

# Turbinenradgaszähler

## Übersicht und Ausblick auf eine bewährte Messtechnik

**Michael Grexa**

Regel- und Messtechnik, Gasmessung, Turbinenradzähler

Turbinenradgaszähler bewähren sich seit vielen Jahren als Messtechnik, die für die Mengenummessung von Erdgasen in der Versorgungswirtschaft und im industriellen Umfeld in großen Stückzahlen eingesetzt werden. Dieser Beitrag wirft einen Über- und Ausblick auf die Technik der Turbinenradgaszähler.

## Turbine meters – Overview and outlook on a proven measurement technique

Turbine meters have proven their worth for many years as a measurement technology used in large quantities for measuring the quantities of natural gases in the utility and industrial sectors. This article provides an overview and outlook on the technology of turbine meters.

### 1. Klassische Turbinenradzähler

Der Aufbau der Turbinenradzähler ist übersichtlich (Abb. 1) und leicht verständlich. Das Gerät arbeitet nach dem Windmühlenprinzip: Das Turbinenrad als eigentliches Messelement ist möglichst reibungsarm gelagert und wird vom Gasstrom axial angeströmt. Durch das Auftreffen des Gasstroms auf die Turbinenschaufeln wird der physikalische Impuls vom Gasstrom auf das Turbinenrad übertragen und setzt dieses in Bewegung. Letztlich stellt sich ein Gleichgewicht zwischen dem treibenden Moment aus dem Impulsübertrag der Strömung und den Trägheits- und Reibungskräften des Rades ein. Die resultierende Drehzahl des Turbinenrades ist idealerweise proportional zur mittleren Strömungsgeschwindigkeit. Dann ist die Anzahl der Umdrehungen des Turbinenrades ein Maß für das durch den Zähler geflossene und zu messende Gasvolumen.

Turbinenradzähler sind somit sogenannte „indirekte Volumenzähler“, da der Volumen-„Zählung“ zunächst die Umwandlung von Strömungsenergie in die mechanische Rotationsenergie vorausgeht. Dies ist anders als bei den „direkten Volumenzählern“ wie Balgengaszählern oder Drehkolbenzählern, die den Gasstrom in Teilvolumina von der Größe ihrer Messkammern „zerlegen“ und dann

direkt abzählen, wie oft diese Messkammern befüllt bzw. geleert wurden.

Wie beschrieben ist in einem idealen Zähler die Anzahl der Umdrehungen des Turbinenrades dem durch den Zähler geströmten Gasvolumen direkt proportional. In der Praxis findet man jedoch, dass die linearen Messbereiche der Turbinenradzähler zu kleinen Durchflüssen hin begrenzt sind. Ursache ist, dass bei geringeren Durchflüssen die Gasströmung immer weniger antreibendes Moment für das Turbinenrad liefert, was dann unterhalb des definierten Minimaldurchflusses  $Q_{min}$  zu nicht mehr akzeptablen Messfehlern (Minusfehlern) führt. Dieser Minimaldurchfluss  $Q_{min}$  ist dabei keine absolute Größe, sondern wird stark von der Dichte des zu messenden Gases beeinflusst: Gas mit höherer Dichte überträgt bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit einen größeren Impuls auf das Turbinenrad und überwindet deshalb die Reibungskräfte eher. Während die Standardmessspanne eines Turbinenradzählers z. B. 1:30 beträgt, sind bei Hochdruckanwendungen mit demselben Zähler auch Messspannen bis 1:160 realisierbar. Hierzu können die Hersteller auf Anfrage genaue Angaben machen.

Auch die Gestaltung des Strömungsleitkörpers hat Einfluss auf den Messbereich und das messtechnische

Verhalten des Turbinenradzählers: Durch seine Bauform wird die Gasströmung in einem Ringspalt verdichtet, was zwei Effekte hat: Zum einen wird die mittlere Strömungsgeschwindigkeit erhöht und damit der verfügbare Impulsübertrag auf das Turbinenrad vergrößert. Zum anderen bewirken diese Impulse ein größeres antreibendes Drehmoment, wenn sie nicht achsensnah, sondern auf möglichst großen Radien angreifen. Damit wird versucht, ein möglichst kleines  $Q_{min}$  zu erreichen.

