2. Bewegungsverhältnisse und Drehmomente

2.1 Drehwinkel am einfachen Gelenk

in Abhängigkeit vom Beugungswinkel ß

 ϕ_1 = Antriebs-Drehwinkel

 φ_2 = Abtriebs-Drehwinkel

Wird ein einfaches Gelenk um Beugungswinkel $\mbox{\ensuremath{\mathbb{G}}}$ abgewinkelt und in diesem Zustand verdreht, so weicht der Drehwinkel $\mbox{\ensuremath{\mathbb{G}}}_2$ der Abtriebswelle vom Drehwinkel $\mbox{\ensuremath{\mathbb{G}}}_1$ der Antriebswelle ab. Zwischen den beiden Drehwinkeln besteht die Beziehung:

$$\tan \phi_2 = \frac{\tan \phi_1}{\cos \beta}$$

Wie aus nebenstehendem Schaubild ersichtlich, tritt die größte Voreilung bei etwa 45°, und die größte Nacheilung bei etwa 135° auf.

Gabelstellung $\phi_1 = 0^{\circ}$ ist dann gegeben, wenn die Antriebsgabel in der Beugungsebene des Gelenkes liegt.

2.2 Bewegungs- bzw. Momentenverlauf am einfachen Gelenk

in Abhängigkeit vom Beugungswinkel ß

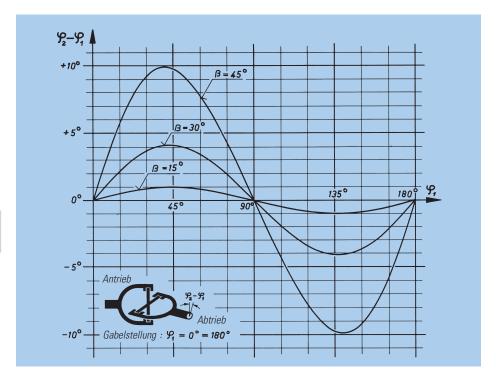
 M_{dl} = Antriebs-Drehmoment

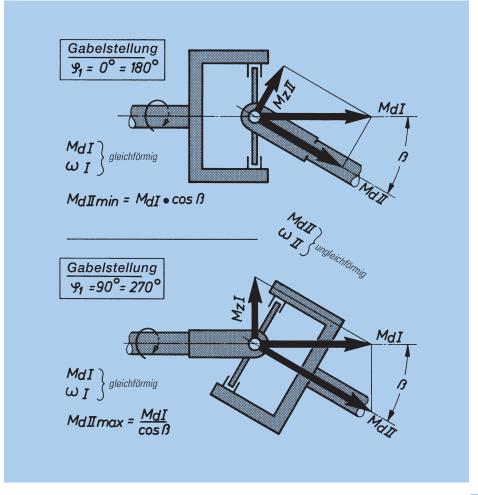
M_{dll} = Abtriebs-Drehmoment

 ω_{\perp} = Antriebs-Winkelgeschwindigkeit

 ω_{\parallel} = Abtriebs-Winkelgeschwindigkeit

Betrachtet man den Bewegungs- bzw. Momentenverlauf am Einfachgelenk, so wird festgestellt, dass bei konstanter Antriebs-Winkelgeschwindigkeit und konstantem Antriebsmoment ein ungleichförmiger Bewegungs- bzw. Momentenverlauf am Abtrieb vorliegt. Die Entstehung dieser Ungleichförmigkeit kann leicht veranschaulicht werden, wenn man den Momentenverlauf bei den Gabelstellungen $\varphi_1 = 0^{\circ}$ und $\varphi_1 = 90^{\circ}$ betrachtet, wie nebenstehend dargestellt. Da das Drehmoment nur in der Gelenkkreuzebene übertragen werden kann, das Gelenkkreuz jedoch je nach Gabelstellung senkrecht zur Antriebsachse bzw. senkrecht zur Abtriebsachse steht, ergibt sich ein Abtriebsmoment, das pro Umdrehung zweimal zwischen $M_{dl} \cdot \cos \beta$ und $M_{dl}/\cos \beta$ schwankt.





Die übertragene Leistung ist jedoch konstant, wenn man von Reibungsverlusten innerhalb der Lagerung absieht.

Es gilt deshalb:

$$N_I = N_{II} = konstant$$

$$M_{dl} \cdot \omega_{l} = M_{dll} \cdot \omega_{ll} = konstant$$

$$\frac{M_{dI}}{M_{dII}} \; = \; \frac{\omega_{II}}{\omega_{I}} \quad = \; \frac{\cos \beta}{1 - \cos^2 \phi_1 \cdot sin^2 \beta} \label{eq:mdI}$$

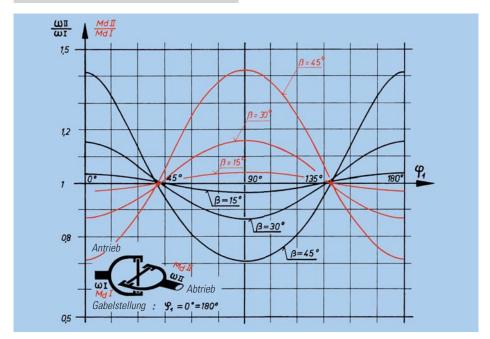
Für Gabelstellung $\varphi_1 = 0^{\circ}$ ergibt sich:

$$\frac{M_{dl}}{M_{dll\,min}} \ = \frac{1}{\cos \beta} \ = \frac{\omega_{ll\,max}}{\omega_{l}}$$

Für Gabelstellung $\phi_1 = 90^{\circ}$:

$$\frac{M_{dl}}{M_{dll \, max}} \ = \ \cos \beta \ = \frac{\omega_{ll \, min}}{\omega_{l}}$$





