



JOUKOWSKY-KLAPPEN

Effekt und Lösungen



JOUKOWSKY-STOß

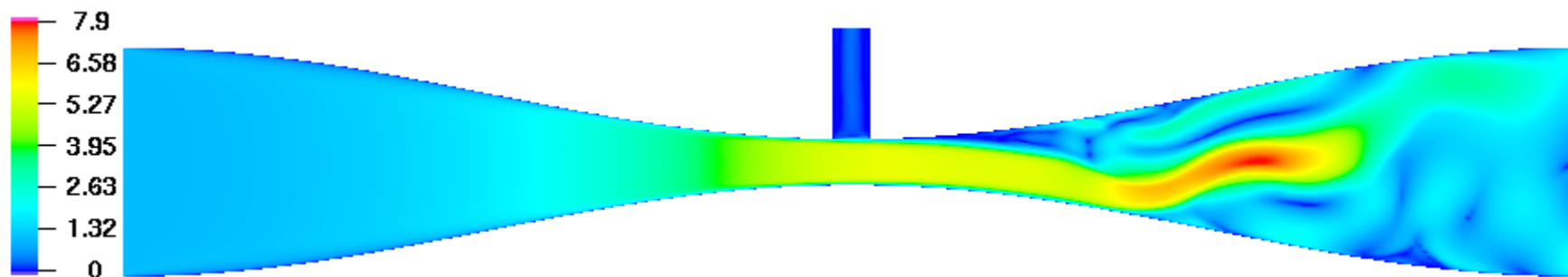
PHYSIKALISCHER HINTERGRUND

Joukowski – Stoß:

1898 von Nikolai E. Joukowski erkannt und 1905 von Allieve theoretisch hergeleitet.

Joukowski-Stöße werden immer durch **instationäre** Strömungen hervorgerufen.

Instationäre Bedingungen sind immer dann vorhanden, wenn sich die **Stömungsgeschwindigkeit** zeitlich **verändert**.



JOUKOWSKY-STOß

AUSLÖSENDE EREIGNISSE

Auftreten von Druckstößen in Abgasanlagen:

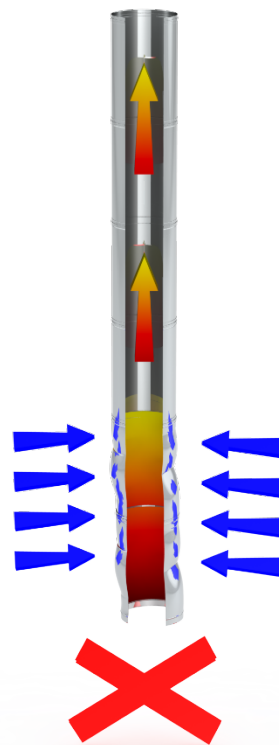


- Plötzliche Druckerhöhung (z.B. Verpuffung) mit anschließender Druckerniedrigung
- Abrupte Abschaltung des Brenners
- Schnelles Schließen der Zuluftklappen
- Kombination von Punkt 2 und 3
- Fehlbedienung



JOUKOWSKY-STOß

Vorgänge in der Abgasanlage ohne
Joukowsky – Klappe:



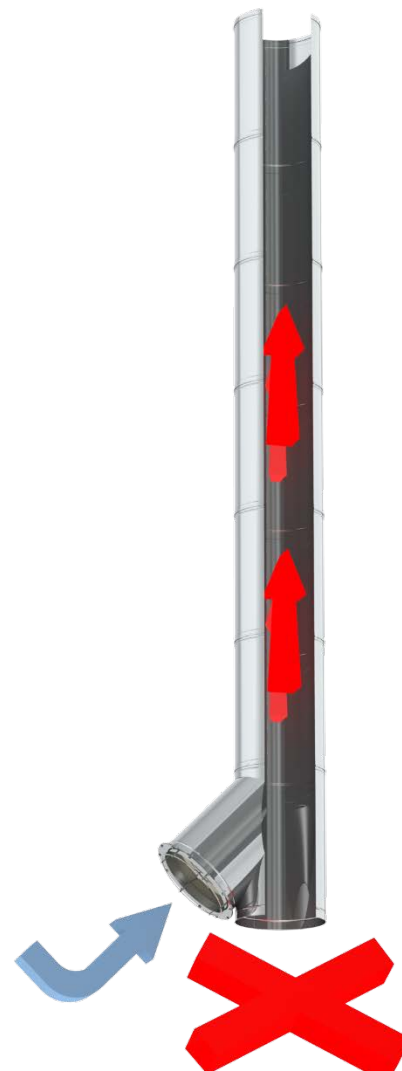
Unterdruck innen:
bis 12.000Pa

Luftdruck außen:
1,013bar



JOUKOWSKY-STOß

Vorgänge in der Abgasanlage mit
Joukowsky-Klappe:



JOUKOWSKY-STOß

EMPFEHLUNGEN (UPDATE)

Ø Abgasrohr [mm]	Höhe [m]	Anzahl [-]	Ø Klappe [mm]
130 – 180	≥ 35m	1	wie Ø
200 – 350	≥ 30m	1	wie Ø
400 – 600	≥ 25m	2	180
650	≥ 20m	2	200
700 - 750	≥ 20m	2	250
800 - 900	≥ 15m	2	300
≥ 950	≥ 15m	2	400



JOUKOWSKY-STOß

ZUTE 1104 Joukowsky – Klappe für ÜBERDRUCK P1 + N1

© Jerejka GmbH. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Ø	200	250	300	350	400	450	500	550	600
ND	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Kg	2,05	2,60	3,18	3,80	4,45	5,12	5,82	6,55	7,35

POS-NR.	BENENNUNG	Menge
1	Führungshülse	6
2	Ø200	1
3	Ø200	1
4	U-Profilichtung Silikon	2
5	Ø200	1
6	Führungsbolzen	6
7	Feder Ø10x32 Nr. 5061032	6
8	Ø200	1
9	Mutter M6 DIN 985 Nr. 03916	6
10	Ø200	1

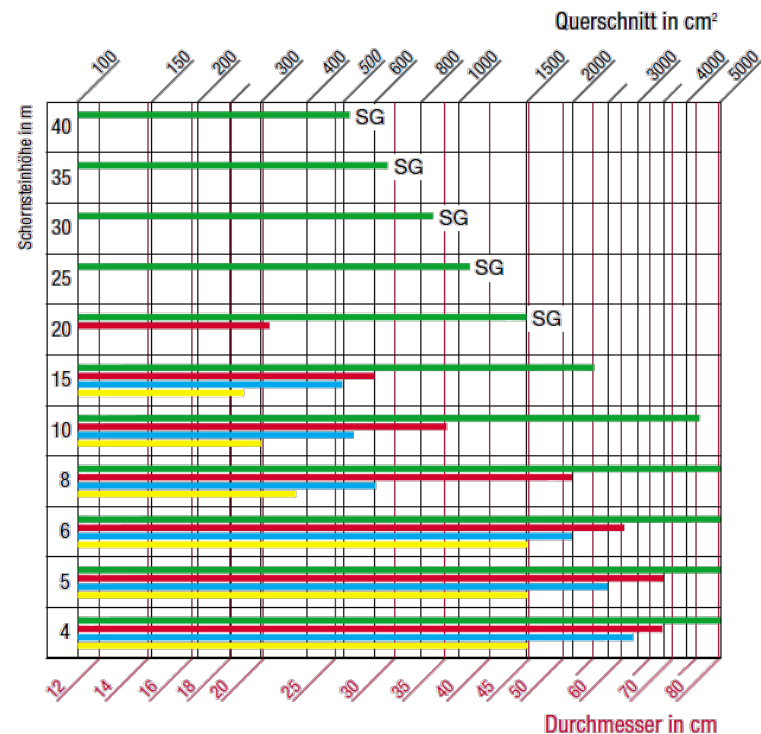
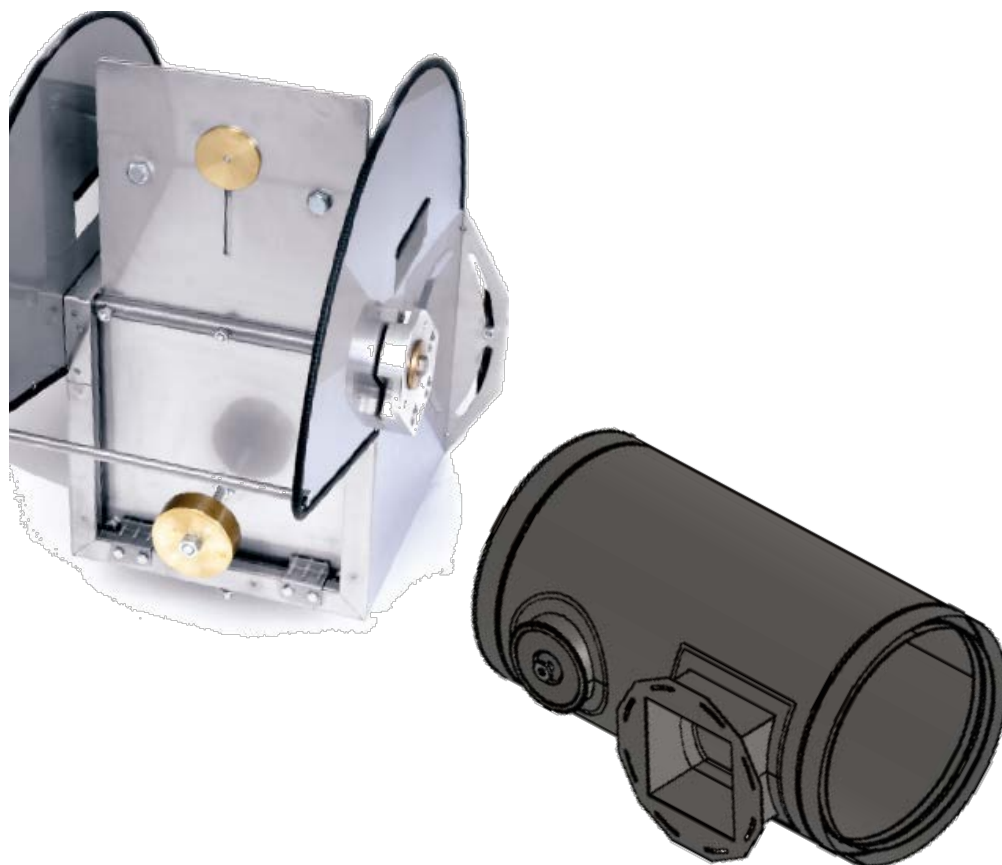
material: materialcode	1.4404/ 1.4301	surface: finishcode	matt	weight:	date	name	customer
					drawn	31.05.2012	J.Grimme
					checked		U.Felix
					appr.		
revision	date	name					

