

DIN EN ISO 7278-2

ICS 75.180.30

Entwurf

Einsprüche bis 2022-01-26
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 7278-2:1997-02

**Flüssige Kohlenwasserstoffe –
Dynamische Messung –
Prüfsysteme für volumetrische Meßgeräte –
Teil 2: Rohrprüfer (ISO/DIS 7278-2:2021);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 7278-2:2021**

Petroleum measurement systems –
Part 2: Pipe prover design, calibration and operation (ISO/DIS 7278-2:2021);
German and English version prEN ISO 7278-2:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-11-26 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an stellungnahme@fam-hamburg.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Fachausschuss Mineralöl- und Brennstoffnormung (FAM) des NMP, 22205 Hamburg, Postfach 60 05 49 oder Überseering 40, 22297 Hamburg.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 245 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)
Fachausschuss Mineralöl- und Brennstoffnormung (FAM) des NMP

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 7278-2:2021) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 28 „Petroleum and related products, fuels and lubricants from natural or synthetic sources“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 19 „Gasförmige und flüssige Kraft- und Brennstoffe, Schmierstoffe und verwandte Produkte aus Erdöl und mit biologischem oder synthetischem Ursprung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NEN (Niederlande) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-06-72 AA „Spiegelausschuss zu ISO/TC 28/SC 2 Measurement of petroleum and related products“ im Fachausschuss Mineralöl- und Brennstoffnormung (FAM) des DIN-Normenausschusses Materialprüfung (NMP).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

IEC 60751	siehe	DIN EN 60751
ISO 91:2017	siehe	DIN ISO 91:2019-12
ISO 4267-2	siehe	DIN EN ISO 4267-2
ISO 4788	siehe	DIN EN ISO 4788
ISO 7278-1	siehe	DIN EN ISO 7278-1
ISO 8222:2020	siehe	DIN EN ISO 8222:2020-10

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 7278-2:1997-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Inhalt und Anwendungsbereich decken nun die Auslegung von Rohrprüfern nach ISO 7278-2 von 1988 und die Anleitung für Bediener in ISO 7278-4 ab;
- b) die Aufnahme von Kleinmengenprüfern, wie in ISO/FDIS 7278-5 beschrieben aber nicht veröffentlicht;
- c) das Dokument bietet jetzt Leitlinien zu bewährten Verfahren für die Auslegung und Verwendung von Rohren oder Verdrängungen, Prüfgeräte, die Einbindung von Kleinmengenprüfern und die Berücksichtigung alternativer Normen vom American Petroleum Institute (API) und vom Energy Institute (EI);
- d) diese Ausgabe wurde in Zusammenarbeit mit dem Energy Institute (EI) erstellt und wird parallel vom EI veröffentlicht.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60751, *Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Temperatursensoren*

DIN EN ISO 4267-2, *Mineralöl und flüssige Mineralölerzeugnisse — Berechnung von Ölmengen — Teil 2: Dynamische Messung*

DIN EN ISO 4788, *Laborgeräte aus Glas — Messzylinder und Mischzylinder*

DIN EN ISO 7278-1, *Flüssige Kohlenwasserstoffe — Dynamische Messung — Prüfsysteme für volumetrische Meßgeräte — Teil 1: Allgemeine Grundlagen*

DIN EN ISO 8222:2020-10, *Messsysteme für Mineralölerzeugnisse — Kalibrierung — Volumenmaße, Bezugsmessbehälter und Feldmaße (einschließlich Gleichungen für die Eigenschaften von Flüssigkeiten und Werkstoffen) (ISO 8222:2020); Deutsche Fassung EN ISO 8222:2020*

DIN ISO 91:2019-12, *Mineralölerzeugnisse und verwandte Produkte — Temperatur und Druck Volumenkorrekturfaktoren (Mineralölmesstafeln) und Standardbezugsbedingungen (ISO 91:2017)*

— Leerseite —

Titel de: Flüssige Kohlenwasserstoffe — Dynamische Messung — Prüfsysteme für volumetrische Meßgeräte — Teil 2: Rohrprüfer (ISO/DIS 7278-2:2021)

Titel en: Petroleum measurement systems — Part 2: Pipe prover design, calibration and operation (ISO/DIS 7278-2:2021)

Titel fr:

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	6
Vorwort	7
Einleitung	9
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe, Symbole und Einheiten	10
3.1 Begriffe	10
3.2 Symbole und Einheiten	18
4 Klassifizierung der Bauarten von Rohrprüfern	20
4.1 Gemeinsame Merkmale	20
4.2 Kugelprüfer	22
4.2.1 Allgemeines	22
4.2.2 Unidirektionale Kugelprüfer	22
4.2.3 Bidirektionale Kugelprüfer	24
4.3 Kolbenprüfer	25
4.3.1 Allgemeines	25
4.3.2 Unidirektionale Kolbenprüfer	26
4.3.3 Bidirektionale Kolbenprüfer	26
5 Betriebsklassifizierung der Prüfer	27
5.1 Allgemeines	27
5.2 Herkömmlicher Prüfer	28
5.3 Prüfer für reduzierte Volumina	28
5.4 Prüfer für kleine Volumina (SVP, en: small volume prover)	28
6 Auslegung	30
6.1 Allgemeine Erwägungen	30
6.2 Prüferzylinder	31
6.2.1 Endkammern (Start- und Ankunfts-kammern)	31
6.2.2 Einfahrlänge	32
6.2.3 Prüferrohr oder -zylinder	32
6.2.4 Innenausführung	33
6.3 Kolbenprüfer für kleine Volumina	33
6.4 Dimensionierung der Prüfer	35
6.4.1 Allgemeines	35
6.4.2 Kalibriertes Volumen	36
6.4.3 Abstand zwischen den Detektoren	36
6.4.4 Durchmesser und Geschwindigkeit	37
6.4.5 Druckverlust	37
6.5 Verdränger	38
6.5.1 Allgemeines	38
6.5.2 Kugeln	38
6.5.3 Kolben	39
6.6 Verdrängergeschwindigkeit	40
6.6.1 Allgemeines	40
6.6.2 Mindestgeschwindigkeit	40

6.6.3	Höchstgeschwindigkeit	40
6.7	Detektoren	41
6.8	Prüferventile	42
6.9	Zusätzliche Erwägungen zur Auslegung	43
7	Zusatzausrüstung	44
7.1	Temperatur- und Druckmessung	44
7.1.1	Temperaturmessung	44
7.1.2	Druckmessung	45
7.2	Kalibrierverbindungen	46
7.3	Systemsteuerung	46
8	Impulsinterpolation	47
9	Installation	47
9.1	Mechanische Installation	47
9.1.1	Allgemeines	47
9.1.2	Fest installierte Prüfer	50
9.1.3	Mobile Prüfer	51
9.2	Elektroinstallation	51
9.3	Weitere Installationsanforderungen	52
10	Rückführbarkeit	52
11	Kalibrierung	54
11.1	Allgemeines	54
11.2	Kalibrierkreisläufe und -ausrüstung	55
11.3	Verfahren der Wasserentnahmekalibrierung	56
11.3.1	Beschreibung	56
11.3.2	Volumetrisches Maß als Referenz	57
11.3.3	Gravimetrie als Referenz	60
11.4	Verfahren der Hauptzählerkalibrierung	62
11.5	Sequentielles Hauptzählverfahren	66
11.6	Gleichzeitiges Hauptzählverfahren	67
11.7	Kalibrierverfahren	67
12	Betriebsauflauf zur Prüfung eines Durchflussmessgeräts	68
12.1	Aufbau eines Prüfers	68
12.1.1	Mobiler Prüfer vor der Ankunft am Standort	68
12.1.2	Mobiler Prüfer bei der Ankunft am Standort	68
12.2	Stabilisierung der Temperatur	69
12.3	Regelmäßige Überprüfung der die Genauigkeit beeinflussenden Faktoren	69
12.4	Betrieb zur Prüfung des Zählers	70
12.5	Vorläufige Beurteilung der Ergebnisse	71
12.6	Fehlersuche	72
13	Sicherheit	72
13.1	Allgemeines	72
13.2	Genehmigungen	73
13.3	Öffnen der Endkammern und Entnahme eines Verdrängers	73
13.4	Besondere Vorsichtsmaßnahmen bei der Prüfung mit Flüssiggas	74
13.5	Brandschutzmaßnahmen	75
13.6	Sonstige Sicherheitsvorkehrungen	75
13.7	Sicherheitsaufzeichnungen	75
Anhang A (informativ)	Berechnungen	76
A.1	Übersicht	76
A.2	Korrekturfaktoren	76
A.2.1	Wärmeausdehnung eines Prüfers	76

A.2.2	Ausdehnung des Rohrprüfers durch den Druck	77
A.3	Wärmeausdehnung der Flüssigkeit.....	78
A.4	Kompressibilität der Flüssigkeit	78
A.5	Berechnungen für Rohrprüfer.....	79
A.5.1	Wasserentnahme mit einem volumetrischen Maß	79
A.5.2	Wasserentnahme unter Verwendung einer gravimetrischen Referenz	80
A.5.3	Kalibrierung eines Durchflussmessgeräts	81
A.5.4	Prüferkalibrierung unter Verwendung eines Hauptzählers (sequentielles Verfahren)	82
A.5.5	Prüferkalibrierung unter Verwendung eines Hauptzählers (gleichzeitiges Verfahren).....	83
A.6	Gleichungen für Eigenschaften der Flüssigkeit	84
A.6.1	Dichte von Wasser.....	84
A.6.2	Kompressibilität von Wasser	86
A.6.3	Kompressibilität von Öl	86
Anhang B (informativ) Auswahl eines Prüfer Volumens für ein Durchflussmessgerät.....		87
Anhang C (informativ) Annahmekriterien und Leistungsfestlegungen		89
C.1	Einleitung	89
C.2	Linearität	89
C.2.1	Bereichsmittel-Verfahren.....	90
C.2.2	Mittelungsverfahren.....	91
C.2.3	Wertfestlegungsverfahren	91
C.3	Wiederholpräzision.....	91
C.3.1	Allgemeines	91
C.3.2	Wiederholpräzision von aufeinanderfolgenden Ergebnissen.....	92
C.3.3	Aufeinanderfolgende Ergebnisse aus mehreren Messungen	94
C.3.4	Statistische Verfahren.....	94
C.4	Annahmekriterien.....	98
C.4.1	Annahmekriterien für die Kalibrierung eines Rohrprüfers.....	99
C.4.2	Annahmekriterien für die Kalibrierung von Durchflussmessgeräten unter Verwendung eines Rohrprüfers.....	100
Anhang D (informativ) Fehlersuche		101
Anhang E (informativ) Austausch von Kugeln oder Detektoren und Detektorpaaren.....		109
E.1	Einleitung	109
E.2	Erhöhung der Zuverlässigkeit der Prüfung	109
E.3	Austausch eines Kugeldetektors.....	110
Anhang F (informativ) Impuls-Interpolation		111
F.1	Allgemeines	111
F.2	Verfahren mit vierfacher Zeitmessung.....	112
F.3	Verfahren der Impulsvervielfachung.....	113
F.4	Unsicherheit	113
F.4.1	Unsicherheit aufgrund von Abweichungen innerhalb des Impulsinterpolationssystems.....	113
F.4.2	Unsicherheit aufgrund von Schwankungen des Pulsintervalls	113
F.4.3	Auslegungserwägungen	114
Anhang G (informativ) Alternative Bauarten.....		116
G.1	Massenprüfer	116
G.2	Impulse aussendende Prüfer	116
G.3	Kopplung von Detektoren mit dem Zähler.....	116
G.4	Angetriebene Prüfer	117
G.5	Kombination aus Prüfer und Hauptzähler	117
Anhang H Kalibrierverfahren		118
H.1	Vorkalibrierung	118
H.2	Verfahren der Wasserentnahmekalibrierung.....	118
H.3	Verfahren der Hauptzählerkalibrierung	120

H.3.1	Sequentielles Kalibrierverfahren.....	120
H.3.2	Gleichzeitiges Prüfverfahren	122
H.4	Vorsichtsmaßnahmen	122
Anhang I (informativ) Beispiel für den Prüferkalibrierschein		124
Literaturhinweise.....		129

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 7278-2:2021) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 28 „Petroleum and related products, fuels and lubricants from natural or synthetic sources“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 19 „Gasförmige und flüssige Kraft- und Brennstoffe, Schmierstoffe und verwandte Produkte aus Erdöl und mit biologischem oder synthetischem Ursprung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NEN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 7278-2:1995 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 7278-2:2021 wurde von CEN als prEN ISO 7278-2:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 28 *Petroleum and related products, fuels and lubricants from natural or synthetic sources*, Unterkomitee SC 2, *Measurement of petroleum and related products* erarbeitet.

Diese Neuausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 7278-2:1988), die technisch überarbeitet wurde. Sie ersetzt auch die erste Ausgabe von ISO 7278-4, deren Inhalt mit aufgenommen wurde. Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- Der Inhalt und Anwendungsbereich umfasst nun die Auslegung von Rohrprüfern nach ISO 7278-2 1988 und die Leitlinien für Bediener nach ISO 7278-4;
- die Einbeziehung von Prüfern für kleine Volumina, wie in ISO/FDIS 7278-5 beschrieben, die nicht veröffentlicht wurde bzw. gegenwärtig nicht verfügbar ist;
- das Dokument stellt nun Leitlinien zu bewährten Vorgehensweisen bei der Auslegung und beim Einsatz von Rohr- oder Verdrängungsprüfern, zur Einbeziehung von Prüfern für kleine Volumina und zur Berücksichtigung alternativer Normen des American Petroleum Institute (API) und des Energy Institute (EI) bereit;
- diese Ausgabe wurde in Zusammenarbeit mit dem Energy Institute erstellt und wird als paralleles Dokument des Energy Institute veröffentlicht.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

In der Mineralölindustrie wird der Begriff „Prüfen“ für die Kalibrierung von Geräten verwendet, die bei der Messung von Mengen an Rohöl- und Erdölprodukten zum Einsatz kommen. Beim Prüfen werden festgelegte Verfahren angewendet, um zu zeigen oder nachzuweisen, dass das Ergebnis innerhalb der festgelegten Annahmekriterien liegt. Durch diese Art des Prüfens wird sichergestellt, dass die resultierende Messung eine für die betreffende Aufgabe annehmbare Unsicherheit aufweist.

Bei einem Rohrprüfer, auch Verdrängungsprüfer genannt, handelt es sich um ein volumetrisches Referenzgerät, das ein Bezugsnormale für die Kalibrierung von Durchflussmessgeräten mit elektronischem Impulsausgang liefert. Das Fluid verbleibt im Rohrleitungssystem, und die Prüfung kann dynamisch bei verschiedenen Durchflusssraten und Drücken ohne Unterbrechung des Durchflusses durchgeführt werden.

Rohrprüfer werden in der Mineralölindustrie in großem Umfang für die In-situ-Kalibrierung von Durchflussmessgeräten eingesetzt, die für fiskalische, eichpflichtige Verkehrs- und Rohrleitungsintegritätsanwendungen verwendet werden. Sie werden sowohl für Rohöl als auch für raffinierte Öle verwendet, dürfen aber auch für viele andere Fluide innerhalb und außerhalb der Mineralölindustrie eingesetzt werden.

Ein Rohrprüfer besteht aus einem Abschnitt einer Rohrlänge, dessen Innenvolumen durch Kalibrierung bestimmt wurde. Ein Verdränger, gewöhnlich ein Kolben oder eine passgenaue Kugel, bewegt sich entlang dieses Rohrabschnitts und verdrängt dabei ein genau bestimmtes Flüssigkeitsvolumen. Dieses Volumen kann mit einem äquivalenten Volumen verglichen werden, das von dem zu prüfenden Durchflussmessgerät gemessen wurde.

Das kalibrierte Volumen des Prüfers wird durch Erkennung des den kalibrierten Rohrabschnitt durchlaufenden Verdrängers bestimmt. Detektoren erfassen den Durchgang des Verdrängers, der den Beginn und das Ende der von ihm zurückgelegten Strecke durch den kalibrierten Abschnitt anzeigt, und lösen die Zählung der vom Durchflussmessgerät ausgesendeten Impulse und somit die Anzeige des gemessenen Volumens aus.

Rohrprüfer gibt es in verschiedenen Ausführungen, und sie werden für eine große Bandbreite an Rohrdurchmessern und -volumina hergestellt. Sie sind für den Einsatz als Teil eines fiskalischen Messsystems an festen Standorten und als mobile Referenzgeräte erhältlich.

Es darf jede Art von Durchflussmessgerät, das einen Impulsausgang liefert, kalibriert werden, jedoch können das Volumen, die Auslegung und der Typ des Prüfers Einschränkungen in Bezug auf den Typ und die Größe der damit kompatiblen Zähler mit sich bringen.

In diesem Leitfaden werden Auslegung, Ausführung, Kalibrierung und Verwendung von Rohrprüfern beschrieben, die in erster Linie für die Kalibrierung, Prüfung und Überprüfung von Durchflussmessgeräten für flüssige Erdölprodukte verwendet werden und für andere Flüssigkeitsanwendungen, bei denen ein hohes Maß an Messgenauigkeit erforderlich ist, eingesetzt werden dürfen.

WARNUNG — Die Anwendung dieses Dokuments kann die Anwendung gefährlicher Stoffe, Arbeitsgänge und Geräte mit sich bringen. Dieses Dokument beansprucht nicht, sämtliche mit seiner Anwendung verbundenen Sicherheitsprobleme zu behandeln. Es liegt in der Verantwortung des Anwenders dieses Dokuments, geeignete Verhaltensregeln zur Sicherheit und Gesundheit festzulegen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Leitliniendokument enthält Beschreibungen der verschiedenen zur Zeit verwendeten Arten von Rohrprüfern; diese werden auch als Verdrängungsprüfer bezeichnet. Dazu gehören Kugelprüfer und Kolbenprüfer, die entweder unidirektional oder bidirektional betrieben werden. Es gilt für Prüfer, die entweder in herkömmlicher Weise oder in Betriebsarten für reduzierte Volumina oder kleine Volumina betrieben werden.

