

A. Steinmeyer GmbH & Co. KG
Riedstraße 7
72458 Albstadt

Entwicklung hocheffizienter Kugelgewindetriebe für den Ersatz von pneumatischen und hydraulischen Antrieben

Abschlussbericht des Entwicklungsvorhabens gefördert unter dem
AZ 31281/01 durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt



Wolfgang Klöblen

Albstadt, 30.6.2016

11/95		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	31281/01	Referat	Fördersumme		119.000 €
Antragstitel Entwicklung hocheffizienter Kugelgewindetriebe für den Ersatz von pneumatischen und hydraulischen Antrieben					
Stichworte					
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
18		31.7.2014			
Zwischenberichte:		alle 6 Monate Kurzbericht			
Bewilligungsempfänger		A. Steinmeyer GmbH & Co. KG Riedstraße 7 72458 Albstadt		Tel +49 7431 1288-128 Fax +49 7431 1288-7128	
				Projektleitung Wolfgang Klöblen	
				Bearbeiter Wolfgang Klöblen	
Kooperationspartner					
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
Die Optimierung der Antriebstechnologie z. B. in Werkzeugmaschinen hat ein hohes Einsparpotenzial. Bisher wenig betrachtet wurden in diesem Zusammenhang aber die Übertragungselemente der linearen Bewegungsachsen.					
Es sollten durch Entwicklung hocheffizienter Kugelgewindetriebe, die speziell für den Ersatz von pneumatischen und hydraulischen (Hochlast)-Antrieben konzipiert sind, deutliche Energieeinsparungen in der Antriebstechnik realisiert werden. Hocheffiziente Kugelgewindetriebe werden dabei bisher bei Hochlastanwendungen nicht eingesetzt, da sie nicht alle technischen Spezifikationen erfüllen. Aus diesem Grund müssen pneumatische und hydraulische Antriebe trotz des schlechten Wirkungsgrads in vielen Bereichen weiterhin eingesetzt werden.					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
Der Lösungsweg umfasst drei wesentliche Schritte					
a) <u>Optimierte Vorspannungseinleitung:</u> Hier erfolgt zuerst die Untersuchung des IST-Zustandes bei einem speziellen Prüfling. Basierend hierauf wurden dann Optimierungslösungen erarbeitet. Die neuen Konzepte wurden dann konstruktiv umgesetzt und Versuchsmuster mit optimierter Vorspannungseinleitung aufgebaut. Diese wurden auf dem firmeneigenen Prüfstand untersucht und die Wirksamkeit überprüft. Weitergehende Optimierungen schlossen sich dann an.					
b) <u>Optimierte Kugelumlenkung:</u> Zu Beginn erfolgte die Erfassung der durch die Umlenkung verursachte Reibung an bestehenden Umlenkensystemen, dann wurden umfangreiche theoretische Untersuchungen der Reibungsursachen durchgeführt. Danach erfolgte die Entwicklung einer reibungs-optimierten Umlenkung sowie die Herstellung entsprechender Prototypen.					
c) <u>Verbesserung der Tragfähigkeit:</u> Aufbauend auf theoretische Abschätzungen erfolgte die Konstruktion eines tragfähigeren Laufbahnprofils. Weiterhin wurde auch der Einfluss des eingesetzten Materiales sowie dessen Härte, Einhärtetiefe und Gefüge untersucht. Nach der Fertigung von Prototypen mit dem Laufbahnprofil erfolgten dann intensive Pilotversuche bei ausgewählten Kunden. Die Ergebnisse flossen wieder in konstruktive Verbesserungen.					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190					

Ergebnisse und Diskussion

Die Projektarbeiten befassten sich planungsgemäß zu Beginn mit den neuen Profilgeometrien und dem Aufbau entsprechender Muster für Tests. Nach der Erprobung erfolgten in umfangreichen Arbeiten die Systemoptimierung und die Untersuchung möglicher Lösungsvarianten, insbesondere auch unter Berücksichtigung der technischen Realisierbarkeit.

Daran schlossen sich dann die Arbeiten zur Erforschung und Untersuchung neuer Konzepte für hocheffiziente Hochlast-Kugelgewindetriebe an, wo die bisher erreichten Ergebnisse auf den Hochlastbereich übertragen wurden. Final wurden verschiedene Testmuster für den Hochlasteinsatz aufgebaut um die Ergebnisse zu verifizieren.

Der Profilform in Verbindung mit der Vorspannung kommt eine wichtige Bedeutung für hocheffiziente Kugelgewindetriebe zu. Durch die Profilform werden die Schmiegun und auch der Kontaktwinkel beeinflusst. Spezielle Profilgeometrien konnten mit einem generierenden Verfahren auf Basis des Lasersinterns erzeugt werden. Mit diesem Verfahren konnten neue angepasste Umlenkungen konstruktiv ausgearbeitet und hergestellt werden, die sich mit normalen spanenden Bearbeitungsverfahren so nicht herstellen lassen. So können Reibungsverluste in der Umlenkung minimiert werden.

In der Auswertung der Funktionsuntersuchungen und Dauerversuche wurden dann die erarbeiteten konstruktiven Ergebnisse weiter verfeinert, um anschließend die besten Lösungen weiter untersuchen zu können.

Dabei wurde untersucht, wie durch eine Verringerung des Spaltes zwischen Mutter und Spindelwelle eine weitere Erhöhung der Tragfähigkeit erreicht werden kann. Hierfür wurden die verschiedenen fertigungstechnischen Restriktionen untersucht und bewertet. Diese Ausarbeitungen waren recht umfangreich, wobei es sich bereits recht früh abzeichnete, dass eine derartige Maßnahme nicht ohne tiefgreifenden Eingriff in die Fertigungstechnik realisiert werden kann.

Eine weitere Maßnahme zur Verbesserung des Wirkungsgrades sowie der Lebensdauer bestand im Einsatz von sog. Kugeldämpfern. Derartige Kunststoffteile werden zwischen die Kugeln montiert und verringern die Reibung der Kugeln gegeneinander. Testmuster wurden an ausgewählte Kunden für Realtests ausgeliefert. Dort wurden noch entsprechende Verifizierungsversuche an Spritzgussmaschinen unternommen. Hier gelang es schlussendlich mit der neuartigen Z-Umlenkung und optimierten Kugeldämpfern auch nach 600.000 Zyklen noch die Funktion sicher zu stellen. Es waren nur kleine, punktuelle Laufbahnausbrüche im Spindelgewinde aufgetreten, der KGT war allerdings noch funktionsfähig. Sonst waren keinerlei weitere Beschädigungen zu verzeichnen. Am Anfang der Versuchsreihe war die Spindel noch sehr stark geschädigt bzw. zerstört worden.

Die im Projekt geplante Steigerung des Wirkungsgrades des Kugelgewindetriebs durch konstruktive Maßnahmen konnte voll erreicht werden. Diese Ergebnisse wurden dann auf die Konzeption von Hochlastkugelgewindetriebe übertragen. Dadurch dass der gemessene mittlere Wirkungsgrad mit über 97% noch höher ausfällt, als in der Zielstellung des Projektes geplant, wird auch der gesamtökologische Effekt höher ausfallen.

Bei einer Werkzeugmaschine mit einer typischen Antriebsleistung von 10 kW und einem durchschnittlichen Leistungsbedarf von ca. 5 kW kann mit einem hocheffizienten Kugelgewindetrieb die Verlustleistung von 500 auf 150 W reduziert werden. An einer typischen Anlage sind im Schnitt vier Antriebsachsen montiert, so dass die durch den Kugelgewindetrieb verursachte Verlustleistung von 2 kW auf 0,6 kW reduziert werden kann. Mit den neu entwickelten Hochlastkugelgewindetriebe kann die Firma A. Steinmeyer inzwischen hocheffiziente Systeme am Markt anbieten, die mit statischen Traglasten von über 4.000 kN in den Bereich vordringen, der bisher von Hydraulik-Bewegungssystemen dominiert wurde.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die geplanten Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse orientieren sich an der direkten Verwertung der hocheffizienten Kugelgewindetriebe, sowohl für gängige Anwendungen als auch für Hochlastanwendungen. Dazu sollen die hocheffizienten Kugelgewindetriebe als Standardbaugruppe am Markt angeboten werden. Ein wichtiger Ansatzpunkt ist hier auch die Möglichkeit, im US-amerikanischen Markt entsprechende Hochlasttriebe anbieten zu können, da dort inzwischen ein erhöhtes Interesse an energieeffizienten Antrieben besteht.

Fazit

Die ursprüngliche Zielsetzung des Projektes konnte in allen wesentlichen Bereichen erreicht werden. Im Projekt konnten hocheffiziente Kugelgewindetriebe mit Wirkungsgraden im Bereich von 97% realisiert werden, die für Hochlastanwendungen geeignet sind. Es ergibt sich noch ein weitergehender Entwicklungsbedarf durch die aktuellen Ergebnisse, wo die Rückwirkung der die Kugelgewindetriebe umgebenden Baugruppen einen merklichen Einfluss auf das Verschleißverhalten hat. Diese sollen daher im Zuge der geplanten Phase II noch mit bearbeitet werden.

