

2024

# Abitur

Original-Prüfung  
mit Lösungen

**MEHR  
ERFAHREN**

Gymnasium Baden-Württemberg

**Physik**

+ Übungsaufgaben



**STARK**

# Inhalt

|                      |  |
|----------------------|--|
| Vorwort              |  |
| Stichwortverzeichnis |  |

## Hinweise und Tipps zum Abitur in Physik

|   |    |
|---|----|
| Die Kursstufe                                       | I  |
| Der Bildungsplan                                    | I  |
| Die Aufgaben der schriftlichen Abiturprüfung Physik | I  |
| Bearbeitung der Prüfungsaufgaben                    | I  |
| Welchen Stoff müssen Sie beherrschen?               | II |
| Operatoren  | IV |
| Bewertung der Prüfungsarbeiten                      | V  |
| Zum Umgang mit diesem Buch                          | V  |
| Liste der physikalischen Konstanten und Beziehungen | VI |

## Übungsaufgaben

|   |    |
|---|----|
| Übungsaufgabe 1: Elektronenbahn im Plattenkondensator             | 1  |
| Übungsaufgabe 2: Ionen im E- und B-Feld; Interferometer           | 5  |
| Übungsaufgabe 3: Elektronen im E- und B-Feld; Relativitätstheorie | 12 |
| Übungsaufgabe 4: Protonen im Teilchenbeschleuniger                | 19 |

## Abiturprüfungsaufgaben

### Abiturprüfung 2017

|             |   |         |
|-------------|---|---------|
| Aufgabe I   | Schwingender Wagen, Blattfederpendel, Dopplereffekt, begrenzter linearer Wellenträger   | 2017-1  |
| Aufgabe II  | Einfachspalt, Gitter, Lochblende, Fotoeffekt  | 2017-9  |
| Aufgabe III | Ladungsträger im homogenen E- und B-Feld, Induktivität einer Spule, Einschaltvorgang im RL-Kreis, Füllhöhenmessung mit Schwingkreis | 2017-17 |

### Abiturprüfung 2018

|             |   |         |
|-------------|---|---------|
| Aufgabe I   | Federpendel, mechanische Wellen, Fotoeffekt                                 | 2018-1  |
| Aufgabe II  | Doppelspalt, Einzelspalt, Lichtgeschwindigkeit in Medien, Elektronenbeugung | 2018-8  |
| Aufgabe III | Magnetische Kraft auf einen Leiter, Schwingkreis, Induktion                 | 2018-17 |

## Abiturprüfung 2019

|             |   |         |
|-------------|---|---------|
| Aufgabe I   | Federpendel, gedämpfte Schwingung, Schwingkreis, Interpretation von Diagrammen . . . . .    | 2019-1  |
| Aufgabe II  | Doppelspalt, Einzelspalt, Gitter, Elektronenbeugung . . . . .                               | 2019-9  |
| Aufgabe III | Kondensator, langgestreckte Spule, Einschaltvorgang, Induktion, Lenz'sches Gesetz . . . . . | 2019-16 |

## Abiturprüfung 2020

|             |   |         |
|-------------|---|---------|
| Aufgabe I   | Fadenpendel, Interferenz bei Wasserwellen, Eigenschwingungen eines Drahtes, De-Broglie-Wellenlänge, Elektronenbeugung . . . . . | 2020-1  |
| Aufgabe II  | Einzelspalt, Doppelspalt, Brechung, Teilchen in E- u. B-Feldern . . . . .   | 2020-10 |
| Aufgabe III | Aufladevorgang, Potenzial, Coulomb-Gesetz, Einschaltvorgang, Ausschaltvorgang, Induktion . . . . .                              | 2020-19 |

## Abiturprüfung 2021

|             |  |         |
|-------------|--|---------|
| Aufgabe I   | Federpendel, Stangenpendel, Wasserwellen . . . . .                                     | 2021-1  |
| Aufgabe II  | Doppelspalt, Einzelspalt, Mehrfachspalt*, Gitter, Fotoeffekt . . . . .                 | 2021-9  |
| Aufgabe III | Magnetische Flussdichte einer Leiterschleife, Induktion, Wechselspannung . . . . .     | 2021-16 |
| Aufgabe IV  | Plattenkondensator, Dielektrikum, Schwingkreis, Teilchen in E- und B-Feldern . . . . . | 2021-25 |

\* Der Mehrfachspalt zählt seit dem Abitur 2023 nicht mehr zum Prüfungsstoff.

## Abiturprüfung 2022

|             |   |         |
|-------------|---|---------|
| Aufgabe I   | Schwingender Wagen, linearer Wellenträger, zwei Stifte im Wasserbecken . . . . .      | 2022-1  |
| Aufgabe II  | Doppelspalt, optisches Gitter im Aquarium, Fotoeffekt . . . . .                       | 2022-9  |
| Aufgabe III | Elektronen im E- und B-Feld, luftgefüllte Zylinderspule, Plattenkondensator . . . . . | 2022-18 |
| Aufgabe IV  | Schwingkreis, Induktion, Ein- und Ausschaltvorgang einer Spule . . . . .              | 2022-28 |

## Abiturprüfung 2023 (online) . . . . . [www.stark-verlag.de/mystark](http://www.stark-verlag.de/mystark)

Sobald die Original-Prüfungsaufgaben 2023 freigegeben sind, können sie als PDF auf der Plattform **MyStark** heruntergeladen werden. Den Zugangscode finden Sie auf der vorderen Umschlaginnenseite in diesem Buch.



Sollten vom Kultusministerium nach Erscheinen dieses Bandes wichtige Änderungen in der Abiturprüfung 2024 bekannt gegeben werden, finden Sie aktuelle Informationen dazu im Internet ebenfalls auf MyStark.

## Autor

StD a.D. Bruno Kunz

# Vorwort

## Liebe Schülerinnen und Schüler,

das vorliegende Buch bietet Ihnen die Möglichkeit, sich optimal auf die zentral gestellte schriftliche Abiturprüfung im Fach Physik vorzubereiten. Dazu stellen wir Ihnen eine umfangreiche Sammlung an Aufgaben zur Verfügung, mit deren Hilfe Sie das im Unterricht Erlernte üben und aufarbeiten können.

