

# Eingriffsfreie Gasmengenmessung mit Clamp-On-Ultraschalltechnik auf dem Untertage-Erdgasspeicher Nüttermoor

Messen · Steuern · Regeln, Gasmengenmessung, Clamp-On-Ultraschalltechnik, Erdgaseinspeicherung

Jörg Sacher

*Der vor wenigen Jahren noch als „innovativ“ propagierte Einsatz benetzter Ultraschallgaszähler zur Großgasmengenmessung ist heute eine Standardtechnik. Inzwischen hat sich auch die eingriffsfreie Gasmengenmessung mit Clamp-On-Ultraschalltechnik vielfach in der Praxis bewährt. Weil die Einrichtung von Messstellen keine Rohrarbeiten und damit auch keine Betriebsunterbrechung erfordert, eignet sich das Verfahren insbesondere für die Nachrüstung an bestehenden Anlagen. Am konkreten Beispiel der Instrumentierung des neuen Betriebsplatzes auf dem EWE-Erdgasspeicher in Nüttermoor zeigt dieser Bericht, welche Gründe auch bei der Erstinstrumentierung von Neuanlagen für den Einsatz der eingriffsfreien Messtechnik sprechen: Die außen auf dem Rohr aufgeschnallten Ultraschallsensoren sind keinem Verschleiß durch das Medium ausgesetzt und bewirken keinen Druckverlust, etwaige Wartungsarbeiten erfolgen bei laufendem Betrieb.*

## **Non-invasive gas flow measurement using clamp-on ultrasonic technology at the underground natural gas storage facility in Nüttermoor**

*Promoted as “innovative” just a few years ago, wet ultrasonic gas meters for large-scale gas flow measurement are now a standard technology. Non-invasive gas flow measurement with clamp-on ultrasonic technology has repeatedly proven to be excellent in practice. This technique is especially suitable for retrofitting on existing systems as there is no pipe work required on the measuring points. As a result, operation is not interrupted. Using the instrumentation of the new operating site at the EWE natural gas storage facility in Nüttermoor as an example, this report shows the reasons for using non-invasive measurement technology during the initial instrumentation of new systems: the ultrasonic transducers secured to the outside of the pipe are not subjected to any wear and tear by the media and do not cause any pressure loss. Possible maintenance work may be carried out without interrupting operation.*

## **1. Einleitung**

Ein interessanter Aspekt des technischen Fortschritts ist die oft unmerkliche Konversion seiner Errungenschaften in Selbstverständlichkeiten. So ist heute oft Routine, was vor wenigen Jahren noch undenkbar erschien. Die Messtechnik macht hier keine Ausnahme. Auf dem Gebiet der Gasmengenmessung hat die Ultraschallmesstechnik einen solchen Wandel erfahren. Wurde die Anwendung von Ultraschall zur industriellen Durchflussmessung noch 2006 als „innovative Alternative“ zur klassischen (d.h.: mechanischen) Messtechnik propagiert [1], gelten benetzte Ultraschallgaszähler aufgrund ihrer hohen Messgenauigkeit und außerordentlichen Messdynamik nur drei Jahre später in der Großgasmengenmessung bereits als Instrumente erster Wahl [2].

Im selben Zeitraum hat auch die eingriffsfreie Variante der Gasmengenmessung mit Ultraschall eine faszinierende Entwicklung genommen. Nachdem die physi-

kalischen Herausforderungen gemeistert wurden, überwindet die eingriffsfreie Gasmengenmessung mit außen auf der Rohrleitung angebrachten Clamp-On-Ultraschallsensoren mehr und mehr auch die Vorbehalte der Anwender. Das schlagende Argument für die eingriffsfreie Ultraschalltechnik war bislang insbesondere die einfache Anbringung der Messeinrichtung, die keinerlei Rohrarbeiten und somit auch keinen Anlagenstillstand erfordert. Inzwischen haben die Clamp-On-Durchflussmesser ihre Zuverlässigkeit in zahlreichen praktischen Anwendungen unter Beweis stellen können. Heute wird die eingriffsfreie Messtechnik nicht mehr nur zur bequemen Nachrüstung bestehender Anlagen genutzt, sondern auch zur Erstinstrumentierung bei Neuanlagen. Bei der Errichtung eines neuen Betriebsplatzes auf ihrem Erdgasspeicher in Nüttermoor verzichtete die EWE AG von vornherein auf die Installation benetzter Durchflussmesseinrichtungen und ent-

schied sich statt dessen für die eingriffsfreie Durchflussmessung mit dem Clamp-On-Ultraschalldurchflussmesser FLUXUS® G.

