

Weiterentwicklung des Ultraschallverfahrens zur Messung der Viskosität ruhender und strömender Fluide

M. BASTUCK*, F. WALTE*, T. WASCHKIES*, B. VALESKE

* Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Campus E 3.1, 66123 Saarbrücken

Kurzfassung

Die Messung der Viskosität von Fluiden ist eine häufige Aufgabenstellung der industriellen Produktion. Zumeist werden mechanische Messsysteme eingesetzt, welche eine Probenentnahme notwendig machen, wodurch keine Inline-Messung möglich ist. Zusätzlich stellen mechanische Systeme einen erhöhten technischen Umsetzungsaufwand dar. Besonders groß ist daher das Interesse an berührungslosen Messverfahren, welche z.B. mittels Ultraschall ermöglicht werden. Bisher bekannte Ultraschallverfahren nutzen die Veränderung des von der Viskosität des Messmediums abhängigen Reflexionsfaktors von Transversalwellen an Grenzflächen. Diese Verfahren arbeiten jedoch aufgrund von schlecht berechenbaren Divergenzverlusten des Schallfeldes ungenau. Daher unterliegen sie hinsichtlich der Messgenauigkeit deutlich den mechanisch arbeitenden Verfahren. Der vorliegende Beitrag zeigt deutliche Optimierungspotentiale der Ultraschallviskositätsmessung an unterschiedlichen Fluiden. Dies ermöglicht eine Viskositätsmessung mit signifikant verbesserter Genauigkeit.

Das entwickelte Verfahren basiert auf der Dämpfungsmessung von Longitudinalwellen, welche sich nach dem Durchlaufen des Ultraschallimpulses längs einer definierten und zuvor kalibrierten Wegstrecke im Messmedium ergibt. Dieser Dämpfungsfaktor ist proportional zur Viskosität. Das Verfahren nutzt die Differenzmessung, um auf eine theoretische Berechnung z.B. der elektrischen und mechanischen Verluste verzichten zu können. Durch spezielle Modellierung der Anregungspulse des Ultraschallwandlers wird die Verschiebung der Mittenfrequenz des ausgesandten Ultraschallimpulses, welche sich beim Durchlaufen eines dämpfenden Mediums ergibt, vermindert. So kann die Dämpfung auf eine definierte Frequenz bezogen werden. Die Divergenzverluste lassen sich im Rahmen der Laufwegkalibrierung mit Hilfe eines Referenzmediums bekannter Viskosität ermitteln. Aus den genannten Faktoren leiten sich die deutlichen Vorteile gegenüber anderen Ultraschallverfahren ab, wodurch die Messgenauigkeit verbessert werden kann. Die Eignung des Messverfahrens konnte anhand von Versuchen mit verschiedenen Ölen unter Beweis gestellt werden.

Der vorliegende Beitrag stellt ein wertvolles Tool vor, mit welchem schnell und effizient die Viskosität eines Fluides bestimmt werden kann. Auf der Grundlage einer automatisierten Signalauswertung bietet die beschriebene Systematik einen möglichen Ansatz zur Prozessregelung durch Integration der Ultraschalltechnik.

Weiterentwicklung des Ultraschallverfahrens zur Messung der Viskosität ruhender und strömender Fluide

M. Bastuck; F. Walte; T. Waschkies; B. Valeske

Messprinzip und Laboraufbau

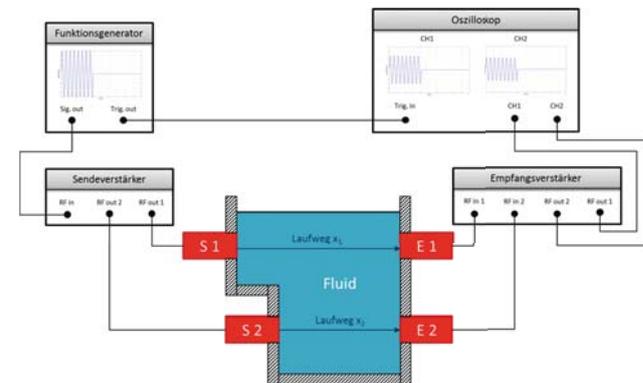


Abbildung 1: Messprinzip



Abbildung 2: Laboraufbau mit bzw. ohne Ultraschallwandler, Einstellung des Schalllaufweges über Abstandshalter