Im ersten Teil erhalten Sie „**Hinweise zum Abitur in Physik**“. Diese werden Ihnen helfen, die formalen Rahmenbedingungen für das Zentralabitur kennen zu lernen. Nach einer kurzen Erläuterung zur Stellung des Faches Physik in der Kursstufe erhalten Sie Hinweise zum Bildungsplan. Anschließend erhalten Sie ausführliche Informationen zu Struktur und Auswahl der Abituraufgaben sowie zum Ablauf der Prüfung. Die hier vorgestellten Tipps helfen Ihnen konkret bei der erfolgreichen Bearbeitung der Abituraufgaben.

Seit 2023 liegt dem Abitur der 2016 eingeführte neue Bildungsplan zugrunde. Da in der schriftlichen Abiturprüfung nicht alle Stoffgebiete abgeprüft werden, die der Bildungsplan beinhaltet, enthält der Abschnitt „Welcher Stoff muss beherrscht werden?“ eine Liste der prüfungsrelevanten Themen. Anschließend erfahren Sie, wie Ihre Prüfungsarbeiten bewertet werden.

Der Hauptteil dieses Buches enthält die für die kommende Abiturprüfung relevanten Aufgaben der **offiziellen Abiturklausuren** ab 2017. Darüber hinaus finden Sie vier **Übungsaufgaben**, die speziell den neu hinzugekommenen Prüfungsstoff „Bewegung geladener Teilchen im elektrischen und im magnetischen Querfeld“ behandeln. Zu allen Aufgaben gibt es **vollständige, ausführlich kommentierte Lösungsvorschläge** sowie zusätzliche **separate Tipps zum Lösungsansatz**, welche Ihnen das eigenständige Lösen der Aufgaben erleichtern.

Ich wünsche Ihnen viel Erfolg in der Abiturprüfung!

Bruno Kunz

## Digitales Zusatzangebot auf MyStark



**Original-Abituraufgaben des Jahrgangs 2023 zum Download**



**Interaktives Training**

Ihr Coach zum Erfolg: Mit dem **interaktiven Training** erhalten Sie online auf MyStark Aufgaben und Lernvideos zu allen relevanten Themengebieten des Physikabiturs. Am besten gleich ausprobieren!

Den Zugangscode zu MyStark ([www.stark-verlag.de/mystark](http://www.stark-verlag.de/mystark)) finden Sie auf der vorderen Umschlaginnenseite in diesem Buch.

# Hinweise und Tipps zum Abitur in Physik

## Die Kursstufe

---

Als Schülerin bzw. Schüler müssen Sie drei fünfstündige Leistungsfächer wählen, die auch schriftlich geprüft werden. Zwei der drei Leistungsfächer sind Deutsch, Mathematik, eine Fremdsprache (spätestens ab Klasse 8 begonnen) oder eine Naturwissenschaft.

Im Abitur werden Sie in fünf Fächern geprüft:

- Die drei schriftlichen Prüfungen werden in den drei Leistungsfächern abgelegt.
- In zwei weiteren Fächern finden 20-minütige mündliche Prüfungen statt. Eine davon kann in der Regel durch eine besondere Lernleistung ersetzt werden. Die Präsentationsprüfung gibt es nicht mehr.

Seit dem Abitur 2022 gibt es die Null-Punkte-Regelung: Eine Abiturprüfung gilt als nicht bestanden, wenn eine schriftliche oder mündliche Prüfung mit null Punkten bewertet wurde. Eine schriftliche Null-Punkte-Prüfung kann durch eine freiwillige zusätzliche mündliche Prüfung mit mindestens einem Punkt gerettet werden.

## Der Bildungsplan

---

Neu: Seit dem Abitur 2023 gilt der neue Bildungsplan von 2016.

## Die Aufgaben der schriftlichen Abiturprüfung Physik

---

In Baden-Württemberg werden die Abituraufgaben zentral vom Kultusministerium gestellt. Das heißt, dass Lehrerinnen und Lehrer bei den vier Regierungspräsidien Aufgabenvorschläge einreichen müssen, aus denen dann Kommissionen der Regierungspräsidien bzw. des Kultusministeriums die endgültigen Aufgaben festlegen. In der Regel gibt es drei Aufgaben mit verschiedenen Schwerpunkten, von denen **die Lehrkraft zwei** für die Bearbeitung durch die Schüler **auswählt**. Aufgrund der coronabedingten Erschwernisse konnte die Lehrkraft abweichend hiervon in den Jahren 2021 und 2022 aus vier Aufgaben auswählen. Im Gegensatz zu vielen anderen Fächern haben Sie als Schüler nichts auszuwählen. In jeder Aufgabe kann das Thema mehrfach wechseln. Die Gesamtarbeitszeit beträgt 240 Minuten. Als **Hilfsmittel** sind ein Taschenrechner (WTR) und als Formelsammlung – neu ab dem Abitur 2024 – das „Dokument mit mathematischen Formeln“ des IQB (Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen, Berlin) zugelassen:

[https://www.iqb.hu-berlin.de/abitur/abitur/dokumente/mathematik/M\\_Dokument\\_mit\\_m.pdf](https://www.iqb.hu-berlin.de/abitur/abitur/dokumente/mathematik/M_Dokument_mit_m.pdf)

Darüber hinaus steht Ihnen als Anlage zu den Aufgaben eine Liste der physikalischen Konstanten und Beziehungen (siehe S. VI) zur Verfügung.

