

Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt im Einvernehmen mit den Eichaufsichtsbehörden.

Fachlaboratorium: 1.42 – Gasmessgeräte

Einbau und Betrieb von Turbinenradgaszählern

1 Einleitung

1.1 Vorbemerkungen

Die nachfolgenden Anforderungen gelten für alle Bauarten von Turbinenradgaszählern, in deren Bauartzulassung keine Angaben über ihren Einbau bzw. ihre Hochdruckprüfung gemacht sind. Für Turbinenradgaszähler in Prüfzählerschaltungen kann die Zielsetzung dieser Richtlinie auch durch andere Maßnahmen sichergestellt werden.

Für Zählerbauarten, für die bei der Zulassungsprüfung Vorstörungsmessungen nach der OIML-Empfehlung R-32/89, Annex A ausgeführt wurden, werden die Einbaubedingungen in der Anlage zum Zulassungsschein angegeben.

In der OIML-Empfehlung sind Prüfungen mit einem Raumkrümmer der nächst kleineren Nennweite und zwar als leichte Vorstörung (mild disturbance) und als starke Vorstörung (severe disturbance) vorgesehen. Die leichte Vorstörung ist repräsentativ für einen Raumkrümmer in der Zählernennweite, die starke soll repräsentativ für ein Gas-Druckregelgerät sein.

Die Hochdruckprüfung von Turbinenradgaszählern folgt aus der DIN EN 12261, in der eine Prüfung unter Bedingungen, die der Anwendung möglichst nahe kommen soll, vorgeschrieben wird.

Die TR-G 13 ist im Regelwerk des DVGW Arbeitsblatt G 492 verankert. Sie dient der Gewährleistung der Einheitlichkeit im Messwesen.

1.2 Begriffe und Erläuterungen

1.2.1 Richtungsangaben

Die Angaben vor, hinter usw. beziehen sich auf die Strömungsrichtung.

1.2.2 Abmessungen

Die *Nennweite* eines Rohres oder Turbinenradgaszählers wird mit DN bezeichnet.

Der tatsächliche *Innendurchmesser* eines Rohres wird mit D bezeichnet. Wurde der Rohrdurchmesser nicht ausgemessen, so kann in Berechnungen sein Wert in Millimetern gleich dem Zahlenwert der Nennweite gesetzt werden.

Die Länge eines geraden, störungsfreien *Einlaufrohres* L_e oder *Auslaufrohres* L_a wird in Vielfachen von D angegeben.

1.2.3 Ebener Krümmer

Beim *ebenen Krümmer* liegen Ein- und Austritts-Rohr in der gleichen Ebene.

Der häufigste Krümmer ist der 90° Krümmer mit einem Radius bezogen auf die Rohrachse von $R_{kr} = 1,5 D$, siehe Abb. 1.

Die Vorstörungswirkung eines Krümmers ist bei Krümmerwinkeln von $10^\circ - 180^\circ$ nur wenig vom Winkel abhängig. ¹⁾

Ein ebener Krümmer erzeugt ein asymmetrisches Geschwindigkeitsprofil.

1.2.4 Raumkrümmer

Zwei oder mehr aufeinander folgende Krümmer, bei denen Ein- und Austritts-Rohr nicht in der gleichen Ebene liegen, bilden einen *Raumkrümmer*, siehe Abb. 2a.

Beim häufigsten Fall sind zwei 90° Krümmer an ihrer Verbindungsstelle um 90° gegeneinander verdreht. Die beiden Krümmer gelten auch dann noch als Raumkrümmer, wenn zwischen ihnen ein gerades Rohr in einer Länge von nicht mehr als $5 D$ angeordnet ist, siehe Abb. 2b. (Einer der Krümmer kann auch ein T-Stück oder ein Abzweig aus einem Sammler sein.)

Ein Raumkrümmer erzeugt Drall und ein asymmetrisches Geschwindigkeitsprofil.

1.2.5 T - Stück

Ein T-Stück, das im Winkel durchströmt wird, oder ein Abzweig aus einem Eintrittssammler gelten als Krümmer. Ein T-Stück, das gerade durchströmt wird gilt als gerades Rohr.

Bei einem T-Stück, in dem zwei Gasströme zusammengeführt werden, - unabhängig aus welchen Richtungen - , kann Drall entstehen. In diesem Fall gilt es als Raumkrümmer.

¹⁾ Vorstörungsmessungen mit Krümmerwinkeln von $10^\circ - 90^\circ$ an Normblenden wurden von der VDI - Arbeitsgruppe "Durchflussmessung", geleitet von Dr. B. Harbrink, ausgeführt. Messungen an Turbinenradgaszählern mit 90° und 180° Krümmern wurden in der PTB vorgenommen.

1.2.6 Änderungen der Nennweite

Rohrerweiterungen (*Diffusoren*) verstärken Drall und asymmetrische Geschwindigkeitsprofile. Bei Strömungsablösung erzeugen sie Pulsationen. Einschneidende Absperrorgane sind wie Diffusoren zu behandeln.

1.2.7 Strömungs-Gleichrichter

Folgende Bauarten von *Strömungs-Gleichrichtern* werden empfohlen:

a) Rohrbündel-Gleichrichter

Er wird bei drallbehafteter Anströmung eingesetzt. Er darf von der in ISO 5167-1/ 1995 mit der Ergänzung ISO 5167-1/1998 unter Nr. 7.3.2.3 beschriebenen Ausführung abweichen.

Der Rohrbündel-Gleichrichter muss aus mindestens 19 achsparallelen Einzelrohren bestehen. Er muss mindestens eine Länge vom 10-fachen des Außendurchmessers d des Einzelrohres haben, siehe Abb. 4.

b) Lochplatten-Gleichrichter

Er wird bei schallerzeugenden und/ oder drallerzeugenden Vorstörungen eingesetzt, z.B. hinter Gas-Druckregelgeräten, Drosselgeräten und Rohrerweiterungen. Er beseitigt auch asymmetrische Geschwindigkeitsprofile.

Er darf von der in ISO 5167-1/ 1995 mit der Ergänzung ISO 5167-1/1998 unter Nr. 7.3.2.2 beschriebenen Ausführung abweichen. Ein Beispiel zeigt Abb.3.

Folgende Anforderungen sind einzuhalten:

für den Lochdurchmesser d	$d \leq 0,05 D$
für die Plattendicke e	$e \geq d$
für den Plattenabstand a ²⁾	$0,5 D \leq a \leq 1 D$
für das Öffnungsverhältnis m	$0,2 \leq m \leq 0,4$

(m = Verhältnis der Gesamtquerschnittsfläche aller Bohrungen zum Rohrquerschnitt).

Die Bohrungen müssen gleichmäßig verteilt sein. Zur Verringerung des Druckverlustes dürfen sie auf der Anströmseite angefaßt oder abgerundet sein. Insbesondere die zuletzt durchströmte Platte muss im Rohr gut zentriert und an den Durchmesser des Rohres angepasst sein. Je nach Art der Vorstörung werden bei Turbinenradgaszählern Ausführungen mit 1 bis 3 Lochplatten angewendet.

²⁾ für a darf der lichte Abstand zwischen den Platten oder der Abstand von Plattenmitte zu Plattenmitte verwendet werden

1.2.8 Sprunghöhe

Zur Beschreibung eines alternierenden oder pulsierenden Durchflusses wird in dieser Anforderung die *relative Sprunghöhe* verwendet:

$$\Delta Q/Q_1 = (Q_2 - Q_1) / Q_1$$

Hierin sind Q_1 und Q_2 die Grenzwerte, zwischen denen der Durchfluss hin- und herspringt oder -pendelt.

1.2.9 Betriebsüberdruck

Als Betriebsüberdruck p_e eines Gaszählers wird der Differenzdruck zwischen dem Gasdruck am Zählereingang und dem atmosphärischen Druck bezeichnet.

1.2.10 Betriebsüberdruckbereich

Bereich der Betriebsüberdrücke $p_{e,min}$ bis $p_{e,max}$, in dem ein Zähler nach erfolgter Hochdruckprüfung verwendet werden darf.

2 Anforderungen an den Einbau von Turbinenradgaszählern

2.1 Allgemeine Anforderungen

2.1.1 Einlaufbereich

Vor dem Zähler muss ein *gerades* Rohr in der Nennweite des Zählers in der Länge $L_e \geq 5 D$ vorhanden sein. Dieses Rohr darf aus Einzelrohren mit Flanschen zusammengesetzt sein. Es darf mit Druckentnahmestutzen (Nippeln) versehen sein. Vor einem Strömungsgleichrichter dürfen Temperaturmesseinrichtungen eingebaut sein. Vorstörungen im Abstand $\geq 10 D$ brauchen nicht berücksichtigt zu werden, sofern Punkt 3.3 erfüllt wird.

Absperrorgane, die bei voller Öffnung über die gesamte Baulänge einen ungestörten Querschnitt mit dem Durchmesser des Einlaufrohres vor dem Turbinenradgaszähler freigeben, dürfen mit zur Einlaufstrecke gerechnet werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass das Absperrorgan ordnungsgemäß (zentrisch, es dürfen keine Dichtungen in den Rohrquerschnitt hineinragen) installiert werden muss und nur bei voller Öffnung des Querschnittes durchströmt werden darf.

2.1.2 Auslaufbereich

Hinter dem Zähler muss ein Rohr oder Rohrformstück (Krümmer) in der Zählernennweite mit einer Gesamtlänge von mindestens $2 D$ angeordnet sein. Temperaturmesseinrichtungen dürfen erst in einem Abstand von $1 D$ oder bei $D \geq 300$ mm in einem Abstand von mindestens 300 mm eingebaut sein.

2.1.3 Einbau von Strömungs-Gleichrichtern

Bei verschiedenen Vorstörungen, siehe Nr. 2.2, muss in das Einlaufrohr ein Strömungs-Gleichrichter eingebaut sein.

Dabei ist zwischen der Vorstörung und der ersten Platte eines Platten-Gleichrichters kein Abstand erforderlich. Der Abstand zwischen der letzten Platte eines Platten-Gleichrichters und dem Eingangsflansch des Zählers muss mindestens $2 D$ betragen.

Der Abstand zwischen einer Vorstörung und dem Eintritt in einen Rohrbündel-Gleichrichter muss mindestens $1,5 D$ betragen. Zwischen dem Austritt aus einem Rohrbündel-Gleichrichter und dem Eingangsflansch des Zählers muss ein Abstand von mindestens $1,5 D$ vorhanden sein.

