

Clamp-On oder nicht Clamp-On – das ist die Frage

# Der Fall für Clamp-On-Durchflussmesser

Von Thomas Michalowski

## Einführung

Der Durchfluss ist neben Druck und Temperatur einer der wichtigsten Parameter bei der Überwachung oder Steuerung von Flüssigkeiten und Gasen in Rohrleitungen. Temperatur und Druck werden oft neben dem Durchfluss gemessen, um den Energiefluss in einem Rohr zu berechnen, aber sehr oft, besonders im Wasser- und Abwassersektor, kann die Durchflussrate der einzige Parameter sein, der gemessen wird, entweder um den Durchfluss für steuerliche Zwecke zu quantifizieren oder um den Durchfluss als Teil eines Prozesses zu steuern.

Es gibt eine große Vielfalt von Durchflussmessern, und jeder Typ hat seine Vor- und Nachteile. Die meisten Durchflussmesser werden direkt innerhalb des Durchflusses eingesetzt, oft über Schieberstücke, um die beste Messung des Durchflusses zu ermöglichen. Manchmal kann es sehr kompliziert sein, einen Durchflussmesser in ein Rohr zu integrieren. Es kommt auch vor, dass ein Messgerät vorübergehender Ersatz oder für eine Überprüfung des vorhandenen Equipments eingesetzt werden soll. In diesen Fällen bietet der Clamp-On-Durchflussmesser eine zuverlässige und kostengünstige Lösung.

## Die Technologien der Durchflussmessung

Die Durchflussmessung geht eigentlich auf die alten Ägypter zurück, die um 1500 v. Chr. eine Wasseruhr erfanden. Erst seit der industriellen Revolution wurde die Durchflussmessung jedoch so entwickelt, um den Bedarf an einer genauen Messung von Durchflüssen für Abrechnungszwecke und/oder zur Überwachung von Industrieprozessen zu befriedigen. Die ersten industriellen Durchflussmesser basierten auf der Flüssigkeitsverdrängung, und zu den verschiedenen Ausführungen gehörten Kolbenzähler, Schaufelräder, Peltonräder und Turbinen-Durchflussmesser. Heute verfügen die Verdrängungsmesser über Präzisionsrotoren, deren Umdrehungen von integrierten elektronischen Impulsgebern gezählt werden. Durchflussmesser, die auf der Bernoulli-Gleichung basieren, sind immer noch sehr weit verbreitet und reichen von einfachen Stauohren bis hin zu Venturi-Durchflussmesser und Blenden, die alle durch Messung der Druckdifferenz an einer in den Rohrstrom eingeführten Verengung und anschließender Anwendung der Bernoulli-Berechnung funktionieren. In den letzten Jahren haben sich eine Reihe moderner Technologien entwickelt. Dazu gehören optische Durchflussmesser, die mit Hilfe von Laserlicht in Gasen eingeschlossene Partikel erkennen, um

die Strömungsgeschwindigkeit zu ermitteln; magnetische Durchflussmesser, die das Faradaysche Gesetz der elektromagnetischen Induktion verwenden; und thermische Massendurchflussmesser.

Zu den wichtigsten Neuheiten, die sich heute fest im Portfolio der Durchflussmesser etabliert haben, gehören Wirbelzähler, Coriolis-Messgeräte und Ultraschallmessgeräte.

## Vortex-Durchflussmesser

Wirbelzähler beruhen auf der Erkennung der Frequenz, mit der aus einem im Flüssigkeitsstrom befindlichen Hindernis Wirbel erzeugt werden. Diese Frequenz ist direkt proportional zur Durchflussmenge, wird in ein elektrisches Signal umgewandelt, und die Durchflussrate wird von der Durchflussmesselektronik berechnet. Wirbelzähler werden über ein Schieberstück oder als direkt Messgerät in den Durchfluss eingesetzt. Sie werden vorwiegend in petrochemischen Anlagen, insbesondere für Hochdruck-Dampfleitungen, aber auch für die Zuteilung von Erdgas und für den Massenausgleich nichtviskoser Flüssigkeiten eingesetzt.