2.3 Bewegungs- bzw. Momentenverlauf an der Gelenkwelle

in Abhängigkeit von den Beugungswinkeln \mathbb{G}_1 und \mathbb{G}_2

Aus Abschnitt 2.2 geht hervor, dass Winkelgeschwindigkeit und Drehmoment am Abtrieb eines einfachen Gelenkes sinusförmig mit einer Periode von 180° verlaufen. Dem Größtwert der Winkelgeschwindigkeit $\omega_{\text{II max}}$ steht dabei der Kleinstwert des Drehmomentes $M_{\text{d II min}}$ gegenüber und umgekehrt. Daraus kann abgeleitet werden, dass

ein gleichförmiger Abtrieb dann möglich ist, wenn dem ersten Gelenk ein zweites Gelenk nachgeschaltet wird, das um 90° phasenverschoben ist. Dann kann die Ungleichförmigkeit des ersten Gelenkes durch die des zweiten Gelenkes wieder ausgeglichen werden. Die dazu erforderliche Phasenverschiebung um 90° ist immer dann gegeben, wenn die beiden

inneren Gelenkgabeln jeweils in der von ihrem Gelenk gebildeten Beugungsebene liegen. Außerdem müssen die beiden Beugungswinkel \mathfrak{B}_1 und \mathfrak{B}_2 der beiden Gelenke gleich groß sein (vergleiche auch Abschnitt 1.1 und 1.4).

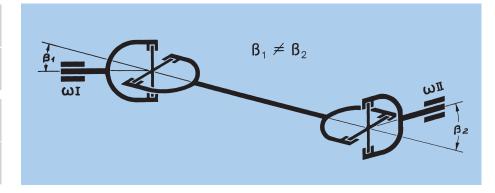
Sind die Beugungswinkel ungleich, dann ist auch kein vollständiger Ausgleich möglich. Für $\beta_2 > \beta_1$ gilt dann:

$$\left(\frac{\omega_{\text{II min}}}{\omega_{\text{I}}}\right)_{\text{max}} = \frac{\cos \beta_{1}}{\cos \beta_{2}}$$

$$\left(\frac{\omega_{\text{II min}}}{\omega_{\text{I}}}\right)_{\text{min}} = \frac{\cos \beta_{2}}{\cos \beta_{1}}$$

$$\left(\frac{M_{\text{dII}}}{M_{\text{dI}}}\right)_{\text{max}} = \frac{\cos \beta_{1}}{\cos \beta_{2}}$$

$$\left(\frac{M_{\text{dII}}}{M_{\text{dI}}}\right)_{\text{min}} = \frac{\cos \beta_{2}}{\cos \beta_{1}}$$



3. Ungleichförmigkeitsgrad

3.1 Einfachgelenk

Die Abtriebsgeschwindigkeit weicht, wie in 2.1 bereits erläutert, bei einem Einfachgelenk von der Antriebsgeschwindigkeit ab. Das heißt, die Übersetzung ist ungleichförmig. Diese Ungleichförmigkeit läßt sich als dimensionslose Größe errechnen aus:

Ungleichförmigkeitsgrad

$$U = \frac{\omega_{2\,\text{max}} - \omega_{2\,\text{min}}}{\omega_{1}} = \frac{1}{\cos \beta} - \cos \beta$$

3.2 Gelenkwelle (2 hintereinander geschaltete Gelenke)

Können die in Kapitel 1 beschriebenen Voraussetzungen zum Erreichen eines absoluten Bewegungsausgleiches nicht erfüllt werden, so ist anzustreben: $U \le 0,0027$.

3.3 Gelenkwellenstrang mit mehr als 2 Gelenken

Aus konstruktiven Gründen ist es möglich, dass ein Gelenkwellenstrang mit mehr als 2 Gelenken eingesetzt werden muss. Dieser Gelenkwellenstrang muss dann jedoch mit einem Zwischenlager abgestützt werden. Auch hier gilt die Bedingung: $U_{\text{ges}} \leq 0,0027.$

Hier drückt U_{ges} jedoch den gesamten Ungleichförmigkeitsgrad des Gelenkwellenstranges aus.

Vorgehensweise zur Ermittlung von Uges:

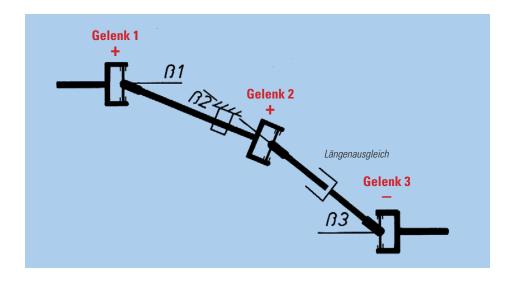
- a) Gelenke mit gleicher Gabelstellung bekommen gleiches Vorzeichen.
- b) Berechnung des Ungleichförmigkeitsgrades jedes Einzelgelenkes U₁, U₂, U₃.
- c) Addition unter Beachtung der Vorzeichen:

$$U_{\text{qes}} = \pm U_1 \pm U_2 \pm U_3$$

Da der Ungleichförmigkeitsgrad vom Beugungswinkel & abhängig ist, kann auch eine Grenzbedingung anhand des resultierenden Beugungswinkels &_{res} aufgestellt werden. Auch hier sind die Vorzeichen zu beachten:

$$\beta_{\text{res}} = \sqrt{\pm\beta\frac{2}{1}\pm\beta\frac{2}{2}\pm\beta\frac{2}{3}} \ \leqq 3^{\circ}$$

 $\ensuremath{\mathbb{G}}_{\text{res}}$ entspricht dem Beugungswinkel eines Einfachgelenkes, wenn dieses den Gelenkwellenstrang ersetzen würde.





