

Gasvolumenmessung in blasenbeladenen Flüssigkeiten

Michael Gulsch¹, Bernd Henning¹

¹ Universität Paderborn, 33098 Paderborn, Deutschland, E-Mail: Gulsch@emt.upb.de

Kurzfassung

In vielen verfahrenstechnischen Prozessen ist die kontinuierliche Regelung von Prozessgrößen für einen stabilen und sicheren Betrieb eine wichtige Voraussetzung. Die Erfassung der Zielgrößen geschieht aufgrund von hoher Robustheit und Wartungsfreundlichkeit zunehmend mit akustischen Messverfahren. Besonders impulsbasierte Messsysteme werden häufig zur Messung von Durchfluss, Füllstand und in der Flüssigkeitsanalytik auch zur Konzentrationsmessung benutzt. Dabei führen am Messort auftretende Gasblasen zu großen messtechnischen Problemen. Sie verändern die gemessenen akustischen Stoffkenngrößen, wodurch es zur fehlerhaften Regelung bestimmter Prozesszielgrößen kommt.

Einleitung

Das Messen von Stoffkonzentrationen in der In-line-Flüssigkeitsanalytik und die Überwachung von verfahrenstechnischen Prozessen mit Hilfe von impulsbasierten Ultraschallmesssystemen haben in den vergangenen Jahren sehr an Bedeutung gewonnen. Dabei werden die Ausbreitungsgeschwindigkeit und die Dämpfung eines Ultraschallimpulses durch ein Medium gemessen und daraus die akustischen Stoffkenngrößen des Mediums, wie Schallgeschwindigkeit, Schallkennimpedanz und Schallabsorption bestimmt. Aus diesen wird dann auf die rheologischen Eigenschaften oder Einzelstoffkonzentrationen geschlossen. Zunehmend werden auch Stoffsysteme untersucht, die neben einer festen und flüssigen Phase eine gasförmige Phase in Form von Gasblasen besitzen. Sehr hohe Gasblasenkonzentrationen verursachen aufgrund der hohen Dämpfung einen Totalausfall des Messsystems. Aber auch bei geringen Gasblasenkonzentrationen lassen sich herkömmliche impulsbasierte Messsysteme nicht mehr zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit heranziehen, da Dispersionseffekte den zeitlichen Verlauf des Ultraschallsignals sehr stark beeinflussen, so dass es zu fehlerhaften Messungen kommt. Ziel dieser Arbeit ist die zweifelsfreie Erkennung von Gasblasen innerhalb des Messmediums anhand des empfangenen Ultraschallimpulses. Weiterhin soll die Schallgeschwindigkeit der flüssigen Phase unabhängig von anwesenden Gasblasen bestimmt werden.

Dispersionseffekt

Die meisten impulsbasierten Ultraschallmesssysteme arbeiten nach dem Prinzip der Durchschallung. Dabei wird ein elektrisches Signal durch einen Ultraschallwandler in eine mechanische Welle umgewandelt. Diese breitet sich im Medium aus und wird nach einer bekannten Strecke durch einen zweiten Ultraschallwandler empfangen und in ein

elektrisches Signal zurückgewandelt. Um die Laufzeit und damit die Schallgeschwindigkeit des Mediums zu bestimmen, kommt bei den meisten Ultraschallmesssystemen eine Nulldurchgangsdetektion (Zero-Crossing-Verfahren) oder eine Maximumsdetektion zur Anwendung.

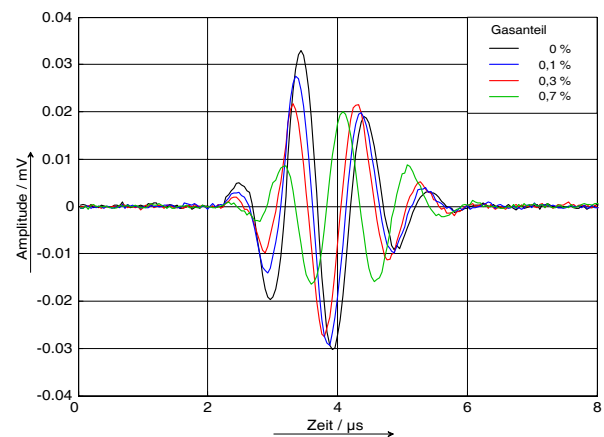


Abbildung 1: Zeitverläufe des Empfängersignals bei steigender Gasblasenkonzentration