In diesem Leitliniendokument werden;

- die Kalibrierverfahren, die Installation und die Verwendung von Rohrprüfern jedes der einzelnen Typen;
- die Wechselwirkung zwischen dem Rohrprüfer und verschiedenen Arten von Durchflussmessgeräten;
- die Berechnungen zur Ableitung der Flüssigkeitsvolumina beschrieben (Anhang A);
- die für fiskalische und eichpflichtige Verkehrsanwendungen erwarteten Annahmekriterien als Leitlinien sowohl für die Kalibrierung von Rohrprüfern als auch für die Prüfung von Durchflussmessgeräten angegeben (Anhang C).

Dieses Dokument deckt die Verwendung von Rohrprüfern für Rohöl und leichte Kohlenwasserstoffprodukte, die bei Umgebungsbedingungen flüssig sind, ab. Die hierin angegebenen Grundsätze gelten auch für Anwendungen mit weiteren Flüssigkeiten, einschließlich Wasser. Eingeschlossen sind auch Produkte mit niedrigem Dampfdruck sowie gekühlte und tiefkalte Produkte, jedoch kann die Verwendung mit diesen Produkten zusätzliche Leitlinien erfordern.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe, Symbole und Einheiten

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1.1

Genauigkeit

Ausmaß der Annäherung eines Messwerts an einen wahren Wert einer Messgröße

Anmerkung 1 zum Begriff: „Messgenauigkeit“ ist keine Größe und sollte nicht quantitativ angegeben werden. Die quantitative Angabe der Genauigkeit sollte in Form der Unsicherheit erfolgen. Eine „gute Genauigkeit“ oder „genauer“ impliziert eine geringe Messabweichung. Jeder angegebene numerische Wert sollte als Beispiel hierfür verstanden werden.

[QUELLE: VIM:2012; 2.13 [1]]

3.1.2

Justierung

Menge von Tätigkeiten, die an einem Messsystem ausgeführt werden, sodass dieses festgelegte Anzeigen liefert, die Werten einer zu messenden Größe entsprechen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Justierung sollte nicht mit Kalibrierung verwechselt werden, die eine Voraussetzung für Justierung ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: Nach der Justierung ist gewöhnlich eine Neukalibrierung erforderlich.

[QUELLE: VIM:2012; 3.11 [1]]

3.1.3

Prüfreihe (en: charge)

Satz von aufeinanderfolgenden Prüfdurchläufen, der als notwendig erachtet wird, um einen für die spätere Verwendung geeigneten Mittelwert sowohl des Volumens als auch des Zählerfaktors oder K-Faktors abzuleiten, und der auch als Hinweis auf die Wiederholpräzision der Messungen verwendet werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Prüfreihe darf aus mehreren Durchläufen oder einem Durchlauf einer signifikanten Anzahl an Mehrfach-Durchgängen bestehen.

3.1.4

Absperr- und Entlüftungsventil

Ventil mit Doppelabsperrung und Zwischenentlüftung

Doppeldichtungsventil

hochdichtes Ventil mit zweifacher Dichtung und einer Vorrichtung zur Erkennung von Leckagen an beiden Dichtungen

3.1.5

Kalibrierung

Tätigkeit, die unter festgelegten Bedingungen in einem ersten Schritt eine Beziehung zwischen den durch Normale zur Verfügung gestellten Größenwerten mit ihren Messunsicherheiten und den entsprechenden Anzeigen mit ihren beigeordneten Messunsicherheiten herstellt und in einem zweiten Schritt diese Information verwendet, um eine Beziehung herzustellen, mit deren Hilfe ein Messergebnis aus einer Anzeige erhalten wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine vereinfachte Definition lautet: Reihe von Vorgängen, die unter festgelegten Bedingungen die Beziehung zwischen den von einem Messgerät angezeigten Größen und den entsprechenden, durch Normale realisierten Werten herstellen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Kalibrierung sollte nicht mit Justierung eines Messsystems verwechselt werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: In der Ölindustrie wird das Wort „Prüfung“ (en: proving) verwendet und hat die gleiche Bedeutung, kann aber auch eine Überprüfung der Ergebnisse anhand festgelegter Annahmekriterien umfassen.

[QUELLE: VIM:2012; 2.39 [1]]

3.1.6

kalibriertes Volumen

Basisvolumen

Volumen eines zwischen Detektoren befindlichen Prüfers oder eines volumetrischen Maßes zwischen einem oberen und unteren Bezugspunkt, bestimmt durch Kalibrierung und angegeben bei Normbedingungen

3.1.7

Kavitation

Phänomen, das mit den *Kondensationsschlägen* (3.1.14) zusammenhängt und diesen folgt, bei dem sich Dampfblasen oder Hohlräume bilden und anschließend kollabieren oder implodieren

Anmerkung 1 zum Begriff: Kavitation führt zu erheblichen Messabweichungen und führt außerdem potentiell aufgrund von Erosion zu Schäden am Rohr, an den Ventilen und an anderen Bauteilen.

3.1.8

zyklische Verzerrung

periodische Schwankungen der von einem Zähler (en: meter) erzeugten Impulsfrequenz, die durch mechanische Asymmetrien im Zähler und im Zubehör verursacht werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe auch Linearität innerhalb der Rotation(en).

Anmerkung 2 zum Begriff: Beispiele für Zubehör sind mechanische oder elektronische Kalibratoren und Temperaturkompensatoren.

3.1.9

Detektoren

Geräte, die so eingestellt sind, dass sie den Durchgang des Verdrängers direkt oder indirekt erfassen und auf diese Weise die beiden Enden des kalibrierten Volumens anzeigen

3.1.10

Diskrimination

Fähigkeit eines Messgeräts, auf kleine Änderungen des Eingangswerts anzusprechen

3.1.11

Verdränger

Kugel oder Kolben, die bzw. der dazu dient, das kalibrierte Volumen zwischen den Detektoren eines Rohrprüfers herauszudrücken

3.1.12

Korrekturfaktor

numerischer Faktor, mit dem das unkorrigierte Ergebnis einer Messung bei den gemessenen Bedingungen multipliziert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Korrekturfaktoren auf Normbedingungen werden verwendet, um ein Volumen bei beobachteten Bedingungen in das Volumen bei anderen (Norm-)Bedingungen umzuwandeln.

3.1.13

Abweichung

Messwert minus einem Referenzwert

Anmerkung 1 zum Begriff: Die relative Abweichung ist die durch einen Referenzwert geteilte Abweichung. Diese kann in Prozent angegeben werden.

[QUELLE: VIM:2012; 2.16 [1]]

3.1.14

Kondensationsschläge

Phänomen, das auftritt, wenn der Leitungsdruck auf oder unter den Dampfdruck der Flüssigkeit sinkt, so dass Gas aus der Lösung oder durch den Phasenwechsel einer Komponente in Erscheinung tritt

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Dampfdruck des Fluids kann mit steigender Temperatur zunehmen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Kondensationsschläge sind häufig auf einen lokalen Druckabfall zurückzuführen, der durch eine Zunahme der Flüssigkeitsgeschwindigkeit verursacht wird, und führen im Allgemeinen zu signifikanten Messabweichungen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Das erzeugte freie Gas bleibt in beträchtlicher Entfernung hinter dem Zähler zurück, auch wenn der Druck wieder auf die ursprünglichen Werte zurückkehrt.

3.1.15

Vierwegeventil

Strömungsumkehrventil

einzelnes hochdichtes Ventil, das die durch einen bidirektionalen Prüfer fließende Strömung umkehrt

3.1.16

Durchschalten

Auslösen und Beenden der in einem Zähler (en: counter) erfolgenden Impulssummierung, die durch ein externes Ereignis oder ein von einem Detektor kommendes Signal ausgelöst wird

3.1.17

Umschaltventil

Kugelumsetzventil

hochdichter Mechanismus zum Umsetzen des Verdrängers vom stromabwärts gelegenen Ende eines Rohrprüfers in die Startposition eines unidirektionalen Kugelprüfers und gleichzeitigen Verhindern eines Durchflusses

3.1.18

Linearität innerhalb der Rotation(en)

quantitatives Maß für die Regelmäßigkeit der Abstände zwischen den von einem Durchflussmessgerät bei konstanter Durchflussrate erzeugten Impulsen

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese wird im Allgemeinen als Standardabweichung der Impulsbreiten um den Mittelwert angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Sie darf auch als Interpulsabweichung bezeichnet werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Linearität zwischen den Rotationen ist die Regelmäßigkeit, die sich in einer periodischen oder zyklischen Weise wiederholt, die üblicherweise auf die Drehung eines im Zählerinneren befindlichen Mechanismus zurückzuführen ist. Sie darf auch als Impulsratenmodulation bezeichnet werden.

3.1.19

K-Faktor

Verhältnis der Anzahl der von einem Zähler erhaltenen Impulse zu der Menge, die durch den Zähler strömt

3.1.20

Endkammer

Startkammer

Ankunftskammer

vergrößerter Abschnitt an den Enden des Rohrprüfers, in dem der Verdränger vor dem Start ruht oder abbremsst und nach Abschluss eines Durchgangs wieder zur Ruhe kommt

3.1.21

Linearität

Gesamtbereich der Abweichung der Genauigkeitskurve von einem konstanten Wert über einen festgelegten Messbereich

Anmerkung 1 zum Begriff: Die maximale Abweichung basiert auf dem Mittelwert der abgeleiteten Werte an einem beliebigen Durchflusspunkt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Abweichung ist der Höchstwert abzüglich des Mindestwertes der Mittelwerte bei jeder Durchflussrate.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die relative Linearität ist der Wertebereich geteilt durch einen festgelegten Wert, z. B. die in ISO 11631 [2] definierte unabhängige Linearität.

3.1.22

Zählerfaktor

Meterfaktor

Verhältnis der vom Bezugsnormal angezeigten Menge zu der vom Zähler angezeigten Menge

3.1.23

Nennvolumen

Auslegungsvolumen eines Prüfers oder volumetrischen Maßes

3.1.24

Durchgang

einzelne Bewegung eines Verdrängers zwischen zwei Detektoren

3.1.25

Rohrprüfer

Verdrängungsprüfer

Vorrichtung, die ein Volumen eines Fluids aus einem kalibrierten Rohrstück verdrängt, das als Referenz für die Kalibrierung des betreffenden Durchflussmessgerätes dient

3.1.26

Leistungskennzahl

abgeleiteter Wert, der zur Angabe der Leistung des Zählers verwendet werden darf

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für Leistungskennzahlen sind: die Abweichung, der K-Faktor oder der Zählerfaktor.

3.1.27

Prüfen

Kalibrierung im Vergleich mit festgelegten Annahmekriterien

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „Prüfen“ (en: proving) ist in der Ölindustrie gebräuchlich und der Verifizierung ähnlich.

Anmerkung 2 zum Begriff: Beim Prüfen handelt es sich um eine Kalibrierung über einen in einigen Fällen begrenzten Messbereich nach Verfahren, die durch Normen, Vorschriften oder Vorgehensweisen festgelegt sind, die eine Bestimmung der Abweichungen eines Geräts ermöglicht und zeigt (nachweist), dass dieses festgelegte Annahmekriterien erfüllt.

3.1.28

Impulsinterpolation

Mittel zur Erhöhung der effektiven Auflösung der von einem Zähler ausgegebenen Impulse durch Multiplikation der Impulsfrequenz oder Messung des Bruchteils eines Impulses, der mit der über einen bestimmten Zeitraum gesammelten Gesamtzahl verbunden ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Das am häufigsten angewendete Verfahren ist die zweifache Zeitmessung (Chronometrie).

3.1.29

Impulsinterpolationsdivisor

Verhältnis der erhöhten Impulsfrequenz zur Frequenz der vom Zähler erzeugten Impulse

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Impulsinterpolationsdivisor ist in der Regel mit dem Phasenregelkreis-System der Impulsinterpolation verbunden.

3.1.30

Bereich

Spanne

Messbereich

Menge von Werten der Durchflussrate, für die die *Abweichung* eines Messgeräts (des Durchflussmessgeräts) innerhalb festgelegter Grenzen liegen soll

[QUELLE: ISO-Leitfaden 99:1993 [3]]

3.1.31

Bereich

Spanne

Wertebereich

Differenz zwischen dem Höchst- und dem Mindestwert einer Menge von Werten

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies kann als Halbwertsbreite ($\pm$ -Zahl) angegeben werden. Der relative Bereich wird üblicherweise als Prozentsatz eines festgelegten Wertes angegeben, z. B. Mittelwert, Mindestwert oder ein anderer Rechenwert.

3.1.32

Referenzbedingungen

Referenzbedingungen für die Messung

Betriebsbedingung, die vorgeschrieben ist, um die Leistungsfähigkeit eines Messgeräts zu bewerten

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Referenzbedingungen umfassen im Allgemeinen Bezugswerte oder Bezugsbereiche für die auf das Messgerät einwirkenden Einflussgrößen.

[QUELLE: VIM:2012; 4.11 [1]]

3.1.33

Referenzmaß

volumetrisches Maß, kalibriert, verwendet und gewartet, um die Rückführbarkeit auf andere Volumenmaße und -messgeräte, einschließlich Rohrprüfer und Referenz-Durchflussmessgeräte, sicherzustellen

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Referenzmaß kann gravimetrisch (Primärmaß) oder volumetrisch mit einem Primärmaß kalibriert werden, das selbst gravimetrisch kalibriert wurde.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein Referenzmaß darf ein Prüfmaß oder ein Bezugsmessbehälter sein, wie in ISO 8222:2020 [4] beschrieben.

3.1.34

Wiederholpräzision

Messpräzision

Ausmaß der Übereinstimmung von Angaben oder Messwerten, die durch wiederholte Messungen an denselben oder ähnlichen Objekten unter vorgegebenen Bedingungen erhalten wurden

Anmerkung 1 zum Begriff: Festgelegte Bedingungen implizieren üblicherweise dieselbe Referenz, dieselben Bedingungen, dieselben Bediener und Vorgehensweisen und dass die Daten über einen kurzen Zeitraum hinweg sequenziell erhalten werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Wiederholpräzision kann als Bereich (Differenz zwischen dem Höchst- und Mindestwert) der Abweichung oder des K-Faktors angegeben werden. Alternativ kann die Wiederholpräzision auch als Funktion der Standardabweichung der Werte angegeben werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Division der Wiederholpräzision durch den Mittelwert ergibt den relativen Wert, der in Prozent angegeben werden kann. Es wird darauf hingewiesen, dass einige Normen vorschlagen, durch den Mindestwert zu dividieren.

[QUELLE: VIM:2012; 2.15 [1]]

3.1.35

Auflösung

quantitative Angabe zur Fähigkeit eines Anzeigegerätes, zwischen nahe beieinander liegenden Messwerten eindeutig zu unterscheiden.

3.1.36

vollständiger Durchlauf

Hin- und Rückfahrt

Bewegung des Verdrängers zwischen den Detektoren eines bidirektionalen Prüfers, die einem Durchlauf entspricht, bei dem es sich um jeweils einen Durchgang in Vorwärts- und in Rückwärtsrichtung handelt

3.1.37

Hin- und Rückfahrsvolumen

Summe der in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung in einem bidirektionalen Rohrprüfer durchlaufenen Volumina

3.1.38

Durchlauf

einmalige Bestimmung eines Prüfer Volumens oder einer für das Berichtswesen geeigneten Leistungskennzahl (Abweichung, Zählerfaktor oder K-Faktor) des Durchflussmessgeräts

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Durchlauf kann im Falle eines unidirektionalen Prüfers aus einem einzigen Prüferdurchlauf, im Falle eines bidirektionalen Prüfers aus zwei Durchläufen oder im Falle eines Prüfers für kleine Volumina aus einer größeren Anzahl von aufeinanderfolgenden Durchgängen bestehen, um ein einziges berichtspflichtiges Ergebnis zu erzielen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die einzelnen Ergebnisse eines Durchlaufs mit mehreren Durchgängen werden in der Regel nicht gemeldet, es sei denn, es gilt eine entsprechende Anforderung; sie dürfen jedoch zu Diagnosezwecken aufgezeichnet und aufbewahrt werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Wiederholpräzision eines mehrere Durchgänge umfassenden Durchlaufs darf verwendet werden, um zu überwachen, ob die Leistung einem Annahmekriterium entspricht.

3.1.39

Einfahrlänge

Länge des Prüferzylinders zwischen der Startposition des Verdrängers und dem ersten Detektor, der für den maximalen Nenndurchfluss gewählt wurde, um sicherzustellen, dass alle Ventile vollständig betätigt wurden und geschlossen sind und dass die Durchflussrate und das Durchflussmessgerät stabil sind

3.1.40

Normbedingung

Basisbedingung

Bedingung von Temperatur und Druck, auf die sich die Volumen- oder Dichtemessungen beziehen, um die Messgröße zu normieren

Anmerkung 1 zum Begriff: Das sind die festgelegten Werte der Bedingungen, auf die die gemessene Größe umgerechnet wird.

Anmerkung 2 zum Begriff: In der Mineralölindustrie sind das üblicherweise 15 °C, 20 °C oder 60 °F und 101,325 kPa.

Anmerkung 3 zum Begriff: Normbedingungen können sich auf die Flüssigkeit oder das Volumen des Maßes beziehen. Diese können unterschiedlich sein.

Anmerkung 4 zum Begriff: Bei Normbedingungen angegebene Volumenmengen können durch Voranstellen eines „S“ vor die Volumeneinheit, z. B. 4 Sm³ oder 700 kg/Sm³ angegeben werden. Diese Abkürzung wird anstelle der Einheit m³ (Normbedingungen) verwendet, wenn der Platz begrenzt ist und keine Verwechslungsgefahr bezüglich der Einheit besteht.

Anmerkung 5 zum Begriff: Normbedingungen sollten nicht mit Referenz-(Betriebs-)Bedingungen verwechselt werden, die für die Bewertung des Maßes vorgeschrieben sind.

3.1.41

Normvolumen

Basisvolumen

bei Normbedingungen angegebenes Volumen

3.1.42

Rückführbarkeit

metrologische Rückführbarkeit

messtechnische Rückführbarkeit

Eigenschaft eines Messergebnisses, wobei das Ergebnis durch eine dokumentierte, ununterbrochene Kette von Kalibrierungen, von denen jede zur Messunsicherheit beiträgt, auf eine Referenz bezogen werden kann

[QUELLE: VIM:2012; 2.41 [1]]

3.1.43

Übergabestelle

Punkt oder Stelle in einem Fluidtransfer, an dem die Menge und die Zurechenbarkeit des Fluids von einem Messsystem zum anderen übergeht

3.1.44

Unsicherheit

nichtnegativer Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die der Messgröße auf der Grundlage der benutzten Information beigeordnet ist

[QUELLE: VIM:2012; 2.26 [1]]

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Unsicherheit wird üblicherweise als Halbwertsbreite in Verbindung mit der Wahrscheinlichkeitsverteilung innerhalb dieses Bereichs angegeben. Sie kann als Wert oder als Prozentsatz des wahrgenommenen wahren Wertes angegeben werden.

