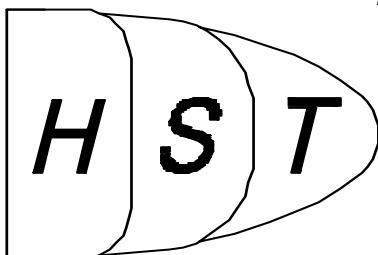


LAMINAR - DURCHFLUSSMESSER

HOHER GENAUIGKEIT

FÜR GASE



Hyperschall- und Strömungstechnik GmbH

Max-Planck-Str. 19

37191 Katlenburg-Lindau

Tel.: 05556 / 5025 Fax.: 05556 / 1885

E-mail: mail@htg-hst.de

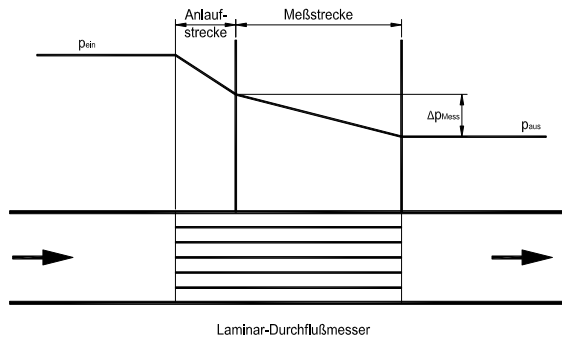
www.htg-hst.de

Meßprinzip

Bei der Durchflußmessung ist prinzipiell zu unterscheiden zwischen Massendurchfluß q_m [kg/s] und Volumendurchfluß q_v [m³/s]. Beide Größen sind über die Dichte ρ des Mediums verbunden,

$$q_M = \rho \cdot q_v .$$

Die Laminar - Durchflußmesser benutzen den Druckverlust Δp in einer laminaren Rohr- oder Spaltströmung als Maß für den Volumendurchfluß q_v .



Druckabfall in laminarer Spaltströmung

Der Volumendurchfluß ergibt sich dabei zu:

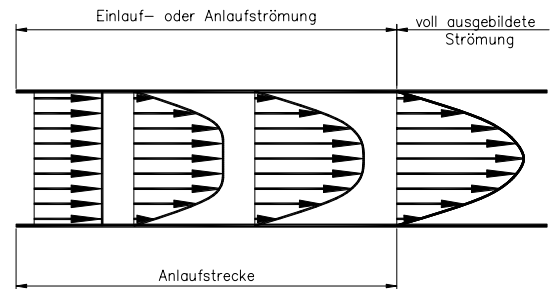
$$q_v = \frac{k}{\eta} \cdot \Delta p$$

Hierbei ist k eine gerätespezifische Konstante und η die dynamische Viskosität oder Zähigkeit des Gases.

Da die dynamische Viskosität η der Gase nicht vom Druck abhängt, ist mit den Laminar - Durchflußmessern eine vom Betriebsdruck unabhängige Volumendurchflußmessung möglich.

Voraussetzung hierfür sind: Aufrechterhaltung der laminaren Durchströmung, d.h. eine obere Druck- bzw. Durchsatzgrenze darf nicht überschritten werden. Die untere Grenze der Empfindlichkeit wird jedoch nur durch die Genauigkeit des verwendeten Druckmeßgerätes bestimmt.

Bei der Auslegung von Laminar - Durchflußmessern ist zwischen dem Anlaufbereich der Strömung und dem Bereich des ausgebildeten Laminarprofils zu unterscheiden.



Anlaufströmung

Eine lineare Gerätefunktion kann nur erreicht werden, wenn die Einlaufänge vor der Meßstrecke hinreichend lang ist. Bei der Entwicklung der Laminar - Durchflußmesser wurde daher streng darauf geachtet, alle störenden strömungsmechanischen Einflüsse zu vermeiden (z.B. Anlaufeffekte, Transition). Um die Verschmutzungsgefahr zu minimieren, werden rechteckige Spalte oder zylindrische Ringspalte mit Spaltbreiten zwischen 0,5 bis 1 mm benutzt.

Kalibrierung

Unsere Laminar - Durchflußmesser werden individuell kalibriert, wobei die Abweichung von der Linearität im Meßbereich zwischen 0 - 100% unter 1% bezogen auf den Meßwert liegt.

Jeder Laminar-Durchflußmesser besitzt einen Kalibrierfaktor E_K , der für Luft bei der Normtemperatur von 20°C ermittelt wird. Beim Einsatz für andere Gase ist ein Umrechnungsfaktor für die unterschiedliche dynamische Viskosität zu benutzen.

$$E_{K, Gas} = E_{K, Luft} \cdot \frac{\eta_{Luft}}{\eta_{Gas}}$$

Gleichermaßen wird bei der Umrechnung auf andere Temperaturen verfahren.

Zwischen der Meßgröße Volumendurchfluß q_v und dem Meßwert Druckdifferenz Δp besteht eine lineare Beziehung,

$$q_v = E_K \cdot \Delta p .$$

Dies zeigen die unteren beiden Graphen, als typische Beispiele für den gemessenen Volumenstrom über dem Druckabfall sowie den daraus bestimmten Kalibrierfaktor.

Jeder Laminar-Durchflußmesser erhält einen Kalibrierschein mit den Kalibrierumgebungsbedingungen, den gemessenen Werten von Durchfluß und Differenzdruck, dem Kalibrierfaktor sowie dem relativen Fehler bezogen auf den Meßwert.

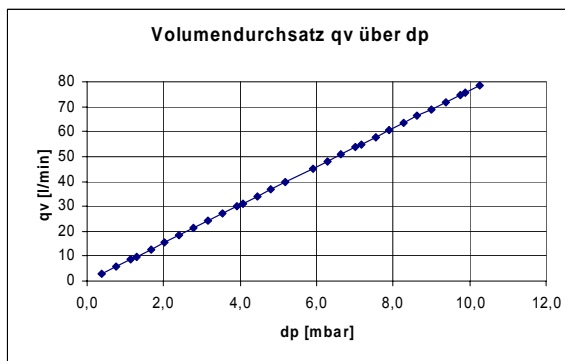
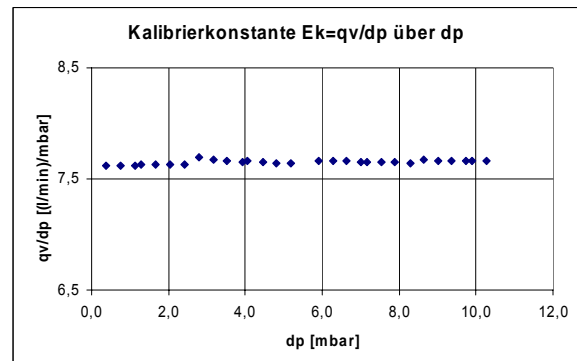
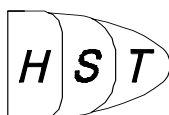


Diagramm einer Durchflußmesser-Kalibrierung



Auftragung der Kalibrierkonstanten über dem Meßdruck



Vorteile der Laminar - Durchflußmesser

Allgemeine Vorteile der Laminar – Durchflußmesser.

