

# Berechnung der Kraftwirkung einer stromdurchflossenen Wicklung auf elektrisch leitfähiges Material

W. Schätzing, OvG-Uni, IGET

Im Inneren einer von einem Wechselstrom durchflossenen Wicklung befindet sich ein metallisches elektrisch leitfähiges Gebilde, das eine so geringe mechanische Festigkeit besitzt, dass es auf die durch die Induktionswirkung hervorgerufenen Kräfte reagieren kann. Bild 1 zeigt die Anordnung.

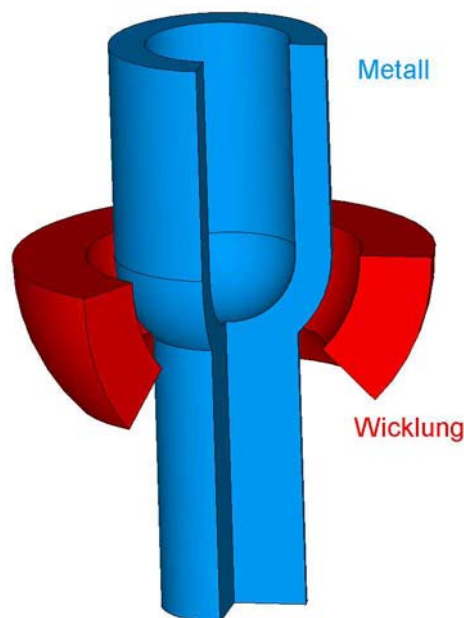


Bild 1 Anordnung (geschnitten dargestellt)

Das metallische Gebilde ist unterhalb der Wicklung zylindrisch und oberhalb umschließt es ein zylindrisches Kaliber, hat also die Form eines Rohres. Im Übergangsbereich zwischen Zylinder und Rohr soll die Kraftwirkung, die dort durch die umschließende stromdurchflossene Wicklung hervorgerufen wird, untersucht werden.

Da die Anordnung rotationssymmetrisch ist, kann das Problem zweidimensional rotationssymmetrisch gerechnet werden.

Die Wicklung wird von einem zeitlich konstanten Wechselstrom vorgegebener Frequenz gespeist. Die Stromdichte in der Wicklung kann wegen des Aufbaus aus Einzeldrähten als konstant angenommen werden.

Da die Verhältnisse als quasistationär angenommen werden können, wird die Rechnung als harmonische Berechnung durchgeführt. Sie liefert dann als Ergebnis immer einen Realteil und einen Imaginärteil.

Als erstes Ergebnis sind im Bild 2 die Feldlinien dargestellt.

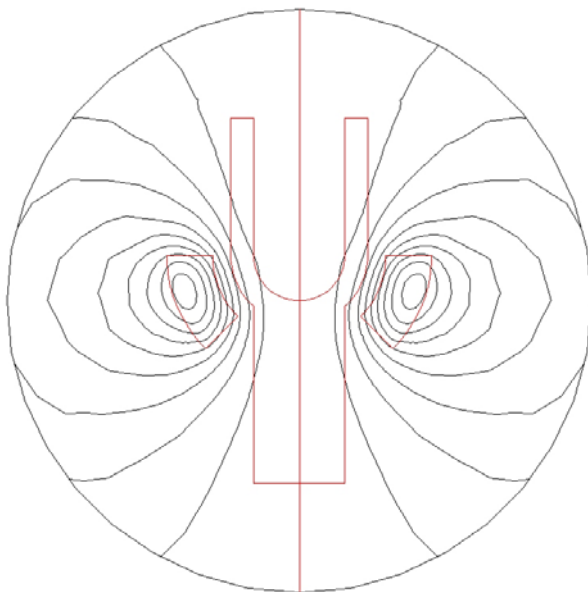


Bild 2a Feldlinien Realteil

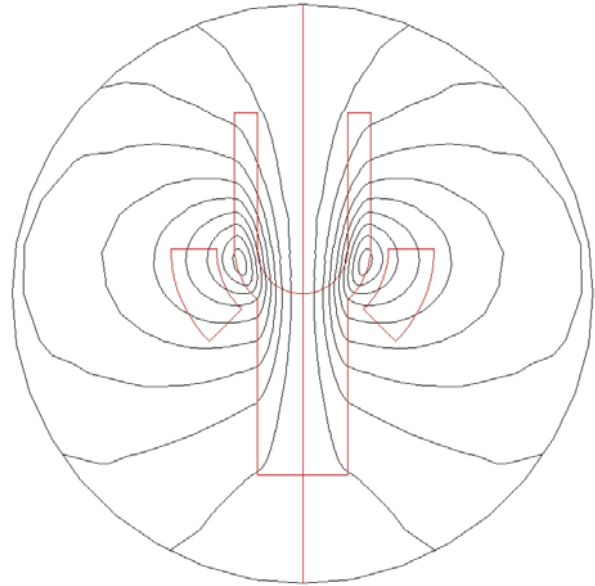


Bild 2b Feldlinien Imaginärteil

Der Fluss, der mit dem sinusförmigen Erregerstrom in der Wicklung in Phase liegt (Realteil) durchsetzt auch den metallischen Körper und induziert in ihm Wirbelströme. Diese Ströme sind phasenverschoben. Beim Nulldurchgang des Erregerstromes (Imaginärteil) ist nur ein Strom im Metall vorhanden, der seinerseits ein Feld zur Folge hat.

