Potentialverteilung im Elektrolytischen Trog

Protokoll zu Versuch 12 vom 12.01.2000

Steffen Schröder

5. April 2001

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

In diesem Versuch wollen wir elektrostatische Felder betrachten. Diese bilden sich immer Ladungen aus. Wie kann man so ein Feld beschreiben? Wir können jedem Punkt im Raum einen Vektor $\vec{E}$ zuordnen, dessen Richtung die Richtung der Kraft angibt, die auf eine positive Punktladung an diesem Ort wirken würde, und dessen Betrag proportional zum Betrag dieser Kraft bei gegebener Probeladung q ist ($\vec{F} = q\vec{E}$). Um diese Felder aber übersichtlich darstellen zu können ist es nicht sinnvoll, solch eine Masse von Pfeilen einzuzeichnen. Daher wählt man meist eine Darstellung, in der das Feld durch eine Anzahl an Feldlinien repräsentiert wird. Diese Linien laufen entlang des Weges, den die Probeladung im Feld beschreiben würde, sind also Tangenten an die $\vec{E}$-Vektoren, und liegen um so dichter zusammen, je grösser die Feldstärke ist.

Wie finden wir aber diese Feldlinien? Wir wissen, daß Ladungen durch Potentialunterschiede beschleunigt werden. Für eine Beschleunigung muß laut Newton eine Kraft wirken, unsere oben erwähnte Feldkraft. Wir haben also schon eine Wirkung des elektrischen Feldes ins Spiel gebracht. In eine Richtung, in der sich das Potential nicht ändert, wird eine Probeladung auch nicht beschleunigt. Diese Flächen gleichen Potentials nennen wir Äquipotentialflächen. Da die Kraft auf die Teichen keine Komponente in deren Richtung hat, müssen die Feldlinien also Senkrecht auf diesen Äquipotentialflächen stehen. Je enger diese Flächen zusammenliegen, desto gröer ist der Potentalunterschied pro Wegeinheit, desto größer also auch die Kraft auf die Probeladung, desto größer die Feldstärke und desto näher also auch die Feldlinien ($\vec{E} = -\frac{dU}{ds}\vec{s}$).

Dies sollten eigentlich genug Anhaltspunkte sein, die Feldlinien zu zeichnen, wenn man sich wie wir hier auf den zweidimensionalen Fall beschränkt, in dem man aufgrund des Zusammenhangs zwischen Feldlinien und Äquipotentialflächen auch eine überall gleich dicke Schicht eines Elektrolyten in das zu messende Feld geben kann und in diesem nach dem Prinzip des Spannungsteilers/Potentiometers die Potentialverteilung mißt. Damit keine Polarisationserscheinungen an den Elektroden auftreten können benutzen legen wir eine Wechselspannung an, das Potential an den Punkten in diesem Elektrolytischen Trog kann man dann mit einer drahtförmigen Sonde, die genau wie die Elektroden senkrecht mit voller Tiefe in das Elektrolyt hineinragt, über ein Nullinstrument über die Kompensationsmethode mit einem ausenliegenden konstanten Potential vergleichen und so die Äquipotentiallinien aufzeichnen.

2 Der Versuch

Wir benutzen hier Wasser als Elektrolyt und eine Oszilloskop als Nullinstrument, das über einen Übertragen an die Sonde angeschlossen ist. Die Sonde bildet den Abgriff des Spannungsteilers im trog, wir schliessen aussen einen Stöpselwiderstand als Spannungsteiler an, dessen Äussere Anschlüsse auf gleichem Potential wie die Elektroden liegen, das Nullinstrument hängt also zwischen den beiden Abgriffen. Proportional zur Sonde bewegt sich ein Stift über das Papier, auf dem wir den Feldverlauf später zeichnen wollen, immer wenn das Nullinstrument 0 anzeigt, also das Potential am Sondenort dem festen äusseren entspicht, machen wir mit dem Stift einen Punkit auf das Papier und verbinden diese Punkte zur Äquipotentiallinie. Dann wecheln wir zur nächsten der 10 Abgriffe des Stöpselwiderstandes, um die nachste Potentiallinie aufzunehmen.

3 Durchführung

3.1 Der Plattenkondensator

Wir haben einen Plattenkondensator mit Abstand $20cm$ und ohne Randfeld aufgenommen. Hier laufen die Äquipotentiallinien äquidistant und parallel zu den Platten, die Feldlinien sind also Geraden senkrecht auf den Platten vom $10V$ zum $0V$-Potential. Die Feldstärke beträgt überall $0,5\frac{V}{cm}$.

Wir haben als Zusatz aus Interesse auch noch den kkleinen Plattenkondensator mit Randfeld aufgenommen, hier sieht man auch die äußeren Feldlinien und wie sich das homogene Feld im inneren nach aussen hin langsam verzieht.

3.2 Der Blitzableiter

Hier fällt auf, daß das Feld in den Randbereichen stark dem Plattenkondensator ähnelt, viele Linien werden jedoch vom Stab in der Mitte abgefangen. An der Spitze ist das Feld am stärksten, da Feldlinien immer von Ladungen ausgehen und in anderen enden, je stärker eine Fläche gekrümmt ist, desto größer ist dort auch die Flächenladungsdichte, so daß hier auch mehr Feldlinien ausgehen. Da das Potential zwischen der Spitze und der anderen Platte am schnellsten abfällt, hier also die größten Kräfte wirken, schlagen Blitze in der natur auch immer in den höchsten erreichbaren (leitenden) Punkt ein. Die untere Platte entspricht den Wolken beim Gewitter, die Spitze dem Blitzableiter auf einem Haus.

