

# **Musteraufgaben für den standardbasierten und kompetenzorientierten Unterricht im Fach Physik in der Kursstufe**

Fortbildungsunterlagen

ZPG Physik: Standardorientierte und kompetenzbasierte  
Unterrichtsentwicklung im Fach Physik (Sek II)

Rückmeldungen jeglicher Art zu den Aufgaben und Lösungen sind  
willkommen. Bitte richten Sie diese an Ihre Sprengelfachberaterin  
oder ihren Sprengelfachberater.

Version: Dezember 2010

**Autoren:**

Dr. Markus Ziegler, Regierungspräsidium Freiburg

Florian Karsten, Seminar Stuttgart

**Mitglieder der zentralen Projektgruppe Physik (Sek II):**

Joachim Friederich, Kepler-Gymnasium, Pforzheim

Florian Karsten, Seminar Stuttgart

Franz Kranzinger, Seminar Stuttgart

Michael Renner, Seminar Tübingen

Dr. Peter Schmälzle, Seminar Karlsruhe

Dr. Markus Ziegler, Regierungspräsidium Freiburg

**Fachreferenten der Regierungspräsidien:**

Dr. Frieder Haug, Regierungspräsidium Tübingen

Siegfried Lutz, Regierungspräsidium Stuttgart

Dr. Petra Zachmann, Regierungspräsidium Karlsruhe

Dr. Markus Ziegler, Regierungspräsidium Freiburg

Die Aufgaben in diesem Heft sind zum Teil Weiterentwicklungen von Aufgaben aus dem Heft „Musteraufgaben für die Kursstufe ab 2011 im Fach Physik – Fortbildungsunterlagen für die Sprengelarbeit im Fach Physik der Fachberaterinnen und Fachberater in den Regierungspräsidien Freiburg, Karlsruhe, Stuttgart und Tübingen“. Die darin enthaltenen Aufgaben wurden erarbeitet von: Bruno Amann, Siegfried Binniger, Joachim Friederich, Dr. Frieder Haug, Wolf-Peter Hirlinger, Peter Kahle, Florian Karsten, Georg Kirchgeßner, Franz Kranzinger, Hans-Peter Lippky, Siegfried Lutz, Horst Petrich, Rolf Piffer, Dieter Plappert, Michael Renner, Klaus Rösch, Peter Weber, Dr. Petra Zachmann, Dr. Markus Ziegler.



Die Aufgaben in diesem Heft stehen unter der Lizenz  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Hinweise und Erläuterungen .....</b>                             | <b>9</b>  |
| Kompetenzen überprüfen – aber wie? .....                            | 9         |
| Wie sind diese Aufgaben entstanden? .....                           | 10        |
| Was ist neu? .....                                                  | 10        |
| Wie sind die Aufgaben strukturiert? .....                           | 11        |
| <b>Danksagung.....</b>                                              | <b>12</b> |
| <b>EPA-Operatoren für das Fach Physik .....</b>                     | <b>13</b> |
| <b>Was ist eine Kompetenzmatrix? .....</b>                          | <b>14</b> |
| <b>Übersicht über die Aufgaben – nach Neuerungen sortiert .....</b> | <b>16</b> |
| <b>Aufgabe 1 – eine vollständige Klausur nach EPA-Vorgabe.....</b>  | <b>17</b> |

- Fachkenntnisse:
  - Entropie, Entropieerzeugung,  $\Delta E = T \cdot \Delta S$
  - Diode als richtungsabhängiger Widerstand
  - zentrale historische und erkenntnistheoretische Gegebenheiten
  - Entnehmen von Informationen aus komplexeren Texten
  - typische Merkmale der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise
- Kommunikation:
  - fachsprachliche Formulierung von Umgangssprache
  - Textarbeit: analysieren komplexer Texte und Darstellung der daraus gewonnenen Erkenntnisse
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Alltagsbezug physikalischer Phänomene
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive
  - historische Bezüge darstellen, einordnen bzw. reflektieren

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| <b>Aufgabenbaustein 2.....</b> | <b>24</b> |
|--------------------------------|-----------|

- Fachkenntnisse:
  - Entropie, Entropieerzeugung,  $\Delta E = T \cdot \Delta S$
- Fachmethoden:
  - unbekannte Analogien erkennen bzw. nutzen
- Kommunikation:
  - fachsprachliche Formulierung von Umgangssprache
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte

### **Aufgabenbaustein 3.....28**

- Fachkenntnisse:
  - Entropie, Entropieerzeugung,  $\Delta E = T \cdot \Delta S$
- Fachmethoden:
  - unbekannte Formeln anwenden bzw. interpretieren
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Alltagsbezug physikalischer Phänomene
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

### **Aufgabenbaustein 4.....31**

- Fachkenntnisse:
  - Entropie, Entropieerzeugung,  $\Delta E = T \cdot \Delta S$
- Fachmethoden:
  - unbekannte Formeln anwenden bzw. interpretieren
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte

### **Aufgabenbaustein 5.....34**

- Fachmethoden:
  - Überprüfung von Hypothesen
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte

### **Aufgabenbaustein 6.....37**

- Fachkenntnisse:
  - Impuls, Impulserhaltung
  - Drehimpuls und Drehimpulserhaltung (qualitativ)
- Fachmethoden:
  - unbekannte Analogien erkennen bzw. nutzen
  - unbekannte Formeln anwenden bzw. interpretieren
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

|                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Aufgabenbaustein 7.....</b>                                                                         | <b>43</b> |
| • Fachmethoden:                                                                                        |           |
| ○ unbekannte Formeln anwenden bzw. interpretieren                                                      |           |
| • Reflexion:                                                                                           |           |
| ○ Alltagsbezug physikalischer Phänomene                                                                |           |
| <b>Aufgabenbaustein 8.....</b>                                                                         | <b>46</b> |
| • Fachkenntnisse:                                                                                      |           |
| ○ Entnehmen von Informationen aus komplexeren Diagrammen, Graphen, ...                                 |           |
| ○ Diode als richtungsabhängiger Widerstand                                                             |           |
| • Fachmethoden:                                                                                        |           |
| ○ Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten<br>Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus |           |
| • Kommunikation:                                                                                       |           |
| ○ Darstellung physikalischer Sachverhalte                                                              |           |
| <b>Aufgabenbaustein 9.....</b>                                                                         | <b>50</b> |
| • Fachkenntnisse:                                                                                      |           |
| ○ Entnehmen von Informationen aus komplexeren Diagrammen, Graphen, ...                                 |           |
| • Fachmethoden:                                                                                        |           |
| ○ Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten<br>Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus |           |
| • Kommunikation:                                                                                       |           |
| ○ Darstellung physikalischer Sachverhalte                                                              |           |
| <b>Aufgabenbaustein 10.....</b>                                                                        | <b>53</b> |
| • Fachkenntnisse:                                                                                      |           |
| ○ Entnehmen von Informationen aus komplexeren Texten                                                   |           |
| ○ zentrale historische und erkenntnistheoretische Gegebenheiten                                        |           |
| • Fachmethoden:                                                                                        |           |
| ○ Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten<br>Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus |           |
| • Kommunikation:                                                                                       |           |
| ○ Darstellung physikalischer Sachverhalte                                                              |           |
| • Reflexion:                                                                                           |           |
| ○ historische Bezüge darstellen, einordnen bzw. reflektieren                                           |           |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Aufgabenbaustein 11.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>56</b> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachmethoden: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten<br/>Messwerterfassung<br/>Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus</li> </ul> </li> <li>• Kommunikation: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Darstellung physikalischer Sachverhalte</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                      |           |
| <b>Aufgabenbaustein 12.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>59</b> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachkenntnisse: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Impuls, Impulserhaltung</li> </ul> </li> <li>• Fachmethoden: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus</li> </ul> </li> <li>• Kommunikation: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Darstellung physikalischer Sachverhalte</li> </ul> </li> <li>• Reflexion: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Alltagsbezug physikalischer Phänomene</li> <li>○ Einnehmen einer physikalischen Perspektive</li> </ul> </li> </ul> |           |
| <b>Aufgabenbaustein 13.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>62</b> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachmethoden: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten, Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus</li> </ul> </li> <li>• Kommunikation: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Darstellung physikalischer Sachverhalte</li> </ul> </li> <li>• Reflexion: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Alltagsbezug physikalischer Phänomene</li> <li>○ Einnehmen einer physikalischen Perspektive</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                        |           |
| <b>Aufgabenbaustein 14.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>65</b> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachkenntnisse: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ typische Merkmale der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise</li> </ul> </li> <li>• Fachmethoden: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Überprüfung von Hypothesen</li> <li>○ Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten<br/>Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus</li> </ul> </li> <li>• Kommunikation: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Darstellung physikalischer Sachverhalte</li> </ul> </li> </ul>                                                                                           |           |

**Aufgabenbaustein 15.....68**

- Fachkenntnisse:
  - Maxwell-Theorie (verbale Formulierung, Induktionsgesetz quantitativ)
  - Diode als richtungsabhängiger Widerstand
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Alltagsbezug physikalischer Phänomene
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

**Aufgabenbaustein 16.....71**

- Fachkenntnisse:
  - Entnehmen von Informationen aus komplexeren Diagrammen, Graphen,...
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Alltagsbezug physikalischer Phänomene
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

**Aufgabenbaustein 17.....74**

- Fachkenntnisse:
  - Diode als richtungsabhängiger Widerstand
- Fachmethoden:
  - unbekannte Formeln anwenden bzw. interpretieren
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Alltagsbezug physikalischer Phänomene
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

**Aufgabenbaustein 18.....77**

- Fachkenntnisse:
  - Entnehmen von Informationen aus komplexeren Diagrammen, Graphen,...
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

**Aufgabenbaustein 19.....80**

- Fachkenntnisse:
  - Analogien: Strom-Antrieb-Konzept oder zumindest ein Vergleich analoger mechanischer, elektrischer bzw. thermodynamischer Systeme
- Fachmethode:
  - unbekannte Analogien erkennen bzw. nutzen
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte



## Hinweise und Erläuterungen

Neben der Kenntnis von verbindlich vorgegeben Fachinhalten müssen die Schülerinnen und Schüler Kompetenzen erwerben, die unabhängig von Fachinhalten sind.

„Die Orientierung an Kompetenzen hat zur Folge, dass

- der Blick auf die Lernergebnisse von Schülerinnen und Schülern gelenkt,
- das Lernen auf die Bewältigung von Anforderungen und nicht nur auf den Aufbau von zunächst ungenutztem Wissen ausgerichtet und
- das Lernen als kumulativer Prozess organisiert wird.

Schülerinnen und Schüler haben fachliche Kompetenzen ausgebildet, wenn sie

- zur Bewältigung einer Situation vorhandene Fähigkeiten nutzen,
- dabei auf vorhandenes Wissen zurückgreifen und sich benötigtes Wissen beschaffen,
- die zentralen Zusammenhänge eines Lerngebietes verstanden haben,
- angemessene Lösungswege wählen,
- bei ihren Handlungen auf verfügbare Fertigkeiten zurückgreifen,
- ihre bisher gesammelten Erfahrungen in ihre Handlungen mit einbeziehen.“<sup>1</sup>

### Kompetenzen überprüfen – aber wie?

Unterricht muss kompetenzorientiert geplant und durchgeführt werden. Hierzu gehört auch die Überprüfung von Kompetenzen. Dies kann an verschiedenen Stellen und auf verschiedene Art und Weise geschehen:

Im Unterricht durch

- den Einsatz von Aufgaben<sup>2</sup>
- den Einsatz von Diagnoseelementen<sup>3</sup>
- Klassenarbeiten.

Landes- bzw. bundesweit durch

- Diagnose- und Vergleichsarbeiten (DVA)<sup>4</sup>
- IQB-Vergleichsarbeiten
- das Abitur.

Insbesondere bei den zentralen Prüfungen ist die Überprüfung der Kompetenzen eine Herausforderung: Die zu vermittelnden Kompetenzen sind bekannt, da sie im Bildungsplan nachzulesen sind. Die behandelten Inhalte, Sprechweisen, Beispiele, Experimente etc. sind jedoch nicht vollständig bekannt, da hier die einzelne Lehrkraft die Freiheit hat, die Kompetenzen an beliebigen, geeigneten

---

<sup>1</sup> kmk for.mat Naturwissenschaften: <http://www.kmk-format.de/Nawi-Allgemeines.html>

<sup>2</sup> Vgl. hierzu auch die Fortbildungsmaterialien „Kompetenzorientierte Aufgaben im Physikunterricht“: <http://lehrerfortbildung-bw.de/faecher/physik/gym/fb1/aufgaben/>

<sup>3</sup> Vgl. hierzu auch die Fortbildungsmaterialien „Diagnose und Förderung im Physikunterricht“: <http://lehrerfortbildung-bw.de/faecher/physik/gym/fb1/diagnose/>

<sup>4</sup> Vgl. hierzu auch die Fortbildungsmaterialien „DVA als Diagnoseelement“: <http://lehrerfortbildung-bw.de/faecher/physik/gym/fb1/diagnose/dva/>

Inhalten zu vermitteln. Wie können also kompetenzorientierte Aufgaben aussehen? Die vorliegende Sammlung gibt anhand von 19 Beispielaufgaben eine Antwort auf diese Frage.

## Wie sind diese Aufgaben entstanden?

Einige dieser Aufgaben wurden in einer früheren Version<sup>5</sup> bereits flächendeckend an die Physiklehrerinnen und Physiklehrer in Baden-Württemberg verteilt. Diese frühere Version wurde in Zusammenarbeit von Fachberatern der vier Regierungspräsidien, der Standardexperten und der Abiturkommission erstellt. Es handelte sich dabei um Aufgaben für den Unterricht, die deutlich machen sollten, in welche Richtung sich die Aufgabenkultur verändern wird.

Im Rahmen der Fortbildungsreihe „ZPG Physik: Standardorientierte und kompetenzbasierte Unterrichtsentwicklung im Fach Physik (Sek II)“ wurden diese Aufgaben nun weiterentwickelt. Hierbei wurden zahlreiche Verbesserungsvorschläge der Physiklehrer/-innen eingearbeitet und weitere Aufgaben zur Kompetenzüberprüfung erstellt. Der richtungsweisende Charakter dieser Aufgaben wurde von den Fachreferenten der vier Regierungspräsidien bestätigt.

## Was ist neu?

In diesem Heft sind 19 Aufgaben zusammengestellt. Die Aufgaben 2 bis 19 sind Aufgabenbausteine zur Kompetenzüberprüfung. Aufgabe 1 ist kein Aufgabenbaustein, sondern entspricht vom Umfang und Aufbau her einer zweistündigen Klausur. Sie ist so konzipiert, dass sie alle Anforderungen der EPA-Physik<sup>6</sup> erfüllt. In diesem Heft sind **nur** solche Aufgaben aufgeführt, in denen die **Neuerungen** besonders deutlich sichtbar werden.

Die Aufgaben sind als Weiterentwicklung der bisherigen Abituraufgaben zu verstehen und **orientieren sich an den Musterkerncurricula (Klasse 7 bis 12), die vom Landesinstitut für Schulentwicklung veröffentlicht wurden**<sup>7</sup>.

Die bisher veröffentlichten Aufgaben für G9 prüfen hauptsächlich Fachinhalte und Fachmethoden. Die Kompetenzen „Reflexion“ und „Kommunikation“ (siehe EPA-Kompetenzmatrix auf [Seite 15](#)) werden hingegen nur in geringem Umfang überprüft, meist nur in Zusammenhang mit Teilaufgaben zum Thema Quantenphysik. Diese beiden Kompetenzen können mit den folgenden Aufgabenbausteinen verstärkt geprüft werden. Kompetenzen sind unabhängig von Inhalten – dies spiegelt sich in den neuen Aufgaben wieder. Die Überprüfung der Kompetenzen erfolgt hier an beliebigen, teilweise den Schülerinnen und Schülern unbekannten Inhalten und Formeln. **Ziel des Unterrichts ist es dabei nicht, die Schülerinnen und Schüler auf alle möglichen Inhalte vorzubereiten, die über den Bildungsplan hinausgehen, sondern ihnen die Kompetenzen so zu vermitteln, dass sie diese an beliebigen Inhalten zeigen können.**

Alle Inhalte der Bildungsstandards Physik für die Klassen 7 bis 10 sind auch im Bildungsstandard für die Kursstufe 11/12 aufgeführt. Im Sinne eines kumulativen und nachhaltigen Lernens müssen die Schülerinnen und Schüler auch die zentralen Fachinhalte und Fachmethoden der Bildungsstandards bis Klasse 10 beherrschen. In diesem Heft werden insbesondere Beispiele zu den folgenden Themen aufgeführt:

---

<sup>5</sup> Musteraufgaben für die Kursstufe ab 2011 im Fach Physik – Fortbildungsunterlagen für die Sprengelarbeit im Fach Physik der Fachberaterinnen und Fachberater in den Regierungspräsidien Freiburg, Karlsruhe, Stuttgart und Tübingen

<sup>6</sup> Die Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik beschreiben, was ein Prüfling am Ende der Oberstufe im Abitur können muss, und welche Anforderungen in der Prüfung und an die Prüfung gestellt werden: <http://www.kmk.org/dokumentation/veroeffentlichungen-beschluesse/bildung-schule/allgemeine-bildung.html>

<sup>7</sup> Musterkerncurricula:

<http://www.bildung-staerkt-menschen.de/unterstuetzung/schularten/Gym/curricula/kerncurricula> und

<http://www.bildung-staerkt-menschen.de/unterstuetzung/schularten/Gym/umsetzungsbeispiele/Ph>

- einfache Analogien kennen (z. B. Strom-Antriebs-Konzept)
- selbstständig Strukturen erkennen und Analogien einsetzen
- unbekannte Formeln anwenden und interpretieren können
- naturwissenschaftliche Arbeitsweise kennen und anwenden können
- Experimente selbstständig planen, durchführen und auswerten können
- Eigenschaften der Entropie sowie den Zusammenhang zwischen Entropie- und Energieänderung  $\Delta E = T \cdot \Delta S$  kennen und anwenden können
- Energie- und Impulserhaltungssatz (quantitativ) sowie Drehimpulserhaltungssatz (qualitativ) kennen und anwenden können.
- Kennlinien experimentell aufnehmen und interpretieren können
- Diode als richtungsabhängigen Widerstand kennen

Teile der oben genannten Neuerungen wurden bereits in den für G8 konzipierten Aufgaben des Haupt- und Nachtermins 2010 (jeweils Aufgabe IV) umgesetzt.

Die Zuordnung der Musteraufgaben zu den Neuerungen finden Sie in der Tabelle:  
„Übersicht über die Aufgaben – nach Neuerungen sortiert“ auf [Seite 16](#).

## Wie sind die Aufgaben strukturiert?

Jede Aufgabe ist nach dem folgenden Schema strukturiert:

- Die Besonderheiten und Neuerungen der Aufgabe werden genannt.
- Es wird erläutert, was im Unterricht **nicht** behandelt werden muss, um diese Aufgabe lösen zu können. Dies ist z. B. bei unbekannten Formeln oder bestimmten experimentellen Aufbauten von Bedeutung. Die Schülerinnen und Schüler müssen in der Lage sein, bestimmte physikalische Kompetenzen an unbekannten Inhalten<sup>8</sup> zu zeigen.
- Es wird erläutert, was im Unterricht zuvor behandelt werden muss, und über welche Kompetenzen die Schülerinnen und Schüler verfügen müssen, um diese Aufgabe lösen zu können. Hierbei wird auf das gemeinsame Kerncurriculum, der vom Landesinstitut für Schulentwicklung veröffentlichten Musterkerncurricula<sup>9</sup> verwiesen.
- Jede Aufgabe ist durch die Kompetenzmatrix charakterisiert: Gehört eine Fragestellung (jeweils durch Aufzählungspunkte im Aufgabentext gekennzeichnet) zu einem bestimmten Kompetenzbereich und einem bestimmten Anforderungsbereich, so steht die Nummer der Fragestellung (z.B. 3 für den dritten Aufzählungspunkt) im entsprechenden Feld der Matrix. Bei der Matrix handelt es sich um die durch die EPA-Physik<sup>10</sup> vorgegebene Version. Siehe hierzu auch [Seite 15](#).
- Nun folgt die eigentliche Aufgabenstellung. Diese berücksichtigt die Operatoren der EPA-Physik. Diese Liste von Verben und ihrer jeweiligen Bedeutung in einer Aufgabenstellung ist auf [Seite 13](#) dargestellt und sollte den Schülerinnen und Schülern kopiert und erläutert werden.

---

<sup>8</sup> Vgl. hierzu auch die die Übersicht über Inhalte, die **nicht** mehr unterrichtet werden müssen, in den Fortbildungsmaterialien „Anregungen zur Weiterentwicklung des Schulcurriculums“:  
<http://lehrerfortbildung-bw.de/faecher/physik/gym/fb1/weiter/>

<sup>9</sup> <http://www.bildung-staerkt-menschen.de/unterstuetzung/schularten/Gym/curricula/kerncurricula>

<sup>10</sup> Einheitliche Prüfungsanforderungen im Fach Physik (EPA-Physik):  
<http://www.kmk.org/dokumentation/veroeffentlichungen-beschluesse/bildung-schule/allgemeine-bildung.html>

- Am Ende jeder Aufgabe finden sich Lösungshinweise, die teilweise auch alternative Lösungswege aufzeigen und auf mögliche Zusatzpunkte eingehen.

## Danksagung

Vielen Dank an die Autorinnen und Autoren der vorausgegangenen Aufgaben<sup>11</sup>, die uns die Aufgaben zur Weiterarbeit überlassen haben. Vielen Dank auch an Franz Kranzinger, Dr. Peter Schmälzle und die Abiturkommission, insbesondere Frau Dr. Petra Zachmann, für Ihre vielen hilfreichen Kommentare bei der Überarbeitung der Aufgaben.

