

1. Einführung in die Durchflussmessung mit Staudrucksonde

Die Staudrucksonden gehören zur Klasse der nach dem Wirkdruckverfahren arbeitenden Durchflussmessgeräte.

Das Messprinzip der Staudrucksonde nutzt die Druckdifferenz zwischen dem, sich vor einem angeströmten Hindernis, aufbauende Staudruck und dem statischen Druck unmittelbar an der Sondenrückseite.

Die ITABAR-Staudrucksonden, siehe exemplarische Abb. 1.1, werden überwiegend zur Messung des Volumendurchflusses von Flüssigkeiten, Gasen und Dämpfen in geschlossenen Rohrleitungen ab DN 20 bis DN 12000.

Zu den Einsatzgebieten gehören beispielsweise die genaue Volumenmessung in diskontinuierlichen Chargenprozessen, die Messungen flüssiger Betriebsmittel in der Verfahrensindustrie, die Messungen von Brennstoffen, Luft, Dampf oder Gas als Primärenergie-träger und regelungstechnische Anwendungen mit anspruchsvollem Stabilitätsverhalten und hoher Wiederholgenauigkeit

Beispielhaft im Vergleich zu nahezu allen anderen Durchflussmessgeräten ist die Einfachheit des Einbaus der ITABAR-Sonde. Der Einbau besteht aus den Arbeitsschritten Anbohren der Rohrleitung, Einschweißen des Montageteils und Montage der Sonde. Die Baureihe Flo-Tap FT, siehe Abb. 1.2, ermöglicht den Ein- und Ausbau ohne Entleerung der Rohrleitung.

Bei der Entwicklung der ITABAR-Staudrucksonden stand hohe Zuverlässigkeit, auch unter schwierigen Betriebsbedingungen, im Vordergrund. ITABAR-Staudrucksonden sind strömungstechnisch in mehrfacher Hinsicht optimiert. Vorteile des eingesetzten Profils sind der geringe Druckverlust und die über einen weiten Reynoldszahlbereich konstante Messgenauigkeit.

Seit mehr als zwei Jahrzehnten werden ITABAR-Staudrucksonden im industriellen Umfeld eingesetzt. Die beispielhafte Zuverlässigkeit und die hervorragenden Dauergebrauchseigenschaften fanden unter den Anwendern eine breite Zustimmung. Zahlreiche Messungen unabhängiger Institute bescheinigen der ITABAR-Staudrucksonde eine hohe Messgenauigkeit.



Abb.: 1.2: Unter Betriebsdruck einbau- und ausbaubare Staudrucksonde ITABAR FTM 20

2. Messprinzip der Staudrucksonden

Gemäß des von Bernoulli abgeleiteten Kontinuitätsgesetzes und der Energiegleichung hat bei einer stationären, reibungsfreien Rohrströmung die Summe aus Druckenergie, potentieller und kinetischer Energie an jeder Stelle des Rohres und zu jedem Zeitpunkt den gleichen Wert.

$$p_{stat} + p_{dyn} = const \quad (\text{Gl. 2.1})$$

Die Größe p_{stat} ist der gleichmäßig in alle Richtungen wirkende statische Druck. Der rechte Term auf der linken Seite der Gleichung ist der in Strömungsrichtung wirkende dynamische Druck p_{dyn} .

Für in horizontalen Rohrleitungen strömende Fluide, deren Strömungsgeschwindigkeit klein gegenüber der Machzahl ($Ma \ll 1$) ist, berechnet sich der dynamische Druck p_{dyn} mit der Strömungsgeschwindigkeit v , der Dichte ρ und dem Widerstandsbeiwert ζ zu:

$$p_{dyn} = \zeta \frac{\rho}{2} v^2 \quad (\text{Gl. 2.2})$$

Wenn in eine gleichförmige Strömung ein feststehender Körper gebracht wird, so staut sich unmittelbar vor diesem die Strömung an und befindet sich im so genannten Staupunkt, siehe S2 in Abb. 2.1, vollständig in Ruhe. An diesem Punkt gilt für den Gesamtdruck p_{S2} :

$$p_{S2} = p_{stat} + p_{dyn} \quad (\text{Gl. 2.3})$$

An den Öffnungen auf der strömungsabgewandten Seite einer Staudrucksonde kann nur der richtungsunabhängige statische Druck p_{stat} wirken. Die Differenz der beiden Drücke, der Differenzdruck Δp , ist ein Maß für die Geschwindigkeit, mit welcher der Körper angeströmt wird, siehe Abb. 2.2.

$$\Delta p = p_{S2} - p_{S1} \quad (\text{Gl. 2.4})$$

Durch Einsetzen der Gleichungen 2 und 3 in Gl. 4 folgt:

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho}{2} v^2. \quad (\text{Gl. 2.5})$$

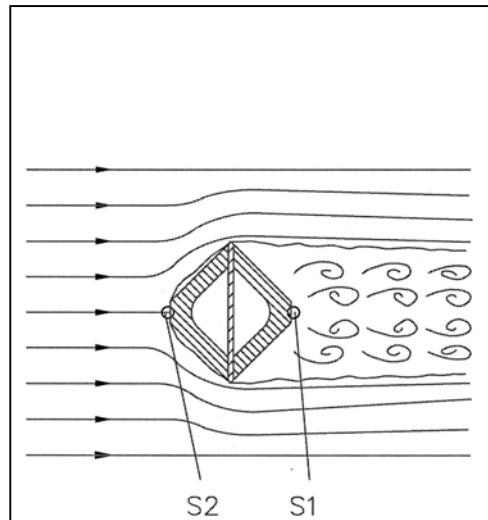


Abb. 2.1: Schematische Darstellung des Strömungsfeldes am Ort des Profils der ITABAR-Staudrucksonde

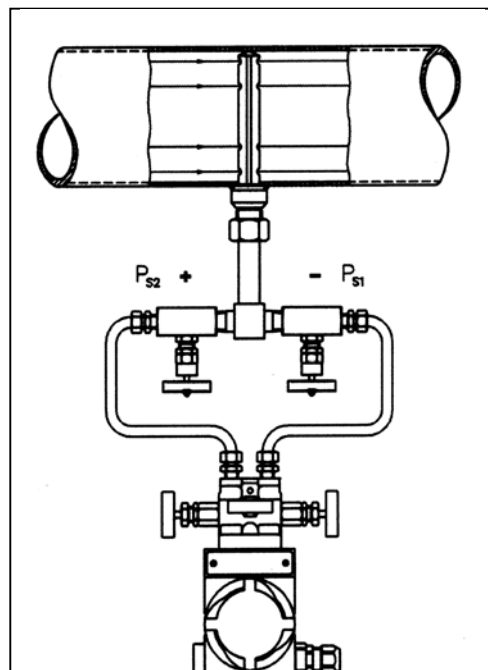


Abb. 2.2: Schematische Darstellung zur Entstehung des Differenzdruckes Δp

Der Durchfluss lässt sich unter Anwendung des Kontinuitätsgesetzes mit der durchströmten Fläche A und der mittleren Strömungsgeschwindigkeit berechnen. Folgende Formeln können hergeleitet werden:

Messgröße	Formel mit SI-Einheiten	Gleichung
Volumendurchfluss für Gase bei Normbedingungen	$Q_{vn} = k(\dots) A \varepsilon \sqrt{\frac{2 \Delta p P_b Z_n T_n}{\rho_n T_b Z_b P_n}}$	2.7
Volumendurchfluss für Gase bei Betriebsbedingungen	$Q_v = k(\dots) A \varepsilon \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho_b}}$	2.8
Massedurchfluss für Gase und Dampf	$Q_m = k(\dots) A \varepsilon \sqrt{2 \Delta p \rho_b}$	2.9
Massedurchfluss für Flüssigkeiten	$Q_m = k(\dots) A \sqrt{2 \Delta p \rho_b}$	2.10
Volumendurchfluss für Flüssigkeiten	$Q_v = k(\dots) A \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho_b}}$	2.11

Es gilt folgende Zuordnung:

	Größe	Einheiten der Gleichung				
		2.7	2.8	2.9	2.10	2.11
Δp	Differenzdruck am Sondenprofil	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
ρ_n	Dichte des Gases bei Normbedingungen	kg/Nm ³	---	---	---	---
ρ_b	Dichte des Fluids bei Betriebsbedingungen	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
ε	Expansionsfaktor	1	1	1	---	---
A	Querschnittsfläche der Rohrleitung	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
D _i	Innendurchmesser der Rohrleitung	---	---	---	---	---
k	k-Faktor	1	1	1	1	1
P _b	Betriebsdruck	Pa	---	---	---	---
P _n	Absolutdruck des Gases bei Normbedingungen	Pa	---	---	---	---
Q _m	Massedurchfluss	---	---	kg/s	kg/s	---
Q _v	Volumendurchfluss	---	m ³ /s	---	---	m ³ /s
Q _{vn}	Volumendurchfluss bei Normbedingungen	Nm ³ /s	---	---	---	---
T _b	Temperatur des Gases bei Betriebsbedingungen	K	---	---	---	---
T _n	Temperatur des Gases bei Normbedingungen	K	---	---	---	---
Z _b	Realgasfaktor im Betriebszustand	1	---	---	---	---
Z _n	Realgasfaktor im Normzustand	1	---	---	---	---

Der zur Berechnung des Durchflusses für Gase und Dampf erforderliche Expansionsfaktor ergibt sich zu:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\Delta p}{k(\dots) P_b} \left\{ \left(1 - \frac{2 b}{\sqrt{\pi} F} \right)^2 0,31424 - 0,09484 \right\} \quad (\text{Gl. 2.11})$$

Formelzeichen	Größe	Einheiten
ε	Expansionsfaktor	1
Δp	Differenzdruck am Sondenprofil	Pa
P_b	Betriebsdruck	Pa
k	Isentropenexponent des Gases (auch: Verhältnis spezifischer Wärmen idealer Gase)	1
b	Breite des Sondenprofils quer zur Strömungsrichtung	m
F	Querschnittsfläche der Rohrleitung	m ²

Für einatomige (zwei-, dreiatomige) Gase z. B. hat der Isentropenexponent k des Gases den Wert $k = 1,66$ (1,4 und 1,3). Die Breite b des Sondenprofils quer zur Strömungsrichtung hängt vom Typ der Staudrucksonde ab, siehe Seite 13

3. Anforderungen an das Fluid

Die Staudrucksonden gehören mit Blenden, Düsen oder Venturirohren zur Klasse der Durchfluss-Messgeräte, die den Differenzdruck zur Messung des Volumendurchflusses nutzen. Die technischen Ausführungen der DIN 1952 „Durchflussmessung mit Blenden, Düsen und Venturirohren in voll durchströmten Rohren mit Kreisquerschnitt“ lassen sich in Analogie auf die Staudrucksonden übertragen:

- Das Fluid muss die Rohrleitung vollständig ausfüllen, damit der gemessene Differenzdruck repräsentativ für den Volumendurchfluss ist. Fluide in teilgefüllten Rohrleitungen können nur dann gemessen werden, wenn durch eine Dükerung eine vollständige Füllung der Rohrleitung erreicht werden kann.
- Das Fluid muss einphasig sein, d. h. es können keine Fluide gemessen werden, die z. B. aus einem Gas-Wasser-Gemisch bestehen.

Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit v_m und die kinematische Viskosität ν des Fluids muss für die vorgesehene Rohrleitung mit dem Innendurchmesser d_i gemäß der Formel

$$Re = \frac{v_m d_i}{\nu} \quad (\text{Gl. 3.1})$$

auf eine Reynoldszahl $Re > 3150$, d. h. auf eine ausreichend turbulente Strömung, führen. Fluide mit laminarer Strömung können mit Staudrucksonden nicht gemessen werden.

Flüssigkeiten dürfen Feststoffteilchen oder Gasblasen enthalten. Der sich vor den Messöffnungen aufbauende Staudruck bewirkt, dass die anströmenden Feststoffteilchen oder Gasblasen abgewiesen werden. Zum Auskristallisieren neigende Flüssigkeiten verstopfen bereits nach kurzer Zeit die Druckleitungen der Sonde und können deshalb mit Staudrucksonden nicht gemessen werden.

Staubhaltige Gase oder Gasgemische können die Sonde in einem unerwünschten Maße verschmutzen. Zur Beseitigung des abgelagerten Staubes kann die in Abb. 3.1 gezeigte Luftspüleinrichtung LSP, die in einstellbaren zeitlichen Abständen automatisch die Sonde mit Pressluft durchspült, eingesetzt werden. Für Rauchgasmengenmessungen empfiehlt sich eine Sondenausführung, die eine beidseitige mechanische Reinigung ohne Demontage der Sonde erlaubt, siehe Abb. 3.2. Bei Dampfmessungen werden Kondensatgefäße verwendet, in welchem eine andauernde Umwandlung von Dampf zu Kondensat erfolgt. Die Druckübertragung auf den Messumformer erfolgt durch Wassersäulen.



