

Rheological behaviour of gel propellants in dependence on the temperature

Rheologische Eigenschaften von Gel-Treibstoffen in Abhängigkeit der Temperatur

Ulrich Förter-Barth, Ulrich Teipel

Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT)

Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7

D - 76327 Pfinztal, Germany

Abstract

Gel propellants provide rocket propulsion systems of high specific impulse, low sensitivity and low vulnerability in combination with the capability to control the thrust, i.e., variation of thrust and thrust cut off. The rheological characterisation is essential for the development of adequate gel propellant formulations and thus for the design of an applicable propulsion system. In this contribution, the rheological behaviour of a gel propellant consisting of nitromethane as fuel and nanoparticles of silicium dioxide as gelling agent was examined. The experiments were conducted under steady state shear flow. The nitromethane/silicium dioxide-gels exhibit non-Newtonian flow behaviour over the whole concentration range examined. No dependence of the rheological behaviour on the temperature could be found.

1. Einleitung

Neben den Eigenschaften wie einem hohen spezifischen Impuls bei gleichzeitig hoher Unempfindlichkeit und sicherer Handhabbarkeit sowie guter Umweltverträglichkeit ist für die Verwendung von Gel-Treibstoffen in Raketenantrieben das rheologische Verhalten von besonderer Bedeutung. So sollte ein Gel-Treibstoff im Hinblick auf eine sichere Handhabbarkeit und gute Umweltverträglichkeit z.B. bei Lagerung und Transport festkörperähnliche Eigenschaften besitzen. Des Weiteren sollte der Gel-Treibstoff sich hinsichtlich der Fließeigenschaften so verhalten, dass er quasi wie eine Flüssigkeit vom Tank in die Brennkammer gefördert und zerstäubt werden kann.

Im Rahmen dieser Arbeit wird das rheologische Verhalten von Gel-Treibstoffen mit nanoskaligen Siliziumdioxidpartikeln in stationärer Scherströmung in Abhängigkeit der Temperatur untersucht und diskutiert.

2. Messmethoden

Die Untersuchungen zum rheologischen Verhalten von Nitromethan/Siliziumdioxid-Gelen wurden in stationärer Scherströmung mit dem Rotationsrheometer UDS 200 der Firma Physica Messtechnik GmbH durchgeführt. Als Messsystem wurde ein Kegel-Platte-System verwendet.

Bei stationärer Scherströmung kann die charakteristische Materialfunktion wie folgt beschrieben werden:

$$\tau(\dot{\gamma}) = \eta(\dot{\gamma}) \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

Dabei ist $\eta(\dot{\gamma})$ eine für das jeweils betrachtete Fluid charakteristische Materialfunktion, welche die bei einer rheometrischen Strömung auftretenden Fließeigenschaften beschreibt.

3. Materialien

Die untersuchten Gel-Treibstoffe bestanden aus Nitromethan als kontinuierliche Phase und nanoskaligen Siliziumdioxidpartikeln als disperse Phase.

Reines Nitromethan besitzt Newtonsches Fließverhalten mit einer dynamischen Viskosität von $\eta(25^\circ\text{C}) = 0,61 \text{ mPas}$. Die Dichte von Nitromethan beträgt $\rho = 1,139 \text{ kg/m}^3$.

Die disperse Phase der untersuchten Gel-Treibstoffe bestand aus nanoskaligem Siliziumoxid (Aerosil) der Degussa AG, Frankfurt. Die mittels Gaspyknometrie ermittelte Dichte des Siliziumoxids beträgt $\rho = 1,51 \text{ g/cm}^3$ und die spezifische Oberfläche (Gasadsorption) $S_V = 260 \text{ m}^2/\text{g}$. Die mittlere Größe der Primärpartikel liegt bei $\bar{x} = 7 \text{ nm}$.

4. Ergebnisse

Vor der rheologischen Charakterisierung der Nitromethan/Siliziumdioxid-Gele wurden diese zur Desagglomeration der Siliziumdioxidpartikel und zur Homogenisierung der Gele mehrere Stunden gerührt. Das Materialverhalten dieser Gele wurde danach in stationärer Scherströmung untersucht. Abbildung 1 zeigt die relative Viskosität in Abhängigkeit der Schergeschwindigkeit. Die Konzentration der dispersen Phase wurde im Bereich von 4 vol.% bis 8 vol.% variiert. Des Weiteren ist in Abbildung 1 die Viskositätsfunktion von reinem Nitromethan dargestellt.