Markus Ziegler und Florian Karsten  
im Dezember 2010

---

<sup>11</sup> Musteraufgaben für die Kursstufe ab 2011 im Fach Physik – Fortbildungsunterlagen für die Sprengelarbeit im Fach Physik der Fachberaterinnen und Fachberater in den Regierungspräsidien Freiburg, Karlsruhe, Stuttgart und Tübingen

# EPA-Operatoren für das Fach Physik<sup>12</sup>

| Operator                         | Beschreibung der erwarteten Leistung                                                                                                                                             |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| abschätzen                       | durch begründete Überlegungen Größenordnungen physikalischer Größen angeben                                                                                                      |
| analysieren / untersuchen        | unter einer gegebenen Fragestellung wichtige Bestandteile oder Eigenschaften herausarbeiten; untersuchen beinhaltet unter Umständen zusätzlich praktische Anteile                |
| anwenden                         | einen bekannten Sachverhalt oder eine bekannte Methode auf etwas Neues beziehen                                                                                                  |
| aufbauen (Experimente)           | Objekte und Geräte zielgerichtet anordnen und kombinieren                                                                                                                        |
| auswerten                        | Daten, Einzelergebnisse oder sonstige Elemente in einen Zusammenhang stellen und gegebenenfalls zu einer Gesamtaussage zusammenführen                                            |
| begründen / zeigen               | Sachverhalte auf Regeln, Gesetzmäßigkeiten bzw. kausale Zusammenhänge zurückführen                                                                                               |
| berechnen / bestimmen            | aus Größengleichungen physikalische Größen gewinnen                                                                                                                              |
| beschreiben                      | Strukturen, Sachverhalte oder Zusammenhänge strukturiert und fachsprachlich richtig mit eigenen Worten wiedergeben                                                               |
| bestätigen                       | die Gültigkeit einer Hypothese, Modellvorstellung, Naturgesetzes durch ein Experiment verifizieren                                                                               |
| bestimmen                        | einen Lösungsweg darstellen und das Ergebnis formulieren                                                                                                                         |
| beurteilen                       | zu einem Sachverhalt ein selbstständiges Urteil unter Verwendung von Fachwissen und Fachmethoden formulieren und begründen                                                       |
| bewerten                         | Sachverhalte, Gegenstände, Methoden, Ergebnisse etc. an Beurteilungskriterien oder Normen und Werten messen                                                                      |
| darstellen                       | Sachverhalte, Zusammenhänge, Methoden und Bezüge in angemessenen Kommunikationsformen strukturiert wiedergeben                                                                   |
| deuten                           | Sachverhalte in einen Erklärungszusammenhang bringen                                                                                                                             |
| diskutieren / erörtern           | in Zusammenhang mit Sachverhalten, Aussagen oder Thesen unterschiedliche Positionen bzw. Pro- und Contra-Argumente einander gegenüberstellen und abwägen                         |
| dokumentieren                    | alle notwendigen Erklärungen, Herleitungen und Skizzen darstellen                                                                                                                |
| durchführen (Experimente)        | an einer Experimentieranordnung zielgerichtete Messungen und Änderungen vornehmen                                                                                                |
| entwerfen / planen (Experimente) | zu einem vorgegebenen Problem eine Experimentieranordnung erfinden                                                                                                               |
| entwickeln / aufstellen          | Sachverhalte und Methoden zielgerichtet miteinander verknüpfen; eine Skizze, eine Hypothese, ein Experiment, ein Modell oder eine Theorie schrittweise weiterführen und ausbauen |
| erklären                         | einen Sachverhalt nachvollziehbar und verständlich machen                                                                                                                        |
| erläutern                        | einen Sachverhalt durch zusätzliche Informationen veranschaulichen und verständlich machen                                                                                       |
| ermitteln                        | einen Zusammenhang oder eine Lösung finden und das Ergebnis formulieren                                                                                                          |
| herleiten                        | aus Größengleichungen durch mathematische Operationen eine physikalische Größe freistellen                                                                                       |
| interpretieren / deuten          | kausale Zusammenhänge in Hinblick auf Erklärungsmöglichkeiten untersuchen und abwägend herausstellen                                                                             |
| nennen / angeben                 | Elemente, Sachverhalte, Begriffe, Daten ohne Erläuterungen. Aufzählen                                                                                                            |
| skizzieren                       | Sachverhalte, Strukturen oder Ergebnisse auf das Wesentliche reduziert übersichtlich darstellen                                                                                  |
| strukturieren / ordnen           | vorliegende Objekte kategorisieren und hierarchisieren                                                                                                                           |
| überprüfen / prüfen / testen     | Sachverhalte oder Aussagen an Fakten oder innerer Logik messen und eventuelle Widersprüche aufdecken                                                                             |
| vergleichen                      | Gemeinsamkeiten, Ähnlichkeiten und Unterschiede ermitteln                                                                                                                        |
| zeichnen                         | eine möglichst exakte grafische Darstellung beobachtbarer oder gegebener Strukturen anfertigen                                                                                   |

<sup>12</sup> Einheitliche Prüfungsanforderungen im Fach Physik (EPA-Physik):

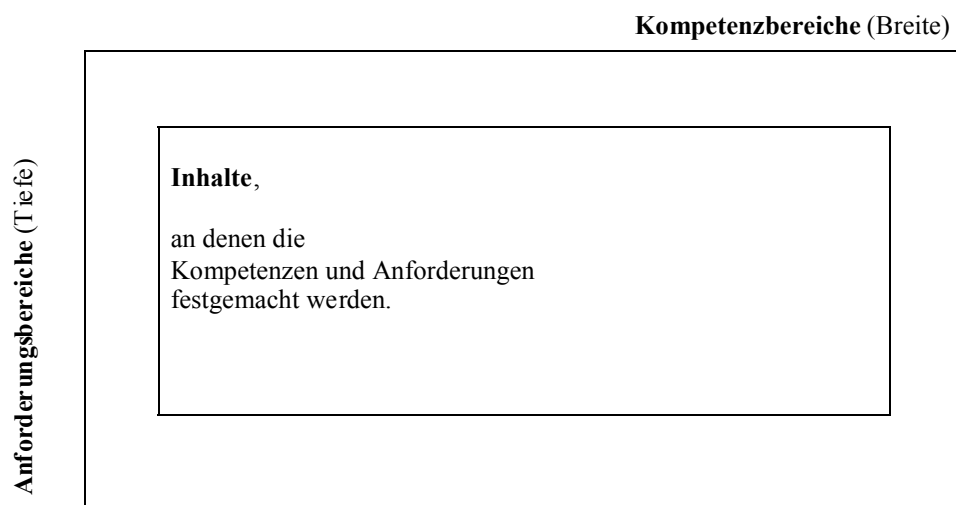
<http://www.kmk.org/dokumentation/veroeffentlichungen-beschluesse/bildung-schule/allgemeine-bildung.html>

# Was ist eine Kompetenzmatrix?

Zur Planung von Unterricht und zur Erstellung von Aufgaben ist eine Kompetenzmatrix hilfreich. In ihr lässt sich übersichtlich darstellen, welche Bereiche in welchem Maß abgedeckt sind. Kompetenzorientierter Unterricht und kompetenzorientierte Aufgaben haben folgende wesentlichen Gemeinsamkeiten:

- Anforderungen in passender Tiefe, durch eine passende Mischung aus leichten, mittleren und schweren Anteilen (**Anforderungsbereiche**)
- Kompetenzen in hinreichender Breite (**Kompetenzbereiche**)
- Anforderungs- und Kompetenzbereiche werden mit geeigneten und relevanten Inhalten verbunden (**Inhalte**).

Diese drei Punkte lassen sich nach J. Leisen<sup>13</sup> in folgendem Schema darstellen:



Die genaue Gestaltung der Anforderungs- und Kompetenzbereiche unterscheidet sich oft – je nachdem welche Institution die Matrix erstellt hat, und unter welcher übergeordneten Aufgabenstellung sie erstellt wurde. So sind z. B. bei PISA die Anforderungsbereiche in fünf Stufen unterteilt, im Rahmen der EPA-Physik hingegen nur in drei, da die drei Bereiche Reproduktion, Reorganisation und Transfer von Lehrkräften intuitiv verwendet werden.

Die von der KMK erstellten Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik (EPA-Physik)<sup>14</sup>, die auch in Baden-Württemberg gelten, sind in 4 Kompetenz- und 3 Anforderungsbereiche aufgeteilt.

Die Kompetenzbereiche lauten:

- Fachkenntnisse: physikalisches Wissen erwerben, wiedergeben und nutzen
- Fachmethoden: Erkenntnismethoden der Physik sowie Fachmethoden beschreiben und nutzen
- Kommunikation: in Physik und über Physik kommunizieren
- Reflexion: über die Bezüge der Physik reflektieren

<sup>13</sup> J. Leisen: Einheitliche Prüfungsanforderungen Physik. MNU 57/3, 2004.

<sup>14</sup> EPA-Physik: <http://www.kmk.org/dokumentation/veroeffentlichungen-beschluesse/bildung-schule/allgemeine-bildung.html>.

Die Anforderungsbereiche sind folgendermaßen beschrieben:

- Im Anforderungsbereich I beschränken sich die Aufgabenstellungen auf die Reproduktion und die Anwendung einfacher Sachverhalte und Fachmethoden, das Darstellen von Sachverhalten in vorgegebener Form sowie die Darstellung einfacher Bezüge.
- Im Anforderungsbereich II verlangen die Aufgabenstellungen die Reorganisation und das Übertragen komplexerer Sachverhalte und Fachmethoden, die situationsgerechte Anwendung von Kommunikationsformen, die Wiedergabe von Bewertungsansätzen sowie das Herstellen einfacher Bezüge.
- Im Anforderungsbereich III verlangen die Aufgabenstellungen das problembezogene Anwenden und Übertragen komplexer Sachverhalte und Fachmethoden, die situationsgerechte Auswahl von Kommunikationsformen, das Herstellen von Bezügen und das Bewerten von Sachverhalten.

Insgesamt ergibt sich folgende Matrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche                                                    |                                                          |                                                                      |                                                                    |
|----------------------|-----|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|                      |     | Fachkenntnisse                                                       | Fachmethoden                                             | Kommunikation                                                        | Reflexion                                                          |
| Anforderungsbereiche | I   | Wiedergeben von Sachverhalten                                        | Beschreiben und Einsetzen von Fachmethoden               | Darstellen von Sachverhalten in vorgegebenen Formen                  | Angaben von Bezügen                                                |
|                      | II  | Anwenden von Sachverhalten eines bestimmten Gebietes                 | Anwenden von Fachmethoden                                | situationsgerechtes Anwenden von Kommunikationsformen                | Herstellen einfacher Bezüge und Wiedergeben von Bewertungsansätzen |
|                      | III | problembezogenes Erarbeiten, Einordnen, Nutzen und Werten von Wissen | problembezogenes Auswählen und Anwenden von Fachmethoden | situationsgerechtes Auswählen und Einsetzen von Kommunikationsformen | Herstellen von Bezügen und Bewerten von Sachverhalten              |

Kompetenzmatrix der EPA-Physik

Anhand dieser Matrix wird jede der folgenden Aufgaben charakterisiert. Jede Aufgabe kann je nach Unterrichtsvoraussetzung unterschiedlichen Anforderungsbereichen zugeordnet werden.

## Übersicht über die Aufgaben – nach Neuerungen sortiert

| Kompetenz-<br>bereiche | Besonderheiten                                                                                                                   | Aufgaben                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fachkenntnisse         | Entropie, Entropieerzeugung, $\Delta E = T \cdot \Delta S$                                                                       | <a href="#">1b</a> , <a href="#">2</a> , <a href="#">3</a> , <a href="#">4</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                        | Impuls, Impulserhaltung                                                                                                          | <a href="#">6</a> , <a href="#">12</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                        | Drehimpuls und Drehimpulserhaltung (qualitativ)                                                                                  | <a href="#">6</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                        | Maxwell-Theorie (verbale Formulierung, Induktionsgesetz quantitativ)                                                             | <a href="#">15</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                        | Analogien: Strom-Antrieb-Konzept oder zumindest ein Vergleich analoger mechanischer, elektrischer bzw. thermodynamischer Systeme | <a href="#">19</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                        | typische Merkmale der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise                                                                       | <a href="#">1d</a> , <a href="#">14</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                        | zentrale historische und erkenntnistheoretische Gegebenheiten                                                                    | <a href="#">1d</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                        | Entnehmen von Informationen aus komplexeren Texten                                                                               | <a href="#">1d</a> , <a href="#">10</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                        | Entnehmen von Informationen aus komplexeren Diagrammen, Graphen, ...                                                             | <a href="#">8</a> , <a href="#">9</a> , <a href="#">16</a> , <a href="#">18</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                        | Diode als richtungsabhängiger Widerstand                                                                                         | <a href="#">1c</a> , <a href="#">8</a> , <a href="#">15</a> , <a href="#">17</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Fachmethoden           | unbekannte Analogien erkennen bzw. nutzen                                                                                        | <a href="#">2</a> , <a href="#">6</a> , <a href="#">19</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                        | unbekannte Formeln anwenden bzw. interpretieren                                                                                  | <a href="#">3</a> , <a href="#">4</a> , <a href="#">6</a> , <a href="#">7</a> , <a href="#">17</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                        | Überprüfung von Hypothesen                                                                                                       | <a href="#">5</a> , <a href="#">14</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                        | Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten<br>Messwerterfassung<br>Freiheit bzgl. des experimentellen Aufbaus            | <a href="#">8</a> , <a href="#">9</a> , <a href="#">10</a> , <a href="#">11</a> , <a href="#">12</a> ,<br><a href="#">13</a> , <a href="#">14</a>                                                                                                                                                                                                                                        |
| Kommunikation          | fachsprachliche Formulierung von Umgangssprache                                                                                  | <a href="#">1c</a> , <a href="#">2</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                        | Darstellung physikalischer Sachverhalte (verbal, grafisch)                                                                       | <a href="#">1</a> , <a href="#">2</a> , <a href="#">3</a> , <a href="#">4</a> , <a href="#">5</a> , <a href="#">6</a> ,<br><a href="#">8</a> , <a href="#">9</a> , <a href="#">10</a> , <a href="#">11</a> , <a href="#">12</a> ,<br><a href="#">13</a> , <a href="#">14</a> , <a href="#">15</a> , <a href="#">16</a> ,<br><a href="#">17</a> , <a href="#">18</a> , <a href="#">19</a> |
|                        | Textarbeit: analysieren komplexer Texte und Darstellung der daraus gewonnenen Erkenntnisse                                       | <a href="#">1d</a> , <a href="#">10</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Reflexion              | Alltagsbezug physikalischer Phänomene                                                                                            | <a href="#">1a</a> , <a href="#">1c</a> , <a href="#">3</a> , <a href="#">7</a> , <a href="#">12</a> ,<br><a href="#">13</a> , <a href="#">15</a> , <a href="#">16</a> , <a href="#">17</a>                                                                                                                                                                                              |
|                        | Einnehmen einer physikalischen Perspektive                                                                                       | <a href="#">1c</a> , <a href="#">1d</a> , <a href="#">3</a> , <a href="#">6</a> , <a href="#">12</a> ,<br><a href="#">13</a> , <a href="#">15</a> , <a href="#">16</a> , <a href="#">17</a> ,<br><a href="#">18</a>                                                                                                                                                                      |
|                        | historische Bezüge darstellen, einordnen bzw. reflektieren                                                                       | <a href="#">1d</a> , <a href="#">10</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |



# Aufgabe 1 – eine vollständige Klausur nach EPA-Vorgabe

## Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Entropie, Entropieerzeugung,  $\Delta E = T \cdot \Delta S$
  - Diode als richtungsabhängiger Widerstand
  - zentrale historische und erkenntnistheoretische Gegebenheiten
  - Entnehmen von Informationen aus komplexeren Texten
  - typische Merkmale der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise
- Kommunikation:
  - fachsprachliche Formulierung von Umgangssprache
  - Textarbeit: analysieren komplexer Texte und Darstellung der daraus gewonnenen Erkenntnisse
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Alltagsbezug physikalischer Phänomene
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive
  - historische Bezüge darstellen, einordnen bzw. reflektieren

## Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass diese Themen im Unterricht explizit behandelt werden:

- Parallelschaltung von Kondensatoren
- Leuchtdiode
- Schütteltaschenlampe.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. diese Themen im Unterricht behandelt werden:

- Kondensator, Kapazität, Kapazität des Plattenkondensators, Ladungserhaltung (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Induktion, Induktionsgesetz (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- elektrisches Feld als Energiespeicher (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Diode als richtungsabhängiger Widerstand (siehe Kerncurriculum 9/10)
- Entropie, Entropieerzeugung,  $\Delta E = T \cdot \Delta S$  (siehe Kerncurriculum 9/10, Kursstufe)
- naturwissenschaftliche Arbeitsweise (siehe Kerncurriculum 7/8, 9/10, Kursstufe)
- Physik als ein historisch-dynamischer Prozess:  
Geschichtliche Entwicklung von Modellen und Weltbildern. Mindestens eines der folgenden Beispiele:
  - Sonnensystem, Universum
  - Folgerungen aus der speziellen Relativitätstheorie
  - Kausalität, deterministisches Chaos (siehe Kerncurriculum 7/8, 9/10, Kursstufe)
- Quantenphysik (z.B. Fotoeffekt, Photon) (siehe Kerncurriculum Kursstufe).

## Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche         |                      |                           |                 |
|----------------------|-----|---------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------|
|                      |     | Fachkenntnisse            | Fachmethoden         | Kommunikation             | Reflexion       |
| Anforderungsbereiche | I   | a1), a2), a3)<br>b1)      | a2), a3)<br>b1), b3) | c1)                       | a1)             |
|                      | II  | b2), b3)<br>c1), c2), c3) | b2)                  | c2), c3), c4)<br>d1), d2) | c1), c2)        |
|                      | III | c4)<br>d1), d2)           |                      |                           | c4)<br>d1), d2) |

### Alle Anforderungen der EPA-Physik sind erfüllt:

- Alle vier Kompetenzbereiche sind abgedeckt.
- Der Schwerpunkt liegt auf den Fachkenntnissen und den Fachmethoden.
- Die Aufgabe erstreckt sich auf alle drei Anforderungsbereiche.
- Der Schwerpunkt liegt im Anforderungsbereich II.
- Das Anforderungsbereich I ist im höheren Maße abgedeckt als das Anforderungsbereich III.
- Die Aufgabe berücksichtigt mehrere Sachgebiete.
- Die Empfehlung zur Vernetzung der Aufgabenteile ist in den Aufgabenteilen a), b) und c) erfüllt.
- Die Empfehlung zu offenen Aufgabenstellungen wurde in den Aufgabenteilen c) und d) berücksichtigt.
- Die Teilaufgaben sind voneinander unabhängig.
- Die Aufgabenstellungen wurden ausschließlich mit EPA-Operatoren formuliert.

### Aufgabe 1:

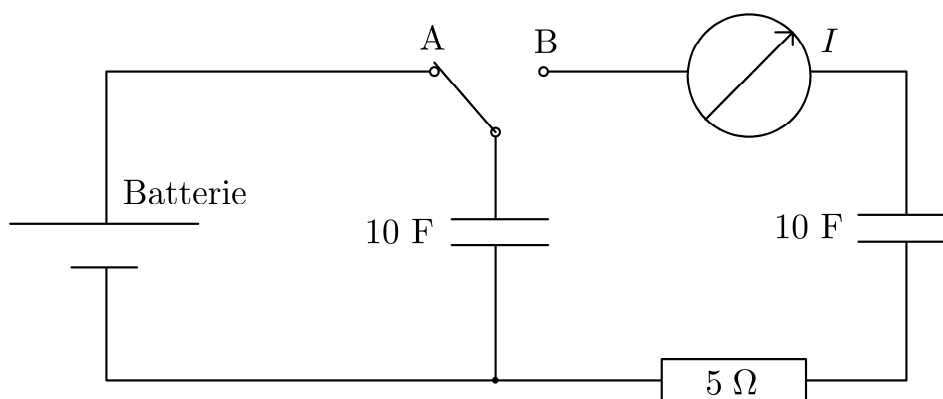
- a) Auf einem handelsüblichen Kondensator findet man die Aufschrift: „2 V; 10 F“, auf einer Glühlampe den Aufdruck „2 V; 0,1 A“.

- Geben Sie an, welche Bedeutung diese Angaben für den Einsatz des Kondensators und der Glühlampe haben.

Der Kondensator wird mithilfe eines Netzgeräts aufgeladen. Nachdem der Kondensator vom Netzgerät getrennt wurde, misst man am Kondensator eine Spannung von 2,00 V. Anschließend wird der Kondensator über die Glühlampe vollständig entladen.

- Berechnen Sie die Ladungsmenge, die beim Entladen des Kondensators über die Glühlampe fließt.
- Bestimmen Sie die Energiemenge, die dieser Kondensator beim Entladen über die Glühlampe abgibt.

- b) Zwei baugleiche Kondensatoren befinden sich in folgender Anordnung:



Der Schalter wird zunächst in Stellung A gebracht. Nach 5 Minuten Wartezeit ist im elektrischen Feld des linken Plattenkondensators die Energie 20,0 J gespeichert. Anschließend wird der Schalter umgelegt.

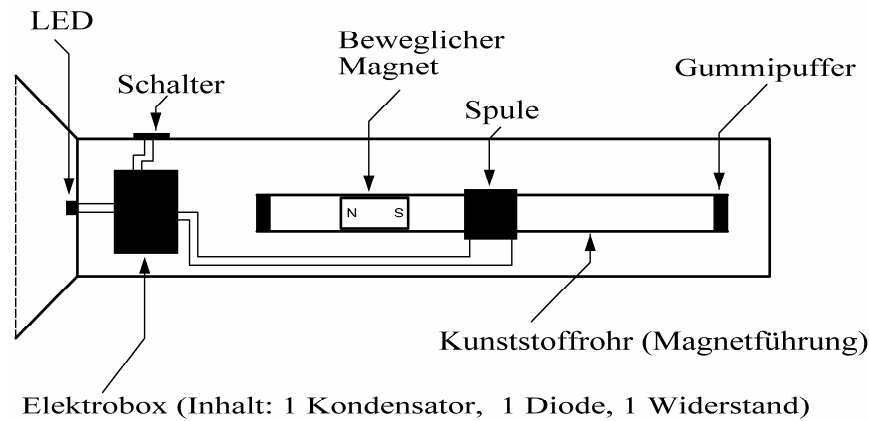
- Bestimmen Sie die Spannung, die sofort nach dem Umlegen des Schalters am linken Kondensator anliegt.

Nach einigen Minuten zeigt das Stromstärkemessgerät den Wert  $0,0 \mu\text{A}$  an.

- Bestimmen Sie die Energiemengen, die jetzt im Feld des linken bzw. rechten Kondensators gespeichert sind.
- Berechnen Sie die maximal erzeugte Entropiemenge bei einer Zimmertemperatur von  $20,0^\circ\text{C}$ .

