Untersuchung von Gasarmaturen für Wasserstoff-Anwendungen

Marc Wiesner, Jens Hoffmann, Holger Dörr und Robbin Bhagwa

1. Einleitung und Zielsetzung

Erdgas bildet aktuell die zweitwichtigste Primärenergiequelle in Deutschland und Europa. Durch den zunehmenden Klimawandel fordert die Klimapolitik eine deutliche Reduzierung von Treibhausgasen, vor allem von Kohlendioxid.

Um diese Ziele zu erreichen, müssen fossile Brennstoffe auf erneuerbare Energieträger umgestellt werden. Wasserstoff gilt aktuell als einer der aussichtsreichsten Energieträger, um dem Klimawandel entgegen zu wirken.

Die Karl Dungs GmbH & Co. KG mit Sitz in Urbach/Baden-Württemberg, als eines der weltweit größten Zulieferunternehmen von Gas-Sicherheits- und Regelungstechnik, ist sich dieser Verantwortung bewusst. In Zusammenarbeit mit der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut (DVGW-EBI) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) wurden hierzu zwei Ansatzpunkte definiert, um die Verwendung von DUNGS-Komponenten im Bereich Wasserstoff zu untersuchen und abzusichern.

Zunächst sollte eine theoretische Betrachtung von Gasarteneffekten bei Leckagen zwischen den Prüfmedien Luft, Methan, Methan-Wasserstoff-Gemisch (80 Vol.-% CH_4 / 20 Vol.-% H_2) sowie bei 100 % Wasserstoff vorgenommen werden.

Im zweiten Teil dieses Projektes sollten die Ergebnisse aus der theoretischen Betrachtung von Gasarteneffekten anhand von Messungen an DUNGS GSV[1]-Magnetventilen und den neuen Mehrfachstellgeräten der MBE[2]-Baureihe überprüft und verifiziert werden.

Basis für die maximal zulässigen Leckraten für die innere und äußere Dichtheit bildet die EN 13611:2019 [1], Abschnitte 7.2.1, 7.2.2.1, 7.2.2.2 und 7.2.2.3.

Die Messreihen sollten bei den in den jeweiligen Datenblättern angegebenen Temperaturbereichen (jeweils -20 °C / +20 °C / +60 °C) durchgeführt werden.

Für diese Messreihen wurden der DVGW-Forschungsstelle in Karlsruhe jeweils drei GSV-Magnetventile der Baugrößen GSV 205 (Rp ½“) und GSV 220 (Rp 2“) sowie je drei Mehrfachstellgeräte der Baugrößen MBE-050-VV-AC (Rp 2“ / DN 50), MBE-065-VV-AC (DN 65) und MBE-100-VV-AC (DN 100) zur Verfügung gestellt, um aussagekräftige Messergebnisse zu erhalten.

2. Theoretische Betrachtung

Basis für die nachfolgenden Ausführungen ist der Bericht „Theoretische Betrachtung von Gasarteneffekten bei Leckagen“ [2] der DVGW-Forschungsstelle in Karlsruhe.

---

[1] GSV: Gas-Sicherheits-Ventil

[2] MBE: MultiBloc® E

2.1 Gasarteneffekte bei Leckagen

Die Grenzwerte für Leckraten bzw. besser Fließraten für viele Anlagen der Gasinstallation und von Gasgeräten werden in der Kopfnorm DIN EN 13611:2019 [1] festgelegt. Die Begrifflichkeit Fließrate ist gemäß DIN EN ISO 20484:2017 gegenüber Leckrate vorzuziehen [3], da Leckraten und Leckageraten häufig synonym verwendet werden. Mit Fließraten wird ein Stoffmengenstrom pro Zeit beschrieben, der als Massen- ( ), Molen- ( ) oder Volumenstrom ( ) ausgedrückt werden kann. Dagegen sind Leckageraten q_L als pV-Durchfluss bzw. ausformuliert als Druckdifferenz mal Volumen pro Zeit (qL = Dp·V/Dt, Einheit: hPa dm^3/s) definiert [3]. Aufgrund der häufig synonymen Verwendung ergibt sich die tatsächliche Bedeutung der Begriffe Leckrate und Leckagerate aus dem Kontext bzw. der mathematischen Formulierung.

Absolute Dichtheit gibt es nicht, wenngleich sich beispielsweise die Gaspermeation durch Metalle bei Raumtemperatur meistens durch extrem niedrige Permeationsraten auszeichnet. Die Grenzwertfestlegungen für zulässige Fließraten verfolgen u. a. zwei Ziele:

- Bei bzw. unterhalb der Grenzwerte soll ein sicherer Betrieb gewährleistet sein und
- Die Fließraten im Bereich der Grenzwerte sollen messtechnisch im Rahmen der geforderten Messunsicherheiten überprüfbar sein.

Für die im häuslichen Bereich häufig vertretenen Nennweiten 10 mm ≤ DN ≤ 25 mm sind die Grenzwerte gemäß Abschnitt 7.2.1 nach DIN EN 13611:2019 [1] für die innere und äußere Dichtheit mit 40 cm^3/h trockener Prüfluft festgelegt. Im Rahmen dieser Untersuchung zu den relativen Effekten von Gasarten werden Standardtemperatur und -druck (0 °C und 101,325 kPa, kurz: STP) für die Berechnung der Fließrate über die Druckabfallmethode mit Bezug auf den Anhang D der DIN EN 13611:2019 [1] angenommen, da der korrigierte Proportionalitätsfaktor 0,1184 für eine Bezugstemperatur von 0 °C gilt. Dagegen fordert Abschnitt 5.1, alle Messwerte auf 15 °C und 101,325 kPa umzurechnen, was einem Proportionalitätsfaktor von 0,1123 im Anhang -entspräche. Als Prüfmedium wird Luft eingesetzt, wenngleich als Betriebsmedien z. B. Erdgas (2. Gasfamilie, Hauptbestandteil Methan) oder Flüssiggas in gasförmiger Form (3. Gasfamilie, vor allem Propan und Butan) zum Einsatz kommen [4]. Daher sollen im Rahmen dieser Betrachtung die Unterschiede der effektiven Fließraten bei unterschiedlichen Gasarten theoretisch für die Prüfmedien Luft, Methan, Methan-Wasserstoff-Gemisch und Wasserstoff untersucht werden. Die Berechnungen erfolgen abgestuft in 10 K-Schritten für einen Temperaturbereich von 233 K(-40,15 °C) bis 333 K (59,85 °C) in einem Absolutdruckbereich von 1,01325 bar(101,325 kPa) bis 6,01325 bar (601,325 kPa), abgestuft in 1 bar- (100 kPa-) Schritten.

2.2 Stofftransport bei Leckagen

Ein Leck bzw. eine Leckage ist eine Undichtigkeit in einem Produkt oder in technischen Systemen, durch das Feststoffe, Flüssigkeiten oder Gase unerwünscht ein- oder austreten können. Eine Leckage kann zum Ausfall eines gesamten technischen Systems führen. Ein Maß für die Größe einer Leckage ist die Fließ- bzw. Leckrate. Diese Möglichkeit kann z. B. durch Fehler in der Wand in Form von Poren, Kapillaren oder Haarrissen, aber auch durch die Diffusion von Gasen durch das im Prinzip fehlerfreie Material gegeben sein. Letzteres wird als Gaspermeation bezeichnet. Unter Permeation versteht man den Vorgang, bei dem ein Stoff (Permeat) einen Festkörper durchdringt oder durchwandert. Abhängig von der permeierenden Gasspezies und dem Material fällt der Stofftransport aufgrund von Gaspermeation meist deutlich niedriger aus, als durch Poren bzw. Kapillaren (s. z. B. die Darstellung in [5]).