Die relative Viskosität η_{rel} ist definiert als Verhältnis der Viskosität der Gele zur Viskosität der Matrixflüssigkeit bei konstanter Schergeschwindigkeit $\dot{\gamma}$.

$$\eta_{\text{rel}} = \frac{\eta_{\text{Gele}}|\dot{\gamma}}{\eta_{\text{Nitromethan}}} \quad (2)$$

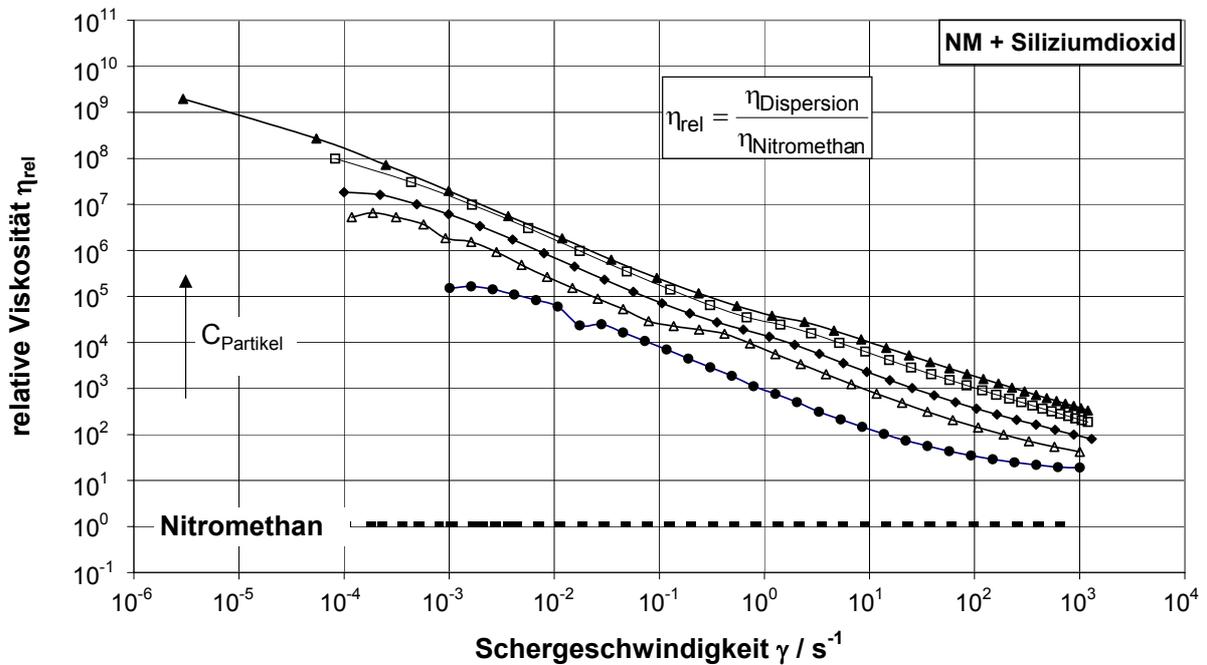


Abb. 1: Relative Viskosität der Nitromethan/Siliziumdioxid-Gele als Funktion der Schergeschwindigkeit; $\vartheta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Mit zunehmender Siliziumdioxidkonzentration ist –bei NEWTONschem Fließverhalten der Matrixflüssigkeit– ein immer ausgeprägteres strukturviskoses Fließverhalten der Gele zu beobachten. Dieses Nicht-Newtonsche Verhalten der Gele ist durch die im System auftretenden Partikel/Partikel-Wechselwirkungen und durch die, gegenüber einphasigen Fluiden, veränderten hydrodynamischen Verhältnissen bedingt. Bei kleinen Schergeschwindigkeiten ist der Viskositätsanstieg in Abhängigkeit der Konzentration besonders deutlich. In diesem Schergeschwindigkeitsbereich konkurrieren die interpartikulären Kräfte mit den in diesem Bereich wesentlich geringeren hydrodynamischen Kräften, so daß das rheologische Verhalten der Suspensionen sehr stark von der Konzentration und den die Suspension strukturierenden Wechselwirkungen abhängig ist. Durch eine Erhöhung der Schergeschwindigkeit, die eine Vergrößerung der hydrodynamischen Kräfte zur Folge hat, kommt es zu einer strömungsinduzierten Strukturierung der nanoskaligen Partikel und somit zur Abnahme der Viskosität bei gleicher Konzentration. Der Viskositätsunterschied in Abhängigkeit der Konzentration ist aufgrund der hydrodynamischen Strukturierung des Systems bei größeren Schergeschwindigkeiten wesentlich geringer als im Bereich kleiner Schergeschwindigkeiten.