2.2 Besondere Anforderungen bei den einzelnen Vorstörungen

2.2.1 Ebener Krümmer oder T-Stück als Krümmer durchströmt

Zwischen Vorstörung und Zähler muss das in Nr. 2.1.1 geforderte gerade Einlaufrohr in der Länge $L_e \geq 5 D$ angeordnet sein.

2.2.2 Raumkrümmer oder T-Stück aus 2 Richtungen angeströmt

Zwischen Vorstörung und Zähler muss in dem in Nr. 2.1.1 geforderten geraden Einlaufrohr von der Länge $L_e \geq 5 D$ ein 2-Lochplatten-Gleichrichter oder, wenn der Druckverlust gering gehalten werden muss, ein Rohrbündel-Gleichrichter eingebaut sein. Vorzuziehen ist ein 2-Lochplatten-Gleichrichter.

2.2.3 Gas-Druckregelgerät

a) Gas-Druckregelgerät mit integriertem Schalldämpfer im Ausgang.

Zwischen Gas-Druckregelgerät und Zähler muss ein gerades Einlaufrohr von der Länge $L_e \geq 5 D$ angeordnet sein. Ist zwischen Gas-Druckregelgerät und dem geraden Einlaufrohr ein ebener Krümmer vorhanden, so gilt Nr. 2.2.1. Ist zwischen Gas-Druckregelgerät und dem geraden Einlaufrohr ein Raumkrümmer vorhanden, so gilt Nr. 2.2.2 .

b) Gas-Druckregelgerät ohne Schalldämpfer:

Im geraden Einlaufrohr von der Länge $L_e \geq 5 D$ zwischen Gas-Druckregelgerät und Zähler muss ein Lochplatten-Gleichrichter mit mindestens 2 Platten eingebaut sein.

2.2.4 Diffusor

Im geraden Einlaufrohr von der Länge $L_e \geq 5 D$ muss ein Lochplatten-Gleichrichter mit mindestens 1 Lochplatte eingebaut sein. Die Lochplatte darf unmittelbar hinter dem Diffusor installiert sein.

Falls in dem Rohr vor dem Diffusor Drall vorhanden ist (z.B. durch einen Raumkrümmer), dann muss der Gleichrichter mindestens 2 Lochplatten haben.

3 Anforderungen an den Betrieb von Turbinenradgaszählern

3.1 Grundlagen

Turbinenradgaszähler sind Messgeräte für zeitlich annähernd konstante Betriebsparameter. Änderungen des Durchflusses müssen langsam erfolgen, da sonst mehr oder weniger große Messabweichungen resultieren können.

Durch Abweichungen im Betrieb gegenüber den idealen Bedingungen bei der Eichung kann es zu Fehlmessungen kommen. Folgende Fälle werden unterschieden:

- a) Intermittierender Durchfluss, siehe 3.2
- b) Pulsierender und alternierender Durchfluss, siehe 3.3
- c) Schall, siehe 3.4

3.2 Intermittierender Durchfluss

3.2.1 Nachlauf

Er kommt z.B. vor bei Gasheizkesseln mit An- Aus- Regelung. Beim Starten des Durchflusses läuft ein Turbinenradgaszähler schnell auf die dem Durchfluss entsprechende Drehzahl hoch. Beim Abschalten läuft der Zähler jedoch einige Minuten nach. Der Nachlauf dauert erheblich länger als das Hochlaufen und es wird insgesamt ein zu großes Volumen gezählt.

Die Nachlaufzeiten und Nachlaufmengen sind größer

- bei einem Turbinenrad mit größerem Masseträgheitsmoment
- bei geringerer Gasdichte, Betrieb im Niederdruck gegenüber Hochdruck oder Betrieb mit Erdgas bei Niederdruck im Vergleich zu Versuchsergebnissen mit atmosphärischer Luft
- bei größeren Turbinenradgaszählern.

Das Verhältnis des im Nachlauf gezählten Volumens (Nachlaufmenge) zu dem im Betrieb gezähltem Volumen (Nutzmenge), ausgedrückt in Prozent, wird relativer Nachlauffehler genannt; dieser darf höchstens 1 % betragen.

3.2.2 Erkennung

Wie man aus den Versuchsergebnissen des Anhangs A ersieht, sind die erforderlichen Mindesteinschaltdauern viel größer als die üblichen Einschaltzeiten von Heizungskesseln. Besonders ungünstig ist es, wenn der Zähler überdimensioniert ist.

Der relative Nachlauffehler kann berechnet werden, wenn man über einige Stunden jeweils beim Ein- und Ausschalten des Gasverbrauchers den Zählwerksstand protokolliert und aus den Zählwerksfortschritten die Nutzmengen und die Nachlaufmengen berechnet. Man erhält so den Mittelwert des relativen Nachlauffehlers für den Beobachtungszeitraum. Ist am Zähler ein elektronischer Impulsgeber vorhanden, so kann er zur genaueren Ermittlung des Nachlauffehlers mittels handgeschalteter Impulszähler oder eines Nachlaufregistriergerätes verwendet werden.

Bei letzterem kann der Beobachtungszeitraum auf eine Abrechnungsperiode ausgedehnt werden. Dabei ist als Abrechnungsperiode ein Zeitraum zu wählen, in der diskontinuierlicher Betrieb zu erwarten ist.

3.2.3 Abhilfe

- a) Zähler auswechseln gegen einen Zähler, der für intermittierenden Durchfluss geeignet ist:
 - Balgengaszähler für kleine Durchflüsse,
 - Drehkolbengaszähler für mittlere Durchflüsse und
 - Wirbelgaszähler für große Durchflüsse.
- b) Wenn möglich, Fahrweise des Kessels ändern. Statt intermittierender Regelung gleitende Regelung der Brennerleistung, (geht nicht bei allen Brennertypen). Bei Anlagen mit mehreren Brennern oder mehreren Kesseln so fahren, dass ein Brenner bzw. Kessel mit einer Grundlast ständig durchfährt und andere zu- und abgeschaltet werden. Das ergibt den günstigeren alternierenden Betrieb siehe 3.3.
- c) Anschluss eines PTB-zugelassenen Nachlaufregistriergerätes. Dieses Gerät wird angesteuert über die Ventilstellung am Brenner des Kessels und registriert die Nachlaufmengen in einem besonderen Zähler. Die Fehlmenge beim Start wird nicht registriert. Sie beträgt 1/10 bis 1/30 der Nachlaufmenge, wie im Anhang A gezeigt wird.
- d) Verwendung eines Turbinenradgaszählers mit Erfassung der Nachlaufmenge oder mit einer ausreichenden Verringerung des Nachlaufs (z.B. Nachlaufbremse).

3.3 Alternierender und pulsierender Durchfluss

3.3.1 Definition

Unter alternierendem Durchfluss versteht man einen Betrieb, bei dem der Durchfluss zeitlich nach einer Rechteckfunktion zwischen zwei Werten hin- und herspringt; beim pulsierendem Betrieb dagegen pendelt er annähernd nach einer Sinusfunktion hin und her.

3.3.2 Erkennung

- a) Beim alternierenden Durchfluss, der durch Zu- und Abschalten von Gasverbrauchern entsteht, kann die Frequenz mittels Stoppuhr und die Sprunghöhe aus den Leistungsangaben der Gasgeräte bestimmt werden. Ist die Frequenz unterhalb 0,02 Hz, so ist das Alternieren unschädlich, selbst bei einer relativen Sprunghöhe von 0,5, siehe Anhang A. Beträgt die relative Sprunghöhe weniger als 0,2, so bleibt der Einfluss unter dem Grenzwert von 1% unabhängig von der Frequenz. Andernfalls muss entweder die Sprunghöhe oder die Frequenz durch Änderung der Fahrweise der Gasverbrauchsgeräte vermindert werden.

b) Eine Messanlage mit Turbinenradgaszählern muss auf Durchfluss-Pulsationen kontrolliert werden, wenn stromaufwärts oder -abwärts folgende Einbauten installiert sind:

- Kolbenkompressoren,
- Drehkolbengaszähler,
- Sackrohre, die störende Resonanzen erzeugen,
- instabil (schwingend) arbeitende Gas-Druckregelgeräte.

Die Frequenz der Durchfluss-Pulsationen liegt häufig im Infraschall unterhalb 16 Hz. Sie ist dann auch bei dünnwandigen Rohren nicht hörbar. Eine Durchfluss-Pulsation ist immer von Druckschwankungen begleitet, die mit Druckaufnehmern (Mikrofonen) gemessen werden können.

Eine Bestimmung der Amplitude kann auf folgende Weise erfolgen. Man misst und registriert den zeitlichen Verlauf des Differenzdruckes zwischen einer statischen Druckentnahme (Anbohrung in der Rohrwand mit $d = 3$ mm bis 5 mm) und dem p_r -Stutzen des Zählers mit einem flinken Differenzdruck-Messaufnehmer.

Die Quadratwurzel aus diesem Druck Δp ist, konstante Betriebsdichte vorausgesetzt, annähernd proportional zum Durchfluss (analog dem Wirkdruckmessverfahren nach ISO 5167).

Für das Verhältnis der beiden Grenzwerte des Durchflusses ergibt sich:

$$Q_2 / Q_1 = \sqrt{\Delta p_2 / \Delta p_1}$$

und für die relative Sprunghöhe

$$\Delta Q / Q_1 = \sqrt{\Delta p_2 / \Delta p_1} - 1$$

3.3.3 Abhilfe

Zur Abhilfe können bei Kompressoren und Drehkolbengaszählern Pufferbehälter, Absorptions- und/ oder Durchström-Schalldämpfer installiert werden.

Störungen durch Sackrohre müssen beseitigt werden. Reglerschwingungen müssen durch andere Einstellung oder durch Austausch des Gas-Druckregelgerätes gegen eines mit Dämpfung beseitigt werden.

3.4 Schall

Eine genaue Abgrenzung zwischen Durchflusspulsation und Schall gibt es nicht. Der hörbare Schall beginnt oberhalb 20 Hz. Eine Unterscheidung wird hier nur gemacht, weil die Beeinflussung der Turbinenradgaszähler bei höheren Frequenzen anders als bei niedrigen erfolgt. Details sind in dem Anhang A beschrieben.