Abhängig vom Stofftransportmechanismus, den Leckraten, dem Gas und den Druckbedingungen werden vor allem die beiden Fälle der laminar-viskosen Strömung und bei niedrigeren Leckraten die molekulare Strömung unterschieden. Die laminar-viskose Strömung ist durch ein laminares Strömungsprofil definiert, die wandnahen Fluidschichten verlieren durch Impulsaustausch mit der Wand an Geschwindigkeit. Die viskosen Reibungskräfte bei diesem Impulsaustausch werden vor allem durch die dynamische Viskosität η des Fluids und der Oberflächenrauhigkeit der Wand geprägt. Bei niedrigeren Leckraten und vor allem bei niedrigen Drücken tritt zunehmend eine molekulare Strömung auf, bei der die Gasmoleküle aufgrund der relativ großen freien Weglängen mit einer vergleichsweise geringen Anzahl an Stößen zwischen den Gasmolekülen bzw. zwischen Gasmolekülen und der Wand durch das Leck austreten. Laminar-viskose und molekulare Strömungen können gut über die unterschiedlichen Abhängigkeiten der Leckageraten q_L von den Druckverhältnissen, den Molmassen M bzw. von den dynamischen Viskositäten h unterschieden werden, als Kriterien werden die folgenden Ansätze verwendet [6]:

Laminar-viskose Strömung: $q_L \propto (p_2^2 - p_1^2)/\eta$ für $q_L > 10^{-4}$ hPa dm³/s (1)

Molekulare Strömung: $q_L \propto (p_2 - p_1) / M^{1/2}$ für $q_L < 10^{-6}$ hPa dm³/s (2)

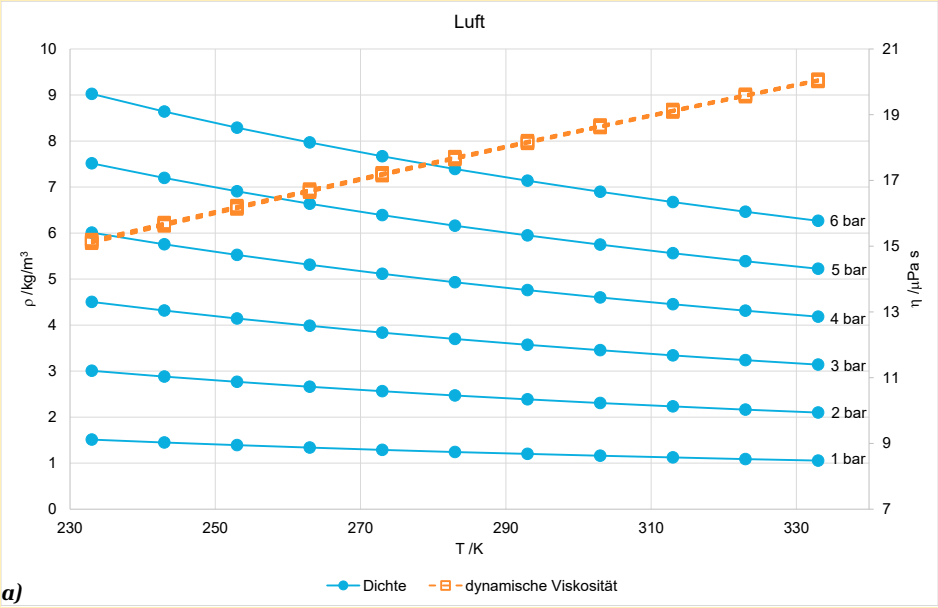
Bei technischen Leckraten in der Gasinstallation dominieren in den Leckagekanälen aufgrund der Druckverhältnisse vor allem laminar-viskose Strömungen. Bei einem Prüfkörper mit einem Volumen von 1.000 cm³, einer angenommen Leckrate von 40 cm³/h und bei einem Überdruck von 116,325 kPa berechnet sich die Leckrate zu 0,00113 kPa dm³/s und liegt damit im Bereich laminar-viskoser Strömungen [6], [7].

Für alle vier betrachteten Gase bzw. Gasgemische sind die Dichte ρ und die dynamische Viskosität η für die sechs Druckstufen und die Temperaturabhängigkeiten im Bereich von 233-333 K bestimmt worden [7].

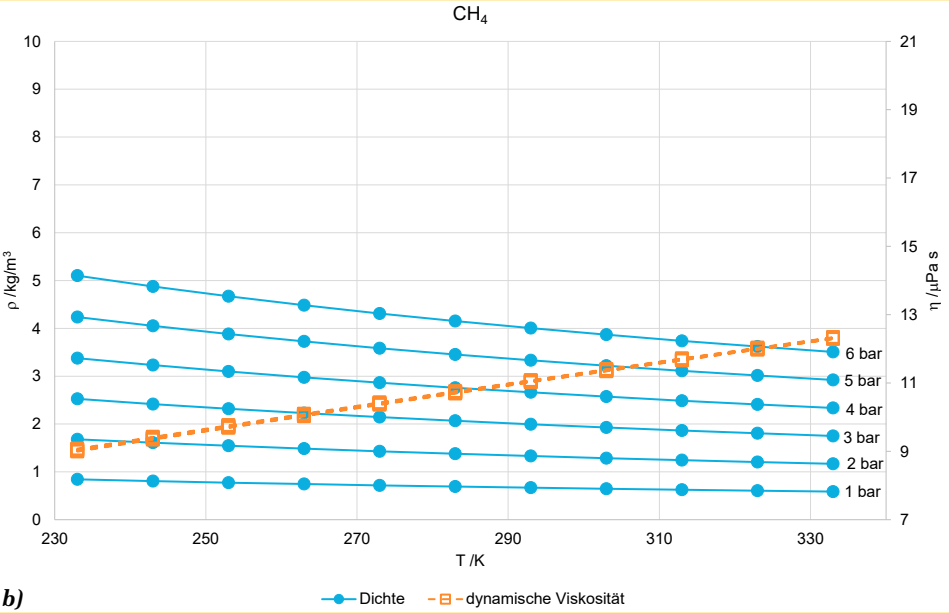
Die Dichte nimmt in **Bild 1a** bis **Bild 1d** in der Reihenfolge Luft, Methan, Methan-Wasserstoff-Gemisch und Wasserstoff ab. Dabei weist Wasserstoff weniger als 10 % der Dichte von Luft auf. Die Druck- und Temperaturabhängigkeiten folgen in guter Näherung dem idealen Gasgesetz.

Die zuvor aufgeführte Relation für eine laminar-viskose Strömung hängt von der dynamischen Viskosität η ab, die in Bild 1 eine deutliche Temperatur-, aber eine kaum erkennbare Druckabhängigkeit aufweist. Die dynamische Viskosität nimmt ebenfalls in der Reihenfolge Luft, Methan, Methan-Wasserstoff-Gemisch und Wasserstoff ab. Der Unterschied zwischen Luft und Wasserstoff fällt mit einem maximalen Faktor von ca. 2,1 aber kleiner als bei der Dichte aus. Die dynamische Viskosität steigt relativ linear für alle Gase mit steigender Temperatur an. Die Unterschiede in der Druckabhängigkeit von ρ liegen für niedrige Drücke (bis 10 bar) unterhalb von 1 % und sind in der Auflösung von Bild 1 nicht aufgelöst.

Für die Darstellung der Gasarteneffekte auf die Fließraten (Leckraten) wurde der folgende Ansatz in **Bild 2** gewählt: Es wurde der Grenzwert 40 cm³/h für Luft bei 273,15 K und 1.013,25 hPa als Referenzpunkt gewählt. Durch Zunahme der dynamischen Viskosität von Luft mit steigender Temperatur fällt die Fließrate bei laminar-viskoser Strömung bei Temperaturanstieg. Dagegen steigt die Fließrate bei molekularer Strömung mit zunehmender Temperatur aufgrund der Proportionalität zur Wurzel des Quotienten von der Temperatur zur Referenztemperatur. Bei Einsatz der dynamischen Viskosität der jeweiligen Gasart für die laminar-visko-

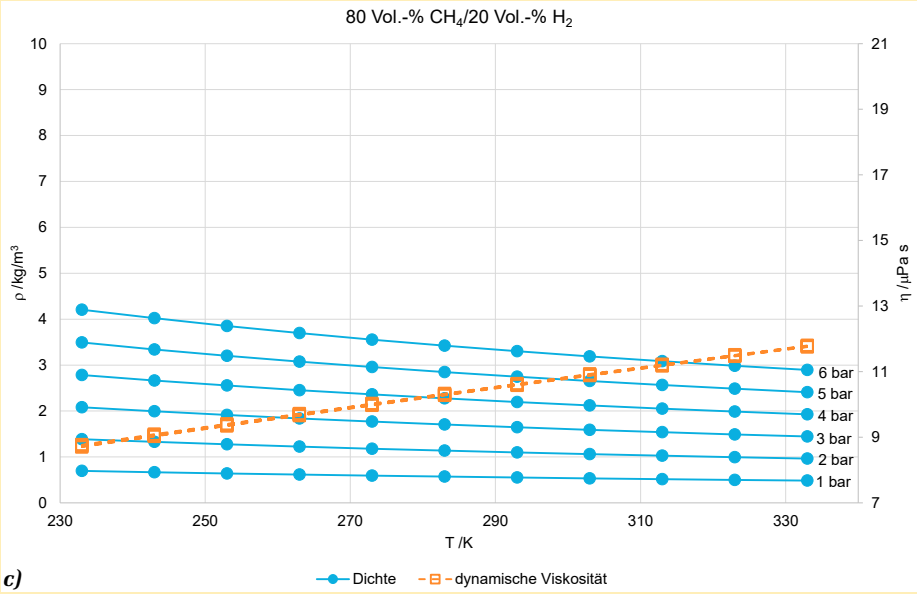


a)