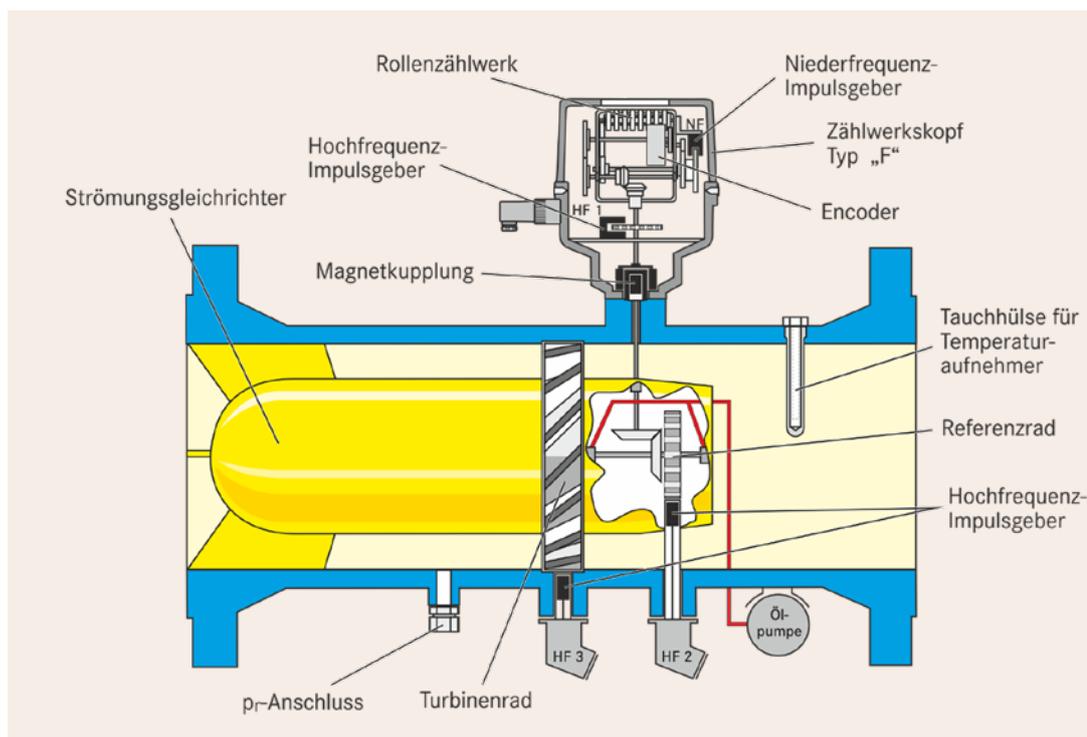
Die unterschiedlichen Ausführungen der Leitkörper mit kurzen oder langen Rippen in unterschiedlicher Anzahl, evtl. kombiniert mit Lochplatten oder anderen strömungstechnischen Einbauten, sind das Ergebnis von langjährigen Erfahrungen gepaart mit fluiddynamischen Simulationsrechnungen der verschiedenen Hersteller. Ziel ist dabei stets, die Zähler und ihre messtechnische Performance unabhängig von den Anströmbedingungen und fluiddynamischen Vorstörungen zu machen, ohne dass dafür ein zu großer Druckverlust in Kauf genommen werden müsste.

Die Zählung der Umdrehungen des Turbinenrads geschieht in klassischen Turbinenradzählern, indem das Turbinenrad ein mechanisches Zählwerk antreibt. Wie in **Bild 1** erkennbar ist, wird dazu zunächst mit einem Kegelrad- oder Schneckengetriebe die Drehachse um 90° umgesetzt und die untersetzte Rotation dann über eine Magnetkupplung auf das mechanische Zählwerk übertragen. Die Magnetkupplung trennt dabei den druckbeaufschlagten Innenraum des Zählers gasdicht gegen den drucklosen Außenraum mit dem mechani-

