

2023

Berufliches Gymnasium

Original-Prüfungsaufgaben

**MEHR  
ERFAHREN**

Baden-Württemberg

**Physik TG**

+ Aufgaben zur Relativitätstheorie

**ActiveBook**  
Interaktives  
Training

Original-Prüfungsaufgaben  
**2022** zum Download

**STARK**

# Inhalt

Vorwort  
Stichwortverzeichnis  
Liste der physikalischen Konstanten und Beziehungen

## Hinweise und Tipps zum Abitur in Physik

---

|  |     |
|--|-----|
| Die gymnasiale Oberstufe des Beruflichen Gymnasiums      | I   |
| Lehrpläne und inhaltliche Vorgaben für die Abiturprüfung | I   |
| Durchführung der Abiturprüfung im Fach Physik            | III |
| Bearbeitung der Prüfungsaufgaben                         | III |
| Bewertung der Prüfungsarbeiten                           | IV  |
| Zum Umgang mit diesem Buch                               | IV  |

## Übungsaufgaben zur Speziellen Relativitätstheorie

---

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Aufgabe 1: Myonenzerfall             | 1 |
| Aufgabe 2: Gleichzeitigkeit          | 1 |
| Aufgabe 3: Elektronengeschwindigkeit | 1 |
| Lösungen                             | 2 |

## Abiturprüfung 2014 (TG)

---

|           |  |         |
|-----------|--|---------|
| Aufgabe 1 | Mechanik und Elektrizitätslehre                    | 2014-1  |
| Aufgabe 2 | Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten | 2014-10 |
| Aufgabe 3 | Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik           | 2014-19 |

## Abiturprüfung 2015 (TG)

---

|           |  |         |
|-----------|--|---------|
| Aufgabe 1 | Mechanik und Elektrizitätslehre                    | 2015-1  |
| Aufgabe 2 | Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten | 2015-9  |
| Aufgabe 3 | Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik           | 2015-18 |

## Abiturprüfung 2016 (TG)

---

|           |  |         |
|-----------|--|---------|
| Aufgabe 1 | Mechanik und Elektrizitätslehre                    | 2016-1  |
| Aufgabe 2 | Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten | 2016-10 |
| Aufgabe 3 | Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik           | 2016-19 |

## Abiturprüfung 2017 (TG)

---

|           |  |         |
|-----------|--|---------|
| Aufgabe 1 | Mechanik und Elektrizitätslehre                    | 2017-1  |
| Aufgabe 2 | Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten | 2017-9  |
| Aufgabe 3 | Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik           | 2017-17 |

*Fortsetzung nächste Seite*

## **Abiturprüfung 2018 (TG)**

---

|           |  |         |
|-----------|--|---------|
| Aufgabe 1 | Mechanik und Elektrizitätslehre . . . . .                    | 2018-1  |
| Aufgabe 2 | Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten . . . . . | 2018-10 |
| Aufgabe 3 | Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik . . . . .           | 2018-18 |

## **Abiturprüfung 2019 (TG)**

---

|           |  |         |
|-----------|--|---------|
| Aufgabe 1 | Mechanik und Elektrizitätslehre . . . . .                    | 2019-1  |
| Aufgabe 2 | Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten . . . . . | 2019-10 |
| Aufgabe 3 | Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik . . . . .           | 2019-18 |

## **Abiturprüfung 2020 (TG)**

---

|           |  |         |
|-----------|--|---------|
| Aufgabe 1 | Mechanik und Elektrizitätslehre . . . . .                    | 2020-1  |
| Aufgabe 2 | Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten . . . . . | 2020-9  |
| Aufgabe 3 | Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik . . . . .           | 2020-17 |

## **Abiturprüfung 2021 (TG)**

---

|           |  |         |
|-----------|--|---------|
| Aufgabe 1 | Mechanik und Elektrizitätslehre . . . . .                    | 2021-1  |
| Aufgabe 2 | Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten . . . . . | 2021-10 |
| Aufgabe 3 | Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik . . . . .           | 2021-18 |

### **Abiturprüfung 2022 (TG) online . . . . . [www.stark-verlag.de/mystark](http://www.stark-verlag.de/mystark)**

Sobald die Original-Prüfungsaufgaben 2022 freigegeben sind, können sie als PDF auf der Plattform **MyStark** heruntergeladen werden. Den Zugangscode finden Sie auf den Farbseiten vorne im Buch.