Inhaltsverzeichnis

PROJEKTKENNBLOTT	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.
VERZEICHNIS VON BILDERN, ZEICHNUNGEN, GRAFIKEN UND TABELLEN	4
ZUSAMMENFASSUNG.....	5
EINLEITUNG	6
HAUPTTEIL.....	10
FAZIT.....	25
LITERATURVERZEICHNIS	26

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1: Umlenkstück (wird lasergesintert) und Mutter (fertigbearbeitet als Einzelteil)	11
Abb. 2: Mutter montiert mit Umlenkungen aber ohne Kugeln und ohne Abstreifer.....	11
Abb. 3: Tragzahlenberechnung	12
Abb. 4: Versuchsmuster für die Prüfstandsversuche	13
Abb. 5: Profil-Beispiel mit verringertem Kantenbruch zur Erhöhung der Tragfähigkeit.....	14
Abb. 6: Messung der Temperatur bei unterschiedlichen Verfahrgeschwindigkeiten	15
Abb. 7: Kugeldämpfer für Kugeln mit Ø15	16
Abb. 8: Einspritzkraft-/ Geschwindigkeitsdiagramm.....	17
Abb. 9: FEM-Analyse zum Kontaktwinkel und zur Kontaktkraft mit dem neuen Design.....	18
Abb. 10: FEM-Analyse zur elastischen Deformation der Mutter bei hohen Lasten	19
Abb. 11: Bruch der Mutter bei Hochlastversuchen	20
Abb. 12: Erreichte Wirkungsgradsteigerung der neuen KGT	22
Abb. 13: Aktuell ausgearbeitetes Prospektblatt für die geplante Verwertung der neuen hocheffizienten Hochlastkugelgewindetriebe	24

Zusammenfassung

Die Optimierung der Antriebstechnologie z. B. in Werkzeugmaschinen hat ein hohes Einsparpotenzial. Bisher wenig betrachtet wurden in diesem Zusammenhang aber die Übertragungselemente der linearen Bewegungsachsen.

Im Rahmen des Projektes sollten durch Entwicklung hocheffizienter Kugelgewindetriebe, die speziell für den Ersatz von pneumatischen und hydraulischen (Hochlast)-Antrieben konzipiert sind, deutliche Energieeinsparungen in der Antriebstechnik realisiert werden.

Der Profilmutter in Verbindung mit der Vorspannung kommt eine wichtige Bedeutung für hocheffiziente Kugelgewindetriebe zu. Durch die Profilmutter werden die Schmiebung und auch der Kontaktwinkel beeinflusst. Spezielle Profilmuttergeometrien konnten mit einem generierenden Verfahren auf Basis des Lasersinterns erzeugt werden.

Dabei wurde untersucht, wie durch eine Verringerung des Spaltes zwischen Mutter und Spindelwelle eine weitere Erhöhung der Tragfähigkeit erreicht werden kann. Hierfür wurden die verschiedenen fertigungstechnischen Restriktionen untersucht und bewertet.

Eine weitere Maßnahme zur Verbesserung des Wirkungsgrades sowie der Lebensdauer bestand im Einsatz von sog. Kugeldämpfern. Derartige Kunststoffteile werden zwischen die Kugeln montiert und verringern die Reibung der Kugeln gegeneinander. Testmuster wurden an ausgewählte Kunden für Realtests ausgeliefert. Dort wurden noch entsprechende Verifizierungsversuche an Spritzgussmaschinen unternommen. Hier gelang es schlussendlich mit der neuartigen Z-Umlenkung und optimierten Kugeldämpfern auch nach 600.000 Zyklen noch die Funktion sicher zu stellen. Bis auf kleine, punktuelle Laufbahnausbrüche im Spindelgewinde war der KGT noch funktionsfähig. Am Anfang der Versuchsreihe war die Spindel noch sehr stark geschädigt bzw. zerstört worden.

Die im Projekt geplante Steigerung des Wirkungsgrades des Kugelgewindetriebs durch konstruktive Maßnahmen konnte voll erreicht werden. Diese Ergebnisse wurden dann auf die Konzeption von Hochlastkugelgewindetriebe übertragen. Dadurch dass der gemessene mittlere Wirkungsgrad mit über 97% noch höher ausfällt, als in der Zielstellung des Projektes geplant, wird auch der gesamtökologische Effekt höher ausfallen.

Ein wichtiges, so nicht erwartetes Ergebnis lag darin, dass auch die umgebenden Baugruppen einen erheblichen Einfluss auf den Hochlast-Kugelgewindetrieb haben und insbesondere auch die Lebensdauer mit beeinflussen. Die bei hohen Lasten auftretenden starken elastischen Verformungen im Kugelgewindetrieb wirken sehr stark auf die umgebenden Baugruppen, sodass es hier nicht ausreicht nur den Kugelgewindetrieb als eigenständige Baugruppe auszulegen. Diese besonderen Herausforderungen sollen in der geplanten Phase II des Projektes noch einmal im Detail aufgegriffen werden.

Die geplanten Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse orientieren sich an der direkten Verwertung der hocheffizienten Kugelgewindetriebe, sowohl für gängige Anwendungen als auch für Hochlastanwendungen. Dazu sollen die hocheffizienten Kugelgewindetriebe als Standardbaugruppe am Markt angeboten werden. Ein wichtiger Ansatzpunkt ist hier auch die Möglichkeit, im US-amerikanischen Markt entsprechende Hochlasttriebe anbieten zu können.

Einleitung

Ausgangssituation

Seit einigen Jahren finden erhebliche Anstrengungen bei den Unternehmen statt, um die Energieverbräuche und damit die Energiekosten für Produktionsanlagen zu reduzieren.

Im Rahmen eines BMBF-Verbundprojekts „Energieeffiziente Produktionsmaschinen durch Simulation in der Produktentwicklung“, das im Mai 2012 abgeschlossen wurde, konnte die Firma A. Steinmeyer in umfangreichen Grundlagenuntersuchungen Rahmenbedingungen entwickelt, um die Simulation von Kugelgewindetrieben unter realitätsnahen Bedingungen umsetzen zu können.

Die Ergebnisse zeigten dabei die konstruktiven Wege auf, um zukünftig noch effizientere Antriebe für z. B. Werkzeugmaschinen zu entwickeln. Aufbauend auf diese Vorarbeiten und das dort entwickelte Simulationstool sollte im Rahmen dieses Projekts die Entwicklung hocheffizienter Kugelgewindetriebe speziell für Hochlastanwendungen durchgeführt werden, die sich zur Substitution von Hydraulikantrieben einsetzen lassen.

Im industriellen Einsatz stellen hydraulische Antriebe heute noch den Standard für viele Anwendungen dar, insbesondere wenn der Einsatz bei Hochlastanwendungen mit hohen Antriebskräften gefordert ist.

Hydraulische Antriebe haben allerdings einen schlechten Wirkungsgrad, so dass auch von der Industrie verstärkt energieeffizientere Systeme gesucht werden. Dafür fehlten aber die technischen Lösungen, um direkt einen hydraulischen Aktuator durch einen effizienteren elektromechanischen Aktuator zu ersetzen. Es gab nur vereinzelte Sonderlösungen aber keine Standardsysteme von der Stange. Ein Einsatz im größeren Stil ist aber erst dann möglich, wenn bereits in der Konstruktionsphase einer Werkzeugmaschine die richtigen Antriebe eingeplant werden können und als Standardmodule verfügbar sind.

Die grundlegende Idee des Projektes lag daher darin, elektrische Antriebe mit hocheffizienten Kugelgewindespindeln ausrüsten zu können, um so im Hochlastbereich pneumatische und hydraulische Antriebe ersetzen zu können bzw. bei bestehenden Antriebssystemen eine wesentliche Steigerung der Gesamteffizienz zu erreichen. Gerade im Hochlastbereich sind für viele Anwendungen keine elektromechanischen Systeme vorhanden um die hohen Lasten bewegen zu können. Auf der anderen Seite sind auch im Bereich normaler Antriebe im Werkzeugmaschinenbereich erhebliche Einsparungen durch hocheffiziente Kugelgewindetriebe möglich. Beide Bereiche sollten im Rahmen des Projektes adressiert werden.

Zielspezifikation des Vorhabens und innovative Entwicklungsschwerpunkte

Das Gesamtziel des Projektes gliederte sich in zwei wesentliche Teilziele, um verbesserte und optimierte Kugelgewindetriebe für den industriellen Einsatz bereitzustellen. Der erste Schwerpunkt der Arbeiten lag auf der Verbesserung des Wirkungsgrades der Kugelgewindetriebe, der insbesondere auf den Einsatz in bestehenden Anwendungen wie Werkzeugmaschinen abzielt.

In den grundlegenden Forschungsarbeiten sollte durch die Optimierung der Kinematik mit Hilfe neuer Profilgeometrien der Kugellaufbahnen, die Wärmeentwicklung reduziert werden. Die grundsätzliche Anforderung an Kugelgewindetribe ist gerade für die Hightech-Anwendung, dass hier eine sehr hohe Genauigkeit eingehalten werden muss. Dazu müssen die Antriebsmuttern vorgespannt werden, wobei die Vorspannungen zu einer erhöhten mechanischen Reibung führt, die den Wirkungsgrad wieder verringert.

Im Rahmen des Projektes sollte für die Aufbringung der Vorspannung in der Mutter ein neues Konzept untersucht werden. Die Aufbringung der Vorspannung sollte insofern optimiert werden, dass durch flexible, eingesetzte Elemente, das Vorspannungsniveau auch bei hoher Kraftereinleitung erhalten bleibt und so insgesamt abgesenkt werden kann und so eine geringere mechanische Belastung erreicht wird. Ergänzend sollte darüber hinaus die Umlenkung der Kugeln verbessert werden, da dieser Teil der Kugelführung die Reibungsverluste erhöht.

Aufbauend auf diese grundlegenden Forschungsarbeiten sollte dann im zweiten Schritt die Technologie der reibungsoptimierten Kugelgewindetribe als Basis für die Entwicklung von verbesserten Schwerlast-Kugelgewindetriben eingesetzt werden, die einen Ersatz von Hydrauliksystemen durch elektromechanische Antriebselemente erlauben.

Im Wesentlichen mussten dazu die Tragzahlen der Kugelgewindetribe um den Faktor 2 bis 5 (teilweise auch um den Faktor 10) erhöht werden, um so eine längere Lebensdauer garantieren zu können. Darüber hinaus musste die potenziell mögliche Geräuschbildung durch den Kugelumlau verringert werden. Hier sollten u. U. sogenannte Kugeldämpfersysteme zusätzlich mit integriert werden.