description	Joukowsky-Klappe ZUTE 1104Ø	Format	A4
project/order-no.		revisions-no.	A1
scale:	1:5	drawing-version	
		sheet	1 of 3



JOUKOWSKY-STOß

ZUK 250 (SG) K&W FÜR UNTERDRUCK N1



für Schornsteine der Bauart III (gedämmt)
und der Bauart II (geringe Wärmedämmung)

	Gruppe DIN 4795	Δp 5	Luftleistung m ³ /h	
			20	40 Pa
ZUK 250 (SG)	6	220	380	525
Z 180	5	190	275	360
Z 150	4	140	220	300
Z 130	3	75	130	160

JOUKOWSKY-STOß

ZUTE 1104 – Individuelles Anpassen des Ansprechdrucks



Auslegungskriterien am Bauteil:

- Größe (Durchmesser) $F \sim A$
- Anzahl n der Federn
- Federtyp (L, R, ΔL , ...)
- ...



JOUKOWSKY-STOß

SCHADENSBILDER



JOUKOWSKY-STOß

SCHADENSbilder



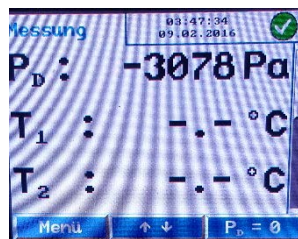
JOUKOWSKY-STOß

SCHADENSbilder



JOUKOWSKY-STOß

SCHADENSBILDER (2,5MW Hackschnitzelkessel)



PHYSIKALISCHER HINTERGRUND

Theorie: Druckänderung:

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot \Delta v$$

Δp = Druckänderung in [N/mm²]

ρ = Dichte in [kg/m³]

c = Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit in [m/s]

Δv = Geschwindigkeitsänderung in [m/s]

Kompressionsmodul:

beschreibt, welche allseitige Druckänderung nötig ist, um eine bestimmte Volumenänderung hervorzurufen.

