

Fachdidaktik Physik: 2.2.1 Elektrizitätslehre in 12

Hans-Otto Carmesin

Gymnasium Athenaeum Stade, Studienseminar Stade

Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

16. März 2021

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Elektrische Felder	2
3 Magnetische Felder	22
4 Induktion	30
5 Aufgaben	37
6 Zusammenfassung	37



Abbildung 1: Wie entstehen Polarlichter? An solchen Fragen können die SuS die physikalischen Zusammenhänge dieser Unterrichtseinheit weitgehend selbstständig entdecken.

1 Einleitung

Von den vier Grundkräften (s. [Demtröder \(2008b\)](#), S. 170), Schwerkraft, elektromagnetische Kraft, schwache sowie starke Kraft, beherrschen die ersten beiden unsere Lebenswelt. Daher

bietet das Gebiet Elektrizitätslehre eine Fülle von Naturerscheinungen, physikalischen Prozessen im menschlichen Körper und lebensweltlichen sowie technischen Anwendungen (s. Demtröder (2008a)). An diesen können die SuS selbst komplexe Zusammenhänge motiviert, konkret und wirksam erfassen. Die Unterrichtseinheit lässt sich analog zu den Maxwellschen Gleichungen in drei Unterrichtssequenzen unterteilen. Das sind die elektrischen Felder, die magnetischen Felder und die Induktion (Carmesin u. a. (2020)). Dabei entwickeln die Lernenden ihre Kompetenzen zu elektrischen Strömen (Bengelsdorff u. a. (2015)), elektrischen Ladungen und Spannungen (Carmesin u. a. (2015b)) und Leitern sowie Halbleitern (Carmesin u. a. (2015a)) weiter.

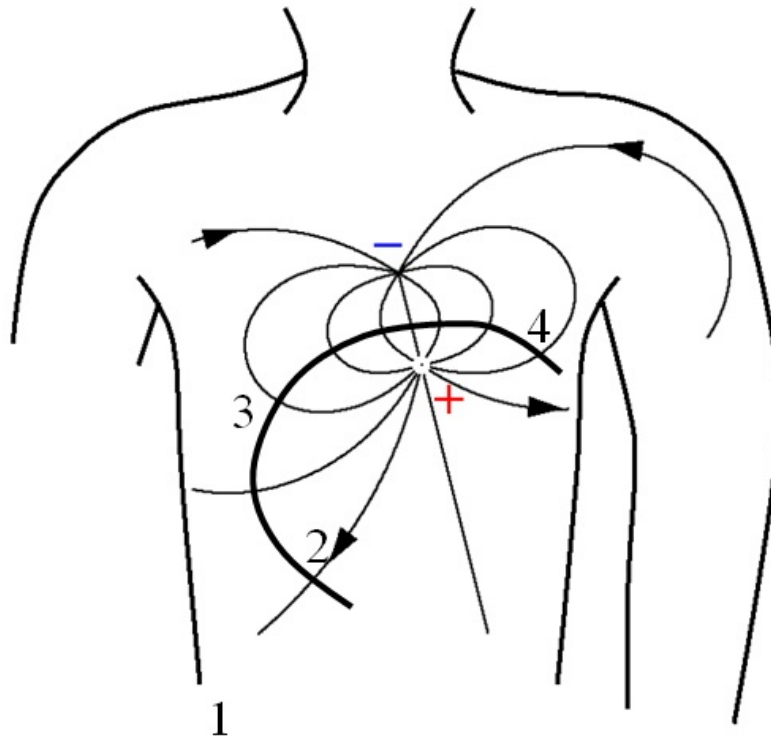


Abbildung 2: Die Schülerinnen und Schüler können das EKG mit ihrem GTR aufnehmen und so den menschlichen Körper als elektrische Quelle kennen lernen. Auch können sie mit dem die Feldlinien analysieren, Äquipotenziallinien und Dipolfelder entdecken sowie mathematisierend erklären (s. Carmesin (2010a,b)).

2 Elektrische Felder

In dieser Sequenz lernen die SuS die Ladungen als Quellen der elektrischen Felder kennen. Werden die Ladungen bewegt, so erzeugen sie Magnetismus. Daher ist diese Sequenz grundlegend für die folgende Unterrichtssequenz zu magnetischen Feldern.

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
... beschreiben elektrische Felder durch ihre Kraftwirkungen auf geladene Probekörper.	... skizzieren Feldlinienbilder für das homogene Feld und das Feld einer Punktladung. ... beschreiben die Bedeutung elektrischer Felder für eine technische Anwendung.
... nennen die Einheit der Ladung und erläutern die Definition der elektrischen Feldstärke. ... beschreiben ein Verfahren zur Bestimmung der elektrischen Feldstärke auf der Grundlage von Kraftmessung.	... werten in diesem Zusammenhang Messreihen aus.
... beschreiben den Zusammenhang zwischen Ladung und elektrischer Stromstärke. ... nennen die Definition der elektrischen Spannung als der pro Ladung übertragbaren Energie.	
... beschreiben den Zusammenhang zwischen der Feldstärke in einem Plattenkondensator und der anliegenden Spannung. ... geben die Energiebilanz für einen freien geladenen Körper im elektrischen Feld eines Plattenkondensators an.	... ermitteln angeleitet die Geschwindigkeit eines geladenen Körpers im homogenen elektrischen Feld eines Plattenkondensators mithilfe dieser Energiebilanz.
... beschreiben den Entladevorgang eines Kondensators mithilfe einer Exponentialfunktion.	... führen angeleitet (eA: selbständig) Experimente zum Entladevorgang durch. ... ermitteln aus den Messdaten den zugehörigen $t - I$ -Zusammenhang. ... eA: ermitteln aus den Messdaten die Parameter R bzw. C des zugehörigen t-I-Zusammenhangs und stellen diesen mit der Exponentialfunktion zur Basis e dar. ... begründen die Auswahl einer exponentiellen Regression auf der Grundlage der Messdaten. ... ermitteln die geflossene Ladung mithilfe von t-I-Diagrammen.
... nennen die Definition der Kapazität eines Kondensators.	... führen ein (eA: selbst geplantes) Experiment zur Bestimmung der Kapazität eines Kondensators durch. ... beschreiben Einsatzmöglichkeiten von Kondensatoren als Energiespeicher in technischen Systemen. ... berechnen die Kapazität eines Plattenkondensators aus seinen geometrischen Abmessungen.

Tabelle 1: KC zur Unterrichtssequenz Elektrisches Feld (s. [Frenzel \(2017\)](#)).

Für die grundlegenden Stunden der Sequenz präsentiere ich im Folgenden Kurzentwürfe. Die Stunden zum EKG sind in Aufsätzen dargestellt (s. [Carmesin \(2010a,b\)](#)). Bei den Stunden werden häufig Vorkenntnisse der SuS aus der Sekundarstufe 1 genutzt (s. [Beime u. a. \(2012\)](#); [Brüning u. a. \(2010\)](#); [Frenzel \(2017\)](#); [Gehmann \(2015\)](#)). Auch können die SuS die anschaulichen elektrischen Felder mit einem Applet selbstständig handelnd erkunden (s. [UniversityColorado \(2009\)](#)).

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Einführung der Berechnung elektrischer Ladung	Die SuS sollen die Ladung und Energie eines Akkumulators bestimmen können.
2	Entdeckung der Proportionalität von Kraft und Ladung	Die SuS sollen die Proportionalität begründen können.
3	Entdeckung der Zusammenhänge zwischen Energie, Feldstärke und Spannung	Die SuS sollen die Zusammenhänge herleiten und begründen können.
4	Entdeckung von Feldlinienmustern	Die SuS sollen die Feldlinienmuster von radialen und homogenen Feldern skizzieren können.
5	Entdeckung von Dipolfeldern beim EKG	Die SuS sollen mit Hilfe des EKGs Dipolfelder erläutern können.
6	Analyse von Dipolfeldern beim EKG	Die SuS sollen Dipolfelder mit Hilfe des Coulomb-Potentials analysieren können.
7	Entdeckung der Elementarladung	Die SuS sollen die Entdeckung der Elementarladung erläutern können.
8	Analyse der Geschwindigkeit eines Elektrons im Bildschirm	Die SuS sollen die Geschwindigkeit des Elektronenstrahls berechnen können.
9	Analyse des Ablenkens des Elektronenstrahls	Die SuS sollen die Ablenkung des Elektronenstrahls berechnen können.
10	Untersuchung von Spannungsverläufen mit dem Oszilloskop	Die SuS sollen Spannungsverläufe mit dem Oszilloskop untersuchen können.
11	Messung zur Entladung eines Kondensators beim Fahrradstandlicht	Die SuS sollen den Spannungsverlauf experimentell ermitteln können.
12	Entdeckung der Proportionalität von Ladung und Spannung	Die SuS sollen die Proportionalität experimentell begründen können.
13	Entdeckung des exponentiellen Abklingens bei der Kondensatorentladung	Die SuS sollen das exponentielle Abklingen experimentell begründen und herleiten können.
14	Einführen der Kapazitätsformel für Plattenkondensatoren	Die SuS sollen die Formel erläutern können.
15	Herleiten der Energieformel für Kondensatoren	Die SuS sollen die Energieformel herleiten können.
16	Untersuchung der Funktionsweise des Kopierers	Die SuS sollen die Funktionsweise des Kopierers erläutern können.

Tabelle 2: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz Elektrische Felder.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 11

Thema der Unterrichtseinheit: Elektrisches Feld

Einführung der Berechnung elektrischer Ladung

Leitfrage: s. TA

- Bedeutsamkeit für SuS: Energie und Ladung eigener Akkus
- Zieltransparenz für SuS: Nutzungsdauer

Didaktik: Stundenlernziel: Die SuS sollen die Ladung und Energie eines Akkumulators bestimmen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Stromstärke	Messen, Erläutern
LV: Spannung $U = E/Q$ oder $U = P/I$	Messen, Erläutern
TLZ: $Q=I \cdot t$	Anwenden, Erläutern
TLZ: $E = U \cdot Q = U \cdot I \cdot t = P \cdot t$	Anwenden, Erläutern

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Strandbesuch, Einstiegsfolie, s.u.	Beschreiben	LSG
7	<u>Entwicklung der Stundenfrage:</u> s.u.	Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Ideen	Zusammenstellen anhand der Akkuaufschrift und des Vorwissens	MuG, SSG, LSG
25	<u>Lösung:</u> t	Berechnen	GA
35	<u>Sicherung:</u>	TA, Reflexion	SV
40	<u>Festigung:</u> AB	Bearbeiten, Vortragen	PA, HA

Geplanter TA

Wie lange halten die Akkus?

Ideen: Dauer t mit Stromstärke I aufladen \rightarrow Q in Ah, Produkt, $U=E/Q$; $U = P/I$

Ergebnisse: Wird ein Akku eine Zeit t lang mit einer Stromstärke I geladen, so ist seine Ladung $Q = I t$. Die Einheit der Ladung ist $1As = 1C$ (Coulomb).

