Durchflussprüfstand für Drehkolben-, Turbinenrad- und Ultraschallgaszähler mit kritisch betriebenen Düsen

Jost Körte, Ulf Lehmann, Andrea Baum und Katja Liesegang

Mess- und Regeltechnik, Durchflussprüfstand, Prüfstelle, MID Modul D, kritische Venturi Düsen, Gebrauchsnormale, Turbinenradzähler, Drehkolbenzähler, Messunsicherheitsbetrachtung

Metreg Technologies GmbH in Fürstenwalde hat in Zusammenarbeit mit EEE Anlagenbau GmbH einen Niederdruckprüfstand für die Erstkalibrierung und Nacheichung von Gaszählern entwickelt und von EEE Anlagenbau GmbH bauen und in Betrieb nehmen lassen, der bei atmosphärischen Bedingungen mit Luft für Durchflüsse von 0,1 m^3/h bis 4000 m^3/h betrieben wird. Der Prüfstand wird im unteren Durchflussbereich (0,1 m^3 bis 72m^3/h) mit einer kritischen Düsenstaffel bestehend aus zehn kritisch betriebenen Düsen, im mittleren Durchflussbereich (6 m^3/h bis 650 m^3/h) mit einem pulsationsarmen Twin Drehkolbengaszähler und im oberen Bereich (125 m^3/h bis 4000 m^3/h) mit zwei Turbinenradgaszählern als Gebrauchsnormale betrieben. Druck, Temperatur und relative Feuchte werden über digitale Messgeber erfasst und für die Prüfstandsüberwachung sowie Messunsicherheits- und Fehlerberechnungen übertragen. Die Messunsicherheit des Prüfstandes beträgt zwischen 0,20 % und 0,26 %. Die Prüfstrecken sind für die Nennweiten DN 50 bis DN 150 mit expliziten Prüfstrecken, in denen bis zu zwei Prüflinge in Reihe kalibriert werden können, ausgestattet. Die Nennweiten DN 200, DN 250 und DN 300 können über einen Prüfstutzen DN 300 geprüft werden.

Calibration flow testrig for rotary, turbine and ultrasonic gas flow meters with sonic nozzles

Metreg Technologies GmbH in Fürstenwalde in cooperation with EEE Anlagenbau GmbH has developed, built, and commissioned a low pressure test facility for the calibration of commercial and industrial gas meters. The testrig has a flow range from 0,1 m^3/h to 4.000 m^3/h. In the low flow range from 0,1 m^3/h to 72 m^3/h a set of 10 sonic nozzles under overcritical conditions is being used as standard meter, while the medium flow rates from 6 m^3/h to 650 m^3/h are being covered by a pulsation reduced twin rotary meter and the high flow rates by two Metreg turbine meters (125 m^3/h to 4000 m^3/h) as working standards. Pressure, temperature, and relative humidity are measured by digital transmitters for the meters under test and the working standards for monitoring as well as flow and measurement uncertainty calculations. The total measurement uncertainty of the test facility has been determined at 0,20% to 0,26% for the whole flow range. The meter under test section is designed with 4 explicit parallel lines for DN 50 to DN 150 with the possibility to calibrate two meters of the same size and type inline. The meter sizes DN 200, DN 250 and DN 300 can be calibrated on a separate parallel test line. The master meters have been calibrated at PTB in Braunschweig as notified body of Germany and the complete facility has been certified by NMi Certin B.V. as notified body of the Netherlands.

Der Durchflussprüfstand der Metreg Technologies (**Bild 1**) ist ausgelegt für die atmosphärische Prüfung von Turbinenrad- (TRZ), Drehkolben- (DKZ), Ultraschall- (USZ) und anderen Gaszählern im eichpflichtigen Bereich mit Luft sowie für Kalibrierungen von nichteichpflichtigen Messgeräten. Der Durchflussbereich reicht von 0,1m^3/h bis 4000 m^3/h mit Anschlussnennweiten für die Prüflinge von DN25 bis DN300.

Während der Entwicklung des Prüfstandes wurde sehr viel Wert auf konstante und stabile Prüfbedingungen bei gleichzeitig angemessenen kurzen Prüfzeiten gelegt.

Dafür ist der Prüfstand komplett mit allen Prüf- und Normalstrecken in einer horizontalen Ebene errichtet, um jeden Einfluss von Temperaturschichtungen im Prüfraum auszuschließen. Die Prüfluft wird über eine geregelte Klimaanlage bei atmosphärischen Bedingungen in den Prüfraum zurückgeführt. Die Prüflinge können einfach in pneumatischen Spannvorrichtungen eingebaut werden. Die nachfolgenden Prüflinge anderer Nennweiten und gleicher oder anderer Bauart können bereits während der laufenden Prüfung im Prüfstand eingebaut und zur Prüfung vorbereitet werden.

Eine Übersicht zeigt den Prüfstand (**Bild 2**) mit den sechs funktionalen Bereichen. Diese Bereiche beinhalten:

- Prüf- oder Gebrauchsnormale für den Durchfluss
- P-,T- und Feuchtemessung (verteilt in allen Bereichen)
- Prüfstrecken für die Prüflinge (MuT – Meter under Test section)
- Sammler zwischen den Prüfstrecken und den Gebrauchsnormalen
- Technikraum (Container) mit den Sauggebläsen und der Klimaanlage
- Leitwarte

Für Dichtheitsprüfungen sind die Rohrabschnitte einzeln absperrbar. Diese Abschnitte oder der Prüfstand in der Gesamtheit sind durch Anlegen eines Unterdruckes, erzeugt durch die Sauggebläse, prüfbar. Die Prüfung von Drehkolbenzählern erfolgt einzeln. Die Prüfung der Turbinenradzähler, Quantometer und Ultraschallzähler mit Nennweiten DN 25 bis DN 150 ist mit zwei Prüflingen in Reihe möglich. Zähler der Nennweiten DN 200, 250 und 300 werden auf einem Prüfstutzen einzeln geprüft. Der Prüfraum wird mit einer eigenen Klimaanlage auf eine Temperatur von 23°C +/- 2°C unter allen Prüfbedingungen klimatisiert.

