

ZAHNKUPPLUNGEN



EINFÜHRUNG

Normalerweise pflegt man dem Problem der Wellenverbindungen keine grosse Aufmerksamkeit zu schenken, Häufig wählt man das einfachste und somit preiswerteste Verbindungselement; es wird als ausreichend betrachtet, um seine verbindende Funktion auszuüben und niemand denkt an die unheilvollen Folgen, die diese Wahl auf die Funktionsqualität und -dauer der angekoppelten Maschinen haben kann. Oft orientiert sich diese Wahl auch an dem Vereinfachungsprinzip, das nur darauf besteht, dass das Verbindungsorgan eine Torsionselastizität und eine grosse Biegsamkeit aufweist.

Die Zahnkupplungen sind flexibel, verfügen aber nicht über Torsionselastizität. Auf Grund ihrer Konzeption bringen sie nicht die Nachteile mit sich, die die Verbindungen anderer Konstruktion aufweisen. Heutzutage gibt es viele Anwendungen, bei denen zu übertragende Drehmomente, die hohen Drehgeschwindigkeiten und die Verlagerungswerte, einerseits und die sehr geringen Instandhaltungskosten auf der anderen Seite die Benutzung von Zahnkupplungen fordern, und zwar sowohl wegen ihrer Qualitäten als auch wegen ihres Preises. Um die vielfachen Vorteile der flexiblen Zahnkupplungen zu verstehen und zu schätzen, ist eine kurze Untersuchung der Funktionen, die sie in den meisten Fällen eifüllen, unbedingt erforderlich.

DIE FUNKTIONEN DER FLEXIBLEN VERBINDUNGEN IM ALLGEMEINEN

Die flexiblen Kupplungen werden für die Verbindung von Wellen benutzt. Sie übertragen das Drehmoment von der Antriebswelle auf die angetriebene Welle, gleichen gleichzeitig die Verlagerung aus und fangen die Axialbewegungen der angekoppelten Wellen auf.

Es ist eine bekannte Tatsache, dass eine perfekte Ausrichtung, die immer bei einer Maschinenmontage nur unter Schwierigkeiten zu erreichen, ist, noch schwieriger während des Betriebes beibehalten werden kann.

Die Risiken einer normalen oder zufälligen Ausrichtungsänderung der Achsen sind hauptsächlich zurückzuführen auf :

- Wärmeausdehnung (Dampfturbinen, Metallurgie-und Hüttenindustrien, chemische Industrien, etc.).
- Bodensenkungen (Minen, Fundamente).
- Deformierungen der Gestelle (Brückenkräne, Schiffe, etc.).
- Verschiebung der Abtriebswelle (Walzzylinder, Abrichtrollen, Spulen, etc.)
- Vibrationen, Verschleiss der Lager, etc.

Eine flexible Verbindung hat also drei Hauptfunktionen:

- a. Das Moment zwischen zwei Wellen ohne Geschwindigkeitsveränderung der Antriebswelle in Bezug auf die angetriebene Welle zu übertragen.
- b. Jede Art von Verlagerung zwischen den Wellen ausgleichen, ohne anormale Reaktionen oder Beanspruchungen bei den angekoppelten Apparaten hervorzurufen und ohne nennenswerten Leistungsverlust.
- c. Die Axialbewegungen der angekoppelten Wellen ausgleichen, wobei verhindert werden muss, dass eine der Wellen einen Druck auf die andere ausübt, und jede einzelne muss sich in ihrer normalen Axialposition drehen können.

Genauso wie die flexible Verbindung diese drei Funktionen ausüben muss - schon aufgeführte wesentliche Grundlagen-, so muss sie auch drei charakteristische Verlagerungsarten ausgleichen:

1. reine Ausrichtwinkelfehler der einen oder anderen Welle, oder beider Wellen
2. reine Radialausrichtfehler der beiden Wellen
3. Kombinierte Winkel- Radialausrichtfehler zwischen beiden Wellen.

DIE FLEXIBLEN ZAHNKUPPLUNGEN ERFÜLLEN DIESE BEDINGUNGEN

Bei diesen Zahnkupplungen mit bogenförmiger Verzahnung verteilt sich die Last auf einer Seitenfläche des Zahns, weit entfernt von den Verzahnungsenden.

Eine äussere bogenförmige Verzahnung verhält sich wie ein schwingender Gleiter und kann frei gleiten, ohne Spuren zu hinterlassen oder sich in die innere Verzahnung einzuarbeiten.

Auf diese Art und Weise kann das Schmiermittel seine Aufgabe erfüllen und der obere Teil der sphärischen Nabenverzahnung ermöglicht die Zentrierung in der Zahnücke der Innenverzahnung des Gehäuses.

