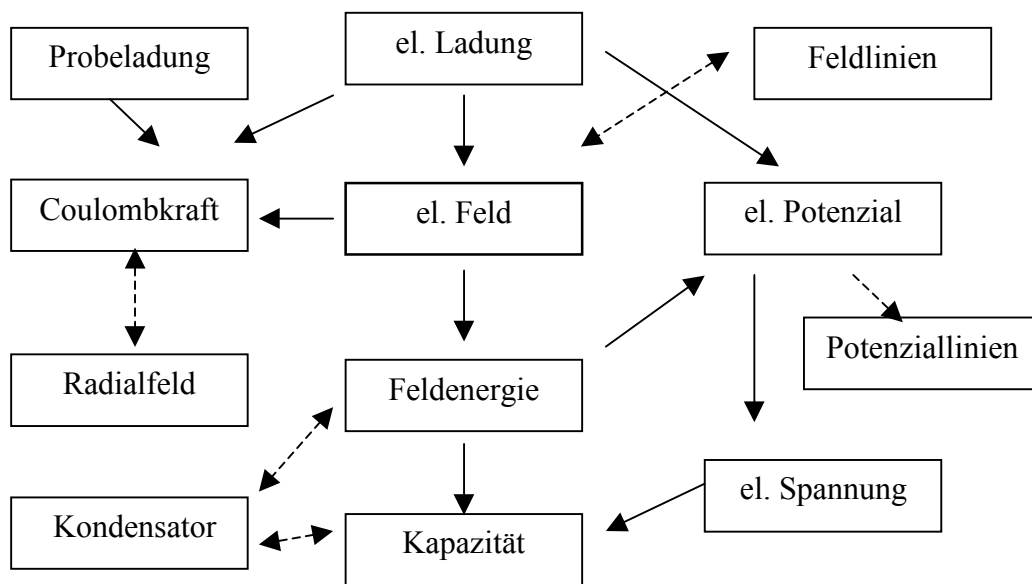
*Begriffskarten:*

el. Ladung	Coulombkraft	el. Feld	Potenziallinien
Feldenergie	el. Potenzial	Radialfeld	el. Spannung
Kapazität	Kondensator	Probeladung	Feldlinien

*Bildkarten:*



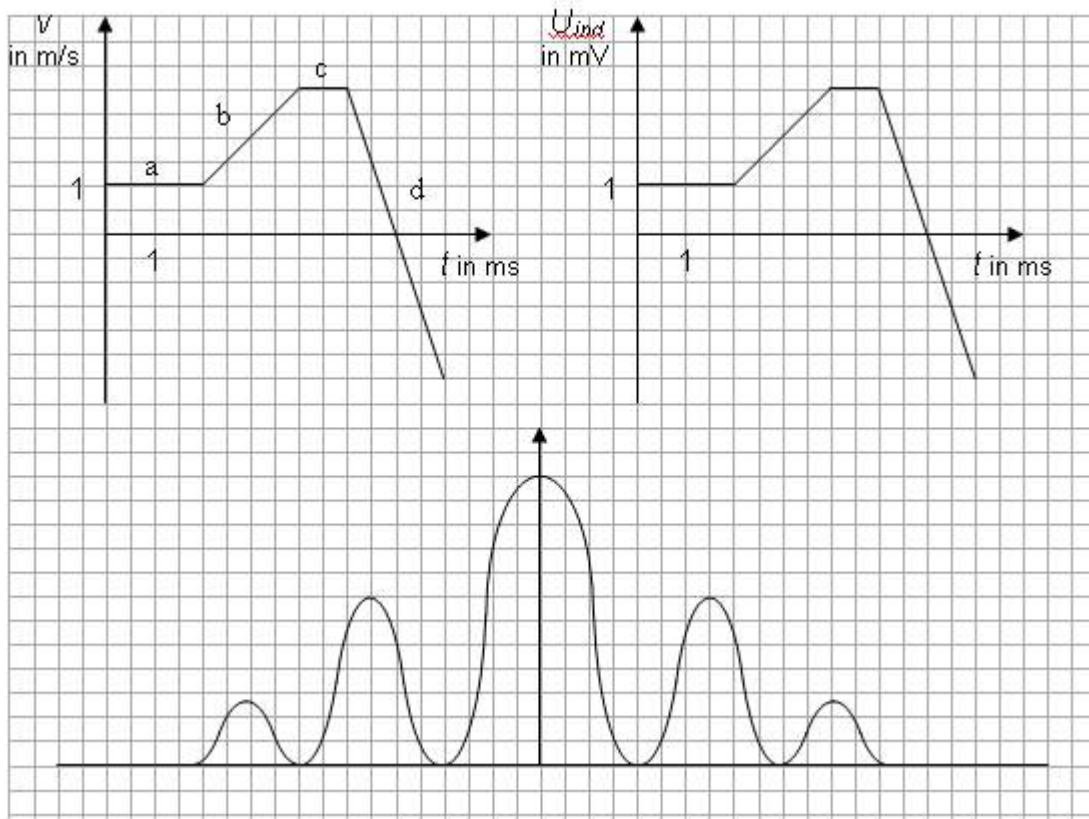
Mögliche Lösung:



### 2.3 Diagramme in der Physik

Diagramme sind in der Physik eine wichtige Darstellungsform, mit denen u. a. physikalische Vorgänge beschrieben werden.

- In Diagramm 1 ist die Bewegung eines Spielzeugautos dargestellt. Sie sollen in der Prüfung die Bewegung des Spielzeugautos vorführen, diese erläutern und das t-s-Diagramm dazu zeichnen.
- Im Diagramm 2 ist ein ganz anderer physikalischer Vorgang dargestellt. Entwerfen Sie dazu mindestens ein passendes Experiment.
- Beschriften Sie in Diagramm 3 die Achsen sinnvoll und beschreiben Sie physikalische Situationen, wo und wie man solch ein Diagramm aufnehmen kann. Erläutern Sie, welche Informationen man dem Diagramm entnehmen kann. Erläutern Sie, wie sich Parameteränderungen in Ihrem gewählten Experiment auf das Aussehen des Diagramms auswirken.



*Ergänzende Aufgaben für das diskursive Prüfungsgespräch:*

Häufig werden in der Physik Vorgänge behandelt, bei denen Ableitungen von Größen eine Rolle spielen. Welche Möglichkeiten bieten dabei Diagramme? Geben Sie ein Beispiel an.

Sie haben während Ihrer Ausbildung häufig Versuche mit Hilfe von Diagrammen ausgewertet. Geben Sie typische Vorgehensweisen und Qualitätsmerkmale an.