Geplante Schülerfolie

Akku: $Q=I \cdot t = 2500 \text{ mAh} = 2,5 \text{ Ah} = 2,5 \cdot 3600 \text{ As} = 9000 \text{ As}$

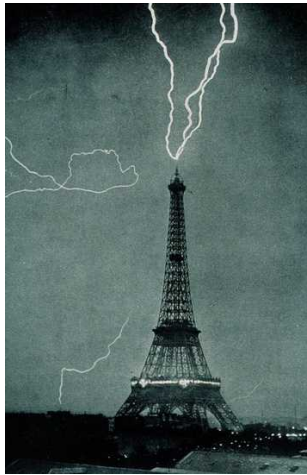
Radio: $P = E/t = U \cdot Q/t \rightarrow t = U \cdot Q/P = 1,2 \text{ V} \cdot 4 \cdot 9000 \text{ As} / 5 \text{ W} = 8640 \text{ s} = 2\text{h}24\text{min}$



$P = 5 \text{ W}$



- 1) Ein Akkumulator mit der Ladung 20 Ah treibt einen Stromkreis mit der Stromstärke 8 A an. Nach welcher Zeit ist der Akku entladen?



- 2) Ein Blitz transportiert die Ladung 200 C bei einer Stromstärke von 100 kA. Bestimmen Sie die entsprechende Dauer des Blitzes.



Lenovo 40Y6799 (Notebook-Akku)
 Notebook-Akku / Akkuart: Li-Ion / Zellenanzahl: 6 / Kapazität: 4.800 mAh / Ausgangsspannung: 10,8 V / verwendbar für: IBM ThinkPad T60, IBM ThinkPad R6X, IBM ThinkPad T61, IBM ThinkPad R61

37,99 € - 169,00 €
 64 Preise
 vergleichen

- 3) Pauls Notebookakku benötigt eine elektrische Leistung von 12 W. Berechnen Sie, wie lange er mit dem Akku arbeiten kann.



- 4) Messungen haben ergeben, dass die Ladung Q unseres pendelnden Metallplättchens proportional zur anliegenden Spannung ist. Liegt die Spannung $U = 1 \text{ kV}$ an, so trägt unser Plättchen die Ladung $Q = 2,6 \text{ nC}$. Bestimmen Sie die Ladung, die das Plättchen trägt, wenn die Spannung 5 kV anliegt.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 11

Thema der Unterrichtseinheit: Elektrisches Feld

Einführung der Berechnung elektrischer Ladung

Entdeckung der Proportionalität von Kraft und Ladung

Didaktik: Stundenlernziel: Die SuS sollen die Proportionalität begründen können.

- Bedeutsamkeit für SuS: Filter, elektrische Kraft, elektrisches Feld
- Zieltransparenz für SuS: Ladung gesucht
- Didaktische Reduktion: einfaches Zahlenmaterial
- Akzentuierung: Für das Filtern nötige Ladung

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Plättchenladung bei gegeb. Spannung	Bestimmen
LV: Kraft am Pendel	Bestimmen
TLZ 1-4: Modellversuch	Erläutern, Planen, Durchführen, Auswerten
TLZ 5: Proportionalität	Begründen
TLZ: 6 Elektrische Feldstärke	Anwenden, Erläutern, Bestimmen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
10	<u>Hinführung:</u> Bespr. der HA	AB, Präsentieren	SV
20	<u>Problemstellung:</u> Elektrofilter	OHP, Erläutern, Leitfrage	LSG
30	<u>Analyse:</u> Modellversuch, Vermutungen	Vorschlagen, Planen, Entwickeln	LSG, MuG
50	<u>Lösung:</u> Durchführung, Auswertung	Themendifferenziert, AB	GA
65	<u>Sicherung:</u> Proportionalität	OHP, Reflexion	SV
70	<u>Sicherung2:</u> Bezeichnung	TA	LV
90	<u>Anwendung, Transfer:</u> Feldstärke	teils HA, AB	PA

Geplanter TA

Bei welcher Ladung q wirkt die Kraft 1 pN?

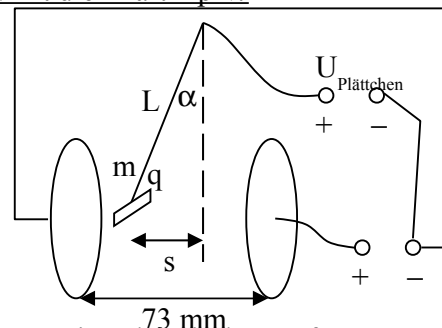
Ideen: Modellversuch

Vermutungen: $F \sim q$

$L = 53 \text{ cm}; m = 4,7 \text{ g}$

$U_{\text{Plattenkondensator}} = 4,9 \text{ kV}$

$U_{\text{Plättchen}}$ in V	0				
S in mm	0				



Ergebnisse: Eine Ladung q erfährt im Plattenkondensator eine elektrische Kraft F_{el} proportional zur Ladung: $F_{el} \sim q$. Hier ist $q = 1,4 \cdot 10^{-17} \text{ C}$

Bezeichnung: Der Proportionalitätsfaktor F_{el}/q heißt elektrische Feldstärke $|\vec{E}|$.

Bedeutung: Die Feldstärke eines Kraftfeldes gibt an, wie stark ein Kraftfeld an einem Ort ist. Da die Kraft proportional zur Ladung ist, muss diese wegdividiert werden, um die Stärke des Feldes zu erhalten. Das durch Ladungen nachweisbare Kraftfeld heißt elektrisches Feld. Für eine positive elektrische Ladung q gilt: $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$

Berechnung: $F = 0,87 \text{ mN}$ (s. Vorstunde). Beim Versuch mit 4,9 kV ist $|\vec{E}| = F/Q = 0,87 \text{ mN}/12,7 \text{ nC} = 68500 \text{ N/C}$

Geplante Schülerfolie

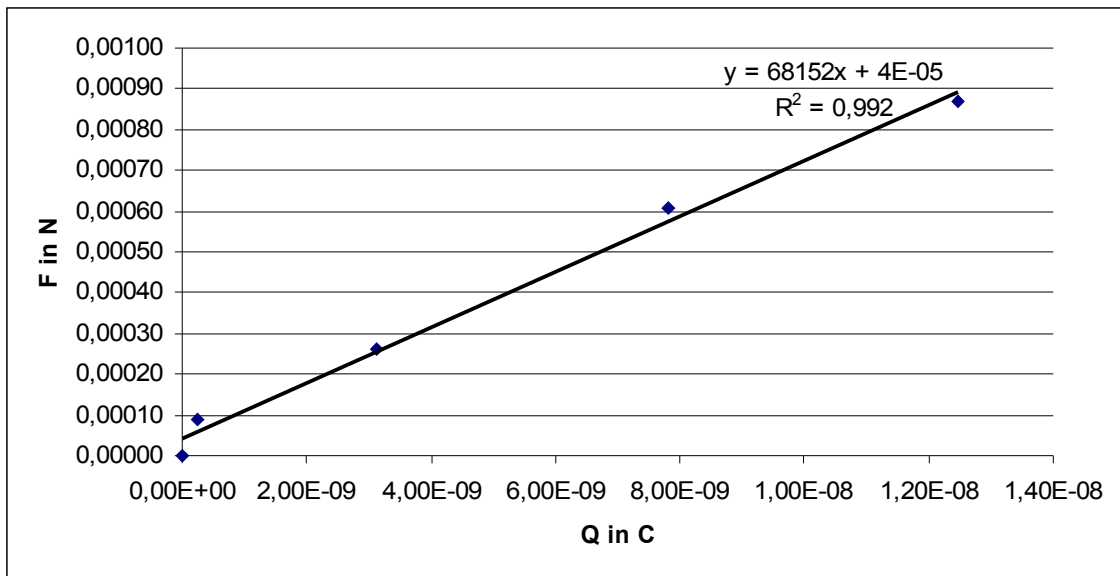
Ladungsberechnung

1 kV entspricht 2,6 nC
Durch $10 \downarrow$
100 V entspricht 0,26 nC

Kraftberechnung

$\alpha = \arcsin(s/L)$; $F_{el} = F_G \cdot \tan\alpha$

U _{Plättchen} in V	s in mm	q in C	F _{el} in N
0	0	0,00E+00	0,00000
100	1	2,60E-10	0,00009
1200	3	3,12E-09	0,00026
3000	7	7,80E-09	0,00061
4800	10	1,25E-08	0,00087



Ergebnis: $F \sim q$

Berechnung der Ladung des Staubteilchens

Plättchen: 0,00087 N entspricht 12,5 nC
Durch $0,00087 \text{ mal } 10^{-12} \downarrow$
1 pN entspricht $1,4 \cdot 10^{-17} \text{ C}$

Lösungen zur HA:

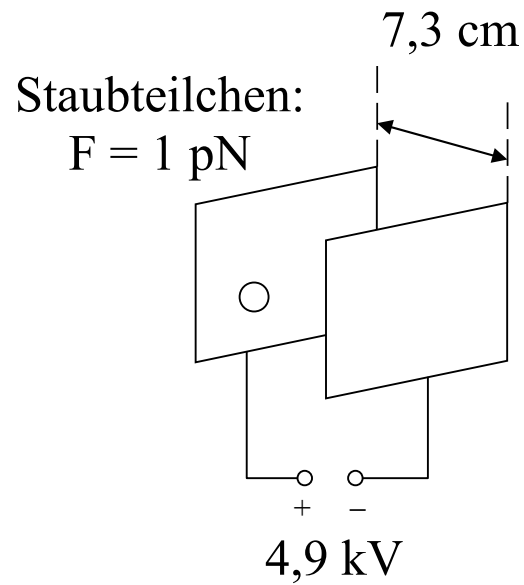
Akku: $Q = I \cdot t \rightarrow t = Q/I = 20 \text{ Ah}/8 \text{ A} = 2,5 \text{ h}$

Blitz: $t = Q/I = 200 \text{ C}/100 \text{ kA} = 2 \text{ ms}$

Notebook: $P = E/t = U \cdot Q/t \rightarrow t = U \cdot Q/P = 4,32 \text{ h}$

Plättchen: 1 kV entspricht 2,6 nC
mal $5 \downarrow$
5 kV entspricht 13 nC

Elektrofilter eines Zementwerks



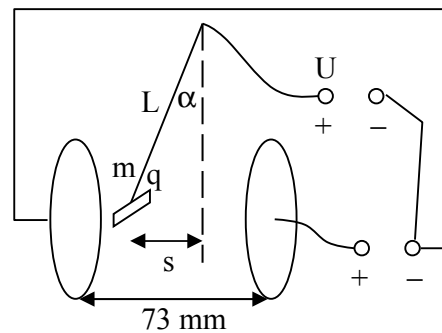
Arbeitsblatt, PH11 eN, Dr. Carmesin

2010

Modellversuch zum Elektrofilter Wie hängt die Ladung q von der Kraft F_{el} ab?

$L = 53 \text{ cm}$; $m = 4,7 \text{ g}$
 $U_{\text{Plattenkondensator}} = 4,9 \text{ kV}$

U in V	0	100	1200	3000	4800
s in mm	0	1	3	7	10



Feldstärke

- 1) Berechnen Sie die im Plattenkondensator des Versuches vorliegende Feldstärke.
- 2) In einem Plattenkondensator wirkt auf eine Ladung von $q_1 = 100 \text{ nC}$ die Kraft 1 mN .
 - a) Berechnen Sie die Kräfte, welche auf die Ladungen $q_2 = 400 \text{ nC}$ und $q_3 = 30 \text{ nC}$ wirken.
 - b) Berechnen Sie die im Plattenkondensator herrschende elektrische Feldstärke.



- 3) Zwischen den Platten eines Elektrofilters herrscht die elektr. Feldstärke 400000 N/C .
 - a) Berechnen Sie die Kräfte, welche auf die Ladungen $q_2 = 2 \text{ fC}$ und $q_3 = 0,3 \text{ fC}$ wirken.
 - b) Auf ein Staubteilchen wirkt die elektrische Kraft 20 pN . Berechnen Sie dessen Ladung.
- 4) Das Schwerfeld der Erde führt am Erdboden zur Gewichtskraft $F_G = m \cdot g$. Dabei ist g der Ortsfaktor $9,81 \text{ N/kg}$. Bestimmen Sie die am Erdboden herrschende Feldstärke des Gravitationsfeldes.



