

Lehrprobe im Fach Physik

Thema der Unterrichtseinheit: Felder

Thema der Unterrichtsstunde: Elektrisches Feld der Erde und Gewitter

Name: Jens Bernheiden
Schule: A. v. Humboldt – Gymnasium
Schulleiter:
Seminarleiterin:
Studienleiter:
Mentor:
Klasse: 12 GK
Stunde:
Datum:

1. Bemerkungen zur Lerngruppe: Anthropogene und soziokulturelle Voraussetzungen

2. Sachanalyse

In der Qualifikationsphase werden entsprechend den Rahmenrichtlinien die Kurse Mechanik, Felder, Modelle und Additum – Anwendung, Vertiefung, Wiederholung und Systematisierung unterrichtet.

Der erste Kurs ist abgeschlossen. Im Kurs Felder wurden bereits die wichtigsten Grundgrößen der Elektrizitätslehre wiederholend behandelt. Die elektrische Ladung und ihr Nachweis, der elektrische Strom und das elektrische Feld mit seiner Darstellung mittels Feldlinien standen im Vordergrund der Betrachtungen. Außerdem wurden die Phänomene Influenz und Polarisation erläutert. In der letzten Doppelstunde wurden die elektrische Feldstärke und das Coulombsche Gesetz eingeführt.

Thema dieser beiden Stunden soll das elektrische Feld der Erde und die damit verbundene Naturerscheinung Gewitter sein. Ausgehend von der Frage, ob neben dem Gravitationsfeld und dem magnetischen Feld der Erde auch ein elektrisches Erdfeld existiert, soll die Gesamtladung der Erde mit dem Coulombschen Gesetz berechnet werden. Das Problem der unzureichenden Isolation durch die Luftschichten soll auf das Phänomen Gewitter und der damit verbundenen Aufladung der Erde durch die Blitze führen. Die Entstehung von Blitzen, die dabei noch unzureichend geklärte Frage der Ladungstrennung innerhalb einer Gewitterwolke, der Ablauf und der Einschlagpunkt eines Blitzes und der Blitzschutz sollen thematisiert werden.

In den folgenden Unterrichtsstunden sollen u.a. die Größen elektrische Arbeit, Potential und Spannung definiert, die Vorgänge beim Laden und Entladen eines Kondensators und die Speicherung der elektrischen Energie untersucht werden. Nach dem elektrischen Feld werden das Magnetfeld und das Gravitationsfeld behandelt. Eine Gegenüberstellung der Gemeinsamkeiten und Unterschiede der drei Felder soll den Abschluss des Kurses Felder bilden.

Charles Coulomb untersuchte im 18. Jahrhundert mit einer Drehwaage die Kraft zwischen ruhenden elektrischen Ladungen, also die elektrostatische Anziehung und Abstoßung. Die Ergebnisse seiner Experimente führten ihn zum sogenannten *Coulombschen Gesetz*:

Zwei Punktladungen q_1 und q_2 , die sich in einem Abstand r voneinander befinden, üben eine Kraft aufeinander aus. Sie wirkt entlang der Verbindungslinie zwischen q_1 und q_2 . Die Stärke der Kraft ist umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes der Ladungen und proportional zum Produkt der Ladungen. Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

Mathematisch lässt sich das Gesetz mit Hilfe der Vektorrechnung formulieren. Seien q_1 und q_2 zwei Punktladungen im

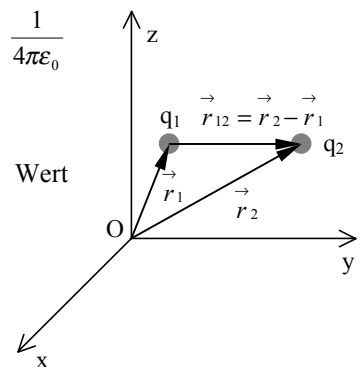
Abstand r_{12} . Die Kraft \vec{F}_{12} , die die Ladung q_1 auf die Ladung q_2 ausübt, ist dann
$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}.$$

$\frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}$ ist dabei der Einheitsvektor von q_1 in Richtung q_2 und der Proportionalitätsfaktor $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

hat den Wert $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$.

ϵ_0 wird als Dielektrizitätskonstante des Vakuums bezeichnet und hat den Wert

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{C}{Vm}.$$



Nach dem Newtonschen Wechselwirkungsgesetz ist die Kraft \vec{F}_{21} , die von q_2 auf q_1 ausgeübt wird, betragsmäßig gleich der Kraft \vec{F}_{12} , jedoch entgegengesetzt gerichtet.