#### 2.4 Die Bedeutung der Quantenphysik – Das Bombentest-Experiment

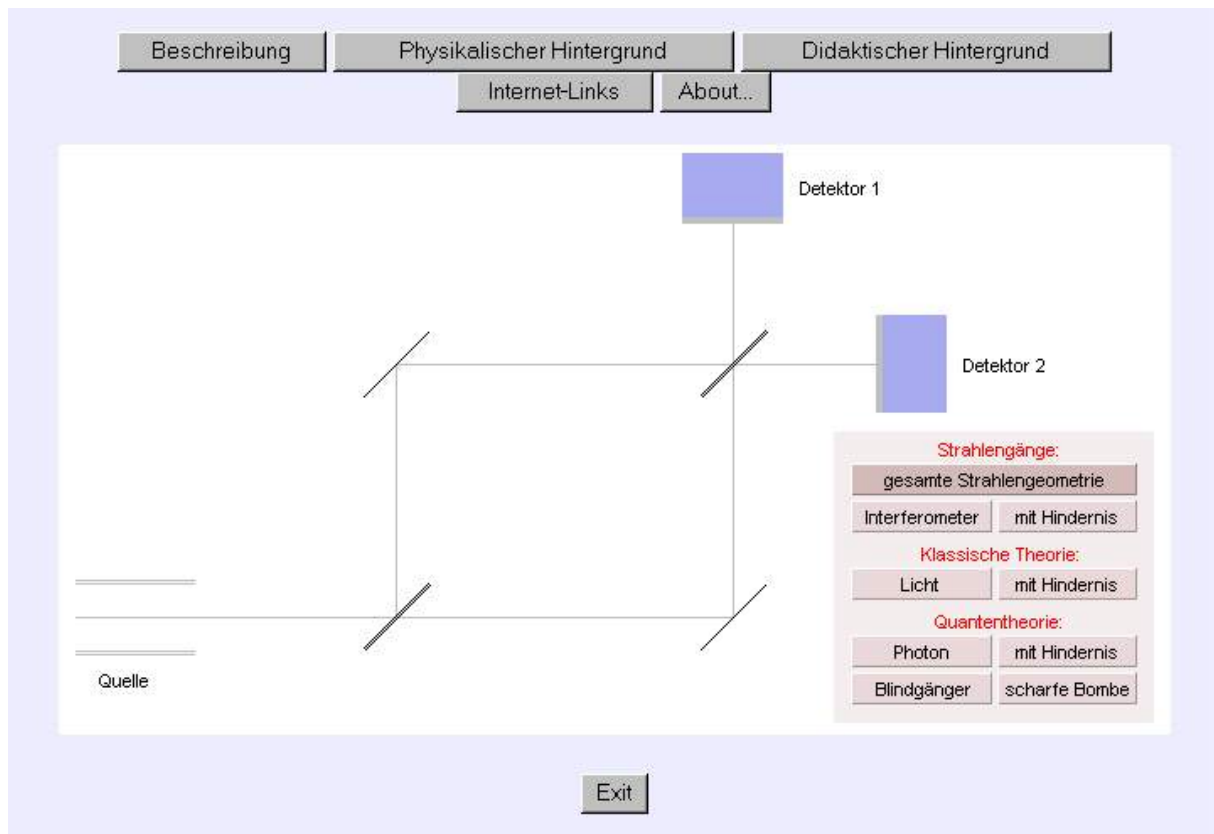
Ihre Aufgabe besteht darin, einen physikalischen Laien von der Bedeutung der Quantentheorie an Hand des Simulationsprogramms „Bombentest-Experiment“ zu überzeugen, das Sie auf dem Notebook finden. (Hinweis: Die oberen Buttons sind nicht aktivierbar.)

Bereiten Sie einen Kurzvortrag vor. Wählen Sie dazu geeignete Module aus und gehen Sie dabei auf die Begriffe *wechselwirkungsfreie Messung* und *Nichtlokalität* ein.

*Ergänzende Aufgaben für das diskursive Prüfungsgespräch:*

Formulieren Sie kommentiert die Wesensmerkmale der Quantentheorie.

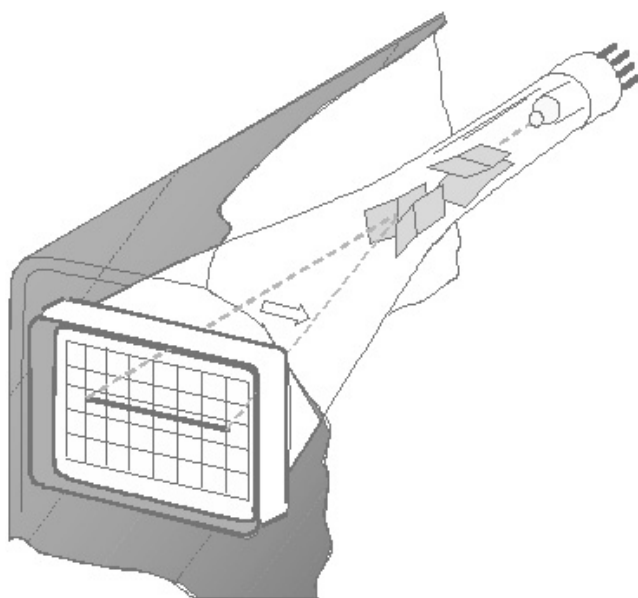
Jemand schließt aus dem Experiment: „Die Nichtlokalität begründet die Telepathie und ermöglicht das Beamen.“ Widerlegen Sie die Aussage mit dem Argument der *Dekohärenz*.



