

## Servo aandrijvingen: bestaat de beste koppeling?

Bij servo aandrijvingen heeft de constructeur de keuze uit verschillende typen koppelingen: een spelingvrije klauwkoppeling, een staallamellenkoppeling of een metalen balgkoppeling. Dan ontstaat al snel de vraag: welk type koppeling is voor de desbetreffende toepassing de meest optimale? Nauwkeurige onderzoeken op de testbank bij een producent geven antwoord op deze vraag, die uiteindelijk ook van invloed zijn op de belastbaarheid, de nauwkeurigheid en op de levensduur van de gehele aandrijving.

Dipl.-Ing. Reiner Banemann & Dipl.-Ing. Johannes Deister, KTR Kupplungstechnik GmbH

**L**ange tijd waren de metalen balgen de staallamellenkoppeling de meest toegepaste koppelingen in de servotechniek. De constructeur en de gebruiker werden vooral overtuigd door de hoge radiale stijfheid. Dan blijkt ineens dat een te hoge torsiestijfheid in een aantal toepassingen niet noodzakelijk is om de meest nauwkeurige positionering te verkrijgen. Bovendien kunnen er ook problemen in de besturing kunnen ontstaan als gevolg van torsietrillingen. Gelijktijdig kwam naar voren dat elastische, spelingvrije klauwkoppelingen (afbeelding 1) een goed alternatief zijn voor de tot dusver toegepaste type koppelingen zelfs wanneer de aandrijving aan de meest nauwkeurige positionering opdrachten aan direct aangedreven CNC-assen van bewerkingsmachines moet voldoen.

### Elastische klauwkoppeling als standaard

Deze erkenning zette zich steeds meer door, waardoor dit type koppeling (door KTR ontwikkeld en daar de naam Rotex-GS heeft gekregen) inmiddels tot standaard is verheven in positioneer- en aandrijvingen van bewerkingsmachines. Daartoe hebben ook talrijke doorontwikkelingen, deels samen met klanten en producenten op het gebied van servomotoren, bijgedragen. En ook al moest er veelvuldig gebruik worden gemaakt van de nodige overtuigingskracht om de klanten van de



Afbeelding 1. Afbeelding 1. Elastische, spelingvrije klauwkoppelingen zijn intussen gestandaardiseerd in aandrijvingen van positioneerinrichtingen en bewerkingsmachines.

voordelen van een elastische koppeling te overtuigen, meestal werd deze inspanning met succes beloond en waren zowel de producent van de machine respectievelijk motor alsook de eindgebruiker tevreden met het eindresultaat.

### Alternatief: torsiestijve staallamellenkoppeling

Echter, de elastische, spelingvrije koppeling is niet altijd de meest optimale verbinding tussen twee assen in servo-aandrijvingen. Aan de hand van de technische eigenschappen respectievelijk specificaties van de koppeling en eenvoudige berekeningen is het mogelijk te verklaren voor welke toepassing deze koppelvorm geschikt is en wanneer het zinvol is voor een type koppeling met andere eigenschappen te kiezen. Dit is

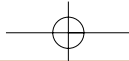


Afbeelding 2. De Radex-NC werd speciaal voor toepassing in servo aandrijvingen ontwikkeld.

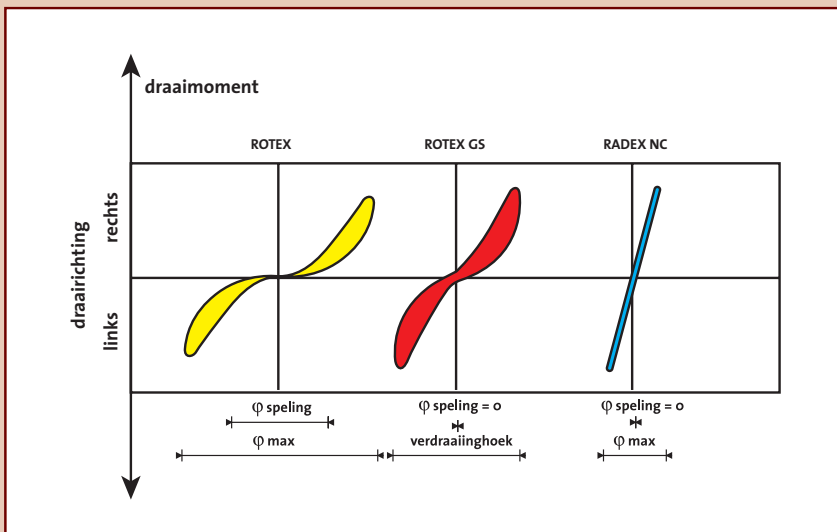
onder andere het geval wanneer een extreme torsiestijfheid of een hoge temperatuurbestendigheid is vereist. Voor deze toepassingen werd de Radex-NC, een torsiestijve staallamellenkoppeling (afbeelding 2), ontwikkeld. Deze servokoppeling bezit naast een hoge torsiestijfheid ook een gering massa-traagheidsmoment en een voor speloze assen geïntegreerde klemverbinding.