4. Versatzwinkel

Bei einer räumlich abgewinkelten Gelenkwelle liegen An- und Abtriebswelle nicht in einer Ebene. Dies führt, wenn keine besonderen Maßnahmen ergriffen werden, zu einer ungleichförmigen Abtriebsbewegung. Durch dieses sich immer wiederholende Beschleunigen und Verzögern werden Massenkräfte frei, welche die Lebensdauer der Gelenke beträchtlich herabsetzen können. Aber nicht nur die Gelenkwelle, sondern auch die angetriebenen Bauteile sind diesen Kräften und den dadurch hervorgerufenen Schwingungen ausgesetzt. Um dies zu vermeiden, müssen die inneren Gelenkgabeln so gegeneinander verdreht wer-

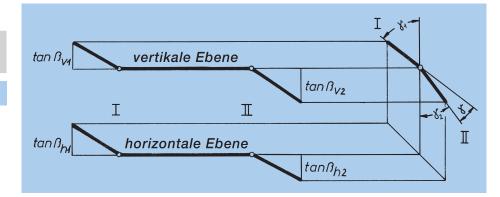
den, dass sie jeweils in der von ihrem Gelenk gebildeten Beugungsebene liegen. Der Winkel zwischen den beiden Beugungsebenen wird als Versatzwinkel γ bezeichnet und wird wie folgt ermittelt:

Beispiel 1

$$tan\,\gamma_1 = \frac{tan\,\beta_{h1}}{tan\,\beta_{v1}} \quad ; \quad tan\,\gamma_2 \ = \frac{tan\,\beta_{h2}}{tan\,\beta_{v2}} \label{eq:gamma_parameter}$$

Versatzwinkel

 $\gamma = \gamma_1 - \gamma_2$

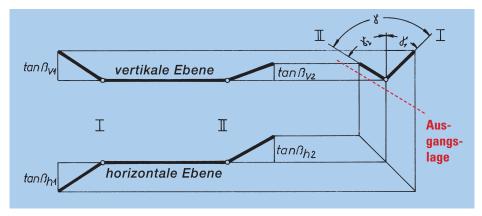


Beispiel 2

$$\tan \gamma_1 = \frac{\tan \beta_{h1}}{\tan \beta_{h1}}$$
; $\tan \gamma_2 = \frac{\tan \beta_{h2}}{\tan \beta_{h2}}$

Versatzwinkel

 $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$



Wie die graphischen Darstellungen zeigen, sind in beiden Beispielen zwei Drehrichtungen möglich:

Beispiel 1:

- a) Gelenk I gegen den Uhrzeigersinn um den Versatzwinkel drehen.
- b) Gelenk II im Uhrzeigersinn um den Versatzwinkel drehen.

In beiden Fällen ist die Blickrichtung von Gelenk I nach Gelenk II.

Beispiel 2:

- a) Gelenk II gegen den Uhrzeigersinn um den Versatzwinkel drehen.
- b) Gelenk I im Uhrzeigersinn um den Versatzwinkel drehen (aus Ausgangslage II weg drehen).
 In beiden Fällen ist die Blickrichtung von Gelenk I nach Gelenk II.

Zur Ermittlung der Drehrichtung des Versatzwinkels muss immer die grafische Lösung angewendet werden.

Nur mit Hilfe der grafischen Lösung ist es möglich, die Drehrichtung zu ermitteln und festzustellen, ob die Winkel γ_1 und γ_2 addiert oder subtrahiert werden müssen.

5. Zusatzmomente an der Gelenkwelle; Lagerkräfte an An- u. Abtriebswelle

In Abschnitt 2.2 wurde gezeigt, dass das Drehmoment nur in der Gelenkkreuzebene übertragen wird, und dass das Gelenkkreuz je nach Gabelstellung senkrecht zur Antriebsachse

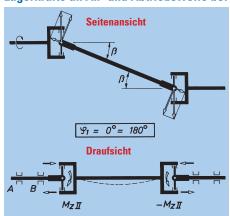
oder aber senkrecht zur Abtriebsachse stehen

Nachfolgend soll kurz erläutert werden, welche Zusatzkräfte bzw. -Momente dadurch an der Gelenkwelle selbst sowie an der Lagerung von An- und Abtriebswelle auftreten.

5.1 Bei Z-Anordnung

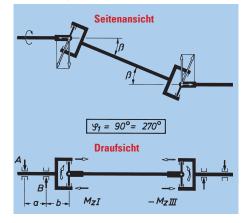
In nebenstehender Abbildung ist der Verlauf der Zusatzkräfte bzw. -momente für Gelenkwellen in Z-Anordnung dargestellt, und zwar für die Gabelstellungen $\varphi_1 = 0^\circ$ und $\varphi_1 = 90^\circ$. Dabei zeigt sich, dass das Gelenkwellen-Mittelteil durch das zwischen M_{dl} · cos ß und M_{dl}/cos ß schwankende Drehmoment auf Torsion und durch das Zusatzmoment M₇₁₁ periodisch wechselnd auf Biegung beansprucht wird [siehe dazu noch 6.8]. Ebenso werden auch An- und Abtriebswelle durch MzI bzw. MzIII periodisch wechselnd auf Biegung beansprucht. Die dadurch hervorgerufenen Lagerkräfte A und B schwanken pro Umdrehung zweimal zwischen 0 und Maximum.

Lagerkräfte an An- und Abtriebswelle bei Z-Anordnung



Gelenkwellen-Mittelteil auf Biegung beansprucht

$$A = B = 0$$



An- und Abtriebswelle auf Biegung beansprucht

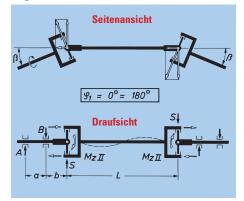
$$A_{max} = B_{max} = \frac{M_{dl} \cdot \tan \beta}{a}$$
 [N]

5.2 Bei W-Anordnung

Gemäß nebenstehender Abbildung tritt bei W-Anordnung, und zwar hervorgerufen durch den gleichgerichteten Verlauf der Zusatzmomente MzII, zusätzlich noch eine Kraft "S" auf, deren Maximum bei Gabelstellung $\omega_1 = 0^{\circ}$ erreicht wird, und die über die Stirnflächen der Gelenkkreuzzapfen auf An- bzw. Abtriebswelle einwirkt.

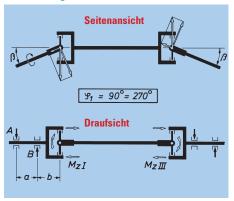
Die daraus resultierenden, periodisch schwankenden Lagerkräfte A und B können bei kleinem Gelenkabstand L und großem Beugungswinkel ß erheblich ansteigen.