3.1.45

volumetrisches Maß

Maß, das verwendet wird, um eine genaue Volumenmessung zu ermöglichen, wodurch eine Referenz für andere Volumenmessgeräte, wie z. B. Rohrprüfer oder Durchflussmessgeräte, bereitgestellt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Bezugsmessbehälter sind großformatige volumetrische Maße, mit einem oberen und einem unteren Stutzen.

3.1.46

Wasserentnahme

Technik zur Kalibrierung eines Rohrprüfers oder volumetrischen Maßes durch Entnehmen von Flüssigkeit aus dem Prüfer oder Maß in ein (volumetrisches oder gravimetrisches) Referenzmaß

3.2 Symbole und Einheiten

ANMERKUNG 1 Die bevorzugte Einheit für die kinematische Viskosität ist Quadratmeter je Sekunde (m^2/s) oder Quadratmillimeter je Sekunde (mm^2/s). Die in diesem Dokument verwendete praktische Einheit ist die in der Industrie anerkannte Einheit Centistoke (cSt); $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$.

ANMERKUNG 2 Die bevorzugte Einheit für ein für Normbedingungen angegebenes Volumen ist m^3 (Normbedingung). In der Praxis wird dies üblicherweise, wenn der Platz begrenzt ist und eine Verwechslung der verwendeten Einheiten vermieden werden soll, mit Sm^3 abgekürzt.

Symbole	Größe	Einheit
$C_{\text{subscript}}$	Volumenkorrekturfaktor zur Korrektur eines Volumens auf eine oder aus einer Normbedingung. Die tiefgestellten Indizes legen den Korrekturparameter fest. Es dürfen bis zu drei tiefgestellte Indizes verwendet werden.	
C_{pl}	Volumenkorrekturfaktor für die Druckausdehnung der Flüssigkeit vom gemessenen Druck auf den Normdruck	
C_{ps}	Volumenkorrekturfaktor für die Auswirkungen, die die Druckänderung vom gemessenen Druck auf den Normdruck auf den Werkstoff (Stahl) der Konstruktion hat	
C_{tl}	Volumenkorrekturfaktor für die Wärmeausdehnung der Flüssigkeit von der gemessenen Temperatur auf die Normtemperatur	
C_{ts}	Volumenkorrekturfaktor für die Wärmeausdehnung des Werkstoffs (Stahl) der Konstruktion von der gemessenen Temperatur auf die Normtemperatur	
	Um die Quelle der Korrektur anzuzeigen, dürfen die Korrekturfaktoren jeweils mit einem dritten tiefgestellten Index versehen werden, der dort definiert wird, wo er verwendet wird. Üblicherweise werden die folgenden verwendet:	
$C_{..R}$	zeigt die Volumenkorrektur auf das von einem Referenzgerät gemessene Volumen an	
$C_{..T}$	zeigt die Volumenkorrektur auf das von einem zu prüfenden oder zu kalibrierenden Gerät gemessene Volumen an	
$C_{..D}$	zeigt an, dass die Volumenkorrektur auf der Differenz zwischen einem Referenzgerät und dem zu prüfenden Gerät und nicht auf der Korrektur auf Normbedingungen basiert	
D	Innendurchmesser des Prüfers	mm
E	Elastizitätsmodul des Prüferzylinders	
F	Zählerfaktor	

Symbole	Größe	Einheit
f_i	Impulsinterpolationsfaktor	
K	K -Faktor eines Durchflussmessgeräts	Impulse/m ³
K_n	Nenn- K -Faktor eines Zählers	Impulse/m ³
L	Abstand zwischen den Detektoren	m
M	Massendurchsatz bei einer Lieferung	kg
M_t	Masse des im Wägebehälter aufgefangenen Wassers	kg
N	Anzahl der während einer Lieferung oder eines Durchlaufs erfassten Impulse	
n	Anzahl der während eines Prüferdurchgangs erfassten Impulse	
p	Druck Sofern nicht ausdrücklich angegeben, handelt es sich um den den Atmosphärendruck überschreitenden Druck, d. h. den Überdruck. Der Atmosphärendruck darf als 1,013 25 bar (absolut) angenommen werden.	bar
R	Impulsinterpolationsdivisor	
r_d	Detektorauflösung	
t	Temperatur Eine tiefgestellte Zahl gibt die Temperatur an, auf die Bezug genommen wird.	°C
t	Wert aus der Student- t -Verteilung	
U	Unsicherheit, erweiterte	
u	Unsicherheit, Standard	
V	beobachtetes Volumen, d. h. das Volumen des Fluids beim tatsächlichen Druck und bei der tatsächlichen Temperatur	m ³
V_b	Norm- oder Basisvolumen des Prüfers bei Normbedingungen, d. h. gewöhnlich bei 15 °C und 1,013 25 bar(a)	m ³ (bei Normbedingungen)
V_c	korrigiertes Volumen des Prüfers bei seinem tatsächlichen Druck und seiner tatsächlichen Temperatur	m ³
V_m	das vom Zähler angezeigte Volumen	m ³
V_R	Flüssigkeitsvolumen im Bezugsmessbehälter oder Referenzprüfer, das bei beobachteter Temperatur und beobachtetem Druck angezeigt wird	m ³
V_s	Normvolumen, d. h. das auf Normbedingungen reduzierte Ölvolumen	m ³ (bei Normbedingungen)
w	Wanddicke des Prüfers	mm
W_a	Gewicht des in einem Wägebehälter aufgefangenen Wassers	kg
α	linearer Wärmeausdehnungskoeffizient von Metall	°C ⁻¹
β	Kompressibilitätsfaktor der verwendeten Flüssigkeit	bar ⁻¹
ρ	Dichte der Flüssigkeit beim gemessenem Druck und bei der gemessenen Temperatur	kg/m ³

Symbole	Größe	Einheit
ρ_a	Dichte der Luft	kg/m ³
ρ_n	Nennichte der zur Kalibrierung der Waage verwendeten Gewichte (8 000 kg/m ³)	kg/m ³
ρ_p	Dichte des Fluids im Rohrprüfer während der Kalibrierung	kg/m ³
ρ_t	Dichte von reinem Wasser bei der Temperatur t	kg/m ³
ρ_w	Dichte von Wasser	kg/m ³

4 Klassifizierung der Bauarten von Rohrprüfern

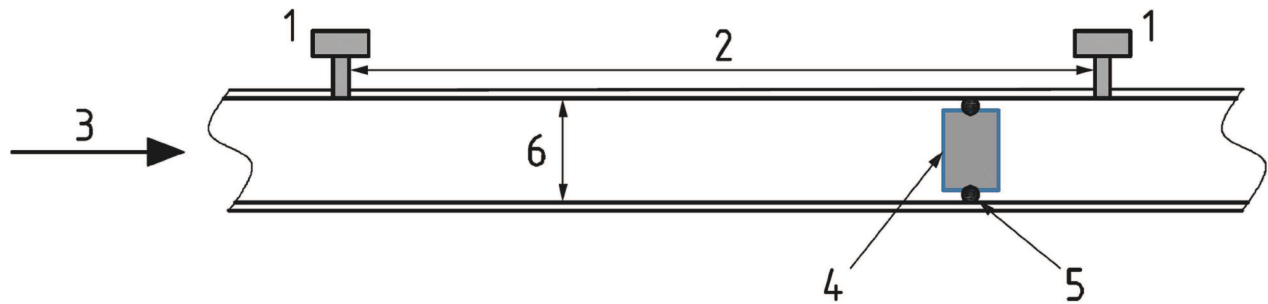
4.1 Gemeinsame Merkmale

Ein Rohrprüfer besteht aus einem Stück Rohr mit zylindrischem Querschnitt, durch das der Strom geleitet wird. Das Rohr darf entweder gerade sein oder aus geraden Abschnitten bestehen, die kreisförmig angeordnet und durch Bögen oder Krümmer mit großem Radius miteinander verbunden sind. Es darf aus Normrohrabschnitten aus Kohlenstoffstahl oder nicht rostendem Stahl oder einem anderen speziell hergestellten und maschinell bearbeiteten Material bestehen. Der Innenquerschnitt sollte zylindrisch und die Rohrwandung innen glatt sein; sie ist in der Regel mit einer harten Beschichtung aus Epoxid- oder Phenolharz versehen. Prüfer werden üblicherweise bei Rohrdurchmessern von 50 mm (2 Zoll) bis über 1 050 mm (42 Zoll) verwendet.

In das Rohr wird ein Verdränger eingeführt. Dieser Verdränger darf ein in seiner Bewegung freier oder eingeschränkter Kolben oder eine freie Kugel (ein Ball) aus einem Elastomerwerkstoff sein. Eine Kugel ist in der Lage, Bögen oder Krümmungen unter Beibehaltung des dichten Verschlusses zu durchlaufen, weswegen die entsprechende Prüferanordnung weniger Stellfläche in Anspruch nimmt. Nachdem der Verdränger in die Strömung eingesetzt wurde, bewegt er sich durch das Rohrstück und verdrängt das darin befindliche Fluid zu dem zu prüfenden Durchflussmessgerät.

Am Anfang und am Ende der Messstrecke des Prüfers sind Detektoren installiert, die den Durchgang des Verdrängers erfassen. Wird der Detektor aktiviert, so löst er die Zählung der vom zu kalibrierenden Durchflussmessgerät ausgesendeten Impulse aus. Die Detektoren dürfen direkt durch den Verdränger oder ferngesteuert durch eine Verbindungsstange aktiviert werden.

Das Volumen der Messstrecke zwischen den Detektoren wird durch Kalibrierung ermittelt. Das enthaltene Flüssigkeitsvolumen wird durch den Durchgang des Verdrängers aus dem Rohr verdrängt, wodurch sich ein äquivalentes Volumen ergibt, das an das zu prüfende Durchflussmessgerät übergeben wird. Daraufhin kann der K-Faktor, die Abweichung oder der Zählerfaktor des Durchflussmessgeräts ermittelt werden. Das Funktionsprinzip ist in Bild 1 dargestellt.



Legende

- 1 Detektoren
- 2 kalibrierte Länge und Volumen
- 3 Durchfluss (vom Durchflussmessgerät)
- 4 Verdränger
- 5 Dichtung
- 6 Rohrinne Durchmesser

Bild 1 — Funktionsprinzip

Sowohl am Anfang als auch am Ende des kalibrierten Abschnitts dürfen sich jeweils ein oder zwei Detektoren befinden. Diese dürfen mit Ziffern oder Buchstaben bezeichnet werden, z. B. A&B, C&D oder 1&2, 3&4.

Rohrprüfer dürfen in vier Bauartklassen eingeteilt werden, die sich auf den Verdränger und den Durchfluss durch den Prüfer beziehen. Eingeteilt wird in:

- Kugel- oder Kolbenprüfer;
- unidirektionale oder bidirektionale Prüfer.

Die weitere Betriebsklassifizierung wird durch die Beziehung zwischen dem Volumen des Prüfers und den Eigenschaften des zu prüfenden Zählers bestimmt. Diese Beziehung betrifft die Auflösung, das Innenvolumen und die mit dem Zähler verbundenen Zeitkonstanten sowie die Höchst- und Mindestwerte der erfassten Durchflussraten. Bei der Betriebsklassifizierung wird eingeteilt in:

- herkömmlich;
- reduzierte Volumina;
- kleine Volumina;
- proprietäre Prüfer für kleine Volumina.

Die Prüfer haben eine gewisse Rohr-Einfahrlänge zwischen der Startposition des Verdrängers und dem Detektor, der den Beginn eines Durchgangs anzeigt. Prüfer sollten niemals mit einer höheren als der Bemessungshöchstgeschwindigkeit und einer größeren als der Bemessungsdurchflussrate betrieben werden, weil sich die Einfahrlänge in einem solchen Fall als unzureichend erweisen kann. Bei Betrieb oberhalb der maximalen Bemessungsleistung können hydraulische Stöße beim Starten, Abbremsen und Einfangen des Verdrängers den Prüfer und seine Komponenten beschädigen.

4.2 Kugelprüfer

4.2.1 Allgemeines

Bei Kugelprüfern kommt eine hohle, aufgepumpte Elastomerkugel als Verdränger zum Einsatz. Diese Kugel wird durch Füllen mit einer Flüssigkeit aufgepumpt, die so ausgewählt wird, dass sie mit der Kugel und der Aufgabe kompatibel ist. Eine Kugel kann sich um eine Biegung herum bewegen und dennoch dicht mit der Rohrwandung abschließen. Entsprechend kann der mit dem Prüfer zu messende Rohrabchnitt (die Messstrecke) unter Verwendung und Verbindung von geraden Rohren und Bögen, die einen oder mehrere Kreisläufe bilden, zusammengesetzt werden. Auf diese Weise wird die vom Prüfer eingenommene Stellfläche auf ein Mindestmaß verringert.

Die Kugel wird nominell so gewählt, dass sie dem Innendurchmesser des Rohrs entspricht, wird dann aber geregelt auf einen Durchmesser aufgepumpt, der größer ist als der Innendurchmesser des Rohrs. Wenn die Kugel in die Strömung eingeführt wird, bewegt sie sich mit minimalem Widerstand durch das Rohr und schließt dabei dicht mit der Rohrwand ab.

Der Elastomerwerkstoff der Kugel wird so gewählt, dass er mit den Fluiden, Erzeugnissen und Temperaturen, mit denen sie verwendet werden soll, kompatibel ist.

Um den Beginn und das Ende eines Prüfdurchgangs zu signalisieren, werden mechanisch zu betätigende Detektorschalter verwendet. An jedem Ende der Messstrecke können entweder ein oder zwei Detektoren angeordnet werden. Es ist nur ein (aus zwei Detektoren bestehendes) Paar erforderlich, um ein kalibriertes Volumen eines Prüfers festzulegen; die Verwendung von zwei Detektoren an jedem Ende allerdings ermöglicht es, vier Volumina zu ermitteln. Das ist gute Praxis, weil auf diese Weise für Redundanz gesorgt und eine eventuelle Fehlfunktion des Detektors angezeigt wird.

4.2.2 Unidirektionale Kugelprüfer

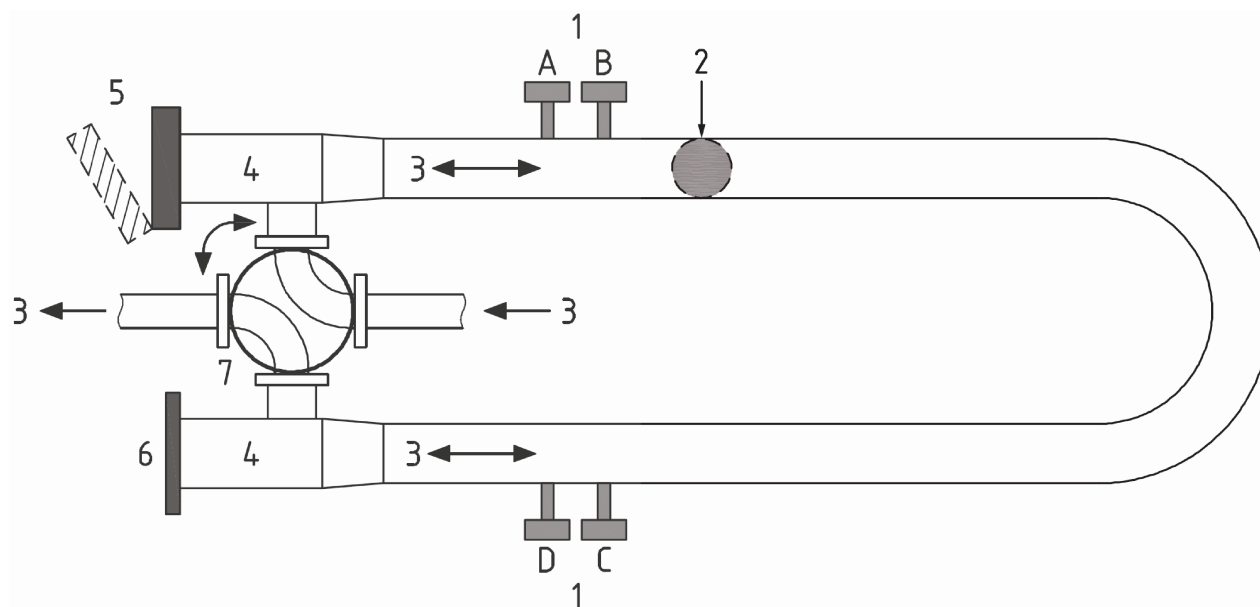
Bei einem unidirektionalen Kugelprüfer kommt als Verdränger eine Elastomerkugel zum Einsatz, die sich in nur einer Richtung durch den Rohrkreislauf bewegt. Die gebräuchlichste Form eines unidirektionalen Prüfers ist in Bild 2 schematisch dargestellt.

erfasst wird. Die Stabilität der Durchflussrate und die Verzögerungszeiten eines Durchflussmessgeräts sollten bei der Wahl der Einfahrlänge ebenfalls berücksichtigt werden.

Eine weniger verbreitete Form des unidirektionalen Prüfer-Umschaltmechanismus wird in einem Mehrkugelprüfer verwendet. Das kurze Rohrstück, das das stromaufwärts gelegene Ende des Prüfers mit dem stromabwärts gelegenen verbindet, ist für die Aufnahme von zwei oder drei Kugeln ausgelegt. Um einen Prüfdurchlauf zu initiieren, wird die vorderste der Kugeln in den fließenden Strom eingeführt, während die verbleibende(n) Kugel(n) mechanisch festgehalten wird (werden). Diese fungieren als Dichtung gegen Nebenströme. Ein Kugelumsetzmechanismus bringt die Kugel am Ende eines Durchgangs in den kurzen Halteabschnitt zurück, wo sie erneut eine Dichtung bildet. Die zweite Kugel kann nun für die nächste Messung in die Strömung eingeführt werden.