Allgemein ist der Betrag der Kraft, die eine Ladung q_1 auf eine zweite Ladung q_2 im Abstand r ausübt, gegeben durch

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

Eine elektrische Ladung erzeugt ein elektrisches Feld im ganzen Raum. Dieses elektrische Feld übt die elektrostatische Kraft auf andere elektrisch geladene Körper aus.

Die *elektrische Feldstärke* \vec{E} in einem Feldpunkt ist der Quotient aus der Kraft \vec{F} , die auf positiv geladenen Probekörper in diesem Punkt wirkt, und seiner Ladung q_0 : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$.

Zu beachten ist hier, dass die Probeladung q_0 sehr klein sein muss, da das zu untersuchende elektrische Feld sonst beeinflusst wird.

Die auf eine Probeladung q_0 wirkende Kraft \vec{F} ist damit gegeben durch $\vec{F} = q_0 \cdot \vec{E}$.

Mit dem Coulombschen Gesetz ergibt sich, dass auf eine Probeladung q_0 im elektrischen Feld einer Punktladung q_1 eine

Kraft von $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_0}{r_{10}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{10}}{r_{10}}$ wirkt. Das elektrische Feld der Punktladung q_1 beträgt demnach im Punkt der

Probeladung q_0 : $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r_{10}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{10}}{r_{10}}$. Das resultierende elektrische Feld eines Systems von Punktladungen berechnet

sich mittels der Summation (i.a. mit Hilfe der Integralrechnung) der einzelnen Felder: $\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_i}{r_{i0}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{i0}}{r_{i0}}$.

Feldlinien liefern ein anschauliches Bild von einem elektrischen Feld. In jedem Punkt des Feldes liegt der Feldvektor \vec{E} tangential zu einer Feldlinie. Elektrische Feldlinien geben die Richtung der Kraft auf eine positive Probeladung an. Die Linien beginnen bei positiven Ladungen und enden bei negativen oder im Unendlichen. Um eine einzelne Punktladung sind die Feldlinien kugelsymmetrisch verteilt, man spricht von einem Radialfeld. Die Anzahl der Feldlinien, die von einer positiven Ladung ausgehen oder auf einer negativen enden, ist proportional zur Größe der Ladung. An jedem Punkt des Raumes ist die Dichte der Feldlinien proportional zur Stärke des Feldes an diesem Punkt. Feldlinien schneiden sich nicht.

Ein Feld heißt homogen, wenn die Feldstärke in allen Punkten des Feldes konstant ist, d.h. alle Feldlinien parallel verlaufen und die Dichte der Feldlinien überall gleich ist.

Die *Erde* mit ihrer Atmosphäre kann als großer Kondensator angesehen werden. Die Erdoberfläche trägt eine negative Gesamtladung von etwa -900000 C und die oberste Schicht der Atmosphäre eine gleich große positive Ladung, die Lufthülle bildet die isolierende Schicht. Die Spannung zwischen Ionosphäre und Erde beträgt etwa 300000 V und die Stärke des dadurch erzeugten elektrischen Feldes beträgt bei klarem Wetter im Mittel $130 \frac{V}{m}$. Allerdings sind die Schichten zwischen Erde und Ionosphäre, die Tropo- und Stratosphäre, nicht völlig isolierend. Es findet laufend ein Ladungsaustausch statt. Dieser stete Strom hat eine Stromdichte von etwa $2 \cdot 10^{-12} \frac{A}{m^2}$, was weltweit einen Gesamtstrom von zirka 2000 A ergibt. Dadurch würde innerhalb kurzer Zeit ein Ladungsausgleich erfolgen. Dies geschieht nicht, da die Erde immer wieder nachgeladen wird. Die Nachladung erfolgt durch die Gewittertätigkeit, genauer durch die Blitzentladungen, die wiederum negative Ladungen auf die Erde bringen. Die Nachladung ergibt sich aus etwa 16 Millionen Gewittern pro Jahr, das sind durchschnittlich 1800 Gewitter, bzw. 300000 Blitze, die stündlich weltweit auf die Erde niedergehen. Weitaus mehr Blitze gibt es innerhalb einer Gewitterwolke. Die Verteilung der Gewitter ist nicht gleichmäßig. Die meisten Gewitter gibt es in den Tropen, die Anzahl nimmt zu den Polgegenden hin stetig ab. Da aber Erde und Ionosphäre leitend sind, erfolgt ein weltweiter Ladungsausgleich, sowohl in der Erde als auch in der Ionosphäre sehr rasch.