Lagerkräfte an An- und Abtriebswelle bei W-Anordnung



Gelenkwellen-Mittelteil sowie An- und Abtriebswelle auf Biegung beansprucht

$$A = \frac{2 \cdot M_{dl} \cdot \sin \beta \cdot b}{L \cdot a} \quad B = \frac{2 \cdot M_{dl} \cdot \sin \beta \cdot (a+b)}{L \cdot a}$$



An- und Abtriebswelle auf Biegung beansprucht

$$A = B = \frac{M_{dl} \cdot \tan \beta}{a} [N]$$

5.3 Durch axiale Verschiebekraft

Handelt es sich um eine ausziehbare Gelenkwelle, die während der Momentübertragung einer Längsverschiebung unterliegt, so treten sowohl bei Z- als auch bei W-Anordnung zusätzliche Lagerkräfte auf, die durch die Reibung innerhalb des Keilprofils hervorgerufen werden. Die axiale Verschiebekraft Pa als Ursache dieser Lagerkräfte wird folgendermaßen errechnet:

$$P_a = 2 \cdot M_{dl} \cdot \mu \left(\frac{1}{dm} + \frac{\sin \beta}{\ddot{U}} \right) [N]$$

Dabei ist dm der mittlere Profildurchmesser und Ü die Überdeckung innerhalb des Keilprofils. Der Reibwert µ muss je nach Ausführungen und Schmierverhältnissen bei Stahl auf Stahl mit etwa 0,11 bis 0,15 angenommen werden. Kunststoffbeschichtete (rilsanierte) Verschiebungen haben erheblich günstigere Gleiteigenschaften. Hier liegt der Reibwert bei etwa 0,08. Rilsanierte Verschiebungen sind auf Wunsch ab Gelenkgröße 0.109 lieferbar.

6. Grundlagen zur Dimensionierung von Kardan-Gelenkwellen

Die richtige Dimensionierung einer Gelenkwelle erfordert die Berücksichtigung verschiedener Einflüsse und Faktoren. Infolge der Vielzahl von möglichen Einsatzfällen können exakte, allgemeingültige Bemessungsregeln nicht angegeben werden. Nachstehende Hinweise dienen deshalb zur ersten, überschlägigen Größenbestimmung. In Zweifelsfällen sind wir gerne bereit, die erforderliche Gelenkgröße für Sie festzulegen und verweisen in diesem Zusammenhang auf unsere techn. Fragebögen.

6.1 Drehmomente

Die für die einzelnen Gelenkgrößen angegebenen max. zulässigen Drehmomente Md_{max} gelten in der Regel nur für kurzzeitige Spitzenbelastungen.

Md_{Nenn}: Nenndrehmoment zur Vorauswahl, anhand der nominalen Betriebsmomente.

Md_{Grenz}: Grenzdrehmoment, das bei begrenzter Häufigkeit kurzzeitig von der Gelenkwelle ohne Funktionsschädigung übertragen werden kann. Das jeweils zulässige Dauerdrehmoment muss in Abhängigkeit von den übrigen Betriebsdaten, wie Stoßfaktoren, Beugungswinkel, Drehzahl usw., von Fall zu Fall ermittelt werden (siehe hierzu 6.2 u. 6.3).

6.2 Stoßfaktoren

Je nach Art des Antriebs bzw. des jeweiligen Einsatzfalles kann eine Gelenkwelle Stoßbelastungen ausgesetzt sein, die erheblich über dem Nenndrehmoment liegen. Um diese zu berücksichtigen, müssen Stoßfaktoren eingesetzt werden. Nachstehend einige Stoßfaktoren für die gebräuchlichsten Antriebsmaschinen:

Selbstverständlich ist nicht nur der Antrieb, sondern in vielen Fällen auch der Abtrieb für Stoßbelastungen verantwortlich. Wegen der Vielzahl der verschiedenen Möglichkeiten können hierzu jedoch keine allgemeingültigen Angaben gemacht werden.

Antriebsmaschine	mit Elastikkupplung	ohne Elastikkupplung
Turbine oder Elektromotor	1	1 bis 1,5
Ottomotor 4 und mehr Zylinder	1,25	1,75
Ottomotor 1 bis 3 Zylinder	1,5	2
Dieselmotor 4 und mehr Zylinder	1,5	2
Dieselmotor 1 bis 3 Zylinder	2	2,5

6.3 Lebensdauer-Berechnung

Ausschlaggebender Faktor im Hinblick auf die Lebensdauer einer Gelenkwelle sind in der Regel die Gelenklager. Deshalb sollten zur Ermittlung der jeweils erforderlichen Gelenkgröße zweckmäßigerweise das nachfolgende Lebensdauer-Diagramm benutzt werden. Dieses Diagramm ermöglicht:

- a) die Bestimmung der theoretischen Lebensdauer einer gewählten Gelenkwelle in Abbängigkeit von den jeweiligen Betriebsdaten, bzw.
- b) die Ermittlung der erforderlichen Gelenkgröße bei vorgegebener Lebensdauer.

Dabei wird das Antriebs-Nennmoment mit dem entsprechenden Stoßfaktor multipliziert, und das so erhaltene $M_{\rm d}$ in nachfolgendes Diagramm eingesetzt.

Weitere Faktoren, wie Korrektur- oder Beugungswinkelfaktor, brauchen nicht berücksichtigt zu werden, da bereits im Diagramm enthalten.

Bei Maschinen bzw. Fahrzeugen mit wechselnden Betriebsbedingungen werden zunächst die einzelnen Lebensdauerwerte aus dem Diagramm ermittelt. Danach kann die resultierende Gesamtlebensdauer L_{hR} wie folgt errechnet werden:

 $q_1, q_2 \dots = Zeitanteile in [\%]$ $L_{h1}, L_{h2} \dots eingesetzt in 10^3 [Std]$

$$L_{hR} = \frac{100000}{\frac{q_1}{L_{h1}} + \frac{q_3}{L_{h2}} + \dots + \frac{qn}{L_{hn}}} [Std]$$

6.4 Lebensdauer-Diagramm

Infolge der Vielzahl von Anwendungsfällen ist es nicht möglich, die Eignung einer Gelenkwelle durch Versuche zu ermitteln. Deshalb erfolgt die Auswahl und Überprüfung der erforderlichen Gelenkgröße durch Anwendung rechnerischer Methoden. Diese basieren auf der Ermittlung der dynamischen Tragzahl vollrolliger Nadel- und Rollenlager gemäß der ISO-Empfehlung R 281. Die im Katalog enthaltenen Lebensdauerdiagramme sind auf dieser Empfehlung und auf einer speziell für den Gelenkwellenbereich anwendbaren Berechnungsformel zur Ermittlung der nominellen Lebensdauer begründet. Die damit gefundene Lebensdauer gibt die Betriebsstundenzahl an, die von 90% einer größeren Anzahl gleicher Gelenklager erreicht oder überschritten wird.