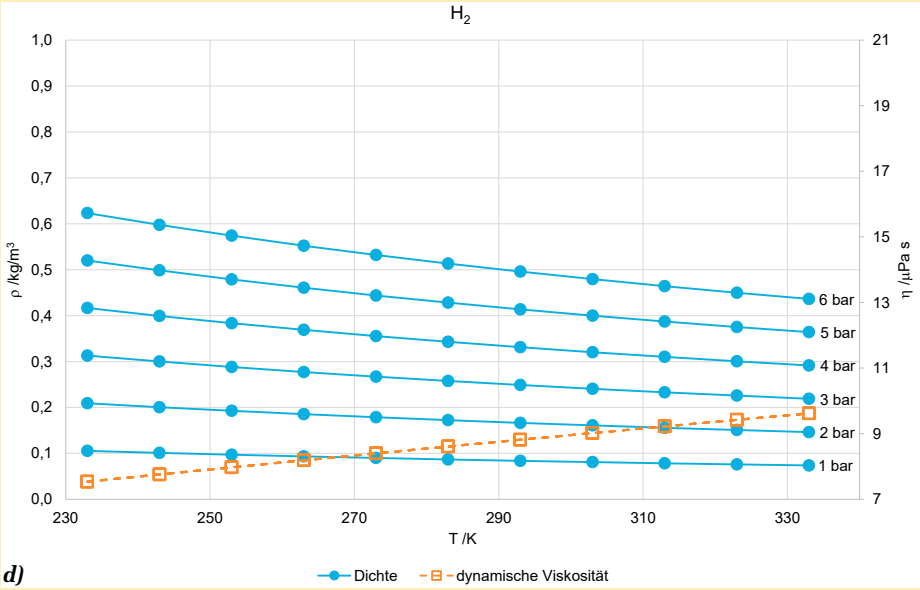


b)

***Bild 1a,b**: T- und p-Abhängigkeiten der Dichte und der dynamischen Viskosität von Luftt und Methan [2]*



c)



d)

***Bild 1c,d**: T- und p-Abhängigkeiten der Dichte und der dynamischen Viskosität von Methan-Methan-Wasserstoff-Gemisch und Wasserstoff [2]*

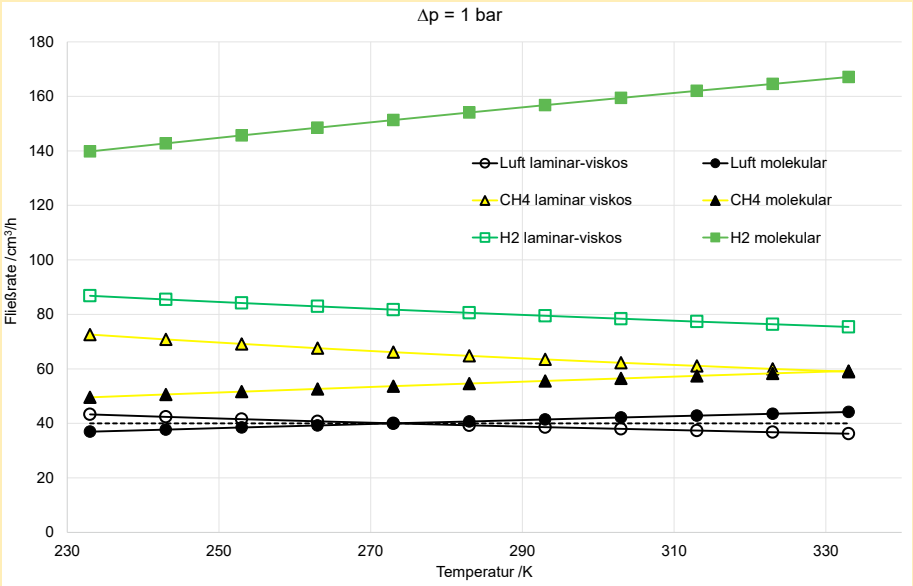


***Bild 2**: Gasarteneffekte bei verschiedenen Temperaturen und zwei verschiedenen Strömungstypen, Referenz sind 40 cm³/h Luft bei 273,15 K [2]*

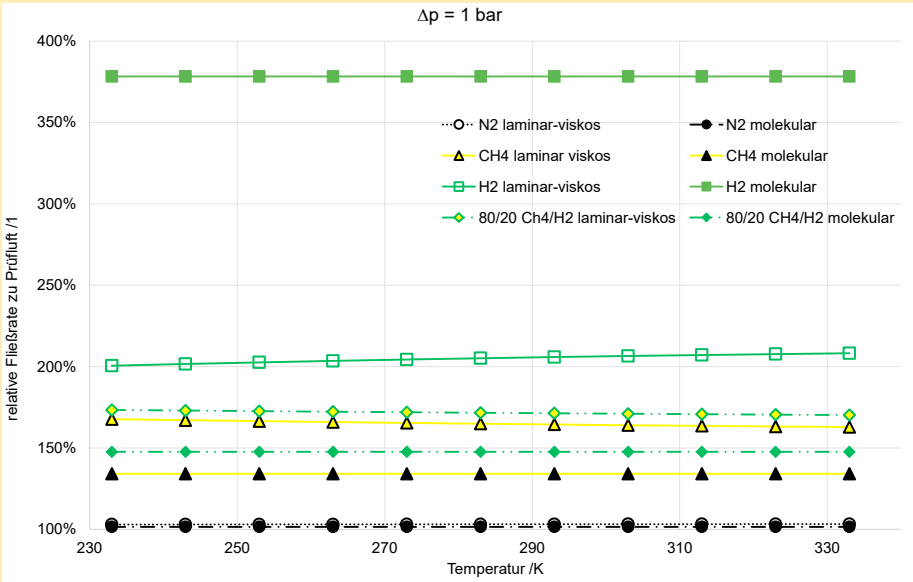


***Bild 3**: Relative Fließraten mit Bezug zu Luft für verschiedene Gasarten als Funktion der Temperatur bei Δp = 1 bar (Umgebungsdruck 1013,25 kPa) [2]*

sen Strömungen und der Molmassen für die molekulare Strömung können die Grenzfälle entsprechend Bild 2 dargestellt werden.

Um die Effekte der Gasarten in Bild 2 allgemeiner darzustellen, sind die relativen Fließraten jeweils mit dem Bezug zur Fließrate von Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Strömungstyp in **Bild 3** eingezeichnet.

Bei Wasserstoff tritt bei molekularer Strömung die ungefähr 3,8-fache volumenbezogene Fließrate von Luft auf, bei Methan beträgt das Verhältnis zu Luft ca. 1,34 und bei dem Methan-Wasserstoff-Gemisch ca. 1,48, allein aufgrund der unterschiedlichen Molmassen. Im Fall laminar-viskoser Strömungen steigt die relative Fließrate von Wasserstoff von ca. 2,00 auf 2,09 mit steigender Temperatur, bei Methan fällt sie mit steigender Temperatur geringfügig von 1,68 auf 1,63 und bei dem Methan-Wasserstoff-Gemisch fällt sie von 1,73 auf 1,70. Beim Vergleich der Medien Wasserstoff und Methan fallen die Unterschiede deutlich geringer aus als gegenüber Luft. Die Fließrate von Wasserstoff beträgt ungefähr das 1,2- bis 1,3-fache relativ zu Methan, da Methan bereits eine 1,6 bis 1,7-fach höhere Fließrate gegenüber Luft im Fall laminar-viskoser Strömung hat. Diese Grenzfälle treten nur in den idealen bzw. angenäherten Darstellungen auf.

Bei realen Fließraten können unterschiedliche Anteile von molekularer und laminar-viskoser Strömung auftreten. Dies ist abhängig von der Gasart, Druck- und Temperaturverhältnissen sowie der Art der Leckage und des Leckagewegs. Dieser wird von den drei Faktoren Materialeigenschaft, Oberflächenrauhigkeit und Leckagekanal beeinflusst. Permeationsvorgänge wurden in der theoretischen Betrachtung nicht berücksichtigt.