## Coriolis-Durchflussmesser

Coriolis-Messgeräte verwenden den Coriolis-Effekt, um einen Massenstrom anstelle eines Volumenstroms zu erzeugen. Wenn zwei Rohre schwingen, wirkt der Massenstrom des Fluids durch die Rohre der Schwingung entgegen und bewirkt eine Durchbiegung der Rohre. Diese Auslenkung wird durch die Zeitdifferenz zwischen den Ausgangssignalen von zwei Aufnehmerspulen identifiziert, und durch Verarbeiten dieser Informationen kann der Massenstrom abgeleitet werden. Mit ihrem breiten Durchfluss-, Druck- und Temperaturbereich messen Coriolis-Messgeräte effektiv den Massenfluss im gesamten Industriespektrum.

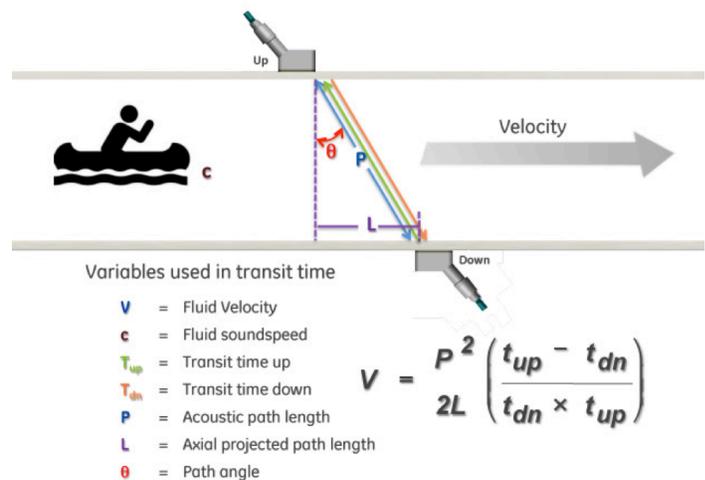
## Ultraschall-Durchflussmesser

Ultraschall-Durchflussmesser verwenden normalerweise zwei Messtechniken: Doppler und Laufzeit. Doppler-Messgeräte erfordern das Vorhandensein von Blasen und/oder Feststoffen in der Strömung, um die zu übertragenden Ultraschallimpulse zu reflektiert. Die Frequenzverschiebung des reflektierten Signals relativ zur übertragenen Frequenz ist proportional zur Geschwindigkeit des Reflektors und der Trägerflüssigkeit.

Bei der Laufzeittechnik wirken zwei Ultraschallmessköpfe sowohl als Signalgeneratoren als auch als Empfänger und stehen in akustischer Kommunikation miteinander. Im Betrieb fungiert jeder Messkopf zuerst als Sender, der eine Anzahl von akustischen Impulsen erzeugt, und dann als Empfänger für eine identische Anzahl von Impulsen. Das Zeitintervall zwischen Senden und Empfangen der Ultraschallsignale wird in beide Richtungen gemessen. Wenn die Flüssigkeit in der Leitung nicht fließt, entspricht die nachgeschaltete Laufzeit

der vorgelagerten Laufzeit. Wenn der Flüssigkeitsstrom vorhanden ist, wird die Laufzeit stromabwärts kürzer als die Zeit stromaufwärts, da die stromabwärts laufenden Impulse durch die Strömung beschleunigt werden und die stromaufwärts laufenden Impulse durch die Strömung verlangsamt werden. Die Differenz zwischen den beiden Laufzeiten ist proportional zur Strömungsgeschwindigkeit und ihr Vorzeichen gibt die Strömungsrichtung an.

