



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Fakultät Maschinenwesen

Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik



LEHRE · FORSCHUNG · PRAXIS

TÄTIGKEITSBERICHT

**DES LEHRSTUHLS FÜR WERKZEUGMASCHINEN
2005/2006**



Herausgeber:
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann
Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen

Lehre • Forschung • Praxis

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen

Tätigkeitsbericht
des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen
2005 / 2006

Herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann
Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen
der Technischen Universität Dresden
Dresden, 2007

Technische Universität Dresden

Fakultät Maschinenwesen

Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik

Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen

Kutzbach-Bau

Helmholtzstraße 7 a

01069 Dresden

Telefon: +49/351/46 33 43 58

Fax: +49/351/46 33 70 73

Email: mailbox@iwm.mw.tu-dresden.de

Internet: iwm.mw.tu-dresden.de

Autorenteam:

Tätigkeitsbericht 2005/2006

Redaktion:

G. Brzezinski

K. Wanstrath

Herstellung:

addprint® AG, Possendorf

Eigenverlag

ISBN 3-86005-548-8

© Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen 2007

Vorwort

Vor genau zehn Jahren haben wir mit dem Tätigkeitsbericht 1995/96 unsere Schriftenreihe *Lehre • Forschung • Praxis* eröffnet und berichten seither im zweijährigen Rhythmus über die am Lehrstuhl geleistete Arbeit und die dabei erzielten Ergebnisse.

Legt man die Berichte von 1995/96 und 2005/06 nebeneinander, so lässt bereits der äußere Eindruck von Form und Umfang die in diesen zehn Jahren durchlaufene Entwicklung vermuten.

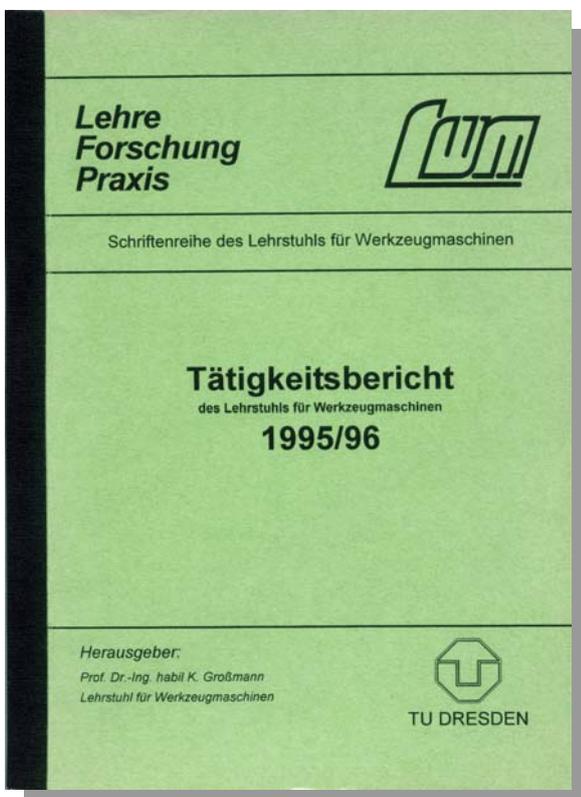


Beim Vergleich der Inhalte lässt sich dies auch quantifizieren:

In der Lehre hat sich in diesem Zeitraum, insbesondere durch die Mitwirkung im *Studiengang Mechatronik*, die Anzahl der Hörer sowohl in den Veranstaltungen der *Werkzeugmaschinen-Grundlagen* als auch der *Werkzeugmaschinen-Entwicklung* mehr als verdoppelt und dies bei gleichzeitiger, im Rahmen des Stellenabbaues erfolgten, Reduzierung der für Lehraufgaben einsetzbaren haushaltfinanzierten Mitarbeiter von 4 auf 2. Dabei konnte die Anzahl der Studenten für eine *Hilfskrafttätigkeit* versechsfacht werden.

Die *Drittmiteleinnahmen* wurden auf nahezu das Andert-halbfache gesteigert, wobei insbesondere der Anteil der Grundlagenforschung erheblich ausgebaut wurde. Während wir im Jahr 1996 gerade einmal ein DFG-Projekt bearbeiteten, befanden sich im Jahr 2006 neun *DFG-Vorhaben* im Rahmen von Normalverfahren, Schwerpunktprogrammen und Sonderforschungsbereich in laufender Bearbeitung. Finanziert durch die

Forschungsprojekte und mit Unterstützung durch den 1998 gegründeten Dresdner Freundeskreis der Werkzeugmaschinen- und Steuerungstechnik (DWM e. V.) konnte die *Infrastruktur* des Lehrstuhls ganz wesentlich verbessert werden. So hat sich in den vergangenen zehn Jahren, neben der Installation leistungsfähiger Netzwerke und der ständigen Modernisierung der Prozessor-, Speicher- und Bildschirmtechnik sowie der Erweiterung der verfügbaren Entwicklungs- und Anwendungssoftware, die Anzahl der - damit in ihrer Leistungsfähigkeit ohnehin nicht mehr vergleichbaren - *PC-Arbeitsplätze* verdreifacht. Ebenso wurde die *messtechnische Ausstattung* modernisiert und in ihrem Anschaffungswert mehr als verdoppelt. Die erheblich gesteigerten Forschungsaktivitäten und das damit gewachsene Potenzial lassen sich auch an dem Wertumfang der als Experimentalbasis zur Verfügung stehenden *Versuchstände* sowie der aktiv genutzten *Versuchsfeldfläche* ablesen, welche sich von 1996 bis 2006 jeweils verfünffacht haben.



Der erste und der aktuelle Tätigkeitsbericht des Lehrstuhls

Schließlich soll nicht unerwähnt bleiben, dass im Berichtszeitraum durch Finanzierung des DWM e. V. die moderne Neuausstattung der *Mitarbeiter-Arbeitsplätze* erfolgte und mit Universitätsmitteln eine Teilsanierung des *Institutsgebäudes* sowie der *Versuchsfeld-Halle* realisiert werden konnte.

Auch wenn die Zahlen allein keine umfassende Wertung zulassen, können wir doch insgesamt eine sehr erfolgreiche Bilanz der Lehrstuhlentwicklung ziehen. Dazu hat der im vorliegenden Tätigkeitsbericht betrachtete Zeitraum ebenfalls seinen Beitrag geleistet. Die konkreten Aktivitäten und Arbeitsfortschritte aus den zurückliegenden beiden Jahren zeigt der *Tätigkeitsbericht 2005/2006* im Detail.

Für das gemeinsam Geleistete möchte ich allen Beteiligten Dank sagen. Ganz besonders betrifft dies die Vertreter der mit uns zusammenarbeitenden Unternehmen, die Damen und Herren der Projektförderung bei der DFG, der AiF und deren Mitgliedsvereinigungen sowie die vielen Kollegen, insbesondere aus dem Kreis der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik.

Natürlich und besonders herzlich gilt mein Dank allen meinen engagierten Mitarbeitern am Institut, ohne die die hier vorgelegten Ergebnisse nicht möglich gewesen wären.



Dresden, März 2007

Inhaltsübersicht

1	Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik.....	1
1.1	Standort.....	2
1.2	Fakultät Maschinenwesen	5
1.3	ProZeD Produktionstechnisches Zentrum Dresden	7
1.4	Geschichte	13
1.5	Struktur.....	17
2	Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen.....	19
2.1	Personal.....	20
2.2	Ausstattung	31
2.2.1	Messtechnische Ausstattung.....	31
2.2.2	Rechentechnische Ausstattung	33
2.2.3	Labor- und Versuchsfeldverbund.....	34
2.2.4	Werkzeugmaschinen-Versuchsfeld	35
2.2.4.1	Vorschubachse mit linearem Direktantrieb.....	36
2.2.4.2	Versuchsstand Impulskompensation und - entkopplung	38
2.2.4.3	Vorschubachse mit Kugelgewindetrieb	40
2.2.4.4	Laufeigenschaften von Hauptspindeln	42
2.2.4.5	Motorspindel mit aktiver Magnetlagerung	44
2.2.4.6	Kupplungsprüfstand.....	46
2.2.4.7	Prüfstand für Profilschienenführungen unter konstanter Normalkraftbelastung.....	48
2.2.4.8	Prüfstand für Profilschienenführungen unter steuerbarer Normalkraft- und Momentenbelastung.....	50
2.2.4.9	Prüfstand für Profilschienenführungen unter steuerbarer Normalkraftbelastung	52
2.2.4.10	Hexapod 1	54
2.2.4.11	Hexapod 2	56
2.2.4.12	Hexapod 3	58
2.2.4.13	Programmierung der Funktionssteuerung von Fertigungssystemen (SPS).....	60
2.2.4.14	Geräuschuntersuchungen an Werkzeugmaschinen.....	62

2.2.4.15	Positioniergenauigkeit einer Werkzeugmaschine	64
2.2.4.16	Kalibrierung einer Stabachse	66
3	Lehre	69
3.1	Entwicklungsetappen der vom Institut getragenen Lehre	70
3.2	Lehrangebot	75
3.2.1	Übersicht	75
3.2.2	Modul Werkzeugmaschinen-Grundlagen	79
3.2.2.1	Bewegungsgeführte Maschinensysteme - Systemcharakter und Komponenten bewegungsgeführter Prozesse und Systeme	79
3.2.2.2	Konzeptioneller Entwurf einer Werkzeugmaschine	83
3.2.2.3	Vorrichtungskonstruktion	86
3.2.3	Modul Werkzeugmaschinen-Entwicklung	89
3.2.3.1	Bewegungsgeführte Maschinensysteme - Funktionell relevantes Systemverhalten und Beispiele mechatronischer Anwendungen	89
3.2.3.2	Baugruppengestaltung	94
3.2.4	Modul Werkzeugmaschinen-Steuerung	98
3.2.4.1	Funktionssteuerung	98
3.2.4.2	Bewegungssteuerung	102
3.2.5	Modul Bewegungsgeführte Maschinensysteme	105
3.2.5.1	Systemcharakter und Komponenten bewegungsgeführter Prozesse und Systeme	105
3.2.5.2	Funktionell relevantes Systemverhalten und Beispiele mechatronischer Anwendungen	105
3.2.6	Werkzeugmaschinen-Seminar	106
3.2.7	Unterstützung der Lehre an anderen Bildungseinrichtungen	108
3.3	Studien- und Diplomarbeiten	109
3.3.1	Interdisziplinäre Projektarbeit	109
3.3.2	Große Belege	110
3.3.3	Diplomarbeiten	112

3.4	Exkursionen.....	114
4	Forschung	121
4.1	Entwicklung der Forschung und Forschungsgebiete	122
4.2	AG Struktur- und Prozessanalyse	125
4.2.1	Voraussetzungen zur reproduzierbaren Fertigung von textilen Preforms	125
4.2.2	Thermische Simulation des Konsolidierungsprozesses für Spacer fabrics	127
4.2.3	Strukturbasierte Modellierung des für die Stabilität des Zerspanprozesses relevanten drehzahlabhängigen Übertragungsverhaltens eines Spindel/Werkzeug-Systems	130
4.2.4	Untersuchungen zu den Grenzwerten des Einsatzes adaptronischer Komponenten zur Impulskopplung von linearmotorgetriebenen Werkzeugmaschinenachsen unter veränderlichen strukturmechanischen Umgebungsbedingungen..	133
4.2.5	Entwicklung, Anwendung und Bewertung von Simulationstechnologien für die aktive virtuelle Werkzeugmaschine	136
4.2.6	Prozessgerechte Bewertung des thermischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen	138
4.2.7	Simulationsgestützter Entwurf und anwendungsbezogene Optimierung aktiv magnetisch gelagerter elastischer Werkzeugmaschinen- Motorspindeln mit nichtlinearer Systemdynamik ..	141
4.2.8	Wissenschaftliche Grundlagen für ein Mess- und Richtzentrum mit integrierter Bildverarbeitung, parallelkinematischer Bewegungseinrichtung und intelligenter Richtstrategie	144
4.2.9	Modellgestützte Kompensation von thermisch bedingten Verlagerungen in Echtzeitfähigkeit	147
4.2.10	Korrektur thermischer Verformungen an einem Bearbeitungszentrum	150
4.2.11	Dynamische Maschinenuntersuchung mittels Experimenteller Modalanalyse	153

4.3	AG Steuerungstechnik	155
4.3.1	Effiziente Kalibrierung von Parallelkinematiken einfacher Bauart mit dem Double-Ball-Bar	155
4.3.2	Verfahrensalternativen und Genauigkeitsbedingungen zur räumlichen Referenzierung in Werkzeugmaschinen.....	159
4.3.3	Regelung der Ziehstabhöhe beim Ziehen von Blechformteilen zur Erzielung ebener Zargenflächen..	164
4.3.4	Thermoglätten von Holz und Holzwerkstoffen mittels parallelkinematischer Bewegungseinheit.....	169
4.3.5	X-Y-lageregelbare Werkzeugaufspannplatte für das Prägen mit führungslosen Werkzeugen.....	172
4.3.6	Entwicklungs- und Betriebssystem einer neuartigen Steuerung unter besonderer Berücksichtigung von Funktionssicherheit und zustandsdynamischen Fehlerreaktionen	177
4.4	AG Umformtechnik/Arbeitsplanung	183
4.4.1	Entwicklung eines offenen Modells zur Darstellung, Planung und Überwachung von Abläufen zur Fertigung textilverstärkter Verbundkomponenten	183
4.4.2	Entwicklung und Bewertung von Simulationstechnologien für die Blechumformung unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Maschine/ Werkzeug und Prozess/Werkstück	186
4.4.3	Objektivierung der Verfahrensgrundlagen für die experimentelle Ermittlung der dynamischen Tragzahl von Profilschienenführungen	190
4.4.4	Modellgestützte Analyse von Pressmaschinen auf Grundlage experimentell verifizierter Parameter...	193
4.4.5	Virtuelle Werkzeugeinarbeitung - Vergleichende Bewertung der Simulation von Umformprozessen unter elastischen Randbedingungen.....	196
4.4.6	Lebensdaueruntersuchungen an Rollenprofilschienenführungen der Baugröße 125	199

4.4.7	Lebensdaueruntersuchungen unter Kurzhubbedingungen an beschichteten Rollenprofilschienenführungen der Baugröße 45..	201
5	Dissertationen.....	203
5.1	Verbesserung der Bewegungs- genauigkeit an einem Hexapod einfacher Bauart.....	204
6	Öffentlichkeitsarbeit	213
6.1	Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminare.....	214
6.2	Veröffentlichungen	218
6.2.1	Bücher	218
6.2.2	Fachaufsätze	218
6.2.3	Vorträge	220
6.2.4	Forschungsberichte	224
6.3	Gewinnung von Ingenieur-Nachwuchs	228
6.4	Mitarbeit in Gremien	232
6.5	Auszeichnungen für Mitarbeiter und Studenten des Lehrstuhls	233
6.6	Förderverein DWM e. V.	234
6.7	Schriftenreihe Lehre • Forschung • Praxis.....	237

1 **Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik**



1.1 Standort

Das Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik gehört zur Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden.

Die TU Dresden hat ihre Wurzeln in der 1828 gegründeten *Technischen Bildungsanstalt Dresden*, welche 1851 die Bezeichnung *Königlich Sächsische Polytechnische Schule* und 1890 den Namen *Königlich Sächsische Technische Hochschule* erhielt. Sie gehört damit zu den ältesten technisch-akademischen Bildungsanstalten Deutschlands.

1961 wurde der Status einer *Technischen Universität* verliehen.

Nachdem bereits 1929 die Forstliche Hochschule Tharandt eingegliedert worden war, erfolgte im Laufe der letzten Jahre durch die Einbeziehung der Ingenieurhochschule Dresden, der Pädagogischen Hochschule, der Medizinischen Akademie und eines Teils der Verkehrshochschule Dresden eine wesentliche territoriale und fachliche Erweiterung der Technischen Universität Dresden. Sie zählt heute zu den forschungstärksten Hochschulen in Deutschland.

An den 14 Fakultäten der TU Dresden werden in mehr als 150 Studiengängen 35.000 Studenten ausgebildet, davon etwa 4.600 im Maschinenwesen. Auch in den ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen wird zunehmend neben dem klassischen Diplomstudium das zweistufige Studium in Bachelor- und Masterstudiengängen angeboten.

Die TU Dresden ist Arbeitsstelle für etwa 440 Professoren und ca. 8.000 haushalt- und drittmittelfinanzierte Beschäftigte. Das Haushaltvolumen beträgt ca. 270 Mio. EUR und jährlich werden darüber hinaus Drittmittel in Höhe von rund 105 Mio. EUR eingeworben.

Die Technische Universität Dresden wird geleitet vom Rektoratskollegium. Dieses besteht aus dem Rektor als Vorsitzenden, drei Prorektoren und dem Kanzler als Leiter der Verwaltung.

Rektor: Prof. **H. Kokenge**
Prorektor f. Univ.-planung: Prof. Dr.-Ing. **M. Curbach**
Prorektor f. Wissenschaft: Prof. Dr. rer. nat. habil. **J. Weber**
Prorektor f. Bildung: Prof. Dr. phil. habil. **K. Lenz**
komm. Kanzlerin: Dr. **U. Krätzig**

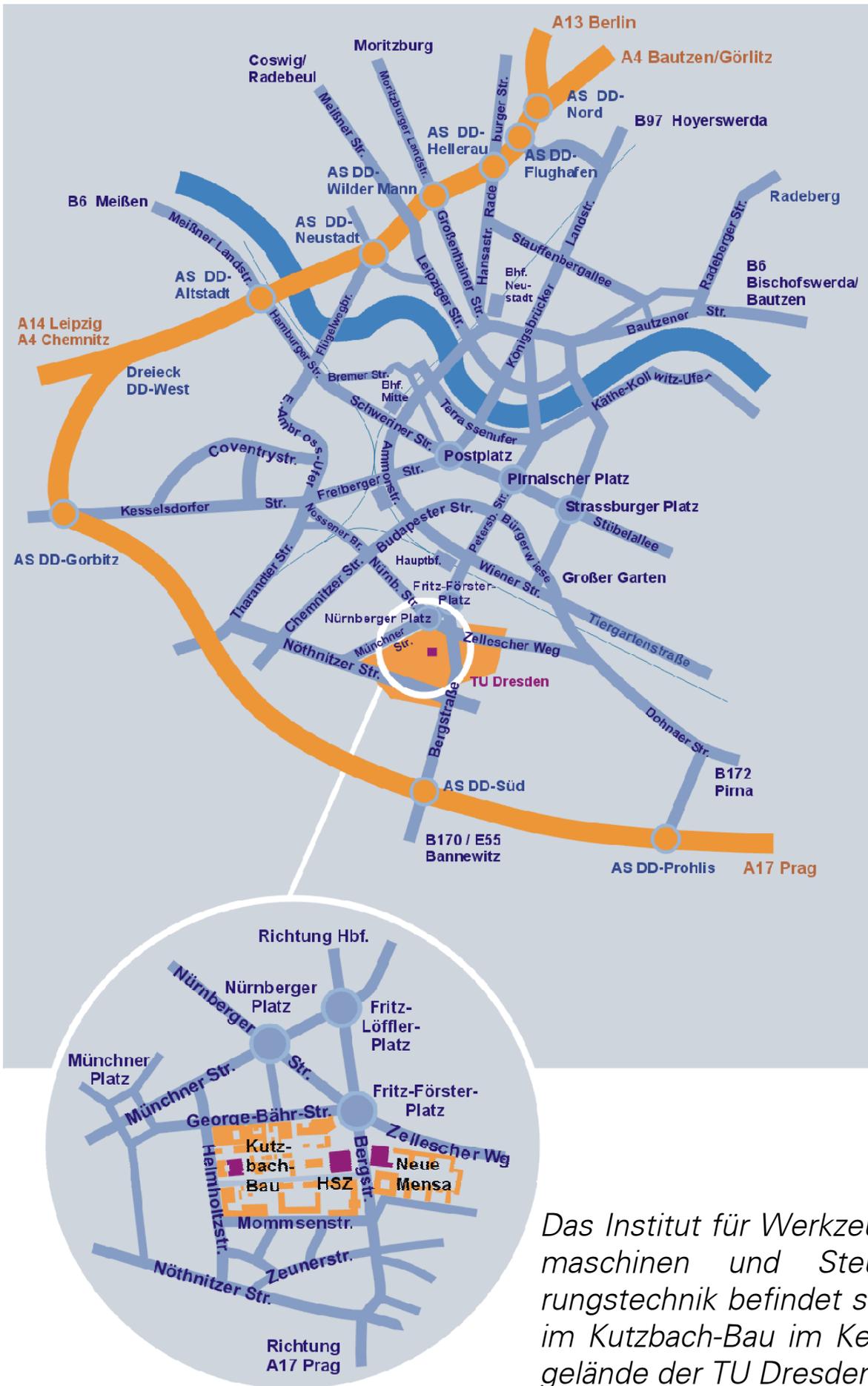
Umfassende Informationen zur TU Dresden unter:
www.tu-dresden.de

Der Maschinenbau besitzt an der TU Dresden eine große Tradition, die verknüpft ist mit Namen wie Johann Andreas Schubert (1808-1870), Gustav Zeuner (1829-1907), Franz Karl Kutzbach (1875-1942), Ewald Sachsenberg (1877-1946) und Georg Berndt (1880-1972).