Sollten vom Kultusministerium nach Erscheinen dieses Bandes wichtige Änderungen in der Abiturprüfung 2023 bekannt gegeben werden, finden Sie aktuelle Informationen dazu im Internet ebenfalls auf MyStark.

---

## **Autor der Übungsaufgaben und Lösungen**

bis 2016: StD Dr. Axel Hoffmann  
seit 2017: Redaktion Stark Verlag

# Vorwort

## Liebe Schülerinnen und Schüler,

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

Im ersten Teil finden Sie „**Hinweise zum Abitur in Physik**“. Sie enthalten Informationen zu Ablauf, Durchführung und Bewertung der Abiturprüfung am Beruflichen Gymnasium in Baden-Württemberg. Die Auflistung der inhaltlichen Vorgaben des Lehrplans gibt Ihnen einen Überblick über den Prüfungsstoff. Die Tipps zur Bearbeitung der Prüfungsaufgaben zeigen Ihnen, wie Sie erfolgreich an die Aufgaben der Abiturklausur herangehen können.

Der Hauptteil des Buches enthält die **offiziellen Abituraufgaben** der Jahre 2014 bis 2021 (TG) und drei zusätzliche **Übungsaufgaben** zur Speziellen Relativitätstheorie; die Prüfungsaufgaben des Jahres 2022 stehen als PDF auf der Plattform MyStark zum Download zur Verfügung. Zu allen Aufgaben gibt es **vollständige, ausführlich kommentierte Lösungsvorschläge**, zu den Abiturklausuren außerdem **separate Tipps zum Lösungsansatz**, die Ihnen das eigenständige Lösen der Aufgaben erleichtern.

Sollten nach Erscheinen dieses Bandes noch wichtige Änderungen in der Abiturprüfung 2023 vom Kultusministerium bekannt gegeben werden, finden Sie aktuelle Informationen dazu im Internet ebenfalls auf MyStark.

Ich wünsche Ihnen viel Erfolg in der Abiturprüfung!

Dr. Axel Hoffmann



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! Zusätzlich steht der Abiturjahrgang 2022 als PDF zum Download zur Verfügung. Ausführliche Infos inkl. Zugangscode finden Sie auf den Farbseiten vorne in diesem Buch.

# Hinweise und Tipps zum Abitur in Physik

## Die gymnasiale Oberstufe des Beruflichen Gymnasiums

Mit dem Eintritt in das Berufliche Gymnasium besuchen Sie die Eingangsklasse und anschließend die Kursstufen 1 und 2 bis zum Abitur. In den Kursstufen müssen Sie neben dem richtungsbezogenen sechsstündigen Profilfach vierstündige Kernkompetenzfächer belegen. Das sind die Fächer Deutsch, Mathematik und eine Fremdsprache. Ferner gibt es eine Anzahl von Pflichtkursen, welche Sie verbindlich belegen müssen. Beachten Sie, dass Sie mindestens 36 Kurse besuchen müssen. Die möglichen Fächerkombinationen unterscheiden sich entsprechend dem Profil der einzelnen Beruflichen Gymnasien; sie sind aus dem Leitfaden, der vom Ministerium für Kultus, Jugend und Sport des Landes Baden-Württemberg herausgegeben wird, zu entnehmen:

<http://km-bw.de/,Lde/Startseite/Schule/Technisches+Gymnasium>

In der Abiturprüfung werden Sie in fünf Fächern geprüft:

- Die **schriftliche Prüfung** erfolgt in vier Fächern, nämlich im jeweiligen Profilfach, in den Kernkompetenzfächern Mathematik, Deutsch oder der Fremdsprache A sowie in einem weiteren zu wählenden vierten Prüfungsfach.
- Die **mündliche Prüfung** erstreckt sich auf das fünfte gewählte Prüfungsfach. Die genauen Wahlmöglichkeiten sind ebenfalls dem Leitfaden zu entnehmen.

Für die Physik bedeutet dies: Sie können Physik als vierstündiges oder als zweistündiges Fach belegen, sofern es an der Schule angeboten wird.

## Lehrpläne und inhaltliche Vorgaben für die Abiturprüfung

Der Lehrplan für die Eingangsklasse des Technischen Gymnasiums unterscheidet sich von den Lehrplänen der anderen Beruflichen Gymnasien. Der Grund dafür ist, dass am Technischen Gymnasium Physik mit drei Wochenstunden und einer Laborstunde unterrichtet wird, während an den anderen beruflichen Gymnasien Physik in der Eingangsklasse mit zwei Wochenstunden stattfindet. In den Kursstufen 1 und 2 sind die Lehrpläne für alle Beruflichen Gymnasien jedoch weitgehend gleich.

