6.1 | Balgauswahl aus dem Handbuch

Bei der Auswahl eines Balges aus den technischen Tabellen wird zuerst das Balgprofil anhand des Durchmessers und der geforderten Druckfestigkeit festgelegt. Dazu sind die Bälge in den Balgtabellen nach steigendem Bezugsdurchmesser und steigendem Nenndruck sortiert. Die benötigte Wellenzahl und die Baulänge ergeben sich dann aus dem geforderten Hub und der zugehörigen Lastspielzahl.

Druckfestigkeit bei Außendruckbelastung
Ausschlaggebend für die Festlegung des Nenndrucks sind der Kaltdruck (p_{RT}) und der Prüfdruck (p_T):

$$P_N \geq \max \begin{cases} p_{RT} = PS/K_{p\vartheta} \\ p_T / 1{,}3 \end{cases} \tag{6.1.1.}$$

Für Betriebstemperaturen TS > 20 °C berücksichtigt der Druckabminderungsfaktor

$$K_{p\vartheta} = \frac{PS}{p_{RT}} = \frac{R_{p1,0}\,(TS)}{R_{p1,0}\,(20\ °C)} \tag{6.1.2.}$$

die Verringerung der Druckfestigkeit des Balges. Zahlenwerte für $K_{p\vartheta}$ sind für die Balgwerkstoffe 1.4571 (austenitischer Edelstahl) und 2.1020 (Bronze) in Tabelle 6.1.1. angegeben.

Druckfestigkeit bei Innendruckbelastung
Der Knickdruck der in diesem Handbuch aufgeführten Metallbälge ist meist deutlich geringer als die Druckfestigkeit des Balgprofils. Daher sollten sie bevorzugt mit einer Außendruckbelastung ausgelegt werden.

Für die Auslegung von Kompensatoren verweisen wir auf das Handbuch der Kompensatorentechnik.

Abminderungsfaktoren für den Druck $K_{p\vartheta}$

Temperatur [°C]	Abminderungsfaktor $K_{p\vartheta}$		Temperatur [°C]	Druckabminderungsfaktor $K_{p\vartheta}$	
	austenitischer Edelstahl 1.4571	Bronze 2.1020		austenitischer Edelstahl 1.4571	Bronze 2.1020
20	1,00	1,00	300	0,69	–
50	0,92	0,95	350	0,66	–
100	0,85	0,90	400	0,64	–
150	0,81	0,80	450	0,63	–
200	0,77	0,75	500	0,62	–
250	0,73	0,70	550	0,62	–

Tabelle 6.1.1

Bei Innendruckbelastung muss neben der Bedingung

$$P_N \geq \max \begin{cases} p_{RT} = PS/K_{p\vartheta} \\ p_T / 1{,}3 \end{cases} \tag{6.1.1.}$$

zusätzlich die **Knicksicherheit unter Innendruck** überprüft werden. Die Bedingung

$$P_{RT} \leq 2 \frac{c_\delta}{n^2_W \cdot l_W} \tag{6.1.3.}$$

führt zu einem Sicherheitsfaktor S ≈ 3 gegen Säulenknicken. Die Federrate je Welle (c_δ) und die Wellenlänge (l_W) sind in den Balgtabellen angegeben.

Ist keine ausreichende Knicksicherheit gegeben, muss das Ausknicken durch eine innere oder äußere Führung der Balgwellen verhindert werden.

Lastspiele und Hubaufteilung
Ein Lastspiel (2δ) ist die gesamte Bewegung des Balges aus irgendeiner Ausgangsstellung zum Extremwert auf einer Seite, zurück über den Ausgangspunkt hinaus zum Extremwert auf der anderen Seite und wieder in die Ausgangsstellung.

Für **Metallbälge** ist eine symmetrische Hubaufteilung (50% Stauchen / 50% Strecken) vorteilhaft. Abweichende Hubaufteilungen haben nur einen geringen Einfluss auf die Lebensdauer, solang sich die Krempen beim Stauchen nicht berühren.

Für **Membranbälge** ist eine Hubaufteilung von 80% Stauchen / 20% Strecken notwendig. Größere Zugauslenkungen können den Balg beschädigen. Bei von dieser Hubaufteilung abweichenden Bewegungen muss der Balg vorgespannt eingebaut werden.

Beweglichkeit je Welle

In den Balgtabellen sind die Nennauslenkung je Welle ($2\delta_{n,0}$, $2\lambda_{n,0}$, $2\alpha_{n,0}$) für axiale, laterale und angulare Verformung angegeben. Sie beziehen sich auf eine Lebensdauer von mindestens 10.000 Lastspielen bei Raumtemperatur und Nenndruck.
Abhängig von gewünschter Lastspielzahl und Druckauslastung ergibt die zulässige Auslenkung je Welle ($2\delta_n$, $2\lambda_n$, $2\alpha_n$) aus der Nennauslenkung je Welle ($2\delta_{n,0}$, $2\lambda_{n,0}$, $2\alpha_{n,0}$) und den Korrekturfaktoren $K_{\Delta N}$ und $K_{\Delta P}$ für Lastspielzahl und Druck:

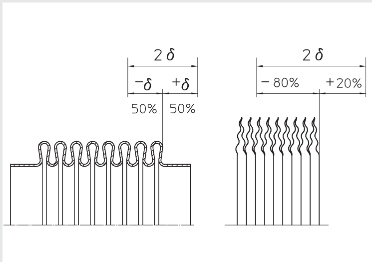

Bild 6.1.1.

