BOA® Group

Ratgeber Kompensatoren Modul 3a

- Angularkompensatoren allgemein
- Standardprogramm (EUB)
- Einbauvorschriften

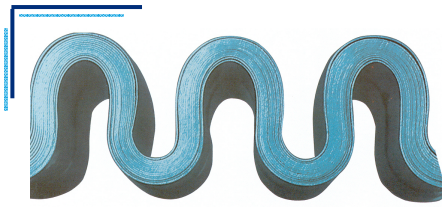
Kompensatoren Ratgeber

Inhalt Modul 3a

1 ANGULARKOMPENSATOREN ALLGEMEIN **3**
1.1 Gelenksystemanordnungen 4
1.2 Gelenksystem allgemein 5
1.3 Systemberechnungen 6
1.3.1 Zwei Gelenk I-System 6
1.3.2 Drei Gelenk I-System 8
1.3.3 Drei Gelenk L-System 9
1.3.4 Drei Gelenk U-System 11
1.3.5 Drei Gelenk Z1-System 12
1.3.6 Drei Gelenk Z2a-System 13
1.3.7 Drei Gelenk Z2b-System 14
1.3.8 Zwei-Kardangelenk I-System 16
1.3.9 Drei-Kardangelenk L-System 18

2 STANDARDPROGRAMM BOA ANGULARKOMPENSATOREN (EUB) **21**
2.1 Allgemein 21
2.2 Abminderung 21
2.2.1 Dehnungsaufnahme 21
2.2.2 Temperaturbezogene Hub- und Druckabminderung 22
2.3 Angularkompensatoren 22
2.3.1 Typ AW (mit Schweissenden) 22
2.3.2 Typ AFS (mit Flanschen) 23
2.3.3 Typ AFB (mit Flanschen gebördelt) 23
2.3.4 Typ KAW (Kardankompensator mit Schweissenden) 23

3 EINBAUVORSCHRIFTEN ANGULARKOMPENSATOREN **24**
3.1 Allgemeine Sicherheitshinweise 24
3.2 Angularkompensatoren 25
3.3 Montagehinweise 26



Elastomer Umgeformte Bälge (EUB):

- mehr- bis vielfachwandig (2 – 16 Lagen)
- hohe Flexibilität
- kurze Baulänge
- geringe Verstellkräfte
- grosse Hubkapazität
- kleine Wellenhöhe
- schwingungsdämpfend

1 Angularkompensatoren allgemein

Das Grundelement des Angularkompensators ist ebenfalls der mehrfachwandige Balg in austenitischem Stahl. Im Gegensatz zum Axialkompensator wird beim Angularkompensator der Balg nicht in der Richtung der Rohrachse, also auf Dehnung und Kompression, sondern auf seitliche Abwinklung beansprucht. Mittels zwei auf der Aussenseite des Balges angebrachten Gelenken wird einerseits die Reaktionskraft aufgefangen und anderseits die seitliche Abwicklung des Balges begrenzt. Je nach dem gewünschten Abwinklungsvermögen des Balges wird dieser kürzer oder länger ausgebildet.
Angularkompensatoren eignen sich sowohl für die Kompensation langer Rohrleitungsstrecken in Fernleitungen als auch bei kurzschenkligen Kessel- und Maschinenhausleitungen für ebene und räumliche Rohrleitungssysteme. Bei engen Einbauverhältnissen sollte auch die Verwendung eines Lateralkompensators oder eckentlasteten Kompensators geprüft werden.
Angularkompensatoren und Kardankompensatoren stellen im Gegensatz zu Axial- und Lateralkompensatoren, die selbständige Kompensationseinheiten sind, ein Bauelement dar. Mindestens zwei und höchstens drei Angularkompensatoren bilden ein statisch bestimmtes Gelenksystem.
Angularkompensatoren werden im Allgemeinen mit einer Vorspannung von 50% eingebaut. Das Einbringen der Vorspannung erfolgt zweckmässigerweise am fertiggestellten Gelenksystem. Bei der Vorspannung ist die jeweilige Einbautemperatur der Rohrleitung zu berücksichtigen, dies gilt insbesondere bei Freileitungen. Die Vorspannung kann aus dem Vorspanndiagramm entnommen werden.

Abstand Angularkompensator
Je grösser der Abstand L1 der Angularkompensatoren gewählt werden kann, desto grössere Dehnungen können vom System aufgenommen werden bzw. umso geringer werden die Verstellkräfte. Der Drehpunkt der Gelenke liegt mit dem Mittelpunkt des Balges in einer Achse (siehe Bild 1).
Kardankompensatoren haben zur Aufnahme der Reaktionskräfte ein Kardangelenk in Ring- oder viereckiger Ausführung, wodurch räumliche Winkelbewegungen um die Achse x und z (siehe Bild 2) ermöglicht werden.

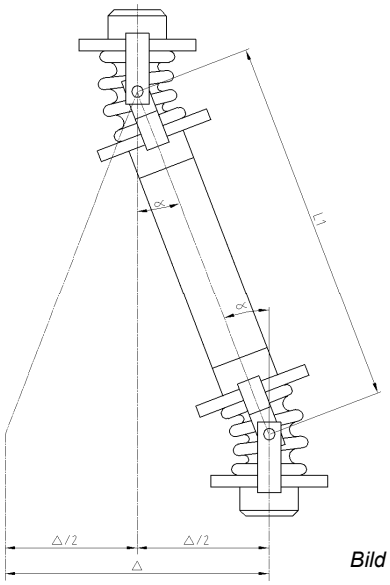


Bild 1

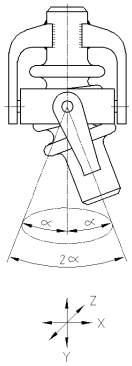


Bild 2

Festpunkte, Führungslager
Angularkompensatoren stellen im Gegensatz zu Axialkompensatoren keine besonderen Ansprüche an die Führungslager. Auch Pendelhänger können ausreichend sein.
Bei kurzschenkligen Maschinenhausleitungen erübrigen sich zusätzliche Unterstützungen. Das Gewicht der Rohrschenkel zwischen den Angularkompensatoren ist durch geeignete Aufhängungen oder Abstützungen so abzufangen, dass die Bewegung der Angularkompensatoren nicht behindert wird. Bei langen Rohrleitungen sind vor und hinter jedem Gelenksystem geeignete Führungslager vorzusehen. Mit zu geringem Spiel dimensionierte Führungslager können in Zwei-Gelenk-Systemen zu Verklemmungen führen, die sich möglicherweise stossartig lösen und zu erheblichen Zusatzbelastungen führen können.
Angularkompensatoren in einem Zwei-Gelenk-I-Bogensystem beschreiben infolge seitlichen Auswinkelungen einen Kreisbogen (siehe Bild 3).

Die Führungslager sollen folgenden Forderungen entsprechen:

- das Gewicht von Rohrleitungen und Kompensator aufnehmen
- die sich dehnende Rohrleitung in der Stabachse führen
- ausreichend Spiel s ausweisen, damit die nichtkompensierten Verschiebungen, die sowohl aus der Wärmedehnung ΔL des Rohrleitungsversatzes L als auch aus der Bogenhöhe h resultieren, ohne wesentliche Zwängungen durch die weiterführenden Rohrleitungen aufgenommen werden können.

$$s \geq h + \Delta L \text{ [mm]}$$

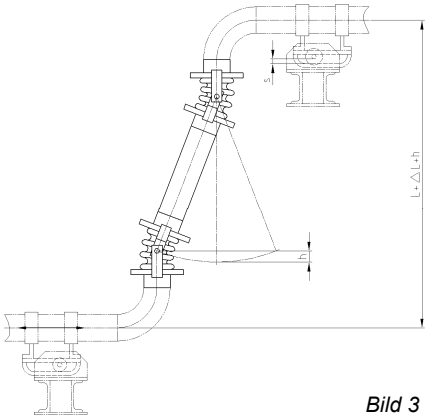
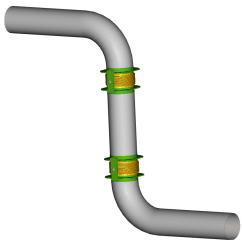


Bild 3

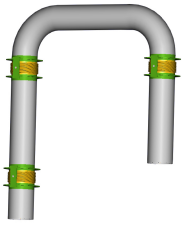
Einbauhinweise
Wie bei den Axialkompensatoren ist auch bei den Angular-Gelenksystemen der Platzierung der Rohrführungen besondere Beachtung zu schenken, um eine definierte Bewegung in Richtung der Rohrachse zu erreichen.
Beim Zwei-Gelenksystem muss an einem Ende eine ausreichende Bewegungsmöglichkeit geschaffen werden, damit die Wärmedehnung des Zwischenrohres und die Bogenwanderung aus der Kreisbewegung aufgenommen werden können. Bei langen Zwischenrohren in horizontaler Lage innerhalb des Systems muss das Zwischenrohr speziell abgestützt werden. Beim Einbau ist zu berücksichtigen, dass die Gelenkbolzen der einzelnen Angularkompensatoren zueinander genau parallel und senkrecht zur Auflageebene stehen.
Für die Berechnung und Beratung wende man sich an den Hersteller. BOA besitzt ein eigens entwickeltes PC-Programm auf Windows für die Berechnung von Gelenksystemen und deren Verstellkräften. Die maximale Abwicklung gemäss Katalog darf nicht überschritten werden. Um die Abwicklung optimal auszunutzen empfiehlt es sich, die Gelenksysteme vorzuspannen. Die Kompensatoren werden in Neutralstellung montiert. Die Vorspannung erfolgt durch Verschieben des Leitungsstranges und anschliessendes Arretieren der Festpunkte oder über ein herausgeschnittenes Passstück. Wir verweisen auf unsere Einbauvorschriften in Kapitel 3.

1.1 Gelenksystemanordnungen

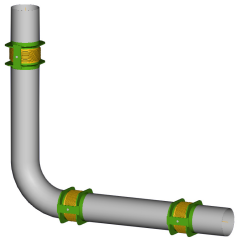
Bei der Einplanung von Angularkompensatoren als Gelenksysteme sind folgende Anordnungen am gebräuchlichsten:



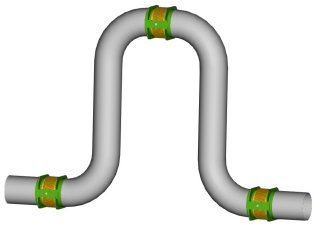
Zwei Gelenk I-System
für Leitungsstrecken beliebiger Längen unter Ausnutzung gegebener Trassen.



