

# Experimente zur Bestimmung thermophysikalischer Eigenschaften in magnetischen Flüssigkeiten in Abhängigkeit von der Konzentration

R. Mußbach, L. Sprenger, S. Odenbach

## Grundlagen

Zur umfassenden Charakterisierung der thermophysikalischen Eigenschaften von kerosinbasierten Magnetit-Ferrofluiden mit einer Feststoffkonzentration von  $\varphi=2\text{...}10$  Vol.% wurden magnetische und rheologische Untersuchungen in Abhängigkeit von der Konzentration suspendierter Partikel und der Temperatur durchgeführt. Der konzentrationsabhängige pyromagnetische Koeffizient  $K=|\partial M/\partial T|_{H=\text{konst}}$  bestimmt die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung. Der Soret-Koeffizient  $S_T=D_T/D$  ist als Maß für die thermisch induzierte Diffusivität zu verstehen. Grundlage für die Bestimmung der Größe ist die Kenntnis der temperatur- und konzentrationsabhängigen Viskosität.

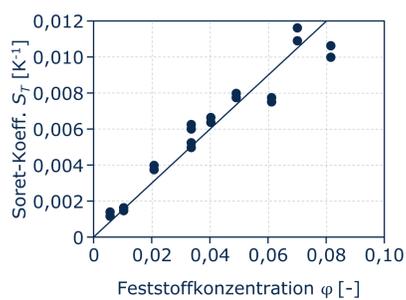


Abb. 1: Nach Lenglet gilt für  $S_T=S_T(\varphi): \varphi \uparrow \rightarrow S_T \uparrow$  [1]

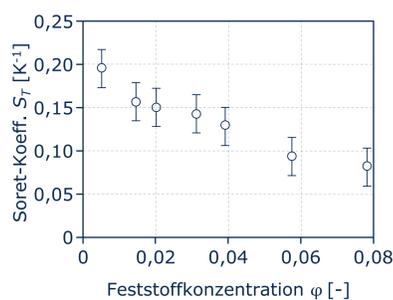


Abb. 2: Nach Völker gilt für  $S_T=S_T(\varphi): \varphi \uparrow \rightarrow S_T \downarrow$  [2]

Für die Abhängigkeit des Soret-Koeffizienten von der Feststoffkonzentration existieren zwei konträre Untersuchungsergebnisse (siehe Abb. 1 und 2). Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den oben genannten Widerspruch bezüglich der Abhängigkeit des Soret-Koeffizienten von der Konzentration magnetischer Partikel zu ergründen.

## Messmethoden

In einem ersten Schritt werden die magnetischen und rheologischen Eigenschaften der Ferrofluide charakterisiert. Dabei werden die magnetischen Eigenschaften mit einem Vibrationsmagnetometer (VSM) und die rheologischen Eigenschaften mit einem Rotationsrheometer bestimmt. Die zur Berechnung des Soret-Koeffizienten nötigen Separationsversuche werden mit einer sogenannten Thermodiffusionsmesszelle durchgeführt. Zur Ermittlung des pyromagnetischen Koeffizienten werden anschließend Magnetisierungskurven im Temperaturbereich von  $T=288$  bis  $308$  K gemessen. Ebenso wird die Temperaturabhängigkeit der Viskosität im selben Temperaturbereich untersucht. Anhand der bestimmten Stoffdaten wird anschließend der Diffusionskoeffizient  $D$  nach verschiedenen Ansätzen berechnet, wobei der Ansatz nach Batchelor zur Auswertung genutzt wird [3].

## Zusammenfassung und Ausblick

Zur Bestimmung der thermophysikalischen Eigenschaften wurden Fluidparameter in Abhängigkeit von der Konzentration magnetischer Partikel und der Temperatur ermittelt. Der pyromagnetische Koeffizient zeigt die erwartete Proportionalität zur Konzentration. Die Konzentrations- und Temperaturabhängigkeit der Viskosität wird im erwarteten Maße nachgewiesen. Zur Bestimmung des Soret-Koeffizienten wurden Separationsversuche für alle zur Verfügung stehenden Ferrofluide durchgeführt. Während der Untersuchungen wurde eine Veränderung der Fluideigenschaften erkannt, welche

## Versuchsdurchführung

Sowohl die Konzentrationsabhängigkeit (siehe Abb. 3) als auch die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung kann mithilfe der Magnetisierungskurven nachgewiesen werden. In Abb. 4 ist der maximale gemessene pyromagnetische Koeffizient  $K_{max}$  über der Partikelkonzentration aufgetragen.

