

## Torsionssteifigkeit Balgkupplung

Schäfer, G.

*Für eine genaue Mehrkörpersimulation von Antriebssträngen in denen Kupplungen verbaut sind, ist u. a. die Kenntnis der Kupplungstorsionssteifigkeiten unerlässlich. Speziell im Bereich kleiner Metallbalgkupplungen, wie sie für die Sensorankopplung genutzt werden, sind bei vergleichbaren Baugrößen zwischen den verschiedenen Anbietern deutliche Unterschiede in den Kennwerten zu finden. Dies ist der Ausgangspunkt für experimentelle und numerische Untersuchungen.*



*Torsional stiffness is a key-parameter for multi body simulation of drive trains. The given values, especially for small couplings, in the catalogs of different suppliers are very unequal for the same design size. That's the starting point for experimental and numerical investigations.*

### Einleitung

Metallbalgkupplungen, als Elemente der Antriebstechnik, dienen der Übertragung von Drehmomenten und Drehbewegungen zwischen zwei Wellen. Gemäß der Klassifizierung nach VDI 2240 [1] gehören sie zu den nichtschaltbaren, ausgleichenden, drehsteifen Kupplungen. An dieser Stelle könnte der Beitrag auch schon kurz zum Ende kommen, aber natürlich haben auch drehsteife Kupplungen eine endliche Torsionssteifigkeit. Speziell bei der Auslegung hochdynamischer Antriebe gehört die Mehrkörpersimulation (MKS) oder auch eine klassische Feder-Masse-Kopplung zu den üblichen Werkzeugen. Dabei ist die Torsionssteifigkeit einer solchen Balgkupplung ein ganz wesentlicher Parameter, egal ob die Kupplung zur Drehmomentübertragung im Leistungsstrang oder „einfach nur“ zur Drehbewegungsübertragung an Sensoren dient. Fehlerhafte Steifigkeitswerte würden auch im zweiten Fall zur falschen Reglerauslegung, mit der Folge einer Instabilität, führen. Die vorgenannten Gründe machen deutlich, wie wichtig verlässliche Angaben zur Torsionssteifigkeit von Kupplungen sind. In DIN 740-2 [2] findet sich dazu aber lediglich der klassische mechanische Ansatz

$$C_T = \frac{\partial T}{\partial \varphi} \quad (1)$$

sowie der Hinweis, dass zwischen statischer und dynamischer Torsionssteifigkeit zu unterscheiden ist. Dies ist besonders wichtig bei gummielastischen Kupplungen. Bei Kupplungen mit metallischem elastischem Bereich, wie es hier der Fall ist, wirken

sich lediglich die vorhandenen Massenträgheiten signifikant darauf aus. Üblicherweise wird daher bei den Metallbalgkupplungen, deren Metallbalg häufig aus Edelstahl (1.4571) ausgeführt wird, für die Flanschenden Aluminium verwendet.

Trotz der hohen Bedeutung der Kupplungssteifigkeit fanden sich bei einer Literaturrecherche keine schlüssigen Ansätze für die Berechnung der Torsionssteifigkeit des charakteristischen Wellenbalges. Neben der Anwendung in der Antriebstechnik, sind diese Wellenbälge sehr verbreitet in der Verfahrenstechnik und allgemein im Rohrleitungsbau. Dort ist aber lediglich das Ausgleichsverhalten in axialer, lateraler und (biege-)winkeltiger Richtung entscheidend, was auch in den antriebstechnischen Anwendungen zählt. Die Informationsdichte zu den betreffenden Kennwerten und Berechnungsansätzen inklusive Festigkeitsbetrachtungen ist in der Literatur, z.B. /3/, dazu auch entsprechend hoch.

