

Gelenkstellen und Knackpunkte in der Kursstufe Physik

Matthias Theis
ZPG VI – Physik
(CC BY-SA 4.0)

Gelenkstellen und Knackpunkte in der Kursstufe

Was ist mit Gelenkstellen gemeint?

- Stellen, an denen Lehrende Entscheidungen treffen, die auch später im Kursstufenunterricht von Bedeutung sind

Was ist mit Knackpunkten gemeint?

- Stellen, an denen man bei genauen Nachfragen ins Grübeln kommen kann.

Begriffe Potenzial und potenzielle Energie

Potenzielle Energie = Lageenergie?

Potenzialtopf \leftrightarrow elektrisches Potenzial?

Was genau ist potenzielle Energie?

Potenzielle Energie, Spannenergie, Lageenergie bei Feder- und Fadenpendeln?

- Der BP 2016 verwendet in Klasse 10 den Begriff E_{lage} .
- Das lässt Raum für eine allgemeine Definition der potenziellen Energie.
- Vorschlag:

Die Energie, die allein von der Position eines Körpers abhängt, nennt man **potenzielle Energie**.

- Achtung: Es handelt sich nicht um *die* Energie *des* genannten Körpers.
- Beispiele:
 - Lageenergie im Gravitationsfeld
 - Spannenergie einer Feder beim Federpendel (Körper \rightarrow Pendelkörper)
 - Potenzielle Energie eines geladenen Teilchens im elektrischen Feld

Begriffe Potenzial und potenzielle Energie

- Die potenzielle Energie ist nicht im Körper selbst gespeichert, sondern in einem System „außerhalb“ des Körpers:
 - im Gravitationsfeld (bei der Lageenergie)
 - in der gespannten Feder (beim Federpendel)
 - im elektrischen Feld (bei einem geladenen Teilchen)
- Die potenzielle Energie ist entsprechend ein kompliziertes Konzept.
- Bei der potenziellen Energie muss stets ein Nullniveau gewählt werden, bevor Werte angegeben werden können.
- Man könnte, statt von potenzieller Energie auch nur von der Spannenergie der Feder, der Energie im Gravitationsfeld etc. sprechen.
- Der Begriff der potenziellen Energie steht jedoch hinter der Definition des (elektrischen) Potentials, was für die Einführung des Begriffs spricht.

Begriffe Potenzial und potenzielle Energie

Vorteile der Einführung des Begriffs „potenzielle Energie“:

- Definition des **elektrischen Potenzials**: $\varphi = \frac{E_{pot}}{Q}$
- Hilfreiche Analogie: Äquipotenziallinien (als „elektrische Höhenlinien“) und Höhenlinien auf Landkarten
→ Hinter beiden Fällen steht das Konzept der potenziellen Energie.
- Für alle harmonischen Schwingungen mit $F_{rück} = -D \cdot s$ gilt:
$$E_{pot} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$$

unabhängig davon, welche Energien zur potenziellen Energie beitragen (Spannenergie, Lagenenergie, beide Energieformen, ...).

Begriffe Potenzial und potenzielle Energie

„Potenzial“ in der Quantenphysik / Atomphysik

- Hier ist in der Regel mit Potenzial die potenzielle Energie gemeint.
- Begriff „potenziellen Energie“ statt „Potenzial“ im Unterricht verwenden.
- Auf den Begriff des „Potentialtopfs“ kann man im Unterricht gut verzichten, um Verwechslungen mit dem elektrischen Potenzial zu vermeiden.

Differenzialgleichungen

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

$$\ddot{s}(t) = -\frac{g}{l} \cdot s(t)$$

$$\ddot{Q}(t) = -\frac{1}{L \cdot C} \cdot Q(t)$$

- Der BP 2016 verlangt für das LF explizit diese Differenzialgleichungen.
- Differenzialgleichungen (DGLn) kommen im BP 2016 im Fach Mathematik dagegen nicht mehr vor.

Ändert sich dadurch etwas im Physikunterricht der Kursstufe?

- **Nein!** Auch bisher wurden DGLn in Mathematik in der Regel erst nach der Behandlung im Physikunterricht thematisiert.
- Eine kurze auf das Wesentliche beschränkte Einführung beim ersten Auftauchen einer DGL reicht aus. Zum Beispiel:

Eine Gleichung, in der eine Funktion und ihre Ableitung(en) vorkommen, nennt man eine Differenzialgleichung.
Bei einer Differenzialgleichung ist als Lösung keine Zahl gesucht sondern eine Funktion.