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde der Lehrbetrieb auf dem stark zerstörten Kerngelände der TU Dresden wieder aufgenommen. Es entstand eine Reihe neuer Institute und Institutsgebäude.

In dem von 1958 bis 1961 erbauten Kutzbach-Bau ist das *Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik* untergebracht. Die Zufahrt zum Institutsgebäude und zur angrenzenden Versuchshalle erfolgt über die Helmholtzstraße.

(Lageplan auf der nächsten Seite)



Das Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik befindet sich im Kutzbach-Bau im Kerngelände der TU Dresden

1.2 Fakultät Maschinenwesen

Leitung

Dekan

Prof. Dr.-Ing. habil. V. Ulbricht

Prodekan

Prof. Dr.-Ing. habil. R. Stelzer

Studiendekan Studiengang Maschinenbau

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Rödel

Studiendekan Studiengang Verfahrenstechnik Studiengang Werkstoffwissenschaft Studiengang Chemie-Ingenieurwesen

Prof. Dipl.-Ing. Dr. rer. nat. techn. habil. H. Rohm

Institute

Institut für Energietechnik

Prof. Dr.-Ing. U. Gampe, Direktor

Institut für Festkörpermechanik

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c. H.-J. Hardtke, Direktor

Institut für Fluidtechnik

Prof. Dr.-Ing. S. Helduser, Direktor

Institut für Formgebende Fertigungstechnik

Prof. Dr.-Ing. V. Thoms, Geschäftsführender Direktor

Institut für Holz- und Papiertechnik

Prof. Dr.-Ing. A. Wagenführ, Geschäftsführender Direktor

Institut für Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik

Prof. Dipl.-Ing. Dr. rer. nat. techn. habil. H. Rohm, Direktor

Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. W. Hufenbach, Direktor

Institut für Luft- und Raumfahrttechnik

Prof. Dr.-Ing. St. Fasoulas, Direktor

Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion

Prof. Dr.-Ing. B. Schlecht, Direktor

Institut für Oberflächen- und Fertigungstechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. E. Beyer, Direktor

Institut für Strömungsmechanik

Prof. Dr.-Ing. K. Vogeler, Geschäftsführender Direktor

Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme

Prof. Dr.-Ing. habil. H.-G. Marquardt, Direktor

Institut für Textil- und Bekleidungstechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Ch. Cherif, Direktor

Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung

Prof. Dr.-Ing. habil. W. Richter, Direktor

Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lange, Geschäftsführender Direktor

Institut für Verarbeitungsmaschinen, Landmaschinen und Verarbeitungstechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. G. Bernhardt, Geschäftsführender Direktor

Institut für Werkstoffwissenschaft

Prof. Dr. rer. nat. D. C. Lupascu, Direktor

Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann, Direktor

Zentrum für Produktionstechnik und Organisation (CIMTT)

Prof. Dr.-Ing. M. Schmauder, Direktor

1.3 ProZeD Produktionstechnisches Zentrum Dresden



Am 15.11.2006 wurde mit der konstituierenden Sitzung das **Produktionstechnische Zentrum Dresden (ProZeD)** gegründet.

Das Produktionstechnische Zentrum Dresden ist ein Kompetenzzentrum der Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden. Es generiert, bündelt, koordiniert und präsentiert produktionstechnische Aktivitäten seiner Mitglieder in Lehre, Forschung und Transfer.

Gründungsmitglieder des ProZeD sind folgende Institute und Einrichtungen:

- Institut für Formgebende Fertigungstechnik (IFF)
- Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK)
- Institut für Oberflächen- und Fertigungstechnik (IOF)
- Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
- Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik (IWM)
- Zentrum für Produktionstechnik und Organisation (CIMTT)

Beschlüsse zur Umsetzung der Zweckbestimmung des ProZeD fasst ein Koordinierungsrat, der aus den Direktoren der genannten Struktureinheiten und dem Leiter der Studienrichtung Produktionstechnik besteht.

Als Sprecher des Produktionstechnischen Zentrums Dresden wurde für einen Zeitraum von zwei Jahren Prof. Dr.-Ing. habil. Knut Großmann, Direktor des Instituts für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik, gewählt.

IFF - Institut für Formgebende Fertigungstechnik**Geschäftsführender Direktor**

Prof. Dr.-Ing. V. Thoms

Telefon: 0351/463 32199

Professur für Umform- und Urformtechnik

Prof. Dr.-Ing. V. Thoms

Umform- und Urformtechnik, Modellierung und Simulation der Umformprozesse, Automatisierung in der Umformtechnik, Umformwerkzeuge

Arbeitsgruppe Produktionsautomatisierung, Zerspan- und Abtragtechnik

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. A. Nestler

Programmierung, Steuern/Regeln/Überwachen von Fertigungsprozessen, Fertigungsinformatik, Abtrenntechnik, Fein- und Präzisionsbearbeitung, Abtragtechnik und Lasermaterialbearbeitung, Werkzeugwesen, Zerspanwerkzeuge

ILK - Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik**Direktor**

Prof. Dr.-Ing. habil. W. Hufenbach Telefon: 0351/463 38142

Professur für Leichtbau und Kunststofftechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. W. Hufenbach

Beanspruchungsgerechte Leichtbaustrukturen unter Berücksichtigung der gesamten Entwicklungskette Werkstoff-Konstruktion-Simulation-Fertigung-Prototyp-Qualitätssicherung-Kosten

IOF - Institut für Oberflächen- und Fertigungstechnik**Direktor**

Prof. Dr.-Ing. habil. E. Beyer

Telefon: 0351/463 31993

Professur für Laser- und Oberflächentechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. E. Beyer

Fügeverfahren: Schweißen, Löten, Kleben, Hybrid;
Trennverfahren: Schneiden, Drehen, Sägen, Hybrid
Abtragverfahren: Bohren, Verdampfen, Fräsen, Reinigen
Oberflächenbehandlung: Härten, Legieren, Umschmelzen, Strukturieren
Beschichten: Spritzen, PVD, CVD, Sol-Gel, Pulver

Professur für Fügetechnik und Montage

Prof. Dr.-Ing. habil. U. Füssel

Kombinierte Fügeverbindungen, Kleb- und Beschichtungs-
technik, Schweiß- und Löttechnik, Montageprozess-Planung/
-projektierung, Montage- und Demontagetechnik, Roboter-
technik, Recycling

Professur für Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Weise

Messtechnik

Fertigungsplanung: Qualitätssicherung

Systemtechnik

Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme

Direktor

Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Marquardt Telefon: 0351/463 32538

Professur für Technische Logistik

Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Marquardt

Materialflusstechnik

Modellierung und Simulation

Fabrikplanung

Professur für Arbeitswissenschaft

Prof. Dr.-Ing. M. Schmauder

Arbeitsgestaltung

Arbeitswirtschaft

Ergonomie

Arbeits- und Gesundheitsschutz

Arbeitsgruppe Fabrikplanung

Doz. Dr.-Ing. habil. J. Fröhlich

Prozessorientierte Fabrikplanung, Fabrikökologie und Entsor-
gungslogistik, Projektmanagement, Facility Management -
Objektbereich, Materialflusssimulation, Produktionslogistik,
Rechnerunterstützte Fabrikplanung, Arbeitsvorbereitung - Fer-
tigungsplanung / Teilefertigung und Montage, Industriebau-
planung

IWM - Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik

Direktor

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann Telefon: 0351/463 34358

Professur für Werkzeugmaschinenentwicklung

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

Entwicklungsmanagement

Virtuelle Werkzeugmaschine

Komponenten- und Maschinenentwicklung

Verhaltensanalyse (rechnergestützt, experimentell)

Steuerungsentwicklung

Maschinennahe, intelligente Korrektur- u. Regelungskonzepte

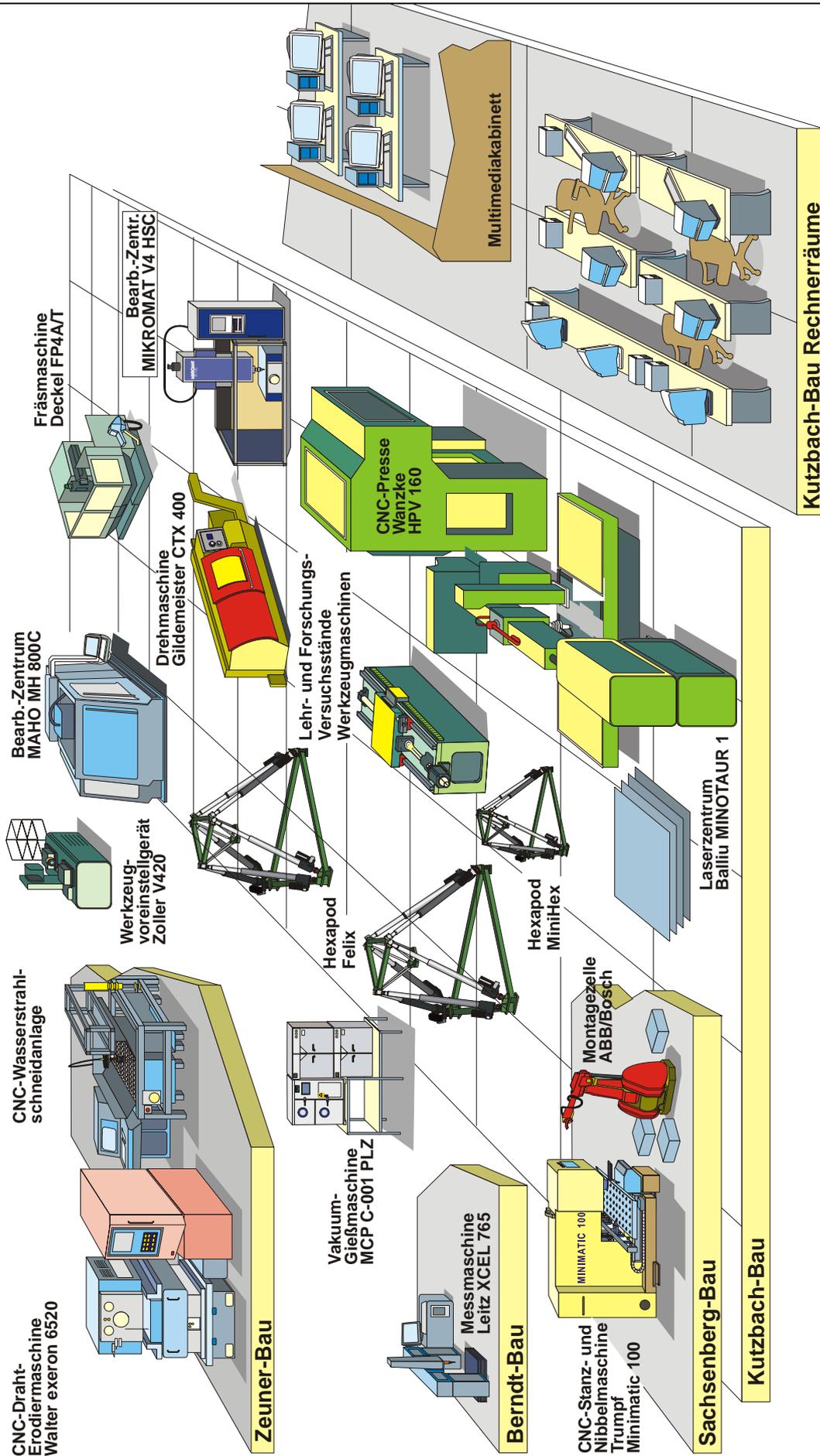
CIMTT - Zentrum für Produktionstechnik und Organisation

Direktor

Prof. Dr.-Ing. habil. M. Schmauder Telefon: 0351/463 37518

Unterstützung sächsischer Firmen bei der Erarbeitung komplexer Lösungen zur Kopplung technischer Komponenten und der organisatorischen Einbindung der Mitarbeiter.

Information und Kontaktvermittlung, Schulung und Weiterbildung, Analysen zur Beurteilung betrieblicher Organisationsstrukturen, Erarbeitung und Erprobung technischer und organisatorischer Lösungen.



Ausgewählte Ausrüstungen des Produktionstechnischen Zentrums Dresden (ProZeD)

1.4 Geschichte

Wurzeln des Instituts

- 1921 Berufung von Prof. Ewald Sachsenberg (1877-1946) an die TH Dresden auf den ersten deutschen Lehrstuhl Betriebswissenschaften, Fabrikorganisation und Werkzeugmaschinen (bis 1939)
- 1946 Berufung von Prof. Kurt Koloc (1904-1967) an die TH Dresden auf den Lehrstuhl für Allgemeine Gewerbelehre und Normung
- 1949 Gründung des Instituts für Betriebswissenschaften und Normung unter Prof. Dr. Kurt Koloc
- 1951 Lehrbeauftragter für Werkzeugmaschinen/Konstruktion:
Dipl.-Ing. Horst Berthold
Lehrbeauftragter für Werkzeugmaschinen/Fertigung:
Dipl.-Ing. Alfred Richter
am Institut für Betriebswissenschaften und Normung
- 1952 Professur mit Lehrauftrag Werkzeugmaschinen und Hydrostatik am Institut für Betriebswissenschaften und Normung:
Dipl.-Ing. Horst Berthold

Institut für Werkzeugmaschinen

- 1.1.1954 Gründung des Instituts für Werkzeugmaschinen der TH Dresden
Berufung von Dr.-Ing. Horst Berthold zum kommissarischen Institutsdirektor und Professor mit vollem Lehrauftrag
- 1.3.1958 Berufung von Dr.-Ing. habil. Horst Berthold zum Institutsdirektor und Professor mit Lehrstuhl
- 1961 Einweihung des neuen Institutsgebäudes mit der Maschinen-/Versuchshalle und Verleihung des Namens Kutzbach-Bau

Wissenschaftsbereich Fertigungsmittel

- 1968 Eingliederung des Instituts als Wissenschaftsbereich Fertigungsmittel in die neu gegründete Sektion Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen, Bereichsleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. H. Berthold
- 1978 Bereichsleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. G. Kretzschmar
- 1990 Bereichsleiter: Doz. Dr.-Ing. R. Neugebauer

Berufungen:

- 1970 Dr.-Ing. D. Will
zum Dozenten für Hydraulik und Pneumatik
- 1971 Dr.-Ing. G. Kretzschmar
zum Professor für Werkzeugmaschinen
- 1979 Dr.-Ing. W. Bahmann
zum Honorarprofessor für Werkzeugmaschinen
- Dr.-Ing. W. Frank
zum Dozenten für spanende Werkzeugmaschinen
- 1980 Doz. Dr.-Ing. D. Will
zum Professor für Automatisierungstechnik und Hydraulik
- Dr.-Ing. W. Frank
zum Professor für spanende Werkzeugmaschinen
- 1983 Dr.-Ing. Horst Stollberg
zum Dozenten für Automatisierung der Werkzeugmaschinen

Institut für Werkzeugmaschinen

- 1.1.1991 Wiedergründung des Instituts
Geschäftsführender Leiter:
Doz. Dr.-Ing. habil. R. Neugebauer
- 1.1.1992 Kommissarischer Leiter:
Doz. Dr.-Ing. O. Wasner

Berufungen:

- 1989 Dr.-Ing. habil. R. Neugebauer
zum Dozenten für Werkzeugmaschinen- und Rationalisierungsmittelkonstruktion
- 1992 Dr.-Ing. O. Wasner
zum Dozenten für Fertigungssysteme und Betriebsmittel

Institut für Werkzeugmaschinen und Fluidtechnik

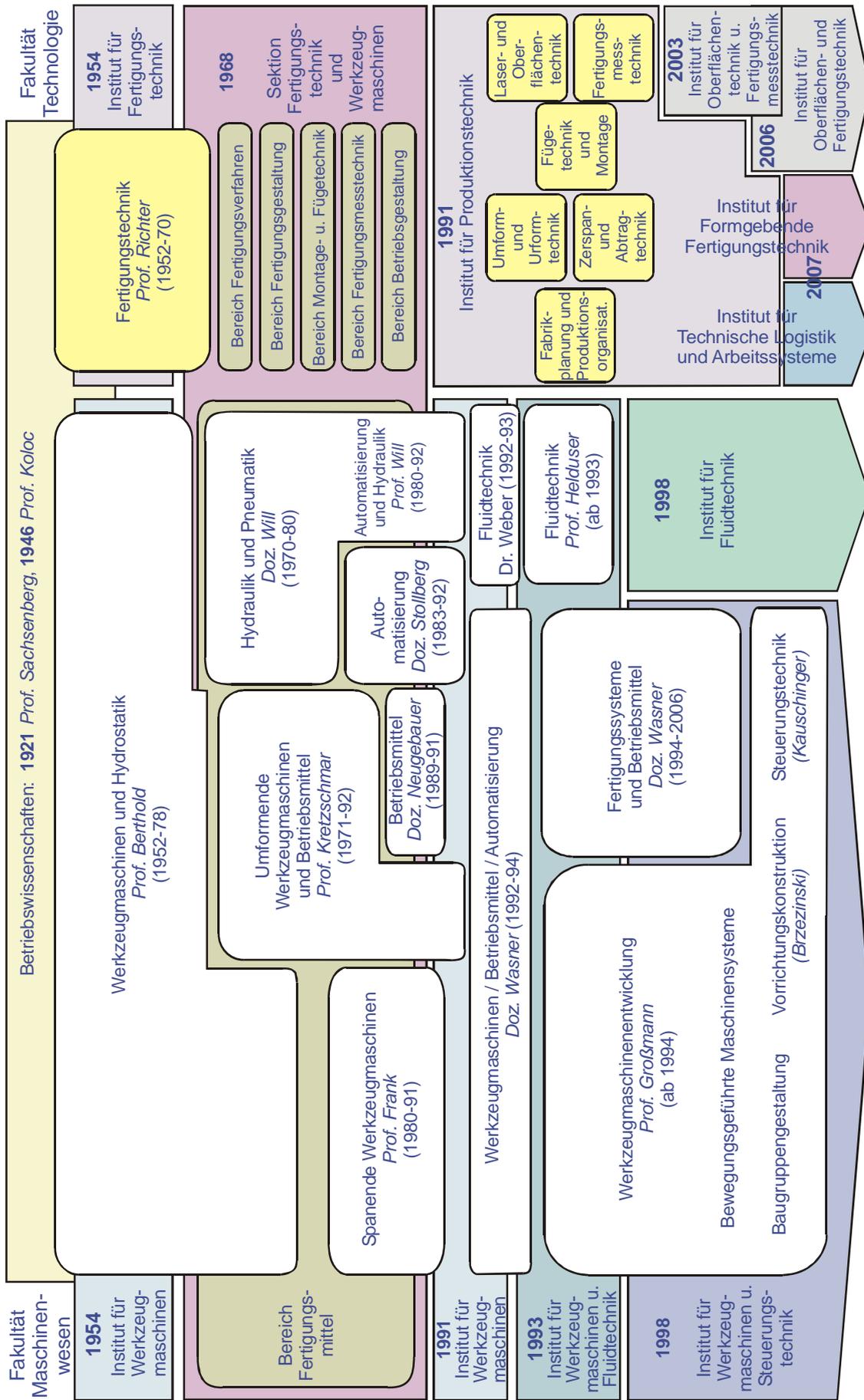
- 1.8.1993 Kommissarischer Leiter:
Doz. Dr.-Ing. O. Wasner
- 1.8.1994 Geschäftsführender Direktor und Leiter des Lehrstuhls
für Werkzeugmaschinen:
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

Berufungen:

- 1993 Dr.-Ing. S. Helduser
zum Professor für Hydraulik und Pneumatik
- 1994 Dr.-Ing. habil. K. Großmann
zum Professor für Werkzeugmaschinenkonstruktion

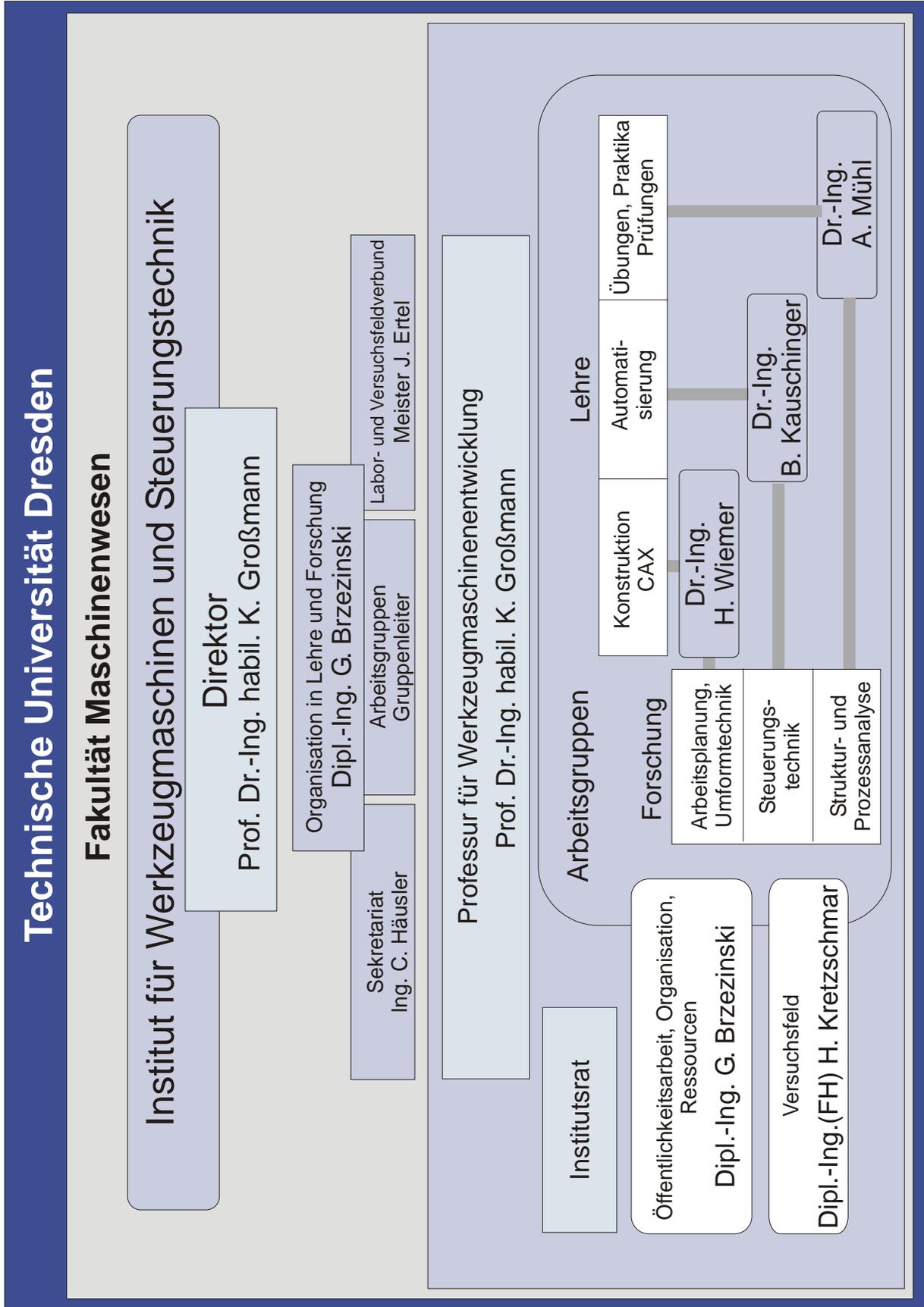
Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik

- 1.12.97 Direktor:
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann
- Die Professur für Hydraulik und Pneumatik wird als
Institut für Fluidtechnik ausgegründet.