- c) Im Prospekt des Herstellers einer „Schütteltaschenlampe“ findet man folgende Abbildung und Beschreibung:

„Die Taschenlampe funktioniert ohne Batterien. Einfach 30 Sekunden schütteln und Sie haben über 8 Minuten helles Licht. Durch das Schütteln der Taschenlampe entsteht Strom, der in einem Kondensator gespeichert wird. Bei Bedarf wird mittels eines Schalters Strom aus dem Kondensator an die Leuchtdiode (LED) abgegeben. Ein Widerstand schützt hierbei die LED vor zu großen Strömen.“



- Zeichnen Sie einen möglichen Schaltplan der Schütteltaschenlampe.  
**Hinweis:** Eine Leuchtdiode ist eine Diode, die bei Ladungsdurchfluss leuchtet.
- Erläutern Sie das physikalische Funktionsprinzip dieser Taschenlampe. Gehen Sie hierbei auch auf die Bedeutung der Diode ein.
- Die Beschreibung der Schütteltaschenlampe wurde vom Hersteller umgangssprachlich formuliert. Geben Sie zwei in dem Text vorhandene fachsprachliche Ungenauigkeiten in korrigierter Form an.
- An den beiden Enden des Kunststoffrohrs befinden sich Gummipuffer. Beurteilen Sie, ob es vorteilhaft wäre, wenn die beiden Gummipuffer durch Federn ersetzt würden.

d) Der Physiker Richard P. Feynman schrieb:

„Um zu verstehen, wie wir versuchen, die Natur zu verstehen, können wir uns zum Spaß folgende Analogie vorstellen: die Götter spielen ein großartiges Spiel – sagen wir Schach. Man kennt die Regeln nicht, darf aber das Spielbrett beobachten – zumindest dann und wann an einer winzigen Stelle. Aus diesen Beobachtungen heraus versucht man die Regeln des Spiels zu finden, nach welchen sich die Figuren bewegen.

Man entdeckt vielleicht nach einiger Zeit, dass, wenn es nur einen Läufer auf dem Brett gibt, dieser immer auf derselben Farbe steht. Später entdeckt man das Gesetz, dass der Läufer nur diagonal laufen darf; dies würde das erste Gesetz erklären, dass der Läufer immer auf derselben Farbe bleibt. [...]

Es geht so weiter, alles läuft normal, man kennt alle Gesetze, es sieht wunderbar aus – und dann passiert plötzlich in einer Ecke des Bretts ein seltsames Phänomen. Also beginnt man es zu untersuchen: Es ist die Rochade – etwas, das man nicht erwartet hat. [...] Das was nicht passt, ist das, was uns am meisten interessiert; das was nicht so läuft, wie man es erwartet hat.“

**Hinweis:** Der Läufer ist eine bestimmte Schachfigur. Die Rochade ist der einzige Zug beim Schachspiel, bei dem zwei Figuren derselben Farbe gleichzeitig auf eine bestimmte Weise gezogen werden dürfen.

- Erläutern Sie typische Merkmale der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise anhand des oben angegebenen Textes von Richard P. Feynman.
- Geben Sie ein Beispiel aus der Geschichte der Physik für die im dritten Absatz genannte „unerwartete Rochade“ an und beschreiben Sie, was dort passiert ist, das man „nicht erwartet hat“.

## Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 1):

Aufgabenteil a):

- Der Kondensator sollte mit maximal 2 V geladen werden, seine Kapazität beträgt 10 F. Die Glühlampe sollte mit ca. 2 V betrieben werden. In diesem Fall fließt ein Strom von 0,1 A durch die Lampe und sie leuchtet mit der vom Hersteller vorgesehenen Helligkeit. Höhere Spannungen als 2 V führen beim Kondensator und bei der Glühlampe zu einer Verkürzung der Lebensdauer. Bei sehr hohen Spannungen werden diese Bauteile sofort beschädigt.
- Beim Aufladevorgang hat der Kondensator die Ladungsmenge  $Q = C \cdot U = 10 \text{ F} \cdot 2,00 \text{ V} = 20,0 \text{ C}$  aufgenommen. Diese fließt über die Glühlampe ab.
- Im elektrischen Feld des aufgeladenen Kondensators ist die Energiemenge  $E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = 20,0 \text{ J}$  gespeichert. Diese Energiemenge wird beim Entladen über die Glühlampe (und die Kabel) abgegeben.

Aufgabenteil b):

- Beim Umlegen des Schalters liegt am linken Kondensator folgende Spannung an:

$$U_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot E_0}{C}} = 2,00 \text{ V}.$$

- Wartet man genügend lange, so hat sich die Ladungsmenge  $Q_0 = C \cdot U_0 = 20,0 \text{ C}$ , die zuvor im linken Kondensator gespeichert war, gleichmäßig auf beide Kondensatoren verteilt. Hiervon kann man näherungsweise ausgehen, da die Stromstärke  $I$  zu diesem Zeitpunkt nur noch sehr gering ist. Beide Kondensatoren tragen demnach die Ladungsmenge  $Q_1 = 10,0 \text{ C}$ . An beiden Kondensatoren liegt jeweils die Spannung  $U_1 = \frac{Q_1}{C} = 1,00 \text{ V}$  an. Somit enthält das elektrische Feld der beiden Kondensatoren jeweils die Energiemenge

$$E_l = E_r = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_1^2 = 5,0 \text{ J}.$$

- In beiden Kondensatoren zusammen ist also nur noch die Energiemenge  $E_1 = 10,0 \text{ J}$  gespeichert. Die Hälfte der ursprünglich im System enthaltenen Energie entweicht in die Umgebung – zusammen mit der am elektrischen Widerstand (und den Leitungen) erzeugten Entropie.

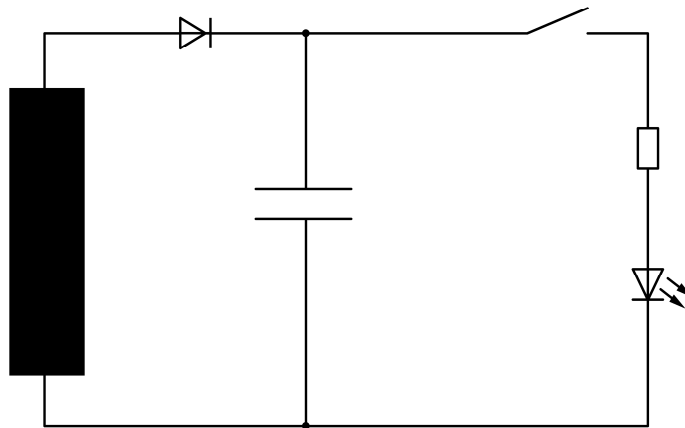
Die maximal erzeugte Entropiemenge beträgt:

$$\Delta S = \frac{\Delta E}{T} = \frac{E_1}{T} = 0,034 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \text{ bzw. } 0,034 \text{ Ct.}$$

[Zusatzpunkte: Diskussion von elektromagnetischer Abstrahlung, Entropieerzeugung bei Absorption von elektromagnetischer Strahlung; die oben berechnete Entropiemenge wurde erzeugt, wenn das System sich wieder im thermodynamischen Gleichgewicht befindet]

Aufgabenteil c):

- 



- Beim Schütteln bewegt sich der Magnet relativ zur Spule. Dadurch entsteht eine Induktionsspannung. Der Induktionsstrom lädt den Kondensator auf. Da die Induktionsspannung während der Schüttelbewegung ständig ihre Polung wechselt, muss eine Diode für Gleichrichtung sorgen. Bei Betätigung des Schalters entlädt sich der Kondensator über den Widerstand und die LED.

- Zwei fachsprachliche Ungenauigkeiten:

Durch das Schütteln der Taschenlampe entsteht Strom, der in einem Kondensator gespeichert wird.

Bei Bedarf wird mittels eines Schalters Strom aus dem Kondensator an die Leuchtdiode (LED) abgegeben.

Mögliche Korrekturen:

Die Schüttelbewegung der Taschenlampe verursacht einen elektrischen Strom, der einen Kondensator lädt.

Bei Bedarf wird mittels eines Schalters Energie aus dem elektrischen Feld des Kondensators an die Leuchtdiode (LED) abgegeben.

- Trifft der Magnet auf einen Gummipuffer bzw. eine Feder, so ändert sich seine Bewegungsrichtung. Bei diesem Vorgang wird Entropie erzeugt. Ein Teil der ursprünglichen Bewegungsenergie wird zusammen mit dieser Entropie an die Umgebung abgegeben. Die erzeugte Entropie- und die zugehörige Energiemenge ist bei einem Gummipuffer beträchtlich größer als bei einer Feder. Folglich muss der Taschenlampennutzer bei der Verwendung von Federn anstatt Gummipuffern weniger mechanische Energie an die Taschenlampe abgeben. Dies spricht für die Verwendung von Federn anstatt Gummipuffern.

[Zusatzpunkte: Der Schüttelvorgang ist nichts anderes als eine erzwungene Schwingung. Für jede Art von erzwungenen Schwingungen ist es typisch, dass es Frequenzen gibt, bei denen ein maximaler Energieübertrag stattfindet. Aufgrund der starken Dämpfung durch die Gummipuffer ist dieses Verhalten nicht so stark ausgeprägt wie bei Verwendung von Federn. Folglich muss der Anwender bei Verwendung von Federn anstatt Gummipuffern eher auf geeignete Schüttelfrequenzen achten. Die Diskussion solcher Resonanzeffekte wird nicht erwartet.]

Aufgabenteil d):

- Erster Absatz: Die Physik versucht die Regeln der Welt zu entdecken, indem sie Beobachtungen und Experimente durchführt. Aus sich wiederholendem gleichen Verhalten kann man auf bestimmte Regeln bzw. Gesetze (Hypothesen) schließen, deren Vorhersagen in den folgenden Experimenten „verifiziert“ werden.

Zweiter Absatz: Man entdeckt ein Gesetz und später ein tiefer liegendes Gesetz, mit dem man das erste Gesetz begründen kann. Ein Beispiel hierfür ist das Wellenmodell des Lichts, das die zuvor entdeckten Regeln, wie z.B. das Modell der Lichtstrahlen ersetzt, d.h. auf tiefer liegender Ebene begründet.

Dritter Absatz: Man hat eine Theorie, die als „gut gesichert“ gilt (Hypothese). Ein Experiment wird durchgeführt, das die Voraussage und damit die Theorie widerlegt.

- Beispiel spezielle Relativitätstheorie: Im 19. Jahrhundert ging man davon aus, dass das Weltall von „Äther“ ausgefüllt ist und dieser Äther der Träger der elektromagnetischen Wellen ist. Am Ende des 19. Jahrhunderts führten Michelson und Morley ein Experiment durch, um die Geschwindigkeit der Erde relativ zum Äther zu bestimmen. Das Ergebnis war, dass die Erde relativ zum Äther keine Geschwindigkeit besitzt. Dies konnte man damals nicht verstehen. 1905 postulierte Einstein, dass es keinen Äther gibt und sich Licht in jedem Bezugssystem gleich schnell ausbreitet. Dies war die Geburtsstunde der speziellen Relativitätstheorie. In der Physik des 19. Jahrhunderts hing die Masse und die Zeit nicht von der Geschwindigkeit eines Körpers ab. In der speziellen Relativitätstheorie hingegen hängen Masse und Zeit von der Geschwindigkeit ab.

Ein weiteres Beispiel ist die Quantenphysik (z.B. Fotoeffekt → Photon).

## Aufgabenbaustein 2

### Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Entropie, Entropieerzeugung,  $\Delta E = T \cdot \Delta S$
- Fachmethoden:
  - unbekannte Analogien erkennen bzw. nutzen
- Kommunikation:
  - fachsprachliche Formulierung von Umgangssprache
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte

### Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass diese Themen im Unterricht explizit behandelt werden:

- Analogie zwischen Kondensator und geeigneter hydraulischer Schaltung
- Parallelschaltung von Kondensatoren.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. diese Themen im Unterricht behandelt werden:

- Strukturen und Analogien: weitere Strukturen und Analogien erkennen bzw. nutzen (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Entropie, Entropieerzeugung,  $\Delta E = T \cdot \Delta S$  (oder  $P = T \cdot \Delta S / \Delta t$ ) (siehe Kerncurriculum Klasse 9/10, Kursstufe)
- Lageenergie (siehe Kerncurriculum Klasse 9/10)
- Kondensator, Kapazität, Energie des elektrischen Felds (siehe Kerncurriculum Kursstufe).

### Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |               |           |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   | 1)                |              |               |           |
|                      | II  | 2)                | 2)           | 1)<br>3)      |           |
|                      | III | 3)                | 3)           |               |           |



## Aufgabe 2:

In Abbildung 1 ist eine elektrische Schaltung dargestellt. Vor dem Schließen des Schalters liegt zwischen den Anschlüssen des linken Kondensators die Spannung  $2,00\text{ V}$ , der rechte Kondensator ist ungeladen. Abbildung 2 zeigt eine Anordnung, die aus zwei baugleichen zylindrischen Behältern, einem Wasserhahn und den skizzierten dünnen Schlauchverbindungen besteht. Die Anordnung ist teilweise mit Wasser gefüllt.

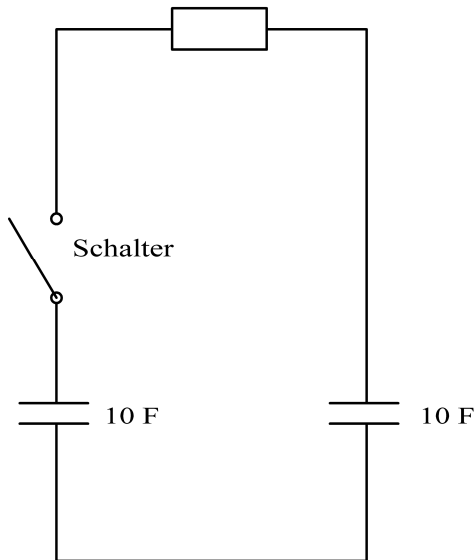


Abbildung 1

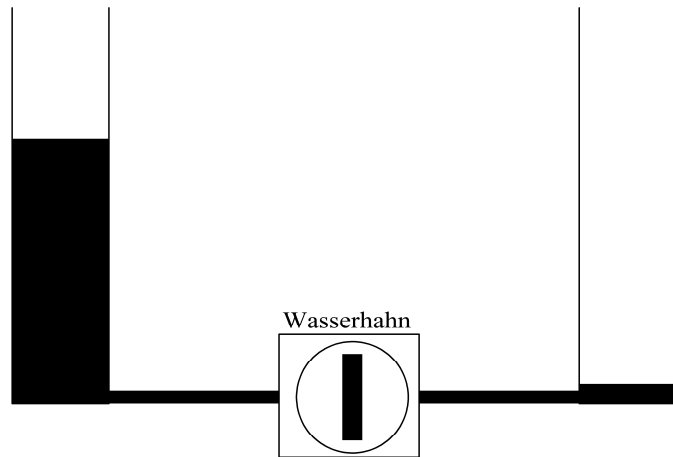
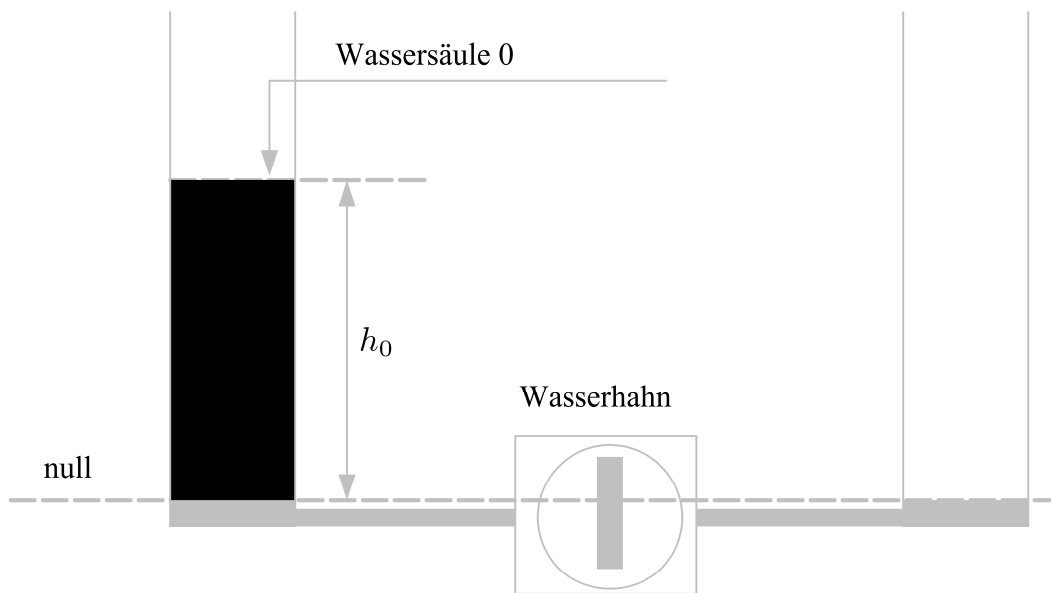


Abbildung 2

In der in Abbildung 1 dargestellten Schaltung „geht Energie verloren“, wenn der Schalter umgelegt wird.

- Erläutern Sie die physikalische Bedeutung der umgangssprachlichen Formulierung: „es geht Energie verloren“. Verwenden Sie hierbei den Begriff „Entropie“.
- Berechnen Sie den prozentualen Anteil der „verloren gegangenen“ elektrischen Energiemenge. Bestimmen Sie die bei diesem Vorgang maximal erzeugte Entropiemenge, wenn die Raumtemperatur  $20,0^\circ\text{C}$  beträgt.
- Zeigen Sie durch geeignete quantitative Betrachtungen, dass bei der in Abbildung 2 dargestellten Anordnung bezüglich Energie und Entropie entsprechendes gilt.

- Aufgrund des Widerstandes des Anordnungs wird Entropie erzeugt, d.h. ein Teil der am Anfang zur Verfügung stehenden Energie verlässt die Anordnung zusammen mit erzeugter Entropie. Diese Energie ist für weitere mechanische oder elektrische Vorgänge nicht mehr vollständig nutzbar. Dieser Sachverhalt wird in der Alltagssprache mit „Energie geht verloren“ bezeichnet. [Zusatzpunkte: Abstrahlung von elektromagnetischen Wellen]
- Zu Beginn ist die Energiemenge  $E_0 = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_0^2 = 20,0 \text{ J}$  im elektrischen Feld des linken Kondensators gespeichert. Wartet man genügend lange, so ist die Ladungsmenge  $Q = C \cdot U_0 = 20,0 \text{ C}$ , die zuvor im linken Kondensator gespeichert war, gleichmäßig auf beide Kondensatoren verteilt. Beide Kondensatoren tragen demnach im Endzustand jeweils eine Ladungsmenge von  $Q_1 = 10,0 \text{ C}$ . Die im Endzustand an jedem Kondensator anliegende Spannung beträgt folglich  $U_1 = Q_1/C = 1,00 \text{ V}$ . Somit enthält das elektrische Feld der beiden Kondensatoren jeweils die Energie  $E_1 = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_1^2 = 5 \text{ J}$ , zusammen also nur noch  $10,0 \text{ J}$ . Die Hälfte (50%) der ursprünglich im System enthaltenen Energie entweicht mit erzeugter Entropie. Bei diesem Vorgang wird maximal die Entropiemenge  $\Delta S = \Delta E/T = \frac{1}{2} E_0/T = 10,0 \text{ J}/293 \text{ K} = 0,034 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$  bzw. Ct erzeugt. [Zusatzpunkte: Abstrahlung von elektromagnetischen Wellen]
- Da der Wasserstand im linken Behälter zu Beginn um  $h_0$  höher ist als im rechten Behälter, steht für den folgenden Strömungsvorgang die Energie  $E_0 = m_0 \cdot g \cdot h_1$  zur Verfügung. Hierbei ist  $m_0$  die Masse und  $h_1 = h_0/2$  die Höhe des Schwerpunktes der Wassersäule 0 (siehe Abbildung 3).



Im Endzustand hat sich das Wasser der Wassersäule 0 in zwei Wassersäulen mit gleicher Masse  $m_1 = m_0/2$  und gleicher Schwerpunkthöhe  $h_s = h_1/2 = h_0/4$  aufgeteilt (siehe Abbildung 4).

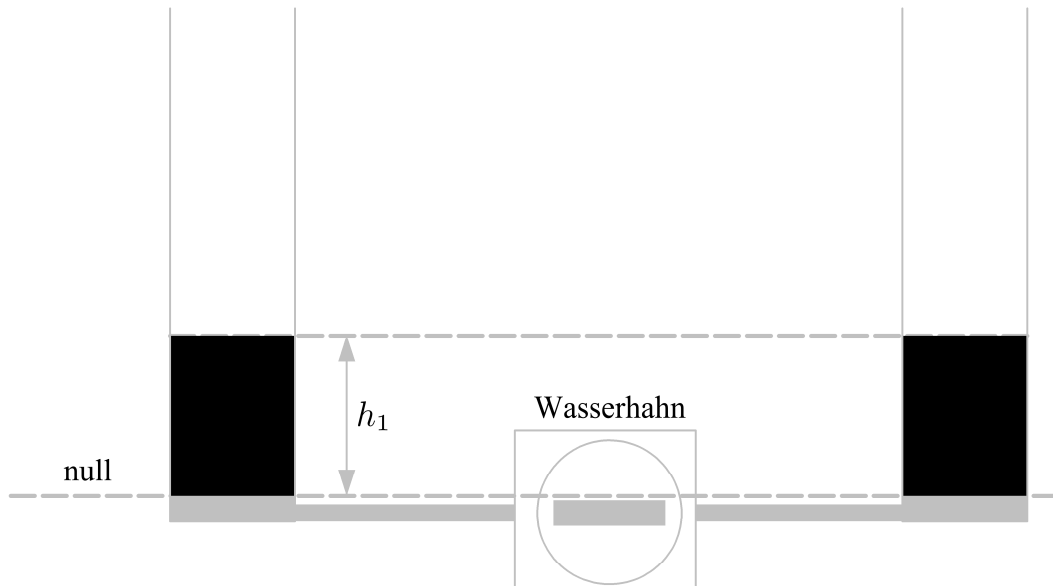


Abbildung 4

Folglich erhält man für die Energie im Endzustand:

$$E_1 = m_1 \cdot g \cdot h_s + m_1 \cdot g \cdot h_s = 2 \cdot \frac{m_0}{2} \cdot g \cdot \frac{h_0}{4} = \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot g \cdot \frac{h_0}{2} = \frac{1}{2} \cdot E_0.$$

Die Energie im Endzustand ist die Hälfte vom Anfangszustand. Auch bei der hydraulischen Anordnung entweicht die Hälfte der ursprünglich im System enthaltenen Energie mit der am Strömungswiderstand der Leitungen erzeugten Entropie in die Umgebung. Die dabei maximal erzeugte Entropiemenge erhält man analog über die Beziehung:

$$\Delta S = \frac{\Delta E}{T} = \frac{\frac{1}{2} \cdot E_0}{T}.$$

## Aufgabenbaustein 3

### Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Entropie, Entropieerzeugung,  $\Delta E = T \cdot \Delta S$
- Fachmethoden:
  - unbekannte Formeln anwenden bzw. interpretieren
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Alltagsbezug physikalischer Phänomene
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

### Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass diese Themen im Unterricht explizit behandelt werden:

- thermodynamische Maschinen
- Wirkungsgrad.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. diese Themen im Unterricht behandelt werden:

- Energieerhaltung  
(siehe Kerncurriculum Klasse 9/10, Kursstufe)
- Eigenschaften der Entropie,  $P = T \cdot \Delta S / \Delta t$   
(siehe Kerncurriculum Klasse 9/10, Kursstufe).

### Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |               |           |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   |                   | 2)           |               |           |
|                      | II  | 1)<br>2)          |              | 2)            | 2)        |
|                      | III |                   | 1)           |               |           |

### Aufgabe 3:

Im Sommer liefern große Sonnenkollektoren zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung oftmals ein Überangebot an Warmwasser. Typischerweise hat dieses Wasser eine Temperatur von ca. 90° C. Ein Erfinder hat eine Maschine entwickelt, die thermische Energie von diesem Wasser aufnimmt, einen Teil davon als elektrische Energie ins öffentliche Stromnetz einspeist und die Restenergie wiederum als thermische Energie an die Umgebung abgibt. Die Entropie der Maschine bleibt während des Betriebs konstant.

Der Erfinder gibt an, dass die Maschine einen Wirkungsgrad von 30% hat.

**Hinweis:** Der Wirkungsgrad ist bei dieser Maschine das Verhältnis von abgegebener elektrischer Leistung zu zugeführter thermischer Leistung.

- Leiten Sie folgende Formel her, mit welcher der maximal mögliche Wirkungsgrad  $\eta_{\max}$  dieser Maschine abgeschätzt werden kann:

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Hierbei sind  $T_1$  und  $T_2$  geeignete Temperaturwerte, die in der absoluten Temperaturskala angegeben werden.

Hinweis: Der maximal mögliche Wirkungsgrad wird dann erreicht, wenn beim Betrieb der Maschine keine Entropie erzeugt wird.

- Beurteilen Sie, ob der vom Erfinder angegebene Wirkungsgrad von 30% der Realität entsprechen kann.

### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 3):

- Der Maschine wird thermische Energie bei der Temperatur  $T_1 = 363 \text{ K}$  zugeführt und thermische Energie bei Umgebungstemperatur  $T_2$  abgeführt. Thermische Energie wird zusammen mit Entropie übertragen. Nach Voraussetzung wird keine Entropie erzeugt, und die Entropie der Maschine bleibt konstant. Damit die Entropie der Maschine konstant bleibt, muss pro Zeiteinheit gleich viel Entropie abgeführt werden, wie zugeführt wurde, d.h. die Entropiestromstärke  $I_{S1} = \frac{\Delta S_1}{\Delta t}$  in die Maschine hinein ist gleich groß wie die Entropiestromstärke  $I_{S2} = \frac{\Delta S_2}{\Delta t}$  aus der Maschine heraus. Zwischen Entropie- und Energiestromstärke (Leistung)  $P$  besteht folgender Zusammenhang:  $P = T \cdot I_S$ . Nutzt man diesen Zusammenhang und den Energieerhaltungssatz  $P_{el} = P_1 - P_2$ , so ergibt sich für den maximalen Wirkungsgrad folgende Formel:

$$\begin{aligned}\eta_{\max} &= \frac{P_{el}}{P_1} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} = 1 - \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{T_2 \cdot I_{S2}}{T_1 \cdot I_{S1}} = 1 - \frac{T_2 \cdot I_{S1}}{T_1 \cdot I_{S1}} \\ &= 1 - \frac{T_2}{T_1}.\end{aligned}$$

- In einer Sommernacht in Deutschland ist die Außentemperatur sicherlich nicht geringer als  $0^\circ\text{C}$ . Nimmt man als Umgebungstemperatur  $273 \text{ K}$  an, so ergibt sich ein maximaler Wirkungsgrad von

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{273 \text{ K}}{363 \text{ K}} \approx 0,248 = 24,8\% < 30\%.$$

Je höher die Umgebungstemperatur  $T_2$ , desto geringer der maximal mögliche Wirkungsgrad. Daher ist der vom Erfinder angegebene Wirkungsgrad (zumindest in Deutschland) nicht realistisch.

## Aufgabenbaustein 4

### Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Entropie, Entropieerzeugung,  $\Delta E = T \cdot \Delta S$
- Fachmethoden:
  - unbekannte Formeln anwenden bzw. interpretieren
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte

### Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass diese Themen im Unterricht explizit behandelt werden:

- Dehnungsverhalten eines Gummibandes
- thermodynamisches Modell eines Gummibandes.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. diese Themen im Unterricht behandelt werden:

- Formalisierung und Mathematisierung in der Physik:  
Anwendung und Interpretation von Formeln, die nicht im Unterricht behandelt wurden (siehe Kerncurriculum 7/8, 9/10, Kursstufe)
- Energieerhaltung (siehe Kerncurriculum Klasse 9/10, Kursstufe)
- Eigenschaften der Entropie,  $P = T \cdot \Delta S / \Delta t$   
(siehe Kerncurriculum Klasse 9/10, Kursstufe).

### Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche          |                    |               |           |
|----------------------|-----|----------------------------|--------------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse             | Fachmethoden       | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   |                            | 1)                 |               |           |
|                      | II  | 2)<br>3)<br>4)<br>5)<br>6) | 2)<br>3)<br><br>6) | 2)<br><br>5)  |           |
|                      | III |                            |                    |               |           |

#### Aufgabe 4:

Im Folgenden sollen mithilfe eines einfachen Modells Voraussagen über das Dehnungsverhalten eines Gummibandes gemacht werden. In diesem Modell hängt die Entropie des Gummibandes von der Temperatur und der Länge des Gummibandes ab. Im ungedehnten Ausgangszustand besitzt das Gummiband bei der Gummitemperatur  $T_0$  die Länge  $l_0$ . Das Modell liefert folgende Formel für die Änderung der Entropie  $S$  des Gummibandes zwischen dem ungedehnten Ausgangszustand und einem gedehnten Zustand mit Länge  $l_1$  und Gummitemperatur  $T_1$ :

$$S_1 - S_0 = 3 \cdot K \cdot \ln \left( \frac{T_1}{T_0} \right) - K \left[ \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{l_1}{l_0} \right)^2 + \frac{l_0}{l_1} - \frac{3}{2} \right].$$

Hierbei ist  $K = 0,10 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$  eine Konstante. Die Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  werden in der absoluten Temperaturskala angegeben. Obige Formel ist gültig für  $l_1 \geq l_0$ .

Eine weitere Annahme dieses Modells ist, dass weder bei Längen- noch Temperaturänderungen des Gummibandes Entropie erzeugt wird.

Das Gummiband wird zunächst sehr langsam von  $l_0 = 50,0 \text{ cm}$  auf  $l_1 = 60,0 \text{ cm}$  gedehnt. Vor, während und nach diesem Vorgang besitzen das Gummiband und seine Umgebung die Temperatur  $20,0^\circ \text{C}$ . Erstaunlicherweise ändert sich bei diesem Vorgang die Energie des Bandes nicht.

- Berechnen Sie mithilfe obigen Modells, wie sich die Entropie des Gummibandes bei diesem Vorgang ändert.
- Beschreiben Sie qualitativ, wie sich bei diesem Vorgang die Entropie und Energie der Umgebung verändern.
- Bestimmen Sie quantitativ die Änderung der Entropie und Energie der Umgebung.
- Bestimmen Sie die mechanische Energie, die notwendig ist, um das Band von  $l_0 = 50,0 \text{ cm}$  auf  $l_1 = 60,0 \text{ cm}$  zu dehnen.
- Wird eine ideale Stahlfeder gedehnt, dann wird die dazu benötigte Energie in der Feder gespeichert. Vergleichen Sie dies mit dem Dehnungsverhalten des Gummibandes bei sehr langsamer Dehnung.

In einem weiteren Versuch wird das Gummiband sehr schnell von  $l_0 = 50,0 \text{ cm}$  auf  $l_1 = 60,0 \text{ cm}$  gedehnt. Dieser Vorgang geschieht so schnell, dass kein Austausch von thermischer Energie mit der Umgebung möglich ist. Vor der Versuchsdurchführung hat das Gummiband die Temperatur  $20,0^\circ \text{C}$ .

- Berechnen Sie mithilfe obigen Modells die Temperatur  $T_1$  des Gummibands nach diesem Vorgang.



### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 4)

- Obige Formel angewandt auf  $T_1 = T_0 = 293 \text{ K}$ ,  $l_0 = 50,0 \text{ cm}$  und  $l_1 = 60,0 \text{ cm}$  ergibt  $S_1 - S_0 \approx -0,00533 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$ .
- Da  $S_1 - S_2 < 0$  hat die Entropie des Gummibandes bei diesem Dehnungsvorgang abgenommen. Die Gesamtentropie kann niemals abnehmen, daher muss bei diesem Vorgang die Entropie  $0,00533 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$  vom Gummiband an die Umgebung abgegeben werden. Da nach Voraussetzung keine Entropie erzeugt wird, hat die Entropie der Umgebung um  $0,00533 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$  zugenommen. Mit Entropie wird auch Energie übertragen. Die Energie der Umgebung hat demnach zugenommen. Nach Voraussetzung ändert sich bei diesem Vorgang die Energie des Bandes nicht. Folglich wurde diese Energiemenge bei dem Dehnungsvorgang als mechanische Energie zugeführt.
- Die Änderung der Entropie der Umgebung wurde bereits oben berechnet. Mit Entropie wird auch Energie übertragen. Diese Energiemenge  $\Delta E$  erhält man über die Beziehung  $\Delta E = T_0 \cdot \Delta S = 293 \text{ K} \cdot 0,00533 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1} = 1,56 \text{ J}$ . Die Energie der Umgebung hat demnach um  $1,56 \text{ J}$  zugenommen.
- Wie bereits erläutert, ist die mechanische Energie  $1,56 \text{ J}$  notwendig, um das Band von  $l_0 = 50,0 \text{ cm}$  auf  $l_1 = 60,0 \text{ cm}$  zu dehnen.
- Bei der Dehnung einer Stahlfeder wie auch bei der Dehnung eines Gummibandes wird mechanische Energie zugeführt. Im Gegensatz zu einer idealen Stahlfeder, wird bei einer sehr langsamen Dehnung des Gummibandes die zugeführte Energie nicht im Gummiband, sondern in der Umgebung des Gummibandes gespeichert.
- Nach Voraussetzung ist kein Austausch von thermischer Energie mit der Umgebung möglich. Folglich kann auch keine Entropie mit der Umgebung ausgetauscht werden. Daher gilt:

$$\begin{aligned} 0 &= S_1 - S_0 \\ &= 3 \cdot K \cdot \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right) - K \left[ \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{l_1}{l_0}\right)^2 + \frac{l_0}{l_1} - \frac{3}{2} \right] \\ 3 \cdot K \cdot \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right) &= K \left[ \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{l_1}{l_0}\right)^2 + \frac{l_0}{l_1} - \frac{3}{2} \right] \\ \ln\left[\left(\frac{T_1}{T_0}\right)^3\right] &= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{l_1}{l_0}\right)^2 + \frac{l_0}{l_1} - \frac{3}{2} \\ T_1 &= T_0 \cdot \left[ e^{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{l_1}{l_0}\right)^2 + \frac{l_0}{l_1} - \frac{3}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \end{aligned}$$

Einsetzen von  $T_0 = 293 \text{ K}$ ,  $l_0 = 50,0 \text{ cm}$  und  $l_1 = 60,0 \text{ cm}$  ergibt  $T_1 \approx 298 \text{ K}$ .

**Alternativer Lösungsweg:**  $T_1$  kann mithilfe des grafikfähigen Taschenrechners durch näherungsweise Lösung obiger Gleichung berechnet werden.

## Aufgabenbaustein 5

### Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachmethoden:
  - Überprüfung von Hypothesen
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte

### Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass diese Themen im Unterricht explizit behandelt werden:

- Entladefunktion eines Kondensators
- Modell eines Doppelschichtkondensators.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. diese Themen im Unterricht behandelt werden:

- Formalisierung und Mathematisierung in der Physik: Anwendung und Interpretation von Formeln, die nicht im Unterricht behandelt wurden (siehe Kerncurriculum 7/8, 9/10, Kursstufe)
- Kondensator, Kapazität, Energie des elektrischen Feldes eines Plattenkondensators (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- elektrischer Widerstand  $R = U/I$ , einfache Reihenschaltungen (siehe Kerncurriculum Klasse 9/10)

### Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |               |           |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   |                   | 2)           |               |           |
|                      | II  | 1)<br>2)          | 1)           | 1)            |           |
|                      | III |                   |              |               |           |

### Aufgabe 5:

Ein Modell für sogenannte Doppelschichtkondensatoren besagt, dass sich ein solcher Kondensator-typ wie die Reihenschaltung eines idealen Kondensators und eines Widerstandes  $R_1$  verhält (siehe Abbildung 1: gestrichelte Linie). Zur Überprüfung dieses Modells wird der im Folgenden beschriebene Versuch mit einem Doppelschichtkondensator der Kapazität  $C = 1 \text{ F}$  durchgeführt. Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau.

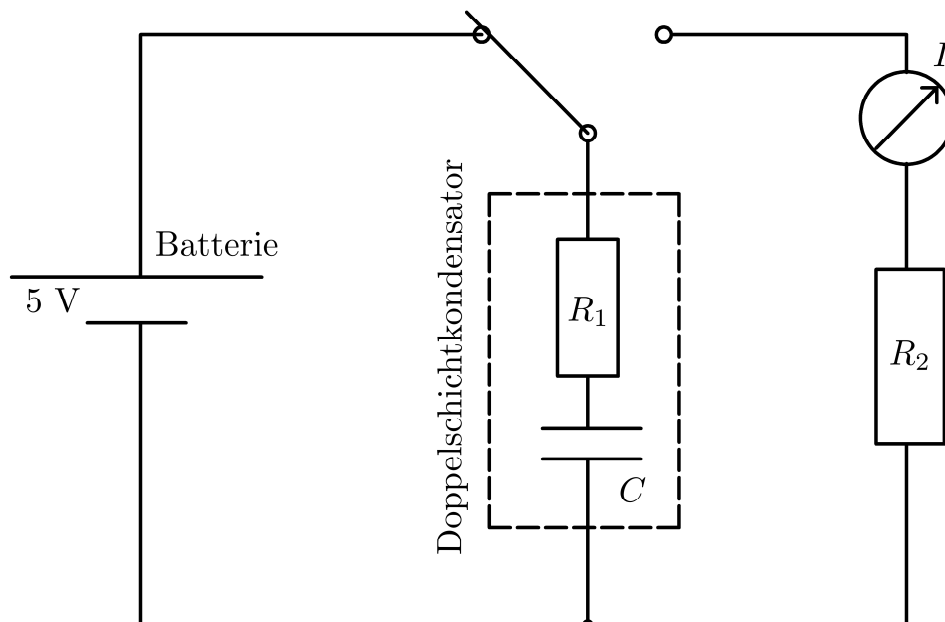


Abbildung 1

Versuchsdurchführung: Der Doppelschichtkondensator wird durch die Batterie zunächst vollständig aufgeladen. Anschließend wird der Schalter umgelegt. Der Innenwiderstand des Strommessgerätes ist vernachlässigbar klein. Während der Entladung über den Widerstand  $R_2 = 100 \Omega$  werden folgende Messwerte abgelesen:

|                 |         |         |         |         |         |         |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zeit $t$        | 0,0 s   | 10,0 s  | 30,0 s  | 50,0 s  | 70,0 s  | 90,0 s  |
| Stromstärke $I$ | 31,2 mA | 29,5 mA | 26,0 mA | 23,0 mA | 20,2 mA | 17,9 mA |

In einer Formelsammlung findet man für die Entladestromstärke  $I(t)$  eines idealen Kondensators  $C$ , der über einen Widerstand  $R$  entladen wird, die Gleichung:

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-k \cdot t} \text{ mit } k = \frac{1}{R \cdot C}.$$

- Beurteilen Sie, ob das Modell für Doppelschichtkondensatoren durch die Messwerte bestätigt wird. Untersuchen Sie dazu zunächst, ob ein exponentieller Ansatz gerechtfertigt ist. Überprüfen Sie gegebenenfalls anschließend die Beziehung

$$k = \frac{1}{R \cdot C}.$$

- Berechnen Sie für dieses Modell den Innenwiderstand  $R_1$  des Doppelschichtkondensators.

### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 5):

Zunächst wird mithilfe einer exponentiellen Regression (GTR) überprüft, ob ein exponentieller Ansatz für  $I(t)$  gerechtfertigt ist. Der GTR (TI-83) liefert die Regressionsfunktion:

$$I_b(t) = 31,3 \cdot (0,9938)^{t/\text{s}} \text{ mA} = 31,3 \cdot e^{(\ln 0,9938) \cdot t/\text{s}} \text{ mA}.$$

Damit ergeben sich folgende Werte:

| Zeit $t$                    | 0,0 s   | 10,0 s  | 30,0 s  | 50,0 s  | 70,0 s  | 90,0 s  |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| gemessene Stromstärke $I_g$ | 31,2 mA | 29,5 mA | 26,0 mA | 23,0 mA | 20,2 mA | 17,9 mA |
| $I_b$                       | 31,3 mA | 29,4 mA | 26,0 mA | 23,0 mA | 20,3 mA | 17,9 mA |
| $I_b - I_g$                 | 0,1 mA  | -0,1 mA | 0,0 mA  | 0,0 mA  | 0,1 mA  | 0,0 mA  |
| $\frac{I_b - I_g}{I_g}$     | 0,3%    | -0,3%   | 0,0%    | 0,0%    | 0,5%    | 0,0%    |

Da die Abweichungen recht gering sind, bestätigen die Messwerte den exponentiellen Ansatz. Die geringen Abweichungen sind vermutlich durch Messfehler bedingt.

Nun ist zu beurteilen, ob die Gleichung  $k = 1/(R \cdot C)$  mit den Messwerten kompatibel ist. Nach obiger Regressionsfunktion gilt:  $k \approx -\ln 0,9938 \frac{1}{\text{s}}$ . Die Kapazität  $C = 1 \text{ F}$  ist bekannt, der Widerstand  $R$  ist nicht bekannt.  $R$  lässt sich allerdings über die Beziehung  $R = U_0/I_0 \approx 5 \text{ V}/31,3 \text{ mA} \approx 160 \Omega$  abschätzen.

Verwendet man die Gleichung  $k = 1/(R \cdot C)$ , so ergibt sich  $R \approx 161 \Omega$ .

Dies ergibt eine Abweichung der Widerstandswerte von ca. 0,6%.

Diese geringe Abweichung bestätigt die Gleichung  $k = 1/(R \cdot C)$ .

Aus obigen Überlegungen folgt, dass der Doppelschichtkondensator den Innenwiderstand  $R_1 = R - R_2 \approx 161 \Omega - 100 \Omega = 61 \Omega$  besitzt. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass obiges Modell durch die Messwerte bestätigt wird.

**Alternativer Lösungsweg:** Zur Überprüfung des exponentiellen Ansatzes betrachtet man den Quotient  $b(t) = I(t + 20 \text{ s})/I(t)$ :

| Zeit $t$                         | 10 s  | 30 s  | 50 s  | 70 s  |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Quotient $b(t)$                  | 0,881 | 0,885 | 0,878 | 0,886 |
| $\frac{b(t) - \bar{b}}{\bar{b}}$ | -0,2% | 0,2%  | -0,6% | 0,3%  |

Die geringen Abweichungen vom Mittelwert  $\bar{b} \approx 0,883$  bestätigen den exponentiellen Ansatz. Zur Überprüfung der Gleichung  $k = 1/(R \cdot C)$  wird zunächst  $k$  mithilfe des Mittelwerts  $\bar{b}$  bestimmt:

$$\bar{b} \approx \frac{I_0 \cdot e^{-k \cdot (t+20 \text{ s})}}{I_0 \cdot e^{-k \cdot t}} = e^{-k \cdot 20 \text{ s}} \quad \Rightarrow \quad k \approx -\frac{\ln \bar{b}}{20 \text{ s}} \approx 0,00622 \frac{1}{\text{s}}$$

Die weitere Überprüfung erfolgt analog zu obigem Lösungsweg.

- $R_1 = 61 \Omega$  (siehe obige Rechnung).

## Aufgabenbaustein 6

### Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Impuls, Impulserhaltung
  - Drehimpuls und Drehimpulserhaltung (qualitativ)
- Fachmethoden:
  - unbekannte Analogien erkennen bzw. nutzen
  - unbekannte Formeln anwenden bzw. interpretieren
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

### Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass diese Themen im Unterricht explizit behandelt werden:

- Trägheitsmoment
- Drehimpuls quantitativ
- Drehschwingungen, Direktionsmoment
- horizontaler Federschwinger.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. diese Themen im Unterricht behandelt werden:

Strukturen und Analogien: weitere Strukturen und Analogien erkennen  
(siehe Kerncurriculum Kursstufe)

- Formalisierung und Mathematisierung in der Physik:  
Anwendung und Interpretation von Formeln, die nicht im Unterricht behandelt wurden  
(siehe Kerncurriculum 7/8, 9/10, Kursstufe)
- harmonische Schwingungen (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Herleitung Differenzialgleichung der harmonischen Schwingung, Angabe von Lösungen, Überprüfung der Lösungen (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Energieerhaltung, Impulserhaltung, Drehimpulserhaltung (qualitativ)  
(siehe Kerncurriculum Klasse 9/10, Kursstufe).

## Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche    |                          |               |           |
|----------------------|-----|----------------------|--------------------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse       | Fachmethoden             | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   | 6)                   | 3)<br>4)                 |               |           |
|                      | II  | 1)<br>2)<br>3)<br>5) | 1)<br>2)<br><br>6)<br>7) | 8)<br>9)      |           |
|                      | III | 8)                   | 5)<br><br>9)             |               | 9)        |

### Aufgabe 6:

*Lineare Schwingung:* Ein Körper der Masse  $0,5 \text{ kg}$  befindet sich auf einer waagerechten Luftkissenfahrbahn und ist über eine Feder mit einer Wand verbunden (siehe Abbildung 1).

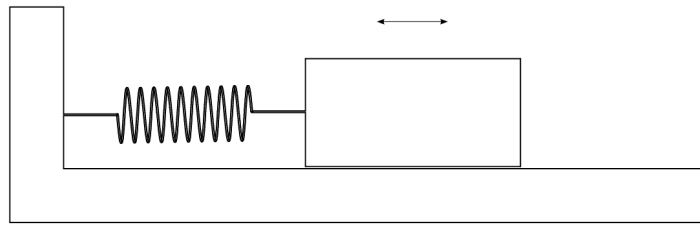


Abbildung 1

Die Feder mit der Federkonstanten  $25 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$  lässt sich sowohl auf Druck wie auch auf Zug belasten. Der Körper wird um  $2,0 \text{ cm}$  nach rechts aus der Ruhelage ausgelenkt und zum Zeitpunkt  $t = 0 \text{ s}$  freigegeben. Anschließend führt das System harmonische Schwingungen aus. Die Masse der Feder und Reibung sind zu vernachlässigen.

