

Konzepte für die Mehrphasen-Durchflussmessung auf Basis der kernmagnetischen Resonanz

Marc Rhode

*Forschungsgruppe Hochfrequenztechnik am Lehrstuhl für Photonik und
Terahertztechnologie, Ruhr-Universität Bochum*

Bei der Erdölförderung fließen typischerweise Rohöl, Wasser und Erdgas, bezeichnet als Phasen, gleichzeitig mit unterschiedlichen Flussgeschwindigkeiten in zeitlich veränderlicher Zusammensetzung in den Rohrleitungssystemen. Um auch kleinere Ölvorkommen rentabel zu überwachen und die Anzahl der benötigten kostenintensiven Separatoren zu verringern, besteht ein großes Interesse an Messverfahren, welche die Flussgeschwindigkeit und die Anteile der einzelnen Phasen am Gesamtdurchfluss in einer Messung erfassen können, ohne die Phasen zu trennen. Aufgrund der erforderlichen Robustheit und Wartungsfreiheit entsprechender Messgeräte, die sowohl am Meeresboden in der Nähe der Quellen, als auch auf Ölplattformen eingesetzt werden sollen, ist das Messprinzip die kernmagnetische Resonanz (NMR= Nuclear Magnetic Resonance) von besonderem Interesse.

In der vorliegenden Dissertation werden Konzepte für die Mehrphasen-Durchflussmessung auf Basis der kernmagnetischen Resonanz vorgestellt. Es wurden zwei unterschiedliche Messprinzipien behandelt. Das erste Messprinzip basiert auf der T_1 -Relaxationszeit, die nach einer Auslenkung den zeitlichen Verlauf der Ausrichtung der Magnetisierung eines Spinsystems im Magnetfeld charakterisiert und die für die zu messenden Stoffe unterschiedlich ist. Durch die Messung an zwei aufeinanderfolgenden Positionen in Durchflussrichtung und somit an unterschiedlichen Zeitpunkten im Magnetisierungsprozess des Messgutes werden die Geschwindigkeit der flüssigen Phase und der Füllgrad der Rohrleitung bei maximal zweiphasigen Strömungen (Wasser und Luft) bestimmt. Hierzu muss die Relaxationszeit der flüssigen Phase aus einer separaten Messung bekannt sein.

Bei dem zweiten Messprinzip wird die Phasenverschiebung des gemessenen NMR Signals unter dem Einfluss eines, für jede Einzelmessung veränderten magnetischen Gradientenfeldes detektiert. Daraus kann zwar die Fluggeschwindigkeit direkt bestimmt werden, nicht jedoch der Füllgrad.

Für experimentelle Untersuchungen wurde ein Prototyp eines NMR Durchflussmessgerätes mit permanentem Magnetfeld und zwei Messstellen mit je einer kombinierten Sende- und Empfangsspule sowie jeweils einem Gradientenspulen-System verwendet. Es zeigt sich, dass besondere Probleme dann auftreten, wenn große Rohrleitungsquerschnitte vorliegen. Diese stellen hohe Anforderungen an die Homogenitäten des Magnetfeldes, des Gradientenmagnetfeldes sowie des Radiofrequenzfeldes der Spulen. Ein weiteres Problem entsteht bei hohen Flussgeschwindigkeiten.. Schließlich führt der veränderliche Füllgrad der Rohrleitungen zu einer Verstimmung des Resonanzkreises mit der RF Spule. Neben einer Darstellung und Behandlung dieser Probleme besteht ein weiterer Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit in der Optimierung der Versuchsanordnung an die variablen Anforderungen der Messungen.

Es konnte gezeigt werden, dass beide Messmethoden für einphasige Strömungen (Wasser) und zweiphasige Strömungen (Wasser und Luft) zufriedenstellende Ergebnisse liefern. Die erreichten Genauigkeiten der gemessenen Geschwindigkeiten liegen jeweils bei über 95% für einphasige und über 90% für zweiphasige Strömungen. Der Füllgrad kann mit einer Genauigkeit von über 80% bestimmt werden. Für Öle hoher Viskosität, die sehr kleine T_1 - und T_2 -Relaxationszeiten aufweisen, ist das Messprinzip basierend auf der T_1 -Zeit ungeeignet. Die starke Temperaturabhängigkeit der Relaxationszeiten erschwert die Messungen. Eine Kombination beider Methoden wird den Anforderungen gerecht, die Temperaturabhängigkeit einzugrenzen, kurze T_1 -Zeiten handhaben zu können und den Füllgrad der Leitung zu bestimmen.

Außerdem konnte in Messungen an nicht fließenden Gemischen von Öl und Wasser gezeigt werden, dass sich die Zusammensetzung durch Messung der T_1 - oder T_2 -Relaxationszeit und anschließender Modifikation der sich überlagernden exponentiellen Magnetisierungskurven beider Stoffe ermitteln lässt.