Abb. 3.1: Luftspüleinrichtung LSP zur automatischen Reinigung der Staudrucksonde zum Einsatz in staubbeladenen Gasen oder Gasgemischen

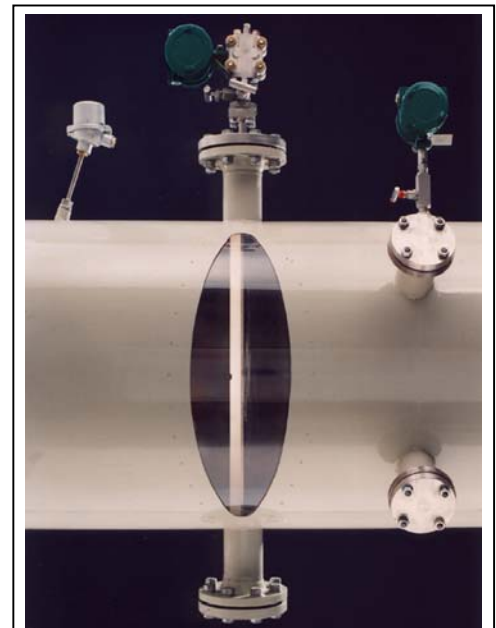


Abb. 3.2: Fotografie der speziell für die Rauchgasmengenmessungen entwickelten Sonde IBF-100 eingebaut in eine aus Anschauungsgründen teiltransparent ausgeführten Rohrleitung. Die Sonde ist beidseitig zugänglich und ermöglicht eine mechanische Reinigung ohne Demontage der Sonde.

4. Vorteile der ITABAR-Staudrucksonde

4.1 Vorteile im Vergleich zur Messblende

4.1.1 Geringere Installationskosten

Der Einsatz einer ITABAR-Sonde reduziert im Vergleich zur Messblende die Material- und Lohnkosten für die Installation und die Betriebskosten.

Zu den Materialkosten für die Installation einer ITABAR-Sonde an einer Rohrleitung gehören die Kosten für einen Einschweißstutzen und -je nach Sondentyp- für ein Gegenlager. Die Materialkosten zum Einbau einer Messblende bestehen aus den Materialkosten für zwei Flansche und die dazugehörigen Schrauben. Der Materialkostenvorteil der ITABAR-Sonde ist besonders hoch für folgende Fälle für Rohrleitungen mit großem Durchmesser, Rohrleitungen, die aus chemischen oder thermischen Gründen aus einem Sonderwerkstoff bestehen und Rohrleitungen, die für einen hohen Betriebsdruck ausgelegt sind.

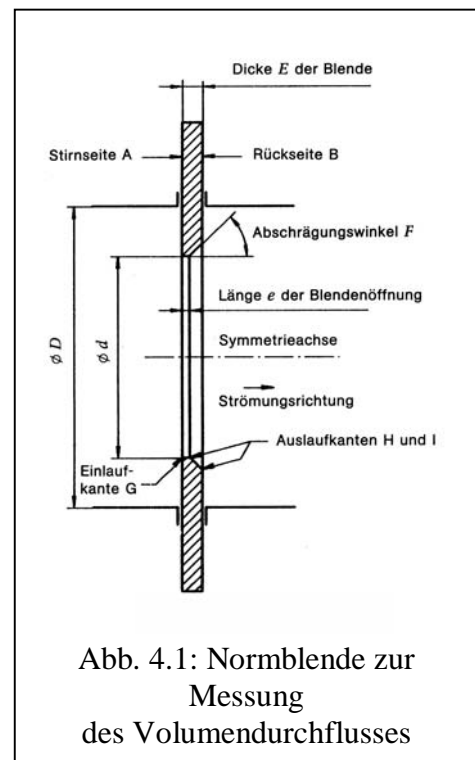
Als Lohnkosten für die Installation einer ITABAR-Sonde oder Messblende an einer Rohrleitung sind die Kosten für die Schweißarbeiten anzuführen. Die Montage eines Einschweißstutzens erfordert je nach Sondentyp lediglich eine ca. 10 cm lange Schweißnaht. Für den Einbau einer Messblende dagegen ist bei einer Rohrleitung DN 100 (DN 500) eine Schweißnaht von ca. 36 cm (ca. 1570 cm) Länge erforderlich. Die Arbeitszeit zum Einbau einer Messblende beträgt ca. 12 Stunden, die einer ITABAR-Sonde nur ca. 1,5 Stunden. Durch die Wahl einer ITABAR-Sonde können in diesem Fall 10,5 Stunden Arbeitszeit eingespart werden.

Die gesamten, durch den Einsatz einer ITABAR-Sonde erreichbaren Einsparungen an Material- und Lohnkosten betragen mindestens 25 % bei einer Rohrleitung DN 100 und mindestens 70 % bei einer Rohrleitung DN 500.

4.1.2 Bidirektionale Durchflußmessung

Die Sondenprofile aller ITABAR-Staudrucksonden sind symmetrisch zur Ebene zwischen den Wirkdruckkanälen aufgebaut. Folglich ergeben sich aus strömungstechnischer Sicht für den Vor- und den Rückfluss die gleichen Widerstandsbeiwerte und damit die gleichen k-Faktoren. Die bei gleichem Durchfluss im Vor- oder Rückfluss auftretenden Druckdifferenzen sind betragsmäßig gleich und unterscheiden sich im Vorzeichen.

Dies ist ein Vorteil im Vergleich zur Normblende, siehe Abb. 4.1, die bedingt durch abgeschrägte Auslaufkanten für Vor- und Rückfluss unterschiedliche Widerstandsbeiwerte aufweist, und die in der bidirektionalen Betriebsart bei gleichen Durchflüssen im Vor- oder Rückfluss betragsmäßig unterschiedlich große Druckdifferenzen erzeugen würde. Die Messung der Druckdifferenz kann entweder mit einem Messwertumformer oder mit zwei Messwertumformern durchgeführt werden. Der Einsatz zweier Messwertumformer rechtfertigt sich bei besonderen Ansprüchen an die Messwertauflösung oder falls für den Vorfluss und für den Rückfluss eine getrennte Messwertverarbeitung gewünscht ist.



4.1.3 Kürzere Ein- und Auslaufstrecken

Bei der ITABAR-Sonde werden zur Erhöhung der Messgenauigkeit der dynamische und der statische Druck an vier Messorten entlang des Sondenprofils gemessen und gemittelt. Dadurch haben nicht rotationssymmetrische Strömungsprofile einen nur geringen Einfluss auf das Messergebnis. Ferner resultieren daraus auch im Vergleich zur Messblende kürzere Ein- und Auslaufstrecken. Die erforderliche Einlaufstrecke nach einem 90°-Krümmer z. B. beträgt für die ITABAR-Sonde das siebenfache und für die Meßblende das 10 ...46-fache des Rohrdurchmessers abhängig vom Durchmesser Verhältnis der Meßblende.

4.1.4 Geringerer Druckverlust

Das Sondenprofil der ITABAR-Sonde ist strömungstechnisch optimiert und erzeugt -im Vergleich zur Messblende- einen wesentlich kleineren Druckverlust. Als Beispiel zum Vergleich des Druckverlustes von Messblende und Staudrucksonde diene die folgende Applikation: Rohrleitung: DN 250 PN 16; Fluid: Wasser; Fluidtemperatur $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; Betriebsdruck $p = 2 \text{ bar abs}$; Volumendurchfluß $Q_v = 175 \text{ m}^3/\text{h}$ und mittlere Strömungsgeschwindigkeit $v = 0,99 \text{ m/s}$.

Typ	Durchmesser- verhältnis β	D/ mm	d/ mm	Druck- differenz/ mbar	Druck- verlust/ mbar	Verhältnis Druckverlust zu Druck- differenz/ %	Erforderliche Einlaufstrecke vor einem einfachen 90°-Krümmer	Erforderliche Auslaufstrecke vor einem einfachen 90°-Krümmer
ITABAR IBR-25	---	250,4	---	12,48	1,36	10,9	7 x DN	3 x DN
Messblende	0,25	250,4	62,6	2874	2730	95,0	10 x DN	4 x DN
Messblende	0,3	250,4	75,1	1386	1247	90,0	10 x DN	5 x DN
Messblende	0,35	250,4	87,6	748	636	85,0	12 x DN	5 x DN
Messblende	0,4	250,4	100,2	439	351	80,0	14 x DN	6 x DN
Messblende	0,45	250,4	112,7	274	205	74,8	14 x DN	6 x DN
Messblende	0,5	250,4	125,2	180	126	70,0	14 x DN	6 x DN
Messblende	0,55	250,4	137,7	123	80	65,0	16 x DN	6 x DN
Messblende	0,6	250,4	150,2	87	52	59,8	18 x DN	7 x DN
Messblende	0,65	250,4	162,8	63	35	55,6	22 x DN	7 x DN
Messblende	0,7	250,4	175,3	47	23,4	49,8	28 x DN	7 x DN
Messblende	0,75	250,4	187,8	35,5	16	45,1	36 x DN	8 x DN

Wie das Beispiel zeigt, kann durch geeignete Wahl des Durchmesser Verhältnisses $\beta = d/D$ der Druckverlust der Messblende stark reduziert werden. Allerdings steigen dann die Anforderungen hinsichtlich einer geeigneten Ein- und Auslaufstrecke stark an. Der vergleichsweise hohe Druckverlust der Messblende ist durch die stärkere Beeinflussung des Strömungsprofils und die damit verbundene Wirbelbildung zu erklären.

Gegenüber Messblenden haben Staudrucksonden den Vorteil, dass diese bei messtechnisch gut verwertbaren Differenzdrücken einen wesentlich geringeren Druckverlust verursachen. Ein weiterer Vorteil sind die kürzeren Ein- und Auslaufstrecken.

Der niedrigere Druckverlust der ITABAR-Sonde reduziert durch niedrigere Energiekosten die Betriebskosten der Messstelle wesentlich. Für bestimmte Einsatzfälle amortisiert sich die Anschaffung einer ITABAR-Sonde als Ersatz für eine vorhandene Messblende bereits nach wenigen Jahren.

4.2 Sondenprofil der ITABAR-Sonde

4.2.1 Strömungs- und messtechnische Vorteile

Einzigartiges Sondenprofil

Das Sondenprofil der ITABAR-Sonde, siehe Abb. 4.2, ist im Hinblick auf strömungstechnische, messtechnische, statische und schwingungstechnische Anforderungen optimiert und stellt eine Weiterentwicklung des Standes der Technik dar.

Hervorragende Linearität

Eine wesentliche Verbesserung der strömungstechnischen Eigenschaften bewirkt die spezielle Formgebung des Sondenquerschnittes. Die Ablösung der Strömung des Fluids erfolgt in einem weiten Reynoldszahlbereich immer an denselben Kanten des Sondenprofils, wodurch der Einfluss der Reynoldszahl auf den k-Faktor minimiert wird. Durch diese spezielle Querschnittsform der ITABAR-Sonde wird über eine große Messbereichsspanne eine als sehr gut einzustufende Linearität erreicht.

Beispielhafte Reproduzierbarkeit

Die Formgebung des Sondenprofils verbessert nicht nur die Linearität, sondern auch die Reproduzierbarkeit der Messwerte im Falle einer Mittelwertbildung in einem bestimmten Zeitintervall. Bei sehr kurzen Zeitintervallen wirken sich die geringen Schwankungen der momentanen Messwerte besonders positiv aus.

Überlegene Mittelwertbildung

Um den Einfluss des meist nicht idealen Strömungsprofils zu reduzieren, wird an vier verschiedenen Stellen die für die lokale Strömungsgeschwindigkeit repräsentative Druckdifferenz gemessen, deren Mittelwert gebildet und ausgewertet. An jeder dieser vier Messstellen sind zur genaueren Messwerterfassung gegenüberliegend angeordnete Druckentnahmeöffnungen vorhanden. Die Lage dieser Druckentnahmeöffnungen ist auf die in der Praxis vorkommenden Strömungsprofile ausgelegt.



Abb.4.2: Sondenprofil für Staudrucksonden des Typs -35/-36 als Schnittbild zur Darstellung der beiden Wirkdruckkanäle am Ort der Druckentnahmeöffnungen.

Große Druckentnahmeöffnungen und Wirkdruckkanäle

Große Querschnittsflächen der Druckentnahmeöffnungen und der Wirkdruckkanäle ermöglichen auch bei verunreinigten Fluiden eine lange ununterbrochene Betriebsdauer. Kondensat in Tropfenform kann bedingt durch die großen Querschnittsflächen besser abfließen. Eine messtechnische Beeinträchtigung von tropfenförmigem Kondensat durch Verschluss der Wirkdruckkanäle ist dadurch ausgeschlossen. Die untenstehende Tabelle listet die charakteristischen Abmessungen abhängig vom Sondentyp auf.

	Sondentyp				
	15	20/21	25/26	35/36	65/66/100
Breite des Profils quer zur Strömungsrichtung	11 mm	12 mm	25,4 mm	42 mm	56 mm
Höhe des Profils in Strömungsrichtung	10,5 mm	11 mm	23 mm	36 mm	50 mm
Durchmesser der Druckentnahmeöffnungen	4 mm	4 mm	8,5 mm	10 mm	16 mm
Querschnittsfläche eines Wirkdruckkanals	28 mm ²	14 mm ²	62 mm ²	78 mm ²	113 mm ²

Sehr gute mechanische Stabilität

Die mechanische Stabilität bei statischen und dynamischen Belastungen des Sondenprofils ist eines der wichtigsten Kriterien bei der konstruktiven Auslegung des Sondenprofils.