- Leiten Sie eine Differenzialgleichung für diesen Schwingungsvorgang her.
- Geben Sie eine geeignete Zeit-Auslenkungsfunktion an und zeigen Sie, dass diese Funktion tatsächlich die Differenzialgleichung erfüllt.
- Geben Sie eine Funktion an, die den Impuls des Körpers in Abhängigkeit von der Zeit beschreibt.
- Berechnen Sie den Zeitpunkt, zu dem der Betrag des Impulses zum ersten Mal maximal ist.

*Drehschwingung:* An einer drehbar gelagerten vertikalen Achse ist ein Ende einer Spiralfeder befestigt. Das andere Ende der Spiralfeder ist mit einem feststehenden Gehäuse verbunden. Am oberen Ende der vertikalen Achse ist ein waagerechter Kupferstab befestigt. Die vertikale Achse geht durch den Schwerpunkt des Stabes (siehe Abbildung 2).

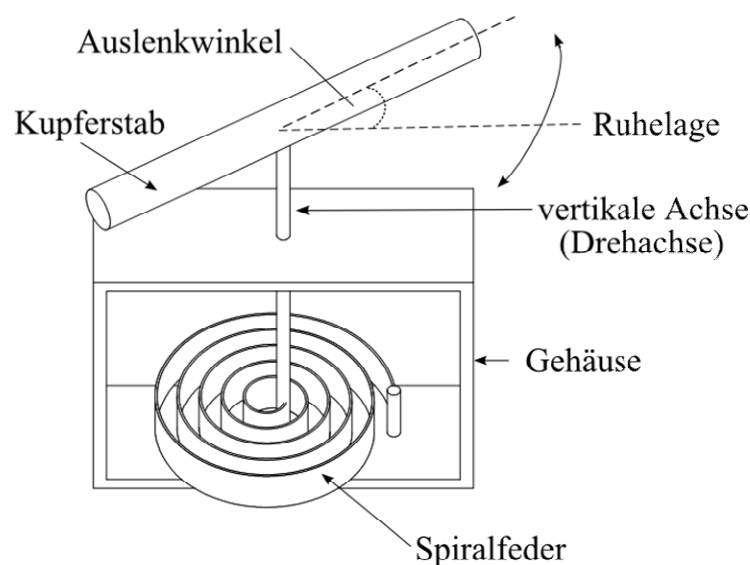


Abbildung 2

Der Stab wird um den Winkel  $\hat{\varphi} = \pi/8$  (Bogenmaß) aus der Ruhelage ausgelenkt und zum Zeitpunkt  $t = 0$  s freigegeben. Anschließend führt das System Drehschwingungen um die Ruhelage aus.

Reibung und die Masse der Spiralfeder und der vertikalen Achse sind zu vernachlässigen.

Der momentane Auslenkwinkel  $\varphi(t)$  lässt sich durch Lösen der Differenzialgleichung

$$J \cdot \ddot{\varphi}(t) = -K \cdot \varphi(t)$$

bestimmen.

Hierbei ist  $K = 1,5 \text{ N}\cdot\text{m}$  eine Konstante, die nur von der verwendeten Spiralfeder abhängt.

$J = 0,02 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$  ist eine Konstante, die ausschließlich von Eigenschaften des Stabes abhängt.

Der Winkel  $\varphi(t)$  wird im Bogenmaß angegeben.

Der Stab besitzt den Drehimpuls  $L(t) = J \cdot \dot{\varphi}(t)$ .

Zwischen den schwingenden Systemen aus den Teilaufgaben a) und b) besteht eine weitreichende Analogie, die sich auch in einer analogen mathematischen Beschreibungsweise der beiden Schwingungsvorgänge äußert.

- Nennen Sie zwei analoge Bauteile und fünf sich entsprechende physikalische Größen.
- Bestimmen Sie mithilfe dieser Analogiebetrachtung die Periodendauer der Drehschwingung.
- Geben Sie mithilfe dieser Analogiebetrachtung eine Funktion an, die den Drehimpuls des Stabes in Abhängigkeit von der Zeit beschreibt.
- Beschreiben Sie ohne Rechnung die Energie- und Drehimpulserhaltung am Beispiel dieser Drehschwingung für den Zeitraum  $t = 0$  s bis  $t = T$ .

Die Periodendauer der Drehschwingung soll nun verkleinert werden. Dazu wird der bisher verwendete kreiszylinderförmige Kupferstab durch einen kreiszylinderförmigen Aluminiumstab mit gleicher Masse und gleichem Radius ersetzt.

Für solche kreiszylinderförmigen Metallstäbe lässt sich  $J$  folgendermaßen berechnen:

$$J = \frac{1}{12} \cdot m \cdot (3 \cdot r^2 + l^2).$$

Hierbei ist  $m$  die Masse,  $r$  der Radius und  $l$  die Länge des Stabes.

- Beurteilen Sie, ob sich durch diese Maßnahme die Periodendauer der Drehschwingung tatsächlich verkleinert.

---

Dichte von Aluminium:  $2,70 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$

Dichte von Kupfer:  $8,96 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$



### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 6):

- Aus  $F_{Res}(t) = -D \cdot s(t)$ ,  $F_{Res}(t) = m \cdot a(t)$  und  $a(t) = \ddot{s}(t)$  folgt  $m \cdot \ddot{s}(t) = -D \cdot s(t)$ . Einsetzen der Werte:  $\ddot{s}(t) = -50 \text{ s}^{-2} \cdot s(t)$ .
- Ansatz:  $s(t) = \hat{s} \cdot \cos(\omega t)$  mit  $\hat{s} = 0,020 \text{ m}$  und  $\omega = \sqrt{\frac{D}{m}} = \sqrt{50} \text{ s}^{-1} \approx 7,07 \text{ s}^{-1}$ .

(Positive Richtung: Ortsvektor zeigt nach rechts)

Ableitungen:  $\dot{s}(t) = -\hat{s} \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$  und  $\ddot{s}(t) = -\hat{s} \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega t)$ .

Einsetzen in die Differenzialgleichung:

$$\begin{aligned} -m \cdot \hat{s} \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega t) &= -D \cdot \hat{s} \cdot \cos(\omega t) \\ m \cdot \omega^2 &= D \\ \omega &= \sqrt{\frac{D}{m}} \\ \omega &= \omega. \end{aligned}$$

Folglich erfüllt obige Zeit-Ableitungsfunktion die Differenzialgleichung.

- $p(t) = m \cdot v(t) = m \cdot \dot{s}(t) = -m \cdot \hat{s} \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) \approx -0,0707 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \sin(7,07 \text{ s}^{-1} \cdot t)$   
(Positive Richtung: Impuls zeigt nach rechts)
- Der Betrag des Impulses ist zum ersten Mal bei  $t_1 = \frac{T}{4} = \frac{2}{4} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}} \approx 0,222 \text{ s}$  maximal.
- 

| Mögliche Analogien                       |                                                    |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Lineare Schwingung                       | Drehschwingung                                     |
| Feder (Schraubenfeder)                   | Spiralfeder und vertikale Achse                    |
| Körper                                   | Stab                                               |
| Wand und Erde                            | Feststehendes Gehäuse und Erde                     |
| Konstante $D$ (Federkonstante)           | Konstante $K$ (Direktionsmoment)                   |
| Impuls des Körpers $p(t)$                | Drehimpuls des Körpers $L(t)$                      |
| Konstante $m$ (Masse)                    | Konstante $J$ (Trägheitsmoment)                    |
| Auslenkungsort des Körpers $s(t)$        | Auslenkungswinkel des Stabs $\varphi(t)$           |
| Geschwindigkeit des Körpers $\dot{s}(t)$ | Winkelgeschwindigkeit des Stabs $\dot{\varphi}(t)$ |
| Beschleunigung des Körpers $\ddot{s}(t)$ | Winkelbeschleunigung des Stabs $\ddot{\varphi}(t)$ |

Bemerkung: Die Begriffe „Direktionsmoment“ und „Trägheitsmoment“ werden nicht erwartet.

- $T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{K}} \approx 0,726 \text{ s}$  (Formel durch Analogiebetrachtung)
- $L(t) = J \cdot \dot{\varphi}(t) = -J \cdot \hat{\varphi} \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) \approx -0,0680 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \sin(8,66 \text{ s}^{-1} \cdot t)$   
(Positive Richtung: Drehimpulsvektor zeigt nach oben)
- Bei  $t = 0 \text{ s}$  ist in der Spiralfeder Energie gespeichert. Der Drehimpuls des Stabs ist gleich null. Wird der Stab bei  $t = 0 \text{ s}$  freigegeben, dann beginnt die Übertragung der in der Spiralfeder gespeicherten Energie an den Stab. Gleichzeitig pumpt die Spiralfeder Drehimpuls vom Stab in die Erde. Bei  $t = \frac{T}{4}$  befindet sich die gesamte Energie im Stab. Zu diesem Zeitpunkt ist der Drehimpuls negativ und sein Betrag maximal. Im Zeitraum  $\frac{T}{4} < t < \frac{T}{2}$  wird die Energie vom Stab zurück in die Spiralfeder geleitet und die Spiralfeder pumpt Drehimpuls von der Erde in

den Stab. Zum Zeitpunkt  $t = \frac{T}{2}$  befindet sich wieder die gesamte Energie in der Spiralfeder und der Drehimpuls des Stabs ist gleich null. Im Zeitraum  $\frac{T}{2} < t < \frac{3}{4}T$  strömt die in der Spiralfeder gespeicherte Energie zurück in den Stab. Gleichzeitig pumpt die Spiralfeder Drehimpuls von der Erde in den Stab. Zum Zeitpunkt  $t = \frac{3}{4}T$  befindet sich die gesamte Energie im Stab und der Drehimpuls des Stabes ist maximal. Der Betrag des Drehimpulses ist gleich groß wie zum Zeitpunkt  $t = \frac{T}{4}$ . Im Zeitraum  $\frac{3}{4}T < t < T$  wird die Energie vom Stab in die Spiralfeder geleitet und die Spiralfeder pumpt Drehimpuls vom Stab zurück in die Erde. Zum Zeitpunkt  $t = T$  befindet sich das System wieder im Ausgangszustand.

- Da die Masse und der Radius des Kupfer- und Aluminiumstabes gleich groß sind und die Dichte von Aluminium kleiner ist als die Dichte von Kupfer, muss die Länge  $l_1$  des Aluminiumstabes größer sein als die Länge  $l_0$  des Kupferstabes. Folglich ist  $J_1 > J_0$ . Es gilt:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{K}}$ . Da  $K$  sich nicht ändert und  $J_1 > J_0$  folgt  $T_1 > T_0$ . Daher ist durch Verwendung des Aluminiumstabes die Periodendauer nicht kleiner, sondern größer geworden.

## Aufgabenbaustein 7

### Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachmethoden:
  - unbekannte Formeln anwenden bzw. interpretieren
- Reflexion:
  - Alltagsbezug physikalischer Phänomene

### Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass diese Themen im Unterricht explizit behandelt werden:

- Herleitung und Formel für die Energiedichte im Plattenkondensator
- Energiedichte einer „Autobatterie“.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. diese Themen im Unterricht behandelt werden:

- elektrisches Feld, elektrische Feldstärke, elektrische Feldkonstante, Materie im elektrischen Feld (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- elektrisches Feld als Energiespeicher (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- in Luft gilt näherungsweise:  $\epsilon_r = 1$ .

### Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |               |           |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   | 2)                | 2)           |               |           |
|                      | II  | 1)<br>3)          | 1)<br>3)     |               | 3)        |
|                      | III |                   |              |               |           |

### Aufgabe 7:

- Folgende Formel beschreibt die Energiedichte  $\rho_E$  des elektrischen Feldes eines Plattenkondensators in Abhängigkeit von der im Kondensator wirkenden elektrischen Feldstärke  $E$ :

$$\rho_E = \frac{1}{2} \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot E^2.$$

Leiten Sie diese Formel her.

Hinweis: Die Energiedichte gibt die Energiemenge pro Volumen an.

- Berechnen Sie die maximal mögliche Energiedichte des elektrischen Feldes in Luft, wenn die maximale Feldstärke  $10^6 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$  beträgt.
- Schätzen Sie die Energiedichte in einer „Autobatterie“ ab und vergleichen sie diese mit der – oben berechneten – maximal möglichen Energiedichte in Luft. Die „Autobatterie“ hat die Eigenschaften: Länge 25 cm, Breite 20 cm, Höhe 20 cm, Spannung 12 V sowie Ladung 55 Ah.

---

Elektrische Feldkonstante:  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As}\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$

### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 7):

- In erster Näherung befindet sich die Energie eines Plattenkondensators im elektrischen Feld, das sich im Raumbereich zwischen den Platten befindet. Dieser Raum hat das Volumen  $V = A \cdot d$ . Für die Energiedichte des elektrischen Feldes eines Plattenkondensators gilt somit

$$\rho_E = \frac{E}{V} = \frac{\frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2}{A \cdot d} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}) \cdot U^2}{A \cdot d} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot (E \cdot d)^2}{d^2} = \frac{1}{2} \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot E^2.$$

- Setzt man die maximale Feldstärke  $10^6 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$  und  $\epsilon_r = 1$  in obige Gleichung ein, so erhält man

$$\rho_{E,max} = 4,43 \text{ J}\cdot\text{m}^{-3}.$$

- Der Energiegehalt der Autobatterie lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$E = U \cdot Q = 12 \text{ V} \cdot 55 \text{ Ah} = 12 \text{ V} \cdot 55 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s} = 2,38 \cdot 10^6 \text{ J}.$$

Daraus ergibt sich die Energiedichte

$$\rho_E = \frac{E}{V} = \frac{E}{l \cdot b \cdot h} = 2,38 \cdot 10^8 \text{ J}\cdot\text{m}^{-3}.$$

Die Energiedichte einer Autobatterie ist etwa um den Faktor  $5 \cdot 10^7$  größer als die Energiedichte des elektrischen Feldes eines luftgefüllten Plattenkondensators.

## Aufgabenbaustein 8

### Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Entnehmen von Informationen aus komplexeren Diagrammen, Graphen, ...
  - Diode als richtungsabhängiger Widerstand
- Fachmethoden:
  - Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten  
Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte

### Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass diese Themen im Unterricht explizit behandelt werden:

- Kennlinie einer Diode
- Diode als Gleichrichter.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. diese Themen im Unterricht behandelt werden:

- Diode als richtungsabhängiger Widerstand (siehe Kerncurriculum Klasse 9/10)
- Elektronik – Schaltungen mit elektronischen Bauteilen  
(siehe Kerncurriculum Klasse 9/10, Kursstufe)
- Kennlinien von elektrischen Energiequellen und -Senken experimentell bestimmen  
(siehe Kerncurriculum Klasse 9/10, Kursstufe)
- elektrischer Widerstand  $R = U/I$  (siehe Kerncurriculum 9/10).

### Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |               |           |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   | 1)<br>2)          | 1)           | 1)<br>2)      |           |
|                      | II  | 3)                |              | 3)            |           |
|                      | III |                   |              |               | 3)        |

### Aufgabe 8:

Abbildung 1 zeigt das Spannungs-Stromstärke-Diagramm einer Diode.

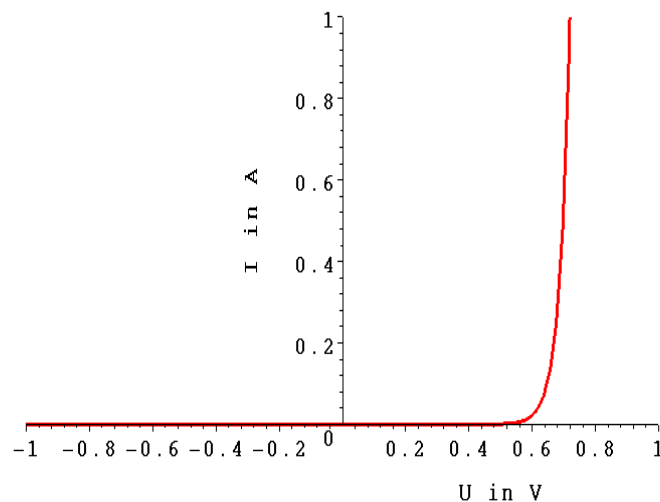


Abbildung 1

- Beschreiben Sie anhand eines Schaltplans, wie man ein solches Diagramm experimentell bestimmen kann.
- Beschreiben Sie den Verlauf des Diagramms. Gehen Sie hierbei insbesondere auf den elektrischen Widerstand der Diode ein.

In einem weiteren Versuch (siehe Abbildung 2) wird an die Reihenschaltung einer Diode und eines Widerstandes eine sinusförmige Wechselspannung  $U_0(t)$  mit der Amplitude 1 V und der Frequenz 50 Hz angelegt. Mit einem Messwerterfassungssystem registriert man den zeitlichen Verlauf der am Widerstand anliegenden elektrischen Spannung  $U$ .

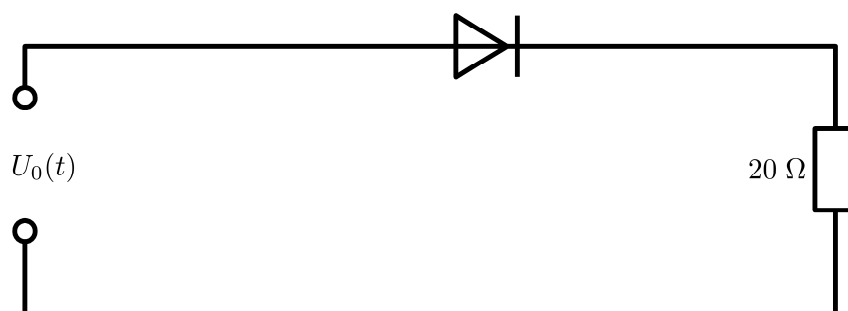
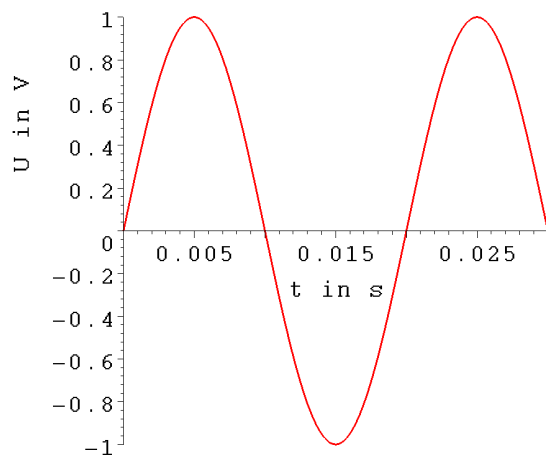


Abbildung 2

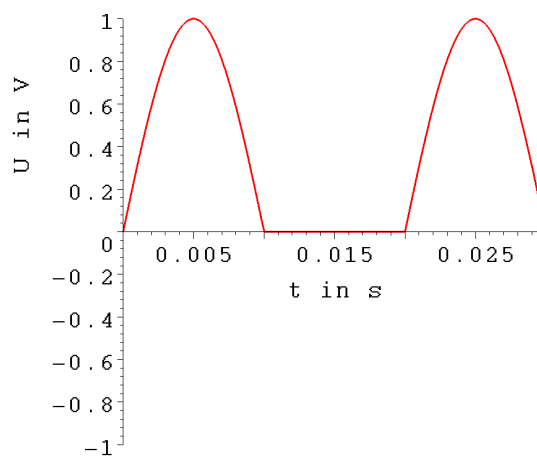
Eines der unten abgebildeten Diagramme (1) bis (6) gibt den richtigen zeitlichen Spannungsverlauf  $U(t)$  wieder.

- Begründen Sie Ihre Wahl.