3.4.1 Erkennung und Abhilfe

Starker Schall kann, sofern spektrale Anteile im hörbaren Bereich liegen, in der Regel in der Umgebung von Rohrleitungen als Geräusch gehört werden. Seine Intensität kann aus dem Schalldruck und Kennwerten des Mediums bestimmt oder mit speziellen Sonden direkt gemessen werden. Zur Schalldruckmessung in Rohrleitungen werden druckfeste Mikrofone eingesetzt.

Durch Einbau von Durchström- oder Absorptions-Schalldämpfern oder Lochplatten-Gleichrichtern kann die Beeinflussung verhindert werden.

3.5 Pflichten des Anlagenbetreibers

Gasmessanlagen mit Turbinenradgaszählern sind auf betriebliche Störungen nach den Nr. 3.2 bis 3.4 zu überprüfen. Wenn Störungen vorkommen, sind die aufgezeigten Gegenmaßnahmen zu treffen, sodass richtige Messergebnisse innerhalb der Verkehrsfehlergrenzen für jeden Abrechnungszeitraum erzielt werden.

4 Anforderungen an die Prüfung von Turbinenradgaszählern und Verwendung von Mengenumwertern

4.1 Grundlagen

Turbinenradgaszähler können in Abhängigkeit von ihrer konstruktiven Gestaltung druck- und gasabhängige Verläufe der Fehlerkurven besitzen. Um insbesondere für Hochdruckanwendungen im Betriebsüberdruckbereich $p_e > 4$ bar eine Justierung der Zähler zu erreichen, die möglichst geringe Messabweichungen sicherstellt, sind für den vorgesehenen Betriebsüberdruckbereich Hochdruckprüfungen notwendig.

Die Prüfung sollte möglichst mit dem Gas und unter den Betriebsbedingungen erfolgen, die im Betrieb verwendet werden bzw. vorhanden sind. Im allg. wird hierzu Erdgas verwendet, wobei keine Unterscheidung nach Gasfamilien erforderlich ist. Die Verwendung anderer Prüfgase ist entsprechend den PTB-Prüfregeln Band 30 „Hochdruckprüfung von Gaszählern“ unter den dort festgelegten Bedingungen möglich.

Da das Verhalten von Turbinenradgaszählern im oberen Belastungsbereich wesentlich durch Grenzschichteffekte bestimmt wird, die den Reynoldsschen Ähnlichkeiten unterliegen, sind für die Bestimmung von Ausgleichspolynomen reynoldszahlabhängige Darstellungen der Fehlerkurven zweckmäßig.

Bei Einsatz von Korrekturen für Fehlerkurven in Mengenumwertern sind reynoldszahlabhängige Ausgleichspolynome zu verwenden, sofern dies gerätetechnisch möglich ist. Anderenfalls sind die Ausgleichspolynome durchflussabhängig aus den Hochdruckprüfergebnissen oder ggf. aus den Mittelwerten der Hochdruckprüfergebnisse für mehrere Prüfüberdrücke (ohne

Einbeziehung der Prüfergebnisse mit Luft bei Atmosphärendruck), zu bestimmen.

4.2 Festlegung des Prüfumfanges

Der Verwender von Turbinenradgaszählern in Messanlagen mit Betriebsüberdrücken von $p_e > 4$ bar hat entsprechend den am Einsatzort vorhandenen bzw. beim Betrieb der Anlage zu erwartenden Betriebsdrücke eine Hochdruckprüfung auf einem geeigneten Hochdruckprüfstand zu beantragen und durchführen zu lassen.

Die Hochdruckprüfung muss entsprechend den PTB-Prüfregeln Band 30 „Hochdruckprüfung von Gaszählern“ erfolgen. Je nach beantragtem Betriebsüberdruckbereich werden die Zähler bei einem Prüfdruck oder bei mehreren Prüfdrücken unter Hochdruckbedingungen geprüft. Außerdem kann eine Prüfung mit atmosphärischer Luft erfolgen.

Im Ergebnis der Hochdruckprüfung wird im Rahmen der Eichung auf den Gaszählern ein zusätzliches Schild mit folgenden Angaben angebracht:

- der Gasart, für die eine Hochdruckprüfung und ggf. Justierung erfolgte,
- dem Betriebsüberdruckbereich,
- ggf. dem minimalen Durchfluss im Hochdruck und
- ggf. einem Hinweis auf eine ausschließliche Hochdruckprüfung für die Eichung.

Die Zähler dürfen im amtlichen und geschäftlichen Verkehr nur innerhalb der Druck- und Durchflussbereiche verwendet werden, die auf dem Zusatzschild angegeben sind.

4.2.1 Nacheichung

Erfolgte bei der Ersteichung auch eine Prüfung mit Luft bei Atmosphärendruck einschließlich der Ausstellung eines Eichscheins, kann auf die Nacheichung mit Hochdruckerdgas verzichtet werden, sofern die Prüfergebnisse aller Prüfpunkte im Bereich von $0,2 Q_{\max}$ bis Q_{\max} nicht mehr als 0,3 % von den Ergebnissen der Ersteichung abweichen und die Eichfehlergrenzen eingehalten werden. Eine Nachjustierung bis 0,3 % ist unter Beachtung der Eichfehlergrenzen vorzunehmen.

4.2.2 Verfahren zur Erweiterung des Betriebsüberdruckbereiches von Turbinenradgaszählern

Abweichend zur Prüffregel Band 30 kann die Eichung von Zählern insbesondere im Bereich $4 \text{ bar} < p_e < 8 \text{ bar}$ mit einem modifizierten Prüfverfahren erfolgen, das in Anhang C beschrieben wird.

Prüfstellen, die das Verfahren anwenden, sind gehalten, eine Statistik über derart durchgeführte Prüfungen zu führen. Diese ist auf Verlangen den Eichbehörden zugänglich zu machen.

5 Übergangsregelungen für die Gewährleistung der Einheitlichkeit im gesetzlichen Messwesen

5.1 Fristen für die Einhaltung der Anforderungen an die Prüfung von Turbinenradgaszählern (Abschnitt 4)

Neue Messanlagen

Nach dem 01.01.2004 errichtete Messanlagen, die mit Betriebsüberdrücken $p_e > 4$ bar betrieben werden, müssen den Anforderungen nach Abschnitt 4 genügen. Erfolgt die Ersteichung der Turbinenradgaszähler nach 2004 gelten die in Kapitel 5.3.3.3 der PTB Prüfregel Band 30 definierten Linearitätsanforderungen (Tabelle 5).

Alte Messanlagen:

Turbinenradgaszähler in Anlagen, die mit einem Betriebsüberdruck $p_e > 4$ bar betrieben werden, müssen spätestens bis zum 31.12.08 für den vorgesehenen Betriebsüberdruckbereich entsprechend den PTB-Prüfregeln Band 30 „Hochdruckprüfung von Gaszählern“ geprüft und nachgeeicht werden.

Erfolgt nach dem 01.01.2004 eine Nacheichung von Turbinenradgaszählern, die in Anlagen mit einem Betriebsüberdruck $p_e > 4$ bar betrieben werden, sind diese für den vorgesehenen Betriebsüberdruckbereich zu prüfen und nachzueichen.

Die in Kapitel 5.3.3.3 der PTB Prüfregel Band 30 definierten Linearitätsanforderungen gelten nicht für Nacheichung von Turbinenradgaszählern, deren Ersteichung bis einschließlich 2003 erfolgte. Dies gilt unabhängig davon, ob eine Ersteichung mit Luft oder eine freiwillige Hochdruckeichung erfolgte.

5.2 Erleichterungen

Für Messanlagen, die vor dem 01.01.96 erstellt wurden, gelten folgende erleichterte Anforderungen:

5.2.1 Auslaufrohr

Es genügt ein Auslaufrohr oder Formstück in der Zählernennweite von der Länge $L_a \geq 1 D$. Einrichtungen für die Temperatur- oder Dichtmessung mit einem Außendurchmesser $d \leq 0,2 D$ dürfen hierin eingebaut sein.

5.2.2 Einzelkrümmer

Es genügt ein Einlaufrohr in der Zählernennweite von der Länge $L_e \geq 2 D$. In diesem Rohr darf ein 90° Krümmer enthalten sein.

Anmerkung: Zwischen diesem Krümmer und einem weiteren davor in anderer Ebene eingebautem Krümmer muss ein gerades Rohr mit $L > 5 D$ vorhanden sein, da sonst Nr. 4.2.3 gilt.

5.2.3 Raumkrümmer

Es genügt ein gerades Einlaufrohr in der Zählernennweite von der Länge $L_e \geq 3 D$.

5.2.4 Gas-Druckregelgerät

a) Gas-Druckregelgerät mit Schalldämpfer

Es genügt ein gerades Einlaufrohr in der Zählernennweite von der Länge $L_e \geq 3 D$.

b) Gas-Druckregelgerät ohne Schalldämpfer

Es genügt ein gerades Einlaufrohr in der Zählernennweite von der Länge $L_e \geq 3 D$.

Ist zwischen dem Gas-Druckregelgerät und dem geraden Einlaufrohr ein Einzel- oder Raumkrümmer vorhanden, so muss bei einem geraden Einlaufrohr von der Länge

$L_e \geq 5 D$ keine weitere Maßnahme ergriffen werden,

$L_e < 5 D$ ein Lochplatten-Gleichrichter mit mindestens einer Platte installiert sein.

5.2.5 Diffusor

Im geraden Einlaufrohr von der Länge $L_e < 5 D$ muss ein Lochplatten-Gleichrichter mit mindestens 1 Lochplatte eingebaut sein. Die Lochplatte darf unmittelbar hinter dem Diffusor installiert sein.

Falls in dem Rohr vor dem Diffusor Drall vorhanden ist (z.B. durch einen Raumkrümmer), dann muss der Gleichrichter 2 Lochplatten haben.

5.3 Fristen für die Anwendung des Verfahren zur Erweiterung des Betriebsüberdruckbereiches von Turbinenradgaszählern

Das in Abschnitt 4.2.2 beschriebene Verfahren ist bis Ende 2006 befristet anwendbar.

Rundschreiben:

Die PTB-Rundschreiben „Intermittierender Betrieb und pulsierender Durchfluß bei Turbinenradgaszählern“, Nr. 1.33-2170/89 vom 23.2.89 und Nr. 1.33-2170/89/2 vom 31.5.89 werden hiermit aufgehoben.

Anhang A zur Technischen Richtlinie der PTB G 13

Erfahrungen und Messergebnisse zum Abschnitt Betrieb von Turbinenradgaszählern

A.1 Intermittierender Durchfluss

A.1.1 Messergebnisse

In der PTB wurden zum Problem intermittierender Durchfluss eine ganze Reihe von Versuchen mit atmosphärischer Luft ausgeführt.

