
Schriftliche Abiturprüfung Leistungskursfach Physik

- E R S T T E R M I N -

Material für den Prüfling

Aufgabe 1, Aufgabe 2 und Aufgabe 3

Allgemeine Arbeitshinweise

Aufgabe 1 und Aufgabe 2 sind von **allen Prüflingen** zu bearbeiten. Bei **Aufgabe 3** ist **nur eine** der zur Auswahl stehenden Wahlaufgaben 3.1 **oder** 3.2 zu bearbeiten.

Ihre Gesamtarbeitszeit beträgt **315 Minuten**. Diese Angabe schließt bereits zusätzliche 15 Minuten für die Aufgabenauswahl und das Einrichten des Experimentierplatzes mit ein.

Bei jeder der zu bearbeitenden Aufgaben sind jeweils 40 Bewertungseinheiten (BE) erreichbar.

Zugelassene Hilfsmittel:

- Wörterbuch der deutschen Rechtschreibung
- grafikfähiger, programmierbarer Taschenrechner mit oder ohne Computer-Algebra-System. Die Software eines solchen Taschenrechners oder eine gleichwertige Software kann auch auf einer anderen geschlossenen Plattform verwendet werden.
- Tabellen- und Formelsammlung
- Zeichengeräte
- Computer oder ein computergestütztes Messwerterfassungssystem im Rahmen einer geschlossenen Plattform, im Falle einer entsprechenden Aufgabenstellung zur möglichen Nutzung. Es muss die jeweilige Software installiert sein, die der Prüfling:
 - für die Modellbildung und Simulation,
 - zur Erfassung und Auswertung von Messwertenim Unterricht genutzt hat. Das Hilfsmittel wird für die experimentelle oder praktische Tätigkeit benötigt.

Handelt es sich bei den Hilfsmitteln um Wörterbücher, sind jeweils nichtelektronische und elektronische Wörterbücher zugelassen, sofern sie geschlossene Systeme ohne Möglichkeit der Speichererweiterung sind. Internetfähige Hilfsmittel sind ausgeschlossen.

Prüflinge, deren Herkunftssprache nicht oder nicht ausschließlich Deutsch ist, können zusätzlich ein zweisprachiges Wörterbuch (Deutsch-Herkunftssprache/Herkunftssprache-Deutsch) verwenden.

Prüfungsinhalt

Aufgabe 1

Physikalische Grundlagen des Bungee-Jumping

Der Name Bungee-Jumping ist aus den englischen Wörtern „bungee“ für Seil / Gurt und „jump“ für Sprung entstanden und bezeichnet einen Sprung aus großer Höhe, bei dem der Springer durch ein elastisches Seil an den Füßen gesichert ist.

Das Foto (Abbildung 1) zeigt den Sprung aus einer Gondel, die von einem Kran nach oben gezogen wurde.



Abb. 1

Quelle: Mathias Gawlista

www.flickr.com/photos/murdoch/503840115/sizes/

Änderungen: Bildfarbe / Bildgröße

	BE
1 Das elastische Seil (Bungeeseil) wird zunächst, bevor es an der Gondel angehängt wird, einem Belastungstest unterzogen. Das eine Ende des 20,0 m langen Seiles ist fest eingespannt, an dem anderen greift eine Kraft mit dem Betrag 100 N an und dehnt das Seil um 0,40 m. Die Längenänderung entspricht dem Hooke'schen Gesetz. Berechnen Sie die „Federkonstante“ für das Seil. [Kontrollergebnis: $D = 250 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$]	2
2 Im Material 1 ist der Ablauf eines Bungeesprungs beschrieben. Das Bungeeseil ist an der Gondel befestigt. Diese wurde nach oben gezogen. Eine Person steht in der Gondel und lässt sich aus dieser herausfallen. Beschreiben Sie den Ablauf der Energieumwandlungen für den Zeitraum vom Beginn des Falls bis zum erstmaligen Erreichen des tiefsten Punkts.	5
3 Eine Sportlerin wagt den Bungeesprung. Sie wiegt 55 kg. Berechnen Sie die Höhe, auf die die Gondel mindestens gezogen werden muss, damit die Sportlerin dem Erdboden nicht näher als 10 m kommt. Es wird das im Belastungstest untersuchte Seil verwendet. Nennen Sie die Annahmen, die Sie für Ihre Rechnung gemacht haben. Erläutern Sie diese. Weisen Sie nach, dass die Absprunghöhe an die Masse der springenden Person angepasst werden muss.	4 3 2

4 Das Prinzip des Bungeesprungs wurde experimentell im Schülerlabor untersucht. Im Material 2 ist das Experiment beschrieben. Interpretieren Sie das Diagramm (M 2) und erklären Sie die charakteristischen Merkmale der Minima und Maxima.	4
5 Der Bungeesprung aus Teilaufgabe 3 wird für die Absprunghöhe 60 m simuliert. Ein entsprechendes Modell wurde erstellt, jedoch ohne Betrachtung aller Reibungseffekte. Material 3 zeigt das zugehörige $a(t)$ –, das $v(t)$ – und das $h(t)$ – Diagramm.	
a Ordnen Sie den Graphen die Funktionen $a = a(t)$, $v = v(t)$ und $h = h(t)$ zu.	2
b Stellen Sie für den Bewegungsablauf kausal begründet Zusammenhänge für die die Bewegung beschreibenden Graphen dar.	5
c Lesen Sie die auf die Springerin zum Zeitpunkt 2,5 s wirkende Beschleunigung ab.	1
Berechnen Sie daraus die Kraft, mit der das Seil gedehnt wird.	3
Begründen Sie unter Nutzung des $h(t)$ – Diagramms, dass das Seil zum Zeitpunkt 2,5 s um etwa 9,0 m gedehnt ist.	2
Unter Nutzung des Kontrollergebnisses aus Teilaufgabe 1 beträgt die Kraft $2,2 \cdot 10^3 \text{ N}$.	
Erläutern Sie diese Überlegung.	3
d Das Material 4 enthält Aussagen zur Reaktion des menschlichen Organismus auf große Beschleunigungen.	
Nutzen Sie das Material 4 und das Diagramm (M 3) und legen Sie begründet dar, welche Risiken für die Gesundheit mit dem Bungee-Jumping verbunden sind. Formulieren Sie begründete Schlussfolgerungen.	4