Laminar - Durchflußmesser besitzen keine bewegten Teile und sind deshalb nicht stör-anfällig.

Das zeitliche Ansprechverhalten der Laminar – Durchflußmesser ist sehr gut. So werden noch Volumendurchflußschwankungen im Bereich unter 10 Hz aufgelöst.

Sie sind unabhängig vom Systemdruck, solange das Produkt

$$p_{System} \cdot q_V$$

unter einer gewissen Grenze bleibt, die noch laminare Strömung gewährleistet.

Der Meßwert Δp ist im laminaren Bereich direkt proportional dem Volumendurchfluß q_V , was die Auswertung erheblich erleichtert.

Der Meßwert Δp kann sowohl mit direkt anzeigenden Geräten wie einfache U-Rohre, Betz-Manometer und Mikromanometer oder aber mit elektronischen Differenzdruckaufnehmern angezeigt werden.

Der bleibende Druckverlust ist mit $1.5-2 \cdot \Delta p$ sehr gering.

Der rel. Fehler liegt unter ein Prozent vom Meßwert, die Auflösung ist nur vom verwendeten Druckaufnehmer abhängig.

Die Laminar – Durchflußmesser werden mit Luft bei 20°C kalibriert. Bei bekannten Gasdaten kann der Kalibrierfaktor leicht auf an-

dere Gase und andere Temperaturen umgerechnet werden.

Zur Umrechnung auf den Massendurchfluß q_M wird nur die Gasdichte ρ benötigt.

Vorteile der Volumendurchflußmessung mit Laminarelementen.

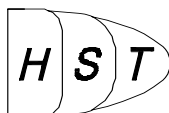
Ideale Laminarelemente messen den Volumendurchsatz q_V unabhängig von der Gasdichte ρ .

Der Meßwert Δp ist im laminaren Bereich nur von der dynamischen Viskosität des Mediums abhängig.

Bei der Steuerung eines Prozesses sollte die Art der Durchflußmessung den spezifischen Gegebenheiten angepaßt werden.

Die folgende Tabelle zeigt die primäre Meßgröße von unterschiedlichen Durchflußmessern und die Abhängigkeit dieser Meßgröße vom Durchfluß und den Gaseigenschaften.

Durchflußmesser	primäre Meßgröße	
Volumetrische Zähler	Frequenz	$\sim q_V$
Laminarrohre	Δp	$\sim \eta q_V$
Therm. Massendurchflußmesser	ΔT	$\sim c_p \eta q_V$ bzw. $c_p q_M$
Venturi-Durchflußmesser	Δp	$\sim \rho q_V^2$
Normblenden	Δp	$\sim \rho q_V^2$



Bei den volumetrischen Laminarrohren gilt für die primäre Meßgröße

$$\Delta p \sim \eta q_V,$$

wobei η die dynamische Viskosität des Mediums und q_V der Volumendurchsatz ist.

Bei thermischen Massendurchflußmessern gilt

$$\Delta T \sim q_M c_p,$$

wobei c_p die spezifische Wärme und q_M der Massendurchfluß ist.

Für Venturi-Durchflußmesser und Normblenden gilt

$$\Delta p \sim \rho q_V^2.$$

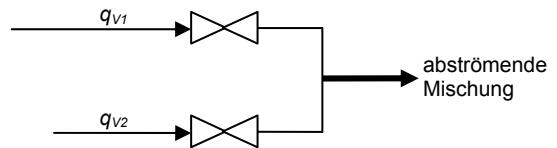
Die Kennlinie ist demnach in q_V quadratisch und zur Ermittlung von q_V muß zusätzlich die Gasdichte bekannt sein.

Vorteile der volumetrischen Laminarflowelemente bei der Prozeßsteuerung.

a. Mischung von Gasen

Bei der Gasmischung und bei chemischen Prozessen sind im wesentlichen die Molzahlen der beteiligten Partner wichtig.

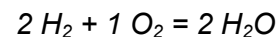
Führt man zwei Gasströme 1 und 2 über zwei Dosierventile zusammen und mißt bei identischem Vordruck p die Volumenströme q_{V1} und q_{V2} , so ergibt sich das Partialdruckverhältnis der Mischung p_1/p_2 direkt aus den Volumenströmen q_{V1}/q_{V2} vor den Drosselventilen.



Partialdruckverhältnis der Mischung
 Komponenten $p_1/p_2 = q_{V1}/q_{V2}$,
 Molbruch der Einzelkomponenten
 $x_1 = p_1/(p_1+p_2) = q_{V1}/(q_{V1}+q_{V2})$

b. Chemische Reaktionen

Wir betrachten die Verbrennung von Wasserstoff H_2 mit Sauerstoff O_2 bzw. die Umsetzung dieser Partner in einer Brennstoffzelle:



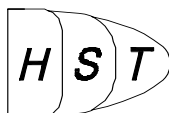
Die Steuerung dieses Prozesses erfolgt am einfachsten über volumetrische Durchflußmessung der Reaktionspartner bei identischem Vordruck.

Die benötigten Volumenströme ergeben sich zu:

$$q_{VH_2} = 2 \cdot q_{VO_2}$$

Bei einer Massendurchflußmessung müssen die Molekulargewichte berücksichtigt werden und es ergibt sich:

$$\begin{aligned} q_{MH_2} &= 2 \cdot (M_{H_2} / M_{O_2}) \cdot q_{MO_2} \\ &= 2 \cdot (2 / 32) \cdot q_{MO_2} = (1/8) q_{MO_2} \end{aligned}$$



Laminar- Durchflußmesser bei unterschiedlichen Gasen und Temperaturkorrektur

In laminarer Kapillarströmung gilt der folgende Zusammenhang zwischen Volumendurchsatz q_v und Druckabfall Δp

$$q_v = \frac{k}{\eta} \Delta p$$

bzw.

$$q_v \cdot \eta = k \cdot \Delta p \quad (1)$$

Hierbei sind:

η die dynamische Zähigkeit des Strömungsmediums

k die gerätespezifische geometrische Konstante

Die HST Laminar –Durchflußmesser werden mit Luft bei 20°C kalibriert.