Die Auslenkung des einseitig eingespannten Sondenprofils bei statischer Belastung durch das strömende Fluid ist umgekehrt proportional zum axialen Flächenmoment 2. Grades des Sondenprofils. Aus diesem Grund weist die ITABAR-Staudrucksonde ein sehr hohes axiales Flächenmoment 2. Grades auf. Eine ähnliche Betrachtung ergibt sich für die Eigenresonanzfrequenzen, die für die dynamische Belastungsart maßgebend sind.

Geringe axiale Flächenmomente 2. Grades haben am Markt verfügbare Staudrucksonden, die aus nur ein Millimeter dicken Edelstahlblechen bestehen. Die mechanische Stabilität bei statischer oder dynamischer Belastung dieser „Feinblechsonden“ ist nennenswert geringer als die z. B. in Abb. 4.2 gezeigte ITABAR-Staudrucksonde.

ITABAR-Sonde ist besser als jede Zylindersonde

Staudrucksonden mit zylinderförmigem Sondenprofil gehören zu einer anderen Klasse von Staudrucksonden als die ITABAR-Staudrucksonde. Die Unterschiede liegen in der Form und der Ausführung dieser Zylindersonden.

Eine typische Zylindersonde besteht aus einem dünnwandigen Rohr mit vier Druckentnahmeöffnungen zur Messung des Gesamtdruckes und einer zur Messung des statischen Druckes. Der statische Druck wird dabei durch ein dünnes, im Sondenprofil positioniertes Messröhrchen nach Außen geleitet.

Der Hauptnachteil ist die schlechtere Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit. Die Ursachen hierfür sind die undefinierten und von der Reynoldszahl abhängigen strömungs-technischen Verhältnisse. Anders als bei scharfkantigen Sondenprofilen ist die Ablösekante der Strömung nicht ortsfest, siehe Abb. 4.3. Die Folge: Der Widerstandsbeiwert c_w ist stark von der Reynoldszahl abhängig, siehe Abb. 4.4. Der k-Faktor einer Staudrucksonde errechnet sich aus dem Widerstandsbeiwert zu:

$$k = \sqrt{\frac{1}{c_w}}$$

Eine Änderung des k-Faktors von z. B. 10 % bewirkt eine Änderung des gemessenen Volumendurchflusses um ebenfalls 10 %. Aus diesem Grund ist eine Abhängigkeit des k-Faktors von der Reynoldszahl aus messtechnischer Sicht unerwünscht.

Ferner ist die geringere mechanische Stabilität und die ungenaue bidirektionale Messung der Zylindersonde zu beanstanden.

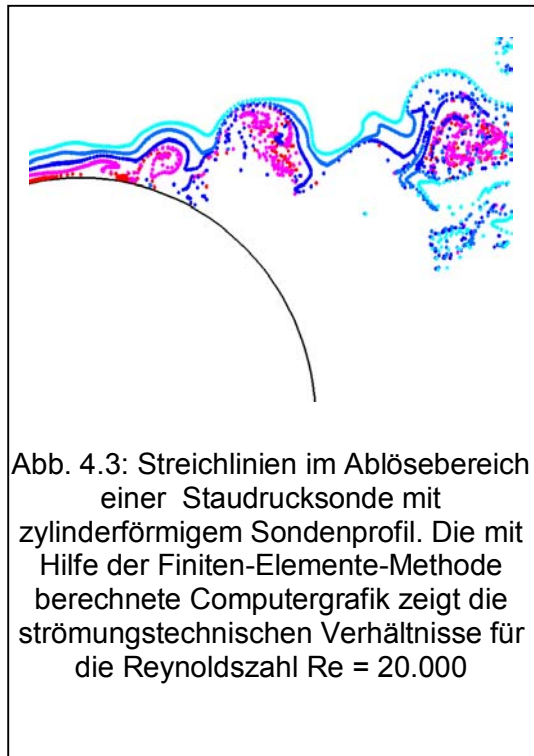


Abb. 4.3: Streichlinien im Ablösebereich einer Staudrucksonde mit zylinderförmigem Sondenprofil. Die mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode berechnete Computergrafik zeigt die strömungstechnischen Verhältnisse für die Reynoldszahl $Re = 20.000$

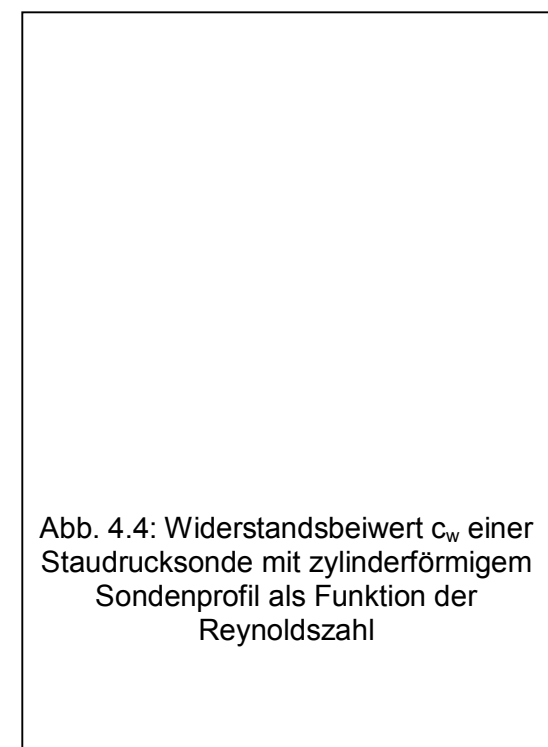


Abb. 4.4: Widerstandsbeiwert c_w einer Staudrucksonde mit zylinderförmigem Sondenprofil als Funktion der Reynoldszahl

4.2.2 Sondenprofil mit integriertem Thermometer (Option)

Zur Messung der Fluidtemperatur ist für alle Staudrucksonden außer für IBFD-HT, IBFD-HTG und die Typen –20/21 optional ein Mantel-Widerstandsthermometer mit Temperatursensor PT-100 erhältlich, siehe Abb. 4.5. Die Vorteile des gewählten Widerstandsthermometers sind:

- Das Widerstandsthermometer ist stabförmig, sehr robust und für den langjährigen Gebrauch ausgelegt.
- Der als Schutzrohr ausgebildete Mantel (Werkstoff 1.4571) des Widerstandsthermometers schützt den Temperatursensor zuverlässig.
- Die Ausführung ist für den industriellen Einsatz mit erhöhten Anforderungen an die Schwingungsfestigkeit und Zuverlässigkeit des Bauteiles konzipiert.
- Der Temperatursensor ist zur Verringerung des wirksamen Leitungswiderstandes in Dreileitertechnik verschaltet.
- Das Mantel-Widerstandsthermometer ist in einem Temperaturbereich zwischen minus 200 und +500°C einsetzbar.

Die konstruktive Lösung zum Einbau des Mantel-Widerstandsthermometers ist bisher einzigartig und überzeugt durch folgende Vorteile:

- Das Widerstandsthermometer ist innerhalb des Sondenprofils angebracht, siehe Abbildung 4.6 zum Querschnitt des Sondenprofils zum Einbau eines Mantel-Widerstandsthermometers. Dadurch hat dieses keinen Kontakt zum Fluid und ist auch nicht dem Betriebsdruck ausgesetzt.
- Die Konstruktion ermöglicht in Verbindung mit der stabförmigen Ausführung des Widerstandsthermometers einen schnellen und problemlosen Ein- oder Ausbau unter Betriebsdruck.

Der Temperatursensor ist auf der Rohrleitungsachse zwischen den beiden Wirkdruckkanälen des Sondenprofils positioniert. Nach Abklingen aller thermischen Ausgleichsvorgänge in der Umgebung des Temperatursensors misst dieser die Fluidtemperatur in der Umgebung der Rohrleitungsachse.



Abb. 4.5: Staudrucksonde Typ IBR mit integriertem Mantel-Widerstandsthermometer. Rechts: geöffneter Anschlussraum

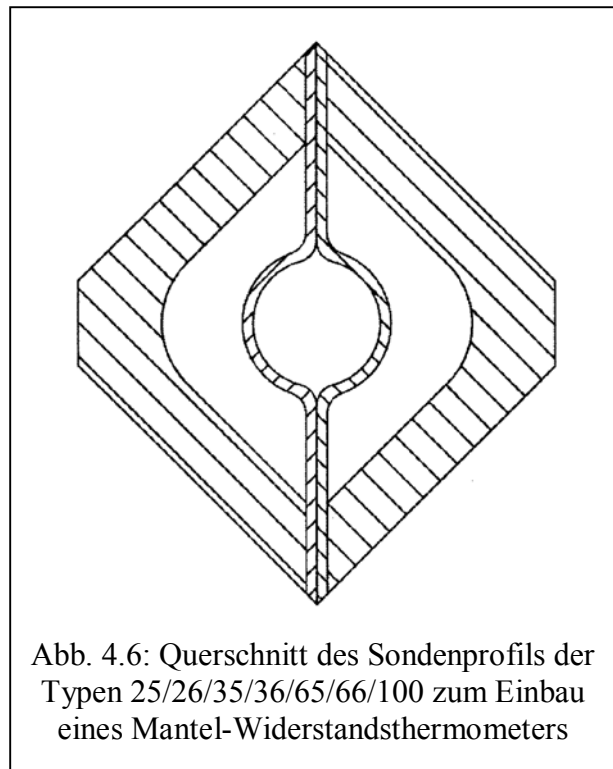


Abb. 4.6: Querschnitt des Sondenprofils der Typen 25/26/35/36/65/66/100 zum Einbau eines Mantel-Widerstandsthermometers

4.3 Patentierte ITABAR-Sonde Baureihe FT (Flo-Tap)

4.3.1 Nachträgliche Installation ohne Betriebsunterbrechung

Gemäß des derzeitigen Standes der Technik eignen sich nur wenige Durchflussmessgeräte zur nachträglichen Installation an einer Messstelle, bei der eine Betriebsunterbrechung hohe Kosten verursacht oder vermieden werden muss. Bei der Auswahl geeigneter Durchflussmessgeräte müssen die Art des zu messenden Fluids, die erforderliche Messgenauigkeit und die Anschaffungs- und Installationskosten berücksichtigt werden. Die folgende Tabelle vergleicht verschiedene, nachträglich ohne Betriebsunterbrechung installierbare Durchflussmessgeräte hinsichtlich der angeführten Kriterien.

Durchflussmessgerät	Messbare Fluide	Methode zur Messung mittleren Strömungsgeschwindigkeit	Meßgenauigkeit	Anschaffungskosten	Installationskosten
Staudrucksonde ITABAR, Baureihe Flo-Tap	Flüssigkeiten, Gase, Dämpfe	Mittelwertbildung an vier, strömungstechnisch günstigen Messstellen	$\pm 1\%$ v. Messwert	gering	mittel
Ultraschall-Durchflussmessgerät mit aufspannbaren Sensoren (Laufzeitdifferenzverfahren)	Flüssigkeiten mit einem Luft- oder Gasanteil < 3 Vol. %	Mittelwertbildung entlang des Ultraschallpfades zwischen den Sensoren	$\pm 1-3\%$ v. Messwert	hoch	gering
Ultraschall-Durchflussmessgerät mit aufspannbaren Sensoren (Dopplerverfahren)	Flüssigkeiten mit annähernd homogen verteilten Luft-, Gas- oder Feststoffanteilen	Mittelwertbildung im eng begrenzten Ultraschallstrahl	$\pm 1\%$ v. Messwert	mittel	gering
Magnetisch-induktive Sonde (Teilstromerfassung)	Flüssigkeiten mit einer Leitfähigkeit > 1 μS	Lokale Messung in der Umgebung der punktförmigen Elektroden	$\pm 0,5-1\%$ v. Messwert	gering	mittel

Die Staudrucksonde ITABAR Baureihe Flo-Tap ist für viele Anwendungsfälle, die eine nachträgliche Installation ohne Betriebsunterbrechung erfordern, die erste Wahl. Die nachträgliche Installation einer Flo-Tap-Staudrucksonde unter vollem Betriebsdruck gliedert sich in folgende Montageschritte:

1. Anschweißen des Montagestutzens mit Montageflansch an die Rohrleitung, siehe Abb. 4.7a.
2. Montage des Absperrorgans am Montagestutzen, siehe Abb. 4.4a unteres Bild.
3. Montage des Anbohrwerkzeuges, siehe Abb. 4.7b.
4. Durchbohren der Rohrleitung, siehe Abb. 4.7 c.
5. Zurückziehen des Anbohrwerkzeuges, siehe Abb. 4.7d.
6. Schliessen des Absperrorgans und Demontage des Anbohrwerkzeuges, siehe Abb. 4.7e.
7. Montage der Flo-Tap-Staudrucksonde, Öffnen des Absperrorgans und Einschieben des Sondenprofils der Staudrucksonde, siehe Abb. 4.7f.

4.3.2 Ausbau ohne Betriebsunterbrechung

Alle Flo-Tap-Versionen der ITABAR-Sonden ermöglichen den Ausbau ohne Betriebsunterbrechung. Diese Eigenschaft ist beispielsweise dann besonders vorteilhaft, wenn

- eine (periodische) Überprüfung der Messgenauigkeit des Durchflussmessgerätes,
- ein Austausch nach längerem Einsatz in abrasiven Fluiden oder
- bei Wartungsarbeiten eine Reinigung des Sondenprofils erforderlich oder gewünscht ist.