Laufzeit-Ultraschall-Durchflussmesser werden in der Praxis sehr häufig eingesetzt. Sie können für Flüssigkeiten und Gase verwendet werden und bieten eine hervorragende Genauigkeit, haben keinen Drift, erzeugen keinen Druckabfall, behindern nicht den Durchfluss und benötigen keine routinemäßige Wartung. Sie können auch bidirektionale Strömungen und einen weiten Bereich von Betriebstemperaturen verarbeiten und bieten ein sehr hohes Turndown-Verhältnis. Mithilfe eines Temperatorkopplungssystems wie der „Baker Hughes Bundle Waveguide Technology“ können sie bei extremen Temperaturen von -200°C bis +600°C betrieben werden.



Laufzeit-Clamp-On-Variablen

Ultraschall-Laufzeit-Durchflussmesser bieten einen sehr wichtigen Vorteil gegenüber wettbewerbsfähigen Technologien. Obwohl sie häufig als Inline-Messgeräte mit „benetzten“ Messköpfen verwendet werden, können sie auch an der Außenseite eines Rohrs befestigt bzw. festgeklemmt werden. Eine Reihe von Vorteilen, einschließlich Portabilität und reduzierter Installationsstörungen resultieren daraus.

## Clamp-on Ultraschall-Durchflussmesser

Clamp-on-Ultraschall-Durchflussmesser erreichen nicht die Genauigkeit der hochpräzisen Inline-Laufzeitmesser, die beispielsweise für eichpflichtigen Verkehr zur steuerlichen Berechnung in der Öl- und Gasindustrie verwendet werden. Dies ist hauptsächlich auf die Dämpfung der Rohrwand und der Auskleidung innerhalb des Rohres, der Rohrzentrizität und weiteren Gründen zurückzuführen. Trotzdem können Clamp-On-Geräte eine Genauigkeit besser als 0,5%

erreichen (+/- 0,5% bis +/- 2,0% sind die Norm). Sie bieten eine ausgezeichnete Wiederholbarkeit von etwa 0,2% bis 0,3% und sind äußerst zuverlässig. Die Hauptvorteile von Ultraschall-Durchflussmessern sind jedoch ihre Vielseitigkeit und Kosteneffizienz.

- Einsatz in nichtleitenden Flüssigkeiten, Gasen und Dampf.
- Kein Druckabfall.
- Keine Störung während der Installation bzw. Montage, da der Prozess nicht heruntergefahren oder in das Rohr eingegriffen werden muss.
- Keine beweglichen Teile für eine lange Lebensdauer.
- Keine regelmäßige Kalibrierung.
- Messung von niedrigen und hohen Durchflüssen.
- Einsatz in rauen Umgebungen und EX-Bereichen.
- Einfache Bedienung.
- Datenübertragung erfolgt einfach über optionale Ausgänge.
- Im direkten Vergleich zu anderen Technologien niedrige Kapitalkosten.
- Eine Aufspannschiene kann für verschiedene Rohrgrößen verwendet werden.
- Zusätzliche Analogeingänge für Temperaturmessumformer ermöglichen die Messung des Energieflusses in Flüssigkeiten.
- Optionale Zweikanal- / Zweifadausführungen können den Durchfluss in zwei separaten Rohren mit nur einer Messeinheit und zwei Messkopfsätzen messen.
- Tragbare Versionen ermöglichen eine einfache, vorübergehende Überprüfung von Prozessen oder vorhandenen Inline-Messgeräten.

## Fokus auf anwenderfreundliches Design

Die Entwicklung neuer Clamp-On-Durchflussmesser stellt den Anwender in den Mittelpunkt des Konstruktionsprozesses. Neue Entwicklungen verbessern nicht nur die Technologie, sondern berücksichtigen auch die Stärken und Einschränkungen der Anwender und antizipieren, wie Anwender mit der täglichen Realität ihrer Arbeit umgehen.