Ein *Blitz* ist ein Entladungsvorgang, der innerhalb von Bruchteilen von Sekunden zwischen Gebieten sehr unterschiedlicher Ladung erfolgt. In Wolken, besonders in Cumulonimbuswolken mit starken Auf- und Abwinden, können solch stark geladene Bereiche auftreten. An der Oberseite der Wolke sammelt sich meist eine positive Ladung von bis zu 40 C, in der unteren Region eine etwa gleich große negative Ladung. Manchmal misst man auch eine zusätzliche positive Ladung von bis zu 10 C an Stellen der Unterseite der Wolke.

Wie die *Ladungstrennung* exakt vor sich geht, ist derzeit noch nicht genau geklärt. Es gibt im wesentlichen zwei Gruppen von Theorien: Induktive und Nichtinduktive Prozesse.

Beim induktiven Prozess induziert das außenliegende elektrische Feld der Erde in den großen Regentropfen oder Eisteilchen eine Ladungstrennung. Kleine Eiskristalle oder Wassertröpfchen werden mit Aufwinden nach oben getragen und stoßen von unten kommend mit den größeren Teilchen zusammen. Da der untere Bereich positiv geladen ist, wird durch den Kontakt eine positive Ladung auf die kleinen Teilchen übertragen, die diese dann weiter aufwärts transportieren. Die dann negativ geladenen großen Tropfen fallen aufgrund ihres größeren Gewichts nach unten. Diese Ladungstrennung verstärkt das außenliegende Feld, was wiederum eine stärkere Induktion in den größeren Teilchen bewirkt. Es ist sicher, dass dieser Prozess einen großen Beitrag zur Ladungstrennung in Wolken hat, allerdings ist er nur bei starken äußeren Feldern effizient. Es muss also einen Mechanismus geben, der eine Trennung ohne äußeres Feld startet. Bei einem nichtinduktiven Prozess kann eine Ladungstrennung auftreten, wenn Eiskristalle auseinanderbrechen. Beim Gefrieren eines Wassertropfens erstarrt zuerst die äußere Schicht. Dabei spalten sich die Wassermoleküle in positiv geladene Wasserstoff-Ionen und in negativ geladene Wasserstoff-Sauerstoff-Ionen auf, wobei die beweglicheren H^+ -Ionen an den Rand wandern, die langsameren OH^- -Ionen in der Mitte zurückbleiben. Gefriert auch der Kern des Tropfens, so dehnt er sich aus und sprengt die Schale. Dadurch entstehen kleinere, positiv geladene Teile aus der Schale und ein größerer, negativer Teil aus dem Kern. Ein weiter nichtinduktiver Prozess ist folgender. Stoßen zwei Eiskristalle zusammen, die verschiedene Temperatur aufweisen, so hat nach dem Stoß das wärmere Teilchen im allgemeinen eine negative Ladung, das kältere eine positive. Der Grund besteht wiederum in der unterschiedlichen Beweglichkeit von positiven und negativen Ladungen in einem Temperaturgefälle.

Die *Entladung* erfolgt in drei Phasen. Die erste sichtbare Phase ist der sogenannte *Stufenleitblitz*. Der Stufenleitblitz ist ein einige Zentimeter dicker geladener Strahl, der sich schrittweise eine Bahn zum Boden schafft, mit einer durchschnittlichen Schrittlänge von 50 m. Ein Kennzeichen des Stufenblitzes sind Verzweigungen, die auf die ungleichmäßige elektrische Umgebung zurückzuführen sind. Ist der Stufenleitblitz etwa 50 m vom Boden entfernt, wandert ein Blitzstrahl, der von einem hervorstehenden Punkt auf der Erdoberfläche ausgeht, der Spitze des Stufenleitblitzes entgegen (*Fangentladung*). Hierauf erfolgt die *Hauptentladung*, die sich aufwärts bewegt. Die Hauptentladung liefert die größte Energie und bewirkt auch den Donner. Nach kurzer Zeit erfolgt ein sogenannter Pfeilleitblitz von oben nach unten auf dem Weg der Hauptentladung, worauf eine zweite Hauptentladung folgt. Diese Abfolge von Pfeilleitblitz und Hauptentladung wiederholt sich im Durchschnitt drei bis viermal. Bei jeder Hauptentladung werden höhere oder weiter entfernte Ladungsgebiete der Wolken angezapft. Dies kann man sogar mit freiem Auge als Flimmern in der Wolke ersehen.

In einem Blitzkanal kann eine Temperatur bis zu 30000 °C herrschen. Diese Energie genügt, um Elektronen in Atomen in höhere Energiezustände zu versetzen. Der Rücksprung dieser Elektronen führt zur Aussendung von sichtbarem Licht. Das sichtbare Spektrum des Blitzstrahls besteht hauptsächlich aus Übergängen in Stickstoff- und Sauerstoffatomen.