Es gibt auch Methoden zur Ermittlung der modifizierten Lebensdauer. Dabei werden unterschiedliche Überlebenswahrscheinlichkeiten, Werkstoffqualität und Betriebsverhältnisse berücksichtigt. Der gegenwärtige Stand der Technik erlaubt es jedoch nicht, Aussagen über das unterschiedliche Verhalten verschiedener Stahlqualitäten (Gefüge, Härte, Verunreinigungen) in Bezug auf eine Lebensdauer zu machen. Aus diesem Grund wurden bisher auch noch keine Festlegungen in der internationalen Norm vorgenommen.

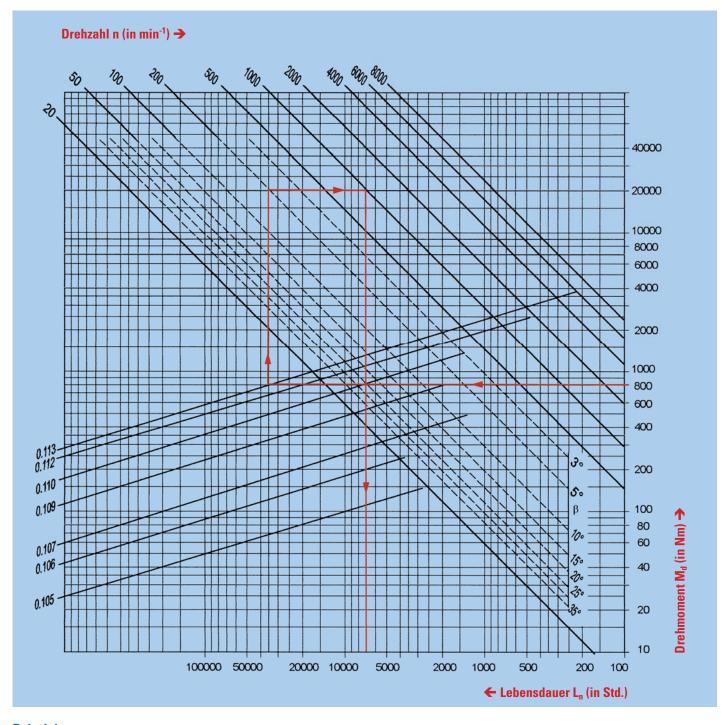
Ebenso müssten alle Betriebseinflüsse wie Betriebstemperatur, Abschmierintervalle, verwendetes Schmierfett und die damit verbundene Betriebsviskosität berücksichtigt werden. Da diese Faktoren von Einsatzfall zu Einsatzfall verschieden sind, ist es nicht möglich, eine Ermittlung der modifizierten Lebensdauer durchzuführen und damit ein allgemein gültiges Lebensdauerdiagramm zu erstellen.

Die nachfolgenden beiden Lebensdauerdiagramme ermöglichen Ihnen eine überschlägige Ermittlung der nominellen Lebensdauer.

Ist der Beugungswinkel kleiner als 3° , sollten Sie von $\mathbb{G}=3^{\circ}$ ausgehen, da sonst das ermittelte Ergebnis verfälscht wird.

Ist es notwendig, eine genaue Bestimmung der Lebensdauer durchzuführen, wenden Sie sich bitte an die Techniker der Firma ELBE.

6.5 Lebensdauer-Diagramm Nadellager



Beispiel

Kardan-Gelenkwelle 0.113

Drehmoment Md = 800 Nm

Beugungswinkel ß = 5°

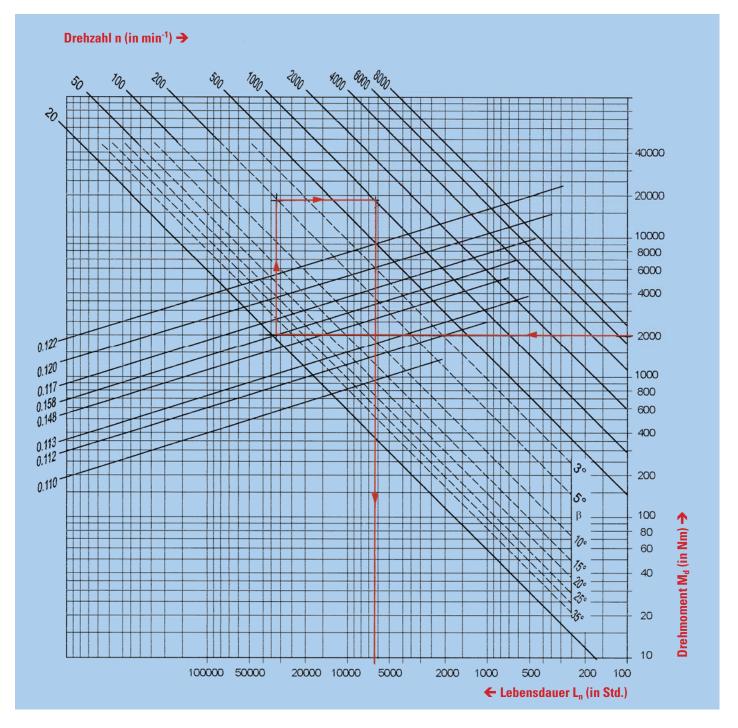
Drehzahl n = 1000 min⁻¹

Lebensdauer = 6900 Stunden

Ermittlungsgang:

Drehmoment → Gelenkgröße → Beugungswinkel → Drehzahl → Lebensdauer

6.6 Lebensdauer-Diagramm Rollenlager



Beispiel

Kardan-Gelenkwelle 0.158
Drehmoment Md = 2000 Nm
Beugungswinkel & = & 5°
Drehzahl n = 1000 min⁻¹