Die Entwicklung neuer Produkte erfordert die Beobachtung, Messung und Validierung der Verwendung dieser Produkte. Baker Hughes unterstützt diese Art von Forschung und arbeitet mit Industriedesignern und Forschern zusammen, um seinen Ingenieuren, die an neuem Produktdesign arbeiten, zu helfen, die Herausforderungen zu verstehen, denen sich Kunden gegenübersehen. Diese Forschung trägt zu Entwurfsentscheidungen bei, die eindeutig mit den Menschen, ihren Prozessen und ihren Zielen verwurzelt sind.

## Anwendungen von Clamp-On-Ultraschall-Durchflussmessern

Clamp-On-Ultraschall-Durchflussmesser messen eine Vielzahl von Flüssigkeiten, einschließlich Flüssigkeiten wie:

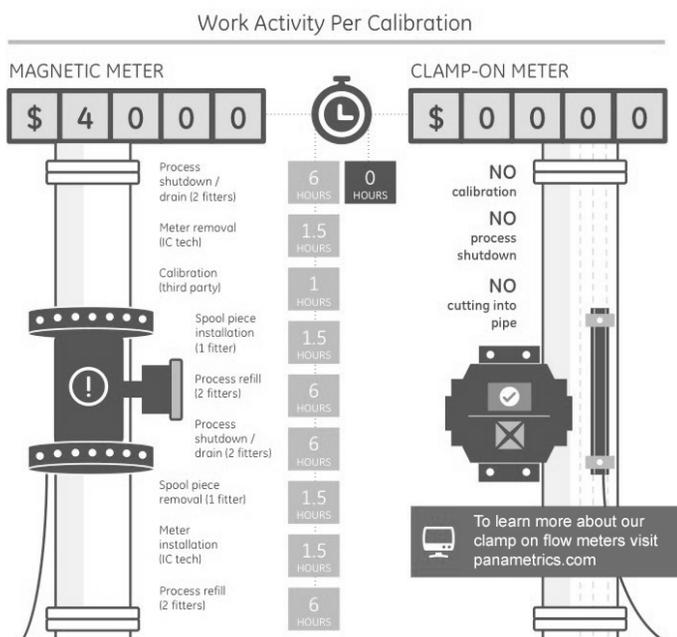
- Reinstwasser
- Saubere Flüssigkeiten
- Schmutz – und Abwasser
- Hochviskose Flüssigkeiten
- Ätzende Flüssigkeiten
- Schleifmittel
- Kohlenwasserstoffe, einschließlich pulsierender Hochtemperatur-, Hochdruck- und Niedriggeschwindigkeitsflüssigkeiten.

Einige Gase, die für die Clamp-On-Ultraschall-Durchflussmessung geeignet sind, umfassen:

- Überhitzter Dampf
- Erdgas
- Druckluft
- Stickstoff und Sauerstoff

Clamp-On-Ultraschall-Durchflussmesser können auch zwischen den verschiedenen Flüssigkeiten unterscheiden, die in derselben Pipeline gefördert werden, wie dies in der Erdölindustrie häufig der Fall ist.

Clamp-On-Ultraschall-Durchflussmesser haben drei Hauptanwendungen. Erstens, als In-situ- oder Festinstallation, Durchflussmesser. Zweitens, um vorhandene Durchflussmesser auf deren korrekte Funktion hin zu überprüfen bzw. zu bewerten. Und drittens, als vielseitige Mehrzweck-Durchflussmesser, die in einer Anlage oder Installation fast beliebig versetzt werden können, um bei Bedarf Durchflussdaten zu erfassen. Diese Anwendungen gelten sowohl für die Durchflussmessung in Flüssigkeiten als auch für Gase.



Ultraschall-Clamp-On-Systeme sparen Kalibrierungszeit und Geld.