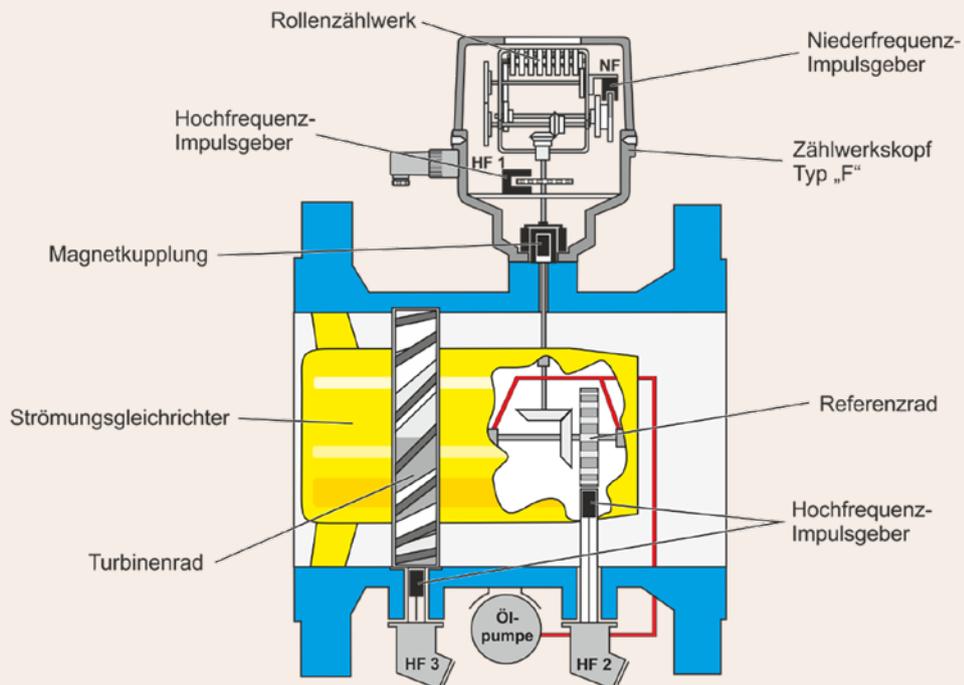
schon Zählwerk. Das Zählwerk selbst ist komplex aufgebaut und enthält neben den Zählrollen in der Regel mehrere Untersetzungsstufen, von denen eine so ausgeführt ist, dass sie durch Austausch von Zahnradpaaren zur mechanischen Korrektur der Lage der Fehlerkurve genutzt werden kann (sog. Justierung). Diese Justierung ist erforderlich, um die im Rahmen der Seriensteuerung auftretende und bei der Zählerkalibrierung auf einem Prüfstand festgestellte Abweichung der Fehlerkurve eines Zählers von der idealen Nulllinie zu kompensieren. Dies kann in Schritten erfolgen, die deutlich kleiner als 0,1 % sind. So wird erreicht, dass die Anzeige des Rollenzählwerks im Rahmen dieser Genauigkeit tatsächlich dem gemessenen Volumen in Kubikmetern (oder dekadischen Bruchteilen davon) entspricht.

Wie andere mechanische Gaszähler, z. B. Balgengaszähler oder Drehkolbenzähler, benötigen Turbinenradzähler dieser Bauart keine Fremdenergieversorgung: Die zur Überwindung der Reibungskräfte in den Lagerstellen des mechanischen Aufbaus und zum Antrieb des Rollenzählwerks erforderliche Energie wird der Strömungsenergie des Gases entzogen. Dennoch beträgt der resultierende Druckverlust aus der Strömungskonditionierung und geleisteter Reibungsarbeit bei modernen Turbinenradzählern nur wenige Millibar, ein Wert, der in den Regel- und Messanlagen in den allermeisten Anwendungsfällen unkritisch ist.