Drei Gelenk I-System
geeignet zur Kompensation von Verbindungsleitungen z.B. zwischen Behältern.

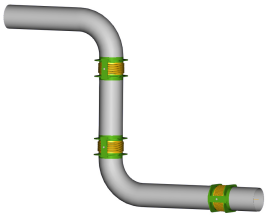


Drei Gelenk L-System
Kompensation grösster und kleinster Rohrleitungsstrecken bei gleichzeitiger Dehnungsaufnahme aus zwei Richtungen.

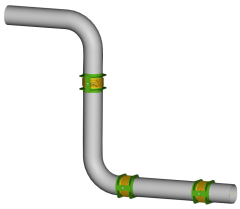


Drei Gelenk U-System
vorzugsweise zur Kompensation langer Fernleitungsstrecken.

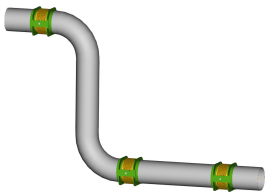
Ähnliche Z-Systeme:



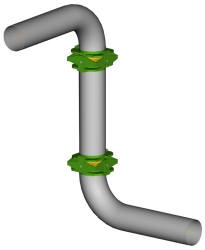
Drei Gelenk Z1-System
Ausnutzung ausgedehnter Trassen und gleichzeitig Kompensation des Trassenschenkels



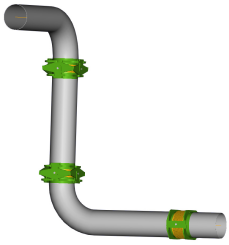
Drei Gelenk Z2a-System



Drei Gelenk Z2b-System



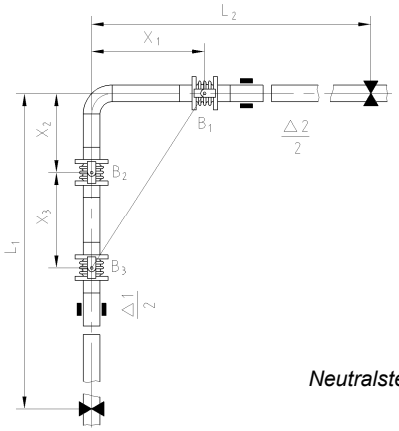
Zwei Kardangelenk I-System
Dehnungsaufnahme seitlich in Kreisebene in kurzschenkligen Leitungen



Drei Kardangelenk L-System
zur Kompensation von räumlich verlegten Kessel- und Maschinenhausleitungen. Dehnungsaufnahme in 3 Ebenen.

1.2 Gelenksystem allgemein

Am Beispiel eines Drei-Gelenk-L-Systems soll die prinzipielle Vorgehensweise für die Auslegung eines Drei-Gelenksystems erläutert werden. Je nach Verlauf der Rohrleitung muss zunächst eine für die Kompensation der auftretenden Dehnungen geeignete Gelenksystemanordnung festgelegt werden, die an beiden Enden durch Festpunkte begrenzt sein muss. Bei unserem Beispiel liegt ein L-förmiger Rohrleitungsverlauf vor, bei dem die auftretenden Dehnungen Δ_1 und Δ_2 der Rohrleitungsabschnitte L_1 und L_2 zweckmässig durch drei Angularkompensatoren in L-Anordnung kompensiert werden.



Neutralstellung (ohne Vorspannung)

Zunächst sind die Bewegungswerte Δ_1 und Δ_2 unter Berücksichtigung der maximal auftretenden Temperaturdifferenz der Rohrleitung zu ermitteln.

Für die Berechnung stehen zwei Möglichkeiten zur Auswahl:

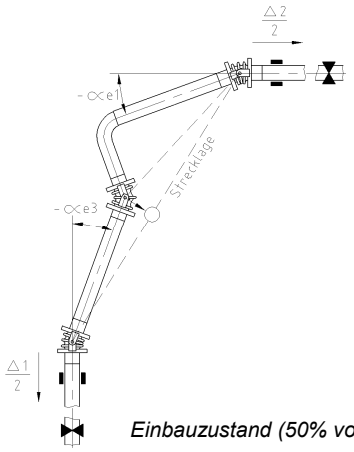
1. Die Geometrie des Gelenksystems (X_1, X_2 und X_3) wird vollständig festgelegt, und die effektiven Winkelausschläge der Angularkompensatoren werden nach den angegebenen Formeln berechnet. Anschliessend wählt man aus den technischen Datenblättern für die Betriebsbedingungen geeignete Angularkompensatoren aus, deren zulässige Winkelbewegungen grösser oder gleich den effektiven Winkelbewegungen sind.

$$\pm\ \alpha_e \leq \pm\ \alpha_{zul}$$

2. Nach Auswahl geeigneter Angularkompensatoren werden die erforderlichen Gelenkabstände X_1 und X_3 berechnet. Hierbei ist zu beachten, dass die nominalen Winkelausschläge $\pm\ \alpha$ der technischen Datenblätter in zulässige Winkelausschläge $\pm\ \alpha_{zul}$, entsprechend dem Kapitel "Abminderung", umgerechnet werden müssen, sofern die Betriebsbedingungen die Nennbedingungen überschreiten.

$$\pm\ \alpha_{zul} = \pm\ \alpha \cdot K_A\ (t_B) \cdot K_L$$

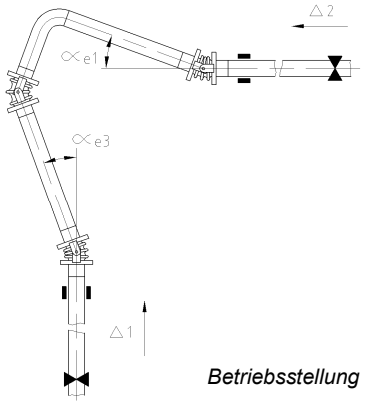
Um möglichst kleine Biegewinkel der Kompensatoren zu erhalten, sollten die Gelenkabstände X_1 und X_3 so gross wie möglich und sinnvoll, der Abstand X_2 so klein wie möglich werden. Gegebenenfalls kann der Rohrbogen direkt an den Kompensator geschweisst werden. Ein gerades Rohrstück entfällt somit.



Einbauzustand (50% vorgespannt)

Die Berechnungsformeln für die Biegewinkel der Drei-Gelenksysteme stellen Näherungen dar, die für die Praxis ausreichend genau sind. Bei sehr flachen Systemen, bei denen sich das mittlere Gelenk in der Vorspannstellung der Strecklage nähert (siehe Abbildung Einbauzustand), ist eine genauere Winkelberechnung erforderlich. In diesen Fällen bitten wir Sie um Ihre Anfrage.

Um die zulässigen Winkelbewegungen $\pm\ \alpha_{zul}$ der Angularkompensatoren optimal auszunutzen, ist eine 50%ige Vorspannung des Gelenksystems erforderlich. Ist eine Vorspannung nicht möglich, so verdoppeln sich die einseitigen Winkelbewegungen der Gelenke, wodurch in der Regel ein Kompensator mit grösserer Nennwinkelbewegung notwendig wird.

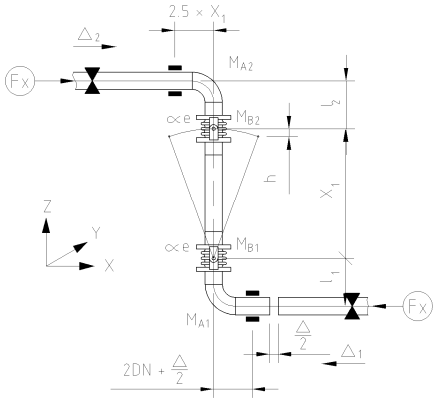


Betriebsstellung

Die Überprüfung der Festpunkte- bzw. Stutzenbelastungen lässt sich mit den angegebenen Berechnungsformeln für die Verstellkräfte F und Biegemomente M durchführen.

1.3 Systemberechnungen

1.3.1 Zwei Gelenk I-System



Erforderlicher Gelenkabstand
Bei zulässigem Winkel α_{zul} und 50% Vorspannung ergibt sich folgender Mindestgelenkabstand X_1:

$$X_1 = \frac{\Delta}{2 \cdot \sin \alpha_{zul}}$$

X_1 = Mittenabstand der Bälge [mm]
α_{zul} = zulässiger Biegewinkel pro Balg [°]
Δ = Bewegung der Rohrleitung [mm]

Resultierende Bogenhöhe
Bei maximalem effektivem Winkelausschlag α_e verkürzt sich durch die Kreisbewegung der vertikale Abstand der Kompensatoren um das Mass h:

$$h = X_1 \cdot (1-\cos\alpha_e)$$

h = Bogenhöhe [mm]
X_1 = Mittenabstand der Bälge [mm]
α_e = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]

Die Bogenhöhe und die Wärmedehnung des Schenkels X_1 müssen durch Lagerspiel bzw. den Schenkel ($2.5 \cdot X_1$) kompensiert werden.

Effektiver Winkelausschlag
Wird der Gelenkabstand X_1 vorgegeben, so berechnet sich der effektive Winkelausschlag der Angularkompensatoren α_e bei 50% Vorspannung wie folgt:

$$\alpha_e = \pm \arcsin\left(\frac{\Delta}{2 \cdot X_1}\right)$$

α_e = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]
X_1 = Mittenabstand der Bälge [mm]
Δ = Bewegung der Rohrleitung [mm]

Bei 100% und 0% Vorspannung winkeln die Angularkompensatoren um den doppelten Betrag in eine Richtung. Der effektive Winkelausschlag α_e ist für diesen Fall mit Faktor 2 zu multiplizieren.