Aufgrund der hohen Temperaturen wird das Gas im Blitzkanal erhitzt und ein akustisches Signal erzeugt. Da Blitzentladungen in Zick-Zack-Bahnen verlaufen, ergibt sich für den Beobachter eine Aufeinanderfolge von lauten und leisen Geräuschen, wobei Lautstärke und Abfolge je nach Position des Beobachters variieren.

3. Didaktische Rechtfertigung

Die Rahmenrichtlinien für die Gymnasiale Oberstufe des Landes Mecklenburg – Vorpommern verlangen innerhalb des Kurses Felder im Grundkurs der Orientierungsphase die Behandlung des elektrischen Feldes. Dabei sollen u.a. die Elektrische Ladung, die Elektrische Feldstärke, das Coulombsche Gesetz, Feldlinienbilder, Influenz und Polarisation thematisiert werden.

Alle diese physikalischen Größen, Gesetze und Phänomene können in Zusammenhang mit dem elektrischen Feld der Erde und der Gewittertätigkeit gebracht werden. Blitze sind den Schülerinnen und Schülern aus dem Alltag bekannt. Fragen wie „Warum schlägt der Blitz gerade in erhöhten Stellen ein?“ oder „Warum donnert es nach einem Blitz?“ können die Lernenden motivieren. Die schon behandelten Größen, Gesetze und Phänomene stehen in der Zielstellung solcher Fragen bei den Schülerinnen und Schülern sicher nicht im Vordergrund. Den Schülern kann beim Erklären der zu betrachtenden Erscheinungen aber die Physik der Elektrizität nahe gebracht werden.

Motivierend kann auf die Lernenden außerdem wirken, dass die Physik noch keine exakte Erklärung für die Ladungstrennung innerhalb einer Gewitterwolke weiß. Bei der Behandlung dieser Thematik wird deutlich, dass die Physik bei Erklärungen immer auf Modelle zurückgreifen muss, die eine Vereinfachung der Realität darstellen.

Das gewählte Thema bietet viele Möglichkeiten, kleinere Berechnungen unter zu Hilfenahme der oben beschriebenen Gesetze und Größen einzugliedern, wobei auch auf weiter zurückliegende Stoffgebiete zurückgegriffen werden kann. So wird zur Berechnung der Gesamtladung der Erde das Coulombsche Gesetz benötigt; beim Vergleich der Beschleunigungen eines Sauerstoff-Ions (hervorgerufen durch das elektrische Feld bzw. Gravitationsfeld) wird die Definition der elektrischen Feldstärke, der Umgang mit dem Periodensystem der Elemente, die atomare Masseneinheit, das Newtonsche Grundgesetz und die Erdbeschleunigung wiederholt; zur Berechnung des Blitzstroms ist die Definition der elektrischen Stromstärke nötig; bei der Ernennungsbestimmung eines Gewitters aus der Zeit zwischen Blitz und Donner spielt die Schallgeschwindigkeit eine Rolle.

Des weiteren kann bei der Frage nach der Einschlagstelle eines Blitzes die anschauliche Vorstellung von (vor allem inhomogenen) elektrischen Feldern vertieft werden. Die Phänomene Influenz und Polarisation werden zum Erklären der Ladungstrennung innerhalb einer Gewitterwolke herangezogen.

Der Unterrichtsgegenstand Gewitter und Blitz lässt Freiraum zu einigen interessanten und nicht ungefährlichen Experimenten, wie etwa das Erzeugen eines Blitzes, die Spitzenentladung an einer Kerze oder die Drehung einer Nadel infolge der Spitzenentladung. Die Experimente sind geeignet, bei den Schülerinnen und Schülern kognitive Konflikte hervorzurufen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass die Lernenden im Blitzschutz geschult werden und so der Physikunterricht praktische Tipps für das Handeln im Alltag gibt.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Thematik an die Erfahrungswelt der Lernenden anknüpft und genügend Gelegenheiten bietet, die Schülerinnen und Schüler zum Nachdenken anzuregen.

Am Anfang der Stunde soll die Gesamtladung der Erde mit dem Coulombschen Gesetz bestimmt werden. Das

Coulombsche Gesetz wird in der einfacheren Form $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$ verwendet, wobei der Vektorcharakter der Kraft

und der Feldstärke den Lernenden durchaus bewusst ist. Die konkreten Werte für die Feldstärke der Erde, für die Anzahl der Blitze pro Zeiteinheit und für die Ladungsmenge eines Blitzes sind so gewählt, dass die gewünschten Berechnungen in sich stimmig werden. Die realen Werte können jedoch stellenweise relativ große Abweichungen von den benutzten Werten aufweisen, was die Komplexität des Themas verdeutlicht. Die Schülerinnen und Schüler sollen jedoch durch zu große Differenzen nicht verunsichert werden.