<p>Das Diagramm zeigt zwei Ansichten: oben eine Draufsicht auf einen Montagestutzen, der an eine Rohrleitung geschweißt wird, und unten eine Seitenansicht, die die Montage des Absperrorgans am Montagestutzen zeigt.</p>	<p>Das Diagramm zeigt die Montage des Anbohrwerkzeuges an der Spitze des Montagestutzens, der bereits an der Rohrleitung montiert ist.</p>	<p>Das Diagramm zeigt den Durchbohrvorgang der Rohrleitung durch das Anbohrwerkzeug. Ein Teil des Fluids ist bereits durch den Bohrer sichtbar.</p>
<p>Abb. 4.7a: Anschweißen des Montagestutzens mit Montageflansch an die Rohrleitung (oben) und Montage des Absperrorgans am Montagestutzen (unten)</p>	<p>Abb. 4.7b: Montage des Anbohrwerkzeuges</p>	<p>Abb. 4.7c: Durchbohren der Rohrleitung</p>
<p>Das Diagramm zeigt das Zurückziehen des Anbohrwerkzeuges aus der Rohrleitung. Das Fluid strömt nun durch den Bohrer.</p>	<p>Das Diagramm zeigt das Schließen des Absperrorgans und die Demontage des Anbohrwerkzeuges. Das Fluid fließt durch den Bohrer.</p>	<p>Das Diagramm zeigt die Montage der Flo-Tap-Staudrucksonde. Die Sonde wird durch den Bohrer in die Rohrleitung eingeführt.</p>
<p>Abb. 4.7d: Zurückziehen des Anbohrwerkzeuges</p>	<p>Abb. 4.7e: Schließen des Absperrorgans und Demontage des Anbohrwerkzeuges</p>	<p>Abb. 4.7f: Montage der Flo-Tap-Staudrucksonde, Öffnen des Absperrorgans und Einschieben des Sondenprofils der Staudrucksonde</p>

4.3.3 Betriebssicherheit durch zweite Stopfbuchse

Der bisherige Stand der Technik für nachträglich ohne Betriebsunterbrechung einbaubare Staudrucksonden ist gekennzeichnet durch die Abdichtung mit einer Stopfbuchse und Packung am ventilfernen Ende des Sondenprofil-aufnahmerohres, siehe Abb. 4.9. Diese konstruktive Ausführung kann in der Praxis zu Schadensfällen führen.

Staudrucksonden sind häufig mechanischen Belastungen mit statischen und dynamischen Komponenten bei verschiedenen Betriebstemperaturen ausgesetzt. Die dabei auf das Sondenprofil wirkenden Kräfte können Sonden zu unregelmäßigen Schwingungen oder zu Eigenresonanzschwingungen anregen. Bei entsprechender Amplitude und Häufigkeit der Belastung tritt eine Materialermüdung des Sondenwerkstoffes ein, die zum Bruch des Sondenprofils führen können.

Das Sondenprofil von Staudrucksonden mit nur einer Stopfbuchse und Packung ist bedingt durch ihre große freischwingende Länge aus den oben genannten Gründen gefährdet.

Zu Vermeidung solcher Schadensfälle sind alle ITABAR® Flo-Tap-Sonden mit einer zweiten Stopfbuchse ausgestattet, siehe Abb. 4.10. Diese Maßnahme erhöht die Eigenresonanzfrequenz der Sonde in einem Maße, dass auch unter extremen Betriebsbedingungen keine Materialermüdung entstehen kann.

Intra-Automation GmbH hat diese konstruktive Ausführung patentrechtlich geschützt und ist alleiniger Hersteller von Staudrucksonden, die mit einer zweiten Stopfbuchse und Packung ausgestattet sind.

Die Staudrucksonden der Baureihen FTM, FTH, FTMD und FTHD sind serienmäßig mit einem Gewindestangenpaar (Werkstoff: 1.4571) ausgestattet, siehe z. B. Abb. 4.8. Zur Montage und Demontage der Staudrucksonde ist ein Schraubenschlüssel erforderlich. Schneller und einfacher ist die Montage und Demontage einer Staudrucksonde mit Getriebe. Das Gehäuse des Getriebes ist aus Aluminium und das Handrad aus C-Stahl.

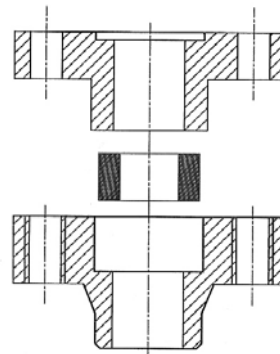


Abb. 4.8: ITABAR® Flo-Tap-Sonde mit einer zweiten Stopfbuchse

Konstruktionen nachträglich einbaubarer Staudrucksonden

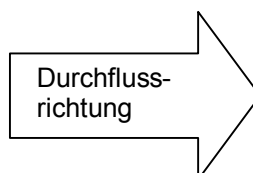
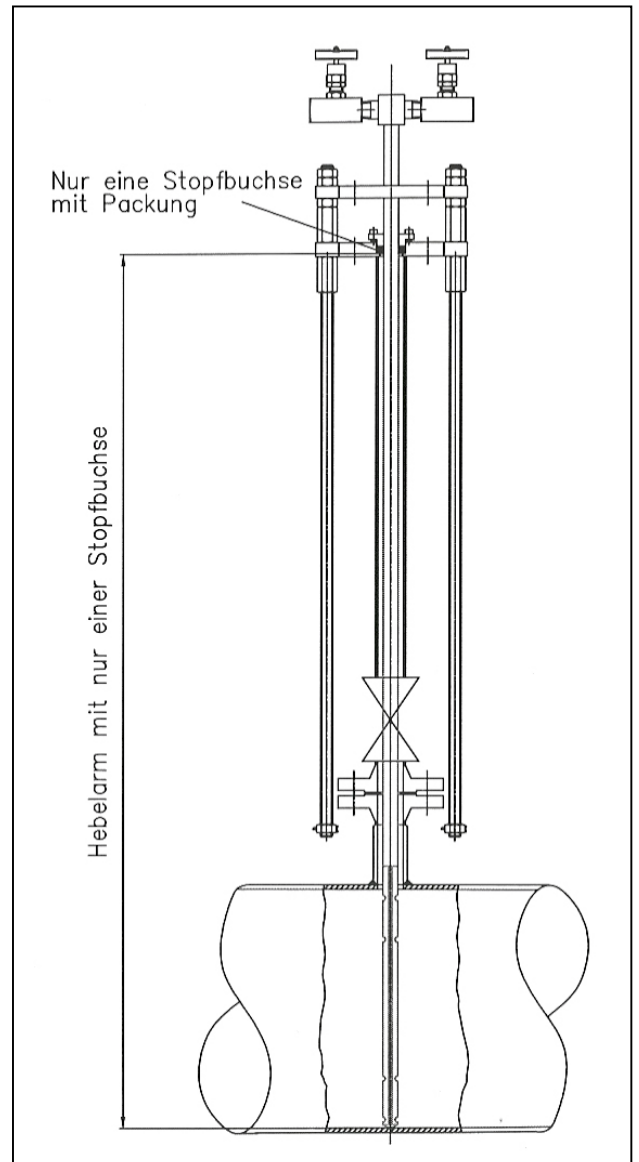
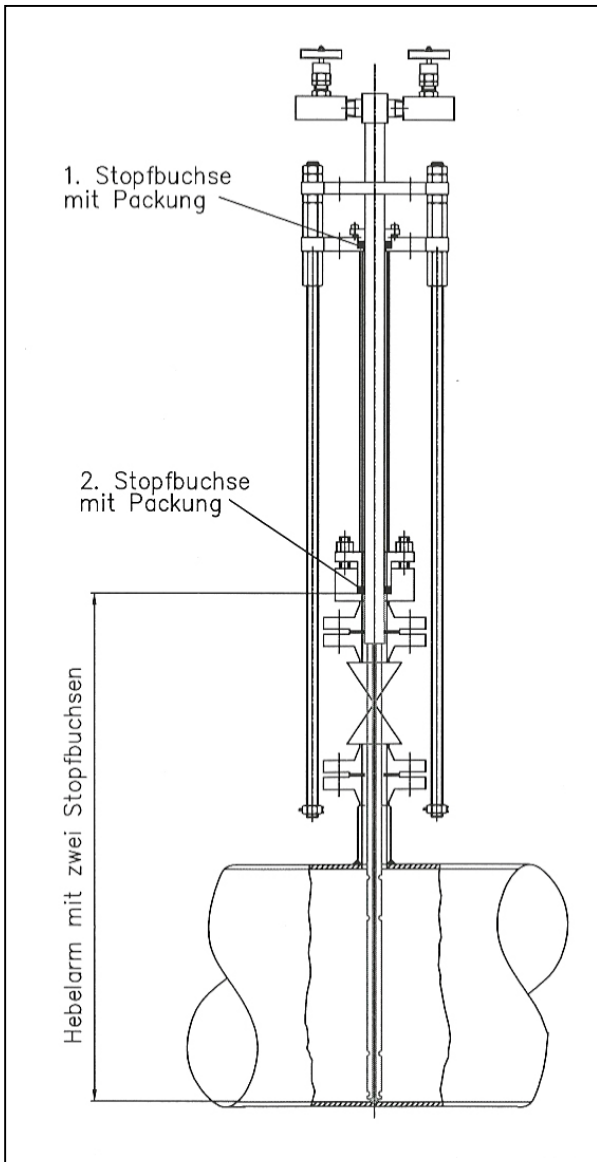


Abb. 4.9: Staudrucksonde ITABAR mit zwei Stopfbuchsen und Packungen. Der kurze Hebelarm schließt eine Abrissgefahr der Sonde praktisch aus.

Abb. 4.10: Staudrucksonde ohne Schutz vor Materialermüdung. Der lange Hebelarm erhöht die Abrissgefahr der Sonde.

5. Spezifikationsblatt für ITABAR- Durchflussonden

Die Auswahl einer geeigneten Staudrucksonde kann herstellerseitig schnell und zuverlässig durchgeführt werden, wenn Angaben zur vorhandenen Rohrleitung, zum Fluid und zur gewünschten Ausführung gemäß der untenstehenden Tabelle vorliegen.

Allgemeine Angaben:

Kunde:
 Referenz-Nr.:
 Messstellen-Nr.:

Rohrleitung:

Werkstoff: Nenndruck: bar
 Innendurchmesser: mm Wandstärke Rohr: mm
 Wandstärke der Isolierung: mm

Fluid:

Name: flüssig dampfförmig gasförmig
 Isentropenexponent:
 Kompressibilitätsfaktor:
 Strömungsrichtung: horizontal vertikal

Physikalische Größe:	Minimalwert:	Betriebswert:	Maximalwert:	Einheit
Durchfluss				
Temperatur				
Druck abs. <input type="checkbox"/> rel. <input type="checkbox"/>				
Normdichte				
Betriebsdichte				
Dynamische Viskosität				

Gewünschte Ausführung:

Sondenmontage mit Einschweißverschraubung:
 Sondenmontage in geflanschter Ausführung: DIN-Flansch: ANSI-Flansch
 Wechsel der ITABAR-Sonde ohne Betriebsunterbrechung erforderlich:
 Kompaktversion (falls technisch möglich):

6. Zur Spezifikation von Staudrucksonden

Die Spezifikation einer Staudrucksonde beginnt mit der Auswahl einer, für den jeweiligen Anwendungszweck passenden Baureihe.

Zum besseren Verständnis sei hier die Bedeutung der Baureihenbezeichnungen erklärt. Die Staudrucksonden, deren Baureihenbezeichnung mit „IB...“ beginnt, sind für den stationären Betrieb vorgesehen. Der Buchstabe „R“ („F“, „G“) ist kennzeichnend für eine Schraubverbindung (Flanschverbindung, Schweißverbindung) zwischen der rohrlingsbezogenen und der sondenbezogenen Baugruppe. Alle Staudrucksonden für Dampf haben ein „D“ am Ende der Baureihenbezeichnung. Der Zusatz „HT“ oder „HTG“ steht für Hochtemperatur. Die Staudrucksonden der Baureihen „Flo-Tap“ haben eine mit „FT...“ beginnende Baureihenbezeichnung und können ohne Betriebsunterbrechung ein- und ausgebaut werden. Der Buchstabe „N“ („M“ und „H“) weist auf Einsatzmöglichkeiten für niedrigen (mittleren und hohen) Betriebsdruck und „D“ für Dampf hin. Die Baureihen 20, 25, 35 und 65 unterscheiden sich von den Baureihen 21, 26, 36 und 66 durch ein Gegenlager, das zur Vermeidung unzulässig hoher, durch den Staudruck oder durch Eigenresonanzschwingungen verursachten Biegespannungen des Sondenprofils dient.

In den Abschnitten 7.1 und 8.1 sind die Auswahlkriterien für die verschiedenen Baureihen der ITABAR-Staudrucksonden abhängig vom jeweiligen Betriebsdruck, Betriebstemperatur und der gewünschten Montagebedingung ausführlich dargestellt.

