

LAMINAR - DURCHFLUSSMESSER HOHER GENAUIGKEIT FÜR GASE



Hyperschall- und Strömungstechnik GmbH

Max-Planck-Str. 19

37191 Katlenburg-Lindau

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

Email: mail@htg-hst.de

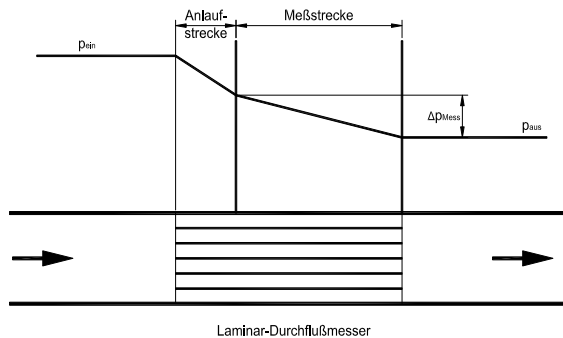
www.htg-hst.de

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:

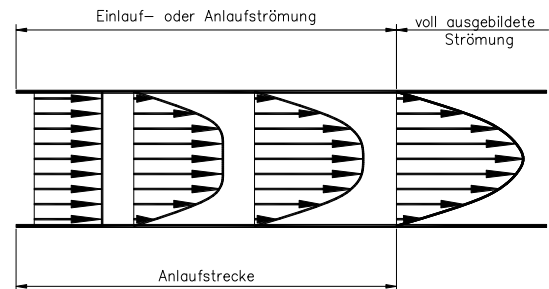
$$q_v = \frac{k}{\eta} \cdot \Delta p$$

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.

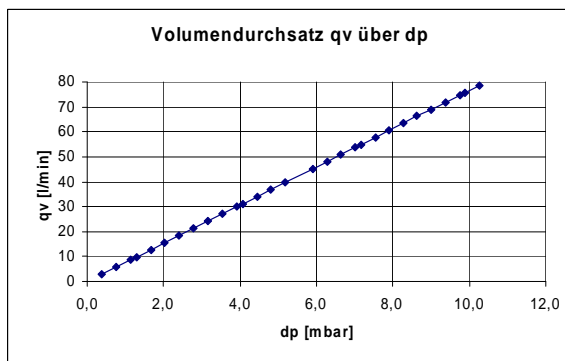
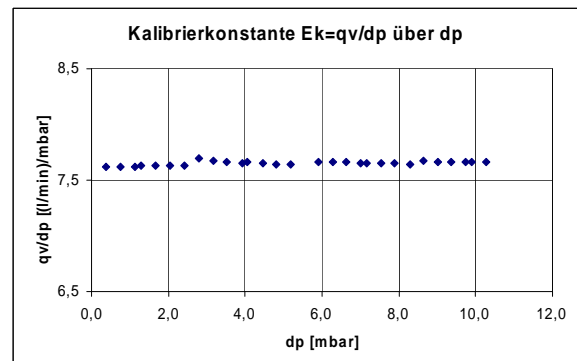


Diagramm einer Durchflussmesser-Kalibrierung



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, so-lange das Produkt

$$P_{System} \cdot q_V$$

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

Der Messwert Δp ist im laminaren Bereich di-rekt proportional dem Volumendurchfluss q_V , was die Auswertung erheblich erleichtert.

Der Messwert Δp kann sowohl mit direkt an-zeigenden Geräten wie einfache U-Rohre, Betz-Manometer und Mikromanometer oder aber mit elektronischen Differenzdruckauf-nehmern 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 verwen-deten Druckaufnehmer abhängig.

Die Laminar – Durchflussmesser werden mit Luft bei 20°C kalibriert. Bei bekannten Gas-daten kann der Kalibrierfaktor leicht auf an-dere Gase und andere Temperaturen umge-rechnet werden.

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

Vorteile der Volumendurchflussmessung mit Laminarelementen.

Ideale Laminarelemente messen den Volu-mendurchsatz q_V unabhängig von der Gas-dichte ρ .

Der Messwert Δp ist im laminaren Bereich nur von der dynamischen Viskosität des Medi-ums abhängig.