Material 1: Bungeesprung

Das Seil wird an den Füßen des Springers befestigt. Zur Sicherheit wird weiteres Gurtzeug angelegt. Mit einer Gondel, die fest mit dem Seil eines Krans verbunden ist, wird der Springer auf die Absprunghöhe gezogen. Nachdem er nochmals eingewiesen wurde, kann der Sprung beginnen. Die deutsche Übersetzung von „jump“ ist dabei ggf. irreführend, da sich die meisten dieser Jumper nur fallen lassen ohne tatsächlich abzuspringen. Zunächst geht es in einem nahezu freien Fall nach unten. Ab dem Moment, zu dem die Gewichtskraft des Springers und die Spannkraft des Seils den gleichen Betrag haben, wird er vom Seil abgebremst und nach dem Durchlaufen des tiefsten Punktes wieder nach oben geschleudert. Natürlich erfolgt diese Umkehr der Bewegung in sicherer Höhe über dem Boden. Dies wiederholt sich eine Weile bis der Springer in einer bestimmten Höhe zum Stillstand kommt und vom Kran wieder auf „sicheren Boden“ befördert wird.

Material 2: Experimentelle Untersuchung im Schülerlabor

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die verwendete Experimentieranordnung.

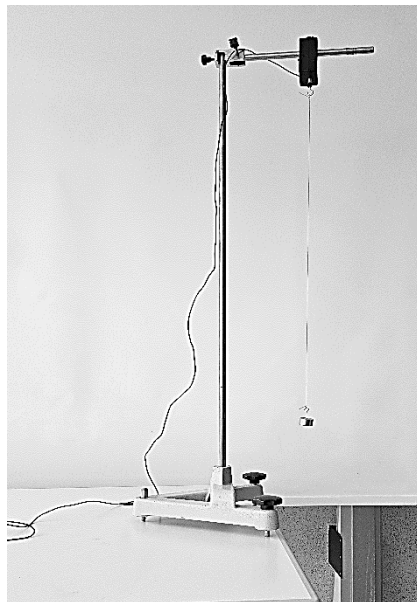


Abb. 2: Experimentieranordnung
Gleichgewichtszustand
Quelle: Aufgaben AG

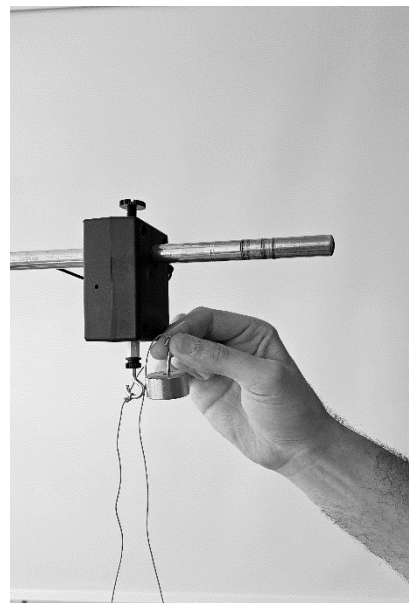


Abb. 3: Experimentieranordnung
Hakenkörper gehoben
Quelle: Aufgaben AG

Ein Hakenkörper ist durch einen Gummifaden am Haken eines Kraftsensors befestigt (Abb. 2). Der Hakenkörper wird angehoben und am unteren Ende des Sensors freigegeben (Abb. 3).

Messwerte:	Masse des Hakenkörpers:	50 g
	Länge des Gummifadens:	0,40 m

Unter Nutzung eines Messwerterfassungssystems wird das $a(t)$ – Diagramm aufgenommen.