Die flexiblen Zahnkupplungen bieten grosse Vorteile: sie sind robust, vollständig aus Stahl, haben keine elastischen, verschleissanfälligen Elemente und ermöglichen es, mit kleinen Abmessungen grosse Leistungen und grosse Drehgeschwindigkeiten zu übertragen.

Sie werden heutzutage in den verschiedensten Industriezweigen benutzt, wo sie ihre Überlegenheit beweisen, indem sie die folgenden Forderungen erfüllen:

- Leistungen: Harter Dauerbetrieb im Bergbau, in Stahlwerken, Tanker und anderen Schiffen grosser Tonnage, etc.
- Geschwindigkeiten: Speisepumpen in Wärmekraftwerken, Kreisverdichter und Turbinen, Prüfbänke bei der Luftfahrt, etc.
- Sicherheit: Brückenkräne in Hüttenwerken Lastenaufzüge oder Lifte in Minen und bei Flugzeugträgern, rollendes Transportmaterial, etc.

MOMENTÜBERTRAGUNGSFÄHIGKEIT DER ZAHNKUPPLUNGEN

Wenn die Kupplung perfekt ausgerichtet ist, d.h. also wenn die Verzahnungen gleichachsig sind, tragen alle Zähne gleichmässig dazu bei, die Last zu übertragen, und das übertragbare Moment ist grösser als das, welches die Welle übertragen kann.

Mit einer bestimmten Winkelverlagerung ΔC tragen nicht alle Zähne gleichmässig dazu bei, die Last zu übertragen und einige machen es unter umso ungünstigeren Bedingungen, je grösser die Verlagerung ist.

Die Momentübertragungsfähigkeit nimmt somit bei steigender Verlagerung rapide ab.

Das Moment der Kupplungen wurde kalkuliert:

a) Für einen Verlagerungswinkel geringer als $\Delta C = 0^\circ 30'$.

Man hat festgestellt, dass die zufälligen oder funktionellen Deformationen der Konstruktion und Fundamente, Bodensenkungen, etc., auf lange Sicht einen Ausrichtfehler verursachen können von etwa $0^\circ 30'$ (vor allen Dingen, wenn die Wartung der Anlage vernachlässigt wird). Basierend auf dieser Feststellung, kann man eine Statistikkurve der Momentabnahme bei steigender Verlagerung aufzeichnen.

Man sieht z. B., dass -wenn die Verzahnung mit einer zufälligen Verlagerung von 1° arbeitet- ihre Momentübertragungsfähigkeit nicht grösser ist als 45% derjenigen, die sie bei einer guten Ausrichtung hat (maximales Normalmoment).

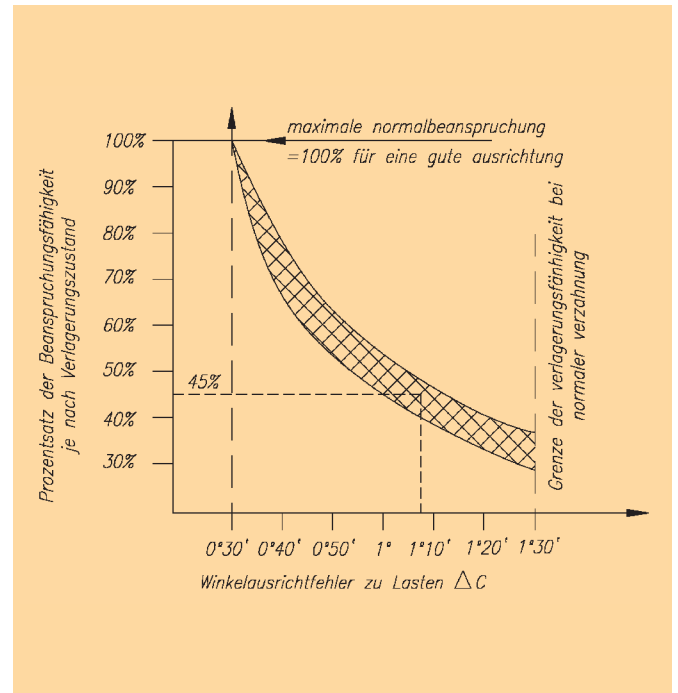
Die Lebensdauer der Verzahnung ändert sich im Verhältnis zwischen dem zulässigen Moment und dem angewandten Moment. Wenn beim vorhergehenden Beispiel die Verzahnung das maximale Normalmoment bei einer Verlagerung von 1° aufnehmen soll, dann wird sie sich 11 mal schneller abnutzen als bei einer korrekten Ausrichtung. Unter nochmaligem Hinweis darauf, dass der für die Berechnung angewandte Wert $A C = 0^\circ 30'$ EINE SICHERHEITSGRENZE FÜR UNVORHERGESEHENES darstellt, empfehlen wir dem Benutzer, sich an die Notwendigkeit, die Zahnkupplungen mit grösster Sorgfalt auszurichten, zu halten, wenn er eine lange Lebensdauer derselben wünscht und diese Ausrichtung muss umso

