

Äquipotenzialflächen

Gegenstand:

Um Felder graphisch darzustellen, werden gewöhnlich Feldlinienbilder gezeichnet. Elektrostatische Felder werden gelegentlich durch die Orthogonalflächen zu den Feldlinien, die hier Äquipotenzialflächen heißen, dargestellt.

Ein Feldlinienbild bringt zwei Aspekte eines Feldes zum Ausdruck:

1. Es zeigt die Richtung des Feldstärkevektors in jedem Punkt des Feldes: Die Feldstärkevektoren liegen tangential zu den Feldlinien.
2. Es sagt uns, wo die "Quellen" des Feldes liegen: dort wo Feldlinien beginnen oder enden.

Manchmal wird behauptet, dass man am Feldlinienbild auch den Betrag des Feldstärkevektors ablesen kann. Tatsächlich kann man das nur in Sonderfällen /1, 2/.

Mängel:

Der graphischen Darstellung eines Feldes sieht man auf einen Blick an, was sich in Worten nur umständlich ausdrücken ließe. Obwohl es zahlreiche verschiedene Möglichkeiten einer solchen Darstellung gibt, beschränkt man sich aber meist auf ein einziges Verfahren: das Feldlinienbild. Wir haben uns so an diese Art der Darstellung gewöhnt, dass uns die Frage nach Alternativen gar nicht mehr in den Sinn kommt. Eine sehr nützliche Alternative stellen die zu den *Feldlinien* orthogonalen *Feldflächen* dar.

Da man vom Feld eine sehr unkonkrete Vorstellung vermittelt, werden die Feldlinien nur zu leicht zum Strohalm, der die Rettung bringen soll. So kommt es, dass Schüler oder Studenten das Feld oft mit den Feldlinien identifizieren.

Herkunft:

Die Feldlinien hießen früher Kraftlinien, die Feldflächen Niveauflächen. Für Maxwell war es selbstverständlich, für alle Felder beide darzustellen, Abb. 1. Dieses Verfahren war für ihn ein Mittel, von einem unsichtbaren Objekt eine aussagekräftige Abbildung herzustellen. Um die Jahrhundertwende, als man versuchte, den Äther aus der Physik zu verbannen, ist dann das Feld zu einem sehr abstrakten Konzept verkommen. Feldlinien waren von nun an nicht mehr, als mathematische Hilfslinien, die es gestatteten, die Richtung der Kraft auf einen Probekörper darzustellen. Die Orthogonalflächen haben nur in Form von Äquipotenzialflächen in einer bestimmten Klasse von Feldern überlebt, nämlich in Gradientenfeldern. Die herrschende Vorstellung wurde: Ein Potenzial kann man nur in einem Potenzialfeld definieren, also gibt es auch Äquipotenzialflächen nur in einem solchen Feld. Man übersah, dass das, was stört, nur der Name ist. Tatsächlich kann man die Flächen nach wie vor zeichnen. Es sind zwar keine Äquipotenzialflächen mehr, aber ihren Nutzen zur Darstellung des Feldes haben sie dadurch nicht verloren. Im Gegenteil: Bei Nichtpotenzialfeldern werden sie erst richtig nützlich, denn sie sagen uns, an welchen Stellen im Feld die Rotation von null verschieden ist.

Entsorgung:

Wir wollen im Folgenden die Stellen, wo Feldlinien beginnen oder enden, d. h. wo die Divergenz des Vektorfeldes von null verschieden ist, *Flussquellen* nennen. Als *Wirbelquellen* bezeichnen wir die Stellen, wo die Rotation von null verschieden ist.

So wie die Feldlinien auf den Flussquellen beginnen oder enden, so beginnen oder enden die Feldflächen auf

den Wirbelquellen. Man erkennt auf einem Feldlinienbild die Lage der Flussquellen, auf einem Feldflächenbild die Lage der Wirbelquellen. Man stellt daher am besten sowohl die Feldlinien als auch die orthogonalen Feldflächen (im zweidimensionalen Schnitt ebenfalls Linien) dar.

Betrachten wir als Beispiel ein elektrisches Feld. Die Flussquellen sind hier elektrische Ladungen, die Wirbelquellen sind Stellen mit sich zeitlich änderndem magnetischem Fluss. Abb. 2 enthält zwei Linienladungen (elektrisch geladene dünne Drähte, die senkrecht zur Zeichenebene liegen), sowie drei dünne (linienförmige) Spulen mit sich änderndem magnetischem Fluss. Die Spulen stehen senkrecht zur Zeichenebene und erscheinen daher auch als Punkte.

