



SACHSEN-ANHALT

Ministerium für Bildung

SCHRIFTLICHE ABITURPRÜFUNG 2025

PHYSIK (ERHÖHTES ANFORDERUNGSNIVEAU)

Prüfungsaufgaben

Arbeitszeit einschließlich Auswahlzeit:

300 Minuten

Es sind drei Aufgaben zu bearbeiten.

Kreuzen Sie die drei Aufgaben an, die bewertet werden sollen.

Bestätigen Sie Ihre Auswahl mit Ihrer Unterschrift.

Aufgabe 1: Anwendung der NFC-Technologie (*Aufgabe mit fachpraktischem Anteil*) ☐

Aufgabe 2: Massenspektrometrie in der Kriminalistik ☐

Aufgabe 3: DECT-Telefon ☐

Aufgabe 4: Elektroneninterferenz am Doppelspalt ☐

Name, Vorname: _____

Unterschrift des Prüflings: _____

Aufgabe 1: Anwendung der NFC-Technologie

Die Abkürzung NFC steht für Near Field Communication, also „Kommunikation im Nahfeld“. Es handelt sich hierbei um eine Technologie, bei der mithilfe von elektromagnetischen Feldern Energie und Daten zwischen nah beieinander befindlichen Geräten ausgetauscht werden. Diese weit verbreitete Technologie wird beispielsweise beim berührungslosen Bezahlen mit NFC-fähigen Geldkarten angewendet.

Hinweis: Die Betrachtung von Wechselstromwiderständen wird nicht erwartet.

	BE
1 Fachpraktischer Teil	
Elektrische Geräte, die die NFC-Technologie nutzen, enthalten als wesentliche Bauelemente Spulen. Das folgende Experiment veranschaulicht die Wechselwirkung der magnetischen Felder zweier stromdurchflossener Spulen. Das dabei zu beobachtende Phänomen wird auch bei NFC-Geräten ausgenutzt.	
a Bauen Sie die Schaltung aus Abbildung 1 des Materials 1 auf. Dabei sollen die beiden Spulen mit einem gemeinsamen Eisenkern verbunden sein, der vollständig geschlossen ist.	4
b Erfassen Sie die Stromstärken I_1 und I_2 für die folgenden beiden Fälle in einer Messtabelle: - Schalter S_1 ist geschlossen. Schalter S_2 ist offen. - Schalter S_1 und S_2 sind geschlossen. <i>Hinweis: Sollten Sie keine verwertbaren Messergebnisse aufnehmen können, ist es möglich, dass Sie bei der Aufsicht führenden Lehrkraft Ersatzmesswerte anfordern. In diesem Fall werden 4 Bewertungseinheiten nicht erteilt.</i>	4
2 Auswertung des fachpraktischen Teils	
a Erklären Sie das Zustandekommen des Stromes I_2 . Beginnen Sie Ihre Darstellung mit dem Schließen von Schalter S_1 bei bereits geschlossenem Schalter S_2 .	6
b Erklären Sie Ihre Beobachtung hinsichtlich der Stromstärke I_1 , wenn der Schalter S_2 geschlossen wird.	3

Fortsetzung auf Seite 3

3 Bei der in Material 2 beschriebenen Kommunikation zwischen dem Lesegerät und der NFC-fähigen Geldkarte muss die elektronische Schaltung der Geldkarte mit Energie versorgt werden. Dazu dient der Kondensator C_S .	
a Erklären Sie mithilfe des Materials 2, dass der Kondensator C_S aufgeladen wird. Beziehen Sie dabei ein, dass die Diode eine notwendige Komponente der Schaltung in der Abbildung 2 des Materials 2 ist. Gehen Sie davon aus, dass der Schalter S offen ist.	6
b Der auf die Spannung $U = 4,5 \text{ V}$ aufgeladene Kondensator C_S entlädt sich über den Ohm'schen Widerstand der elektronischen Schaltung. Berechnen Sie mithilfe des Materials 2 diejenige Zeitdauer, in der die elektronische Schaltung nach Beginn der Entladung funktionsfähig ist, wobei ihr Ohm'scher Widerstand $R = 500 \text{ k}\Omega$ beträgt.	4
c Im praktischen Einsatz der NFC-fähigen Geldkarte kann in manchen Betriebszuständen der Ohm'sche Widerstand auch kleiner als $500 \text{ k}\Omega$ sein. Erläutern Sie den Einfluss dieses Sachverhaltes auf die Zeitdauer, in der die Karte betriebsbereit ist.	3
4 Der Kondensator C_S muss so kleine Abmessungen besitzen, dass er in die weniger als 1 mm dicke NFC-fähige Geldkarte integriert werden kann. Um derart kleine Kondensatoren mit der Kapazität $5,0 \text{ mF}$ bauen zu können, ist ein Material mit einer möglichst großen Dielektrizitätszahl ϵ_r zu verwenden. Beschreiben Sie zwei weitere Möglichkeiten, die Kapazität eines Plattenkondensators zu erhöhen.	2
5 Der in der Abbildung 2 des Materials 2 dargestellte Schwingkreis der Geldkarte, bestehend aus Kondensator C und Spule (B), schwingt mit der Eigenfrequenz $f_0 = 13,56 \text{ MHz}$. Berechnen Sie die Kapazität C des Kondensators im Schwingkreis, wenn die Induktivität der Spule $L = 4,10 \text{ }\mu\text{H}$ beträgt.	3
6 Ein Jugendlicher möchte ein von ihm unbemerktes, illegales Auslesen der Daten seiner NFC-fähigen Geldkarte vermeiden und überlegt sich, welcher der beiden Aufbewahrungsorte für seine Geldkarte der sicherere ist: - die Jackentasche oder - die Geldbörse mit eisenhaltigen Münzen Vergleichen Sie beide Optionen hinsichtlich der Sicherheit und formulieren Sie eine begründete Empfehlung.	5

Material zur Aufgabe 1: Anwendung der NFC-Technologie

Aufgabe 1, M 1:

Versuchsaufbau für das Experiment in Aufgabe 1

Geräte und Materialien:

- Spule 1
- Spule 2
- eine Glühlampe oder LED mit Vorwiderstand
- eine Wechselspannungsquelle
- Kabelmaterial
- zwei Schalter
- Eisenkern
- zwei Wechselstrommessgeräte

Die Spannung der Wechselspannungsquelle wird während des Versuchs nicht verändert.

