



Bild 1: Coriolis-Massedurchflussmesser Promass Q.



**GERMAN
INNOVATION
AWARD '18
GOLD**

Numerische Simulation und experimentelle Versuche gingen Hand in Hand

Ausgezeichnete Innovationen

Multivariable Sensorik und höchste Messgenauigkeit sind nur zwei Gründe, warum Gase und Flüssigkeiten immer häufiger mit dem Coriolis-Messprinzip erfasst werden. Für das Gerät Promass Q hat Endress+Hauser kürzlich mehrere Auszeichnungen erhalten. Der Erfolg wurde unter anderem auch durch ein kombiniertes Vorgehen mittels experimentellem Aufbau flankiert durch Simulationsmethoden mit ANSYS Workbench und optiSLang erzielt.

Die Endress+Hauser Gruppe ist ein führender Anbieter von Messgeräten, Dienstleistungen und Lösungen für die industrielle Verfahrenstechnik. Endress+Hauser liefert Sensoren, Geräte, Systeme und Dienstleistungen für Füllstand-, Durchfluss-, Druck- und Temperaturmessung sowie Analyse und Messwertregistrierung. Das Unternehmen unterstützt seine Kunden mit automatisierungstechnischen, logistischen und informationstechnischen Dienstleistungen und Lösungen. Die Produkte setzen Maßstäbe im Hinblick auf Qualität und Technologie.

Coriolis-Effekt ermöglicht genaue Bestimmung

Ein herausragendes Produkt aus dem breiten Angebotsspektrum von Endress+Hauser ist der Coriolis-Massedurchflussmesser. Dieses Prozessmessgerät wird in eine Prozessleitung eingefügt und bestimmt dort kontinuierlich Prozessgrößen des durchströmenden Fluids (Bild 2). Neben dem Massedurchfluss ($\pm 0,05\%$) ermittelt dieses Messgerät ebenso die Dichte ($\pm 0,2 \text{ kg/m}^3$) und die Temperatur ($\pm 0,1^\circ\text{C}$) mit außerordentlich hoher Genauigkeit. Zur direkten Bestimmung des Massedurchflusses wird der Coriolis-Effekt genutzt. Hierzu werden die zwischen den Prozessanschlüssen liegenden Messrohre von einem Erreger in Resonanz versetzt (Bild 3). Strömt nun ein Fluid durch die gegensinnig schwingenden Messrohre, so beginnen die Rohre infolge der Coriolis-Kraft zu taumeln. Diese Bewegung wird von zwei Sensoren am Ein- und Auslauf des Messrohres abgegriffen. Ein Signalprozessor berechnet die Phasendifferenz zwischen diesen beiden Signalen, welche direkt proportional zum Massedurchfluss ist. Darüber hinaus lässt sich aus der Resonanzfrequenz die Fluidichte ableiten und schließlich wird mittels eines Temperatursensors am Messrohr die Fluidtemperatur genau erfasst.

Entscheidend für die Applikationssicherheit und Messgenauigkeit in der Praxis ist, dass sich die Messrohrvibrationen nicht in die angeschlossene Prozessleitung hinein ausbreiten. Dazu muss der Prozessanschluss bei allen auftretenden Fluidichten ruhig stehen. Hochwertige Coriolis-Massedurchflussmesser sind daher stets „in Balance“, wodurch eine herausragende Messgenauigkeit erzielt wird. Meist wird das Prinzip der Stimmgabel genutzt, wobei die Strömung auf zwei gegenphasig schwingende Rohre aufgeteilt wird (Bild 3).



Bild 2: Promass Q in einer Lebensmittelapplikation.

Bild 3: Gegenphasige Grundschwingung der Messrohre bei etwa 100 Hz und einigen Mikrometer Auslenkung (überhöht dargestellt).

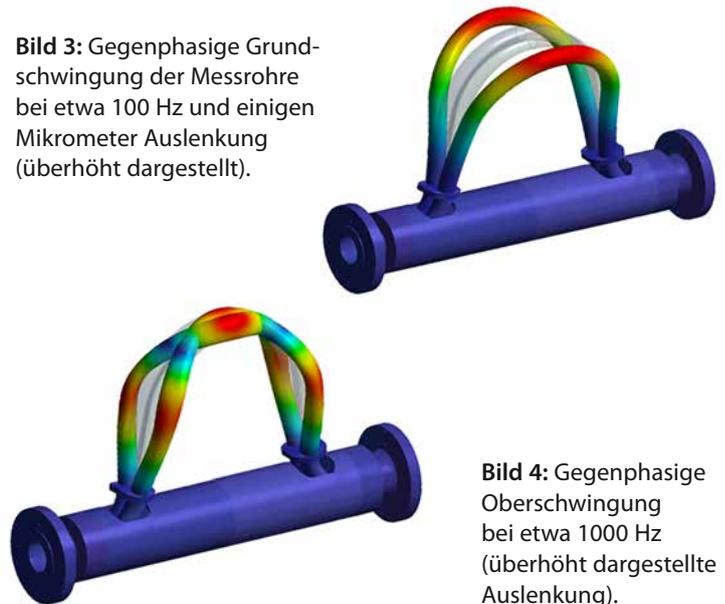


Bild 4: Gegenphasige Oberschwingung bei etwa 1000 Hz (überhöht dargestellte Auslenkung).