Die folgende Auflistung gibt Ihnen einen Überblick über die Inhalte des Lehrplans.

| Klasse                | Themen                            | Inhalte   |
|-----------------------|-----------------------------------|---|
| <i>Eingangsklasse</i> | <i>Leitthema: Erhaltungssätze</i> |   |
|                       | Kinematik                         | Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit und konstanter Beschleunigung; freier Fall  |
|                       | Dynamik                           | Masse, Kraft, Kraft als Vektor; Gesetz von Hooke; Impuls, Impulserhaltung, Grundgesetz der Mechanik; Reibung, schiefe Ebene |
|                       | Arbeit und Energie                | Arbeit, Energie; Leistung, Wirkungsgrad; Energieerhaltung   |

|                         |  |   |
|-------------------------|--|---|
| <i>Eingangsklasse</i>   | <i>Leitthema: Erhaltungssätze (Fortsetzung)</i>                    |   |
|                         | Wärmelehre<br>(nur im Lehrplan<br>des TG)                          | Wärme, Temperatur, absolute Temperatur;<br>allgemeines Gasgesetz; kinetische Gastheorie;<br>erster und zweiter Hauptsatz der Wärmelehre   |
|                         | Grenzen der klassi-<br>schen Physik (nur im<br>Lehrplan des TG)    | Grundzüge der speziellen Relativitätstheorie;<br>Ausblick auf die Quantentheorie; Grundge-<br>danken der Chaostheorie   |
| <i>Jahrgangsstufe 1</i> | <i>Leitthema: Felder</i>   |   |
|                         | Gravitationsfeld   | Newton'sches Gravitationsgesetz, Potenzial;<br>Grundzüge der allgemeinen Relativitätstheorie  |
|                         | Elektrisches Feld  | Elektrische Feldstärke, Spannung, Potenzial,<br>homogenes Feld, Coulombfeld, Elementar-<br>ladung, Energie des Feldes   |
|                         | Magnetisches Feld  | Magnetfelder von Leiter, Ring, Spule; magne-<br>tische Flussdichte, Kraft auf einen stromdurch-<br>flossenen Leiter   |
|                         | Bewegungen in<br>Feldern   | homogenes Feld, waagerechter Wurf; Zentral-<br>feld, Lorentzkraft, Kreisbewegungen  |
| <i>Jahrgangsstufe 2</i> | <i>Leitthema: Wellen und Quanten</i>                               |   |
|                         | Schwingungen   | Kenngößen, Differenzialgleichungen,<br>Bewegungsgesetze; Energiebetrachtungen;<br>Resonanz, chaotische Schwingungen   |
|                         | Wellen   | Lineare Wellen, Interferenz, stehende Wellen;<br>zwei- und dreidimensionale Wellen, Brechung,<br>Beugung, Huygens'sches Prinzip; Lichtge-<br>schwindigkeit, Licht als elektromagnetische<br>Welle |
|                         | Grundlagen der<br>Quantenphysik                                    | Photonenmodell, Photoeffekt, Planck'sche Kon-<br>stante $h$ , Fotoimpuls  |
|                         | Elektronen als<br>Quantenobjekte                                   | Comptoneffekt, Paarerzeugung; Materiewel-<br>len, de-Broglie-Beziehung, Elektronenbeugung   |
|                         | Heisenbergs<br>Unschärferelation                                   | Unbestimmtheit von Ort und Impuls   |
|                         | Grundzüge des<br>Atommodells                                       | Orbitale, Frank-Hertz-Versuch, Energie-<br>zustände im Atom, Linienspektren   |
|                         | Mögliche Wahlthemen<br>(keine Themen der<br>schriftlichen Prüfung) | Atom- und Kernphysik, Umweltphysik,<br>Elementarteilchenphysik, Spezielle Relativi-<br>tätstheorie, Chaosphänomene, Astrophysik   |

Es wird in den Zielformulierungen des Lehrplans deutlich gemacht, dass Sie neben dem reinen Faktenerwerb die Fähigkeit entwickeln müssen, in Zusammenhängen zu denken: Sie sollen lernen physikalische Zusammenhänge verbal zu formulieren und erst danach mathematisch zu präzisieren; sie sollen lernen, wie man Modelle aufstellt und mit ihnen umgeht. Für die (Prüfungs-)Aufgaben heißt das:

- Es wird weniger die reine Rechenroutine, dafür mehr Problemlösungsstrategien abgefragt.
- Es werden weniger reine Fakten abgefragt, vielmehr wird das Verständnis physikalischer Sachverhalte überprüft.
- Es soll Kreativität gefördert werden. Die Aufgaben werden offener formuliert und damit mehrere Lösungswege zugelassen.