Die Nachlaufmengen wurden an einer Anzahl von Zählern mit Q_{\max} -Werten von 100 m³/h, 160 m³/h, 400 m³/h und 1000 m³/h für abgestufte Abschaltdurchflüsse (Durchfluss, aus dem heraus abgeschaltet wurde) von 0,1 Q_{\max} bis Q_{\max} gemessen. Bei der Zählergröße $Q_{\max} = 400$ m³/h handelte es sich um je einen Zähler mit Kunststoff- und mit Aluminiumrad. Bei den kleineren Zählern waren die Räder wie üblich aus Kunststoff, bei den größeren aus Aluminium.

Aus den gemessenen Nachlaufmengen wurde berechnet, wie lange der Zähler bei konstantem Durchfluss betrieben werden muss (Mindesteinschaltdauer), damit die Nachlaufmenge nur 1 % der richtig gemessenen Menge beträgt.

In der Tabelle A sind Mindesteinschaltdauern in Abhängigkeit von der Zählergröße (Q_{\max} - Wert), dem Laufradwerkstoff (AL = Aluminium, K = Kunststoff) und dem Abschaltdurchfluss angegeben

Q_{\max} m ³ /h	Laufradwerkstoff	Mindesteinschaltdauer bei Abschaltung aus		
		0,1 Q_{\max}	0,5 Q_{\max}	1,0 Q_{\max}
100	K	27 min	14 min	9 min
160	K	19 min	9 min	6 min
400	K	34 min	16 min	10 min
400	AL	89 min	37 min	23 min
1000	AL	82 min	35 min	17 min
1000	AL	117 min	48 min	30 min

Tabelle A: Mindesteinschaltdauern von Turbinenradgaszählern in Minuten für einen relativen Nachlauffehler von 1 %, gemessen mit atmosphärischer Luft, $\rho \approx 1,2$ kg/m³

Die Mindesteinschaltdauer nimmt mit ansteigendem Betriebsdurchfluss annähernd hyperbolisch ab.

Bei Niederdruck-Erdgas mit geringerer Dichte sind noch längere Mindesteinschaltdauern, bei Hochdruckerdgas mit größerer Dichte dagegen kürzere Mindesteinschaltdauern als nach der Tabelle erforderlich.

Der relative Nachlauffehler ist umgekehrt proportional zu Einschaltdauer, er würde sich also z.B. bei Halbierung der Tabellenwerte auf 2 % verdoppeln.

An einem Zähler mit $Q_{\max} = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ wurde im Durchflussbereich $0,1 Q_{\max}$ bis $0,5 Q_{\max}$ außerdem das Verhältnis der Mehrzählung beim Nachlauf zur Minderzählung beim Start bestimmt. Es ergaben sich Verhältnisse von 10:1 bis etwa 20:1 - erst stark dann allmählicher mit dem Durchfluss ansteigend. Das heißt die Minderzählung beim Start gleicht die Mehrzählung im Nachlauf bei weitem nicht aus. Bei größeren Zählern muss mit noch größeren Verhältnissen gerechnet werden (größere Zähler konnten an der Gasmessglocke jedoch nicht untersucht werden).

A.1.2 Veröffentlichung

In einer Veröffentlichung [1] werden zunächst die theoretischen Grundlagen abgeleitet und dann aus gemessenen Zählerparametern für eine Anzahl verschieden großer Zähler das Verhalten bei intermittierendem und bei pulsierendem Betrieb berechnet.

Die Ergebnisse stimmen gut mit den Messergebnissen aus der PTB überein. So wird in [1] auf S. 164 festgestellt, dass die Fehlmenge beim Start je nach Sprunghöhe 3 % - 10 % der Nachlaufmenge entsprechend einem Verhältnis 1:33 - 1:10 beträgt.

In der Abb.5 (übernommen aus [1]) wird für einen kleineren Zähler mit Kunststoffrad das Verhältnis der Mindesteinschaltdauer t_m zur Auslaufzeit $t_{s,\max}$ für einen relativen Nachlauffehler von 1 % dargestellt ($t_{s,\max}$ = Auslaufzeit beim Abschalten aus Q_{\max} in Luft).

Der Aussage, dass bei kleineren Zählern mit Kunststoffrädern bei Einschaltdauern von mindestens 60 Minuten die Nachlauffehler vernachlässigbar sind, kann zugestimmt werden. Interessant ist, wieviel günstiger die Ergebnisse bei höheren Gasdichten z.B. für Erdgas (Dichteverhältnis $d = 0,6$) bei 4 bar und 40 bar werden.

A.2 Alternierender und pulsierender Durchfluss

A.2.1 Erläuterung

Beim alternierenden Betrieb springt der Durchfluss nach einer Rechteckfunktion zwischen zwei Werten hin und her; beim pulsierendem Betrieb dagegen pendelt er annähernd nach einer Sinusfunktion hin und her.

A.2.2 Untersuchungsergebnisse

In der zitierten Veröffentlichung wird diese Unterscheidung nicht gemacht. Generell ist zu sagen, dass die Zähler, die beim Nachlauf ungünstig sind, auch beim alternierenden oder pulsierenden Durchfluss ungünstig sind. Ähnlich wie beim intermittierenden Durchfluss kommt es zu einem Plusfehler, weil das Turbinenrad schneller hochläuft als ausläuft. Anders als beim Zählernachlauf mit stagnierendem Gas wird hier das Rad durch das weiterhin strömende Gas deutlich schneller abgebremst.

Die Abb. 6 (übernommen aus [1]) zeigt den auftretenden Messfehler für den alternierenden Durchfluss als Funktion der Frequenz für einen kleineren d.h. für einen günstigeren Zähler. Als Parameter der Kurvenschar ist das Verhältnis der Sprunghöhe ΔQ zur Grundlast Q_1 (relative Sprunghöhe) gewählt.

Man sieht, dass bei Frequenzen unter 1/100 Hz selbst bei der extrem großen relativen Sprunghöhe von 0,5 nur ein Plusfehler von Promillen eintritt. Bei 1/10 Hz dagegen ergibt sich bereits bei einer relativen Sprunghöhe von 0,35 ein Plusfehler von 1%. Bei 1 Hz wird ein Plusfehler von 1% bereits bei einer relativen Sprunghöhe von 0,2 erreicht. Oberhalb von 1 Hz flachen die Kurven stark ab und streben konstanten Grenzwerten zu.

A.2.3 Anmerkung

Folgende Anmerkungen sind zu machen:

- a) In der Praxis sind Durchflussänderungen nach Rechteckfunktion nur bei niedrigen Frequenzen möglich. Bei höheren Frequenzen sorgen die Massenträgheit und die Kompressibilität des Gases dafür, dass die Rechtecke "verschliffen" werden, im Extremfall zum Sinus. Bei einer sinusförmigen Pulsation gleicher Amplitude wird der Plusfehler erheblich geringer. Um wieviel wird in der Veröffentlichung jedoch nicht gesagt.
- b) Bei hohen Frequenzen sind keine großen Sprunghöhen möglich, denn zur Beschleunigung und Verzögerung der massebehafteten Gassäulen in den Rohrleitungen wären erhebliche Drücke (Schalldrücke) erforderlich. Das Diagramm wurde deshalb zu Recht bei 10 Hz abgebrochen.
- c) Das Diagramm gilt für kleinere Zähler mit Kunststoffrad. Größere Zähler und Zähler mit Aluminiumrad verhalten sich ungünstiger.

A.3 Schall

A.3.1 Untersuchungsergebnisse

Neuere noch nicht veröffentlichte Messergebnisse auf einem Hochdruck-Gaszählerprüfstand zeigten Fehlmessungen von plus 1 % bis 2 % durch starken Schall.

Der Schall war hervorgerufen durch eine überkritische Entspannung im Drosselorgan eines Gas-Druckregelgerätes (Entspannung mit Schallgeschwindigkeit im engsten Querschnitt). Der Zähler in DN 200 ist über einen Krümmer und ein gerades Einlaufrohr DN 200 in einer Länge von $50 D$ an einen Eintrittssammler angeschlossen. Das Verbindungsrohr zwischen Regelgerät und Eintrittssammler in DN 500 hat einschließlich einiger Krümmer eine Gesamtlänge von rund $50 D$. Schallmessungen im Einlaufrohr ergaben eine besonders hohe Intensität bei Frequenzen oberhalb 1 kHz.

Bei Absenkung des Eingangsdruckes am Regelgerät verringerte sich der Schalldruck und annähernd proportional dazu die Fehlerdrift. Völlig unerwartet war es, dass selbst bei diesem großen Abstand noch eine so große Beeinflussung eintritt.

Der in [1] dargestellte Wirkungsmechanismus trifft bei Schall dieser Frequenz nicht zu. Die Durchflusspulsationen sind bei diesen hohen Frequenzen minimal und deshalb dürfte eigentlich keine Beeinflussung erfolgen. Man kann vermuten, dass der Schall die Ausbildung der Strömungsgrenzschichten beeinflusst.

Zur Abhilfe wurde hinter dem Regelgerät ein Durchströmschalldämpfer (2 Lochplatten, Zwischenraum gefüllt mit Füllmaterial) eingebaut. Sicher ist in diesem Fall, dass die Beeinflussung des Zählers nur durch den Schall und nicht etwa durch Strömungsstörungen erfolgte.

In Holland wurden bei Kompaktanlagen (Gas-Druckregelgerät ohne Schalldämpfer mit nachgeschaltetem Turbinenradgaszähler) sogar Fehlmessungen von bis zu über 10 % festgestellt, die sicherlich nicht nur auf den Schall, sondern auch auf Strömungsstörungen zurückzuführen waren.

A.3.2 Gegenmaßnahmen

In allen bisher untersuchten Fällen konnte die Beeinflussung durch Einbau von 2 Lochplatten, -in einigen Fällen war dabei der Zwischenraum mit Füllmaterial gefüllt-, bis auf einen vernachlässigbaren Rest beseitigt werden.

- [1] Norbert Lehmann: **Dynamisches Verhalten von Turbinenradgaszählern**,
Das Gas und Wasserfach -GWF- 131 (1990) Nr.4
Gas · Erdgas, S.160 - 167.