Festpunkt-Anschlussbelastung

Biegemomente der Angularkompensatoren
Zur Ermittlung der Biegemomente und Kräfte muss der effektive Winkelausschlag betragsmässig (d.h. ohne Vorzeichen) in die Rechnung eingesetzt werden.

$$M_{B1,2} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_e + C_z \cdot p \cdot \alpha_e$$

$M_{B1,2}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
C_r = Reibmoment [Nm/bar]
C_a = angularer Eigenwiderstand [Nm/°]
C_z = spezifisches Zusatzmoment [Nm/(bar°)]
p = Betriebsüberdruck [bar]
α_e = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]

Kräfte an den Anschlussstellen

$$F_x = \frac{M_{B1} + M_{B2}}{X_1} \cdot 1000$$

Biegemomente an den Anschlussstellen

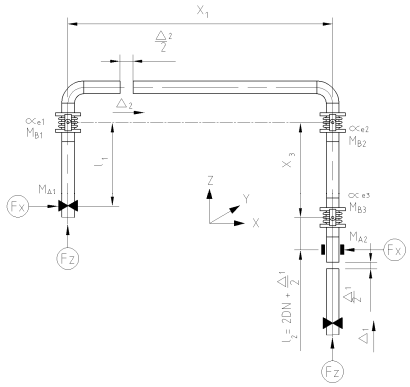
$$M_{A1} = M_{B1} + F_X \cdot \frac{l_1}{1000}$$

$$M_{A2} = M_{B2} + F_X \cdot \frac{l_2}{1000}$$

$M_{B1,2}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
F_X = Verstellkraft in x-Richtung [N]
$M_{A1,2}$ = Moment an der Anschlussstelle [Nm]
$l_{1,2}$ = Mittenabstand vom Balg bis zur Anschlussstelle [mm]

Bei 50% Vorspannung treten die Biegemomente und Kräfte in der Vorspann- bzw. Betriebsstellung mit unterschiedlichen Vorzeichen auf.

1.3.2 Drei Gelenk I-System



Systemberechnung

Erforderlicher Gelenkabstand
Bei zulässigem Winkel α_{zul} aller drei Kompensatoren und 50% Vorspannung ergeben sich folgende Mindestgelenkabstände X_1 bzw. X_3:

$$X_1 = \frac{\Delta_1 \cdot X_3}{2 \cdot \sin\alpha_{zul} \cdot X_3 - \Delta_2}$$

dabei wird X_3 vorgewählt

$$X_3 = \frac{\Delta_2 \cdot X_1}{2 \cdot \sin\alpha_{zul} \cdot X_1 - \Delta_1}$$

dabei wird X_1 vorgewählt

$\Delta_{1,2}$ = Bewegung der Rohrleitung [mm]
$X_{1,3}$ = Mittenabstand der Bälge [mm]
α_{zul} = zulässiger Biegewinkel pro Balg [°]

Ergibt sich für X_1 (bzw. X_3) ein negativer oder ein zu grosser Wert, muss die Strecke X_3 (bzw. X_1) entsprechend vergrössert oder der maximal zulässige Winkel überprüft werden.

Generell gilt:
X_1 und X_3 sind so gross wie möglich zu wählen.

Effektive Winkelausschläge
Werden die Gelenkabstände X_1 und X_3 vorgegeben, so berechnen sich die effektiven Winkelausschläge der Angularkompensatoren (α_1, α_2, α_3) bei 50%Vorspannung wie folgt:

$$\alpha_{e1} = \pm\arcsin\left(\frac{\Delta_1}{2 \cdot X_1}\right)$$

$$\alpha_{e2} = \pm(\alpha_{e1} + \alpha_{e3})$$

$$\alpha_{e3} = \pm\arcsin\left(\frac{\Delta_2}{2 \cdot X_3}\right)$$

$\alpha_{e1,2,3}$ = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]
$X_{1,3}$ = Mittenabstand der Bälge [mm]
$\Delta_{1,2}$ = Bewegung der Rohrleitung [mm]

Bei 100% und 0% Vorspannung winkeln die Angularkompensatoren um den doppelten Betrag in eine Richtung. Die effektiven Winkelausschläge ($\alpha_{e1,2,3}$) sind für diese Fälle mit dem Faktor 2 zu multiplizieren.

Festpunkt-Anschlussbelastung

Biegemomente der Angularkompensatoren
Zur Ermittlung der Biegemomente und Kräfte müssen die effektiven Winkelausschläge betragsmässig (d.h. ohne Vorzeichen) in die Rechnung eingesetzt werden.

$$M_{B1} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e1} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e1}$$

$$M_{B2} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e2} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e2}$$

$$M_{B3} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e3} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e3}$$

$M_{B1,2,3}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
C_r = Reibmoment [Nm/bar]
C_a = angularer Eigenwiderstand [Nm/°]
C_z = spezifisches Zusatzmoment [Nm/(bar°)]
p = Betriebsüberdruck [bar]
$\alpha_{e1,2,3}$ = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]

Kräfte an den Anschlussstellen

$$F_X = \frac{M_{B2} + M_{B3}}{X_3} \cdot 1000$$

$$F_Z = \frac{M_{B1} + M_{B2}}{X_1} \cdot 1000$$

Biegemomente an den Anschlussstellen

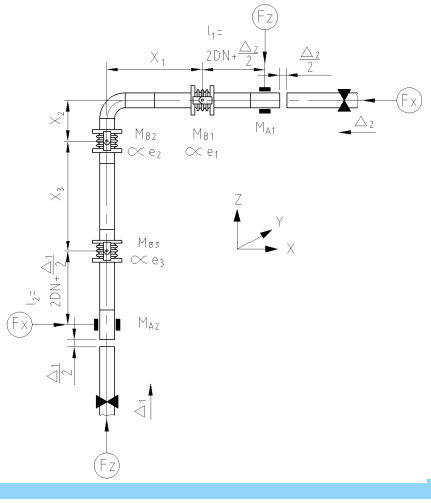
$$M_{A1} = M_{B1} + F_X \cdot \frac{l_1}{1000}$$

$$M_{A2} = M_{B3} + F_X \cdot \frac{l_2}{1000}$$

$M_{B1,2,3}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
$F_{X,Z}$ = Verstellkraft in X- bzw. Z-Richtung [N]
$M_{A1,2}$ = Moment an der Anschlussstelle [Nm]
$l_{1,2}$ = Mittenabstand vom Balg bis zur Anschlussstelle [mm]

Bei 50% Vorspannung treten die Biegemomente und Kräfte in der Vorspann- bzw. Betriebsstellung mit unterschiedlichen Vorzeichen auf.

1.3.3 Drei Gelenk L-System



Erforderlicher Gelenkabstand
Bei zulässigem Winkel α_{zul} aller drei Kompensatoren und 50% Vorspannung ergeben sich folgende Mindestgelenkabstände X_1 bzw. X_3:

$$X_1 = \frac{\Delta_1 \cdot (X_3 + X_2)}{2 \cdot \sin \alpha_{zul} \cdot X_3 - \Delta_2}$$

dabei werden X_2 und X_3 vorgewählt

$$X_3 = \frac{\Delta_2 \cdot X_1 + \Delta_1 \cdot X_2)}{2 \cdot \sin \alpha_{zul} \cdot X_1 - \Delta_1}$$

dabei werden X_1 und X_2 vorgewählt

$\Delta_{1,2}$ = Bewegung der Rohrleitung [mm]
$X_{1,2,3}$ = Mittenabstand der Bälge [mm]
α_{zul} = zulässiger Biegewinkel pro Balg [°]

Ergibt sich für X_1 (bzw. X_3) ein negativer oder ein zu grosser Wert, muss die Strecke X_3 (bzw. X_1) entsprechend vergrössert oder der maximal zulässige Winkel überprüft werden.

Generell gilt: X_1 und X_3 sind so gross wie möglich, X_2 so klein wie möglich zu wählen.

Effektive Winkelausschläge
Werden die Gelenkabstände X_1 und X_3 vorgegeben, so berechnen sich die effektiven Winkelausschläge der Angularkompensatoren (α_1, α_2, α_3) bei 50%Vorspannung wie folgt:

$$\alpha_{e1} = \pm \arcsin \left(\frac{\Delta_1}{2 \cdot X_1}\right)$$

$$\alpha_{e2} = \pm(\alpha_{e1} + \alpha_{e3})$$

$$\alpha_{e3} = \pm \arcsin \left(\frac{\Delta_2 \cdot X_1 + \Delta_1 \cdot X_2}{2 \cdot X_1 \cdot X_3}\right)$$

$\alpha_{e1,2,3}$ = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]
$X_{1,,2,3}$ = Mittenabstand der Bälge [mm]
$\Delta_{1,2}$ = Bewegung der Rohrleitung [mm]

Bei 100% und 0% Vorspannung winkeln die Angularkompensatoren um den doppelten Betrag in eine Richtung. Die effektiven Winkelausschläge ($\alpha_{e1,2,3}$) sind für diese Fälle mit dem Faktor 2 zu multiplizieren.

Festpunkt-Anschlussbelastung

Biegemomente der Angularkompensatoren
Zur Ermittlung der Biegemomente und Kräfte müssen die effektiven Winkelausschläge betragsmässig (d.h. ohne Vorzeichen) in die Rechnung eingesetzt werden.

$$M_{B1} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e1} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e1}$$

$$M_{B2} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e2} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e2}$$

$$M_{B3} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e3} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e3}$$

$M_{B1,2,3}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
C_r = Reibmoment [Nm/bar]
C_a = angularer Eigenwiderstand [Nm/°]
C_z = spezifisches Zusatzmoment [Nm/(bar°)]
p = Betriebsüberdruck [bar]
$\alpha_{e1,2,3}$ = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]

Kräfte an den Anschlussstellen

$$F_X = (M_{B1} + M_{B2} + F_Z \cdot \frac{X_2}{1000}) \cdot \frac{1000}{X_1}$$

$$F_Z = \frac{M_{B2} + M_{B3}}{X_3} \cdot 1000$$

Biegemomente an den Anschlussstellen

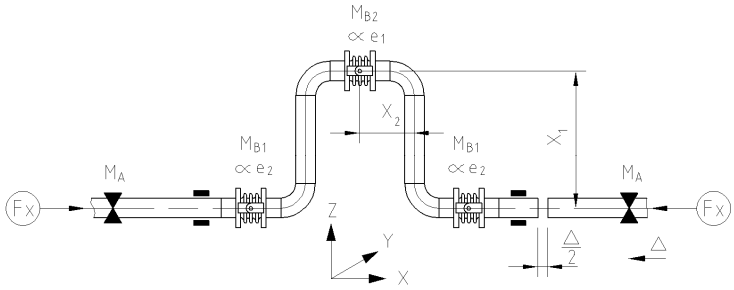
$$M_{A1} = M_{B1} + F_Z \cdot \frac{l_1}{1000}$$

$$M_{A2} = M_{B3} + F_X \cdot \frac{l_2}{1000}$$

$M_{B1,2,3}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
$F_{X,Z}$ = Verstellkraft in X- bzw. Z-Richtung [N]
$M_{A1,2}$ = Moment an der Anschlussstelle [Nm]
$l_{1,2}$ = Mittenabstand vom Balg bis zur Anschlussstelle [mm]

Bei 50% Vorspannung treten die Biegemomente und Kräfte in der Vorspann- bzw. Betriebsstellung mit unterschiedlichen Vorzeichen auf.