Zur Berechnung und Auslegung einer Staudrucksonde dient das Berechnungs- und Auslegungsprogramm WINFLOW. Das Programm WINFLOW, Bedienoberfläche siehe Abb. 6.1, berechnet abhängig von den spezifischen Daten der Messstelle

- die sich unter den verschiedenen Betriebsbedingungen ergebenden Differenzdrücke,
- den durch die Staudrucksonde erzeugten Druckverlust,
- die Eigenresonanzfrequenz des Sondenprofils der Staudrucksonde und empfiehlt gegebenenfalls eine Staudrucksonde mit Gegenlager,
- die Sensorfrequenz des Sondenprofils bei Betriebsbedingungen,
- den maximal zulässigen Differenzdruck,
- den maximal zulässigen Durchfluss für den ausgewählten Sensortyp,
- die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Fluids und
- die Viskosität und Dichte häufig vorkommender Fluide unter Betriebsbedingungen.

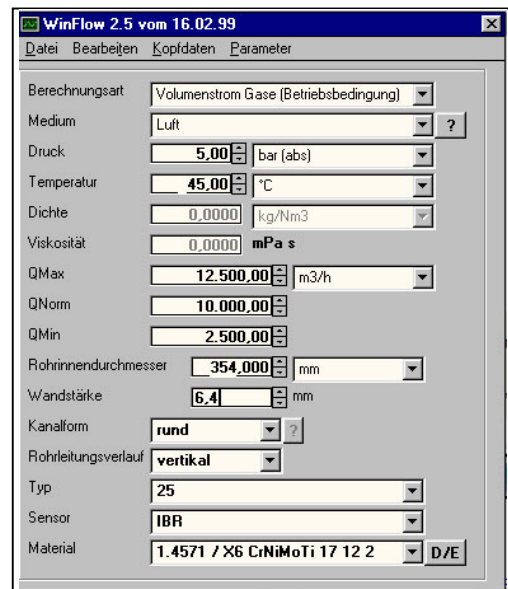


Abb. 6.1: Die Bedienoberfläche von WINFLOW

Das Programm WINFLOW kann unter Angabe des kundenseitig gewünschten Datenträgers kostenlos bezogen werden. Diese Auswahl kann auf Wunsch auch herstellerseitig durchgeführt werden, wenn kundenseitig die im Abschnitt "Spezifikation der Messstelle" genannten Daten vorgegeben werden.

Die Spezifikation erfolgt durch einen übersichtlichen, in Abschnitten gegliederten und für alle Staudrucksonden gleichen Bestellschlüssel, der die Vielzahl der modular aufgebauten Varianten zeigt und eine maßgeschneiderte Auswahl einer Staudrucksonde für nahezu jeden Einsatzfall ermöglicht.

6.1 Kompakte oder getrennte Version?

Die kompakte bzw. die getrennte Version bezeichnen die Art der Montage von den Komponenten Staudrucksonde, Ventilblock und Messwertumformer. Bei der kompakten Version ist die Staudrucksonde, ein separater 3- oder 5-Wege-Ventilblock und der Messwertumformer zu einer kompakten Einheit verschraubt, siehe Abb. 6.1. Bei der getrennten Version sind Messumformer und Staudrucksonde voneinander getrennt und werden mit Hilfe von Ermetorohren miteinander verbunden, siehe Abb. 6.2.



Abb. 6.1: Beispiel einer kompakten Version mit Flanschplatte, 3-Wege-Ventilblock und Differenzdruck- Messumformer



Abb. 6.2: Beispiel einer getrennten Version mit 3-Wegeventilblock und Differenzdruck- Messumformer




Die kompakte Version, siehe Abb. 6.1, bietet gegen über der in der Abb. 6.2 dargestellten getrennten Version einen deutlichen Kostenvorteil. Montage- und Materialkosten entfallen für:




- zwei Kugelhähne,
- zwei Ermetoverschraubungen,
- einen Montagewinkel für den Differenzdruck-Transmitter,
- das Ermetorohr 12 x 1 mm und
- zwei Ermetoanschlüsse an den Differenzdruck-Transmitter.
- Aufwand der Montagezeit

7. Staudrucksonden für Flüssigkeiten und Gase

7.1 Auswahlkriterien

Die folgenden Tabellen erlauben die Auswahl einer Baureihe abhängig von der gestellten Messaufgabe, des Betriebsdruckes, der Betriebstemperatur und den gewünschten Montagebedingungen.

	IBR	IBF	IBF-100
Ein- und Ausbau mit Betriebsunterbrechung			
Messaufgabe:			
Messung von Flüssigkeiten, Gasen und Gasgemischen	x	x	---
Messung von Rauchgasen	x	x	x
Mögliche Betriebsdrücke:			
6 bar, 16 bar	x	x	x
40 bar, 63 bar	x	x	---
100, 160, 250, 320 und 400 bar		x	---
Max. Betriebstemperatur:			
200° Celsius (25 bar)	x		
1175° Celsius, werkstoffabhängig	---	x	x
Werkstoff der Montageteile:			
C-Stahl, 1.4571	x	x	x
1.4462 Duplex, 1.4539, Hastelloy C4, Incoloy 800, Inconel, Monel, PVDF	---	x	x
Sondenwerkstoff:			
1.4571 (Standard)	x	x	x
1.4462 (Duplex), Inconel, Monel,	---	x	---
1.4539, Hastelloy C4, Incoloy 800, PVDF	---	x	x
Konstruktive Merkmale:			
Schraubverbindung mit Einschweißmuffe und Druckmutter zur Montage der Sonde an der Rohrleitung	x	---	---
Flanschverbindung zur Montage der Sonde an der Rohrleitung	---	x	x
Gegenlager mit abschraubbarem Blindflansch zur einfacheren Reinigung des Sondenprofils	---	---	x

	FTN	FTM	FTH
Ein- und Ausbau ohne Betriebsunterbrechung			
Messaufgabe:			
Messung von Flüssigkeiten, Gasen und Gasmischungen	x	x	x
Messung von Rauchgasen	x	x	x
Mögliche Betriebsdrücke:			
6 bar	x	x	x
16 bar, 40 bar	---	x	x
63 und 100 bar	---	---	x
Max. Betriebstemperatur:			
200° Celsius	x		
300° Celsius	---	x	X
400° Celsius	---	---	X
Werkstoff der Montageteile:			
C-Stahl, 1.4571	x	x	x
1.4462 Duplex, 1.4539, Hastelloy C4, Incoloy 800, Inconel, Monel	---	---	x
Sondenwerkstoff:			
1.4571 (Standard)	x	x	x
1.4462 Duplex, 1.4539, Hastelloy C4, Monel	---	---	x
Konstruktive Merkmale:			
Schraubverbindung mit Einschweißmuffe und Druckmutter zur Montage der Sonde an der Rohrleitung	x	---	---
Schraubverbindung mit Einschweißmuffe und Druckring zur Montage der Sonde an der Rohrleitung	---	x	---
Flanschverbindung zur Montage der Sonde an der Rohrleitung	---	---	x
Sicherungskette zum Schutz beim Ausbau	x	---	---
Transportspindeln zum leichteren Ausbau (Sicherungskette ist nicht erforderlich)	---	x	x
Option: Getriebe mit Handrad	---	x	x

7.2 Abbildungen Sondenköpfe und Montageteile



Abb. 7.1: Sondenkopf mit 1/2" NPT Außengewinde, nur für Gase und Flüssigkeiten.



Abb. 7.2: Sondenkopf mit Flanschplatte zum Aufbau eines 3-Wege-Ventilblockes.
Einsatzgrenzen ohne Isolierung der Rohrleitung:
Gase bis $P_{\max} = 63$ bar und $T_{\max} = 200$ °C
Flüssigkeiten bis $P_{\max} = 63$ bar und $T_{\max} = 150$ °C



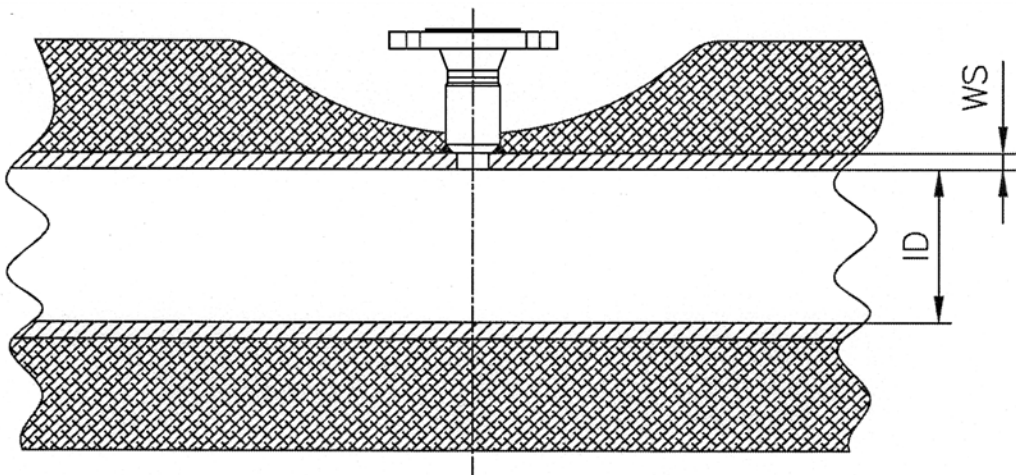
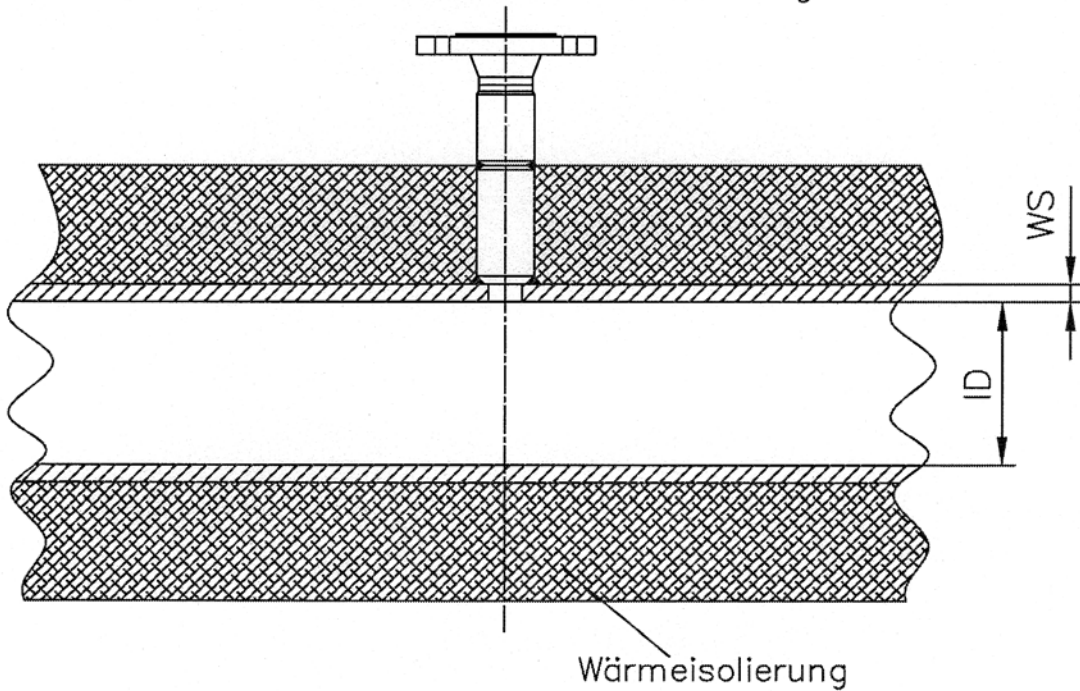
Abb. 7.3: Einschweißverschraubung für IBR-25/26 aus 1.4571.



Abb. 7.4: Montagegestütze in Weldolet-Ausführung.

7.9 Berücksichtigung der Wärmeisolierung bei den Bestellangaben

Montagestutzenverlängerung – damit ist die Befestigung der Sonde außerhalb der Wärmeisolierung

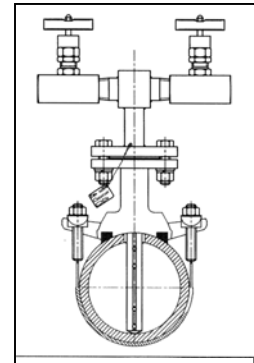


Wenn die Verlängerung nicht vorgesehen wird, muß die Isolierung am Montageort eingezogen werden – zusätzlicher Isolieraufwand

7.10 Sattelflanschausführung für Guss-, Stahl- und AZ- Rohre (Asbestzementrohre)

Die Sattelflanschausführung ist eine spezielle Montageart der Staudrucksonde für Guss-, Stahl- und AZ- Rohre (Asbestzementrohre). Der übliche Nennweitenbereich reicht von DN 65 bis DN 500. Größere Nennweiten können auf Anfrage realisiert werden.

Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt exemplarisch eine Staudrucksonde IBF-25 in Sattelflanschausführung. Diese Ausführung besteht aus einer Anbohrschelle mit Flanschabgang PN 4 (Gas) / PN 16 (Wasser) und mindestens einem Haltebügel.



Diese Montageart ist für Staudrucksonden mit Gegenlager ist nicht geeignet.