Abbildung 2 zeigt die relative Viskosität eines Nitromethangels mit einer Siliziumdioxidkonzentration von 8 % im Temperaturbereich von $-10\text{ °C} \leq T_i \leq 60\text{ °C}$.

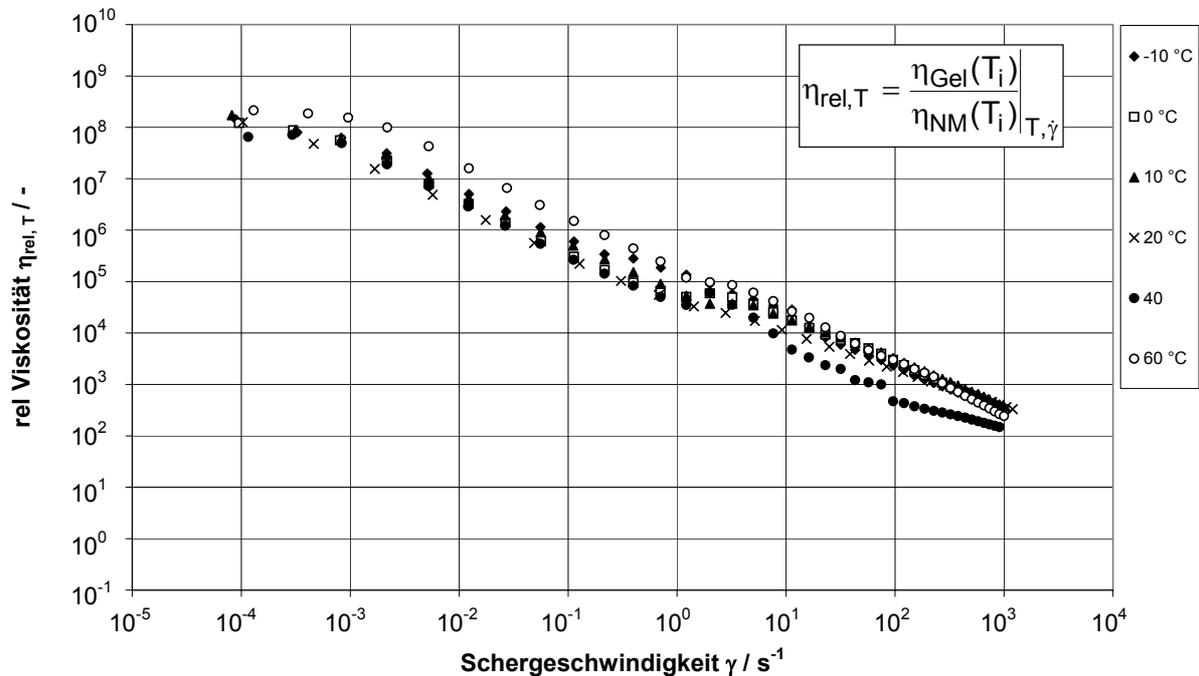


Abbildung 2: Rel. Viskosität von NM mit 8 % Siliziumdioxid als Funktion der Temperatur

In diesem Temperaturbereich zeigen die Nitromethan/Siliziumdioxid-Gele keine signifikante Abhängigkeit von der Temperatur, d.h. die thermische Mobilität der Nanopartikel wird nicht hinreichend genug angeregt, dass sich eine Änderung in der Viskosität zeigt.

5. Zusammenfassung

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Nitromethan/Siliziumdioxid-Gele zeigen in stationärer Scherströmung ein immer ausgeprägteres strukturviskoses Fließverhalten. Bei hohen Schergeschwindigkeiten überwiegen die hydrodynamischen Kräfte gegenüber den interpartikulären Wechselwirkungen, so dass es zu einer strömungsinduzierten Orientierung der nanoskaligen Siliziumdioxidpartikel und somit zu einer ausgeprägten Abnahme der Viskosität kommt. Das rheologische Verhalten der Nitromethan/Siliziumdioxid-Gele zeigt keine Abhängigkeit von der Temperatur.