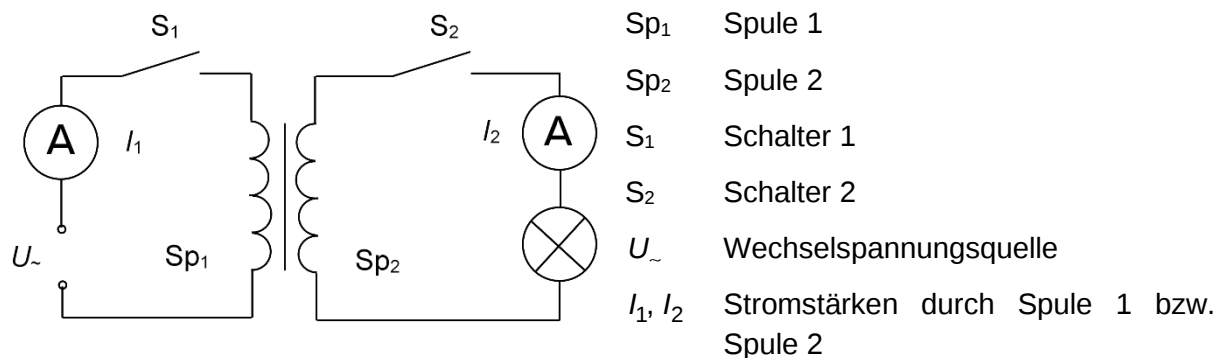


Abb. 1: Experimentelle Untersuchung von Vorgängen in gekoppelten Spulen

Quelle: Eigene Darstellung

Aufgabe 1, M 2:

Near Field Communication (NFC)

In Abbildung 2 sind die wesentlichen Komponenten dargestellt, die für eine NFC-Verbindung erforderlich sind.

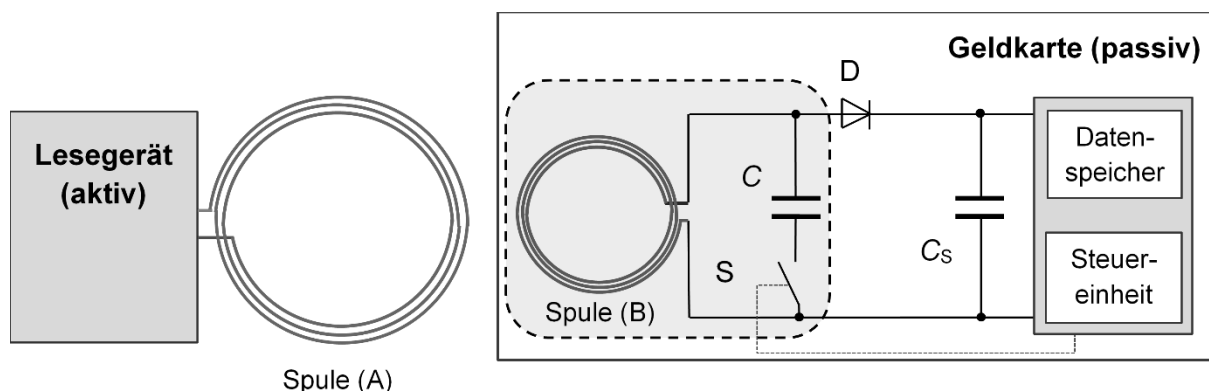


Abb. 2: NFC-Übertragung zwischen Lesegerät und NFC-fähiger Geldkarte (vereinfachte Darstellung des Prinzips)

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Finkenzeller, K. (2015). *RFID-Handbuch – Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC*. Carl Hanser Verlag.

Fortsetzung auf Seite 5

Ein aktives Gerät, das sogenannte Lesegerät (Bezahlterminal an einer Supermarktkasse), und ein passives Gerät (NFC-fähige Geldkarte) tauschen mithilfe elektromagnetischer Felder Informationen aus, z. B. Kontodaten. Dieser Datenaustausch ist nur dann möglich, wenn die NFC-fähige Geldkarte so über dem Lesegerät positioniert wird, dass sich die Spule (B) direkt über der Spule (A) befindet und ihr Abstand voneinander weniger als 10 cm beträgt. Dabei besteht keine Verbindung über elektrische Kontakte zwischen Lesegerät und NFC-fähiger Geldkarte.

Im Lesegerät wird eine Wechselspannung der Frequenz $f_E = 13,56$ MHz an die Spule (A) angelegt. In der NFC-fähigen Geldkarte sind die Spule (B) und eine elektronische Schaltung integriert. Sie speichert wichtige Daten und steuert außerdem den Datenaustausch mit dem Lesegerät.

Die markierte Fläche in Abbildung 2 umfasst den von der Steuereinheit kontrollierten elektronischen Schalter S, die Spule (B) und den Kondensator C. Bei geschlossenem Schalter S bilden die Spule (B) und der Kondensator C einen elektromagnetischen Schwingkreis. Mit diesem Schwingkreis wird die Kommunikation zwischen Lesegerät und NFC-fähiger Karte realisiert. Es wird vereinfachend angenommen, dass der Kondensator C_S keinen Einfluss auf den Schwingkreis besitzt.

Der Kondensator C_S mit der Kapazität $C_S = 5,0$ mF kann als Plattenkondensator aufgefasst werden. Er versorgt die elektronische Schaltung der NFC-fähigen Geldkarte mit Energie, solange die Spannung am Kondensator den Wert $U = 3,3$ V nicht unterschreitet.

Die Halbleiterdiode D hat die Eigenschaft, dass der elektrische Strom durch sie nur in eine Richtung fließen kann.