Bei der Steuerung eines Prozesses sollte die Art der Durchflussmessung den spezifischen Gegebenheiten angepasst werden.

Die folgende Tabelle zeigt die primäre Mess-größe von unterschiedlichen Durchflussmes-sern und ihre Abhängigkeit dieser Messgröße von Durchfluss und den Gaseigenschaften.

Durchflussmesser	primäre Messgröße	
Volumetrische Zähler	Frequenz	$\sim q_V$
Laminarrohre	Δp	$\sim \eta q_V$
Therm. Massen-durchflussmesser	ΔT	$\sim C_p \eta q_V$ bzw. $C_p q_M$
Venturi-Durch-flussmesser	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

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

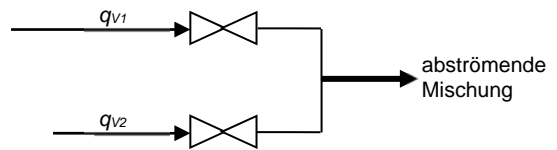
Die Kennlinie ist demnach in q_v quadratisch und zur Ermittlung von q_v muss zusätzlich die Gasdichte bekannt sein.

Vorteile der volumetrischen Laminarflowelemente bei der Prozesssteuerung.

a. Mischung von Gasen

Bei der Gasmischung und bei chemischen Prozessen sind im wesentlichen die Mol-zahlen der beteiligten Partner wichtig.

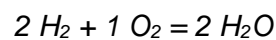
Führt man zwei Gasströme 1 und 2 über zwei Dosierventile zusammen und mißt bei identischem Vordruck p die Volumenströme q_{v1} und q_{v2} , so ergibt sich das Partialdruckverhältnis der Mischung p_1/p_2 direkt aus den Volumenströmen q_{v1}/q_{v2} vor den Drosselventilen.



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:

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

HST- 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:

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

Damit wird auch die gerätespezifische geometrische Konstante k bekannt:

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

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:

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

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:

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

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

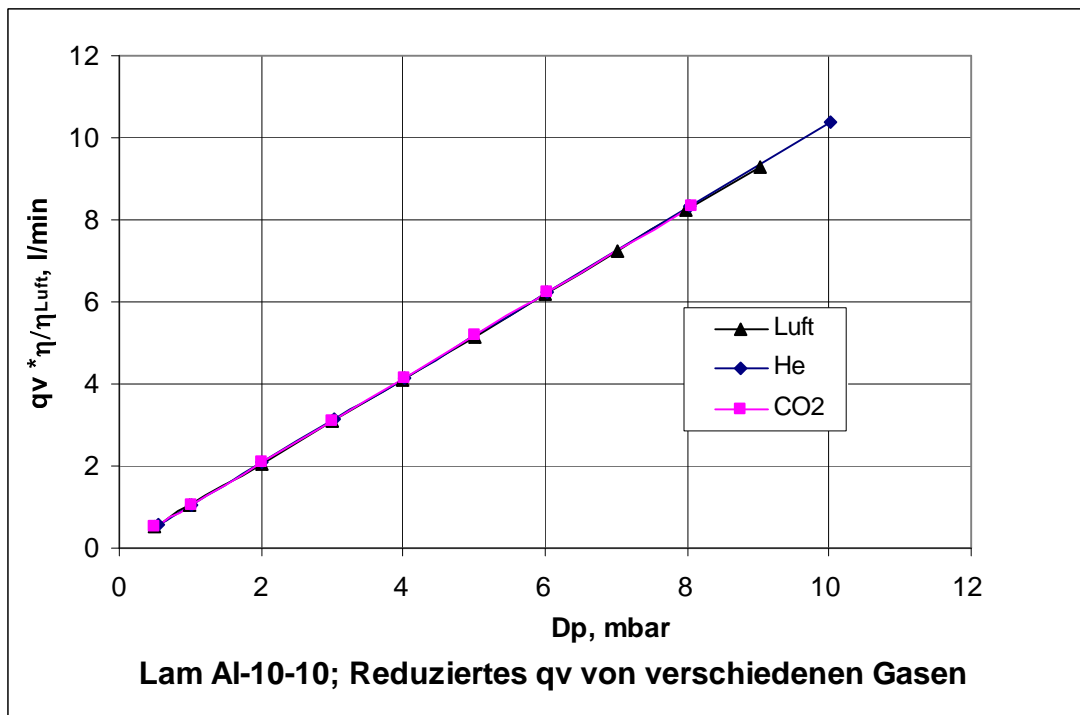
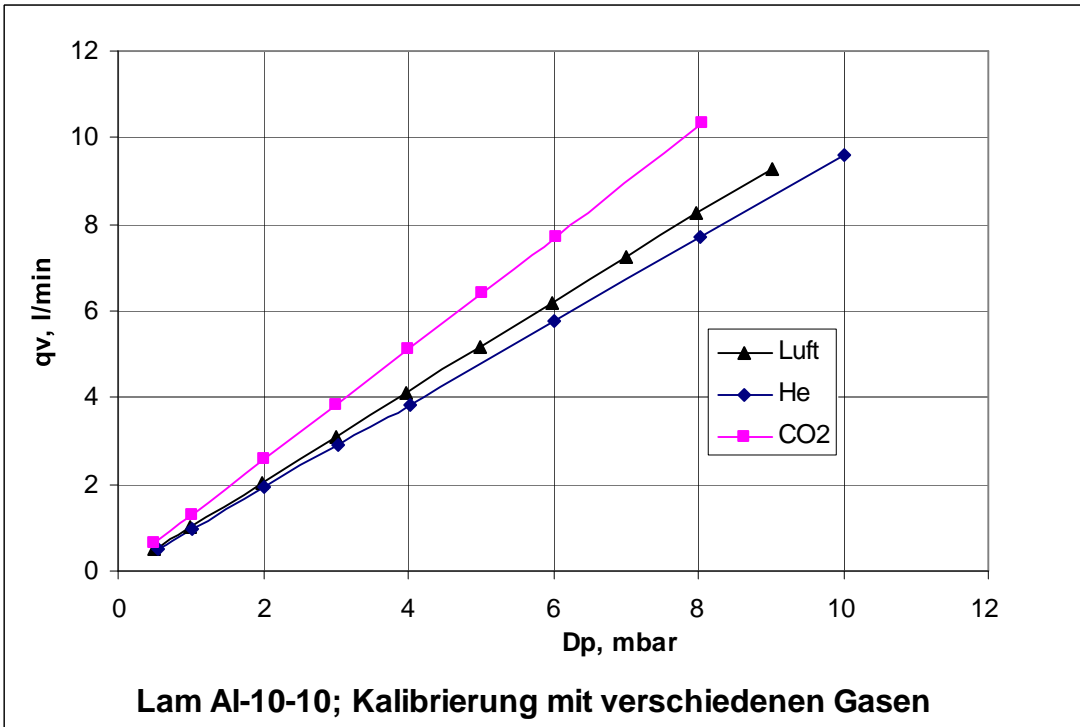
Die folgenden beiden Bilder bestätigen dieses einfache Umrechnungsverfahren.

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

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

mit der Luftkalibrierung zusammenfallen.



Korrektur für Temperatureinfluss

Die dynamische Zähigkeit von Gasen nimmt mit steigender Temperatur zu und wird normalerweise durch das Sutherland-Formel beschrieben. In begrenzten Temperaturbereichen kann die Änderung der Zähigkeit mit der Temperatur durch eine Potenzfunktion mit Exponenten 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 höhere Zähigkeit des Mediums wird ein größerer Druckabfall erzeugt.