4.2.3 Bidirektionale Kugelprüfer

Bei einem bidirektionalen Kugelprüfer wird eine Elastomerkugel als Verdränger verwendet, in diesem Fall bewegt sich die Kugel jedoch auf der Prüferlänge hin und her. Es werden abwechselnd Durchgänge in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung durchgeführt, wobei ein Prüfdurchlauf aus der Summe der Volumina der Vorwärts- und Rückwärtsdurchgänge besteht, d. h. dem Volumen eines vollständigen Durchlaufs. Ein Durchlauf beginnt immer mit einem Vorwärtsdurchgang. Die gebräuchlichste Form eines bidirektionalen Prüfers ist in Bild 3 schematisch dargestellt.



Legende

- 1 Detektoren A bis D
- 2 Kugelverdränger
- 3 Durchflussrichtung
- 4 Endkammern
- 5 Ausgangskammer mit einem Verschluss, der den Zugang zur Kugel ermöglicht
- 6 Endkammer mit Flanschverschluss
- 7 Vierwege-Strömungsumkehrventil

Bild 3 — Bidirektionaler Kugelprüfer

Es wird ein Vierwegeventil verwendet, um die Umkehrung des Durchflusses durch den Prüfer zu ermöglichen, während der Durchfluss durch den Durchflussmesser kontinuierlich bestehen bleibt. Bei diesem Ventil handelt es sich in der Regel um ein proprietäres Gerät; einige kleine Prüfer verwenden jedoch vier miteinander verbundene Ventile für die Durchflussumkehr. Der Durchfluss durch den Einlass und den

Auslass des Prüfers sollte kontinuierlich sein und sich während des Betriebs des Ventils nicht wesentlich ändern.

Die Kugel ruht in einer Endkammer. Wird das Vierwegeventil betätigt, so startet die Kugel und beginnt ihre Vorwärtsbewegung, bis sie am Ende des Durchgangs aufgefangen wird. Der Durchfluss wird umgekehrt und die Kugel für einen Durchgang in der umgekehrten Richtung gestartet. Nach dem Start erreicht die Kugel ihre volle Geschwindigkeit erst, wenn die Bewegung des Ventils abgeschlossen und dieses dicht geschlossen ist. Eine als Ausgangsposition dienende Endkammer sollte als Ausgangskammer bezeichnet werden und gibt die Startrichtung eines Vorwärtsdurchgangs gefolgt von einem Rückwärtsdurchgang vom anderen Ende aus an. Diese Ausgangskammer ist in der Regel mit einem Verschluss versehen, der es ermöglicht, die Kugel zu entnehmen.

Zwischen der Endkammer und dem ersten Detektor wird eine Einfahrlänge gewählt, die der Betriebszeit des Ventils Rechnung trägt. Eine Einfahrlänge ist an beiden Enden des Zylinders erforderlich. Bei der Auslegung der Endkammer darf eine Halterung für die Kugel vorgesehen werden, die deren Start verzögert, bis sich das Vierwegeventil gedreht hat, wodurch die geforderte Einfahrlänge verkürzt wird. Die Stabilität der Durchflussrate und die Verzögerungszeiten eines Durchflussmessgeräts sollten bei der Wahl der Einfahrlänge ebenfalls berücksichtigt werden. Das Ventil oder die Rückhalte- bzw. Ausstoßzylinder sollte(n) so betrieben werden, dass sie während eines Durchgangs den Vorrat an Zwischenstück, d. h. das Volumen zwischen dem Prüfer und dem zu prüfenden Zähler, nicht verändern.

Wie beim unidirektionalen Prüfer dürfen ein oder zwei Detektoren installiert und so gekennzeichnet werden, dass sie die Enden des kalibrierten Abschnitts anzeigen. Die Kugeldetektoren A und C (V_{A-C}) sind nicht genau gleich wie beim Durchgang der Kugel zwischen Detektor C und Detektor A (V_{C-A}). Sind zwei Detektoren installiert, so dürfen nacheinander zwei Durchgangsvolumina bestimmt werden, das eine beim Durchgang in Vorwärtsrichtung, das andere beim Durchgang in Rückwärtsrichtung. Sind zwei Paare von Detektoren (also insgesamt vier Detektoren) installiert, so sind acht einzelne Durchgangsvolumina möglich. Der Vergleich dieser Ergebnisse darf als Information für Diagnosezwecke herangezogen werden.

Bei bidirektionalen Prüfern ist es übliche Praxis, als kalibriertes Volumen das eines vollständigen Durchlaufs zu definieren, d. h. als die Summe von V_{A-C} und V_{C-A} . Die Volumina dürfen als ein vollständiger Durchlauf kalibriert oder als Summe der Durchgänge in beiden Richtungen kalibriert und im Prüfbericht angegeben werden. Es werden also ein oder vier Volumina vollständiger Durchläufe durch Kalibrierung gemessen. Auch hier darf der Vergleich der Ergebnisse aus den verschiedenen Volumina als Information für Diagnosezwecke herangezogen werden.

In der Praxis ist es üblich, die Summe der für die beiden Richtungen erfassten Impulse (n_{A-C}) + (n_{C-A}) zu errechnen, um die Impulszahl für einen vollständigen Durchlauf (N) zu erhalten, die dann mit dem Volumen eines vollständigen Durchlaufs zu vergleichen ist; es dürfen jedoch auch Einzeldurchgangs-Gesamtwerte aufgezeichnet und unter bestimmten Umständen mit den Einzeldurchgangs-Volumina verglichen und als separate Messungen angegeben werden.

4.3 Kolbenprüfer

4.3.1 Allgemeines

Kolbenprüfer haben einen Kolben als Verdränger mit hochdichten Dichtungen zur Rohrwandung. Das Prüferrohr ist gerade und hat einen glatten, runden Querschnitt über die gesamte Arbeitslänge, um eine Dichtungsfläche zu bieten. Bei Kolbenprüfern ist die Innenbohrung des Rohrs in der Regel gehont und möglicherweise mit einer harten Beschichtung oder Plattierung versehen. Kolbenprüfer werden in der Regel für niederviskose oder korrosive Fluide festgelegt, bei denen eine Elastomerkugel möglicherweise eine unannehmbare Leckage oder Abnutzung aufweisen könnte.

Da mechanische Schalter die Kolbendichtungen beschädigen könnten, sollten diese sorgfältig aus- und festgelegt werden. Nichtmechanische, hochpräzise Sensoren werden bevorzugt. Dazu gehören Magnet- oder

Induktivitätsschalter, die an die Wand des Prüfers oder durch diese hindurch montiert sind, oder optische Schalter, die außen angebracht sind und durch eine mit dem Kolben verbundene Führungsstange betätigt werden, die aus einer Dichtung am Ende des Rohrabschnitts herausragt. Proprietäre Prüfer für kleine Volumina werden in der Regel als Kolbenprüfer mit externen Detektoren ausgelegt.

Kolbenprüfer haben üblicherweise Durchmesser von 50 mm (2 Zoll) bis 500 mm (18 Zoll), können aber auch größere oder kleinere Durchmesser haben.

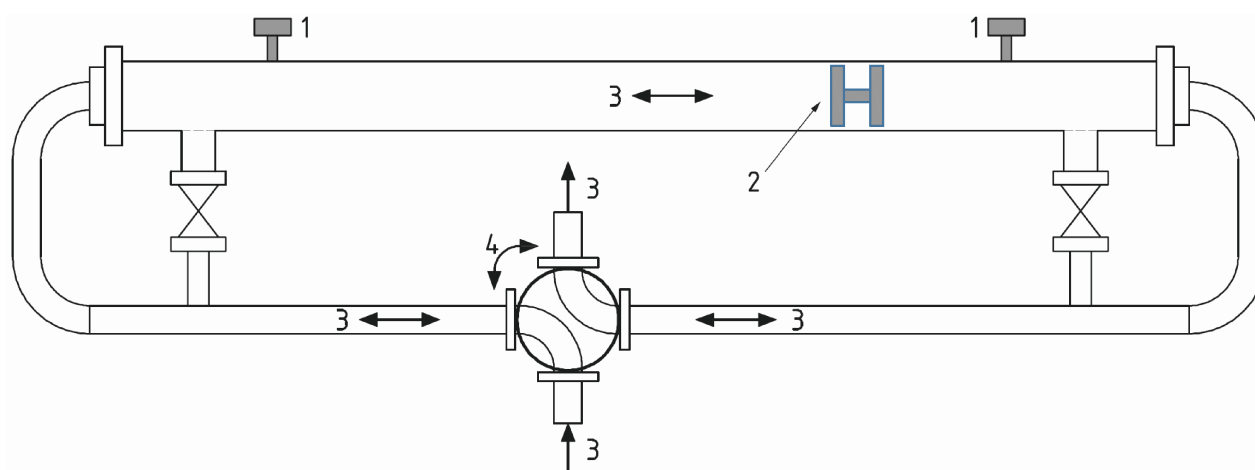
4.3.2 Unidirektionale Kolbenprüfer

Bei unidirektionalen Kolbenprüfern erfolgt die Messung in einem Durchgang in Vorwärtsrichtung, woraufhin der Kolben durch Zurückfahren seines Weges in die Ausgangsposition zurückkehrt. Es ist irgendeine, entweder mechanische oder hydraulische, Vorrichtung vorgesehen, die es ermöglicht, den Kolben in seine Ausgangsposition zurückkehren zu lassen, ohne dass dadurch der kontinuierliche Durchfluss durch das zu prüfende Durchflussmessgerät unterbrochen wird. Dies darf durch ein Ventil innerhalb des Kolbens oder durch eine externe Ventilordnung erreicht werden, die es der Strömung ermöglicht, den Prüfer während des Zurückfahrens des Kolbens zu umgehen.

Unidirektionale Prüfer werden üblicherweise nur als proprietäre Prüfer für kleine Volumina hergestellt; diese werden in Abschnitt 5.4 näher erörtert.

4.3.3 Bidirektionale Kolbenprüfer

Bei einem bidirektionalen Kolbenprüfer kann der Kolben durch Umkehrung des Durchflusses durch das Rohr hin- und herbewegt werden. Diese Durchflussumkehr wird durch ein Vierwegeventil oder vier einzelne Ventile erreicht. Auf diese Weise können Prüfdurchgänge abwechselnd in jeder Richtung durchgeführt werden, um so zu einem Prüfdurchlauf zu gelangen. Die Ventile zur Durchflussumkehr müssen so konfiguriert sein, dass der Kolben am Ende eines Durchlaufs angehalten und zurückgefahren werden kann, ohne dass es zu einer übermäßigen Stoßbelastung oder Unterbrechung des Durchflusses kommt. Da ein bidirektionaler Kolbenprüfer einen geraden kalibrierten Abschnitt hat, sind diese Prüfer in der Regel verhältnismäßig lang und nehmen eine größere Stellfläche als gleichwertige Kugelprüfer ein. Dieser Prüfertyp ist in Bild 4 schematisch dargestellt.



Legende

- 1 Detektoren
- 2 Kolbenverdränger
- 3 Durchfluss
- 4 Vierwege-Strömungsumkehrventil

Bild 4 — Bidirektionaler Kolbenprüfer

5 Betriebsklassifizierung der Prüfer

5.1 Allgemeines

Die Betriebsklassifizierung eines Prüfers beruht auf der komplexen Beziehung zwischen dem kalibrierten Volumen des Prüfers, der Auflösung des Zählerausgangssignals, dem Innenvolumen des Zählers und den Zählerzeitkonstanten.

Die Beziehung wurde erstmals betrachtet, als Turbinenradzähler mit zwei spiralförmigen Schaufeln bei der Kalibrierung mit einem herkömmlichen Prüfer keine 10 000 Impulse erzeugten, während mehrschaufelige Turbinen ähnlicher Größe und Leistung mit demselben Prüfervolumen erfolgreich geprüft wurden. Da keine 10 000 Impulse erfasst wurden, konnte das geforderte Annahmekriterium einer Diskrimination von 0,01 % nicht eingehalten werden. Es wurde jedoch davon ausgegangen, dass Zweischaufel- und Mehrschaufelzähler in der Praxis ähnliche Fehlergrenzen aufweisen. Dieses Problem wurde durch die Einführung der Impulsinterpolation angegangen, mit deren Hilfe die Auflösung des Zählerausgangs während der Prüfung wirksam erhöht wird.

Bei der Einführung von Prüfern für kleine Volumina zeigte sich, dass der begrenzende Faktor für eine zufriedenstellende Prüfung nicht nur die Auflösung des Zählerausgangs, sondern auch eine mangelhaft definierte Beziehung zwischen der internen Zählerauflösung und dem Volumen eines Prüfdurchgangs war. Bei einem Turbinenrad- oder Verdrängungszähler ist die interne Auflösung letztlich die Anzahl der Umdrehungen des Rotors, der für die Variation der Impulsintervalle und gegebenenfalls für zusätzliche Auswirkungen von externen Getrieben sorgt. Es wurde jedoch festgestellt, dass sich eine zufriedenstellende Prüfung bei Turbinenradzählern mit zwei Schaufeln in den meisten Fällen durch eine Erhöhung der Ausgangsauflösung des Zählers durch Impulsinterpolation und durch eine Erhöhung des effektiven Volumens des Prüfers durch die Bildung eines Durchschnitts aus mehreren Durchgängen erreichen lässt.

Die Einführung von elektronischen Zählern, wie z. B. Coriolis- und Ultraschallzählern, hat gezeigt, dass die interne Auflösung des Zählers sehr wichtig ist. Während die Ausgangsauflösung des Zählers durch die Zählerelektronik beliebig gewählt und erhöht werden kann, ändert dies nichts an der internen Auflösung. Die interne Auflösung eines solchen Zählers basiert auf der internen Mittelwertbildung einer großen Anzahl an Messungen mit geringer Auflösung, aus der sich genau ein Wert ergibt, der dann zur Berechnung der Ausgangsfrequenz verwendet wird. Die mit dieser Berechnung und der Aktualisierung der Ausgangsfrequenz verbundene Zeitkonstante spielt eine wichtige Rolle bei der Festlegung der internen Auflösung. Daher muss das Volumen, das für einen zur Kalibrierung dieser Zähler zu verwendenden Prüfer gewählt wird, dieser Einschränkung Rechnung tragen und darf nicht allein dadurch kompensiert werden, dass mehrere Durchgänge durchgeführt werden.

Um bei der Festlegung der Funktionsweise eines Prüfers unterstützend zu wirken, wurden in diesem Dokument drei Betriebsklassifizierungen verwendet:

- herkömmliche Prüfer;
- Prüfer für reduzierte Volumina;
- Prüfer für kleine Volumina.

Die Klassifizierung als Prüfer für kleine Volumina gilt in der Regel, aber nicht ausschließlich, für proprietäre Kolbenprüfer für kleine Volumina.

Die Klassifizierungen beziehen sich auf die Kombination aus Prüfer und zu kalibrierendem Zähler. Ein Prüfer darf als herkömmlicher Prüfer mit einem Durchflussmessgerät eines bestimmten Typs und einer bestimmten Größe oder als Prüfer für reduzierte oder kleine Volumina in Kombination mit Zählern anderer Größe, Auflösung oder einem anderen Typ betrieben werden.

5.2 Herkömmlicher Prüfer

Herkömmliche Prüfer dürfen unidirektional, bidirektional, als Kugel oder als Kolben ausgelegt sein. Sie können zur Kalibrierung jedes geeigneten Durchflussmessgerätetyps verwendet werden, sind jedoch im Allgemeinen so dimensioniert, dass sie die Prüfung von mehrschaufeligen Turbinenrad-Durchflussmessgeräten ermöglichen, bei denen in einem Durchgang ohne Signalverstärkung mindestens 10 000 Impulse erfasst werden.

Als Leitlinie empfehlen die Konstrukteure, dass das kalibrierte Volumen für einen herkömmlichen Prüfer etwa dem Volumen entsprechen sollte, das von dem größten zu verwendenden Zähler gemessen wird, und dass die Zeit für einen Durchgang bei Betrieb mit maximaler Durchflussrate mindestens 18 s, d. h. ein halbes Prozent der stündlichen Durchflussrate, betragen sollte. Dabei handelt es sich um einen in der Vergangenheit in der Praxis ermittelten Anhaltswert und nicht um einen endgültigen Wert. Deutlich kürzere Zeiten für einen Durchgang sind möglich, wenn alle konstruktiven Einschränkungen der Prüferausrüstung und der Durchflussmessgeräte berücksichtigt werden. Dazu gehören die maximal zulässige Geschwindigkeit des Verdrängers, die Konstruktion des Vierwege- oder Umschaltventils, die Einfahrlänge und die Betriebsgeschwindigkeit des Ventils.

Die Anzahl der Durchgänge, die zu einem Durchlauf zusammengefasst werden, spielt auch bei bidirektionalen Prüfern eine Rolle. Da das Volumen eines vollständigen Durchlaufs verwendet wird, was bedeutet, dass zwei Durchgänge gemittelt werden, ist eine gewisse Verringerung des Volumens gegenüber den oben stehenden Leitlinien unter Umständen möglich. Dies heißt jedoch nicht, dass das kalibrierte Volumen halbiert wird.