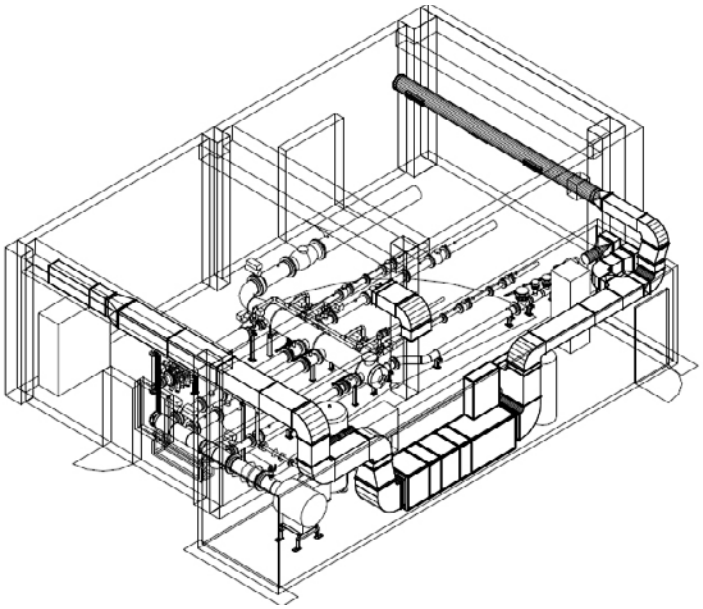

Bild 1: 3D Layout Zeichnung Prüfstand Metreg Technologies

Die festen Prüfstrecken (**Bild 3**) für die Nennweiten DN 50, 80, 100 und 150 haben pneumatisch in Axialrichtung bewegliche Prüfstutzenanschlüsse mit geraden Einlaufstrecken. Die Prüflinge werden in den pneumatischen Spannvorrichtungen auf höhenverstellbaren Vorrichtungen auf die Mittellinie der Prüfstrecke ausgerichtet und eingespannt. Es können bis zu zwei Zähler der gleichen Bauart und des gleichen Nenndurchmessers in Reihe geprüft werden, sofern keine signifikanten Beeinflussungen aufeinander festgestellt werden. Jeder der beiden Prüflinge hat seine eigenen zugeordneten Messdatenleitungen und Anschlüsse für Q, T und p. Für die Nennweiten DN 200, DN 250 und DN 300 steht ein Prüfstutzen zur Verfügung,

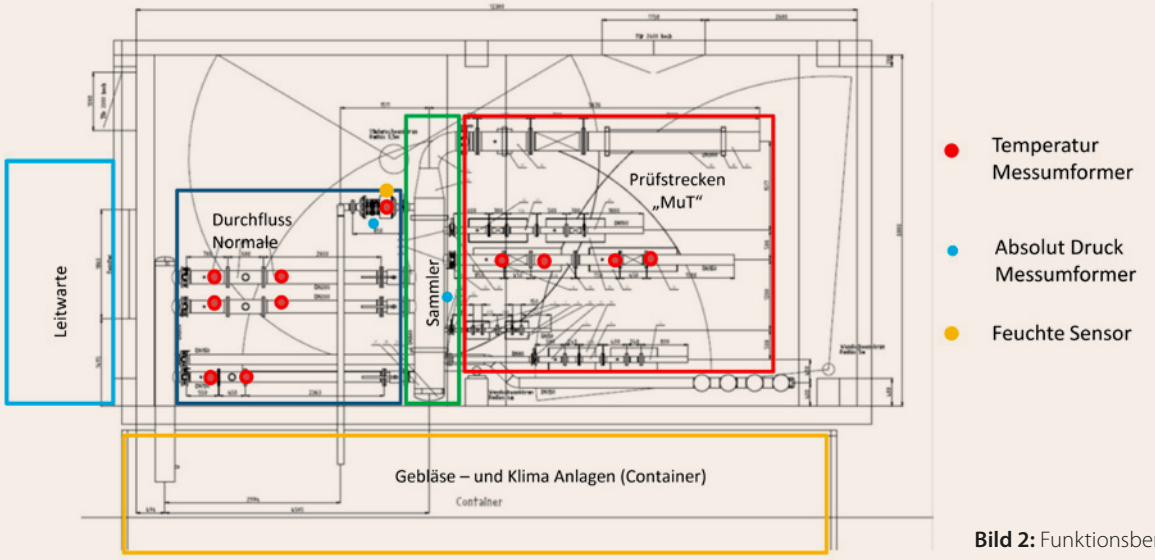

Bild 2: Funktionsbereiche des Prüfstandes

der über Rohrformstücke auf die entsprechende Nennweite angepasst werden kann.