Analoge Verhältnisse lassen anhand der magnetischen Flussdichte (Bild 3) betrachten.

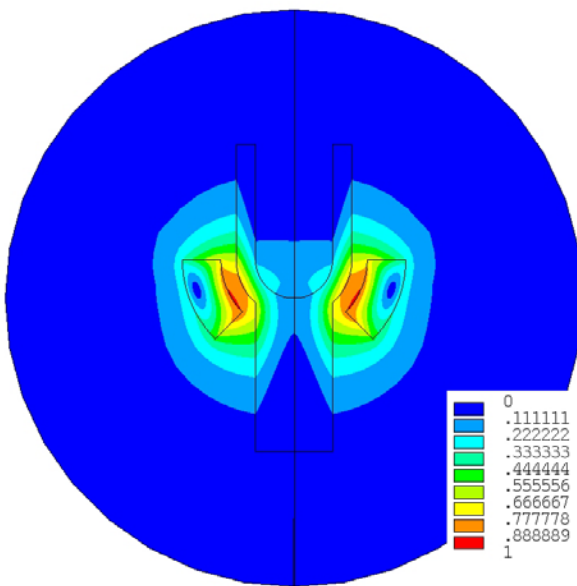


Bild 3a magnetische Flussdichte (Realteil)

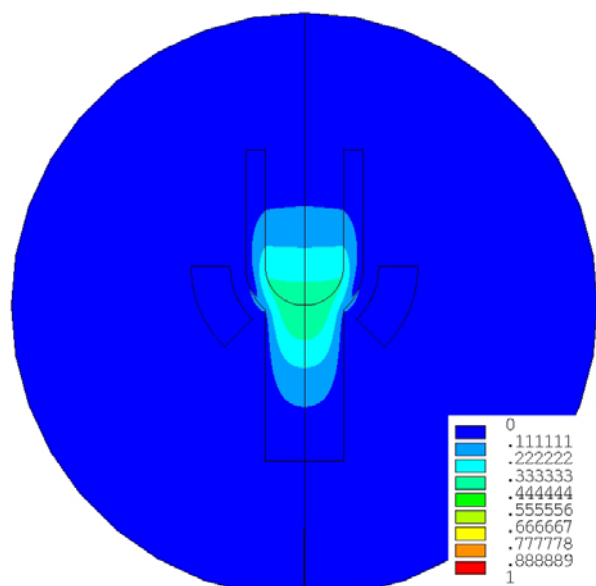


Bild 3b magnetische Flussdichte (Imaginärteil)

Für die Darstellung der Stromdichte in den folgenden Bildern ist ein Ausschnitt der Berechnungsebene vergrößert dargestellt.

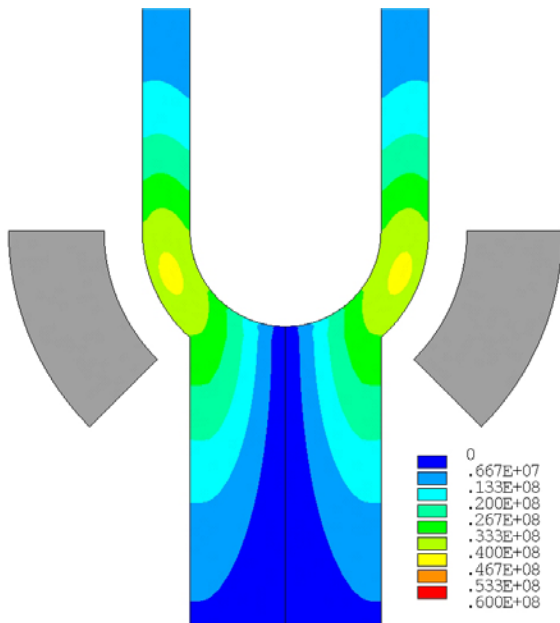


Bild 4a Stromdichte (Realteil)

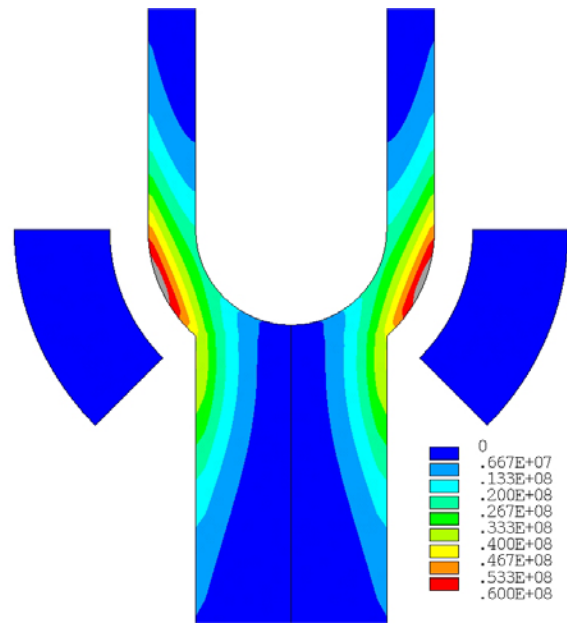


Bild 4b Stromdichte (Imaginärteil)