Sowohl diese Balance als auch die Unempfindlichkeit der Messrohrschwingung gegen Veränderungen von Prozessgrößen (Temperatur und Druck) sowie Stoffeigenschaften (Dichte, Viskosität und Schallgeschwindigkeit) wurden mit ANSYS Workbench sowie optiSlang optimiert. Grundlage dafür sind in der ANSYS-Programmiersprache APDL realisierte Kenngrößen, die praxisrelevante Eigenschaften des Messgerätes wiedergeben. Die Suche nach einem robusten und optimalen Kompromiss oft konkurrierender Designziele wurde mithilfe von optiSlang durchgeführt. Bei diesen Schritten wurden die Entwickler von Endress+Hauser durch Support und Schulungen von CADFEM unterstützt.

Um nicht den Bezug zur Realität zu verlieren, ist es hilfreich, so oft wie möglich eine Brücke zwischen den realisierten Prototypen einerseits und der FEM-Simulation andererseits zu schlagen. Der damit verbundene Abgleich der Materialparameter ist Grundlage für eine genaue Vorhersage des realen Systemverhaltens durch die Simulation. Als Früchte dieses Vorgehens wird aus der FEM-Simulation ein besseres Verständnis für das Funktionsprinzip des Messgerätes gewonnen. Mittels ANSYS Workbench lassen sich experimentell beobachtete Phänomene am Rechner nachvollziehen und oft auch verstehen, was wesentlich zur Entwicklung von Lösungsansätzen beiträgt. Durch die Simulation kann in dieser Phase auf viele kostspielige und zeitaufwendige Experimente verzichtet werden.

Bisher waren hohe Messgenauigkeiten nur unter idealen Voraussetzungen möglich, also bei stabilen Prozessbedingungen

sowie bei einphasigen und homogenen Medien, die der Rohrschwingung uneingeschränkt folgen. Solche Idealbedingungen sind in der Praxis aber häufig nicht vorhanden. So werden Lebensmittel – zum Beispiel Eiscreme oder Frischkäse – absichtlich aufgeschäumt. Häufig tritt aber auch Gas unerwünscht aus Medien wie Mineralöl aus, das sich aufgrund der hohen Viskosität nicht entfernen lässt. Promass Q (Bild 1 und 2) ist ein Coriolis-Durchflussmessgerät, das speziell für die betreffenden Anwendungen in der Öl- und Gas- sowie in der Lebensmittelindustrie entwickelt wurde.

Aktive Echtzeit-Kompensation von Messfehlern

Im Medium eingeschlossene Gasblasen reduzieren das Folgevermögen des strömenden Mediums, erhebliche Messfehler sind die Folge. Dank revolutionärer „Multi-Frequenz-Technologie“ (MFT) gelingt die aktive Echtzeit-Kompensation dieser Messfehler. Dazu werden die Messrohre gleichzeitig mit der Grundschwingung und einer Oberschwingung angeregt (Bild 4). Diese Oberschwingung liefert nun die fehlende Information, um ein Gleichungssystem zu schließen und einen robusten Korrekturalgorithmus anzugeben. Die Grund- sowie die Oberschwingung überstreichen bei Änderungen der Fluidichte breite Frequenzbänder. Mit Hilfe von ANSYS Workbench lassen sich störende Resonanzen in diesen Frequenzbändern zunächst aufdecken und es können dann Maßnahmen definiert werden, um diese Resonanzen aus den Frequenzbändern zu verschieben.

Im Promass Q wurden 15 Patente umgesetzt, und während der sechsjährigen Entwicklungs- und Industrialisierungsphase wurden etwa 1.000.000 virtuelle Prototypen berechnet. Die innovative „Multi-Frequenz-Technologie“ wurde unter anderem mit dem „Swiss Technology Award“ sowie dem „German Innovation Award“ ausgezeichnet (Bild 1). Komplexe schwingungsfähige Systeme wie Promass Q wären ohne numerische Simulation nicht realisierbar. Bei der Entwicklung von modernen Prozesssensoren ist ein kombiniertes Vorgehen mittels experimentellem Aufbau flankiert durch Simulationen nicht mehr wegzudenken. Bei diesem Prozess hat sich ANSYS Workbench in Kombination mit optiSlang als schlagkräftiges Instrument erwiesen. Endress+Hauser setzt seit mehr als 25 Jahren auf Simulationenwerkzeuge von ANSYS. Durch die kürzlich geschlossene strategische Partnerschaft zwischen Endress+Hauser und CADFEM soll die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der numerischen Simulation ausgebaut und gestärkt werden.

Endress+Hauser 

People for Process Automation

InfoUnternehmen

Endress+Hauser Flowtec AG
www.endress.com

InfoAutor

Dr.-Ing. Alfred Rieder
alfred.rieder@flowtec.endress.com

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Marc Vidal
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-18
mvidal@cadfem.de