## 2. Untertage-Erdgasspeicherung

Deutschland ist, es ist nur zu bekannt, ein Energieimportland. Der weltweit steigende Energiebedarf führt zu einem steigenden Nachfragewettbewerb um die knapper werdenden fossilen Primärenergieträger mit entsprechenden Auswirkungen auf die Preise. Dauerhaft kann die Energieversorgung nur dadurch gesichert werden, dass die eingesetzte Energie effizienter genutzt und neue Quellen erschlossen werden. Die im Oldenburgischen beheimatete EWE AG engagiert sich seit langem in der Nutzung erneuerbarer Energien und in der Entwicklung innovativer Verfahren der dezentralen Energieerzeugung. EWE gehört im Bereich der Windkraft zu den Technologieführern und ist Schrittmacher der Brennstoffzellen-Technologie. Auch auf dem Gebiet der Photovoltaik ist man aktiv: Im Zuge des Umbaus des Bremer Weserstadions errichtet das Unternehmen die größte Photovoltaikanlage auf einem deutschen Stadion.

Noch aber beruht die deutsche Energieversorgung zu etwa 80 % auf fossilen Energieträgern und zu etwa drei Vierteln auf Importen [3]. Mit einem Anteil von 22,1 % steht Erdgas hinter Mineralöl unter den Primärenergieträgern an zweiter Stelle. Nur 16 % des deutschen Erdgasaufkommens stammt aus heimischer Förderung [4]. Der Anteil von Erdgas an der Stromerzeugung beträgt lediglich 13,6 % [3]. Der wesentliche Einsatz von Erdgas geschieht in Deutschland zur Bereitstellung von Wärme und hängt daher von der Temperatur ab, schwankt also tages- und jahreszeitlich. Da die Fördermengen nur in sehr begrenztem Umfang gedrosselt oder gesteigert werden können, die vertraglich vereinbarten Importe nahezu konstante Bezugsmengen vorsehen und auch die Transportraten nur eingeschränkt variabel sind, wird zwischen Angebot und Nachfrage ein Puffer benötigt. Diese Aufgabe erfüllen Erdgasspeicher. Übersteigen Förderung und Bezug aus dem Ausland die Nachfrage, wird das überschüssige Erdgas eingespeichert, damit es bei Bedarf kurzfristig zur Verfügung steht. Im Zuge der Liberalisierung des Gasmarktes erhält die Ein- und Ausspeicherung von Erdgas eine zusätzliche ökonomische Bedeutung.

Gegenwärtig sind in Deutschland 47 Untertage-Erdgasspeicher mit insgesamt einem Arbeitsgasvolumen von 20,3 Mrd. m<sup>3</sup> [V<sub>n</sub>] in Betrieb [4]. 24 davon sind Kavernenspeicher, die 23 übrigen Porenspeicher. Bei den Porenspeichern dient eine geeignete poröse Gesteinsschicht, die wie ein Schwamm das Gas aufnimmt, als Speicher. Voraussetzung für die Nutzbarkeit als Speicher ist eine geeignete geologische Formation, in der eine nichtdurchlässige Gesteinsschicht über dem Speicherhorizont das Aufsteigen des Gases verhindert. Kavernenspeicher sind künstlich erzeugte unterirdische Hohl-

räume, die in einem Salzstock durch bergmännisches Aussohlen geschaffen werden. Sie funktionieren wie unterirdische Hochdruckbehälter und erreichen daher im Bedarfsfall sehr hohe Ausspeicherraten.