Auszug aus der mathematisch-naturwissenschaftlichen Formelsammlung zum Auf- und Entladen eines Kondensators über einen Ohm'schen Widerstand:

Aufladen eines Kondensators:

$$U_C(t) = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$Q(t) = Q_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

Entladen eines Kondensators:

$$U_C(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$I(t) = -I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

U_C	elektrische Spannung am Kondensator
U_0	Quellenspannung beim Aufladen bzw. elektrische Spannung am Kondensator zu Beginn des Entladevorgangs
t	Zeit
R	Ohm'scher Widerstand
C	Kapazität des Kondensators
I	elektrische Stromstärke
I_0	elektrische Stromstärke zu Beginn des Auf- bzw. Entladevorgangs
Q	Ladung des Kondensators
Q_0	Ladung des Kondensators am Ende des Aufladevorgangs bzw. zu Beginn des Entladevorgangs

Aufgabe 2: Massenspektrometrie in der Kriminalistik

In der Kriminalistik gehören Sicherung und Analyse von Spuren, die zu einem Tatort gehören, zum täglichen Handwerk. Durch ein geeignetes Verfahren werden in der Kriminalistik im zu untersuchenden Probenmaterial Ionen erzeugt. Die Ionen treten aus der Oberfläche aus und werden einem Massenspektrographen zugeleitet.

Hinweis: Der Einfluss der Gewichtskraft der Ionen ist im Folgenden vernachlässigbar.

	BE
1 Die Bewegung der Ionen im Massenspektrographen ist abhängig von den Feldern, in welche die Ionen eintreten. In Material 1 wird die Bewegung der Ionen für zwei verschiedene Fälle betrachtet.	
Beschreiben Sie qualitativ die Bewegung eines positiv geladenen Ions für die in Material 1 dargestellten Fälle. Gehen Sie dabei auf die jeweils wirkende Kraft und die entstehende Bahn ein.	10
2 Der grundlegende Aufbau eines Massenspektrographen zur kriminalistischen Analyse des Probenmaterials ist in Abbildung 3 dargestellt (M 2). Da die zu untersuchenden Ionen beim Eintritt in den Massenspektrographen unterschiedliche Geschwindigkeiten besitzen, durchlaufen sie zunächst einen Geschwindigkeitsfilter, der ausschließlich Ionen mit der Geschwindigkeit v_1 passieren lässt.	
a Zeigen Sie, dass für die dargestellte Bahn im Geschwindigkeitsfilter die Gleichung (1) gilt (M 2).	3
Die Geschwindigkeit der Ionen, die den Geschwindigkeitsfilter geradlinig gleichförmig passieren, beträgt $v_1 = 1,97 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.	
b Berechnen Sie die am Kondensator einzustellende Spannung mithilfe der gegebenen Werte aus Material 2.	4
c Ein einfach positiv geladenes Ion trifft im Bereich I oberhalb der Lochblende L auf (M 2, Abb. 3). Beurteilen Sie, ob die Geschwindigkeit dieses Ions beim Eintritt in den Geschwindigkeitsfilter kleiner als die Geschwindigkeit v_1 war.	4
d Zeigen Sie, dass die Masse der Ionen durch Gleichung (2) bestimmt werden kann (M 2).	3
e Begründen Sie, dass die Bahnradien verschiedener einfach positiv geladener Ionen, die den Geschwindigkeitsfilter passieren konnten, im Massenspektrographen proportional zu den Massen der Ionen steigen.	2

Fortsetzung auf Seite 7

- | | |
|--|---|
| 3 In Material 3 ist die Analyse eines Fingerabdrucks mithilfe des Massenspektrographen aus Material 2 beschrieben. Das Messergebnis zur Untersuchung der Probe ist in Abbildung 4 dargestellt (M 3). | |
| a Deuten Sie die verschiedenen Intensitäten der Peaks.
Formulieren Sie eine begründete Hypothese dafür, dass die Intensität in unmittelbarer Umgebung der Maxima nicht null ist. | 5 |
| b Weisen Sie mithilfe von Berechnungen unter Verwendung der Materialien 3 und 4 nach, dass in der untersuchten Probe die Verbindungen Wasser und Ölsäure identifiziert werden können. | 4 |
| c Fassen Sie unter Verwendung von Material 5 die bisherigen Untersuchungsergebnisse aus Teilaufgabe 3b in Form eines kurzen Berichtes zusammen. Der Bericht soll dazu dienen, dass ein Mitarbeiter die Untersuchung des Fingerabdrucks mit einem abschließenden Ergebnis beenden kann. | 5 |

Material zur Aufgabe 2: Massenspektrometrie in der Kriminalistik

Aufgabe 2, M 1:

Bewegung von Ionen im homogenen elektrischen bzw. magnetischen Feld

Ein positiv geladenes Ion tritt in das jeweilige homogene Feld orthogonal zu den Feldlinien mit der Geschwindigkeit $\vec{v}_0$ ein.

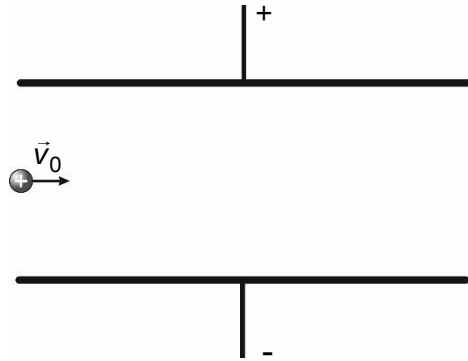


Abb. 1: Eintritt eines positiv geladenen Ions in ein homogenes elektrisches Feld

Quelle: Eigene Darstellung

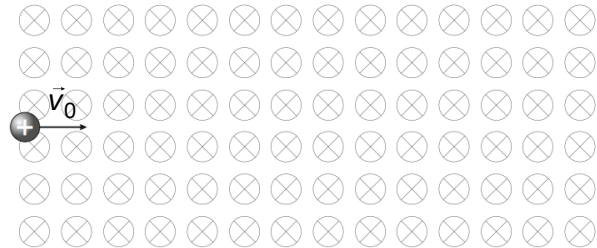


Abb. 2: Eintritt eines positiv geladenen Ions in ein homogenes magnetisches Feld

Quelle: Eigene Darstellung

Aufgabe 2, M 2:

Massenspektrograph

$$v_1 = \frac{E}{B_1} \quad (1) \quad \text{elektrische Feldstärke } E$$

$$m = \frac{B_2 \cdot q \cdot r}{v_1} \quad (2) \quad \text{Ladung des Ions } q$$

$$\quad \quad \quad \text{Radius der Ionenbahn } r$$

Plattenabstand $d = 2,00 \text{ mm}$
magnetische Flussdichte $B_1 = 0,370 \text{ T}$
magnetische Flussdichte $B_2 = 0,200 \text{ T}$

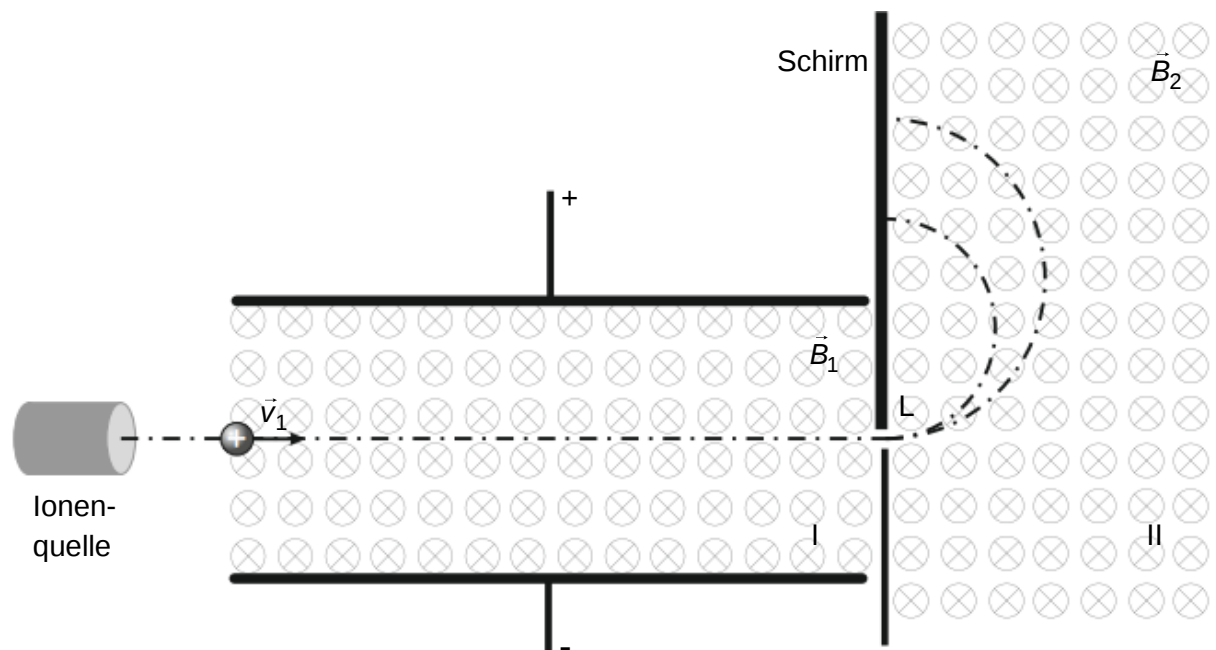


Abb. 3: Schematische Darstellung des Massenspektrographen. Die Ionen treten senkrecht zu den beiden Feldrichtungen und mittig zwischen den Kondensatorplatten in den Geschwindigkeitsfilter (Bereich I) ein.

Quelle: Eigene Darstellung

Aufgabe 2, M 3:

Kriminalistische Analyse mithilfe von Massenspektrographen

Mithilfe der kriminalistischen Analyse von Fingerabdrücken kann auf Identitäten von Personen geschlossen werden. Durch die Verwendung der Massenspektrometrie können Fingerabdrücke zudem Indizien dafür liefern, mit welchen Substanzen die betreffenden Personen zuletzt in Kontakt gekommen sind.

Im vorliegenden Fall wird ein nicht mehr gut lesbarer Fingerabdruck an einem Tatort gefunden. An ihm befinden sich Spuren einer nicht näher bekannten Substanz. Durch ein geeignetes Verfahren werden im zu untersuchenden Probenmaterial einfach positiv geladene Ionen erzeugt. Die Ionen treten aus der Oberfläche aus und werden einem Massenspektrographen zugeleitet. Das Untersuchungsergebnis des Probenmaterials ist in Abbildung 4 grafisch dargestellt. Durch die Analyse dieses Ergebnisses und den Abgleich mit Tabellenwerten kann auf die Substanz im Probenmaterial geschlossen werden (M 4 und 5).