1. Gebrauchsnormale

Es kommen drei unterschiedliche physikalische Prinzipien als Gebrauchsnormale zum Einsatz (**Bild 4**):

- kritische betriebene Venturi-Düsen für kleine Durchflüsse in einer Düsenstaffel bestehend aus 10 Düsen für einen Durchflussbereich von 0,1 m³/h – 72 m³/h
- ein pulsationsarmer Twin Drehkolbenzähler G 400 DN 150 im mittleren Durchflussbereich von 6 m³/h bis 650 m³/h
- zwei Turbinenradzähler G 1600 DN 200 im höheren Durchflussbereich einzeln von 125 m³/h bis 2.500 m³/h oder parallel bis 4.000 m³/h.

Die Gebrauchsnormale haben untereinander jeweils große Überlappungsbereiche (**Bild 5**), so dass in großen Bereichen Durchflüsse mit unterschiedlichen Normalen, auch gegeneinander, geprüft werden können.

Die Düsenstaffel (**Bild 6**) mit zehn kritisch betriebenen Venturi-Düsen wird mit einem Vakuumsauggebläse betrieben. Dieses sorgt für den erforderlichen Unterdruck von mindestens 400 mbar auf der Saugseite, so dass die Düsen sicher im überkritischen Bereich betrieben werden. Die zehn Düsen sind von 0,1 m³/h bis 40 m³/h ausgelegt und können einzeln oder in jeder Kombination zusammen betrieben werden, so dass Durchflüsse von 0,1 bis 72m³/h in inkrementalen Schritten von 0,1 m³/h realisiert werden können. Die Düsenstaffel ist durch einen Rohr-Schalldämpfer akustisch von den vorgelagerten Prüflingen entkoppelt, um die Beeinflussung der Messung auf ein Minimum zu reduzieren. Die Prüflingsstrecken sind unter Umgehung des großen Sammelbehälters direkt über einen Bypass (Leitungen der Nennweite DN 50) mit der kritischen Düsenstaffel verbunden. Dadurch wird das Totvolumen zwischen Prüfling und

Bild 3: Prüfstrecken („Meter under Test" - MuT)

Bild 4: Gebrauchsnormale (kritische Düsenstaffel - vorn, Turbinenradzähler – mitte, Twin Drehkolbenzähler – hinten)

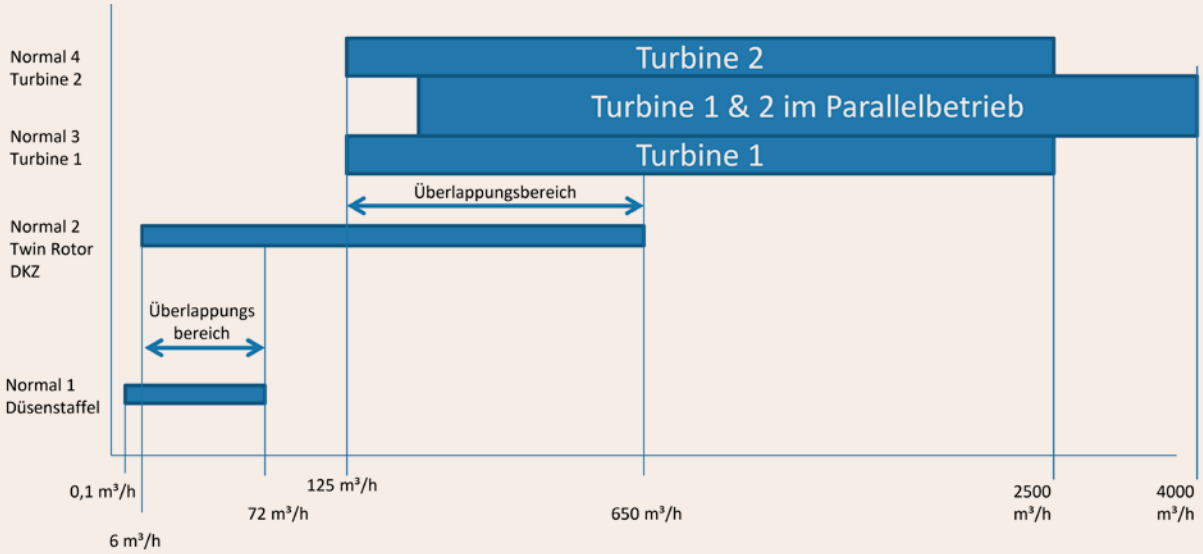

Bild 5: Einsatz- und Überlappungsbereiche der Gebrauchsnormale

Düsenstaffel, insbesondere bei den kleinen Prüfdurchflüssen, auf ein Minimum reduziert.

Die zehn kritisch betriebenen Venturi Düsen sind in einem Aluminiumblock eingesetzt, um eine hohe Temperaturstabilität zu erreichen. Die Temperatur und relative Luftfeuchte wird im Eingangssammler der Düsenstaffel gemessen. Jeder einzelne Düsenstrang ist durch zwei pneumatisch geschaltete Absperrventile abgeriegelt. Zwischen den Absperrventilen ist jeweils eine Druckentnahmestelle eingerichtet, die auf einen pneumatischen Umschaltblock geleitet wird. Somit ist es möglich mit einem Druckgeber den Ausgangsdruck auf der Saugseite der Düse und nacheinander jeweils die Dichtheit der nicht geschalteten Düsenstränge zu prüfen.