1.3.4 Drei Gelenk U-System



Erforderlicher Gelenkabstand
Bei zulässigem Winkel α_{zul} aller drei Kompensatoren und 50% Vorspannung ergibt sich folgender Mindestgelenkabstand X_1:

$$X_1 = \frac{\Delta}{2 \cdot \sin \alpha_{zul}}$$

X_1 = Mittenabstand der Bälge [mm]
α_{zul} = zulässiger Biegewinkel pro Balg [°]
Δ = Bewegung der Rohrleitung [mm]

X_2 ist so klein wie möglich zu wählen.

Effektive Winkelausschläge
Wird der Gelenkabstand X_1 vorgegeben, so berechnet sich der effektive Winkelausschlag der Angularkompensatoren (α_1, α_2) bei 50% Vorspannung wie folgt:

$$\alpha_{e1} = \pm \arcsin\left(\frac{\Delta_1}{2 \cdot X_1}\right)$$

$$\alpha_{e2} = \pm \frac{\alpha_{e1}}{2}$$

$\alpha_{e1,2,}$ = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]
X_1 = Mittenabstand der Bälge [mm]
Δ = Bewegung der Rohrleitung [mm]

Bei 100% und 0% Vorspannung winkeln die Angularkompensatoren um den doppelten Betrag in eine Richtung. Die effektiven Winkelausschläge (α_e) sind für diese Fälle mit dem Faktor 2 zu multiplizieren.

Festpunkt-Anschlussbelastung

Biegemomente der Angularkompensatoren
Zur Ermittlung der Biegemomente und Kräfte müssen die effektiven Winkelausschläge betragsmässig (d.h. ohne Vorzeichen) in die Rechnung eingesetzt werden.

$$M_{B1} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e1} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e1}$$

$$M_{B2} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e2} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e2}$$

$M_{B1,2}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
C_r = Reibmoment [Nm/bar]
C_a = angularer Eigenwiderstand [Nm/°]
C_z = spezifisches Zusatzmoment [Nm/(bar°)]
p = Betriebsüberdruck [bar]
$\alpha_{e1,2}$ = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]

Kräfte an den Anschlussstellen

$$F_X = \frac{M_{B1} + M_{B2}}{X_1} \cdot 1000$$

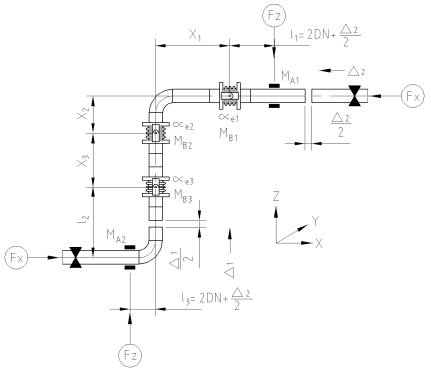
Biegemomente an den Anschlussstellen

$$M_A = M_{B2}$$

$M_{B1,2}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
M_A = Moment an der Anschlussstelle [Nm]
F_X = Verstellkraft in X-Richtung [N]
X_1 = Mittenabstand der Bälge [mm]

Bei 50% Vorspannung treten die Biegemomente und Kräfte in der Vorspann- bzw. Betriebsstellung mit unterschiedlichen Vorzeichen auf.

1.3.5 Drei Gelenk Z1-System



Erforderlicher Gelenkabstände und effektive Winkelausschläge
Die Anordnung der Kompensatoren ist gleich wie beim Drei Gelenk L-System, abgesehen vom zusätzlichen Schenkel. Das Errechnen der erforderlichen Gelenkabstände und der effektiven Winkelausschläge kann unter 1.3.3 “Drei Gelenk L-System” entnommen werden.

Festpunkt-Anschlussbelastung

Biegemomente der Angularkompensatoren
Zur Ermittlung der Biegemomente und Kräfte müssen die effektiven Winkelausschläge betragsmässig (d.h. ohne Vorzeichen) in die Rechnung eingesetzt werden.

$$M_{B1} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e1} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e1}$$

$$M_{B2} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e2} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e2}$$

$$M_{B3} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e3} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e3}$$

$M_{B1,2,3}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
C_r = Reibmoment [Nm/bar]
C_a = angularer Eigenwiderstand [Nm/°]
C_z = spezifisches Zusatzmoment [Nm/(bar°)]
p = Betriebsüberdruck [bar]
$\alpha_{e1,2,3}$ = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]

Kräfte an den Anschlussstellen

$$F_Z = \left(\frac{M_{B1} + M_{B2}}{X_1} + \frac{(M_{B2} + M_{B3}) \cdot X_2}{X_1 \cdot X_3}\right) \cdot 1000$$

$$F_X = \frac{M_{B2} + M_{B3}}{X_3} \cdot 1000$$

Biegemomente an den Anschlussstellen

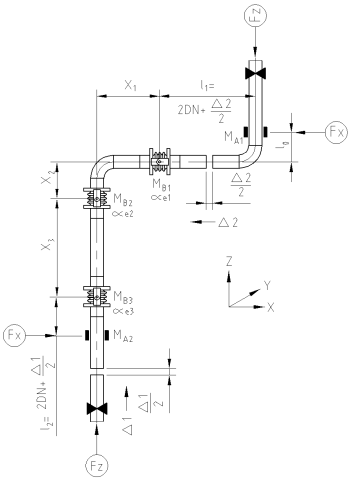
$$M_{A2} = M_{B1} + F_Z \cdot \frac{l_1}{1000}$$

$$M_{A2} = M_{B3} + F_X \cdot \frac{l_2}{1000} - F_Z \cdot \frac{l_3}{1000}$$

$M_{B1,2,3}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
$F_{X,Z}$ = Verstellkraft in X- bzw. Z-Richtung [N]
$M_{A1,2}$ = Moment an der Anschlussstelle [Nm]
$l_{1,2}$ = Mittenabstand vom Balg bis zur Anschlussstelle [mm]

Bei 50% Vorspannung treten die Biegemomente und Kräfte in der Vorspann- bzw. Betriebsstellung mit unterschiedlichen Vorzeichen auf.

1.3.6 Drei Gelenk Z2a-System



Erforderliche Gelenkabstände und effektive Winkelausschläge
Die Anordnung der Kompensatoren ist gleich wie beim “Drei Gelenk L-System”, abgesehen vom zusätzlichen Schenkel. Das Errechnen der erforderlichen Gelenkabstände und der effektiven Winkelausschläge kann aus 1.3.3 “Drei Gelenk L-System” entnommen werden.

Festpunkt-Anschlussbelastung

Biegemomente der Angularkompensatoren
Zur Ermittlung der Biegemomente und Kräfte müssen die effektiven Winkelausschläge betragsmässig (d.h. ohne Vorzeichen) in die Rechnung eingesetzt werden.

$$M_{B1} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e1} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e1}$$

$$M_{B2} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e2} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e2}$$

$$M_{B3} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e3} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e3}$$

$M_{B1,2,3}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
C_r = Reibmoment [Nm/bar]
C_a = angularer Eigenwiderstand [Nm/°]
C_z = spezifisches Zusatzmoment [Nm/(bar°)]
p = Betriebsüberdruck [bar]
$\alpha_{e1,2,3}$ = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]

Kräfte an den Anschlussstellen

$$F_Z = \left(\frac{M_{B1} + M_{B2}}{X_1} + \frac{(M_{B2} + M_{B3}) \cdot X_2}{X_1 \cdot X_3}\right) \cdot 1000$$

$$F_X = \frac{M_{B2} + M_{B3}}{X_3} \cdot 1000$$

Biegemomente an den Anschlussstellen

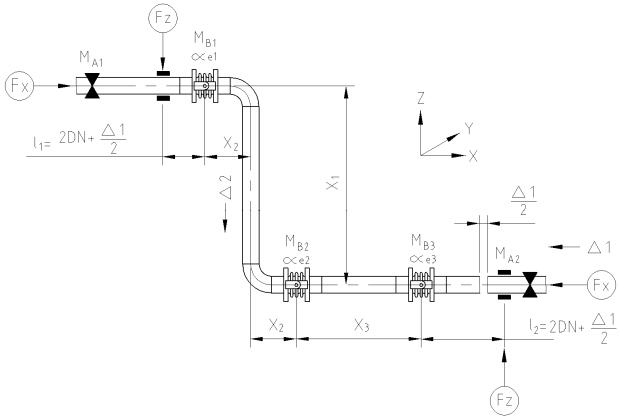
$$M_{A1} = M_{B1} + F_Z \cdot \frac{l_1}{1000} - F_X \cdot \frac{l_0}{1000}$$

$$M_{A2} = M_{B3} + F_X \cdot \frac{l_2}{1000}$$

$M_{B1,2,3}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
$F_{X,Z}$ = Verstellkraft in X- bzw. Z-Richtung [N]
$M_{A1,2}$ = Moment an der Anschlussstelle [Nm]
$l_{1,2}$ = Mittenabstand vom Balg bis zur Anschlussstelle [mm]

Bei 50% Vorspannung treten die Biegemomente und Kräfte in der Vorspann- bzw. Betriebsstellung mit unterschiedlichen Vorzeichen auf.

1.3.7 Drei Gelenk Z2b-System



Erforderliche Gelenkabstände
Bei zulässigem Winkel α_{zul} aller drei Kompensatoren und 50% Vorspannung ergeben sich folgende Mindestgelenkabstände X_1 bzw. X_3:

$$X_1 = \frac{\Delta_1 \cdot (8 \cdot X_2 + \Delta_1 + 4 \cdot X_3)}{8 \cdot \sin\alpha_{zul} \cdot X_3 - 4 \cdot \Delta_2}$$

dabei werden X_2 und X_3 vorgewählt

$$X_3 = \frac{\Delta_1 \cdot (8 \cdot X_2 + \Delta_1) + 4 \cdot X_1 \cdot \Delta_2}{8 \cdot \sin\alpha_{zul} \cdot X_1 - 4 \cdot \Delta_1}$$

dabei werden X_1 und X_2 vorgewählt

$X_{1,2,3}$ = Mittenabstand der Bälge [mm]
$\Delta_{1,2}$ = Bewegung der Rohrleitung [mm]
α_{zul} = zulässiger Biegewinkel pro Balg [°]

Ergibt sich für X_1 (bzw. X_3) ein negativer oder ein zu grosser Wert, muss die Strecke X_3 (bzw. X_1) entsprechend vergrössert oder der maximal zulässige Winkel überprüft werden.

Generell gilt:
X_1 und X_3 sind so gross wie möglich, X_2 so klein wie möglich zu wählen.