Benutzt man zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit die in Abbildung 1 dargestellten Zeitsignale, beobachtet man, dass die Nulldurchgänge bzw. die Maxima bei steigender Gasblasenkonzentration zu früheren Zeitpunkten hin verschoben werden. Infolge dessen wird vom Messsystem eine höhere Schallgeschwindigkeit angezeigt.

Auswertung des Signalschwerpunktes

Zur besseren Auswertung wird eine Zeit-/Frequenzdarstellung (Wavelettransformation) gewählt.

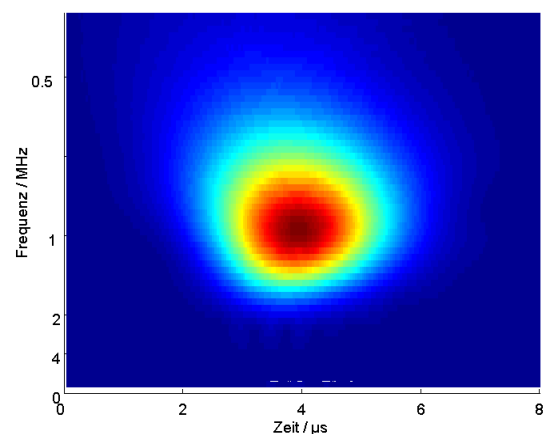


Abbildung 2: Wavelettransformierte eines unbeeinflussten Empfangsimpulses

Die Wavelettransformation bietet gegenüber der Fouriertransformation die Möglichkeit insbesondere kurze Impulse zeitlich und spektral höher aufgelöst darzustellen. In Abbildung 2 ist die Wavelettransformierte eines in Flüssigkeit aufgenommenen Empfangssignals mit der Mittenfrequenz von 1 MHz zu erkennen. Nimmt die Schallgeschwindigkeit des Mediums beispielsweise ab, trifft der Impuls später am Empfänger ein. Ohne Dispersion wird dabei weder die Signalform des empfangenen Impulses noch die Gestalt der Wavelettransformierten verändert, welche sich lediglich auf der Zeitachse weiter nach rechts verschiebt.

Sind hingegen Gasblasen innerhalb der Messstrecke, verändert sich sowohl die zeitliche Lage als auch die Gestalt der Wavelettransformierten. Um diese Änderung der Gestalt besser zu quantifizieren, erfolgt eine Differenzbildung der Wavelettransformierten des gemessenen Signals und eines Referenzsignals (Referenzdatensatz). Das Referenzsignal wird in einer Flüssigkeit ohne Gasblasen erzeugt. Verschiebt man den Referenzdatensatz zeitlich zur Wavelettransformierten des gemessenen Signals, verändert sich das Differenzbild. In Abbildung 3 ist beispielsweise die Wirkung einer temperaturbedingten Schallgeschwindigkeitsänderung, die zu einer Laufzeitänderung von 160 ns führt, bei verschiedenen Zeiten dargestellt.