Die zwei Turbinenradzähler (Metreg Technologies) G 1600 DN 200 und der Twin-Drehkolbenzähler (GE/Dresser) G400 DN 150 als Gebrauchsnormale werden über ein Radialsauggebläse der Fa. Piller betrieben, welches mit einem Frequenzumrichter geregelt wird. Die Turbinenradzähler Gebrauchsnormale (**Bild 7**) sind mit direkt zugeordneten und zentrisch ausgerichteten Ein- und Auslaufstrecken von jeweils 10 DN und 3 DN ausgestattet. Die Normale sind bei der PTB mit ihren Ein- und Auslaufstrecken kalibriert worden. Beide Normale haben eine Messbereich von 125 m^3/ bis 2 500 m^3/h und sind jeweils mit zwei hochfrequenten Impulsgebern ausgestattet. Auf ein mechanisches Zählwerk wurde bei den Normalzählern verzichtet, um eine mögliche Beeinflussung im Laufe der Lebensdauer der Normale auszuschließen.

Alle Gebrauchsnormale und kritischen Düsen sind bei der PTB in Braunschweig mit den geringstmöglichen Messunsicherheiten zwischen 0,12 % und 0,15 % (bei k=2) kalibriert worden. Die Ergebnisse des Prüfstandes sind somit auf die deutschen und europäisch harmonisierten Kubikmeter (m^3) direkt rückführbar.

Durch die entsprechende Auslegung der Gebrauchsnormale wurden große Überlappungsbereiche (**Bild 5**) zwischen den Normalen realisiert. Sie ermöglichen eine gegenseitige Überprüfung von Ergebnissen mit jeweils zwei unterschiedlichen Normalen sowie zwei physikalisch unterschiedlichen Messprinzipien auf einem Prüfstand.

2. Temperatur-, Druck- und Feuchtemessung

Die Messung der Temperaturen erfolgt über elf Temperatur Messumformer „M-485-T-180MM" der Fa. MECOTEC (**Bild 8**). Die Kalibrierung der Sensoren ist über ein nach ISO 17025 durch den DAKKS akkreditiertes Prüflabor auf die nationalen Normale rückführbar. Die Temperaturgeber sind über eine Modbus RS 485 Schnittstelle an die Datenerfassung und Steuerung angebunden. Die Temperatur Messumformer haben eine Messunsicherheit U≤ ± 0,01K (mit k=2).

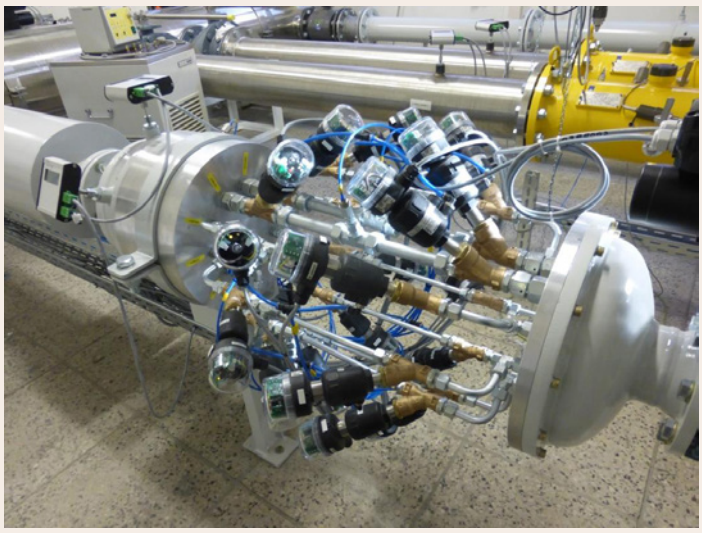

Bild 6: Düsenstaffel mit 10 kritisch betriebenen Venturi Düsen und Temperaturgeber und Feuchtemesser

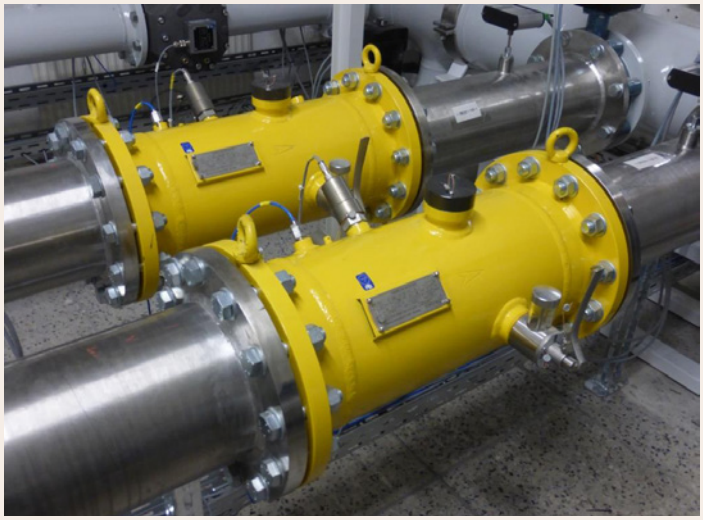

Bild 7: Turbinenradzähler Gebrauchsnormale Metreg Technologies MTM G 1600 DN 200

Die Temperatur wird jeweils vor und hinter den Normalen (TRZ und DKZ) und dem Prüfling (MUT) gemessen und jeweils gemittelt. Die Temperaturtaschen der Messstellen sind fest in die Prüfstrecken und die Ein/Auslaufstrecken der Gebrauchsnormale eingebaut, so dass immer gleiche Umgebungsbedingungen herrschen. Die Messstellen liegen in einem Bereich von 2 DN im Abstand zum Ein- und Ausgang des Prüflings beziehungsweise des Gebrauchsnormals entsprechend der PTB Prüfregeln.