Der Stand des Rollenzählwerks kann aber nicht nur direkt visuell abgelesen werden, sondern soll inzwischen in den meisten Anwendungen fernübertragen werden,



**Bild 1:** Klassischer Turbinenradzähler im Schnitt



**Bild 2:** Volumeter im Schnitt

sei es zu Steuerungs- oder Abrechnungszwecken. In eichamtlichen Anwendungen in Deutschland ist inzwischen üblich, den Zählerstand mittels entsprechender optionaler Zusatzeinrichtungen, einem sogenannten Encoder, digital über eine serielle Schnittstelle zu übertragen. Auch diese Encoder arbeiten energieautark und ohne Batterieunterstützung. Allerdings ist die Datenübertragung drahtgebunden (RS485). Das sogenannte Encoder-Protokoll ist ein zwar veröffentlichtes, letztlich aber proprietäres Protokoll, das leider international kaum Bedeutung erlangen konnte.

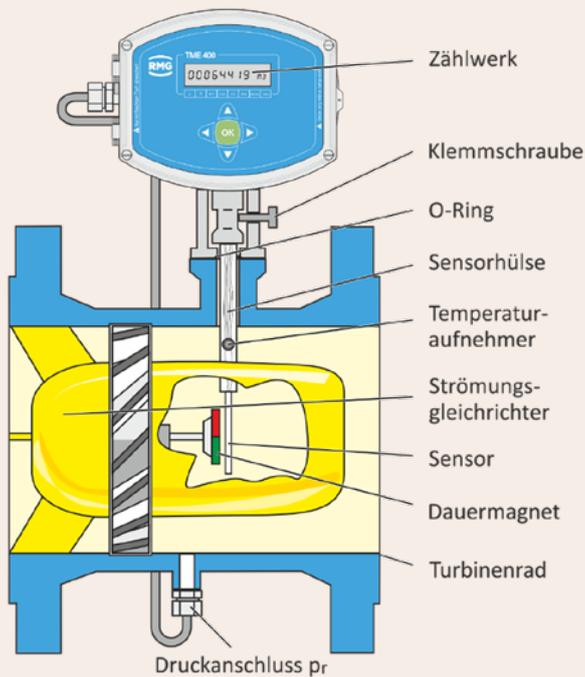
Auch international üblich ist dagegen die Abtastung und Übertragung der Bewegung des Turbinenrades mittels Impulsgebern. In diesen Fällen muss die Zählung und Umwertung in die Volumeninformation von externen Baugruppen übernommen werden, z. B. Datenloggern, Kompaktumwertern, Flow Computern oder auch SPS-Zählerbausteinen. Dazu stehen an die Anwendungen angepasste Impulsgeber in verschiedenen Frequenzbereichen zur Verfügung. Dies beginnt mit Reed-Kontakten, die als niederfrequente NF-Impulsgeber je Umdrehung der letzten Zahlenrolle des mechanischen Zählwerks einen Impuls liefern. Ergänzend gibt es mittelfrequente Impulsgeber, die eine Fahnscheibe im Zählerkopf induktiv abtasten, bis hin zu hochfrequenten Näherungsimpulsgebern, die induktiv das Turbinenrad abtasten. Diese HF-Impulsgeber erzeugen je Turbinenschaukel einen Impuls, wenn diese

den Sensor passiert. Dadurch werden hochauflösende Impulsfrequenzen im Kilohertz-Bereich ermöglicht.

Um die Austauschbarkeit zwischen Wettbewerbsfabrikaten zu erleichtern und einheitliche Anforderungen an die Performance der Geräte festzulegen, wurde die Ausführung bereits 2002 erstmals in der EN 12261 europaweit standardisiert. Zähler, die in allen Beziehungen die Anforderungen dieser Norm einhalten, erfüllen in der Regel auch die Voraussetzungen, um nach entsprechenden Prüfungen durch einen sogenannten „Notified Body“, wie zum Beispiel der Physikalisch Technischen Bundesanstalt PTB in Deutschland oder das NMI in den Niederlanden, auch eine europaweit gültige Baumusterzulassung gemäß der europäischen Messgeräte-Richtlinie MID (2014/32/EU) zu erhalten. Diese Baumusterzulassung ist dann Voraussetzung für die Verwendung des Zählers im geschäftlichen Verkehr.