5.3 Prüfer für reduzierte Volumina

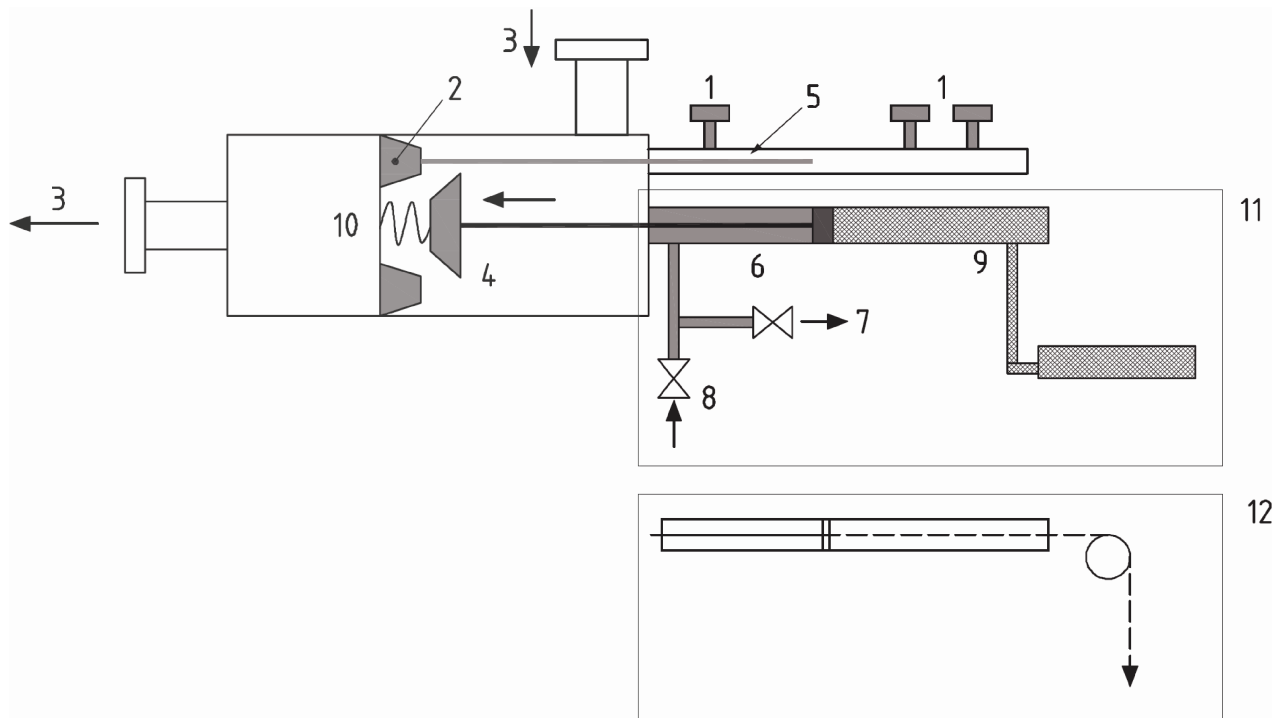
Prüfer für reduzierte Volumina werden wie herkömmliche Prüfer ausgelegt, aber dort eingesetzt, wo es erforderlich ist, die Auflösung des Zählerausgangs (Impulsauflösung) durch Impulsinterpolation zu verbessern. Prüfer für reduzierte Volumina werden für die Prüfung von Zählern mit geringer Ausgangsauflösung verwendet, z. B. Turbinenradzähler mit spiralförmigen Schaufeln. Prüfer für reduzierte Volumina dürfen auch zur Prüfung von Zählern verwendet werden, bei denen das wirksame Volumen durch Mittelwertbildung mehrerer Prüfdurchgänge erhöht werden kann, um die interne Auflösung des Zählers zu verbessern, z. B. zur Prüfung von Ultraschall- oder Coriolis-Zählern.

5.4 Prüfer für kleine Volumina (SVP, en: small volume prover)

Dabei handelt es sich um einen Prüfer, der speziell für den Betrieb als Prüfer für reduzierte Volumina für alle üblicherweise kalibrierten Zähler ausgelegt ist. Es werden zwei Arten von Prüfern für kleine Volumina unterschieden. Beide Typen arbeiten mit Impulsinterpolation und wenden statistische Auswertungen der Kalibrierungsergebnisse aus mehreren Durchgängen an, um ein berichtspflichtiges Ergebnis zu erhalten.

- a) Ein Prüfer von eher herkömmlicher Bauart, dessen Volumen jedoch deutlich kleiner ist als für die Größe, Auflösung oder Durchflussrate der zu kalibrierenden Zähler empfohlen. An der herkömmlichen Bauart werden geeignete Leistungsverbesserungen vorgenommen, um die Unsicherheit des Volumens zu verbessern, z. B. Id-Detektoren mit geringerer Unsicherheit, Reduzierung von Leckagen usw. Eine alternative Anwendung wäre ein herkömmlicher Prüfer, der eingesetzt wird, wenn eine Kalibrierung eines Zählers erforderlich ist, aber eine höhere Unsicherheit als die übliche annehmbar ist.
- b) Proprietäre Prüfer für kleine Volumina sind in der Regel unidirektionale Kolbentypen und werden komplett mit externen Präzisionsdetektoren, zugehöriger Elektronik und Steuersystemen geliefert. Sie besitzen ein kalibriertes Volumen, das etwa ein Zehntel des Volumens eines typischen herkömmlichen Prüfers für dieselbe maximale Durchflussrate beträgt. Sie verfügen über einen Zylinder mit Präzisionsbohrung, der einen Kolbenverdränger enthält, dessen Position durch nicht-mechanische Schalter mit engen Fehlergrenzen erfasst wird. SVP dieses Typs können kundenspezifisch gebaut werden, sind aber in der Regel Eigenentwicklungen und somit proprietär. In einigen Fällen wird der

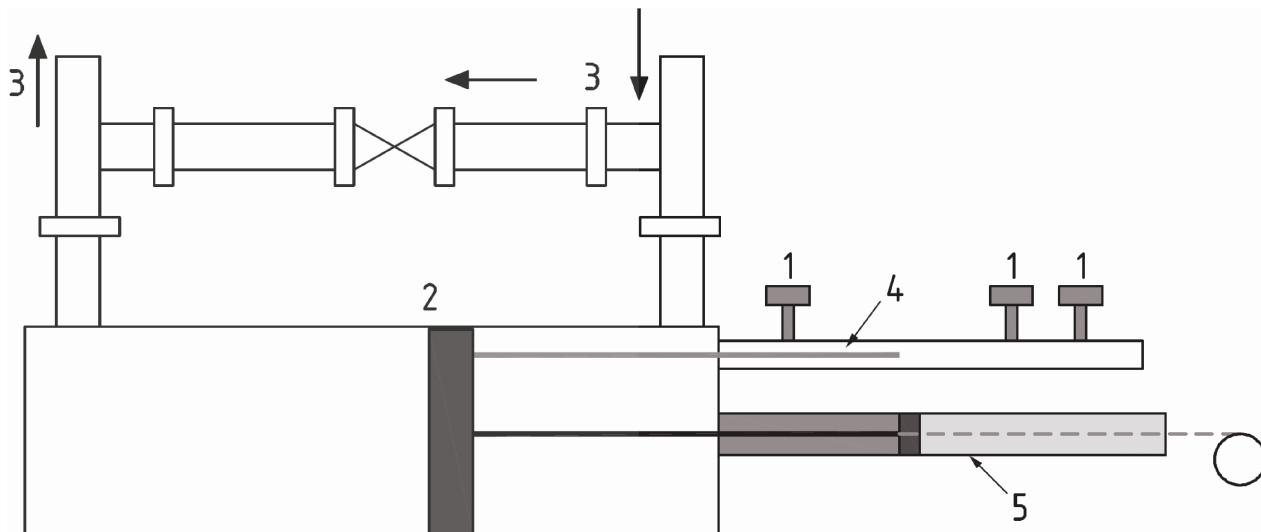
Begriff Kompaktprüfer verwendet, dabei handelt es sich aber um den Handelsnamen eines bestimmten Herstellers. Zwei Bauarten sind in Bild 5 und Bild 6 schematisch dargestellt.



Legende

- 1 Detektoren
- 2 Kolbenverdränger
- 3 Durchfluss
- 4 Sitzventil
- 5 Detektorstab
- 6 Hydraulikzylinder für die Rückführung des Kolbens
- 7 hydraulischer Durchfluss für den Start
- 8 hydraulischer Durchfluss für die Rückführung
- 9 pneumatischer Druck zur Unterstützung des Schließens des Sitzventils
- 10 Feder zum Schließen des Sitzventils
- 11 optional; hydraulisch-pneumatisches System für die Rückführung des Kolbens
- 12 optional; mechanisches (Ketten- oder Riemen-)System für die Rückführung des Kolbens

Bild 5 — Unidirektionaler Prüfer für kleine Volumina mit internem Ventil



Legende

- 1 Detektoren
- 2 Kolbenverdränger
- 3 Durchfluss
- 4 Detektorstab
- 5 Hydraulikzylinder oder mechanischer Antrieb zur Rückführung des Kolbens

Bild 6 — Unidirektionaler Prüfer für kleine Volumina mit externem Ventil

6 Auslegung

6.1 Allgemeine Erwägungen

Prüfer sollten unter Berücksichtigung der folgenden Punkte ausgelegt oder spezifiziert werden:

- a) Anforderungen bezüglich der Mobilität für die Anwendung. Dabei ist zu erwägen, ob der Prüfer mobil, transportabel oder dauerhaft an einem bestimmten Ort untergebracht sein soll;
- b) der verfügbare Platz und Gewichtsbeschränkungen im Hinblick auf das betreffende Tragwerk, die Bodenbedingungen oder den Transport;
- c) Transportmittel;
- d) Bereich der Durchflussraten und Bandbreite der zu prüfenden Durchflussmessgerätetypen;
- e) physikalische Eigenschaften der Flüssigkeiten, einschließlich der Viskosität, der Schmier- und der Korrosionseigenschaften und des Dampfdrucks. Dies sollte auch Reinigungs- und Kalibrierflüssigkeiten einschließen;
- f) Betriebsbedingungen, einschließlich des Temperaturbereichs, des Drucks und des zulässigen Druckverlusts;
- g) Anforderungen bezüglich des kontinuierlichen Durchflusses durch den Prüfer oder einer Umgehung, wenn dieser nicht in Betrieb ist;
- h) Schutz vor extremen Temperaturen, Wind, Niederschlägen usw.; d.h. die Notwendigkeit eines Schutzraums, einer Eingrabung oder Dämmung;

- i) Einordnung in die Klassen der gasexplosionsgefährdeten Bereiche;
- j) am Standort verfügbare Energie- und Versorgungseinrichtungen einschließlich Wasser für die Kalibrierung;
- k) Vorkehrungen für eine sichere Druckentlastung, Entlüftung und Ableitung von Flüssigkeiten;
- l) angemessener und sicherer Zugang zum Prüfer und seiner Umgebung;
- m) Verteiler und Anschlüsse an den (die) zu prüfenden Zähler;
- n) Ausmaß der Automatisierung und Anbindung an die übrige Messausrüstung der Anlage als Teil eines Messsystems;
- o) Platz und Zugangswege, um den Einsatz von Hebezeugen zu Wartungszwecken zu ermöglichen;
- p) Ausrüstung zur Erleichterung der Kalibrierung. Dazu gehören Zugangswege für Referenzgeräte, Mittel zum Herausziehen von Verdrängern und Anforderungen an das Arbeiten in der Höhe;
- q) Verteiler und Anschlüsse, die es ermöglichen, die Kalibrierausrüstung heranzuführen und zu installieren;
- r) die Anforderung, den Prüfer bei deutlich niedrigeren Durchflussraten als dem normalen Betriebsbereich zu kalibrieren;
- s) Lagerung von Ersatzteilen, einschließlich Schalter, Dichtungen, Kugeln, Ausrüstung zum Aufpumpen der Kugel(n) und Messgeräte.

6.2 Prüferzylinder

6.2.1 Endkammern (Start- und Ankunftsammern)

- a) Der Querschnitt der Start- oder Ankunftsammer sollte so gewählt werden, dass auch, wenn sich Verdränger darin befindet, ausreichend freie Durchflussfläche vorhanden ist, um einen unannehmbaren Druckverlust bei maximaler Durchflussrate zu vermeiden.
- b) Die Endkammern sollten an der höchsten Stelle mit Entlüftungsöffnungen versehen sein, damit Luft und Dämpfe auf sichere Weise entweichen können. Diese werden während des Befüllens und des Betriebs verwendet, um sicherzustellen, dass sämtliches Gas aus dem Prüfer entfernt wird, und ((müssen)) während der Prüfung nachweislich geschlossen und dicht sein.
- c) Die Endkammern sollten mit Abflüssen versehen sein.
- d) Die Ankunftsammern des Prüfers sollten das Abbremsen, Anhalten und Zurückhalten des Verdrängers mit einem Mindestmaß an hydraulischen oder mechanischen Stößen und ohne Beschädigung des Verdrängers durch Stöße oder Schwingungen in der Kammer ermöglichen.
- e) Die Startkammer sollte so ausgelegt sein, dass ein Verfahren für den zuverlässigen Start des Verdrängers zur Verfügung steht, mit dem sich die geforderte stabile Geschwindigkeit in möglichst kurzer Zeit erreichen und gleichzeitig hydraulische Stöße und Störungen des Durchflusses auf ein Mindestmaß verringern lassen. Dazu dürfen mechanische oder hydraulische Vorrichtungen gehören.
- f) Eine Kammer darf als Ausgangskammer bezeichnet werden, in der der Verdränger installiert und aus der er herausgeholt werden kann. Die Ausgangskammer wird mit einem klappbaren Schnellverschluss versehen, der den Zugang zum Verdränger ermöglicht. Die andere Startkammer wird üblicherweise mit

einem verschraubten Flanschverschluss verschlossen, um im Bedarfsfall einen Zugang zu ermöglichen. Bei einigen Prüfern kann der Zugang von beiden Endkammern aus erfolgen.

- g) Es sollten Vorkehrungen getroffen werden, um die Kugel in der Ausgangskammer zu halten und zu verhindern, dass sie beim Ablassen wieder in den Prüferzylinder gesaugt wird. Das ist besonders wichtig bei Prüfern mit geneigten oder vertikalen Endkammern. Derartige Vorkehrungen dürfen in Form von Ablasspunkten sowohl oberhalb als auch unterhalb des Verdrängers vorgesehen werden, wenn dieser sich in der Endkammer befindet. Der obere Abfluss legt in diesem Fall die Kugel zur Entnahme frei, bevor der übrige Teil des Prüfers entleert wird.
- h) Für beide Kammern werden Sicherheitsverriegelungen, Entlüftungsöffnungen und eine Vorrichtung zur Sicherstellung der Druckentlastung vor dem Öffnen nachdrücklich empfohlen. Dies ist besonders bei der Ausgangskammer von Bedeutung. Das Lösen eines Endkammerverschlusses, bei dem über oder unter dem Verdränger ein Restdruck verbleibt, stellt ein potenziell tödliches Sicherheitsrisiko dar.

6.2.2 Einfahrlänge

An einem Ende eines unidirektionalen Prüfers und an beiden Enden eines bidirektionalen Prüfers ist eine Einfahrlänge erforderlich. Vor dem ersten Detektor ist eine ausreichende Rohrleitungslänge notwendig, um sicherzustellen, dass:

- a) alle Ventile, die die Integrität des Prüfungsvorgangs beeinflussen können, entweder vollständig geöffnet oder dicht geschlossen sind, bevor der erste Detektor betätigt wird. Die Einfahrlänge darf verkürzt werden, indem der Verdränger durch mechanische Mittel so lange zurückgehalten wird, bis alle Ventilbewegungen vor dem Start abgeschlossen sind.
- b) Bevor der Verdränger den ersten Detektor erreicht, bewegt er sich mit konstanter Geschwindigkeit. Sobald der Verdränger gestartet wurde, verringert sich aufgrund seiner Reibung die Durchflussrate. Dies macht sich üblicherweise durch einen schnellen Abfall der Durchflussrate bemerkbar, gefolgt von einer Erholung auf eine geringfügig niedrigere Durchflussrate als vor dem Start.
- c) Das Durchflussmessgerät hat auf eine Änderung der Durchflussrate angesprochen und ist stabil, bevor der erste Detektor aktiviert wird. Während Turbinenrad- und PD-Zähler schnell ansprechen, können die Ausgangsimpulse von elektronischen Zählern der (den) Änderung(en) der Durchflussrate nacheilen.

6.2.3 Prüferrohr oder -zylinder

- a) Das kalibrierte Volumen sollte den in Abschnitt 6.4 angegebenen Empfehlungen entsprechend dimensioniert werden.
- b) Der kalibrierte Abschnitt des Prüferzylinders sollte frei von Anschlüssen wie Entlüftungen, Abflüssen und Druckentlastungsventilen sein. In den Fällen, in denen eine Entlüftung oder ein Ablass innerhalb des kalibrierten Abschnitts notwendig ist, sollte deren bzw. dessen Durchmesser so klein sein, dass sich beim Durchlaufen des Verdrängers keine Leckage bildet.
- c) Werden Verbindungen an einer beliebigen Stelle des Prüferzylinders vorgenommen, so sollte darauf geachtet werden, sicherzustellen, dass die Innenbohrung des Zylinders keine Eindrücke, scharfen Kanten oder Veränderungen der Ovalität aufgrund von Schweißspannungen aufweist.
- d) Der Zylinder wird so hergestellt, dass die Rundheit des Innendurchmessers sichergestellt ist, und so, dass Ovalität vermieden wird. Dies ist besonders wichtig bei der Auswahl oder Herstellung von Krümmern oder Bögen mit großem Radius.
- e) Bei allen kritischen Verbindungen, z. B. Entlüftungs- und Entleerungsstellen sowie für die Überprüfung der Dichtungen, sollte eine Vorrichtung zur Leckerkennung vorgesehen werden. Es sollte möglich sein,

alle Flansche oder Verbindungen zu inspizieren; dazu können abnehmbare Abschnitte der Isolierung oder Inspektionsgruben erforderlich sein.

6.2.4 Innenausführung

Je nach dem Material, den Eigenschaften der Fluide, die in den Prüfer eindringen können, den Prozessbedingungen und dem Prüfertyp darf der Prüferzylinder ausgekleidet oder nicht ausgekleidet sein. Zweck einer solchen Auskleidung ist:

- a) die Abdichtung zwischen dem Verdränger und der Rohrwand zu verbessern, wodurch die Leckage von Flüssigkeit stromabwärts des Verdrängers auf ein Mindestmaß verringert wird;
- b) die Reibung zwischen dem Verdränger und der Rohrwand zu verringern;
- c) eine Oberfläche bereitzustellen, die korrosions-, abrieb- und erosionsbeständig gegen die zu verwendenden Fluide und den Verdrängerkontakt ist.

Zu den zu berücksichtigenden Fluiden gehören die Betriebs- und Kalibrierflüssigkeiten, Reinigungsflüssigkeiten und im leeren Zustand auch die Atmosphäre. Potenzielle Änderungen der Betriebsbedingungen für den künftigen Betrieb sollten berücksichtigt werden.

Nicht ausgekleidete Prüfer werden üblicherweise aus rostfreiem Stahl gefertigt, und die Bohrung wird maschinell bearbeitet, so dass sich eine glatte Oberfläche ergibt. Kolbenprüfer dürfen durch Honen weiter maschinell bearbeitet werden.

Auskleidungen werden in der Regel auf Kohlenstoffstahlrohre aufgebracht und bestehen in der Regel aus einem Epoxid- oder Phenolharzwerkstoff. Alternativ, und zwar besonders im Falle von Kolbenprüfern, darf die Auskleidung auch aus einer Chrom- oder Nickelbeschichtung bestehen. Die meisten Kolbenprüfer für kleine Volumina haben eine Auskleidung aus Hartmetall (Chrom).