# Durchflussmessung in Flüssigkeiten

## Festinstallationen

Inline-Ultraschall-Durchflussmesser werden heute weltweit als sehr genaue Messgeräte für hochpräzise Aufgaben, wie der eichpflichtige Verkehr im Öl- und Gassektor, eingesetzt. Natürlich ist ein Großteil der Anwender von anderen Technologien und deren Inline-Messgeräte auf Clamp-On-Messgeräte umgestiegen. Während Clamp-On-Ausführungen Genauigkeiten von  $\pm 1\%$  bis  $2\%$  erreichen und nicht ganz an die Genauigkeiten von Inline-Ultraschallmessgeräten mit benetzten Messköpfen herankommen, bieten sie trotzdem eine Menge an erheblichen Vorteilen. Der Hauptvorteil ist, dass sie leicht nachgerüstet werden können, ohne dabei in einen bestehenden Prozess eingreifen zu müssen oder etwa das kostspielige und unbequeme Herunterfahren eines Prozesses einleiten zu müssen. Eine solche Abschaltung könnte Gesundheits- und Sicherheitsfragen und damit verbundene Arbeiten betreffen, wie z.B. erforderliche Genehmigungen, Schneid- und Schweißarbeiten sowie Rohrentleerung und Spülen plus Kosten für Produktionsausfälle in Höhe von möglicherweise mehreren tausend Euro pro Stunde.

Ein Clamp-ON-Messgerät kann in weniger als einer Stunde installiert werden. Darüber hinaus sind die Kapitalkosten eines Clamp-On-Messgerätes deutlich geringer als bei vielen anderen wettbewerbsfähigen Technologien und Wartungskosten werden ebenfalls deutlich reduziert, da es keine beweglichen Teile gibt.

Der AquaTrans\* AT600 ist der neueste in der Panametrics-Reihe von Ultraschall-Durchflussmessern für Flüssigkeiten. Er verfügt über ein anwenderzentriertes Design, das sich auf Anwenderfreundlichkeit, Kosteneffizienz und Zuverlässigkeit konzentriert. Der AT600 kann in nur wenigen Minuten direkt auf einem Rohr installiert werden, ohne dabei den Prozess abschalten zu müssen. Dort kann er dann über Tage oder auch Jahre ohne erforderliche Wartung oder Kalibrierung an Ort und Stelle installiert bleiben.

Der AT600 kann in einer breiten Palette von Flüssigkeits-Durchflussanwendungen wie Wasser/Abwasser, Industrie, HLK, Wasserkraft und Landwirtschaft eingesetzt werden.



AquaTrans AT600 Durchflussmesser

Der DigitalFlow\* XMT868i ist ein vielfach bewährter Clamp-ON-Ultraschall-Durchflussmesser. Er verfügt über die entsprechende Zertifizierung für die Installation an explosionsgefährdeten Orten, z. B. in der Petrochemie sowie im Öl- und Gassektor. Der XMT868i kann verwendet werden, um zwei getrennte Rohre oder zwei getrennte Messstellen auf demselben Rohr mittels einer Zweikanal- / Zweipfadoption zu messen, indem er die Signale von zwei Paar Messköpfen empfängt und verarbeitet.

## Portabel

Tragbare Ultraschall-Durchflussmesser sind für die kurzfristige Messung und Überwachung ausgelegt. In der Regel sind sie kompakt und leicht und sollen vorübergehend installiert und von Standort zu Standort verschoben werden. Zu den tragbaren Geräten gehören normalerweise die Durchflusselektronik, externe Komponenten wie Vorrichtungen, Wandler und Kabel sowie Zubehör wie Dickenmessgeräte und Tragetaschen. Da tragbare Geräte häufig von mehreren Benutzern gemeinsam genutzt und / oder unregelmäßig verwendet werden, bieten die einfache Verwendung und das Vertrauen in die Messung einzigartige Herausforderungen und Möglichkeiten für Clamp-On-Hersteller.