<http://www.univie.ac.at/future.media/qu/quantentheorie.html>

## 2.5 Das Oszilloskop

Ihnen wird eine farbige Folie ausgehändigt. Beschriften Sie diese Folie und erklären Sie ausführlich die Funktion der wesentlichen Bestandteile des Oszilloskops.





*Ergänzende Aufgaben für das diskursive Prüfungsgespräch:*

Es werden dem Prüfling drei Oszilloskopbilder ausgehändigt.

Die Oszilloskopbilder zeigen Kennlinien eines Konstantendrahtes, einer Diode und eines Kondensators. Beschreiben Sie eine mögliche experimentelle Anordnung und deuten Sie die Schirmbilder.

Vergleichen Sie die Oszilloskopröhre mit der Fernsehbirne.

## 2.6 Spalte und Gitter

In der Schale finden Sie einen Einfachspalt, einen Doppelspalt und ein optisches Gitter. Sie dürfen die Leuchtstofflampen im Vorbereitungsraum einschalten.

Bereiten Sie einen strukturierten Kurzvortrag zum Thema „Beugung und Interferenz“ vor. Gehen Sie dabei auch auf folgende Fragestellungen ein:

- Wie funktionieren die vorliegenden Geräte?
- Welches der Geräte ist für die Wellenlängenbestimmung besonders geeignet?

*Ergänzende Aufgaben für das diskursive Prüfungsgespräch:*

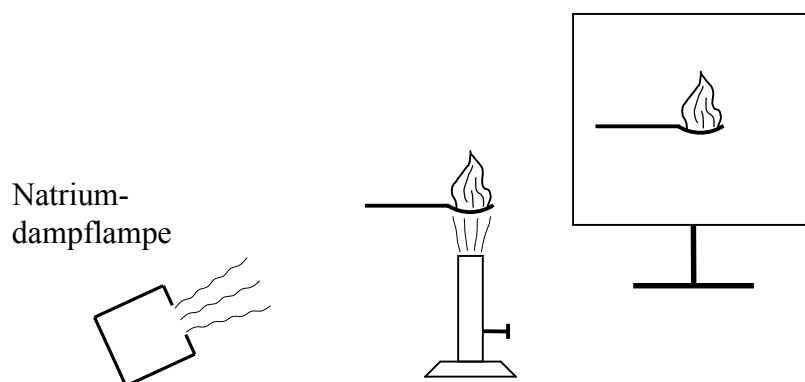
Begründen Sie, warum diese Geräte für Interferenzexperimente mit Elektronen ungeeignet sind.

Antworten Sie jemandem auf folgende Frage: „Ich stelle mir Elektronen wie Teilchen vor. Wo kommt denn das Wellige bei den Interferenzexperimenten mit Elektronen her?“

## 2.7 Fraunhofersche Linien

Zwischen der Natriumdampfampe und dem Schirm steht die nichtleuchtende Flamme eines Bunsenbrenners. Auf dem Schirm sieht man keinen Schatten (Eventuell Schlieren der heißen Flamme!). Die mit Natriumsalz gelb gefärbte Flamme wirft einen deutlichen Schatten.

Beschreiben und deuten Sie das vorgeführte Experiment.



*Ergänzende Aufgaben für das diskursive Prüfungsgespräch:*

Die Natriumdampfampe wird durch eine Quecksilberdampfampe ersetzt. Die gefärbte Flamme wirft keinen Schatten mehr. Wie passt diese Beobachtung zu Ihrer Deutung?

