

Dipl.-Ing. Wilhelm Schröder, Zürich

## **Feinpositionierung mit Kugelgewindetrieben**

Reihe **1**: Konstruktionstechnik/  
Maschinenelemente

Nr. **277**

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung	2
1.2	Stand der Technik	3
1.2.1	Kugelgewindetrieb: Gewindespindel	5
1.2.2	Kugelgewindemutter	8
1.2.3	Wälzelemente	12
1.2.4	Fertigung von Kugelgewindetrieben	14
1.2.5	Lebensdauer; Verschleissformen	16
1.3	Literaturübersicht	18
1.4	Ziel der Arbeit	20
<b>2</b>	<b>Modellbildung</b>	<b>22</b>
2.1	Mechanisches Ersatzmodell	22
2.2	Koordinatensysteme und ihre Transformation	23
2.3	Kontaktverhältnisse und Relativkinematik	26
2.3.1	Relativgeschwindigkeiten	27
2.3.2	Relativgeschwindigkeiten unter Berücksichtigung elastischer Deformation	29
2.3.3	Kugelverlagerung im Kugelgewindetrieb	31
2.3.4	Relativdrehungen	33
2.4	Bindungen und Freiheitsgrade	34
2.5	Beschleunigungen	36
2.5.1	Translationsbeschleunigung	36
2.5.2	Drehbeschleunigung	37
2.6	Reaktionskräfte und eingeprägte Kräfte	39
2.6.1	Kontaktkräfte und Momente	40
2.6.1.1	Bohrreibung	41
2.6.1.2	Kontaktkräfte für den mathematischen Punktkontakt	44
2.6.1.3	Kontaktkräfte unter Berücksichtigung elastischer Deformation	45
2.6.2	Eingeprägte Lasten	46
2.6.3	Vorspannung und Kontaktwinkeländerungen	47
2.6.4	Lasten infolge Kugelverlagerung	49
2.7	Bewegungsgleichungen	50
<b>3</b>	<b>Simulation</b>	<b>52</b>
3.1	Integration der Bewegungsgleichungen	52
3.2	Statische Analyse: Wirkungsgrad	54
3.3	Instationäres Verhalten des Kugelgewindetriebes	59
3.4	Schlussfolgerungen	69

<b>4</b>	<b>Prüfstandversuche; Vergleich mit der Theorie</b>	<b>72</b>
4.1	Aufbau der Versuchseinrichtung	72
4.2	Versuchskugelgewindetrieb	76
4.3	Variable Einstellung der Vorspannung	78
4.4	Messung der Vorspannungsschwankungen	81
4.5	Messung des Leerlaufdrehmomentes	83
4.6	Messresultate und Vergleich mit theoretischen Ergebnissen	83
4.6.1	Leerlaufdrehmoment in Abhängigkeit der Vorspannung	83
4.6.2	Gleichlaufverhalten des Kugelgewindetriebes	87
4.6.3	Vorspannungsschwankungen im Doppelmutterssystem	93
4.6.4	Hysterese des Kugelgewindetriebes	97
4.7	Korrelation zwischen Vorspannungsverlust und Hysterese	102
4.8	Schlussfolgerungen	103
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>106</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>109</b>
A	Betrachtungen zum gotischen Laufbahnprofil	109
B	Relativbewegungen und Kontaktbedingungen	113
C	Kugelverlagerung im Kugelgewindetrieb	116
D	Quaternionen	118
E	Hertz'sche Pressung	122
F	Werkstoffkenndaten	127
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>128</b>