3. Experimentelle Prüfbedingungen

Im praktischen Teil sollten die Leckraten an Einzel- und Doppelventilen für die Prüfgase Luft, Methan, 80 Vol.-% Methan / 20 Vol.-% Wasserstoff und Wasserstoff für die äußere und innere Dichtheit bei drei Temperaturen und jeweils zwei Prüfdrücken ermitteltwerden. Um die Nutzung von Erneuerbaren Gasen zu fördern, hat die DVGW-Forschungsstelle zahlreiche Prüfaufbauten für Materialien (z. B. Permeationsteststände), Armaturen (Dichtheits-, Kennlinienmessstände) und Gasgeräte für den Betrieb mit v. a. Wasserstoff und Biogas aufgebaut und die Prüfmethoden weiterentwickelt.

Um die Ventilbandbreite abdecken zu können, wurden der DVGW-Forschungsstelle 15 Ventile der Firma DUNGS zur Verfügung gestellt.

Da aktuell keine Prüfnormen für Ausrüstungen (Gas) nach Gasgeräteverordnung (EU) 2016/426 [4] für Wasserstoffanwendungen existieren, wurden die Prüfungen auf Basis und unter der Berücksichtigung der Produktnormen DIN EN 126:2012 [9], DIN EN 161:2013 [10] und DIN EN 13611:2019 [1] durchgeführt.

4. Beschreibung der Prüfgegenstände

Die Sicherheits-Magnetventile GSV 205 und GSV 220 sind einstufige automatische Absperrventile nach DIN EN 161:2013 [10] für Gasbrenner und Gasgeräte mit Rohrgewindeanschluss, wobei die Zahlen in der Typbezeichnung für den Gewindetyp und die Nennweiten stehen: 205 für Rp $^1/_2$“ und 220 für Rp 2“. Beide Nennweiten haben einen maximalen Eingangsdruck von 20 kPa.

Bei den Mehrfachstellgeräten MBE-050-VV, MBE-065-VV und MBE-100-VV handelt es sich um Doppelventile mit je einem Schrittmotorantrieb pro Ventil. Die Nennweiten betragen 50, 65 bzw. 100 mm, der Anschluss erfolgt über Flanschverbindungen. Der maximale Eingangsdruck für die Ausführung MBE-050-VV beträgt 60 kPa, die Ausführungen MBE-065-VV und MBE-100-VV haben einen maximalen Eingangsdruck von 70 kPa.

5. Prüfungen

Alle Dichtheitsprüfungen für die äußere und innere Dichtheit wurden nach der Druckabfallmethode durchgeführt. Als unterer Prüfdruck wurde immer 0,6 kPa gewählt, als oberer Prüfdruck fand das 1,5-fache des maximal angegebenen Eingangsdrucks Anwendung.

Die Messungen wurden bei Raumtemperatur (20 °C ± 5 °C), -20 °C und +60 °C durchgeführt.

5.1 Einführung

Zur Prüfung werden die Prüfgegenstände und ein Referenzvolumen in einer vergleichbaren thermischen Umgebung mit dem Prüfgas bis zum Prüfdruck beaufschlagt. Mittels der sehr empfindlichen Differenzdruckmessungen zwischen dem Referenzvolumen und bis zu drei Prüfgegenständen mit parallelen Temperaturmessungen können Leckraten selbst bei Volumina der Prüfgegenstände genau bestimmt werden. Der Differenzdruckmessbereich kann über die Konfiguration der Präzisions-Differenzdrucktransmitter zwischen 0,2 und 6 kPa eingestellt werden. Der absolute Prüfdruck des Prüfstands in **Bild 4** kann aufgrund der limitierenden

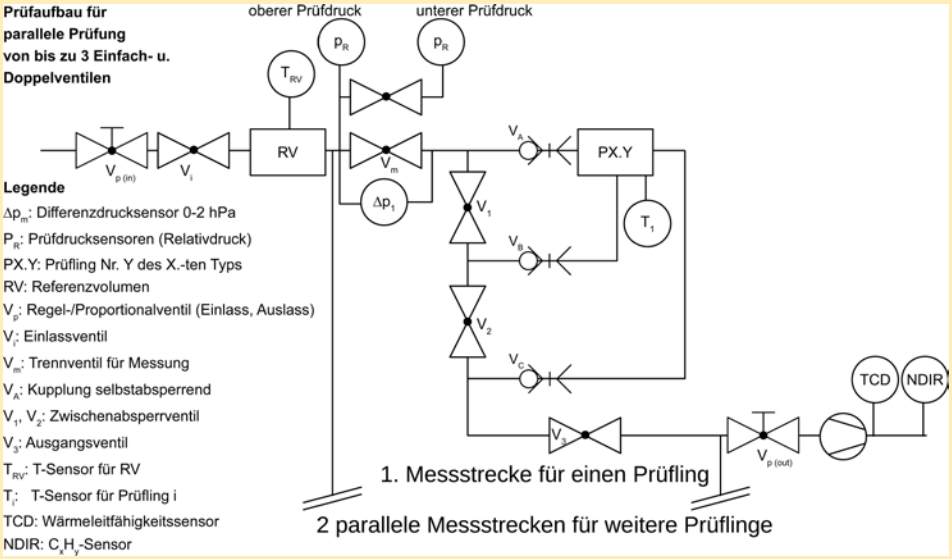


***Bild 4**: Vereinfachter schematischer Prüfaufbau für Dichtheitsuntersuchungen an Doppelventilen*

elektromotorischen Kugelhähne maximal 1,1 MPa betragen. Mit manuell betätigten Kükenhähnen und entsprechend dimensionierten Prüfdrucksensoren können auch Prüfdrücke bis 16 MPa abgedeckt werden. Der Prüfstand ist für die Prüfmedien Luft, Stickstoff, Wasserstoff, Helium, Methan, Ethan, Propan, Kohlendioxid und Sauerstoff ausgelegt. Weitere Prüfgase sind aufgrund der Materialwahl nach Prüfung möglich. Die Prüfgaswechsel können über geeignete Gasmesstechnik (Bild 4: TCD-, NDIR-Sensoren) überwacht und mittels einer Doppelkopfmembranpumpe abhängig von der Unterdruckfestigkeit der Prüflinge beschleunigt werden, um definierte Prüfgasatmosphären herzustellen.

5.2 Experimenteller Prüfaufbau

In Bild 4 ist der neue Versuchsaufbau des Dichtheitsprüfstands an der DVGW-Forschungsstelle für Prüfgegenstände auch mit größeren Volumina und mit Auslegung unter anderem für das Prüfgas Wasserstoff dargestellt. Verschiedene Komponenten wie z. B. Kugelhähne, Proportionalventile und Drucksensoren sind in der Legende in Bild 4 aufgeführt.

Mit dieser Anlage können die äußere und die innere Dichtheit an den Ventilen ($V_{1,PX.Y}$ und ggf. $V_{2,PX.Y}$) an bis zu drei Prüflingen parallel geprüft werden. Eingesetzte Prüfgasmedien sind z. B. Luft, H_2, CH_4 und Gemische aus CH_4 und H_2 (z. B. 20 Vol.-% H_2 / 80 Vol.-% CH_4). **Bild 5** zeigt

***Bild 5**: Messaufbau mit den drei Differenzdrucksensoren, Trennkugelhähnen und Prüfdrucksensoren außerhalb der Temperaturkammer*

***Bild 6**: Referenzvolumen- und Prüflingsanordnung in der Temperaturkammer*

ein Foto der Anlage mit den Hauptkomponenten Differenzdrucksensoren, den elektromotorischen Trennventilen und den ebenfalls erkennbaren Prüfdrucksensoren außerhalb der Temperaturkammer und **Bild 6** zeigt die Positionierung des Referenzvolumens und der Prüfgegenstände in der Temperaturkammer, damit sie sich in einer thermisch ähnlichen Umgebung befinden.