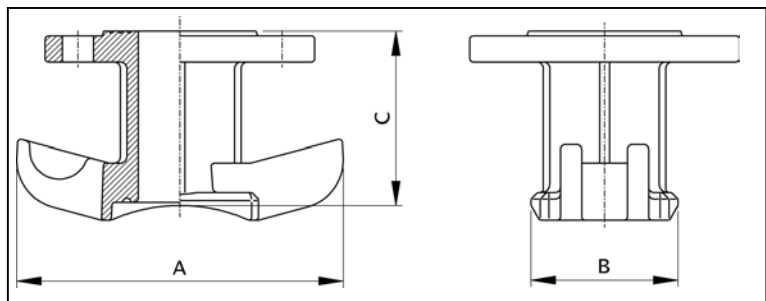


Abbildung 7.6: Universal-Anbohrschelle mit Flansch-Abgang DN 40/50 PN 4 (Gas) / PN 16 (Wasser)

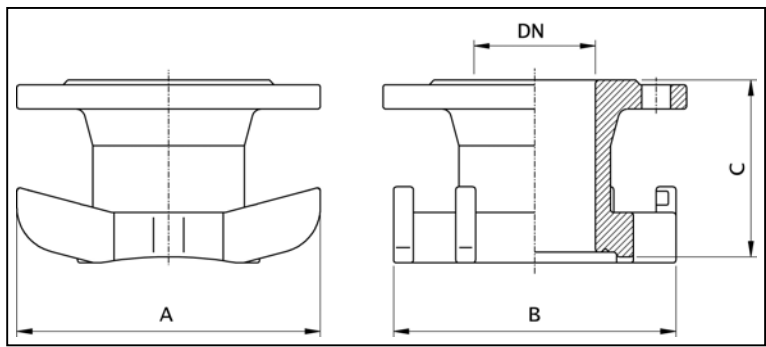


Abbildung 7.7: Doppelbügel-Anbohrschelle mit Flansch-Abgang DN 80 PN 4 (Gas) / PN 16 (Wasser)



Abbildung 7.8: Haltebügel, voll vulkanisiert



Abbildung 7.9: Haltebügel, nichtrostender, säurebeständiger Stahl (1.4301)

	Haltebügel, voll vulkanisiert	Haltebügel, 1.4301	Haltebügel für AZ-Rohre ohne Abb.
Abbildung:	7.5	7.6	ohne Abb.
Einsatz für Rohrarten:			
- längsnahtgeschweißtes Stahlrohr nach DIN 2460	x	x	---
- längsnahtgeschweißtes Stahlrohr mit PE-Umhüllung nach DIN 30670	x	x	---
- Gussrohr nach DIN 28610 bitumiert	x	x	---
- Gussrohr nach DIN 28610 mit PE-Umhüllung nach DIN 30674 T 1	x	x	---
- Gussrohr nach DIN 28610 mit ZM-Umhüllung	x	x	---
- Asbest-Zementrohr 10 bar	---	---	x
- Asbest-Zementrohr 12,5 bar	---	---	x
- Asbest-Zementrohr 16 bar	---	---	x
Rohraußendurchmesser:	87 – 470 mm	75 – 582 mm	97 – 494 mm
Breite des Bügels:	70 mm	65 mm	90 mm
Material des Bügelbleches:	nichtrostender Stahl, voll vulkanisiert	1.4301	1.4301
Satteldichtung:	NBR	NBR	NBR
Bestellangabe (x= Rohraußendurchmesser in mm):	HB1-x	HB2-x	HB3-x

Materialübersicht

Werkstoff Nr.	Temperaturbereich	Verwendungszweck	Verwendungszweck
1.4571 (Standard)	450°C	Extraktionsanlagen, Eindampfanlagen, Trocknungssysteme, Misch- und Dosieranlagen, Verdampfer, Destillieranlagen, Trockner und andere	Der Cr-Ni-Mo legierte Werkstoff ist sehr beständig gegen reduzierend wirkende organische und anorganische Säuren sowie auch gegen halogenhaltige Medien. Ferner ist dieser Stahl weniger anfällig gegen Lochfraß. Dieser Titan stabilisierter Werkstoff weist eine etwas bessere Warmfestigkeit auf, auf Kosten einer leicht verminderten Säurebeständigkeit
1.4462	Duplex	Meerwasserentsalzungsanlagen, petrochemischen Industrie, Off-shor-Technik, Verdampfer, Extraktionsanlagen, Destillation, Trockner	Gute mechanische und gleichzeitige hohen Beständigkeit gegenüber allgemeiner Korrosion, Spannungsriss- und Schwingungskorrosion.
1.4539	450-800°C	Rausgasentschwefelungsanlagen, bei Taupunktunterschreitung	Der Werkstoff ist ein hochsäurebeständiger Sonderstahl mit besonders gute Beständigkeit gegen Schwefel- und Phosphorsäure, bei Konzentrationen bis zu 70% und Betriebstemperaturen bis zu 80°C. Im weiteren hat dieser Werkstoff eine gute Beständigkeit gegen konzentrierte organische Säuren, auch bei höheren Temperaturen, sowie gegen Salz- und Sodalösungen. Der Stahl ist besonders unempfindlich gegen Lochfraß und Spannungsrisskorrosion.
2.4610 NiMo16Cr16Ti Hastelloy C4	650-1040°C	Rauchgasentschwefelung, Chlorgasanwendungen	Hervorragende Beständigkeit in der chemischen Verfahrenstechnik gegen starke oxydationsmittel, heiße verunreinigte Mineralsäuren, Lösungsmittel, Chlor- und von Chlor verunreinigte Medien (organische und anorganische), trockene Bleichsäure, Ameisensäure, Essigsäure, Essighydrid-, Seewasser, und Salzlauge-lösungen. Die Legierung verfügt über große Duktilität und Korrosionsbeständigkeit auch im Temperaturbereich von 650 – 1040°C. Beständig gegen die Bildung von Korngrenzkariben und daher in den meisten Fällen ohne Wärmebehandlung nach dem Schweißen eingesetzt werden.
1.4876 X10NiCrAlTi3320 Incoloy 800	900°C	Wasserstoffanlagen	Diese Legierung ist gegen Korrosion durch Wasserstoff / Wasserstoffsulfid sowie gegen Spannungsrisskorrosion beständig. Sie ist hochwarmfest und gegen Sigmaphasenausscheidung unempfindlich.
2.4816 NiCr15Fe Inconel 600	1175°C	Winderhitzer	Ausgezeichnete Oxydationsbeständigkeit bis zu 1175°C bei hervorragender allgemeiner Korrosionsbeständigkeit. Behält die hohe Festigkeit bis ca. 650°C. Gut mechanische Eigenschaften auch bei Tieftemperaturen. Wegen ihrer Beständigkeit gegen Chloridspannungskorrosion wird diese Legierung auch in Kernreaktorkomponenten eingesetzt. Schweißbar ohne thermische Nachbehandlung.

Materialübersicht

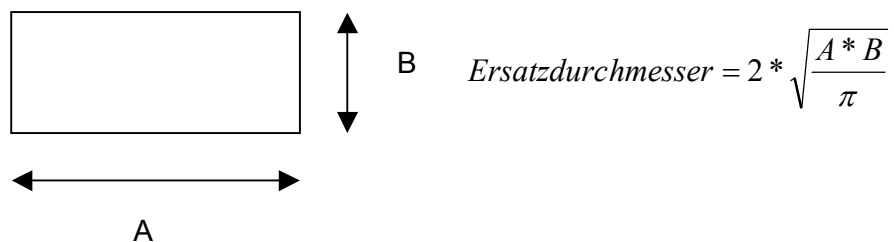
Werkstoff Nr.	Temperaturbereich	Verwendungszweck	Verwendungszweck
2.4360 NiCu2Ofe Monel	425-550°C	Extraktionsanlagen, Eindampfanlagen, Trocknungssysteme, Misch- und Dosierungsanlagen, Verdampfer, Destillieranlagen, Trockner, Meerwasserentsalzungsanlagen	Der Cr-Ni-Mo legierte Werkstoff ist sehr beständig gegen reduzierend wirkende organische und anorganische Säuren sowie auch gegen halogenhaltige Medien. Ferner ist dieser Stahl weniger anfällig gegen Lochfraß. Dieser Titan stabilisierter Werkstoff weist eine etwas bessere Warmfestigkeit auf, auf Kosten einer leicht verminderten Säurebeständigkeit
PVDF	-40 bis +120°C	Chemischer Anlagenbau, Rauchgasreinigung, Filtertechnik	Sehr gut beständig gegen viele aggressive Säuren, zahlreiche Lösungs- und Reinigungsmittel, heißwasserbeständig.
1.5415 15 Mo 3	530°	Hochdruckdampfanwendungen	
1.7335	550°C	Hochdruckdampfanwendungen	
1.7380 10 CrMo 4 4	570°C	Hochdruckdampfanwendungen	
1.4903 10 CrMoVNB 91	650°C	Hochdruckdampfanwendungen	Hochdruckdampf, Energietechnik Umwelttechnik, Chemie / Petrochemie Öl-, und Gasindustrie Kältetechnik Nahrungs- und Getränkeindustrie Kunststoffverarbeitung

Technische Spezifikation

Sondenwerkstoffe	1.4571 (Standard)	
	1.4462	Duplex
	1.4539	
	2.4610	Hastelloy C4
	1.4876	Incoloy 800
	2.4816	Inconel 600
	2.4360	Monel
	PVDF	
	1.5415	15 Mo 3
	1.7335	13 CrMo 44
	1.7380	10 CrMo 910
	1.4903	X 10 CrMoNVb

Rohrnennweiten	DN 20 bis DN 12000
Max. Betriebsdruck	PN 400 (je nach Sondentyp)
Max. Betriebstemperatur	1200°C (je nach Sondenwerkstoff)
Genauigkeit	± 0,3 % vom Messende

- Geringer bleibender Druckverlust (Energieeinsparung)
- Einsatz ab $Re=3150$
- Direkte Massedurchflussmessung (integrierte Temperatur- und Durchflussmessung)
- Direktaufbau eines elektr. Differenzdrucktransmitters
- geringe Verschmutzungsneigung durch große Messbohrungen
- ITABAR-Durchfluss-Sonden mit bescheinigter Genauigkeit, auf dem Wasserprüfstand der Firma ABB in Göttingen. Es wurden alle Sondentypen von DN400 bis DN1600 kalibriert und getestet, siehe Prüfprotokoll.
- Werkstoffbescheinigungen in 3.1B und 3.1A erhältlich.
- Flo-Tap-Varianten lassen den Ein- und Ausbau unter Betriebsbedingungen zu.
- Durchflussmessungen in rechteckigen und quadratischen Kanälen möglich

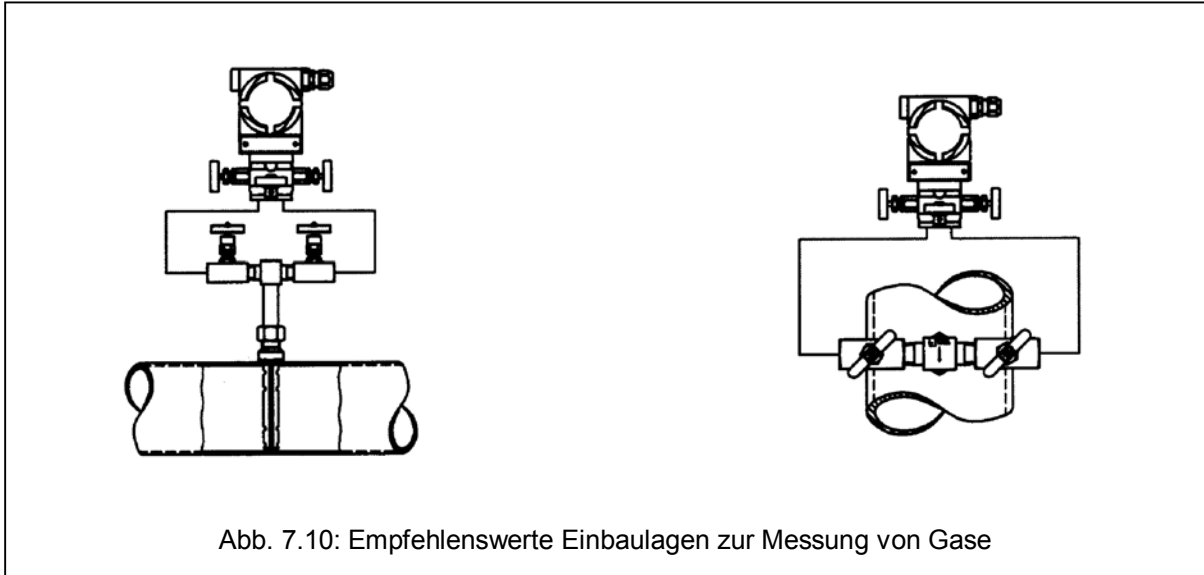


Die Sonde immer für die längere Seite auslegen, damit das Strömungsprofil besser erfasst wird.