Gasart		M	$\eta \cdot 10^6$	η_i / η_{Luft}	$C_i = \eta_{Luft} / \eta_i$
		kg/kmol	Ns/m2		
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
Ethylen	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

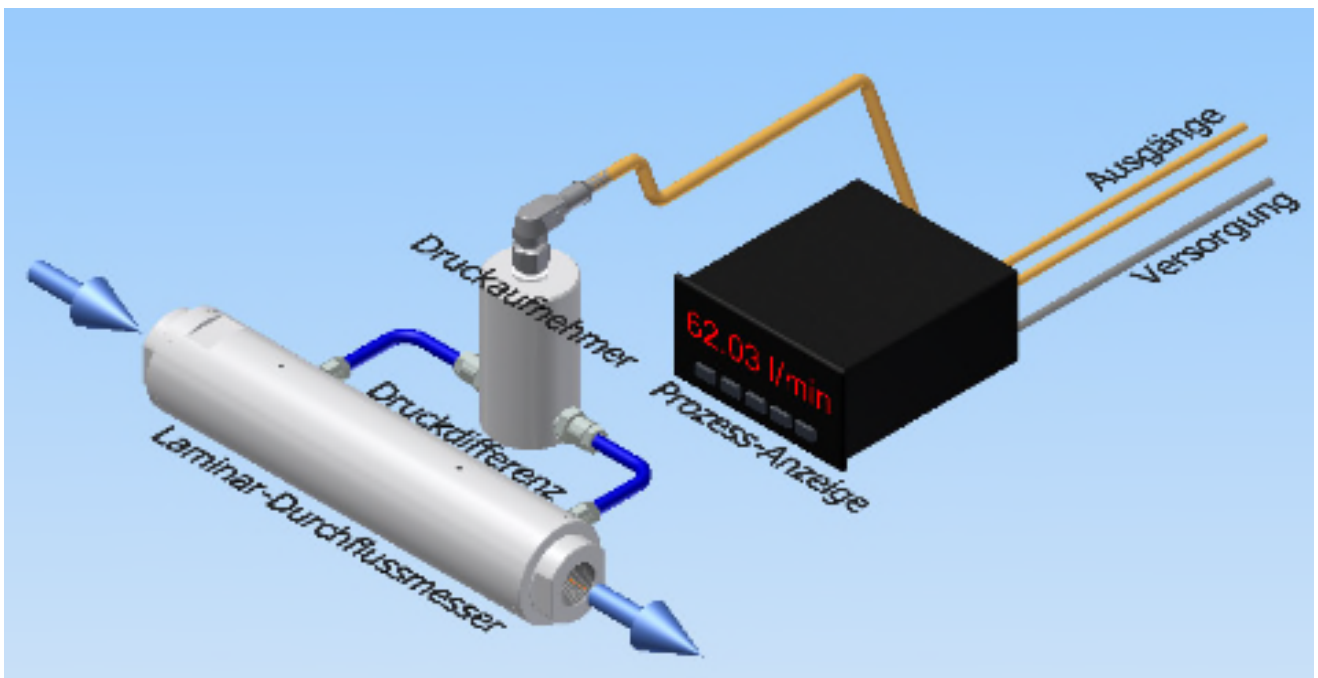
Mit dem Druckaufnehmer BTEL5000 und der Prozess-Anzeige PAX-D wird aus dem Laminar-Durchflussmesser eine eigenständige Messeinheit, mit welcher der gemessene Volumendurchfluss direkt abgelesen werden kann.

Der Druckaufnehmer wird für den Druckbereich des jeweiligen Durchflussmessers 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.



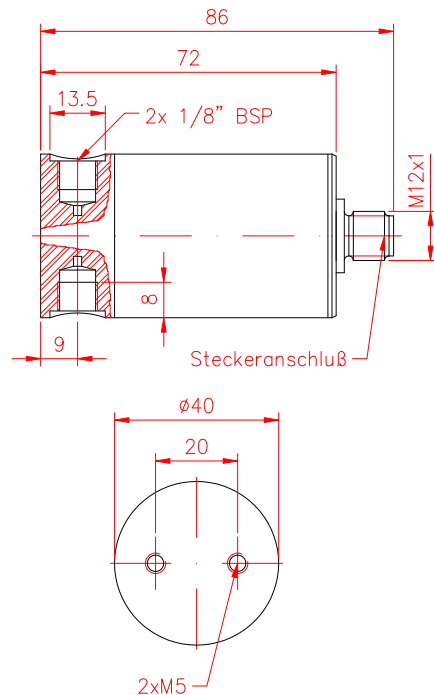
Aufbau der Laminar-Durchflussmesser als eigenständige Messeinheit