5.3 Versuchsdurchführung

Die Prüfgegenstände durchlaufen bei den Versuchen folgende Phasen:

1. Vorbereitungsphase: Hier erfolgt die Einstellung der Temperatur in der Temperaturkammer, das Befüllen mit Prüfgas und die Einregelung des jeweiligen Prüfdrucks (unterer und oberer Prüfdruck).
2. Stabilisierungsphase: Diese Phase folgt nach jeder Vorbereitungsphase und speziell nach dem Befüllen oder dem Umschalten des jeweiligen Messstrangs bezüglich der Messstellen. Sie dient dazu, dass die Prüfgegenstände thermisch in Beharrung sind und die Prüfbedingungen (Prüfdruck) eingehalten werden, was durch die Aufnahme des Prüfdrucks und der Temperatursensoren verfolgt wird. Die Stabilisierungsphasen betragen nach einer Befüllung mindestens 20 min.
3. Messphase: In dieser Phase werden der Druckabfall über eine hinreichend lange Messzeit und die Temperaturen im Bereich des Referenzvolumens und der Prüflinge gemessen. Der Prüfdruckverlauf und die Verläufe der Temperaturen in der Temperaturkammer dienen zur Kompensation nicht-isothermer Versuchsbedingungen, wie sie durch das zyklische Regelverhalten einer Temperaturkammer auftreten können. Die einzelnen Messungen werden über mindestens 5 min Messdauer durchgeführt.

4. Entleerung/Inertisierung: Nach der Mehrfachmessung (mindestens Dreifachbestimmung) kann die Prüfapparatur im Rahmen eines Prüfgas- oder Prüflingswechsels nach Herstellervorgabe entleert und ggf. mit Stickstoff inertisiert werden. Der Vorgang kann durch den Einsatz einer Doppelkopfmembranpumpe mit Evakuieren beschleunigt werden. Dabei ist die Unterdruckfestigkeit der Prüflinge gemäß der Herstellervorgabe zu beachten.

Zyklische Temperaturschwankungen in der Temperaturkammer können als Trigger- bzw. Lock-In-Signale für die temperaturempfindliche Messmethode verwendet werden, da Temperaturänderungen über die Gasgesetze auch Druckänderungen nach sich ziehen. Um ungewollte Wärmeeinträge zu minimieren, werden elektromotorische Kugelhähne als schaltbare Systemtrenner im Bereich der Differenzdruckmessungen eingesetzt.

Die Prüfdrücke werden über zwei Relativdrucksensoren je nach Messbereich gemessen (Bild 4). Für niedrige Prüfdrücke kommt ein Drucksensor mit 5 kPa-Messbereich zum Einsatz, der durch einen elektromotorischen Kugelhahn geschützt bzw. zuschaltbar ist. Für Prüfdrücke bis 200 kPa ist ein weiterer Drucksensor installiert, der auch die Drucküberwachung bzw. den Schutz vor zu hohen Drücken für den Drucksensor mit dem kleineren Messbereich mit übernimmt.

Die Feineinstellung der Prüfdrücke sowie die kontrollierte Entleerung des druckbeaufschlagten Prüfstands erfolgen jeweils über die Proportionalventile $V_{p(in)}$ bzw. $V_{p(out)}$ und zum Teil mit weiteren manuell bedienbaren Druckreglern bzw. Nadelventilen.

Die Einstellung der Prüfgaskonzentration bzw. den Fortschritt einer Inertisierung kann über NDIR-Detektoren für Kohlenwasserstoffe (C_xH_y) und einen Wärmeleitfähigkeitsdetektor (Fokus H_2, ggf. He) überwacht werden.

Die Schaltsequenzen bzw. die Ventilstellungen gibt **Tabelle 1** kompakt wieder. Beim Inertisieren können die Entleerung des Prüfgases und die Befüllung mit einem inerten Gas gestuft und abwechselnd im Rahmen der Druck- und Unterdruckfestigkeit der Prüflinge und des Prüfstands erfolgen, was mit „On / Off“ in Tabelle 1 angedeutet ist. Die Steuerung und Datenaufzeichnung erfolgen computergestützt mit einer dafür entwickelten Prüfstands-Software.

***Tabelle 1**: Übersicht zu den Ventilschaltungen in den verschiedenen Phasen (On: offen, Off: geschlossen)*

Vorgang	$V_{p\,(in)}$	V_i	V_m	V_1	V_2	V_3	$V_{p\,(out)}$
Vorbereitung Befüllen	On	On	On	On	On	Off	Off
Stabilisieren	Off	Off	On	On	On	Off	Off
Messen Äußere Dichtheit Innere Dichtheit V1, PX.Y Innere Dichtheit V2, PX.Y	 Off Off Off	 Off Off Off	 Off Off Off	 On On On	 On Off On	 Off On On	 Off On On
Entleeren	Off	Off	On	On	On	On	On
Inertisieren Kontinuierlich / Diskontinuierlich	On	On	On	On	On	On/ On-Off	On/ On-Off

Die Auswertung des Druckabfalls Δp zur Bestimmung der Leckrate erfolgt gemäß Anhang D der EN 13611:2019 [1] unter Berücksichtigung der tatsächlichen Messzeiten.

6. Ergebnisse der praktischen Prüfung von DUNGS-Komponenten

Die nachfolgenden Messreihen wurden im akkreditierten Prüflabor an der DVGW-Forschungsstelle in Karlsruhe unter Verwendung von kalibrierten Messmitteln durchgeführt.

Die Prüfungen erfolgten auf Basis der Normen DIN EN 126:2012 [9], DIN EN 161:2013 [10] und DIN EN 13611:2019 [1]. Alle Dichtheitsprüfungen für die äußere und innere Dichtheit erfolgten mit der Druckabfallmethode für jeweils zwei Prüfdrücke und mit den angegebenen Prüfgasen. Als unterer Prüfdruck wurde immer 0,6 kPa gewählt, als oberer Prüfdruck fand das 1,5-fache des maximalen Eingangsdrucks Anwendung. Insgesamt wurden mit den 15 Prüfmustern 1.080 Einzelmessungen für 360 Messwerte (Dreifachbestimmungen) mit den Prüfgasen Luft, Methan, 80 Vol.-% Methan / 20 Vol.-% Wasserstoff und Wasserstoff durchgeführt.

Tabelle 2 zeigt die höchstzulässigen Leckraten nach DIN EN 13611:2019, Abschnitt 7.2.1.

Für eine bessere Übersicht werden in **Tabelle 3** die entsprechenden Prüfmuster in Bezug auf Nennweite, innere Dichtheit und äußere Dichtheit dargestellt.

***Tabelle 2**: Höchstzulässige Leckraten DIN EN 13611:2019, Abschnitt 7.2.1*

Nennweite des Eingangs DN	Höchstzulässige Leckraten cm^3/h Luft	
	Innere Dichtheit	Äußere Dichtheit
DN < 10	20	20
10 ≤ DN ≤ 25	40	40
25 < DN ≤ 80	60	60
80 < DN ≤ 150	100	60
150 < DN < 250	150	60

***Tabelle 3**: Übersicht der Prüfgegenstände mit den Nennweiten in Bezug auf Leckraten*

Baureihe	Nennweite	Innere Dichtheit	Äußere Dichtheit
GSV 205	Rp ½" ≈ DN 15	40 cm^3/h	40 cm^3/h
GSV 220	Rp 2" ≈ DN 50	60 cm^3/h	60 cm^3/h
MBE-050-VV	DN 50	60 cm^3/h	60 cm^3/h
MBE-065-VV	DN 65	60 cm^3/h	60 cm^3/h
MBE-100-VV	DN 100	100 cm^3/h	60 cm^3/h

Die Begriffe „innere Dichtheit“ und „äußere Dichtheit“ werden in der Prüfnorm DIN EN 13611:2019, 3. Begriffe [1] folgendermaßen definiert:

- Innere Dichtheit: Dichtheit des Stellgliedes (in der Stellung „geschlossen“), das einen Gas führenden Raum gegenüber einem anderen Raum oder dem Ausgang des Regel- und Steuergerätes abschließt
- Äußere Dichtheit: Dichtheit eines gasführenden Raumes gegenüber der Atmosphäre.

Zur übersichtlicheren Darstellung wurden die Prüfergebnisse der kleinsten, mittleren und größten Nennweite der in Tabelle 3 aufgeführten Armaturen ausgewählt.

Diese sind das Sicherheits-Magnetventil GSV 205 (Rp ½“ ≈ DN 15) sowie die Mehrfachstellgeräte der Baureihe MBE-050-VV (DN 50) und MBE-100-VV (DN 100). Bei den nachfolgend gezeigten Ergebnissen wichen die ermittelten Fließraten für einzelne Messreihen von der theoretischen Betrachtung ab, dabei lagen die Ursachen einerseits bei sehr niedrigen Messwerten im Bereich der Messunsicherheiten, andererseits führten bereits das Wechseln der Anschlüsse und das Evakuieren beim Gaswechsel zu Effekten auf die nachfolgenden Messungen. Trotz dieser eher nachteiligen Effekte lagen die Fließraten bei allen Prüfgasen zumeist deutlich unter den zulässigen Leckageraten für Luft.