## Bearbeitung der Prüfungsaufgaben

---

- Sie bekommen zwei verschiedene Sorten von Papierbogen ausgeteilt. Das weiße Papier dient der Reinschrift, das grüne ist für den Entwurf gedacht. Wenn Sie sich Ihre Zeit vernünftig einteilen, werden Sie in der vorgegebenen Zeit gut fertig. Die Zeit kann aber knapp werden, wenn Sie alles zuerst als Entwurf schreiben und anschließend in die Reinschrift übertragen. Wenn Sie sich also sicher sind, dass Sie einen Teil gut lösen können, schreiben Sie Ihre Lösung gleich auf das weiße Papier. Bei Teilen, bei denen

Sie sich nicht so sicher sind, schreiben Sie zuerst einen **möglichst sauberen** Entwurf auf das grüne Papier, den Sie anschließend übertragen. Es hat sich bewährt, für kleine Nebenrechnungen bzw. für das Probieren (wie hieß die Formel noch mal?) ein Extrablatt des grünen Papiers zu verwenden.

- Lesen Sie zuerst beide vorgelegten Aufgaben und beginnen Sie dann mit der Aufgabe, bei der Sie sich am sichersten fühlen. Nach Möglichkeit bearbeiten Sie diese Aufgabe an einem Stück.
- Schreiben Sie zu Beginn jeder Teilaufgabe die Angaben auf, die für diesen Teil gelten. Achten Sie auf Verweise zu Aufgabenteilen, die weiter oben stehen. Überlegen Sie, welche Formel zu dem Problem passt, und schreiben Sie die Formel zuerst in der Form hin, wie Sie sie gelernt haben. Anschließend wird umgeformt und dann eingesetzt.
- Manche Aufgabenteile werden relativ offen formuliert sein. Es gibt also keine Detailfragen, sondern Sie müssen selbst das Wesentliche dieser Teilaufgabe herausfinden und in Form eines kleinen Aufsatzes beschreiben. Dieser sollte sowohl fachlich als auch sprachlich fehlerfrei sein. Das bloße Hinschreiben einer Formel genügt nicht. Andererseits sollte man die Frage beantworten und nicht vom Thema abschweifen.
- Enthält eine Aufgabenstellung eine Skizze, so müssen ihr die wesentlichen Daten entnommen werden, da diese im Text nicht nochmals wiederholt werden. Sie selbst müssen den Variablen einen sinnvollen Namen geben. Wählen Sie also nach Möglichkeit den Buchstaben, wie er in den gelernten Formeln heißt.
- Bei Zeichnungen müssen Sie selbst den geeigneten Maßstab herausfinden. Denken Sie vor der Prüfung daran, Ihr Schreibzeug auf den neuesten Stand zu bringen.
- Beschriften Sie Ihre Skizzen und Diagramme klar und sauber.
- Enthält eine Arbeit zu viele Verstöße gegen Rechtschreibung, Grammatik oder Form, so können bis zu zwei Notenpunkte abgezogen werden.
- Denken Sie auch daran, die korrekten Einheiten zu verwenden und hinzuschreiben. In diesem Buch werden grundsätzlich alle Angaben in SI-Einheiten umgewandelt, sodass hinter den Maßzahlen nur eine einzige Maßeinheit, nämlich die zur zu berechnenden Größe zugehörige Maßeinheit, steht.
- Ein Ergebnis kann nicht genauer sein als die vorgegebenen Daten. Sind die Daten mit einer Genauigkeit von zwei oder drei Stellen vorgegeben, so ist es sinnlos, das Ergebnis mit acht Stellen hinter dem Komma anzugeben. Werden Zwischenergebnisse aufgeschrieben, so sollten diese gerundet werden. Werden die Zahlen weiterverwendet, sollte man aber mit allen Stellen, wie sie noch im Taschenrechnerdisplay stehen, weiterrechnen.

## **Welchen Stoff müssen Sie beherrschen?**

---

Der größte Teil der Aufgaben prüft die verbindlich vorgegeben Fachinhalte und Fachmethoden ab. Ein Teil der Aufgaben kann aber auch fachliche Inhalte zum Gegenstand haben, die im Bildungsplan nicht verbindlich vorgesehen sind.

Beispiele für solche Aufgaben sind:

- Aufgabe 2017/I2 behandelt ein Blattfederpendel;
- Aufgabe 2017/I3 behandelt den Dopplereffekt;
- Aufgabe 2017/II2 behandelt die Lochblende;
- Aufgabe 2018/I2 ermittelt den Zusammenhang zwischen der Spannkraft in einem elastischen Band und den Oberschwingungen des Bandes;
- Aufgabe 2019/I1 behandelt die Abnahme der Amplitude bei einer durch eine konstante Kraft gedämpften Schwingung;

- Aufgabe 2019/II 3 ist eine Aufgabe zur relativistischen Massenabhängigkeit;
- Aufgabe 2019/III 1 ist eine Aufgabe zu stromdurchflossenen kreisförmigen Leiter-schleifen;
- Aufgabe 2021/II 2 behandelt ein Stangenpendel.

In diesen Aufgaben ist der Stoff nicht im Bildungsplan verlangt, jedoch werden die nöti-gen Formeln angegeben, sodass ihre Bearbeitung mit dem Ziel des Kompetenznachweises – Anwendung bekannter Kompetenzen auf unbekannte Inhalte – legitim und sinnvoll ist. Ziel des kompetenzorientierten Unterrichts ist es dabei nicht, Sie auf alle möglichen In-halte vorzubereiten, die über den Bildungsplan hinausgehen, sondern Ihnen die Kompe-tenzen so zu vermitteln, dass Sie diese an beliebigen Inhalten zeigen können. Allerdings hilft es Ihnen bei der Vorbereitung auf die schriftliche Prüfung, wenn Sie bereits Aufga-ben gerechnet haben, die nicht direkt mit dem Stoff des Unterrichts zusammenhängen, aber in der Prüfung als Transferaufgaben gestellt werden können.