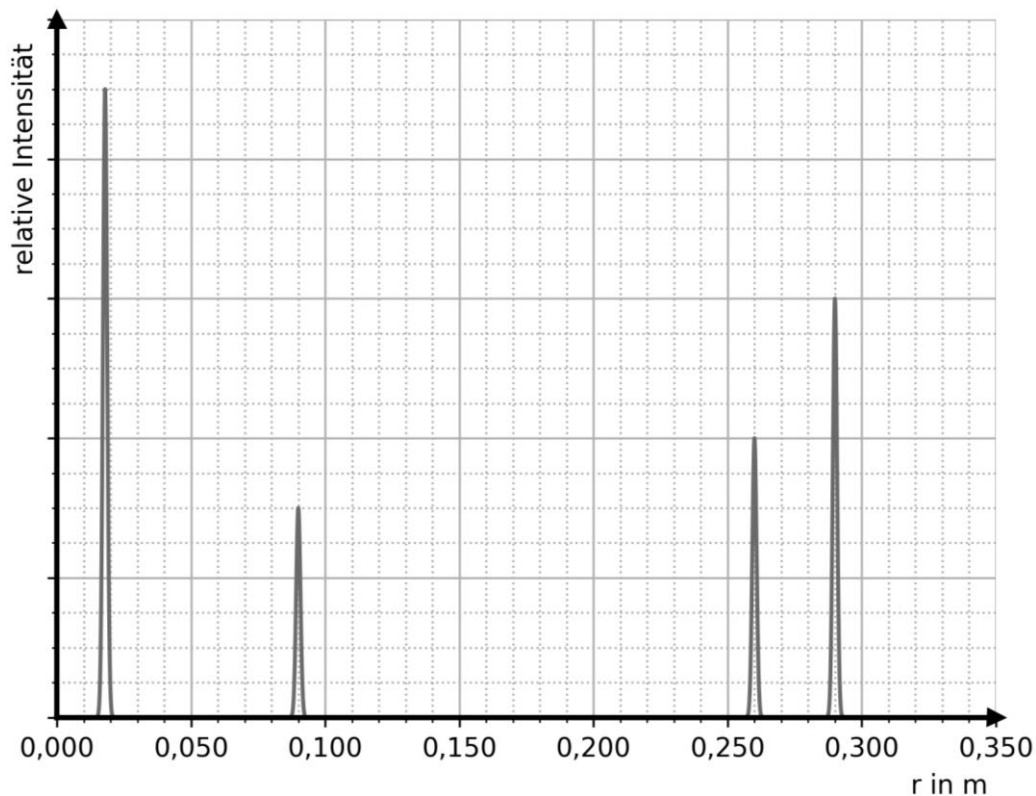


Abb. 4: Untersuchungsergebnis des Probenmaterials

Quelle: Eigene Darstellung

Aufgabe 2, M 4: Ionenmassen ausgewählter Verbindungen

Tab. 1: Masse einfach positiv geladener Ionen ausgewählter Verbindungen

Verbindung	Masse in kg	Verbindung	Masse in kg
Lipide	$6,42 \cdot 10^{-25}$	Glucose	$2,99 \cdot 10^{-25}$
Saccharose	$5,68 \cdot 10^{-25}$	Estragol	$2,46 \cdot 10^{-25}$
Lactose	$5,68 \cdot 10^{-25}$	Kreatin	$2,18 \cdot 10^{-25}$
Ölsäure	$4,69 \cdot 10^{-25}$	Glycerin	$1,53 \cdot 10^{-25}$
Palmitinsäure	$4,26 \cdot 10^{-25}$	Wasser	$2,99 \cdot 10^{-26}$

Quellen:

Cholesterin (Version: 2024, 16. November, 09.34 Uhr). Wikipedia. Abgerufen am 16. November 2024, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Cholesterin>
Saccharose (Version: 2024, 20 Juli, 16.46 Uhr). Wikipedia. Abgerufen am 16. November 2024, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Saccharose>
Lactose (Version: 2024, 19. Juli, 22.36 Uhr). Wikipedia. Abgerufen am 16. November 2024, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Lactose>
Ölsäure (Version: 2024, 01. Juli, 00.07 Uhr). Wikipedia. Abgerufen am 16. November 2024, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Ölsäure>
Palmitinsäure (Version: 2024, 20. August, 14.03 Uhr). Wikipedia. Abgerufen am 16. November 2024, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Palmitinsäure>
Glucose (Version: 2024, 12. September, 12.15 Uhr). Wikipedia. Abgerufen am 16. November 2024, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Glucose>
Estragol (Version: 2024, 03. Juli, 21.19 Uhr). Wikipedia. Abgerufen am 16. November 2024, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Estragol>
Kreatin (Version: 2024, 24. September, 20.30 Uhr). Wikipedia. Abgerufen am 16. November 2024, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Kreatin>
Glycerin (Version: 2024, 24. August, 10.16 Uhr). Wikipedia. Abgerufen am 16. November 2024, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Glycerin>
Wasser (Version: 2024, 15. November, 13.32 Uhr). Wikipedia. Abgerufen am 16. November 2024, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Wasser>

Aufgabe 2, M 5: Zusammensetzung ausgewählter Substanzen

Tab. 2: Auszug der chemischen Zusammensetzung ausgewählter Substanzen

Substanz	Inhaltsstoffe (Auswahl)
Pudding	Wasser, Saccharose, Palmitinsäure, Lactose
Olivenpesto	Estragol, Ölsäure, Palmitinsäure, Wasser
Blut	Wasser, Kreatin, Glucose, Lipide
Handcreme	Wasser, Glycerin, Ölsäure, Palmitinsäure

Quelle: Palmöl (Version: 2024, 28. Oktober, 19.41 Uhr). Wikipedia. Abgerufen am 16. November 2024, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Palmöl>

Aufgabe 3: DECT-Telefon

Als Festnetz-Telefon wird in vielen Haushalten ein DECT-Telefon (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) bestehend aus einer Basisstation und mindestens einem Mobilteil verwendet. Basisstation und Mobilteile kommunizieren mittels elektromagnetischer Wellen miteinander.

	BE
1 Geräte, die mittels elektromagnetischer Wellen kommunizieren, können sich bei Nutzung der gleichen Frequenz gegenseitig beeinflussen. Begründen Sie, dass es bei einem der in Material 1 genannten DECT-Frequenzbereiche zur Beeinflussung von Bluetooth-Geräten (elektromagnetische Wellen, Wellenlängenbereich 12,1 cm bis 12,5 cm) kommen kann.	5
2 Ist die Frequenz eines DECT-Telefons unbekannt, so kann diese mithilfe des in Material 2 beschriebenen Versuchsaufbaus ermittelt werden. a Erklären Sie, dass in Versuch 1 Minima und Maxima registriert werden (M 2). b Begründen Sie mithilfe der in Material 2 genannten Messergebnisse aus Versuch 1 den mutmaßlich verwendeten Frequenzbereich (M 1). c Geben Sie den korrekten Intensitätsverlauf in Versuch 2 an (M 2). Begründen Sie für jeden der anderen Verläufe, dass er nicht in Frage kommt.	3 5 7
3 Eine Kenngröße für die Belastung durch elektromagnetische Strahlung ist die spezifische Absorptionsrate (SAR), siehe Hinweise in Material 3. a Beurteilen Sie durch eine modellhafte Abschätzung mit den Angaben aus den Materialien 1 und 3, ob der zum Schutz der Gesundheit empfohlene SAR-Höchstwert von $2,0 \frac{\text{W}}{\text{kg}}$ im Kopf in diesem exemplarischen Fall eingehalten wird. b Auch bei eingehaltenem Grenzwert sollte die Belastung durch elektromagnetische Strahlung möglichst geringgehalten werden. Beschreiben Sie je eine Möglichkeit für den Hersteller und eine für den Benutzer eines DECT-Telefons, die Belastung bei unveränderten Gesprächsdauern zu verringern.	8 4
4 Ein Haushalt steht vor der Wahl, DECT- oder WLAN-Telefonie zu nutzen. Die Haushaltsmitglieder erstellen für zwei angebotene Systeme die Übersicht in Material 4. Geben Sie unter Berücksichtigung aller in Material 4 genannten Kategorien eine begründete Empfehlung für eine der beiden Telefonsysteme ab.	8