### Berekeningsvoorbeelden

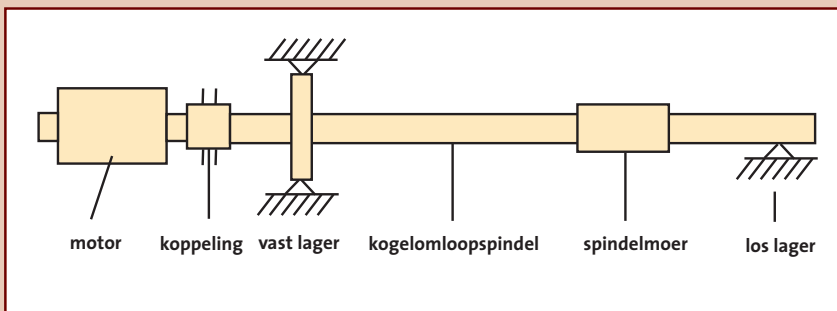
In de volgende berekeningsvoorbeelden worden voor drie verschillende typen koppelingen van KTR de toepasbaarheid op twee verschillende toepassingen onderzocht. Het gaat om de verbinding tussen servomotor en kogelomloopspindel, tussen servomotor en spelingvrije, respectievelijk spelingarme worm-



**marktfocus**



Afbeelding 3. Karakteristieken van de drie verschillende typen koppelingen.



Afbeelding 4. Schematische weergave van de aandrijving van een kogelomloopspindel.

Omschrijving	ROTEX®	ROTEX®-GS	RADEX®-NC
Type	elastische klauwkoppeling	spelingvrije, elastische klauwkoppeling	spelingvrije, torsiestijve staallamellenkoppeling
specifieke eigenschappen	elastisch speling aanwezig gebolde tandkrans omkeerspel trillingdempend	spelingvrij verhoogde torsiestijfheid door rechte tandflanken geen omkeerspel geen elastische demping	spelingvrij hoge torsiestijfheid geen omkeerspel

Tabel 1. Eigenschappen van de drie verschillende typen koppelingen.

wielkasten. Beide toepassingen zijn typerend voor positioneeraandrijvingen en voor aandrijvingen in bewerkingsmachines. In beide toepassingen wordt als voorwaarde voor een nauwkeurige positionering een koppeling zonder omkeerspel gevraagd. Daarmee wordt dus het toepassen van een standaard Rotex koppeling bij voorbaat uitgesloten,

omdat in deze koppeling omkeerspel aanwezig is. De Rotex (die de basis vormde voor de later ontwikkelde Rotex-GS en die zich onderscheidt door de bolle in plaats van rechte tandflanken) wordt vooral toegepast in de algemene machinebouw. Typische toepassingen zijn walsaandrijvingen, kraanaandrijvingen, en aandrijvingen van hydraulische pompen. Dus aandrijvingen met hoge

draaimomenten, waarbij uitlijnfouten opgevangen en trillingen gedempt moeten worden.

**Belangrijk verschil: de torsiestijfheid**

Voor het theoretische gedeelte worden daarom alleen de Rotex-GS en de Radex-NC met elkaar vergeleken. Beide koppelingen onderscheiden zich door het feit dat ze spelingvrij zijn; het belangrijkste verschil tussen beide typen is torsiestijfheid (zie afbeelding 3). Daarmee wordt de invloed van het verschil in torsiestijfheid voor beide aandrijfsystemen weergegeven (zie tabel 1).