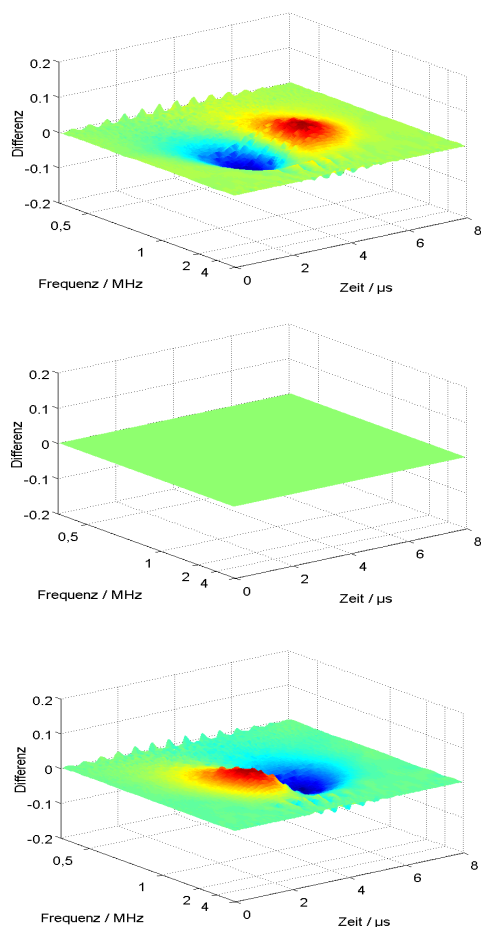


Abbildung 3: Differenz der Wavelettransformierten des Messsignals und der zeitlich verschobenen Referenzdatensätze: 0 ns (oben), 160 ns (mitte), 320 ns (unten)

Ohne Dispersion (d.h. ohne Gasblasen) wird die Differenz dann zu Null, wenn das empfangene Signal exakt um die temperaturbedingte Laufzeitänderung verschoben wird.

Durch Bildung der flächenbezogenen mittleren quadratischen Abweichung aus den in Abbildung 3 dargestellten Differenzen, erhält man einen parabelförmigen Verlauf, wie Abbildung 4 dargestellt (schwarze Kurve). Die Lage des Minimums auf der Abszisse entspricht genau der jeweiligen Laufzeitänderung.

Befinden sich jedoch Gasblasen am Messort, erreicht das Minimum nicht mehr die Nulllinie. Die Abweichung zeigt eine Proportionalität zum Gasanteil.

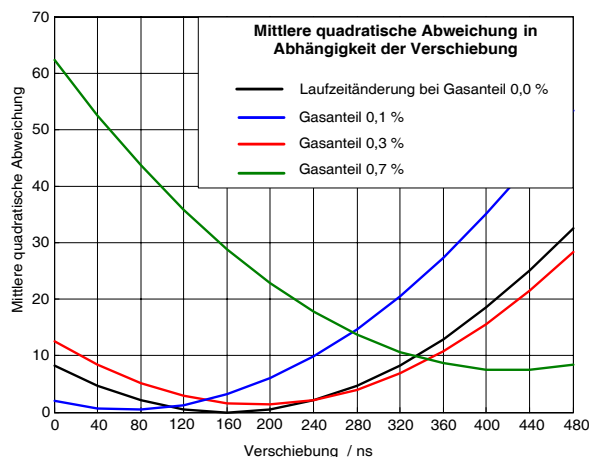


Abbildung 4: Verlauf der mittleren quadratischen Abweichung der Differenzen der Wavelettransformierten bei verschiedenen Gasanteilen

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass es zur Messung der Schallgeschwindigkeit in flüssigen Medien bei Anwesenheit von Gasblasen nicht ausreichend ist, allein eine Auswertung im Zeitbereich vorzunehmen. Durch eine Auswertung im Zeit-/Frequenzbereich mit Hilfe der Wavelettransformation ist es zum einen möglich, die Lage des Signalschwerpunktes zu ermitteln und weiterhin eine Aussage über die spektrale und zeitliche Veränderung des Empfangssignals zu treffen. Dabei wird deutlich, dass Gasblasen am Messort den Signalschwerpunkt zeitlich verschieben und den zeitlichen Verlauf des Empfangssignals beeinflussen. Dadurch ändert sich die Gestalt der Wavelettransformierten. Diese Änderung lässt sich durch Differenzbildung visualisieren. Aus der Abweichung des Minimums zur Abszisse lässt sich der in der Flüssigkeit vorhandene Gasanteil bestimmen.

Ausblick

Zukünftige Arbeiten zielen auf eine bessere Charakterisierung des Gasanteils hinsichtlich der Gasblasengröße, der Gasblasengrößenverteilung und des Gasvolumens.