6.1 Prüfergebnisse GSV 205

- **Bild 7**: Die Messungen zeigen die leicht steigende Leckrate am GSV 205 bei Raumtemperatur (20 °C ± 5 °C), abhängig vom verwendeten Prüfgas. Der Verlauf entspricht annähernd den theoretischen Betrachtungen zur laminar-viskoser Strömung.
- **Bild 8**: Messungen bei -20 °C zeigen jedoch ein anderes Verhalten. Hier steigen die Leckraten bei Methan und einem 80 Vol.-% Methan / 20 Vol.-% Wasserstoff-Gemisch an und fallen bei reinem Wasserstoff wieder ab. Nachmessungen am GSV 205 führten wieder zu einem ähnlichen Ergebnis.
- **Bild 9**: Messungen mit +60 °C Umgebungstemperatur zeigen ein ähnliches Verhalten wie bei Raumtemperatur.

Alle gemessenen Leckraten liegen weit unterhalb der höchstzulässigen Leckraten nach DIN EN 13611:2019 [1], Abschnitt 7.2.1

6.2 Prüfergebnisse MBE-050-VV

- **Bild 10**: Messungen am Mehrfachstellgerät MBE-050-VV bei 20 °C ± 5 °C weisen einen ähnlichen Verlauf wie das Sicherheits-Magnetventil GSV 205 bei Raumtemperatur (20 °C ± 5 °C) auf.
- **Bild 11**: Die Dichtheitsprüfung bei -20 °C zeigt leicht erhöhte Werte in der Leckrate. Diese sind jedoch unkritisch, da sie weit unterhalb der höchstzulässigen Leckraten nach Norm liegen. Die geringfügigen Schwankungen zwischen Methan, 80 Vol.-% Methan / 20 Vol.-% Wasserstoff-Gemisch und 100 % Wasserstoff sind durch Messunsicherheiten zu erklären.
- **Bild 12**: Bei der Leckratenprüfung mit +60 °C fallen die höheren Werte bei der äußeren Dichtheit (atmosphärisch) mit 100 % Wasserstoff auf. Im Gegensatz zu den größeren Nennweiten der MBE-Baureihe (DN 65, DN 100) wird das Gehäuse mit je einem Deckel oben/

