

Forschungsberichte aus dem
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Steffen Dosch

**Herstellerübergreifende
Informationsübertragung zur
effizienten Produktion von
Werkzeugmaschinen am Beispiel
von Kugelgewindetrieben**

Band 209

Forschungsberichte aus dem
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Steffen Dosch

**Herstellerübergreifende Informationsübertragung zur
effizienten Produktion von Werkzeugmaschinen
am Beispiel von Kugelgewindetrieben**

Band 209

Herstellerübergreifende Informationsübertragung zur effizienten Produktion von Werkzeugmaschinen am Beispiel von Kugelgewindetrieben

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften

der Fakultät für Maschinenbau

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Steffen Dosch

aus Schwetzingen

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Dezember 2017

Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Diss., 2017

Copyright Shaker Verlag 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5816-1

ISSN 0724-4967

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort der Herausgeber

Die schnelle und effiziente Umsetzung innovativer Technologien wird vor dem Hintergrund der Globalisierung der Wirtschaft der entscheidende Wirtschaftsfaktor für produzierende Unternehmen. Universitäten können als "Wertschöpfungspartner" einen wesentlichen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit der Industrie leisten, in dem sie wissenschaftliche Grundlagen sowie neue Methoden und Technologien erarbeiten und aktiv den Umsetzungsprozess in die praktische Anwendung unterstützen.

Vor diesem Hintergrund soll im Rahmen dieser Schriftenreihe über aktuelle Forschungsergebnisse des Instituts für Produktionstechnik (wbk) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) berichtet werden. Unsere Forschungsarbeiten beschäftigen sich sowohl mit der Leistungssteigerung von Fertigungsverfahren und zugehörigen Werkzeugmaschinen- und Handhabungstechnologien als auch mit der ganzheitlichen Betrachtung und Optimierung des gesamten Produktionssystems. Hierbei werden jeweils technologische wie auch organisatorische Aspekte betrachtet.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als akademischer Mitarbeiter am wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer für die Betreuung meiner Dissertation und die Übernahme des Hauptreferats sowie die konstruktiven Diskussionen und das mir entgegengebrachte Vertrauen. Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl für die Übernahme des Korreferats und das Interesse an meiner Arbeit.

Den Mitarbeitern des Instituts danke ich für die freundliche und kollegiale Zusammenarbeit. Insbesondere möchte ich mich beim Service Center Technik für die tatkräftige Unterstützung bedanken. Des Weiteren möchte ich meinen Kollegen der MAP für die tolle Zeit und die angenehme Arbeitsatmosphäre Danke sagen. Ein besonderer Dank gilt Andreas Spohrer und meinem Bürokollegen Jacques Burtscher für die guten Diskussionen und Anmerkungen zu meiner Dissertation. Vielen Dank an meine studentischen Hilfskräfte Melanie Stalder, Madeleine Weiß, Daniel Kühn und Christopher Hellmann sowie an Christian Richardson die mich durch ihre Arbeit unterstützt haben. Weiterhin bedanke ich mich bei den Projektpartnern für die konstruktive Zusammenarbeit und die hilfreichen Diskussionen.

Der allergrößte Dank gilt meiner Familie. Ganz besonders möchte ich meinen Eltern danken die mich stets auf meinem Weg unterstützt haben. Euer Zuspruch und die Unterstützung hat mir das Gelingen der Promotion erst ermöglicht. Die Promotion wäre nicht ohne den Rückhalt und die notwendige Geduld sowie die motivierenden Worte meiner Frau Silke möglich gewesen. Liebe Silke, dafür möchte ich dir von ganzem Herzen danken. Auch meinen Kindern Franziska und Josefine bin ich sehr für ihr liebes fröhliches Lächeln sowie für die vielen Stunden die sie ihren Papa entbehrt haben dankbar. Ihr Drei habt mich unterstützt und es mir so ermöglicht die Promotion erfolgreich zu meistern.

Pattonville, im Januar 2018

Steffen Dosch

Abstract

In the future, the digitalization of production technology will be a key competitive factor in the machine tool industry. However, especially in this industry sector the digitalization of production processes is implemented with restraint. Within the production process of machine tools, the provision of information for ball screws is necessary in many process steps. The information transfer in these process steps is not efficient due to paper-based data sheets. A digitalization of process steps can affect a significant increase of efficiency in the production process.

Therefore, the aim of this thesis is to increase the efficiency of the production of machine tools by means of targeted use of the information generated during the production of ball screws via cross-manufacturer information transfer.

The information to be transferred is identified by an analysis method in the production process. By means of this method, information at information sources and information sinks can be identified. Based on this, the information for a cross-manufacturer information transfer is determined. A method for the calculation of the sample-specific correction values is derived. For this purpose, the measurement of the path deviation was described and the formula for the calculation of the interpolation error was determined. Based on this, the calculation method was derived and the procedure summarized in seven steps. The technical solution for transfer is based on the description of the information through an information model and the object-based storage on the ball screw as well as a communication interface for the transfer of the information in the production process.