Entwicklung der Produktionstechnik in Dresden

1.5 Struktur



2 Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen



2.1 Personal

Prof. Dr.-Ing. habil. Knut Großmann



- geb. 1949 in Ottendorf-Okrilla
- 1967 - 1971 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TUD
- 1978 - 1990 Forschung und Entwicklung bei Mikromat Dresden
- 1990 - 2000 Geschäftsführer ITI GmbH
- seit 1994 Lehrstuhlinhaber für Werkzeugmaschinen, Direktor des Instituts für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik (IWM) der TU Dresden

Doz. Dr.-Ing. Olaf Wasner



- geb. 1940 in Freital
- 1961 - 1967 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Karl-Marx-Stadt / TU Dresden
- 1967 - 1992 Aspirant / Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden
- 1992 - 1994 kommissarischer Institutsleiter
- 1992 - 2006 Dozent für Fertigungssysteme und Betriebsmittel am IWM der TU Dresden

Dipl.-Ing. Gunter Brzezinski



- geb. 1949 in Herwigsdorf b. Löbau
- 1968 - 1972 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TUD
- 1981 - 1990 Leiter Rationalisierungsmittel bei Kupplungswerk Dresden
- 1991 - 2000 Prokurist/Geschäftsführer ITI GmbH Dresden
- seit 2001 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden
- Leiter Organisation Lehre und Forschung

Dipl.-Ing. Andre Hardtmann



- geb. 1967 in Dresden
- 1989 - 1994 Studium Produktionstechnik / Umformtechnik an der TU Dresden
- 1994 - 1999 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Ur- u. Umformtechnik d. TUD
- 2000 Forschungsingenieur an der Dr. Mirtsch GmbH Teltow
- 2000 - 2005 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPT, Lehrstuhl Ur- und Umformtechnik der TU Dresden
- seit 2005 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Ing. Christine Häusler



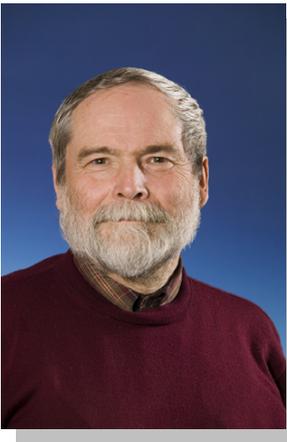
- geb. 1955 in Leipzig
- 1972 - 1974 Berufsausbildung zum Maschinenbauzeichner
- 1975 - 1978 Studium Allgemeiner Maschinenbau / Hydraulik und Getriebetechnik an der Fachschule für Maschinenbau Leipzig
- seit 1991 Sekretärin am IWM der TU Dresden

Dipl.-Ing. Olaf Holowenko



- geb. 1981 in Gera
- 2001 - 2006 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 2006 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Dr.-Ing. Günter Jungnickel



- geb. 1943 in Aue (Erzgebirge)
- 1962 - 1968 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- 1974 - 1992 Forschung und Entwicklung bei Mikromat Dresden
- seit 1994 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Dr.-Ing. Bernd Kauschinger



- geb. 1968 in Schkeuditz
- 1990 - 1995 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 1995 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden
- Leiter der Arbeitsgruppe Steuerungstechnik

Dipl.-Ing.(FH) Holger Kretzschmar



- geb. 1972 in Dresden
- 1994 - 1998 Studium Automatisierungstechnik an der HTW Dresden
- seit 1998 Technischer Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Dipl.-Ing. Michael Löser



- geb. 1976 in Marienberg
- 1997 - 2003 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 2003 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Dipl.-Ing. Volker Möbius



- geb. 1944 in Herzogswalde
- 1963 - 1969 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- 1969 - 1992 Forschung und Entwicklung bei Mikromat Dresden
- seit 1993 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Dipl.-Ing. Thomas Morchel



- geb. 1975 in Finsterwalde
- 1996 - 2002 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- 2002 - 2006 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Dr.-Ing. Andreas Mühl



- geb. 1964 in Olbernhau
- 1986 - 1991 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 1991 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden
- Leiter der Arbeitsgruppe Struktur- und Prozessanalyse

Dipl.-Ing. Jens Müller



- geb. 1972 in Rodewisch
- 1994 - 1999 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 1999 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Dipl.-Ing. Lars Neidhardt



- geb. 1970 in Osterwieck
- 1990 - 1995 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- 1996 - 2001 Konstrukteur bei mehreren sächsischen Maschinenbauunternehmen
- seit 2001 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Dipl.-Ing. Steffen Rehn



- geb. 1973 in Dohna
- 1998 - 2003 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 2004 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Dipl.-Ing. (BA) Andreas Richter



- geb. 1978 in Bautzen
- 1997 - 2000 Studium Technische Informatik an der Berufsakademie Sachsen, Staatliche Studienakademie Dresden
- seit 2001 Technischer Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Dipl.-Ing. Mirko Riedel



- geb. 1977 in Burgstädt
- 1997 - 2004 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 2004 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Dipl.-Ing. Holger Rudolph



- geb. 1968 in Jena
- 1990 - 1995 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 1995 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Dr.-Ing. Klaus Schumacher



- geb. in Dresden
- 1961 - 1967 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- 1967 - 2006 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

MSc. Szabolcs Szatmari



- geb. 1972 in Mediasch
- 1991 - 1996 Studium Maschinenbau an der TU Cluj (Klausenburg)
- 1996 - 1997 Magisterstudium an der TU Cluj (Klausenburg)
- 1997 - 2000 Promotionstudium an der TU Budapest
- seit 2001 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden

Dipl.-Ing.(FH) Kerstin Wanstrath



- geb. 1963 in Dresden
- 1983 - 1988 Studium Informationsverarbeitung an der IHS Görlitz
- seit 1993 Technische Mitarbeiterin am IWM der TU Dresden

Dr.-Ing. Hajo Wiemer



- geb. 1966 in Dresden
- 1988 - 1993 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 1996 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden
- Leiter der Arbeitsgruppe Arbeitsplanung/Umformtechnik

Dr.-Ing. Günter Wuttke



- geb. 1941 in Halle
- 1959 - 1965 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- 1965 - 1968 Forschung und Entwicklung bei Elektromat Dresden
- 1968 - 2006 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM der TU Dresden
- † 2006

Günter Gäk



- geb. 1941 in Kostschin (Schlesien)
- 1958 - 1960 Berufsausbildung als Werkzeugmacher
- 1966 - 1968 Meisterausbildung
- 1965 - 2006 beschäftigt als Meister im Labor- und Versuchsfeldverbund Kutzbach-Bau der TU Dresden

Jens Ertel



- geb. 1961 in Leipzig
- 1977 - 1979 Berufsausbildung als Maschinenbauer
- 1986 - 1988 Meisterausbildung
- 1984 - 2006 Facharbeiter/Meister am IWM der TU Dresden
- seit 2006 Leiter des Labor- und Versuchsfeldverbundes Kutzbach-Bau der TU Dresden

Jochen Loose



- geb. 1959 in Cottbus
- 1975 - 1977 Berufsausbildung als Elektromechaniker
- seit 1977 Facharbeiter im Labor- und Versuchsfeldverbund Kutzbach-Bau der TU Dresden

Jens Schober



- geb. 1967 in Dresden
- 1983 - 1985 Berufsausbildung als Zerspanungsfacharbeiter
- seit 1985 Facharbeiter im Labor- und Versuchsfeldverbund Kutzbach-Bau der TU Dresden

Stefan Scholz

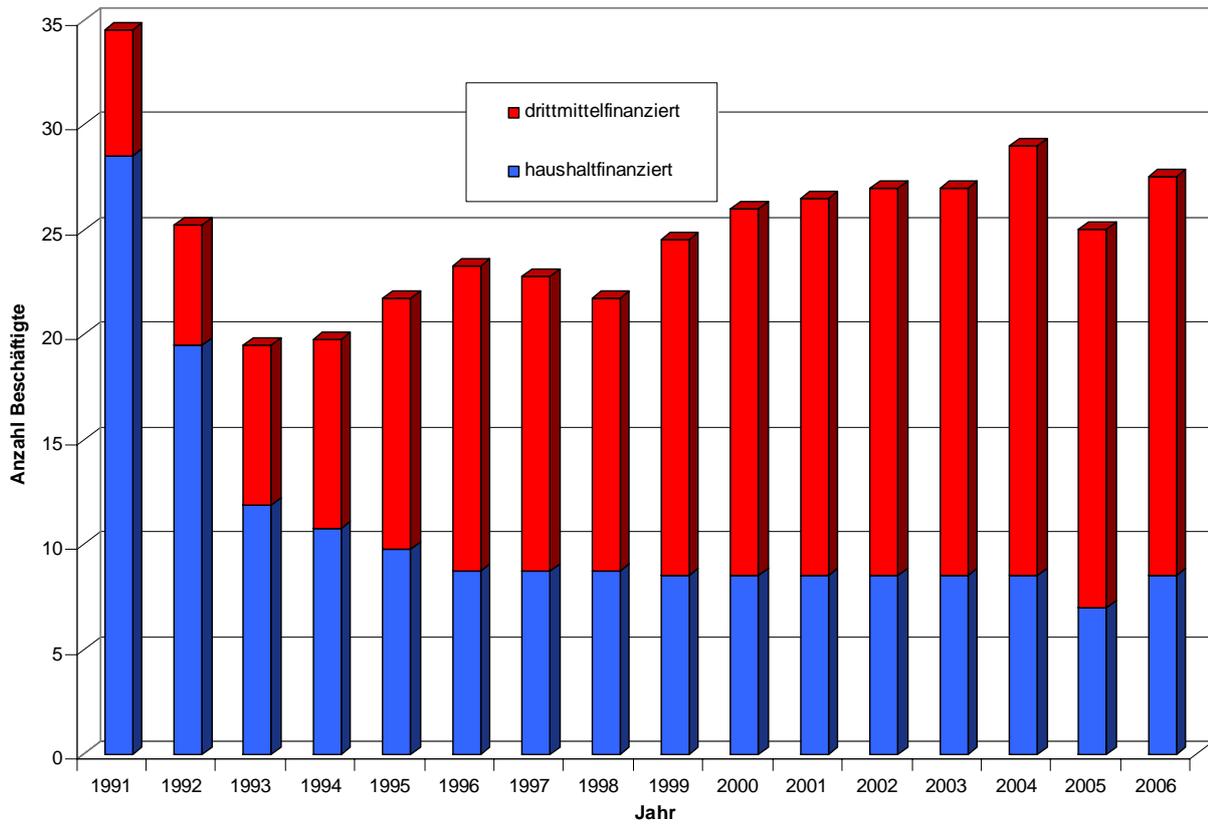


- geb. 1968 in Dresden
- Berufsausbildung als Elektromechaniker
- seit 2005 Facharbeiter im Labor- und Versuchsfeldverbund Kutzbach-Bau der TU Dresden
- seit 2006 Ausbildung zum Meister

André Thasler



- geb. 1985 in Dresden
- Berufsausbildung als Industriemechaniker
- seit 2006 Facharbeiter im Labor- und Versuchsfeldverbund Kutzbach-Bau der TU Dresden



Beschäftigte am IWM

2.2 Ausstattung

2.2.1 Messtechnische Ausstattung

Messplatz für geometrische Prüfungen und Maschinenabnahmen

- Ausrüstung
- Laser-Interferometer-System (RENISHAW ML 10/EC 10)
 - Teleskop-Kugelstab (RENISHAW QC10)
 - Elektronisches Neigungsmessgerät (WYLER Minilevel NT)
- Messumfang
- Geometrische Genauigkeit nach DIN ISO 230-1 (Geradheit, Rechtwinkligkeit, Neigung, Ebenheit)
 - Geometrisch-kinematische Genauigkeit (Geradheit, Rechtwinkligkeit, Neigung, Ebenheit)
 - Positionierunsicherheit und Wiederholpräzision d. Positionierung numerisch gesteuerter Achsen nach DIN ISO 230-1 (VDI/DGQ 3441 u. a.)
 - Kreisformprüfung für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen nach DIN ISO 230-4
 - Dynamische Messungen (Weg, Geschwindigkeit)

Messplatz zur statischen Maschinenuntersuchung

- Ausrüstung
- Mechanische und hydraulische Belastungseinrichtungen
 - Sensoren und Messverstärker für Weg und Kraft
 - Systeme zur allgemeinen Messwerterfassung und -verarbeitung
- Messumfang
- Verformungsanalyse
 - Belastungsanalyse

Messplatz zur dynamischen Maschinenuntersuchung

- Ausrüstung
- Elfkanal-Schwingungsanalysesystem
 - Vierkanal-Echtzeit-Frequenzanalysator (FFT)
 - Zweikanal-Echtzeit-Frequenzanalysator (Ortskurvenmessplatz)

- 6-Komponenten-Kraftmesstechnik
- Systeme zur allgemeinen Messwerterfassung und -verarbeitung
- Schwingungserreger (elektrodynamisch, Impulshammer)
- Sensoren, insbesondere für Weg, Beschleunigung und Kraft
- Messverstärker
- Speicheroszilloskop

- Messumfang
- Signalanalyse im Zeit- und Frequenzbereich
 - Schwingungsformanalyse
 - Modalanalyse
 - Prozesskraftanalyse

Messplatz für thermische Maschinenuntersuchungen

- Ausrüstung
- Vielstellenmesseinrichtung (64 Kanäle), rechnerbedienbar mit Messwertverarbeitungsmöglichkeit
 - Temperatursensoren
 - Wegsensoren

- Messumfang
- Temperaturen
 - Verlagerungen
 - Wärmebilanzen

Messplatz zur Geräuschuntersuchung von Maschinen

- Ausrüstung
- Zweikanal-Echtzeit-Frequenzanalysator
 - Präzisionsimpulsschallpegelmesser
 - Messmikrofon
 - Schallintensitätsmesssonde

- Messumfang
- Geräuschmessungen an Maschinen nach DIN 45635 (E DIN ISO 230-5)
 - Lärmquellenanalyse

2.2.2 Rechentechnische Ausstattung

Hardware

PC Intel Pentium PC AMD Athlon WS Silicon Graphics

Betriebssysteme

MS Windows NT 4 / 2000 / XP IRIX
Linux Mac OS

Netzwerk

Server (Linux) / Client (MS Netzwerk, TCP-IP)
Internet 100 Mbit/s
WLAN für Anbindung von Versuchsständen

Anwendungssoftware

MS Office 2000	MS Visual C++	AutoCAD 2000
Adobe Acrobat 7	Borland C++	ProEngineer 2000
Adobe Photoshop	Borland Delphi	SolidWorks
CorelDRAW 12	MathCAD 2001	MegaCAD
Studio 3	DIAdem	ITI-SIM
Designer	Ansys	Matlab/Simulink
		LS-DYNA
		HyperWorks



Bei der Ausbildung im Rechner-Labor

2.2.3 Labor- und Versuchsfeldverbund

Das Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik nutzt gemeinsam mit anderen Instituten den Labor- und Versuchsfeldverbund (LVV) Kutzbach-Bau.

Auf den vorhandenen Maschinen können die wesentlichsten Zerspanungsarbeiten (einschließlich CNC-Fräsen), Schweiß-, Montage- und Elektroarbeiten sowie Trenn- und Umformarbeiten ausgeführt werden.

Maschinen, die im Rahmen von Forschungsaufträgen im Versuchsfeld stehen, gestatten die Ausführung hochgenauer Koordinatenbohr- und -schleifarbeiten. Durch den möglichen Zugriff auf den Maschinenpark des CIMTT sind auch anspruchsvolle Maschinenarbeiten, wie CNC-Drehen, 5-Achs-Fräsen sowie Laser- und Wasserstrahlschneiden realisierbar.



Fertigungsbereich des LVV Kutzbach-Bau

2.2.4 Werkzeugmaschinen-Versuchsfeld

Das Versuchsfeld ist die leistungsfähige experimentelle Basis für Lehre und Forschung auf dem Gebiet der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen sowie deren Steuerungen.

Gegenstand der Arbeit im Versuchsfeld ist einerseits das Vermitteln praktischer und methodischer Kenntnisse zur experimentellen Analyse sowie zum konstruktiven Aufbau und zu den Eigenschaften typischer Werkzeugmaschinen und deren Hauptkomponenten. Andererseits dienen die modern ausgerüsteten Prüfstände der Bearbeitung aktueller Forschungsprojekte und darauf aufbauender Dienstleistungen.