Solche Schwerlast-Kugelgewindetribe könnten dann erstmals als Standardsystem für den Einsatz in einer vollelektrischen Spritzgießmaschine eingesetzt werden. Für die verschiedenen Bewegungen ergeben sich dabei unterschiedliche Anforderungen an die Antriebe. Der Kugelgewindetrieb unterliegt hier starken Beschleunigungen, hohen Kräften, geringen Hüben und dem Reversierbetrieb, die bei identischen oder gleichartigen Zyklen auf immer dieselben Bereiche des Kugelgewindetribe einwirken.[Forst2010]

Der Ersatz hydraulischer Aktoren durch elektromechanische Systeme konnte auch an konkreten Beispielen schon demonstriert werden und hier ein Energieeinsparpotenzial von bis zu 50 % aufgezeigt werden.

Ein zweiter großer Bereich, in dem die Energieeinsparungen bei elektrisch betriebenen Aktoren aufgezeigt werden können, ist durch das grundsätzliche Ziel geprägt, dass auch bestehende elektrische Antriebssysteme noch ein deutliches Optimierungspotenzial aufweisen. Insbesondere bei Werkzeugmaschinen, einem Segment, in dem deutsche Unternehmen weltweit führend sind, kommen Kugelgewindetribe als elektrische Aktoren in mannigfaltiger Form vor. Der Wirkungsgrad eines konventionellen Kugelgewindebetriebe beträgt ca. 90 %, mit neuen optimierten Kugelgewindetriben lassen sich Wirkungsgrade von über 95 % erreichen und somit die Verluste halbieren. Hierdurch ergeben sich zwei signifikante Vorteile, zum einen sind die Energieverluste geringer und zum anderen heizen sich die Antriebseinheiten nicht mehr so stark auf und können somit eine präzisere Fertigungsumgebung sicherstellen.

Bei einer typischen Antriebsleistung von 10 kW und einem durchschnittlichen Leistungsbedarf von ca. 5 kW kann mit einem hocheffizienten Kugelgewindtrieb die Verlustleistung von 500 auf 250 W reduziert werden. An einer typischen Anlage sind im Schnitt vier Antriebsachsen montiert, so dass die durch den Kugelgewindtrieb verursachte Verlustleistung von 2 kW auf 1 kW reduziert werden kann. Diese Zahlen basieren auf Erfahrungswerten bei der Auslegung von Kugelgewindtrieben bei der Firma A. Steinmeyer.

Der Lösungsweg sollte drei wesentliche Schritte umfassen

d) Optimierte Vorspannungseinleitung

Die Notwendigkeit der Vorspannung eines Kugelgewindtriebes ergibt sich aufgrund der Tatsache, dass nur mit spielfrei geführten Kugeln eine definierte Kinematik erreicht werden kann. Dadurch ergibt sich der Zwiespalt, dass die Vorspannung des Kugelgewindtriebes einerseits die Kinematik definiert, andererseits aber die Reibung des Kugelgewindtriebes erhöht. Hier erfolgte zuerst die Untersuchung des IST-Zustandes bei einem speziellen Prüfling. Basierend auf diesen Voruntersuchungen sollten dann verschiedene Optimierungslösungen erarbeitet und nachfolgend bewertet werden. Die neuen Konzepte sollten dann konstruktiv umgesetzt und Versuchsmuster mit optimierter Vorspannungseinleitung aufgebaut werden. Diese sollten auf dem firmeneigenen Prüfstand untersucht und die Wirksamkeit überprüft werden. Weitergehende Optimierungen sollten sich dann anschließen.

e) Optimierte Kugelumlenkung

Zu Beginn war die Messung der durch die Umlenkung verursachte Reibung an bestehenden Umlenksystemen geplant, um so ein besseres Verständnis für die Reibung in den einzelnen Komponenten zu erhalten. Danach waren umfangreiche theoretische Untersuchungen der Reibungsursachen vorgesehen. Ergänzt werden sollten die Arbeiten durch die praktische Überprüfung der Einflussgrößen soweit dies technisch machbar ist.

In der zweiten Stufe sollten dann die Entwicklung und Erarbeitung einer reibungs-optimierten Umlenkung und deren Konstruktion sowie die Herstellung entsprechender Prototypen erfolgen. Dabei war insbesondere die Kugel-gegen-Kugel-Reibung im Fokus – daraus ergibt sich evtl. die Notwendigkeit der Verwendung von Kugeldämpfersystemen.

Intensive Messungen sollten zur Ermittlung der durch die Umlenkung verursachten Reibung an diesem optimierten Umlenksystem sowie abschließend weitere Feinoptimierungen mit anschließender Qualifizierung des Aufbaus erfolgen.

f) Verbesserung der Tragfähigkeit

Zur Entwicklung einer verbesserten Tragfähigkeit war zu Beginn die Ausarbeitung des theoretischen Optimierungspotentials geplant, basierend auf den bisherigen Erfahrungen. Daran sollte sich die Konstruktion eines tragfähigeren Laufbahnprofiles anschließen. Ein derartiges Profil kann auch aus nicht-konstanten Radien o.ä. bestehen. Weiterhin sollte auch der Einfluss des eingesetzten Materiales sowie dessen Härte, Einhärtetiefe und Gefüge untersucht werden. Dazu waren auch Untersuchungen neuer Verfahren geplant, um den Wärmeeintrag genauer definieren zu können (z. B. mit dem Laserhärten, wo eine genaue Prozesskontrolle mit lokalem Wärmeeintrag möglich ist.)

Nach der Fertigung von Prototypen aus optimierten Materialien mit dem entsprechenden Laufbahnprofil und dessen Qualifizierung im Hause sollten dann intensive Pilotversuche bei ausgewählten Kunden erfolgen. Die hier gewonnenen Ergebnisse sollten dann analysiert und hinsichtlich der weiteren Verbesserung der Laufbahnprofile und Werkstoffe ausgewertet werden sowie in konstruktive Verbesserungen einfließen.

Hauptteil

Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte sowie der dabei angewandten Methoden und der tatsächlich erzielten Ergebnisse

Die Projektarbeiten befassten sich planungsgemäß zu Beginn mit den neuen Profilgeometrien und dem Aufbau entsprechender Muster für Tests. Nach der Erprobung erfolgten in umfangreichen Arbeiten die Systemoptimierung und die Untersuchung möglicher Lösungsvarianten, insbesondere auch unter Berücksichtigung der technischen Realisierbarkeit.

Daran schlossen sich dann die Arbeiten zur Erforschung und Untersuchung neuer Konzepte für hocheffiziente Hochlast-Kugelgewindetriebe an, wo die bisher erreichten Ergebnisse auf den Hochlastbereich übertragen wurden. Final wurden verschiedene Testmuster für den Hochlasteinsatz aufgebaut um die Ergebnisse zu verifizieren.

Forschung für optimierte Profilgeometrien für hocheffiziente Kugelgewindetriebe

Der Profilform in Verbindung mit der Vorspannung kommt eine wichtige Bedeutung für hocheffiziente Kugelgewindetriebe zu. Durch die Profilform werden die Schmiegun und auch der Kontaktwinkel beeinflusst. Den Kugelumlenkungen kommt in diesem Zusammenhang auch ein Untersuchungsschwerpunkt zu. Durch die detaillierte Untersuchung der Vorgänge an der Kugelumlenkung konnten neue Ansätze für die Optimierung der Formgebung der Umlenkung gefunden werden.

Beginnend mit sehr grundlegenden Arbeiten zur Profilgeometrie wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, welche Verformungen im Profil entsprechend der eingebrachten Last auftreten. Bei hohen Lasten erhalten die vorderen Kugeln eine höhere Last als die hinteren Kugeln. Eine Möglichkeit, dies zu kompensieren besteht darin, die Spindel mechanisch so zu fertigen, dass ohne Last über die Mutterlänge eine ungleiche Lastverteilung auftritt, die unter Last dann zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Kräfte führt. Diese spezielle Krafteinleitung und -übertragung in der Mutter konnte an Testaufbauten und durchgeführten Tests demonstriert werden.

Spezielle Profilgeometrien konnten auch mit einem generierenden Verfahren des Lasersinterns erzeugt werden. Mit diesem Verfahren konnten neue angepasste Umlenkungen konstruktiv ausgearbeitet und hergestellt werden, die sich mit normalen spanenden Bearbeitungsverfahren so nicht herstellen lassen. So können Reibungsverluste in der Umlenkung minimiert werden. In der folgenden Abb. 1 ist eine Variante dargestellt.

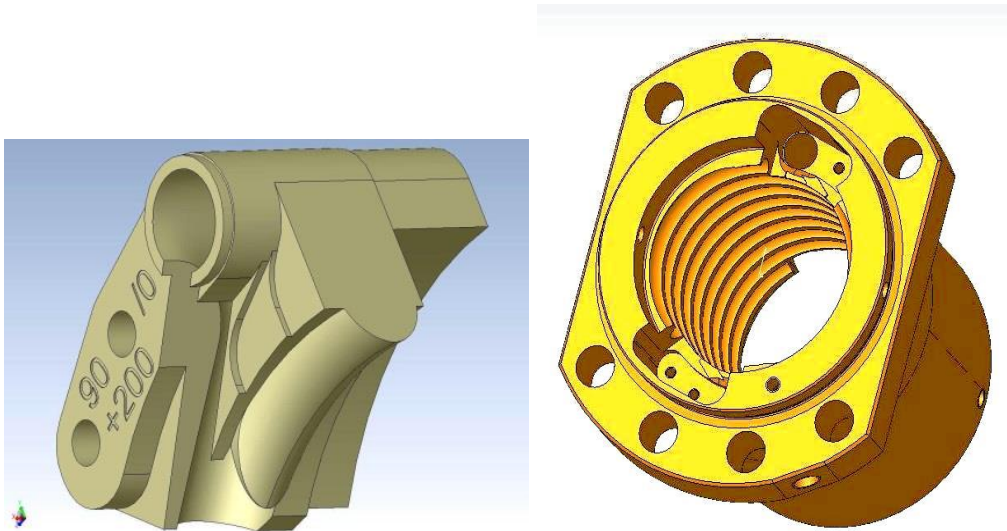


Abb. 1: Umlenkstück (wird lasergesintert) und Mutter (fertigbearbeitet als Einzelteil)

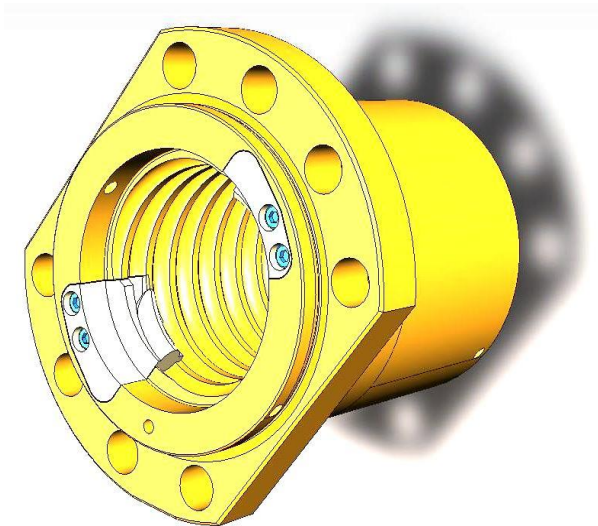


Abb. 2: Mutter montiert mit Umlenkungen aber ohne Kugeln und ohne Abstreifer

Im Weiteren wurden erweiterte Berechnungen zu Druckellipsen durchgeführt. Hiermit wird der Eindruck der Kugel in die Führung berechnet und dann aus den Materialparametern die Belastungsgrenze abgeleitet. Die mechanischen Deformationen der Kugeln im Profil führen zu mechanischer Arbeit, die schlussendlich in Wärme umgesetzt wird und somit den Wirkungsgrad, gerade bei hohen Vorspannungen, verringert.