Bei der Berechnung der Beschleunigung eines Sauerstoff-Ions im elektrischen Feld der Erde wird zum Zwecke der Vereinfachung der Rechnung auf die Betrachtung des Moleküls verzichtet.

Die Ladungstrennung innerhalb einer Gewitterwolke wird nur mit dem induktiven Prozess erklärt, damit die Schülerinnen und Schüler ihre Konzentration auf eine Theorie richten können. Ein Hinweis auf andere Erklärungsversuche soll jedoch gegeben werden, damit den Lernenden der Modellcharakter der Physik bewusst wird.

5. Angestrebtes Unterrichtsergebnis

- Die Schülerinnen und Schüler wissen, dass die Erde ein elektrisches Feld besitzt und können das Coulombsche Gesetz zur Berechnung der Ladung bzw. der Feldstärke anwenden.
- Die Schülerinnen und Schüler haben Größenvorstellungen von der Kraftwirkung des elektrischen Feldes der Erde.
- Die Schülerinnen und Schüler haben Größenvorstellungen von der Gewitter- und Blitzanzahl pro Zeiteinheit, von der transportierten Ladung, der Stromstärke und der Zeitdauer eines Blitzes und von der Temperatur in der Umgebung eines Blitzes.
- Die Schülerinnen und Schüler können eine Erklärung für die Ladungstrennung innerhalb einer Gewitterwolke geben.
- Die Schülerinnen und Schüler kennen die wesentlichen Vorgänge bei der Entladung einer Gewitterwolke.
- Die Schülerinnen und Schüler können aus der Zeit zwischen Blitz und Donner die Entfernung des Gewitters abschätzen.
- Die Schülerinnen und Schüler wissen, was eine Spitzenentladung ist, können anhand des Feldlinienmodells erklären, warum die Feldstärke an spitzen Gegenständen sehr groß sein kann und sind in der Lage, das Phänomen des elektrischen Windes zu deuten.
- Die Schülerinnen und Schüler wissen, wie man sich bei einem Gewitter verhält und was für Maßnahmen man zum Blitzschutz treffen kann.

5. Überlegungen zur Methode

Die Stunde beginnt mit einer mündlichen Kontrolle der Hausaufgaben zu Berechnungen von Coulombkräften und Feldstärken. Dieser Abschnitt soll möglichst kurz gehalten werden, da die Aufgaben sehr elementar sind. Die verwendeten Gleichungen und Ergebnisse werden für einen schnellen Vergleich deshalb schon vor Unterrichtsbeginn an der Tafel stehen. Schwierigkeiten könnte es bei der Bestimmung und Umformung von Einheiten gegeben haben. Das Unterrichtsgeschehen enthält jedoch ähnliche Umformungen, so dass an dieser Stelle auf solche Betrachtungen verzichtet werden kann.

Ausgehend von der Frage „Was für Felder gibt es?“ soll das elektrische Feld der Erde und das daraus erwachsene Phänomen der Gewittertätigkeit in den Mittelpunkt des Unterrichts gerückt werden. An der Tafel wird mit den Schülern zusammen aus der elektrischen Feldstärke die Gesamtladung der Erde berechnet. Hierbei sollen auch die Einheiten berücksichtigt werden.

Nachdem den Schülern mitgeteilt wurde, dass aufgrund der Existenz von Ionen in der Atmosphäre ständig ein Entladestrom zwischen Ionosphäre und Erdoberfläche fließt, wird ein Vergleich der auf ein solches Ion durch das elektrische Feld wirkenden Beschleunigung mit der Erdbeschleunigung durchgeführt. Solch eine Rechnung ist für die Erfahrung der Schülerinnen und Schüler wichtig, um ihnen die Kraftwirkung eines elektrischen Feldes, die ihnen nicht bewusst sein wird, nahe zu bringen. Der Vergleich mit der Erdbeschleunigung wurde deshalb gewählt, weil die Schwerkraft der Erde im Erfahrungsbereich der Lernenden liegt und man später bei der Gegenüberstellung der verschiedenen Felder auf dieses Beispiel zurückkommen kann. Diese Berechnung soll andererseits jedoch nicht die zentrale Stelle des Unterrichts einnehmen. Würden die Schüler ohne große Hilfen mit der Aufgabenstellung allein gelassen werden, wäre die erste Stunde sicherlich ausgefüllt. Die Rechnung wird deshalb im Lehrervortrag dargeboten.