Normgerechte, klassische Turbinenradzähler überzeugen mit ihrer hervorragenden Reproduzierbarkeit, ihrer hohen Messgenauigkeit und Langzeitstabilität. Deshalb werden Turbinenradzähler weltweit auch als Gebrauchsnormale in fast allen Hochdruck-Prüfständen und sehr vielen Luftprüfständen eingesetzt.

Die Standardgrößen reichen dabei von DN 25 bis DN 600, die Druckstufen in der Regel bis PN100/ANSI Class 600, aber auch Sonderausführungen noch darüber hinaus sind am Markt verfügbar.



**Bild 3:** TME400-VC: Volumeter mit elektronischem Zählwerk und integriertem Mengenumwerter im Schnitt

Nicht nur in den Prüfständen, sondern auch in „normalen“ Messanlagen ist zum Erhalt der hervorragenden Messeigenschaften der Turbinenradzähler eine angemessene Prozessführung und eine gewissenhafte Wartung zu empfehlen. Turbinenradzähler sind empfindlich gegen Druckstöße; und die Hersteller spezifizieren auch maximale Änderungsraten für den Durchfluss (insbesondere bei größeren Zählern). Bei Überschreiten dieser Werte können Lagerschäden nicht ausgeschlossen werden. Manche Turbinenradzähler sind mit dauergeschmierten Lagern ausgestattet, in der Regel werden jedoch Schmiereinrichtungen angebaut, die eine periodischen Nachschmierung der Lager ermöglicht. Bei Beachtung dieser Schmierintervalle ist die Einhaltung der Fehlergrenzen innerhalb der Nacheichfristen von bis zu 16 Jahren gesichert.

## 2. Volumeter

Neben den beschriebenen normgerechten Ausführungen haben sich preisgünstigere, in der Regel auch kompaktere Bauformen am Markt etabliert, die als Quantometer oder Volumeter bezeichnet werden (**Bild 2**). Dabei haben sich die ursprünglich herstellereigenen Baureihenbezeichnungen inzwischen als Gattungsbezeichnungen etabliert. Diese Geräte arbeiten nach demselben Prinzip wie die Turbinenradgaszähler, besitzen jedoch kürzere Strömungsleitkörper und häufig einfacher gestaltete La-

gerungen und Schmiereinrichtungen. Die Baulänge der Volumeter beträgt in der Regel nur 1,5 x DN, während in der EN 12261 für die Baulänge klassischer Zähler 3 x DN festgeschrieben ist.

Die Kostenvorteile durch die verkürzte Bauform und die damit niedrigeren Kosten für Zählergehäuse und Einbauteile werden allerdings dadurch erkaufte, dass die Geräte in ihrer Fluidodynamik „sensibler“ sind. Die Linearität des Messgerätes ist gegenüber dem Turbinenradzähler eingeschränkt, was sich in geringerer Messgenauigkeit, kleineren Messspannen und einer erhöhten Empfindlichkeit gegenüber hydraulischen Vorstörungen durch Rohrleitungsführung oder Armaturen auswirkt.

Die sehr gute Reproduzierbarkeit der Messwerte dagegen haben die Volumeter prinzipbedingt mit den Turbinenradgaszählern gemeinsam. Deshalb zielen die Volumeter auf die Verwendung für interne Abrechnungen oder auf die Anlagensteuerung, z. B. in Brennersteuerungen, bei denen für die Prozessführung und für Regelungszwecke die Reproduzierbarkeit der Messwerte von größerer Bedeutung als der absolute Messwert ist.

Volumeter sind in einem Nennweiten- und Druckstufenspektrum erhältlich, das mit dem der klassischen Turbinenradzähler vergleichbar ist.

## 3. Elektronische Turbinenradzähler

Relativ neu ist der Einsatz elektronischer Zählwerke bei den Turbinenradzählern. Diese Zähler besitzen zwar auch das Turbinenrad als Messelement, aber es findet keine mechanische Übertragung der Rotation des Turbinenrades mehr statt. So werden zum Beispiel bei den Zählern der Baureihe TME400 der RMG Messtechnik GmbH die Drehungen des Turbinenrades mit einem Wiegand Impulsgeber abgetastet und diese Impulse dann direkt einem elektronischen Zählwerk zugeführt (**Bild 4**). Durch den Wegfall des mechanischen Abtriebs, einschließlich der Magnetkupplung, der Untersetzungsstufen und des Rollenzählwerks entfallen deren Bremsmomente, die sich negativ auf die Linearität und das Anlaufverhalten der Zähler auswirken. Auch Verschleiß in den zahlreichen Lagerstellen ist damit kein Thema mehr.