Die kinematische Betrachtung des Gesamtsystems wurde ebenfalls durchgeführt. Bei hohen Lasten tritt ein Effekt auf, bei dem die Kugeln im vorderen Bereich der Mutter schneller laufen als im hinteren Bereich. Dies liegt an der o.g. unterschiedlichen Lasteinwirkung und den sich hierdurch ergebenden unterschiedlichen Eindrücken der Kugeln. In diesem Fall laufen die Kugeln zusammen und führen ebenfalls zu einer erhöhten Reibung. Hierfür konnte ein neuartiges Kugelzwischenstück untersucht und entwickelt werden, das diesen Effekt

verhindert. Aufgrund der komplexen Geometrie wurde auch diese Baugruppe mit Hilfe des Lasersinterns hergestellt.

Ergänzend fanden umfangreiche Versuche an der Uni Stuttgart statt um den Einfluss hoher axialer Lasten genauer zu untersuchen. Hier fanden Versuche mit 2,8facher Last im Vergleich zur ausgelegten Vorspannung statt, die als Grenzwert normalerweise angesetzt wird.

Als Ergebnis steht inzwischen ein umfangreicher Katalog von Gestaltungsregeln für Schwerlast-Kugelgetriebe zur Verfügung. Abhängig vom Kugeldurchmesser wird ein Spindelmaterial ausgewählt, das Härteverfahren festgelegt und die max. Abmessungen der Spindel und der Mutter festgelegt. Zur Unterstützung dient dabei eine Excel-Tabelle, mit der die Tragzahlen und Belastungsverhältnisse aus den Geometriedaten berechnet werden können.

Wälzkontaktspannung an Kugelgetrieben



axiale Belastung =	141.000 N	E-Modul der Kugeln:	$E_1 = 210.000$ N/mm ²
radiale Belastung =	0 N	Poissonzahl der Kugeln:	$\nu_1 = 0,3$
=> resultierende Belastung =	141.000 N (geometrische Addition)	E-Modul der Laufbahn:	$E_2 = 210.000$ N/mm ²
		Poissonzahl der Laufbahn:	$\nu_2 = 0,3$
Nenn-Ø $D_n =$	63 mm	resultierende Last über eine Kugel:	$F = 2.468,1$ N (aus geom. Addition Axial- und Radiallast)
Kugel-Ø =	15 mm		$F = 2.468,1$ N (aus Axialkraft)
Profilradius =	7,800 mm	(es werden alle Kugeln zur Axiallast-Aufnahme angenommen)	$F = 0,0$ N (aus Radialkraft)
Laufbahn-Ø =	54,393 mm (Spindel)	(es werden nur 22,5 Kugeln zur Radiallast-Aufnahme angenommen)	
Laufbahn-Ø =	75,607 mm (Mutter)		
Kontaktwinkel =	45 °	Berechnung des	
Kugelanzahl =	10	Spindel-Kontaktes	Mutter-Kontaktes
Umläufe =	9	große Halbachse der Druckellipse: $a = 2,211$ *	2,200 mm
Kugelanzahl =	90	kleine Halbachse der Druckellipse: $b = 0,232$ *	0,240 mm
Schmiegung $f_0 = 0,520$		Fläche der Druckellipse: $A = 1,613$ *	1,659 mm ²
Teilkreis-Ø $D_{TK} = 65$ mm	(=Kugel-Mittlenkreis)	el. Verformung zw. Kugel und Laufbahn: $\delta = 16,9$ *	16,8 µm
Abschlag-Exponent für Empfindlichkeit = 0,9355		Kugelsteifigkeit über Kontaktwinkel: $R_k = 146,1$ *	146,9 N/µm
eff. Kugelanzahl = 67,33		maximale Druckspannung: $p_0 = 2.296$ *	2.231 N/mm ²
		mittlere Druckspannung: $p_m = 1.531$ *	1.487 N/mm ²
		Mutter-Kugelsteifigkeit: $R_M = 9299$	4662
			9348 N/µm
Tragzahldefinition:		Materialdaten:	Stahl
Statische Tragzahl: Kraft, die zu $p_0 = 4.400$ N/mm ² führt		Dichte: $\rho = 7.850$	3.290 kg/m ³
Dynamische Tragzahl: Kraft, die zu $p_0 = 3.700$ N/mm ² führt		E-Modul: $E = 2,1E+11$	3,1E+11 N/m ²
Dauerfestigkeit: Kraft, die zu $p_0 = 1.700$ N/mm ² führt		Poissonzahl: $\nu = 0,30$	0,27
		Si₃N₄	
Spindelwelle:		Mutter:	
üblicherweise Material: C153, Spindelgewinde induktiv gehärtet auf 60 HRC		üblicherweise Material: 100Cr6, durchgehärtet auf 62 HRC	
Außen-Ø $D_a = 62$ mm		Bohrungs-Ø $D_b = 68$ mm	
Flanken-Ø $D_F = 54,393$ mm		Flanken-Ø $D_{F1} = 75,607$ mm	
Kern-Ø $D_K = 50,000$ mm		Außen-Ø $D_K = 80,000$ mm	
eff. Spindelquerschnitt $d = 0,054393$ m			
Querschnittsfläche $A = 0,002324$ m ² = 2323,71 mm ²			

Tragzahlberechnung.xls / Kontakt

04.02.2015 / Klöblen

Abb. 3: Berechnung der Bedingungen im Wälzkontakt

Aufbau von Musterkugelgetrieben für das neue Konstruktionsprinzip

Die verschiedenen konzeptionellen Auswirkungen mussten nach Abschluss der grundlegenden Forschungsarbeiten im praktischen Versuch verifiziert werden. Dazu wurden Testsysteme aufgebaut und so auch die begleitende Simulation verifiziert.

Insbesondere die Herstellung der neuen Profilgeometrien war dabei mit einem hohen technischen Aufwand verbunden, um die verschiedenen Geometrien auch

fertigungstechnisch in ausreichend guter Qualität herstellen zu können. Die generierenden Verfahren sind weiterhin relativ langsam.

Es wurden verschiedene Muster hergestellt. Diese wurden bei einem externen Unternehmen (der Firma Engel) bzw. auf dem internen Prüfstand ausgiebig getestet. Dabei fanden speziell die Dauerversuche mit hoher Last bei der Firma Engel statt. Auf dem eigenen Prüfstand wurden die Wirkungsgradmessungen durchgeführt. Weiterhin sollten hier die initialen Schadensereignisse genauer erfasst werden.

In der folgenden Abbildung ist ein typischer Testaufbau dargestellt.



Abb. 4: Versuchsmuster für die Prüfstandsversuche

Die Projektarbeiten befassten sich danach mit der Untersuchung und Erprobung der neuen Kugelgewindetriebe sowie mit der Optimierung und der Definition von möglichen Varianten.

Erprobung und Verifizierung der neuen Kugelgewindetriebe

Es wurden umfangreiche Versuche zum Funktionsnachweis durchgeführt. Hieran schlossen sich statische und dynamische Messungen des Verhaltens der neuen Kugelgewindetriebe im Vergleich zu den bisherigen an. Die oben bereits angesprochenen Dauerlaufversuche und Untersuchungen des Langzeitverhaltens rundeten dann die Untersuchungen ab.