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: (incl. Hysterese und Nichtlinearität)	± 0.25 %FSO
Temperaturkoeffizient:	
Nullpunkt:	± 0.06 %FSO/°C
Verstärkung:	± 0.08 %FSO/°C
Ansprechzeit:	1 ms
Ausgang:	1 – 6 VDC oder 4 – 20 mA

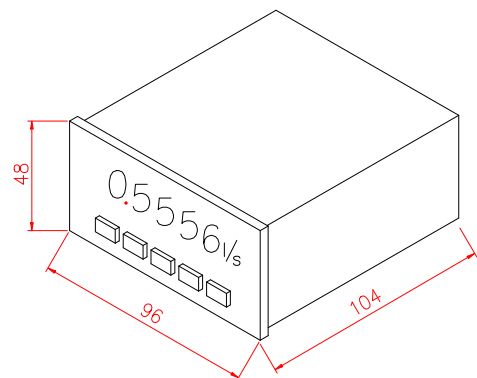


Prozess-Anzeige

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	



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 150 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.

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

Bei Interesse bitten wir um Ihre Anfrage.

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:

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	LAM-ES 1-10
Nennvolumenstrom q_v	[ml/min]	10	25	50	100	250	500	1000
	[m³/h]	0.0006	0.0015	0.003	0.006	0.015	0.03	0.06
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	100	
	Der genaue Kalibrierfaktor wird für jeden Laminar-Durchflussmesser individuell ermittelt.							
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	~ 0.3	~ 0.3	
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 (Anfrage).							
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							



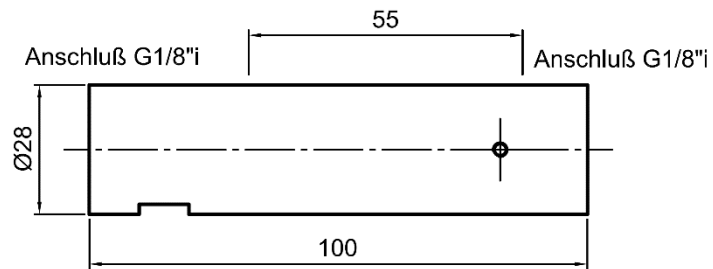
Serie „ES“							
Typ		LAM-ES 2.5-10	LAM-ES 3.5-10	LAM-ES 5-10	LAM-ES 25-10	LAM-ES 50-5	LAM-ES 150-5
Nennvolumen- strom q_v	[l/min]	2.5	3.5	5	25	50	150
	[m³/h]	0.15	0.21	0.3	1.5	3	9
Messbereichsbreite		0 – Nennvolumenstrom Die Auflösung wird durch den verwendeten Druckaufnehmer bestimmt.					
Kalibrierfaktor $E_K = \frac{q_v}{\Delta p}$ [l/min·mbar]		0.25	0.35	0.5	2.5	10	30
		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]		~ 0.45	~0.5	~0.5	~0.5	0.8	1
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 (Anfrage).					
Gasarten		Kalibriert für Luft bei T = 20°C. Einfache Umrechnung für andere Gasarten mit bekannter dyn. Viskosität η .					
Werkstoffe		CrNi-Stahl, Ms, NBR					
Anschlüsse		G¼"- innen			G³/₈" i	G½" i	
Masse [g], ca.		630	690	690	790	1230	1300
Einbaulänge [mm]		120	130	130	213	270	370
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						
Messbereichsbreite		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
		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]		0.5	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 (Anfrage).											
Gasarten		Kalibriert für Luft bei T = 20°C. Einfache Umrechnung für andere Gasarten mit bekannter dyn. Viskosität η .											
Werkstoffe		Aluminium (3.1645), eloxiert, Ms, NBR											
Anschlüsse		G½“ i											
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											