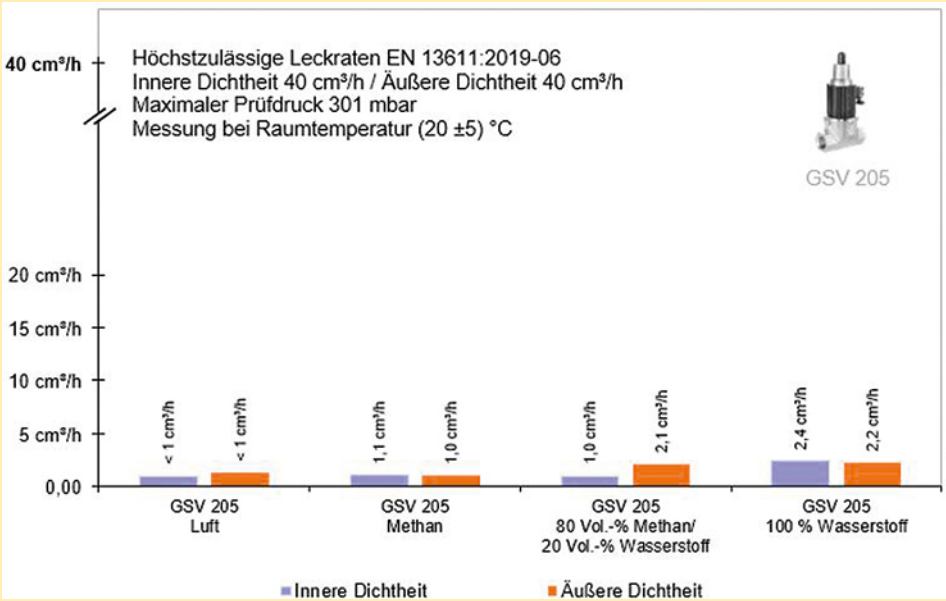


***Bild 7**: Messungen am Sicherheits-Magnetventil GSV 205 mit unterschiedlichen Prüfgasen bei 20 °C*

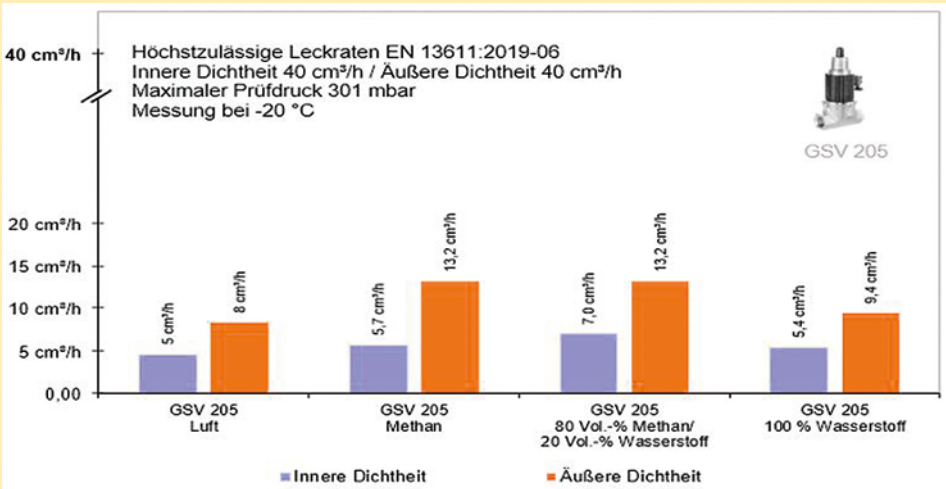


***Bild 8**: Messungen am Sicherheits-Magnetventil GSV 205 mit unterschiedlichen Prüfgasen bei -20 °C*

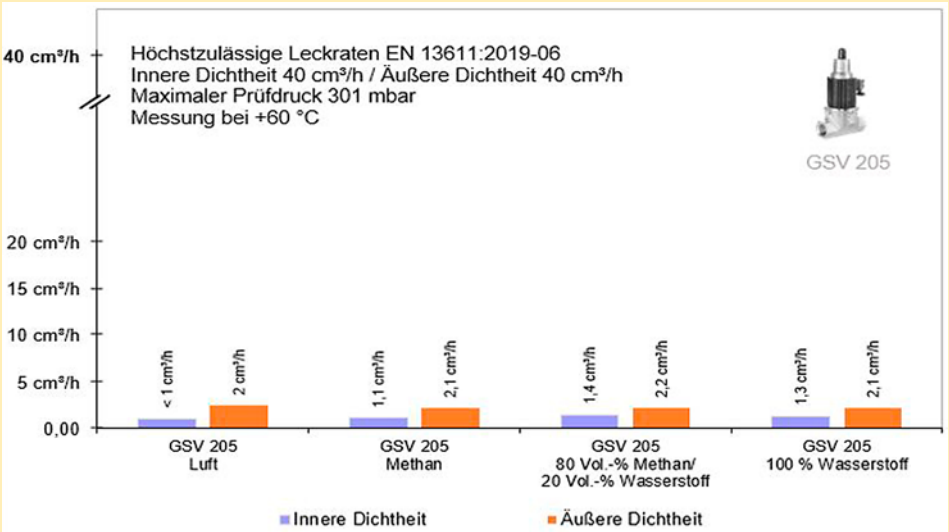


***Bild 9**: Messungen am Sicherheits-Magnetventil GSV 205 mit unterschiedlichen Prüfgasen bei +60 °C*

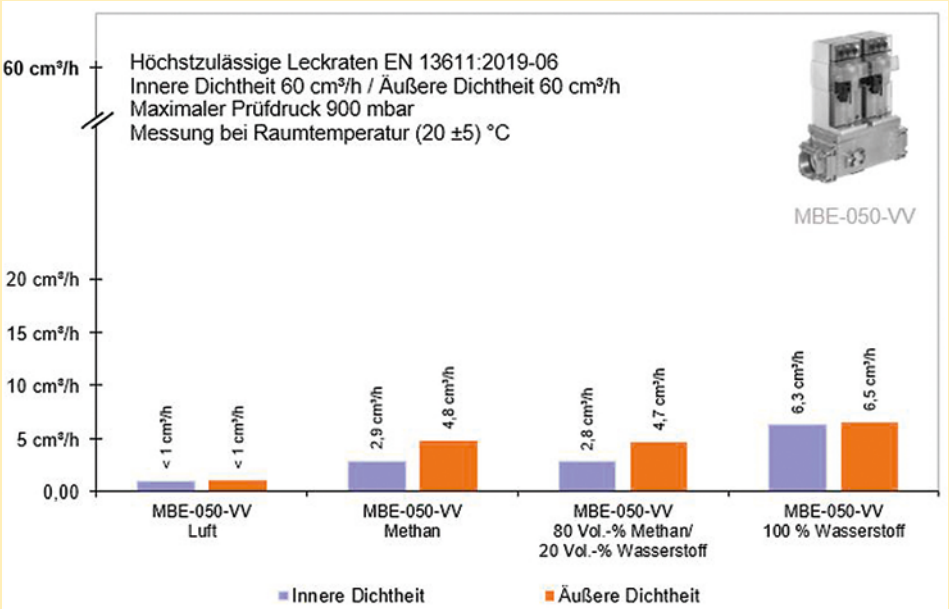


***Bild 10**: Messungen am Mehrfachstellgerät MBE-050-VV mit unterschiedlichen Prüfgasen bei 20 °C*

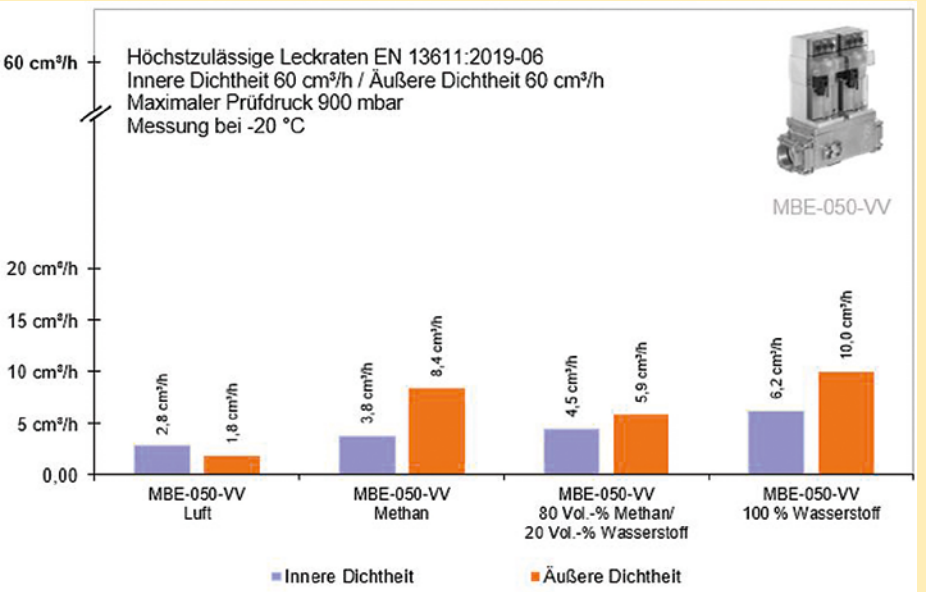


***Bild 11**: Messungen am Mehrfachstellgerät MBE-050-VV mit unterschiedlichen Prüfgasen bei -20 °C*

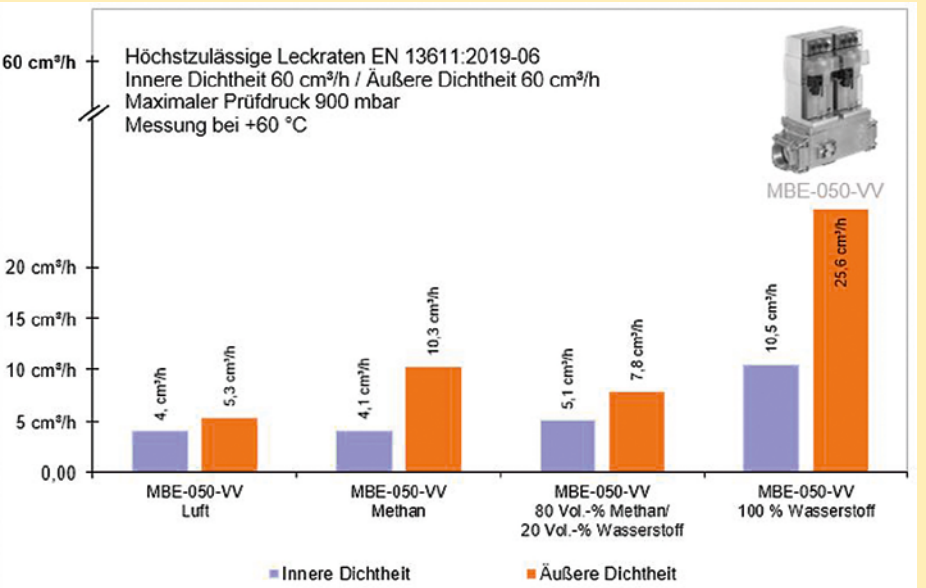


***Bild 12**: Messungen am Mehrfachstellgerät MBE-050-VV mit unterschiedlichen Prüfgasen bei +60 °C*

unten und entsprechenden Flachdichtungen verschlossen. Die Leckrate von 25,6 cm³/h ist aber als unkritisch zu betrachten, da diese um 57,3 % unterhalb der höchstzulässigen Leckrate nach DIN EN 13611:2019 [1], Abschnitt 7.2.1 liegt.

6.3 Prüfergebnisse MBE-100-VV

Für die Prüfung der inneren und äußeren Dichtheit gibt die DIN EN 13611:2019 [1], Abschnitt 7.2.1 für die Eingangsnennweiten DN 80 bis DN 150 unterschiedliche Leckraten vor. Für die innere Dichtheit wird die höchstzulässige Leckrate mit 100 cm³/h angegeben. Die maximale Leckrate für die äußere Dichtheit ist mit 60 cm³/h festgelegt. In den folgenden Bildern wird in den Diagrammen immer die höchstzulässige Leckrate der äußeren Dichtheit von 60 cm³/h als maximale Obergrenze herangezogen:

- **Bild 13**: Messungen bei Raumtemperatur (20 °C ± 5 °C) ergaben Werte unterhalb von 1 cm³/h bei allen verwendeten Prüfgasen (Luft, Methan, 80 Vol.-% Methan / 20 Vol.-% Wasserstoff-Gemisch und 100 % Wasserstoff).
- **Bild 14**: Die Prüfungen bei -20 °C zeigen erhöhte Werte bei der atmosphärischen Dichtheitsprüfung mit Luft. Ebenso ist eine Erhöhung der Leckrate bei der inneren Dichtheit bei Methan zu erkennen. Beide Werte sind unkritisch, da sie weit unterhalb der höchstzulässigen Leckraten liegen.