Im Zuge dieser Arbeiten wurde ein spezielles Profil mit verringertem Kantenbruch entwickelt, mit dem bei gutem Wirkungsgrad eine sehr hohe Lastaufnahmefähigkeit erreicht werden konnte. Mit einem derartigen Profil wurden dann auch Versuche durchgeführt, die eine entsprechende Verbesserung des Wirkungsgrades (in Form einer geringeren Temperaturzunahme) nachweisen sollten und konnten. Diese Logik in der Profilform-

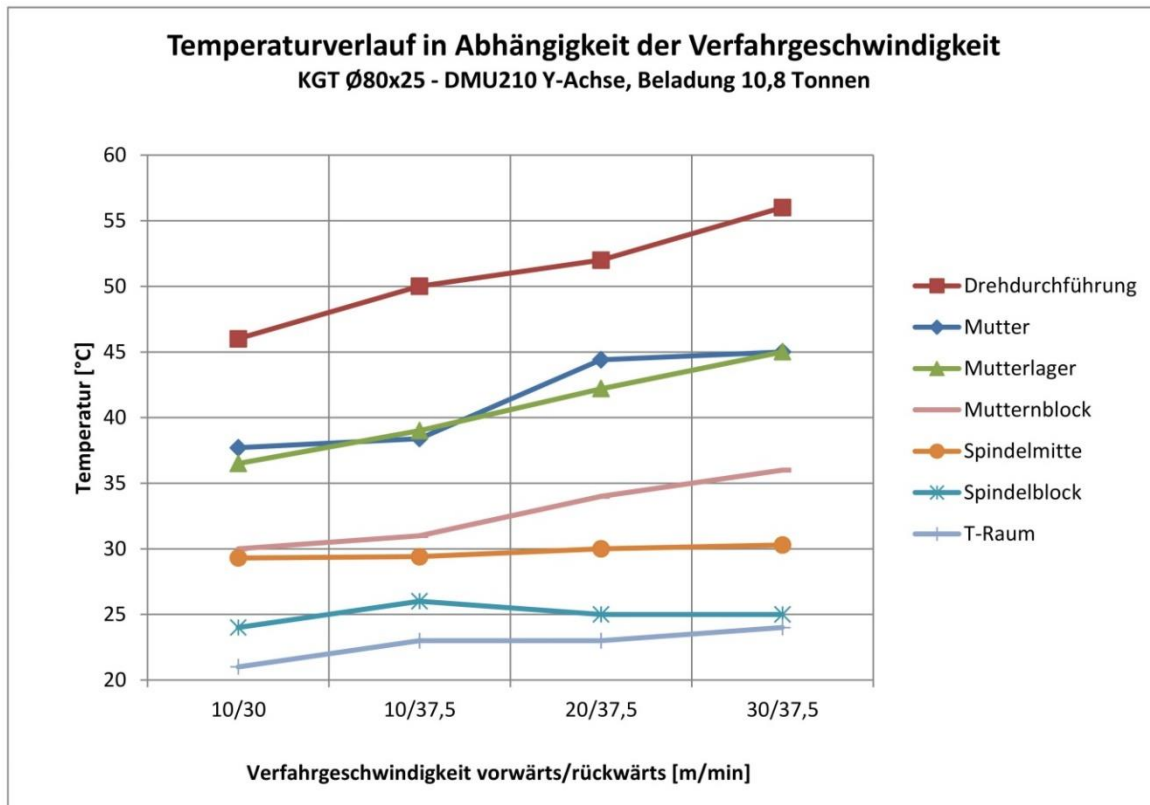


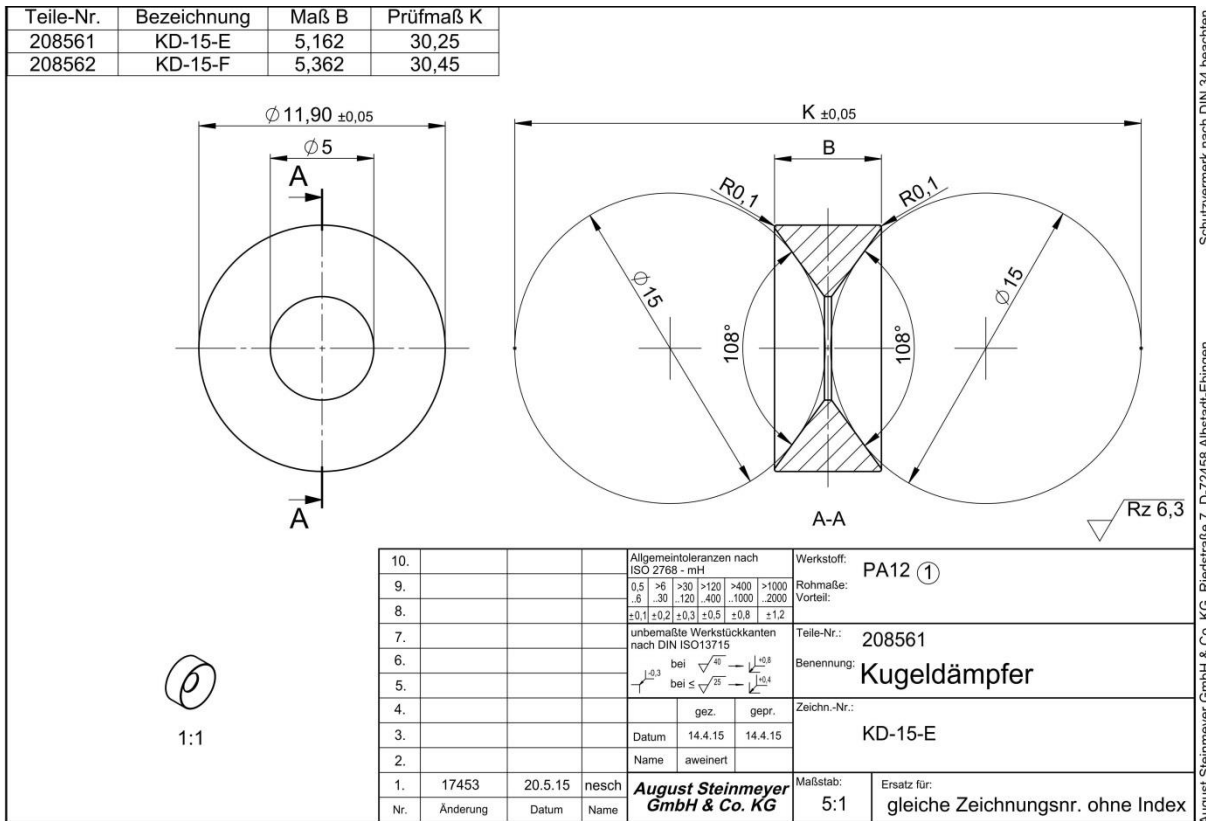
Abb. 6: Messung der Temperatur bei unterschiedlichen Verfahrgeschwindigkeiten

Systemoptimierung und Untersuchung der möglichen Lösungsvarianten

In der Auswertung der Funktionsuntersuchungen und Dauerversuche wurden dann die erarbeiteten konstruktiven Ergebnisse weiter verfeinert, um anschließend noch die besten Lösungen weiter untersuchen zu können.

Dabei wurde untersucht, wie durch eine Verringerung des Spaltes zwischen Mutter und Spindelwelle eine weitere Erhöhung der Tragfähigkeit erreicht werden kann. Hierfür wurden die verschiedenen fertigungstechnischen Restriktionen untersucht und bewertet. Diese Ausarbeitungen waren recht umfangreich, wobei es sich bereits recht früh abzeichnete, dass eine derartige Maßnahme nicht ohne tiefgreifenden Eingriff in die Fertigungstechnik realisiert werden kann.

Eine weitere Maßnahme zur Verbesserung des Wirkungsgrades sowie der Lebensdauer bestand im Einsatz von sog. Kugeldämpfern. Derartige Kunststoffteile werden zwischen die Kugeln montiert und verringern die Reibung der Kugeln gegeneinander.



Schutzvermerk nach DIN 34 beachten
August Steinmeyer GmbH & Co. KG, Riedstraße 7, D-72458 Abstatt-Ebingen

Abb. 7: Kugeldämpfer für Kugeln mit Ø15

Weiterhin wurden 2 Musterteile nach der neu entwickelten Logik gefertigt und an ausgewählte Kunden für Realtests ausgeliefert. Dort wurden noch entsprechende Verifizierungsversuche unternommen, um die Tauglichkeit dieser Maßnahmen nachzuweisen und gleichzeitig entsprechende anwendungsspezifische Optimierungen durchführen zu können. Die Versuche / Untersuchungen bei beiden Kunden waren dabei bis zum Projektende geplant und wurden auch sehr intensiv durchgeführt. Insbesondere die praktischen Erfahrungen waren für die Optimierungsarbeiten sehr wichtig. In der folgenden Abb. 8 ist ein typisches Einspritzkraft-/ Geschwindigkeitsdiagramm für eine Spritzgussmaschine dargestellt. Für die Lebensdauertests wurde die Kraft auf 220 kN erhöht und die Geschwindigkeit auf 200 mm/s reduziert. Es wurden 1.000.000 Zyklen durchfahren.

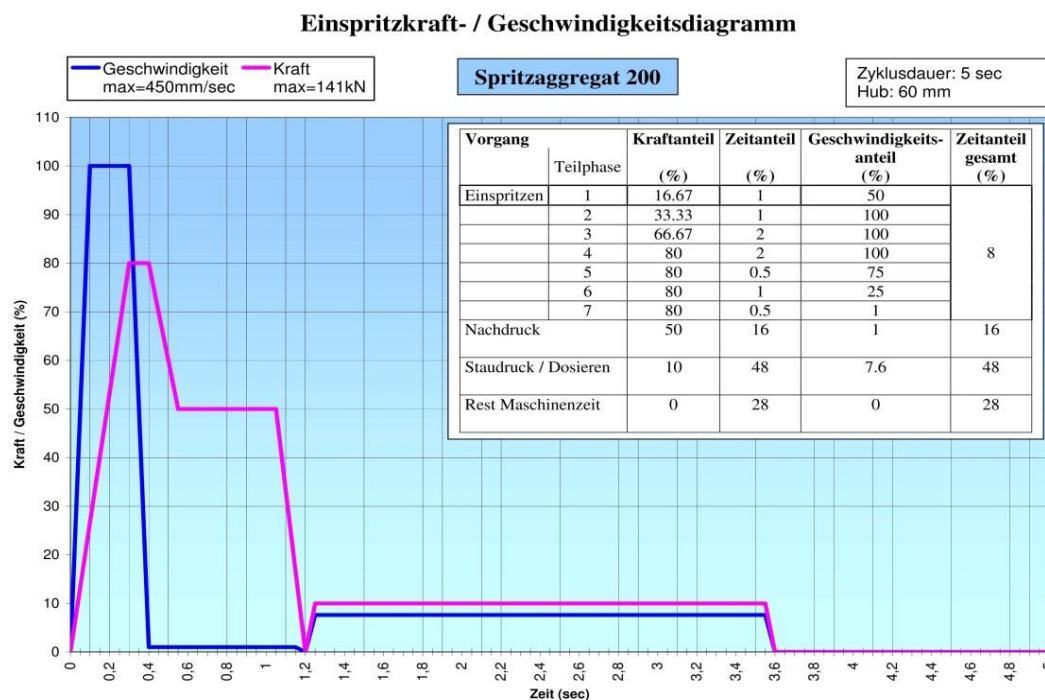


Abb. 8: Einspritzkraft-/ Geschwindigkeitsdiagramm

Hier gelang es schlussendlich mit der neuartigen Z-Umlenkung und optimierten Kugeldämpfern auch nach 600.000 Zyklen noch die Funktion sicher zu stellen. Es waren nur kleine, punktuelle Laufbahnausbrüche im Spindelgewinde aufgetreten, der KGT war allerdings noch funktionsfähig. Sonst waren keinerlei weitere Beschädigungen zu verzeichnen. Am Anfang der Versuchsreihe war die Spindel noch sehr stark geschädigt bzw. zerstört worden.

