

1 Einleitung

In den letzten Jahren haben Ultraschall-Durchflussmessgeräte ein großes Interesse geweckt. Die Gründe für die steigende Nachfrage werden durch folgende Vorteile beschrieben, wie z.B. einer kompakten Bauform und einem einfachen mechanischen Aufbau des Messgerätes. Mit dem Verzicht auf bewegte Teile steigt die Lebenserwartung an und die Applikation kann kostengünstiger produziert werden. Kurze Mess- und Ansprechzeiten sind ebenfalls von Interesse, wie eine vernachlässigbare Beeinflussung der Strömung, wodurch auch Druckverluste, die bei anderen Messverfahren auftreten, vermieden oder erheblich reduziert werden können.

Die vorliegende Arbeit stellt die Nachfolge zu den bisher veröffentlichten Beiträgen von *Skwarek* [36], *Windorfer* [37] und *Niemann* [26] dar und präsentiert neue Erkenntnisse sowohl auf dem Gebiet der Korrelations- als auch der Vortexmessung. Probleme in der Ultraschall-Durchflussmessung treten im Bereich der Signaldemodulation verstärkt bei gestörter Strömung auf. Zur bisher angewandten Signalverarbeitung wurde ein neues Verfahren entwickelt, das in Abhängigkeit von der Modulationsintensität bessere Ergebnisse erzielt. Ansätze in Richtung der Mehrpfadmessung wurden in der Form ausgeweitet, dass durch eine gezielte Anordnung der Messpfade die Möglichkeit zur visuellen Darstellung des Strömungsprofils besteht. Im Bereich der Vortexmessung lässt sowohl die Variation der Störkörpergrößen als auch deren Geometrie neue Erkenntnisse über den Zusammenhang von Strömung und Wirbelbildung zu. Auch die Untersuchung unterschiedlicher Ultraschall-Trägerfrequenzen und deren Beeinflussung durch die unterschiedlichen Störkörpergeometrien sind Bestandteil dieser Arbeit.

Eine kurze Einführung für unterschiedliche Ultraschall-Durchflussmessverfahren liefert das Kapitel 2. Eine ausführliche Erläuterung erfolgt für das Messprinzip der Korrelationstechnik und des Vortexverfahrens.

Die Wechselwirkung der in der Strömung befindlichen natürlichen Strukturen mit den Ultraschallsignalen ist komplexer Art und schwierig zu interpretieren. Die dadurch im Ultraschallsignal resultierende Modulation sowohl in der Amplitude als auch in der

1 Einleitung

Phase basiert auf Druck-, Dichte-, Temperatur- sowie Geschwindigkeitsschwankungen. Die Beeinflussung der Modulation durch Druck- und Temperaturänderung wird in einer speziell konzipierten Messkammer untersucht, und die Ergebnisse werden mit theoretischen Ansätzen verglichen. Ergänzende Untersuchungen erfolgen durch eine gezielte Generierung von Druckimpulsen und deren Einfluss auf die Modulation der Ultraschallsignale.

In Kapitel 4 wird zum bisher angewandten digitalen Demodulationsverfahren (QAD) ein neues Demodulationsprinzip vorgestellt, das auf der Basis eines Schätzers entwickelt worden ist. Mit Hilfe eines systemtheoretischen Ansatzes rekonstruiert das eingesetzte Kalmanfilter die demodulierte Phase. Ergebnisse werden sowohl für gemessene als auch simulierte Signale dargestellt und mit den rekonstruierten Signalverläufen durch die QAD verglichen.

Die Korrelation wird sowohl für demodulierte Signale mittels QAD als auch mittels Kalmanfilter in Kapitel 5 behandelt und deren Korrelationsergebnisse präsentiert. Die ersten Ansätze, das Strömungsprofil tomographisch mit Hilfe mehrerer Ultraschallpfade darzustellen, lieferte *Skwarek* [36]. Publikationen aus dem Bereich der tomographischen Darstellung sind nur bei der Anwendung des Laufzeit-Differenzenverfahrens bekannt. Die korrelative Geschwindigkeitsbestimmung zwischen zwei Ultraschallschranken stellt eine Alternative dar. Es werden Algorithmen zur tomographischen Rekonstruktion des Geschwindigkeitsprofils in der Rohrströmung vorgestellt und miteinander verglichen. Untersuchungen erfolgen auch für verschiedene Strömungsarten, wie die ungestörte und auch die gestörte Strömung hinter einem Einfach- oder Raumkrümmer.

Einen weiteren Schwerpunkt dieser Arbeit stellt die Vortexmessung dar. Die Arbeiten von *Windorfer* [37] beschränkten sich auf die Auswertung der Amplitude aufgrund der Problematik der vorherrschenden Phasensprünge. Durch ein neuartiges Verfahren der Phasenrekonstruktion nach *Niemann* [26] ist auch die Auswertung der Phaseninformation möglich. Die Ergebnisse der Phasenauswertung werden in diesem Kapitel zum ersten Mal vorgestellt.

1 Einleitung

Neben der digitalen Demodulation werden im weiteren Verlauf analoge Demodulatoren vorgestellt und miteinander verglichen. Bisher wurde nur eine Trägerfrequenz von $f_T = 220\text{kHz}$ verwendet. Untersuchungen erfolgten für weitere Trägerfrequenzen von $f_T = 80\text{kHz}$ und $f_T = 160\text{kHz}$. Unterschiedliche Wechselwirkungen zwischen dem Trägersignal und dem eingesetzten Störkörper resultierten daraus. Durch eine systematische Untersuchung verschiedener Störkörpergeometrien konnte ein Vergleich der unterschiedlichen Empfindlichkeiten dargestellt werden. Unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen lässt sich mit Hilfe einer neu definierten Kenngröße die gleiche Kennliniencharakteristik für verschiedene Störkörpergeometrien bestimmen. Mit Hilfe einer Kalbrierkennlinie wird zum ersten Mal eine Fehlerkurve erstellt, wodurch die Messabweichung des Durchflussmessverfahrens angegeben werden kann. Ergebnisse unter Störeinflüssen beschließen dieses Kapitel.

Das letzte Kapitel stellt in kurzer Form die wesentlichen gewonnenen Erkenntnisse dieser Arbeit zusammenfassend dar und endet mit einem Ausblick über mögliche Anknüpfungsansätze.