**Eerste rekenvoorbeeld**

In afbeelding 4 wordt de situatie van de bij het rekenvoorbeeld voor de direct aangedreven kogelomloopspindel behorende inbouwsituatie weergegeven. De afbeelding laat zien dat uit de rangschikking van de afzonderlijke componenten een serie-schakeling ontstaat. Daarmee is voor de totale stijfheid, het zwakste component van doorslaggevend belang. Gegeven zijn de volgende waarden (de waarden zijn overgenomen van een voorbeeld uit de praktijk):

Torsiestijfheid motor:	90.000 Nm/rad
Torsiestijfheid Rotex-GS 38 98 Sh A GS:	7160 Nm/rad
Torsiestijfheid Radex-NC 35 DK:	57.000 Nm/rad
Kogelomloopspindel:	∅ 32 x 10
Kerndiameter (dK):	28,5 mm
Spoed:	10 mm
Lengte van de spindel:	800 mm
Axiale stijfheid van vast lager (Rlager):	750 N/mm
Axiale stijfheid spindelmoer (Rmoer):	1060 N/mm

Uit deze waarden en de berekende axiale stijfheid van de kogelomloopspindel volgt een totale stijfheid van het lineaire systeem van 132 N/μm. Deze waarde wordt via de spoed van de spindel op de torsiestijfheid van de aandrijfjas omgerekend, om direct te kunnen vergelijken met de twee verschillende typen koppelingen:

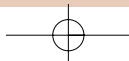
$$R_{\text{lineair}} 132 \text{ N}/\mu\text{m} = C_{\text{lineair}} 334 \text{ Nm}/\text{rad}$$

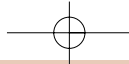
Voor de vergelijking van de twee typen koppelingen Rotex-GS en Radex-NC rekent men met:

$$1 / C_{\text{tot}} = 1 / C_{\text{motor}} + 1 / C_{\text{kopp}} + 1 / C_{\text{lineair}}$$

**Bijna geen verschil in stijfheid**

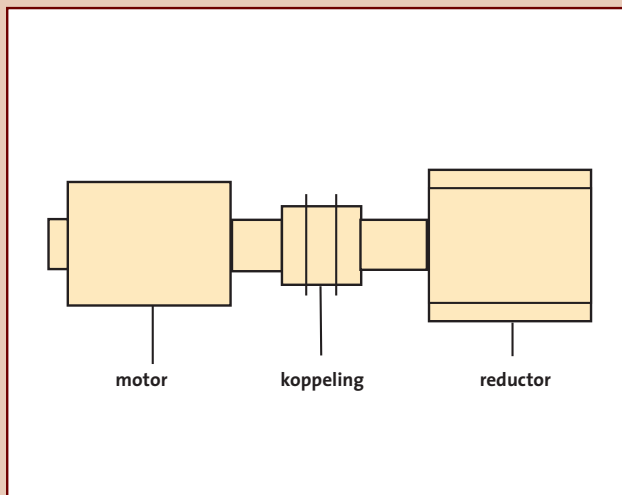
De uitkomst van de berekening: met de elastische Rotex-GS is er sprake van een





## marktfocus

# Mechanische overbrengingen



Afbeelding 5. Schematische weergave van de aandrijving voor het tweede rekenvoorbeeld.

	ROTEX®-GS 24 64 Sh D-GS			RADEX®-NC 25 DK		
Torsiestijfheid koppeling	2.078 Nm/rad			27.000 Nm/rad		
Torsiestijfheid overbrenging	60.000 Nm/rad			60.000 Nm/rad		
Overbrengingsverhouding	3	8	15	3	8	15
Torsiestijfheid van de koppeling omgerekend naar de uitgaande as (Nm/rad)	18.702	132.992	467.550	243.000	1.728.000	6.075.000
Stijfheid van koppeling en overbrenging samen (Nm/rad)	14.267	41.422	53.302	48.119	57.987	59.413
Verlies t.o.v overbrenging zonder koppeling	76%	31%	11%	20%	3%	1%

Tabel 2. Vergelijking van de typen koppelingen en de resultaten van de berekening met verschillende overbrengingsverhoudingen.

totale stijfheid van  $C_{tot} = 317$  Nm/rad. Met de torsiestijve Radex-NC is er sprake van een totale stijfheid van  $C_{tot} = 319$  Nm/rad. Dat betekent: hoewel de stijfheid van de Radex-NC circa 800 procent hoger is dan die van de Rotex-GS, is het verschil in totale stijfheid slechts 0,6 procent. Zelfs wanneer zowel de afmetingen van de spindel (diameter, lengte en spoed) en de rangschikking van lagers invloed uitoefenen op de totale stijfheid, toont deze vergelijking aan, dat de Rotex-GS, ook als niet torsiestijve koppeling, zeer geschikt is voor deze toepassing.