Erforschung und Untersuchung neuer Konzepte für hocheffiziente Hochlast-Kugelgewindetribe

Aufbauend auf den Voruntersuchungen und Konstruktionskonzepten, die entwickelt wurden, führten die weiteren Arbeiten dann zur Umsetzung und Untersuchung der neuen Konzepte für den speziellen Anwendungsfall der Hochlast-Kugelgewindetribe. Die grundlegenden Konstruktionsprinzipien sollten hier in ähnlicher Form wie bei den Versuchsspindeln umsetzbar sein.

Im Prinzip konnten dabei die gewonnenen Erkenntnisse verifiziert werden, allerdings zeigte es sich, dass gerade bei Übertragung hoher Kräfte nicht nur die Steifigkeit der Bauteile des Kugelgewindetriebes, sondern insbesondere auch die Steifigkeit der hiermit verbundenen Baugruppen einen erheblichen Einfluss auf die mechanische Belastung, die Dauerfestigkeit und damit auch den Wirkungsgrad haben. Beispielsweise ist dies in der folgenden Abb. 9 zu sehen.

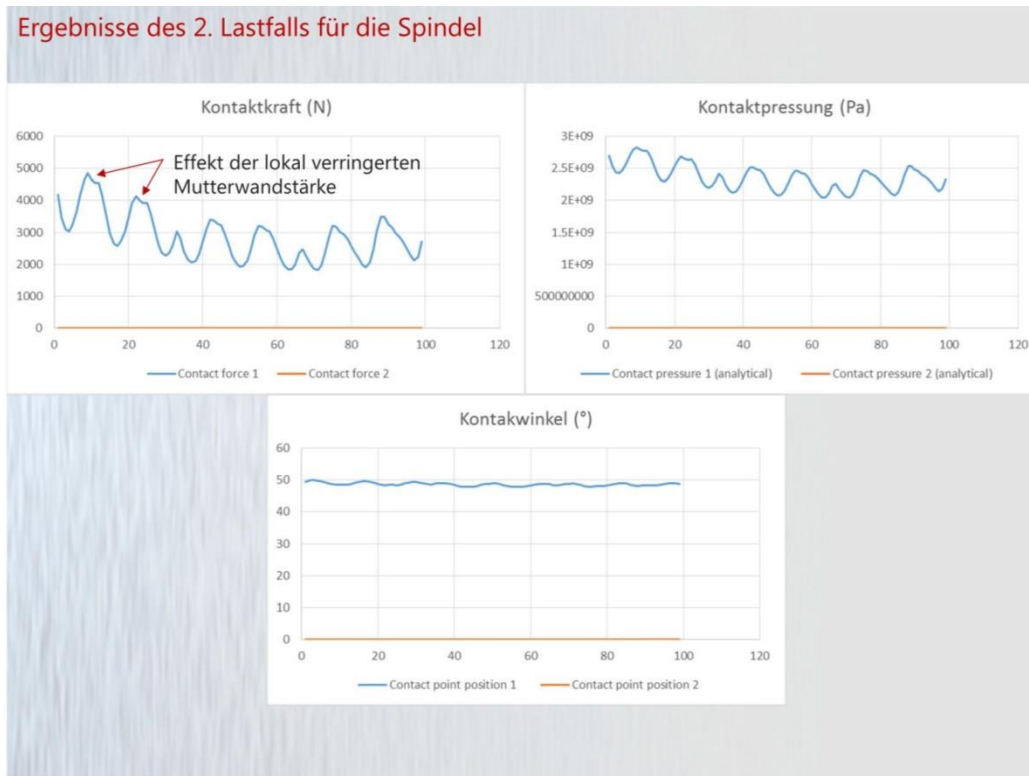


Abb. 9: FEM-Analyse zum Kontaktwinkel und zur Kontaktkraft mit dem neuen Design

Es wurden umfangreiche FEM-Simulationen durchgeführt, in denen sich dieser Effekt direkt nachweisen ließ. Lastabhängig treten in der Mutter beispielsweise Deformationen auf, die dann wiederum auf die umgebenden Baugruppen wirken und deren Deformationsverhalten beeinflussen. Darüber hinaus wirkt die Last nicht gleichmäßig auf die Kugeln des Kugelgewindetriebes, was in der folgenden Abb. 10 nochmals dargestellt ist. Bedingt durch die in der Abbildung sichtbare axial unterschiedliche Deformationen der Mutter wirken im Lastfall die Kräfte sehr ungleichmäßig auf die Kugeln im vorderen im Vergleich zum hinteren Bereich der Mutter. Dies führt auf der anderen Seite auch wieder zu erheblichen Lebensdauereinbußen, die so nicht gewollt sind.

Diese Erkenntnisse waren in den ursprünglichen Konzeptionen eigentlich in dieser Ausprägung nicht erwartet worden und bedeuten schlussendlich für die weitergehende Umsetzung in der Phase II des Projektes, dass hier noch weitergehende Analysen auch hinsichtlich weiterer Optimierungen der konstruktiven Gestaltungsrichtlinien notwendig sind. Die Wirkung ist dabei je größer, desto größer der Lastfall ist.

Verschiedene Versuche wurden in konkreten Anwendungsfällen z. B. bei Schließspindeln von kleineren Kunststoff-Spritzgussmaschinen mit maximalen Schließkräften von 50 to durchgeführt. Dies stellt einen sehr anspruchsvollen Einsatz dar, da die Spindel nur auf einem kurzen Bereich benutzt wird und gleichzeitig dort sehr hohe Kräfte wirken. Die neu entwickelten Schwerlastspindeln wurden intensiv getestet und es traten verschiedene Versagens- und Schadensfälle auf. Bedingt durch die oben dargestellten unterschiedlichen Lasten, die die längste Spindel auf die Kugeln wirken, stellte sich ein Mutternschaden im Dauerbetrieb heraus.

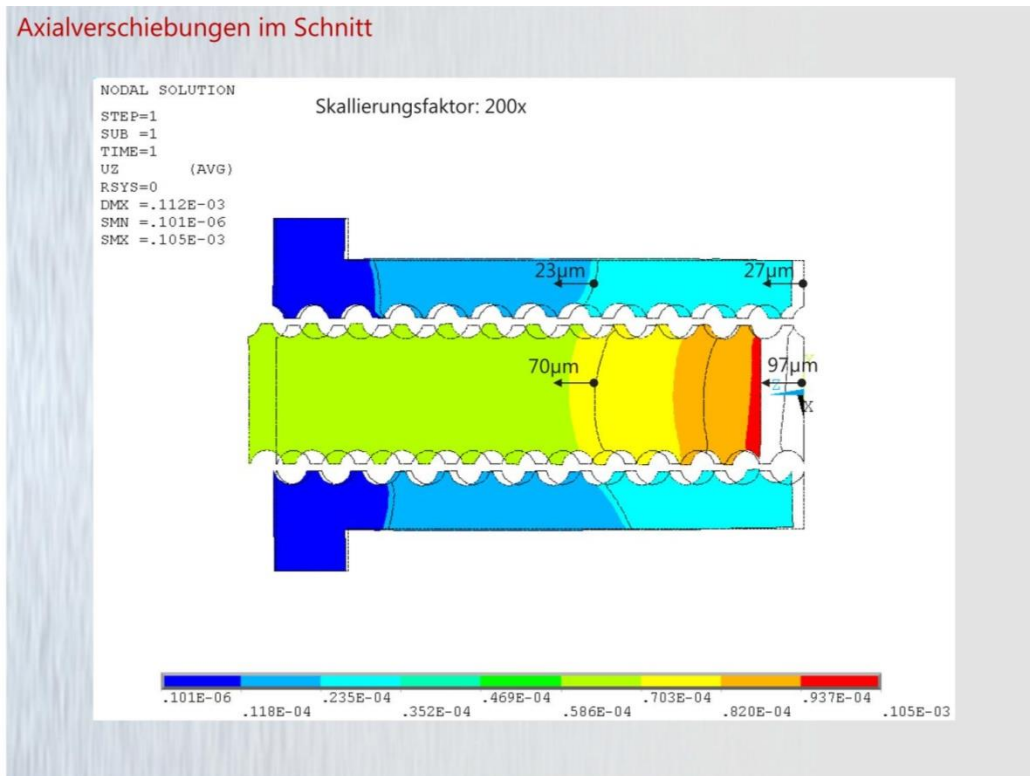


Abb. 10: FEM-Analyse zur elastischen Deformation der Mutter bei hohen Lasten

Die weiteren Arbeiten befassten sich dann mit der Fragestellung, wie der Gesamtaufbau weiter optimiert werden kann, dass selbst wenn durch unterschiedliche Lasteinbringung Schäden im Kugelgewindetrieb entstehen, diese noch nicht zu einem Totalausfall führen, sondern eine gewisse Zeit den Weiterbetrieb des Kugelgewindetriebes ermöglichen. Hierfür wurden umfangreiche Materialuntersuchungen durchgeführt, um beispielsweise etwas duktilere Werkstoffe einsetzen zu können. Ein weiterer Ansatzpunkt für die Optimierung waren dann die verschiedenen Härteverfahren, die eingesetzt werden. Die Fertigung der Spindel wird hierdurch sehr stark beeinflusst, da einerseits eine ausreichende Grundhärte, aber schlussendlich auch eine Bearbeitbarkeit der finalen Spindel gewährleistet sein muss.