Das elektronische Zählwerk bietet darüber hinaus neue, der Mechanik weit überlegene Möglichkeiten der Kommunikation: Es steht nicht nur eine Anzeige, jetzt als Display mit flexiblen Inhalten ausgeführt, zur Verfügung, sondern es ist auch eine serielle Kommunikation über Modbus möglich. In Verbindung mit einer mitgelieferten Anzeige- und Parametriersoftware ist damit eine echte Fernübertragung bis hin zur Fernwartung des Zählers realisierbar.

Neben der Volumenzählung ist auch Messung und Ausgabe des Momentandurchflusses mit dem elektroni-



**Bild 4:** Installationsbeispiel: Elektronischer Turbinenradzähler mit abgesetztem Zählwerk



**Bild 5:** Turbinenradzähler mit elektronischem Zählwerk für eichamtliche und für innerbetriebliche Messungen

schen Zählwerk möglich. Die Durchflussinformation steht nicht nur in der Anzeige und an der seriellen Schnittstelle zur Verfügung, sondern kann auch als Analogausgang (4/20mA) direkt für Steuer- und Regelungszwecke eingesetzt werden. Darüber hinaus können für nachgeschaltete Einheiten auch Impulse mit parametrierbarer Impulswertigkeit ausgegeben werden.

Außerdem wird auch eine elektronische Fehlerkurvenlinearisierung, wie sie bei Ultraschallgaszählern gängige Praxis ist, auch bei einem Turbinenradzähler möglich. Dazu kommen integrierte Archive für die Messwerte, Parameter und Ereignisse, mit denen etwaige Parameteränderungen, aber auch Störungen oder unzulässige Betriebszustände nachvollziehbar werden.

In der einfachsten Ausführung basierten diese Zähler TME400VM auf einem Volumeter, bei dem das mechanische durch ein elektronisches Zählwerk ersetzt wurde. Die Vielseitigkeit der Elektronik spielt ihre Stärken aber erst dann voll aus, wenn in den Zähler ein Temperaturfühler und in das Zählwerk ein Drucksensor integriert werden. Durch diese Integration entsteht die kompaktest-denkbare Kombination von Zähler und Mengenumwerter. Größter Vorteil für den Anwender ist dabei, dass die Installation wesentlich vereinfacht wird und damit kostengünstig ist: Es ist keine zusätzliche Verlegung von Impulsleitungen für die Druckmessung oder Verkabelung für den Temperaturfühler mehr erforderlich - alles ist bereits integriert.

Sollte es anlagenbedingt nötig sein, Zähler und Elektronik räumlich zu trennen, so kann der elektronische Zählerkopf, verbunden mit einem maximal 10 m langen Kabel, auch vom Zähler abgesetzt montiert werden (**Bild 3**).

In der Ausführung mit dem integrierten Umwerter hat der Anwender dann alle relevanten Informationen von seiner Gasmessstelle auf einer Schnittstelle (und natürlich im Display) zur Verfügung: Volumenzählung im Betriebs- und Normzustand, Momentandurchfluss sowohl im Betriebs- wie im Normzustand, den aktuellen Druck und die aktuelle Temperatur.

Die bisher schon im Markt eingeführten Volumeter-Varianten mit elektronischem Zählerkopf wurden bei der RMG Messtechnik GmbH mit eichamtlich zugelassenen Varianten ergänzt (**Bild 5**). Diese basieren auf den Messwerkausführungen der klassischen Turbinenradzähler mit einer Baulänge von 3 x DN. Die Zulassungen nach der MID-Richtlinie für die Ausführungen mit und ohne integriertem Mengenumwerter wurden im Jahr 2020 bereits erteilt.