Anwender eines tragbaren Durchflussmessers

Baker Hughes Panametrics TransPort\* PT900 ist ein bewährtes Design, das für seine Fähigkeit bekannt ist, den Durchfluss in schwierigeren Anwendungen zu messen. Es bietet die gleichen fortschrittlichen Messköpfe wie Messgeräte mit fester Installation und eine große Auswahl an Aufspannvorrichtungen. Es eignet sich für eine Reihe von Anwendungen und Rohrgrößen und ist besonders erfolgreich für Wasser und Abwasser, da es den Durchfluss von hochreinem Wasser zu extrem schmutzigen Flüssigkeiten wie Rohabwasser und Schlämmen misst.

# Durchflussmessung in Gasen

## Festinstallationen

Ultraschall Clamp-On Gasdurchflussmesser können eine Vielzahl von Gasen genau und zuverlässig messen. Beispielsweise kann Baker Hughes Panametrics DigitalFlow\* CTF878 an Rohren mit einem Durchmesser von 6 bis 30 Zoll mit Oberflächentemperaturen von  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $+300^{\circ}\text{C}$  und Mediumstemperaturen von bis zu  $130^{\circ}\text{C}$  installiert werden. Der CTF878 verwendet fortschrittliche Messköpfe, die fünfmal leistungstärkere Signale erzeugen als herkömmliche Messköpfe, so dass ein sehr großer Teil des Ultraschallsignals tatsächlich zur Messung durch den empfangenden Messkopf empfangen wird, nachdem er durch die Rohrwand, das Gas und die gegenüberliegende Rohrwand geleitet wurde.

Folglich sind die Signale sauber und stark mit reduziertem Hintergrundrauschen, selbst bei Gasanwendungen mit niedriger Dichte. Ein besonderes Merkmal des CTF878 ist die Verwendung der patentierten „Correlations-Tag-Technologie“, die die Genauigkeit des Messgeräts nochmals verbessert. Hierbei werden vier Messköpfe verwendet, die extern am Rohr montiert und in zwei Paaren angeordnet sind, einer stromaufwärts und einer stromabwärts. Jedes Paar enthält einen Sender und einen Empfänger. Der Sender sendet Ultraschall in einem kontinuierlichen Wellenmodus durch das Gas zu seinem gepaarten Empfänger, so dass die beiden Paare jeweils einen Abfragepfad stromaufwärts und einen stromabwärts bilden. Das kontinuierliche Wellensignal wird durch die Turbulenzen und lokalen Dichteschwankungen moduliert, die für eine Bewegung des Gases charakteristisch sind, so dass beide empfangenen Signale ein eindeutiges Turbulenzsignal des Gasstroms enthalten. Die empfangenen Signale werden dann demoduliert und durch einen Korrelationsalgorithmus verarbeitet. Bei turbulenten Strömungsbedingungen wird ein eindeutiger Korrelationspeak aufgezeichnet, der die Zeit angibt, die die eindeutige Turbulenzsignatur benötigt, um den Abfragepfad zu durchlaufen. Da dieser Pfad durch den Messkopfaufbau definiert wird, wird die Strömungsgeschwindigkeit einfach bestimmt, indem die Pfadlänge durch die Zeit dividiert wird, die zum Durchlaufen benötigt wird.

## Portabel

Tragbare Ultraschall-Gasdurchflussmesser sind ebenso wie ihre flüssigen Versionen für die kurzfristige Messung und Überwachung ausgelegt. Baker Hughes TransPort PT878GC, der bis zu  $230^{\circ}\text{C}$  Mediumtemperatur eingesetzt werden kann, liefert Daten in Bezug auf Geschwindigkeit oder volumetrisch summierten tatsächlichen oder Standarddurchfluss. Der eingebaute Datenlogger hat eine Kapazität von 100.000 Messungen und alle Durchflussdaten können zur Fernanalyse und -aufzeichnung exportiert werden.

# Clamp-On Durchflussmesser in Aktion

Clamp-On-Ultraschall-Durchflussmesser arbeiten weltweit in einer Vielzahl von Anwendungen und Installationen.