Im Folgenden wird an der Tafel die Zeitdauer bis zur vollständigen Entladung der Erde und die Aufladung der Erde durch die Blitze erörtert. Jetzt können die Lernenden wieder etwas in das Unterrichtsgeschehen eingreifen. Um aber auch diese Rechnungen nicht auszudehnen, was in diesem Kurs sehr häufig vorkommt, sollen von den Schülerinnen und Schülern gemeinsam die Lösungsideen geliefert werden. Die Rechnungen werden an der Tafel skizziert. Am Ende der ersten Stunde soll die Faustregel „Die Entfernung des Gewitters in Kilometern erhält man, indem man die Zeit in Sekunden zwischen Blitz und Donner durch drei teilt.“ bestätigt werden. Falls die Zeit nicht mehr für die Begründung der Faustregel reichen sollte, kann dieser Teil auch in die Hausaufgabe verlagert werden.

Die zweite Stunde befasst sich nun direkt mit der Entstehung und dem Verlauf von Blitzen.

Die Frage „Was ist ein Blitz“, verbunden mit der Demonstration einer Spitzenentladung (DE 1) in der Nähe einer Kerzenflamme und dem Funkenüberschlag zwischen zwei Spitzen (DE 2) führt in die physikalischen Vorgänge bei einem Blitz ein. Mit Hilfe der Demonstrationsexperimente sollen die Lernenden im Beobachten und logischen Schlussfolgern geschult werden. Der Lehrende wird in erster Linie schwächere Schülerinnen und Schüler auffordern, ihre Beobachtungen zu formulieren. Dafür lassen sich folgende Gründe angeben: Diese Schülerinnen und Schüler werden gezwungen, dem Unterrichtsgeschehen aufmerksam zu folgen. Die genaue Beobachtung und deren Formulierung fällt diesen Lernenden schwer, so dass ein ständiges Üben dieser Schülertätigkeiten notwendig erscheint. Beobachtungen sind verglichen mit Erklärungen bzw. komplexen Rechnungen von solch einfacher Natur, dass diese Schülerinnen und Schüler besonders hier die Gelegenheit erhalten sollten, aktiv am Unterrichtsgeschehen teilzunehmen. Die Planung dieses Abschnittes lässt noch offen, ob die Erklärung der Experimente vor der Durchführung oder danach erfolgt. Es ist ja durchaus möglich, dass eine Kursteilnehmerin bzw. ein Kursteilnehmer die korrekte Antwort auf die Frage „Was ist ein Blitz?“ gibt. In diesem Fall dienen die beiden Demonstrationsexperimente dann der Bestätigung.

Die Ladungstrennung innerhalb einer Gewitterwolke und der Entladevorgang wird den Lernenden mittels eines Lehrervortrages dargeboten. Dieser wird durch Folieneinsatz unterstützt. Außerdem erhalten die Kursteilnehmerinnen und Kursteilnehmer die Folie als Kopie. Dadurch wird Unterrichtszeit für das Erstellen von Skizzen gespart, die Vorgänge lassen sich mit einer solchen Visualisierung leichter erklären und die Schülerinnen und Schüler können sich besser auf den Vortrag konzentrieren.

Je nach der noch zur Verfügung stehenden Zeit wird der Entladevorgang mehr oder weniger ausführlich problematisiert.

Nach diesen Ausführungen werden die Schülerinnen und Schüler anhand einer Folie mit dem Bild eines Blitzes konfrontiert. Die Schüler sollen mit dem gewählten Bild zu folgender Frage geführt werden: „Warum schlägt ein Blitz häufig in erhöhten Stellen ein, die in leitender Verbindung mit der Erde stehen?“. Die Lernenden müssen nun aus ihrem Fachwissen eine physikalische Erklärung ableiten. Die für die Erklärung notwendige Aussage „Die Feldstärken an einer Spitze sind besonders groß.“ wird durch ein Demonstrationsexperiment (DE 3) bestätigt.

Im folgenden sollen die Schüler dieses Wissen nun auf ein weiteres Demonstrationsexperiment (DE 4) anwenden. Die Vermutungen, Beobachten und Erklärungen zu diesem Experiment bieten besonders den schwächeren Kursteilnehmerinnen und Kursteilnehmern Gelegenheit, die Aussage über die Feldstärke an Spitzen kognitiv zu verankern.

Abschließend werden im Unterrichtsgespräch Verhaltensweisen beim Gewitter und vorbeugende Blitzschutzmaßnahmen erörtert.