Effektive Winkelausschläge
Werden die Gelenkabstände X_1 und X_3 vorgegeben, so berechnen sich die effektiven Winkelausschläge der Angularkompensatoren ($\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3$) bei 50% Vorspannung wie folgt:

$$\alpha_{e1} = \pm \arcsin\left(\frac{\Delta_1}{2 \cdot X_1}\right)$$

$$\alpha_{e2} = \pm(\alpha_{e1} + \alpha_{e3})$$

$$\alpha_{e3} = \pm \arcsin\left(\frac{\Delta_1 \cdot (8 \cdot X_2 + \Delta_1) + 4 \cdot X_1 \cdot \Delta_2}{8 \cdot X_1 \cdot X_3}\right)$$

$\alpha_{e1,2,3}$ = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]
$X_{1,2,3}$ = Mittenabstand der Bälge [mm]
$\Delta_{1,2}$ = Bewegung der Rohrleitung [mm]

Bei 100% und 0% Vorspannung winkeln die Angularkompensatoren um den doppelten Betrag in eine Richtung. Die effektiven Winkelausschläge ($\alpha_{e1,2,3}$) sind für diese Fälle mit dem Faktor 2 zu multiplizieren.

Festpunkt – Anschlussbelastung

Biegemomente der Angularkompensatoren
Zur Ermittlung der Biegemomente und Kräfte müssen die effektiven Winkelausschläge betragsmässig (d. h. ohne Vorzeichen) in die Rechnung eingesetzt werden.

$$M_{B1} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e1} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e1}$$

$$M_{B2} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e2} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e2}$$

$$M_{B3} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e3} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e3}$$

Kräfte an den Anschlussstellen

$$F_Z = \frac{1000 \cdot (M_{B2} \cdot M_{B3})}{X_3}$$

$$F_X = \frac{1000 \cdot (M_{B2} \cdot M_{B3}) + F_Z \cdot 2 \cdot X_2}{X_1}$$

Biegemomente an den Anschlussstellen

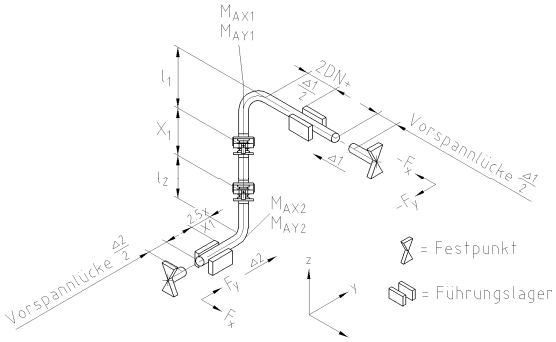
$$M_{A1} = M_{B1} + F_Z \cdot \frac{l_1}{1000}$$

$$M_{A2} = M_{B3} + F_Z \cdot \frac{l_2}{1000}$$

$l_{1,2}$ = Mittenabstand vom Balg bis zur Anschlussstelle [mm]
p = Betriebsüberdruck [bar]
C_a = angularer Eigenwiderstand [Nm/°]
C_r = Reibmoment [Nm/bar]
C_z = spezifisches Zusatzmoment [Nm/(bar°)]
$F_{X,Z}$ = Verstellkraft in X- bzw. Z-Richtung [N]
$M_{A1,2}$ = Moment an der Anschlussstelle [Nm]
$M_{B1,2,3}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
$X_{1,2,3}$ = Mittenabstand der Bälge [mm]
$\alpha_{e1,2,3}$ = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]

Bei 50% Vorspannung treten die Biegemomente und Kräfte in der Vorspann- bzw. Betriebsstellung mit unterschiedlichen Vorzeichen auf.

1.3.8 Zwei-Kardangelenk I-System



Resultierende Dehnung

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^{\,2} + \Delta_2^{\,2}}$$

Erforderlicher Gelenkabstand
Bei zulässigem Winkel α_{zul} und 50% Vorspannung ergibt sich folgender Mindestgelenkabstand X_1:

$$X_1 = \frac{\Delta}{2 \cdot \sin \alpha_{zul}}$$

Resultierende Bogenhöhe
Bei maximalem effektivem Winkelausschlag α_e verkürzt sich durch die Kreisbewegung der vertikale Abstand der Kompensatoren um das Mass h:

$$h = X_1 \cdot (1 - \cos \alpha_e)$$

Δ = resultierende Bewegung der Rohrleitung [mm]
$\Delta_{1,2}$ = Bewegung der Rohrleitung [mm]
α_{zul} = zulässiger Biegewinkel pro Balg [°]
h = Bogenhöhe [mm]
X_1 = Mittenabstand der Bälge [mm]

Die Bogenhöhe und die Wärmedehnung des Schenkels X_1 müssen durch Lagerspiel bzw. durch den Schenkel ($2{,}5 \cdot X_1$) kompensiert werden.

Effektiver Winkelausschlag
Wird der Gelenkabstand X_1 vorgegeben, so berechnet sich der effektive Winkelausschlag der Angularkompensatoren α_e bei 50% Vorspannung wie folgt:

$$\alpha_e = \pm \arcsin\left(\frac{\Delta_1}{2 \cdot X_1}\right)$$

$$\alpha_{ey} = \pm \arcsin\left(\frac{\Delta_1}{2 \cdot X_1}\right)$$

$$\alpha_{ex} = \pm \arcsin\left(\frac{\Delta_2}{2 \cdot X_1}\right)$$

$\alpha_{ex,,ey}$ = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]
X_1 = Mittenabstand der Bälge [mm]
Δ = resultierende Bewegung der Rohrleitung [mm]
$\Delta_{1,2}$ = Bewegung der Rohrleitung [mm]

Bei 100% und 0% Vorspannung winkeln die Angularkompensatoren um den doppelten Betrag in eine Richtung. Die effektiven Winkelausschläge (α_e, α_{ex}, α_{ey}) sind für diesen Fall mit dem Faktor 2 zu multiplizieren.

Festpunkt - Anschlussbelastung

Biegemomente der Angularkompensatoren
Zur Ermittlung der Biegemomente und Kräfte muss der effektive Winkelausschlag betragsmässig (d. h. ohne Vorzeichen) in die Rechnung eingesetzt werden.

$$M_{BY} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{ey} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{ey}$$

$$M_{BX} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{ex} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{ex}$$

Kräfte an den Anschlussstellen

$$F_X = \frac{2000 \cdot (M_{BY})}{X_1}$$

$$F_Y = \frac{2000 \cdot (M_{BX})}{X_1}$$

Biegemomente an den Anschlussstellen

$$M_{AY1} = M_{BY} + F_X \cdot \frac{l_1}{1000}$$

$$M_{AY2} = M_{BY} + F_X \cdot \frac{l_2}{1000}$$

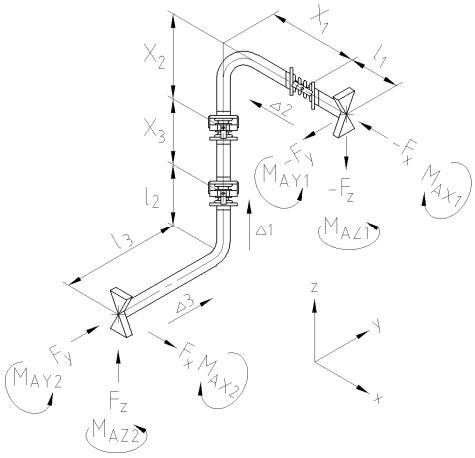
$$M_{AX1} = M_{BX} + F_Y \cdot \frac{l_1}{1000}$$

$$M_{AX2} = M_{BX} + F_Y \cdot \frac{l_2}{1000}$$

$l_{1,2}$ = Mittenabstand vom Balg bis zur Anschlussstelle [mm]
C_a = Biegefederkonstante (angularer Eigenwiderstand) [Nm/°]
C_r = Bolzenreibungskonstante (Reibmoment) [Nm/bar]
C_z = spezifisches Zusatzmoment aus Winkel und Druck (Rückstellmoment [Nm/(bar°)]
$F_{X,Z}$ = Verstellkraft in X- bzw. Z-Richtung [N]
$M_{AX, Y1,2}$ = Moment an der Anschlussstelle [Nm]
$M_{BX,Y}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
p = Betriebsüberdruck [bar]

Bei 50% Vorspannung treten die Biegemomente und Kräfte in der Vorspann- bzw. Betriebsstellung mit unterschiedlichen Vorzeichen auf.

1.3.9 Drei-Kardangelenk L-System



W_1 = 1 Angularkompensator (Winkelausschlag in einer Ebene)
$W_{2,3}$ = je 1 Kardankompensator (Winkelausschlag in Kreisebene)

Die Ausdehnung des Maschinenstutzens bzw. des Anschlussstutzens ist den Dehnungen der Rohrschenkel hinzuzuzählen oder abzuziehen, je nachdem, ob diese zu den Dehnungen der Rohrschenkel Δ_1, Δ_2, oder Δ_3 gleichgerichtet oder entgegengesetzt auftreten.

Effektive Winkelausschläge
Werden die Gelenkabstände X_1 und X_3 vorgegeben, so berechnen sich die effektiven Winkelausschläge der Angularkompensatoren α_1, α_2, α_3 bei 50%Vorspannung wie folgt:

$$\alpha_{e1} = \pm \arcsin\left(\frac{\Delta_1}{2 \cdot X_1}\right)$$

$$\alpha_{e1} = \pm(\alpha_{e1} + \alpha_{e3y})$$

$$\alpha_{e3y} = \pm \arcsin\left(\frac{\Delta_1 \cdot X_2 + \Delta_2 \cdot X_1}{2 \cdot X_1 \cdot X_3}\right)$$

$$\alpha_{e2x} = \alpha_{e3y} = \pm \arcsin\left(\frac{\Delta_3}{2 \cdot X_3}\right)$$

$$\alpha_{e2} = \sqrt{\pm(\alpha_{e2x}^{\ 2} + \alpha_{e2y}^{\ 2})}$$

$$\alpha_{e3} = \sqrt{\pm(\alpha_{e3x}^{\ 2} + \alpha_{e3y}^{\ 2})}$$

$X_{1,2,3}$ = Mittenabstand der Bälge [mm]
$\alpha_{e1,2,3,x,,y}$ = effektiver Biegewinkel pro Balg [°]
$\Delta_{1,2,3}$ = Bewegung der Rohrleitung [mm]

Bei 100% und 0% Vorspannung winkeln die Angularkompensatoren um den doppelten Betrag in eine Richtung. Die effektiven Winkelausschläge $\alpha_{e1,2,3,x,,y}$ sind für diese Fälle mit dem Faktor 2 zu multiplizieren.