Aufbau von Testmustern für die Hochlasttriebe

Zum Abschluss der technischen Arbeiten wurden mit den Testmustern für die Hochlasttriebe umfangreiche Versuche unter extremen Bedingungen durchgeführt. Hierbei treten gewaltige Kräfte auf, die teilweise auch zum Versagen der Bauteile führten. Ein Beispiel ist in der folgenden Abb. 11 dargestellt, bei der ein Teil der Mutter aus dem vollen Material herausgerissen wurde.

Schlussendlich gelang es im Rahmen des Projektes, eine neue Generation von Hochlast-Kugelgewindetrieben mit höherer Effizienz zu entwickeln, die derzeit für die Vermarktung vorbereitet werden. Dabei sind insbesondere kleinere und damit für die Konstrukteure handhabbarere Baugrößen angestrebt, um hohe Lasten bewegen zu können.



Abb. 11: Bruch der Mutter bei Hochlastversuchen

Diskussion der Ergebnisse insbesondere in Hinblick auf die ursprüngliche Zielsetzung

Die ursprüngliche Zielsetzung des Projektes konnte in allen wesentlichen Bereichen erreicht werden. Weitere Arbeiten, die sich durch die aktuellen Ergebnisse, gerade bei der Umsetzung der neuen Konstruktionsprinzipien auf die Hochlast-Kugelgewindetriebe ergeben haben, sollen daher im Zuge der geplanten Phase II noch mit bearbeitet werden. Dies betrifft insbesondere die Effekte durch die den Kugelgewindetrieb umgebenden Baugruppen und deren Einfluss auf den Antrieb.

Technologisch können aber heute bereits sehr kompakte Hochlast-Kugelgewindetriebe aufgebaut werden, die eine deutlich bessere Standzeit und, bedingt durch die höhere Effizienz, geringere Verschleißwirkung aufweisen. Ein großer Nachteil der bisher angebotenen Kugelgewindetriebe für hohe Lasten waren die großen Abmessungen, die inzwischen mit den Ergebnissen des aktuellen Projektes so weit verringert werden konnten, dass hier auch von konstruktiver Seite ein breiter Einsatz möglich wird.

Verschiedene Aspekte der Hochlast-Kugelgewindetriebe bedürfen daher noch der weiteren Optimierung und Verbesserung, um gerade für besonders anspruchsvolle Anwendungen wie beispielsweise bei Anlagen für den Kunststoff-Spritzguss eingesetzt werden zu können. Der Weg konnte im Rahmen des hier abgeschlossenen Projektes bereits sehr genau festgelegt werden, wobei derzeit die aktuellen Erkenntnisse der konstruktiven Auslegung in entsprechende Testmuster überführt und diese wiederum in umfangreichen Praxistests erprobt werden müssen.

Aufgrund der geplanten Phase II des Projektes, wo eine Übertragung auf Differenzialrollentriebe geplant war, können diese Arbeiten mit aufgegriffen und dort weiter abgeschlossen werden. Die grundlegende Fragestellung ist in beiden Anwendungsfällen die gleiche. Insbesondere sind die Rückwirkungen der umgebenden Baugruppen noch genauer zu analysieren und in der Berechnung der Kugelgewindetriebe stärker mit einzubinden. Dies betrifft dabei alle Fragestellungen hinsichtlich der Sicherstellung einer langen Lebensdauer. (siehe Abb. 8 und zugehöriger Erläuterungstext)

Ausführliche ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse im Abgleich mit dem Stand des Wissens, der Technik, des Handelns und der gesetzlichen Mindestanforderungen

Die im Projekt geplante Steigerung des Wirkungsgrades des Kugelgewindetriebs durch konstruktive Maßnahmen konnte voll erreicht werden. Diese Ergebnisse wurden dann auf die Konzeption von Hochlastkugelgewindetriebe übertragen. Beispielhaft ist in der folgenden Abbildung eine typische Messung des Wirkungsgrades dargestellt.

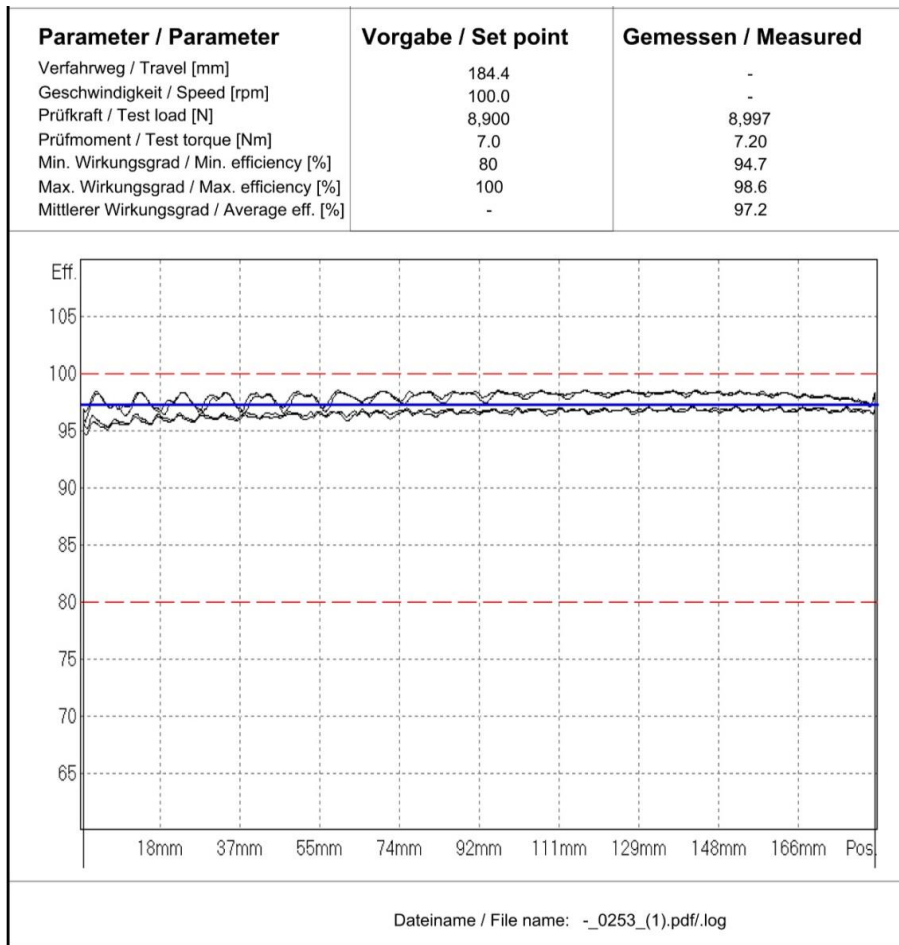


Abb. 12: Erreichte Wirkungsgradsteigerung der neuen KGT

Dadurch dass der mittlere Wirkungsgrad mit 97,2% noch höher ausfällt, als in der Zielstellung des Projektes geplant, wird auch der gesamtökologische Effekt höher ausfallen.

Ausgehend von der Ausgangslage zu Projektbeginn, bei der der Wirkungsgrad eines konventionellen Kugelgewindebetriebs mit ca. 90 % angesetzt wurde und die Zielstellung mit neuen optimierten Kugelgewindetrieben Wirkungsgrade von über 95 % zu erreichen festgelegt wurde, um somit die Verluste zu halbieren, können noch höhere Energieeinsparungen realisiert werden.

Bei einer Werkzeugmaschine mit einer typischen Antriebsleistung von 10 kW und einem durchschnittlichen Leistungsbedarf von ca. 5 kW kann mit einem hocheffizienten Kugelgewindetrieb die Verlustleistung von 500 auf 150 W reduziert werden. An einer typischen Anlage sind im Schnitt vier Antriebsachsen montiert, so dass die durch den Kugelgewindetrieb verursachte Verlustleistung von 2 kW auf 0,6 kW reduziert werden kann. Diese Zahlen basieren auf Erfahrungswerten bei der Auslegung von Kugelgewindetrieben bei der Firma A. Steinmeyer.

Aufgrund der im Antrag vorgelegten Abschätzung der ökologischen Wirkung des Projektes und der im Projekt erreichten Ziele kann dargestellt werden, dass die wesentlichen ökologischen Ziele somit nicht nur erreicht sondern übertroffen wurden.

Dadurch, dass es gelang, hocheffiziente Kugelgewindetribe einerseits umzusetzen und diese Konzepte auf Hochlast-Kugelgewindetribe andererseits zu übertragen, stehen

entsprechende technische Möglichkeiten als Standardkonstruktionselemente inzwischen am Markt zur Verfügung.

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Anwendungsfälle im Maschinenbau und den geplanten Verwertungen der neuen hocheffizienten Kugelgewindtrieben gibt es ein breites Einsatzgebiet, das bisher so nicht mit mechanischen Kugelgewindtrieben erschlossen werden konnte. Ein wesentlicher Punkt liegt darin, dass es im Projekt gelungen ist, Hochlast-Kugelgewindtriebe deutlich kompakter und effizienter aufzubauen, als dies bisher möglich war.

Am interessantesten sind hier sicher die Einsatzbereiche im Bereich des Kunststoff-Spritzgusses für kleinere Teile mit bis zu 50 to Schließkraft. Diese stellen auch stückzahlmäßig den größten Markt dar, sodass hier zukünftig deutlich effizientere Maschinen aufgebaut werden können. Hierzu ist konkret mit der Firma Arburg eine Zusammenarbeit angelaufen, um hocheffiziente Kugelgewindtriebe zum Schließen der Werkzeuge einzusetzen.

Mit den neu entwickelten Hochlastkugelgewindtrieben kann die Firma A. Steinmeyer inzwischen hocheffiziente Systeme am Markt anbieten, die mit statischen Traglasten von über 4.000 kN in den Bereich vordringen, der bisher von Hydraulik-Bewegungssystemen dominiert wurde.