Zu Hause sollen sich die Lernenden mit der Überlagerung von elektrischen Feldern befassen. Sie sollen zu vorgegebenen Ladungen die Krafrichtung auf einen positiv geladenen Probekörper in bestimmten Punkten konstruieren und die elektrische Feldstärke in zwei dieser Punkte berechnen. Die Hausaufgabe schließt nicht unmittelbar an den Unterrichtsverlauf an, jedoch wird sie als notwendig erachtet, weil die Schülerinnen und Schüler schon bei der Mechanik Schwierigkeiten mit der vektoriellen Addition von Kräften hatten. Die Hausaufgabe dient nicht der Nachbereitung dieser Stunde, sondern der Vorbereitung der nächsten Stunde, in der u.a. die Überlagerung von Feldern thematisiert wird.

Im Gegensatz zum gewählten Unterrichtsverlauf könnte man die zweite Stunde auch mit den Blitzschutzmaßnahmen und Verhaltensweisen beim Gewitter beginnen. Ausgehend von den genannten Maßnahmen und den Folgen von Blitzschlägen könnte man dann die hohen Feldstärken an Spitzen erklären und den Fragen „Was ist ein Blitz?“ und „Wie entsteht ein Blitz?“ nachgehen. Vorteil dieses Vorgehens wäre, dass die Blitzschutzmaßnahmen, die sicherlich auch für diese reifen Jugendlichen wichtig sind, in den Vordergrund gerückt werden. Ein richtiges Verhalten bei Gewitter lässt sich andererseits sehr schnell aus der Kenntnis der Vorgänge bei einem Gewitter ableiten. Bei Zeitknappheit können die Lernenden die Verhaltensweisen auch zu Hause erarbeiten, für das Klären der Vorgänge bei einem Gewitter würde zu Hause jedoch die experimentelle Untermauerung fehlen.

Es wäre prinzipiell möglich, die erste Stunde mit der Erscheinung Gewitter zu beginnen. Sicher könnte man die Lernenden dadurch am Anfang besser motivieren. Folgende zwei Gründe sprechen jedoch dagegen: Eine weitere Behandlung des Coulombschen Gesetzes wird von den Schülerinnen und Schülern sicher erwartet, weil die große Bedeutung des Gesetzes in der letzten Stunde zwar hervorgehoben, jedoch noch nicht durch Beispiele bestätigt wurde. Die gewählte Überleitung zum Thema Gewitter erscheint deshalb runder. Mit den Experimenten in der zweiten Stunde gelingt es vielleicht, der nachlassenden Konzentration der Lernenden entgegenzuwirken.

6. Verlaufsplanung

Zeit	Inhalt	Methoden	Medien und Hilfsmittel
7:45	Vergleich der Hausaufgabe	UG	Tafel
7:50	Das elektrische Feld der Erde	UG	Tafel
8:00	Beschleunigung eines Sauerstoff-Ions im elektrischen Feld der Erde	UG, LV	Tafel
8:10	Entladestrom und Aufladung der Erde durch Blitze, Abschätzung der Entfernung zu einem Gewitter	UG, LV	Tafel
8:30	Ende der 1. Stunde		
8:45	Was ist ein Blitz? Spitzenentladung	UG	Tafel DE 1, DE 2
9:00	Ladungstrennung innerhalb einer Gewitterwolke Entladung einer Gewitterwolke	LV	Folie, Arbeitsblatt
9:10	Feldstärken an Spitzen	UG	DE 3, DE 4
9:25	Verhaltensweisen bei Gewitter und Blitzschutzmaßnahmen	UG	Folie
9:30	Ende der 2. Stunde		

HA: Überlagerung von elektrischen Feldern

Abbruchmöglichkeiten und Alternativen

- Die Abschätzung der Entfernung zu einem Gewitter wird in die Hausaufgabe verlagert.
- Die Verhaltensweisen bei Gewitter und Blitzschutzmaßnahmen werden in die Hausaufgabe verlagert.
- Die Ladungstrennung innerhalb einer Gewitterwolke und die Entladung einer Gewitterwolke werden nicht so tiefgründig behandelt.
- Es werden Betrachtungen zu der Willkürlichkeit der Blitzeinschläge vorgenommen. (DE 5)
- Es werden Betrachtungen zur Gewitterhäufigkeit vorgenommen. (Folie)
- Es werden Betrachtungen zu Folgen von Blitzeinschlägen vorgenommen.