Sie müssen folgenden Stoff, gegliedert nach Stoffgebieten, beherrschen:

- *Elektrisches Feld*  
Elektrisches Feldstärke, Spannung, Potenzial, Äquipotenziallinien, Plattenkondensator, Energie, Bewegung im elektrischen Feld, Elementarladung, Elektronenstrahlröhre, Vergleich mit Gravitationsfeld
- *Magnetisches Feld*  
Magnetisches Feld, Flussdichte, lang gestreckte Spule, Lorentzkraft, Bewegung im B-Feld, Elektronen, Wien'sches Filter
- *Elektromagnetische Induktion*  
Induktion, Selbstinduktion, Induktivität einer lang gestreckten Spule, Energie des magnetischen Feldes
- *Mechanische Schwingungen und Wellen*  
Harmonische Schwingungen, Differenzialgleichung, Längs- und Querwellen, Ausbrei-tungsgeschwindigkeit, Frequenz, Wellenlänge, Interferenz, stehende Querwellen, Eigenschwingungen
- *Elektromagnetische Schwingungen und Wellen*  
Schwingkreis, elektromagnetische Wellen (nur qualitativ), Maxwell-Theorie, Wellen-optik, Reflexion, Brechung, Dispersion, Beugung, Interferenz, Einzelspalt, Doppelspalt, Gitter, Polarisation, Hertz'scher Dipol
- *Grundlagen der Quanten- und Atomphysik*  
Fotoeffekt, Photon, Planck'sches Wirkungsquantum, Elektronenbeugung, de-Broglie-Wellenlänge, Quantenobjekte, Interferenz, Zustandsfunktion, Unbestimmtheit, quantenmechanische Messung

Der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben zu Teilchen in elektrischen und magnetischen Fel-dern hat sich erhöht. Es kann Aufgaben zur Bewegung im elektrischen Querfeld sowie im magnetischen Querfeld geben. Die Rechnungen werden also ausführlicher als in den Auf-gaben der Jahre 2017 bis 2022 sein.

Deshalb finden Sie in diesem Buch vier Übungsaufgaben – basierend auf älteren Abitur-aufgaben –, welche dieses Themengebiet ausführlich behandeln. Sie veranschaulichen gut, wie eine zukünftige Abituraufgabe hierzu gestellt werden könnte, wenn auch nach den Erfahrungen der letzten Jahre nicht zu erwarten ist, dass eine Aufgabe nur Bewegun-gen in Feldern enthalten wird.



**Abiturprüfung an den allgemeinbildenden Gymnasien (Baden-Württemberg) 2020**  
**Prüfungsfach: Physik – Aufgabe III**

1. Ein ungeladener Kondensator und ein dazu in Reihe geschalteter Widerstand von  $10,0\ \Omega$  werden zum Zeitpunkt  $0\text{ s}$  an ein Netzgerät mit einer konstanten Gleichspannung angeschlossen. Mithilfe eines Messwerterfassungssystems, welches parallel zum Widerstand geschaltet ist, werden die Werte für die Stromstärke beim Ladevorgang im Sekundenabstand aufgezeichnet (siehe Tab. 1).

|         |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| t in s  | 0   | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | 6,00 | 7,00 | 8,00 | 9,00 | 10,0 |
| I in mA | 500 | 322  | 205  | 130  | 78,5 | 51,0 | 32,0 | 22,0 | 13,0 | 10,0 | 5,50 |

Tab. 1

- Zeichnen Sie für dieses Experiment ein Schaltbild.
- Zeichnen Sie das zugehörige Zeit-Stromstärke-Diagramm.
- Zeigen Sie, dass die Spannung am Netzgerät  $5,00\text{ V}$  beträgt.

Der Verlauf der Stromstärke lässt sich mithilfe der Funktion

$$I(t) = I(0\text{ s}) \cdot e^{-\frac{1}{R \cdot C} \cdot t}$$

beschreiben.

- Bestimmen Sie einen Wert für die Kapazität des Kondensators.
- Ermitteln Sie die Ladungsmenge, die in den ersten zwei Sekunden auf den Kondensator fließt, und vergleichen Sie diesen Wert mit der Ladungsmenge des vollständig geladenen Kondensators.

(7 VP)

2. Abbildung 1 zeigt das Schnittbild einer kugelförmigen und einer quaderförmigen Metallelektrode sowie im Bereich dazwischen elektrische Feldlinien. Zusätzlich sind Linien gleichen Potentials, sogenannte Äquipotenziallinien, gestrichelt eingezeichnet. Die Potentialdifferenz zwischen den dargestellten benachbarten Äquipotenziallinien ist konstant. Diese Potentialdifferenz besteht auch zwischen den Elektroden und der nächstliegenden Äquipotenziallinie. Die quaderförmige Elektrode hat das Potenzial  $0\text{ V}$  und die kugelförmige Elektrode das Potenzial  $9,0\text{ kV}$ .

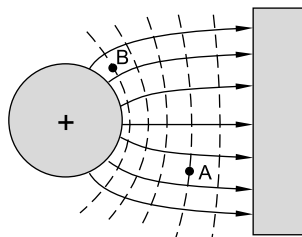


Abb. 1

- Bestimmen Sie das Potenzial im Punkt A.
- Bestimmen Sie die Energie, die notwendig wäre, um ein Proton von A nach B zu verschieben.

Nun wird die quaderförmige Elektrode entfernt. In das Feld der kugelförmigen Elektrode wird eine kleine Kugel mit der Ladung  $q = 0,400 \text{ nC}$  gebracht. In einer Versuchsreihe wird die elektrische Kraft  $F_{\text{el}}$  auf diese Kugel für verschiedene Abstände  $r$  zum Mittelpunkt der kugelförmigen Elektrode gemessen. Tabelle 2 zeigt die gemessenen Wertepaare.

|                       |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| $r$ in cm             | 5,00 | 10,0 | 20,0 | 30,0 | 50,0 |
| $F_{\text{el}}$ in mN | 24,5 | 6,05 | 1,52 | 0,68 | 0,24 |

Tab. 2

- c) Untersuchen Sie, welcher der folgenden Zusammenhänge durch die Messung bestätigt wird. Dabei ist  $k$  eine Konstante.

(1)  $F_{\text{el}} = k \cdot r^2$       (2)  $F_{\text{el}} = \frac{k}{r}$       (3)  $F_{\text{el}} = k \cdot \sqrt{r}$   
 (4)  $F_{\text{el}} = \frac{k}{r^2}$       (5)  $F_{\text{el}} = k \cdot r$

Für die Konstante  $k$  gilt:  $k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot q \cdot Q$ .