Die Stromdichtedarstellung in Bild 4 ist auf den Bereich von 0 bis  $60 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$  normiert. Wenn die Stromdichte im Realteil grau eingefärbt ist, bedeutet dies, dass ihr Wert oberhalb der Normierungsgrenze liegt.

Für die Ausbildung von Kräften im Metall ist das Vektorprodukt von magnetischer Flussdichte und elektrischer Stromdichte maßgebend. Die Volumenkraftdichte  $\vec{f}$  ergibt sich an jedem Ort zu

$$\vec{f} = \vec{J} \times \vec{B} \quad .$$

Wird das Problem in zylindrischen Koordinaten  $(\rho, \alpha, z)$  betrachtet, hat die Stromdichte nur eine  $\alpha$ -Komponente.

Die magnetische Flussdichte hat, wie Bild 5 zeigt, annähernd tangentielle Komponenten.

Daher ergeben sich die Vektoren der Volumenkraftdichte in erster Näherung senkrecht zur Oberfläche, wie Bild 6 zeigt.

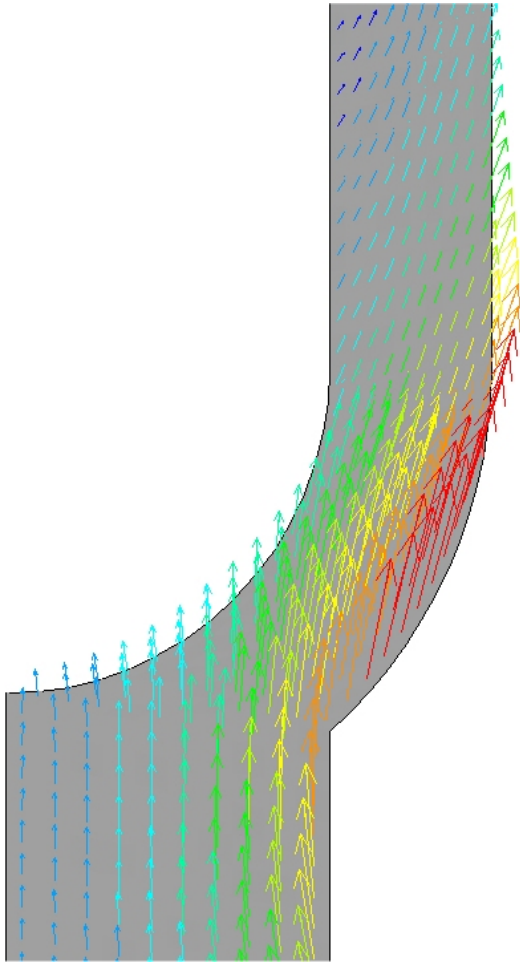


Bild 5 Vektoren der magnetischen  
Flussdichte (Realteil)

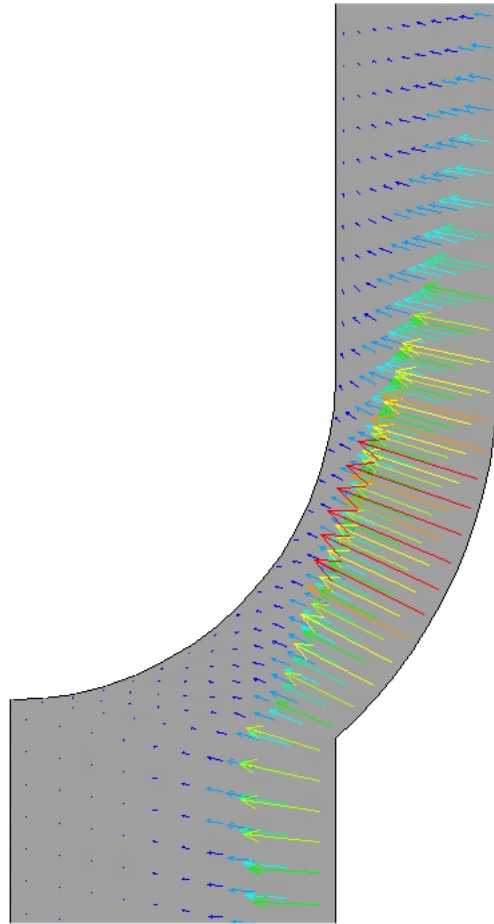


Bild 6 Vektoren der Volumenkraftdichte  
(Realteil)