Es wird die folgende Gerätekonstante E_K ermittelt:

$$E_{K,L} = \frac{q_v}{\Delta p} = \frac{k}{\eta_L} \quad (2)$$

Die Kalibrierkonstante E_K beinhaltet die geometrischen Größen der Meßkapillare und die Zähigkeit $\eta_{L,Ref}$ des Strömungsmediums Luft bei der Kalibriertemperatur T_{ref} .

Die Referenzzähigkeit $\eta_{L,Ref}$ von Luft bei 20 °C beträgt:

$$\eta_{L,ref} = 1,813 \cdot 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s) bzw. (Ns/m}^2\text{)}$$

Damit wird auch die gerätespezifische, geometrische Konstante k bekannt:

$$k = E_{K,L} \eta_{L,ref} \quad (3)$$

Betrieb mit unterschiedlichen Gasen

Wird das Laminarrohr mit einem anderen Gas mit der Zähigkeit η_i betrieben, so ergibt sich aus (1) die folgende Durchsatzgleichung:

$$q_v = \frac{k}{\eta_i} \Delta p = \frac{E_{K,L} \eta_L}{\eta_i} \Delta p = E_{K,L} \frac{\eta_L}{\eta_i} \Delta p \quad (4)$$

Beim Einsatz mit anderen Gasen ist demnach die für Luft ermittelte Kalibrierkonstante $E_{K,L}$ mit dem Zähigkeitsfaktor $C_i = \eta_L/\eta_i$ zu multiplizieren:

Es gilt:

$$E_{K,i} = E_{K,L} \frac{\eta_L}{\eta_i} = E_{K,L} * C_i \quad (5)$$

Tabelle 1 enthält für unterschiedliche Gase die nominellen Zähigkeitswerte und den Zähigkeitsfaktor bei 20 °C.

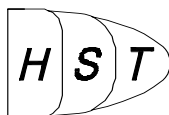
Die folgenden beiden Bilder bestätigen dieses einfache Umrechnungsverfahren.

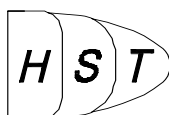
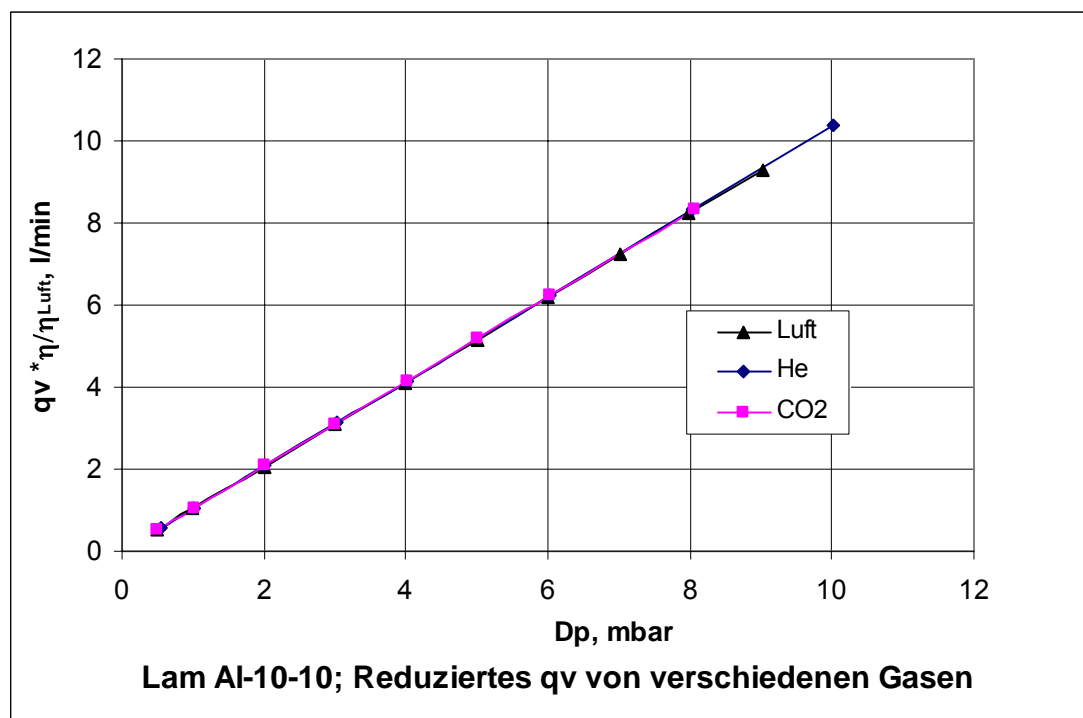
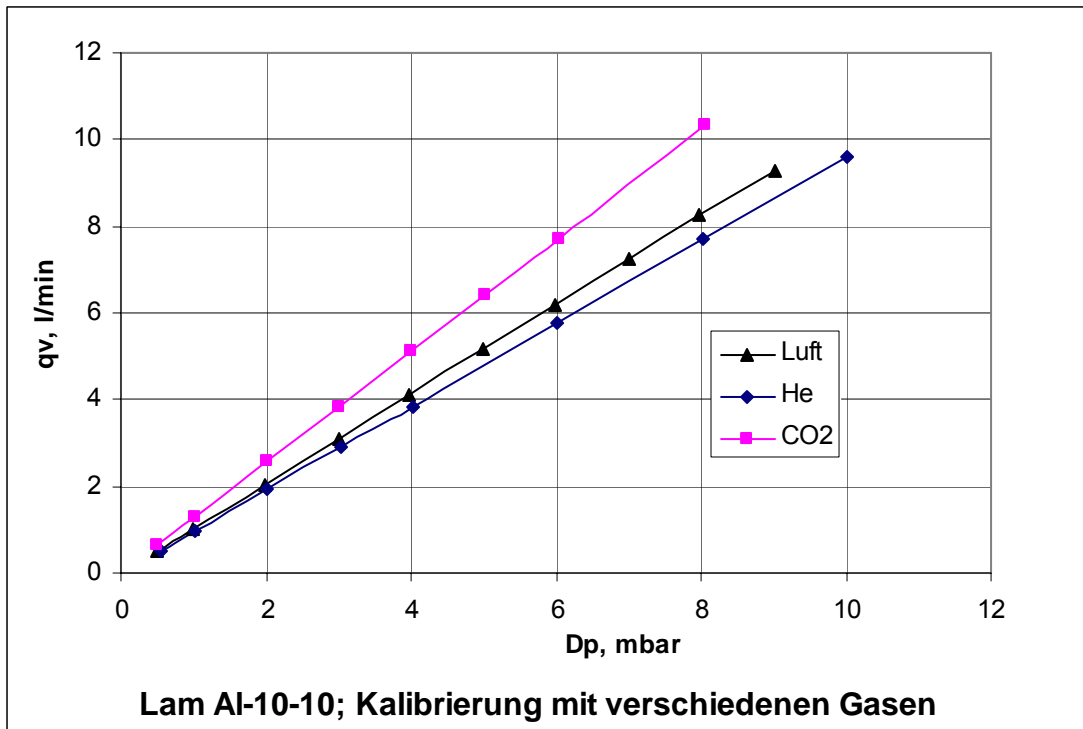
Bild 1 zeigt die Kalibrierung des LAM-AL-10-10 für Luft, Helium und CO₂.