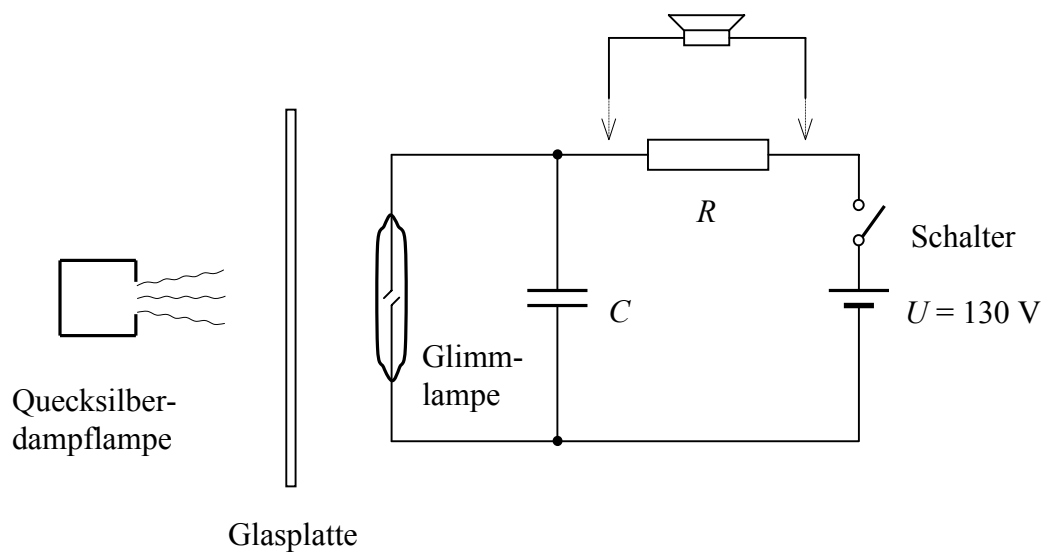
Das vorliegende Spektrum des Sonnenlichts zeigt die Fraunhoferschen Linien. Stellen Sie Zusammenhänge her zwischen den Erscheinungen dieses Spektrums und den Beobachtungen aus den Experimenten.

*Anmerkungen zur Aufgabenstellung:*

Der beschriebene Versuch wird dem Prüfling in der Vorbereitung vorgeführt. Im Prüfungsgespräch können die Grundlagen für Absorption und Emission von Licht und ihre experimentelle Untersuchung mittels Interferenz oder Dispersion vertieft werden.

## 2.8 Glimmlampe

Erstellen Sie für das vorbereitete Experiment einen Schaltplan. Schließen Sie den Schalter. Beschreiben und deuten Sie Ihre Beobachtungen.



*Ergänzende Aufgaben für das diskursive Prüfungsgespräch:*

Vertiefungen zur Deutung der Leuchterscheinungen und atomaren Vorgänge in der Glimmlampe.

Vertiefungen in Richtung Fotoeffekt und Plancksches Wirkungsquantum.

Die Glimmlampe wird durch eine Glasscheibe hindurch von einer Quecksilberdampfampe beleuchtet. Dann wird die Glasscheibe entfernt. Die zu beobachtende Blinkfrequenz steigt deutlich.

Vertiefung der Kippschaltung in Richtung Quantifizierung.

Vertiefung in Richtung Schallwellen und Interferenz durch Veränderung des Versuchs mit zusätzlichem Lautsprecher parallel zum Widerstand.

*Anmerkungen zur Aufgabenstellung:*

Dem Prüfling wird das obige Experiment im Aufbau zur Verfügung gestellt. Es bleiben Quecksilberdampfampe, Glasplatte und Lautsprecher zunächst unbeachtet.

## 2.9 *Wirbelstrom*

Bereiten Sie einen Kurzvortrag mit Demonstrationsexperiment zum Thema „Wirbelströme“ vor.

Für das Experiment können Sie aus den vorgegebenen Geräten und Materialien auswählen. Gehen Sie auch kurz auf eine Anwendung des Phänomens Wirbelströme in der Technik ein.