Differenzialgleichungen

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

$$\ddot{s}(t) = -\frac{g}{l} \cdot s(t)$$

$$\ddot{Q}(t) = -\frac{1}{L \cdot C} \cdot Q(t)$$

- Das Konzept der DGL ist in den Natur- und den Ingenieurwissenschaften extrem bedeutend.
- Es bietet sich daher im Physikunterricht an, neben obigen Schwingungs-DGLn mindestens eine andere DGL als Vertiefung zu behandeln.

→ zum Beispiel DGL für das Entladen eines Kondensators

$$\dot{Q}(t) = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot Q(t)$$

einfache DGL mit leicht zu findender Lösung

→ eventuell DGL für das Laden eines Kondensators

$$\text{DGL ist komplexer: } \dot{Q}(t) = \frac{U_0}{R} - \frac{1}{R \cdot C} \cdot Q(t)$$

Synergieeffekte mit Mathematik sind nicht mehr gegeben!

- Keine formalen Lösungsmethoden unterrichten. Lösen der DGL durch „Erraten“ einer passenden Funktion und Probe.

Differenzialgleichungen

Elektromagnetischer Schwingkreis

- $U_C(t) = -L \cdot \dot{I}(t)$
 $\frac{Q(t)}{C} = -L \cdot \ddot{Q}(t)$



Abbildung: M. Theis

- **Wie begründet sich das negative Vorzeichen?**
 - Die **Selbstinduktionsspannung** zwischen den Spulenanschlüssen **ist keine Potenzialdifferenz**, da sie die Folge eines elektrischen Wirbelfeldes ($\text{rot}(\vec{E}) \neq 0$) ist.
 - Das **Vorzeichen folgt aus der Maxwellgleichung**, bzw. aus der Lenz'schen Regel (klassische Schulargumentation).
 - Problem für die SchülerInnen:
Vorzeichenregeln für Potenzialdifferenzen hier nicht anwendbar
 - Hintergrund des Problems:
Unterscheidung zwischen elektrostatischen Spannungen und Spannungen aufgrund von $\text{rot}(\vec{E}) \neq 0$ in der Schule nicht üblich

Differenzialgleichungen

Elektromagnetischer Schwingkreis

- **Mathematische Beschreibung – das liefert die DGL:**
 - $Q(t)$, $U_{Kond}(t)$ und $I(t)$
 - Phasendifferenz zwischen $U_{Kond}(t)$ und $I(t)$
 - Formel für die Periodendauer
 - Analogie zu mechanischen Schwingungen (Federpendel)
- **Qualitative Beschreibung:**

In den Schulbüchern verbreitet:

 - abrupter Wechsel von der Beschreibung der elektrischen Vorgänge zur Betrachtung der Energiebilanz (Vermischung zweier Betrachtungsweisen)
 - keine qualitative Begründung der $T/2$ -Phasenverschiebung zwischen $U_{Kond}(t)$ und $I(t)$

Differenzialgleichungen

Elektromagnetischer Schwingkreis

- **Qualitative Beschreibung:**
(bei der Einführung elektromagnetischer Schwingungen ohne DGL)
 - elektrische Vorgänge erklären
 - Selbstinduktionsspannung erhält Strom auch bei entladenen Kondensator aufrecht
 - genaue Phasenverschiebung zwischen $U_{Kond}(t)$ und $I(t)$ im Experiment (digitale Messwerterfassung) beobachten
 - Verzicht auf deduktive Begründung der Phasenverschiebung den Schülerinnen und Schülern transparent machen (BF)
bzw. Verweis auf später folgende mathematische Begründung (LF)
 - Energiebetrachtung deutlich getrennt im zweiten Schritt

Analogie zwischen Federpendel und Schwingkreis

Federpendel

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

s

$$E_{pot} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

D

m

Schwingkreis

$$\ddot{Q}(t) = -\frac{1}{L \cdot C} \cdot Q(t)$$

Q

$$E_{Kond} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{C} \cdot Q^2$$

$$E_{Spule} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

$\frac{1}{C}$

L

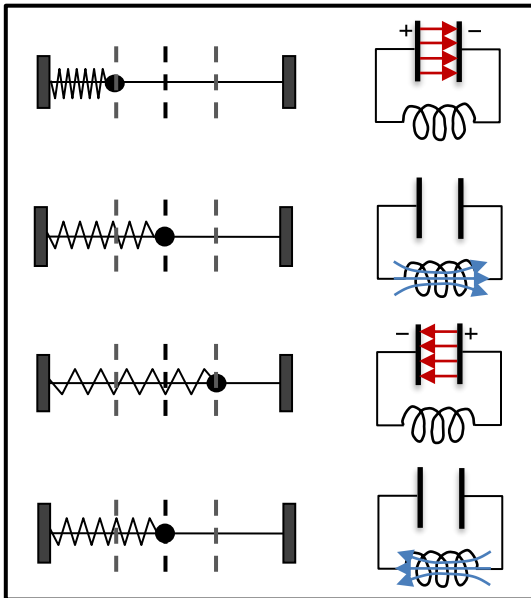


Abbildung: M. Theis

Das ist nicht die einzige mögliche Analogie*, passt aber gut (als Merkhilfe) zu den Formeln im BP 2016.

