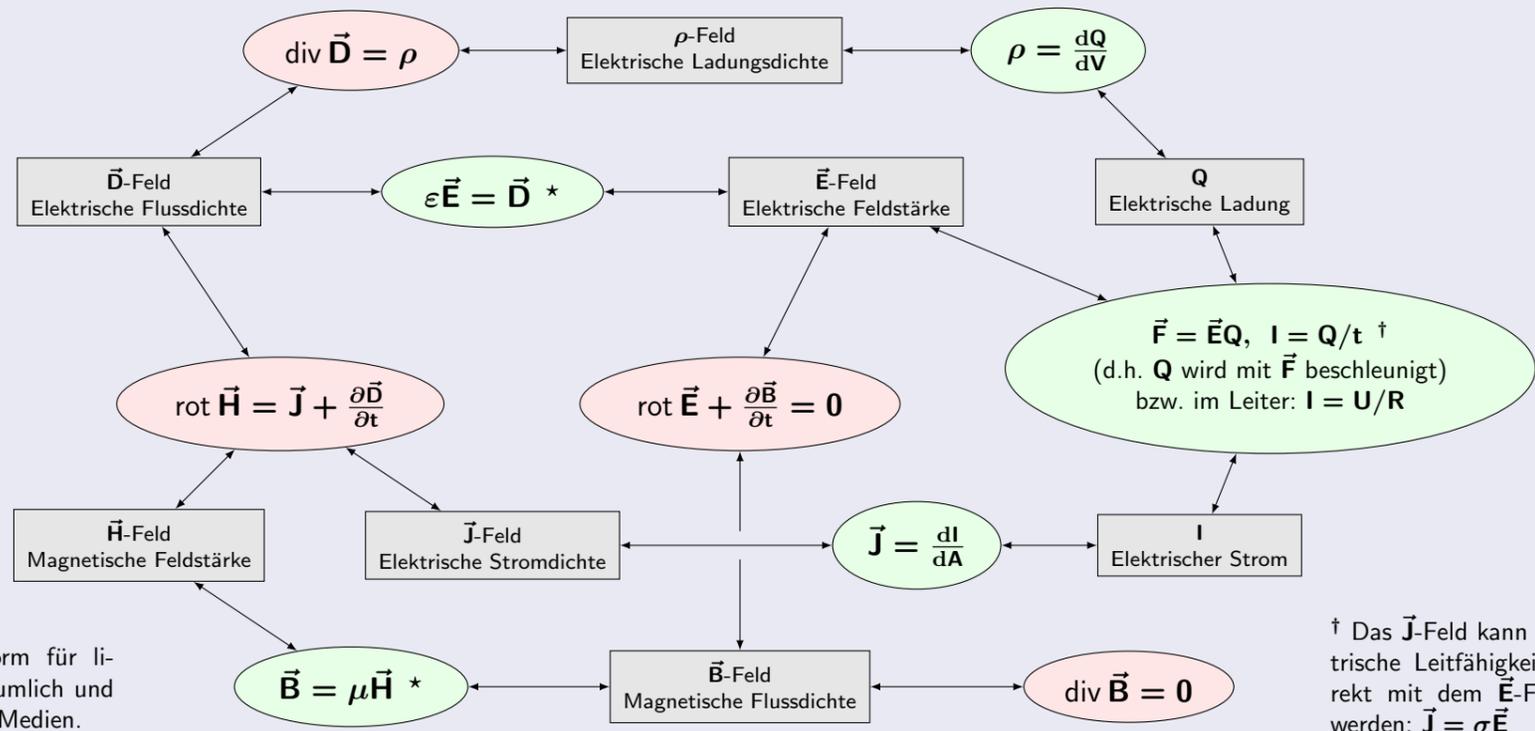


Überblick: Elektromagnetische Felder und Elektrodynamik

Zusammenhänge zwischen den Feldern - Die Maxwell'schen Gleichungen



Der magnetische Kreis

1. Magnetische Spannung U_m und Durchflutung Θ

Die magnetische Spannung eines Feldliniensegments ergibt sich aus der Feldstärke mal der Länge des Segments.