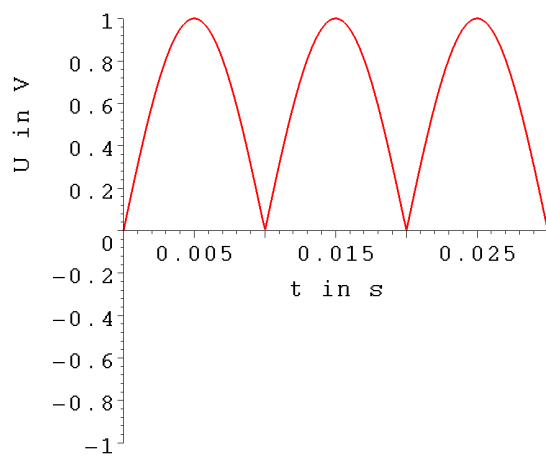
(1)



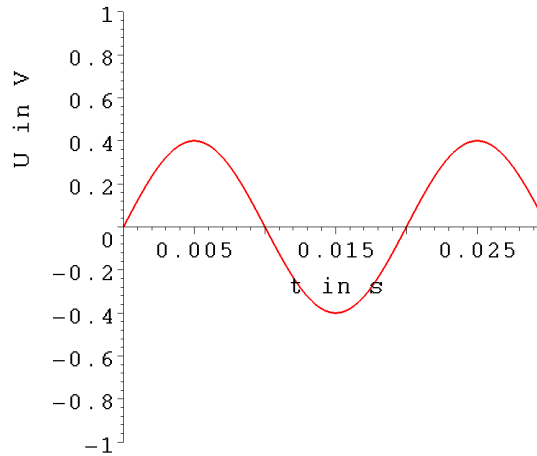
(2)



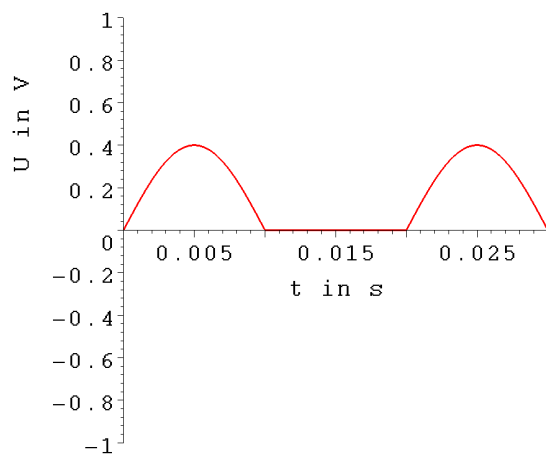
(3)



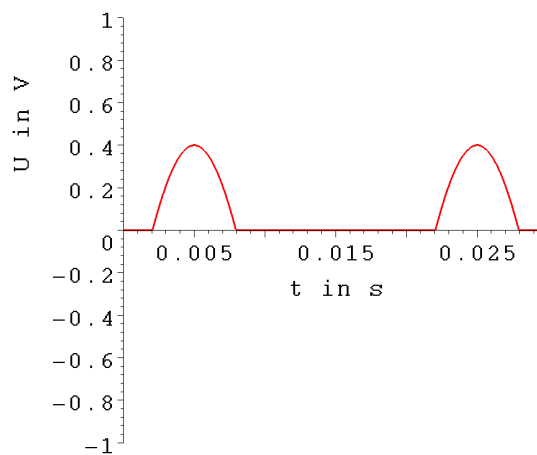
(4)



(5)

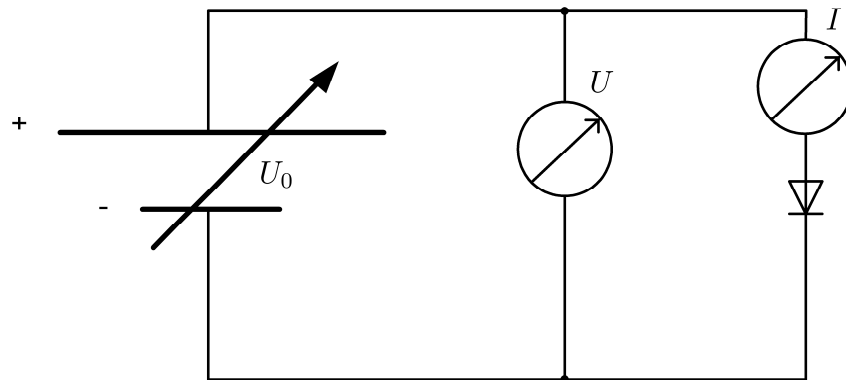


(6)





## Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 8):



- Verwendet wird ein regelbares Netzgerät mit einstellbarer Strombegrenzung. Die Strombegrenzung wird vor der Messung so eingestellt, dass die Diode nicht beschädigt werden kann. In obigem Beispiel wäre  $I_{max} = 1,0 \text{ A}$  eine geeignete Einstellung. Nun wird ausgehend von  $U_0 = 0 \text{ V}$  die Spannung des Netzgeräts langsam erhöht. Dabei wird mit einem Messwerterfassungssystem die Stromstärke  $I$  und die Spannung  $U$  aufgenommen und in einem Spannungs-Stromstärke-Diagramm dargestellt. Anschließend wird die Polung am Netzgerät vertauscht und die Messung wiederholt. Damit erhält man das Spannungs-Stromstärke-Diagramm für negative Spannungswerte.
- Der elektrische Widerstand ergibt sich für jeden Punkt des Spannungs-Stromstärke-Diagramms aus  $R = U/I$ . Für Spannungen kleiner als ca.  $0,6 \text{ V}$  stellt die Diode einen sehr großen elektrischen Widerstand dar, d.h. sie sperrt. Für Spannungen größer als  $0,6 \text{ V}$  sinkt der Widerstand bei steigender Spannung rapide, d.h. eine geringfügige Spannungserhöhung bewirkt einen starken Anstieg der Stromstärke.
- Für die Spannung am Widerstand gilt die Beziehung  $U(t) = R \cdot I(t)$ . Die Diode sperrt, wenn  $U_0(t)$  negative Spannungswerte annimmt. In diesem Fall ist die Stromstärke  $I(t)$  und daher auch die Spannung  $U(t)$  näherungsweise gleich null. Folglich sind die Schaubilder (1), (3) und (4) nicht möglich. Schaubild (2) scheidet aus, da an der leitenden Diode ca.  $0,6 \text{ V}$  abfallen und folglich bei der Spannungsamplitude  $\hat{U}_0 = 1 \text{ V}$  die Spannung  $U \approx 1 \text{ V} - 0,6 \text{ V} = 0,4 \text{ V}$  am Widerstand anliegt. Da für alle Spannungswerte  $U_0(t) > 0,6 \text{ V}$  an der Diode näherungsweise  $0,6 \text{ V}$  abfallen, gilt  $U(t) \approx U_0(t) - 0,6 \text{ V}$  für  $U_0(t) > 0,6 \text{ V}$ . D.h., das Schaubild von  $U(t)$  folgt in diesem Bereich näherungsweise dem Schaubild von  $U_0(t)$ , nur um  $0,6 \text{ V}$  nach unten verschoben. Diese Überlegung zeigt, dass Schaubild (5) ebenfalls nicht richtig sein kann und somit Schaubild (6) den richtigen Verlauf wiedergibt.

## Aufgabenbaustein 9

### Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Entnehmen von Informationen aus komplexeren Diagrammen, Graphen, ...
- Fachmethoden:
  - Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten  
Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte

### Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass dieses Thema im Unterricht explizit behandelt wird:

- Diagramme der unten abgebildeten magnetischen Flüsse bzw. Induktionsspannungen.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. dieses Thema im Unterricht behandelt wird:

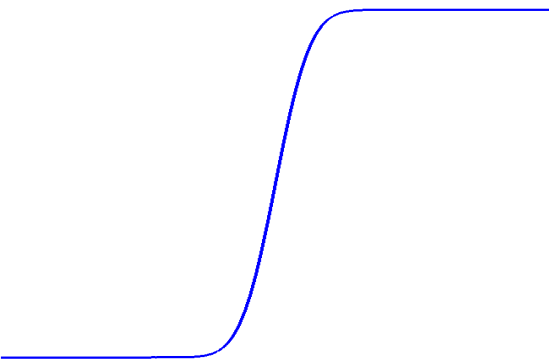
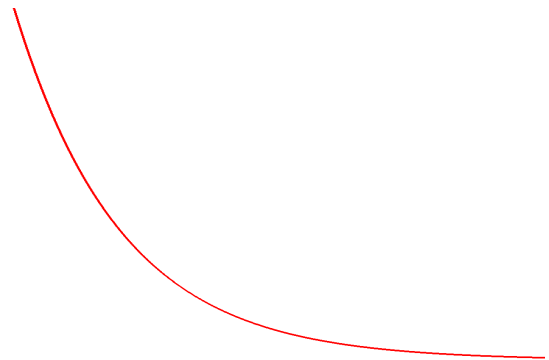
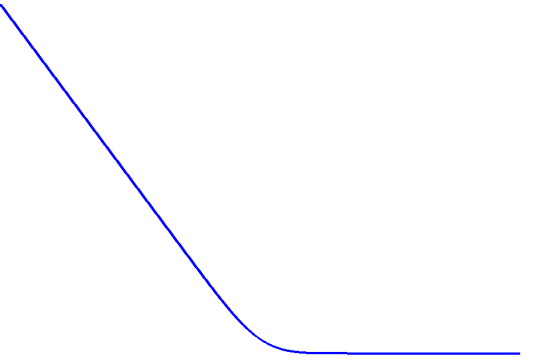
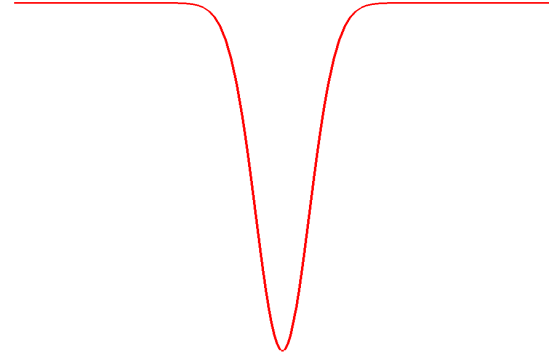
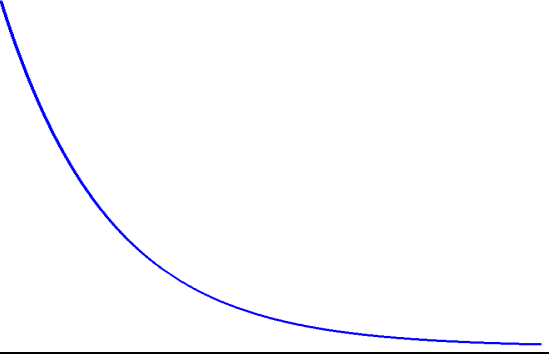
- Magnetischer Fluss, Induktion, Induktionsgesetz (siehe Kerncurriculum Kursstufe).

### Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |               |           |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   |                   |              | 1)<br>3)      |           |
|                      | II  | 1)<br>2)<br>3)    | 1)<br>3)     | 2)            |           |
|                      | III |                   |              |               |           |

### Aufgabe 9:

Die Abbildungen I, II und III zeigen verschiedene magnetische Flüsse innerhalb einer Induktionsspule in Abhängigkeit von der Zeit. In der rechten Spalte sind zwei der zugehörigen Induktionsspannungsverläufe 1 und 2 dargestellt.

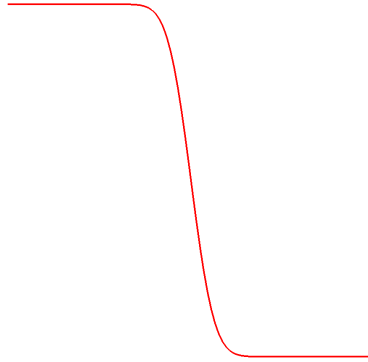
| Magnetischer Fluss                                                                         | Induktionsspannung                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| I<br>     | 1<br>   |
| II<br>   | 2<br>  |
| III<br> | 3<br> |

- Ordnen Sie die Induktionsspannungsverläufe 1 und 2 den magnetischen Flüssen I, II oder III zu. Skizzieren Sie den fehlenden Spannungsverlauf 3.
- Begründen Sie Ihre Zuordnungen.
- Wählen Sie ein Diagrammpaar aus und beschreiben Sie ein dazu passendes Experiment, bei dessen Durchführung dieser Verlauf der Induktionsspannung gemessen werden kann.

## Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 9)

- Zuordnungen: 2 gehört zu I; 1 gehört zu III.

Zum übrig bleibenden Diagramm II gehört folgender Induktionsspannungsverlauf:



- Begründung der Zuordnungen: Nach dem Induktionsgesetz besteht zwischen der Induktionsspannung und dem magnetischen Fluss folgender Zusammenhang:

$$U_{ind}(t) = -n \cdot \dot{\Phi}(t).$$

Durch Anwendung des Induktionsgesetzes auf den in II dargestellten magnetischen Fluss ergibt sich der oben skizzierte Induktionsspannungsverlauf. Da dieser weder in Schaubild 1 noch in Schaubild 2 dargestellt ist, ist damit der fehlende Spannungsverlauf 3 gefunden. Da der Fluss in Schaubild I zu Beginn und am Ende der Aufnahme konstant ist, muss dort die Induktionsspannung jeweils verschwinden. Ein solcher Verlauf zeigt nur Schaubild 2. Für den Fluss III bleibt folglich nur die Zuordnung zu Schaubild 1 übrig.

- **Versuch zu II/3:** Ein Drahtrahmen, der auf einem Wagen befestigt ist, wird mit konstanter Geschwindigkeit durch ein zeitlich konstantes und homogenes Magnetfeld gezogen. An dem Drahtrahmen ist ein Spannungsmessgerät angeschlossen. Die Spannungsmessung wird begonnen, sobald der in Fahrtrichtung zeigende Teil des Rahmens das Magnetfeld verlässt. Die Messung wird beendet, wenn der hintere Teil des Rahmens sich einige Zentimeter hinter dem Ende des Magnetfeldes befindet.

**Versuch zu I/2:** An eine Spule wird ein Spannungsmessgerät angeschlossen. Ein Pol eines Stabmagneten wird in die Spule eingeführt und dabei die Spannung gemessen.

**Versuch zu III/1:** Eine Spule wird parallel zu einem Widerstand geschaltet. Diese Parallelschaltung wird über einen Schalter an ein Netzgerät angeschlossen. Zur Messung der Induktionsspannung wird an die Spule ein Spannungsmessgerät angeschlossen. Zunächst ist der Schalter geschlossen und das Netzgerät auf eine bestimmte Spannung eingestellt. Nach dem Öffnen des Schalters beginnt die Spannungsmessung.

# Aufgabenbaustein 10

## Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Entnehmen von Informationen aus komplexeren Texten
  - zentrale historische und erkenntnistheoretische Gegebenheiten
- Fachmethoden:
  - Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten
  - Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - historische Bezüge darstellen, einordnen bzw. reflektieren

## Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass diese Themen im Unterricht explizit behandelt werden:

- Glasfaserexperiment zur Verschränkung.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. diese Themen im Unterricht behandelt werden:

- Merkmale und Verhalten von Quantenobjekten, insbesondere Nichtlokalität (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Grenzen der klassischen Physik (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Arbeit mit Sachtexten (siehe Leitgedanken zum Physik-Bildungsstandard)

## Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |               |           |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   | 1)<br>2)<br>4)    | 2)           | 2)<br>3)      |           |
|                      | II  | 3)                |              | 5)            | 5)        |
|                      | III | 5)                |              |               |           |

## Aufgabe 10:

### Quantenverschwörung per Telefonkabel

|    |                                                     |    |                                                    |
|----|-----------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------|
| 1  | Albert Einstein wollte nicht glauben, dass es in    | 30 | fernung hinweg abgestimmt. Um dies zu demons-      |
| 2  | der Natur so seltsam zugeht, wie es die Quanten-    | 31 | trieren, erzeugen die Wissenschaftler viele Photo- |
| 3  | theorie vorhersagt. Es ist schon recht irritierend, | 32 | nenpaare. Dann trennen sie die beiden Photonen     |
| 4  | dass sich Atome oder Elementarteilchen ganz an-     | 33 | eines jeden Paares und lassen sie durch zwei ver-  |
| 5  | ders verhalten, als es unsere Alltagserfahrung er-  | 34 | schiedene Glasfaserkabel der Telefongesellschaft   |
| 6  | warten lässt: Unbeobachtet kann sich solch ein      | 35 | Swisscom laufen, die Genf mit den 4 bzw. 7 Ki-     |
| 7  | einzelnes Teilchen an mehreren Orten zugleich       | 36 | lometer entfernten Orten Bellevue und Bernex       |
| 8  | befinden. Paare von Teilchen können sich sogar      | 37 | verbinden. Dort angekommen, sind die beiden        |
| 9  | „verschwören“ und koordiniert bewegen. Was          | 38 | Photonen mehr als 10 Kilometer voneinander ent-    |
| 10 | Einstein wirklich beunruhigte war indes, dass die-  | 39 | fernt.                                             |
| 11 | ses seltsame Verhalten auch dann noch auftreten     | 40 | An ihrem Ende in Bellevue bzw. Bernex ver-         |
| 12 | soll, wenn man die atomaren Dimensionen ver-        | 41 | zweigen sich die Glasfaserkabel jeweils in einen   |
| 13 | lässt und zum Beispiel ein Teilchenpaar zwingt,     | 42 | rechten und einen linken Strang. Da sich ein       |
| 14 | seine Verschwörung über viele Kilometer hinweg      | 43 | Photon in der Glasfaser nicht teilen kann, muss es |
| 15 | aufrecht zu erhalten. Nach Einsteins Meinung        | 44 | sich entscheiden, ob es den linken oder den        |
| 16 | ging die Quantentheorie in diesem Punkt zu weit.    | 45 | rechten Weg einschlägt. Wie es sich letztlich ent- |
| 17 | Doch er hat sich geirrt, wie ein in der Schweiz     | 46 | scheidet, hängt nur vom Zufall ab. [...] Mit einem |
| 18 | durchgeführtes Experiment zeigt, bei dem zwei       | 47 | geeigneten Gerät messen die Wissenschaftler,       |
| 19 | Telefonkabel eine wichtige Rolle spielen. Was es    | 48 | dass die Hälfte der ankommenden Photonen nach      |
| 20 | damit auf sich hat, berichtet Nicolas Gisin von der | 49 | links fliegt und die übrigen nach rechts. Doch     |
| 21 | Universität Genf [...]:                             | 50 | beim Vergleich der Messergebnisse von Bellevue     |
| 22 | Der Ort der Quantenverschwörung ist ein Fern-       | 51 | und Bernex [...] tritt die Verschwörung der        |
| 23 | sprechamt im Stadtzentrum von Genf. Hier haben      | 52 | Photonenpaare zu Tage. Bei allen Paaren haben      |
| 24 | Gisin und seine Mitarbeiter rotes Laserlicht auf    | 53 | sich beide Lichtquanten spontan für denselben      |
| 25 | einen Kaliumniobatkristall gerichtet, der jeweils   | 54 | Weg entschieden. [...]                             |
| 26 | ein rotes Lichtquant in zwei infrarote Quanten      | 55 | Auch über 10 Kilometer hinweg bleiben die bei-     |
| 27 | spalten kann. Ihre gemeinsame Herkunft macht        | 56 | den Lichtquanten miteinander verschworen.          |
| 28 | diese beiden Photonen zu einem verschworenen        |    |                                                    |
| 29 | Paar: Ihr Verhalten ist selbst über große Ent-      |    |                                                    |

Quelle: Prof. Dr. Nicolas Gisin, Université de Genève, DPG Pressemitteilung Nr. 05/1999:  
<http://www.dpg-physik.de/presse/pressemit/1999/dpg-pm-1999-005.html>

zu den Zeilen 26 und 27:

- Geben Sie eine Gleichung für die Energie eines Lichtquants in Abhängigkeit von der Frequenz an.
- Erläutern Sie, wie es vom Standpunkt der Energieerhaltung möglich ist, aus einem Quant roten Lichts zwei Quanten infraroten Lichts zu erzeugen.

zu den Zeilen 45 und 46:

- Beschreiben Sie mit Text und Skizze ein anderes Experiment der Quantenphysik, bei dem das Ergebnis einer Messung vom Zufall abhängt.

zu den Zeilen 9 und 51:

- Welche grundsätzliche Eigenschaft der Quantenphysik wird in diesem Text als „Verschwörung“ bezeichnet? Nennen Sie diese.
- Vergleichen Sie, wie sich in Bezug auf diese „Verschwörung“ die Quantenphysik von den Modellen der klassischen Physik unterscheidet.

### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 10):

- Eine Gleichung für die Energie eines Lichtquants in Abhängigkeit von der Frequenz lautet:

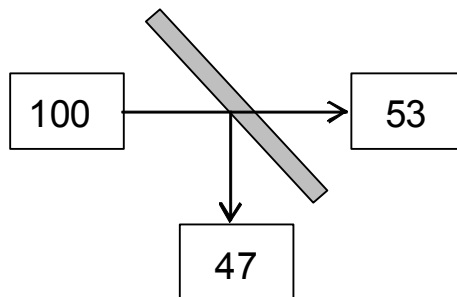
$$E_{Ph} = h \cdot f.$$

- Das rote Lichtquant der Energie  $E_r$  zerfällt in zwei infrarote Lichtquanten. Mit dem Energieerhaltungssatz gilt:

$$\begin{aligned} E_r &= E_{ir1} + E_{ir2} \\ h \cdot f_r &= h \cdot f_{ir1} + h \cdot f_{ir2} \\ f_r &= f_{ir1} + f_{ir2}. \end{aligned}$$

Der Zerfall ist möglich, da die einzelnen Frequenzen der infraroten Lichtquanten kleiner sind als die des roten Lichtquants.

- Ein mögliches Experiment: Schickt man einzelne Photonen auf einen halbdurchlässigen Spiegel, so klickt immer nur einer der beiden Detektoren; von 100 Photonen werden hier z.B. 47 im unteren Detektor (nach Reflexion) und 53 im rechten Detektor (nach Transmission) registriert.



Ob jedoch das 101. Photon reflektiert oder transmittiert wird, ist absolut unvorhersagbar. Es lässt sich nur eine Wahrscheinlichkeit dafür angeben – das Messergebnis hängt vom Zufall ab.

Weitere mögliche Experimente sind z.B.: Quantenobjekt an einem Doppelspalt, Anregung eines Atoms in einem Hohlraumresonator, Zerfall eines radioaktiven Atoms in einem bestimmten Zeitraum.

- Mit „Verschwörung“ ist hier gemeint, dass die beiden Photonen „verschränkt“ sind, d.h., misst man den Zustand des einen Photons, dann ist auch der Zustand des anderen festgelegt.
- In der klassischen Physik beschreibt man Objekte als „separabel“, d.h. sie lassen sich voneinander trennen und beeinflussen sich dann gegenseitig nicht mehr. Dies gilt für verschränkte Objekte in der Quantenphysik nicht: Man muss die beiden also als *ein* neues Quantenobjekt ansehen.

In der klassischen Physik geht man davon aus, dass Wirkungen „lokal“ sind: Wirkungen von Teilchen aufeinander erfolgen durch direkten Kontakt oder durch Felder (maximale Geschwindigkeit der Wirkung: Lichtgeschwindigkeit). In der Quantenphysik erfolgen Wirkungen der verschränkten Quantenobjekte aufeinander jedoch instantan auch über weite Strecken.

Für verschränkte Quantenobjekte funktionieren die Modelle „Separabilität“ und „Lokalität“ der klassischen Physik nicht.

# Aufgabenbaustein 11

## Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachmethoden:
  - Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten
  - Messwerterfassung
  - Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte

## Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass dieses Thema im Unterricht explizit behandelt wird:

- Einsatz eines Computermesswerterfassungssystems im Zusammenhang mit harmonischen Schwingungen.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. diese Themen im Unterricht behandelt werden:

- harmonische Schwingungen (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Differenzialgleichungen und Lösungen harmonischer Schwingungen (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- selbstständiger Einsatz von Computermesswerterfassungssystemen durch die Schülerinnen und Schüler (siehe Bildungsplan).

## Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche    |                                    |                  |           |
|----------------------|-----|----------------------|------------------------------------|------------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse       | Fachmethoden                       | Kommunikation    | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   | 1)<br>2)<br><br>6)   | 1)<br><br>3)<br><br>5)<br>6)<br>7) | 2)<br><br><br>7) |           |
|                      | II  | 3)<br>4)<br>5)<br>7) | 2)<br><br>4)                       | 4)               |           |
|                      | III |                      |                                    |                  |           |



### Aufgabe 11:

Die Schwingung eines vertikalen Masse-Feder-Pendels (Abb. 1) soll aufgezeichnet werden. Die Federkonstante beträgt  $40 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ , die Masse des angehängten Körpers  $0,60 \text{ kg}$ . Im Folgenden soll die Federmasse vernachlässigt werden.

- Berechnen Sie die Strecke, um die sich die Feder verlängert, wenn der Körper an die zunächst entspannte Feder gehängt wird und sich nach einiger Wartezeit nicht mehr bewegt.

Das Masse-Feder-Pendel wird um  $2,0 \text{ cm}$  nach oben ausgelenkt und zum Zeitpunkt  $t = 0 \text{ s}$  losgelassen. Im Folgenden soll Reibung vernachlässigt werden.

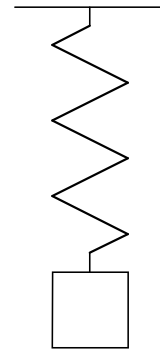


Abb. 1

- Erläutern Sie, warum das Pendel eine harmonische Schwingung ausführt.
- Nennen Sie die Differenzialgleichung für die harmonische Schwingung und geben Sie eine Lösung der Differenzialgleichung für die gegebene Schwingung an.