Anhang B zur Technischen Richtlinie der PTB G 13

Vorstörungsprüfungen nach der OIML-Empfehlung R-32/89

B.1 Einleitung

Im Anhang A der OIML-Empfehlung R-32/89 ist ein Verfahren zur Prüfung von Turbinenradgaszählern auf Empfindlichkeit gegenüber Vorstörungen beschrieben.

Dieser Anhang wurde übernommen aus einem Entwurf der gleichzeitig bearbeiteten ISO-Norm 9951 über Turbinenradgaszähler Anhang E. Das Verfahren wurde auch in der europäischen Norm DIN EN 12261 als verbindlicher Anhang B aufgenommen.

Das eigentliche Prüfverfahren ist in allen 3 Dokumenten gleich; die Texte unterscheiden sich aber redaktionell und im Umfang. Während sich das OIML-Dokument auf die Prüfung und auf die Ähnlichkeitsparameter beschränkt, werden in den beiden Normen auch noch die Vorstörungseffekte näher erläutert sowie der Lochplatten-Gleichrichter und der Zählereinbau mit Rohrbündelgleichrichter beschrieben.

B.2 Störungen (Beschreibung aus ISO-9951, Abschnitte E.2, E.3)

B.2.1 Drall-Effekt

Wenn das Fluid am Zählereintritt einen stärkeren Drall hat, kann die Drehzahl des Turbinenrades beeinflusst werden. Ein Drall in Drehrichtung des Turbinenrades erhöht die Drehzahl des Rades, während ein Drall in Gegenrichtung die Drehzahl verringert. Für hohe Genauigkeit der Durchflussmessung sollte ³⁾ der Dralleffekt durch fachgerechten Einbau des Zählers auf ein vernachlässigbares Maß vermindert werden.

B.2.2 Geschwindigkeitsprofil-Effekt

Der Turbinenradgaszähler ist konzipiert und kalibriert für Anströmbedingungen, die einem gleichmäßigen ⁴⁾ Geschwindigkeitsprofil nahekommen. Im Falle stärkerer Abweichung von diesem Profil kann die Drehzahl des Turbinenrades durch das am Rad tatsächlich vorhandene Geschwindigkeitsprofil beeinflusst werden. Bei gleichem mittleren Durchfluss erzeugt ein ungleichförmiges Geschwindigkeitsprofil im allgemeinen eine höhere Drehzahl des Turbinenrades als ein gleichmäßiges Profil. Für hohe Genauigkeit der Durchflussmessung sollte ⁵⁾ durch fachgerechten Einbau des Zählers ein im wesentlichen gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil erzielt werden.

³⁾ wörtliche Übersetzung, anstatt "sollte" muss es "muss" heißen

⁴⁾ gemeint ist "symmetrischen"

⁵⁾ wörtliche Übersetzung, anstatt "sollte" muss es "muss" heißen

B.3 Vorstörungsprüfung für Turbinenradgaszähler

B.3.1 Allgemeines

B.3.1.1 Prüfdurchflüsse

Die Prüfungen sollten mit Luft nahezu im Umgebungszustand bei den Durchflüssen $0,25 Q_{\max}$, $0,4 Q_{\max}$ und Q_{\max} ausgeführt werden.

B.3.1.2 Ähnlichkeit

Wenn die Konstruktion der Zählerbauart für alle Nennweiten ähnlich ist, genügt es, die Prüfung bei zwei Nennweiten auszuführen. Ähnlichkeit kann angenommen werden, wenn die Werte der Maßverhältnisse H/D und S/L , s. Abb. 7, für alle Zählergrößen der Bauart gleich oder kleiner als bei den geprüften Zählern sind.

B.3.2 Prüfung

B.3.2.1 Rohranordnung (ausführlicherer Text aus dem EN-Entwurf)

Für die Prüfung auf Empfindlichkeit gegenüber geringen Störungen wird die Fehlerverschiebung gemessen, die durch die Rohranordnung nach Abb. 8 entsteht. Die Rohranordnung kann als repräsentativ für geringe Störungen angesehen werden, wie Krümmer, T-Stücke, Konfusoren und Diffusoren ⁶⁾.

Sie besteht aus einem Rohr mit dem Durchmesser D_1 von der Länge $5 D_1$, zwei Krümmern mit dem Durchmesser D_1 und dem Radius D_1 in senkrecht aufeinander ⁷⁾ stehenden Ebenen und einer konzentrischen Rohrerweiterung von D_1 auf D in einer Länge von $1 D$ bis $1,5 D$. Die Zuordnung der Nennweiten von Zähler und Rohranordnung sind in der Tabelle B angegeben.

B.3.2.2 Prüfung auf geringe Störung

Die Prüfung muss mit der Rohranordnung ausgeführt werden, wie in Nr. B.3.2.1 beschrieben, $2 D$ stromaufwärts vom Zählereingang montiert. Falls vom Hersteller so vorgesehen, kann ein längeres gerades Einlaufrohr und/oder ein Strömungs-Gleichrichter verwendet werden. In letzterem Fall muss das notwendige gerade Einlaufrohr und/oder der Strömungs-Gleichrichter als Teil der zugelassenen Bauart angesehen werden und in der Bauartzulassung beschrieben sein.

B.3.2.3 Anforderung

Bei der Prüfung darf sich die Fehlerkurve um nicht mehr als 0,33 % verschieben.

⁶⁾ Dieser Satz stammt aus der ISO-Norm

⁷⁾ die Formulierung "senkrecht aufeinander" stammt aus der ISO-Norm. In den anderen Dokumenten heißt es "in verschiedenen Ebenen"

Nennweite des Zählers	Nennweite der Rohre mit dem Durchmesser D_1
DN 50	DN 40
DN 80	DN 50
DN 100	DN 80
DN 150	DN 100
DN 200	DN 150
DN 250	DN 200
DN 300	DN 250
DN 400	DN 300
DN 500	DN 400
DN 600	DN 500
DN 750	DN 600
DN 1000	DN 750

Tabelle B: Zuordnung der Nennweiten

B.3.3.1 Prüfung auf starke Störung

Es wird die gleiche Rohranordnung wie nach Nr. B.3.2.1 verwendet. Dabei wird zusätzlich eine Platte mit halbem Rohrquerschnitt gemäß Abb. 9 zwischen den beiden Krümmern angeordnet, mit der Öffnung zur Außenseite des ersten Krümmers gerichtet.

B.3.3.2 Anforderungen

Es gelten die Bestimmungen nach Nr. B.3.2.2 und Nr. B.3.2.3 gleichermaßen.

B.4 Hinweise für die Zulassung (kein OIML-Text)

B.4.1 Prüflinge

Umfasst eine Bauart mehrere Zählernennweiten, so ist die Prüfung an mindestens 2 Zählern verschiedener Nennweite auszuführen, s. Nr. B.3.1.2. Dabei sind Zähler derjenigen Nennweiten auszuwählen, bei denen die Maßverhältnisse H/D und S/L den größten Wert haben. Häufig haben diese beiden Verhältnisse nicht bei der gleichen Nennweite ihren Größtwert, so dass ein Zähler mit dem Größtwert von H/D und einer mit dem Größtwert von S/L auszuwählen ist.

Bei manchen Bauarten werden die Größtwerte dieser Maßverhältnisse bei Nennweiten DN 300 und größer erreicht, was zu erheblichen Kosten für die Rohranordnungen und die Prüfungen führen kann. Die PTB akzeptiert in diesen Fällen als Prüflinge auch Sonderzähler kleinerer Nennweite, bei denen das betreffende Maßverhältnis durch Änderungen im Einströmbereich z.B. Verkürzung der Leitrippen auf der Abströmseite auf die kritischen Werte des Zählers der großen Nennweite gebracht wurde.

B.4.2 Prüfung

B.4.2.1 Messung ohne Vorstörung

Die Prüflinge müssen vor Beginn der Messungen gut eingelaufen sein, mindestens 100 Stunden bei Q_{\max} . Die Fehlerwerte ohne Vorstörung (Grundwerte) sind mit einem geraden Einlaufrohr von mindestens $20 D$ Länge aufzunehmen. Diese Messung ist zwischendurch und am Ende zu wiederholen, um sicherzustellen, dass der Zähler zeitlich nicht gedriftet ist.

Handelt es sich um einen Prüfstand, bei dem die Zuströmung zum Prüfling nicht aus einem großen Raum erfolgt, so muss sichergestellt sein, dass der Zähler drallfrei angeströmt wird. Erforderlichenfalls ist in dem $20 D$ langen Einlaufrohr etwa $10 D$ vor dem Zähler ein Strömungs-Gleichrichter zu installieren.

B.4.2.2 Messung mit Vorstörung

Der Zähler ist mit einem Einlaufrohr in der Länge $2 D$ und der für Linksdrall und für Rechtsdrall vorgesetzten Rohranordnung zu prüfen.

Wird bei einem der Durchflüsse eine Drift des Fehlers um mehr als 0,33 % festgestellt, so sind die Messungen mit längerem Einlaufrohr (bis zu $10 D$) und gegebenenfalls mit eingebautem Strömungs-Gleichrichter zu wiederholen. Die Konstruktion und der Bau des Strömungs-Gleichrichters obliegt dem Antragsteller. Der Antragsteller kann auch eine geeignete Länge des Einlaufrohres und gegebenenfalls einen zugehörigen Strömungs-Gleichrichter vorschlagen und einliefern. Dann werden die Messungen damit begonnen.

Handelt es sich um einen Prüfstand, bei dem die Zuströmung zum Prüfling nicht aus einem großen Raum erfolgt, so muss das $5 D_1$ lange Anfangsrohr der Rohranordnung drallfrei und gleichmäßig angeströmt werden. Empfohlen wird die Vorschaltung eines zusätzlichen $5 D_1$ langen, geraden Rohres ohne Einbauten. Bei Drall in der Zuströmung soll davor ein Strömungs-Gleichrichter eingebaut sein.

B.4.2.3 Zulassung

In der Anlage zur Bauartzulassung wird angegeben, unter welchen Einbaubedingungen der Zähler die Anforderungen eingehalten hat. Die geringe Vorstörung ist dabei repräsentativ für die in Nr. B.3.2.1 aufgeführten Störungen und für einen Raumkrümmer nach Nr. 1.2.4. Die starke Vorstörung ist repräsentativ für ein Gas-Druckregelgerät bei Druckverhältnissen bis zu 1,5.

Wurde ein Strömungs-Gleichrichter verwendet, so wird seine Konstruktionszeichnung in die Anlagen zur Zulassung aufgenommen.