Generell gilt:
X_1 und X_3 sind so gross wie möglich, X_2 so klein wie möglich zu wählen.

Festpunkt – Anschlussbelastung

Biegemomente der Angularkompensatoren
Zur Ermittlung der Biegemomente und Kräfte müssen die effektiven Winkelausschläge betragsmässig (d. h. ohne Vorzeichen) in die Rechnung eingesetzt werden.

$$M_{B1Y} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e1} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e1}$$

$$M_{B2Y} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e2y} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e2y}$$

$$M_{B3Y} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e3y} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e3y}$$

$$M_{B2X} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e2x} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e2x}$$

$$M_{B3X} = C_r \cdot p + C_a \cdot \alpha_{e3x} + C_z \cdot p \cdot \alpha_{e3x}$$

Kräfte an den Anschlussstellen

$$F_X = \frac{1000 \cdot (M_{B2Y} + M_{B3Y})}{X_3}$$

$$F_Y = \frac{1000 \cdot (M_{B2X} + M_{B3X})}{X_3}$$

$$M_0 = M_{B2Y} + F_X \cdot \frac{X_2}{1000}$$

$$F_Z = \frac{1000 \cdot (M_{B1Y} + M_0)}{X_1}$$

Biegemomente an den Anschlussstellen

$$M_{AY1} = -M_{B1Y} - F_Z \cdot \frac{l_1}{1000}$$

$$M_{AY2} = M_{B3Y} + F_X \cdot \frac{l_2}{1000}$$

$$M_{AX1} = -M_{B2X} - F_Y \cdot \frac{X_2}{1000}$$

$$M_{AX2} = -M_{B3X} - F_Y \cdot \frac{l_2}{1000} + F_Z \cdot \frac{l_3}{1000}$$

$$M_{AZ1} = F_Y \cdot \frac{X_1 + l_1}{1000}$$

$$M_{AZ2} = -F_X \cdot \frac{l_3}{1000}$$

$l_{1,2,3}$ = Mittenabstand vom Balg bis zur Anschlussstelle [mm]
C_a = Biegefederkonstante (angularer Eigenwiderstand) [Nm/°]
C_r = Bolzenreibungskonstante (Reibmoment) [Nm/bar]
C_z = spezifisches Zusatzmoment aus Winkel und Druck (Rückstellmoment) [Nm/(bar°)]
$F_{X,Y,Z}$ = Verstellkraft in X-, Y- bzw. Z-Richtung [N]
$M_{AX,Y,Z1,2}$ = Moment an der Anschlussstelle [Nm]
$M_{B1,2,3,X,Y}$ = Verstellmoment des Kompensators [Nm]
p = Betriebsüberdruck [bar]

Bei 50% Vorspannung treten die Biegemomente und Kräfte in der Vorspann- bzw. Betriebsstellung mit unterschiedlichen Vorzeichen auf.

2 Standardprogramm BOA Angularkompensatoren (EUB)

2.1 Allgemein

Die von BOA AG hergestellten Kompensatoren werden im Elastomerverfahren umgeformt (EUB). Das Kernstück ist der mehrfachwandige Balg (2 – 16 Lagen) aus austenitischem Stahl. Die mit diesem Verfahren hergestellten Kompensatoren verfügen über eine grosse Hubkapazität und sind sehr flexibel. Sie eignen sich besonders gut zum Ausgleich von Wärmedehnungen und von kleineren Montageungenauigkeiten. Sie haben folgende Vorteile:

- Über 70 Jahre Erfahrung im Bau von Kompensatoren
- Balgaufbau nach bewährter BOA Praxis, mehrfachwandig, aus hochwertigem Chromnickelstahl (1.4571 und 1.4541), das heisst hohe Beständigkeit gegen Alterung, Wärme, UV-Strahlungen und die meisten aggressiven Medien.
- Der mehrfachwandige Aufbau verleiht dem Kompensator einen tiefen Eigenwiderstand.
- Grosse Hübe bei kurzer Baulänge
- Aufgrund der Lagerhaltung sind die einzelnen Typen in verschiedenen Nennweiten und Nenndruckstufen in der Regel kurzfristig lieferbar.

Innenleitrohr
Innenleitrohre schützen den Balg und verhindern, dass dieser durch das Medium zum Schwingen angeregt wird. Der Einbau eines Innenleitrohres wird empfohlen:

- bei abrasiven Medien
- bei grossen Temperaturdifferenzen
- bei Durchflussgeschwindigkeiten **grösser als ca. 8m/s für gasförmige Medien**
- bei Durchflussgeschwindigkeiten **grösser als ca. 3m/s für flüssige Medien**

Beim Einbau ist die Fliessrichtung zu beachten!

Die Kennzeichnung der Innenleitrohrausführung bei **Angularkompenstoren** (AW) und Kardankompensatoren (KAW) ist wie folgt:
Die **mit * gekennzeichneten** Kompensatorentypen können **wahlweise mit oder ohne Leitrohr** geliefert werden (Mehrpreis für Leitrohr).
Die Kompensatorentypen mit der **Bezeichnung B** benötigen infolge der kurzen Baulänge **kein Leitrohr**.
Die Kompensatorentypen mit der **Bezeichnung L** werden nur **mit Leitrohr** geliefert.

Beispiel:
Typ AW16-3**B** = Basisversion **ohne Leitrohr**
Typ AW16-3**L** = Basisversion mit Leitrohr
Typ AW16-2* = Basisversion **ohne Leitrohr, kann aber mit Leitrohr ausgestattet** werden.

2.2 Abminderung

2.2.1 Dehnungsaufnahme

HINWEIS (Nachfolgend wird der Begriff Lastwechsel für Voll-Lastwechsel verwendet.)
Die max. zulässige Dehnungsaufnahme ist auf dem Kompensator angegeben. Sie bezieht sich auf 1000 Lastwechsel (CE konforme Kompensatoren 500 Lastwechsel mit Sicherheit 2). Bei höheren Lastspielzahlen muss die Dehnungsaufnahme um den Lastspielfaktor K_L gemäss der Tabelle 1 reduziert werden. Für die genaue Ermittlung des Lastspielfaktors K_L kann folgende Formel angewendet werden:

$$K_L = (1000 / N_{zul})^{0.29}$$

Lastspiele N_{zul}	Lastspielfaktor K_L
1'000	1.00
2'000	0.82
3'000	0.73
5'000	0.63
10'000	0.51
30'000	0.37
50'000	0.32
100'000	0.26
200'000	0.22
1'000'000	0.14
25'000'000	0.05

Tabelle 1

2.2.2 Temperaturbezogene Hub- und Druckabminderung

HINWEIS
Der zulässige Betriebsdruck ergibt sich aus dem Nenndruck unter Berücksichtigung der Abminderungsfaktoren K_P gemäss der Tabelle 2. Bei höheren Temperaturen die Dehnungsaufnahme K_Δ entsprechend den Abminderungsfaktoren reduzieren.

Abminderungsfaktoren [1] für Druck [K_P] und Dehnungsaufnahme [K_Δ]		
Temperatur °C	K_P	K_Δ
-10...20	1.00	1.00
50	0.92	0.97
100	0.87	0.94
150	0.83	0.92
200	0.79	0.90
250	0.74	0.88
300	0.67	0.86
350	0.60	0.85
400	0.53	0.84

Tabelle 2

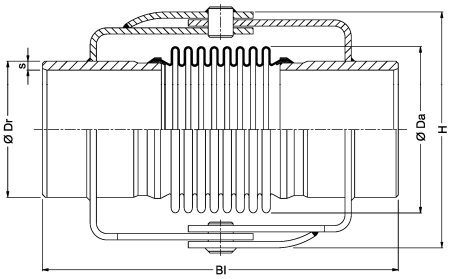
[1] Zwischenwerte können linear interpoliert werden

2.3 Angularkompensatoren

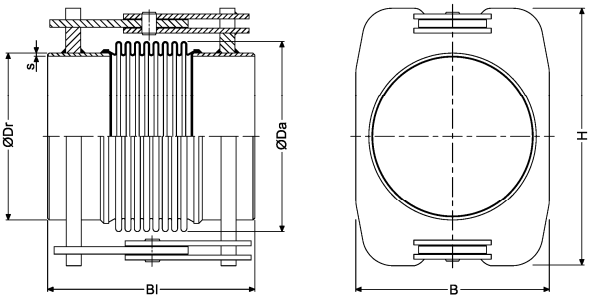
2.3.1 Typ AW (mit Schweissenden)

- Die Kompensatoren des Typs AW werden als Standardausführung in den Nennweiten DN 40 bis DN 1000 in den Nenndruckstufen PN 16, 25 und 40 gefertigt. In den Nenndruckstufen PN 6 und 10 sind die Standardausführungen ab Nennweiten DN 350 bis 1000 vorhanden.
- In der Typenbezeichnung wird zur PN-Zahl 6, 10, 16, 25 und 40 die Zahl der Baugrösse 1, 2, 3 und 4 zugefügt.
  AW 6-1 z.B. bedeutet: kürzester Kompensator für die PN-Stufe 6, AW 25-4: längster Kompensator für die Druckstufe PN25.
- Schweissenden und Verspannung werden standardmässig in C-Stahl gefertigt und sind mit einem Grundanstrich versehen.
- Als Spezialausführung werden auch Angularkompensatoren Typ AFS mit Festflanschen und Typ AFB mit Bördelflanschen hergestellt.
- In der Standardtabelle in der letzten Spalte sind die Ausführungsarten I und II (siehe Abb.) vermerkt.