Mit mobiler Messtechnik können Untersuchungen direkt an Maschinen und deren Komponenten durchgeführt werden:

- Genauigkeitsuntersuchungen,
z. B. Maschinenabnahme nach DIN ISO 230-1, -2, -4
- Statisches und dynamisches Verhalten, Modalanalyse
- Thermisches Verhalten (DIN ISO 230-3)
- Akustisches Verhalten,
z. B. Geräuschemessung nach DIN 45635 (E DIN ISO 230-5)



Blick in das Werkzeugmaschinen-Versuchsfeld

2.2.4.1 Vorschubachse mit linearem Direktantrieb

Aufgabenstellung

- Wechselwirkung zwischen Antriebs- und Gestelldynamik
- Ermittlung von Modellparametern zur Simulation der Impulskompensation und -entkopplung
- Vergleichsuntersuchungen an Vorschubachsen gleicher Baugröße mit unterschiedlicher Antriebsstruktur

Versuchsstandausrüstung

- Lagegeregelte Vorschubachse
- Kugel-Profilschienenführungen mit integriertem Messsystem

Daten

- Vorschubkraft (max.) 3.800 N
- Dauerkraft 1500 N
- Geschwindigkeit (max.) 200 m/min
- Beschleunigung (max.) 60 m/s²
- Verfahrweg (max.) 1.334 mm
- Tischgröße 440 mm x 555 mm
- Tischbelastung (max.) 163,2 kN
- Kugel-Profilschienenführungen Größe 35

Messtechnik

- Temperaturverteilung
- Positioniergenauigkeit
- Beschleunigung



Vorschubachse mit Linear-Direktantrieb

2.2.4.2 Versuchsstand Impulskompensation und -entkopplung

Aufgabenstellung

- Wechselwirkung zwischen Antriebs- und Gestelldynamik
- Ermittlung von Modellparametern zur Simulation der Impulskompensation und -entkopplung
- Untersuchung von Kompensationsstrategien bei veränderlicher Gestelldynamik
- Ermittlung des Einflusses von Massen- und Schwerpunktlage auf das Entkopplungs-/Kompensationsergebnis

Versuchsstandausrüstung

- Zwei lagegeregelte Vorschubachsen
- Kugel-Profilschienenführungen
- Verstellbare Gestellsteifigkeit
- Steuerungsoberfläche zur Bewegungsvorgabe und Messdatenanalyse
- Antriebsansteuerung über SERCOS III
- Sicherheitsstoßdämpfer

Daten

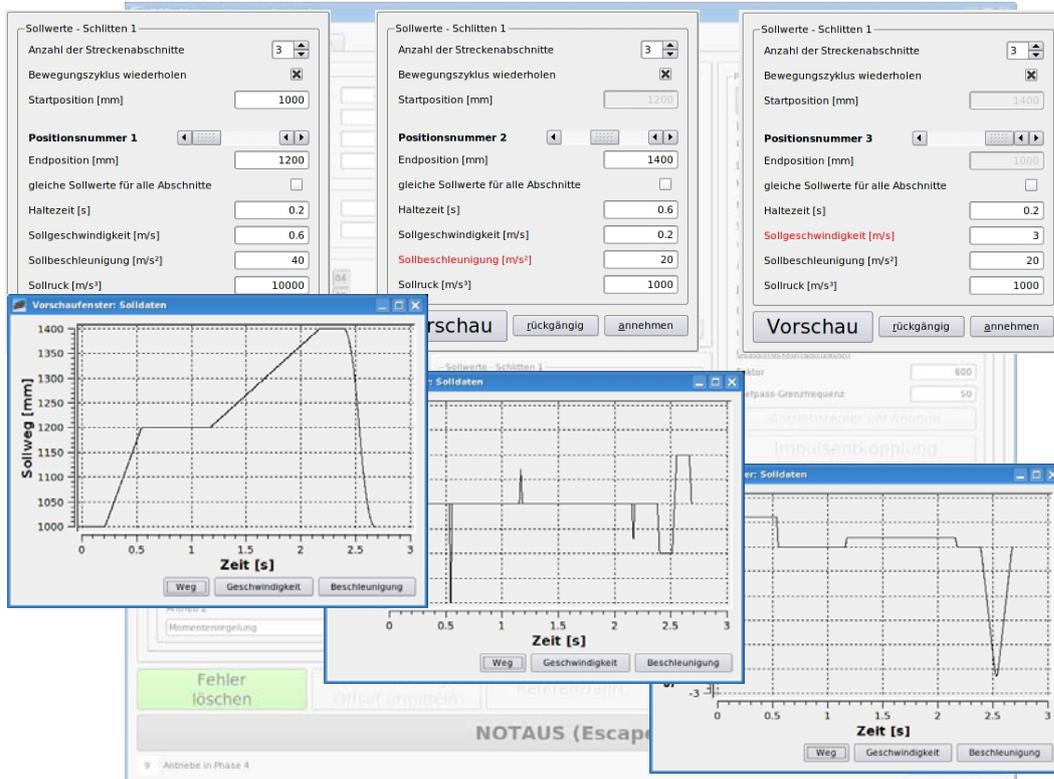
- Vorschubkraft (max.) 3.800 N
- Dauernennkraft 1.200 N
- Geschwindigkeit (max.) 290 m/min
- Beschleunigung (max.) 75 m/s²
- Verfahrweg (max.) 2.700 mm
- Tischgröße 2 x 400 mm x 520 mm
- Kugel-Profilschienenführungen Größe 35

Messtechnik

- Weg (inkremental)
- Beschleunigung (Ferarissensor)
- Strom und Kraft am Motor
- Gestellschwingungen (Lage, Beschleunigung)



Versuchsstand Impulskompensation und -entkopplung



Steuerungsoberfläche

2.2.4.3 Vorschubachse mit Kugelgewindetrieb

Aufgabenstellung

- Experimentelle Ermittlung von Reibung und Wärmeübertragung an einer Vorschubachse mit Kugelgewindetrieben verschiedener Konfigurationen
- Analyse der Wärmequellen
- Ermittlung der Rückwirkungen thermisch bedingter Form- und Lageänderungen auf Reibung und Bewegungsgenauigkeit
- Vergleich und Bewertung des Verhaltens verschiedener Messsysteme bei instationärer Erwärmung

Versuchsstandausrüstung

- Lagegeregelte Vorschubachse (Servoantrieb)
- Kugelgewindetrieb mit angetriebener Spindel, Doppelmutter mit einstellbarer Vorspannung, axial vorspannbarer Spindel und variabler Endenlagerung
- Lagemessung indirekt über rotatorisches Messsystem oder direkt über in eine Rollen-Profilschienenführung integriertes Messsystem

Daten

- Motor-Nenn Drehzahl 4.000 min^{-1}
- Kugelgewindetrieb 40 mm x 20 mm T5 (gerollt)
- Tischgröße 470 mm x 500 mm
- Verfahrensweg 1.500 mm
- Rollen-Profilschienenführungen Größe 35

Messtechnik

- Messung von Drehmomenten und Kräften auf DMS-Basis
- Mehrstellenmesseinrichtung f. Temperaturen u. Verlagerungen
- Laser-Interferometer-System RENISHAW ML 10



Vorschubachse mit Kugelgewindetrieb

2.2.4.4 Laufeigenschaften von Hauptspindeln

Aufgabenstellung

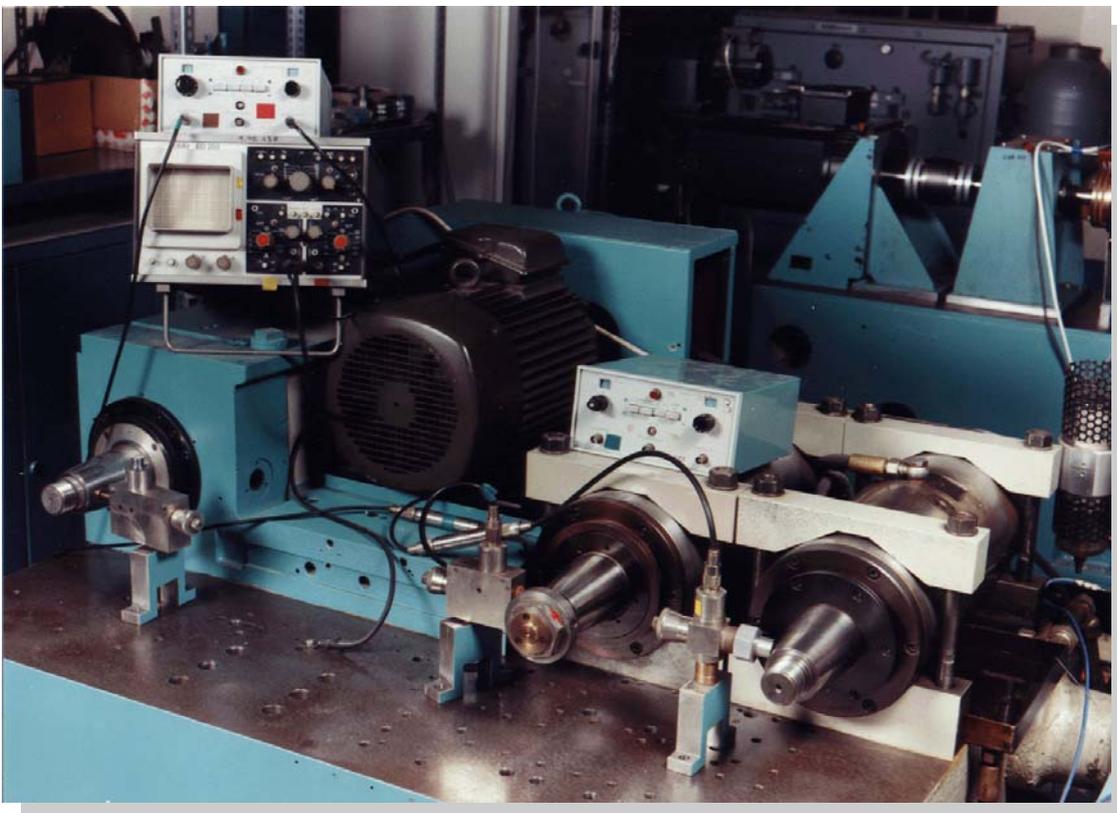
- Analyse und Vergleich der Laufeigenschaften von unterschiedlich gelagerten Genauigkeits-Spindeln
- Signalanalyse zur Ermittlung von Quellen wälzlagerbedingter Störbewegungen
- Ermittlung von Reibmoment und Verlustleistung an einer hydrostatischen Schleifspindel

Versuchsstandausrüstung

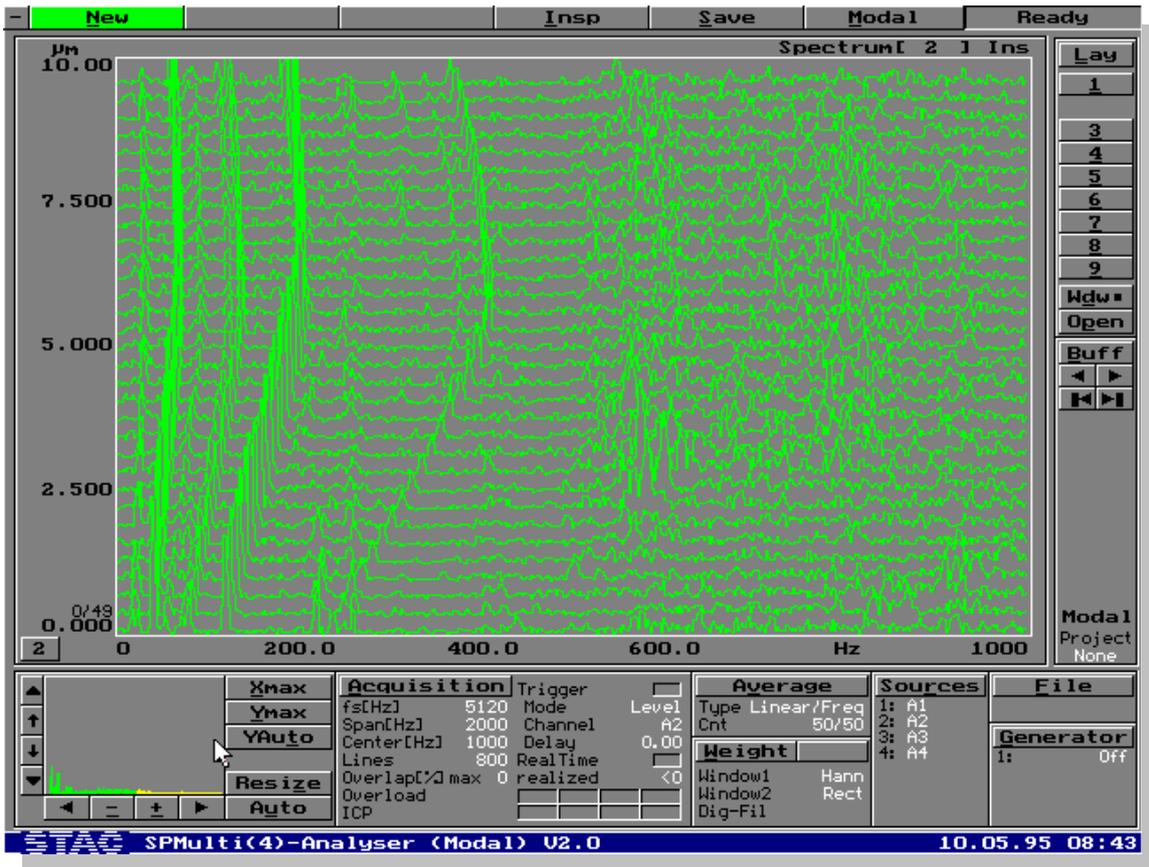
- hydrodynamisch, hydrostatisch und wälzgelagerte Spindeln für das Außenrundschleifen
- Bohrspindeleinheit
- Motor-Spindeln zum Bohrungsschleifen

Messtechnik

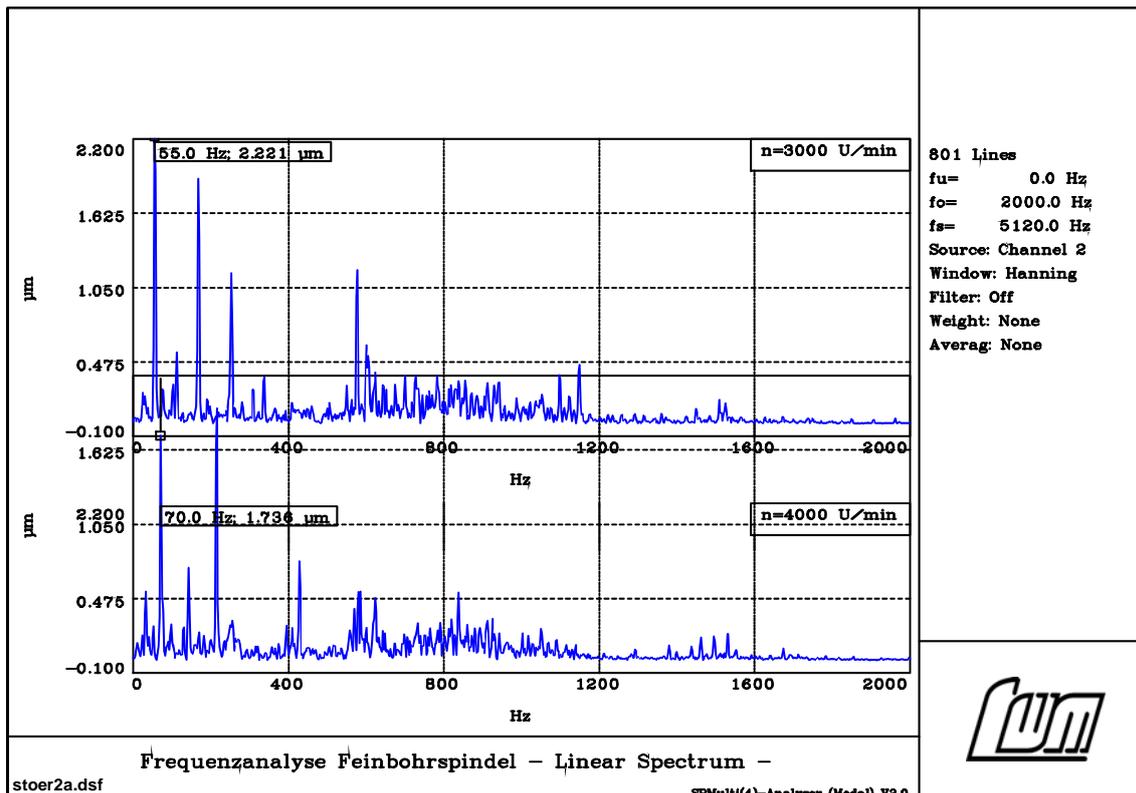
- kapazitive Wegmesseinrichtung
- PC-gestützter Echtzeit-FFT-Analysator



Hauptspindelprüfstand



Frequenzanalyse einer Feinbohrspindel bei verschiedenen Drehzahlen



stoer2a.dsf

SPMulti(4)-Analyser (Modal) V2.0

2.2.4.5 Motorspindel mit aktiver Magnetlagerung

Aufgabenstellung

- Einsatz der aktiven magnetischen Spindellagerung zur definierten radialen und axialen Auslenkung sowie Neigung des Spindelkörpers während der Bearbeitung
- Nutzung dieser Möglichkeiten für die Unrundbearbeitung und für die Kompensation von statisch und thermisch verursachten Wirkstellenverlagerungen
- Studentische Ausbildung: Praktikum in den Lehrveranstaltungen der Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung sowie im Fach Bewegungsgeführte Maschinensysteme des Studiengangs Mechatronik

Versuchsstandausrüstung

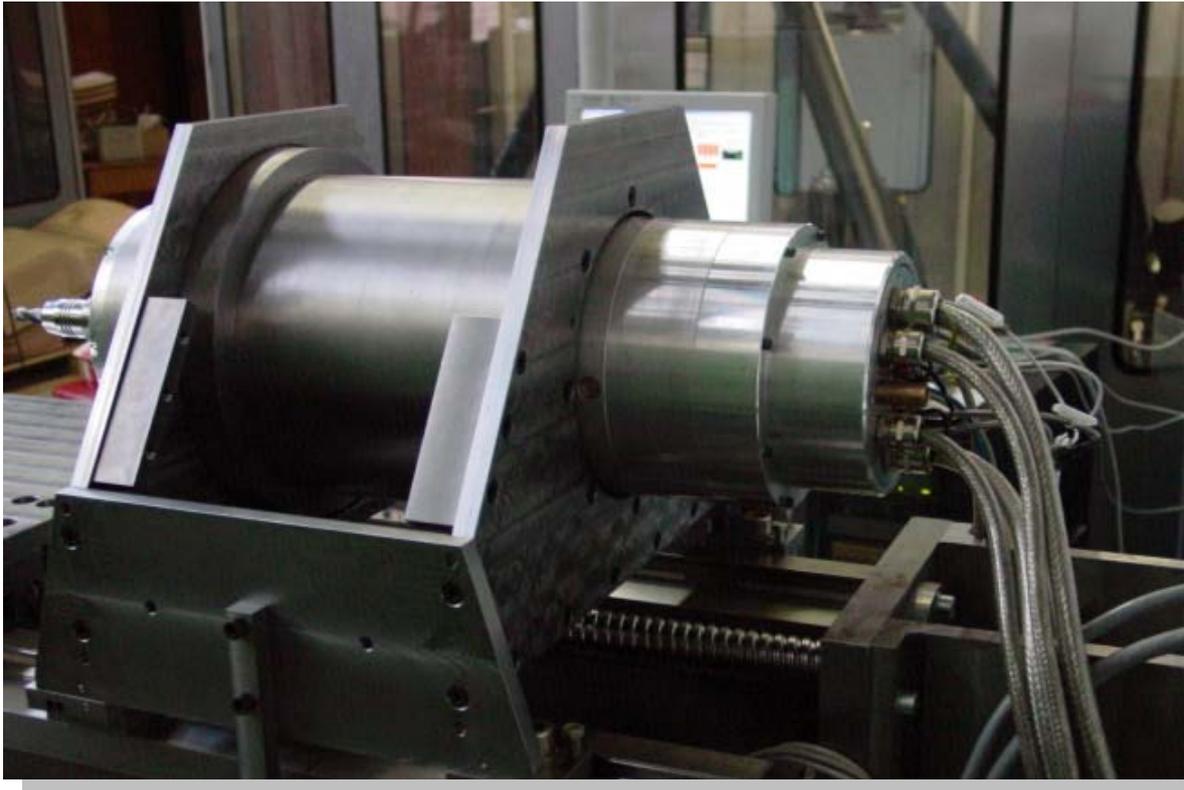
- Motorspindel mit aktiver Magnetlagerung, AXOMAT GmbH
- Einbindung mit paralleler Anordnung zu einer Linearvorschubachse in einen Versuchsstand zum Ausbohren

Daten

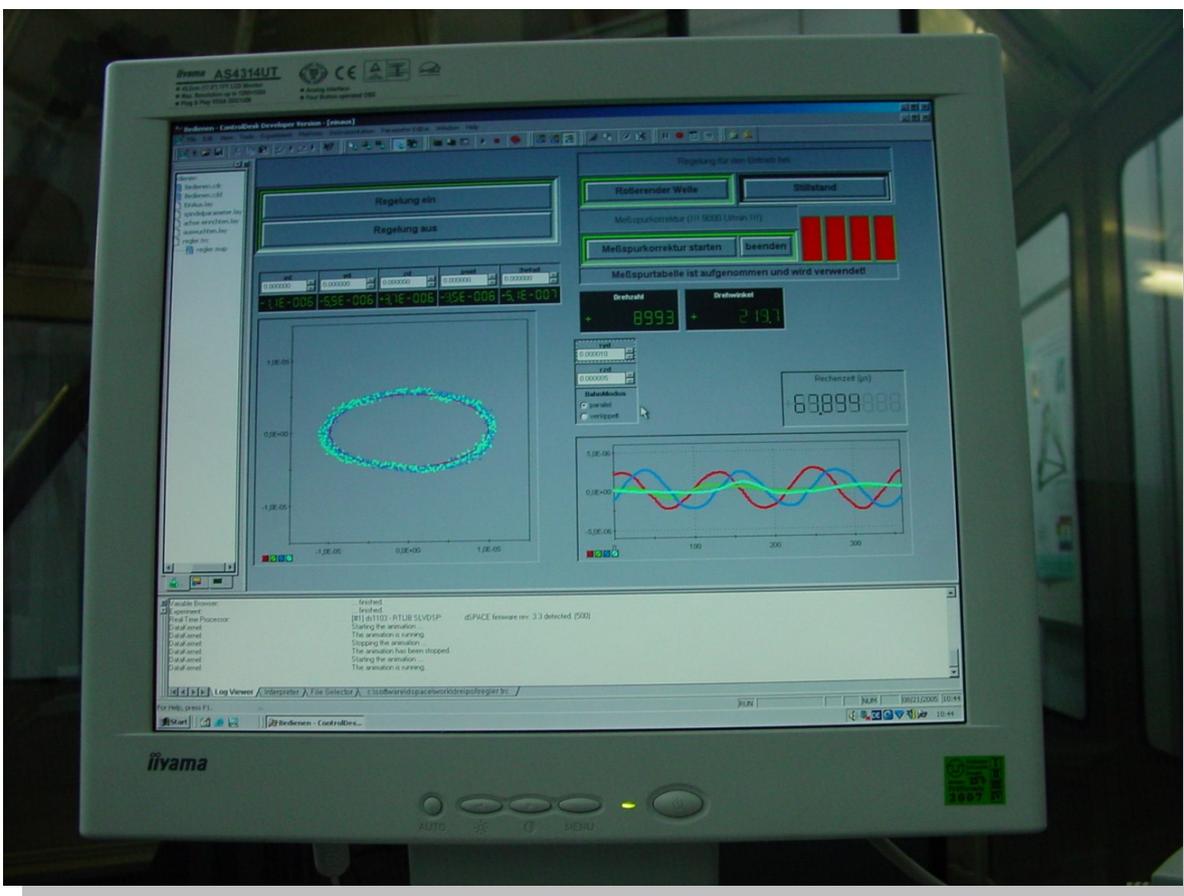
- 10 kW (S1)
- $n_{\max} = 30.000 \text{ min}^{-1}$
- fremdgekühlt
- Werkzeugaufnahme HSK-C 40
- dynamisch optimierter Spindelkörper (Leistung des IWM)
- flachheitsbasierte digitale Regelung der aktiven Magnetlagerung auf der Hardwarebasis d-space (Leistung des Instituts für Regelungs- und Steuerungstheorie der TU Dresden)