Material zur Aufgabe 3: DECT-Telefon

Aufgabe 3, M 1: DECT

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) ist ein Funk-Standard, der vor allem für die Telefonie innerhalb von Gebäuden ausgelegt ist. Für DECT wird in Europa in der Regel der Frequenzbereich von 1880-1900 MHz genutzt. Es sind aber auch die folgenden Bereiche möglich (wenn auch selten angewendet): 1900-1980 MHz, 2010-2025 MHz und 2400-2480 MHz.

Quelle: In Anlehnung an Klein, U. (2020, 24. Januar). *DECT Funkstandard – alle Infos zum Telefon-Funkprotokoll*. Home & Smart. <https://www.homeandsmart.de/dect-funkstandard>

Aufgabe 3, M 2: Reflexion von Strahlung an einer Metallplatte

Der Sender S ist die Basisstation des Telefons, die kontinuierlich eine elektromagnetische Welle aussendet. Der Empfänger E kann die Empfangsintensität an einem Ort messen und anzeigen. Im Abstand x wird hinter dem Empfänger E eine Metallplatte M positioniert. An der Metallplatte wird die elektromagnetische Welle reflektiert.

Versuch 1:

Durch langsames Verschieben des Empfängers (Abb. 1) wird der Abstand x zwischen Empfänger und Metallplatte vergrößert. Sender und Metallplatte bleiben ortsfest. Man registriert ausgeprägte Minima und Maxima der Empfangsintensität, wobei die ersten beiden Maxima bei $x_1 = 3,9$ cm und $x_2 = 11,8$ cm auftreten.

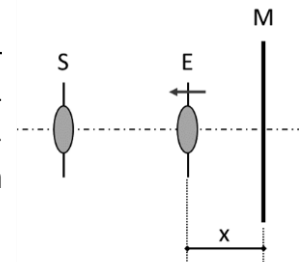


Abb. 1: Versuch 1

Quelle: Eigene Darstellung

Versuch 2:

Im Gegensatz zu Versuch 1 wird der Abstand x zwischen Empfänger und Metallplatte kontinuierlich vergrößert, indem Sender und Empfänger ortsfest bleiben und die Metallplatte nach rechts verschoben wird (Abb. 2).

In Abbildung 3 werden vier Diagramme dargestellt, von denen eines den bei diesem Versuch zu erwartenden Intensitätsverlauf der elektromagnetischen Welle qualitativ richtig beschreibt.

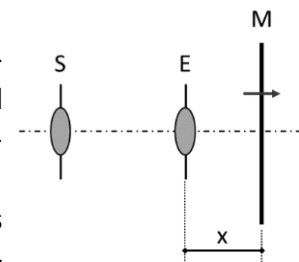


Abb. 2: Versuch 2

Quelle: Eigene Darstellung

Quelle: Klein, U. (2020, 24. Januar). *DECT Funkstandard – alle Infos zum Telefon-Funkprotokoll*. Home & Smart. <https://www.homeandsmart.de/dect-funkstandard>

Fortsetzung auf Seite 13

Hinweis: Gehen Sie vereinfachend davon aus, dass sich die Sendeleistung gleichmäßig über alle Raumrichtungen verteilt.

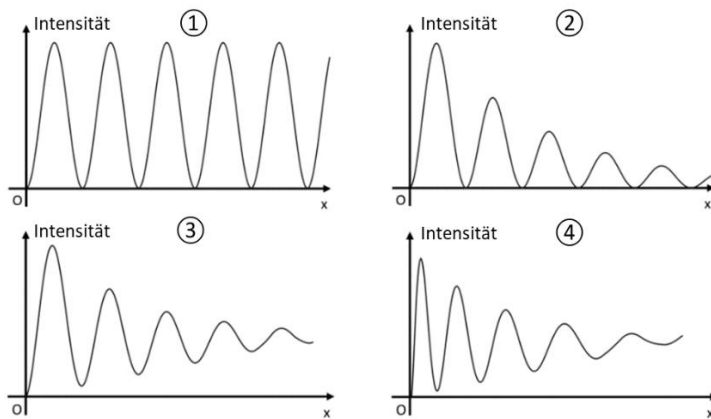


Abb. 3: Zur Auswahl stehende Verläufe für die vom Empfänger gemessene Intensität in Abhängigkeit vom Abstand x

Quelle: Eigene Darstellung

Aufgabe 3, M 3:

Modellhafte Strahlungsbelastung beim Telefonieren

Beim Telefonieren mit einem DECT-Mobilteil befindet sich die im Gerät eingebaute Sendeantenne nahe am Ohr des Benutzers (Abb. 4). Die Sendeleistung während eines Gesprächs beträgt bei üblichen Geräten im zeitlichen Mittel 10 mW, wovon bauartbedingt etwa ein Drittel zum Kopf hin abgegeben wird. Die elektromagnetische Strahlung des Telefons wirkt am Kopf auf das Gewebe, welches sich in starker Näherung innerhalb einer Halbkugel befindet (Abb. 4).