- 5) Ein Astronaut der Masse 90 kg erfährt auf dem Mond eine Schwerkraft von $113,4 \text{ N}$. Bestimmen Sie die auf der Mondoberfläche herrschende Gravitationsfeldstärke.
- 6) Ein Astronaut der Masse 90 kg erfährt auf dem Mars eine Schwerkraft von $262,5 \text{ N}$. Bestimmen Sie die auf der Marsoberfläche vorliegende Gravitationsfeldstärke.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 11

Thema der Unterrichtseinheit: Elektrisches Feld

Einführung der Berechnung elektrischer Ladung

Entdeckung der Proportionalität von Kraft und Ladung

Entdeckung der Zusammenhänge zwischen Energie, Feldstärke und Spannung**Didaktik:** SLZ: Die SuS sollen die Zusammenhänge herleiten und begründen können.

- Bedeutsamkeit für SuS: Energieanalyse
- Zieltransparenz für SuS: Energiekosten beim Elektrofilter unter Grenzwert?
- Didaktische Reduktion: Nur maximale Energie im Kondensator berücksichtigt
- Akzentuierung: Gleichbleibendes anschauliches Modell Elektrofilter

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Homogenes Feld	Erläutern, Skizzieren, Erkennen
LV: $ E = F/q$; $E = Q \cdot U$	Erläutern, Anwenden
LV: $E = F \cdot s$	Erläutern, Anwenden
TLZ: $E = q \cdot E \cdot d$	Herleiten, Berechnen, Anwenden
TLZ: $E = Q \cdot U$	Anwenden, Berechnen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
10	<u>Hinführung:</u> Elektrofilter, Folie	Beschreiben	LSG
12	<u>Problemstellung:</u>	Leitfrage	LSG
20	<u>Analyse:</u> Ideen	Entwickeln	MuG, LSG
45	<u>Lösung:</u> Terme, E	Entwickeln, Berechnen, binnendifferenziert	GA
60	<u>Sicherung:</u> s.u.	OHP, Reflexion	SV
90	<u>Festigung:</u> Üben, Punkte beliebig gelegen, Strukturgleichheit	AB1,2	PA, SV

Geplanter TA

Sind die Energiekosten des Elektrofilters akzeptabel?Ideen:

$$E = F \cdot s; E = q \cdot U; F = |E| \cdot q; q = k \cdot U; s = D$$

Ergebnisse: Die Kosten sind sehr akzeptabel.

Im homogenen elektrischen Feld gilt:

- Durchläuft eine Ladung q eine Spannung U , so nimmt sie die Energie $E = U \cdot q$ auf.
- Durchläuft eine Ladung q eine Strecke D mit einer Feldstärke $|E|$ parallel zum Weg, so nimmt sie die Energie $E = q \cdot |E| \cdot D$ auf.
- Liegt zwischen zwei Punkten mit Abstand D eine Spannung U an, so ist die Feldstärke $|E| = U/D$. Dabei muss die Verbindungsstrecke parallel zum Feld sein.

Geplante Schülerfolien:

Weg 1: $E = q \cdot U = 0,014 \text{ fC} \cdot 4900 \text{ V} = 0,0686 \text{ pJ}$

Weg 2: $E = F \cdot D = 1 \text{ pN} \cdot 0,073 \text{ m} = 0,073 \text{ pJ}$

Weg 3: $|\vec{E}| = F/q = 1 \text{ pN}/0,014 \text{ fC} = 71400 \text{ N/C}$

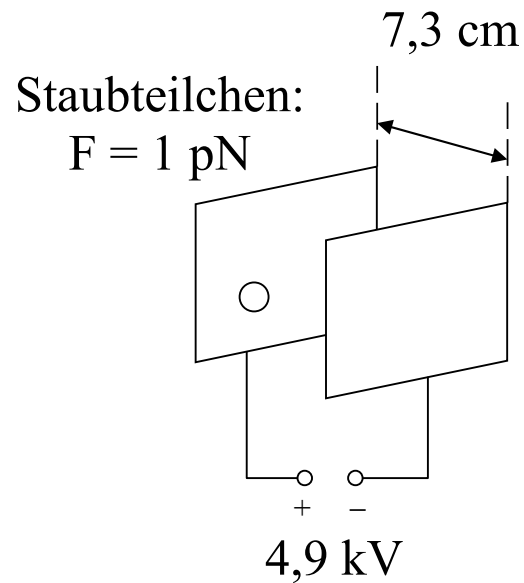
Oder $|\vec{E}| = U/s = 4900 \text{ V}/0,073 \text{ m} = 67100 \text{ V/m} = 67100 \text{ N/C}$

$E = F \cdot D = q \cdot |E| \cdot D = 0,014 \text{ fC} \cdot 71400 \text{ N/C} \cdot 0,073 \text{ m} = 0,073 \text{ pJ}$

Anzahl der Partikel in 1 t: $N = 1000 \text{ kg}/1 \text{ ng} = 10^{15}$

Gesamte Energie $E = 0,073 \text{ pJ} \cdot 10^{15} = 73 \text{ J} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ kWh} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ €}$

Elektrofilter eines Zementwerks

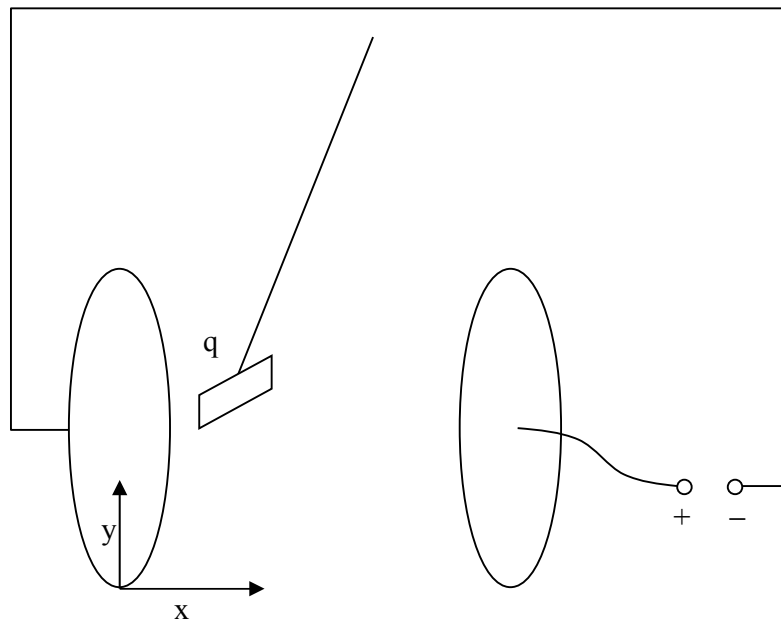


Das Staubteilchen der Masse $m = 1 \text{ ng}$ hat die Ladung $Q = 1,4 \cdot 10^{-17} \text{ C}$ und durchläuft die gesamte Strecke 7,3 cm.

Im Kondensator sind für 1 t solcher Staubteilchen
Energiekosten bis 1 € akzeptabel (1 kWh kostet 0,1 €).



- 1) Die Platten eines Plattenkondensators haben den Abstand 73 mm. An ihnen liegt die Spannung 4,9 kV an. Zwischen den Platten hängt unser pendelndes Plättchen.
 - a) Das Plättchen trifft links gegen die Platte und nimmt dabei eine Ladung q auf. Bestimmen Sie q .
 - b) Die Ladung q wandert mit dem Plättchen zur rechten Platte. Bestimmen Sie die Energie, welche die Ladung q dabei aufnimmt.



- 2) Zwischen zwei Kondensatorplatten mit dem Abstand 10 cm liegt eine Spannung von 10 kV an.
 - a) Bestimmen Sie die Feldstärke zwischen den Platten.
 - b) Zwischen den Platten befindet sich ein Plättchen mit der Ladung 20 nC. Bestimmen Sie die Kraft, die auf das Plättchen wirkt.
 - c) Das Plättchen wird vom Punkt A(1cm|4cm) zum Punkt B(5cm|2cm) bewegt. Bestimmen Sie die Energie, die das Plättchen dabei aufnimmt. Das Plättchen hat die Masse 2g.
 - d) Bei hinreichender Leitfähigkeit des Raumes zwischen den Platten kann die Spannung zwischen den Punkten A und B mit einem Voltmeter gemessen werden. Bestimmen Sie diese Spannung.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 11

Thema der Unterrichtseinheit: Elektrisches Feld

Einführung der Berechnung elektrischer Ladung

Entdeckung der Proportionalität von Kraft und Ladung

Entdeckung der Zusammenhänge zwischen Energie, Feldstärke und Spannung

Entdeckung von Feldlinienmustern

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen die Feldlinienmuster von radialen und homogenen Feldern skizzieren können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: elektrisches Feld	Erläutern
LV: Gravitationsfeld	Erläutern
LV: Magnetische Feldlinien	Beschreiben
TLZ: Feldlinien homogener elektr. Felder	Beschreiben, Skizzieren, Erkennen
TLZ: Feldlinien radialer elektrischer Felder	Beschreiben, Skizzieren, Erkennen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
7	<u>Hinführung:</u> Plattenkondensator mit Pendel, Kompassnadelraster, Griesmuster mit parallelen Feldlinien	DE, Beschreiben	LSG
12	<u>Problemstellung:</u>	Leitfrage	LSG
18	<u>Analyse:</u> Wdh. & Aushandeln der Definition, Planung der Versuche	Untereinander Beraten, Planen	MuG, LSG
40	<u>Lösung:</u> Muster, Regelmäßigkeiten entdecken	SE an Stationen, Skizzieren, Beschreiben, Äquipotenziallinien binnendifferenzierend	GA
50	<u>Sicherung:</u> Typen, Bezeichnungen	OHP, Reflexion	SV
60	<u>Festigung:</u> Analogie Gravitationsfeld	AB	PA, SV

Geplanter TA

Wie sehen die Feldlinienmuster elektrischer Felder aus?

Ideen:

Magnetische Feldlinien zeigen die Richtungen an,
in die sich der Nordpol einer Kompassnadel dreht.

Elektrische Feldlinien zeigen die Richtungen an,
in die eine positive elektrische Ladung gezogen wird.

Versuche

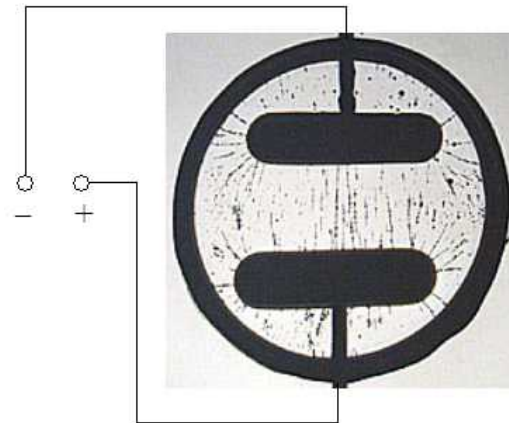
Elektrische Feldlinien: Griesversuche, Computereperimente

Ergebnisse: Es gibt zwei Haupttypen:

Feldlinienverlauf	Bezeichnung	Feldstärke	Linien konstanter U	Beispiel zu $ E $
Parallel	Homogenes Feld	Konstant	Parallel	Plattenkondensator
Sternförmig	Radiales Feld	Abnehmend	Konzentrische Kreise	Geladene Kugel

Feldlinien des Kondensators

Stellen Sie die Feldlinien des Kondensators im Versuch nach.