Zur Aufzeichnung eines Geschwindigkeit-Zeit-Diagramms für das obige Masse-Feder-Pendel stehen folgende Materialien zur Verfügung:

- ein Hufeisenmagnet (Abb. 2). Sein Magnetfeld sei zwischen den Schenkeln homogen, die Flussdichte betrage  $200 \text{ mT}$ , außerhalb sei es vernachlässigbar klein.
- eine quadratische Leiterschleife (Abb. 3) mit einer Kantenlänge von  $5,0 \text{ cm}$  und 50 Windungen. Ihre Masse sei vernachlässigbar klein.

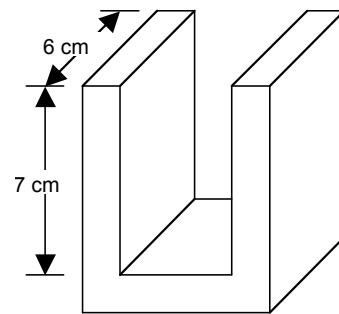


Abb. 2

- ein computergestütztes Messwerterfassungssystem, mit dem man eine elektrische Spannung in Abhängigkeit von der Zeit aufzeichnen kann.

- Erläutern Sie einen geeigneten Versuchsaufbau anhand einer Skizze.
- Begründen Sie, warum die vom Messwerterfassungssystem aufgezeichnete Spannung ein Maß für die Geschwindigkeit ist.

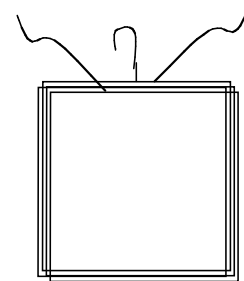


Abb. 3

Nun soll dieser Versuch durchgeführt werden.

- Mit dem Messwerterfassungssystem sollen mindestens drei Perioden der Schwingung aufgezeichnet werden. Berechnen Sie, welche Messdauer dafür mindestens eingestellt werden muss.

Das Messwerterfassungssystem bietet drei Messbereiche zur „formatfüllenden“ Aufzeichnung der Spannung:  $\pm 10 \text{ mV}$ ,  $\pm 100 \text{ mV}$ ,  $\pm 1 \text{ V}$ .

- Begründen Sie, welcher dieser Messbereiche für die Aufzeichnung der Schwingung am besten geeignet ist.

### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 11):

- Die Gleichgewichtsbedingung lautet  $D \cdot s_0 = m \cdot g$ .  
Damit ergibt sich für die Verlängerung der Feder  $s_0 = 15 \text{ cm}$ .

- Für die Rückstellkraft gilt (siehe Abb. 4):

$$F = D \cdot (s_0 - s) - m \cdot g = -D \cdot s.$$

Damit ist die Rückstellkraft proportional zur Auslenkung, die Schwingung ist harmonisch.

- Die Differentialgleichung für die Schwingung lautet

$$m \cdot \ddot{s}(t) = -D \cdot s(t)$$

mit  $m = 0,60 \text{ kg}$  und  $D = 40 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ .

Lösung der Differentialgleichung für die vorliegende Schwingung:

$$s(t) = \hat{s} \cdot \cos(\omega \cdot t) \text{ mit } \hat{s} = 2,0 \text{ cm und } \omega = \sqrt{\frac{D}{m}} = 8,16 \text{ s}^{-1}.$$

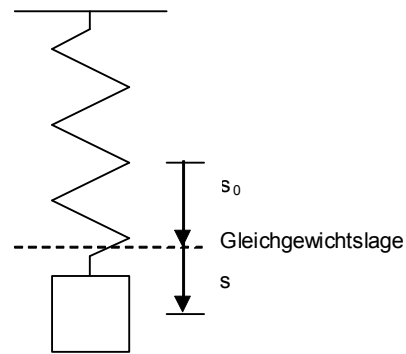


Abb. 4

- Der Drahtrahmen wird so am Masse-Federpendel angehängt (Abb. 5), dass die Feldlinien des Hufeisenmagneten den Drahtrahmen orthogonal und vollständig durchdringen. Die untere Kante des Leiterschleifenquadrats ist in der Gleichgewichtslage des Pendels  $2,5 \text{ cm}$  tief in den Feldbereich eingetaucht. Der Drahtrahmen wird an den Spannungseingang des Messwerterfassungssystems angeschlossen.

- Unter den genannten Voraussetzungen gilt für die im Rahmen induzierte Spannung

$$U_{ind} = n \cdot l \cdot B \cdot v$$

mit  $n = 50$ ,  $B = 200 \text{ mT}$  und  $l = 5,0 \text{ cm}$ . Induzierte Spannung und Geschwindigkeit sind also zueinander proportional. Die aufgezeichnete Spannung ist somit ein Maß für die Geschwindigkeit des Pendelkörpers.

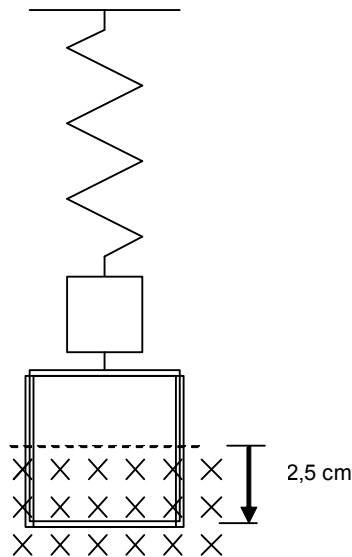


Abb. 5

- Für die Schwingungsdauer ergibt sich

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}} = 0,770 \text{ s}.$$

Die Mindestmessdauer für 3 Perioden beträgt demnach  $2,31 \text{ s}$ .

- Die Maximalgeschwindigkeit der Pendelschwingung ist  $\hat{v} = \hat{s} \cdot \omega = 0,163 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Die Spannung nimmt folglich den Maximalwert  $\hat{U}_{ind} = n \cdot l \cdot B \cdot \hat{v} = 81,6 \text{ mV}$  an. Damit ist der mittlere Messbereich ( $\pm 100 \text{ mV}$ ) am besten geeignet.

## Aufgabenbaustein 12

### Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Impuls, Impulserhaltung
- Fachmethoden:
  - Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten
  - Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Alltagsbezug physikalischer Phänomene
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

### Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass diese Themen im Unterricht explizit behandelt werden:

- ein Messverfahren zur Bestimmung von Meteoritenmassen
- physikalische Untersuchungsmethoden im Weltraum.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. diese Themen im Unterricht behandelt werden:

- harmonische Schwingungen (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Energieerhaltung, Impulserhaltung (siehe Kerncurriculum Klasse 9/10, Kursstufe).

### Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |               |           |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   |                   |              |               |           |
|                      | II  |                   | 1)           | 1)            | 1)        |
|                      | III | 1)                |              |               |           |

### Aufgabe 12:

Auf einer Weltraumstation soll die Masse eines kleinen Meteoriten bestimmt werden. Der Meteorit hat ein Volumen von ca. 1 bis 2 dm<sup>3</sup>. Zur Massenbestimmung stehen folgende Materialien zur Verfügung:

- unterschiedliche Federn mit bekannten Federkonstanten, die jeweils auf Druck und Zug belastet werden können
- Wägesatz: verschiedene Wägestücke mit unterschiedlichen Massen
- Stoppuhr
- diverses Befestigungsmaterial mit jeweils bekannter Masse
- Geschwindigkeitsmessgeräte zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung.
- Beschreiben Sie **zwei** unterschiedliche Möglichkeiten zur Bestimmung der Masse des Meteoriten. Skizzieren Sie hierbei auch die notwendigen Rechenwege.

### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 12):

- **Erste Möglichkeit:** Man befestigt den Meteoriten an einer passenden Feder bekannter Härte  $D$ , die an der Wand der Raumstation befestigt ist. Dann lenkt man diese Anordnung aus und lässt sie harmonisch schwingen. Mit der Stoppuhr bestimmt man – über mehrere Perioden hinweg – die Periodendauer  $T$ . Aus der Schwingungsformel

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$$

erhält man die Beziehung zur Bestimmung der Masse  $m$ :

$$m = \frac{T^2 \cdot D}{4 \cdot \pi^2}.$$

**Zweite Möglichkeit:** Man befestigt eine Feder an einer Wand der Raumstation. Anschließend spannt man die Feder indem man den Meteoriten gegen das freie Ende der Feder drückt. In diesem Zustand misst man die Spannlänge  $s$  der Feder. Anschließend überlässt man das System sich selbst. Die Druckfeder beschleunigt den Meteoriten. Man misst die Endgeschwindigkeit  $v$  des Meteoriten. Mithilfe des Energieerhaltungssatzes

$$\frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

lässt sich die Masse des Meteoriten bestimmen:

$$m = \frac{D \cdot s^2}{v^2}.$$

**Weitere Möglichkeit:** Zwischen den Meteoriten und einem Wägestück bekannter Masse klemmt man eine gedrückte Feder. Nachdem man diese Anordnung sich selber überlassen hat, bewegen sich Meteorit und Wägestück auseinander. Die Geschwindigkeit  $v_2$  des Wägestücks und die Geschwindigkeit  $v_1$  des Meteoriten werden gemessen. Die Masse  $m_2$  des Wägestücks ist bekannt. Mithilfe des Impulserhaltungssatzes

$$\begin{aligned}\vec{0} &= m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 \\ 0 &= m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2\end{aligned}$$

lässt sich die Masse des Meteoriten bestimmen:

$$m_1 = \frac{m_2 \cdot v_2}{v_1}.$$

# Aufgabenbaustein 13

## Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachmethoden:
  - Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten, Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion
  - Alltagsbezug physikalischer Phänomene
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

## Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass folgendes Thema im Unterricht explizit behandelt wird:

- zwei unterschiedliche Verfahren zur experimentellen Bestimmung der Kapazität eines Kondensators.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. folgendes Thema im Unterricht behandelt wird:

- Kondensator, Kapazität, Kapazität des Plattenkondensators, elektrische Feldkonstante, Materie im elektrischen Feld (siehe Kerncurriculum Kursstufe).

Den Schülerinnen und Schülern muss ein Tafelwerk mit Dielektrizitätszahl (relative Permittivität) zur Verfügung stehen.

## Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |               |           |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   | 1)<br>2)          |              | 1)<br>2)      | 1)        |
|                      | II  | 3)                | 2)<br>3)     | 3)            |           |
|                      | III |                   |              |               |           |

### Aufgabe 13:

Auf einem handelsüblichen Kondensator findet man die Aufschrift: „2, 3 V; 10 F“.

- Beschreiben Sie, was diese Beschriftung für die Verwendung des Kondensators bedeutet.
- Lässt sich eine entsprechend große Kapazität auch mit einem ebenen Plattenkondensator realisieren? Begründen Sie Ihre Entscheidung mit Hilfe einer Berechnung. Schätzen Sie dazu die Abmessungen eines geeigneten Plattenkondensators ab.

Auf einem zweiten Kondensator findet man nur die unvollständige Aufschrift „2, 3 V; ###“. Leider ist das Gerät, mit dem man die Kapazität direkt messen kann, defekt.

- Beschreiben Sie **zwei** unterschiedliche Verfahren zur experimentellen Bestimmung des fehlenden Kapazitätswertes.

### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 13):

- Der Beschriftung lässt sich entnehmen, dass die Kapazität des Kondensators 10 F beträgt und die Spannung, an die dieser Kondensator angeschlossen werden darf, 2,3 V nicht übersteigen darf.
- Die Kapazität eines Plattenkondensators errechnet sich mithilfe der Beziehung

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}.$$

Der Formelsammlung entnimmt man, dass die Dielektrizitätszahl (relative Permittivität) von Keramik  $10^4$  beträgt. Setzt man einen Plattenabstand von  $10 \mu\text{m}$  an, so ergibt sich als Plattenfläche  $A$  für einen Plattenkondensator der Kapazität 10 F:

$$A = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} = 1130 \text{ m}^2.$$

Das Ergebnis zeigt, dass eine derartige Plattenfläche unrealistisch für einen handelsüblichen Kondensator ist. Eine Verringerung des Plattenabstands um den Faktor 10 ist bei verringerter Durchschlagsfestigkeit zwar denkbar, ergibt aber immer noch eine viel zu große Plattenfläche.

- Die fehlende Kapazität kann z.B. durch folgende Verfahren bestimmt werden:
  - Ein Kondensator wird über ein stromstabilisiertes Netzgerät aufgeladen bis eine bestimmte Spannung erreicht ist. In diesem Fall sollte die Spannung nicht mehr als 2,3 V betragen. Bei dem Aufladevorgang wird die Zeit  $t_1$  und die Stromstärke  $I$  gemessen. Die dabei im Kondensator gespeicherte Ladungsmenge wird über  $Q = I \cdot t_1$  bestimmt. Sofort nach dem Ladevorgang wird die am Kondensator anliegende Spannung  $U$  gemessen. Mithilfe der Beziehung  $C = \frac{Q}{U}$  wird schließlich  $C$  berechnet.
  - Ein zuvor auf die Spannung  $U$  (hier:  $U \leq 2,3 \text{ V}$ ) aufgeladener Kondensator wird über einen Widerstand entladen. Hierbei wird mithilfe eines Messwerterfassungssystems die Stromstärke  $I(t)$  gemessen. Durch Abschätzen der Fläche unter der  $I(t)$ -Kurve wird anschließend die zuvor im Kondensator gespeicherte Ladungsmenge bestimmt. Schließlich wird über  $C = \frac{Q}{U}$  die Kapazität berechnet.
  - Der Kondensator wird zusammen mit einer bekannten Induktivität  $L$  in einen Schwingkreis eingebaut. Anschließend wird mithilfe eines Messwerterfassungssystems die Frequenz des elektromagnetischen Schwingkreises gemessen. Durch Umformen der Thomson'schen Gleichung

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

gewinnt man die benötigte Formel zur Bestimmung der Kapazität:

$$C = \frac{1}{(2\pi \cdot f)^2 \cdot L}.$$



## Aufgabenbaustein 14

### Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - typische Merkmale der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise
- Fachmethoden:
  - Überprüfung von Hypothesen
  - Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten
  - Freiheit bezüglich des experimentellen Aufbaus
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte

### Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass dieses Thema im Unterricht explizit behandelt wird:

- Experiment zur Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen im Vakuum.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. dieses Thema im Unterricht behandelt wird:

- naturwissenschaftliche Arbeitsweise (siehe Kerncurriculum Klasse 8, 10, Kursstufe).

### Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |               |           |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   | 1)                |              | 1)            |           |
|                      | II  | 2)                | 1)           | 2)            |           |
|                      | III |                   |              |               |           |

**Aufgabe 14:**

Gegeben ist folgende Hypothese:

„Die von einem Handy genutzten elektromagnetischen Wellen benötigen zur Ausbreitung Luft.“

- Nennen Sie zu dieser Hypothese eine experimentell überprüfbare Vorhersage und beschreiben Sie ein Experiment mit Versuchsdurchführung und Ergebnis, das diese Vorhersage und damit die Hypothese entweder widerlegt oder bestätigt.
- Beurteilen Sie folgende Aussage: „Mithilfe von Experimenten kann man beweisen, dass eine naturwissenschaftliche Theorie richtig ist.“

### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 14):

- Experimentell überprüfbare Vorhersage: Die von einem Handy empfangenen elektromagnetischen Wellen können sich im Vakuum nicht ausbreiten.

Experiment zur Überprüfung: Ein Handy wird in einer Glasglocke aufgehängt und diese mithilfe einer Pumpe evakuiert. Vor- und nach der Evakuierung wird

- die Empfangssignalstärkeanzeige des Handys abgelesen
- das Handy von einem anderen Telefon aus angerufen, und überprüft, ob das Handy den Anruf empfängt.

Versuchsergebnisse: Vor- und nach der Evakuierung

- ist die Empfangssignalstärke des Handys gleich groß
- empfängt das Handy den Anruf eines anderen Telefons.

Somit widerlegt das Experiment die Vorhersage und damit die Hypothese.

- Die Aussage: „Mithilfe von Experimenten kann man beweisen, dass eine naturwissenschaftliche Theorie richtig ist.“, ist falsch. Es ist nicht möglich naturwissenschaftliche Theorien zu beweisen. Mit Hilfe von Experimenten entscheidet man, ob eine naturwissenschaftliche Theorie überarbeitet werden muss, oder ob man weiterhin dieser Theorie vertrauen kann. Umso mehr Vorhersagen einer naturwissenschaftlichen Theorie bestätigt wurden, desto größer ist das Vertrauen in diese Theorie. Jede naturwissenschaftliche Theorie stellt ein vereinfachtes Bild der Realität dar. Jede naturwissenschaftliche Theorie hat ihre Gültigkeitsgrenzen.

# Aufgabenbaustein 15

## Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Maxwell-Theorie (verbale Formulierung, Induktionsgesetz quantitativ)
  - Diode als richtungsabhängiger Widerstand
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Alltagsbezug physikalischer Phänomene
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

## Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass dieses Thema im Unterricht explizit behandelt wird:

- Aufbau einer elektrischen Zahnbürste.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. folgende Themen im Unterricht behandelt werden:

- Induktion (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Phänomen des Energietransports durch elektromagnetische Felder (siehe Kerncurriculum)
- Maxwell-Theorie: verbale Formulierung, Induktionsgesetz quantitativ (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- elektrische Felder als Energiespeicher (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Diode als richtungsabhängiger Widerstand (siehe Kerncurriculum 9/10).

## Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |                |                |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|----------------|----------------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation  | Reflexion      |
| Anforderungsbereiche | I   |                   |              |                |                |
|                      | II  | 1)<br>2)<br>3)    |              | 1)<br>2)<br>3) | 1)<br>2)<br>3) |
|                      | III |                   |              |                |                |

### Aufgabe 15:

Unter den elektrischen Zahnbürsten gibt es solche, die nach außen keinerlei elektrisch leitende Verbindung haben. Das nebenstehende Bild zeigt eine solche Zahnbürste vor ihrer Halterung.

Nach dem Gebrauch stellt man die Zahnbürste in ihre Halterung zurück. Diese Zahnbürste kann viele Jahre verwendet werden, ohne dass man sie öffnen muss, und ohne dass man etwas in sie einsetzen oder aus ihr herausnehmen kann. Stellt man die Zahnbürste allerdings nach dem Gebrauch nicht wieder in die Halterung zurück, stellt man fest, dass sie bereits nach wenigen Tagen nicht mehr funktioniert.



- Beschreiben Sie anhand der Maxwell-Theorie ein Prinzip, nach dem diese elektrische Zahnbürste mit Energie versorgt werden kann.
- Nennen sie die Bauteile, die in der Halterung und in der Zahnbürste vorhanden sein müssen, damit Energie von der Halterung auf die Zahnbürste übertragen werden kann. Beschreiben Sie, wie diese Bauteile angeordnet sein müssen, damit die Energie mit möglichst geringen Verlusten übertragen werden kann.
- Erläutern Sie, welche Bauteile zusätzlich notwendig sind, damit die übertragene Energie in der Zahnbürste gespeichert werden kann.

### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 15):

- Die beiden Aussagen der Maxwell-Theorie: „Ein sich veränderndes magnetisches Feld erzeugt ein elektrisches Feld“ und „Ein sich veränderndes elektrisches Feld erzeugt ein magnetisches Feld“ sorgen dafür, dass die Zahnbürste mit Energie versorgt wird: Die Wechselspannung in der Spule der Halterung erzeugt ein sich veränderndes Magnetfeld, das wiederum ein sich veränderndes elektrisches Feld hervorruft, das wieder ein sich veränderndes Magnetfeld nach sich zieht usw. Dadurch breiten sich die Felder im Raum aus. Am unteren Ende der Zahnbürste befindet sich ebenfalls eine Spule. Das sich innerhalb dieser Spule verändernde Magnetfeld erzeugt an den Anschlüssen der Spule eine Induktionsspannung.
- In der Halterung und in der Zahnbürste müssen elektrische Spulen vorhanden sein, damit Energie von der Halterung auf die Zahnbürste übertragen werden kann. Wenn die Zahnbürste in der Halterung steht, muss die eine Spule direkt innerhalb der anderen Spule stecken, oder die Spulen müssen durch einen Eisenkern verbunden sein. Dadurch ist die Induktionsspannung maximal und die Streuverluste bei der Übertragung minimal.

[Zusatzpunkte: Diskussion der Wechselspannungsfrequenz]

- Als Energiespeicher benötigt man entweder einen Kondensator oder einen Akku. Einen solchen Energiespeicher kann man aber nicht mit Wechselspannung aufladen. Daher muss sich in der Zahnbürste ein Gleichrichter befinden, der aus der induzierten Wechselspannung (pulsierende) Gleichspannung macht.

# Aufgabenbaustein 16

## Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Entnehmen von Informationen aus komplexeren Diagrammen, Graphen,...
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Alltagsbezug physikalischer Phänomene
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

## Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass folgende Themen im Unterricht explizit behandelt werden:

- Doppelschichtkondensator
- Elektroautos, Energiespeicher für Elektroautos
- Energieeinheit Wattstunde ( $W \cdot h$ ).

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. folgende Themen im Unterricht behandelt werden:

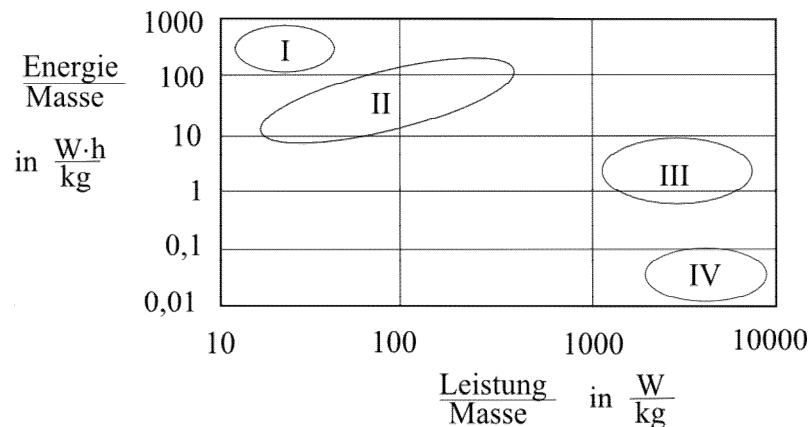
- Kondensator, Kapazität, Kapazität des Plattenkondensators, Materie im elektrischen Feld (Dielektrizitätszahl) (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Brennstoffzelle (funktionale Beschreibung) (siehe Kerncurriculum Klasse 9/10, Kursstufe)
- Beschleunigung, Leistung, Energie (siehe Kerncurriculum Klasse 9/10, Kursstufe).

## Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |               |                |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|---------------|----------------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation | Reflexion      |
| Anforderungsbereiche | I   |                   | 3)           |               |                |
|                      | II  | 1)<br>3)          |              | 1)<br>2)      | 1)<br>2)<br>3) |
|                      | III | 2)                |              |               |                |

### Aufgabe 16:

Die Gesamtmasse eines Elektroautos hängt entscheidend von der Masse des Energiespeichers ab. Im folgenden Diagramm sind verschiedene Energiespeicher klassifiziert.



- I: Brennstoffzellen inklusive Speichertanks  
II: konventionelle Akkumulatoren ("Akkus")  
III: Doppelschichtkondensatoren  
IV: konventionelle Kondensatoren

Abbildung 1

Von einem Fahrzeug erwartet man einerseits rasche Beschleunigungsvorgänge und andererseits eine große Reichweite.

- Diskutieren Sie die Eignung der in Abbildung 1 dargestellten Energiespeicher hinsichtlich dieser Anforderungen.
- Entwickeln Sie mithilfe von Abbildung 1 ein möglichst optimales Energiespeichersystem für ein Fahrzeug hinsichtlich dieser Anforderungen.

Über sogenannte Doppelschichtkondensatoren (DSK) liest man:

„Als Elektrodenmaterial dient Aktivkohle mit der erstaunlichen Oberfläche von  $3000 \text{ m}^2$  pro  $1 \text{ g}$  Material. Die Isolationschicht wird von wenigen Molekülschichten gebildet und erreicht eine Dicke von ca.  $10^{-9} \text{ m}$ .“

- Erläutern Sie mithilfe einer Rechnung, dass bei DSK die Kapazität viel höher ist als bei konventionellen Kondensatoren. Verwenden Sie für die Rechnung das Modell eines Plattenkondensators mit  $\epsilon_r = 1$ .

---

Elektrische Feldkonstante:  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$



### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 16):

- Je höher der Quotient Energie/Masse ist, desto mehr Energie kann im Fahrzeug bei gleicher Masse gespeichert werden. Dies bedeutet daher auch große Reichweite des Fahrzeugs. Brennstoffzellen sind dafür am besten geeignet, konventionelle Kondensatoren am schlechtesten. Je höher der Quotient Leistung/Masse, desto besser kann der Energiespeicher große Energiemengen in kurzer Zeit aufnehmen und abgeben. Für rasche Beschleunigungsvorgänge muss in kurzer Zeit große Energiemengen abgegeben werden. Kondensatoren eignen sich am besten dafür, Brennstoffzellen am schlechtesten.
- Der ideale einzelne Energiespeicher müsste im Diagramm rechts oben liegen; keines der vier genannten Systeme erfüllt allein diese Bedingung. Also bietet sich nur eine Kombination aus mehreren Energiespeichern an, z.B. eine Kombination aus einer Brennstoffzelle für große Reichweiten und einem Doppelschichtkondensator für Beschleunigungsvorgänge. Der Doppelschichtkondensator wird über die Brennstoffzelle oder einen Bremsvorgang wieder aufgeladen.
- Die Kapazität von Plattenkondensatoren berechnet sich nach  $C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$ , wobei  $A$  die Fläche einer plattenförmigen Elektrode und  $d$  der Plattenabstand, d.h. die Dicke der Isolationsschicht, ist. Setzt man  $A = 3000 \text{ m}^2$ ,  $d = 10^{-9} \text{ m}$  und  $\epsilon_r = 1$  an, so ergibt sich  $C \approx 27 \text{ F}$ , ein für Kondensatoren sehr hoher Wert. Bei konventionellen Kondensatoren ist i. A. die Fläche  $A$  sehr viel kleiner und der Plattenabstand  $d$  viel größer, was zu einer erheblich kleineren Kapazität führt.

# Aufgabenbaustein 17

## Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Diode als richtungsabhängiger Widerstand
- Fachmethoden:
  - unbekannte Formeln anwenden bzw. interpretieren
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Alltagsbezug physikalischer Phänomene
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

## Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass folgende Themen im Unterricht explizit behandelt werden:

- Aufbau eines Gleichrichters
- Transformatorgleichung:  $\frac{\hat{U}_2}{\hat{U}_1} = \frac{n_2}{n_1}$
- Aufbau eines Ladegeräts.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. folgende Themen im Unterricht behandelt werden:

- Induktion, Induktionsgesetz (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Grundlegendes Prinzip eines Transformators: Funktion, Aufbau, physikalisches Prinzip: Induktion  
(siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Diode als richtungsabhängiger Widerstand (siehe Kerncurriculum Klasse 9/10)
- Elektronik – Schaltungen mit elektronischen Bauteilen  
(siehe Kerncurriculum 9/10, Kursstufe).

## Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |                |           |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|----------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation  | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   |                   | 1)           | 4)             |           |
|                      | II  | 1)<br>2)<br>4)    |              | 1)<br>2)<br>3) | 1)<br>2)  |
|                      | III | 3)                |              |                | 3)        |

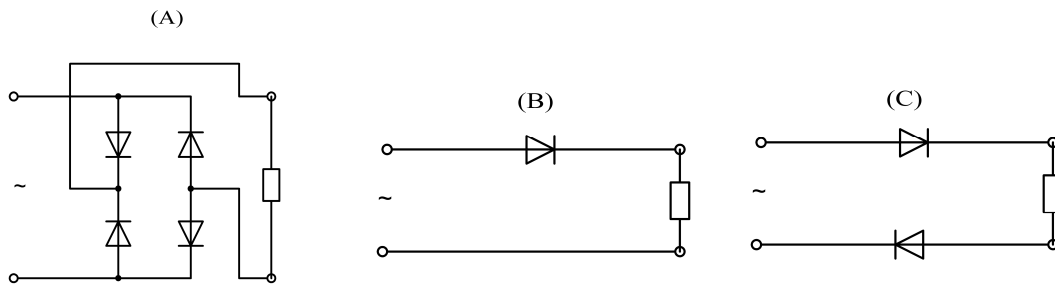
### Aufgabe 17:

Ein einfaches Ladegerät für einen 12-V-Akkumulator eines Autos soll aufgebaut werden. Das Ladegerät ist so auszulegen, dass es durch eine sinusförmige Wechselspannung  $U_1$  mit der Amplitude  $\hat{U}_1 = 325 \text{ V}$  und der Frequenz 50 Hz betrieben werden kann.

Zur Verfügung stehen Transformatoren mit den Windungszahlen

|                                         |      |      |      |      |     |     |
|-----------------------------------------|------|------|------|------|-----|-----|
| Windungszahl $n_1$<br>der Primärspule   | 1000 | 20   | 50   | 1000 | 500 | 200 |
| Windungszahl $n_2$<br>der Sekundärspule | 20   | 1000 | 1000 | 50   | 200 | 500 |

und die Schaltungen (A) bis (C):



In den Schaltungen (A) bis (C) kann der Widerstand durch den 12-V-Akkumulator ersetzt werden.

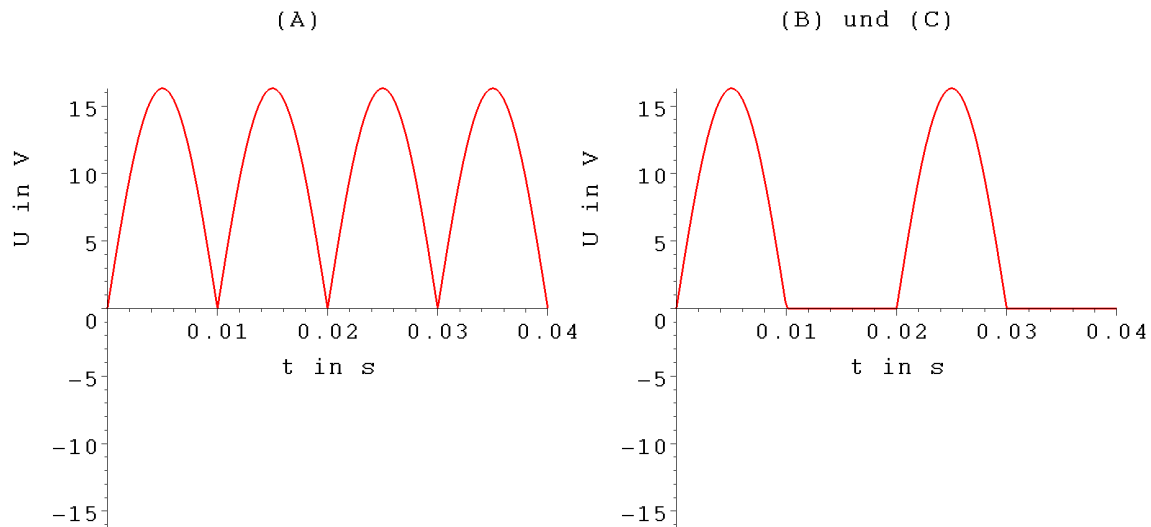
Folgende Gleichung beschreibt für Transformatoren näherungsweise den Zusammenhang zwischen den Amplituden der an der Primärspule anliegenden Spannung  $U_1$  und der an der Sekundärspule anliegenden Spannung  $U_2$ :

$$\frac{\hat{U}_2}{\hat{U}_1} = \frac{n_2}{n_1}.$$

- Beurteilen Sie, welcher der oben genannten Transformatoren am besten geeignet ist.
- Beurteilen Sie, ob jede der drei Schaltungen verwendet werden kann.
- Beurteilen Sie, welche der drei Schaltungen für einen schnellen Ladevorgang am besten geeignet ist.
- Zeichnen Sie einen Schaltplan des Ladegeräts mit angeschlossenem Akkumulator.

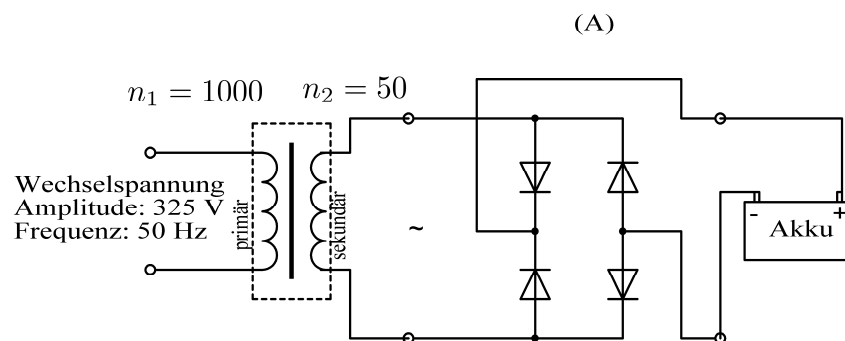
### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 17):

- Der Transformator mit  $n_1 = 1000$  und  $n_2 = 50$  liefert im Leerlauf eine Sekundärspannung mit einer Amplitude von ca. 16 V. Alle weiteren oben angegebenen Transformatoren liefern im Leerlauf entweder mindestens die Amplitude von ca. 130 V oder höchstens die Amplitude von 6,5 V. Da die Ladespannung weder unter 12 V noch allzu weit über 12 V liegen sollte, ist der Transformator mit  $n_1 = 1000$  und  $n_2 = 50$  die beste Wahl.
- Ein Akkumulator kann nicht mit Wechselspannung aufgeladen werden. Daher wird eine Schaltung benötigt, die aus der Wechselspannung des Transformators eine (pulsierende) Gleichspannung erzeugt und verhindert, dass sich der Akkumulator über die Schaltung entlädt. Jede der 3 Schaltung (A), (B) und (C) erfüllt diese Bedingungen.
- Im Folgenden sind die von den Schaltungen erzeugten Spannungen dargestellt:



Eine Aufladung des Akkus findet nur in den Zeitabschnitten statt, in denen die angelegte Spannung größer als die Akkuspannung ist. Obige Schaubilder zeigen, dass bei Verwendung von Schaltung (A) die Aufladezeit (pro Periode) doppelt so groß ist, wie wenn Schaltung (B) oder (C) eingesetzt werden. Um kurze Gesamtladezeiten zu erhalten, sollte folglich Schaltung (A) verwendet werden.

- Schaltplan des Ladegeräts:



## Aufgabenbaustein 18

### Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Entnehmen von Informationen aus komplexeren Diagrammen, Graphen,...
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte
- Reflexion:
  - Einnehmen einer physikalischen Perspektive

### Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass diese Themen im Unterricht explizit behandelt werden:

- Induktionsspannung beim Fall eines Magneten durch eine Spule
- Wirbelstrombremse.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. dieses Thema im Unterricht behandelt wird:

- Induktion, Induktionsgesetz (siehe Kerncurriculum Kursstufe).

### Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |               |           |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   | 1)                |              | 1)            |           |
|                      | II  |                   |              | 2)<br>3)      |           |
|                      | III | 2)<br>3)          | 2)<br>3)     |               |           |
|                      |     | 4)                |              |               | 4)        |

### Aufgabe 18

An einem Glasrohr sind fünf sehr schmale baugleiche Spulen befestigt. Der Abstand zweier Spulen beträgt jeweils 20 cm. Die Spulen sind in Reihe geschaltet. Ein Stabmagnet wird oberhalb der obersten Spule fallen gelassen. Der zeitliche Verlauf der Spannung wird über ein Messwertersystem aufgezeichnet (siehe Abbildung 1).

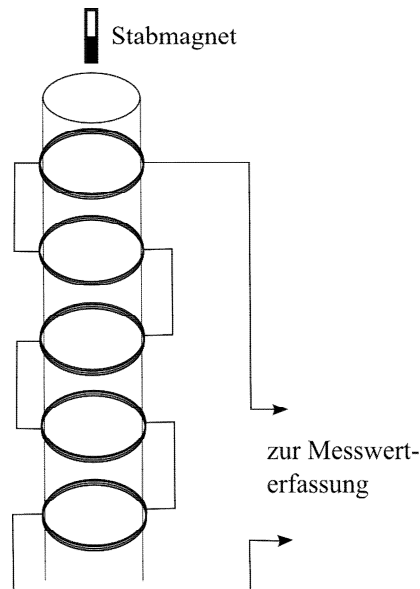


Abbildung 1

Die folgende Grafik zeigt den gemessenen zeitlichen Spannungsverlauf:

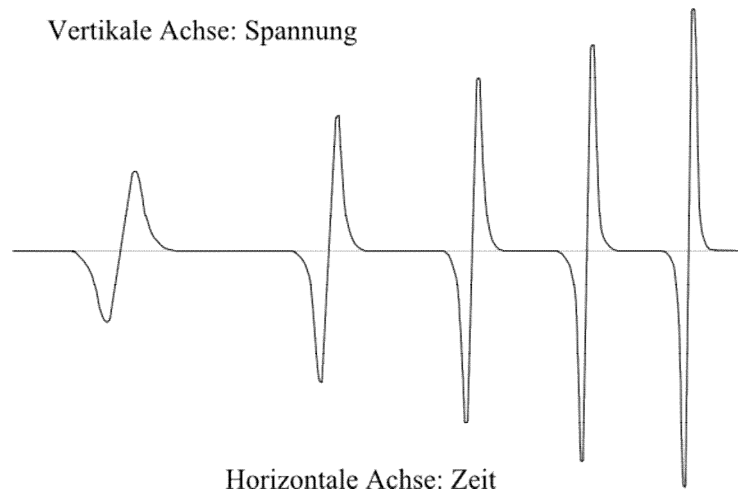


Abbildung 2

- Beschreiben Sie den Kurvenverlauf.
- Begründen Sie den Kurvenverlauf.
- Begründen Sie, warum die lokalen Hochpunkte näherungsweise auf einer Geraden liegen.

Nun soll das Glasrohr mit den fünf Spulen dazu verwendet werden, den Stabmagnet während des Falls berührungslos zu bremsen.

- Erläutern Sie, wie eine solche Bremse mit möglichst wenig weiteren Bauteilen zu realisieren ist.

### Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 18):

- Es werden fünf „Spannungsausschläge“ registriert. Jeder Ausschlag besteht aus einem positiven und einem negativen Anteil. Mit fortschreitender Zeit wird der Zeitraum zwischen zwei Ausschlägen kürzer, die Zeitdauer eines Ausschlags geringer und der Betrag der lokalen Maxima und Minima größer. Die lokalen Hochpunkte der Kurve liegen näherungsweise auf einer Geraden. Die lokalen Tiefpunkte liegen ebenfalls näherungsweise auf einer Geraden.
- Der magnetische Fluss  $\Phi$  nimmt beim Fall des Magneten durch eine schmale Spulen zunächst zu, erreicht sein Maximum, wenn der Schwerpunkt des Magnets sich im Mittelpunkt der Spule befindet und nimmt anschließend wieder ab. Durch diese Flussänderung wird nach dem Induktionsgesetz  $U_{ind}(t) = -n \cdot \dot{\Phi}(t)$  zwischen den Enden der Spule eine zeitlich veränderliche Spannung mit einem positiven und einem negativen Anteil induziert, deren Verlauf vom Messwerterfassungssystem aufgezeichnet wird. Die induzierte Spannung hat einen Nulldurchgang, wenn sich der Schwerpunkt des Magneten im Mittelpunkt der Spule befindet. Da fünf Spulen angebracht sind, werden folglich auch fünf Spannungsausschläge registriert. Da der Magnet näherungsweise frei fällt, nimmt seine Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit proportional zu. Die momentane Flussänderungsrate  $\dot{\Phi}(t)$  ist proportional zur Geschwindigkeit des Magneten. Folglich nehmen die Beträge der Spannungsmaxima bzw. -Minima mit der Zeit jeweils linear zu. Daraus folgt, dass die lokalen Hochpunkte bzw. Tiefpunkte jeweils auf einer Geraden liegen. Durch die ständig wachsende Geschwindigkeit wird der Zeitraum zwischen zwei Ausschlägen immer kürzer und die Zeitdauer eines Ausschlags immer geringer.
- Siehe obige Überlegungen.
- Durch Kurzschließen der Anschlüsse, die vorher mit dem Messwerterfassungssystem verbunden waren, lässt sich eine solche Bremse realisieren. Die Induktionsspannung verursacht einen Induktionsstrom, der von dem Widerstand der Spulen abhängt. Dieser Induktionsstrom führt zu einer Erwärmung der Spulen, d.h. es wird Entropie erzeugt und zusammen mit Energie an die Umgebung abgegeben. Diese Energie wird der Bewegungsenergie des Körpers entzogen und führt so zu einer Abbremsung.

# Aufgabenbaustein 19

## Besonderheiten dieser Aufgabe:

- Fachkenntnisse:
  - Analogien: Strom-Antrieb-Konzept oder zumindest ein Vergleich analoger mechanischer, elektrischer bzw. thermodynamischer Systeme
- Fachmethode:
  - unbekannte Analogien erkennen bzw. nutzen
- Kommunikation:
  - Darstellung physikalischer Sachverhalte

## Hinweise zur Unterrichtsvoraussetzung:

Es wird **nicht vorausgesetzt**, dass dieses Thema im Unterricht explizit behandelt wird:

- Analogie zwischen Kondensator und geeigneter hydraulischer Schaltung.

Es wird **vorausgesetzt**, dass u.a. diese Themen im Unterricht behandelt werden:

- Strukturen und Analogien: weitere Strukturen und Analogien erkennen (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Strom-Antrieb-Konzept oder zumindest einen Vergleich analoger mechanischer, elektrischer bzw. thermodynamischer Systeme (siehe Kerncurriculum Kursstufe)
- Kondensator, Kapazität, Energie des elektrischen Felds (siehe Kerncurriculum Kursstufe).

## Kompetenzmatrix:

|                      |     | Kompetenzbereiche |              |               |           |
|----------------------|-----|-------------------|--------------|---------------|-----------|
|                      |     | Fachkenntnisse    | Fachmethoden | Kommunikation | Reflexion |
| Anforderungsbereiche | I   | 1)<br>2)          | 1)           | 2)            |           |
|                      | II  |                   | 2)           |               |           |
|                      | III |                   |              |               |           |



### Aufgabe 19:

Mithilfe der in Abbildung 1 dargestellten elektrischen Schaltung wird ein zunächst ungeladener Kondensator aufgeladen.

Abbildung 2 zeigt eine hydraulische Analogie, die aus zwei gleichen zylindrischen Behältern und einer Pumpe besteht, die durch Schläuche verbunden sind. Die Pumpe befördert Wasser vom linken zum rechten Behälter. Zu Beginn waren beide Behälter gleich hoch mit Wasser gefüllt.

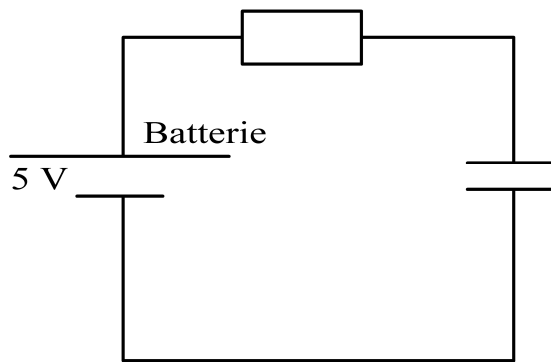


Abbildung 1

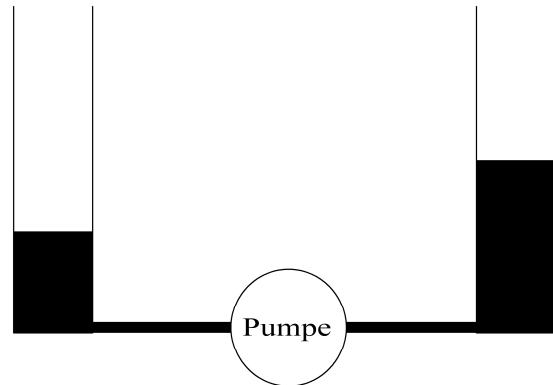


Abbildung 2

- Nennen Sie entsprechende Bauteile und physikalische Größen.
- Beschreiben Sie das analoge Verhalten der beiden Anordnungen.

### **Hinweise zu den Lösungen (Aufgabe 19):**

- Entsprechungen:  
physikalische Größen: elektrische Ladung – Wassermenge  
elektrische Stromstärke – Wasserstromstärke  
elektrisches Potenzial – Druck  
elektrische Spannung (Potenzialdifferenz) – Druckdifferenz  
Bauteile: Kondensator – zwei Wasserbehälter  
Kabel und elektrischer Widerstand – Schläuche  
Batterie – Pumpe
- Beim Laden des elektrischen Kondensators wird eine bestimmte elektrische Ladungsmenge von der einen „Platte“ auf die andere „gepumpt“. Es entsteht dabei eine elektrische Potenzialdifferenz (Spannung) zwischen den beiden „Platten“.  
Beim Laden des „hydraulischen Kondensators“ wird eine bestimmte Wassermenge von einem Behälter in den anderen gepumpt. Es entsteht dabei ein Druckunterschied zwischen den beiden Behältern.