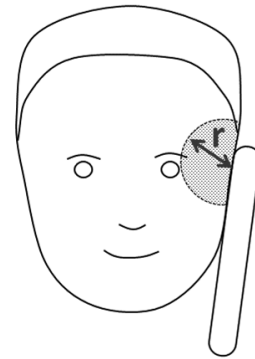


Abb. 4: Modellhafte Darstellung des Eindringens elektromagnetischer Strahlung in den Kopf

Quelle: Eigene Darstellung

Hinweise:

Der SAR-Wert ist der Quotient aus der von einem Körper der Masse m absorbierten Leistung P und dieser Masse m ($\frac{P}{m}$).

Die Dichte ρ ist der Quotient aus der Masse m und dem Volumen V ($\rho = \frac{m}{V}$). Gehen Sie für die Ermittlung der Masse der in der Kopfregion betroffenen Gewebearten von einer Dichte des Körpers von $\rho = 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ aus.

Quelle: Klein, U. (2020, 24. Januar). DECT Funkstandard – alle Infos zum Telefon-Funkprotokoll. Home & Smart. <https://www.homeandsmart.de/dect-funkstandard>

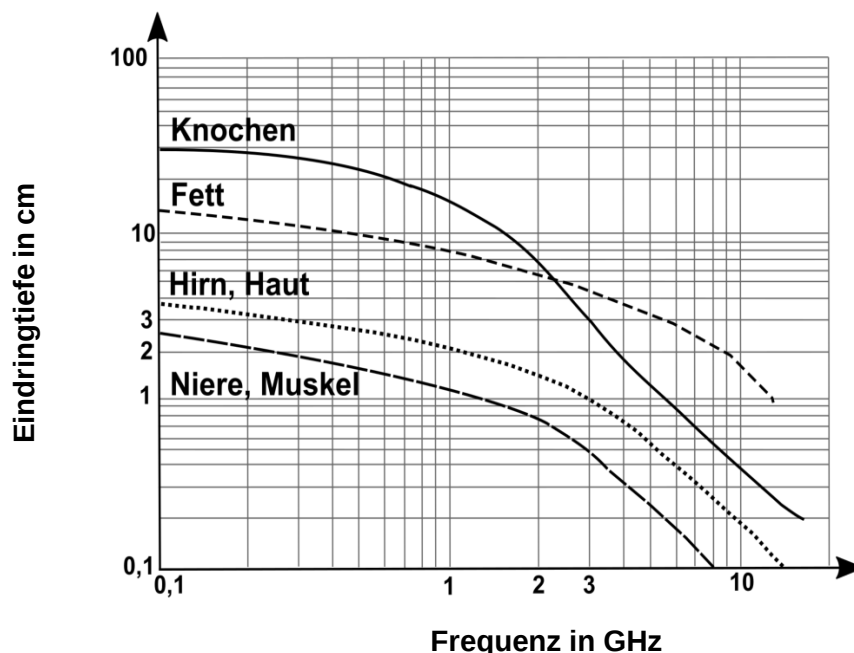


Abb. 5: Eindringtiefe hochfrequenter Felder in Körpergewebe in Abhängigkeit von der Frequenz und der Gewebeart (logarithmische Skalen)

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Hochfrequenz (10 MHz–300 GHz) (o. D.). Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen. Abgerufen am 12. März 2024, von <https://www.emf-portal.org/de/cms/page/home/effects/radio-frequency>

Aufgabe 3, M 4:

Vergleich zwischen zwei angebotenen Telefonsystemen

Tab. 1: Gegenüberstellender Vergleich DECT-WLAN

	DECT-Telefonsystem	WLAN-Telefonsystem
Anschaffungspreis		
Abhörsicherheit		
Akkulaufzeit Telefonieren		
SAR-Wert*		
in der EU maximal erlaubte Sendeleistung		

Quelle: *Faktenblatt – WLAN* (2021, 21. Dezember). Eidgenössisches Departement des Innern EDI, Bundesamt für Gesundheit BAG. Abgerufen am 12. März 2024, von <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-wlan.pdf.download.pdf/faktenblatt%20wlan%20d.pdf>

**Hinweis: Erläuterung des SAR-Werts in Material 3.*

Aufgabe 4: Elektroneninterferenz am Doppelspalt

Im Jahr 1923 postulierte Louis de Broglie, dass Materieteilchen auch Welleneigenschaften zugeordnet werden können. Im Jahr 1961 wurde von Claus Jönsson eine experimentelle Arbeit zur Beugung von Elektronen am Doppelspalt veröffentlicht.

	BE
1 Material 1 zeigt einen Ausschnitt aus der Originalveröffentlichung von C. Jönsson zur Beugung von Elektronen an einem Doppelspalt. In Material 2 ist eines der Messergebnisse abgebildet.	
Erklären Sie, dass die Elektronenbeugungsaufnahme in Material 2 als Nachweis für die Welleneigenschaften von Elektronen gedeutet werden kann und in diesem Fall die Elektronen nicht als klassische Teilchen beschrieben werden können.	6
2 C. Jönsson schreibt in der Veröffentlichung, dass eine „Nachvergrößerung der sehr feinen Interferenzfiguren“ zur Beobachtung notwendig ist (M 1).	
a Berechnen Sie den Beugungswinkel des Maximums 1. Ordnung, welcher unter den von C. Jönsson in Material 1 beschriebenen Versuchsbedingungen ohne Nachvergrößerung zu erwarten ist.	6
[Kontrollwert: $\alpha_1 = 0,00014^\circ$]	
b Beurteilen Sie mithilfe einer Berechnung der Streifenabstände auf dem Schirm, ob diese nach der beschriebenen Nachvergrößerung, wie in Material 1 behauptet, groß genug sind, um sie mit dem bloßen Auge beobachten zu können (M 2).	6
c Begründen Sie schrittweise und kausal korrekt strukturiert, in welcher Weise sich das Interferenzmuster aus Material 2 verändert, wenn die Beschleunigungsspannung vergrößert wird.	5
d Erläutern Sie die Veränderung des Interferenzmusters aus Material 2, wenn das Experiment mit einem Elektronenstrahl durchgeführt wird, in dem die Elektronen viele unterschiedliche Geschwindigkeiten haben. Gehen Sie dabei sowohl auf den Fall einer schmalen als auch auf den Fall einer breiten Geschwindigkeitsverteilung ein.	4