Die Kalibriergeraden $q_{vi}(\Delta p)$ von Helium und CO₂ müssen in reduzierter Form

$$q_{vi} \cdot (\eta/\eta_L) = E_{K,L} \cdot \Delta p$$

mit der Luftkalibrierung zusammenfallen.





Korrektur für Temperatureinfluß

Die dynamische Zähigkeit von Gasen nimmt mit steigender Temperatur zu und wird normalerweise durch die Sutherland-Formel beschrieben. In begrenzten Temperaturbereichen kann die Änderung der Zähigkeit mit der Temperatur durch eine Potenzfunktion mit Exponenten $\frac{1}{2}$ beschrieben werden.

$$\frac{\mu(T)}{\mu(T_{ref})} = \sqrt{\frac{T}{T_{ref}}} \quad (6)$$

Hierbei ist die Temperatur in Kelvin einzusetzen: $T \text{ in K} = 273 + t^\circ \text{ Celsius}$

Die Durchsatzgleichung für die HST Laminarrohre bei Referenztemperatur lautet.

$$q_v = E_{K,ref} \cdot \Delta p$$

Für den Betrieb bei der Temperatur T folgt aus (2), (3) und (4):

$$q_v = E_{K,ref} \sqrt{\frac{T_{ref}}{T}} \cdot \Delta p \quad (7)$$

Durch logarithmische Differenzierung erhält man für die Temperaturkorrektur des Durchsatzes q_v

$$\Delta q_v = -q_v \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta T}{293} = -0,0026 \cdot q_v \cdot \Delta T \quad (8)$$

Hierbei ist q_v der mit $E_{K,ref}$ bestimmte Volumendurchsatz des Laminarrohres.

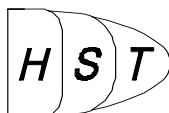
Bei einer Temperaturänderung von $\Delta T = +10^\circ$ ergibt sich eine Änderung des Durchsatzes von

$$\frac{\Delta q_v}{q_v} = -0,026$$

Dies heißt: Bei einer um ΔT höheren Betriebstemperatur muss der mit $E_{K,ref}$ und dem gemessenen Δp berechnete Durchsatz mit $-\Delta q_v$ korrigiert werden. Bedingt durch die gestiegene Zähigkeit des Mediums wird ein größerer Druckabfall erzeugt.

Gasart		M	$\eta \cdot 10^6$	η_v/η_{Luft}	$C_i = \eta_{Luft}/\eta_i$
		kg/kmol	Ns/m ²		
Luft		29	18,13	1	1,000
Stickstoff	N2	28	17,45	0,963	1,038
Sauerstoff	O2	32	20,22	1,115	0,897
Ammoniak	NH3	17	9,8	0,541	1,848
Argon	Ar	40	22,17	1,223	0,818
Ethan	C2H6	30	9,09	0,501	1,996
Ethen	C2H4	28	10,1	0,557	1,795
Azetylen	C2H2	26	10,2	0,563	1,776
Benzol	C6H6	78	7,46	0,411	2,433
Helium	He	4	19,6	1,081	0,925
Kohlenmonoxid	CO	28	17,5	0,965	1,036
Kohlendioxid	CO2	44	14,63	0,807	1,239
Methan	CH4	16	10,5	0,579	1,727
Propan	C3H8	44	7,49	0,4131	2,421
Stickoxid	NO	30	18,76	1,035	0,966
Stickoxydul	N2O	44	14,56	0,803	1,245
Wasserstoff	H2	2	8,77	0,484	2,066

Tabelle 1 Dynamische Zähigkeit verschiedener Gase



Druckaufnehmer und Prozeß-Anzeige

Mit dem Druckaufnehmer BTEL5000 und der Prozeß-Anzeige PAX-D wird aus dem Laminar-Durchflußmesser eine eigenständige Meßeinheit, mit welcher der gemessene Volumendurchfluß direkt abgelesen werden kann.

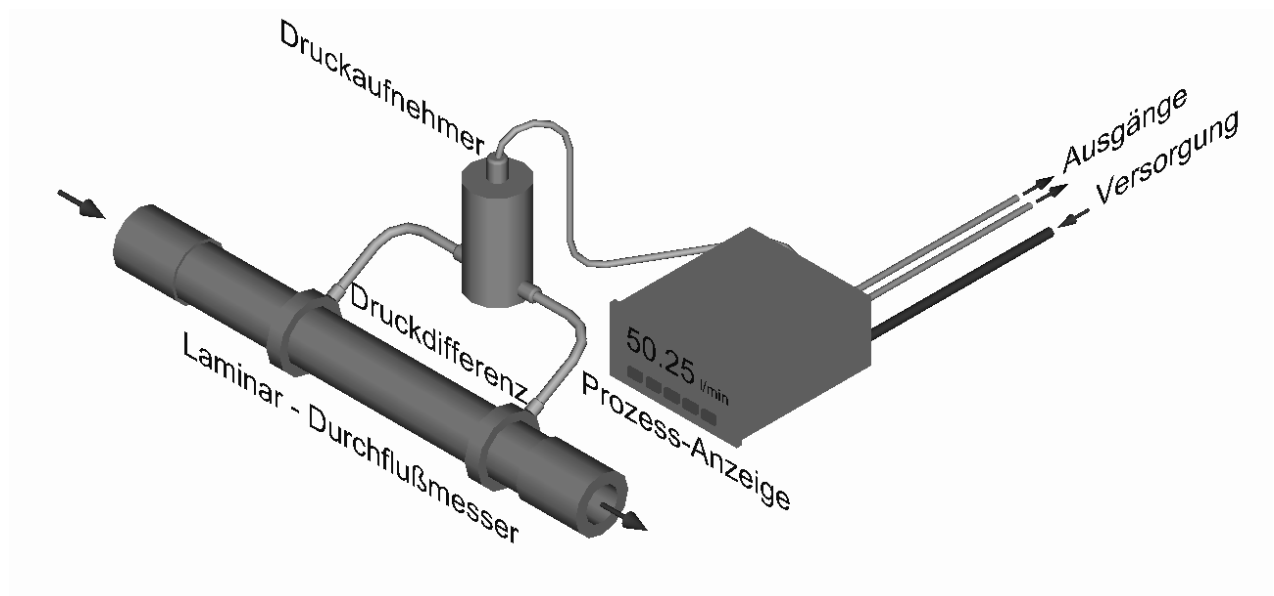
Der Druckaufnehmer wird für den Druckbereich des jeweiligen Durchflußmesser ausgewählt.