Lebensdauer = 7000 Stunden

Ermittlungsgang:

Drehmoment → Gelenkgröße → Beugungswinkel → Drehzahl → Lebensdauer

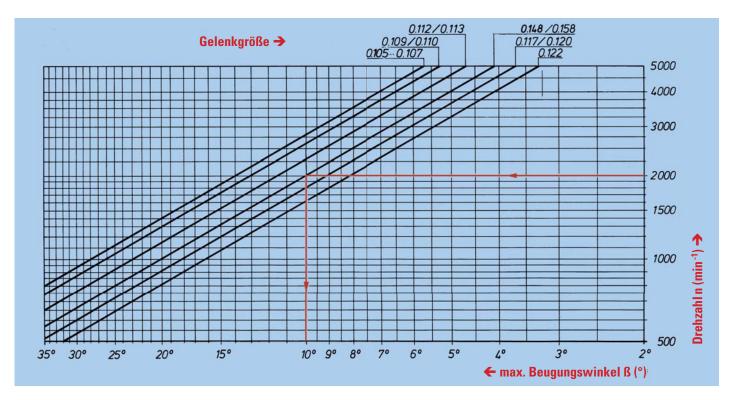


6.7 Drehzahlen und Beugungswinkel

Wie in 2.3 gezeigt, kann durch entsprechende Maßnahmen ein gleichförmiger Abtrieb an der Gelenkwelle erreicht werden. Das Mittelteil läuft jedoch nach wie vor ungleichförmig und unterliegt zweimal pro Umdrehung einer Beschleunigung und Verzögerung.

Das daraus resultierende Beschleunigungsmoment ist abhängig vom Massenträgheitsmoment des Gelenkwellen-Mittelteils sowie von Drehzahl und Beugungswinkel. Im Hinblick auf Laufruhe und Verschleiß darf deshalb das Produkt aus Drehzahl und Beugungswinkel nicht zu groß werden.

Für den allgemeinen Maschinenbau können entsprechende Richtwerte direkt aus nachstehendem Diagramm entnommen werden, das für Gelenkwellen mit Normalrohr bis ca. 1500 mm Gesamtlänge ausgelegt ist.



6.8 Kritische Drehzahlen

Das Mittelteil der abgewinkelten Gelenkwelle wird bei Übertragung eines Drehmomentes durch Zusatzmoment $M_{\rm ZII}$ periodisch wechselnd auf Biegung beansprucht, wie aus 5.1 hervorgeht. Dadurch wird das Mittelteil zum Schwingen angeregt. Kommt nun die Frequenz dieser Biegeschwingungen in den Bereich der Eigenfrequenz der Gelenkwelle, so hat dies höchste Beanspruchung aller Teile, Ausknicken der Welle und Geräuschbildung zur Folge.

Um dies zu vermeiden, sind lange und schnelllaufende Gelenkwellen auf biegekritische Drehzahlen zu untersuchen. Die biegekritische Drehzahl 1. Ordnung einer Gelenkwelle in Rohrausführung kann näherungsweise errechnet werden:

$$n_{\,kr} \, \approx \, \, 1,\!21 \cdot 10^8 \qquad \frac{\sqrt{D^2 + \, d^2}}{L^2} \quad [min^{\text{-}1}] \label{eq:nkr}$$

D = Rohr-Außendurchmesser [mm]

d = Rohr-Innendurchmesser [mm]

L = Rohr-Mittelteil-Länge in [mm

Gelenkwellen werden nur im unterkritischen Bereich eingesetzt. Aus Sicherheitsgründen muss darauf geachtet werden, dass die max. Betriebsdrehzahl einen genügend großen Abstand zur jeweiligen kritischen Drehzahl hat. Es gilt deshalb:

max. Betriebsdrehzahl $n_{max} \approx 0.65 \cdot n_{kr} [min^{-1}]$

6.9 Größere Rohrdurchmesser

Die biegekritische Drehzahl einer Gelenkwelle ist, wie aus der Drehzahlformel hervorgeht, lediglich von den Rohrabmessungen und der Mittelteil-Länge abhängig. Durch Verwendung größerer Rohrdurchmesser kann deshalb die kritische Drehzahl einer Gelenkwelle erhöht werden.

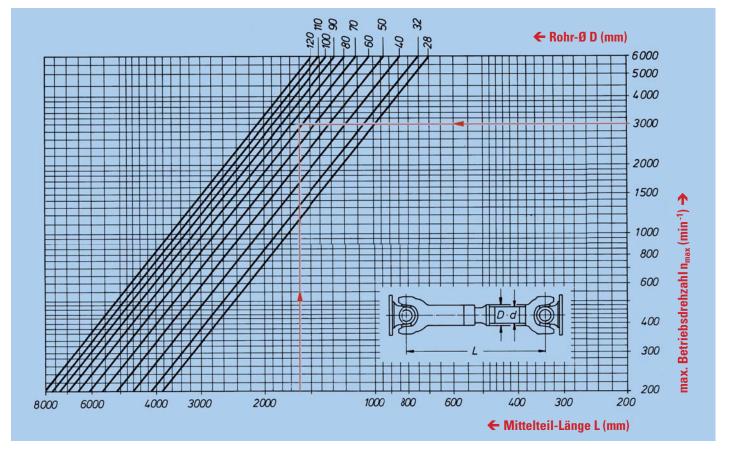
Dieser Vergrößerung sind jedoch Grenzen gesetzt, da eine gewisse Relation zwischen Rohrabmessung und Gelenkgröße vorhanden sein muss. In den Maßtabellen der Gelenkwellen-Ausführungen sind die möglichen Rohrabmessungen für jede Größe angegeben. In all den Fällen, wo eine einteilige Gelenkwelle nicht mehr ausreicht, müssen Strangausführungen mit Zwischenlager eingesetzt werden.