Ausführung I
nur ohne Leitrohr lieferbar

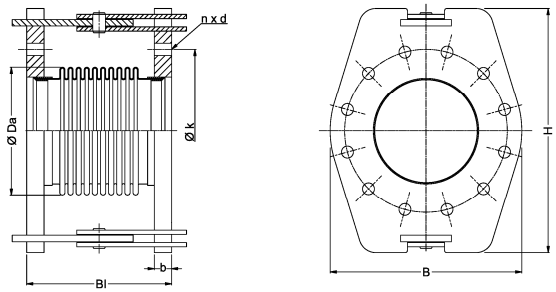


Ausführung II
wahlweise mit oder ohne Leitrohr lieferbar



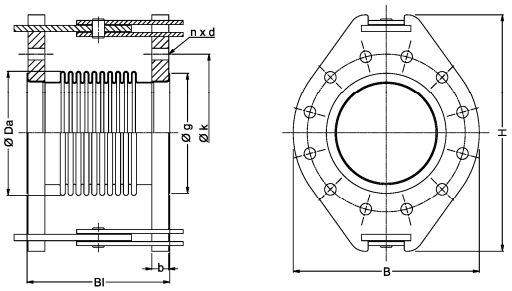
2.3.2 Typ AFS (mit Flanschen)

- AFS Kompensatoren sind Angularkompensatoren mit einer Dichtleiste. Der Balg und die Flanschen werden dicht miteinander verschweisst. Die nominale Dehnungsaufnahme beträgt entweder ±15 oder 10°.
- Die Kompensatoren des Typs AFS werden als Standardausführung in den Nennweiten DN 40 bis DN 600 in den Nenndruckstufen PN 16 und 25 gefertigt.
- In der Typenbezeichnung wird zur PN-Zahl 16 oder 25 die Zahl der Baugrösse 1, 2, 3 oder 4 zugefügt.
  AFS16-1 z.B. bedeutet: kürzester Kompensator für die PN-Stufe 16, AFS25-3: längerer Kompensator für die Druckstufe PN 25.



2.3.3 Typ AFB (mit Flanschen gebördelt)

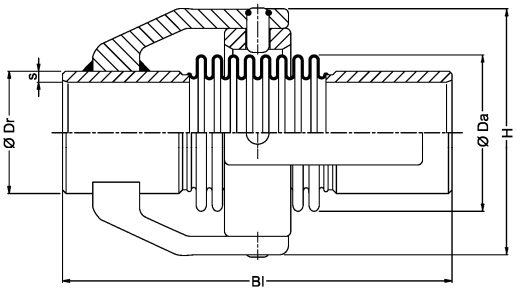
- AFB Kompensatoren sind Angularkompensatoren mit einem Bördelflansch. Die nominale Dehnungsaufnahme beträgt ±15° oder weniger bei grösserer Nennweite.
- Die Kompensatoren des Typs AFB werden als Standardausführung in den Nennweiten DN 40 bis DN 300 in den Nenndruckstufen PN 6 und 10 gefertigt.
- In der Typenbezeichnung wird zur PN-Zahl 6 oder 10 keine Baugrösse zugefügt.



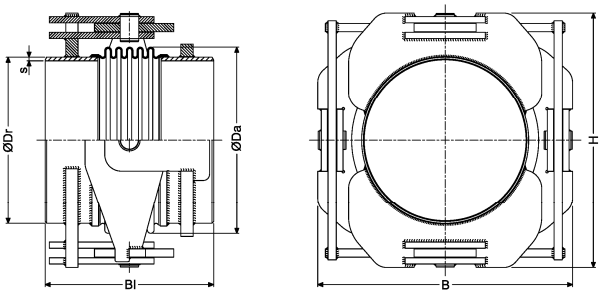
2.3.4 Typ KAW (Kardankompensator mit Schweissenden)

- Die Kompensatoren KAW werden als Standardausführung in den Nennweiten DN 40 bis DN 1000 in den Nenndruckstufen PN 6, 10, 16, 25 und 40 gefertigt.
- Schweissenden und Verspannung werden standardmässig in C-Stahl gefertigt und sind mit einem Grundanstrich versehen.
- Als Spezialausführung können auch Kardankompensatoren mit Festflanschen oder mit Bördelflanschen hergestellt werden.

Ausführung I
nur ohne Leitrohr lieferbar



Ausführung II
wahlweise mit oder ohne Leitrohr lieferbar



3 Einbauvorschriften Angularkompensatoren

3.1 Allgemeine Sicherheitshinweise

Vor Montage und Inbetriebnahme muss die Montage- und Inbetriebnahmeanleitung gelesen und beachtet werden.
Montage-, Inbetriebnahme- und Wartungsarbeiten dürfen nur von **fachkundigen und autorisierten Personen** durchgeführt werden.

Wartung
Die Angular- und Kardankompensatoren sind wartungsfrei.

ACHTUNG
Vor Demontage- und Wartungsarbeiten muss die Anlage
- drucklos,
- ausgekühlt und
- entleert sein.

Sonst besteht Unfallgefahr!

Transport, Verpackung und Lagerung
- Die Sendung ist nach Erhalt auf Vollständigkeit zu prüfen.
- Eventuell festgestellte Transportschäden sind der Spedition und dem Hersteller zu melden.
- Bei einer Zwischenlagerung wird empfohlen, die Originalverpackung zu benutzen.

Zulässige Umgebungsbedingungen bei Lagerung und Transport:
- Umgebungstemperatur -4 °C bis +70 °C
- Relative Luftfeuchte bis 95%.

Angular- und Kardankompensatoren vor Nässe, Feuchtigkeit, Verschmutzung, Stössen und Beschädigung schützen.

Gewährleistung
Ein Gewährleistungsanspruch setzt eine fachgerechte Montage und Inbetriebnahme gemäss Montage- und Inbetriebnahmeanleitung voraus. Die erforderlichen Montage-, Inbetriebnahme- und Wartungsarbeiten dürfen nur von fachkundigen und autorisierten Personen durchgeführt werden.

Betriebsdruck
HINWEIS
- Der zulässige Betriebsdruck ergibt sich aus dem Nenndruck unter Berücksichtigung der Abminderungsfaktoren gemäss den Angaben im Kapitel 2.2 Abminderungen.
- Bei höheren Temperaturen den Nenndruck entsprechend den Abminderungsfaktoren gemäss den Angaben im Kapitel 2.2 Abminderungen anpassen.

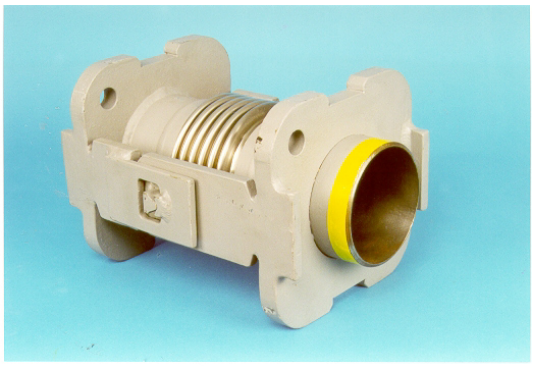
Inbetriebnahme und Kontrolle
Vor Inbetriebnahme kontrollieren, ob
- die Leitungen mit Gefälle verlegt wurden, um Wassersäcke zu vermeiden.
- für ausreichende Entwässerung gesorgt ist.
- Festpunkte und Rohrführungen vor dem Füllen und Abdrücken der Anlage fest montiert sind.
- der Kompensator nicht durch Verdrehen belastet ist.
- bei Kompensatoren mit Leitrohren die Flussrichtung beachtet ist.
- der Stahlbalg frei von Schmutz, Schweiss-, Gips-, Mörtelspritzern oder anderer Verschmutzung ist. Gegebenenfalls reinigen.
- alle Schraubverbindungen fest angezogen sind.
- die allgemeinen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Korrosionsschäden beachtet sind, z. B. Aufbereitung des Wassers, Verhinderung von Elektrolytbildung in Kupfer- oder verzinkten Leitungen.

Isolierung
Die Kompensatoren können genau wie die Rohrstrecke isoliert werden.
- Bei Kompensatoren ohne Schutzmantel bauseits eine gleitfähige Blechhülse um den Kompensator legen, damit sich das Isoliermaterial nicht in die Wellenvertiefungen legt.
- Falls der Kompensator unter Mörtelputz gelegt werden soll, ist ein Kompensator mit Schutzmantel unbedingt erforderlich. Dies gewährleistet die Funktion, schützt vor Verschmutzung und vor Kontakt mit den Baumaterialien.

Unzulässige Betriebsweisen
- Die in den technischen Daten des Standardprogramms angegebenen Grenzwerte dürfen nicht überschritten werden.
- Pendelnde Aufhängungen im Bereich der Kompensatoren sind nur bei genauer Kenntnis des Dehnungskonzeptes zulässig.
- Bei neuverlegten Leitungen sollte das Reinigen durch Ausblasen mit Dampf wegen der Gefahr von Wasserschlägen und unzulässigen Schwingungsanregungen des Balges unterbleiben.

Anfahren
ACHTUNG
- Beim Abpressen und während des Betriebes darf der zulässige Probedruck bzw. Betriebsdruck des Kompensators nicht überschritten werden.
- Übermässige Druckstösse als Folge von Fehlschaltungen, Wasserschlägen usw. sind nicht zulässig.
- Einbruch aggressiver Medien vermeiden.
- Das Anfahren von Dampfleitungen muss so erfolgen, dass das anfallende Kondensat Zeit zum Abfliessen hat.

3.2 Angularkompensatoren



Beschreibung und Einsatzgebiete Angularkompensatoren
Angularkompensatoren sind durch Winkelbewegungen der Stahlbälge geeignet, Dehnungen aufzunehmen, die senkrecht zur Kompensator-Längsachse auftreten.
Für den Einsatz sind die Technischen Daten massgebend und dem Typenschild zu entnehmen.
Diese Montage- und Inbetriebnahmeanleitung gilt für die untenstehend in Tabelle 3 aufgeführten Typen.
Bauseits sind die allgemeinen Sorgfaltsvorschriften zur Vermeidung von Korrosionsschäden zu beachten, wie z. B. Aufbereitung des Wassers, Verhinderung von Elektrolytbildung in Kupfer- oder verzinkten Leitungen.

Angularkompensatoren eignen sich sowohl für die Kompensation langer Rohrleitungsstrecken in Fernleitungen als auch bei kurzschenkligen Kessel- und Maschinenhausleitungen für ebene und räumliche Rohrleitungssysteme.
Mindestens zwei und höchstens drei Angularkompensatoren bilden ein statisch bestimmtes Gelenksystem und stellen ein Bauelement dar. Ihre Wirkungsweise beruht auf einer Winkelbewegung der Stahlbälge, die im Modul 3c als "Nominale Dehnungsaufnahme bei 1000 Voll-Lastzyklen" angegeben ist.

Je grösser der Abstand L_1 der Angularkompensatoren (Bild 4) gewählt werden kann, desto grössere Dehnungen können von dem System aufgenommen werden bzw. umso geringer werden die Verstellkräfte. Die durch den Innendruck entstehenden axialen Reaktionskräfte werden durch Gelenklager übertragen. Der Drehpunkt der Gelenke liegt auf der halben Balglänge (Bild 4).

Angular-Kardankompensatoren haben zur Aufnahme der Reaktionskräfte ein Kardangelenk in Rundring oder quadratischer Ausführung, wodurch räumliche Winkelbewegungen um die Achsen X und Z ermöglicht werden (Bild 5).