Anhang C zur Technischen Richtlinie der PTB G 13

Verfahren zur Erweiterung des Betriebsüberdruckbereiches von Turbinenradgaszählern

Der für den eichpflichtigen Verkehr zulässige Betriebsüberdruckbereich eines Turbinenradgaszählers kann erweitert werden, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

1. Es liegen Prüfungen entsprechend der PTB Prüfregeln Band 29 bzw. 30 bei atmosphärischen Bedingungen mit Luft und für Hochdruck-Erdgas mit einem Prüfdruck $p_{\text{prüf, HD}} > 8$ bar vor.
2. Der Anschluss der beiden Fehlerkurven über die Re -Zahl muss gegeben sein. Der Anschluss ist gegeben, wenn:
 - a) die Differenz der Reynoldszahlen der Prüfpunkte die Ungleichung

$$Re_{\text{HD, min}} - Re_{\text{Luft, max}} < 0,1 Re_{\text{Luft, max}}$$

erfüllt,

- b) die Differenz zwischen den Messabweichungen $f(Q)$ der Luftkurve f_L zu den Messabweichungen der HD-Kurve f_{HD} die Bedingung

$$|f_{\text{HD}} - f_L| < 0,4\% ^8$$

für den Überlappungsbereich der Fehlerkurven bzw. für den maximalen Prüfpunkt bei Luft und den minimalen Prüfpunkt bei der Hochdruckprüfung erfüllt.⁹

Die Justierung des Zählers muss nach PTB Prüfregel Band 30 erfolgen.

Ein Turbinenradgaszähler, der die o.g. Bedingungen erfüllt, wird für einen Betriebsüberdruckbereich von 0 bar bis $2 p_{\text{prüf, HD}}$ (maximal bis zum zulässigen Nenndruck des Zählers) geeicht. Das Zusatzschild nach PTB Prüfregel Band 30 Abschnitt 5.4.2 ist anzubringen.

Im Eichschein ist zu vermerken, dass die Eichung nach dem hier beschriebenen Verfahren vorgenommen wurde und dass die Verwendung der Fehlerkurve HD für eine Einzelwertkorrektur für einem Betriebsüberdruck kleiner $0,5 p_{\text{prüf, HD}}$ nicht zulässig ist.

Abb. 10 zeigt ein Beispiel für Prüfergebnisse bei atmosphärischer Luft und Erdgas (16 bar).

⁸ Das Kriterium für maximal erlaubte Differenz der Messabweichungen der Zähler ergibt sich aus der quadratischen Addition der maximal für Eichungen akzeptablen Prüfstandsunsicherheiten ($U = 0,33\%$, $k=2$). Durch das Kriterium wird gleichzeitig der maximale Abfall der Hochdruck-Fehlerkurven im Q_{min} - Bereich begrenzt.

⁹ Falls sich die Hochdruck- und die Luftkurve der Messabweichungen in der Re -Darstellung überlappen, müssen zur Berechnung der Differenzen der Messabweichungen die Kurven zwischen den Prüfpunkten linear in der Re -Darstellung interpoliert werden.

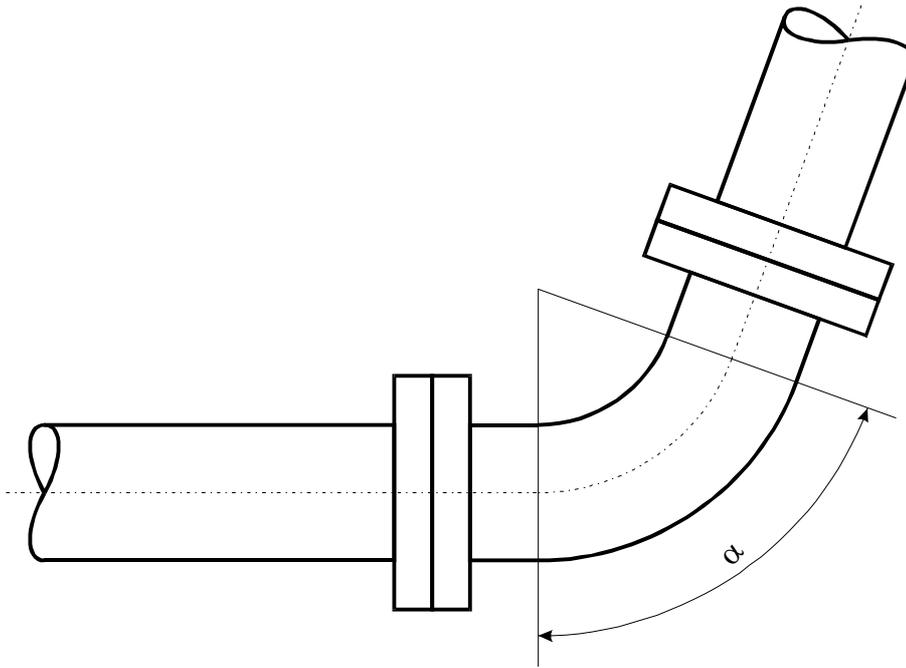
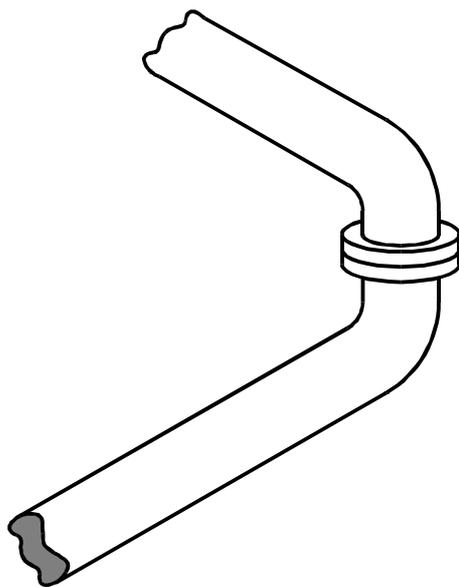
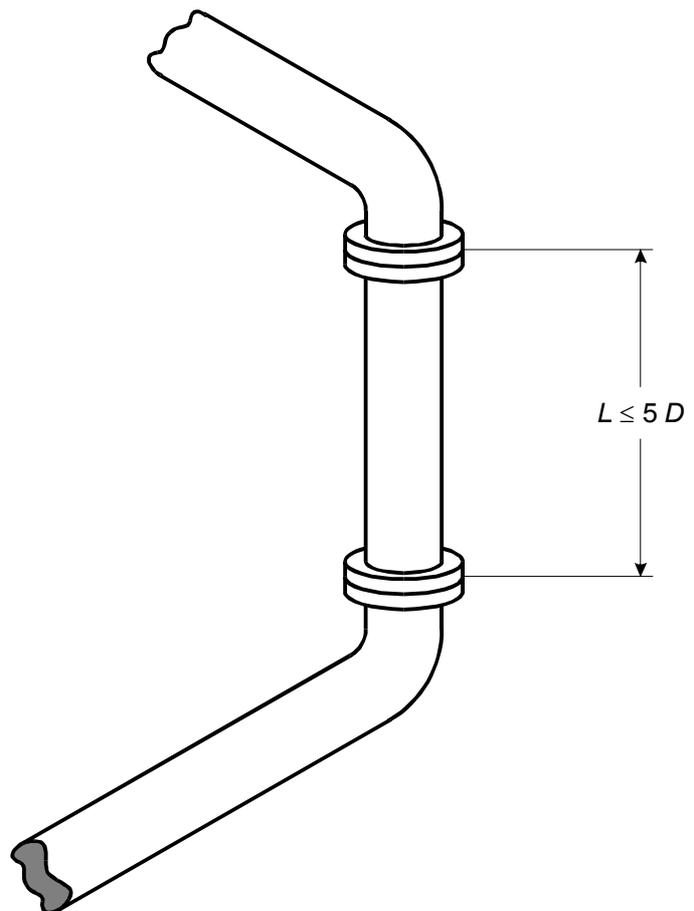