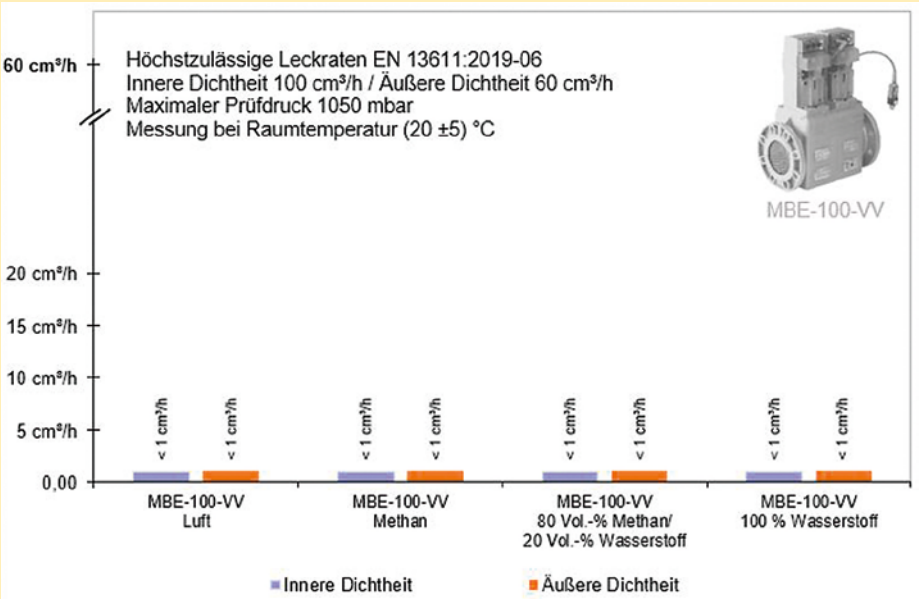


***Bild 13**: Messungen am Mehrfachstellgerät MBE-100-VV mit unterschiedlichen Prüfgasen bei 20 °C*

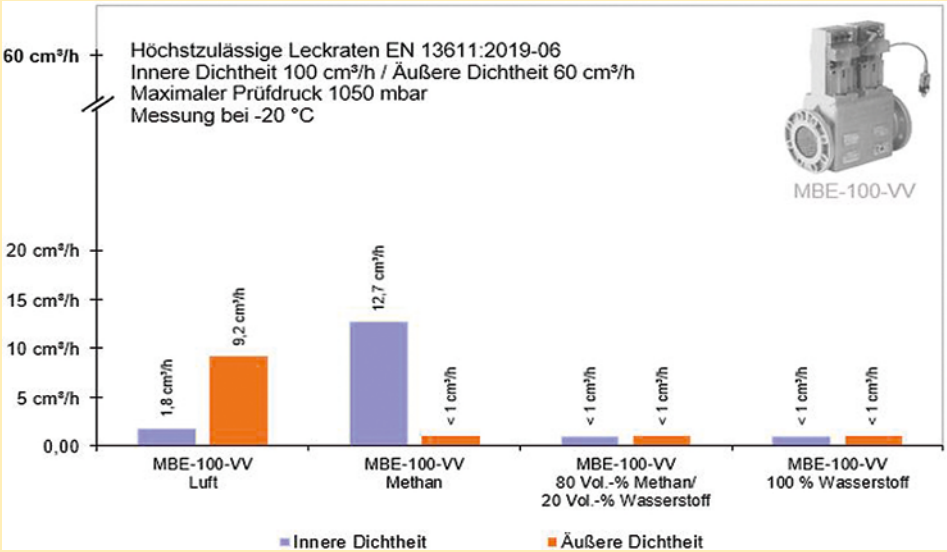


***Bild 14**: Messungen am Mehrfachstellgerät MBE-100-VV mit unterschiedlichen Prüfgasen bei -20 °C*

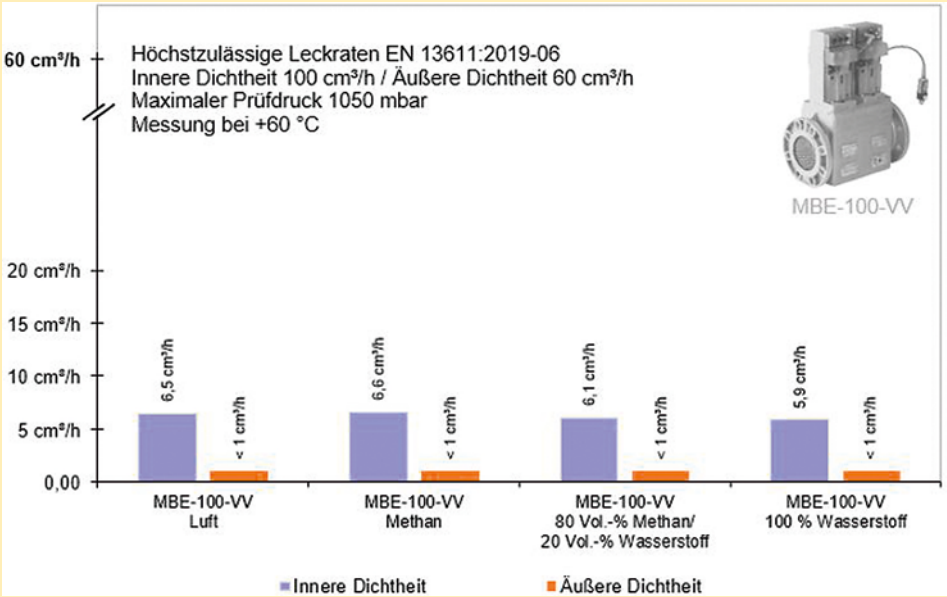


***Bild 15**: Messungen am Mehrfachstellgerät MBE-100-VV mit unterschiedlichen Prüfgasen bei +60 °C*

- **Bild 15**: Bei den Dichtheitsprüfungen mit +60 °C Umgebungstemperatur sind die Werte für die innere Dichtheit geringfügig erhöht. Die Werte für die äußere Dichtheit liegen für alle Prüfgase unterhalb von 1 cm^3/h.

7. Zusammenfassung

Der Bericht der DVGW-Forschungsstelle über die „Theoretische Betrachtung von Gasarteneffekten bei Leckagen“ [2] sowie der „Bericht über die Prüfung von Regelventilen der Serie VB… und GSV… der Firma Karl Dungs GmbH & Co. KG, Urbach“ [11] haben gezeigt, dass DUNGS-Komponenten für einen Betrieb mit 80 Vol.-% Methan / 20 Vol.-% Wasserstoff-Gemisch und 100 % reinem Wasserstoff alternativ zu Methan (Erdgas) ohne eine technisch relevante Reduktion des Sicherheitsniveaus bezüglich der Dichtheit nachgewiesenermaßen geeignet sind.

Aufgrund der Verwendung gleicher Materialien und Konstruktionsprinzipien sind die nachgewiesenen Ergebnisse auch auf die anderen Armaturen des DUNGS-Produktportfolios übertragbar. Ähnliche Ergebnisse wurden auch bereits vielen früheren Untersuchungen der DVGW-Forschungsstelle zu Wasserstoffbeimischungen zu Erdgas (u. a. in [5]) gefunden, deren Ergebnisse in den verwendeten Prüfaufbau und die Methodik einflossen.

Literatur

[1] DIN/CEN, DIN EN 13611:2019. Sicherheits- und Regeleinrichtungen für Brenner und Brennstoffgeräte für gasförmige und/oder flüssige Brennstoffe – Allgemeine Anforderungen

[2] Dörr, H.: Theoretische Betrachtung von Gasarteneffekten. DVGW-EBI, Karlsruhe, AZ: 19/082/0098/191, Oktober 2019

[3] DIN/CEN/ISO: DIN EN ISO 20484. Zerstörungsfreie Prüfung – Dichtheitsprüfung – Begriffe. DIN/CEN, Berlin; Brüssel 2017

[4] DVGW e.V.: Technische Regel G 260 „Gasbeschaffenheit“. Bonn, 2013

[5] Scholten, F.; Dörr, H.; Werschy, M.: Mögliche Beeinflussung von Bauteilen der Gasinstallation durch Wasserstoffanteile im Erdgas unter Berücksichtigung der TRGI. DVGW, Bonn, 2018

[6] Rottländer, H.; Umrath; W.; Voss, G.: Grundlagen der Lecksuchtechnik. Oerlikon Leybold Vaccum GmbH, 2014

[7] Cox, K. E.; Williamson, K. D.: Hydrogen: Its Technology and Implications. Volume IV Utilization of Hydrogen. CRC Press, Boca Raton, 1979

[8] National Institute of Standards and Technology (NIST): NIST Chemistry Webbook. NIST Standard Reference Database Number 69, Gaithersburg, MD, USA, 2015

[9] DIN/CEN: Mehrfachstellgeräte für Gasgeräte. Deutsche Fassung EN 126:2012, DIN/CEN, Berlin; Brüssel, 2012

[10] DIN/CEN: DIN EN 161. Automatische Absperrventile für Gasbrenner und Gasgeräte. Deutsche Fassung EN 161:2011+A3:2013, DIN/CEN, Brüssel, 2013

[11] Hoffmann, J.: Bericht über die Prüfung von Regelventilen derSerie VB und GSV der Firma Karl Dungs GmbH & Co KG. DVGW-Forschungsstelle, Karlsruhe, 2020

Autoren

Marc Wiesner
Karl Dungs GmbH & Co. KG
Urbach
Tel.: +49 7181 804-0
E-Mail: info@dungs.com

Dr. **Jens Hoffmann**
DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut
Karlsruhe
Tel.: +49 721 608-41245
E-Mail: hoffmann@dvgw-ebi.de

Dr. **Holger Dörr**
DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut
Karlsruhe
Tel.: +49 721 96 402 62
E-Mail: doerr@dvgw-ebi.de

Robbin Bhagwa
DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut
Karlsruhe
Tel.: +49 721 9640220
E-Mail: bhagwa@dvgw-ebi.de

Informieren Sie sich jetzt über alle Neuerungen am Gas- und Energiemarkt!

Schwerpunkte des Buchs:
- Gasbeschaffenheit
- Häusliche und industrielle Anwendung
- MSR
- Wasserstoff
- Power-to-X

zum Shop

© 2020 Vulkan Verlag GmbH