Bei der Auswahl nichtmetallischer Auskleidungen sollte umsichtig vorgegangen werden, weil nicht alle gegen aromatische Kohlenwasserstoffe beständig sind und einige bei erhöhten Temperaturen thermoplastisch werden (erweichen und ihre Dicke verändern) können.

6.3 Kolbenprüfer für kleine Volumina

Bei proprietären Kolbenprüfern für kleine Volumina (SVP) läuft der Kolben in einem maschinell präzise bearbeiteten Zylinder oder Rohr. Zwei Ausführungen sind in Bild 5 und Bild 6 dargestellt. Die Bewegung des Kolbens und damit die Anordnung der Detektoren und die Messung des Volumens erfolgt über eine mit dem Kolben verbundene Messführungsstange, die an einem Ende des Zylinders herausragt. Bei den meisten Bauarten befindet sich diese Stange auf der stromaufwärts gelegenen Seite des Prüfers. An der Messstange sind Markerfähnchen angebracht, um Detektoren zu aktivieren, die die Position des Kolbens anzeigen und die Messung auslösen. In der Regel werden optische Detektoren verwendet, es können jedoch auch andere Präzisionsdetektoren, wie z. B. Näherungsschalter, verwendet werden. Zur Überwachung der Position des Verdrängers können potentiell lineare Differentialwegmessgeber (LVDT) verwendet werden. Die meisten Bauarten verfügen über drei fest installierte Detektoren, von denen einer anzeigt, dass sich der Kolben in der stromaufwärts gelegenen Position befindet, während der zweite und der dritte die Messdetektoren sind und der dritte auch das Steuersignal liefert, um das Ende eines Durchgangs zu erkennen und die Rückführung des Kolbens auszulösen.

Die Anbringung der Detektoren außerhalb des Zylinders ermöglicht es, elektronische Präzisionsdetektoren zu verwenden. Die externe Stangen- und Detektorbaugruppe sollte eingehaust werden, um sie vor mechanischen Einflüssen zu schützen und die Stabilität sicherzustellen. Das entsprechende Gehäuse sollte auch Schutz vor Umwelteinflüssen bieten. Bei einigen Bauarten wird das Gehäuse mit Trockengas gespült, um die Temperatur zu regeln und Kondensation oder Vereisung zu verhindern. Bei einigen Gehäusen kann es notwendig sein, dieses zu entfernen, um die Bewegung der Detektoren und den Zugang zu ihnen während

der Kalibrierung beobachten zu können. Es darf in Betracht gezogen werden, ein dauerhaft oder vorübergehend transparentes Gehäuse zu verwenden.

Der Abstand zwischen den Detektoren und damit das Volumen des Prüfers wird von der Umgebungstemperatur und nicht von der Temperatur des Fluids im Prüfer beeinflusst. Dies hängt von den Materialien ab, die zur Positionierung der Detektoren verwendet werden. Bei einigen Bauarten werden die Detektoren durch Materialien mit niedrigem Ausdehnungskoeffizienten, wie z. B. Invar, separiert, um diesen Effekt zu verringern. Sind die Detektoren außen angebracht, so ist es erforderlich, die Temperatur der externen Baugruppe zu messen. Die Korrektur des Volumens auf Normbedingungen wird aus der linearen Ausdehnung der zur Detektorbefestigung gehörenden Materialien in Kombination mit der Flächenkorrektur des Prüferzylinders abgeleitet.

Alle zur Zeit gebräuchlichen Bauarten von proprietären Kolbenprüfern für kleine Volumina sind unidirektional. Der Durchfluss wird am Ende eines Durchgangs durch Öffnen eines außen angeordneten Bypass-Ventils oder durch Öffnen eines konzentrischen Sitzventils in der Kolbenbaugruppe fortgesetzt, wobei Letzteres der am häufigsten angewendete Ansatz ist. Eine mit dem Sitzventil und dem Kolben verbundene Führungs- und Betätigungsstange wird durch das Ende des Prüfers geführt, wo ein Mechanismus das Ventil öffnet und den Durchfluss durch den Kolben ermöglicht oder das Ventil schließt und auf diese Weise den Verdränger startet. Dieser Mechanismus zieht auch den Kolben in eine stromaufwärts gelegene Position zurück.

Die Mechanismen zur Steuerung des Kolbens und zum Zurückziehen des Kolbens in die Startposition dürfen ihrem Wesen nach mechanisch (mit Hilfe eines Motors ketten- oder riemengetrieben) oder hydraulisch sein. Bei einem hydraulischen Mechanismus wird die eine Seite eines Hydraulikzylinders mit einem Hydraulikdruck beaufschlagt, der das Sitzventil öffnet und den Kolben in die Startposition zieht. Die stromaufwärts gelegene Seite dieses Hydraulikzylinders darf mit einem pneumatischen Druck beaufschlagt werden, um eine positive Kraft aufzubringen, die das Sitzventil schließt und nach dem Start geschlossen hält. Diese Kraft darf so eingestellt werden, dass sie auch den Reibungswiderstand des Kolbens überwindet und somit die Minderung der Durchflussrate beim Starten des Kolbens verringert. Die Auswirkung dessen lässt sich daran erkennen, wie stark die Durchflussrate beim Starten des Kolbens ansteigen oder abfallen kann, und hängt vom aufgebrachtten Druck ab. Diese Kraft darf so eingestellt werden, dass der Druckverlust über den Kolben verringert und gleichzeitig sichergestellt wird, dass das Schließen des internen Ventils nicht behindert wird.

Einige Bauarten können mit einer Führungsstange ausgerüstet sein, die an der anderen Seite des Kolbens herausragt und als Führung und zur Stabilisierung der Bewegung dient.

Das gegebenenfalls von den Führungsstangen eingenommene Volumen verändert das Volumen innerhalb des kalibrierten Abschnitts, so dass die vor und hinter dem Kolben verdrängten Volumina unterschiedlich sind. Es wurden einige Bauarten vorgeschlagen, bei denen eine oder mehrere stromaufwärts und stromabwärts angeordnete Stange(n) das gleiche Volumen verdrängt (verdrängen), wodurch dieser Unterschied verringert wird.

Das Vorhandensein von Stangen sowie der Betrieb und die Verschiebung des Sitzventils und der Dichtungen führen zu unterschiedlichen Volumina stromaufwärts und stromabwärts. Aus diesem Grund werden SVPs in der Regel stromaufwärts des zu prüfenden Durchflussmessgeräts installiert, wodurch das Volumen stromabwärts des Kolbens genutzt wird.

Die Bestimmung des stromaufwärts befindlichen Volumens ist schwierig und erfordert ein hohes Maß an Geschick und die Umsetzung detaillierter Verfahrensweisen. In diesem Fall müsste eine Flüssigkeit (Wasser) aus einem volumetrischen Maß in den Auslass des Prüfers geleitet werden, und dies würde keinen ausreichenden Druck für den Antrieb des Verdrängers liefern. Wenn das interne Ventil geschlossen gehalten und eine Rücklaufsequenz eingeleitet werden kann, während der Einlass mit Druck beaufschlagt wird, könnte das betreffende Fluid alternativ aus dem stromaufwärts gelegenen Einlass des Prüfers zum Referenzmaß hin verdrängt werden. In diesem Szenario müssen die Detektoren von derselben Kante aus ausgelöst werden, die auch bei der Vorwärtsbewegung des Kolbens verwendet würde. Es muss auch

sichergestellt werden, dass die Ventildichtungen die gleiche Kompression und Verdrängung wie bei einem normalen Vorwärtshub annehmen.

Das stromaufwärts befindliche Volumen darf auch aus der Messung des Durchmessers der externen Stange(n) und des Abstands zwischen den Detektoren abgeleitet werden. Die sich daraus ergebenden Volumina der Führungsstangen können vom kalibrierten Volumen subtrahiert werden. Das Volumen der Stangen sollte um die volumetrische Wärmeausdehnung des Stahls sowohl im Durchmesser als auch in der Länge in Abhängigkeit von der Fluidtemperatur berichtigt werden. Dies kommt zur Wärmeausdehnung des äußeren Abstands zwischen den Detektoren noch hinzu.

Da das Hauptzähler-Kalibrierverfahren keine angemessene Unsicherheit bietet, wie sie üblicherweise gefordert wird, sollte ein SVP kalibriert und durch Wasserentnahme entweder gravimetrisch oder unter Verwendung eines speziellen volumetrischen Maßes geprüft werden, das so ausgelegt ist, dass es auf das Volumen des Prüfers abgestimmt ist.

Es sollte eine Verfahrensweise zur Prüfung des internen Ventils auf Dichtheit vorbereitet und befolgt werden. Bei dieser Prüfung handelt es sich üblicherweise um eine statische Prüfung. Die Beobachtung der Prüfergebnisse ist besonders wichtig, um sicherzustellen, dass jedes Anzeichen einer Leckage des internen Ventils während des Betriebs erkannt wird. Ein Verfahren für die dynamische Leckerkennung während der Kalibrierung des SVP besteht darin, Kalibrierungen bei unterschiedlichen Durchflussraten vorzunehmen. Leckagen wurden während des Betriebs beobachtet, aber bei der statischen Prüfung nicht entdeckt, besonders wenn Fluide mit höherer Viskosität dem Schließen des internen Ventils einen höheren Widerstand entgegensetzen.

Um ein mobiles Kalibriersystem bereitzustellen, darf ein SVP über ein geeignetes, als Hauptzähler fest am Auslass des Prüfers installiertes Durchflussmessgerät verfügen. Diese Kombination darf zur Kalibrierung von betriebsbereiten Durchflussmessgeräten oder großen Rohrprüfern verwendet werden. Der Zähler wird in der Regel stromabwärts vom SVP und innerhalb der Ummantelung der SVP-Einheit installiert. Dies kann zu signifikanten Durchflussstörungen stromaufwärts des Zählers führen. Dieser Effekt wird durch den Einbau eines Strömungsgleichrichters auf ein Mindestmaß verringert, mit dessen Hilfe die Auswirkungen der Installation verringert werden; die verbleibenden systematischen Abweichungen sollten unbedeutend sein, weil der Zähler vor Ort kalibriert und genutzt wird.

6.4 Dimensionierung der Prüfer

6.4.1 Allgemeines

Die Größe des Prüfers hängt von seinem vorgesehenen Verwendungszweck und seinem Typ nach der in Abschnitt 4 und Abschnitt 5 angegebenen Klassifizierung ab. Die Größe wird durch die folgenden Faktoren bestimmt:

- a) die Ausgangsauflösung der zu prüfenden Zähler (Mindestanzahl an Impulsen je Volumeneinheit, die von den zu prüfenden Zählern erzeugt werden);
- b) die interne Auflösung der zu prüfenden Zähler (Anzahl der Umdrehungen eines mechanischen Zählers oder die internen Mittelungszeiten eines elektronischen Zählers);
- c) Höchstwert und Mindestwert der für den Prüfer und die zu prüfenden Zähler vorgesehenen Durchflussrate;
- d) die lineare Auflösung der Verdrängerdetektoren;
- e) den maximal zulässigen Druckverlust;
- f) die Höchst- und Mindestgeschwindigkeit des Verdrängers;

- g) die Viskosität und den Dampfdruck des Fluids;
- h) den Betriebszeitpunkt des Vierwegeventils in einem bidirektionalen Prüfer oder des Umschaltventils eines unidirektionalen Prüfers zur Bestimmung der erforderlichen Einfahrlänge.

Diese Faktoren haben Einfluss auf die Auslegungsparameter des Prüfers; weitere Leitlinien finden sich in Anhang B.

6.4.2 Kalibriertes Volumen

Einer der Faktoren, die Einfluss auf die Wahl des kalibrierten Volumens haben, ist die Diskrimination des Impulzzählsystems des Zählers. Die Diskrimination eines digitalen Zählers (en: counter) ist gleich eins. Ein Zähler (en: counter) kann nur eine ganzzahlige Anzahl an Impulsen anzeigen, weshalb die Gesamtzahl der Impulse eine zufällige Unsicherheit von ± 1 Impuls aufweist. Es ist daher erforderlich, die Unsicherheit von ± 1 Impuls auf einen Wert zu begrenzen, der für die Anwendung als unbedeutend angesehen werden kann. Um eine Unsicherheit von $\pm 0,01\%$ zu erreichen, ist es notwendig, während eines Prüfdurchgangs mindestens 10 000 Impulse zu erfassen. Gleichung (1) stellt den Grad der Unsicherheit wie folgt dar:

$$u_r = 1/n \quad (1)$$

Dabei ist

u_r die durch die Auflösung der Impulzzählung bedingte Unsicherheit, die sich allein aus dieser Quelle ergibt und gemeinhin als Diskriminationsabweichung bezeichnet wird;

n die Anzahl der während eines Prüfdurchgangs erfassten Impulse.

Das Mindestvolumen zwischen den Detektoren wird mit Gleichung (2) wie folgt bestimmt:

$$V_{min} = 1/(u_r \cdot K_{min}) \quad (2)$$

Dabei ist

V_{min} das Mindestvolumen zwischen den Prüferdetektoren;

K_{min} der Mindestwert des K -Faktors (Anzahl der Zählungen je Volumeneinheit) eines beliebigen zu prüfenden Zählers.

Daraus folgt, dass das erforderliche Prüfervolumen im Verhältnis zur Ausgangsauflösung der Zähler durch Erhöhung der Impulserzeugungsrate der Zähler verringert werden kann. Es können elektronische Mittel zur Impulsinterpolation eingesetzt werden, und diese sind in Abschnitt 8 beschrieben.

Der Erhöhung der Ausgangsauflösung durch elektronische oder mechanische Mittel sind Grenzen gesetzt. Die interne Auflösung des Zählers und die Stabilität der Ausgangsfrequenz müssen ebenso berücksichtigt werden wie die Mindestanzahl der Umdrehungen des Zählers oder die interne Mittelwertbildung und Zeitkonstante eines elektronisch basierten Zählers.

6.4.3 Abstand zwischen den Detektoren

Die Auflösung der Prüferdetektoren in Bezug auf den Abstand ist ein zweites Auslegungskriterium. Die Länge des kalibrierten Abschnitts hängt von der Auflösung r_d der Detektoren ab. Dabei handelt es sich um die Auflösung des linearen Abstandes des Detektors, wenn dieser durch den Verdränger (oder das außen angebrachte Markerfännchen) aktiviert wird. Die Beziehung zwischen der Mindestlänge L und r_d ergibt sich, wie in Bild 7 dargestellt:

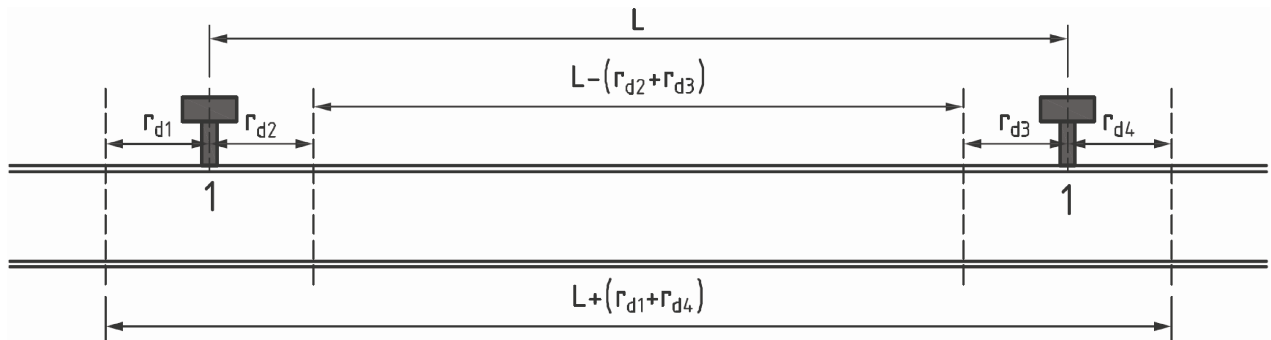


Bild 7 — Abstand zwischen den Detektoren

Es wird darauf hingewiesen, dass r_d üblicherweise als ein einziger Wert betrachtet werden darf, Bild 7 zeigt jedoch die Möglichkeit, dass es sich dabei für jeden Detektor und für eine bestimmte Bewegungsrichtung des Verdrängers um jeweils einen anderen Wert handeln kann.

Aus diesem Diagramm geht hervor, dass der maximal mögliche Längenunterschied aufgrund der Auflösung der Detektoren gleich $4r_d$ ist. Um ein Annahmekriterium der Wiederholpräzision von 0,02 % zu erfüllen, ergibt sich der Mindestabstand zwischen den Detektoren für einen Bereich daher wie folgt:

$$L_{min} = 4r_d / (0,02/100) = 20\,000\,r_d \quad (3)$$

Der Wert von r_d für jeden einzelnen Detektor sollte vom Hersteller bezogen werden. Es wird darauf hingewiesen, dass handelsübliche Detektoren der Bauart mit mechanischem Kolben eine Auflösung von 1 mm bis 5 mm in jeder beliebigen Richtung haben können. Die Auflösung könnte eine Kombination aus Eintauchtiefe und -form, vertikaler Bewegung und der Auflösung des elektrischen Schalters sein. Externe optische Schalter an einem Prüfer für kleine Volumina haben eine Auflösung von 0,1 mm bis 0,001 mm.

ANMERKUNG Das oben stehende vereinfachte Verfahren ergibt einen Worst-Case-Wert für L_{min} . Wenn die wahrscheinliche Abstandsänderung statistisch angegeben wird, basiert die Wiederholpräzision des Prüfers nicht auf der arithmetischen Summe der Detektorauflösung, sondern auf der Anwendung des Verfahrens der Berechnung des quadratischen Mittelwerts.

6.4.4 Durchmesser und Geschwindigkeit

Nach der Ableitung des Auslegungsvolumens und der Mindestlänge wird der Prüferdurchmesser D wie folgt berechnet:

$$D = \sqrt{4V/\pi L} \quad (4)$$

Der berechnete Durchmesser sollte auf die nächste Normrohrgröße aufgerundet werden.

Anhand des geschätzten Volumens und Durchmessers wird nun die Verdrängergeschwindigkeit betrachtet, um den erforderlichen Durchflussratenbereich zu bestimmen. Die mit den Mindest- und Höchstwerten der Durchflussraten verbundenen Geschwindigkeiten sollten eine gleichmäßige Bewegung des Verdrängers ohne Ruckeln oder Leckagen ermöglichen und werden in Abschnitt 6.6 näher erläutert.