Erdgasspeicher der EWE AG tragen bereits seit über dreißig Jahren zur sicheren Versorgung der Erdgaskunden bei. 1975 wurde der erste EWE-Erdgasspeicher in Huntorf (Landkreis Wesermarsch) in Betrieb genommen, 3 Jahre später folgte der Erdgasspeicher im ostfriesischen Nüttermoor. Auf dem im Ausbau befindlichen Erdgasspeicher in Rüdersdorf bei Berlin begann 2007 mit der Befüllung einer ersten Kaverne der Speicherbetrieb. Zwei weitere Speicher in Jemgum (Ostfriesland) und Moeckow (Ostvorpommern) sind in Planung bzw. in der frühen Bauphase. Bei sämtlichen Untergrund-Erdgasspeichern der EWE AG handelt es sich um Kavernenspeicher.

## 3. Erdgasspeicher Nüttermoor

Der Erdgasspeicher Nüttermoor ist die größte Speicheranlage der EWE AG. Seine derzeit 18 Kavernen mit einem geometrischen Volumen von 400 000 bis 700 000 m<sup>3</sup> fassen ein Arbeitsgasvolumen von fast 1,1 Mrd. m<sup>3</sup> [V<sub>n</sub>]. Drei weitere Kavernen befinden sich gegenwärtig im Solprozess. Fünf Fernleitungsanbindungen verbinden den Erdgasspeicher Nüttermoor mit dem europäischen Pipelinenetz. Das von dort bezogene Erdgas passiert zunächst eine geeichte Eingangsmengenmessung. Der Druck im Transportnetz beträgt etwa 50 bar. Zum Einpressen in den Untertagespeicher wird der Gasdruck durch Verdichter auf bis zu 150 bar erhöht. Schließlich wird das komprimierte Erdgas über Hochdruckleitungen zu den Bohrungen geführt und über diese in die Kavernen im Untergrund verpresst.

Die Ausspeicherung erfolgt über dieselben Bohrungen wie die Einspeicherung. Das durch den Eigendruck aufsteigende Erdgas ist feucht und muss, bevor es ins Transportleitungsnetz wieder zurückgespeist wird, auf Transportleitungsdruck entspannt und getrocknet werden. Es wird über Freiwasserabscheider geführt, durch Wärmetauscher vorgewärmt und anschließend durch Injektion von Glykol in Absorbiertürmen getrocknet. Das getrocknete Gas wird über dieselben geeichten Mengemessungen wieder in das Transportnetz eingespeist.

Im Rahmen einer umfassenden Modernisierung der fast dreißigjährigen Anlage entstand 2007 ein neuer Betriebsplatz, von dem aus 14 Kavernen bedient werden (**Bild 1**). Dabei wurden die Kavernenleitungen auch mit Einrichtungen zur Gasmengenmessung versehen. Üblicherweise kommen dazu Messblenden oder Staudrucksonden zum Einsatz. Bei der Modernisierung des Erdgasspeichers Nüttermoor entschied man sich aus guten Gründen gegen die Instrumentierung mit mechanischen Messeinrichtungen. Diese besitzen zwar eine Art taktile Evidenz, wie das Holz, auf das man klopfen kann, haben jedoch erhebliche Nachteile. Während die



**Bild 1.** Der neue Betriebsplatz auf dem EWE-Erdgasspeicher Nüttermoor.



**Bild 2.** Messstellen mit den in Kreuz-Reflex-Anordnung angebrachten Clamp-On-Ultraschallsensoren.

meisten Durchflüsse in nur eine Richtung gehen, ist es auf Erdgasspeichern anders: Hier müssen die bewegten Gasmengen bei der Einspeicherung genauso gemessen werden wie bei der Entnahme. Messgeräte, die nach dem Wirkdruckverfahren arbeiten, eignen sich jedoch nur in einem sehr begrenzten Maß zur bidirektionalen Messung von Durchflüssen. Zudem ist ihre Messdynamik viel zu beschränkt, so dass zur einigermaßen genauen Erfassung des gesamten Messbereichs eine Kaskade von Druckdifferenzmessern notwendig wäre. Entsprechend stiege der Druckverlust und sank dadurch die Energieeffizienz der Anlage. Ebenso schwer wiegt die Verschleißanfälligkeit der invasiven Messtechnik: Nicht nur, dass Messblenden durch mechanische Abnutzung, etwa durch Tautröpfchen im ausgespeicherten Gas, ihre Kantenschärfe und somit ihre Messgenauigkeit verlieren, darüber hinaus führt Hydratbil-