Das Bild kann auch als magnetisches Feld interpretiert werden. Die Flussquellen sind dann magnetische Ladungen (linienförmige magnetische Pole), die Wirbelquellen elektrische Ströme.

/1/ Wolf, A., van Hook, S. J., Weeks, E. R.: Electric field line diagrams don't work. – In: American Journal of Physics 64 (1996). – S. 714 - 724

/2/ Herrmann, F., Hauptmann, H., Suleder, M.: Representations of Electric and Magnetic Fields. – In: American Journal of Physics 68, S. 171

F. H.

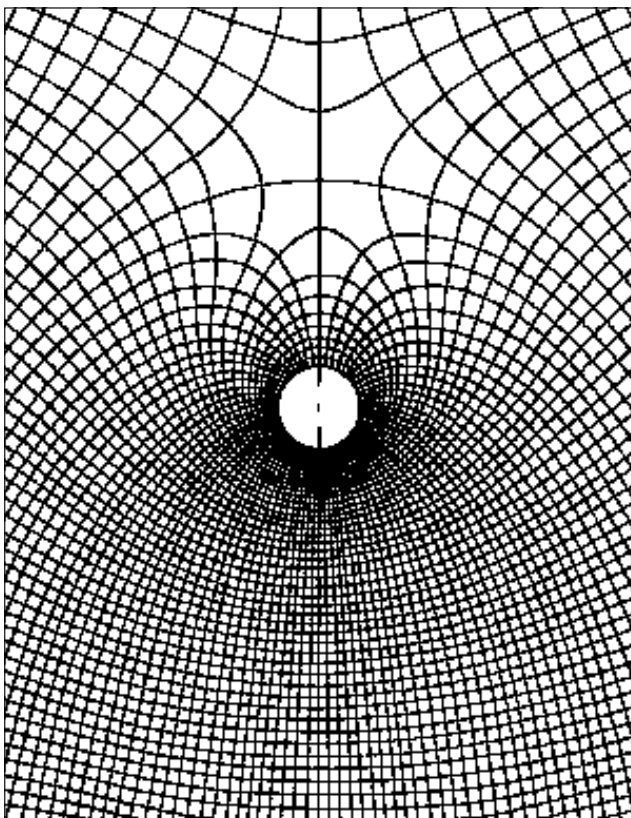


Bild 1. Überlagerung des magnetischen Feldes eines elektrischen Stromes (senkrecht zur Zeichenebene) und eines homogenen magnetischen Feldes in "Lehrbuch der Electricität und des Magnetismus" von Maxwell.

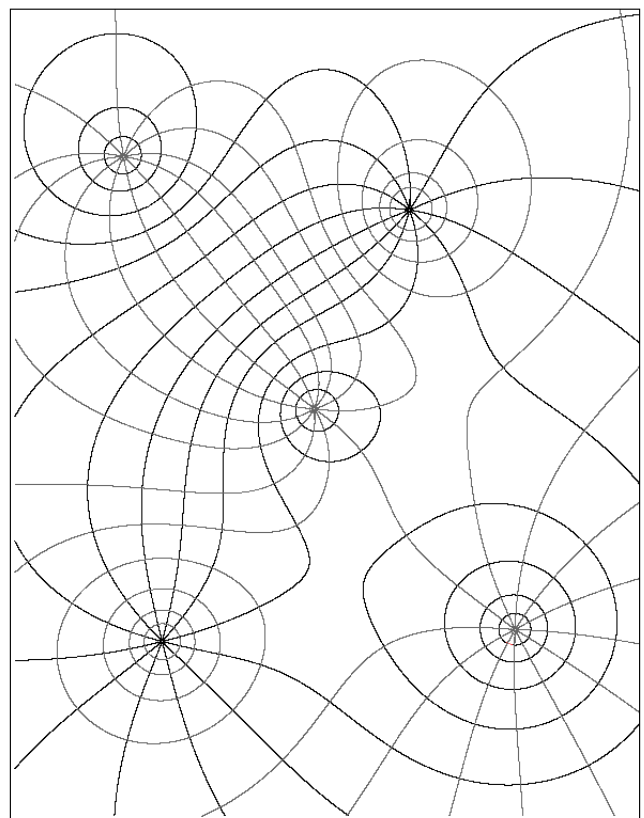


Bild 2. Feld mit zwei Flussquellen und drei Wirbelquellen (Feldlinien: schwarz, Feldflächen: grau)