Tragen Sie in der Abbildung die Feldlinien ein.

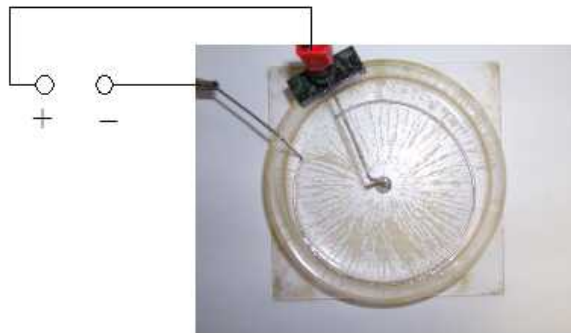
Charakterisieren Sie das zwischen den Platten auftretende Feldlinienmuster.

Arbeitsblatt, Physik erhöhtes Niveau, Dr. Carmesin

2010

Feldlinien in der Umgebung einer geladenen Kugel

Stellen Sie die Feldlinien der Kugel im Versuch nach.

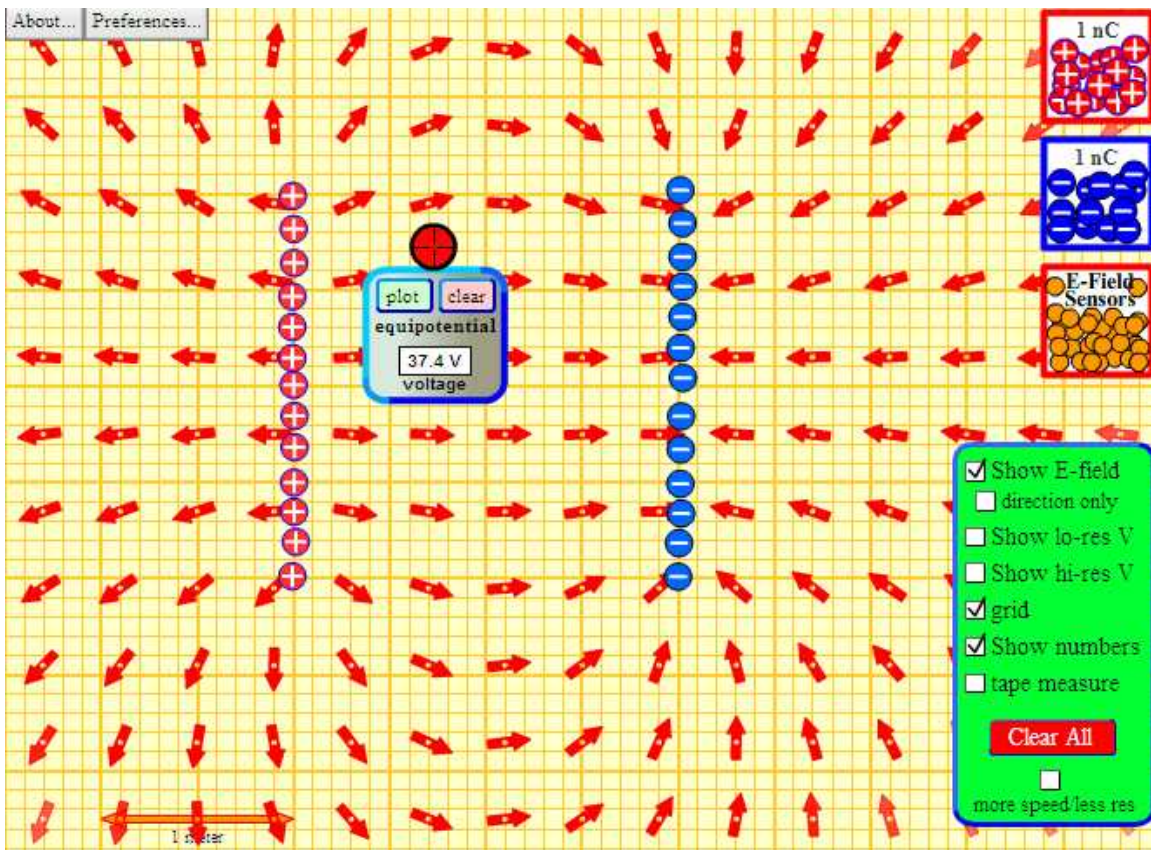


Tragen Sie in der Abbildung die Feldlinien ein.

Charakterisieren Sie das um eine Kugel auftretende Feldlinienmuster.

Feldlinien, Feldstärken und Spannungen im Kondensator

Stellen Sie das Computereperiment nach.

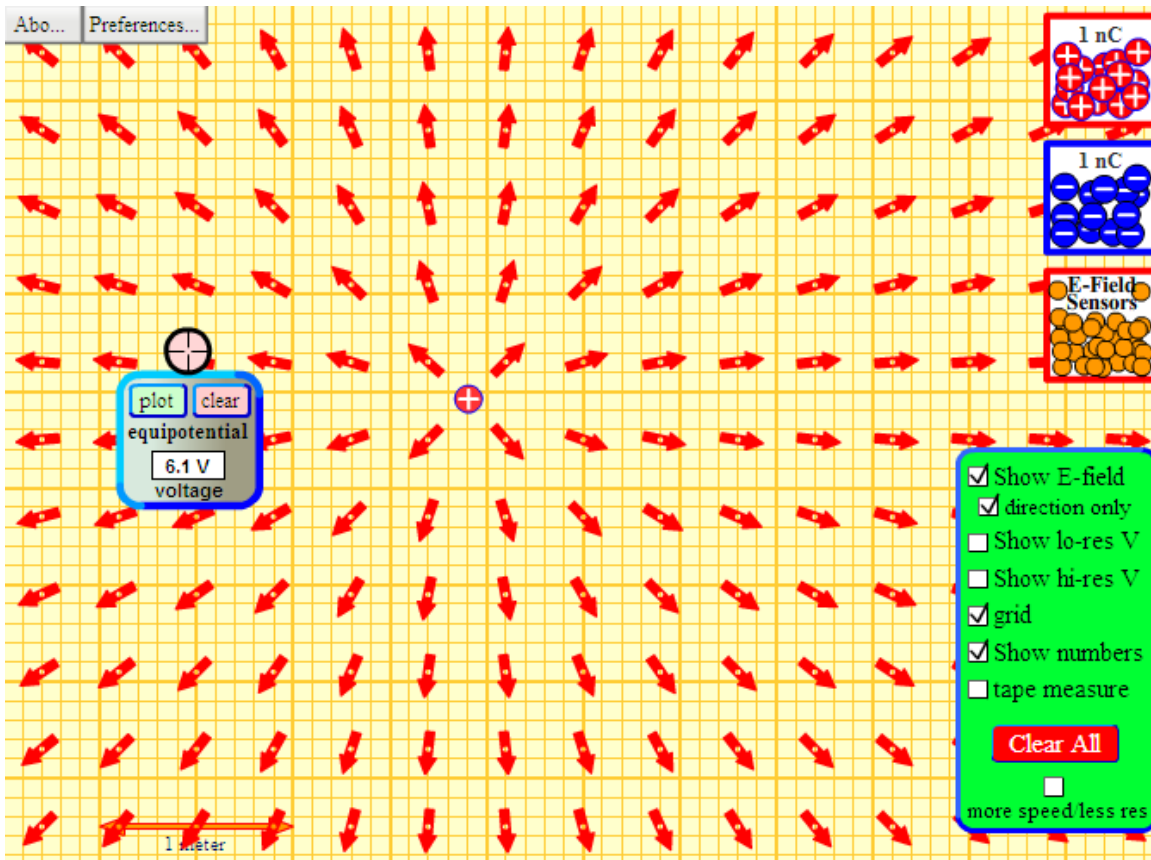


- 1) Charakterisieren Sie das zwischen den Platten auftretende Feldlinienmuster.
- 2) Bestimmen Sie die zwischen den Platten auftretende Feldstärke.
- 3) Untersuchen Sie den Verlauf der Spannung auf dem Weg von der Mitte der linken Platte zur Mitte der rechten Platte.
- 4) Zusatzaufgabe: Zeichnen Sie zwischen den Platten vier Linien konstanter Spannung ein.

Quelle: PhET Interactive Simulations
 Copyright © 2004-2009 University of Colorado.
 Some rights reserved.
 Visit <http://phet.colorado.edu>

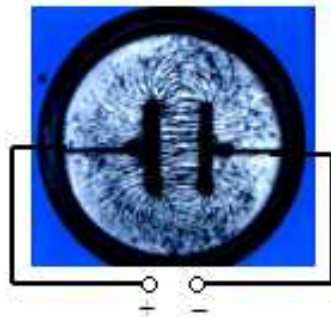
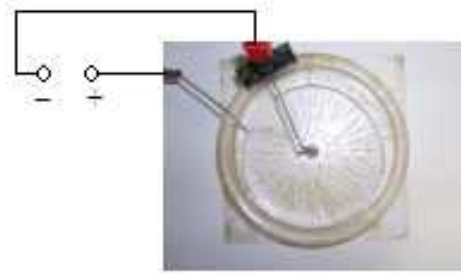
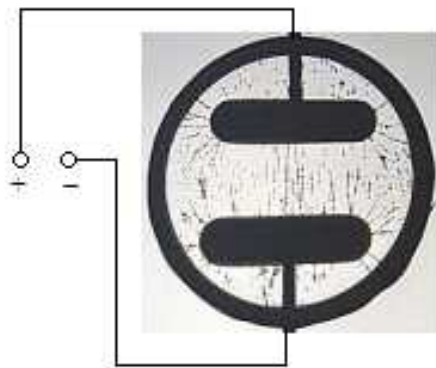
Feldlinien einer geladenen Kugel

Stellen Sie das Computereperiment nach.



- 1) Charakterisieren Sie das auftretende Feldlinienmuster.
- 2) Zeichnen Sie zwei Linien konstanter Spannung ein.
- 3) Charakterisieren Sie die Beträge der Feldstärken.
- 4) Zusatzaufgabe: Charakterisieren Sie die Linien konstanter Spannung.

Quelle: PhET Interactive Simulations
 Copyright © 2004-2009 University of Colorado.
 Some rights reserved.
 Visit <http://phet.colorado.edu>



- 1) Zeichnen Sie die Feldlinien ein und entscheiden Sie, ob das Feld homogen oder radial ist! Entscheiden Sie auch, ob es ein elektrisches Feld oder ein Gravitationsfeld ist.
- 2) Skizzieren Sie die Feldlinien um eine positive Ladung!

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 11

Thema der Unterrichtseinheit: Elektrisches Feld

... Entdeckung der Elementarladung

Analyse der Geschwindigkeit eines Elektrons im Bildschirm**Didaktik:** SLZ: Die SuS sollen die Geschwindigkeit des Elektronenstrahls berechnen können.