dung bei der Ausspeicherung regelmäßig zum Verstopfen der Impulsschläuche und damit zum Ausfall der Messung. Wartungsarbeiten an den benetzten Messeinrichtungen sind jedoch aufwendig und erfordern die Unterbrechung des Speicherbetriebs an der betroffenen Kaverne.

#### 4. Durchflussmessung mit Clamp-On-Ultraschalltechnik

Mit der Entscheidung für die eingriffsfreie Durchflussmessung in Clamp-On-Ultraschalltechnik setzt man in Nüttermoor auf moderne Messtechnik. Nun messen Ultraschallmesssysteme vom Typ FLUXUS® G eingriffsfrei die Gasmengenbewegungen an den Kavernenleitungen (**Bild 2**). Da sich die Messstellen im explosionsgefährdeten Bereich der Zone 1 befinden, sind sämtliche Sensoren explosionsgeschützt ausgeführt. Als Messumformer kommt der ebenfalls ATEX-zertifizierte FLUXUS® G 800 zum Einsatz (**Bild 3**).

##### 4.1 Laufzeitdifferenzverfahren

Sämtliche Ultraschalldurchflussmesser FLUXUS® von FLEXIM arbeiten nach dem Laufzeitdifferenzverfahren, das sich gegenüber dem Doppler-Verfahren als zuverlässiger und genauer durchgesetzt hat. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Ultraschallsignals in einem Medium hängt von dessen Fließgeschwindigkeit ab. Bringt man zwei Schallwandler, die sowohl als Sender wie auch als Empfänger dienen, außen an einem Rohr an und schickt Ultraschallimpulse in das Medium, so hat das in Strömungsrichtung gesendete Signal eine kürzere Laufzeit als das ihr entgegengesetzte (**Bild 4**). Die gemessene Laufzeitdifferenz ist ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids. Aus dem Flächenmittelwert der Strömungsgeschwindigkeit und der Querschnittsfläche ergibt sich der Volumendurchfluss.



**Bild 3.** Sichere Messung im Ex-Bereich: Die Messumformer FLUXUS® G 800 sind ATEX-zertifiziert.

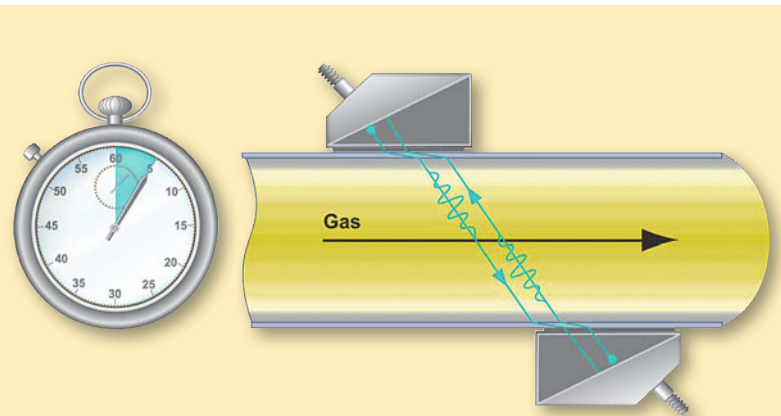
#### 4.2 Geringe Schalleinkopplung, Störschall

Bei der Durchflussmessung von Flüssigkeiten entspricht die Skizze des Messprinzips recht gut dem tatsächlichen Geschehen. Anders verhält es sich bei Gasen. Zwar geht es auch hier darum, den Laufzeitunterschied des Schalls beim Durchgang durch das Medium in und gegen die Flussrichtung zu messen, doch dringt nur ein deutlich geringerer Teil des Schalls überhaupt in das Gas ein. Der Anteil der ins Gas transmittierten Schallenergie wird von den akustischen Kennimpedanzen des Gases und der Rohrwand bestimmt. Es wird um so mehr Schall von einem Medium in das andere übertragen, je näher die jeweiligen akustischen Kennimpedanzen beieinander liegen. Die akustische Kennimpedanz eines Mediums ist definiert als das Produkt aus seiner Schallgeschwindigkeit und seiner Dichte. Bei Normaldruck wird daher nur ein geringer Teil der eingestrahelten Energie in das Gas übertragen. Der Rest des erzeugten Schalls breitet sich in der Rohrwand aus und wirkt dort als Störschall, der für die Messung ausgeblendet werden muss.

