

HPA 60 1987

High. Phys. Acta

22

Strukturbildung von Metallteilchen in elektrischen und magnetischen Feldern

A. Schmöller, W. Kropf, A. Rosenberger, A. Hübler¹⁾, E. Lüscher

Überblick: Metallteilchen, die elektrischen oder magnetischen Feldern ausgesetzt werden, bilden dendritische Strukturen aus. Computersimulationen, die auf physikalischen Theorien basieren, liefern vergleichbare Ergebnisse.

1. Metallteilchen im magnetischen Feld

1.1. Experiment

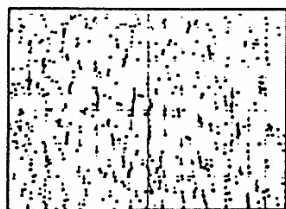
Stahlkugeln von 2 mm Durchmesser werden auf einer mit Rizinusöl bedeckten Fläche zufallsverteilt einem homogenen Magnetfeld bis maximal $3.4 \cdot 10^{-2}$ Tesla ausgesetzt. Sie lagern sich zu Strängen unterschiedlicher Länge zusammen (s. Abb.1a). Die Zusammenlagerung wird dadurch verstärkt, daß das äußere Magnetfeld vergrößert wird. Es wird beobachtet, daß immer ein kleinerer Strang an einen größeren ankoppelt, was durch eine von der Länge des Strangs abhängige Haftreibung zu erklären ist. Dieses Verhalten wird als Selbstverstärkung bezeichnet.

1.2. Modell

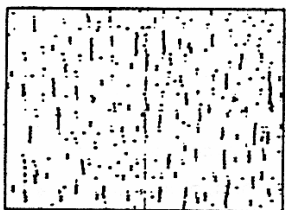
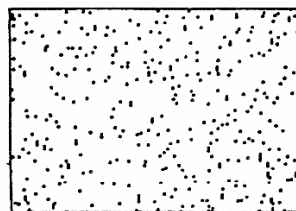
Die Stahlkugeln werden im äußeren Feld magnetisiert. Die Dipolmomente werden parallel ausgerichtet. Zweckmäßig wird im folgenden nur die Dipol-Dipol-Wechselwirkungskraft berücksichtigt. Als Modell für die Computersimulation legten wir einen rechteckigen Einzugsbereich um jede Kugel bzw. Strang, innerhalb dessen jedes andere Teilchen angezogen wird. Die Grenzen des Einzugsbereichs werden bestimmt von der Haftreibung und der Dipol-Dipol-Wechselwirkung und sind in guter Näherung ein Rechteck. Wird ein Teilchen angelagert, wird der

Strang parallel zum äußeren Magnetfeld verlängert.

Wie aus dem Bildvergleich ersichtlich, liefert die Simulation gute Ergebnisse. Die Häufigkeitsverteilungen der Stranglängen befinden sich ebenfalls in guter Übereinstimmung.



$B = 1.7 \cdot 10^{-2}$ Tesla



$B = 3.4 \cdot 10^{-2}$ Tesla

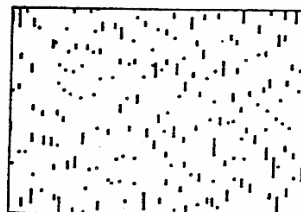


Abb. 1 a) Experiment

b) Simulation

2. Metallteilchen im elektrischen Feld

2.1. Experiment

Auf eine Plexiglasplatte mit den Abmessungen 20 cm x 20 cm x 3 mm werden 15 ml Rizinusöl aufgetragen. Die Stahlkugeln mit 1 mm Durchmesser werden gleichmäßig auf der Ölschicht verteilt. An einer Seite ist ein geerdeter Kupferstab angebracht. Dieser ist mit einer Metallplatte in leitender Verbindung. Eine homogene Aufsprühung von Ladungsträgern erfolgt durch zwei versilberte Kupferdrähte, die in 7.5 cm Höhe und in 8 cm bzw. 10 cm Abstand von der Kupferelektrode über der Platte gespannt werden und an die unter Schutzgas (N_2) bis 25 kV Spannung angelegt werden. Die Kugeln lagern sich von der

Kupferelektrode ausgehend zu Dendriten zusammen, deren Struktur von der Kugeldichte abhängig ist. (s. Abb. 2a)

2.2 Modell

Im Computerprogramm werden zwei Arten von Teilchen definiert: Bereits zu Dendriten strukturierte und Kandidaten dafür. Letztere werden am Anfang zufällig über die Fläche verteilt.