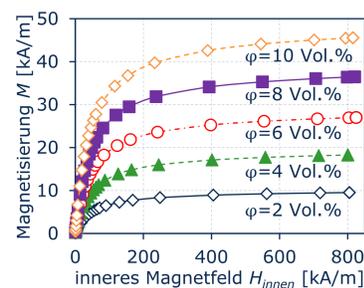


Abb. 3: EMG900,  $M=M(\varphi)$

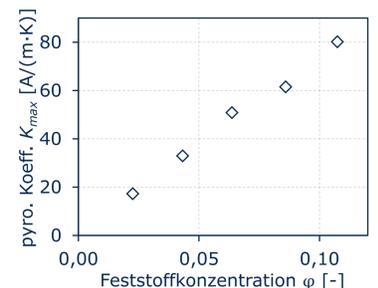


Abb. 4: EMG900,  $K=K_{max}(\varphi)$

In Abbildung 5 ist die Konzentrationsabhängigkeit der Viskosität dargestellt. Wie erwartet steigt die Viskosität mit der Konzentration magnetischer Partikel an. In Abbildung 6 ist die Temperaturabhängigkeit der Viskosität nach Arrhenius  $\eta=A \cdot \exp(-E_A/RT)$  dargestellt.

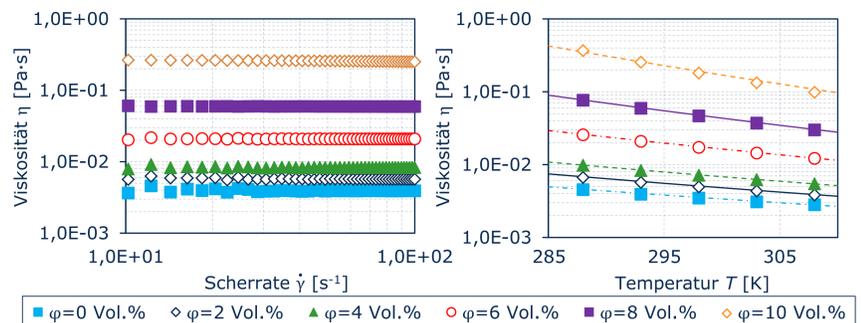


Abb. 5: EMG900,  $\eta=\eta(\varphi)$

Abb. 6:  $\eta(T)$  nach Arrhenius

In Abbildung 7 ist der konzentrationsabhängige Diffusionskoeffizient nach Batchelor dargestellt. Dieser steigt wie erwartet mit der Konzentration an, da sich in Bereichen mit geringerer Konzentration die Partikelmobilität leicht erhöht [3]. Resultierend aus den Separationsversuchen und in Verbindung mit  $D(\varphi)$  nach [3] ist in Abbildung 8 der Soret-Koeffizient über der Konzentration dargestellt.

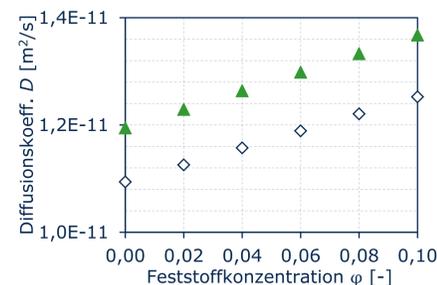


Abb. 7:  $D(\varphi)$  nach Batchelor [3]

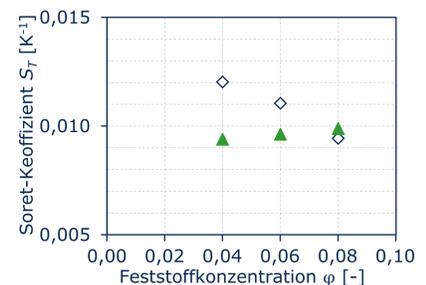


Abb. 8:  $S_T=S_T(\varphi)$

wahrscheinlich auf die Vernetzung bzw. die Mizellbildung überschüssiger Beschichtungsmoleküle zurückzuführen ist. Aufgrund dieser Veränderung der Fluideigenschaften kann keine gesicherte Aussage zur Konzentrationsabhängigkeit des Soret-Koeffizient getroffen werden. Für eine sichere Klärung des weiterhin bestehenden Widerspruches zu  $S_T(\varphi)$  sind weitere Separationsversuche durchzuführen.

- [1] Lenglet, J.: 2002, Physical Review E, Bd. 65, 031408
- [2] Völker, T.: 2004, JHMT, Bd. 47, 4315-4325
- [3] Batchelor, G. K.: 1976, JFM, Bd. 74, 01