Abb.1: Ebener Krümmer, $\alpha = 10^\circ - 180^\circ$



a. Zwei Krümmer unmittelbar hintereinander



b. Zwei Krümmer mit geradem Rohr verbunden

Abb.2: Raumkrümmer

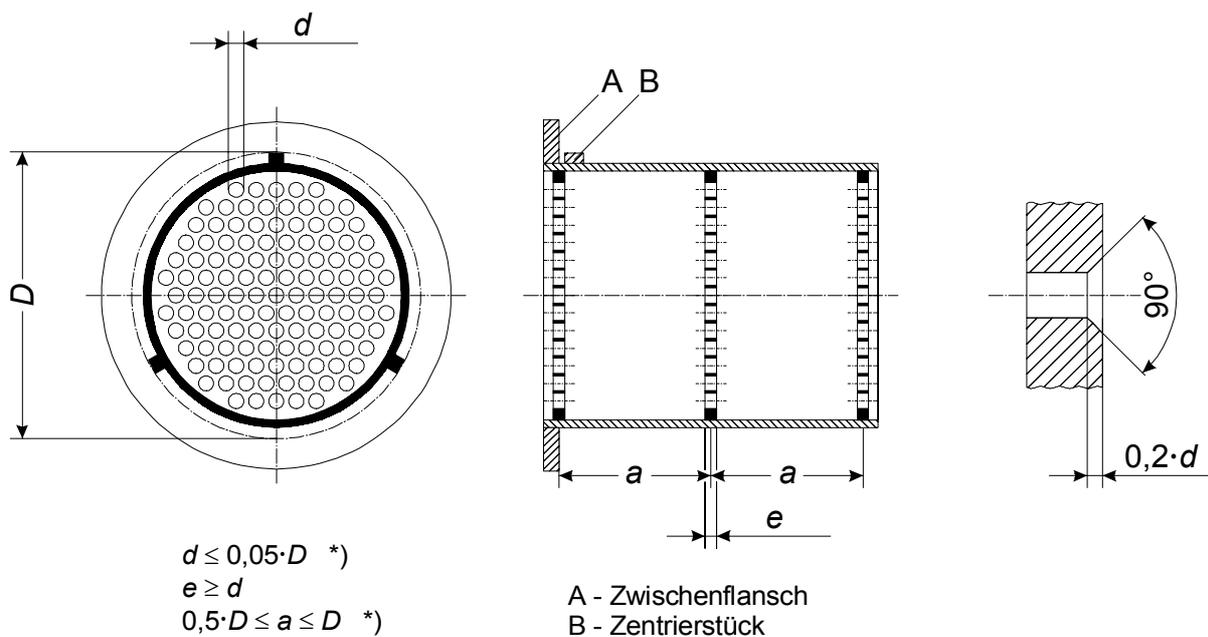


Abb.3: Lochplatten-Gleichrichter zum Einbau zwischen zwei Flanschen

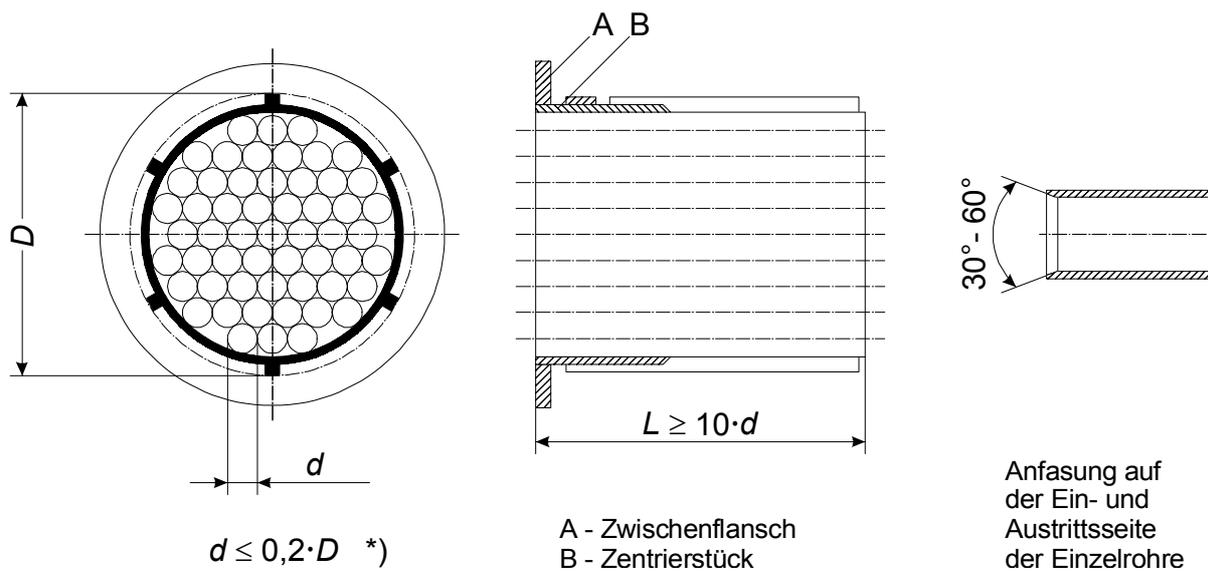


Abb.4: Rohrbündel-Gleichrichter

*) Es kann der gemessene Innendurchmesser des Rohres D oder die Nennweite DN berücksichtigt werden.

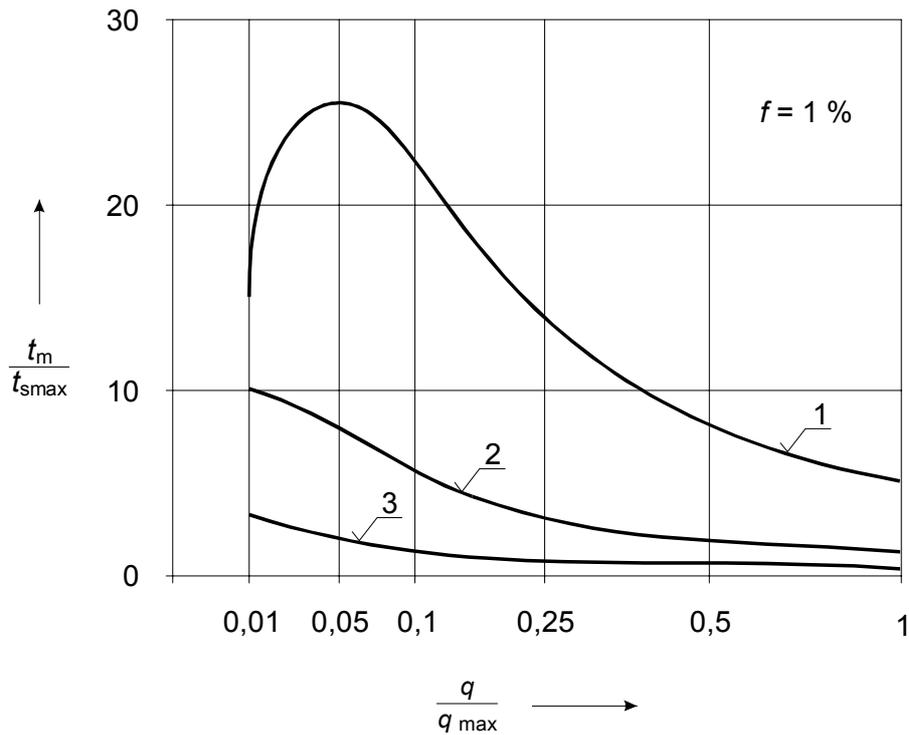


Abb.5: Verhältnis der Mindesteinschaltdauer t_m zur Auslaufzeit t_{smax} für einen relativen Nachlauffehler von 1 %, bei Abschaltung aus Q_{max} .

- | | | | |
|--------------|--------------------|--------------|-----------------------|
| 1: $d = 1$ | (Dichteverhältnis) | $p = 1$ bar | (atmosphärische Luft) |
| 2: $d = 0,6$ | | $p = 4$ bar | (Erdgas) |
| 3: $d = 0,6$ | | $p = 40$ bar | (Erdgas) |

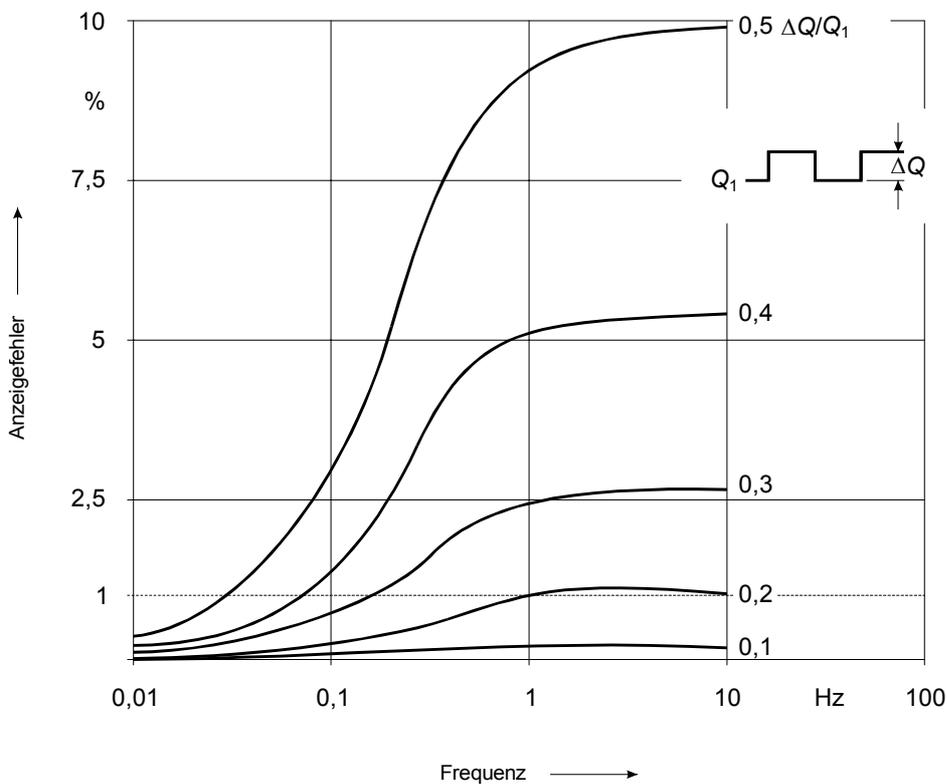


Abb.6: Beispiel für zusätzliche Messfehler bei pulsierender Strömung (Rechteckfunktion) als Funktion der Frequenz und der Sprunghöhe $\Delta Q/Q_1$