6.4.5 Druckverlust

Der Prüfer stellt eine Quelle für Druckverluste im System dar und sollte bei der Gesamtauslegung des Zählersystems berücksichtigt werden. Für den maximal zulässigen Druckverlust im Prüfer dürfen Beschränkungen festgelegt werden, die zusätzlich zu den in den Abschnitten 6.1 bis 6.3 ausgeführten Parametern Einfluss auf die Dimensionierungsberechnungen haben können.

Der Druckverlust kann nach Normverfahren berechnet werden, wobei der Durchmesser und die Länge der Rohre, die Durchmesser und die Längen der Anschlussrohre zu berücksichtigen sind und auch Bögen und Verbindungen Rechnung getragen werden muss. Der Druckverlust durch Endkammern und Ventile kann ebenfalls signifikant sein. Bei der Berechnung dieses anfänglichen Druckverlustes sollte der durch die Reibung des Verdrängers bedingte Verlust geschätzt und zu den hydraulischen Verlusten addiert werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass der Druckverlust während eines Durchgangs erheblich größer sein kann.

6.5 Verdränger

6.5.1 Allgemeines

Der Prüferverdränger ist so ausgelegt, dass:

- a) keine Flüssigkeit am Verdränger vorbei austritt, wenn dieser den kalibrierten Abschnitt durchläuft;
- b) die Reibung zwischen dem Verdränger und der Bohrung so gering ist, dass ein gleichmäßiger, ruckelfreier Lauf über den gesamten Durchflussratenbereich und bei den mit der Kalibrierung verbundenen viel geringeren Geschwindigkeiten sichergestellt ist. Die Reibung sollte so gering sein, dass Verschleiß oder Beschädigung des Verdrängers, der Dichtungen und der Rohrbohrung vermieden werden.
- c) Der Verdränger und die Dichtungen sollten mit den zu messenden Fluiden und dem Betriebstemperaturbereich kompatibel sein. Am häufigsten werden Polyurethan-, Neopren-, Nitril- oder Kautschuk-Fluorpolymer-Werkstoffe verwendet. Es dürfen auch andere Werkstoffe verwendet werden, sofern sie nachweislich für die Betriebsanforderungen geeignet sind. Viele Werkstoffe auf Kautschukbasis können bei Einwirkung von leichten Kohlenwasserstoffen aufquellen, was zu einem Festfahren des Verdrängers im Prüferzylinder führen kann.
- d) Auslegung und Werkstoffe sollten keine Abnutzung, Beschädigung oder Riefung der Prüferauskleidung verursachen. Bei Kolben sollte das Risiko einer Beschädigung der Prüferauskleidung im Falle eines Versagens der Kolbendichtung berücksichtigt werden.

6.5.2 Kugeln

Prüferkugeln werden in der Regel aus einem ölbeständigen Elastomer hergestellt, wobei Polyurethan das am häufigsten verwendete ist. Nitril-, Neopren- und Kautschuk-Fluorpolymer-Werkstoffe werden ebenfalls verwendet, wobei der Werkstoff dem Fluid entsprechend gewählt wird. Es werden Kugeln mit unterschiedlicher Werkstoffverträglichkeit und Shore-Härte (Durometer) angeboten werden, die der Viskosität des Fluids, der Schmierfähigkeit und der Wandreibung entsprechend zu wählen sind. Einige Werkstoffe verfügen über reibungsmindernde Zusätze in der Mischung, um den Verschleiß zu verringern.

Bei den Kugeln handelt es sich entweder um einteilige Formteile oder sie werden aus zwei mit einer Naht verbundenen Hälften hergestellt. Sie können massiv sein, sind aber fast immer hohl, wobei der Hohlraum üblicherweise mit Flüssigkeit gefüllt und druckbeaufschlagt wird. Das ermöglicht es, die Kugel geregelt auf einen Durchmesser aufzupumpen, der größer ist als der Innendurchmesser des Prüferrohrs.

Die Kugeln werden üblicherweise mit Hilfe einer Handpumpe und einer geeigneten Flüssigkeit aufgepumpt. Während des Aufpumpens sollte die gesamte Luft aus dem Inneren der Kugel entfernt werden. Als Flüssigkeit wird in der Regel Wasser gewählt, wobei in Fällen, in denen die Betriebstemperatur unter den Gefrierpunkt sinken kann, üblicherweise ein Wasser-Glykol-Gemisch verwendet wird.

Der Grad des Aufpumpens wird vom Hersteller des Prüfers empfohlen und darf dem für den Einsatz oder die Kalibrierung geltenden Bedarf entsprechend angepasst werden. Sowohl der aufgepumpte als auch der nicht aufgepumpte Durchmesser sollten aufgezeichnet und auf dem Kalibrierschein des Prüfers angegeben werden. Der Durchmesser der aufgepumpten Kugel liegt in der Regel zwischen 2 % und 4 % über dem

Innendurchmesser des Prüfers und wird dem Prüfer, dem Kugelmateriale und dem Fluid entsprechend gewählt. Bei größeren Prüfern kann ein Aufpumpen der Kugel um mehr als 5 % erforderlich sein.

Ersatzkugeln sollten nach Möglichkeit nicht aufgepumpt an einem kühlen, dunklen Ort gelagert werden. Sie sollten so gelagert werden, dass sie vollständig aufliegen und sich keine flache Oberfläche bildet. In der Regel werden Netze und Sandbetten verwendet, die mit einem Schutz versehen sind, um zu verhindern, dass das Netz oder der Sand die Oberfläche beschädigt oder in sie eindringt. Da sich die Qualität eines Elastomers mit der Zeit und den Lagerungsbedingungen verschlechtern kann, sollten das Herstellungs- und gegebenenfalls ein Haltbarkeitsdatum dokumentiert werden.

Die richtige Aufpumpausrüstung sollte für die Verwendung mit dem Prüfer zur Verfügung gestellt und aufbewahrt werden. Da die Kugeln schwierig zu handhaben sind und in größeren Größen auch sehr schwer sein können, sollte ein Spezialwerkzeug zum Herausziehen und Handhaben der Kugel zur Verfügung stehen.

Es sollte eine Möglichkeit zur Überprüfung des Durchmessers der Kugel zur Verfügung stehen. Das bevorzugte Verfahren hierfür ist die Verwendung eines kalibrierten Stahlmaßbandes. Der Durchmesser wird anhand des gemessenen Umfangs berechnet. Bei allen Durchmessermessungen wird das Maßband vertikal ausgerichtet. Dazu wird das Band um den gewählten Äquator der Kugel gelegt und die Kugel gedreht, bis das Band senkrecht steht, und dann festgezogen. Die Auflagefläche für die Kugel sollte sorgfältig gewählt werden, um sicherzustellen, dass die Kugel und das Band während des Messvorgangs nicht beschädigt werden. Es wird darauf hingewiesen, dass sich sehr große Kugeln unter ihrem eigenen Gewicht verformen können und dass die bei der Messung anzuwendenden Verfahrensweisen und Verfahren dem Rechnung tragen sollten.

Die Kugel wird mehrmals über eine gewisse Anzahl verschiedener Durchmesser gemessen, um eine eventuelle Ovalität der Kugel festzustellen. Sobald Durchmesser und Ovalität als zufriedenstellend ermittelt wurden, wird der kleinste der gemessenen Durchmesser als endgültiger Durchmesser protokolliert und dann im Prüfbericht angegeben.

Messschieber und Durchmesserringe können verwendet werden, um nachzuweisen, dass die Kugel nicht oval ist, und um einen groben Anhaltspunkt für die Bestätigung der Kugelgröße zu liefern.

Die Kugel sollte auf Ausbuchtungen, Abflachungen oder Oberflächenfehler untersucht werden, die sich nicht erkennen lassen, wenn nur der Durchmesser gemessen wird.

Bei der anfänglichen Größenbestimmung oder Inspektion einer Kugel ist es gute Praxis, die Kugel bis zu einem gewissen Übermaß aufzupumpen, um zu überprüfen, ob Fluid aus dem Aufpumpventil (Schrader-Ventil), der Naht oder dem Körper austritt. Danach kann die Kugel durch Ablassen von Wasser aus dem Ventil auf die für den aufgepumpten Zustand vorgesehene Größe verkleinert werden. Die Kugel wird mit dem Ventil in einer vertikalen Position gehalten, um auf diese Weise sicherzustellen, dass sie keine Luft mehr enthält.

Bei der Bestellung einer neuen Kugel oder einer Ersatzkugel sollten dem Hersteller sowohl der Innendurchmesser des Prüfers als auch die erforderliche Aufpumpgröße (bzw. die prozentuale Übergröße) mitgeteilt werden, damit er eine Kugel mit der optimalen Größe liefern kann, die auf das Fluid und die entsprechenden Bedingungen abgestimmt ist, um die Werkstoffverträglichkeit sicherzustellen.

6.5.3 Kolben

- a) Die Auslegung sollte so erfolgen, dass die Dichtungsintegrität während des gesamten Prüfbetriebs bei allen Geschwindigkeiten und Durchflussbedingungen gegeben ist. Diese Anforderung gilt für die Kolbendurchmesserdichtungen und alle Dichtungen in internen Ventilen und Armaturen.
- b) Die Länge und die Auflageflächen des Kolbens sollten einen ruhigen, ruckelfreien Lauf sicherstellen, wobei die Stirnfläche des Kolbens im rechten Winkel zur Laufrichtung gehalten wird. Die Verwendung von Gleit- und Abstreifringen kann dies erleichtern.

- c) Die Auslegung sollte die Unversehrtheit bei der kontrollierten Beschleunigung, Abbremsung und im Ruhezustand sicherstellen.

6.6 Verdrängergeschwindigkeit

6.6.1 Allgemeines

Der Hersteller sollte den innerhalb des Prüfers geltenden Geschwindigkeitsbereich festlegen. Dieser kann für verschiedene Fluide und die gewählten Verdrängerwerkstoffe variieren. Die nachstehenden Angaben dienen nur als Leitlinien und können von einem in Betrieb befindlichen Prüfer erheblich abweichen. Es sollte überprüft werden, ob die folgenden Kriterien über den Betriebsdurchflussbereich eingehalten werden.

6.6.2 Mindestgeschwindigkeit

- a) Die Mindestgeschwindigkeit wird so gewählt, dass eine gleichmäßige Bewegung des Verdrängers sichergestellt ist, und ist besonders kritisch bei stark komprimierbaren Fluiden oder solchen mit schlechten Schmiereigenschaften.
- b) Die Mindestgeschwindigkeit sollte das Ansprechen des Detektors nicht beeinträchtigen.
- c) Bei minimalen Durchflussraten sollte die für einen Durchgang benötigte Zeit nicht zu lang sein, aber dennoch die für die Kalibrierung verwendeten Geschwindigkeiten sowie die geringsten Betriebsdurchflussraten umfassen.
- d) Es wird allgemein anerkannt, dass bei herkömmlichen Kugelprüfern eine Mindestbetriebsgeschwindigkeit von etwa 0,15 m/s (0,5 ft/s) erreicht werden kann, vorausgesetzt, die Fluide haben schmierende Eigenschaften.

6.6.3 Höchstgeschwindigkeit

- a) Die Höchstgeschwindigkeit sollte unter dem Wert liegen, der einen hydraulischen Schock oder eine Beschädigung des Verdrängers oder der Erfassungsgeräte zur Folge hätte. Das ist besonders bei größeren Prüfern von Bedeutung, bei denen die Trägheit eines Verdrängers signifikant ist. Auch die Trägheit der fließenden Flüssigkeit ist signifikant, wenn sie in einem bidirektionalen Prüfer zum Stillstand gebracht und dann in entgegengesetzter Richtung strömen gelassen werden muss.
- b) Die Höchstgeschwindigkeit sollte sowohl der mechanischen als auch der elektronischen Betriebsgeschwindigkeit der Detektoren und den Ansprechzeiten der Detektoren im Verhältnis zur kalibrierten Länge des Prüfers Rechnung tragen. Die Möglichkeit eines Prellens des Detektorschalters aufgrund von Lärm, Stößen oder Druckwellenübertragung sollte berücksichtigt werden.
- c) Bei Höchstgeschwindigkeit sollte es, besonders in Kurven, wo die Reibungskräfte am größten sein können, keine erkennbaren Leckagen geben.
- d) Die Höchstgeschwindigkeit wird so gewählt, dass der Betriebszeit des Strömungsumkehr- oder Umschaltventils und der für den Prüfer und die zugehörigen Durchflussmessgeräte gewählten Einfahrlänge Rechnung getragen wird.
- e) Berücksichtigung der volumetrischen Durchflussrate und des möglichen Druckverlusts oder des Einsetzens von Kavitation/Kondensationsschlägen im Zusammenhang mit dem Prüfsystem.
- f) Es wird darauf hingewiesen, dass einige Normen für herkömmliche unidirektionale Kugelprüfer eine Höchstgeschwindigkeit von 3 m/s (10 ft/s) empfehlen. Dieser Zahlenwert wurde aufgrund von Erfahrungen und unter Berücksichtigung der üblicherweise im Bauwesen verwendeten Ausrüstung abgeleitet und sollte weniger als eine Regel, sondern als Leitlinie angesehen werden. Für herkömmliche bidirektionale Kugelprüfer wurde eine Höchstgeschwindigkeit zwischen 1,5 m/s (5 ft/s) und 2,5 m/s

(8 ft/s) empfohlen, um der Trägheit des Fluids beim Richtungswechsel und dem Betrieb des Vierwegeventils Rechnung zu tragen. Für herkömmliche Kolbenprüfer wird eine weiter reduzierte Geschwindigkeit zwischen 1 m/s und 1,5 m/s empfohlen, um der Trägheit des Anhaltens eines festen Kolbens am Ende eines Durchgangs Rechnung zu tragen. Proprietäre Kolbenprüfer für kleine Volumina dürfen signifikant höhere Geschwindigkeiten aufweisen, die vom Hersteller festgelegt werden.

6.7 Detektoren

Die Auflösung der Detektoren wirkt sich direkt auf die Größe des Prüfers aus.

Die Detektoren sollten eine erwartete Auflösung von 0,005 % der kalibrierten Länge oder besser haben.

Bei den direkt vom Verdränger aktivierten Detektoren handelt es sich in der Regel um mechanische Vorrichtungen, die in den Prüferzylinder eindringen. Diese bewegen sich, wenn der Verdränger auf sie einwirkt, wobei die Bewegung einen elektrischen Schalter betätigt, der außerhalb des Prüferzylinders angeordnet ist. Zur Erkennung und Signalisierung des Betriebs eines mechanischen Detektors werden verschiedene Arten von elektrischen Schaltern verwendet; dazu gehören mechanisch betätigte Mikroschalter, Reedschalter oder Fernerkundung durch Näherungs-, magnetische, induktive oder optische Schalter. Kolbenprüfer für kleine Volumina haben Detektoren, die von einer mit dem Verdränger verbundenen und extern entnommenen Führungsstange aktiviert werden. Externe Detektoren werden in der Regel durch den Durchgang eines Markerfährchens durch einen optischen Schalter betätigt, es dürfen jedoch auch andere Schaltertypen verwendet werden.

Der bei Kugelprüfern am häufigsten eingesetzte mechanische Detektortyp besteht aus einem Stahlkolben mit einem halbkugelförmigen Ende, der die Rohrwand um etwa einen Zentimeter überragt. Wenn der Verdränger mit dem Kolben in Berührung kommt, drückt er ihn gegen die Wirkung einer Feder nach außen, bis er bündig mit der Innenseite der Rohrwand abschließt. An einem zuvor festgelegten Punkt seines Weges betätigt der Kolben einen elektrischen Schalter, bei dem es sich entweder um einen Mikroschalter oder einen Magnetschalter handeln darf.

Der Detektorkolben sollte eine vom Hersteller angegebene festgelegte Eintauchtiefe und eine festgelegte Position für die Betätigung des Schalters haben. Eine Änderung der Eintauchtiefe oder der Schalterstellung führt zu einer Änderung des Aktivierungspunktes und damit zu einer Änderung des kalibrierten Volumens. Die Schalter sollten nach dem Einbau oder der Justierung verriegelt und verplombt werden.

Die Detektoren liefern das Signal zur Initiierung der Prüfmessungen, indem sie die Impulzzähler durchschalten, und liefern auch Signale zur Betätigung der Steuerung des Prüfvorgangs.

Im Betrieb und bei allen Geschwindigkeiten sollte der Schalter eindeutig und ohne Prellen arbeiten, weil dieses zu einem falschen Signal führen kann, das wiederum Ereignisse auslöst oder Zähler (en: counters) aktiviert. Es dürfen Entprellungsschaltungen eingesetzt werden, die jedoch den Schalterbetrieb genau wiedergeben und keine Verzögerung verursachen sollten.

Obgleich Prüfer mit nur einem Detektor an jedem Ende der kalibrierten Strecke zufriedenstellend arbeiten, wird empfohlen, herkömmliche Prüfer mit zwei Detektoren an jedem Ende auszurüsten. Dies bietet eine Absicherung und eine Möglichkeit zur Überprüfung auf Fehlfunktion eines Detektors. Dies wird in Anhang E näher erläutert.

Bei der Auswahl von Detektoren ist es notwendig, die folgenden Merkmale zu beachten:

- a) die Auflösung r_d und die Wiederholpräzision in jeder Richtung (siehe Abschnitt 5 und Abschnitt 6);
- b) Temperaturstabilität sowohl der Detektoren als auch der zugehörigen Halterungen;
- c) Robustheit der Ausführung;

- d) Empfindlichkeit gegenüber mechanischen, magnetischen, elektrischen oder optischen Störungen;
- e) langfristige Zuverlässigkeit und Stabilität der Leistung;
- f) Möglichkeit des Ausbaus und des Austauschs oder der Justierung mit geringstmöglicher Veränderung der Betätigungsposition;
- g) Kompatibilität mit dem Impulszähler-Durchschaltkreis;
- h) Notwendigkeit, mechanische Detektoren zu spülen, um Ablagerungen oder Wachs zu entfernen;
- i) Notwendigkeit, Kondensation oder Temperaturen zu vermeiden, die den Betrieb externer Schaltergehäuse beeinträchtigen würde(n).