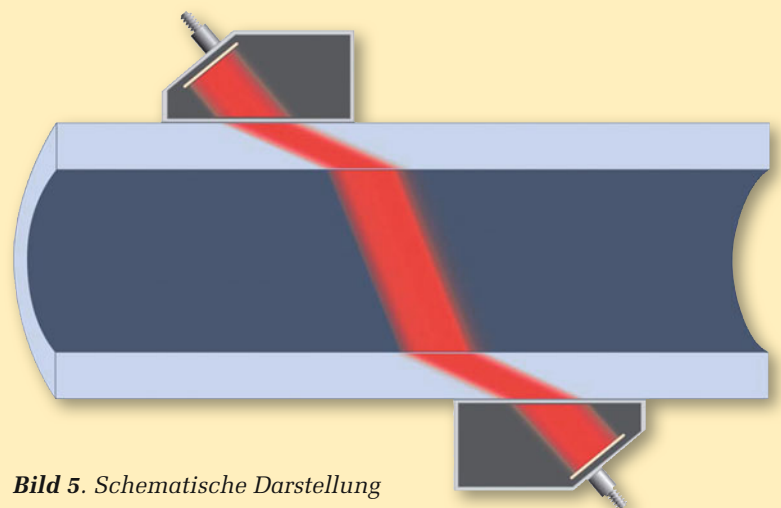
Da mit steigendem Druck die Dichte des Gases zunimmt und damit auch seine akustische Impedanz, gelingt die Einkopplung des Ultraschallsignals bei hohen Drücken wesentlich besser. Höhere Schalleinkopplung bedeutet gleichzeitig auch geringeren Störschall. Das eingriffsfreie Messverfahren funktioniert daher sehr gut bei hohen und höchsten Betriebsdrücken, die bei vielen anderen Verfahren mit hohen Kosten und großem Aufwand verbunden sind. Für die eingriffsfreie Messtechnik mit Clamp-On-Ultraschalltechnik sind Gasspeicheranlagen daher ein hervorragendes Anwendungsfeld [5].

#### 4.3 Adaptive Lösungen

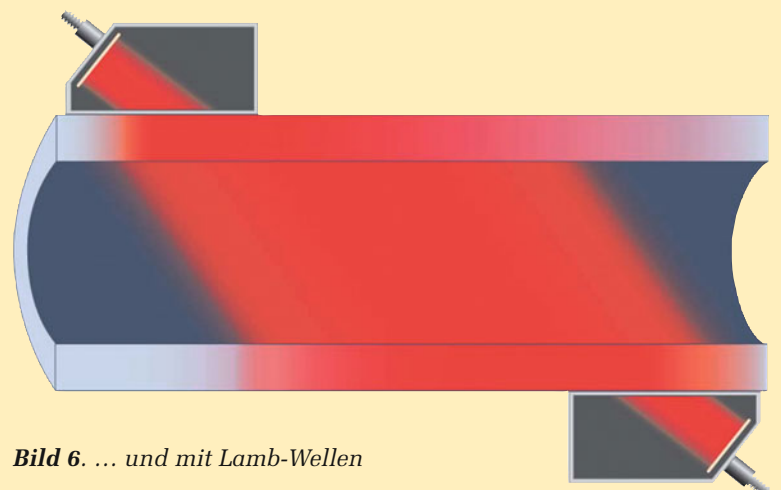
Doch auch bei niedrigeren Drücken erzielt die eingriffsfreie Messtechnik mit Ultraschall-Clamp-On-Sensoren inzwischen zuverlässige genaue Ergebnisse. Der Herausforderung durch die geringe Schalleinkopplung und den damit verbundenen Störschall entgegen die Entwickler auf allen Ebenen der Signalerzeugung, -einbringung und -verarbeitung: Apparativ durch die Entwicklung verschiedener Sensortypen, nämlich besonders geeigneter und universell einsetzbarer niederfrequenter Ultraschallsensoren sowie Sensoren, deren unterschiedliche Formen der akustischen Anregung und der Signaleinbringung auf die speziellen Verhältnisse an der Messstelle optimal angepasst sind. FLEXIM verfügt über ein integrales Sensorkonzept. Neben den universell einsetzbaren Sensoren vom Typ GS, die durch die Anregung mit Scherwellen einen breiten Nennweitenbereich abdecken und flexibel auf Rohren mit unterschiedlichen Wanddicken messen können, hat FLEXIM Sensoren entwickelt, die mit Lamb-Wellen arbeiten. Bei dieser nach dem britischen Physiker Horace Lamb (1849-1934) benannten akustischen Anregung wird die Rohrwandresonanz zur Signaleinbringung genutzt [6].