The cross-manufacturer information transfer was examined by means of the process steps "check of test reports", "parameter setting of the control system" and "compensation of travel deviation". The automated parameterization by OPC UA communication with the control system could be demonstrated by an example. The time advantage was demonstrated at a feed axis demonstrator. Subsequently, the validation of the calculation method was performed by means of a comparison between the measured value and the previously calculated value. However, an overall good matching between the measured and calculated values can be observed.

The results of the work represent a solution for the cross-manufacturer electronic information transfer for ball screws for efficiency enhancement of the machine tool production process.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungen und Formelzeichen	IV
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Ausgangssituation	2
1.2.1 Produktion von Werkzeugmaschinen	2
1.2.2 Kompensation der Wegabweichung	4
1.2.3 Herstellerübergreifende Informationsübertragung	6
1.3 Problemstellung	7
2 Stand der Forschung und Technik	10
2.1 Analyse von Produktionsprozessen	10
2.2 Kugelgewindetriebe	12
2.2.1 Aufbau und Bezeichnungen	12
2.2.2 Wegabweichung	14
2.2.3 Leerlaufdrehmoment	16
2.2.4 Einflüsse von Kugelgewindetrieben auf die Positioniergenauigkeit	18
2.2.5 Berechnung von Korrekturwerten bei Kugelgewindetrieben	20
2.3 Informationsübertragung in der Produktionstechnik	22
2.3.1 Begriffe	22
2.3.2 Informationsmodelle für Maschinenelemente	24
2.3.3 Informationsaustauschformate	26
2.3.4 Kommunikationsschnittstellen	29
2.3.5 Komponentenintegrierte Informationsspeicherung	33
2.3.6 Maschinensteuerungen	35
2.4 Fazit zum Stand der Technik	37
3 Zielsetzung und Vorgehensweise	38
3.1 Zielsetzung	38
3.2 Vorgehensweise	40
4 Analyse der Produktionsprozesse zur Ableitung der Informationen	43
4.1 Vorgehensweise bei der Analyse	43

4.2	Durchführung der Analyse der Produktionsprozesse zur Ableitung der Informationen	48
4.2.1	Analyse des Produktionsprozesses von Werkzeugmaschinen	48
4.2.2	Analyse des Produktionsprozesses von Kugelgewindetrieben	53
4.2.3	Ableitung der Informationen	58
4.2.4	Ableitung der Informationsübertragungspunkte	61
4.3	Zusammenfassung	62
5	Berechnungsmethode für exemplarspezifische Korrektur- und Messwerte	64
5.1	Berechnungsmethode für exemplarspezifische Korrekturwerte	64
5.1.1	Messung der Wegabweichung	64
5.1.2	Berechnung des Interpolationsfehlers	66
5.1.3	Berechnungsmethode für Korrekturwerte bei zulässigem Interpolationsfehler	69
5.2	Berechnungsmethode für Messwerte des Leerlaufdrehmoments	74
5.2.1	Messung des Leerlaufdrehmoments	74
5.2.2	Vorgehen zur Messwerterfassung	74
5.2.3	Diskretisierung der Messung	75
5.3	Zusammenfassung	76
6	Elektronische Informationsübertragung bei Kugelgewindetrieben	78
6.1	Informationsmodell für Kugelgewindetriebe	79
6.1.1	Herleitung des Informationsmodells für Kugelgewindetriebe	79
6.1.2	Umsetzung des Informationsmodells auf Basis von AutomationML	85
6.2	Komponentenintegrierte Speicherung für Kugelgewindetriebe	87
6.3	Kommunikationsschnittstellen	91
6.3.1	Ableitung des Kommunikationskonzepts	92
6.3.2	Realisierung der Kommunikationsschnittstelle	94
6.3.3	Realisierung der Kommunikationseinheit	98
6.4	Zusammenfassung	100
7	Umsetzung und Erprobung des Gesamtkonzepts	102
7.1	Vorschubachsen-Demonstrator und Messeinrichtungen sowie Kugelgewindetriebe für die Validierung	103
7.1.1	Vorschubachsen-Demonstrator und Messeinrichtungen	103
7.1.2	Kugelgewindetriebe	110

7.2	Messung der Wegabweichung und des Leerlaufdrehmoments und Anwendung der Berechnungsmethode	110
7.2.1	Messung der Wegabweichung	111
7.2.2	Anwendung der Berechnungsmethode für exemplarspezifische Korrekturwerte	113
7.2.3	Messung des Leerlaufdrehmoments	118
7.2.4	Fazit	121
7.3	Erstellung der Informationsmodelle für die Kugelgewindetriebe	121
7.3.1	Erstellung der Informationsmodelle	121
7.3.2	Tools zur Erstellung und für den Zugriff auf das Informationsmodell	122
7.3.3	Fazit	124
7.4	Informationsübertragung in den Prozessschritten	124
7.4.1	Abgleich der Begleitinformationen und Kontrolle der Messwerte	125
7.4.2	Parametrierung des Steuerungssystems	127
7.4.3	Kompensation der Wegabweichung	128
7.4.4	Fazit	129
7.5	Validierung der Berechnungsmethode für exemplarspezifische Korrekturwerte	130
7.6	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	137
8	Zusammenfassung und Ausblick	139
8.1	Zusammenfassung	139
8.2	Ausblick	141
Literaturverzeichnis		I
Abbildungsverzeichnis		XI
Anhang		XVI