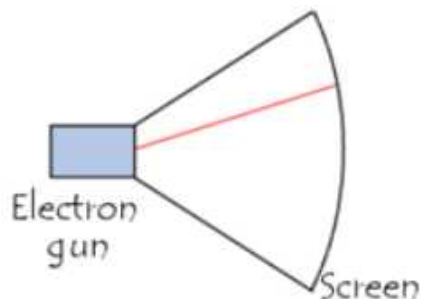
- Bedeutsamkeit für SuS: Bildschirm, Oszilloskop, Teilchenbewegung
- Zieltransparenz für SuS: Spannung gesucht
- Didaktische Reduktion: einfaches Zahlenmaterial, eindimensional

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Elektronenbewegung im homogenen Feld	Erläutern
LV: $E=0,5 \cdot m \cdot v^2$	Erläutern, Anwenden
LV: $E=Q \cdot U$	Erläutern, Anwenden
TLZ: Funktionsweise der Bildröhre	Erläutern
TLZ: Nötige Spannung	Herleiten, Berechnen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Bildröhre	DE, Folie	LSG
7	<u>Problemerkfassung:</u>	Leitfrage	LSG
10	<u>Analyse:</u> Ideen	Entwickeln	MuG
25	<u>Lösung:</u>	Herleiten, Berechnen	GA
30	<u>Sicherung:</u> s.u.	OHP, Reflexion	SV
40	<u>Festigung:</u> Buch, DE Elektronenstrahlröhre, $v(x)$	HA	EA

Geplanter TA

Wie groß muss die Spannung in der Bildröhre sein?Ideen: $E=0,5 \cdot m \cdot v^2$; $E = Q \cdot U$ Ergebnisse:Ein Elektron kann auf eine Geschwindigkeit v beschleunigt werden, wenn die Spannung $U = 0,5 \cdot m \cdot v^2 / e$ beträgt.Im Beispiel ist $U = 409,5V$.Geplante Schülerfolie: $0,5 \cdot m \cdot v^2 = Q \cdot U \quad \rightarrow \quad U = 0,5 \cdot m \cdot v^2 / e = 409,5 V$ 

Damit der Farbstoff einer Bildröhre leuchtet, benötigen die Elektronen eine Geschwindigkeit von wenigstens 12000 km/s.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 11

Thema der Unterrichtseinheit: Elektrisches Feld

... Analyse des Ablenkens des Elektronenstrahls

Untersuchung von Spannungsverläufen mit dem Oszilloskop

Messung zur Entladung eines Kondensators beim Fahrradstandlicht

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen den Spannungsverlauf experimentell ermitteln können.

- Bedeutsamkeit für SuS: Energiespeicherung, Ladungsspeicherung
- Zieltransparenz für SuS: Leistung gesucht
- Didaktische Reduktion: einfaches Zahlenmaterial, vereinfachte Schaltung
- Akzentuierung: Für die Sicherheit nötige Leistung

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Kondensator	Erläutern, experimentell untersuchen
LV: GTR-Mess-Interface	Beschreiben
TLZ: GTR-Mess-Interface	Anwenden
TLZ: Entladeversuch	Planen, Durchführen
TLZ: Spannungsverlauf, $I(t)$, $P(t)$	Beschreiben

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
7	<u>Einstieg:</u> Fahrrad, Standlicht	DE, Beschreiben	LSG
12	<u>Problemstellung:</u> Entladen	Leitfrage	LSG
22	<u>Problemanalyse:</u> Versuchsplanung, DE Plattenkondensator	TA, Material	MuG
42	<u>Lösung:</u> Messen, $C = 0,1 \text{ F}$	SE	GA
50	<u>Sicherung:</u> Graph	OHP, GTR, Reflexion, Rückkopplung zur Anwendung	SV
55	<u>Festigung:</u> AB	Rückkopplung zur Anwendung	HA

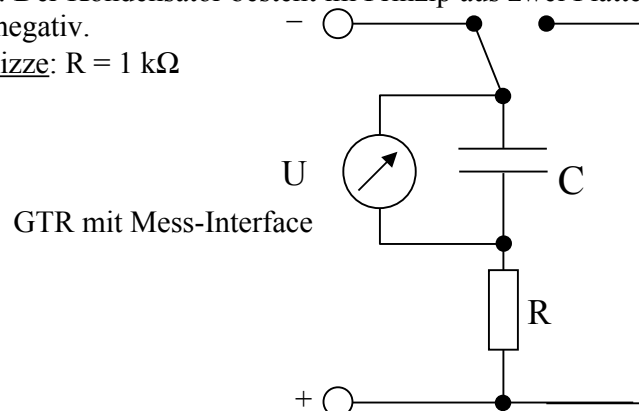
Geplanter TA

Gibt das Fahrradstandlicht nach 60 s noch 20 % der Lichtleistung ab?

Ideen: Entladung, Q wird kleiner, Speichergerät, näherungsweise ist der Wirkungsgrad 1

Information: Die Ladungen werden im Rücklicht in einem sogenannten Kondensator gespeichert. Der Kondensator besteht im Prinzip aus zwei Platten, eine wird positiv geladen, die andere negativ.

Versuchsskizze: $R = 1 \text{ k}\Omega$



Ergebnisse:

- Wird ein Kondensator entladen, so nimmt dessen Spannung kontinuierlich ab und wird praktisch null.
- Entsprechend nehmen die Stromstärke $I(t) = U(t)/R$ und die Leistung $P(t) = I(t) \cdot U(t)$ kontinuierlich ab und werden praktisch null.
- Hier sinkt die Leistung innerhalb von 60 s auf 30% der Anfangsleistung ab.

3 Magnetische Felder

Die SuS haben in der vorherigen UE gelernt, dass ruhende Ladungen elektrische Felder erzeugen. Nun behandeln sie, wie bewegte Ladungen magnetische Felder hervorrufen. Damit wird die Grundlage für die dritte Sequenz gelegt, in der die SuS erkennen, dass veränderliche Felder Induktionsspannungen hervorrufen. Dieser Zusammenhang stellt eine klare inhaltliche Progression in der UE dar.

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
<p>... beschreiben magnetische Felder durch ihre Wirkung auf Kompassnadeln.</p> <p>... ermitteln Richtung (Dreifingerregel) und Betrag der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im homogenen Magnetfeld.</p> <p>... berechnen die magnetische Flussdichte B (Feldstärke B) im Inneren einer mit Luft gefüllten, schlanken Spule.</p> <p>... nennen die Definition der magnetischen Flussdichte B (Feldstärke B) in Analogie zur elektrischen Feldstärke.</p>	<p>... ermitteln die Richtung von magnetischen Feldern mit Kompassnadeln.</p> <p>... erläutern ein Experiment zur Bestimmung von B mithilfe einer Stromwaage.</p> <p>... begründen die Definition von B mithilfe geeigneter Messdaten.</p> <p>... eA: planen mit vorgegebenen Komponenten ein Experiment zur Bestimmung von B auf der Grundlage einer Kraftmessung.</p> <p>... eA: führen ein Experiment zur Bestimmung von B durch und werten es aus.</p> <p>... eA: begründen die Definition von B mithilfe dieser Messdaten.</p>
<p>... beschreiben die Bewegung von freien Elektronen</p> <ul style="list-style-type: none"> - unter Einfluss der Lorentzkraft, - unter Einfluss der Kraft im homogenen elektrischen Querfeld, - eA: im Wien-Filter. 	<p>... begründen den prinzipiellen Verlauf der Bahnkurven.</p> <p>... leiten vorstrukturiert die Gleichung für die Bahnkurve im homogenen elektrischen Querfeld her.</p>
<p>... eA: beschreiben das physikalische Prinzip zur Bestimmung der spezifischen Ladung von Elektronen mithilfe des Fadenstrahlrohres.</p>	<p>... leiten dazu die Gleichung für die spezifische Ladung des Elektrons her und bestimmen die Elektronenmasse.</p>
<p>... erläutern die Entstehung der Hallspannung.</p>	<p>... führen Experimente zur Messung von B mit einer Hallsonde durch.</p> <p>... skizzieren Magnetfeldlinienbilder für einen geraden Leiter und eine Spule.</p> <p>... eA: leiten die Gleichung für die Hallspannung in Abhängigkeit von der Driftgeschwindigkeit anhand einer geeigneten Skizze her.</p>

Tabelle 3: KC zur Unterrichtssequenz Magnetisches Feld.

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Untersuchung der Tragkraft eines stromdurchflossenen Leiters im Magnetfeld	Die SuS sollen einen Modellversuch entwickeln und die Proportionalitäten der magnetischen Kraft zur Stromstärke und zur Leiterlänge experimentell begründen können.
2	Bestimmung der Kraft auf eine im Magnetfeld bewegte Ladung am Beispiel Sonnenwind	Die SuS sollen die magnetische Kraft auf eine bewegte Ladung berechnen können.
3	Erklärung der Teilchenbewegung bei Polarlichtern	Die SuS können die Teilchenbewegung bei Polarlichtern durch Kreis- und Schraubenspiralen erklären und im Modellversuch nachbilden.
4	Bestimmung der spezifischen Ladung e/m	Die SuS sollen die spezifische Ladung experimentell bestimmen können.
5	Analyse des Wien-Filters	Die SuS sollen Probleme mit Hilfe von Kräftegleichgewichten lösen können.
6	Analyse des Hall-Sensors	Die SuS sollen den Sensor analysieren und anwenden können.
7	Untersuchung von Spulen	Die SuS sollen ihre Entdeckung der magnetischen Feldkonstanten erläutern können.

Tabelle 4: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz Magnetische Felder.

Für die grundlegenden Stunden dieser Sequenz präsentiere ich im Folgenden Kurzentwürfe.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Magnetisches Feld und B

Grundversuche zum Magnetismus

Untersuchung der Tragkraft eines stromdurchflossenen Leiters im Magnetfeld

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen einen Modellversuch entwickeln und die Proportionalitäten der magnetischen Kraft zur Stromstärke und zur Leiterlänge experimentell begründen können.

- Bedeutsamkeit für SuS: Magnetische Kraft und Flussdichte
- Zieltransparenz für SuS: Modellversuch und funktionale Abhängigkeit gesucht
- Akzentuierung: Magnetschwebbahn

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Magnetfeld zwischen Polschuhen	Beschreiben
LV: Waage	Erläutern, Anwenden
LV: Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld	Erläutern
LV: elektrische Feldstärke, Gravitationsfeldstärke	Erläutern, Anwenden
TLZ: Stromwaage	Erläutern, Anwenden
TLZ: $F \sim I$ und $F \sim L$	Experimentelles Begründen
TLZ: $F \sim I \cdot L$	Begründen
Teillernziel: $F = B \cdot I \cdot L$	Begründen
Teillernziel: $B = F/(I \cdot L)$; $1 \text{ T} = 1 \text{ N}/(\text{A} \cdot \text{m})$	Begründen, Erläutern, Anwenden

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
7	<u>Hinführung:</u> Magnetschwebbahn	Funktionsweise erklären, Folie	LSG
12	<u>Problemstellung:</u> Tragkraft	DE, Leitfrage entwickeln.	LSG
25	<u>Analyse:</u> Versuch	Vermuten, planen	LSG
50	<u>Lösung:</u> Durchführung, Auswerten	DE, AB, themendifferenziert	GA
60	<u>Sicherung:</u> s.u.	SV, Reflexion, Rückkopplung	OHP
65	<u>Festigung:</u> S. 233 Nr. 1-4, AB2	HA	EA

Geplanter TA

Wie hängt die magnetische Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter von der Länge und der Stromstärke ab?

Vermutungen: $F \sim I$; $F \sim L$, $F \sim I \cdot L$

Ergebnis: Bei der Stromwaage ist die magnetische Kraft F proportional zur Stromstärke I und Länge L der Stromwaage.