Zu beachten ist, dass größere Rohrdurchmesser erst ab einer gewissen Wellenlänge möglich sind. Als Anhaltspunkte können dabei folgende Mindestlängen angenommen werden:

Flanschdurchmesser	[mm]	bis 65	75 bis 100	120 bis 180	
Mindestlänge S	[mm]	650	950	1250	

6.10 Rohr-Diagramm

Zur Ermittlung des erforderlichen Rohrdurchmessers bei vorgegebener max. Betriebsdrehzahl n_{max} und Mittelteillänge L



Beispiel:

Mittelteillänge L = 1600 mm max. Betriebsdrehzahl $n_{max} = 3000 \text{ min}^{-1}$ ergibt: Rohrdurchmesser $\ge 70 \text{ mm}$

ORIGINAL GELENKE

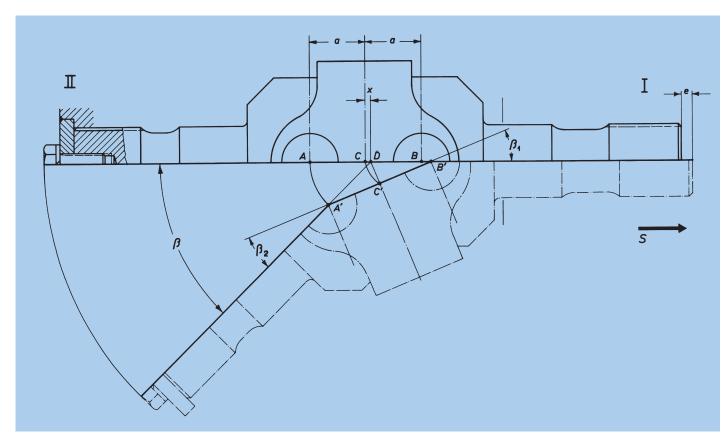
7. Anwendungsgrundlagen für Doppel-Gelenkwellen in Lenkachsen

Die Doppel-Gelenkwellen der Baureihen 0.400.5 und 0.500.3 sind ausschließlich für den Einsatz in Lenktriebachsen bestimmt.

7.1 Kinematische Verhältnisse

Wie aus nachstehender Skizze hervorgeht, wird beim Betätigen der Lenkung das Achssystem um die Drehzapfenmitte **D** geschwenkt. Das Doppelgelenk knickt dabei in seinen beiden Gelenkdrehpunkten A und B ein. Nachdem Welle II axial befestigt ist, muss sich Welle I in Richtung S einschieben. Dadurch ergeben sich ungleiche Gelenkbeugungswinkel **B**₁ und **B**₂, und damit auch eine ungleichförmige Abtriebsbewegung.

Diese Ungleichförmigkeit kann jedoch insgesamt sehr klein gehalten werden, wenn man die Gelenkmitte C um den Ausgleichswert X zur Festseite hin versetzt. Dadurch wird bei einem bestimmten Beugungswinkel (= Gleichlaufwinkel Bx) ein vollständiger Gleichlauf erreicht, d. h., es ergeben sich gleichgroße Gelenkbeugungswinkel **B**₁ und **B**₂. Als Gleichlaufwinkel wird zweckmäßigerweise $G_x = 30^{\circ}$ bis 35° gewählt.



- Gelenkdrehpunkte
- C = Mitte des Doppelgelenks
- D =Drehzapfenmitte
- Abstand eines Gelenkdrehpunktes von Mitte Doppelgelenk
- Einschub der Loswelle e =
- X = Mittenversatz beim Einbau
- Gleichlaufwinkel
- Gesamt-Beugungswinkel
- Beugungswinkel der Einzelgelenke

7.2 Mittenversatz X und max. Einschub e

Der für einen möglichst gleichförmigen Abtrieb erforderliche Mittenversatz \mathbf{X} kann in Abhängigkeit von Abstand a und dem Gleichlaufwinkel $\mathbb{G}_{\mathbf{x}}$ errechnet werden:

$$X = \frac{a}{\cos \frac{\beta_x}{2}} - a$$

Nachstehend der errechnete Mittenversatz x für die einzelnen Baugrößen:

Baureihe 0.400, Gleichlaufwinkel $\beta_x = 35^{\circ}$

Gelenkgröße	0.408	0.409	0.411	0.412	_
Beugungswinkel ß°	50	50	50	50	
x [mm]	1,5	1,7	2,0	2,2	

Baureihe 0.500, Gleichlaufwinkel $\beta_x = 32^{\circ}$

Gelenkgröße	0.509	0.510	0.511	0.512	0.513	0.515	0.516	0.518
Beugungswinkel ß°	42 47	50	42 47	42 47	42 47	42 47	42 47	42 47
x [mm]	1,3 1,3	1,6	1,5 1,6	1,6 1,7	1,7 1,8	1,9 2,0	2,1 2,2	2,2 2,3

Der Einschub ${\bf e}$ bei Beugungswinkel ${\bf g}$ wird, ebenfalls in Abhängigkeit von Abstand a und Gleichlaufwinkel ${\bf g}_{x}$, folgendermaßen errechnet:

$$e = 2a \qquad \left(\begin{array}{c} \sin^2 \frac{\beta}{2} + \sqrt{\cos^2 \frac{\beta x}{2} - \sin^2 \frac{\beta}{2} \cdot \cos^2 \frac{\beta}{2}} \\ \cos \frac{\beta x}{2} \end{array} \right)$$

Nachstehend der max. Einschub e für die einzelnen Baugrößen:

Baureihe 0.400, Gleichlaufwinkel $\beta_x = 35^{\circ}$

Gelenkgröße	0.408	0.409	0.411	0.412	
Beugungswinkel ß°	50	50	50	50	
e [mm]	6,5	7,2	8,3	9,2	

Baureihe 0.500, Gleichlaufwinkel $\beta_x = 32^{\circ}$

Gelenkgröße	0.509	0.510	0.511	0.512	0.513	0.515	0.516	0.518
Beugungswinkel ß°	42 47	50	42 47	42 47	42 47	42 47	42 47	42 47
e [mm]	4,5 6,0	7,9	5,2 6,9	5,8 7,8	6,1 8,1	6,7 9,0	7,3 9,7	7,8 10,5

7.3 Dimensionierung von Doppel-Gelenkwellen

Die Ermittlung der erforderlichen Gelenkgröße erfolgt zweckmäßigerweise über das max. mögliche Drehmoment. Dies kann einmal das Antriebsmoment sein, errechnet aus Motorleistung, Getriebeübersetzungen und Lastverteilung, oder auch das Reifenrutschmoment, das sich aus der zulässigen Achslast, dem stat. Reifenradius und Reibwert μ ergibt. Der

jeweils niedrigere Wert stellt das max. Betriebsdrehmoment dar, anhand dessen die erforderliche Gelenkgröße ausgewählt werden kann. Die auf diese Weise bestimmte Doppelgelenkwelle weist eine ausreichende Lebensdauer auf, da die Zeitanteile größter Belastung in der Regel klein sind.

