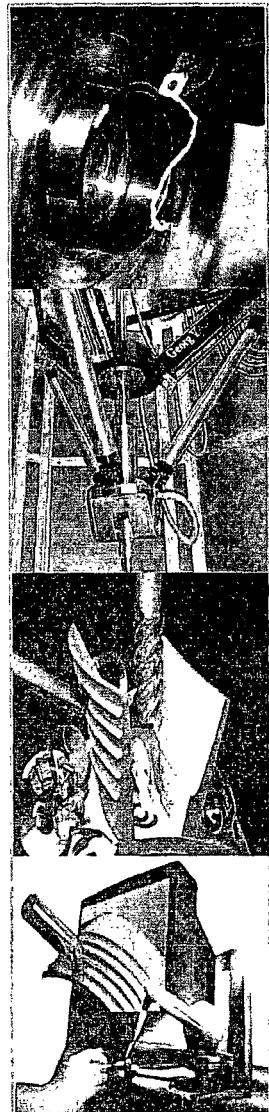


Leibniz  
Universität Hannover

Institut für Fertigungstechnik  
und Werkzeugmaschinen

Peter Hesse  
**Energieeffizientes  
Relativführungskonzept für  
ruckentkoppelte Vorschubachsen**



## Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen, Symbole und Abkürzungen .....	VIII
Kurzfassung .....	XVII
1 Einleitung .....	1
2 Stand des Wissens .....	3
2.1 Vorschubantriebe für Werkzeugmaschinen .....	3
2.1.1 Anforderungen an Vorschubantriebe .....	4
2.1.2 Vergleich verschiedener Vorschubantriebe .....	8
2.1.3 Dynamik von Vorschubantrieben .....	13
2.2 Steuerungs- und Regelungstechnik für Lineardirektantriebe .....	14
2.2.1 Ferraris-Sensoren und deren Einsatzmöglichkeiten .....	19
2.2.2 Dynamikbegrenzungen in Regelungssystemen .....	22
2.3 Modellierung von Synchronantrieben .....	25
2.3.1 Allgemeine Modellierung .....	26
2.3.2 Feldorientierte Regelung .....	28
2.3.3 Modellierung im rotorfesten Koordinatensystem .....	30
2.4 Ruckentkoppelte Vorschubantriebe für Werkzeugmaschinen .....	33
2.4.1 Generelles Prinzip und verschiedene Ausführungsformen .....	33
2.4.2 Modellbasierte Auslegung von Koppelementen .....	37
2.4.3 Erste prototypische Anwendungsfälle .....	38
3 Zielsetzung und Vorgehensweise .....	40
4 Wirkungsgradoptimierte Auslegung der Ruckentkopplungselemente .....	42
4.1 Systemsimulation einer ruckentkoppelten Vorschubachse .....	42
4.1.1 Modell der mechanischen Komponenten .....	43
4.1.2 Modelle des Synchronmotors und der Stromregelung .....	49
4.1.3 Modell der Leistungselektronik .....	50
4.1.4 Modelle der Steuerungs-, Regelungs- und Messtechnik .....	52
4.2 Energiebeobachter für die Systemsimulation .....	53
4.3 Energieoptimale Auslegung der Koppelemente .....	54
4.3.1 Aufteilung des generierten Rucks in Primärteil und Sekundärteil ....	55
4.3.2 Energieverläufe in ruckentkoppelten Vorschubachsen .....	59

4.3.3	Parametervariation der Koppелеlemente .....	63
4.4	Auslegung anhand von Frequenzgängen .....	67
4.5	Fazit und Generieren eines Optimums .....	70
5	Entwicklung eines Relativführungsprinzips.....	72
5.1	Anforderungen an die Versuchseinrichtung.....	73
5.2	Verwendete Antriebstechnik, integrierte und externe Sensorik.....	76
5.2.1	In der Versuchseinrichtung verwendete Antriebstechnik.....	76
5.2.2	Verwendete integrierte Sensorik zur Regelung .....	77
5.2.3	Verwendete integrierte und externe Sensorik zur Verifizierung.....	80
5.3	Neues Führungskonzept für ruckentkoppelte Vorschubachsen.....	81
5.4	Mehrkörper- und FEM-Simulation des Relativführungs Konzeptes .....	88
5.4.1	FEM-Simulation des Relativführungs Konzeptes .....	88
5.4.2	Mehrkörper-Simulationen des neuen Relativführungs Konzeptes ....	94
5.5	Entwickelte Regelungstechnik und erstellte Steuerungsarchitekturen.....	100
6	Mechatronische Feder und einstellbarer Dämpfer .....	101
6.1	Mechatronische Federelemente zur optimalen Betriebspunkteinstellung	101
6.1.1	Anforderungen und theoretische Ansätze .....	101
6.1.2	Entwicklung eines mechatronischen Federelementes .....	103
6.2	Einstellbare Dämpfungseinheit zur Energierückspeisung.....	107
6.2.1	Anforderungen und theoretische Ansätze .....	108
6.2.2	Entwicklung einer einstellbaren Dämpfungseinheit .....	110
6.2.3	Konzept eines adaptronischen Dämpfers .....	113
7	Verifizierung der wirkungsgradoptimierten ruckentkoppelten Vorschubachse	115
7.1	Verifizierung des neuen Relativführungs Konzeptes .....	115
7.2	Verifizierung der mechatronischen Koppelfeder .....	118
7.3	Verifizierung des einstellbaren Dämpfers in der Versuchseinrichtung.....	121
7.4	Verifizierung des Energiebeobachters .....	124
7.5	Verifizierung der Energierückspeisung .....	127
8	Folgerungen für die Praxis .....	130
9	Zusammenfassung und Ausblick .....	133
10	Anhang.....	136
10.1	Technische Daten der externen Messgeräte zur Verifizierung .....	136

---

10.2 Modellierungsparameter für die Simulationsumgebung aus Kapitel 4.3...	137
10.3 Modellierungsparameter für die Simulationsumgebung aus Kapitel 5.3...	138
10.4 Ermittelte Parameter von der Versuchseinrichtung .....	138
10.5 Übertragungsfunktionen für Modelle aus Kapitel 4.4 .....	140
10.6 Übertragungsfunktionen für Modelle aus Kapitel 5.3 .....	141
11 Literaturverzeichnis .....	143