**Bild 4.** Das Messprinzip der Gasdurchflussmessung mit Clamp-On-Ultraschallsensoren: Aus der unterschiedlichen Laufzeit eines Ultraschallsignals in und gegen die Strömungsrichtung und der Geometrie der Messanordnung lässt sich die Strömungsgeschwindigkeit errechnen.



**Bild 5.** Schematische Darstellung der akustischen Anregung mit Scherwellen ...



**Bild 6.** ... und mit Lamb-Wellen

Diese GL-Sensoren sind auf einen definierten Rohrwanddickenbereich abgestimmt. Sie sind daher für die Festinstallation vorgesehen und ideal geeignet zur Messung bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten sowie von Gasen mit hoher Dämpfung (vgl. **Bilder 5** und **6**). Diese mit Lamb-Wellen arbeitenden GL-Sensoren werden auch in Nüttermoor eingesetzt.

Die applikative Antwort auf den Störschall liegt im Einsatz einfacher Dämpfungsvorrichtungen. Dazu kommen avancierteste Verfahren intelligenter Signalverarbeitung. Geräte der FLUXUS® G -Serie von FLEXIM verfügen über ein sich an Störsignale adaptierendes Signalverarbeitungsregime, die Multipulserregung: Der adaptive Mess-Algorithmus passt sich automatisch den Umständen an; Störeinflüsse lassen sich effektiv kompensieren. Wie bei Einbau-Ultraschalldurchflussmessern erhöht auch bei Clamp-On-Messsystemen die numerische Verrechnung von Mehrpfadanordnungen über mehrere Messkanäle die Genauigkeit der Messergebnisse. Zur Erhöhung von Zuverlässigkeit und Genauigkeit wurden die Messstellen in Nüttermoor mit der Zweikanalversion des FLUXUS® G 800 instrumentiert. Die beiden jeweils angeschlossenen Sensorpaare sind in Kreuz-Reflex-Anordnung an der Rohrleitung angebracht.

Ein wesentlicher Vorteil des akustischen Messverfahrens ist seine außerordentliche Messdynamik. Verfahrensbedingt ist der durch Ultraschall-Clamp-On-Gas-Durchflussmessgeräte abgedeckte Strömungsgeschwindigkeitsbereich sehr groß. Da die eingestrahlte Ultraschallwelle trägheitslos und schlupffrei der Strömung folgt, sind sehr kleine Strömungsgeschwindigkeiten auch bei großen Nennweiten detektierbar. Die Obergrenze wird durch die Verwehung des Schalls bestimmt. In praktischen Anwendungen sind Strömungsgeschwindigkeiten bis 30 m/s messbar. Die Messung funktioniert – im Unterschied zu mechanischen Vorrichtungen – unabhängig von der Strömungsrichtung; sie ist bidirektional.