7. Literatur und Medien

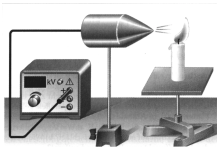
- Tipler: Physik; Spektrum; Heidelberg 1994
- Kuhn: Physik 2; Westermann; Braunschweig 2000
- Dorn, Bader: Physik Gymnasium Gesamtband Sek. II; Schroedel; Würzburg 2000
- Autorenkollektiv: Impulse Physik 2; Klett; Stuttgart, Düsseldorf, Leipzig 2000
- Jupe, Reiche: Kursthemen Physik Elektrodynamik; Diesterweg; Frankfurt am Main 1996
- Grehn, Krause: Metzler Physik; Schroedel; Hannover 1999
- <http://www.aldis.at>
- <http://strikeone.com.au/>

8. Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

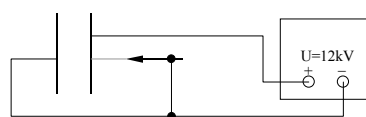
- UGUnterrichtsgespräch
- LTLehrtätigkeit
- DE.....Demonstrationsexperiment

9. Experimente

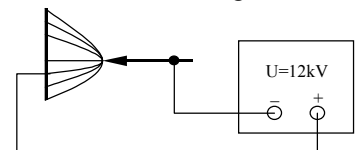
DE 1: Spitzenentladung in der Nähe einer Kerzenflamme



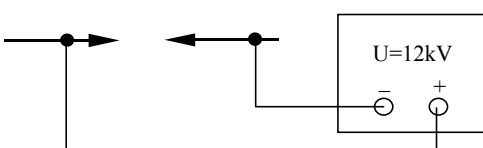
DE 3: Hohe Feldstärken an Spitzen



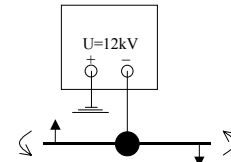
DE 5: Blitzeinschlagsstelle nicht vorhersagbar



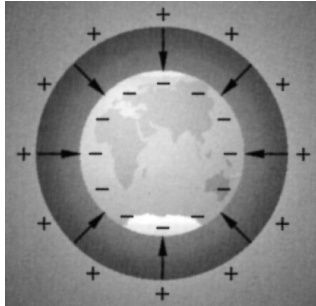
DE 2: Funkenentladung zwischen zwei Spitzen



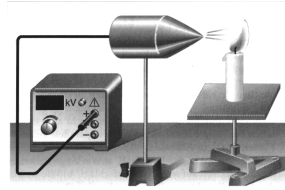
DE 4: Elektrischer Wind



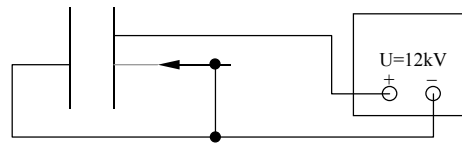
10. Tafelbild

	<p><u>Beschleunigung eines Sauerstoff-Ions im elektrischen Feld der Erde im Vergleich zur Erdbeschleunigung</u></p> <p>...</p>	<p><u>Dauer des Entladestroms</u></p> <p>...</p> <p><u>Stromstärke beim Blitz</u></p> <p>...</p>	<p>Reicht die Ladungsmenge aller Blitze für die Aufladung der Erde aus?</p> <p>...</p> <p>Donner und Entfernung eines Gewitters</p> <p>...</p>
	<p><u>Das elektrische Feld der Erde</u></p> 	<p><u>Hausaufgabe</u></p> <p>...</p> <p><u>Gesamtladung der Erdoberfläche</u></p> <p>...</p>	

Spitzenentladung

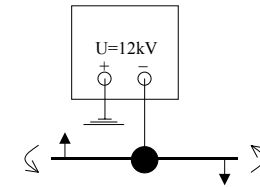


Hohe Feldstärken an spitzen Gegenständen



Die Entladung tritt an der Spitze auf, obwohl der Abstand Platte – Platte genauso groß ist, wie der Abstand Platte – Spitze.

Drehung einer Nadel infolge des elektrischen Windes



11. Arbeitsblätter

Aufgabe

Die in der folgenden Abbildung angedeuteten Körper haben alle die Ladung $Q = 1 \cdot 10^{-6} \text{C}$. Ermitteln Sie für die angegebenen Punkte des Gitters die Richtung der Kraft auf einen positiv geladenen Probekörper.

Hinweise:

- Maßstab: 1LE entspricht 1m
- Im Abstand $r = 1\text{LE}$ sei die Pfeillänge 2LE lang. Für jeden Gitterpunkt können dann die Kraftpfeile gezeichnet und grafisch addiert werden.
- Betrachten Sie in Abbildung b) jeweils immer nur zwei Ladungen (die positive und eine negative)

Berechnen Sie die Feldstärken in den Punkten 1 und 2 und vergleichen Sie Betrag und Richtung mit Ihrer Zeichnung.