## **Durchführung der Abiturprüfung im Fach Physik**

---

Die Bearbeitungszeit für die schriftlichen Prüfungen im Fach Physik (wie auch in anderen Fächern) beträgt 240 Minuten unabhängig davon, ob es sich um einen zwei- oder vierstündigen Kurs handelt. Sie erhalten drei Aufgaben zur Auswahl, aus denen Sie zwei zur Bearbeitung auswählen.

Ein Aufgabensatz umfasst folgende Aufgaben:

- Aufgabe 1: Mechanik und Elektrizitätslehre
- Aufgabe 2: Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten
- Aufgabe 3: Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik

Durch diese thematische Aufteilung wird gewährleistet, dass in der Abiturprüfung alle vom Lehrplan vorgegebenen Bereiche abgeprüft werden. Es können Aufgaben durchaus auch Teile nicht explizit genannter Bereiche enthalten.

Aus dem Aufgabensatz sind zwei Aufgaben von Ihnen zu behandeln. Für jede Aufgabe sind 30 Verrechnungspunkte vorgesehen. Die maximale zu erreichende Punktezahl ist 60.

## **Bearbeitung der Prüfungsaufgaben**

---

- Schauen Sie sich zuerst alle Aufgaben gut an und überlegen Sie mit Bedacht, welche Aufgabe für Sie die meisten Schwierigkeiten enthält. Legen Sie diese Aufgabe beiseite.
- Beginnen Sie mit dem Aufgabenblatt, in dem Sie die geringsten Probleme für die Lösung sehen.
- Lesen Sie den Text der einzelnen Teilaufgaben sorgfältig durch und versuchen Sie die Aufgaben in der vorgegebenen Reihenfolge zu lösen. Auch wenn die einzelnen Aufgabenteile für sich allein lösbar sind, so existiert überwiegend ein zusammenhängender logischer Gedankengang zwischen den einzelnen Teilaufgaben; diesen zu erkennen ist für die Lösung der Probleme von großer Hilfe.
- Die Aufgaben können zum Teil sehr offen gestellt sein, deshalb sind eventuell unterschiedliche Lösungswege möglich. Es ist deshalb wichtig, dass ihre Überlegungen in Sätzen fassen und aufschreiben. Stichworte oder nur Formeln und Rechnungen sind nicht ausreichend. Ein Lösungsansatz sollte zuerst verbal formuliert werden, bevor man mit der Berechnung beginnt oder eine Grafik anfertigt.
- Achten Sie darauf, dass jede Grafik ausreichend beschriftet ist, die Größen einer Formel benannt sind und jede Größe mit der entsprechenden Einheit versehen wurde.
- Enthält eine Arbeit zu viele Verstöße gegen Rechtschreibung, Grammatik oder Form, so können Ihnen dafür Verrechnungspunkte abgezogen werden.





**Abiturprüfung an den beruflichen Gymnasien (TG) – Prüfungsfach: Physik (2020)**  
**Aufgabe 1: Mechanik und Elektrizitätslehre**

Punkte

- 1 Im Physikunterricht werden verschiedene Versuche mit Wagen durchgeführt. Im ersten Versuch startet Wagen 1 (W1) im Punkt A aus der Ruhe, fährt die schiefe Ebene bis zum Punkt B hinunter und tritt im Punkt C in den Looping ein, den er vollständig durchläuft (Abbildung 1). Die Wagen werden als Massenpunkte betrachtet. Reibungskräfte und Luftwiderstand sind vernachlässigbar.

Masse W1:  $m_1 = 50 \text{ g}$   
 Radius Looping:  $r = 0,5 \text{ m}$   
 Höhe der schiefen Ebene:  $h_1 = 2,5 \text{ m}$   
 Starthöhe:  $h_2 = 3,0 \text{ m}$   
 Länge der Strecke:  $\overline{AB} = 5,0 \text{ m}$   
 Erdbeschleunigung:  $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