### Tweede rekenvoorbeeld

Ook in het voorbeeld voor een aandrijving met een spelingsvrije wormwielkast is er sprake van een serieschakeling van afzonderlijke componenten, zoals afbeelding 5 laat zien. Men moet in ogenschouw nemen dat voor de gebruiker de

totale stijfheid aan de gedreven zijde van de overbrenging van belang is. Deze waarde wordt meestal in de catalogus aangegeven. De stijfheid van de koppeling moet vanwege de overbrenging van de aandrijfszijde naar de gedreven zijde worden omgerekend. Hierbij is de invloed van de overbrengingsverhouding zelf van doorslaggevend belang, omdat deze kwadratisch in de vergelijking is opgenomen. Deze omgerekende stijfheid wordt in serie bij de stijfheid van de overbrenging opgeteld om de totale stijfheid te berekenen. Ook hier de technische uitgangswaarden:

Torsiestijfheid Rotex-GS 24 64 Sh D GS:	2.078 Nm/rad
Torsiestijfheid Radex-NC 25 DK:	27.000 Nm/rad
Torsiestijfheid overbrenging:	60.0000 Nm/rad
Overbrengingsverhouding:	3 - 15
Rekenvoorbeeld	
met overbrengingsverhouding:	$i = 8$

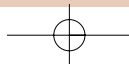
Vervolgens worden de waarden naar de gedreven zijde van de wormwielkast omgerekend (volgens de vergelijking  $C_{aandr.} = i^2 \times C_{gedr.}$ ). Wordt de aandrijving voorzien van een elastische Rotex-GS, dan volgt daaruit voor  $C_{gedr.kopp.}$  een waarde van 132.992 Nm/rad. Met de torsiestijve staalamellenkoppeling Radex-NC bedraagt de waarde voor  $C_{gedr.kopp.}$  1.728.000 Nm/rad. De berekening van de totale stijfheid volgens de vergelijking:

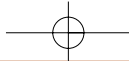
$$1 / C_{tot.} = 1 / C_{gedr.kopp.} + 1 / C_{wormwielkast}$$

heeft het volgende resultaat:

$$\begin{aligned} \text{a met Rotex-GS} & C_{tot.} = 41.422 \text{ Nm/rad} \\ \text{b met Radex-NC} & C_{tot.} = 57.987 \text{ Nm/rad} \end{aligned}$$

Hieruit volgt: wanneer de Rotex-GS wordt toegepast is er sprake van een verlies aan totale stijfheid in verhouding tot de stijfheid van de wormwielkast slechts 31 procent, bij de Radex-NC is dat 3 procent. In tabel 2 zijn nog meer berekeningen met verschillende overbrengingsverhoudingen weergegeven. Uit deze tabel valt af te lezen dat de geringere draaistijfheid van de Rotex-GS met name bij kleinere overbrengingsverhoudingen van de wormwielkast bepalend is voor de totale stijfheid van de aandrijving. Bij deze toepassingen laat de Radex-NC met haar hogere torsiestijfheid duidelijk betere resultaten zien. Bij grotere overbrengingsverhoudingen wordt het verlies aan torsiestijfheid weer dusdanig geringer, ook wanneer er





## **marktfocus**

---

een Rotex-GS wordt toegepast, zodat bij een overbrengingsverhouding van  $i=8$  ook dit type koppeling weer toegepast kan worden, wat in diverse praktijkvoorbeelden meermaals bewezen is.

### ***De toepassing bepaalt***

Deze praktijkvoorbeelden van de ingenieurs van KTR laten duidelijk zien dat er in principe geen goede of slechte typen

koppelingen bestaan. Ieder type koppeling heeft individuele eigenschappen waardoor ze voor bepaalde toepassingen meer geschikt zijn dan voor andere. Van dit standpunt uit gezien zou een constructeur zich niet van tevoren blind moeten staren op een bepaald type koppeling, maar zou hij eigenlijk ook de alternatieven door moeten rekenen of door laten rekenen.

 [www.ktr.com](http://www.ktr.com)  
 [ktr-nl@ktr.com](mailto:ktr-nl@ktr.com)  
 +31 (0)74 250 55 26