7.4 Belastung der Wellenlager

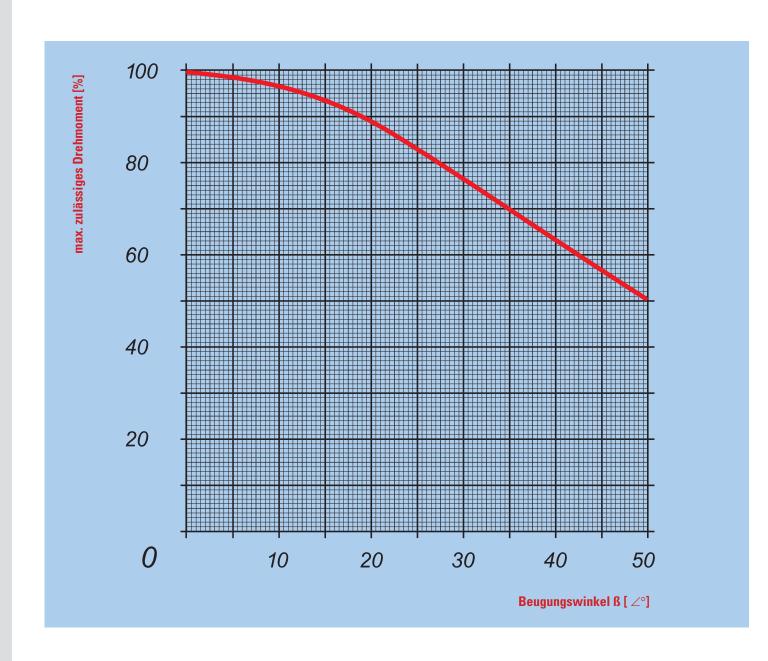
Doppel-Gelenkwellen ohne Zentrierung müssen an beiden Wellenhälften unmittelbar neben dem Gelenk gelagert werden, wobei eine Wellenhälfte axial fest, die andere dagegen axial beweglich sein muss. Bei der Momentübertragung entstehen Zusatzkräfte, die bei der Bemessung der Wellenlager berücksichtigt werden müssen.



7.5 Übertragungsfähigkeit von Doppel-Gelenkwellen in Abhängigkeit vom Beugungswinkel

Bei der Momentenübertragung mit einem abgewinkelten Doppelgelenk herrschen andere Kraftverhältnisse in den Gelenkkreuzzapfen und dem Mittelstück als im gestreckten Zustand. Dies entsteht dadurch, dass sich das zu übertragende Moment nicht mehr gleichmäßig auf die Gelenkkreuzzapfen aufteilt. Ebenso tritt ein Zusatzmoment, wie schon in Abschnitt 5 erwähnt, auf. Dieses Zusatzmoment muss mit dem zu übertragenden Moment zusam-

mengefasst werden. Dieses resultierende Moment führt zu einer höheren Pressung und zu einer größeren Biegespannung innerhalb der Gelenkkreuzzapfen. Um diese Einflüsse berücksichtigen zu können, steht Ihnen das nachfolgende Diagramm zur Verfügung. Daraus können Sie entnehmen, um wieviel Prozent das maximal zulässige Drehmoment, in Abhängigkeit des Beugungswinkels, reduziert werden muss.



8. Hinweise für den Einsatz von Kreuz- und Kugel-Gelenkwellen

Drehmomentbestimmung für nadelgelagerte Präzisions-Wellengelenke, Kreuz-Gelenke und Kugel-Gelenk, einfach

Die in im Diagramm aufgeführten Md_{max}-Werte stellen Grenzwerte dar, die ebenfalls nicht überschritten werden dürfen. Sie sind in voller Höhe nur bei kleinen Drehzahlen und geringem Beugungswinkel bzw. bei Aussetzbetrieb zulässig.

Je nach Größe des Beugungswinkels verändert sich das übertragbare Drehmoment.



Nadelgelagerte Präzisions-Wellengelenke

Zulässige max. Betriebsmomente der nadelgelagerten Präzisions-Wellengelenke (Drehmoment in Nm).

		D	rehzahl (min ⁻	1)			
Gelenk-Typ	250	500	1000	2000	3000	4000	5000
0.616	11	10	8	6	5,5	5,1	4,8
0.620	28	25	19	15	14	12,5	12
0.625	35	30	25	20	18,5	17	16
0.632	70	60	50	40	37	34	32
0.640	150	130	100	80	74	68	64
0.650	220	190	150	120	110	100	95
0.663	450	400	310	250	220	200	190

Kreuz-Gelenke und Kugel-Gelenk, einfach

Nebenstehende Faustformel kann zur überschlägigen Bestimmung der erforderlichen Gelenkgröße benutzt werden.

Bei	Md_{max}	Drehzahl x Beugungswinkel ≤ 500
Bei 0,5 x	: Md _{max}	Drehzahl x Beugungswinkel ≤ 5000

Hinweise für die Wartung

Bei Dauerbetrieb ist für eine ausreichende Schmierung der Kreuz- oder Kugelgelenke zu sorgen. In den Fällen, in denen keine Tropfenschmierung möglich ist, sollten die Gelenke 1-mal täglich nachgeschmiert werden (Schmierstellen siehe Pfeile) Daneben besteht die Möglichkeit, die Gelenke durch einen Faltenbalg abzudecken, der mit Öl oder Fett gefüllt wird. Faltenbälge für die Kreuz- oder Kugelgelenke können von uns bezogen werden.

Bei Einsatz der Gelenkwellen im Hoch- oder Tieftemperaturbereich wenden sie sich bitte an unseren technischen Beratungsdienst.