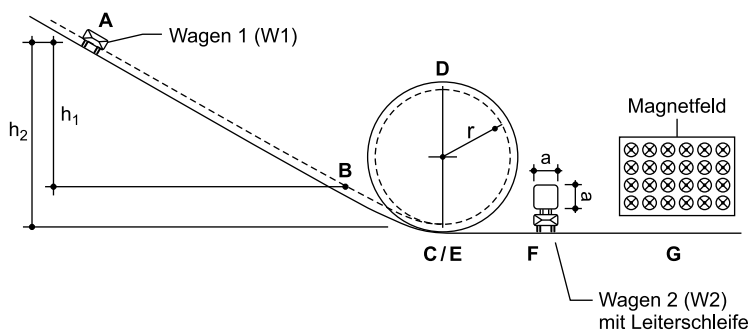


Abb. 1: (Seitenansicht der Anordnung, nicht maßstäblich)

- 1.1 Berechnen Sie die Beschleunigung von W1 bei der Bewegung auf der schiefen Ebene und die Geschwindigkeit  $v_C$ , mit der der Wagen im Punkt C in den Looping eintritt. 3
- 1.2 Zeigen Sie, dass W1 die Kreisbahn des Loopings vollständig durchläuft, ohne herauszufallen. 3
- 1.3 Nehmen Sie begründet Stellung zu nachfolgenden Aussagen über die Bewegung von W1: 2
- Von C nach D handelt es sich um eine gleichförmige Kreisbewegung.
  - Im Looping gibt es keine Stelle, an der die Beschleunigung in Fahrtrichtung null ist.

- 1.4 Im Punkt E verlässt W1 den Looping mit der Geschwindigkeit  $v_E = 7,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  und stößt im Punkt F vollkommen unelastisch mit dem stehenden Wagen 2 (W2) zusammen, auf dem sich eine quadratische, offene Leiterschleife mit der Kantenlänge  $a$  befindet. Die Vorderseite der Leiterschleife tritt am Punkt G in das senkrecht zur Leiterschleife stehende homogene Magnetfeld ein.

Kantenlänge der Leiterschleife:  $a = 5 \text{ cm}$

Magnetische Flussdichte:  $B = 100 \text{ mT}$

Masse W2 (inkl. Leiterschleife):  $m_2 = 100 \text{ g}$

- 1.4.1 Zeigen Sie, dass die Geschwindigkeit von W1 und W2 unmittelbar nach dem Stoß den Wert  $v_F = 2,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  annimmt. 2

- 1.4.2 Berechnen Sie den Betrag der Spannung, die in der Leiterschleife unmittelbar nach Eintreten in das Magnetfeld induziert wird. 2

- 1.4.3 Der Versuch wird mit kurzgeschlossener Leiterschleife wiederholt. Begründen Sie, weshalb der Wagen mit kurzgeschlossener Leiterschleife ab dem Punkt G auch ohne mechanische Reibung abgebremst wird. Begründen Sie, ob ein Wagen allein durch dieses physikalische Phänomen vollständig zum Stillstand gebracht werden kann. 2

- 1.4.4 Es sei  $R$  der elektrische Widerstand der kurzgeschlossenen Leiterschleife und  $v$  die Geschwindigkeit von W2. Zeigen Sie, dass für die magnetische Kraft, die auf die Leiterschleife und damit auf den Wagen wirkt, unmittelbar nach Eintreten in das Magnetfeld gilt:

$$F_{\text{mag}} = \frac{B^2 \cdot a^2 \cdot v}{R} \quad 3$$

- 2 In einem Gedankenexperiment fällt eine Aluminiumkugel durch einen Plattenkondensator.

Wir betrachten eine kleine Kugel, die am Punkt S mit einer Anfangsgeschwindigkeit von  $v_{0y} = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  in  $y$ -Richtung mittig zwischen zwei Kondensatorplatten fällt (Abbildung 2).

Vernachlässigen Sie im Folgenden den Luftwiderstand.

Zusätzliche Daten:

$m_{\text{Kugel}} = 50 \text{ mg}$

$L = 0,5 \text{ m}$

$d = 0,1 \text{ m}$

$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

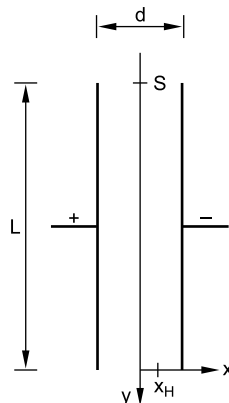


Abb. 2

- 2.1 Kugel und Kondensator seien zunächst ungeladen. Berechnen Sie die Geschwindigkeit, mit der die Kugel am unteren Ende des Kondensators austritt, sowie die Zeit, die die Kugel benötigt, um die Strecke  $L$  zurückzulegen. (Kontrollergebnisse:  $v = 8,59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $t = 0,06 \text{ s}$ ). 3