Messtechnik

- Erfassung von Daten der Spindel-Regelung (System d-space)
- 6-Komponenten-Kraftmesstechnik zur Erfassung von Zerspankräften (System KISTLER)



Versuchsaufbau Motorspindel mit aktiver Magnetlagerung



Monitoring für die Unrund-Bearbeitung

2.2.4.6 Kupplungsprüfstand

Aufgabenstellung

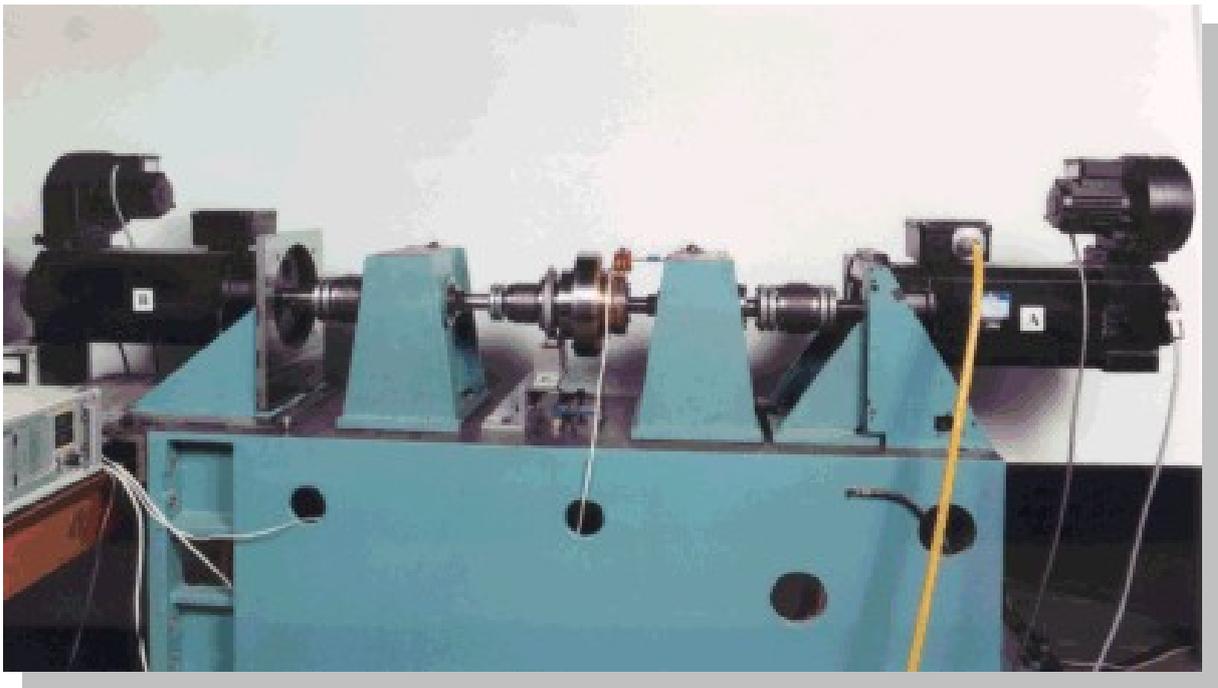
- Ermittlung von Übertragungseigenschaften von Schaltkupplungen und regelbaren Kupplungen
- Nachweis der Steuerbarkeit von Drehmomenten mit magnetorheologischen Flüssigkeiten
- Ermittlung der Parameter einer magnetorheologischen Experimentierkupplung
- Optimierung der konstruktiven, magnetischen und elektrischen Auslegung von magnetorheologischen Kupplungen und Bremsen (Variation konstruktiver Parameter sowie der Ansteuerparameter und der Drehzahl)

Versuchsstandausrüstung

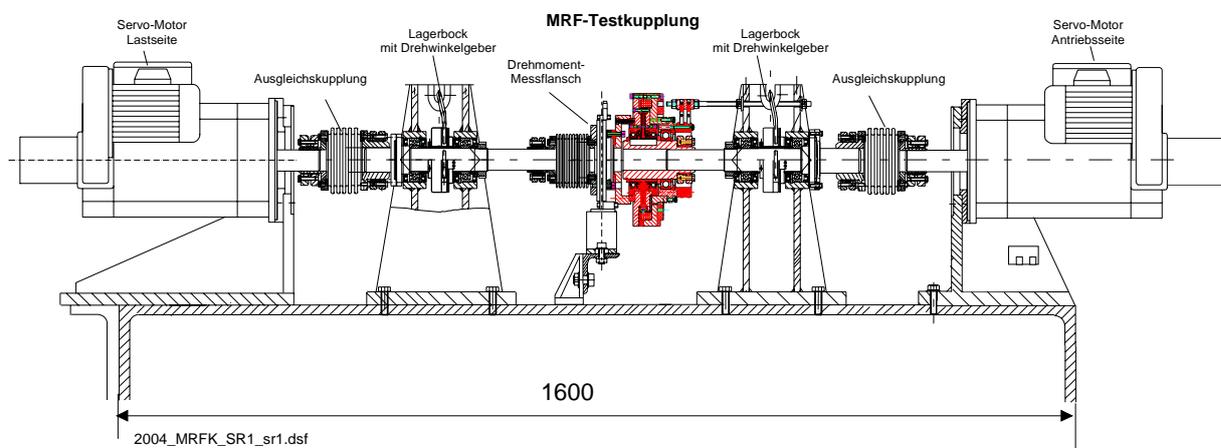
- zwei unabhängig regelbare Servoantriebe

Messtechnik

- Drehmoment
- Drehzahl
- Temperatur



Ansicht des Kupplungsprüfstandes



Schematischer Aufbau des Prüfstandes mit MRF-Kupplung

2.2.4.7 Prüfstand für Profilschienenführungen unter konstanter Normalkraftbelastung

Aufgabenstellung

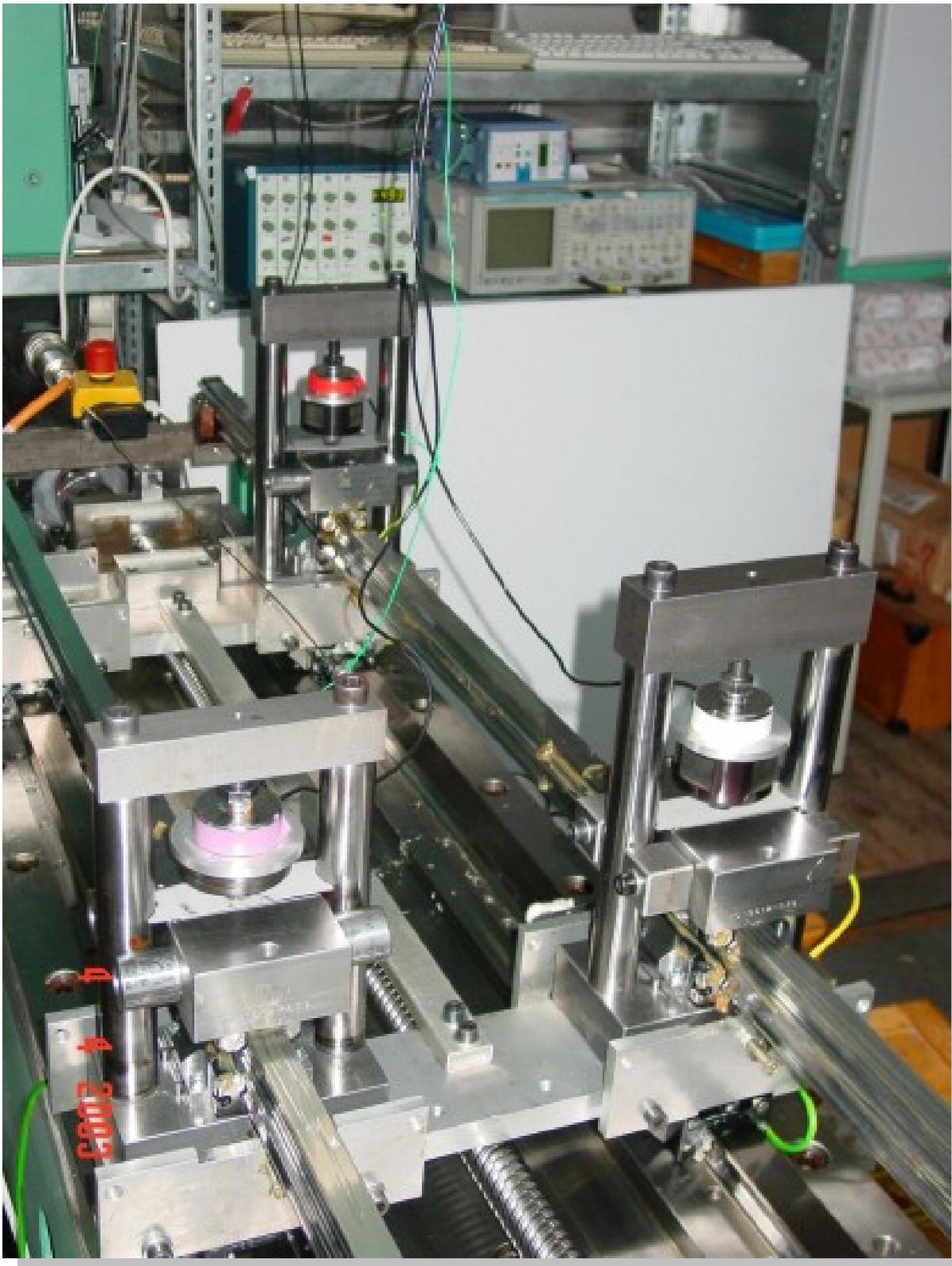
- Untersuchung des Einflusses von Lageabweichungen der Montageflächen an den Umbauteilen auf die Reibkraft und die Führungsgenauigkeit an einem Schlitten
- Untersuchung des Einflusses der Geschwindigkeit und des Bewegungsablaufs auf Reibkraft und Genauigkeit
- Lebensdauerprüfung von Profilschienenführungen

Versuchsstandausrüstung

- NC-Vorschubachse mit AC-Servo-Motor und indirektem Wegmesssystem
- spezielles Maschinenbett mit Schlitten zum Einbau unterschiedlicher Arten und Größen von Profilschienenführungen
- Möglichkeiten zur Erzeugung definierter Einbautoleranzfehler
- Belastungseinrichtungen für aufliegende und abhebende Belastung

Messtechnik

- Kraftmessung mit PC-gestützter Messwerterfassung
- Laser-Interferometer RENISHAW ML 10 mit Linear-, Geradheits- und Winkeloptiken
- Temperaturmessung



*Universeller Prüfstand für Profilschienenführungen,
eingrichtet für Lebensdauerversuche mit
Kugelschienenführungen*

2.2.4.8 Prüfstand für Profilschienenführungen unter steuerbarer Normalkraft- und Momentenbelastung

Aufgabenstellung

- Lebensdaueruntersuchungen an Rollen-Profilschienenführungen bis zur Baugröße 25 unter pressentypischer stoßartiger Belastung
- Ermittlung des Einflusses dieser Belastungsart auf die Lebensdauer der Führungselemente
- Erarbeitung von Auslegungsrichtlinien für Profilschienenführungen als Pressenstößelführung

Versuchsstandausrüstung

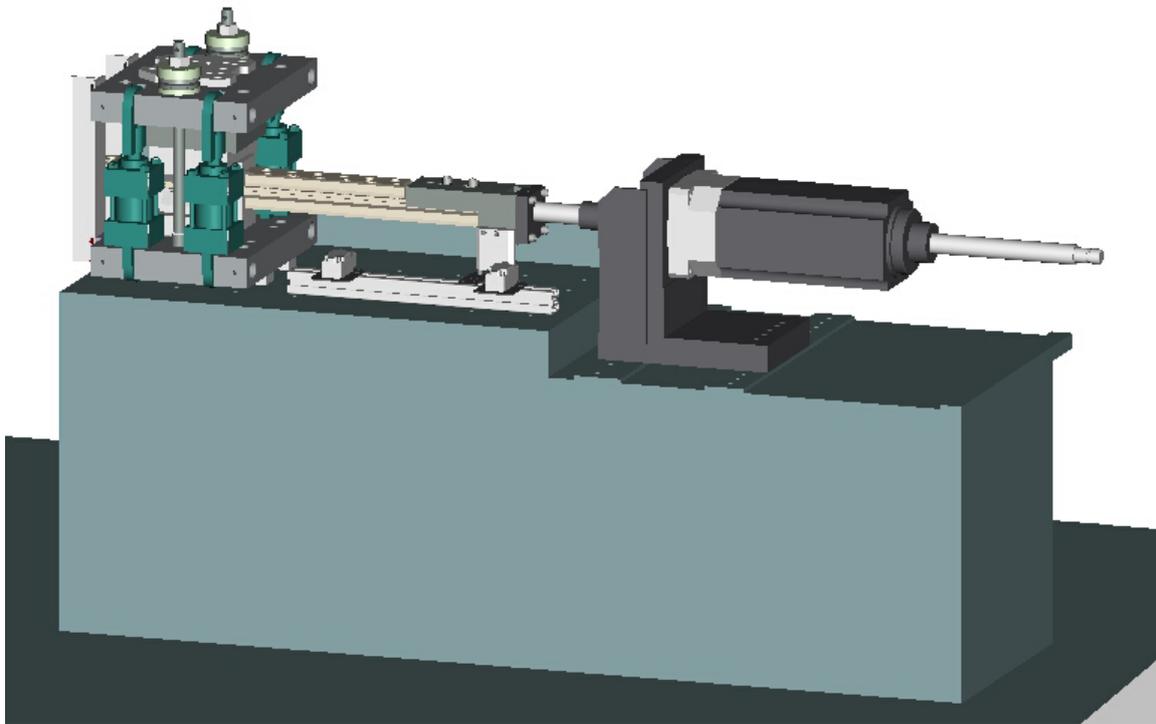
- Servoantrieb mit Hohlwellenmotor
- Belastungseinrichtung für statische und dynamische Kräfte

Daten

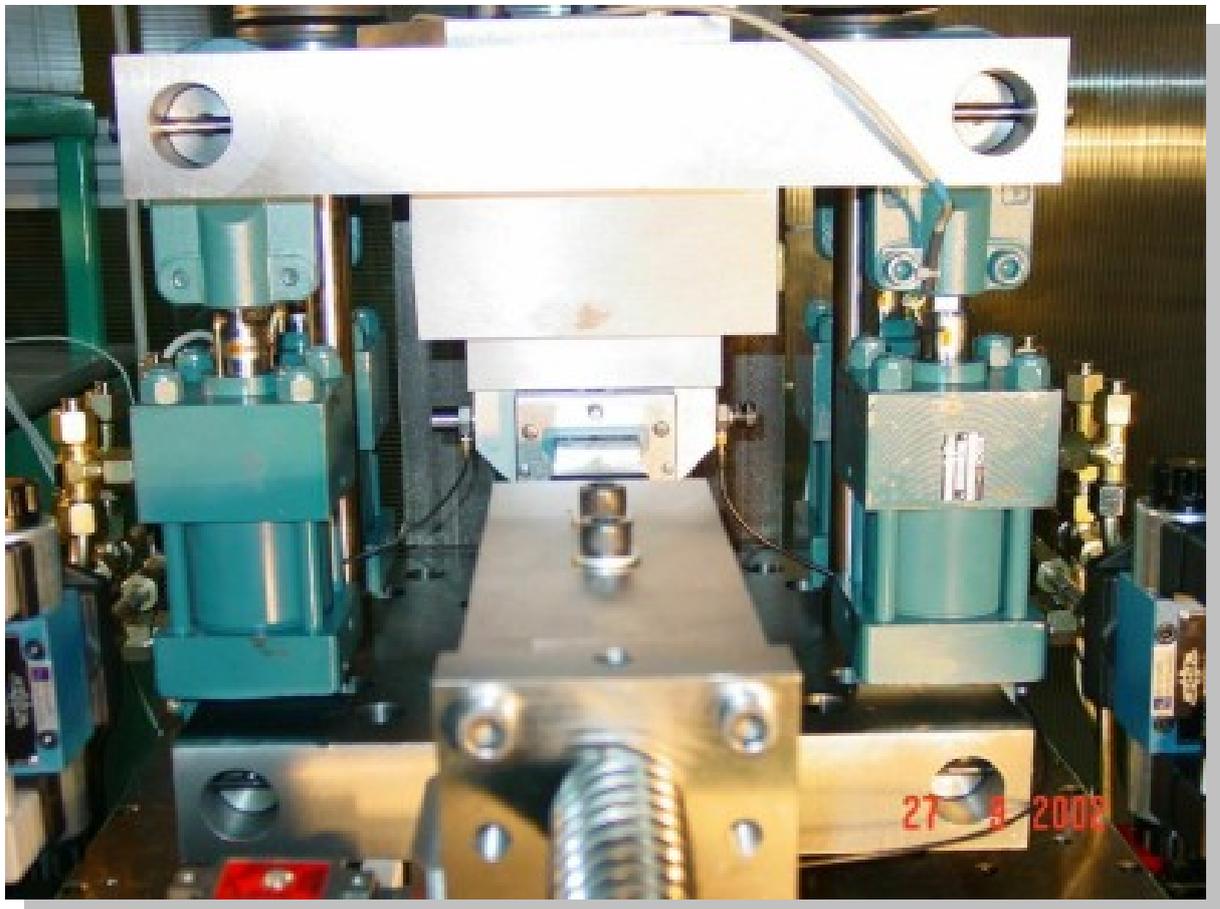
- Belastung (max.) 150 kN
- Hubzahl (max.) 85 min⁻¹
- Beschleunigung (max.) 12 m/s²
- Beschleunigungsverlauf sinusförmig
- Hub (max.) 250 mm
- Messmöglichkeiten für Normal- und Reibkraft

Messtechnik

- Belastungskraft
- Geschwindigkeit
- Temperatur



Prüfstand für Rollen-Profilschienenführungen unter pressentypischer Belastung (CAD-Entwurf und Ausführungsdetail)



2.2.4.9 Prüfstand für Profilschienenführungen unter steuerbarer Normalkraftbelastung

Aufgabenstellung

- Lebensdaueruntersuchungen an Rollen-Profilschienenführungen bis zur Baugröße 125 unter pressentypischer stoßartiger Belastung
- Ermittlung des Einflusses dieser Belastungsart auf die Lebensdauer der Führungselemente
- Erarbeitung von Auslegungsrichtlinien für Profilschienenführungen als Pressenstoßführung

Versuchsstandausrüstung

- Servoantrieb mit Hohlwellenmotor
- Belastungseinrichtung für statische und dynamische Kräfte

Daten

- Belastung (max.) 800 kN
- Hubzahl (max.) 40 min⁻¹
- Beschleunigung (max.) 10 m/s²
- Beschleunigungsverlauf sinusförmig
- Hub (max.) 560 mm

Messtechnik

- Belastungskraft



Hydraulik für die Erzeugung pressentypischer Belastungen

2.2.4.10 Hexapod 1

Aufgabenstellung

- Kinematische Kalibrierung
- Adaptive Prozessführung
- Referenzierung von Werkstück und Werkzeug
- Modellbasierte, steuerungsintegrierte Korrekturen systematischer Fehlerwirkungen (geometrisch, elastostatisch, thermisch)

Versuchsstandausrüstung

- Bewegungseinrichtung mit Freiheitsgrad 6
- Hexapodspezifische Bedienoberfläche mit Netzwerkanbindung
- Entwicklungsplatz für eigene Steuerungs-Funktionalität
- Frässpindel 10 kW, 21.000 min⁻¹, Wasserkühlung
- REFU-Spindelumrichter mit digitalem SERCOS-Interface