Die Programmschleife beginnt damit, zufällig ein bereits im Dendriten befindliches Teilchen auszuwählen. Um dieses wird ein kreisförmiger Einzugsbereich gelegt, innerhalb dessen Kandidaten angezogen werden. Es wird angenommen, daß die Größe des Einzugsbereichs von der Haftreibung und von einem Feldgradienten, der aus einer Poisson-Gleichung berechnet wird, abhängt. Die Randbedingungen hierfür sind: a) Der Strom verschwindet am Rand

b) Potential der Dendriten und der Kupferelektrode = 0

Falls ein Kandidat innerhalb des Einzugsbereichs gefunden wird, wird er in der Richtung an den Dendriten angelagert, in die der maximale Feldgradient weist und auf Potential Null gesetzt. Nach Lösung der Poisson-Gleichung wird das nächste Teilchen ausgewählt.

Ebenso wie beim Experiment bilden sich bei der Simulation dendritische Strukturen (s. Abb. 2). Eine andere Parallele ist, daß in beiden Fällen "Kandidaten" übrigbleiben. Das ist damit zu erklären, daß der Potentialgradient zu gering wird bzw. der Einzugsbereich nicht mehr ausreicht.

3. Vergleich: Kugeln im Magnetfeld - Kugeln im elektrischen Feld

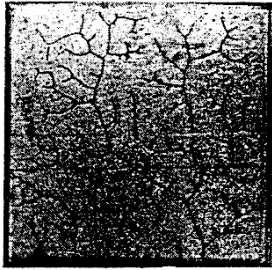
Im Magnetfeld bilden sich Stränge, im E-Feld Dendriten. Wie ist das zu erklären ?

Im Magnetfeld basiert die Anlagerung auf Dipol-Dipol-Wechselwirkung, also ist nur Anlagerung in Richtung des B-Feldes zu erwarten.

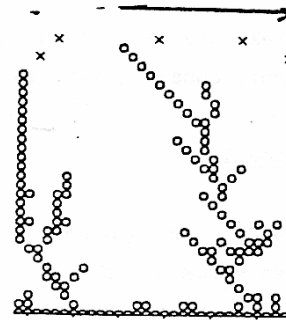
Im E-Feld haben wir es mit einer Monopol-Wechselwirkung zu tun, welche isotrop ist und so Anlagerung in verschiedenen Richtungen zuläßt.

Kugel-
anzahl:

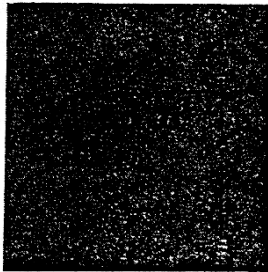
2000

Teilchen-
dichte:

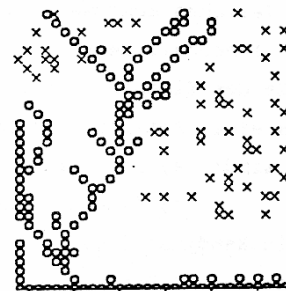
0.12



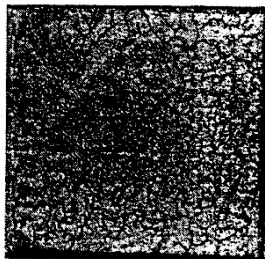
3000



0.18



4000



0.24

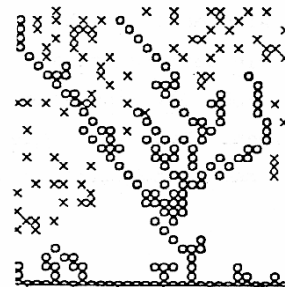


Abb. 2 a) Experiment

b) Simulation

Wir danken für ihre Unterstützung:

O. Wohofsky, P. Deisz, H. Zinner, W. Kroy und der Firma MBB

1) Teil der Promotionsarbeit