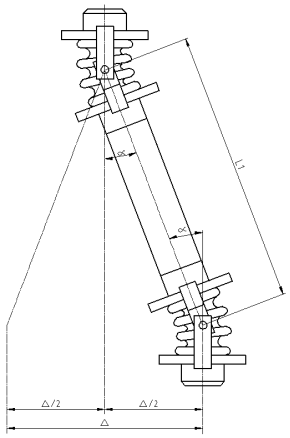


Bild 4

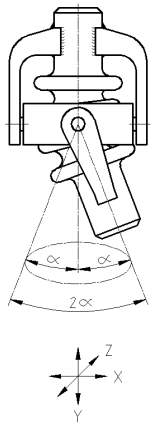


Bild 5

Besondere Merkmale:
- Sehr geringe Festpunktbelastungen, da die Gelenkanker die Reaktionskräfte aus dem Innendruck übertragen.
- Geringere Anforderungen an die Rohrführungen.

Auch Pendelhänger können ausreichend sein.

Typenübersicht

Angular- und Kardan-kompensatoren	Anschlussart
AWT	1
AFS	2
AFB	5
KAWT	1
KAFS	2
KAFB	5

Tabelle 3

Anschlussart:
1 Anschweissende
2 Flansch, geschweisst
5 Flansch, gebördelt

Zulässige Betriebstemperatur:
bei Standardausführung max. 300°C zugelassen.

3.3 Montagehinweise

Montage

- Festpunkte und Rohrführungen vor dem Füllen und Abdrücken der Anlage fest montieren.
- Der Kompensator darf nicht durch Verdrehung (Torsion) belastet werden.
- Der Stahlbalg vor Beschädigung und Verschmutzung (z. B. Schweiss-, Gips-, Mörtelspritzern) schützen.
- Dampfleitungen so verlegen, dass keine Wasserschläge auftreten können. Dies ist durch ausreichende Entwässerung, Isolierung und Vermeidung von Wassersäcken sowie durch Gefälle der Leitung erreichbar.
- Bei Kompensatoren mit Leitrohren die Flussrichtung beachten.
- In unmittelbarer Nähe von Reduzierstationen, Heissdampfkühlern und Schnellschlussventilen sollte der Einbau von Kompensatoren vermieden werden, wenn durch Turbulenz hochfrequente Schwingungen zu erwarten sind, oder es müssen besondere Massnahmen (z. B. starkwandige Leitrohre, Lochblenden, Beruhigungsstrecken) eingebaut werden.
- Sind im Medium hochfrequente Schwingungen oder Turbulenzen bzw. hohe Strömungsgeschwindigkeiten zu erwarten, empfehlen wir den Einbau von Kompensatoren mit Leitrohr.
- Ist DN ≥ 150, empfehlen wir bei Luft, Gas und Dampf den Einbau von Kompensatoren mit Leitrohr, wenn die Strömungsgeschwindigkeit 8 m/s und bei Flüssigkeit 3 m/s übersteigt.

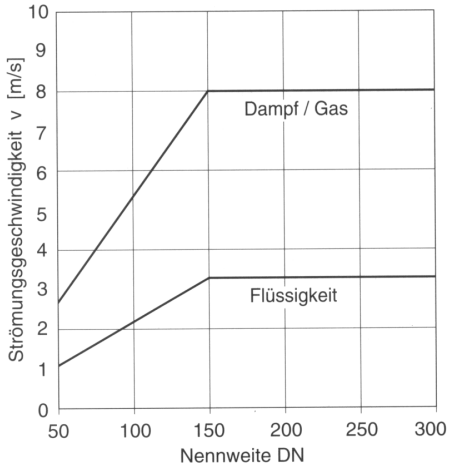


Diagramm 1

Rohrführung, Rohrlagerung

- Beim Einbau von Angular- und Kardankompensatoren (Bild 6), die Dehnungen seitlich nur in einer Ebene aufnehmen können, auf Übereinstimmung zwischen Richtung der Rohrdehnung und Bewegungsmöglichkeit der Kompensatoren (senkrecht zur Bolzenachse) achten. Die nominale angulare Dehnungsaufnahme ist dem Modul 3c zu entnehmen. Angularkompensatoren stellen keine besonderen Ansprüche an die Führungslager. Bei kurzschenkligen Maschinenhausleitungen erübrigen sich Führungslager.
- Das Gewicht der Rohrleitung (inkl. Medium und Isolierung) sowie alle Wind- und Zusatzlasten durch geeignete Rohraufhängungen oder Lager abfangen. Bewegungen des Kompensators dürfen nicht behindert werden!
- Bei langen Rohrleitungen vor und hinter dem Gelenksystem ein Führungslager vorsehen.

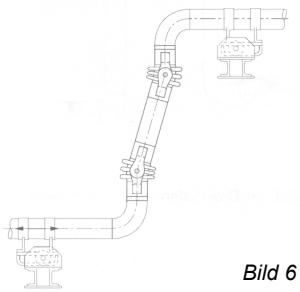


Bild 6

Festpunkte

- Zwischen zwei Festpunkten immer nur ein Gelenksystem einbauen. Die Festpunkte haben den Eigenwiderstand des Kompensators, resultierend aus der Biegefestigkeit der Bälge und der Bolzenreibung der Gelenklager sowie die Reibungskräfte der Führungslager aufzunehmen.

HINWEIS

Rohrführungen mit zu grossen Reibungswiderständen infolge zu hoher Flächenpressung, Verschmutzung oder Rostansatz können blockieren und führen zu erheblichen Spannungsspitzen in den Rohrleitungen, Festpunkten und Anschlüssen.

Vorspannung
Angular- und Lateralkompensatoren werden in der Regel mit 50% der Dehnungsaufnahme vorgespannt eingebaut, wobei die Einbringung der Vorspannung zweckmässigerweise am fertiggestellten System erfolgt.

- Bei der Vorspannung die jeweilige Einbautemperatur der Rohrleitung berücksichtigen, dies gilt insbesondere bei Freileitungen.
- Weicht die Einbautemperatur von der niedrigsten Auslegungstemperatur ab, Vorspannung entsprechend dem Vorspanndiagramm 2 reduzieren.

Vorspanndiagramm

Beispiel zum Diagramm 2
Gelenksystem für Rohrleitung von 140 m Länge:
Niedrigste Temperatur –7°C.
Höchste Temperatur +293°C.
Grösste Dehnung entsprechend 300°C Erwärmung = 500 mm.
Das Gelenksystem bzw. der Kompensator soll 50% der Dehnung = 250 mm vorgespannt, d.h. der Dehnung der Rohrleitung entgegengerichtet, gespannt werden.
Beim Einbau ist der Vorspannung besondere Beachtung zu schenken. Die Temperatur zur Zeit des Einbaues betrage nicht –7°C, sondern +20°C. Hieraus ergibt sich eine entsprechende Dehnung der Rohrleitung von 45 mm (siehe Diagramm 2), um die das Gelenksystem bzw. der Kompensator weniger vorzuspannen ist:
250-45 = 205 mm.

Das Vorspanndiagramm 2 zur Ermittlung der Vorspannung ermöglicht sofortige Feststellung dieses Wertes ohne Zwischenrechnung:

1. Temperaturdifferenz zwischen Einbau- und tiefster Temperatur +20°C – (-7°C) = 27°C.

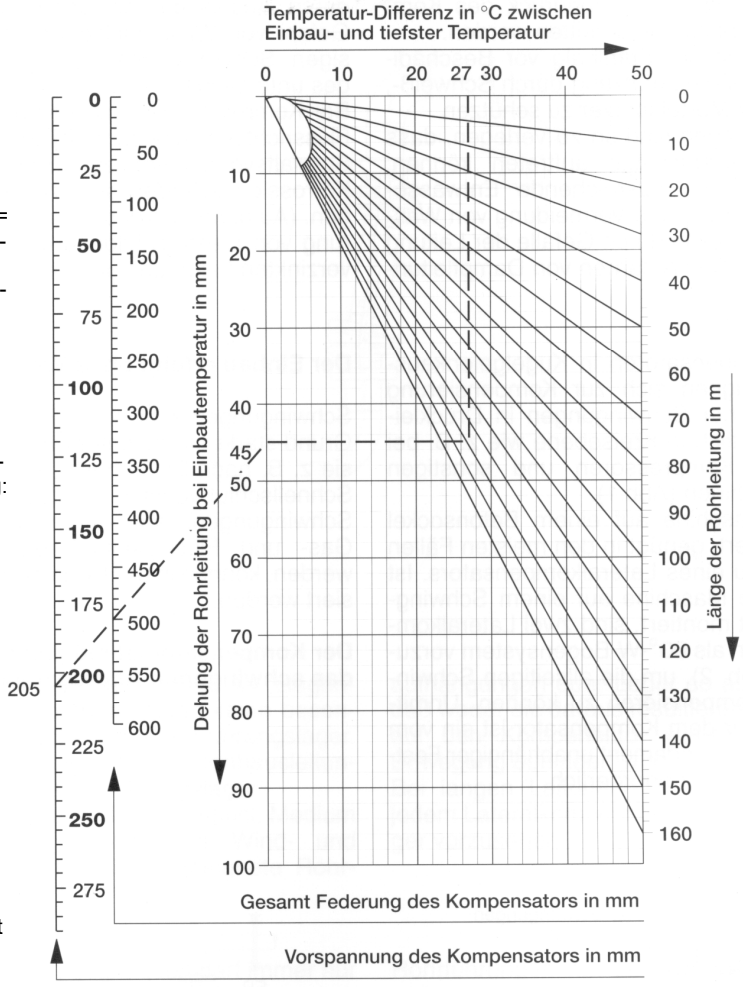
2. Länge der zu kompensierenden Rohrstrecke = 140 m.

3. Ziehe von Punkt "27°C" eine Senkrechte bis zu dem "0-140 m"-Strahl.

4. Ziehe eine Waagerechte von diesem Schnittpunkt auf die Linie "Dehnung der Rohrleitung in mm", es ergibt sich, wie angegeben, das Mass von 45 mm.

5. Verbinde Punkt "45 mm" mit "Gesamtfederung" = 500 mm und verlängere die Verbindungsgerade bis zum Schnitt der Linie "Vorspannung des Kompensators/ Gelenksystems in mm".

Es ergibt sich eine Vorspannung von 205 mm. Um dieses Mass ist das Gelenksystem beim Einbau in die Rohrleitung vorzuspannen.



gültig für Rohrleitungen aus St 35

Diagramm 2