Messtechnik

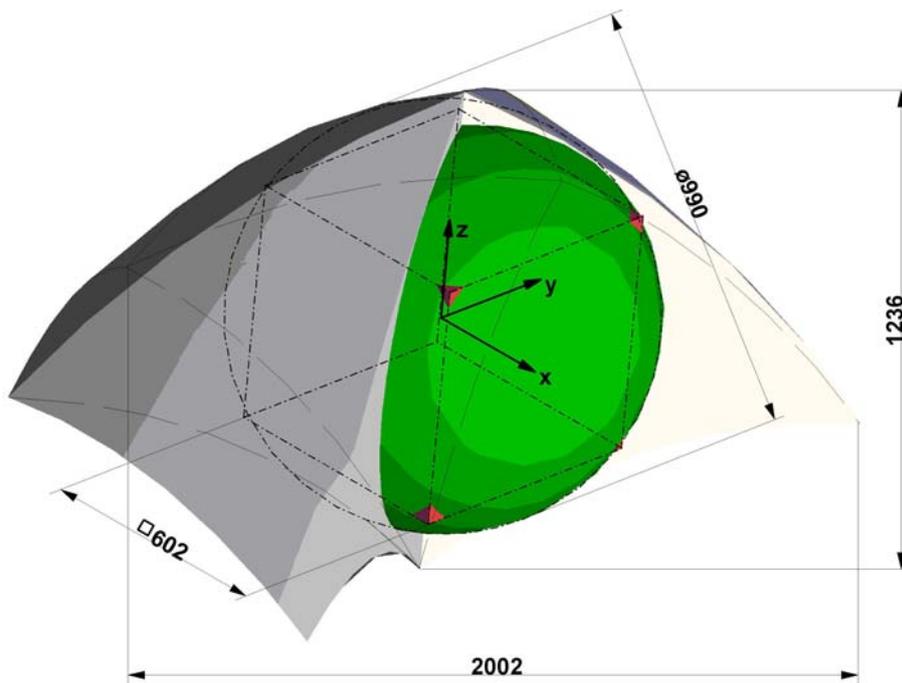
- 6-Komponenten-Kraftmessplattform KISTLER
- Genauigkeits-Messsystem (Double-Ball-Bar) RENISHAW QC 10
- Laser-Interferometer RENISHAW ML 10

Technische Spezifikation des Hexapoden

- Arbeitsraum: Gelenkkreis Boden 3.000 mm
Gelenkkreis Plattform 1.200 mm
Auskragung 600 mm
- Komponenten: Kugelgewindetriebe, Servomotoren,
Multi-Turn-Messsysteme
- Steuerung: Bosch Typ 3 OSA
- Stabachs-Stellwege: 980 mm
- Plattformwege (TCP) max.: horizontal 1.900 mm
vertikal 1.200 mm
- Plattformneigung max. ± 50 °
- Drehung um z max. ± 60 °
- Zusatzmasse Plattform max. 100 kg
- Kräfte an Plattform max. 3 kN
- Geschwindigkeit max. 50 m/min



Parallelkinematische Bewegungseinrichtung "Hexapod FELIX"



Größe und Form des Arbeitsraumes

2.2.4.11 Hexapod 2

Aufgabenstellung

- Geometrisch-kinematische Korrektur an einer Parallelkinematik
- Optische Referenzierung
- Alternative Konzepte für 3D-Handling und -Bearbeitung
- Bearbeitungszentrum z. B. für Holzformteile
- Richtzentrum z. B. für geschweißte Baugruppen

Versuchsstandausrüstung

- Bewegungseinrichtung mit Freiheitsgrad 6
- Hexapodspezifische Bedienoberfläche mit Netzwerkanbindung
- Offenes Steuerungssystem Bosch Typ 3 OSA mit digitalen Antrieben
- Programmierarbeitsplatz zur Entwicklung eigener Steuerungs-Funktionalität
- Frässpindel 1,7 kW, 2.400 min⁻¹, Luftkühlung, pneumatische Werkzeugspannung SK 30
- Frässpindel 7,8 kW, 17.400 min⁻¹, Luftkühlung, Werkzeug-Spannzange 8 bis 12 mm
- Modulare pneumatische Spannvorrichtung zum Greifen und Spannen von Holzformteilen
- Spezialwerkzeug für das Thermoglätten von Holz und Holzwerkstoffen
- Industrielle Staub-/Späneabsaugung

Messtechnik

- Bildverarbeitungssystem zur Form- und Lageerkennung des zu bearbeitenden Werkstücks
- weitere s. Pkt. 2.2.4.10

Technische Spezifikation des Hexapoden

- identisch zu Hexapod unter Pkt. 2.2.4.10



Bildverarbeitung / Rohling und bearbeitetes Werkstück



Auswertung des Kamerabildes für die Werkstück-Lageerkennung

2.2.4.12 Hexapod 3

Aufgabenstellung

- Parallelkinematisches Bearbeitungszentrum mit hoher Flexibilität in Werkzeugkonfiguration und Werkstückhandhabung
- Technologien zur effizienten und automatisierten Referenzierung von Werkzeugen und Werkstücken im Arbeitsraum

Versuchsstandausrüstung

- Bewegungseinrichtung mit Freiheitsgrad 6 (MiniHex)
- Bewegung des Werkstückes relativ zu den feststehenden Werkzeugen
- Zweiter, fest angeordneter Greifer zum Umgreifen des Werkstückes für eine 6-Seiten-Bearbeitung

Messtechnik

- s. Pkt. 2.2.4.10

Technische Spezifikation des Hexapoden

- Arbeitsraum: $x_{\max} = 1.340 \text{ mm}$
 $y_{\max} = 1.240 \text{ mm}$
 $z_{\max} = 560 \text{ mm}$
- Plattformneigung: $\varphi_{x,y,z_{\max}} = \pm 45^\circ$
- Geschwindigkeit: $v_{\max} = 60 \text{ m/min}$



MiniHex bei der Bearbeitung von Holzkugeln

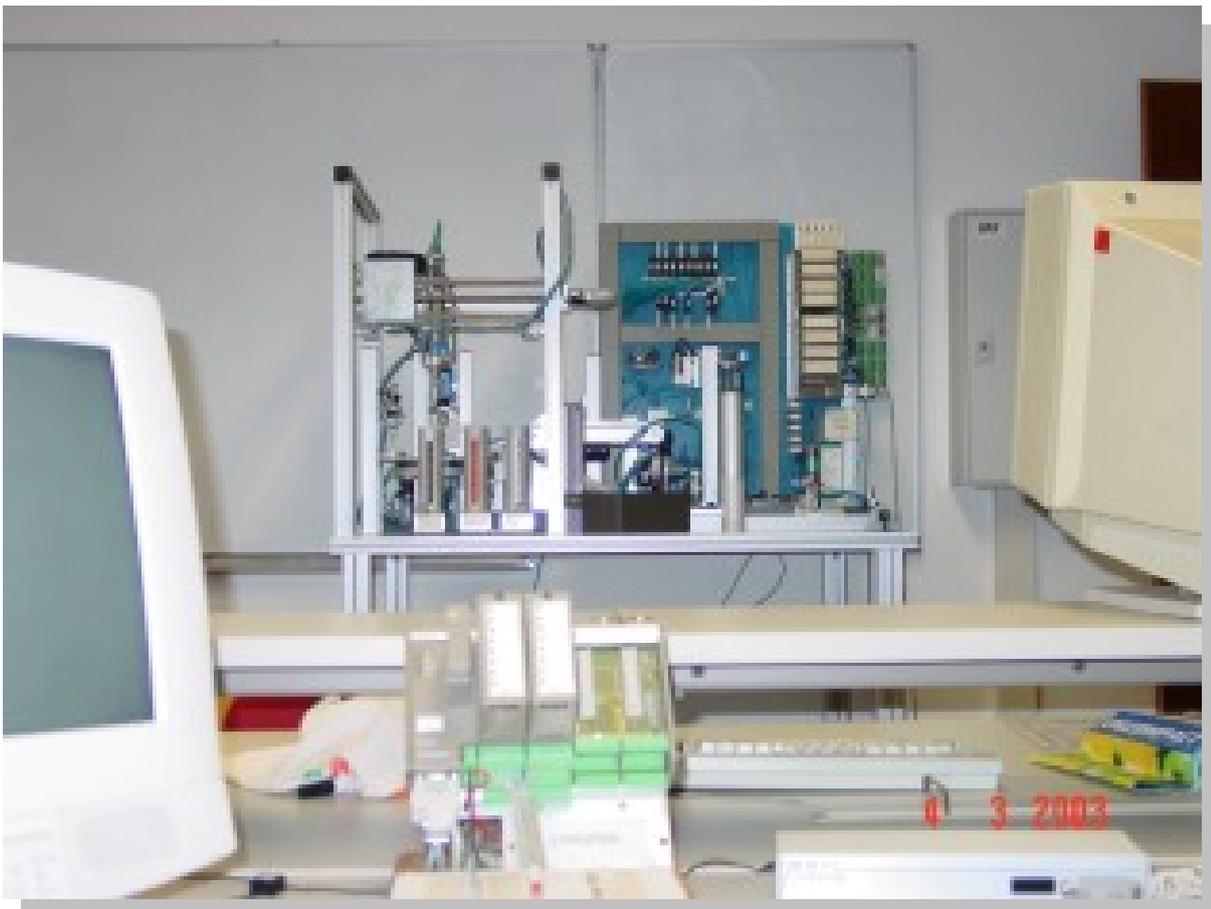
2.2.4.13 Programmierung der Funktionssteuerung von Fertigungssystemen (SPS)

Aufgabenstellung

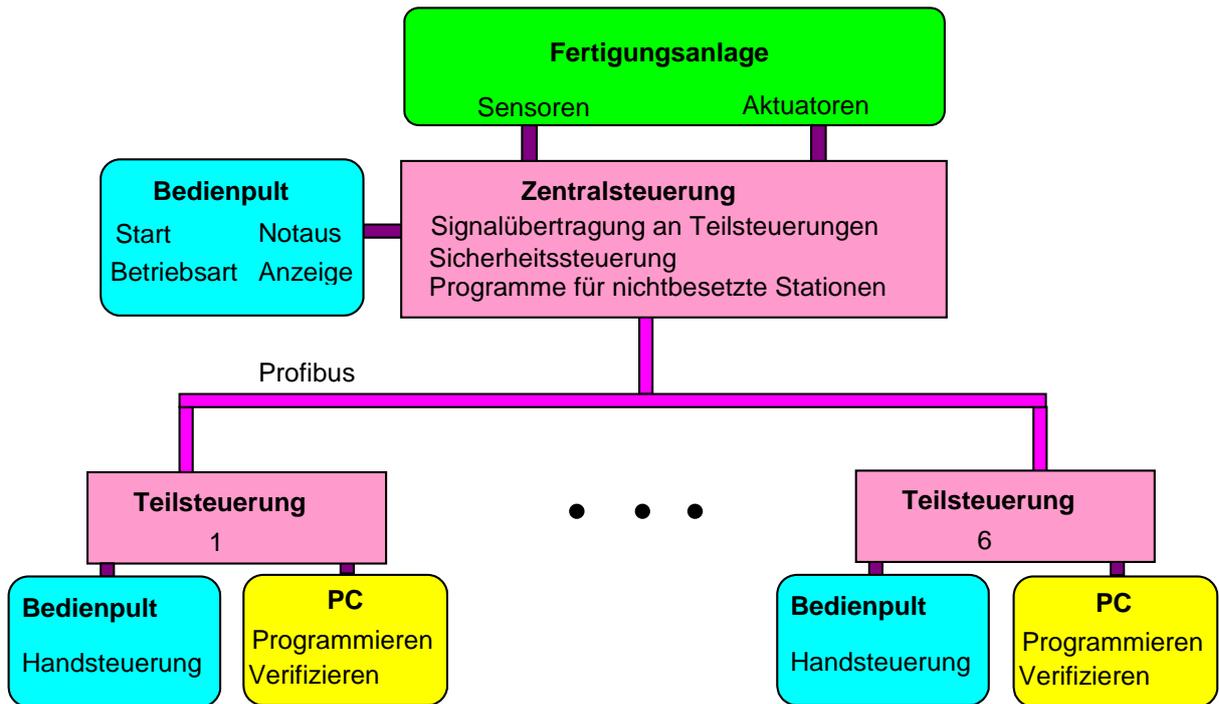
- Modulare Programmierung des asynchronen Ablaufs einzelner Arbeitsstationen
- Koordinierung ihres Zusammenwirkens in einem Fertigungssystem

Versuchsstandausrüstung

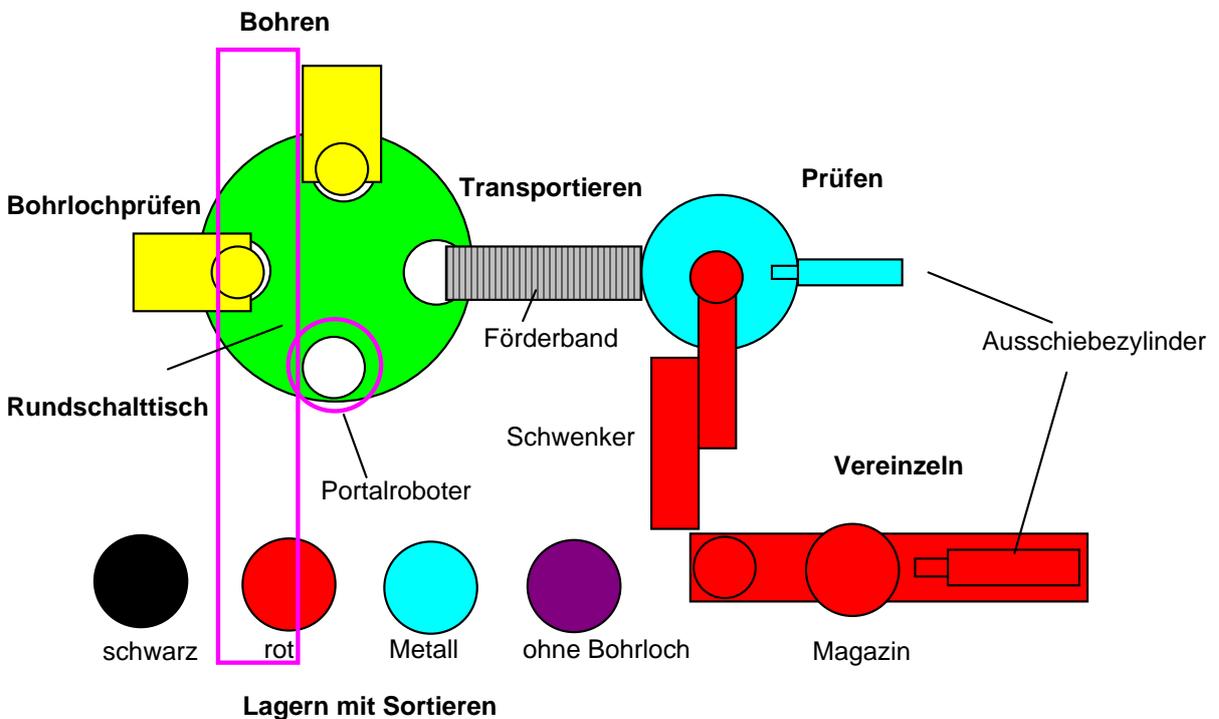
- Modell eines Fertigungssystems mit zentraler SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung)
- sechs über Feldbus angeschlossene Studentearbeitsplätze mit modularen SPS



*Lehrkabinett
für die Programmierung der SPS eines modularen
Fertigungssystems*



Aufbau des Lehrkabinetts



Aufbau des Fertigungssystems

2.2.4.14 Geräuschuntersuchungen an Werkzeugmaschinen

Aufgabenstellung

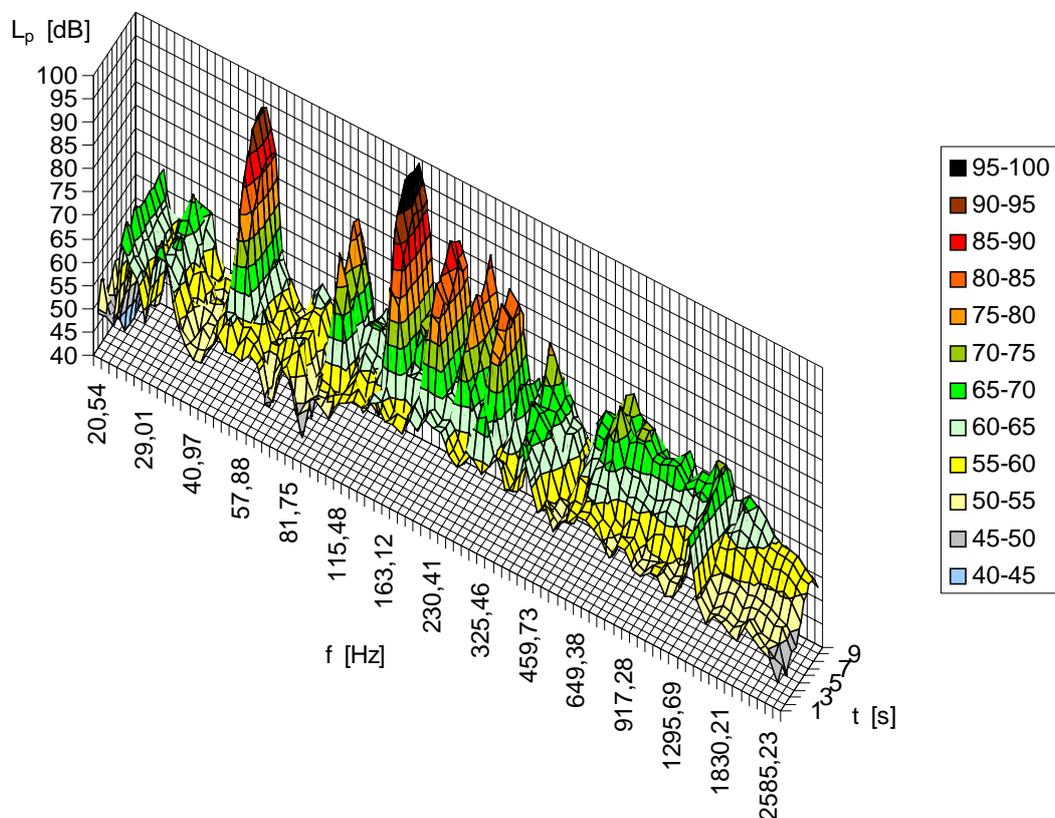
- Einführung in den Lärmschutz
- Messung von Lärmkenngrößen mit verschiedenen Messverfahren
- Kennen lernen von Analysemethoden und Lärmminderungsmaßnahmen

Versuchsstandausrüstung

- Versuchsdurchführung nach DIN 45635 T. 1 (Hüllflächenverfahren)
- Frequenzanalyse zur Lärmquellenortung

Messtechnik

- Schalldruckpegel-Messgerät
- Schallintensitäts-Messgerät



Schalldruckpegel-Multispektrum eines Umformvorganges



Schallintensitätsmessung an einer Drehmaschine

2.2.4.15 Positioniergenauigkeit einer Werkzeugmaschine

Aufgabenstellung

- Statistische Prüfung der Positionsunsicherheit numerisch gesteuerter Achsen mit dem Laser-Interferometer RENISHAW ML 10
- Statistische Auswertungsverfahren nach DIN ISO 230-2 Prüffregeln für Werkzeugmaschinen, Teil 2: Bestimmung der Positionsunsicherheit und der Wiederholpräzision der Positionierung von numerisch gesteuerten Achsen (bisher VDI/DGQ 3441)
- Untersuchung maschinenbedingter Einflüsse auf den Positioniervorgang

Versuchsstandausrüstung

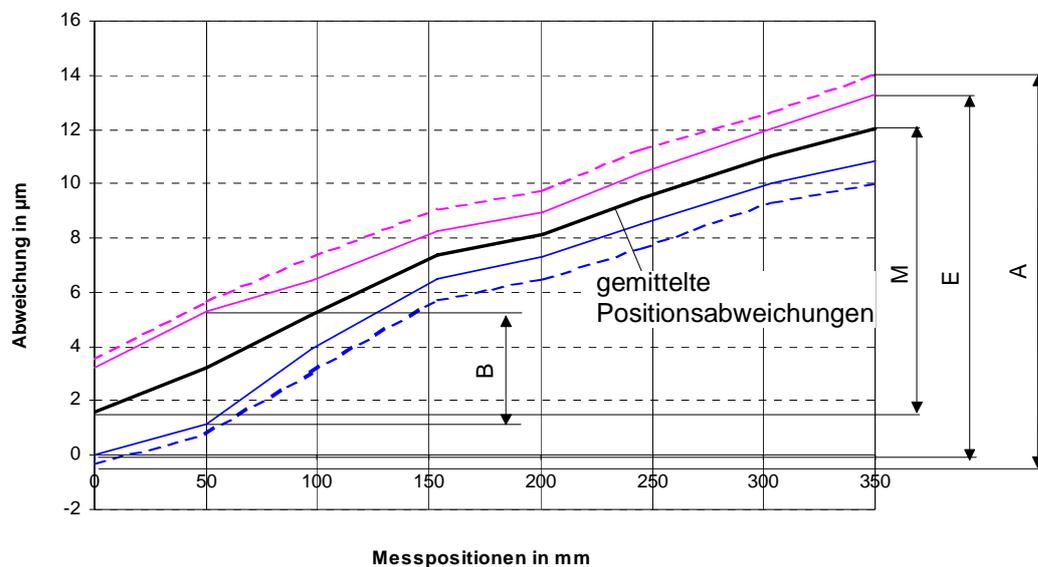
- Durchführung der Messungen unter Nutzung der lagegeregelten x-Achse einer CNC-Fräsmaschine