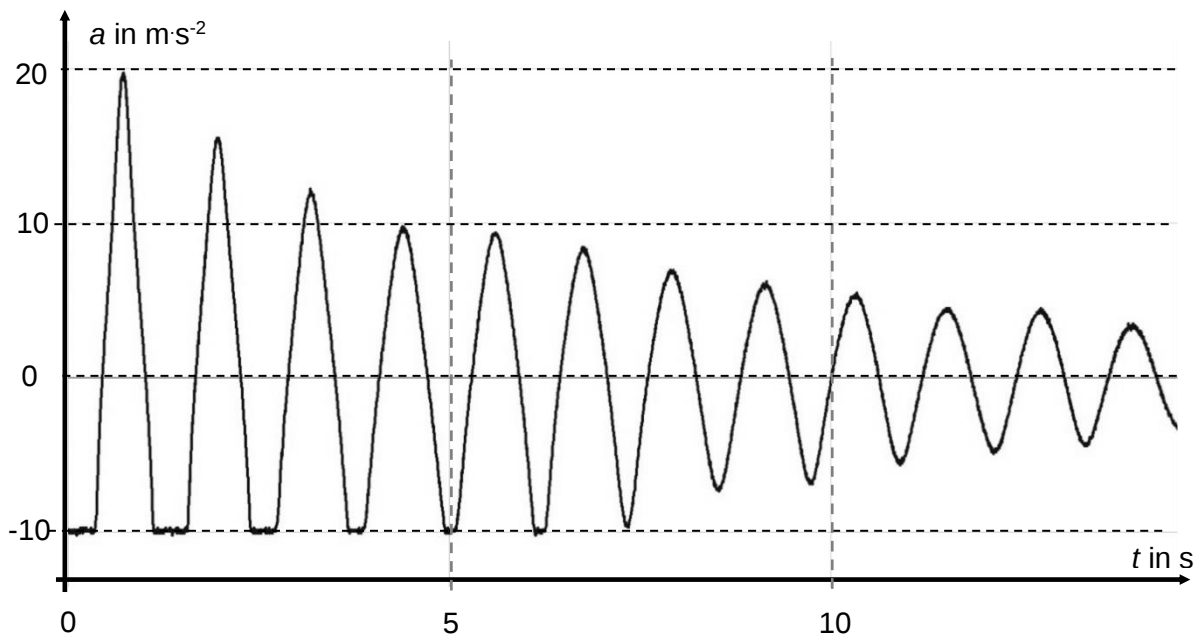


Abb. 4: $a(t)$ – Diagramm
Quelle: Aufgaben AG

Material 3: Diagramm für das Modell Bungeesprung

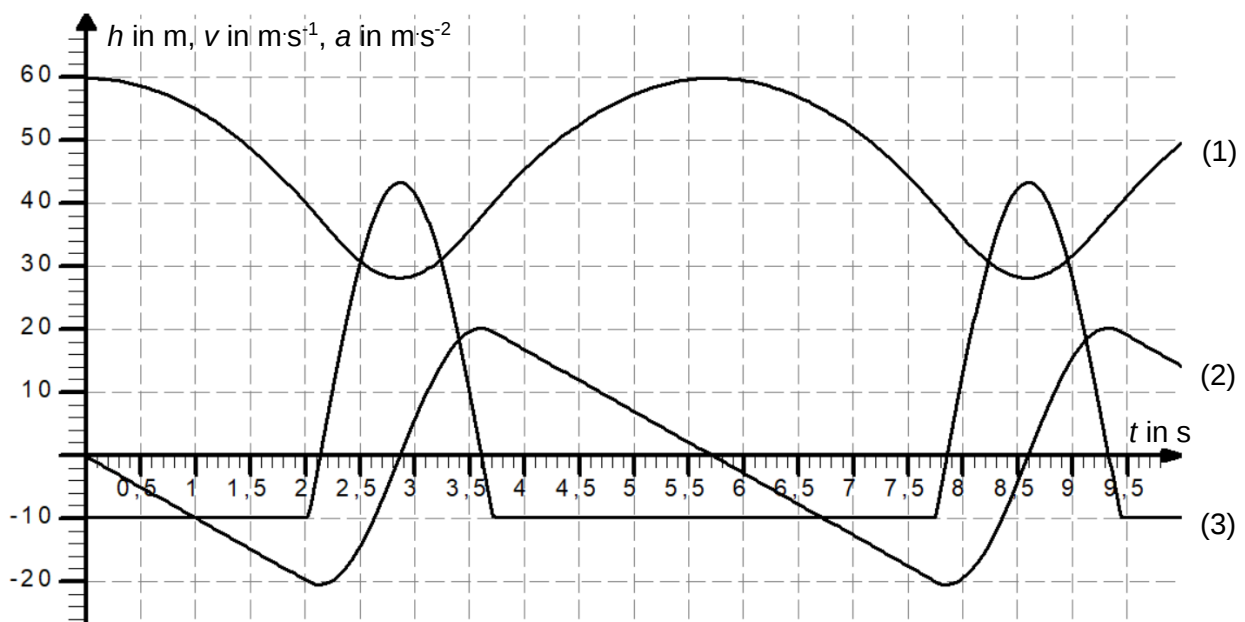


Abb. 5: $a(t)$ –, $v(t)$ – und $h(t)$ – Diagramm
Quelle: Aufgaben AG

Material 4: Beschleunigung und menschlicher Organismus

Dr. Klaus Hannemann (Leiter der Abteilung Raumfahrzeuge im Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt DLR in Göttingen) beantwortet die Frage:

Wieviel g kann ein Mensch aushalten?

Antwort:

Diese Frage ist gleichbedeutend mit der nach der maximalen Beschleunigung bzw. der maximalen Kraft, die auf einen menschlichen Organismus wirken kann, ohne ihn zu schädigen. Beschleunigung beschreibt die Änderung der Geschwindigkeit mit der Zeit. Seit Newton wissen wir, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen der Kraft gibt, die auf einen Körper einwirkt, und der Beschleunigung, die er dadurch erfährt – Kraft ist gleich der Masse des Körpers mal Beschleunigung. Eine Form der Beschleunigung, die unser Leben auf der Erde bestimmt, ist die Erdschwerebeschleunigung, die als „ g “ bezeichnet wird. Durch sie wird die auf uns wirkende Gravitationskraft bestimmt. In der Nähe der Erdoberfläche ist sie annähernd konstant ($g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).

Die Erdschwerebeschleunigung – $1 g$ – wird als Maß für andere Beschleunigungen verwendet. [...] Der Pilot eines Formel-1 Rennwagens erfährt beim Start $1\text{-}1,5 g$ und in Kurvenfahrten bis $5 g$. Die Flugmanöver eines Passagierflugzeuges sind so ausgelegt, dass die Belastung der Fluggäste $1,5 g$ nicht übersteigt. [...] In Achterbahnen können kurzfristig bis zu $6 g$ erreicht werden.