## Tipps und Hinweise zur Lösung von Aufgabe 1

### Tipps zu Teilaufgabe 1

- 1.1: Sie benötigen die Hangabtriebskraft.
- 1.2: Welche Kräfte wirken im Looping? Welcher Punkt der Bahn ist hier relevant? Stellen Sie eine Kräftebilanz an diesem Punkt auf, die gelten muss, damit der Wagen nicht herunterfällt. Aus der Kräftebilanz folgt eine Mindestgeschwindigkeit, die Sie mit der tatsächlichen Geschwindigkeit vergleichen müssen.
- 1.3: a) „Gleichförmig“ bedeutet konstante Geschwindigkeit.  
b) Betrachten Sie entweder die resultierenden Kräfte oder die Geschwindigkeitsänderungen beim Durchlaufen des Loopings.
- 1.4.1: Sie benötigen den Impulserhaltungssatz.
- 1.4.2: Die Induktionsspannung hängt von der Kantenlänge und Geschwindigkeit der Schleife sowie von der magnetischen Flussdichte ab.
- 1.4.3: Hier greift die Regel von Lenz.  
Berücksichtigen Sie für den zweiten Teil der Aufgabe die Zeitabhängigkeit der Bremswirkung.
- 1.4.4: Die magnetische Kraft hängt von der Kantenlänge der Schleife, der Stromstärke und der magnetischen Flussdichte ab. Nutzen Sie das Ergebnis aus Teilaufgabe 1.4.2.

### Tipps zu Teilaufgabe 2

- 2.1: Hier liegt ein freier Fall vor. Nutzen Sie die den Energieerhaltungssatz und die bekannten Bewegungsgesetze.
- 2.2.1: Aus der elektrischen Feldkraft können Sie mithilfe des Newton'schen Gesetzes die Horizontalbeschleunigung und damit die Ablenkung  $x_H$  berechnen. Wie lange wirkt die Kraft? Der Vektor der Gesamtgeschwindigkeit setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, die Sie berechnen müssen bzw. bereits kennen. Nutzen Sie den Satz des Pythagoras.
- 2.2.2: a) Betrachten Sie die Formel für  $t_F$  in Teilaufgabe 2.1.  
b) Betrachten Sie die Formeln für  $x_H$  und  $a$  in Teilaufgabe 2.2.1.  
c) Betrachten Sie die Formel für  $a$  in Teilaufgabe 2.2.1.  
d) Betrachten Sie die Formeln für  $x_H$  und  $t_F$  in Teilaufgabe 2.2.1.
- 2.3 Überlegen Sie, welche Eigenschaften die magnetische Kraft  $F_{\text{mag}}$  haben muss, damit die Kugel unabgelenkt fällt. Berücksichtigen Sie, wie  $F_{\text{mag}}$  von der Kugelgeschwindigkeit und der Flussdichte abhängt.

## Lösung zu Aufgabe 1

- 1.1 Die beschleunigende Kraft  $\vec{F}_{\text{res}}$ , die auf W1 wirkt, ist die Hangabtriebskraft  $\vec{F}_{\text{H}}$ . Durch Gleichsetzen der Kraftbeträge lässt sich die **Beschleunigung a** längs der Strecke AB berechnen:

$$\begin{aligned} F_{\text{res}} = F_{\text{H}} &\Leftrightarrow m_1 \cdot a = m_1 \cdot g \cdot \sin \alpha \\ \Rightarrow a = g \cdot \sin \alpha &= g \cdot \frac{h_1}{AB} = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{2,5 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = \underline{\underline{4,91 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \end{aligned}$$

Der **Betrag  $v_C$  der Geschwindigkeit** am Punkt C kann über den Energieerhaltungssatz berechnet werden, da sich die potenzielle Energie (Lageenergie) von W1 am Punkt A bei Erreichen des Punkts C vollständig in kinetische Energie umgewandelt hat. Legt man den Nullpunkt der potentiellen Energie auf Höhe des Punkts C fest, dann lautet die Energiebilanz:

$$\begin{aligned} W_{\text{kin, C}} = W_{\text{pot, A}} &\Leftrightarrow \frac{1}{2} m_1 \cdot v_C^2 = m_1 \cdot g \cdot h_2 \\ \Rightarrow v_C = \sqrt{2g \cdot h_2} &= \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3,0 \text{ m}} = \underline{\underline{7,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} \end{aligned}$$