Messtechnik

- Laser-Interferometer RENISHAW ML 10
Messparameter für: lineare Verschiebung
 - Messbereich 0,1 bis 40 m
 - Genauigkeit $\pm 1,1 \mu\text{m/m} + 0,025 \mu\text{m}$
 - Auflösung 0,001 μmlineare Geschwindigkeit
 - Messbereich 1 m/s
 - Genauigkeit + 0,05 %
 - Auflösung 0,05 $\mu\text{m/s}$



Laser-Interferometer bei einer linearen Verschiebungsmessung



B – Umkehrspanne einer Achse

M – gemittelte zweiseitige Positionsabweichung einer Achse

E – zweiseitige systematische Positionsabweichung einer Achse

A – zweiseitige Positionierungsunsicherheit einer Achse

Untersuchungsergebnisse für eine Achse

2.2.4.16 Kalibrierung einer Stabachse

Aufgabenstellung

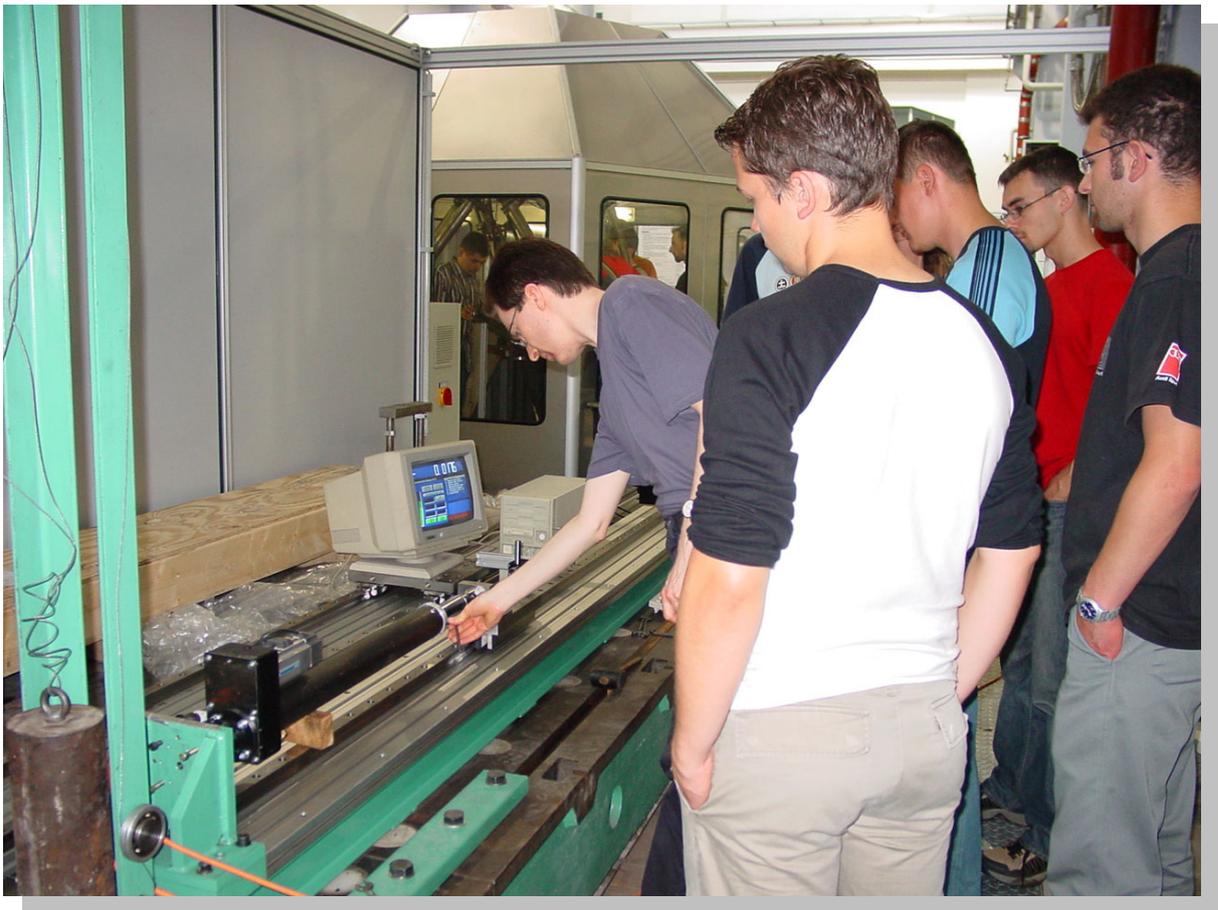
- Einstellung und Optimierung der Lageregelung der Stabachsen
- Referenzierung des Motorgebers an den Stabachsen
- Aufnahme des Spindelsteigungsfehlers der Stabachsen
- Bestimmung der exemplarischen minimalen und maximalen Achslänge (mechanische Anschläge)
- Ausrichtung der Kardangelenkachsen
- Untersuchung des elastischen, thermischen und dynamischen Verhaltens der Stabachsen

Versuchsstandausrüstung

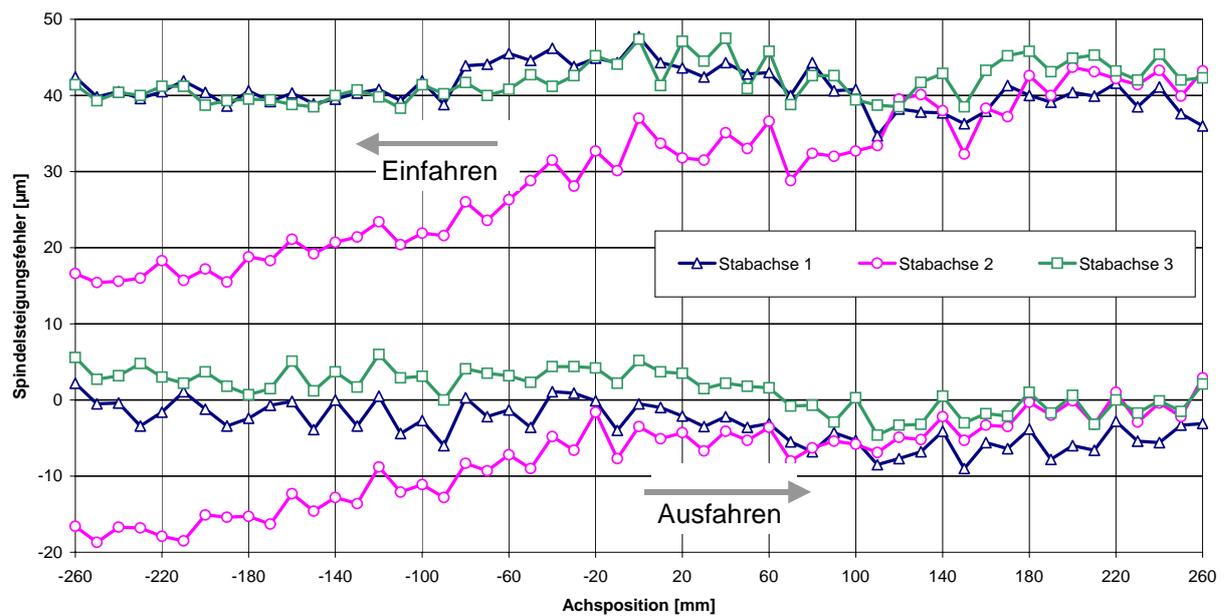
- Prüfstand mit modularen Gelenkaufnahmen für verschiedene Stabachsbauformen und -größen
- auf Profilschiene verschiebbarer Wagen mit Gelenkaufnahme
- Adapter zur Anbringung von Kraftsensoren
- Einrichtung zur Aufbringung von Vorspannungen
- Endmaße als physisch repräsentiertes Bezugsmaß

Messtechnik

- Laser-Interferometer RENISHAW ML 10 für Referenzmessungen
- GTM-Kraftsensor 0...5 kN zur Ermittlung von Stablängskräften
- STAC-Analysator mit Mehrachs-Beschleunigungssensor für dynamische Untersuchungen



Praktikum am Stabachprüfstand



Ergebnisse einer Spindelsteigungsfehler-Messung ohne Achslast

3 Lehre

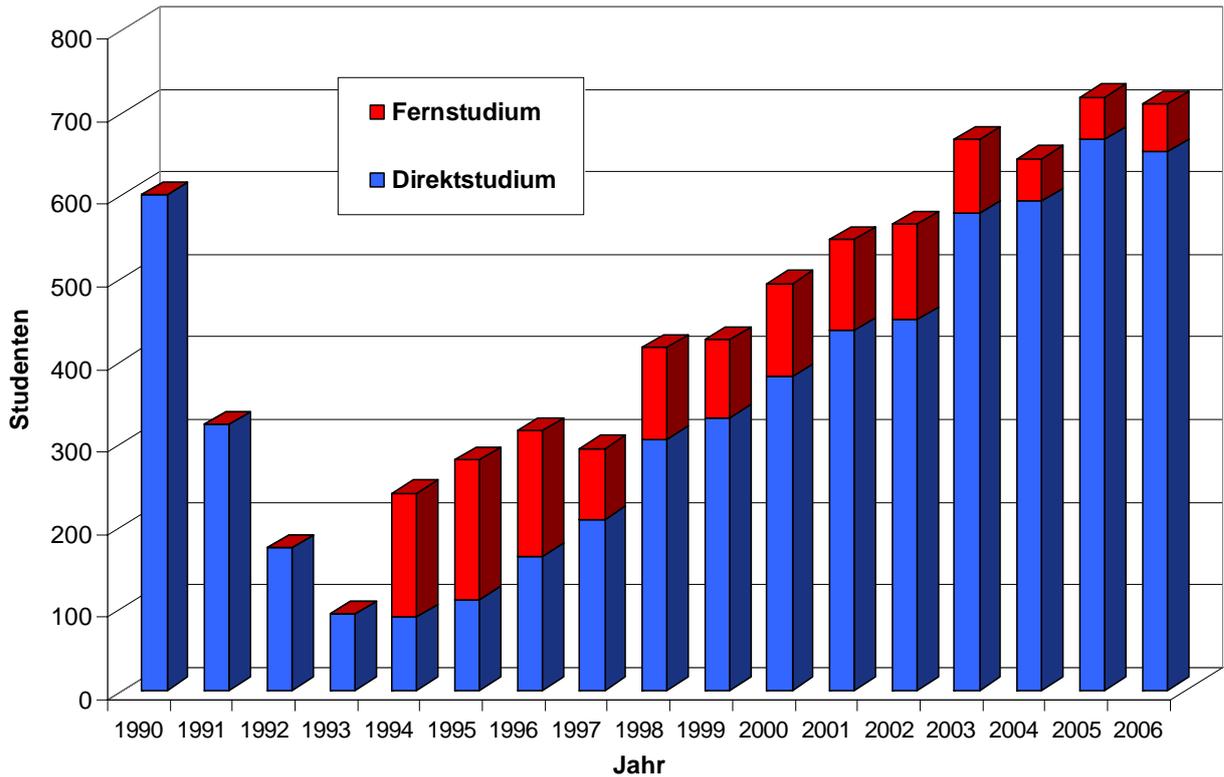


3.1 Entwicklungsetappen der vom Institut getragenen Lehre

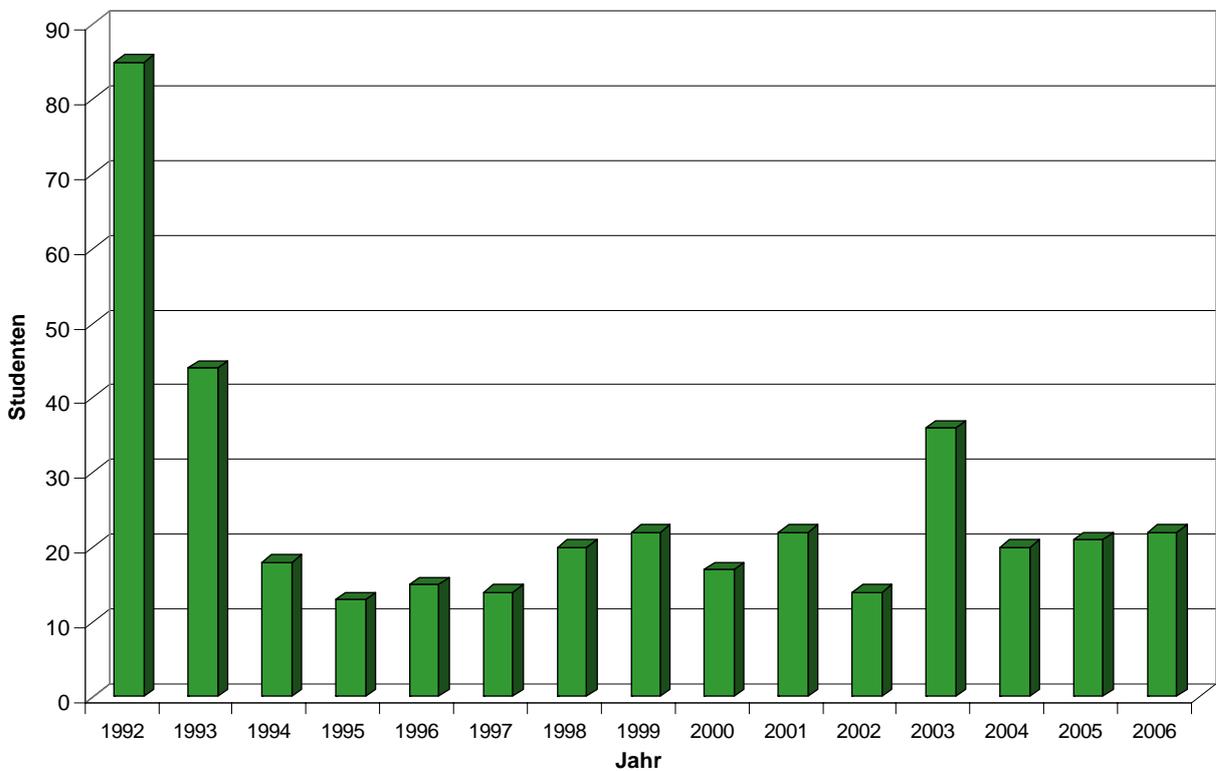
- ab 1952 Bildung einer selbständigen Fachrichtung **Werkzeugmaschinen** im Studiengang Maschinenwesen; Ausbildungsschwerpunkte im Direkt- und Fernstudium:
- Vorrichtungs-, Werkzeug- und Werkzeugmaschinenkonstruktion
 - Werkzeugmaschinenlabor
 - fertigungstechnische Versuchsfeldübungen
 - Konstruktionsübungen und Belegarbeiten (Entwerfen von Werkzeugmaschinen, Rationalisierungsmitteln, Verkettungs-, Transport- und Montageeinrichtungen)
 - Steuerung und Automatisierung von Werkzeugmaschinen
 - Hydraulische und pneumatische Antriebe, Steuerungen und Regelungen
- In der Folgezeit auch Angebot der Fach-Grundlagenlehreveranstaltungen für weitere Fachrichtungen: Fertigungstechnik, Arbeitswissenschaften, Berufspädagogik.
- 1965 Eine erste Studentengruppe absolviert für 6 Monate ein Ingenieurpraktikum in der Konstruktionsabteilung eines Werkzeugmaschinenbetriebes.
Ziel: Entwicklung von Fähigkeiten zur selbständigen schöpferischen Arbeit unter interdisziplinären Praxisbedingungen.
- 1967 Allgemeine Einführung des Forschungs- bzw. Ingenieurpraktikums
- 1968 Die bisherige Fachrichtung Werkzeugmaschinen wird Vertiefungsrichtung in der Fachrichtung Technologie der metallverarbeitenden Industrie.
Neues Studienfach: EDV in der Konstruktion.

- 1973 Neuprofilierung einer selbständigen konstruktiven Fachrichtung unter dem Namen **Fertigungsmittelentwicklung**.
- Neue Ausbildungselemente:
- Bildung komplexer Grundlagenfächer wie Konstruktionslehre mit Technischer Darstellungslehre und Maschinenelemente, Elektrotechnik und Elektronik bzw. Mess- und Automatisierungstechnik
 - Zeitlich und inhaltlich gestaffelter Übergang vom Grund- zum Fachstudium, d.h. Beginn der Fachausbildung bereits im Grundstudium
 - Einführung eines 3. und 4. konstruktiven Beleges zum Entwerfen von Werkzeugmaschinen
 - Verstärkte fertigungstechnische Ausbildung der Studenten der Fachrichtung Fertigungsmittelentwicklung in Urform-, Umform-, Abtrenn- und Fügetechnik
- 1983 Weiterentwicklung der Ausbildungskonzeption vor allem durch Einführung rechnerunterstützter Arbeitsweisen in allen Bereichen der Ingenieur Tätigkeit, insbesondere vertiefte Ausbildung in CAD/CAM, Computergrafik, Computergeometrie und Datenbanken, Vergrößerung des Zeitanteils für die selbständige wissenschaftliche Arbeit der Studenten.
- 1989 Die Fachrichtung erhält die Bezeichnung:
Werkzeugmaschinenkonstruktion und Fertigungssysteme.
- 1990 Eingliederung der Fachrichtung als Vertiefungsrichtung **Werkzeugmaschinen und Fertigungssysteme** in die Studienrichtung Konstruktiver Maschinenbau.
- Zeitliche und inhaltliche Trennung von Grund- und Fachstudium.
- Einführung eines Maschinenkundeversuchsfeldes und eines Beleges zum methodischen Konzipieren und Entwickeln einer Werkzeugmaschine.

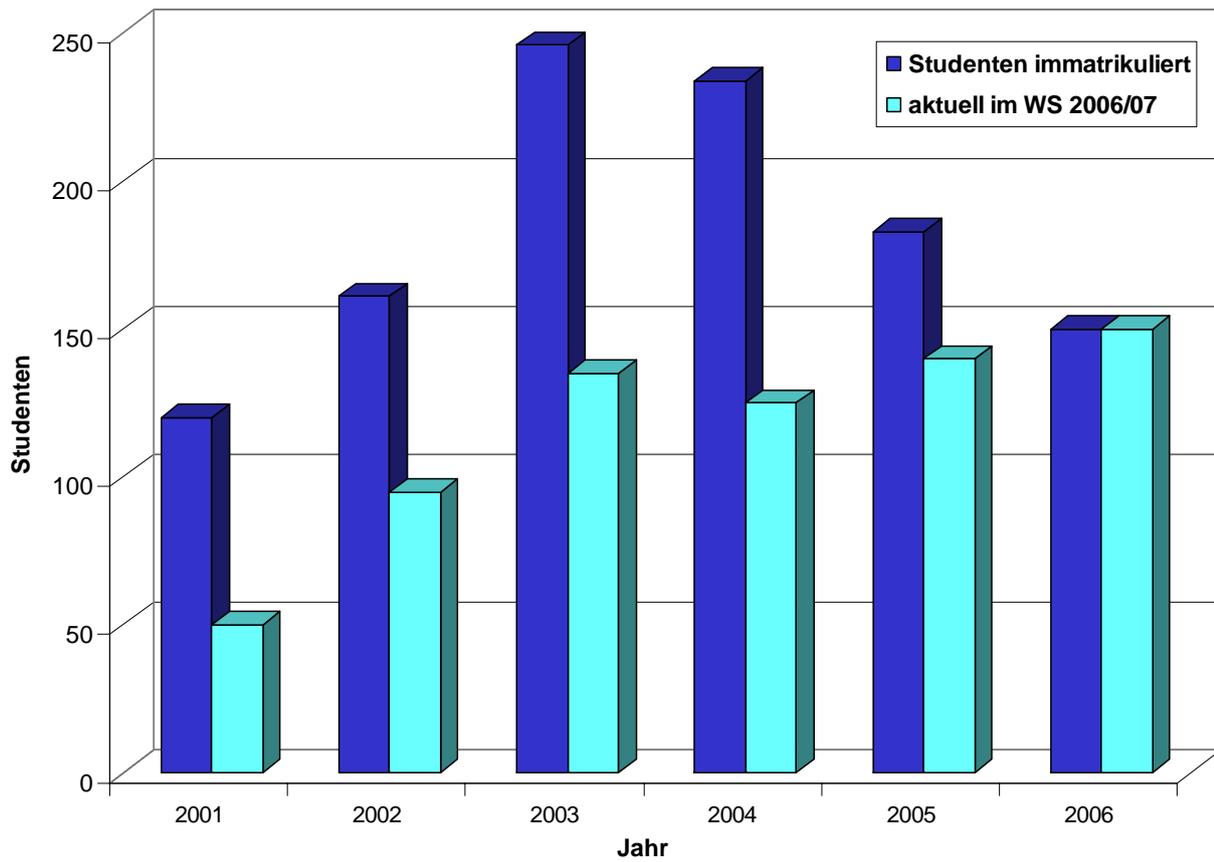
- 1994 Erarbeitung neuer Vorlesungskonzepte:
- Grundlagen der Werkzeugmaschinen
 - Baugruppen der Werkzeugmaschinen
 - Rechnerische Analyse von Werkzeugmaschinen
 - SPS-Programmierung von Fertigungseinrichtungen
- 1999 Eingliederung der Fachrichtung als Vertiefungsrichtung **Werkzeugmaschinenentwicklung** in die Studienrichtung Produktionstechnik.
- Konzipierung der Lehrveranstaltungen:
- Werkzeugmaschinenentwicklung II
 - Verhaltensanalyse von Werkzeugmaschinen
 - Simulation technischer Systeme
 - Alternative Antriebs- und Maschinenstrukturen
 - Elektrische Antriebe für Werkzeugmaschinen
- 2002 Angebot der Fach-Grundlagenlehrveranstaltungen für andere Fachrichtungen:
- Werkzeugmaschinen/Grundlagen für Holz- und Faserwerkstofftechnik (im Rahmen von Sonderstudienplänen)
 - Werkzeugmaschinen/Grundlagen für Wirtschaftsingenieure (Bestandteil des Studienplans)
- 2004 Erarbeitung der Lehrveranstaltung:
- Bewegungsgeführte Maschinensysteme (Studiengang Mechatronik - Hauptstudium, Gruppe Anwendungen)
- 2006 Modularisierung des Lehrangebotes für die Studienrichtung Produktionstechnik sowie Vereinheitlichung der Module im Studiengang Mechatronik, der Studienrichtung Produktionstechnik und der Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung.