- d) Berechnen Sie unter Verwendung aller Messwerte die Ladung  $Q$  der kugelförmigen Elektrode.

(7 VP)

3. In dem in Abbildung 2 dargestellten Schaltkreis befinden sich zwei baugleiche Lämpchen  $L1$  und  $L2$ , ein ohmscher Widerstand  $R$  und eine Spule  $SP$ . Für die folgenden Überlegungen soll angenommen werden, dass der Widerstand der Lämpchen jeweils konstant  $40 \Omega$  beträgt.

Der Widerstand  $R$  und die Spule  $SP$  haben jeweils den ohmschen Widerstand  $60 \Omega$ . Die Induktivität der Spule beträgt  $20 \text{ H}$ .

Zum Zeitpunkt  $0 \text{ s}$  wird der Schalter  $S$  geschlossen. Man beobachtet, dass  $L2$  gegenüber  $L1$  zeitverzögert zu leuchten beginnt.

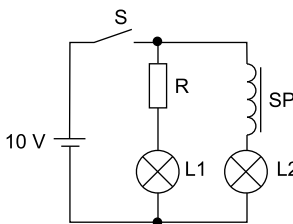


Abb. 2

- a) Erklären Sie diese Beobachtung.

Nun wird der Schalter wieder geöffnet.

- b) Beschreiben Sie, wie sich die Lämpchen nun verhalten, und begründen Sie Ihre Antwort.  
 c) Begründen Sie, warum der Betrag der in der Spule induzierten Spannung unmittelbar nach dem Öffnen des Schalters  $20 \text{ V}$  beträgt.

Die Abbildung 3 auf dem Zusatzblatt zeigt den Verlauf der elektrischen Stromstärke in der Spule für diesen Ein- und Ausschaltvorgang.

- d) Bestimmen Sie näherungsweise die Werte der in der Spule induzierten Spannung für die Zeitpunkte  $0,15 \text{ s}$  und  $1,15 \text{ s}$ .  
 e) Skizzieren Sie den Verlauf der in der Spule induzierten Spannung in das Koordinatensystem von Abbildung 4 auf dem Zusatzblatt unter Verwendung der in den Teilaufgaben c und d bestimmten Werte.

(9 VP)

## Tipps und Hinweise zur Lösung von Aufgabe III

### Tipps zu Teilaufgabe 1

- ▣ **a:** Hier ist ein Standard-Schaltbild zur Reihenschaltung verlangt. Es ist sicher sinnvoll, einen Schalter einzuzeichnen.
  - ▣ **b:** Vergessen Sie nicht, die Punkte zu verbinden.
  - ▣ **c:** Die Spannung erhält man aus der Stromstärke zum Zeitpunkt 0 s, da zu Beginn der Kondensator noch ungeladen ist.
  - ▣ **d:** Formen Sie die angegebene Formel um. Dann genügt es, ein Wertepaar einzusetzen.
  - ▣ **e:** Hier gibt es zwei Lösungsmöglichkeiten:
    - Näherungsweise Lösung durch Ausmessen der Fläche unter der  $I(t)$ -Kurve. Sie können die Fläche entweder mithilfe eines geeignet gewählten Rechtecks oder durch Auszählen der Gitterkästchen bestimmen.
    - Genaue Lösung mithilfe eines Integrals
- Vergessen Sie nicht den Vergleich mit der Gesamtladungsmenge.

### Tipps zu Teilaufgabe 2

- ▣ **a:** Entscheidend ist die Aussage aus dem Aufgabentext, dass die Potenzialdifferenz zwischen benachbarten Äquipotenziallinien konstant ist.
- ▣ **b:** Die Energie kann in eV oder in J angegeben werden.
- ▣ **c:** Schon auf den ersten Blick auf die Messtabelle fallen drei Ansätze weg. Bei antiproportionalen Zuordnungen sind die Produkte konstant.
- ▣ **d:** Verwendung aller Messwerte bedeutet geeignete Mittelwertbildung.

### Tipps zu Teilaufgabe 3

- ▣ **a:** Wichtige Begriffe sind Lenz'sches Gesetz, Gegenspannung sowie Maximalstromstärke.
- ▣ **b:** Sie müssen das Verhalten beider Lämpchen beschreiben.
- ▣ **c:** Wichtig ist die Stromstärke im Zeitpunkt des Ausschaltens sowie eine genaue Überlegung, welche Widerstände eine Rolle spielen.
- ▣ **d:** Es gibt zwei Möglichkeiten, diese Teilaufgabe zu lösen.
  - Die induzierte Spannung kann aus der Veränderung der Stromstärke abgelesen werden. Dazu müssen Sie nach Augenmaß zum entsprechenden Zeitpunkt eine Tangente an die Kurve legen und ein Steigungsdreieck einzeichnen. Dies ist relativ ungenau.
  - Genauere Ergebnisse bekommen Sie, wenn Sie nur die Stromstärke und den Zusammenhang zwischen angelegter Spannung, induzierter Spannung und Stromstärke verwenden.
- ▣ **e:** Außer den angegebenen Werten benötigen Sie noch die angelegte Spannung sowie das Verhalten für „große“ Zeiten.

### Tipps zu Teilaufgabe 4

- ▣ **a:** Es handelt sich um den zweiten Grundversuch zur Induktion.
- ▣ **b:** Betrachten Sie die Auswirkung der Zunahme der Geschwindigkeit des fallenden Magneten. Was gilt für das Vorzeichen der Spannung beim Ein- und Austritt aus einer Spule?
- ▣ **c:** Vergleichen Sie die Beträge aufeinander folgender Spannungsspitzen.