Die Prozeß-Anzeige dient der Versorgung

des Druckaufnehmers und der Anzeige des Volumendurchflusses in der gewünschten Einheit (l/min, l/sec, m³/h, ...).

Dabei wird jede Anzeigeelektronik mit dem individuell ermittelten Kalibrierfaktor des Durchflußmessers programmiert.

Das Gerät kann mit verschiedenen Ausgangskarten nachgerüstet werden.



Aufbau der Laminar-Durchflußmesser als eigenständige Meßeinheit

Druckaufnehmer

BTEL5000D, SensorTechnics,
piezoresistiver Differenz-Druckaufnehmer,
temperaturkompensiert und kalibriert.

Techn. Daten:

Versorgungsspannung: 12 bis 32 VDC

Umgebungstemperatur: 0 – 50°C, komp.

Meßbereich: 0 – 5 mbar,
0 – 10 mbar

Max. Systemdruck: 1.75 bar,
größer auf Anfrage

Genauigkeit: ± 0.25 %FSO
(incl. Hysterese und Nichtlinearität)

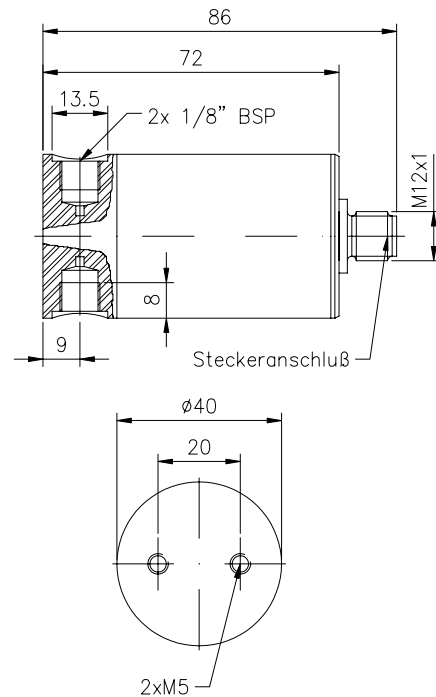
Temperaturkoeffizient:

Nullpunkt: ± 0.06 %FSO/°C

Verstärkung: ± 0.08 %FSO/°C

Ansprechzeit: 1 ms

Ausgang: 1 – 6 VDC oder
4 – 20 mA



Prozess-Anzeige

Industrieanzeige und Aufnehmerspeisung

PAX-D, Wachendorff

5-stellige Digitalanzeige, -19999 bis 99999

Programmierung über Tasten oder PC

(optional mit Zusatzkarte)

Techn. Daten:

Aufnehmerspeisung: 24 VDC

Versorgungsspannung: 85 bis 250 VAC
24 VDC

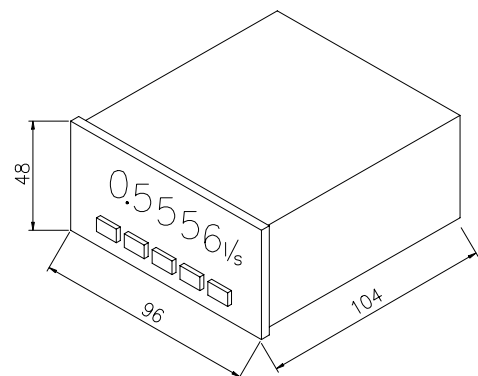
Meßrate: 20/s, 16 bit A/D-
Wandler

Umgebungstemperatur: 0 – 50°C

Steckkarten aufrüstbar (PC-Schnittstellenkarten,

Relais-Karten, Analogausgangskarte)

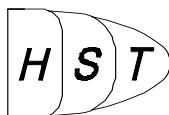
Schutzart IP65



Technische Änderungen vorbehalten.

Hyperschall- und Strömungstechnik GmbH

P-4.08



Max-Planck-Str. 19

37191 Katlenburg-Lindau

Tel.: 05556 / 5025 Fax.: 05556 / 1885

email: mail@htg-hst.de

www.htg-hst.de

Lieferprogramm der Laminardurchflußmesser

Das Lieferprogramm umfaßt die Typenreihen „LAM-ES“, den Laminar-Durchflußmessern komplett aus Edelstahl, sowie „LAM-AL“, Laminar-Durchflußmessern aus Aluminium-Legierung.

Die Serie „ES“ ist mit Volumendurchflüssen zwischen 0.01 l/min bis 50 l/min lieferbar.

Die Druckdifferenz am Meßausgang beträgt je nach Nenndurchfluß entweder 5 oder 10 mbar.

Die Serie „AL“ ist mit Volumendurchflüssen zwischen 10 l/min und 150 l/min lieferbar.

Die Druckdifferenz am Meßausgang beträgt bei allen Nenndurchflüssen wahlweise 5 oder 10 mbar.

Auf den Seiten 11-16 sind die wichtigsten Daten der einzelnen Durchflußmesser sowie die Abmessungen aufgetragen.

Sondertypen

Neben den Laminar-Durchflußmessern des Standard-Programms bietet HST auf Kundenwunsch auch Sondergrößen und Zwischengrößen an.

Bei Interesse bitten wir um Ihre Anfrage.

Für größere Durchflußmengen können wir Venturi-Durchflußmesser fertigen und liefern. Diese werden nach Kundenanfrage gefertigt und sind keine Lagerware.

Beratung

HST bietet kompetente Beratung bei allen strömungstechnischen Problemen, nicht nur bei der Durchflußmessung.

Bei Bedarf können Ihnen Test-Exemplare der Laminar-Durchflußmesser überlassen werden, oder HST führt ihren Einsatz vor Ort vor.