Darüber hinaus hat sich inzwischen vonseiten des US-amerikanischen Marktes ein großes Interesse an entsprechenden Hochlast-Kugelgewindtrieben ergeben, sodass in einem der größten Wirtschaftsmärkte der Welt diese Technologie auch zukünftig eingesetzt werden kann. Durch die Entwicklung der kompakten Hochlastkugelgewindtriebe kann die Firma A. Steinmeyer auch in diesem Marktsegment aktiv Produkte anbieten.

Darlegung der Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse.

Die geplanten Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse orientieren sich an der direkten Verwertung der hocheffizienten Kugelgewindtriebe, sowohl für gängige Anwendungen als auch für Hochlastanwendungen. Dazu wurden die letzten abschließenden konstruktiven Arbeiten durchgeführt, um ein modulares System an hocheffizienten Kugelgewindtrieben als Standardbaugruppe am Markt anbieten zu können. (siehe aktuelles Prospektblatt in Abb. 13)

Insbesondere gelang es im Projekt ja, die Baugröße der Kugelgewindtriebe trotz erhöhter Traglasten deutlich zu verringern und somit den Anwendungsbereich zu erweitern. Die Firma A. Steinmeyer ist dabei davon überzeugt, dass mit den neuen Produktreihen eine breitere Umsetzung von Kugelgewindtrieben in den Hochlastanwendungen möglich wird und sich somit mechanische Kugelgewindtriebe auch in diesem Segment deutlich weiter verbreiten werden. Hierzu gibt es auch eine enge Zusammenarbeit mit mehreren Firmen, die Kunststoffspritzgussanlagen herstellen.

Ein wichtiger Ansatzpunkt ist hier die Möglichkeit, auch im US-amerikanischen Markt entsprechende Hochlasttriebe anbieten zu können, da dort inzwischen ein erhöhtes Interesse an energieeffizienten Antrieben besteht. Bedingt durch Baugröße, Qualität der Baugruppen und Verfügbarkeit hat die Firma A. Steinmeyer hier eine gute Ausgangsposition,

die neu entwickelten Kugelgewindtriebe insbesondere auch im amerikanischen Markt zu platzieren. Somit besteht die Möglichkeit in einem der größten Maschinenmärkte der Welt durch hocheffiziente Kugelgewindtriebe und den Ersatz von ineffizienten hydraulischen Antrieben eine erhebliche Emissionsminderung und Energieeinsparung zu realisieren.



Schwerlast-Kugelgewindtriebe.
Individuell für den passenden Einsatz konzipiert.
Ultra Thrust ball screws.
Specifically designed for very high loads.



- Hohe Belastbarkeit | High load capacity
- Geringe Geräuschentwicklung | Low noise
- Hohe Geschwindigkeit | High speed
- Lange Lebensdauer | Long lifetime

Einsatz: Schwermaschinenbau | Spritzgussmaschinen | Pressen
Applications: Heavy machine tools | Injection molding machines | Presses

Schwerlast-Kugelgewindtriebe für Industrieanwendungen.
Ultra Thrust ball screws for industrial applications.

Die Schwerlastführungen von Steinmeyer werden nicht einfach nur größere Kugeln oder zusätzliche Umläufe, sondern sie sind von Grund auf für ihr spezifisches Einsatzfeld konstruiert. So sind die großen Kugeldurchmesser, sowie die Umlenkungen optimiert und auch der Mutterkörper und besonders der Flansch sind an die hohen Kräfte angepasst.

Ultra Thrust ball screws from Steinmeyer are not merely larger sizes of conventional ball screws. They have been specifically designed for the purpose of transmitting very high loads. The ball returns for example have been optimized for large ball sizes and for the specific use of such large screws. Also the robust nut body and the flange differ from conventional designs. Material selection and heat treatment take into account the special application requirements.

Zulässige axiale Kräfte auf Kugelgewindtriebe | Maximum axial forces on ball screws
Beispiel: Schwerlastmutter 9414/10.32A.7.5.8 | Example: Heavy Duty Nut 9414/10.32A.7.5.8



Empfohlene mittlere Drehzahl in Abhängigkeit von der Belastung und daraus resultierende Lebensdauer.
Recommended average speed as a function of load and service life.

Features:

- Montage mit geringem Anlaufspiel (Max. 0,02 mm) bzw. ganz leichter Verspannung (Max. 2% der dyn. Tragzahl)
- Drehzahl-Kennwert: 120.000
- Abdichtung der Muttern mit Segmentabdichtern. Montage teilweise mit Kugeldämpfern (ab Kugel-ø15)

Features:

- Assembled with minimal axial clearance (Max. 0.02 mm) or very light preload (Max. 2% of dyn. Load capacity)
- DN value: 120,000
- Nuts are sealed with segmented wipers. Assembly also possible with elastic spacers (with ball diameter of 15 mm or larger)

www.steinmeyer.com

Auf Anfrage sind weitere Schwerlast-Baureihen verfügbar.
More Ultra Thrust designs available on request.

Serie 9414: Schwerlast-Muttern mit Z-Umlenkung
Series 9414: Ultra Thrust nuts with Z-deflectors



Weitere technische Details sind auf Nachfrage erhältlich. Further technical details are available on request.

* Bei abweichenden Belastungen nehmen Sie bitte Kontakt mit uns auf. * For different loads, please contact us.

Schmierbohrungen, siehe Tabelle
Schmierung mit über den Mutterumfang verteilten Schmierbohrungen (Rythmisch, Fett Lube FS-2 oder Kübler Staburag NSU 8 EP

Lubrication ports, see Table
Lubrication ports (depending on model), grease Lube FS-2 or Kübler Staburag NSU 8 EP

Mutter-Bezeichnung Nut designation	Nenn-D Nominal dia. (mm)	Stoßmaß Lead (mm)	Traglast ca. (kN) Load capacity (kN)	Traglast ca. (kN) Load capacity (kN)	Spannweite (mm) Lead length (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	Stoßmaß (mm) Lead (mm)	
9414/10.32A.7.5.8	32	10	2	107,1	152,8	20,0	25,3	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
9414/10.32A.7.5.8	36	10	2	117,0	173,3	20,0	26,3	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
9414/10.32A.7.5.8	40	10	3	149,8	219,4	20,0	28,3	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
9414/10.32A.7.5.8	50	10	3	203,4	273,8	20,0	30,3	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
9414/10.32A.8.4	32	12	2	132,3	217,8	20,0	25,4	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
9414/10.32A.8.9	40	12	3	176,8	282,9	20,0	27,4	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
9414/10.32A.8.9	50	12	3	239,2	369,2	20,0	29,4	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
9414/10.32A.11.9	50	18	3	407,9	607,9	20,0	41,9	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
9414/10.32A.11.9	63	18	3	499,8	729,8	20,0	43,9	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
9414/10.32A.15.9	80	20	3	540,7	778,8	20,0	45,9	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
9414/10.32A.15.9	100	20	3	706,1	1.046,1	20,0	47,9	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134
9414/10.32A.15.9	125	20	3	1.188,2	1.628,2	20,0	49,9	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167

1 Umlenkung = 3 Umläufe (D,7 Tragende Umläufe) | 3 deflectors = 3 circles (D,7 circles)



August Steinmeyer GmbH & Co. KG
Riedstr. 7
D-72458 Albstadt
Germany
Telefon +49 (0) 7431 1288-0
Telefax +49 (0) 7431 1288-89
info@steinmeyer.com



www.steinmeyer.com

Abb. 13: Aktuell ausgearbeitetes Prospektblatt für die geplante Verwertung der neuen hocheffizienten Hochlastkugelgewindtriebe

Fazit

Im Rahmen des Projektes konnten erhebliche Fortschritte hinsichtlich der konstruktiven und konzeptionellen Auslegung von hocheffizienten Hochlast-Kugelgewindetrieben erreicht werden. Der Firma A. Steinmeyer ist es in dem Projekt gelungen, eine neue Generation von Hochlast-Kugelgewindetrieben zu entwickeln, die durch sehr kompakte Baumaße, eine optimale Auslegung und reduzierten Wärmeverlust erstmals das Potenzial bieten, um als Standardbaugruppe auch hydraulische Antriebe zu ersetzen. Die Reduzierung der Baugröße ist hier ein ganz wesentlicher Aspekt für den späteren Einsatz.

Es wurden in vielen Bereichen der konstruktiven Auslegung und der technischen Umsetzung neue Wege beschritten, die es schlussendlich ermöglichten, hocheffiziente Hochlast-Kugelgewindetribe aufbauen zu können.

Allerdings zeigte sich auch, dass verschiedene Aspekte, die ursprünglich in dieser Form nicht als relevant eingestuft wurden, gerade beim Einsatz in Hochlast-Kugelgewindetrieben einen erheblichen Einfluss haben. Das komplexeste Thema beinhaltet hierbei die Rückwirkungen der umgebenden Baugruppen, die einen erheblichen Einfluss auf den eigentlichen Hochlast-Kugelgewindetrieb haben und dabei insbesondere auch die Lebensdauer mit beeinflussen. Die bei hohen Lasten auftretenden starken elastischen Verformungen im Kugelgewindetrieb wirken dabei sehr stark auf die umgebenden Baugruppen und deren Steifigkeit, sodass es sehr schwierig wird, nur den Kugelgewindetrieb als eigenständige Baugruppe auszulegen. Diese besonderen Herausforderungen sollen in der geplanten Phase II des Projektes noch einmal im Detail aufgegriffen werden.

Grundsätzlich kann aber ganz klar gesagt werden, dass es der Firma A. Steinmeyer mit den geplanten Verwertungsaktivitäten erstmals gelingen wird, hocheffiziente Kugelgewindetribe auch für Hochlastanwendungen weltweit in den großen Industriemärkten zu platzieren. Aufgrund der geringen Baugröße der Kugelgewindetribe wird sich auch die Chance deutlich erhöhen, dass diese standardmäßig als Baugruppe in Maschinen und Anlagen beispielsweise beim Kunststoff-Spritzguss eingesetzt werden können.

Literaturverzeichnis

- [Forst 2010] Forstmann, Jochen: „Kugelgewindetriebe im Einsatz an Kunststoffspritzgießmaschinen –Lebensdauerprognose und Optimierung“, Universität Duisburg-Essen, Dissertation, 2010