*vgl. z.B. T. Wilhelm, Stolpersteine überwinden im Physikunterricht, Aulis 2018

Abstrahlen vom elektromagnetischen Wellen

- **Direkt beim Hertz'schen Dipol:**
Anwesenheit von schwingenden Ladungen und Maxwell-Gleichungen führen zum Nahfeld
- **Weit vom Hertz'schen Dipol entfernt:**
Abwesenheit von schwingenden Ladungen und Maxwell-Gleichungen führen zum Fernfeld
- **Übergangsbereich:**
Komplizierte zu beschreiben, kein Thema in der Schule (oder im Standard-Studium)
- **Schleifenantennen statt Dipolantennen:**
Im Alltag sehr verbreitet, in der Schule oft nicht thematisiert

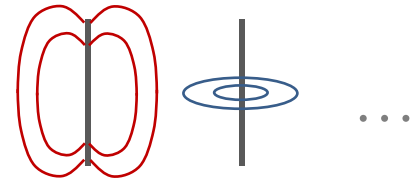
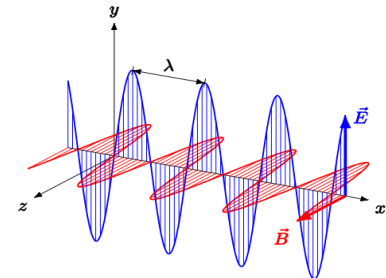


Abbildung: M. Theis



Quelle: And1mu - modified version of, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=59505315>

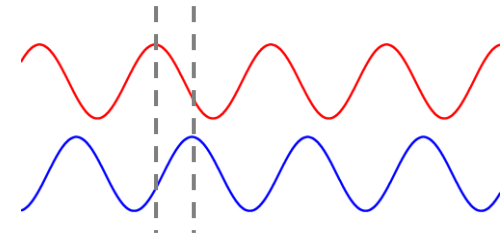
→ den SchülerInnen transparent mitteilen

Wellen: Zeigerdarstellung versus Gangunterschied

- Erklärung von Interferenz ist in beiden Konzepten möglich

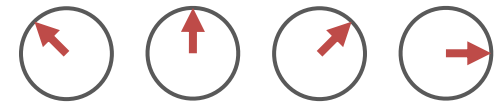
- **Vorteile Gangunterschied:**

- spart die Zeit für das Zeigermodell ein (Zeigermodell wird vom BP 2016 nicht verlangt)
- reicht aus zur Erklärung von:
Maxima / Minima beim Doppel- und Einzelspalt,
Hauptmaxima beim Gitter



- **Vorteile Zeigermodell:**

- greift Zeigermodell der Schwingungen wieder auf
→ vgl. ZPG-Material, Kap. 3 (M. Ziegler)
- verdeutlicht räumliche u. zeitliche Periodizität bei Wellen
- verdeutlicht Phase bei der Reflexion
- Nebenmaxima beim Mehrfachspalt /Überlagerung
mehrere Wellen (keine Pflichtthemen im BP 2016)



Abbildungen: M. Theis

Richtungen und Handregeln

Didaktische Entscheidung zu Vorzeichen und Richtungen:

- Stromrichtung oder Bewegungsrichtung der Elektronen?
passend dazu: Linke- oder Rechte-Hand bei der Kraft auf Draht mit $I \neq 0$
- Handregel bei Lorentzkraft auf Ladungen:
Stets rechte Hand plus Richtungsänderung bei neg. Ladungen
oder linke Hand / rechte Hand je nach Ladungsvorzeichen?
- Separate Faustregel für Richtung des Magnetfelds einer Spule nutzen?
- Faustregel für Richtungen von E bzw. B bei den Maxwell-Gleichungen einführen?
- Rechte-Hand-Regel für die Richtungen von E , B und die Ausbreitungsrichtung einer elektromagnetischen Welle
- Wie viele unterschiedlichen Regeln einführen? → LF / BF

Maxwellgleichungen und Richtungen

→ ZPG-Material, Kap. 7 von M. Ziegler und R. Piffer