Kontakt

Ihre technischen Anfragen richten Sie bitte an:

Prof. Dr.-Ing. G. Koppenwallner

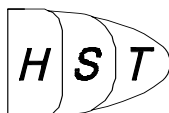
Tel: 05556 – 5025

email: g.koppenwallner@htg-hst.de
bzw.

Dipl.-Ing. R. Müller-Eigner

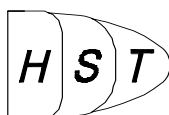
Tel: 05556 – 5025

email: r.mueller-eigner@htg-hst.de



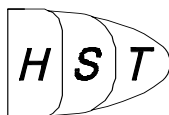
Lieferübersicht der Laminar-Durchflußmesser

Serie „ES“							
Typ		LAM-ES 0.01-10	LAM-ES 0.025-10	LAM-ES 0.05-10	LAM-ES 0.1-10	LAM-ES 0.25-10	LAM-ES 0.5-10
Nennvolumen- strom q_v	[ml/min]	10	25	50	100	250	500
	[m³/h]	0.0006	0.0015	0.003	0.006	0.015	0.03
Meßbereichsbreite		0 – Nennvolumenstrom Die Auflösung wird durch den verwendeten Druckaufnehmer bestimmt.					
Kalibrierfaktor $E_K = \frac{q_v}{\Delta p}$ [ml/min·mbar]		1	2.5	5	10	25	50
Genauigkeit		Der rel. Fehler des Eichfaktors ist im Bereich zwischen 0 und 100% des Nennvolumenstromes kleiner als 1%.					
Meßspalthöhe [mm]		~ 0.12	~ 0.16	~ 0.18	~ 0.18	~ 0.22	~ 0.375
Druckdifferenz Δp [mbar]		10					
Ges. Druckabfall [mbar]		ca. 1.5 – 2-fache der Meß-Druckdifferenz					
Druckbereiche		Kalibriert für 1 bar. Einsatzbereich: 100 – 2000 mbar. Höhere Drücke bei eingeschränktem Meßbereich (Anfrage).					
Durchflußrichtung		Prinzipiell in beide Richtungen möglich.					
Gasarten		Kalibriert für Luft bei T = 20°C. Einfache Umrechnung für andere Gasarten mit bekannter dyn. Viskosität η .					
Werkstoffe		CrNi-Stahl, MS, NBR					
Anschlüsse		G ¹ / ₈ “ - innen					
Masse [g], ca.		470					
Einbaulänge [mm]		100					
Einbaulage		beliebig					
Druckaufnehmer		optional, auf Anfrage					



Serie „ES“							
Typ		LAM-ES 1-10	LAM-ES 2.5-10	LAM-ES 3.5-10	LAM-ES 5-10	LAM-ES 25-10	LAM-ES 50-5
Nennvolumen- strom q_v	[l/min]	1	2.5	3.5	5	25	50
	[m³/h]	0.06	0.15	0.21	0.3	1.5	3
Meßbereichs-breite		0 – Nennvolumenstrom Die Auflösung wird durch den verwendeten Druckaufnehmer bestimmt.					
Kalibrierfaktor $E_K = \frac{q_v}{\Delta p}$ [l/min·mbar]		0.1	0.25	0.35	0.5	2.5	10
		Der genaue Kalibrierfaktor wird für jeden Laminar-Durchflußmesser individuell ermittelt.					
Genauigkeit		Der rel. Fehler des Kalibrierfaktors ist im Bereich zwischen 0 und 100% des Nennvolumenstromes kleiner als 1%.					
Meßspalthöhe [mm]		~ 0.3	~ 0.45	~0.5	~0.5	~0.5	0.8
Druckdifferenz Δp [mbar]		10					5
Ges. Druckabfall [mbar]		ca. 1.5 – 2-fache der Meß-Druckdifferenz					
Druckbereiche		Kalibriert für 1 bar. Einsatzbereich: 100 – 2000 mbar. Höhere Drücke bei eingeschränktem Meßbereich (Anfrage).					
Durchflußrichtung		Prinzipiell in beide Richtungen möglich.					
Gasarten		Kalibriert für Luft bei T = 20°C. Einfache Umrechnung für andere Gasarten mit bekannter dyn. Viskosität η .					
Werkstoffe		CrNi-Stahl, MS, NBR					
Anschlüsse		G ^{1/8} “ i	G ^{1/4} “- innen			G ^{3/8} “ i	G ^{1/2} “ i
Masse [g], ca.		480	630	690	690	790	1230
Einbaulänge [mm]		100	120	130	130	213	270
Einbaulage		beliebig					
Druckaufnehmer		optional, auf Anfrage					

Serie „AL“													
Typ		LAM-AL 10	LAM-AL 25	LAM-AL 50	LAM-AL 75	LAM-AL 125		LAM-AL 150					
Nennvolumenstrom q_v	[l/min]	10	25	50	75	125		150					
	[m³/h]	0.6	1.5	3	4.5	7.5		9					
Meßbereichs-breite		0 – Nennvolumenstrom Die Auflösung wird durch den verwendeten Druckaufnehmer bestimmt.											
Kalibrierfaktor $E_K = \frac{q_v}{\Delta p}$ [l/min-mbar]		2	1	5	2.5	10	5	15	7.5	25	12.5	30	15
Genauigkeit		Der rel. Fehler des Kalibrierfaktors ist im Bereich zwischen 0 und 100% des Nennvolumenstromes kleiner als 1%.											
Meßspalthöhe [mm]		0.5		0.5		0.6		0.6		0.6		0.6	
Druckdifferenz Δp [mbar]		5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
Ges. Druckabfall [mbar]		ca. 1.5 – 2-fache der Meß-Druckdifferenz											
Druckbereiche		Kalibriert für 1 bar. Einsatzbereich: 100 – 2000 mbar. Höhere Drücke bei eingeschränktem Meßbereich (Anfrage).											
Durchflußrichtung		Prinzipiell in beide Richtungen möglich.											
Gasarten		Kalibriert für Luft bei T = 20°C. Einfache Umrechnung für andere Gasarten mit bekannter dyn. Viskosität η .											
Werkstoffe		Aluminium (3.1645), eloxiert											
Anschlüsse		G½" - innen											
Masse [g], ca.		220	300	220	300	580	890	580	890	580	890	580	890
Einbaulänge [mm]		120	170	120	170	155	230	155	230	155	230	155	230
Einbaulage		beliebig											
Druckaufnehmer		optional, auf Anfrage											