sorgfältiger geschehen, je grösser die Drehgeschwindigkeit ist. Auf der anderen Seite ist dieses Gesetz für jede Art von Verbindung allgemeingültig, Ausserdem muss die Ausrichtung in bestimmten Zeitabständen kontrolliert werden.

b) Für einen Betriebsfaktor $cs=1$.

Für eine Anwendung und bei gegebenen Arbeitsbedingungen, wird der Auswahlfaktor folgendermassen bestimmt:

- der Stossgrad des angetriebenen Aggregates I - II order III.
- die Art des Antriebsaggregats (Kategorie A, B order C) und die tägliche Betriebszeit.



Stossgrad	Angetriebenes Aggregat
I Betrieb fast ohne Stoss.	Lichtmaschinen im Dauerlauf - Gebläse im Dauerlauf - normale Ventilatoren - Kreiselpumpen im Dauerlauf - Kreisverdichter- Band - oder Kettenförderer- leichte Lastenaufzüge - Rührer und Mischer von homogenen Flüssigkeiten.
II Betrieb mit leichten Stossen.	Lichtmaschinen und Gebläse mit häufigen Anläufen - Grubenlüfter - Kreiselpumpen für heisse Öle, Kohlenwasserstoffe, etc, Zahnpumpen - Schaufelverdichter schwere Lastenaufzüge - Aufwickeltrommeln bei Kränen - schwere Hebebühnen - Brückenkräne in Maschinen - oder Montagehallen - Rührer und Mischer von nicht homogenen Flüssigkeiten - Pulpenmühlen - siebe Rollentische mit eingebauten Zahnrädern Schiffsschraubenwellen.
III Betrieb mit bedeutenden Stössen oder zyklischen Unregelmässigkeiten.	Schwere Schleudermaschinen - Alternativgeräte: Kompressoren und Kolbenpumpen- Kreiselpumpen für Zinkspatabscheider - Schaufel und mechanische Bagger - Zugmaschinen - Brückenkräne von Stahlwerken - Kautschukmühlen - Kugelmühlen und Hammermühlen - Ziehpressen - Scheren - Walzmaschinen - Kalander.

Antriebsaggregat	Stossgrad angetriebenes Aggregat	Dauerlauf in Stunden		
		3	8 a 10	24
A Elektromotor Turbine	I	1	1,25	1,5
	II	1,25	1,5	1,75
	III	1,75	2,25	2,5
B Geräte mit Getriebe	I	1,25	1,5	2
	II	1,5	2	2,25
	III	2,25	2,5	3
C Kolben- motoren	I	1,5	2	2,25
	II	2	2,25	2,5
	III	2,5	3	3,5

Wenn die Art des Antriebs-oder der angetriebenen Maschine nicht in der Tabelle aufgeführt ist, gehen Sie analog vor.

Beispiel: Verbindung zwischen mechanischem Regelgetriebe (B) und Rührer für homogene Flüssigkeiten (I). Betrieb 24 Stunden täglich $K = 2$.

Die in den Tabellen der verschiedenen Kupplungen aufgeführten Übertragungsmomente wurden folgendermassen berechnet:

- Verlagerung der Zähne geringer als $0^{\circ}30'$.
- Betriebsfaktor.
- Betriebsdauer 50.000 Stunden.

das Wahlmoment wird folgendermassen errechnet:

$$Cs = Cnx K$$

wobei Cn = maximale Beanspruchung bei normalem Betrieb zu übertragen in da N.m.

und K = Auswahlfaktor der Maschine gemäss Tabelle.

- Die Kupplung wählen, die die zu übertragende Beanspruchung höher oder gleich Cs hat.
- Überprüfen, ob die Verbindung im Hinblick auf die Achsendurchmesser und die zu übertragende Geschwindigkeit geeignet ist. Für höhere als in den Tabellen aufgeführte Geschwindigkeiten wird ein dynamisches Auswuchten erforderlich.
- Für eine Betriebsdauer von 24 Stunden und wenn die Arbeitsbedingungen unbekannt sind, muss mit einem Mindestfaktor $K = 2,5$ gerechnet werden.

c) Für eine Betriebsdauer von 50.000 Stunden

Diese Dauer ist immer ausreichend und in einigen Fällen kann sie sogar überhöht sein; aber in der Praxis interessiert es nicht sie vom finanziellen Standpunkt aus zu reduzieren, da der Wellendurchmesser im Allgemeinen die Verbindungsart bestimmt.