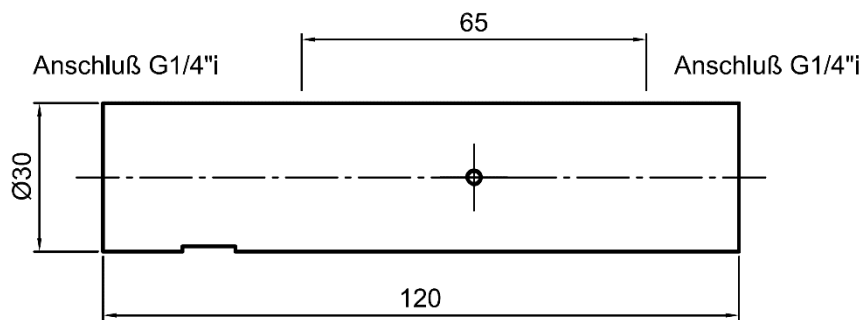
Abmessungen Laminar-Durchflussmesser
(Abbildungen nicht maßstäblich)

Serie „ES“

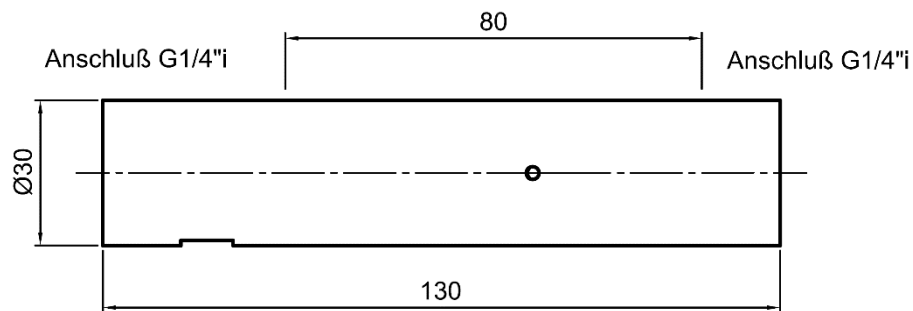
LAM-ES 0.01-10 - LAM-ES 1-10



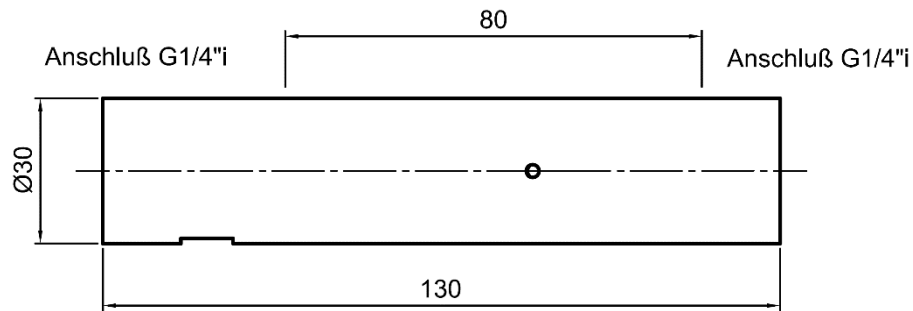
LAM-ES 2.5-10



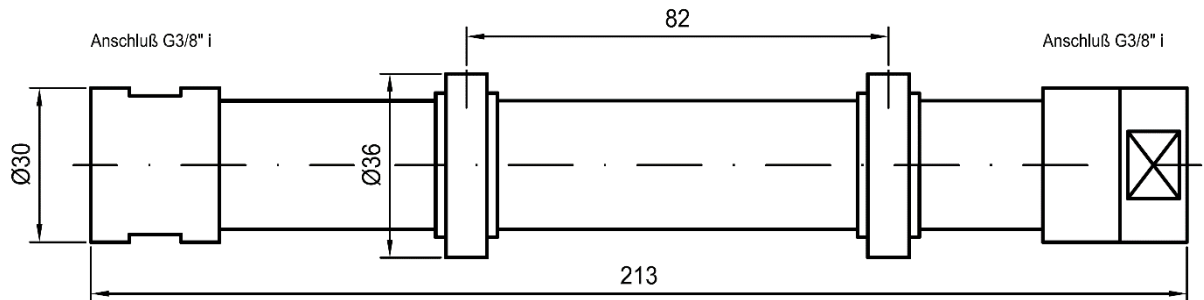
LAM-ES 3.5-10



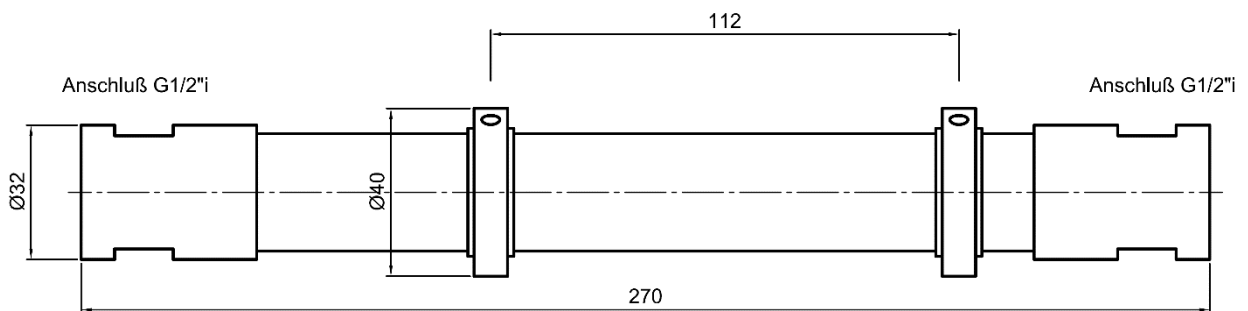
LAM-ES 5-10



LAM-ES 25-10



LAM-ES 50-5



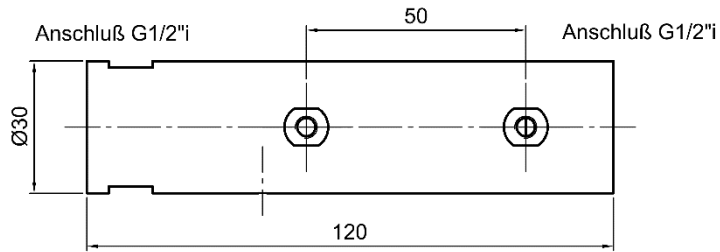
LAM-ES 150-5



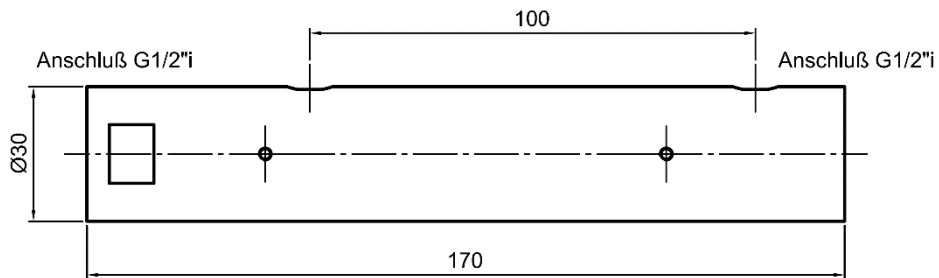
Abmessungen Laminar-Durchflussmesser

Serie „AL“

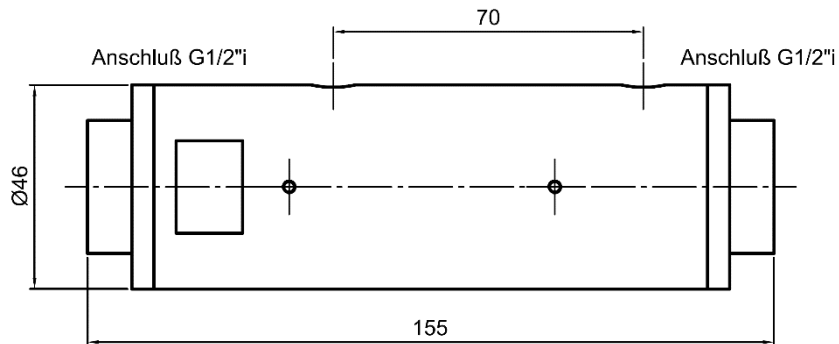
LAM-AL 10-5 - LAM-AL 25-5



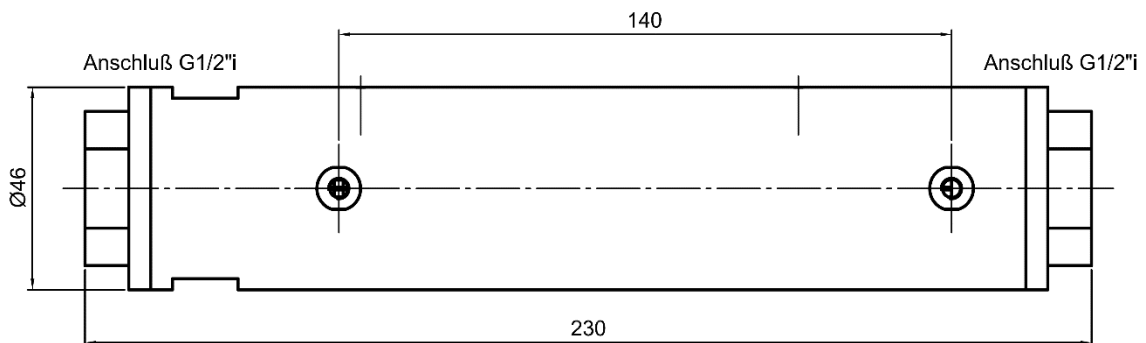
LAM-AL 10-10 - LAM-AL 25-10



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