Vorhandene Geräte:

- 2 Spulen mit passendem Eisenkern und Joch, Gleichstromversorger
- 2 Aluminiumringe (geschlossen bzw. geschlitzt; passend zum Eisenjoch)
- dicke Kupferscheibe oder Aluminiumscheibe
- Aluminiumröhre und Kunststoffröhre (gleiche Durchmesser, passend für Dauermagnet)
- kleiner starker Dauermagnet
- Stabmagnet
- kleiner Experimentierwagen
- Schnur
- Stativmaterial

*Anmerkungen zur Aufgabenstellung:*

Das Thema Wirbelströme wurde behandelt und der Standard-Versuch mit dem Waltenhofen-Pendel vorgeführt. Dieser spezielle Versuchsaufbau kann mit den vorgegebenen Materialien nicht hergestellt werden. Einzelne Freihandversuche zum Phänomen sind behandelt worden. Es wurden einzelne technische Anwendungen erörtert. Die Prüflinge haben Erfahrung im Vorbereiten von Kurzvorträgen und im Präsentieren. Die Anforderungen an eine gute Präsentation sind bekannt.

Die Aufgabe verlangt vom Prüfling, dass er die bekannten Sachverhalte in einen selbst gewählten Zusammenhang bringt und dabei ein selbst erstelltes Experiment sowie eine Anwendung einbindet.

## 2.10 *Exotischer Kernzerfall*

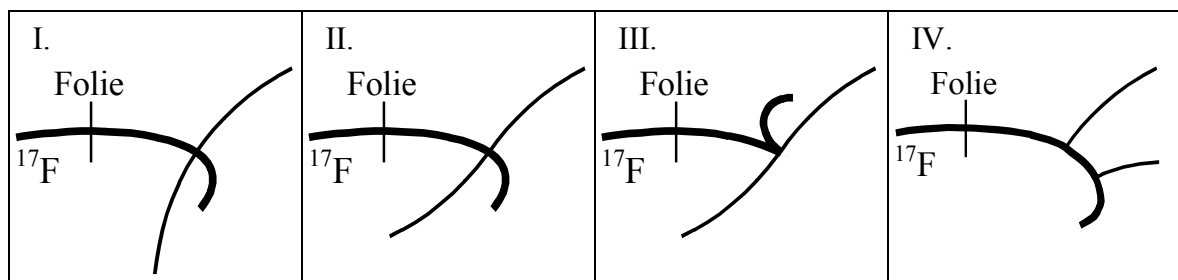
In einem Zeitungsartikel wird von einem „exotischen“ Kernzerfall berichtet:

*„Wie Wissenschaftler [...] in Tennessee berichteten, haben sie einen ungewöhnlichen Kernzerfall mit Hilfe von radioaktivem Fluor-17 entdeckt. Sie beschleunigten Ionen dieses Nuklids auf Energien von einigen Dutzend Megaelektronenvolt und ließen sie auf eine hauchdünne*

*Plastikfolie prallen. Dabei fingen einige der Fluorkerne jeweils ein Proton aus der protonenreichen Folie ein und wandelten sich in Kerne des ebenfalls radioaktiven Neon-18 um. Diese wiederum konnten in Kerne des normalen Sauerstoff-16 zerfallen, indem sie zwei Protonen abgaben.“*

Gehen Sie von der „exotischen“ Möglichkeit aus, dass beide Protonen das angeregte Atom  $^{18}\text{Ne}$  gleichzeitig, aber in verschiedene Richtungen verlassen.

Entscheiden Sie, bei welchen der Abbildungen I - IV es sich auf keinen Fall um Skizzen von realen Nebelkammeraufnahmen dieses Zerfalls handeln kann, und begründen Sie Ihre Antwort stichhaltig. Gehen Sie dabei davon aus, dass alle beteiligten Teilchen positiv geladen sind und dass senkrecht zur Zeichenebene ein Magnetfeld orientiert ist. Das  $^{17}\text{F}$ -Ion tritt jeweils von links in den Bildbereich ein.



*Ergänzende Aufgaben für das diskursive Prüfungsgespräch:*

Vertiefende Betrachtungen zu Kernzerfällen einschließlich Anwendungen.

Vertiefende Betrachtungen bzgl. der Lorentz-Kraft.

Andere Arten von Teilchendetektoren.