Die Temperaturmessung der kritischen Düsen-Normal Staffel erfolgt im temperaturstabilisierten Eingangssammelbehälter. Die Temperaturstabilisierung erfolgt durch einen massiven Aluminiumkörper, in den die zehn kritischen Venturi Düsen passgenau eingebaut sind.

Bild 8: Temperatur Messumformer MECOTEC M485 T 180 MM

Bild 9: Absolut-Druckgeber Fa. MECOTEC M-485-PA-2BAR

Bild 10: Feuchtemessumformer MECOTEC M-485-RH-ANZ

Die Messung der Drücke erfolgt über zwei Absolut-Druckmessumformer (**Bild 9**) „M-485-PA-2BAR" der Fa. MECOTEC, jeweils einer für den Prüfling und das arbeitende Gebrauchsnormal und der zweite für die Überwachung der Dichtheit der kritischen Düsen. Die Druckgeber werden über eine elektronische Schaltung den jeweiligen Prüfpunkten zugeschaltet. Die Kalibrierung der Transmitter ist ebenfalls über ein nach ISO 17025 durch den DAKKS akkreditiertes Prüflabor auf die nationalen Normale für Druck rückführbar. Die Absolut-Druck Messumformer haben eine Messunsicherheit von 0,007 % vom Messwert oder 0,01 % vom Mittelwert (mit k=2).

Die Messung der relativen Luftfeuchte erfolgt über einen Messumformer für relative Feuchte „M-485-RH-ANZ" der Fa. MECOTEC. Die Messunsicherheit beträgt U ≤ 4 % vom Endwert. Es wird darüber lediglich sichergestellt, dass die relative Luftfeuchte im Bereich der kritischen Düsen während der Messung sicher unterhalb von 60 % liegt, so dass keine Beeinflussung der Messunsicherheit durch die relative Luftfeuchte auftritt.

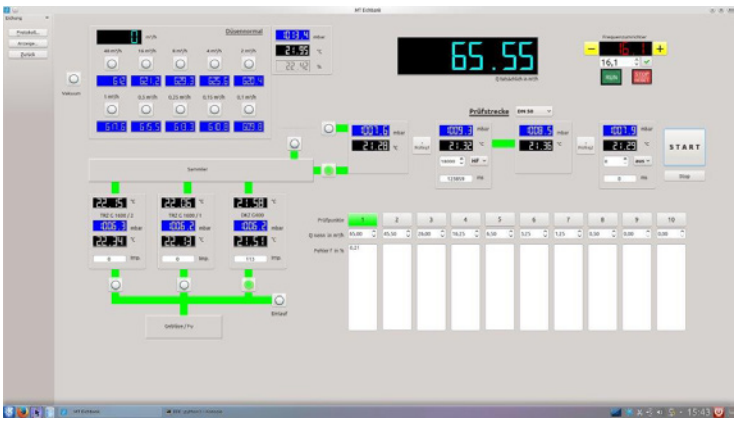

Bild 11: Bildschirmmaske zur Steuerung des Prüfstandes in „Touchscreen" Ausführung

3. Messunsicherheitsbetrachtung

Die Messunsicherheitsbetrachtung ist entsprechend der PTB-Prüfregeln Band 29 [1, S. 125 ff] für den Durchflussprüfstand durchgeführt worden und erfasst alle relevanten Einflüsse der Messunsicherheit wie:

- Gebrauchsnormale für den Durchfluss
- Impulserfassung
- Prüfzeit und Anzahl gemessener Impulse
- Temperaturgeber
- Druckmessumformer
- mögliche maximale Undichtigkeiten während der Prüfung

Abhängig von den Prüfbedingungen, den eingesetzten Normalen und Messumformern ergibt sich eine Gesamtmessunsicherheit des Prüfstandes innerhalb des zugelassenen Durchflussbereiches von 0,1 m^3/h bis 4 000 m^3/h, den Umgebungsbedingungen von 23°C +/- 2°C und den Prüfregeln Band 29 [4] der PTB im Bereich zwischen 0,20 % und 0,26 %. Insbesondere bei einem parallelen Einsatz von zwei Prüfnormalen oder mehreren Düsen ist die Messunsicherheit aufgrund des Fehlerfortpflanzungsgesetzes reduziert. Die Wiederholgenauigkeit des Prüfstandes für einzelne Prüfpunkte liegt bei < 0,05 % des Messwertes.

Um die Messunsicherheit langfristig sicherzustellen, ist im Rahmen der Qualitätssicherung und der Zulassungen nach MID [2] Modul D ein systematisches Überwachungssystem definiert und installiert worden. Es werden im Rahmen des Überwachungssystems alle Gebrauchsnormale und Messwertumformer regelmäßig gegen Ver-

gleichsnormale für Durchfluss, Temperatur und Druck überprüft. Die externen Überprüfungen durch die benannte Stelle NMi oder auch die Eichbehörden sichern die internen Überprüfungen ab.

4. Elektronische Soft- und Hardware

Die Software der Prüfanlage wurde speziell für den Prüfstand neu entwickelt. Die Visualisierung des Prüfstandes erfolgt über einen einzelnen Bildschirm, der den Prüfstand und die Durchflüsse übersichtlich graphisch darstellt (**Bild 11**). Die Bedienung erfolgt alternativ entweder über Tastatur und Maus oder auch direkt über den Bildschirm als „Touchscreen" Eingabe.