Ultraschall-Clamp-On-Gasdurchflussmesser bieten prinzipbedingt sowohl bei der Installation als auch im Betrieb sehr gute Eigendiagnosemöglichkeiten [7]. Insbesondere das Verhältnis von Signalamplitude und der eines korrelierten Störsignals – in Anlehnung an die Definition des Signal-Rausch-Verhältnisses als ScNR bezeichnet – sowie das unkorrelierte Signal-Rausch-Verhältnis SNR sind wichtige Indikatoren für die Güte einer Messung. Da für die Anbringung der Messeinrichtung weder Rohrarbeiten noch Betriebsunterbrechungen nötig sind, ist es durch diese Eigendiagnosefunktionen möglich, sowohl die ideale Messstelle als auch die am besten geeigneten Sensoren zu bestimmen.

Durch konsequente und intelligente Weiterentwicklung konnte der Einsatzbereich der Gasdurchflussmessung mit Clamp-On-Ultraschalltechnik immer weiter ausgedehnt werden. So ist heute sogar die eingriffsfreie Durchflussmessung von akustisch stark dämpfenden Gasen oder bei niedrigen Drücken um 2 bar möglich [8].

## 5. Fazit

Die eingriffsfreie Clamp-On-Ultraschalltechnik hat sich als zuverlässiges Verfahren für die Durchflussmessung von Gasen vielfach in der Praxis bewährt. Aufgrund der Verhältnisse bei der Erdgaseinspeicherung – hohe Drücke, bidirektionale Durchflüsse – bietet sich das eingriffsfreie Ultraschall-Clamp-On-Verfahren für Betriebsmessungen auf Erdgasspeichern geradezu an. Die Vorteile der eingriffsfreien Messtechnik gehen dabei über die bequeme Nachrüstbarkeit weit hinaus. Die außen auf der Rohrleitung angebrachten Ultraschallsensoren sind unempfindlich gegenüber der Gasfeuchte bei der Ausspeicherung und keinem Verschleiß durch Hydratbildung ausgesetzt. Langfristig zahlt sich die eingriffsfreie Messung ökonomisch wie ökologisch doppelt aus: Die Messung bewirkt keinen Druckverlust und beeinträchtigt so nicht die Energieeffizienz der Anlage. Weil auch Pflege und ggf. Wartung der eingriffsfreien Durchflussmessstellen keine Rohrarbeiten erfordern, wird ein Entspannen des in den Kavernenleitungen enthaltenen Gases – zum Nachteil der Umwelt ebenso wie zum Nachteil der Bilanz des Speicherbetreibers – vermieden.

## Literatur

- [1] Heberer, M. und Neig, T.: Ultraschall – Die innovative Alternative in der industriellen Durchflussmessung. GWF-Gas/Erdgas 145 (2004), Nr. 4, S. 215–220.
- [2] Bowen, J.W. und Zajc, A.: Natural Gas Metering With Ultrasound – A New Dimension of Metering. gwf – Gas|Erdgas International Issue 2009, S. 14–21.
- [3] AG Energiebilanzen, Pressedienst Nr. 05/2009.
- [4] Sedlacek, R.: Untertage-Gasspeicherung in Deutschland. Erdöl Erdgas Kohle 125, Heft 11, 2009, S. 412–426.
- [5] Krajcin, I., Uhrig, M. und Altfeld, K.: Ultrasonic Meters in Gas Measurement. GWF-Gas/Erdgas International Issue 2009, S. 4–12.
- [6] Lamb, H.: On Waves in an Elastic Plate, Proceedings of the Royal Society of London, Series A, vol. XVIII, London 1917, S. 114–128.
- [7] Panicke, M.: Diagnosis and Evaluation of Ultrasonic Clamp-on Measurements, 8th South East Asia Hydrocarbon Flow Measurement Workshop, Kuala Lumpur, Malaysia 2009.
- [8] Funck, B.: Ultraschall Clamp-on-Gasdurchflussmessung in der Nähe der Einsatzgrenzen, Tagungsband: 5. Kötter-Workshop Gasmengenmessung 2010, S. 15–27.

## Autor



**Jörg Sacher**

FLEXIM GmbH |

Berlin |

Tel. +49 30 936676955 |

jsacher@flexim.de