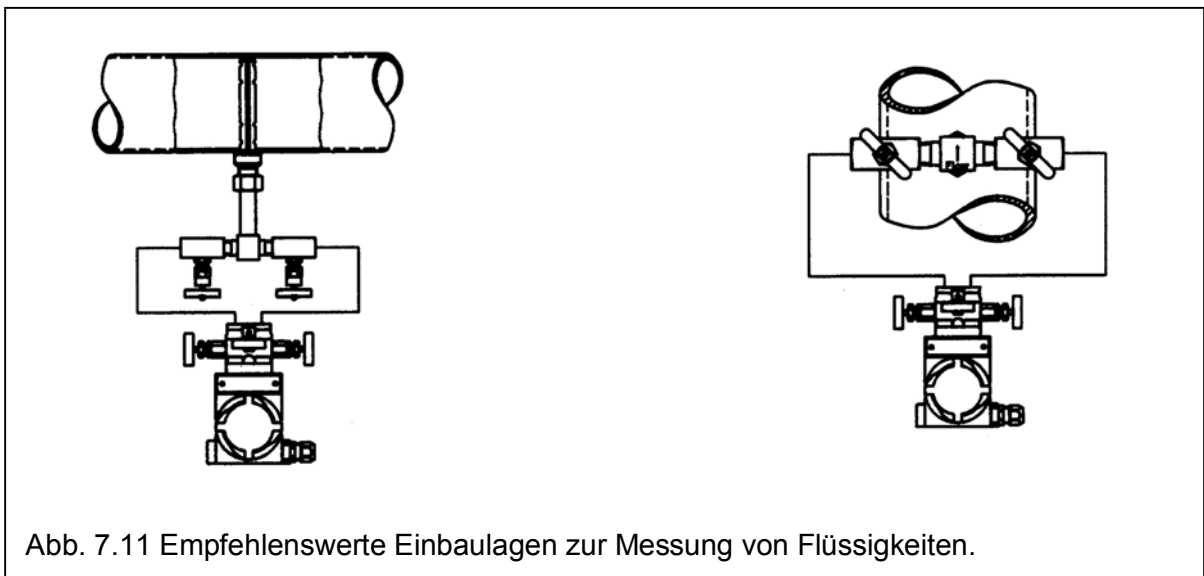
- Kürzere Ein- und Auslaufstrecken als bei Blenden und Düsen.

Auswahl der Einbaulage

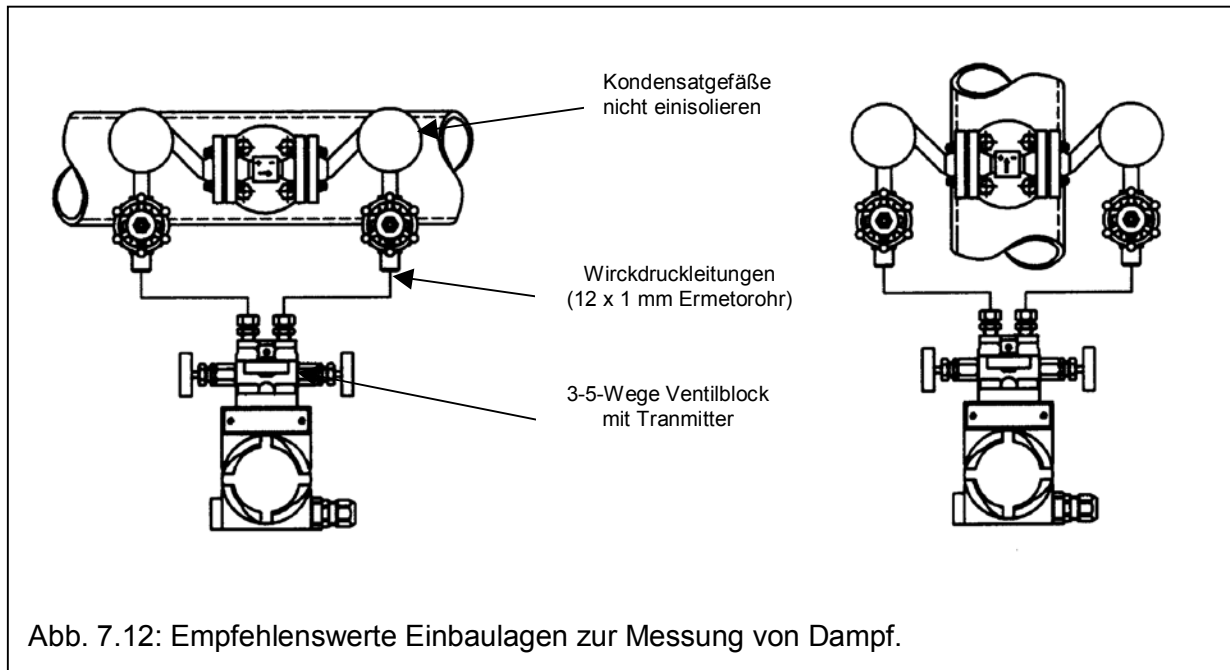
1. Gase, nach Möglichkeit sollte die Sonde von oben oder seitlich in die Rohrleitung montiert werden. Falls das zu messende Gas Feuchtigkeit mitführt, können Flüssigkeitstropfen zurück in den Messraum gelangen. Wenn die Sonde von unten in die Rohrleitung geführt wird, führt ein Anstieg der Flüssigkeitssäule zu Fehlmessungen.



2. Flüssigkeiten, Sondeneinbau seitlich oder von unten in die Rohrleitung, niemals von oben (wie bei Gasen) montieren. Luftblasen steigen auf und verfälschen das Messergebnis, Transmitter immer unterhalb der Wirkdruckentnahme montieren.



3. Dampf, Sondeneinbau immer seitlich in die Rohrleitung montieren, Austausch zwischen den Aggregatzuständen Dampf-Wasser muss störungsfrei ablaufen können. Transmitter unterhalb der Wirkdruckentnahme installieren. Die Wassersäulen der Kondensatgefäße müssen als völlig identische hydrostatische Höhen über dem Messumformer stehen



Achtung, auf keinen Fall die Sonde für Dampfmessungen von oben in die Rohrleitung bauen!

Kalibrierung der ITABAR-Durchfluss-Sonden

Um höchste Genauigkeit von ITABAR-Durchfluss-Sonden zu erreichen, wurden auf einem PTB geprüften und zugelassenen Prüfstand ITABAR-Durchfluss-Sonden getestet. Die Aufgabenstellung beinhaltete die absoluten Messfehler bei maximalen, sowie bei minimalen Durchfluss zu ermitteln.

Das Messbereichsverhältnis betrug 1:5, ebenso galt es den Einfluss der Reynoldszahl zu ermitteln und in das Winflow Programm einzuarbeiten, damit der Anwender von ITABAR-Durchfluss-Sonden höchste Anforderungen an das Produkt stellen kann.

geprüfte Nennweiten	Sondentypen
ID 306	IBF-26/36/66
ID 400	IBF-26/36/66
ID 500	IBF-26/36/66
ID 598	IBF-26/36/66
ID 998	IBF-26/36/66
ID 1608	IBF-26/36/66

Für die Versuche wurden Intra-Automation verschiedene Rohrstrecken gefertigt, damit diese hydraulisch im Prüfstand eingespannt werden konnten. Die Rohrstrecken wurden mit einer Toleranz von ± 1 mm vermessen.

Die Umwandlung des Differenzdruckes in ein mA-Signal wurde mit elektr. Differenzdrucktransmittern der Fa. Endress + Hauser durchgeführt, diese wurden auf $\pm 0,1$ % Fehler vom Endwert kalibriert.

Wassertemperatur und Druck wurden am Prüfstand abgelesen. Das Ausgangssignal des elektr. Differenzdrucktransmitters wurde als Impuls auf das Auswertungssystem der Firma ABB gelegt und direkt mit dem Eichnormal verglichen.

Sechs Messungen wurden für jeden Durchflussmessbereich automatisch über einen Zeitraum von jeweils 100 Sekunden durchgeführt. Die Fehler der Messintervalle wurden direkt zu einem Mittelwert gebildet.

Mit Hilfe der durchgeführten Kalibrierungen gelang es, für alle ITABAR-Sonden eine Genauigkeit von $\pm 0,3$ % zu erzielen. In der laufenden Fertigung werden die Sonden mit einer Breitentoleranz gemäß, s. nachfolgende Tabelle, hergestellt und geprüft.

Sondentypen	Fertigungstoleranz
IBR/IBF-15	$\pm 0,05$ mm
IBR/IBF-20/21	$\pm 0,05$ mm
IBR/IBF-25/26	$\pm 0,05$ mm
IBR/IBF-35/36	+ 0 mm - 0,1 mm
IBR/IBF-65/66/100	+ 0 mm - 0,1 mm

Durch diese Maßnahmen garantiert Intra-Automation für ITABAR-Durchfluss-Sonden eine Messgenauigkeit von $\pm 0,3$ %

MEN

Mess- und Eichwesen Niedersachsen

- Landesbetrieb -

Office of Legal Metrology of the state of Niedersachsen (Germany)



DIE BEI DEN MESSUNGEN VERWENDETEN NORMALE SIND AUF DIE NATIONALEN NORMALE BEI DER PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN BUNDESANSTALT RÜCKGEFÜHRT.

THE STANDARDS USED FOR THE MEASUREMENTS ARE TRACEABLE TO THE NATIONAL STANDARDS AT THE PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT.

Prüfschein

Inspection certificate



Nummer

Number

20011647

Gegenstand

Object

Magnetisch – induktiver Durchflussmesser

Identifikation

Identification

Durchflussaufnehmer

mit Seriennummer 8901N1738/A3

Messumformer MAG - XH

mit Seriennummer 8901N1738/B3

Hersteller

Manufacturer

Fischer & Porter GmbH

Antragsteller

Applicant

ABB Automation Products GmbH

Dransfelder Straße 2

37079 Göttingen

Anzahl der Seiten der Anlage

Number of pages of the addendum

eine

Ort und Datum der Prüfung

Place and date of inspection

Göttingen, 20. September 2001

Gültigkeit der Prüfung bis 31. Dezember 2002

This inspection is valid until

Stempelzeichen

Marking



Prüfscheine ohne Unterschrift und Dienstsiegel haben keine Gültigkeit. Dieser Prüfschein darf nur unverändert weiterverbreitet werden.

Inspection certificates without signature and official stamp are not valid. This inspection certificate may only be reproduced in unchanged form.

Ort und Datum

Place and date



Im Auftrag

By order

Hannover, 24. September 2001

Wohlthat



Zusätzliche Angaben zum Gegenstand

Additional comments concerning the object

Nennweite DN 500

Prüfverfahren

Test procedure

Die Messnormale wurden entsprechend der „Richtlinie für die Eichung von Volumenmessgeräten für strömendes Wasser und Anforderungen für die Normale“ vom 13. Juni 1996 geprüft.

Umgebungsbedingungen

Environmental conditions

Bei der Prüfung darf die Wassertemperatur 30 °C nicht überschreiten.

Ergebnis

Result

Durchfluss	Abweichung
m ³ /h	%
3000	-0,04
2250	-0,05
1500	-0,05
600	-0,35
1500	-0,09
1125	-0,21
800	0,32
300	-0,82

Der Zähler entspricht den „Anforderungen für Normale“ und kann als Referenzzähler verwendet werden.

Messunsicherheit

Uncertainty of measurement

Die Messunsicherheit wurde nicht bestimmt.

Hinweis

Notes

Die Prüfung verliert ihre Gültigkeit vorzeitig, wenn am Gegenstand Beschädigungen oder Veränderungen aufgetreten sind, die Einfluss auf dessen messtechnische Eigenschaften haben können oder wenn das aufgebrachte Stempelzeichen beschädigt oder entfernt wird.