Deutung und Bezeichnung:

Der Proportionalitätsfaktor $F/(I \cdot L)$ beschreibt die Stärke des magnetischen Feldes am Ort der Stromwaage. Er wird im Englischen meist magnetic field B genannt. Kurz $B = F/(I \cdot L)$. Im SI-System gilt die ältere Bezeichnung magnetische Flussdichte B . Im Lehrbuch und im Kerncurriculum wird auch die Bezeichnung „Magnetische Feldstärke“ verwendet.

Die Einheit ist 1 Tesla (T). $1 \text{ T} = 1 \text{ N}/(\text{A} \cdot \text{m})$



Werten Sie die folgenden Messwerte zur Stromwaage aus!

Leiterschleife mit $L = 50\text{mm}$

I in A	0	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
F in mN	346,7	348,9	351,7	357,4	363,1	368,3	374,3	380	384,6	390,4

Leiterschleife mit $L = 25\text{mm}$

I in A	0	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
F in mN	313,2	314	315	317,9	320,5	324,5	327,1	330,3	331,8	335

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtssequenz: Magnetisches Feld

Untersuchung der Tragkraft eines stromdurchflossenen Leiters im Magnetfeld

Bestimmung der Kraft auf eine im Magnetfeld bewegte Ladung am Beisp. Sonnenwind

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen die magnetische Kraft auf eine bewegte Ladung berechnen können.

- Bedeutsamkeit für SuS: Lebenswichtiger Schutz durch Erdmagnetfeld
- Zieltransparenz für SuS: Berechnung der Kraft und Vergleich mit HA
- Didaktische Reduktion: Homogenes Feld, zylindrische Wolke
- Akzentuierung: Analogie: Schnelle zylindrische Ladungswolke - Strom im Leiter ermöglicht Anwendung von $F=B \cdot I \cdot L$

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu	AFB
LV: Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld, $F = I \cdot L \cdot B$	Berechnen	1
LV: Elementarladung, Protonenmasse	Anwenden	1
LV: Bremskraft auf Plasmawolke	Berechnen	2
TLZ: Analogie s.o.	Entwickeln	3
TLZ: Kraft auf Wolke	Berechnen	2

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

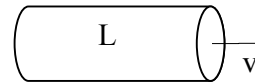
Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Besprechung HA	SV, HA-Folie	SV
8	<u>Problemstellung:</u> Sonnenwind mit Erdmagnetfeld	OHP, Leitfrage entwickeln.	LSG
16	<u>Analyse:</u> Ideen, s.u.	Analogie entwickeln	MuG
35	<u>Lösung:</u> F	Berechnen, binnendiff. Herleitung	GA
40	<u>Sicherung:</u> s.u.	SV, Reflexion, Rückkopplung	OHP
45	<u>Festigung:</u> S. 235 Nr. 2-3	HA/EA, Reserve	EA

Geplanter TA

Übt das Erdmagnetfeld eine wesentliche abschirmende Kraft auf die Sonnenwindwolke aus?

Ideen: $B = 50 \mu\text{T}$; $F > 64 \text{ kN}$? $F = I \cdot L \cdot B$; $m_{\text{Proton}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Der bewegten Wolke entspricht eine Ladung und eine Stromstärke I der Protonen, sowie eine Länge L .



Ergebnisse:

- Das Erdmagnetfeld übt auf diese Sonnenwindwolke eine Kraft von 40 GN aus. Das genügt für eine wesentliche Abschirmung.
- Ein Magnetfeld mit einer Flussdichte B übt auf eine Ladung q mit einer Geschwindigkeit v senkrecht zu B die Kraft $F = q \cdot v \cdot B$ aus.

Bezeichnung: Diese Kraft heißt Lorentz-Kraft.

Geplante Schülerfolie

$$\text{Protonenzahl } N = m_{\text{Wolke}} / m_{\text{Proton}} = 10 \text{ kg} / 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 6 \cdot 10^{27}$$

$$Q = N \cdot e = 10^9 \text{ C}$$

$$\text{Zeit für die Strecke } L: v = L/t \rightarrow t = L/v = 40000 \text{ km} / 800 \text{ (km/s)} = 50 \text{ s}$$

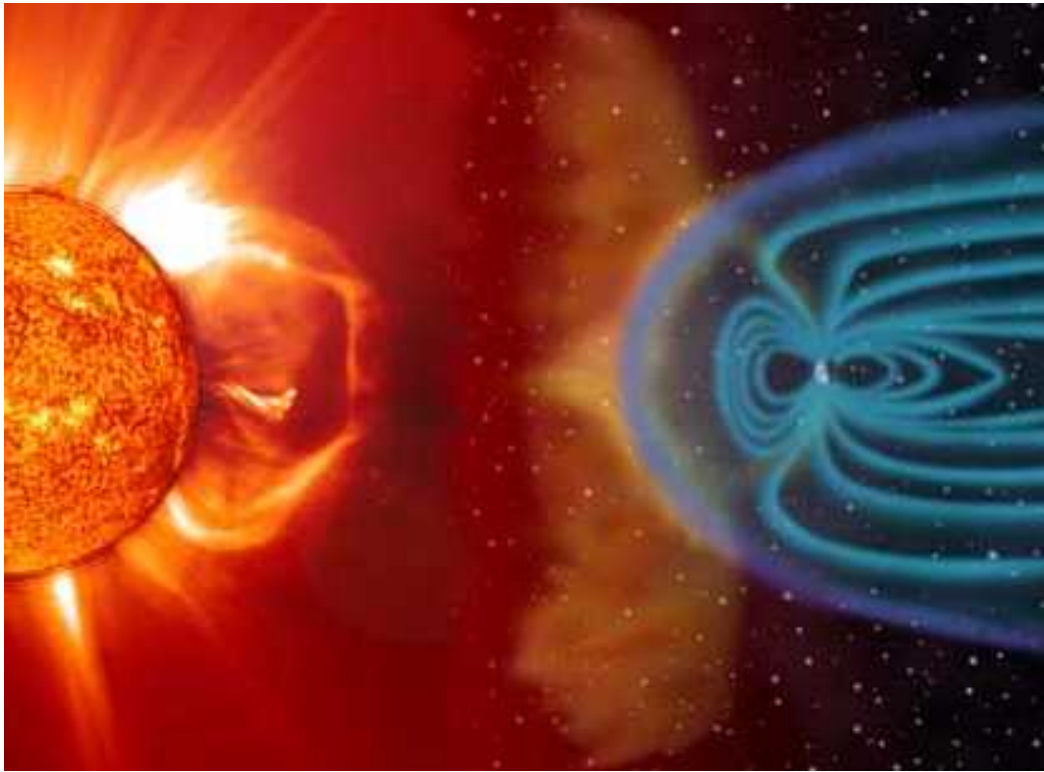
$$I = Q/t = 10^9 \text{ C} / 50 \text{ s} = 1000 \text{ MC} / 50 \text{ s} = 20 \text{ MA}$$

$$F = I \cdot L \cdot B = 20 \text{ MA} \cdot 40000 \text{ km} \cdot 50 \mu\text{T} = 4 \cdot 10^{10} \text{ N} = 40 \text{ GN}$$

$$\text{Binnendifferenzierte Zusatzlösung: } F = B \cdot L \cdot I = B \cdot L \cdot Q/t = B \cdot (L \cdot 1/t) \cdot Q = B \cdot v \cdot Q$$

$$\text{Lösung zur vorbereitenden HA: } s = 0,5 \cdot a \cdot t^2 = 0,5 \cdot a \cdot (v/a)^2 = 0,5 \cdot v^2/a$$

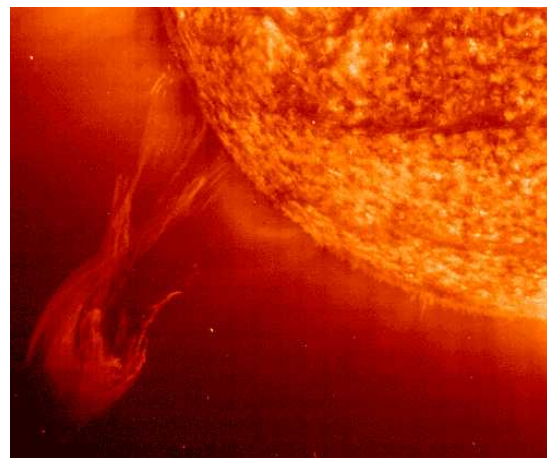
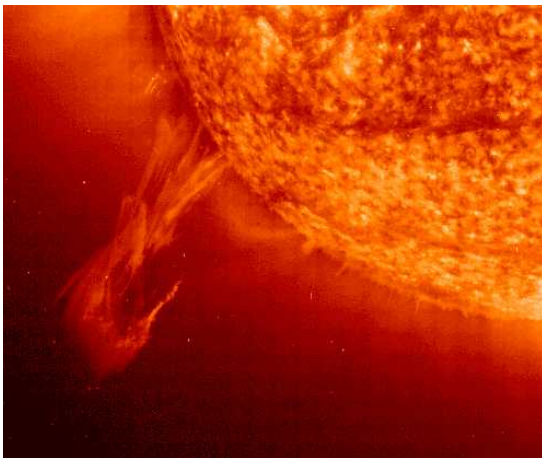
$$\rightarrow a = 0,5 \cdot v^2/s \rightarrow F = m \cdot a = 0,5 m \cdot v^2/s = 64 \text{ kN}$$



Einstiegsfolie

Aufgabenblatt, PH11 erhöhtes Niveau, Dr. Carmesin

2010



Eine zylindrische Plasmawolke besteht hauptsächlich aus Protonen. Die Wolke hat den Radius 5000 km, die Länge 40000 km sowie die Masse 10 kg und rast mit der Geschwindigkeit 800 km/s auf die Erde zu. Dabei ist die Zylinderachse parallel zur Geschwindigkeit. Bestimmen Sie die Kraft, welche diese Wolke auf einer Strecke von 50 000 km gerade anhalten kann.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Magnetisches Feld und B

Untersuchung der Tragkraft eines stromdurchflossenen Leiters im Magnetfeld

Bestimmung der Kraft auf eine im Magnetfeld bewegte Ladung am Beispiel Sonnenwind

Erklärung der Teilchenbewegung bei Polarlichtern

Didaktik: Stundenlernziel: Die SuS können die Teilchenbewegung bei Polarlichtern durch Kreis- und Schraubenbahnen erklären und im Modellversuch nachbilden.

- Bedeutsamkeit für SuS: Geringer Schutz durch polnahes Erdmagnetfeld
- Zieltransparenz für SuS: Erklärung durch Lorentzkraft
- Didaktische Reduktion: Homogenes stationäres Feld, ein Elektron
- Akzentuierung: Bahn eines Elektrons im homogenen Magnetfeld

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Lorentzkraft	Erläutern, zeichnen, berechnen
LV: Magnetfeld der Erde	Beschreiben, skizzieren
TLZ: Sonnenwind	Erläutern
TLZ: Kreisförmige Flugbahn	Erläutern, zeichnen, begründen, experimentell darstellen
TLZ: Schraubenförmige Flugbahn	Erläutern, zeichnen, begründen, experimentell darstellen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
8	<u>Hinführung:</u> Polarlichter	Einstiegsfolie	LSG
14	<u>Problemstellung:</u>	Leitfrage entwickeln.	LSG
30	<u>Analyse:</u> Ideen		
50	<u>Lösung:</u> DE, Begründung	Themen- & binnendifferenziert	GA
65	<u>Sicherung:</u> s.u.	SV, Reflexion	OHP
90	<u>Festigung:</u> Berechnung der Bahnradien; $B=50 \mu\text{T}$; $v=800 \text{ km/s}$	Proton, Elektron	PA, SV

Geplanter TA, teils auf Schülerfolie

Wie entstehen Polarlichter?