## Lösung

### 1. Aufladen des Kondensators

#### a) Schaltbild des Experiments

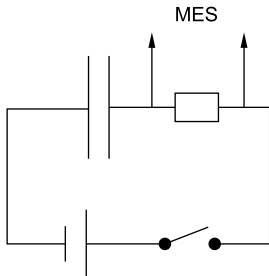


Abb. 7

#### b) Zeit-Stromstärke-Diagramm

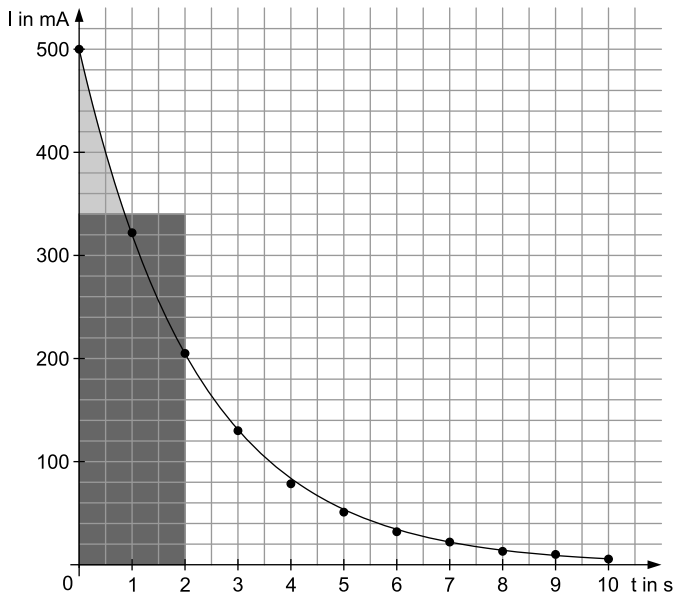


Abb. 8 (Graue Teilflächen: s. Teilaufgabe 1e)

#### c) Berechnung der Spannung am Netzgerät

Da zum Zeitpunkt 0 s der Kondensator ungeladen ist, beträgt die Spannung  $U_0 = R \cdot I(0 \text{ s}) = 10,0 \, \Omega \cdot 0,500 \text{ A} = 5,00 \text{ V}$ .

d) **Bestimmung der Kapazität des Kondensators**

Der Stromstärkeverlauf wird gemäß Aufgabenstellung durch die Formel

$$I(t) = I(0 \text{ s}) \cdot e^{-\frac{1}{R \cdot C} \cdot t}$$

beschrieben. Die Gleichung kann durch Umstellen

$$\frac{I(t)}{I(0 \text{ s})} = e^{-\frac{1}{R \cdot C} \cdot t}$$

und Logarithmieren

$$\ln\left(\frac{I(t)}{I(0 \text{ s})}\right) = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot t$$

nach C aufgelöst werden. Verwendet man ein Wertepaar (z. B. für  $t = 2,00 \text{ s}$ ) aus der Tabelle 1, so erhält man einen Wert für die Kapazität C:

$$C = -\frac{t}{R \cdot \ln\left(\frac{I(t)}{I(0 \text{ s})}\right)} = -\frac{2,00}{10,0 \cdot \ln\left(\frac{205}{500}\right)} \text{ F} = 0,224 \text{ F.}$$

Für andere Werte von t ergeben sich leicht abweichende Werte für die Kapazität C:

|         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t in s  | 1,00  | 2,00  | 3,00  | 4,00  | 5,00  | 6,00  | 7,00  | 8,00  | 9,00  | 10,00 |
| I in mA | 322   | 205   | 130   | 78,5  | 51,0  | 32,0  | 22,0  | 13,0  | 10,0  | 5,50  |
| C in F  | 0,227 | 0,224 | 0,223 | 0,216 | 0,219 | 0,218 | 0,224 | 0,219 | 0,230 | 0,222 |

Tab. 3

e) **Ladungsmenge, die in den ersten beiden Sekunden auf den Kondensator fließt**

*Näherungsweise Lösung*

Die Fläche unter der Stromstärkekurve kann als geflossene Ladungsmenge interpretiert werden. Diese Fläche kann durch ein Rechteck angenähert werden (siehe Abb. 8; die obere, hellgrau getönte Teilfläche unter der Kurve ist ungefähr so groß wie das überstehende Flächenstück des Rechtecks):

$$\Delta Q = 0,340 \text{ A} \cdot 2,00 \text{ s} = 0,680 \text{ C}$$

Die maximale Ladung auf dem Kondensator beträgt:

$$Q_{\max} = C \cdot U_0 = 0,224 \text{ F} \cdot 5,00 \text{ V} = 1,12 \text{ C}$$

Der Vergleich mit der Gesamtladungsmenge erfolgt durch Quotientenbildung:

$$\frac{\Delta Q}{Q_{\max}} = \frac{0,680 \text{ C}}{1,12 \text{ C}} = 0,607$$

Somit ist der Kondensator nach 2 Sekunden zu rund 61 % aufgeladen.

Sie können natürlich auch die Kästchen unter der I(t)-Kurve auszählen und kommen dann auf einen Wert zwischen 65 und 66 Kästchen. Ein Kästchen entspricht der Ladung  $20 \text{ mA} \cdot 0,5 \text{ s} = 10 \text{ mAs} = 0,01 \text{ C}$ . Daraus folgt eine Ladungsmenge von  $\Delta Q = 0,65 \text{ F}$  bzw.  $\Delta Q = 0,66 \text{ F}$ . Als Ladungsgrad ergibt sich 58 % bzw. 59 %.

### Genaue Lösung

Die Fläche unter der  $I(t)$ -Kurve kann mithilfe eines Integrals berechnet werden. Mit dem Integranden

$$I(t) = I(0s) \cdot e^{-\frac{1}{R \cdot C} \cdot t} = 0,500 \text{ A} \cdot e^{-\frac{1}{10,0 \cdot 0,224 \text{ s}} \cdot t} = 0,500 \text{ A} \cdot e^{-\frac{1}{2,24 \text{ s}} \cdot t}$$

erhält man:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \int_0^{2 \text{ s}} I(t) \, dt = \int_0^{2 \text{ s}} 0,500 \text{ A} \cdot e^{-\frac{1}{2,24 \text{ s}} \cdot t} \, dt = \left[ -2,24 \cdot 0,500 \text{ C} \cdot e^{-\frac{1}{2,24 \text{ s}} \cdot t} \right]_0^{2 \text{ s}} \\ &= -1,12 \text{ C} \cdot e^{-\frac{2,00 \text{ s}}{2,24 \text{ s}}} + 1,12 \text{ C} \cdot e^{-\frac{0}{2,24 \text{ s}}} = 0,661 \text{ C}. \end{aligned}$$

Aus

$$\frac{\Delta Q}{Q_{\max}} = \frac{Q(2,00 \text{ s})}{Q_{\max}} = \frac{0,661 \text{ C}}{1,12 \text{ C}} = 59 \%$$

folgt: Der Kondensator ist nach 2 Sekunden zu rund 59 % geladen.