Der Prüfstand kann automatisch, halbautomatisch oder manuell betrieben werden. Die gesamte Steuerung des Prüfstandes inklusive der Klappen und Absperrventile, der Zuordnung der Normale zu den jeweiligen Prüfpunkten, der Ansteuerung der Gebläse und Durchflüsse sowie der Prüfablauf werden zentral aus der Leitwarte am Bildschirm gesteuert. Die Systemarchitektur (**Bild 12**) und elektrische Planung erfolgte über die Schwestergesellschaft Metreg Solutions GmbH in Hüttenberg. Für standardisierte Prüfungen sind entsprechende Prüfroutinen im Rechner hinterlegt. Die eichrechtlichen Prüfungen und Erstkalibrierungen der CE zugelassenen Zähler nach MID der Metreg Technologies (Turbinenradzähler MTM und Drehkolbenzähler MRM) werden entsprechend der einschlägigen, vorgeschriebenen Prüfregeln und Normen durchgeführt. Diese sind als automatisch oder halbautomatisch durchzuführende Prüfungen im Steuerrechner hinterlegt und werden durch die Prüfer entsprechend aufgerufen und angewandt. Vor Beginn der messtechnischen Prüfungen wird eine Dichtheitsprüfung der Anlage durchgeführt. Die Ansteuerung zur Einstellung des Durchflusses erfolgt über den Steuerrechner. Im Steuerrechner ist eine Vorauswahl des Durchflussbereiches und der einzusetzenden Normale hinterlegt. Der Prüfer kann den Durchfluss und die Wahl der Normale durch manuelles Eingreifen beeinflussen.

In der Bildschirmmaske wird der Prüfstand mit einer Anzeige der Messwerte für Druck, Temperatur, Feuchte und des aktuelle Durchflusses visualisiert. Die aktive Strecke wird hervorgehoben angezeigt.

Des Weiteren werden die möglichen Prüfpunkte mit den zugehörigen Abweichungen in % (Fehlerwerte) und die Vorschläge für den Solldurchfluss (Q_{soll}) in m^3/h der Prüfpunkte angezeigt, siehe **Tabelle 1**.

Der Durchfluss Q_{soll} berechnet sich aus der Zählerart, der G-Größe und des Messbereichs. Q_{soll} ist gegeben für DKZ nach MID, EN 12480, OIML R137 1&2 und der PTB