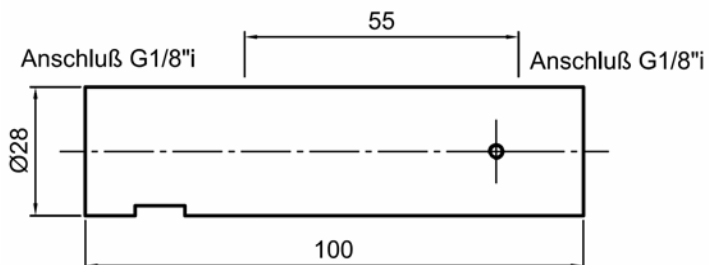


Abmessungen Laminar-Durchflußmesser

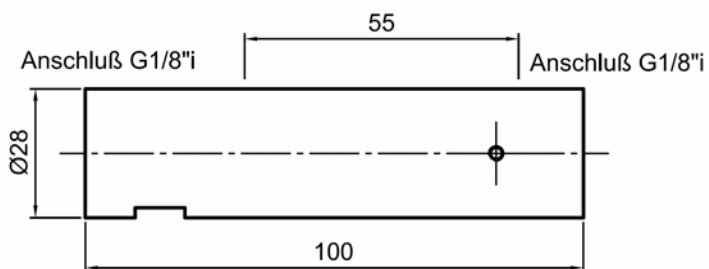
(Abbildungen nicht maßstäblich)