- 1.2 Damit W1 **nicht aus dem Looping fallen kann**, muss seine Geschwindigkeit am höchsten Punkt D des Loopings so groß sein, dass der Betrag  $F_Z$  der Zentralkraft – der ja von der Geschwindigkeit abhängt – an diesem Punkt den Betrag  $F_G$  der Gewichtskraft nicht unterschreitet. Es muss dort gelten:  $F_Z > F_G$ . Aus dieser Bedingung folgt für die erforderliche Mindestgeschwindigkeit  $v_{\text{min}}$  von W1:

$$\begin{aligned} F_Z > F_G &\Leftrightarrow \frac{m_1 \cdot v^2}{r} > m_1 \cdot g \\ \Rightarrow v > \sqrt{g \cdot r} &= \sqrt{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,5 \text{ m}} = 2,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = v_{\text{min}} \end{aligned}$$

Die tatsächliche Geschwindigkeit von W1 am Punkt D lässt sich analog zu Teilaufgabe 1.1 mithilfe der Energiebilanz berechnen:

$$\begin{aligned} W_{\text{kin, D}} = W_{\text{pot, A}} - W_{\text{pot, D}} &\Leftrightarrow \frac{1}{2} m_1 \cdot v_D^2 = m_1 \cdot g \cdot (h_2 - 2r) \\ \Rightarrow v_D = \sqrt{2g \cdot (h_2 - 2r)} &= \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (3,0 - 2 \cdot 0,5) \text{ m}} = \underline{\underline{6,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} \end{aligned}$$

Es gilt also  $v_D > v_{\text{min}}$ , folglich fällt W1 nicht aus dem Looping heraus.

- 1.3 a) Die Aussage ist **falsch**.

*Begründung:* Bei einer gleichförmigen Kreisbewegung müsste der Betrag der Wagen-  
geschwindigkeit konstant sein, tatsächlich nimmt er aber von C nach D ab:  $v_D < v_C$ ,  
vgl. Teilaufgaben 1.1 und 1.2.

b) Die Aussage ist **falsch**.

*Begründung:* In den Punkten C und D zeigt die resultierende Kraft in Richtung Kreismittelpunkt und hat damit keine Komponente in Bewegungsrichtung, daher ist dort die Beschleunigung in Bewegungsrichtung jeweils null.

Sie können alternativ auch mit der Änderung des Geschwindigkeitsbetrags  $v(t)$  im Punkt D argumentieren: Da  $v(t)$  bei der Annäherung an D abnimmt – für die Beschleunigung  $a$  in Bewegungsrichtung gilt also  $a(t) = \dot{v}(t) < 0$  – und nach Passieren von D zunimmt –  $a(t) = \dot{v}(t) > 0$  –, muss für die Beschleunigung am Punkt D  $a(t) = 0$  gelten.

1.4.1 Für den vollkommen unelastischen Stoß, bei dem sich beide Wagen unmittelbar nach dem Stoß mit der gemeinsamen **Geschwindigkeit vom Betrag  $v_F$**  bewegen, lautet der Impulserhaltungssatz

$$m_1 \cdot v_E = (m_1 + m_2) \cdot v_F,$$

woraus für  $v_F$  folgt:

$$v_F = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_E = \frac{50 \text{ g}}{50 \text{ g} + 100 \text{ g}} \cdot 7,7 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{1}{3} \cdot 7,7 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{\underline{2,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

1.4.2 Im (in Bewegungsrichtung vorderen) Leiterabschnitt der Länge  $a$ , der sich mit der Geschwindigkeit  $v_F$  senkrecht zum Magnetfeld der Flussdichte  $B$  bewegt, beträgt die **Induktionsspannung**

$$U_{\text{ind}} = B \cdot a \cdot v_F = 100 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 2,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,013 \text{ V} = \underline{\underline{13 \text{ mV}}}.$$

1.4.3 Ist die Leiterschleife geschlossen, fließt infolge der Induktionsspannung ein Strom durch die Leiterschleife. Dieser erzeugt seinerseits ein Magnetfeld, das gemäß der Lenz'schen Regel dem äußeren Feld entgegengesetzt ist. Es kommt zum **Abbremsen** des Wagens, bis die Leiterschleife komplett ins Magnetfeld eingetaucht ist.