BESTIMMUNG DER ZAHNKUPPLUNGEN

1. Verbindung zwischen Wellen und verzahnter Nabe.

Kann geschehen:

- verkeilt oder genutet.
- warm aufgeschumpft ohne Keil.

Ob es sich nun um die verkeilte Verbindung handelt, deren Nute die Nabe schwächt und unter Belastung bedeutende lokale Spannungen erzeugt oder um die Schrumpfmontage ohne Keil, die in die ganze Masse der Nabe bedeutende Zugspannungen einführt, in jedem Fall muss der Verbindung Welle-Nabe grosse Aufmerksamkeit gewidmet werden, wenn sie schlecht berechnet oder ausgeführt ist, dann kann sie einen schwachen Punkt aufweisen, da die flexiblen Zahnkupplungen -von Gesichtspunkt der Verzahnung her -eine Momentübertragungsfähigkeit haben die im Allgemeinen höher liegt als die der Achse mit maximalem Durchmesser, die sie aufnehmen können.

Zum Aufstecken der Naben in den Keilwellen empfehlen wir folgende Passungstoleranzen.

2. Verbindung zwischen den Gehäusehälften.

Diese Verbindung muss sich vor allem den folgenden Kräften widersetzen:

- den radialen Trennbeanspruchungen.

Dank der Passung zwischen den Nuten der beiden Gehäusehälften und einem Ring, der in beide hineinpasst. Die Zentriergenauigkeit wird durch die Toleranz $H6/h6$ garantiert.

WELLEN-DURCHMESSER		TOLERANZEN			
Von	Bis	Nabe	Achse	Nabe	Achse
-	100	H7	m6	H7	m6
100	200	H7	n6	J7	m6
200	500	H7	p6	K7	m6

Ihre Wirksamkeit befreit die Befestigungsschrauben von jeglicher Scherbeanspruchung, die von äusseren radialen Trennbeanspruchungen herrührt.

- den axialen Trennbeanspruchungen.

Dank berechneter Schrauben unter Berücksichtigungen eines grossen Sicherheitsfaktors. Mit einem normalen Druck der Schrauben ist die durch die einfache Reibung der Flansche untereinander übertragfähige Tangentialkraft ausreichend, um das normale Moment zu übertragen. Die Bolzen arbeiten also nicht unter Scherbelastung durch Aktion der Tangentialkraft auf Grund des zu übertragenden Moments.

Gezahnte Unterlegscheiben oder Sicherheitsunterlegscheiben für die grossen Verbindungen sind sowohl in der Mutter vorgesehen wie auch am Kopf einer jeden Befestigungsschraube. Somit wird garantiert, dass der Schraubendruck bei jedweder Anwendung, Stossfrequenz oder Vibrationsintensität erhalten bleibt.

Die Schrauben sind geschliffen und in den Flanschlöchern mit gut kontrollierten Passung montiert. Dies bedeutet eine grosse Sicherheit und Leichtigkeit im Hinblick auf die Austauschbarkeit der beiden flexiblen Hälften.

3. Verbindung zwischen gezahnter Nabe und gezahnter Gehäusehälfte.

Geschieht durch die Verzahnung.

Von unseren Zahnkupplungen, die nicht für grosse Verlagerungen vorgesehen sind und deren Verzahnungen mit vorbehandeltem Material bis zur definitiven Härte geschnitten sind, kann man schematisch sagen, dass:

- Die innere Verzahnung des Gehäuses ist in Bezug auf Verschleiss und Bruch grösser dimensioniert als die äussere Verzahnung der Nabe.
- Die äussere Verzahnung der Nabe ist mehr in Bezug auf Verschleiss als in Bezug auf Bruch berechnet worden.

Es ist also die Bruchfestigkeit der äusseren Verzahnung der Nabe, die die Momentübertragungsfähigkeit der Verbindung bedingt.

4. Erläuterungen bezüglich des Begriffs Drehmoment.

- maximales Normalmoment
- Spitzenmoment
- zufälliges Moment.

Maximales Normalmoment: C_n ist das in den Charakteristiktabelle angegebene Moment. Es wurde mit den vorher angegebenen Daten errechnet.