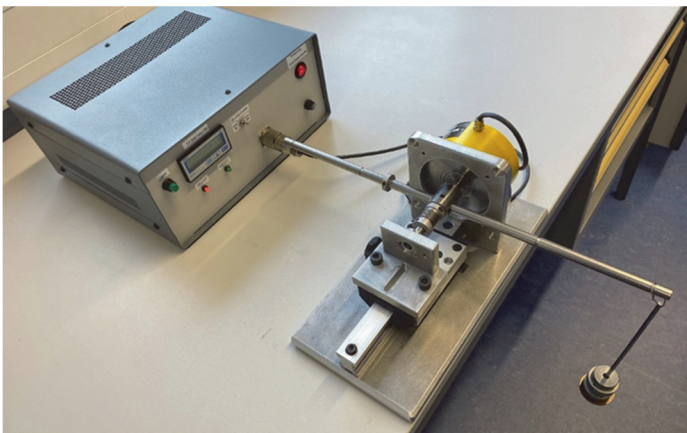
### Fragestellung

Aufgrund der teilweise mangelnden Informationslage zu Berechnungsansätzen für die Torsionssteifigkeit von Wellbälgen und den andererseits stark streuenden Herstellerangaben, wurden am IMW im Rahmen einer Forschungsarbeit /4/ u.a. numerische Untersuchungen zu dieser Fragestellung unternommen. Als Beispiel soll hier eine Metallbalgkupplung mit folgenden Kenndaten betrachtet werden:

Balgaußendurchmesser 19 mm, Balginnendurchmesser 12 mm,

Kupplungslänge 29 mm, Balgwerkstoff Edelstahl (1.4571)

Betrachtet man die verfügbaren Herstellerangaben, so schwanken die Torsionssteifigkeiten zwischen 140 und 750 Nm/rad. Die um mehr als den Faktor 5 variierenden Kennwerte für die vergleichbare Baugröße, lassen eine sinnvolle dynamische Auslegung eines Antriebsstrangs nicht zu.

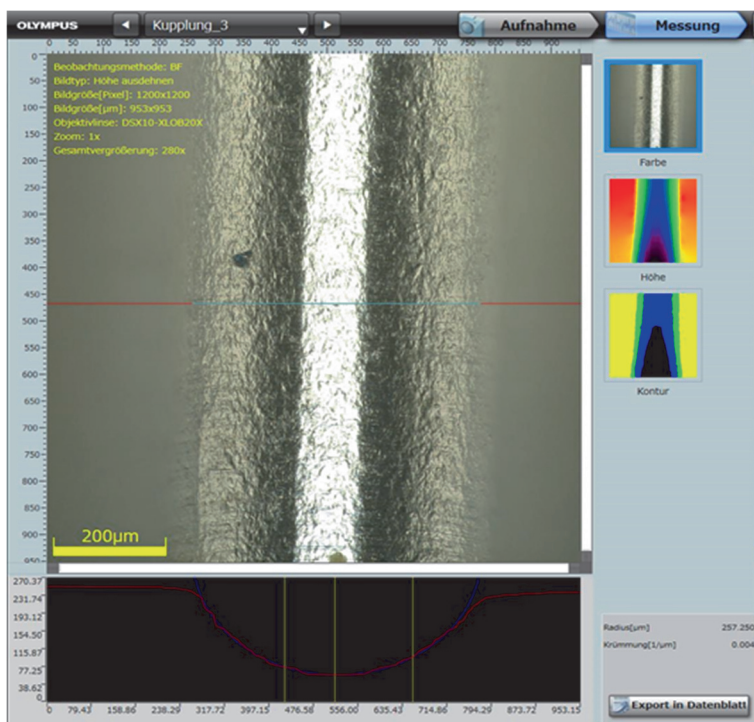


**Abbildung 1:** Messaufbau zur experimentellen Bestimmung der Torsionssteifigkeit einer Kupplung

Der Kleinstwert von 140 Nm/rad konnte mit dem in Abbildung 1 zu sehenden Prüfaufbau nachvollzogen werden. Des Weiteren konnten damit vergleichbare Steifigkeiten auch für die anderen Herstellermuster ermittelt werden. Damit bleibt die Frage nach den ca. 5-fachen Angaben offen. Für die Klärung wurde ein numerischer Ansatz gewählt.

## Numerische Untersuchungen

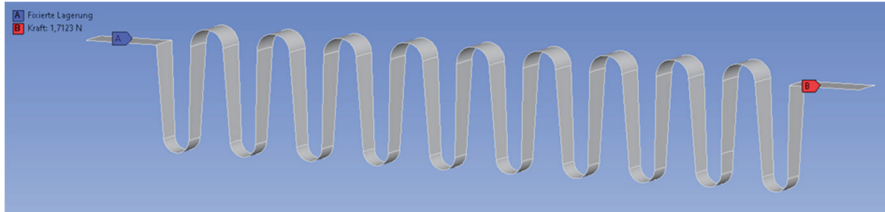
Für die numerischen Untersuchungen musste zunächst ein passendes Modell erstellt werden. Dazu waren, neben den zuvor genannten Hauptabmessungen und der auszählbaren Wellenzahl, weitere Geometriedetails wie Rundungsradien in der Wellenstruktur an der Kupplung zu messen. Für die Messung der Radien wurde das am Institut vorhandene Olympus Messmikroskop genutzt, siehe Abbildung 2.



