

## Ferrofluide

Bei den hier verwendeten Eisenoxidteilchen handelt es sich um nanoskaliges Magnetit. Magnetit oder Magneteisenstein, dessen chemische Formel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  lautet, ist der älteste bekannte Werkstoff, der für die Erscheinung des Magnetismus namensgebend war.

Bereits vor etwa 150 Jahren versuchte man, die Eigenschaften von magnetischen Substanzen und Flüssigkeiten zu kombinieren. Erste Erfolge erzielte man durch geschicktes Hinzufügen von ferromagnetischen Stoffen (z.B. Eisenteilchen) zu Wasser. Aufgrund der Gravitation setzen sich aber die Eisenteilchen nach kurzer Zeit ab. Um das zu verhindern, verringerte man die Teilchengröße, was aber ein unwiderrufliches Verklumpen der Teilchen zur Folge hatte. Erst 1965 konnte auch dieses Problem beseitigt werden. Der NASA-Mitarbeiter Stephen Pappell entwickelte magnetische und damit kontrollierbare Flüssigkeiten für den Einsatz in der Schwerelosigkeit, in denen sich die festen Teilchen weder mit der Zeit absetzen, noch in extrem starken Magnetfeldern aneinander anlagern und sich dann von der Flüssigkeit abscheiden. Ohne äußeres Magnetfeld verhalten sie sich wie ganz normale Flüssigkeiten. Der Siegeszug der magnetischen Flüssigkeiten, den **Ferrofluiden** (von lat. *ferrum* = Eisen, *fluidus* = fließend), begann.

Ferrofluide Stoffe bestehen aus 5-10 Nanometer großen magnetischen Partikeln (z.B. aus Eisen od. Magnetit), die in einer Trägerflüssigkeit (meist Wasser oder Öl) kolloidal dispergiert\* sind. Die dispergierten Nanopartikel zeigen ein unerwartetes Verhalten bei Magnetisierung: sie sind stark aber nicht dauerhaft magnetisierbar. Dies wird als **Superparamagnetismus** bezeichnet. Durch Zugabe bestimmter Substanzen (z.B. Tenside) wird die kolloidale Dispersion stabiler. Die Anlagerung dieser Moleküle an die Oberfläche der Nanopartikel führt zur gegenseitigen Abstoßung. Zusammenlagerung und Trennung der festen magnetisierbaren Nanopartikel von der Trägerflüssigkeit durch Sedimentieren wird so verhindert.

*\* Kleine Partikel oder Tröpfchen (ca. 1-1000nm) gleichmäßig im Lösungsmittel verteilt.*

## Anwendungsbereiche für Ferrofluide:

### **Medizintechnik:**

In der Medizin können Ferrofluide zur Diagnose beispielsweise als Kontrastmittel für die bildgebenden Verfahren der Computertomographie (CT) oder Magnetresonanztomographie (MRT) und zur Durchlässigkeitsprüfung von Gefäßsystemen eingesetzt werden.

Durch äußere Felder können Wirksubstanzen mit Hilfe von Ferrofluid als Träger an einer gewünschten Stelle im Körper positioniert werden (*Magnetic Drug Targeting*). Das Ferrofluid lässt sich schließlich durch Magnete wieder aus dem Blutkreislauf entfernen.

Sehr erfolgreich verliefen z.B. Tests mit oberflächenmodifizierten Ferrofluidnanopartikeln, die in Krebszellen eingeschleust und diese dann durch Anlegen eines hochfrequenten Magnetfeldes erhitzt wurden. Diese Wärme wird auf das Zellinnere übertragen, und die Zelle kann somit in ein künstliches Fieber versetzt werden (*Hyperthermie*). Damit kann das Tumorwachstum gestoppt und der Tumor unter günstigen Bedingungen auch vollständig entfernt werden. Das deutsche Unternehmen *MagForce* hat nach erfolgreichem Abschluss klinischer Studien im Jahre 2009 die Zulassung des Verfahrens für die Behandlung des Glioblastoms (Hirntumor) beantragt.

**Industriell:**

- Lautsprecher (Wärmeableitung, Dämpfung der Membran)
- verschleißfreie, reibungsarme Dichtungen um rotierende Wellen
- dynamisch geregelte, variable Dämpfung von Fahrzeugen
- Oberflächenbeschichtung von Tarnkappen-Flugzeugen (Stealth-Technologie)
- Tintenstrahldrucker mit ferrofluider Tinte

**Aufgabe:**

Charakterisiere Ferrofluide anhand folgender Fragen:

- Was sind Ferrofluide?
- Welche Eigenschaften zeichnen sie im Vergleich zu normalen Magneten aus?
- Welche Probleme waren bei ihrer Herstellung zu überwinden?
- Inwieweit sind die Anwendungsbereiche durch ihre besonderen Eigenschaften zu erklären?