Ideen:

Sonnenwind, e, p, Magnetfeld der Erde, Ablenkung, Lorentzkraft, Kreisbahn, Schraubenbahn

Ergebnis 1:

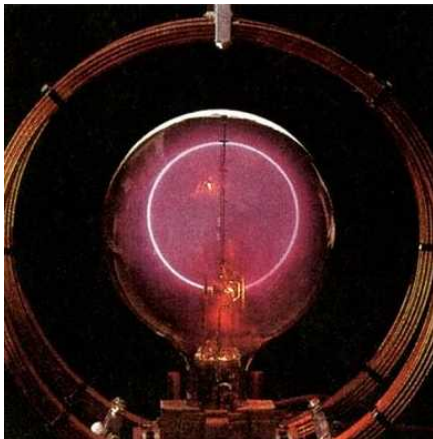
Fliegt ein Elektron in ein homogenes Magnetfeld mit $v \perp B$, so beschreibt es eine Kreisbahn.

Begründungen 1:

1. Modellversuch mit Skizze und Beobachtung der Kreisbahn
2. Erklärung der Kreisbahn:
 - Wegen $F \perp v$ ist $|v|$ konstant.
 - Also ist F konstant.
 - Daher ist die Bahnkrümmung konstant.
 - Somit entsteht eine Kreisbahn.

Ergebnis 2: Hat die Geschwindigkeit auch eine Komponente parallel zur Feldlinie, so führt das zu einer Schraubenbahn um die Feldlinie. Daher gelangen die elektrisch geladenen Teilchen des Sonnenwindes zu den Polen der Erde. Dort treffen sie auf die Atmosphäre. Dabei entsteht Licht.

Begründungen 2: analog zu Begründungen 1



Kreisbahn im Fadenstrahlrohr



Schraubenbahn im Fadenstrahlrohr

4 Induktion

Diese Sequenz baut auf den anderen beiden Sequenzen auf. Die SuS entdecken auf dieser Grundlage weitgehend selbstständig elektrische Schwingungen. Auch können sie in der folgenden UE Wellenlehre mit diesen Kenntnissen die elektromagnetischen Wellen zumindest qualitativ verstehen¹.

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
... beschreiben die Erzeugung einer Induktionsspannung qualitativ.	... führen einfache qualitative Experimente zur Erzeugung einer Induktionsspannung durch.
... gA: nennen den Zusammenhang zwischen Induktionsspannung und einer linearen zeitlichen Änderung von B. ... eA: wenden das Induktionsgesetz in differenzieller Form auf lineare und sinusförmige Verläufe von Φ an.	... werten geeignete Versuche bzw. Diagramme zur Überprüfung des Induktionsgesetzes aus - gA: für den Fall linearer Änderungen von B - eA: generell ... eA: begründen den Verlauf von t-U-Diagrammen für lineare und sinusförmige Änderungen von B oder A. ... eA: stellen technische Bezüge hinsichtlich der Erzeugung von Wechselspannung dar.

Tabelle 5: KC zur Unterrichtssequenz Induktion.

¹Dazu wird lediglich die Erzeugung magnetischer Felder durch elektrische Flussänderungen in Analogie zum Induktionsgesetz behandelt.

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Modellierung des Generatorprinzips mit der Leiterschaukel	Die SuS sollen das Generatorprinzip mit Hilfe der Leiterschaukel modellieren und analysieren können.
2	Entdeckung der Induktion durch Flächenänderung	Die SuS sollen das Prinzip der Induktion durch Flächenänderung erläutern und anwenden können.
3	Untersuchung eines Generators	Die SuS sollen einen Generator experimentell und analytisch untersuchen können.
4	Entdecken der Induktion durch Feldänderung	Die SuS sollen das Prinzip der Induktion durch Magnetfeldänderungen sowie das Induktionsgesetz erläutern und anwenden können.
5	Analyse von Transformatoren	Die SuS sollen das Transformatorgesetz erläutern und anwenden können.
6	Analyse des dynamischen Mikrofons	Die SuS das dynamische Mikrofon erläutern können.
7	Analyse des Thomsonschen Ringversuchs	Die SuS sollen ihre Entdeckung der Lenzschen Regel am Thomsonschen Ringversuch erläutern können.
8	Entdeckung des elektrischen Schwingkreises	Die SuS sollen den Schwingkreis sowie die Induktivität erläutern und analysieren können.

Tabelle 6: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz Induktion.

Für die grundlegenden Stunden der Sequenz präsentiere ich im Folgenden Kurzentwürfe. dabei habe ich darauf geachtet, dass die SuS das Induktionsgesetz nicht nur anwenden, sondern auch zumindest qualitativ auch entdecken können.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 11

Thema der Unterrichtseinheit: Induktion

Modellierung des Generatorprinzips mit der Leiterschaukel

Didaktik: Stundenlernziel: Die SuS sollen das Generatorprinzip anhand der Leiterschaukel erläutern und analysieren können.

- Bedeutsamkeit für SuS: Energiegewinnung
- Zieltransparenz für SuS: Prinzip und Modellversuch gesucht
- Didaktische Reduktion: Leiterstück, Pendel
- Akzentuierung: Vom Generator zum Prinzip

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Lorentzkraft	Erläutern, Berechnen
LV: Elektrische Kraft	Erläutern, Berechnen
LV: Lageenergie	Erläutern, Berechnen
LV: Bewegungsenergie	Erläutern, Berechnen
TLZ: Induktion bei der Leiterschaukel	Beschreiben, Erläutern
TLZ: Kräftegleichgewicht	Begründen, Berechnen
TLZ: Maximalgeschwindigkeit	Berechnen
TLZ: Spannung	Messen, Herleiten, Berechnen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
9	<u>Hinführung:</u> Generator, Folie	Beschreiben	LSG
12	<u>Problemstellung:</u>	Leitfrage entwickeln.	LSG
20	<u>Analyse 1:</u> Lorentzkraft bewegt die Elektronen im Stromkreis	Ideen, Folgerungen, anhand Folie	MuG/LSG
30	<u>Analyse 2:</u> Kräftegleichgewicht, Versuchsplanung	Ideen, Planen, Modellversuchsmaterial	MuG/LSG
60	<u>Lösung:</u> U	DE, Auswerten, themendifferenziert	GA
70	<u>Sicherung:</u>	SV, Reflexion, Rückkopplung	OHP
90	<u>Festigung:</u> AB	Auch HA	EA, SV

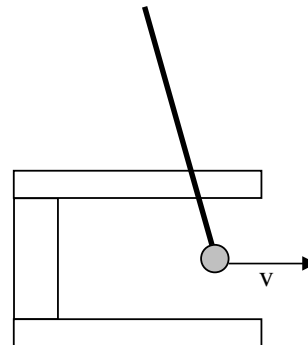
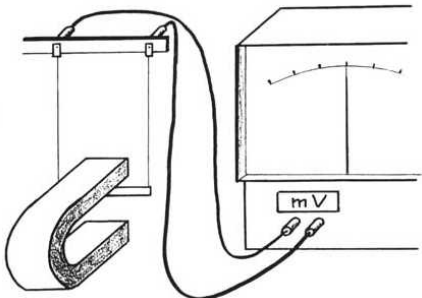
Geplanter TA

Wie erzeugt der Generator Spannung?

Ideen: Bewegung, Elektronenbewegung, Magnet, Kraft, Lorentzkraft,

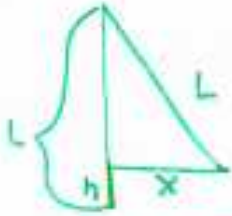
Ergebnis 1: Im Generator werden Elektronen relativ zu einem Magnetfeld bewegt. Dabei wirkt eine Lorentzkraft auf die Elektronen. Diese bewegt die Elektronen im Stromkreis.

Ideen zur Spannungserzeugung: elektrische Kraft, Lorentzkraft, Gleichgewicht, analog Hall-Spannung



Ergebnis 2: Die elektrische Kraft und die Lorentzkraft bilden ein Kräftegleichgewicht. Dabei entsteht eine Spannung. Hier ist $U_{\text{gemessen}} = 0,06 \text{ mV}$ und $U_{\text{berechnet}} = 0,055 \text{ mV}$.

Schülerfolie



$$h = L - \sqrt{L^2 - x^2}$$

$$h = 0,36 \text{ m} - \sqrt{(0,36 \text{ m})^2 - (0,02 \text{ m})^2} = 5,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$E_H = E_{kin}$$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \quad | : m \cdot 2$$

$$2gh = v^2 \quad | \sqrt{\quad}$$

$$\sqrt{2gh} = v$$

$$F_L = F_{el}$$

$$B \cdot v \cdot Q = \frac{U}{b} Q \quad | : Q \cdot b$$

$$B \cdot b \cdot \sqrt{2gh} = U$$

$B = 5,3 \text{ mT}$; $b = 0,1 \text{ m}$; $U = 0,055 \text{ mV}$

Einstiegsfolie



Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 11

Thema der Unterrichtseinheit: Induktion

...

Untersuchung eines Generators

Didaktik: Stundenlernziel: Die SuS sollen einen Generator experimentell und analytisch untersuchen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Induktion in der Leiterschaukel durch $A(t)$ '	Erläutern, Berechnen
LV: Induktion in der Leiterschaukel durch F_L	Erläutern, Berechnen
TLZ: Bestimmung der Kreisfrequenz	Erläutern, Berechnen
TLZ: $U_i(t)$	Beschreiben, Messen
TLZ: Herleitung von U_i aus F_L	Herleiten, Berechnen
TLZ: Herleitung von U_i aus $A(t)$ '	„

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
7	<u>Hinführung:</u> Zeigen des DE	Beschreiben	LSG
12	<u>Problemerkfassung</u>	Leitfrage	LSG
25	<u>Analyse</u>	Lösungsideen	LSG
55	<u>Lösung:</u> Oszilloskop, $U(t)$, Herleiten	Themen- & binnendifferenziert	GA
65	<u>Sicherung:</u>	SV, Reflexion, Rückkopplung	OHP
90	<u>Festigung:</u> AB	Auch HA	EA

Geplanter TA

Wie verläuft die induzierte Spannung?

Ideen: Periodisch, Spannungsperiodendauer gleich Umdrehungsdauer, $U = n \cdot B \cdot A(t)$
 A ist die durch die vom Feld durchdrungene Fläche. $A(t) = A_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$

Versuchsskizze: ...

Messwerte: Länge $L = 7,5$ cm; Breite $b = 6$ cm;
 Umdrehungsdauer $T = 0,144$ s; $B = 1,87$ mT; $n = 4000$; $U_{\max} = 1,5$ V; Spannungsperiodendauer = $0,145$ s

Ergebnisse: Wird die Spule mit einer Fläche A und einer Windungszahl n in einem Magnetfeld mit einer Flussdichte B mit einer Umdrehungsdauer T gedreht, so ist die induzierte Spannung $U_i(t) = -n \cdot B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)$ mit $\omega = 2\pi/T$.



Schülerfolie:

$$A(t) = A_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

$$A'(t) = -A_m \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) \cdot \frac{2\pi}{T}$$

$$U(t) = B \cdot n \cdot A'(t) = -A_m \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot B \cdot n$$

$$\omega = 2\pi/T = 43,6 \text{ Hz};$$

$$U_{\max} = 1,47 \text{ V}$$

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 11

Thema der Unterrichtseinheit: Induktion

...