Z. B. verwendet ein Halbleiterhersteller einen tragbaren Durchflussmesser von Baker Hughes, um die Leistung der in seiner Wasseraufbereitungsanlage vor Ort installierten Durchflussmesser zu überprüfen und zu verifizieren. Jede Abteilung am Standort dieses Herstellers betreibt eine eigene Abflussleitung in die Wasseraufbereitungsanlage. Dies entspricht über zwanzig Abflussleitungen, von zwei Zoll bis 10 Zoll im Durchmesser in einer Vielzahl von Materialien von PVC bis Edelstahl. Inline-Durchflussmesser werden an jeder Abflussleitung unmittelbar vor dem Punkt installiert, an dem die Abflussleitungen in die Hauptabflussleitung der Abfallbehandlungsanlage eintreten. Der Volumenstrom jeder Abflussleitung wird kontinuierlich überwacht. Basierend auf diesen Messungen berechnet die Abfallbehandlungsanlage für jede Abteilung die Abfallmenge und die daraus resultierenden finanzielle Kosten. Dies motiviert jede Abteilung, so wenig Abfall wie möglich zu produzieren. Natürlich ist es wichtig, dass die Genauigkeit und Funktionalität der fest installierten Durchflussmesser überprüft wird. Das Unternehmen erwog den Einsatz von verschiedenen, tragbaren Durchflussmesser für diese Aufgabe, aber alle erwiesen sich als zu sperrig, zu kostspielig oder erforderten ein externes Aufzeichnungsgerät. Letztendlich versuchten sie es mit einem tragbarer Durchflussmesser von Panametrics, der sich als ideal für den Job erwies. Die Parameter für die verschiedenen Abflussrohre sind permanent im Speicher des Messgeräts programmiert, wodurch die Rüstzeiten verkürzt werden und der Durchflussmesser die Durchflussdaten kontinuierlich protokolliert. Die Daten werden dann auf einen PC hochgeladen, aufgezeichnet und mit den Daten verglichen, die vom jeweiligen fest installierten Messgerät generiert wurden. Dies hat gezeigt, dass es eine Korrelation mit 1%iger Genauigkeit im Vergleich zu einem korrekt funktionierenden Inline-Messgerät gibt.

## Schlussfolgerungen

Clamp-On-Ultraschall-Durchflussmesser sind mittlerweile weltweit bewährt und akzeptiert, wobei sowohl feste als auch tragbare Messgeräte für viele Anwendungen zunehmend akzeptiert und eingesetzt werden. Die Sektoren Chemie sowie Öl und Gas machen einen großen Teil dieser Basis von Clamp-On-Anwendern aus, wobei Wasser und Abwasser eine weitere andere sind. Das Wachstum von Wasser und Abwasser wird weltweit durch Bevölkerungswachstum, Migration und Infrastrukturverbesserungen in Entwicklungsregionen angetrieben, in denen sicheres Trinkwasser und eine wirksame Abfallbehandlung für das Wirtschaftswachstum nach wie vor unerlässlich sind.

Unabhängig von der Branche muss ein Betrieb heute die Effizienz aufrechterhalten und verbessern. Ein Schlüsselfaktor dafür ist die zuverlässige und kostengünstige Messung der Betriebsparameter, insbesondere des Durchflusses.

Clamp-On Durchflussmesser haben sich als ein wertvolles Instrument erwiesen, um Kunden dabei zu helfen, den ständig wachsenden Anforderungen gerecht zu werden und gleichzeitig ihre eigenen Ressourcen in Bezug auf Finanzen und Personal zu verbessern.

## Über den Autor

Tom Michalowski ist Global-Productmanager für Clamp-On-Ultraschall-Durchflussmesser. Er ist Chemieingenieur mit einem MBA und ist bei Panametrics und Baker Hughes seit mehr als 17 Jahren in verschiedenen Funktionen im Einsatz.