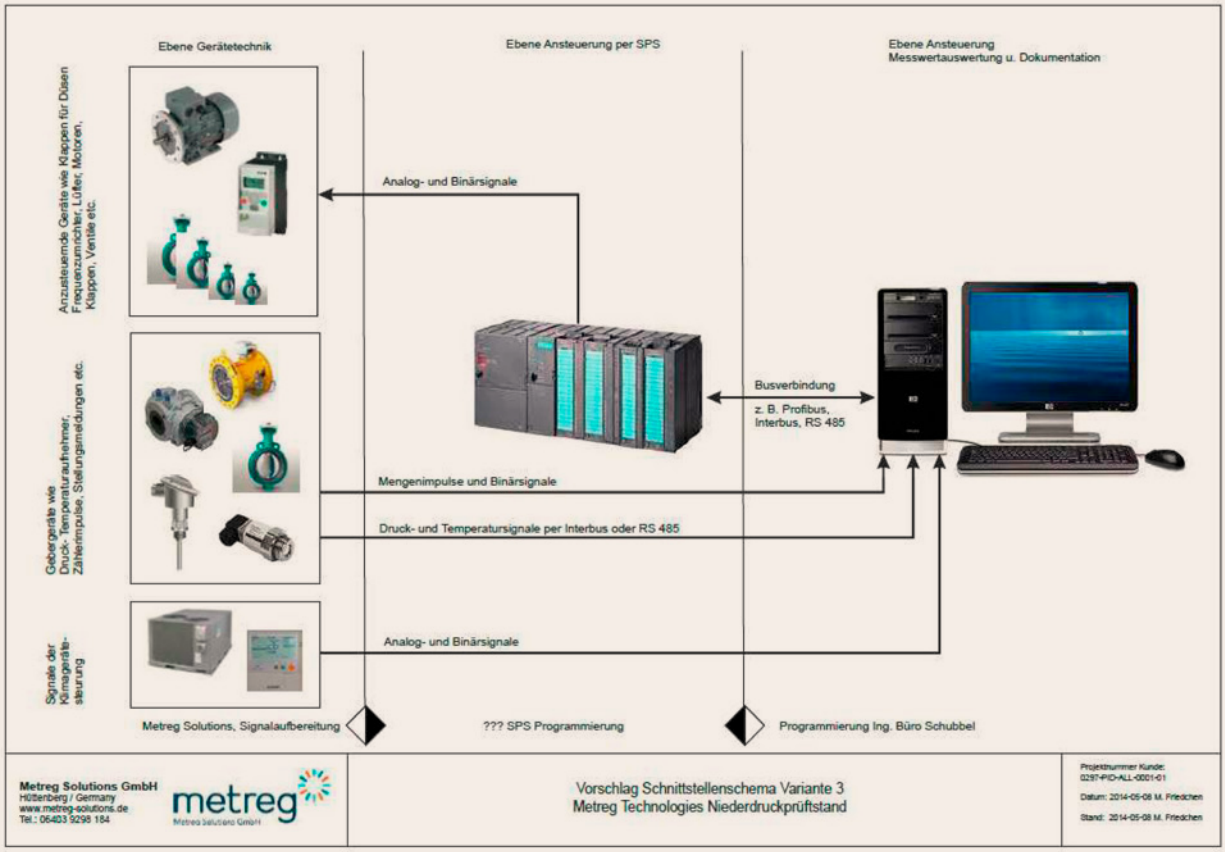

Bild 12: Datenerfassung und Systemarchitektur des Prüfstandes

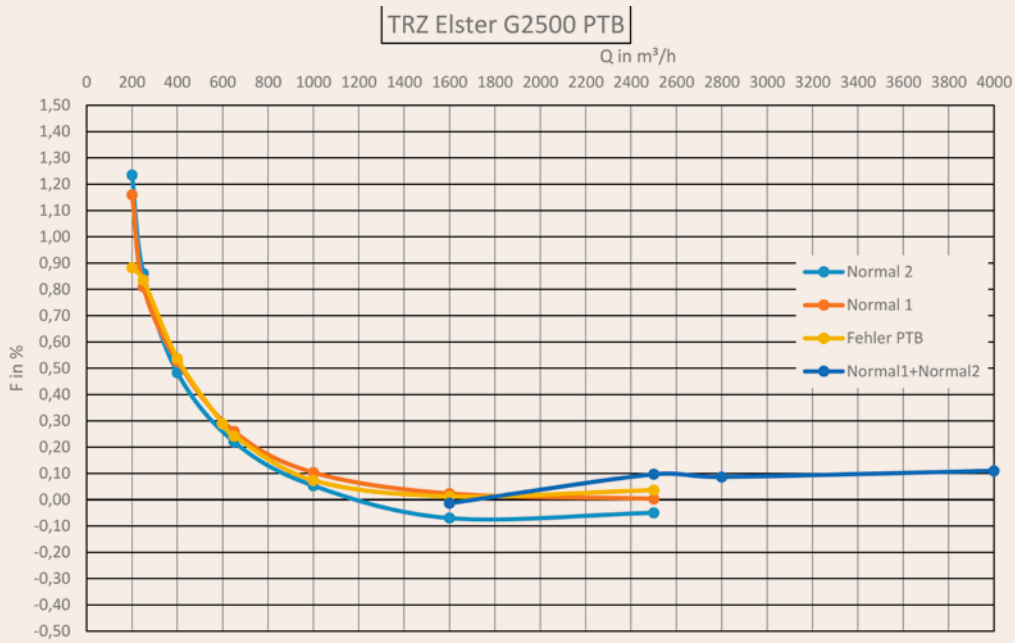

Bild 13: Vergleichsergebnisse MTM Gebrauchsnormale Prüfstand gegen PTB Transfernormal G 2500 DN 250

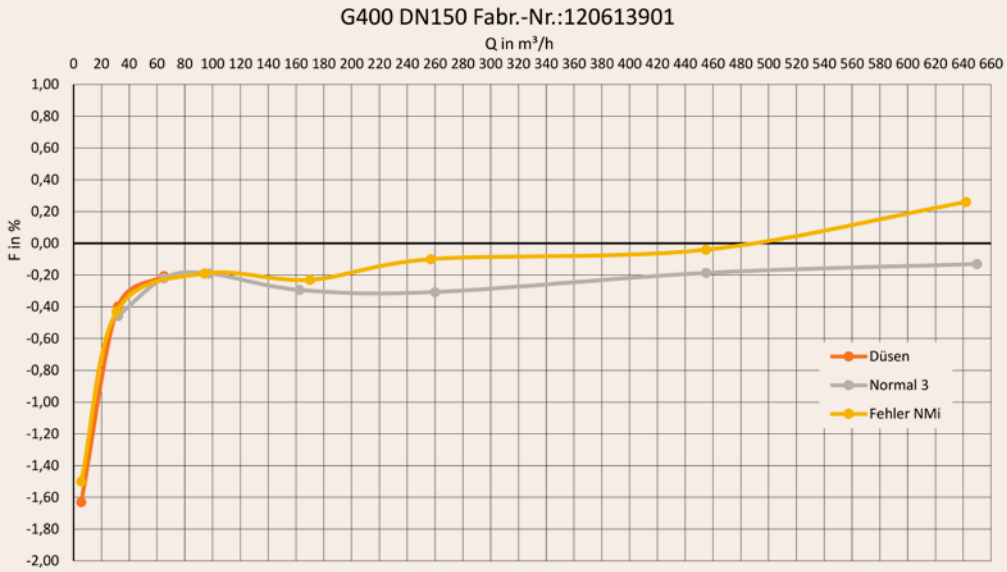

Bild 14: Vergleichsergebnisse Gebrauchsnormale Prüfstand gegen Transfernormal DKZ G 400 DN 150

Tabelle 1: Dokumentation der gemessenen Prüfpunkte

Prüfpunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q_{soll} (m³/h)										
Abweichung (%)										

Prüfregel Band 29 Seite 71 Tabelle 16 und 17. Für TRZ gilt er nach MID, EN 12261, OIML R137 1&2 und der PTB Prüfregel Band 29 Seite 73 Tabelle 20. Die Wiederholung der einzelnen Prüfpunkte ist nicht begrenzt.

Eine Änderung der Impulsgeber (NF oder HF) ist bei jedem Prüfpunkt möglich.

Nach der Ermittlung der Kalibrierkurve des Prüflings ist eine Verschiebung der Fehlerkurve durch Justierung möglich. Die Justage wird entsprechend der Justierradtabelle durchgeführt. Nach erfolgter Justage wird der Impulswert nochmals bei Q_{max} überprüft.