Die Durchflutung Θ ist die Summe aller magnetischen Spannungen entlang der Feldlinie und ist gleich der Summe aller Ströme durch der von der Feldlinie eingeschlossenen Fläche.

$$U_m = \vec{H} \cdot \vec{s} \quad \Theta = \sum (\vec{H} \cdot \vec{s}) = \sum I$$

2. Magnetischer Widerstand R_m bzw. Leitwert Λ

Analog zu $I = U/R$ ist der Magnetische Fluss $\Phi = \Theta/R_m$.

$$R_m = \frac{s}{\mu \cdot A} \quad \Lambda = \frac{1}{R_m}$$

Wobei A der von den Feldlinien durchströmte Querschnitt ist. Bei einer Ringspule ist dies der Ringquerschnitt.

Kraftwirkungen in elektromagnetischen Feldern

1. Reluktanzkraft

Die Reluktanzkraft wirkt immer so, dass sich der magnetische Widerstand verringert und die Induktivität steigt.

Beispiele: Anziehung/Abstoßung zwischen Permanentmagneten. Anziehung zwischen Magneten und magnetisierbaren Materialien.

2. Lorentzkraft

Die Lorentzkraft \vec{F}_L wirkt auf eine bewegte Ladung (Strom) im Magnetfeld, bzw. auf den stromführenden Leiter (mit der Länge s).

$$\vec{F}_L = Q(\vec{v} \times \vec{B}) = I(\vec{s} \times \vec{B})$$

Die Lorentzkraft wirkt rechtwinklig zur Bewegungsrichtung der Ladung und zu den Feldlinien des \vec{B} -Feldes.

3. Coulombkraft

Die Coulombkraft \vec{F}_C wirkt auf eine Ladung im elektrischen Feld. Die Ladung wird entlang der Feldlinien des E-Feldes beschleunigt:

$$\vec{F}_C = \vec{E}Q$$

Zwei Punktladungen stoßen sich voneinander ab (bzw. ziehen sich an wenn sie ungleiche Vorzeichen haben):

$$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

Operatoren der Vektoranalysis

$\vec{\nabla} f = \text{grad } f$ Gradient (Steigung), Skalarfeld \rightarrow Vektorfeld

$\vec{\nabla} \cdot \vec{F} = \text{div } \vec{F}$ Divergenz (Quellendichte), Vektorfeld \rightarrow Skalarfeld

$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \text{rot } \vec{F}$ Rotation (Wirbelndichte), Vektorfeld \rightarrow Vektorfeld

$$\vec{\nabla} = \begin{pmatrix} \partial/\partial x \\ \partial/\partial y \\ \partial/\partial z \end{pmatrix} = \text{der „Nabla-Operator“}$$

Die Größen mit ihren Einheiten

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit (SI-System)
I	Elektrischer Strom	Ampere = A
Q	Elektrische Ladung	Coulomb = C = As
U	Elektrische Spannung	Volt = J/C = W/A
ρ -Feld	Elektrische Ladungsdichte	C/m ³
\vec{J} -Feld	Elektrische Stromdichte	A/m ²
ψ	Elektrischer Fluss	Coulomb = C = As
\vec{D} -Feld	Elektrische Flussdichte	C/m ²
\vec{E} -Feld	Elektrische Feldstärke	V/m
Φ	Magnetischer Fluss	Weber = Wb = Vs
\vec{B} -Feld	Magnetische Flussdichte	Tesla = T = Vs/m ²
\vec{H} -Feld	Magnetische Feldstärke	A/m

Die Kirchhoffschen Regeln

1. Es gilt Ladungserhaltung: Ladung kann weder erzeugt noch vernichtet werden. Sie kann sich nur (in Form von Strömen) bewegen. Es gilt also die Kontinuitätsgleichung

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div } \vec{J} = 0.$$

2. Bei Abwesenheit von magnetischen Wechselfeldern ist die Umlaufspannung jeder Masche gleich 0. Es gilt also

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0 \Rightarrow \oint \vec{E} d\vec{s} = 0.$$

Das Ohmsche Gesetz

In einem gewöhnlichen elektrischen Leiterabschnitt verhalten sich Spannungsabfall am Leiterabschnitt und Strom durch den Leiterabschnitt proportional zueinander. Die Proportionalitätskonstante wird Ohmscher Widerstand R genannt:

$$R = \frac{U}{I} = \text{const.} \quad [R] = 1 \text{ Ohm} = 1 \text{ V/A} = 1 \Omega$$