Fortsetzung auf Seite 17

- | | |
|--|---|
| 3 Das in Material 3 beschriebene Experiment von A. Tonomura ist eine Weiterentwicklung des Doppelspaltexperimentes mit Elektronen. | |
| a Beurteilen Sie mithilfe einer Rechnung, ob sich tatsächlich „zu jedem Zeitpunkt nur ein einziges“ Elektron in der Messapparatur befindet. | 5 |
| <i>Hinweise:</i>
<i>Im Rahmen dieser Teilaufgabe soll auf eine relativistische Berechnung verzichtet werden. Es befinden sich mit großer Wahrscheinlichkeit zu keinem Zeitpunkt zwei oder mehr Elektronen in der Apparatur, wenn der mittlere Abstand aufeinanderfolgender Elektronen im Strahl hinreichend groß ist.</i> | |
| b Interpretieren Sie die gezeigten Messergebnisse in Material 3 hinsichtlich der Fragestellung, inwiefern diese die Wellen- bzw. Teilcheneigenschaften der Elektronen zeigen. Gehen Sie dabei auch darauf ein, dass sich zu fast jedem Zeitpunkt nur ein einzelnes Elektron in der Apparatur befindet. | 4 |
| c Erläutern Sie Feynmans Aussage zur Quantentheorie, dass es unmöglich ist, Ereignisse genau vorherzusagen, am Beispiel des Experimentes von Tonomura (M 3 und 4). | 4 |

Material zur Aufgabe 4: Elektroneninterferenz am Doppelspalt

Aufgabe 4, M 1:

Ausschnitt aus „Elektroneninterferenzen an mehreren künstlich hergestellten Feinspalten“ von C. Jönsson

Hinweis: Die Rechtschreibung und die Verwendung von Fachbegriffen folgen dem Original.

Die im Versuch von C. Jönsson verwendeten Spalte hatten eine Breite von jeweils $0,50\ \mu\text{m}$ und einen Spaltmittenabstand von $2,0\ \mu\text{m}$. Der Leuchtschirm, auf dem das Interferenzmuster in Abbildung 1 beobachtet wurde, hatte einen Abstand von $350\ \text{mm}$ von den Spalten.

Quelle: Jönsson, C. (1961). Elektroneninterferenz an mehreren künstlich hergestellten Feinspalten. *Z. Physik*, 161, 454-474. <https://doi.org/10.1007/BF01342460>

Aufgabe 4, M 2:

Elektronenbeugungsaufnahme am Doppelspalt von C. Jönsson

Abb. 1: Interferenzmuster auf einem Leuchtschirm hinter einem mit Elektronen beschossenen Doppelspalt. Je mehr Elektronen an einem Ort des Schirms auftreffen, desto heller leuchtet er dort. Diese Abbildung wurde stark vergrößert dargestellt und entspricht nicht den in der Aufgabe angegebenen Abmessungen.

Quelle: Jönsson, C. (1961). Elektroneninterferenz an mehreren künstlich hergestellten Feinspalten. *Z. Physik*, 161, 454-474. <https://doi.org/10.1007/BF01342460>

Aufgabe 4, M 3:

Elektronenbeugung am Doppelspalt von A. Tonomura

Im *American Journal of Physics* 57, 117 (1989) berichtet A. Tonomura von einem Experiment, bei dem Elektronen mit einer Beschleunigungsspannung von $U_B = 50 \text{ kV}$ beschleunigt und auf eine wie ein Doppelspalt wirkende Anordnung gesendet wurden. Es handelt sich um eine Weiterentwicklung des Experimentes von C. Jönsson, in der die Anzahl der Elektronen im Elektronenstrahl so weit reduziert wurde, dass sich mit großer Wahrscheinlichkeit zu jedem Zeitpunkt nur noch ein einziges Elektron zwischen Quelle und Schirm befindet. Die elektrische Stromstärke des Elektronenstrahls betrug lediglich $I = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ A}$.

Quelle: Tonomura, A. et al. (1989). Demonstration of single-electron buildup of an interference pattern. *Am. J. Phys.* 57 (2), 117-120. <https://doi.org/10.1119/1.16104>

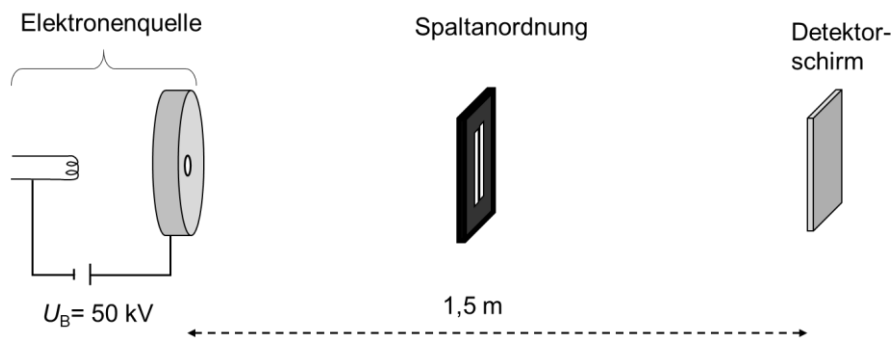


Abb. 2: Schematischer Versuchsaufbau von A. Tonomura

Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 3 a bis e: Aufgenommene Schirmbilder mit a) 11 Elektronen, b) 200 Elektronen, c) 6000 Elektronen, d) 40000 Elektronen, e) 140000 Elektronen

Quelle: Tonomura, A. et al. (1989). Demonstration of single-electron buildup of an interference pattern. *Am. J. Phys.* 57 (2), 117-120. <https://doi.org/10.1119/1.16104>

Aufgabe 4, M 4:

Zitat von Richard Feynman zum Doppelspaltexperiment

Quelle: Feynman, R., Leighton, R. & Sands, M. (2007). *Feynman-Vorlesungen über Physik, Band 1*. 5. Auflage. Oldenbourg Verlag. Seite 532.