Sonderfall dünnwandiges Rohr:

$$c = \sqrt{\frac{\frac{K_f}{\rho}}{1 + \frac{K_f \cdot d_i}{E_R \cdot s}}}$$

ρ = Dichte des Fluids in [kg/m³]

K_f = Kompressionsmodul des Fluids in [N/m²]

E_R = E-Modul der Rohrwand in [N/m²]

d_i = Innenrohrdurchmesser des Rohrs in [m]

s = Rohrwanddicke [m]



PHYSIKALISCHER HINTERGRUND

Beispiele:

Druckänderung	3814 Pa
Dichte	1 kg/m ³
Geschw.	12 m/s
Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit c	317,80 m/s
Kompressionsmodul des Fluides k	
E-Modul der Rohrwandung E	
Innenrohrdurchmesser d	
Rohrwandstärke	
Druckänderung	1794 Pa
Dichte	0,65 kg/m ³
Geschw.	7 m/s
Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit c	394,18 m/s
Kompressionsmodul des Fluides Kf	1,01E+05 N/m ² oder Pa
E-Modul der Rohrwandung ER	2,00E+11 N/m ² oder Pa
Innenrohrdurchmesser dR	0,4 m
Rohrwandstärke s	0,006 m



PHYSIKALISCHER HINTERGRUND

Berechnung nach EN 13084-1:2007

	DIN EN 13084-1	DIN
ICS 91.060.40	Ersatz für DIN EN 13084-1:2001-04 und DIN EN 13084-1 Berichtigung 1:2006-06	
Freistehende Schornsteine – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 13084-1:2007		

A.7.7 Durch plötzliche Unterbrechung des Abgasstromes hervorgerufener Druck (Implosion)

Eine plötzliche Unterbrechung des Abgasstromes verursacht, in Abhängigkeit von der Schließzeit, einen Unter- oder Überdruck.

Wenn die Schließzeit weniger als 1 s beträgt, ist der Wert nach Gleichung (A.25) zu ermitteln:

$$\Delta P_0 = \rho_m \times w_m \times c_s \text{ in Pa} \quad (\text{A.25})$$

Dabei ist

ρ_m die mittlere Dichte des Abgases in kg/m^3 , siehe A.5;

w_m die mittlere Abgasgeschwindigkeit, in m/s , siehe A.6;

c_s die Schallgeschwindigkeit im Abgas in m/s .

Wenn die Schließzeit mehr als 10 s beträgt, so kann der Druckunterschied vernachlässigt werden.

Wenn die Schließzeit mehr als 1 s, aber weniger als 10 s beträgt, ist eine genaue Überprüfung erforderlich oder es ist der Wert für eine Schließzeit von weniger als 1 s anzusetzen.



PHYSIKALISCHER HINTERGRUND

Beispiel nach EN 13084-1:2007

A.5 Dichte des Abgases

Die mittlere Dichte des Abgases, ρ_m , in kg/m^3 , errechnet sich aus Gleichung (A.17):

$$\rho_m = \frac{P_L}{R \times T_m}$$

Dabei ist

P_L der Außenluftdruck, in Pa, siehe A.3.2;

R die Gaskonstante des Abgases, in J/kgK , siehe A.3.4;

T_m die mittlere Abgastemperatur, in K, siehe Gleichung (A.6).

Berechnung

	Mittlere Dichte des Abgases in kg/m^3 ρ_m
	0,75
	Mittlere Abgasgeschwindigkeit in m/s w_m
	10
Abgastemperatur in $^{\circ}\text{C}$	Schallgeschwindigkeit im Abgas (m/s) c_s
200	436,3

Ergibt einen Unterdruck in Pa bei Einsatz von Abgasklappen mit einer Schließzeit von unter einer Sekunde von

3272 Δp_0

A.6 Abgasgeschwindigkeit

Die mittlere Abgasgeschwindigkeit, w_m , in m/s , errechnet sich aus Gleichung (A.18):

$$w_m = \frac{m}{A \times \rho_m}$$

Dabei ist

m der Abgasmassenstrom, in kg/s ;

A der lichte Querschnitt des Abgas führenden Rohres, in m^2 ;

ρ_m die mittlere Dichte des Abgases, in kg/m^3 , siehe A.5.