Serie „ES“

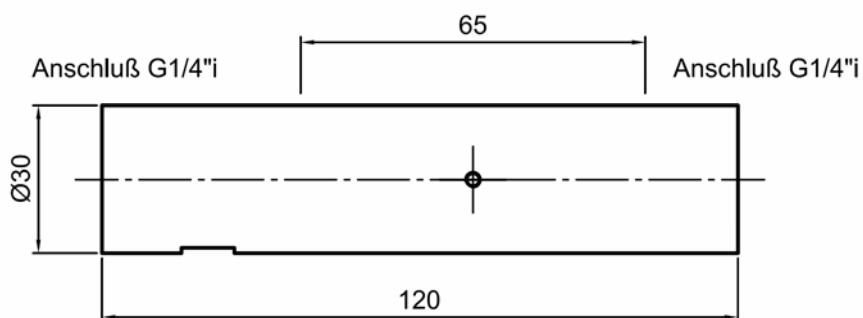
LAM-ES 0.01-10 - LAM-ES 0.5-10



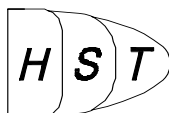
LAM-ES 1-10

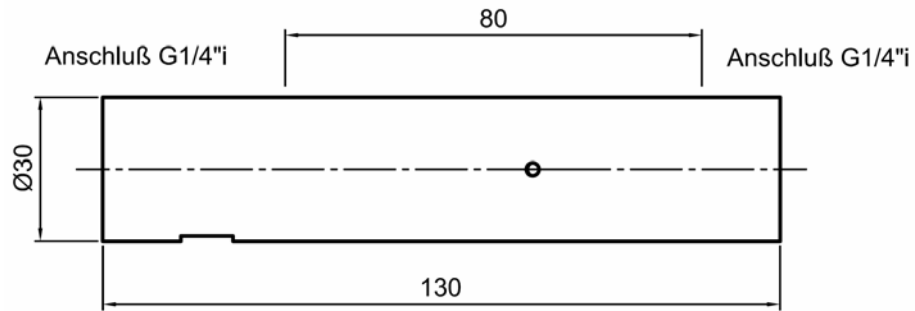


LAM-ES 2.5-10

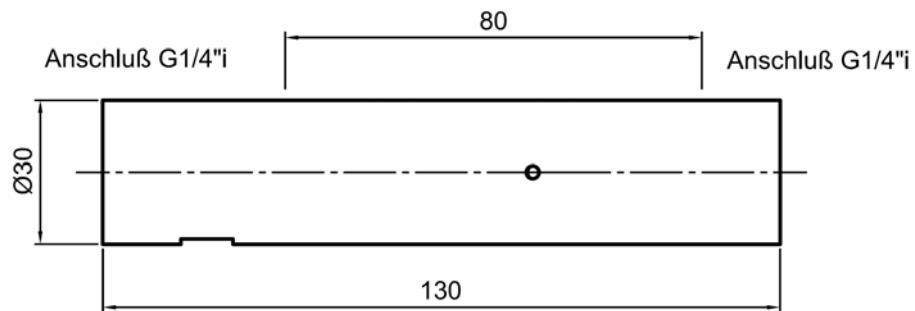


LAM-ES 3.5-10

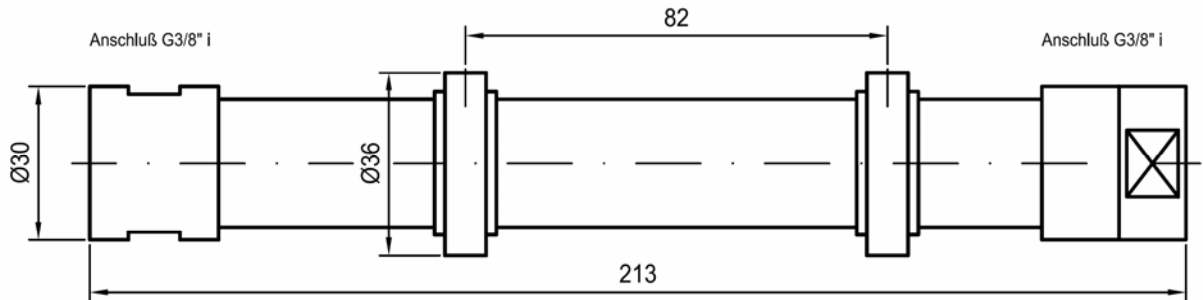




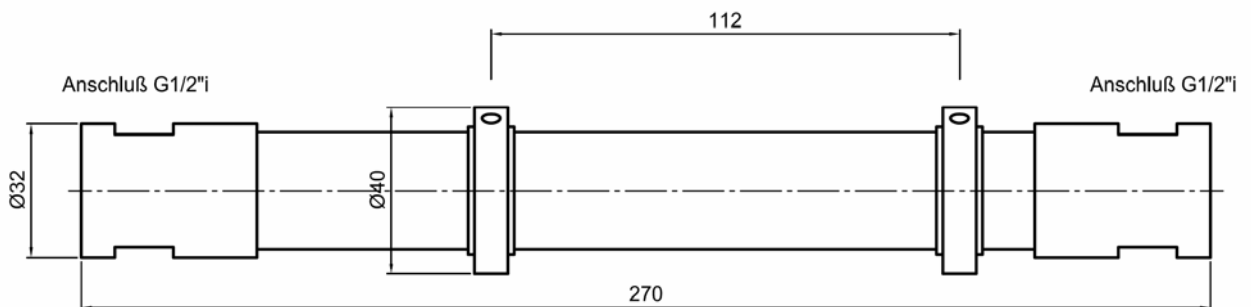
LAM-ES 5-10



LAM-ES 25-10



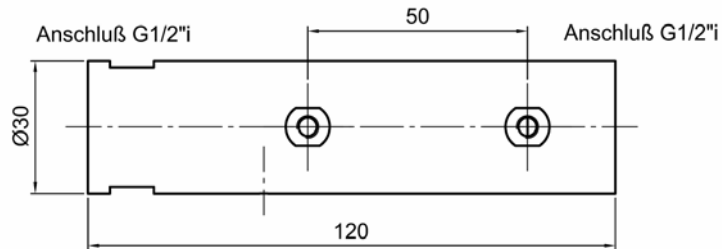
LAM-ES 50-5



Abmessungen Laminar-Durchflußmesser
(Abbildungen nicht maßstäblich)

Serie „AL“

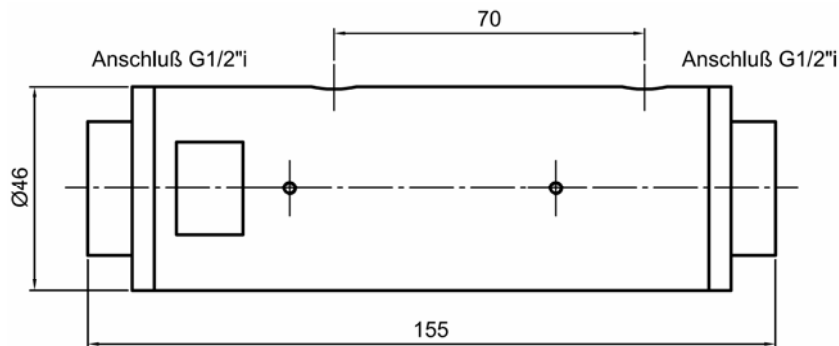
LAM-AL 10-5 - LAM-AL 25-5



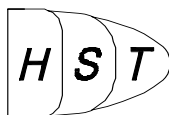
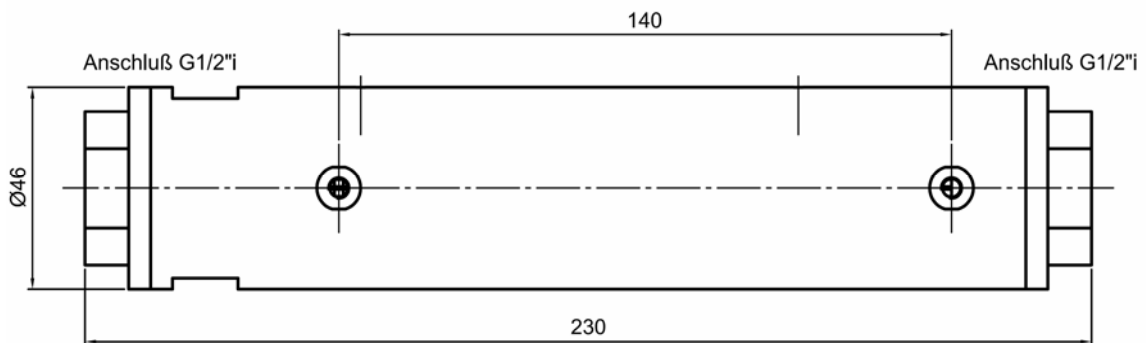
LAM-AL 10-10 - LAM-AL 25-10



LAM-AL 50-5 - LAM-AL 150-5



LAM-AL 50-10 - LAM-AL 150-10



LAMINAR – DURCHFLUSSMESSER

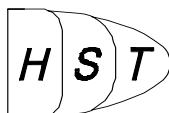
HOHER GENAUIGKEIT

FÜR GASE

Serie „ES“

Preisliste 2008 Stand: 04.08

	1 - 9 St.	10 - 25 St.	25+
Typ, Bestell-Nr.	€	€	€
LAM-ES 0.01-10 - LAM-ES 0.5-10	625,00	595,00	auf Anfrage
LAM-ES 1-10	650,00	620,00	auf Anfrage
LAM-ES 2.5-10	665,00	630,00	auf Anfrage
LAM-ES 3.5-10	685,00	650,00	auf Anfrage
LAM-ES 5-10	730,00	690,00	auf Anfrage
LAM-ES 25-10	790,00	750,00	auf Anfrage
LAM-ES 50-5	830,00	790,00	auf Anfrage
Druckaufnehmer	350,00	330,00	auf Anfrage
Prozess-Anzeige	360,00	340,00	auf Anfrage
Zwischengrößen, Sonderausführungen und weitere Optionen auf Anfrage			
alle Preise zzgl. MWSt.		<i>Mit dieser Preisliste verlieren alle früheren Preislisten ihre Gültigkeit.</i>	



LAMINAR – DURCHFLUSSMESSER
HOHER GENAUIGKEIT
FÜR GASE
Serie „AL“

Preisliste 2008 Stand: 04.08

	1 - 9 St.	10 - 25 St.	25+
Typ, Bestell-Nr.	€	€	€
LAM-AL 10-5	615,00	585,00	auf Anfrage
LAM-AL 10-10	680,00	645,00	auf Anfrage
LAM-AL 25-5	655,00	625,00	auf Anfrage
LAM-AL 25-10	720,00	680,00	auf Anfrage
LAM-AL 50-5	750,00	710,00	auf Anfrage
LAM-AL 50-10	820,00	780,00	auf Anfrage
LAM-AL 75-5	770,00	730,00	auf Anfrage
LAM-AL 75-10	845,00	800,00	auf Anfrage
LAM-AL 125-5	800,00	760,00	auf Anfrage
LAM-AL 125-10	880,00	840,00	auf Anfrage
LAM-AL 150-5	820,00	780,00	auf Anfrage
LAM-AL 150-10	900,00	855,00	auf Anfrage
Druckaufnehmer	350,00	333,00	auf Anfrage
Prozess-Anzeige	360,00	340,00	auf Anfrage
Zwischengrößen, Sonderausführungen und weitere Optionen auf Anfrage			
alle Preise zzgl. MWSt.		<i>Mit dieser Preisliste verlieren alle früheren Preislisten ihre Gültigkeit.</i>	