Bei der Frage, welche g -Belastung ein Mensch aushalten kann, spielt neben der Höhe der Beschleunigung auch der Zeitraum und vor allem die Richtung, in der diese Belastung wirkt, eine große Rolle. [...] Insbesondere beeinflussen hohe g -Belastungen unseren Blutkreislauf. [...]

[...] Beschleunigungen [...], bei denen ein Blutfluss zum Kopf hin auftritt, können vom Menschen erheblich schlechter ertragen werden. Belastungen bis $1 g$, die beispielsweise auf eine Person wirken, die auf dem Kopf steht, werden in der Regel von gesunden Menschen ohne Probleme ertragen. Schon kleine Überschreitungen dieser Marke werden allerdings als sehr unangenehm und unter Umständen durch ein Druckgefühl in Kopf und Augen sogar als schmerzhaft empfunden. Bereits bei ca. [...] $3 g$ kann sich der sogenannte „Redout“-Effekt einstellen. Es handelt sich hierbei um eine Einschränkung des Sehvermögens, die dadurch hervorgerufen wird, dass Blut in den Kopf und somit in die Netzhaut und Blutgefäße des Auges gepresst wird. Hierdurch erfolgt eine Rotfärbung des Blickfeldes. Ab $5 g$ kann es ebenfalls zur Bewusstlosigkeit kommen. Ferner besteht bei dieser Belastung bereits nach wenigen Sekunden das Risiko, dass Gefäße platzen und Hirnblutungen einsetzen.

[...]

Quelle: Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation – Archiv 2009
www.ds.mpg.de/131983/18

Prüfungsinhalt

Aufgabe 2

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. [Kontrollwert: $\alpha_1 = 0,00014^\circ$]	6
b Beurteilen Sie mithilfe einer Berechnung der Streifenabstände auf dem Schirm (M 2), ob diese nach der beschriebenen Nachvergrößerung, wie in Material 1 behauptet, groß genug sind, um sie mit dem bloßen Auge beobachten zu können.	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
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. <i>Hinweise:</i> <i>Im Rahmen dieser Aufgabe 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>	5
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, Ergebnisse genau vorherzusagen (M 4), am Beispiel des Experimentes von Tonomura (M 3).	4

Material 1: Ausschnitt aus „Elektroneninterferenzen an mehreren künstlich hergestellten Feinspalten“ von C. Jönsson

„Der aus solchen Überlegungen folgende naheliegende Versuch, Elektronenbeugung am künstlich hergestellten Spalt [...] zu machen, stößt auf einige technische Schwierigkeiten, die seine Verwirklichung bisher verhindert haben. Diese sind einmal die kleine Wellenlänge des Elektronenstrahls, denn um eine vernünftige Elektronenoptik treiben zu können, muß man mit mittelschnellen Elektronen arbeiten. Hier wurden stets auf 50 kV beschleunigte Elektronen verwendet, deren de Broglie-Wellenlänge etwa $5 \cdot 10^{-12}$ m beträgt. Sie ist also wesentlich kleiner als die Atomdimensionen [...]. Es können nur wesentlich gröbere Spalte hergestellt werden. Dies ist an sich keine Einschränkung für solche Versuche, nur muß man sich dann sehr um [...] die Nachvergrößerung der sehr feinen Interferenzfiguren bemühen. [...] Die in der Auffangebene entstehende Beugungsfigur ist noch so fein, dass sie bis zu 100fach elektronenoptisch nachvergrößert werden muß, ehe man sie auf dem Leuchtschirm bei 10facher lichtoptischer Nachvergrößerung bequem beobachten kann.“

(Die Rechtschreibung und die Verwendung von Fachbegriffen folgt 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 Abb. 1 beobachtet wurde, hatte einen Abstand von 350 mm von den Spalten.

Material 2: Elektronenbeugungsaufnahme am Doppelspalt von C. Jönsson

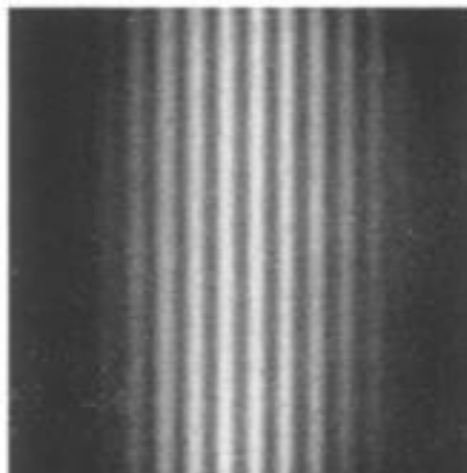


Abb. 1: Interferenzmuster auf einem Leuchtschirm hinter einem mit Elektronen beschossenen Doppelspalt. Je mehr Elektronen an einem Ort des Schirms auftreffen, desto heller leuchtet er dort.

Hinweis:

Diese Abbildung wurde stark vergrößert dargestellt und entspricht nicht den in der Aufgabe angegebenen Abmessungen.

Material 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 50 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 $1,6 \cdot 10^{-16}$ A.