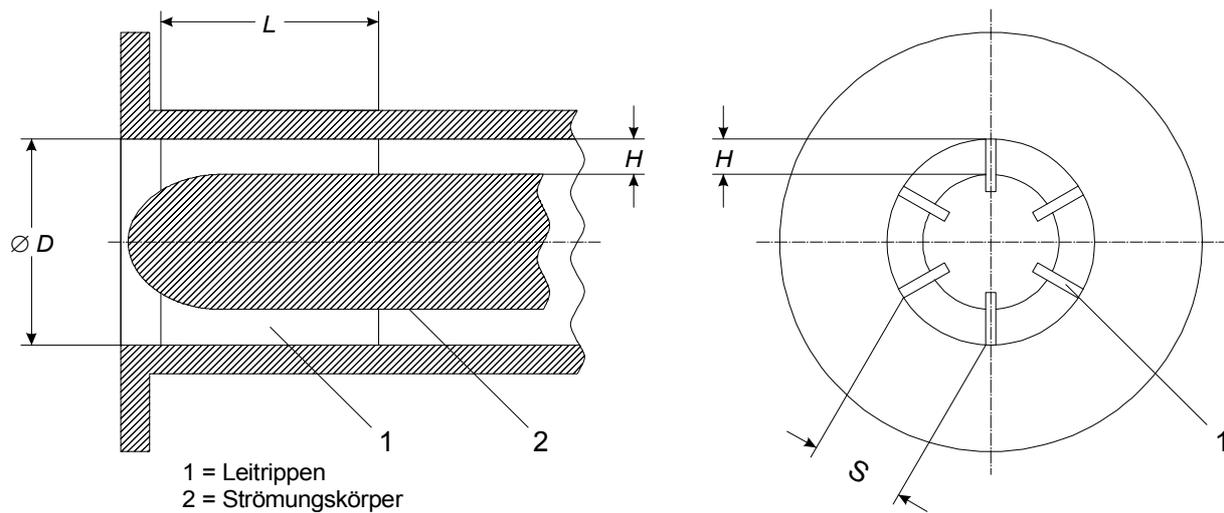


Abb.7: Maße im Einströmbereich eines axialen Turbinenradgaszählers

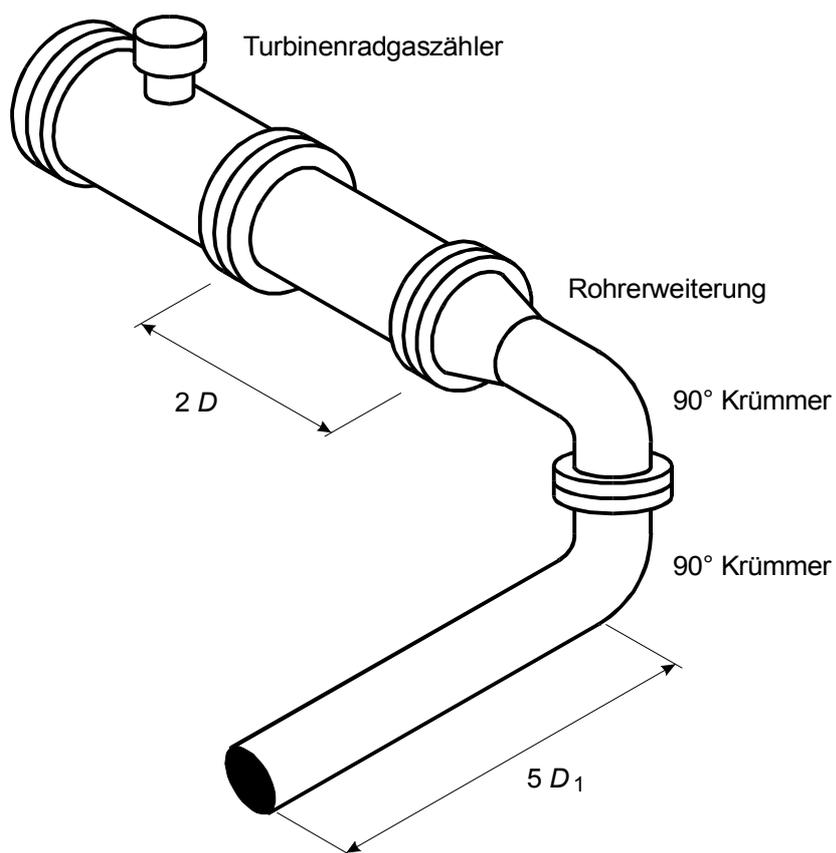


Abb. 8: Rohranordnung für die geringe Vorstörung (Linksdrall)

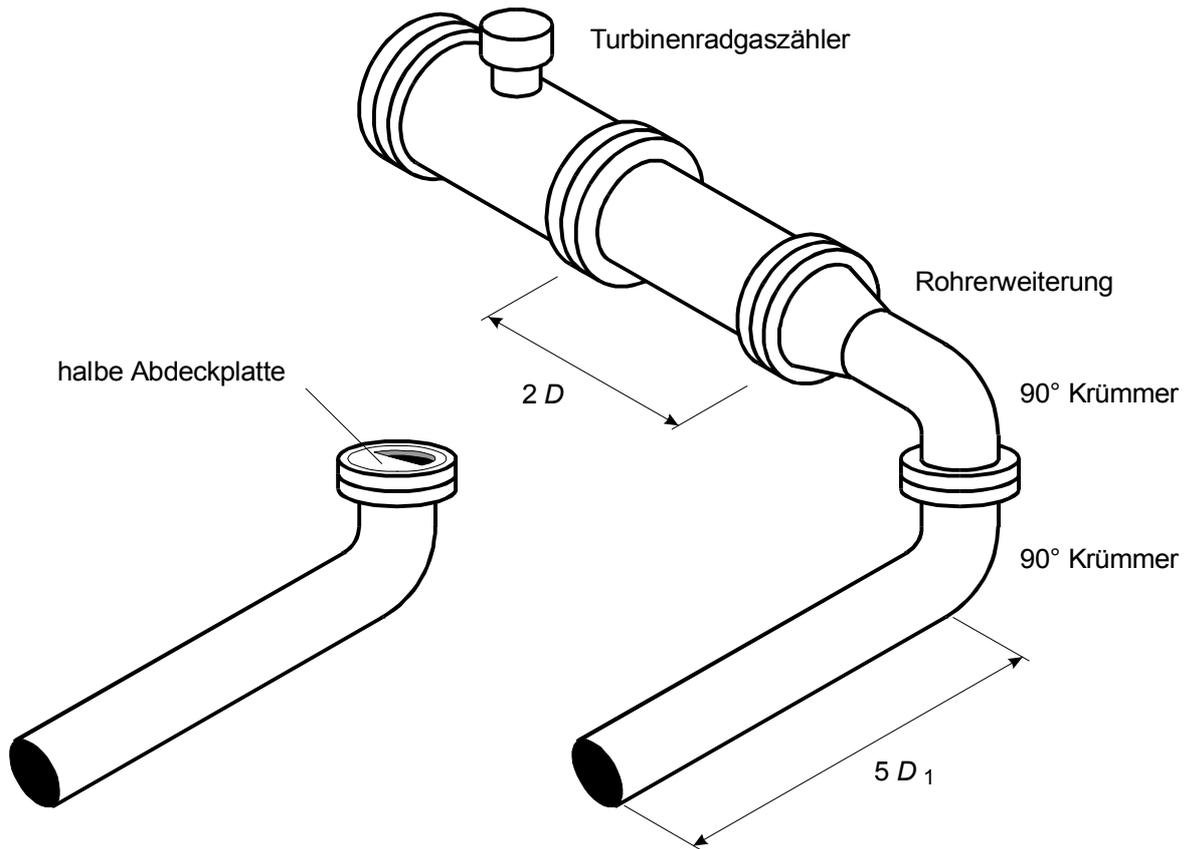
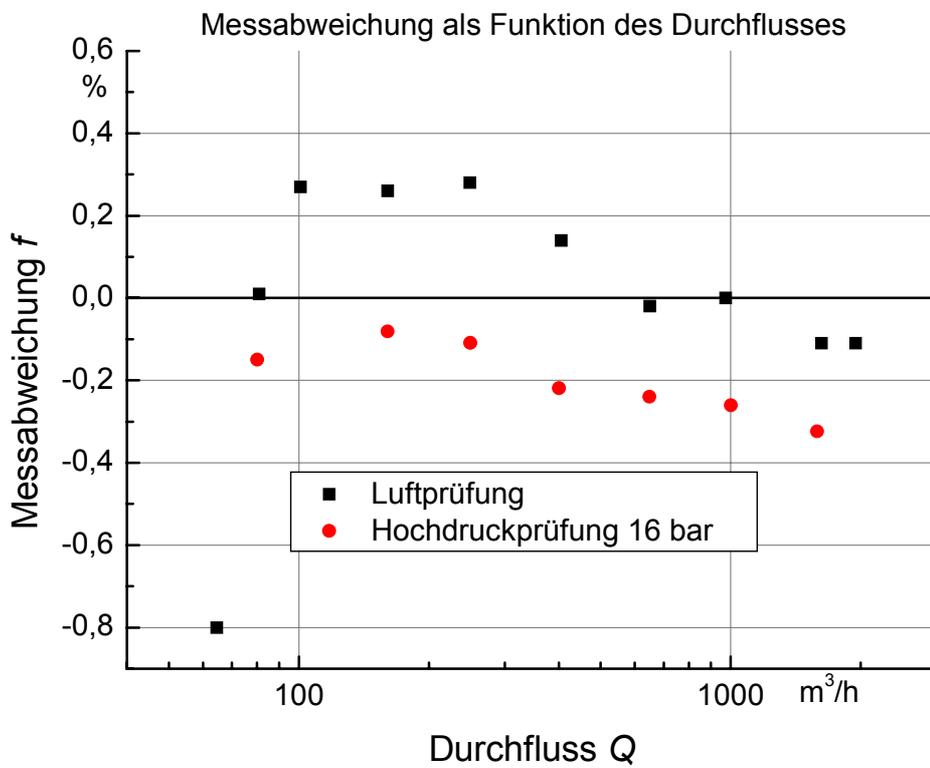


Abb. 9: Rohranordnung für die starke Vorstörung (Linksdrall)



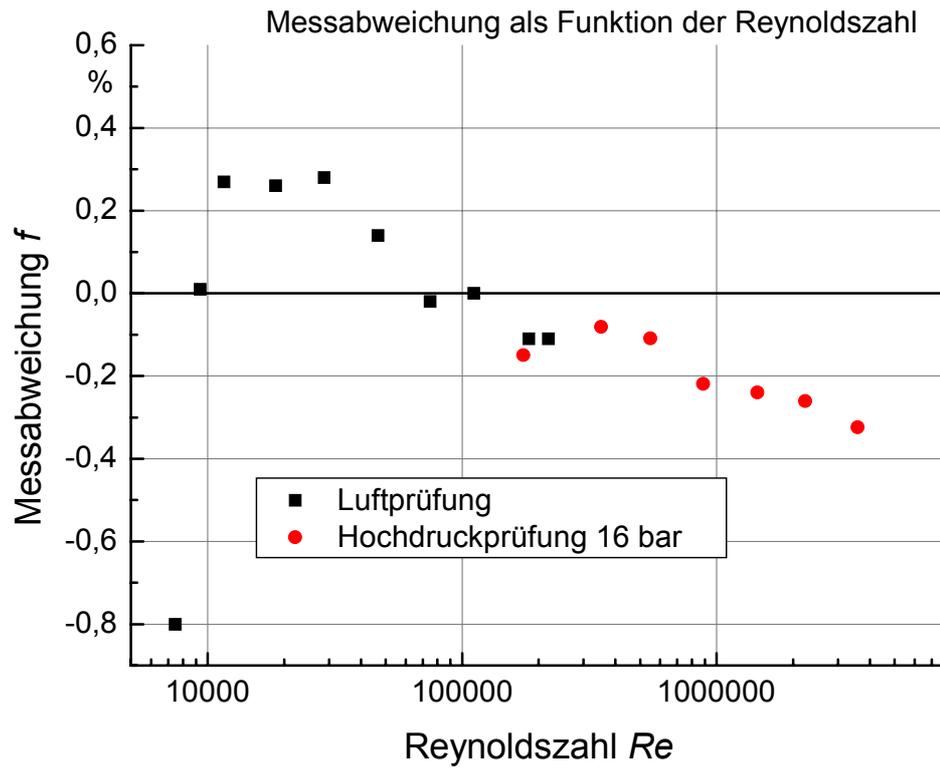


Abb. 10 zeigt ein Beispiel für Prüfergebnisse bei atmosphärischer Luft und Erdgas (16 bar).