Ende der Anlage

End of the addendum

Kalibrierstand / Fa. ABB Göttingen



Prüfprotokoll

Prüfstand: ABB Göttingen, PTB-geprüft / Prüfstand PS 0014
 Rohrinnendurchmesser : 306 mm / Medium : Wasser

Typ Prüfling	Betriebs-temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich-normal m ³	Fehler %
IBF-26	20°C	100	1000	27,632	27,594	0,1388
IBF-26	20°C	100	1000	27,616	27,615	0,0035
IBF-26	20°C	100	1000	27,662	27,652	0,0345
IBF-26	20°C	100	1000	27,563	27,555	0,0284
IBF-26	20°C	100	1000	27,598	27,608	0,0395
IBF-26	20°C	100	1000	27,599	27,547	0,1882
Mittelwert		100		27,612	27,595	0,0721

Typ Prüfling	Betriebs-temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich-normal m ³	Fehler %
IBF-36	20°C	100	1000	27,613	27,564	0,1807
IBF-36	20°C	100	1000	27,520	27,489	0,1125
IBF-36	20°C	100	1000	27,614	27,576	0,1400
IBF-36	20°C	100	1000	27,644	27,546	0,3531
IBF-36	20°C	100	1000	27,580	27,577	0,0130
IBF-36	20°C	100	1000	27,697	27,505	0,6983
Mittelwert		100		27,611	27,543	0,2496

Typ Prüfling	Betriebs-temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich-normal m ³	Fehler %
IBF-66	20°C	100	1000	27,499	27,432	0,2464
IBF-66	20°C	100	1000	27,451	27,425	0,0933
IBF-66	20°C	100	1000	27,436	27,457	-0,0774
IBF-66	20°C	100	1000	27,503	27,495	0,0274
IBF-66	20°C	100	1000	27,448	27,453	-0,0164
IBF-66	20°C	100	1000	27,618	27,569	0,1793
Mittelwert		100		27,493	27,472	0,0754

Prüfprotokoll

Prüfstand: ABB Göttingen, PTB-geprüft / Prüfstand PS 0014
 Rohrinnendurchmesser : 400 mm / Medium : Wasser

Typ Prüfling	Betriebs-temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich-normal m ³	Fehler %
IBF-26	9°C	100	2000	55,840	55,908	-0,1209
IBF-26	9°C	100	2000	55,635	55,788	-0,2743
IBF-26	9°C	100	2000	55,975	56,016	-0,0724
IBF-26	9°C	100	2000	55,909	56,001	-0,1648
IBF-26	9°C	100	2000	55,775	55,815	-0,0726
IBF-26	9°C	100	2000	55,673	55,779	-0,1914
Mittelwert		100		55,801	55,884	-0,1493

Typ Prüfling	Betriebs-temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich-normal m ³	Fehler %
IBF-36	3°C	100	2000	56,205	56,141	0,1135
IBF-36	3°C	100	2000	56,034	56,068	-0,0618
IBF-36	3°C	100	2000	56,050	56,028	0,0391
IBF-36	3°C	100	2000	56,197	56,260	-0,1111
IBF-36	3°C	100	2000	56,256	56,254	0,0039
IBF-36	3°C	100	2000	56,202	56,209	-0,0127
Mittelwert		100		56,157	56,160	-0,0048

Typ Prüfling	Betriebs-temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich-normal m ³	Fehler %
IBF-66	3°C	100	2000	55,622	55,641	-0,0337
IBF-66	3°C	100	2000	55,657	55,659	-0,0022
IBF-66	3°C	100	2000	55,713	55,644	0,1240
IBF-66	3°C	100	2000	55,505	55,583	-0,1405
IBF-66	3°C	100	2000	55,625	55,485	0,2523
IBF-66	3°C	100	2000	55,373	55,499	-0,2272
Mittelwert		100		55,583	55,585	-0,0045

Prüfprotokoll

Prüfstand: ABB Göttingen, PTB-geprüft / Prüfstand PS 0014
Rohrinnendurchmesser : 499 mm / Medium : Wasser

Typ Prüfling	Betriebs-temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich-normal m ³	Fehler %
IBF-26	8,2°C	100	3000	83,285	83,387	-0,1220
IBF-26	8,2°C	100	3000	83,443	83,831	-0,4628
IBF-26	8,2°C	100	3000	83,196	83,369	-0,2071
IBF-26	8,2°C	100	3000	83,323	83,543	-0,2684
IBF-26	8,2°C	100	3000	83,138	83,358	-0,2684
IBF-26	8,2°C	100	3000	83,012	83,358	-0,4155
Mittelwert		100		83,233	83,475	-0,2899

Typ Prüfling	Betriebs-temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich-normal m ³	Fehler %
IBF-36	8,2°C	100	3000	83,297	83,333	-0,0422
IBF-36	8,2°C	100	3000	83,170	83,130	0,0484
IBF-36	8,2°C	100	3000	83,723	83,097	-0,4502
IBF-36	8,2°C	100	3000	83,116	83,109	0,0079
IBF-36	8,2°C	100	3000	83,253	83,221	0,0375
IBF-36	8,2°C	100	3000	83,074	83,164	-0,1080
Mittelwert		100		83,105	83,176	-0,0844

Typ Prüfling	Betriebs-temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich-normal m ³	Fehler %
IBF-66	7,0°C	100	3000	83,512	83,602	-0,7078
IBF-66	7,0°C	100	3000	83,482	83,629	-0,1754
IBF-66	7,0°C	100	3000	83,802	83,830	-0,0330
IBF-66	7,0°C	100	3000	83,696	83,636	0,0715
IBF-66	7,0°C	100	3000	83,596	83,760	-0,1957
IBF-66	7,0°C	100	3000	83,683	83,701	-0,0219
Mittelwert		100		83,629	83,693	-0,0770

Prüfprotokoll

Prüfstand: ABB Göttingen, PTB-geprüft / Prüfstand PS 0014
Rohrinnendurchmesser : 599 mm / Medium : Wasser

Typ Prüfling	Betriebs- temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich- normal m ³	Fehler %
IBF-26	6,0°C	100	4000	110,96	111,03	-0,0597
IBF-26	6,0°C	100	4000	110,93	111,10	-0,1550
IBF-26	6,0°C	100	4000	111,13	111,18	-0,0431
IBF-26	6,0°C	100	4000	110,86	111,08	-0,1973
IBF-26	6,0°C	100	4000	110,98	111,07	-0,0833
IBF-26	6,0°C	100	4000	111,09	111,12	-0,0208
Mittelwert		100		110,99	111,10	-0,0932

Typ Prüfling	Betriebs- temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich- normal m ³	Fehler %
IBF-36	2,4°C	100	4000	110,45	110,33	0,1116
IBF-36	2,4°C	100	4000	110,44	110,26	0,1615
IBF-36	2,4°C	100	4000	110,44	110,32	0,1081
IBF-36	2,4°C	100	4000	110,50	110,32	0,1640
IBF-36	2,4°C	100	4000	110,41	110,28	0,1215
IBF-36	2,4°C	100	4000	110,40	110,47	-0,0623
Mittelwert		100		110,44	110,33	0,1007

Typ Prüfling	Betriebs- temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich- normal m ³	Fehler %
IBF-66	5,0°C	100	4000	110,97	111,05	-0,0760
IBF-66	5,0°C	100	4000	110,68	110,90	-0,2060
IBF-66	5,0°C	100	4000	110,87	111,01	-0,1260
IBF-66	5,0°C	100	4000	110,65	111,05	-0,3622
IBF-66	5,0°C	100	4000	110,86	111,07	-0,1870
IBF-66	5,0°C	100	4000	111,13	111,09	0,0414
Mittelwert		100		110,86	111,03	-0,1526

Prüfprotokoll

Prüfstand: ABB Göttingen, PTB-geprüft / Prüfstand PS 0014
Rohrinnendurchmesser : 999 mm / Medium : Wasser

Typ Prüfling	Betriebs-temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich-normal m ³	Fehler %
IBF-26	12,5°C	100	5000	139,99	140,14	-0,1067
IBF-26	12,5°C	100	5000	139,96	140,12	-0,1144
IBF-26	12,5°C	100	5000	139,82	139,92	-0,0685
IBF-26	12,5°C	100	5000	139,79	139,99	-0,1409
IBF-26	12,5°C	100	5000	139,51	139,78	-0,1954
IBF-26	12,5°C	100	5000	139,77	139,86	-0,0617
Mittelwert		100		139,81	139,97	-0,1146

Typ Prüfling	Betriebs-temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich-normal m ³	Fehler %
IBF-36	16,5°C	100	5000	138,02	137,75	0,1985
IBF-36	16,5°C	100	5000	138,36	138,51	-0,1087
IBF-36	16,5°C	100	5000	138,72	139,09	-0,2662
IBF-36	16,5°C	100	5000	139,54	139,37	0,1195
IBF-36	16,5°C	100	5000	138,92	139,56	-0,4613
IBF-36	16,5°C	100	5000	139,66	139,68	-0,0181
Mittelwert		100		138,87	138,99	-0,0899

Typ Prüfling	Betriebs-temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich-normal m ³	Fehler %
IBF-66	13,5°C	100	5000	138,32	138,70	-0,2685
IBF-66	13,5°C	100	5000	138,41	138,65	-0,1771
IBF-66	13,5°C	100	5000	139,11	138,69	0,3033
IBF-66	13,5°C	100	5000	138,86	138,63	0,1674
IBF-66	13,5°C	100	5000	139,10	138,60	0,3640
IBF-66	13,5°C	100	5000	138,50	138,78	-0,2013
Mittelwert		100		138,72	138,68	0,0313

Prüfprotokoll

Prüfstand: ABB Göttingen, PTB-geprüft / Prüfstand PS 0014
 Rohrinnendurchmesser : 1608 mm / Medium : Wasser

Typ Prüfling	Betriebs- temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich- normal m ³	Fehler %
IBF-26	12,5°C	100	5500	153,47	153,21	0,1698
IBF-26	12,5°C	100	5500	153,99	153,14	0,5586
IBF-26	12,5°C	100	5500	153,60	153,20	0,2594
IBF-26	12,5°C	100	5500	153,63	153,25	0,2465
IBF-26	12,5°C	100	5500	153,88	153,30	0,3813
IBF-26	12,5°C	100	5500	153,32	153,18	0,0879
Mittelwert		100		153,65	153,21	0,2839

Typ Prüfling	Betriebs- temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich- normal m ³	Fehler %
IBF-36	11,5°C	100	5500	154,61	154,45	0,1015
IBF-36	11,5°C	100	5500	153,68	154,28	-0,3892
IBF-36	11,5°C	100	5500	154,23	154,22	0,0042
IBF-36	11,5°C	100	5500	154,28	154,26	0,0130
IBF-36	11,5°C	100	5500	153,49	154,33	-0,5445
IBF-36	11,5°C	100	5500	154,16	154,69	-0,3376
Mittelwert		100		154,08	154,37	-0,1922

Typ Prüfling	Betriebs- temperatur	Zeit s	m ³ /h	Prüfling m ³	Eich- normal m ³	Fehler %
IBF-66	11,5°C	100	5500	152,45	152,02	0,2856
IBF-66	11,5°C	100	5500	151,83	151,84	-0,0073
IBF-66	11,5°C	100	5500	152,35	151,95	0,2642
IBF-66	11,5°C	100	5500	152,13	151,94	0,1247
IBF-66	11,5°C	100	5500	152,36	152,03	0,2180
IBF-66	11,5°C	100	5500	152,49	151,86	0,4153
Mittelwert		100		152,27	151,94	0,2168

Zulassungen und Prüfzertifikate

Die folgende Übersicht zeigt die aktuellen Zulassungen und Prüfungen:

Sonden- typ	Art der Prüfung	Ergebnis	Prüf- oder Zu- lassungsstelle	Ort	Tag der Prüfung
IBF-100	Baumusterprüfung gemäß TA Luft 1986, 13. BImSchV und 17. BImSchV	Prüfung bestanden	TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH	D-Köln	12.5.1999
IBF-20	Überprüfung der Mess- genauigkeit	$\pm 0,5\%$ vom Messwert für alle Messwerte	NMI Nederlands Meetinstituut	NL- Dordrecht	24.3.2000
IBF-25	Überprüfung der Mess- genauigkeit	$\pm 0,68\%$ vom Messwert für alle Messwerte	PIGSAR Ruhrgas AG (Staatl. anerkannt)	D- Dorsten	24.11.1999
IBF- 25/26	Baumusterprüfung gemäß TA Luft 1986, 13. BImSchV und 17. BImSchV	Prüfung bestanden	TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH	D-Köln	12.5.1999
IBF- 35/36	Baumusterprüfung gemäß TA Luft 1986, 13. BImSchV und 17. BImSchV	Prüfung bestanden	TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH	D-Köln	12.5.1999
IBFD-26- HTG	Prüfung gemäß TRD 110 und TRD 110 Anlage 1	Prüfung bestanden	VdTÜV	D-Essen	7.12.1995
IBR- 25/26	Baumusterprüfung gemäß TA Luft 1986, 13. BImSchV und 17. BImSchV	Prüfung bestanden	TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH	D-Köln	12.5.1999
IBR- 35/36	Baumusterprüfung gemäß TA Luft 1986, 13. BImSchV und 17. BImSchV	Prüfung bestanden	TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH	D-Köln	12.5.1999

Zulassungen und Prüfzertifikate

Die folgende Übersicht zeigt die aktuellen Zulassungen und Prüfungen:

Sonden- typ	Art der Prüfung	Ergebnis	Prüf- oder Zu- lassungsstelle	Ort	Tag der Prüfung
IBF-100	Baumusterprüfung gemäß TA Luft 1986, 13. BImSchV und 17. BImSchV	Prüfung bestanden	TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH	D-Köln	12.5.1999
IBF-20	Überprüfung der Mess- genauigkeit	$\pm 0,5\%$ vom Messwert für alle Messwerte	NMI Nederlands Meetinstituut	NL- Dordrecht	24.3.2000
IBF-25	Überprüfung der Mess- genauigkeit	$\pm 0,68\%$ vom Messwert für alle Messwerte	PIGSAR Ruhrgas AG (Staatl. anerkannt)	D- Dorsten	24.11.1999
IBF- 25/26	Baumusterprüfung gemäß TA Luft 1986, 13. BImSchV und 17. BImSchV	Prüfung bestanden	TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH	D-Köln	12.5.1999
IBF- 35/36	Baumusterprüfung gemäß TA Luft 1986, 13. BImSchV und 17. BImSchV	Prüfung bestanden	TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH	D-Köln	12.5.1999
IBFD-26- HTG	Prüfung gemäß TRD 110 und TRD 110 Anlage 1	Prüfung bestanden	VdTÜV	D-Essen	7.12.1995
IBR- 25/26	Baumusterprüfung gemäß TA Luft 1986, 13. BImSchV und 17. BImSchV	Prüfung bestanden	TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH	D-Köln	12.5.1999
IBR- 35/36	Baumusterprüfung gemäß TA Luft 1986, 13. BImSchV und 17. BImSchV	Prüfung bestanden	TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH	D-Köln	12.5.1999