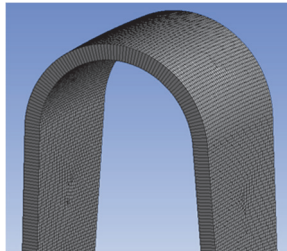
**Abbildung 2:** Unterer äußerer Balgkrümmungsradius

Die Balgwanddicke konnte auf Nachfrage vom Hersteller mit 0,1 mm geklärt werden. Der Balg wurde daher als Schalenmodell aufgebaut, was den numerischen Aufwand gegenüber einem Volumenmodell bereits reduziert. Eine Vergleichsrechnung mit einem Volumenmodell konnte übereinstimmend durchgeführt werden. Für die

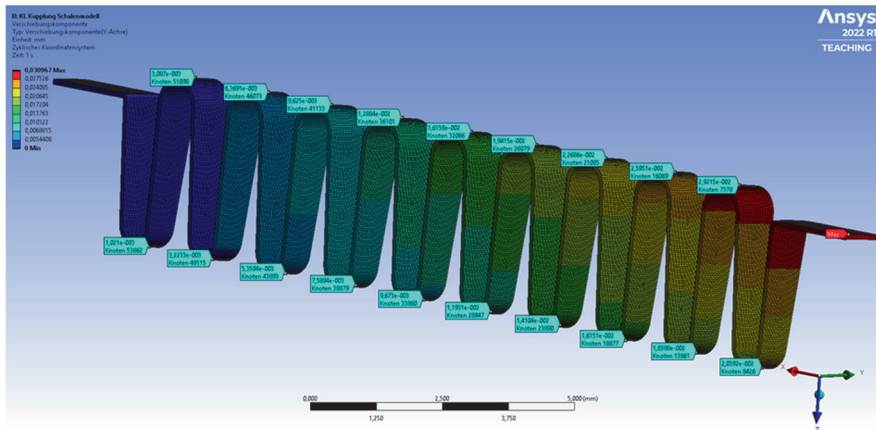
weitere Effizienzsteigerung in der Berechnung wurde ein Sektormodell mit zyklischer Symmetrie aufgebaut, siehe Abbildung 3, bei dem eine Elementgröße von 0,033 mm verwendet wurde, siehe Abbildung 4, so dass das Blech mit drei Elementlagen abgebildet ist. Auf das Sektormodell wurde eine Umfangslast von 1,7123 N aufgebracht, was einem Drehmoment von 1 Nm entspricht.



**Abbildung 3:** 1/64-Sektormodell mit zyklischer Symmetrie und Lastrandbedingungen



**Abbildung 4:** Modellvernetzungsdetail Wellenkopf mit Elementgröße 0,033 mm



**Abbildung 5:** Verschiebungen in Umfangsrichtung bei 1 Nm Torsionslast, Maximalwert 0,031 mm auf einem Durchmesser von 18,35 mm

Auf Basis von Gleichung 1 kann damit eine Torsionssteifigkeit von 296 Nm/rad berechnet werden. Vergleicht man diese mit der gemessenen Herstellerangabe von 140 Nm/rad, so bleiben Fragen offen, ebenso beim Vergleich mit den weiteren Katalogangaben von 700 und 750 Nm/rad. Eine nahe bei 300 Nm/rad liegende Kennwertangabe für diese Baugröße konnte in Herstellerangaben nicht gefunden werden. Da eine am realen Objekt durchgeführte Messung prinzipiell hohes Vertrauen genießt, wurde der Messaufbau nochmals unter die Lupe genommen. Dies macht vor dem Hintergrund der umformtechnischen Herstellung der Balgstruktur soweit Sinn, dass etwaige Wanddickenveränderungen durch den Umformprozess in der numerischen Simulation wegen mangelnder lokaler Dickeninformationen nicht berücksichtigt sind. Zu diesem Zeitpunkt der Untersuchung gibt es also auf beiden Wegen noch Unschärfen. Für den Einfluss des Prüfaufbaus wurde daher die Idee einer Referenzmessung eines analytisch einfach zu bestimmenden Kupplungsdummys geboren.