3.3 Der Zylinderkondensator

Dieser Kondensator hatte eine innere ringförmige Platte mit dem Radius $1cm$ und eine ebensolche äußere mit Radius $12cm$. Im Inneren des inneren Rings war erwartungsgemäß kein Feld zu finden, genauso wie um die äuëre Platte herum. Die Äquipotentiallinien bildeten konzentrische Kreise, deren Abstand nach innen immer kleiner wurde. Daher sind die Feldlinien radiale Geraden zur äußeren Platte, deren Potential ich zu $0V$ definiere, die innere hat zur Auswertung am Potential $10V$. Dieses Feld ist das radialsymmetrische eines Drahtes durch den Mittelpunkt beider Platten, wobei es ausserhalb des Zwischenraumes zu 0 verschwindet. Deshalb ist für r im Intervall $[1cm \ldots 12cm]$ derselbe Abfall mit $\frac{1}{r}$ zu sehen. Wenn man die Feldstärke in Abhängigkeit vom Radius aufträgt, wird aus $E = E_0 \frac{1}{r}$ durch logarithmieren $\ln E = \ln \left(E_0 \frac{1}{r} \right) = \ln E_0 - \ln r = c - \ln r$ eine Gerade als Bild herauskommen. Selbiges tut sie auch, wenn man ca. alle $2cm$ entlang eines Radius die Feldstärke bestimmt und unter berücksichtigng des entsprechenden Fehlers, der in der Nähe des Zentrums stark zunimmt, in das Diagramm einträgt. Somit ist die Annahme bestätigt, daß das Feld das eines Drahtes ist und mit $\frac{1}{r}$ abfällt.

3.4 Die Triode

Bei der Triode haben wir uns für den Durchgriffsfall entschieden, der in unserem Franck-Hertz-Versuch benutzt wurde. Wir legten also die volle Spannung an Kathode K ($0V$), benutzten das „Gitter" als Netzanode N ($10V$) und die dahinterliegende Platte ($9V$) zur Erzeugung der Bremsspannung als Anode A.

Aus sprachlichen Gründen drehe ich nun für die Auswertung dieses Teilversuches die Richtung der Feldlinien um. Es ist dann gut zu sehen, wie nur wenige Feldlinien von der Kathode zur Anode durchgehen, die meisten werden von der Netzanode absorbiert. An dieser enden auch die in der Anode startenden Linien. Da sich Ladungen immer analog zu den Feldlinien bewegen, kommen nur wenige der an einer Glühkathode emittierten Elektronen an der Anode an, der Rest wird von der Netzanode verschluckt. Nur sehr schnelle Elektronen können durch so etwas wie eine Fliehkraft dennoch die Anode erreichen. (Siehe auch mein Protokoll zum Franck-Hertz-Versuch).

4 Fehlerbetrachtung

Hier fällt es mir schwer einen genauen Fehler anzugeben, beim einfachen Plattenkondensator ohne Randfeld dürfte der Fehler der $0,5\frac{V}{cm}$ recht klein sein (ca. 1%), vorausgesetzt man nimmt an, daß an den Platten wirklich genau $0V$ bzw. $10V$ anliegen, was ja im Versuch nicht der Fall war. Die Äquipotentiallinien sind jedoch in jedem Fall analog zu denen im „echten“ Feld, das Wasser verzerrt kaum, zumal ja durch die Benutzung von Wechselstrom keine Polarisationserscheinungen auftreten. Der Fehler für obigen wert ist nur so klein, da ich ihn über das homogene Feld errechnet habe, der Linienabstand läßt ihn gerade noch aufrecht erhalten. Trotzdem war die Nadel als Sonde recht schief, der Fehler der Widerstände in der Wheatstone-Brücke war zwar nicht angegeben, ist aber erfahrungsgemäß nicht gerade gering, so daß ich die eingezeichneten Linien als Mittellinie eines eigentlich ca. $1cm$ breiten Bandes deuten würde, in dem die Äquipotentiallinie zum zugehörigen Potential nV wirklich verläuft. Somit wird der Fehler der eingetragenen Werte immer größer, je näher die Linien zusammenliegen, beim Zylinderkondensator betont im Graphen die Logarithmierung der kleinen Werte sogar noch den Fehler für diese. Die Fehlerbalken sind somit nur grob und wahrscheinlich zu optimistisch geschätzt (Werte für $\ln(\cdots \pm 0,1)$). Diese Ungenauigkeit der Potentiallinien schlägt auch durch auf den Abstand der Feldlinien, der ja dem Abstand der Äquipotentiallinien entsprechen sollte. Nur mussten diese per Hand eingezeichnet werden, wobei vom ungefähren Starrtpunkt aus immer die nächste Linie senkrecht geschnitten werden mußte, ohne den Abstand zu groß zu ändern. Dies ist nicht wirklich einfach, vor allem, wenn wie beim Blitzableiter in manchen Ecken nur äußerst wenige Potentiallinen als Anhaltspunkt vefügbar sind, da die Feldstärke dort sehr klein ist. Die Symmetrie der Anordnungen wurde in allen Fällen recht gut bestätigt, es läßt sich daraus trotzdem der Fehler nicht genauer erschließen, da diese Werte auch mit derselben schiefen Sonde aufgenommen werden mußten. Feldlinien nahe an den Platten konnten nicht richtig aufgenommen werden, da der Umfang des Sockels der Sonde so grtoß war, daß er immer ca $0,5cm$ Abstand erzwang, es sei denn man hob die Apparatur an, was aber erstens die Eintauchtiefe der Sonde verringerte, also auch die angezeigten Werte am Oszilloskop beeinflußte, als auch der Stift zum Punkte machen nur noch schief aufsetzte und somit einen recht großen Versatz hatte. („parallaxenfreies“ Ablesen ;-)