

Magnetische Kurzzeitrelaxometrie realer Ferrofluide

D. Eberbeck¹, S. Hartwig¹, U. Steinhoff¹, L. Trahms¹, Th. Götze², N. Buske², K. Landfester³

¹ Physikalisch Technische Bundesanstalt, Berlin, ² Berlin Heart AG, Berlin, ³ Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, Potsdam/Golm

Die Relaxation des magnetischen Momentes der Nanopartikel in verdünnten Ferrofluiden wird bei Vernachlässigung der Dipol-Dipol-Wechselwirkung durch 2 Mechanismen bestimmt, die Brownsche und die Néelrelaxation. Die quantitative Bestimmung der Teilchenfraktionen, die nach Brown bzw. Néel relaxieren, erlaubt es, die Bindung von magnetischen Nanopartikeln zu beobachten. Das stellt die Grundlage magnetischer Immunoassays dar. Ziel ist es, Nanopartikel zu verwenden, die eine optimale Größe und Anisotropie der magnetischen Kerne aufweisen, so daß die Néelrelaxationszeit (τ_N) wesentlich langsamer als die Brownsche Relaxationszeit (τ_B) wird. Damit wird eine klare Trennung der Beiträge von gebundenen und ungebundenen Teilchen zum Meßsignal möglich.

Gefriertrocknen der Ferrofluide, die auf Wasser versetzt mit Mannit basierten, fixierte die Teilchen und unterband somit die Brownsche Relaxation. Somit konnte das Néelsche Relaxationsverhalten separat beobachtet werden. Die Proben mit mittleren Kerngrößen von 10-15 nm lieferten Anfangsmagnetisierungen von etwa 30 mT/mol bei einer Meßgenauigkeit des verwendeten SQUID-Meßsystems von unter 1 pT.

Die Momente frei beweglicher Teilchen in flüssigen Proben relaxieren aufgrund der Wirksamkeit beider Mechanismen nicht langsamer als in verfestigten Proben. Ein solch reguläres Verhalten wurde in den untersuchten Dispersionen mit Magnetitteilchen, deren Hülle aus Carboxymethyl-dextran, Ölsäure, oder Ölsäure+Polystyrol bestand (Dicke > 2 nm), gemessen ($\tau_N \approx 6 \dots 20 \tau_B$). Über einen Konzentrationsbereich, der sich über 3 Größenordnungen erstreckte, konnte ein linearer Zusammenhang zur Signalstärke nachgewiesen werden.

Einige der untersuchten flüssigen Proben zeigten jedoch ein abweichendes Verhalten: Die Relaxationszeit variierte mit der Konzentration und erreichte z.T. Werte, die in der Größenordnung der Néelrelaxationszeit lagen. Diese Proben zeichneten sich dadurch aus, daß die Magnetitkerne größer als 10 nm waren und die Dicke der Adsorptionsschicht nur etwa 0.6 nm betrug (Dimension des Zitronensäuremoleküls). Die zwischenpartikuläre magnetische Dipol-Dipol-Wechselwirkung war damit wesentlich stärker als für die Teilchen mit den dickeren Adsorptionsschichten. Das könnte die Bildung großer Aggregate verursachen und damit eine mögliche Ursache für das starke Ansteigen der Relaxationszeit in den genannten flüssigen Proben sein.