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



Preisliste 2014 Stand: 01.2014**Serie „ES“**

	1 - 9 St.	10 - 25 St.	25+
Typ, Bestell-Nr.	€	€	€
LAM-ES 0.01-10 - LAM-ES 0.5-10	700,00	660,00	auf Anfrage
LAM-ES 1-10	715,00	680,00	auf Anfrage
LAM-ES 2.5-10	740,00	705,00	auf Anfrage
LAM-ES 3.5-10	760,00	725,00	auf Anfrage
LAM-ES 5-10	810,00	770,00	auf Anfrage
LAM-ES 25-10	900,00	855,00	auf Anfrage
LAM-ES 50-5	950,00	900,00	auf Anfrage
LAM-ES 150-5	1250,00	1190,00	auf Anfrage
Druckaufnehmer	400,00	380,00	auf Anfrage
Prozess-Anzeige	380,00	360,00	auf Anfrage
Zwischengrößen, Sonderausführungen und weitere Optionen auf Anfrage			
alle Preise zzgl. MwSt.		<i>Mit dieser Preisliste verlieren alle früheren Preislisten ihre Gültigkeit.</i>	

Preisliste 2014 Stand: 01.2014**Serie „AL“**

	1 - 9 St.	10 - 25 St.	25+
Typ, Bestell-Nr.	€	€	€
LAM-AL 10-5	700,00	625,00	auf Anfrage
LAM-AL 10-10	760,00	725,00	auf Anfrage
LAM-AL 25-5	740,00	705,00	auf Anfrage
LAM-AL 25-10	810,00	770,00	auf Anfrage
LAM-AL 50-5	845,00	805,00	auf Anfrage
LAM-AL 50-10	925,00	880,00	auf Anfrage
LAM-AL 75-5	865,00	825,00	auf Anfrage
LAM-AL 75-10	955,00	910,00	auf Anfrage
LAM-AL 125-5	905,00	860,00	auf Anfrage
LAM-AL 125-10	995,00	945,00	auf Anfrage
LAM-AL 150-5	925,00	880,00	auf Anfrage
LAM-AL 150-10	1020,00	970,00	auf Anfrage
Druckaufnehmer	400,00	380,00	auf Anfrage
Prozess-Anzeige	380,00	360,00	auf Anfrage
Zwischengrößen, Sonderausführungen und weitere Optionen auf Anfrage			
alle Preise zzgl. MwSt.		<i>Mit dieser Preisliste verlieren alle früheren Preislisten ihre Gültigkeit.</i>	