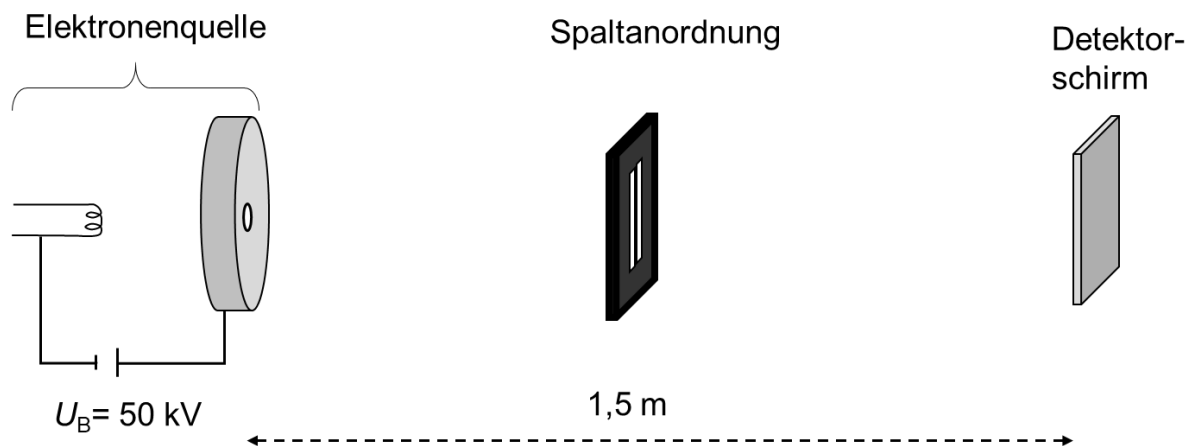


Abb. 2: Schematischer Versuchsaufbau von A. Tonomura

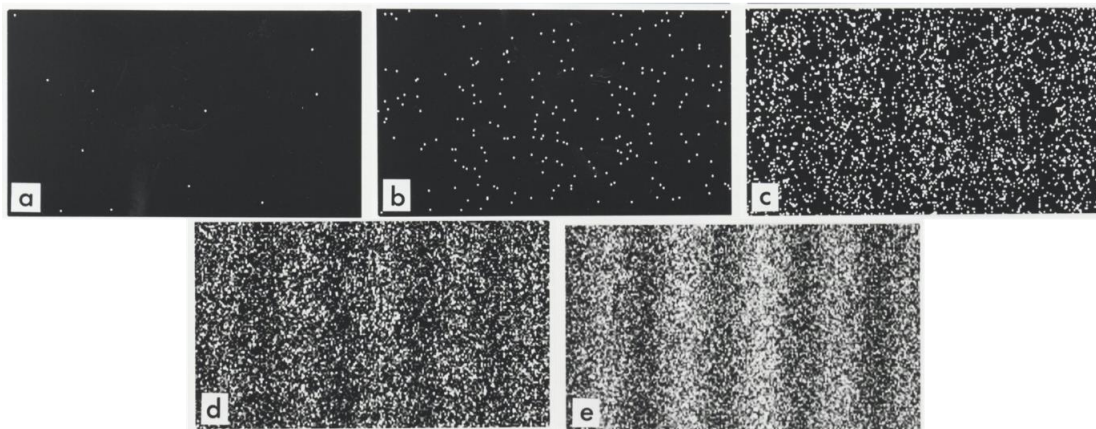


Abb. 3 a bis e: Aufgenommene Schirmbilder mit a) 11 Elektronen, b) 200 Elektronen, c) 6000 Elektronen, d) 40000 Elektronen, e) 140000 Elektronen

Material 4: Zitat von Richard Feynman zum Doppelspaltexperiment

„Wir möchten einen sehr wichtigen Unterschied zwischen der klassischen Mechanik und der Quantenmechanik hervorheben. [...] Wir haben dabei stillschweigend vorausgesetzt, dass es in unserem experimentellen Aufbau (und selbst in dem bestmöglichen) unmöglich sein würde, genau vorherzusagen, was passiert. Wir können nur die Wahrscheinlichkeit vorhersagen! [...] Wir wissen nicht, wie man vorhersagen könnte, was unter vorgegebenen Umständen passieren würde, und wir glauben heute, dass es unmöglich ist und dass das Einzige, was vorhergesagt werden kann, die Wahrscheinlichkeit verschiedener Ereignisse ist.“

Prüfungsinhalt

Wählen Sie **eine** der nachfolgenden Aufgaben 3.1 **oder** 3.2. zur Bearbeitung aus.

Aufgabe 3.1

Ionenstrahl-Triebwerke für Raumsonden

Das Prinzip des Ionenstrahlantriebs für Raumflugkörper wurde von dem Physiker Hermann Oberth bereits 1929 erstmals beschrieben. Sowohl die ESA als auch die NASA haben derartige Antriebssysteme inzwischen bereits sehr erfolgreich getestet.

Die Abbildung zeigt als Beispiel die von einem Ionenstrahl angetriebene NASA-Sonde Deep Space 1 aus dem Jahr 1998 in einer künstlerischen Darstellung.

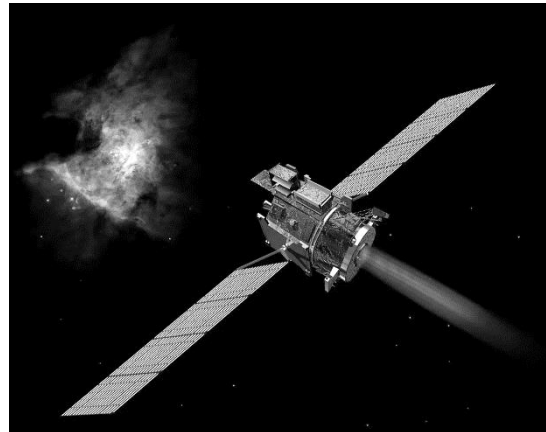


Abb. 1
Quelle: NASA

Hinweis:

Für alle Berechnungen und Modellierungen in der Prüfungsaufgabe wurden die Vorgaben und Zahlenwerte frei angenommen, diese orientieren sich zwar an der Realität, es lässt sich aber kein Anspruch auf Übereinstimmung ableiten.