ANMERKUNG Jeder Austausch oder jede Justierung eines Detektors sollte im Prüfer-Logbuch und in den Aufzeichnungen protokolliert werden. Falls keine spezifischen und bewährten Verfahrensweisen vorhanden sind, sollte nach jedem Austausch oder jeder Justierung eines Detektors eine Kalibrierung erfolgen, um ein neues kalibriertes Volumen zu ermitteln.

6.8 Prüferventile

Jedes Ventil, das sich zwischen dem Prüfer und dem zu prüfenden Zähler oder zwischen dem Prüfer und einem für seine Kalibrierung verwendeten Referenzgerät befindet, gilt als kritisches Ventil. Jede Leckage oder jede hindurchgelangende Produktmenge würde die Ergebnisse beeinträchtigen (ungültig machen). Kritische Ventile sollten eine Doppelabspernung und Zwischenentlüftung aufweisen und mit einer Vorrichtung zur Überprüfung der Leckage ausgerüstet sein, oder es sollte sich um ein Standardventil handeln, das mit einer anderen Vorrichtung zur Erkennung von Leckagen ausgerüstet ist (z. B. eine Blende auf der stromabwärts gelegenen Seite).

- a) Ein Vierwegeventil sollte mit Schaltern oder Anzeigen versehen sein, um sicherzustellen, dass es vollständig gedreht ist und sitzt. Dadurch wird sichergestellt, dass das Ventil als dicht angezeigt wird, bevor die Kugel den ersten Detektorschalter erreicht. (ANMERKUNG Es ist üblich, einen Prüfdurchgang automatisch abubrechen, wenn der Detektorschalter erreicht wird, bevor das Ventil vollständig geschlossen ist.)
- b) Es sollte eine Vorrichtung vorgesehen sein, die sicherstellt, dass ein Vierwegeventil im eingebauten Zustand dicht ist. Absperr- und Entlüftungssysteme, die den Differenzdruck als Indikator für Leckagen nutzen, dürfen entweder manuell oder automatisch betrieben werden und sollten regelmäßig gewartet werden.
- c) Anstelle eines proprietären Vierwegeventils darf auch eine Kombination aus vier separaten Ventilen verwendet werden, die so ausgelegt sein sollte, dass die gleiche Leistung sichergestellt ist, wie sie für das Vierwegeventil beschrieben ist.
- d) Die Durchflussregelventile im System sollten schnellschließend und zu selbsttätigem Schließen in der Lage sein.
- e) Die Ventile sollten so dimensioniert sein, dass übermäßiger Druckabfall vermieden und Kavitation verhindert wird.

Bei unidirektionalen Kolbenprüfern dürfen die zur Einleitung des Prüfvorgangs verwendeten Ventile innen im oder außen am Prüfer angebracht sein und sollten über ein Mittel oder Verfahren zur Überprüfung der Integrität der Kolbendichtung verfügen.

Bei unidirektionalen Kugelprüfern darf ein Umschaltventil oder -mechanismus einer der folgenden typischen Anordnungen entsprechen:

- a) ein Kugelumsetz-Schwimmer- bzw. Kugelventil;
- b) ein Kugelumsetz-Kolbenventil;
- c) verschiedene Kombinationen von Kugel- und/oder Schieberventilen;
- d) eine Zweikugel- oder Dreikugel-Baugruppe, bei der die passiven Kugeln als Bypass-Dichtung fungieren.

Wenn keine automatische Leckageerkennung eingebaut ist, sollte es eine Möglichkeit geben, die Integrität der Dichtung manuell zu überprüfen.

6.9 Zusätzliche Erwägungen zur Auslegung

Die folgenden Punkte sind bei der Auslegung oder Installation eines Prüfers ebenfalls zu berücksichtigen.

- a) Der verfügbare Platz kann die Konfiguration des Prüferrohrs beeinflussen. Bei beengten Platzverhältnissen kann eine Konstruktion mit übereinander liegenden Schleifen (Skorpion) notwendig sein. Bei Prüfern mit übereinander liegenden Schleifen sollte der Biegeradius im Verhältnis zum Durchmesser des Prüferzylinders berücksichtigt werden, um Dichtheit und geringstmögliche Reibung beim Durchgang der Kugel sicherzustellen;
- b) große Prüfer dürfen in einzelnen Abschnitten hergestellt und zusammengebaut werden, und in derartigen Fällen muss es eine Möglichkeit geben, diese Abschnitte genau auszurichten. Flansche mit passendem Außen- und Innengewinde, mit Zapfen und Metall-auf-Metall-Sitz mit O-Ring-Dichtungen sorgen für eine formschlüssige Axial- und Längsausrichtung. Die Schweißnähte an den Rohrabschnitten sollten eine glatte Innenfläche ohne innere Intrusionen, erhöhte Kanten oder Hohlräume aufweisen;
- c) angemessene Auflagerung und Gründung, um die Ausrichtung des Prüfers sowohl im vollen als auch im leeren Zustand aufrechtzuerhalten. Diese sollten langfristig stabil sein und sich ändernden Bodenverhältnissen, wie z. B. Frost oder Wassersättigung, Rechnung tragen;
- d) Temperatur- und Druckmessungen sollten wie in Abschnitt 7 im Einzelnen ausgeführt vorgenommen werden;
- e) Kalibrieranschlüsse sollten so vorgesehen werden, dass sie die in Abschnitt 11 angegebenen Anforderungen erfüllen. Wenn ein Hauptzähler zur Kalibrierung mit der Prozessflüssigkeit verwendet werden soll, sollte der durch das Kalibriersystem bedingte zusätzliche Druckverlust berücksichtigt werden;
- f) ausreichend Platz für die Installation der Kalibrierausrüstung;
- g) beim Schweißen sollten geeignete Schweiß- und Drucknormen eingehalten werden;
- h) Temperatur- und Druckstufe der Prüfer-Rohrleitung sollten den einschlägigen nationalen oder branchenüblichen Vorschriften entsprechen;
- i) Vorkehrungen für eine sichere Entleerung und Entlüftung des Prüfers und der Rohrleitungen. Diese sollten anzeigen, dass während des Betriebs keine Leckage auftritt, und zwar unter gebührender Berücksichtigung der Umwelt und der Freisetzung explosiver Gase;
- j) Vorkehrungen zur Druckentlastung aller Teile des Prüfers oder der Ventilbaugruppen, die isoliert und abgedichtet werden dürfen. Die Wärmeausdehnung der eingeschlossenen Flüssigkeit kann zu einem Überdruck in den Rohrleitungen führen;
- k) Lage und Größe der Kalibrieranschlüsse sollten berücksichtigt werden, wenn z. B. die Erstkalibrierung im Werk durch Wasserentnahme erfolgt, dürfen die Kalibrieranschlüsse klein sein und sowohl an das

stromaufwärts als auch an das stromabwärts gelegene Ende des Prüfers angeschlossen werden; sollen die Kalibrierungen vor Ort jedoch mit Hilfe eines Hauptzählers erfolgen, so befinden sich die Kalibrieranschlüsse (sowie gegebenenfalls alle kritischen Ventile) an nur einem, üblicherweise dem stromabwärts gelegenen Ende.

Alternative Ausführungen und Funktionsweisen von Rohrprüfern sind in Anhang G angegeben.

7 Zusatzausrüstung

7.1 Temperatur- und Druckmessung

Eine genaue Temperatur- und Druckmessung ist erforderlich, um die Korrektur des Prüfer Volumens zu ermöglichen und auf diese Weise der Wärme- und Druckausdehnung sowohl des Fluids als auch der verwendeten Werkstoffe Rechnung zu tragen. Dies ermöglicht die Korrektur des Volumens des Prüfers auf Normbedingungen sowie von diesen ausgehend, und es ermöglicht die Korrektur der Wärme- und Druckausdehnung des Fluids zwischen dem Prüfer, einem Referenzgerät oder dem zu prüfenden Zähler.

Druck und Temperatur sollten so gemessen werden, dass sie die Bedingungen an der Messstrecke eines Prüfers, eines Referenzmaßes und eines zu prüfenden Zählers bestmöglich widerspiegeln. Dies umfasst Messungen sowohl am Einlass als auch am Auslass eines Prüfers, am zu prüfenden Gerät und gegebenenfalls an einem Referenzgerät. Es ist gute Praxis, die Umgebungstemperatur und den Umgebungsdruck aufzuzeichnen, um Informationen zu erhalten, wenn der Prüfer in Betrieb ist. Die Umgebungsbedingungen sind erforderlich, um den Auftriebskorrekturfaktor ableiten zu können, wenn eine gravimetrische Referenz zur Kalibrierung verwendet wird.

Für Druck- und Temperaturmesssysteme sollten gültige Kalibrierscheine vorliegen. Wenn die bei der Kalibrierung eines Prüfers verwendeten Messgeräte diejenigen sind, die üblicherweise mit dem zu prüfenden Prüfer verbunden sind, sollten diese vor der Kalibrierung des Prüfers kalibriert oder überprüft werden.

Temperatur- und Druckmessungen sollten bei jedem Durchgang vorgenommen werden. Die Anzahl der während eines Durchgangs durchgeführten Messungen sollte so gewählt werden, dass sie der verfügbaren Zeit und der Variabilität der Bedingungen angemessen ist.

Die Messungen werden gemittelt, um einen einzigen repräsentativen Temperatur- und Druckwert für einen Durchgang oder einen Durchlauf zu erhalten. Dieser Mittelwert wird den Berechnungen zugrunde gelegt.

Die Temperatur eines als Referenz verwendeten volumetrischen Maßes wird aufgezeichnet, wenn dieses voll ist; Gleiches gilt für die Umgebungsbedingungen (Temperatur, Druck und relative Luftfeuchte) im Falle einer gravimetrischen Kalibrierreferenz.

7.1.1 Temperaturmessung

- a) Die Temperaturmessung sollte mit einem oder mehreren in (einer) Thermometerhülse(n) befindlichen Widerstandsthermometer(n) erfolgen. Es werden Widerstandsthermometer erwartet, die BS/EN/IEC 60751 [5], Klasse A oder einer gleichwertigen Spezifikation entsprechen.
- b) Die Temperatur sollte dort gemessen werden, wo sie die Temperatur des strömenden Fluids sowohl im Normalbetrieb als auch während einer Prüferkalibrierung bestmöglich widerspiegelt. Sowohl die Thermometerhülse als auch der darin befindliche Messfühler sollten bis zu einer angemessenen Tiefe in das strömende Fluid eingetaucht werden. Die Thermometer sollten so angebracht werden, dass davon ausgegangen werden kann, dass die Temperatur der Prüferwand gleich der Temperatur des Fluids ist.

- c) Da üblicherweise davon ausgegangen wird, dass die Temperatur des Prüferzylinders gleich der des Fluids ist, sollte(n) eine Isolierung des Zylinders und/oder ein Schutz vor den Umgebungsbedingungen wie Wind, Regen und Sonne erwogen werden.
- d) Die Thermometermessfühler sollten mit guter Passform in der Thermometerhülse sitzen, und die Hülse sollte mit einer Wärmeleitflüssigkeit oder -paste gefüllt sein.
- e) Es sollte berücksichtigt werden, dass bei Widerstandsthermometern eine Selbsterhitzung möglich ist, wenn der Durchfluss während der Kalibrierung sehr gering ist.
- f) Es sollte für eine ausreichende Verdrahtung gesorgt werden, damit ein installierter Messfühler aus der Thermometerhülse entnommen und in einem Kalibrierblock oder -behälter erneut positioniert werden kann, ohne dass die Verbindung unterbrochen wird.
- g) Unmittelbar neben den Messstellen dürfen Prüf-Thermometerhülsen angebracht werden, um die Installation eines Referenzthermometers zur Überprüfung der Temperaturmessung zu ermöglichen. Diese ermöglichen eine genaue Überprüfung nur dann, wenn die Thermometerhülsen in signifikantem Maße umströmt werden.
- h) Es sollte in Erwägung gezogen werden, die Thermometerköpfe und die Rohrleitungen in deren Umgebung zu ummanteln oder zu dämmen, um die Auswirkungen der Umgebungsbedingungen zu verringern.
- i) Das Temperaturmesssystem umfasst den Messfühler, gegebenenfalls einen lokalen Messumformer, die Signalübertragung und die Anzeige. Um die Auswirkungen der Umgebung und des Standorts zu mindern, sollte eine 4-Leiter-Verbindung zwischen dem Messfühler und der Anzeige oder dem Temperatur-Messumformer verwendet werden.
- j) Für fiskalische Anwendungen wird üblicherweise erwartet, dass das Temperaturmesssystem eine Auflösung von höchstens 0,1 °C hat und die Temperatur mit einer erweiterten Unsicherheit von höchstens 0,3 °C misst. Diese Erwartung stellt sicher, dass die Unsicherheit von C_{cl} und C_{ts} bei 0,000 1 liegt oder besser ist.

7.1.2 Druckmessung

- a) Der Druck sollte dort gemessen werden, wo er den Druck des strömenden Fluids sowohl im Normalbetrieb als auch bei der Prüferkalibrierung bestmöglich widerspiegelt. Der Druck sollte so nahe wie möglich am Einlass und am Auslass des Prüferzylinders und in Rohrleitungen mit demselben Querschnitt und Durchmesser gemessen werden, um sicherzustellen, dass die Geschwindigkeit/der Druck des gesamten fließenden Drucks gleich ist.
- b) Manometeranschlüsse sollten am Eintritt in die Rohrbohrung eine saubere, scharfe Kante haben, die keine Störung des Durchflusses verursacht.
- c) Druck-Messumformer oder Manometer sollten so nahe wie möglich an den Manometeranschlüssen angebracht und in geeigneter Weise vor Schwingungen und Änderungen der Umweltbedingungen geschützt werden. Es sollte erwogen werden, einen Schutz vor Umwelteinflüssen in Form eines Sonnenschutzes und einer temperaturgeregelten Einhausung vorzusehen. Anzapfungen und Impulsleitungen sollten so verlegt werden, dass sich keine Luft oder Schmutz ansammelt.
- d) Es sollten Absperr- und Entlüftungsventile vorgesehen werden, um sicherzustellen, dass die Messumformer kalibriert, überprüft oder ausgetauscht werden können, ohne dass ein Risiko besteht, dass sich der Bediener verletzt oder Fluid austritt.

- e) Wird der Druck mit Hilfe von Messumformern ohne örtliche Anzeige gemessen, sollten zusätzliche Manometer vorgesehen werden, um den Druck vor Ort deutlich anzuzeigen.
- f) Die Druck-Messumformer oder Manometer sollten so gewählt werden, dass sie eine angemessene Unsicherheit in Bezug auf die Korrekturfaktoren C_{ps} und C_{pl} bieten. Es werden eine Auflösung von höchstens 0,1 bar und eine erweiterte Unsicherheit von höchstens 0,5 bar empfohlen.

7.2 Kalibrierverbindungen

Um die Kalibrierung zu ermöglichen, sollten Verbindungen zum Prüfer vorgesehen werden. Welche Verbindungen bzw. Anschlüsse erforderlich sind, hängt von der Größe und dem Typ des Prüfers sowie vom anzuwendenden Kalibrierverfahren ab. Die Anschlüsse und Verbindungsrohrleitungen sollten so kurz wie in der Praxis möglich und so dimensioniert sein, dass sie einen für die Kalibrierung ausreichenden Durchfluss ermöglichen. Wenn sie nicht genutzt werden, sollten sie mit Blindflanschen, Blindscheiben oder Ventilen abgesperrt werden.

Aus Sicherheitsgründen sollten Blindflansche oder Blindscheiben mit einem entsprechenden Ventil ausgerüstet sein, das vor dem Herausnehmen eine Druckentlastung und Entlüftung ermöglicht.

Bei Kalibrierverfahren, die geschlossene Systeme bedingen, sollte zwischen den Kalibrieranschlüssen eine Möglichkeit zur formschlüssigen Isolierung, wie z. B. ein Absperr- und Entlüftungsventil oder eine Blindscheibe, vorhanden sein. Bei Systemen mit offenem Tank sollte eine formschlüssige Möglichkeit zur Isolierung des Prüfers vom Rest des Messsystems vorgesehen sein, wie z. B. Blindflansche, Blindscheiben oder Absperr- und Entlüftungsventile.

Die Kalibrieranschlüsse sollten so angeordnet werden, dass sichergestellt ist, dass die Temperatur- und Druckanschlüsse des Prüfers umströmt werden oder dass alternative Messgeräteanschlüsse vorgesehen sind.

7.3 Systemsteuerung

Die Datenerfassungs- und -verarbeitungsausrüstung des Prüfers darf einfach aus einem Impulszähler bestehen, der von den Detektoren aktiviert wird, um die Zählerimpulse aufzuzeichnen, wobei der Bediener den Betrieb des Prüfers manuell steuert und die Temperatur-, Druck- und Zeitmesswerte aufzeichnet. In diesem Fall würden die Berechnungen manuell durchgeführt. Alternativ ermöglicht Mikroprozessortechnik vollautomatische Prüfdurchläufe und Berechnungen, einschließlich der Impulsinterpolation (Abschnitt 8). Es darf eine automatische Steuerung durch ein eigenständiges Steuergerät für den Prüfer oder als separates Programm innerhalb eines Durchfluss-Rechner- oder -Messsystems vorgesehen sein.

Erwartet würde in diesem Fall, dass das Steuersystem die Anzahl der Zählerimpulse für jeden Durchgang und die für jeden Durchgang benötigte Zeit aufzeichnet. Temperatur- und Druckmessungen sollten so häufig vorgenommen werden, wie es erforderlich ist, um bei jedem Durchgang einen repräsentativen Wert zu erhalten. Dies kann von der Stabilität der Strömungsbedingungen abhängen.

Der Impulszähler sollte einen für den zu prüfenden Zähler geeigneten Frequenzgang und Eingangsauslösungspegel haben. Es ist übliche Praxis, das Ausgangssignal des Zählers lokal zu verstärken, um eine saubere Rechteckwelle mit konstanter Amplitude für die Übertragung an den Impulszähler zu erhalten. Dadurch wird eine vorschriftsmäßige Auslösung sichergestellt. Der Zähler (en: counter) sollte ein Ansprechverhalten haben, das dem Frequenzbereich und der Impulsform des zu kalibrierenden Zählers entspricht. Die Verwendung von Zählern (en: counter) mit der Fähigkeit zu allzu hohen Frequenzen sollte vermieden werden, weil diese anfällig für Rauschstörungen sein können.