Für eine bestimmte Anwendung wird aus der Leistungsaufnahme bei Normalbetrieb gefolgert.

Maximales Spitzenmoment: $C_p = 1,5 C_n$.

Für eine bestimmte Anwendung wird aus der normalerweise über einen kurzen Zeitraum übertragenen Leistung gefolgert, in bestimmten Fällen wie:

- Motorstart
- Spitzenlast beim Walzen
- Scheroperation, etc.

Zufälliges Kritisches Moment: $C_a = 2 C_n$.

Für eine bestimmte Anwendung wird aus der unmittelbar übertragenen Leistung gefolgert, Z.B. die abrupte Blockierung einer Walzenstraße grosser Trägheit bei hoher Geschwindigkeit.

5. Beispiele für die Wahl von Zahnkupplungen.

- Verbindung zwischen Untersetzungsgetriebe und Stahlkonverter im Stahlwerk.

Achsendurchmesser 600 mm.

Maximales Normalmoment 110.000 da N.m.

Die tägliche Betriebsdauer kann auf nur einige Stunden geschätzt werden und liegt unter der Maximalbeanspruchung.

Verlagerungswinkel geringer als $0^\circ 30'$.

Betriebsfaktor 1

Arbeitsgrad sehr hart $K = 1,75$.

Korrigiertes Maximalmoment = $110.000 \times 1,75 = 192.500$ da Nm.

Zufälliges kritisches Moment = $110.000 \times 2 = 220.000$ da N.m
Zahnkupplungen Grösse 680 mit einem Nominalmoment von 210.000 da N.m.

- Verbindung zwischen Untersetzungsgetriebe und Riemenscheibe eines Bandbeschickers:

Motorleistung $P_m = 60$ Kw.

Geschwindigkeit der Riemenscheibe $n = 65$ U/min. Achse Riemenscheibe = 100 mm.

Achse Untersetzungsgetriebe = 135 mm.

Betriebsfaktor 1

Auswahlfaktor $K = 1,5$.

Wahlmoment = $(956 \times 60 / 65) \times 1,5 = 1.324$ da N m.

Auf Grund der Berechnung wird die Grösse 125 gewählt

Auf Grund der Achsen wird die Grösse 145 gewählter Hersteller Brugarolas, gewählte Fettart Aguilá

- Verbindung zwischen Untersetzungsgetriebe und Transmissionswelle eines Schlittens:

Motorleistung 9 PS.

Geschwindigkeit Transmissionswelle 60 U/min.

Achse Untersetzungsgetriebe 60 mm.

Transmissionswelle 65 mm.

Verlagerungswinkel 1° .

Betriebsfaktor 1

Wahlfaktor $K = 1,5$.

Faktor der Belastungsabnahme bei $10 = 45\%$

Maschinenmoment = $716,2 \times 9/60 = 108$ da N.m.

Wahlmoment = $108 \times 1,5 / 0,45 = 360$ da N.m.

Zahnkupplung Grösse 90 erlaubt bis zu 580 da N.m. und Achsen von 90 mm.

INSTANDHALTUNG UND SCHMIERUNG

Sobald die Kupplung in die Maschine eingebaut ist, das Schmiermittel in der in den Masstabellen angegebenen Menge einfüllen.

Das Schmiermittel der Kupplungen wird alle 2.500 bis 3.000 Betriebsstunden erneuert.

Fette für Temperaturen von -10°C bis $+80^\circ\text{C}$.

NATIONALE		AUSLÄNDISCHE	
Hersteller	Fettart	Hersteller	Fettart
Brugarolas	Aguila N°. 80 EP-00	Socrony mobil oil Co.	Mobiplex EP-0
Verkol, S.A.	Kalor Verkol EP-00		
Kraff	KEP-00	Klüber	KR29 BHD
Gabin Soprograsa, S.A.	MGL-00 Supergras 712 Ep-00	BP	BP Energ grease
Repesa	Repsol EP-0	Chevron	Chevron Dura-Lith Grease EP-0
GPM	GPM Lithium AV (EP-0)	Esso	PEN-0-LED EP 360
Cepsa	EP-024	Shell	Shell Simnia Grease 0
		Texaco	Texaco Multifak EP-0
		Aral	Aral Fett FDP-0

Bei höheren Temperaturen, bitte rückfragen.

In bestimmten Zeitabständen muss die Kupplung kontrolliert werden, wobei geprüft werden muss, ob sich die äusseren Gehäuse leicht axial verschieben lassen.

Falls sich die Gehäuse nicht verschieben, sollten die angekoppelten Elemente ausgerichtet und die Verbindung zentriert werden.