Entdecken der Induktion durch Feldänderung**Didaktik:** Stundenlernziel: Die SuS sollen das Prinzip der Induktion durch

Magnetfeldänderungen sowie das Induktionsgesetz erläutern und anwenden können.

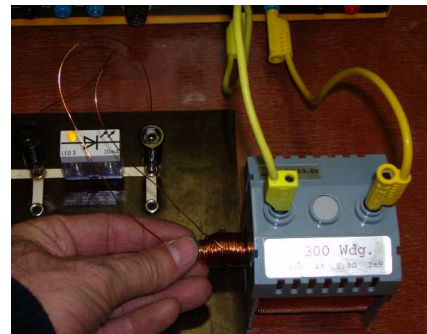
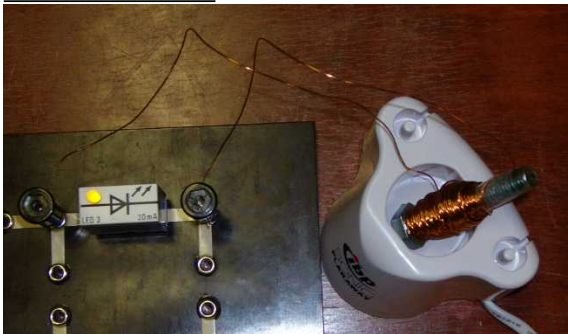
- Bedeutsamkeit für SuS: Energieübertragung
- Zieltransparenz für SuS: Prinzip gesucht
- Didaktische Reduktion: Modellversuch

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Induktion durch Flächenänderung	Erläutern, Berechnen
LV: Spule	Erläutern
TLZ: Induktion bei Magnetfeldänderung	Beschreiben, Erläutern, Begründen
TLZ: $U = n \cdot A \cdot B(t)'$	Erläutern, Anwenden

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Elektrische Zahnbürste	DE	LSG
10	<u>Problemstellung:</u>	Entwickeln der Leitfrage	LSG/SSG
15	<u>Analyse:</u> B'	Entwickeln von Ideen	MuG/LSG
30	<u>Lösung:</u> Kontrollversuche	SV, planen, durchführen, themendifferenziert	GA
40	<u>Sicherung:</u> Reflexion, Rückkopplung	SV, OHP	SV
45	<u>Festigung:</u> Berechnung von B' , AB	Üben, auch HA	EA

Geplanter TA

Wie kommt die Energie in die elektrische Zahnbürste?Ideen: Kein elektrischer Kontakt, Induktion, keine Bewegung, $B(t)'$ Kontrollversuche:Ergebnis 1: Die elektrische Zahnbürste enthält eine Spule. Diese wird in ein wechselndes Magnetfeld gestellt. Dadurch entsteht in der Spule eine Induktionsspannung.Ergebnis 2: Eine Magnetfeldänderung induziert in einer Spule eine Spannung.Information: Tritt in einer Spule mit einer Fläche A und einer Windungszahl n eine Magnetfeldänderung $B(t)'$ auf, so wird die Spannung $U_i = n \cdot A \cdot B(t)'$ induziert.Induktionsgesetz: In einer Spule mit einer Fläche A und einer Windungszahl n ist die induzierte Spannung $U_i = n \cdot A(t) \cdot B(t)' + n \cdot A(t)' \cdot B(t) = n \cdot [A(t) \cdot B(t)]' = n \cdot \phi(t)'$.Dabei bezeichnet $\phi = A \cdot B$ den magnetischen Fluss.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 11

Thema der Unterrichtseinheit: Induktion

...

Analyse von Transformatoren

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen das Transformatorgesetz erläutern und anwenden können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Induktionsgesetz	Erläutern, Anwenden
LV: Energietransfer im Transformator	Erläutern
TLZ: Funktionsweise des Transformators	Erklären
TLZ: Transformatorgesetz	Experimentelles Begründen, Anwenden
TLZ: Stromstärkeregel	Begründen, Anwenden

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Elektroschweißen, Hochstromtransformator	Beschreiben	LSG
10	<u>Problemstellung:</u> Schmelzen	Entwickeln der Leitfrage	LSG/SSG
20	<u>Analyse:</u> I, U, P	Ideen, Kontrollversuch planen	MuG/LSG
35	<u>Lösung:</u> Kontrollversuch, I ₂	SE, I ₂ berechnen, themendifferenziert	GA
40	<u>Sicherung:</u> Reflexion, Anwendung	OHP	SV
45	<u>Festigung:</u> AB, Hochspannungstrafo	Üben, auch HA	EA

Geplanter TA

Kann man mit dem Transformator den Eisennagel schmelzen?

Benötigte Stromstärke: I₂ = 500 A;

Stromstärke in der Primärspule: I₁ = 6,5 A

Windungszahlen: n₁ = 500; n₂ = 5;

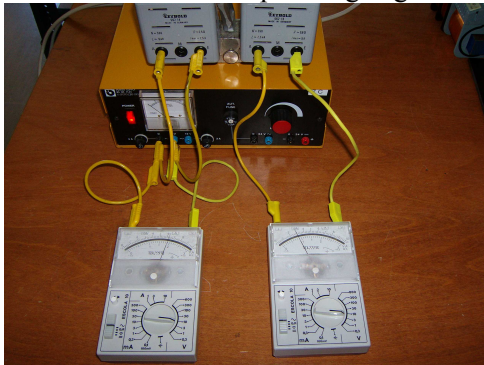
U₁ = 220 V

Ideen: Funktionsweise; P₁ = P₂;

U₁/U₂ = n₁/n₂; P = I·U

Ergebnis 1: Wechselstrom in der Primärspule führt zu B(t)' und U_i in der Sekundärspule.

Kontrollversuch zur Spannungsregel:



Ergebnisse: Beim Transformator gilt: U₁/U₂ = n₁/n₂. I₂ = I₁ · n₁/n₂ = 650 A. Der Nagel schmilzt.

Aufgabenblatt, Physik erhöhtes Niveau, Dr. Carmesin

2010

Hochspannungstransformator

Benötigte Spannung: U₂ = 5000 V;

Spannung in der Primärspule: U₁ = 220 V

Windungszahlen: n₁ = 500; n₂ = 23000;

U₁ = 220 V; I₁ = 6,5 A

- 1) Erzeugt der Transformator einen Lichtbogen?
- 2) Wie groß ist dann die Stromstärke im Lichtbogen?

5 Aufgaben

1. Analysieren Sie die vorgeschlagene Stunden zur *Entdeckung der Proportionalität von Kraft und Ladung* bezüglich der Anforderungsbereiche.
2. Analysieren Sie mögliche Lernschwierigkeiten zu der Stunde zur *Messung zur Entladung eines Kondensators beim Fahrradstandlicht* und schlagen Sie Lernhilfen vor.
3. Skizzieren Sie eine Konzeptkarte, welche die SuS am Ende der UE entwerfen können sollten.
4. Analysieren Sie, welche Flugbahnen in der UE behandelt werden.
5. Analysieren Sie, welche Feldlinienmuster in der UE behandelt werden.
6. Analysieren Sie, welche Analogien zwischen den gravitativen, elektrischen und magnetischen Feldern bestehen und behandelt werden.
7. Analysieren Sie, inwieweit die Ergebnisse der fünf Stunden zum Kondensator transferierbar sind.

6 Zusammenfassung

Diese UE bietet eine Fülle spannender lebensweltlicher Anknüpfungspunkte. Auch gibt es viele aussagekräftige, anschauliche und interessante Experimente, die leicht als Schülerversuch durchführbar sind. So gesehen könnte die UE leicht auf viele weitere Kontexte ausgedehnt werden, welche die SuS durchaus interessieren würden. Doch aufgrund des begrenzten Zeitrahmens können Sie nur mit einer kleinen Auswahl exemplarischer Beispiele arbeiten. Dabei wird der Lernprozess sogar besonders effizient, wenn die SuS an einem Kontext viele Entdeckungen machen können. Beispiele hierfür sind der elektrische Filter, das EKG, das Oszilloskop, der Kondensator, der Sonnenwind mit den Polarlichtern, der Generator und der Transformator.

Nach meiner Erfahrung kann man diese UE durch die vielen gehaltvollen und experimentell sehr deutlich darstellbaren physikalischen Zusammenhänge für die SuS besonders lebendig gestalten. Ich wünsche Ihnen mit Ihren SuS eine spannende Erkundung lebensweltlicher elektromagnetischer Phänomene und Zusammenhänge.

Literatur

[Beime u. a. 2012] BEIME, Christa ; HOPPE, Petra ; HUMMES, Klaus-Peter ; VÖPEL, Karl-Heinz ; VOSS, Christine ; ZEMANN, Winfried: *Kerncurriculum für die Integrierte Gesamtschule, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2012

[Bengelsdorff u. a. 2015] BENGELSDORFF, Sven ; CARMESIN, Hans-Otto ; KAHLE, Jens ; KONRAD, Ulf ; TRUMME, Torsten ; WENSCHKEWITZ, Gerhard ; WITTE, Lutz: *Universum Physik Chemie 5/6*. Bd. 1. Berlin : Cornelsen, 2015

-
- [Brüning u. a. 2010] BRÜNING, Thomas ; DÖTZER, Susanne ; ELSASSER, Wolfgang ; HEIKE, Christina ; JÜTTNER, Horst ; MICHALSKI, Regina ; MOORKAMP, Michael ; SUTTMAYER, Beate: *Rahmenrichtlinien für das Fach Naturwissenschaft in der Klasse 12 der Fachoberschule, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2010
- [Carmesin 2010a] CARMESIN, Hans-Otto: Entdeckung von Dipolfeldern mithilfe des EKGs. In: *Casio Europe GmbH: Casio forum 1/2010* (2010)
- [Carmesin 2010b] CARMESIN, Hans-Otto: Entdeckung von Dipolfeldern mithilfe des EKGs in der 11. Klassenstufe des Gymnasiums. In: *PhyDid B Internetzeitschrift* ISSN 2191-379X (2010), S. 1–5
- [Carmesin u. a. 2020] CARMESIN, Hans-Otto ; EMSE, Anneke ; PIEHLER, M. ; PRÖHL, Inka K. ; SALZMANN, Wiebke ; WITTE, Lutz: *Universum Physik Sekundarstufe II Niedersachsen Qualifikationsphase*. Berlin : Cornelsen Verlag, 2020
- [Carmesin u. a. 2015a] CARMESIN, Hans-Otto ; KAHLE, Jens ; KONRAD, Ulf ; PRÖHL, Inka ; TRUMME, Torsten ; WITTE, Lutz ; HAGEDORN, Andreas: *Universum Physik 9/10*. Berlin : Cornelsen, 2015
- [Carmesin u. a. 2015b] CARMESIN, Hans-Otto ; KAHLE, Jens ; KONRAD, Ulf ; TRUMME, Torsten ; WITTE, Lutz ; HAGEDORN, Andreas: *Universum Physik 7 und 8*. Berlin : Cornelsen, 2015
- [Demtröder 2008a] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 2*. Bd. 2. Berlin : Springer, 2008
- [Demtröder 2008b] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 4*. Bd. 4. Berlin : Springer, 2008
- [Frenzel 2017] FRENZEL, Michael u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule - gymnasiale Oberstufe, das Fachgymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg, Physik, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2017
- [Gehmann 2015] GEHMANN, Kurt u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2015
- [UniversityColorado 2009] UNIVERSITYCOLORADO: *Interactive Simulations*. University of Colorado at Boulder, Download 2009. [http://www.phet,colorado.edu](http://www.phet.colorado.edu). Version: 2009