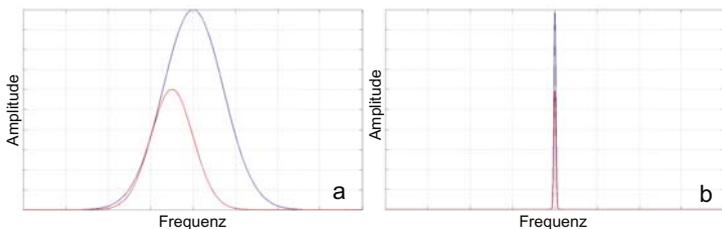


Abbildung 3:

Vergleich der Frequenzspektren; herkömmliche breitbandige Anregung (z. B. durch Rechteckimpuls) bewirkt eine Verschiebung der Mittenfrequenz des Signals nach Durchlaufen der Wegstrecke x_2 (blau) gegenüber x_1 (rot) aufgrund der stärkeren Dämpfung der höherfrequenten Anteile (a); optimierte schmalbandige Anregung (z. B. durch Sinus-Burst) Vermindert den Einfluss der Frequenzverschiebung sehr deutlich (b)

Berechnung der Viskosität aus Amplitudenwerten, beispielhafte Messergebnisse

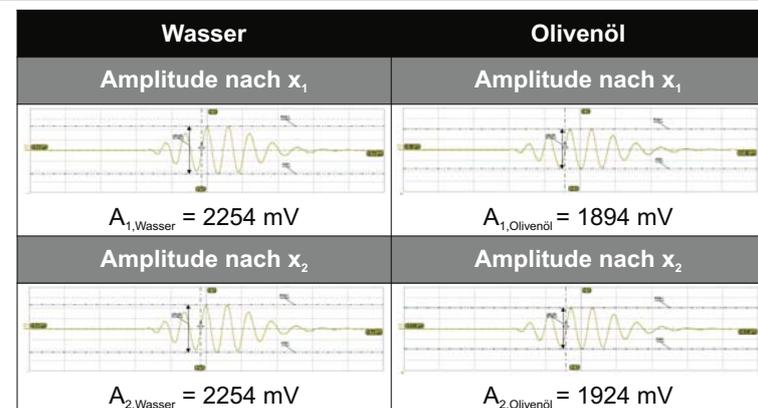


Abbildung 4: Rohdaten, $f = 3,36 \text{ MHz}$, $x_1 = 8,49 \text{ mm}$, $x_2 = 10,55 \text{ mm}$

| Prüffrequenz 1,40 MHz | | |
|-----------------------|----------------------|--------------------|
| Fluid | Fluidtemperatur [°C] | Viskosität [mPa·s] |
| Olivenöl | 24,3 | 79 |
| Schmieröl, ISO VG 220 | 20,4 | 970 |
| | 24,0 | 922 |
| Rizinusöl | 24,8 | 795 |

| Prüffrequenz 3,36 MHz | | |
|-----------------------|----------------------|--------------------|
| Fluid | Fluidtemperatur [°C] | Viskosität [mPa·s] |
| Olivenöl | 25,5 | 72 |
| Rizinusöl | 24,5 | 656 |

Abbildung 5: Zusammenfassung der Messergebnisse für verschiedene Fluide

$$\text{Dämpfung} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{p_1}{p_2} \right) = 20 \cdot \log_{10} (e^{-\alpha \cdot \Delta x}) \rightarrow \alpha !$$

$$\eta = \frac{3 \cdot \alpha \cdot \rho_0 \cdot c^3}{2 \cdot \omega^2}$$