- 1 Alle Raketentriebwerke arbeiten nach dem Rückstoßprinzip, bei dem ein durch eine Düse entgegen der Bewegungsrichtung gerichteter Antriebsstrahl die Rakete oder die Raumsonde vorwärts treibt. Der Antriebsstrahl wird z. B. bei konventionellen Triebwerken durch die Verbrennung von Treibstoff erzeugt. Der auch als Schub bezeichnete Kraftstoß auf die Raumsonde ist dabei von der Gesamtmasse der im Antriebsstrahl austretenden Teilchen je 1 Sekunde und deren Austrittsgeschwindigkeit abhängig.

Erläutern Sie allgemein das Rückstoßprinzip und die genannten Aussagen physikalisch unter Nutzung Newton'scher Gesetze.

- 2 Ionenstrahl-Triebwerke gehören zu den elektrostatischen Antriebssystemen. Den Antriebsstrahl bilden Ionen. Die Beschleunigung dieser erfolgt durch ein elektrisches Feld. Die notwendige elektrische Energie wird über Solarzellen aus Sonnenenergie gewonnen.

Im Material 1 werden Ihnen grundlegende Fakten zum Aufbau und zur Funktionsweise des Ionenstrahl-Triebwerkes genannt.

Erklären Sie das Funktionsprinzip des Triebwerkes. Gehen Sie dabei auch auf physikalische Felder, wirkende Kräfte sowie Bewegungsarten der Teilchen ein (M 1).

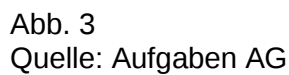
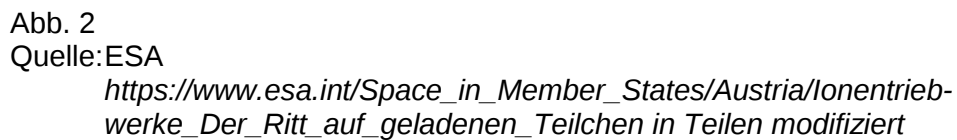
BE

6

6

- 3** Die Sonde SMART-1 war die erste von einem Ionenstrahl-Triebwerk angetriebene Sonde der ESA. Sie erforschte den Erdmond. Das Triebwerk konnte mit der mitgeführten Stützmasse Xenon über den Zeitraum 60 Tage mit konstanter Leistung betrieben werden. Die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Triebwerkstarts betrug $10 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Im Material 2 sind Ihnen alle weiteren notwendigen Angaben gegeben.
- a** Zwischen den Gitterelektroden 1 und 2 liegt die Spannung 5000 V an, es gilt $U_1 \ll U_2$. Schätzen Sie den Betrag der Spannung U_1 . Begründen Sie. 3
- b** Ermitteln Sie die Geschwindigkeit für ein emittiertes Xe-Ion in Bezug zur Sonde (nicht relativistisch). Nutzen Sie sowohl die Annahme, dass dieses Xe-Atom alle 8 Außenelektronen abgegeben hat - Ionisationsgrad $n = 8$ - als auch die bei Teilaufgabe 3a genannte Bedingung $U_1 \ll U_2$. 3
- [Kontrollergebnis: $v_{\text{Ion;Sonde}} = 232,76 \cdot 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$]
- c** Weisen Sie nach, dass die insgesamt im Mittel auf die Sonde durch die austretenden Ionen bewirkte Schubkraft $F = 3,8 \text{ N}$ beträgt. 4
- Begründen Sie, dass es unmöglich wäre die Sonde von der Erde aus zu starten.
- d** Die Geschwindigkeit der Sonde soll unmittelbar nach dem Starten des Triebwerkes um $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ vergrößert werden. Es wirkt ausschließlich die Schubkraft der Sonde als beschleunigende Kraft und der Masseverlust durch die austretenden Ionen ist zu vernachlässigen. Berechnen Sie die dafür notwendige Zeit. 2
- 4 Fachpraktischer Teil**
- Von der Aufsicht führenden Fachlehrkraft wird Ihnen ein Computer bereitgestellt, auf dem die von Ihnen im Unterricht genutzte Software zur Modellbildung installiert ist.
- Das Ionenstrahl-Triebwerk einer Raumsonde wird mit Quecksilber betrieben. Unter Nutzung eines numerischen Modells (M 3) soll die Bewegung der Sonde simuliert werden. Dieses Modell ist einschließlich der Startwerte bereits in der Datei eingetragen. Diese ist auf dem Rechner geöffnet.
- a** Erläutern Sie die Zeilen (1) und (4) des Modells. 3
- b** Ermitteln Sie durch Simulation den von der Sonde nach 2,5 Jahren zurückgelegten Weg und die zu diesem Zeitpunkt erreichte Geschwindigkeit. 4
- Drucken Sie die zugehörigen Diagramme aus.
- c** Behauptung: 3
- Die erreichte Geschwindigkeit nach 2,5 Jahren ist umso kleiner, je größer der Ionisationsgrad n ist.
- Beurteilen Sie die Behauptung unter Nutzung des Modells. 3
- 5** Vergleichen Sie konventionelle chemische Triebwerke, die auf der Verbrennung flüssiger oder fester Treibstoffe beruhen, und Ionenstrahl-Triebwerke bezüglich der mitzuführenden Masse an Treibstoff. 2
- Legen Sie zwei weitere Kriterien selbst fest und vergleichen Sie beide Triebwerksarten bezüglich dieser Kriterien. 4

Elektrostatische Antriebe werden aufgrund ihrer Arbeitsweise auch als Ionen- oder Plasmatriebwerke bezeichnet, die Abbildungen 2 und 3 zeigen das Prinzip.