Die Messdaten der Prüflinge und der Normale sowie der p, T und Feuchtegeber werden automatisch über eine zentrale Datenerfassungseinheit dem Steuer- und Auswerte Computer zugeführt, aufgezeichnet und dauerhaft gespeichert. Nach Abschluss der Prüfung wird ein

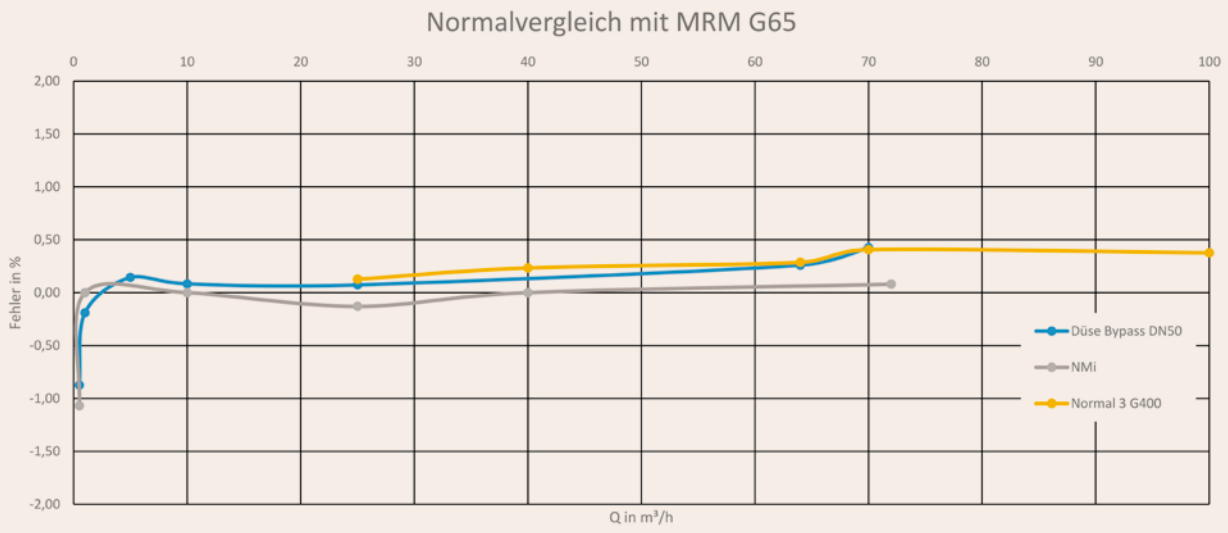

Bild 15: Vergleichsergebnisse Gebrauchsnormale Prüfstand gegen Transfernormal DKZ G 40 DN 50

Prüfprotokoll aus den Messdaten der Kalibrierung/Eichung generiert, ausgedruckt und abgespeichert.

5. Praktische Messergebnisse

Im Rahmen der Zulassung der MTM Turbinenradgaszähler nach EN 12261:2002+A1:2006 [3] sowie der MRM Drehkolbengaszähler nach EN 12480:2002+A1:2006 [4] und der OIML 137 R 1&2 [5] durch die niederländische Zulassungsbehörde NMi Certin B.V. (nach MID Modul D) wurde der Prüfstand mit Hilfe von Transfernormalen überprüft und eingemessen. Die eingesetzten Transfernormale waren ein TRZ G 2500 DN 300 der PTB, ein Drehkolbengaszähler G 400 DN 150 der bei der niederländischen metrologischen Behörde VSL (Van Swinten Laboratory) eingemessen worden war, sowie ein Drehkolbengaszähler G 40 DN 50, der beim NMi kalibriert wurde. Die Vergleichsergebnisse des Turbinenradgaszählers (**Bild 13**) zeigen eine hervorragende Übereinstimmung mit Messabweichungen < 0,1 % gegen das Transfernormal der PTB als auch der beiden Normale gegeneinander. Im Vergleich der G 400 und G 40 Drehkolbengaszähler sind sowohl die Ergebnisse im Vergleich zu VSL und NMi bemerkenswert, als auch die Vergleichsergebnisse zwischen der kritischen Düsenstaffel und dem Twin Drehkolbengaszähler (**Bilder 14 und 15**) im Überlappungsbereich der Gebrauchsnormale.

Literatur

[1] PTB Prüfregeln Band 29 – Messgeräte für Gas; Gaszähler; Prüfung von Volumengaszählern mit Luft bei Atmosphärendruck – Physikalisch Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin ISSN 0341-7964 – 2003

[2] MID – Measurement Instruments Directive 2004/22/EC

[3] EN 12261:2002+A1:2006 Gaszähler - Turbinenradgaszähler; Deutsche Fassung

[4] EN 12480:2002+A1:2006 Gaszähler - Drehkolbengaszähler; Deutsche Fassung

[5] OIML R 137-1&2 Edition 2012 (E)

Autoren

Dipl.-Ing. **Jost Körte**
Geschäftsführer |
Metreg Technologies GmbH |
Fürstenwalde/Spree |
Tel.: +49 3361 733 9003 |
E-Mail: jost.koerte@metreg-technolgies.de

Ulf Lehmann
Leiter Prüfstelle und Qualitätssicherung |
Metreg Technologies GmbH |
Fürstenwalde/Spree |
Tel.: +49 3361 733 9002 |
E-Mail: ulf.lehmann@metreg-technolgies.de

Dipl.-Ing. (FH) **Andrea Baum**
Projektingenieurin |
EEE Anlagenbau GmbH |
Fürstenwalde/Spree |
Tel.: +49 3361 36527-0 |
E-Mail: aba@ee-engineering.de

Katja Liesegang, B.Sc.
Projektingenieurin |
EEE Anlagenbau GmbH
Fürstenwalde/Spree |
Tel.: +49 3361 36527-0 |
E-Mail: kli@ee-engineering.de