Bedenken Sie, dass selbst in der genauen Berechnung mittels Integration der nur durch Einzelmessung bestimmte Wert  $C = 0,224 \text{ F}$  im Exponenten der  $e$ -Funktion enthalten ist. Setzt man z. B. den Mittelwert  $C = 0,222 \text{ F}$  der gesamten Messreihe ein, erhält man für den Ladungszustand 59,4 %. Es ist also sinnvoll, wenn Sie ihr Ergebnis als ganzzahligen Prozentwert angeben.

## 2. Feld der Elektroden

### a) Bestimmung des Potenzials im Punkt A

Die gesamte Potenzialdifferenz zwischen beiden Elektroden beträgt 9,0 kV.

Es sind fünf Äquipotenziallinien eingezeichnet, dies ergibt sechs gleiche Stufen des Potenzialanstiegs. Eine Stufe beträgt 1,5 kV. Punkt A liegt auf dem Potenzial 3,0 kV.

### b) Bestimmung der Verschiebungsenergie

Von A nach B sind es drei Potenzialstufen, die Potenzialdifferenz beträgt  $U = 4,5 \text{ kV}$ .

Gibt man die Verschiebungsenergie in eV an, so muss bei einfach geladenen Teilchen die Einheit V durch eV ersetzen. Die Energie beträgt somit 4,5 keV.

Umgerechnet in die Einheit Joule gilt:

$$\Delta W = q \cdot U = 1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 4,5 \cdot 10^3 \text{ J} = 7,2 \cdot 10^{-16} \text{ J}.$$

### c) Untersuchung des $F_{el}(r)$ -Zusammenhangs bei der kugelförmigen Elektrode

Da die elektrische Kraft mit wachsendem Abstand abnimmt, kommen nur die Ansätze (2) und (4) infrage.

Da die Kraft bei der Verdoppelung von 5 cm auf 10 cm Abstand etwa auf ein Viertel ihres Wertes zurückgeht, kann nur Ansatz (4) der richtige sein.

$$F_{el} = \frac{k}{r^2} \text{ ist gleichbedeutend mit } k = F_{el} \cdot r^2.$$

|                         |      |      |      |      |      |
|-------------------------|------|------|------|------|------|
| r in cm                 | 5,00 | 10,0 | 20,0 | 30,0 | 50,0 |
| $F_{el}$ in mN          | 24,5 | 6,05 | 1,52 | 0,68 | 0,24 |
| k in mN·cm <sup>2</sup> | 613  | 605  | 608  | 612  | 600  |

Tab. 4

Die Werte von k sind fast gleich, sodass die Konstanz von k und damit der Ansatz (4) durch die Messung bestätigt wird.

d) **Berechnung der Ladungsmenge auf der kugelförmigen Elektrode**

Der Mittelwert von  $k$ , bezogen auf sämtliche Messwerte in Tabelle 4, ist

$$608 \text{ mN cm}^2 = 608 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 6,08 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ N}.$$

Die angegebene Beziehung für  $k$  wird nach  $Q$  aufgelöst:

$$k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot q \cdot Q \Rightarrow Q = \frac{k \cdot 4\pi \cdot \epsilon_0}{q} = \frac{6,08 \cdot 10^{-5} \cdot 4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{0,400 \cdot 10^{-9}} \text{ C} = 1,69 \cdot 10^{-5} \text{ C}.$$

3. **Einschaltvorgang der Spule**

a) **Erklärung der Beobachtung nach dem Schließen des Schalters**

Nach dem Schließen des Schalters beginnt im Zweig mit der Spule und dem Lämpchen L2 die Stromstärke von 0 A aus anzusteigen. Dadurch entsteht in der Spule ein ansteigendes Magnetfeld und es wird nach dem Lenz'schen Gesetz eine Gegenspannung  $U_{\text{ind}}$  induziert, die ihrer Ursache, nämlich dem Anstieg der Stromstärke, entgegenwirkt. Im Stromkreis wirken also die beiden Spannungsquellen  $U_0$  und  $U_{\text{ind}}$ .

$$U_{R_{\text{ges}}}(t) = U_0 + U_{\text{ind}}(t).$$

Hieraus ergibt sich für den Verlauf der Stromstärke:

$$R_{\text{ges}} \cdot I(t) = U_0 - L \cdot \dot{I}(t) \Rightarrow I(t) = \frac{U_0 - L \cdot \dot{I}(t)}{R_{\text{ges}}}.$$

Für  $t = 0 \text{ s}$  ist die Stromstärke noch 0 A, folglich haben dann die angelegte Spannung  $U_0$  und die Gegenspannung  $U_{\text{ind}}$  den gleichen Betrag. Der Anstieg der Stromstärke nimmt mit der Zeit ab, somit verringert sich auch die Gegenspannung. Nach einer gewissen Zeit ändert sich die Stromstärke nicht mehr und sie erreicht ihren Maximalwert

$$I_{\text{max}} = \frac{U_0}{R_{\text{ges}}}.$$

Das Lämpchen L2 beginnt also nach dem Schließen des Schalters erst nach einer gewissen Zeit zu leuchten und leuchtet dann gleich hell wie das Lämpchen L1.

b) **Verhalten der Lämpchen, wenn der Schalter geöffnet wird**

Nach dem Öffnen des Schalters liegt ein Stromkreis, bestehend aus Spule SP, Widerstand  $R$  sowie den beiden Lämpchen vor. Eine äußere Spannungsquelle gibt es nicht mehr. In der Spule wird beim Abfallen des Stromes eine Spannung induziert, die dem Absinken der Stromstärke entgegenwirkt. Die jetzt in Reihe liegenden Lämpchen gehen gleichzeitig und zeitverzögert aus.

c) **Berechnung der induzierten Spannung**

Die Summe der Widerstände von Spule und L2 beträgt  $R_2 = 60 \Omega + 40 \Omega = 100 \Omega$ .