Ionenstrahl-Triebwerke können Raumsonden über Jahre hinweg beschleunigen, so dass diese hohe Endgeschwindigkeiten erreichen. Sie benötigen dazu eine im Vergleich zu konventionellen chemischen Antrieben geringe Masse Treibstoff.

Als Arbeitsmedium werden z. B. kleinste Quecksilbertröpfchen oder auch Xenongasatome genutzt. In den letzten Jahren hat sich das Prinzip des Ionenantriebes mit Xenongas als Arbeitsmedium als zukunftssträftig erwiesen. Xenon als Edelgas ist umweltfreundlich und auch leichter zu handhaben.

Funktionsprinzip:

Xenongas strömt ein. Die gitterförmigen Katoden emittieren durch Glühemission Elektronen, deren kinetische Energie ist unmittelbar nach der Emission im Mittel nahezu 0. Diese sollen mit den Xe-Atomen wechselwirken. Es werden stets verschiedene Ionisationsgrade je Atom (z. B. einfach Xe^+ oder bis zu achtfach Xe^{8+} geladen) erzielt, also verschieden viele Außenelektronen je Atom abgelöst. Zwischen den Gitterelektroden 1 und 2 liegt die Spannung 5000 V an, es gilt $U_1 \ll U_2$.

Es entsteht ein Plasma elektrisch positiv geladener Xe-Ionen. Nach dem Austritt aus dem Triebwerk werden dem Plasma wieder Elektronen zugesetzt, um die Xe-Ionen zu neutralisieren und eine Aufladung des Raumflugkörpers zu verhindern.

Material 2: Angaben zur Sonde SMART-1

- Die Masse der Sonde betrug zum Zeitpunkt des Zündens des Triebwerkes insgesamt 367 kg.
- mitgeführte Stützmasse 84 kg Xenon (Treibstoff)
- zwischen den Gitterelektroden anliegende Beschleunigungsspannung $U_2 = 5000 \text{ V}$
- Gesamtladung der im Zeitraum 60 Tage emittierten Ionen $42,27 \cdot 10^6 \text{ C}$
- Masse eines Xenon-Ions $217,5 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- Die notwendige Ionisationsenergie pro Valenzelektron der Xe-Atome beträgt 12,1 eV. Es wird vereinfacht angenommen, dass diese Ionisationsenergie pro Valenzelektron für die erste, zweite, ...bis zur achten Ionisation stets den gleichen Betrag hat.

Weiter mit Material 3 auf Seite 14

Material 3: Modellbildung und Simulation

PROGRAMM: (Ionenstrahltriebwerk)

$$\begin{aligned}(1) \quad v_{\text{Ion}} &= v_{\text{Sonde;alt}} - \sqrt{\frac{2 \cdot n \cdot e \cdot U}{m_{\text{Ion}}}} \\(2) \quad dQ &= I \cdot dt \\(3) \quad dm_{\text{Sonde}} &= m_{\text{Ion}} \cdot \frac{dQ}{n \cdot e} \\(4) \quad v_{\text{Sonde;neu}} &= \frac{(m_{\text{Sonde;alt}} \cdot v_{\text{Sonde;alt}} - dm_{\text{Sonde}} \cdot v_{\text{Ion}})}{(m_{\text{Sonde;alt}} - dm_{\text{Sonde}})} \\(5) \quad x_{\text{neu}} &= x_{\text{alt}} + v_{\text{Sonde;neu}} \cdot dt \\(6) \quad x_{\text{AE}} &= \frac{x}{150 \cdot 10^9} \\(7) \quad t_{\text{neu}} &= t_{\text{alt}} + dt \\(8) \quad t_{\text{Jahr}} &= \frac{t}{3600 \cdot 24 \cdot 365}\end{aligned}$$

Startwerte:

- Masse eines Quecksilber-Ions: $m_{\text{Ion}} = 3,33253849 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$
(Elektronenmasse vernachlässigt)
- Elementarladung: $e = 1,60217663 \cdot 10^{-19} \text{ As}$
- Ionisationsgrad: n
(z. B. $n = 1$ bedeutet Hg^+ , $n = 2$ bedeutet Hg^{++})
- Gesamtmasse der Sonde zum Zeitpunkt des Zündens des Triebwerkes:
 $m_{\text{Sonde}} = 5000 \text{ kg}$
- Geschwindigkeit der Sonde zum Zeitpunkt des Zündens des Triebwerkes:
 $v_{\text{Sonde}} = 10000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Konstante Gesamtstromstärke der emittierten Quecksilber-Ionen:
 $I = 0,275 \text{ A}$
- Konstante Beschleunigungsspannung für die Quecksilber-Ionen:
 $U = 2500 \text{ V}$
- Ein Quecksilber-Ion mit dem Ionisierungsgrad n trägt die Ladung $Q_{\text{Ion}} = n \cdot e$:
 $n = 1$

Der zurückgelegte Weg wird in die Einheit Astronomische Einheit umgerechnet, weil die Satelliten große Strecken zurücklegen sollen. Eine Astronomische Einheit entspricht dem mittleren Abstand Erde – Sonne.

Da Ionentriebwerke (Sonnenpaneele, Nuklearbatterie) sehr lange arbeiten sollen, wird die Zeit in die Einheit Jahr umgerechnet.