Axialbelastung:

$$2\,\delta_n = K_{\Delta N} \cdot K_{\Delta P} \cdot 2\delta_{n,0} = K_\Delta \cdot 2\delta_{n,0} \qquad (6.1.4.a)$$

Lateralbelastung:

$$2\,\lambda_n = K_{\Delta N} \cdot K_{\Delta P} \cdot 2\lambda_{n,0} = K_\Delta \cdot 2\lambda_{n,0} \qquad (6.1.4.b)$$

Angularbelastung:

$$2\,\alpha_n = K_{\Delta N} \cdot K_{\Delta P} \cdot 2\alpha_{n,0} = K_\Delta \cdot 2\alpha_{n,0} \qquad (6.1.4.c)$$

6.1 | Balgauswahl aus dem Handbuch

Einfluss der Lastspielzahl auf die Bewegungsgröße

Lastspielzahl	Korrekturfaktor $K_{\Delta N}$	Lastspielzahl	Korrekturfaktor $K_{\Delta N}$	Lastspielzahl	Korrekturfaktor $K_{\Delta N}$
1.000	1,6	25.000	0,8	800.000	0,3
1.700	1,4	50.000	0,7	2.000.000	0,2
4.000	1,2	100.000	0,6	5.000.000	0,1
10.000	1,0	200.000	0,5	10.000.000	0,05
14.000	0,9	400.000	0,4	–	–

Tabelle 6.1.2

Sind geringere Lastspielzahlen als 10.000 Lastwechsel gefordert, darf die Auslenkung je Welle ($2\delta_n$, $2\lambda_n$, $2\alpha_n$) die Nennauslenkung je Welle ($2\delta_{n,0}$, $2\lambda_{n,0}$, $2\alpha_{n,0}$) überschreiten, zum Erreichen größerer Lastspielzahlen muss dagegen die Belastung unter die Nennauslenkung abgesenkt werden. Der entsprechende Einflussfaktor $K_{\Delta N}$ ist in Tabelle 6.1.2. angegeben.

Die Verringerung der Druckauslastung

$$\eta_P = \frac{p_{RT}}{P_N}$$

(4.3.2.)

erhöht die zulässige Bewegungsgröße entsprechend Tabelle 6.2.3.

Einfluss der Drucksauslastung auf die Bewegungsgröße

Druckauslastung η_P	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,0
Einflussfaktor $K\Delta_P$	1,0	1,03	1,07	1,1	1,13	1,15

Tabelle 6.1.3

6.1 | Balgauswahl aus dem Handbuch

Druckpulsationen
Dem statischen Druck überlagerte Druckpulsationen oder schwellende Druckbelastungen können die Balglebensdauer verringern. Ihr Einfluss kann rechnerisch bestimmt werden. Er hängt von der Größe der Druckpulsationen und deren Auftretenshäufigkeit ab. Für Druckpulsationen $\Delta p > 0{,}25\ P_N$ empfehlen wir eine rechnerische Absicherung.

Bestimmung der Wellenzahl
Die notwendige Wellenzahl ergibt sich aus der geforderten Auslenkung des Balges (2δ, 2λ, 2α) und der zulässigen Auslenkung je Welle ($2\delta_n$, $2\lambda_n$, $2\alpha_n$):

Axialbelastung: (6.1.5.a)

$$n_W \geq \frac{2\delta}{2\delta_n}$$

Lateralbelastung: (6.1.5.b)

$$n_W \geq \sqrt{\frac{2\lambda}{2\lambda_n}}$$

Angularbelastung: (6.1.5.c)

$$n_W \geq \frac{2\alpha}{2\alpha_n}$$

Axial- und Angularbelastung: (6.1.5.d)

$$n_W \geq \frac{2\delta}{2\delta_n} + \frac{2\alpha}{2\alpha_n}$$

Axial- und Lateralbelastung: (6.1.5.e)

$$n_W \geq \frac{2\delta}{2 \cdot 2\delta_n} + \sqrt{\left(\frac{2\delta}{2 \cdot 2\delta_n}\right)^2 + \frac{2\lambda}{2\lambda_n}}$$

Balgfederrate
Die Balgtabellen enthalten die Federrate je Welle (c_δ, c_λ, c_α). Für die Federrate eines Balges mit der Wellenzahl n_W gilt:

Axialbelastung: (6.1.6.a)

$$c_{ax} = \frac{c_\delta}{n_W}$$

Angularbelastung: (6.1.6.b)

$$c_{ang} = \frac{c_\alpha}{n_W}$$

Lateralbelastung: (6.1.6.c)

$$c_{lat} = \frac{c_\lambda}{n_W^3}$$

Abminderungsfaktoren $K_{C\vartheta}$ für die Balgfederrate

Temp. (°C)	Werkstoff 1.4571
20	1,00
100	0,97
200	0,93
300	0,90
400	0,86
500	0,83

Tabelle 6.1.4

Bei erhöhten Temperaturen vermindert sich die Balgfederrate proportional zum Elastizitätsmodul des Balgwerkstoffes. Die entsprechenden Abminderungsfaktoren enthält Tabelle 6.1.4.

$$c(T) = c\ (20\ °C) \cdot K_{C\vartheta} = c\ (20\ °C) \cdot \frac{E(T)}{E\ (20\ °C)}$$

(6.2.7.)