Sie können alternativ auch die wirkenden Kräfte betrachten: Auf die bewegten Ladungen im stromdurchflossenen vorderen Leiterabschnitt wirkt die **Lorentzkraft** (magnetische Kraft), die gemäß Dreifingerregel entgegen der Fahrtrichtung wirkt und den Wagen abbremst.

Die Bremswirkung ist zeitlich nicht konstant, sondern wird kleiner: Da die Induktionsspannung proportional zur Geschwindigkeit ist (vgl. Teilaufgabe 1.4.2), nehmen mit abnehmender Geschwindigkeit die Spannung und infolgedessen auch die Stärke des induzierten Stroms und die Stärke des von diesem erzeugten Gegenfelds ab. Daher kann in der endlichen Zeitdauer der Eintauchphase der Wagen **nicht** bis zum Stillstand abgebremst werden.

Im Kraftbild gilt entsprechend: Die bremsende Lorentzkraft ist proportional zur Geschwindigkeit und wird daher während des Bremsvorgangs immer kleiner.

- 1.4.4 Die **Lorentzkraft (magnetische Kraft)** hängt von der Stärke  $I$  des in der Schleife induzierten Stroms, von der Länge  $a$  des (in Bewegungsrichtung vorderen) Leiterabschnitts und von der magnetischen Flussdichte  $B$  ab:

$$F_{\text{mag}} = I \cdot a \cdot B$$

Für die Stromstärke gilt  $I = U_{\text{ind}}/R$  und nach Teilaufgabe 1.4.2 für die Induktionsspannung bei der Geschwindigkeit  $v$  von W2  $U_{\text{ind}} = B \cdot a \cdot v$ , sodass durch Einsetzen folgt:

$$F_{\text{mag}} = \frac{U_{\text{ind}}}{R} \cdot a \cdot B = \frac{B \cdot a \cdot v}{R} \cdot a \cdot B = \frac{B^2 \cdot a^2 \cdot v}{R}$$

- 2.1 Die Kugel fällt frei. Ihre **Geschwindigkeit beim Austritt** aus dem Kondensator lässt sich mithilfe der Energiebilanz aus potenzieller und kinetischer Energie zu Beginn und am Ende des Falls berechnen. Auf Basis des in Abb. 2 eingezeichneten Koordinatensystem liegt der Nullpunkt der potenziellen Energie am unteren Ende  $y=0$  des Kondensators, sodass gilt:

$$W_{\text{kin, Austritt}} = W_{\text{kin, 0}} + W_{\text{pot, 0}}$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_y^2 = \frac{1}{2} m \cdot v_{0y}^2 + m \cdot g \cdot L$$

$$\Rightarrow v_y = \sqrt{v_{0y}^2 + 2g \cdot L} = \sqrt{\left(8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,5 \text{ m}} = \underline{\underline{8,59 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Die **Falldauer** berechnet sich nach dem t-v-Gesetz des freien Falls:

$$v_y = v_{0y} + g \cdot t_F \Rightarrow t_F = \frac{v_y - v_{0y}}{g} = \frac{8,59 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \underline{\underline{0,06 \text{ s}}}$$

- 2.2.1 Auf die geladene Kugel wirkt eine elektrische Kraft  $F_{\text{el}}$ , die sie in x-Richtung beschleunigt. Nach dem zweiten Newton'schen Gesetz muss daher gelten:

$$m \cdot a = F_{\text{el}} \Leftrightarrow m \cdot a = E \cdot q$$

Die elektrische Feldstärke im Plattenkondensator ist durch die angelegte Spannung und den Plattenabstand bestimmt,  $E = U/d$ , sodass man für die Horizontalbeschleunigung  $a$  auf die Kugel erhält:

$$m \cdot a = \frac{U}{d} \cdot q \Rightarrow a = \frac{U \cdot q}{m \cdot d} = \frac{500 \text{ V} \cdot 80 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{50 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot 0,1 \text{ m}} = 8,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Die Kraft wirkt während der Falldauer  $t_F$ , daher ergibt sich für die **horizontale Ablenkung**:

$$x_H = \frac{1}{2} a \cdot t_F^2 = \frac{1}{2} \cdot 8,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,06 \text{ s})^2 = \underline{\underline{0,014 \text{ m} = 14 \text{ mm}}}$$

Der Geschwindigkeitsvektor beim Verlassen des Kondensators besitzt eine Horizontalkomponente vom Betrag

$$v_x = a \cdot t_F = 8,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,06 \text{ s} = 0,48 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

und eine Vertikalkomponente vom Betrag  $v_y = 8,59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  (vgl. Teilaufgabe 2.1).



© **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**