Aufgabe 3.2

Anwendung der Near Field Communication

Die Abkürzung NFC steht für **N**ear **F**ield **C**ommunication, 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.

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. | 4 |

Hinweis:

Sollten Sie keine verwertbaren Messergebnisse aufnehmen können, ist es möglich, dass Sie Ersatzmesswerte anfordern. In diesem Fall werden 4 BE nicht erteilt.

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 |
| 3 Bei der im 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 4,5 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 500 k Ω beträgt. | 4 |

BE

- | | |
|---|-------------------------------------|
| <p>c Im praktischen Einsatz der NFC-fähigen Geldkarte kann in manchen Betriebszuständen der Ohm'sche Widerstand auch kleiner als 500 kΩ sein. Erläutern Sie den Einfluss dieses Sachverhaltes auf die Zeitdauer, in der die Karte betriebsbereit ist.</p> <p>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 mF bauen zu können, ist ein Material mit einer möglichst großen Dielektrizitätszahl ϵ_r zu verwenden.</p> <p>Beschreiben Sie zwei weitere Möglichkeiten, die Kapazität eines Kondensators zu erhöhen.</p> <p>5 Der in der Abbildung 2 des Materials 2 dargestellte Schwingkreis der Geldkarte, bestehend aus Kondensator C und Spule (B), schwingt mit der Eigenfrequenz 13,56 MHz.</p> <p>Berechnen Sie die Kapazität C des Kondensators im Schwingkreis, wenn die Induktivität der Spule 4,10 μH beträgt.</p> <p>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 sichere ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Jackentasche oder - die Geldbörse mit eisenhaltigen Münzen. <p>Vergleichen Sie beide Optionen hinsichtlich der Sicherheit und formulieren Sie eine begründete Empfehlung.</p> | <p>3</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>5</p> |
|---|-------------------------------------|

Material 1: Versuchsaufbau für das Experiment in Aufgabe 1

Geräte und Materialien:

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

Die Spannung der Wechselspannungsquelle wird während des Versuchs nicht verändert.

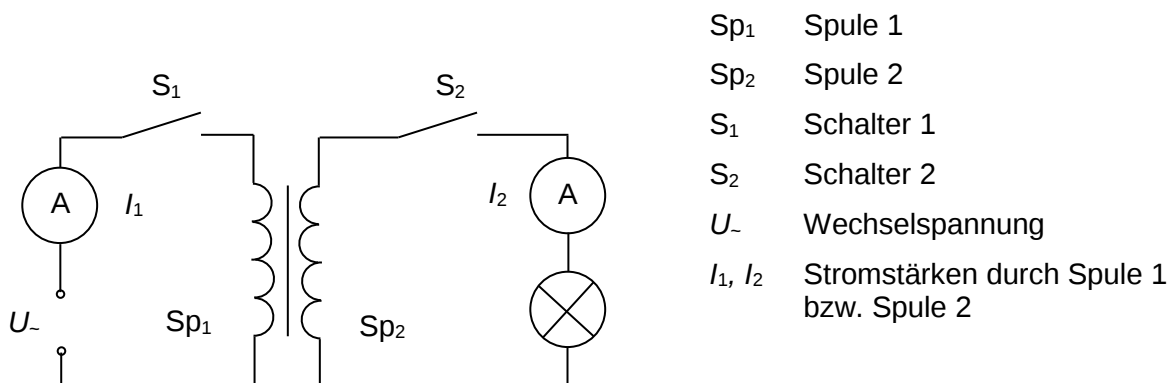


Abb. 1: Experimentelle Untersuchung von Vorgängen in gekoppelten Spulen

Material 2: Near Field Communication (NFC)

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

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.

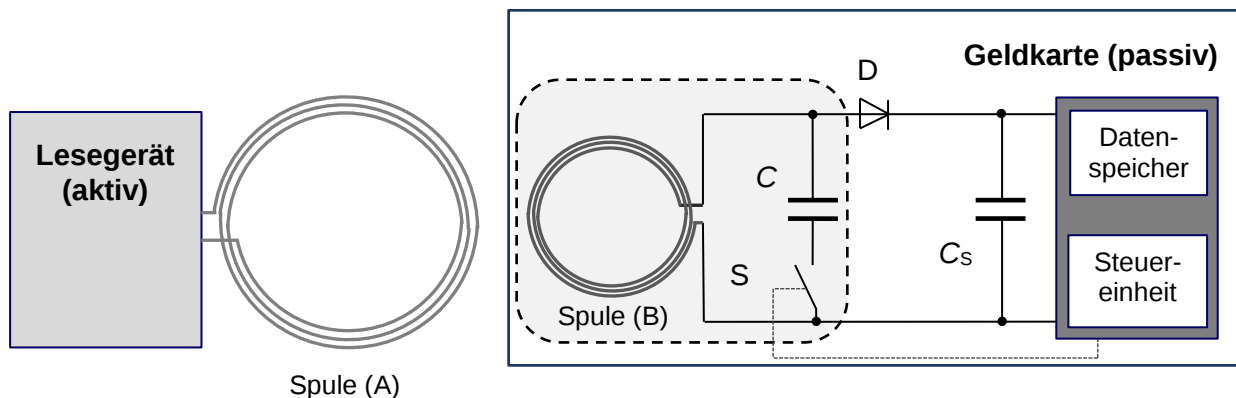


Abb. 2: NFC-Übertragung zwischen Lesegerät und NFC-fähiger Geldkarte (vereinfachte Darstellung des Prinzips)

Im Lesegerät wird eine Wechselspannung der Frequenz 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 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 3,3 V nicht unterschreitet.

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

-LEERSEITE-