Die Stromstärke im Zweig von Spule und L2 strebt mit der Zeit gegen den Grenzwert

$$I_2 = \frac{U_0}{R_2} = \frac{10 \text{ V}}{100 \Omega} = 0,10 \text{ A}.$$

Das ist die Stromstärke im Zeitpunkt des Ausschaltens. Es gilt nach dem Ausschalten:

$$U_{R_{\text{ges}}}(t) = U_{\text{ind}}(t) \Leftrightarrow R_{\text{ges}} \cdot I(t) = -L \cdot \dot{I}(t).$$

Dabei ist  $R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 = 200 \Omega$  der Gesamtwiderstand im gesamten Stromkreis, da der Strom jetzt in Reihe durch beide Zweige fließt. Für die induzierte Spannung unmittelbar nach dem Öffnen des Schalters gilt daher:

$$U_{\text{ind}} = R_{\text{ges}} \cdot I_2 = 200 \Omega \cdot 0,10 \text{ A} = 20 \text{ V}.$$

d) **Berechnung der induzierten Spannung zu den Zeitpunkten 0,15 s und 1,15 s**

Es gilt  $U_{\text{ind}}(t) = -L \cdot \dot{I}(t)$ . Dazu muss nach Augenmaß zum entsprechenden Zeitpunkt eine Tangente an die Kurve gelegt werden. Die Steigung liest man dann mithilfe eines Steigungsdreiecks ab (Abb. 9). Wegen der Ungenauigkeit beim Einzeichnen der Tangente sind größere Streuungen der Ergebnisse möglich.

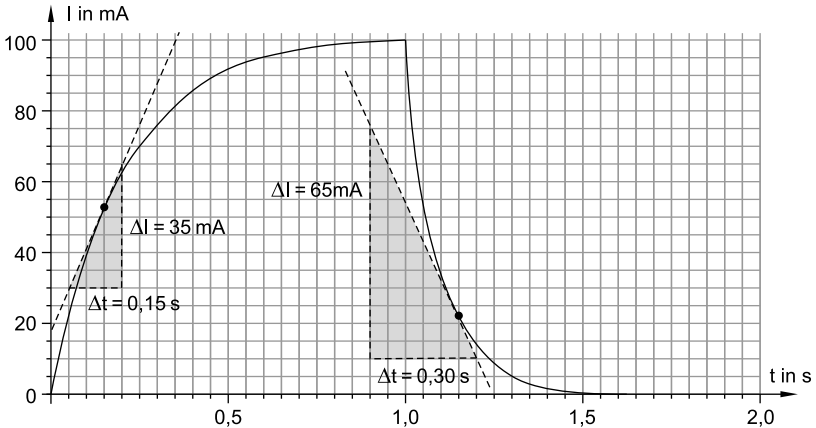


Abb. 9

$$U_{\text{ind}}(0,15 \text{ s}) = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = -20 \text{ H} \cdot \frac{0,035 \text{ A}}{0,15 \text{ s}} = -4,7 \text{ V}.$$

$$U_{\text{ind}}(1,15 \text{ s}) = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = -20 \text{ H} \cdot \frac{-0,065 \text{ A}}{0,30 \text{ s}} = +4,3 \text{ V}.$$

Genauere Ergebnisse bekommt man, wenn man nur die Stromstärkewerte abliest und in die Maschenregeln für die Spannungen einsetzt:

- Für den Einschaltvorgang gilt  $R \cdot I(t) = U_0 + U_{\text{ind}}(t)$  und daraus  
 $U_{\text{ind}}(0,15 \text{ s}) = R \cdot I(0,15 \text{ s}) - U_0 = 100 \Omega \cdot 0,053 \text{ A} - 10 \text{ V} = -4,7 \text{ V}.$
- Für den Ausschaltvorgang gilt  $R \cdot I(t) = U_{\text{ind}}(t)$  und daraus  
 $U_{\text{ind}}(1,15 \text{ s}) = R \cdot I(1,15 \text{ s}) = 200 \Omega \cdot 0,022 \text{ A} = 4,4 \text{ V}.$

e) **Skizze des Spannungsverlaufs**

- Beim Einschaltvorgang ist zum Zeitpunkt 0 s die induzierte Spannung der angelegten Spannung entgegengerichtet. Deshalb gilt  $U_{\text{ind}}(0 \text{ s}) = -10 \text{ V}.$
- $U_{\text{ind}}(0,15 \text{ s}) = -4,7 \text{ V}$  wurde oben berechnet. Da gemäß Abb. 3 zum Zeitpunkt 1,0 s die Maximalstromstärke praktisch erreicht ist, kann man  $U_{\text{ind}}(1,0 \text{ s}) = 0 \text{ V}$  setzen.
- Beim Ausschaltvorgang beträgt die zum Zeitpunkt 1,0 s die induzierte Spannung  $U_{\text{ind}}(1,0 \text{ s}) = 20 \text{ V}.$
- $U_{\text{ind}}(1,15 \text{ s}) = 4,4 \text{ V}$  wurde oben berechnet. Ab dem Zeitpunkt 1,6 s (Abb. 3) ist die Stromstärke praktisch auf 0 A gesunken, deshalb gilt ab hier  $U_{\text{ind}}(t) = 0 \text{ V}.$

In Abb. 10 ist der Spannungsverlauf skizziert.



© **STARK Verlag**

[www.stark-verlag.de](http://www.stark-verlag.de)  
[info@stark-verlag.de](mailto:info@stark-verlag.de)

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH  
ist urheberrechtlich international geschützt.  
Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung  
des Rechteinhabers in irgendeiner Form  
verwertet werden.

**STARK**