### Einfluss des Prüfaufbaus

Die bisherige Annahme bei der experimentellen Bestimmung der Torsionssteifigkeit geht von einer unendlichen Steifigkeit des Prüfaufbaus aus. Stellt man dies in Frage, so ergibt sich aus der zu messenden Kupplung und dem Prüfaufbau eine Reihenschaltung von Torsionsfedern, siehe Gleichung 2. Für die Referenzmessung wurde nun ein Kupplungsdummy als Vollwelle mit der Kupplungshüllgeometrie erzeugt. Die Torsionssteifigkeit dieses Vollwellenabschnitts kann analytisch zu 46.500 Nm/rad berechnet werden. Die mit diesem Dummy in dem Messaufbau aus Abbildung 1 durchgeführte Messung ergab eine gemessene Torsionssteifigkeit von 1145,92 Nm/rad.

$$\frac{1}{C_{Mess}} = \frac{1}{C_{Aufbau}} + \frac{1}{C_{Kupplung}} \quad (2)$$

Aus der Messung mit Einbau eines bekannten Dummys, anstelle der zu messenden Kupplung ( $C_{Kupplung} = C_{Dummy}$ ), kann die Torsionssteifigkeit des Messaufbaus aus Abbildung 1 nach Gleichung 3 berechnet werden.

$$C_{Aufbau} = \frac{1}{\frac{1}{C_{Mess}} - \frac{1}{C_{Dummy}}} \quad (3)$$

Setzt man die beiden Daten (Referenzmessung (1.145,92 Nm/rad), Vollwellendummy (46.500,61 Nm/rad)) in Gleichung 3 ein, so erhält man für den Messaufbau eine Torsionssteifigkeit von  $C_{Aufbau} = 1174,87$  Nm/rad. Mit dieser Kenntnis kann Gleichung 2 nach  $C_{Kupplung}$  wie folgt aufgelöst werden:

$$C_{Kupplung} = \frac{1}{\frac{1}{C_{Mess}} - \frac{1}{C_{Aufbau}}} \quad (4)$$

Für die bislang an der Kupplung gemessene Torsionssteifigkeit von  $C_{Mess} = 140 \text{ Nm/rad}$  kann damit die tatsächliche Torsionssteifigkeit der Kupplung zu  $C_{Kupplung} = 158,94 \text{ Nm/rad}$  berechnet werden. Für die weiterhin noch offene Diskrepanz von ca. 160 Nm/rad zu den numerischen 300 Nm/rad müssten weitere Untersuchungen der Wellbalggestalt durchgeführt werden, es könnten auch noch ein paar weitere Referenzmessungen mit ebenfalls einfachen, analytisch sauber berechenbaren und der Kupplungssteifigkeit näher liegenden Dummy-Geometrien durchgeführt werden, um die Steifigkeit des Messaufbaus zu verifizieren. Ebenso könnten weitere Untersuchungen zur Differenzierung von statischen und dynamischen Torsionssteifigkeiten speziell bei den Metallkupplungen durchgeführt werden um das Wesen der „drehsteifen“ Kupplung besser zu verstehen. Deutlich geworden ist aber, dass Katalogangaben im Bereich von 700 Nm/rad bei der untersuchten Kupplungsgröße für eine genaue Antriebsstrangsimulation skeptisch betrachtet werden können.

## Zusammenfassung

Mit den messtechnischen und numerischen Untersuchungen zur Torsionssteifigkeit von kleinen Metallbalgkupplungen konnte eine erste Klärung zu den verwirrend weit streuenden Katalogangaben erreicht werden. Zugleich wurden Optimierungspotentiale in der messtechnischen Erfassung der Torsionssteifigkeit aufgezeigt.

## Literatur

- /1/ VDI-Richtlinie 2240: Wellenkupplungen – Systematische Einteilung nach ihren Eigenschaften (06/1971)
- /2/ DIN 740 Teil 2: Nachgiebige Wellenkupplungen: Begriffe und Berechnungsgrundlagen (08/1986)
- /3/ Witzenmann GmbH: Das Handbuch der Metallbälge. Stand: Februar 2019. [Online] Verfügbar unter: <https://www.witzenmann.de/mediapool/documents/brochures/das-handbuch-der-metallb%C3%A4lge.pdf>
- /4/ Vo Dan, K. T.: Numerische Simulation der Drehfedersteifigkeit von Metallbalgkupplungen. Forschungsarbeit (unveröffentlicht), TU Clausthal, 2023