Elektronik braucht natürlich Energie, aber mit den integrierten Batterien ist der TME400 für mindestens sechs Jahre autark – nur wenn der analoge Stromausgang genutzt werden soll, ist dieser immer separat zu speisen. Steht eine externe Spannungsversorgung zur Verfügung, dienen die Batterien als Back-up und Notstromversorgung.

#### 4. H<sub>2</sub> Ready

Turbinenradzähler sind grundsätzlich für die Messung von Erdgasen mit Wasserstoffbeimischungen bis hin zu reinem Wasserstoff geeignet. Allerdings müssen vor dem Einsatz die im konkreten Fall verwendeten Materialien überprüft und freigegeben werden. Inzwischen liegen entsprechende Herstellererklärungen vor, in denen die Eignung der konkreten Gerätefamilie bzw. Geräteausführung bestätigt wird. Dabei wird neben der Werkstoffausführung auch die Einhaltung der Ex-Schutz-Anforderungen gemäß der ATEX-Richtlinie betrachtet und beurteilt.

Bisher gibt es jedoch nur wenige belastbare und öffentlich zugängliche Ergebnisse zum metrologischen Verhalten von Turbinenradzählern bei höheren Wasserstoffkonzentrationen. Bei einem kürzlich beim DNV in Dordrecht durchgeführten Versuch wurde in einem internationalen Vergleichstest erstmals das Verhalten von Turbinenradzählern verschiedener Fabrikate bei Wasserstoffkonzentrationen bis zu 30 % überprüft. Die Ergebnisse wurden den einzelnen Herstellern bereits mitgeteilt und werden demnächst vom DNV anonymisiert veröffentlicht.

Derzeit sind die Zähler im eichpflichtigen Verkehr nach der PTB-Richtlinie TRG 19 bei Vorliegen entsprechender Herstellerklärungen in eichamtlichen Messungen bis zu Konzentrationen von 10 % einsetzbar. Aufgrund der Ergebnisse des DNV-Versuchs ist aber zu erwarten, dass die PTB demnächst die erforderliche Unbedenklichkeitsbestätigung für den Einsatz von Zähl-

lern im eichpflichtigen Verkehr bei Wasserstoffkonzentrationen bis zu 30 % erteilen wird.

Für den Einsatz und die Zulassung von Turbinenradzählern in reinem Wasserstoff fehlen derzeit noch geeignete Prüfstände, so dass der erforderliche Nachweis der metrologischen Eigenschaften noch nicht erbracht werden kann. Auch wenn davon ausgegangen werden muss, dass die zugelassenen Messbereiche aufgrund der wesentlich niedrigeren Dichte des Wasserstoffs im Vergleich zum Erdgas modifiziert und neu festgelegt werden müssen, wird die Eignung der Turbinenradzähler mit Sicherheit festgestellt werden.

Damit wird der Turbinenradzähler auch im Wasserstoff-Zeitalter einen wichtigen Platz unter den verfügbaren Volumenmesstechniken einnehmen.

Autor



Dr. Michael Grexa

RMG Messtechnik GmbH |

Beindersheim |

Tel.: +49 6033 897 116 |

michael.grexa@rmg.com

#### STANDARDWERK FÜR DAS GASFACH



Bernhard Klocke, Frank Heimlich, Harald Petermann  
2. Auflage 2020  
Artikelnummer: 73724  
Auch als eBook erhältlich.  
Preis: € 160,-

VULKAN VERLAG. FÜR ALLE, DIE MEHR WISSEN WOLLEN.

[www.vulkan-verlag.de](http://www.vulkan-verlag.de)

## TECHNOLOGIEN FÜR DIE ENERGIEWENDE

Dieses Buch beschreibt folgende Aspekte:

- Produktion von „Grünem Gas“
- Grundlagen der Verbrennungslehre
- Technologien und Geräte zur Erzielung höchster Effizianzorderungen

Jetzt im  
Shop bestellen  
und Wissen sichern!

[www.vulkan-shop.de](http://www.vulkan-shop.de)

 Vulkan Verlag