Studienanfänger im Studiengang Maschinenbau der Fakultät Maschinenwesen (1. Semester)



Studenten der Studienrichtung Produktionstechnik (5. Semester)



*Studienanfänger im Studiengang Mechatronik
(1. Semester und aktuell im Wintersemester 2006/07 studierende
aus dem jeweiligen Immatrikulationsjahr)*

3.2 Lehrangebot

3.2.1 Übersicht

Der Lehrstuhl Werkzeugmaschinen bietet die folgenden Module und Lehrveranstaltungen im Hauptstudium der Ausbildung zum Diplomingenieur (Dipl.-Ing.) an (konsekutive Studiengänge mit dem Abschluss Bachelor und Master sind in Vorbereitung):

Werkzeugmaschinen-Grundlagen

Pflichtmodul für die Studienrichtung Produktionstechnik im Studiengang Maschinenbau sowie Wahlpflichtmodul für die Studienrichtung Holz- und Faserwerkstofftechnik und die Studiengänge Wirtschaftsingenieurwesen und Höheres Lehramt an berufsbildenden Schulen mit den Lehrveranstaltungen

- Bewegungsgeführte Maschinensysteme - Systemcharakter und Komponenten bewegungsgeführter Prozesse und Systeme
- Vorrichtungskonstruktion

Werkzeugmaschinen-Entwicklung

Wahlpflichtmodul für den Studiengang Maschinenbau sowie Pflichtmodul für die Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung mit den Lehrveranstaltungen

- Bewegungsgeführte Maschinensysteme - Funktionell relevantes Systemverhalten und Beispiele mechatronischer Anwendungen
- Baugruppengestaltung
- Elektrische Antriebe
(seit Auflösung der Dozentur Fertigungssysteme und Betriebsmittel im April 2006 wird die entsprechende Lehrveranstaltung der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik genutzt)

5. Sem.	WZM-GRUNDLAGEN (6 SWS)	
	Bewegungsgeführte Maschinensysteme/ Systemcharakter und Komponenten (2/1/0)	
	Konzeptioneller Entwurf (0/1/0)	
6. Sem.	Vorrichtungskonstruktion (1/1/0)	
8. Sem. (6. Sem.)	WZM-STEUERUNG (8 SWS)	WZM-ENTWICKLUNG (14 SWS)
	Funktions- steuerung (3/0/2)	Bewegungsgef. Maschinensyst./ Verhaltensanalyse und Anwendungen (4/1/2)
9. Sem.	Bewegungs- steuerung (2/0/1)	Baugruppengestaltung (2/1/1)
		Elektrische Antriebe (2/1/0)

Lehrangebot des IWM für die Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung

Werkzeugmaschinen-Steuerung

Wahlpflichtmodul für den Studiengang Maschinenbau sowie Pflichtmodul für die Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung mit den Lehrveranstaltungen

- Funktionssteuerung
- Bewegungssteuerung

Bewegungsgeführte Maschinensysteme

Wahlpflichtmodul für den interdisziplinären Studiengang Mechatronik mit den Lehrveranstaltungen

- Bewegungsgeführte Maschinensysteme - Systemcharakter und Komponenten bewegungsgeführter Prozesse und Systeme
- Bewegungsgeführte Maschinensysteme - Funktionell relevantes Systemverhalten und Beispiele mechatronischer Anwendungen

7. Sem.	<p style="text-align: center;"><i>Bewegungsgeführte Maschinensysteme (10 SWS)</i></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Systemcharakter und Komponenten bewegungsgeführter Prozesse und Systeme (2/1/0)</p> </div>
8. Sem.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Funktionell relevantes Systemverhalten und Beispiele mechatronischer Anwendungen (4/1/2)</p> </div>

Lehrangebot des IWM für den Studiengang Mechatronik

Werkzeugmaschinenseminar

Fakultative Lehrveranstaltung zur Vorstellung und Diskussion aktueller werkzeugmaschinenrelevanter Themen aus Lehre, Forschung und Praxis.

Nr.	Modul und ggf. Lehrveranstaltungen	Semesterwochenstunden (V / Ü / P)					
		Σ	5. Sem.	6. Sem.	7. S.	8. Sem.	9. Sem.
Pflichtmodule							
1	Grundlagen der Mess- und Automatisierungstechnik	6	201 P, Pr	201 P, Pr (F)	F A C H P R A K T I K U M		
2	Arbeitswissenschaften/Betriebswirtschaftslehre - Arbeitswissenschaft/Technische Betriebsführung - Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre	5	200 P	(F) 210 P			
3	Werkzeugmaschinenentwicklung/Grundlagen - Grundlagen der Werkzeugmaschine/ Systemcharakter und Komponenten bewegungs- geführter Prozesse und Systeme - Vorrichtungskonstruktion	6	310 B, P	(F) 110 B			
4	Fertigungstechnik II - Zerspan- u. Abtragtechnik - Umformtechnik - Oberflächen- und Schichttechnik	6	F 110 110 110				
5	Produktionssysteme - Automatisierung u. Messtechn. - Produktionsautomatisierung - Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung	5	100	(F) 110 B, P 002 P, Pr			
6	Maschinendynamik und Mechanismentechnik - Maschinendynamik - Mechanismentechnik	6	210 P	(F) 210 P			
7	Produktionstechnisches Praktikum	2		002 L			
Summe Pflichtmoduler		36	19	17			
Wahlpflichtmodule							
8	Werkzeugmaschinenentwicklung - Bewegungsgeführte Maschinensysteme/ Verhaltensanalyse und Anwendungen - Baugruppengestaltung - Elektrische Antriebe	14				412 P, Pr (F) 211 P 210 P	
9	Werkzeugmaschinensteuerung - Funktionssteuerung - Bewegungssteuerung	8				302 P, Pr (F) 201 P, Pr	
10	Technisches Wahlpflichtmodul	4				4 F	
11	Nichttechnisches Wahlpflichtmodul	4				4 F	
Summe Wahlpflichtmodule		30				20 10	
Studienarbeiten u. sonst.							
Interdisziplinäre Projektarbeit (max. Laufzeit 6 Mon.)		300 h			PA		
Großer Beleg (max. Laufzeit 6 Mon.)		500 h				PA	
Exkursionen		Teilnahme insgesamt mindestens 2 Tage					
Diplomarbeit (max. Laufzeit 4 Mon.)		im 10. Semester					

*Hauptstudienplan Studienrichtung Produktionstechnik,
Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung
(ab Immatrikulationsjahrgang 2003)*

3.2.2 Modul Werkzeugmaschinen-Grundlagen

3.2.2.1 Bewegungsgeführte Maschinensysteme - Systemcharakter und Komponenten bewegungsgeführter Prozesse und Systeme

Umfang

3 SWS (2/1/0)

Hörende

Studenten des 5. Semesters Studiengang Maschinenbau, Studienrichtung Produktionstechnik, Studienrichtung Holz- und Faserwerkstofftechnik und ohne den Beleg die Studiengänge Wirtschaftsingenieurwesen, Höheres Lehramt an berufsbildenden Schulen und Mechatronik (7. Semester)

Lehrender

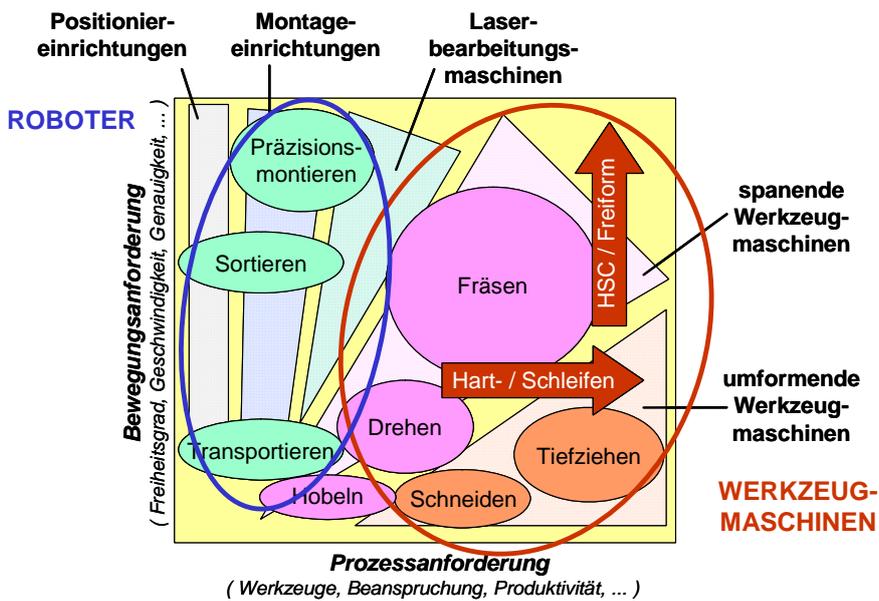
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

Inhalt

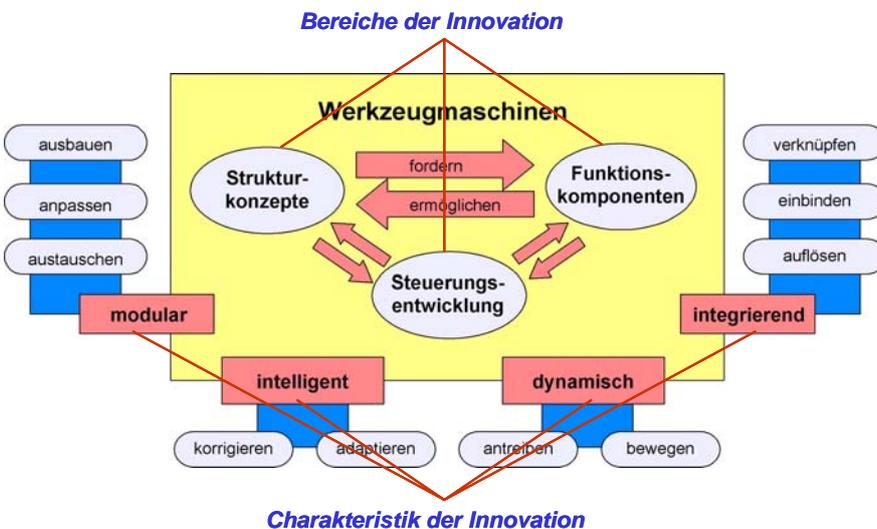
Mechatronischer Systemcharakter bewegungsgeführter Prozesse und Maschinen

- Abgrenzung zwischen Handhabung und Bearbeitung
- Bearbeitungsprozesse und -maschinen
 - Einteilung, Definition u. Aufgaben der Werkzeugmaschinen
 - Beispiele aus der Blechumformung
 - Beispiele aus der Zerspanung
- Handhabungsprozesse und -einrichtungen
 - Definition, Aufgaben und Abläufe der Handhabung
 - Werkzeug- und Werkstück-Handhabung an spanenden Werkzeugmaschinen
 - Identifikation und Referenzierung von Körper-Koordinatensystemen
 - Erarbeitung von Handhabungslösungen am Beispiel automatischer Bearbeitung von flächigen und kleinen Holzformteilen auf dem Hexapod

- Innovationspotenziale und mechatronischer Systemcharakter
 - Innovation bei der spanenden Bearbeitung
 - Ein Beispiel: Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung (HSC)
 - Wirtschaftlichkeit und Innovation
 - Der Produktprozess
 - Die virtuelle Werkzeugmaschine
 - Innovation an Werkzeugmaschinen
- Praktische Maschinenkunde



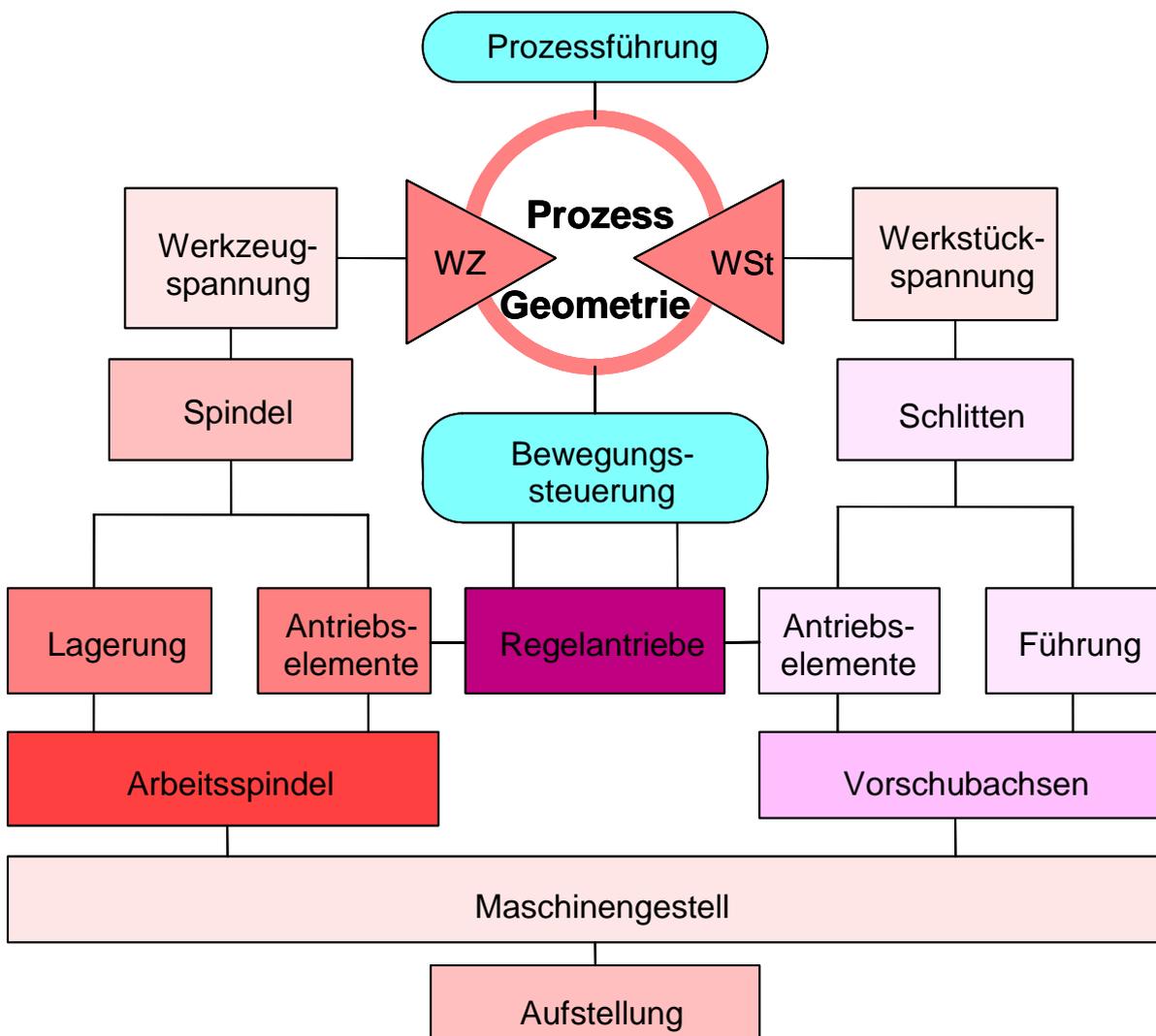
Prozess- und Bewegungsanforderungen für bewegungsgeführte Maschinensysteme



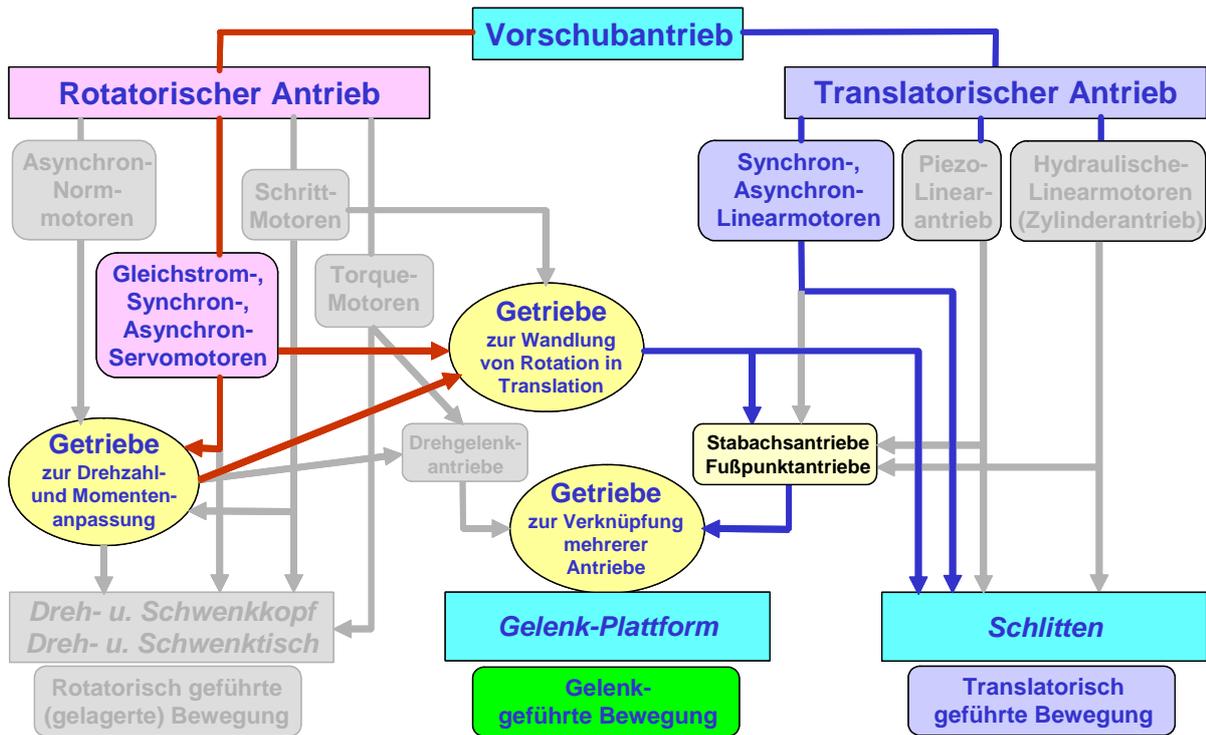
Innovation an Werkzeugmaschinen als Gestaltungsraum

Typische Teilfunktionen, Komponenten und Anforderungen

- Antriebssysteme
 - Hauptantrieb und Hauptspindel
 - Vorschubantriebe und geführte Baugruppen
- Steuerungssysteme
 - Funktions- und Ablaufsteuerung (SPS)
 - Bewegungssteuerung (CNC)
- Kinematik- und Gestellsysteme
 - Kinematik-Konzepte und Gestellstrukturen
 - Steifigkeitsorientierte Gestaltung



Systemstruktur und Komponenten der spanenden Werkzeugmaschine



Vorschubantriebe zur Bewegung geführter Baugruppen

3.2.2.2 Konzeptioneller Entwurf einer Werkzeugmaschine

Umfang

1 SWS (1/0/0)

Hörende

Studenten des 5. Semesters Studiengang Maschinenbau, Studienrichtung Produktionstechnik und Studienrichtung Holz- und Faserwerkstofftechnik

Lehrender

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

Dipl.-Ing. V. Möbius

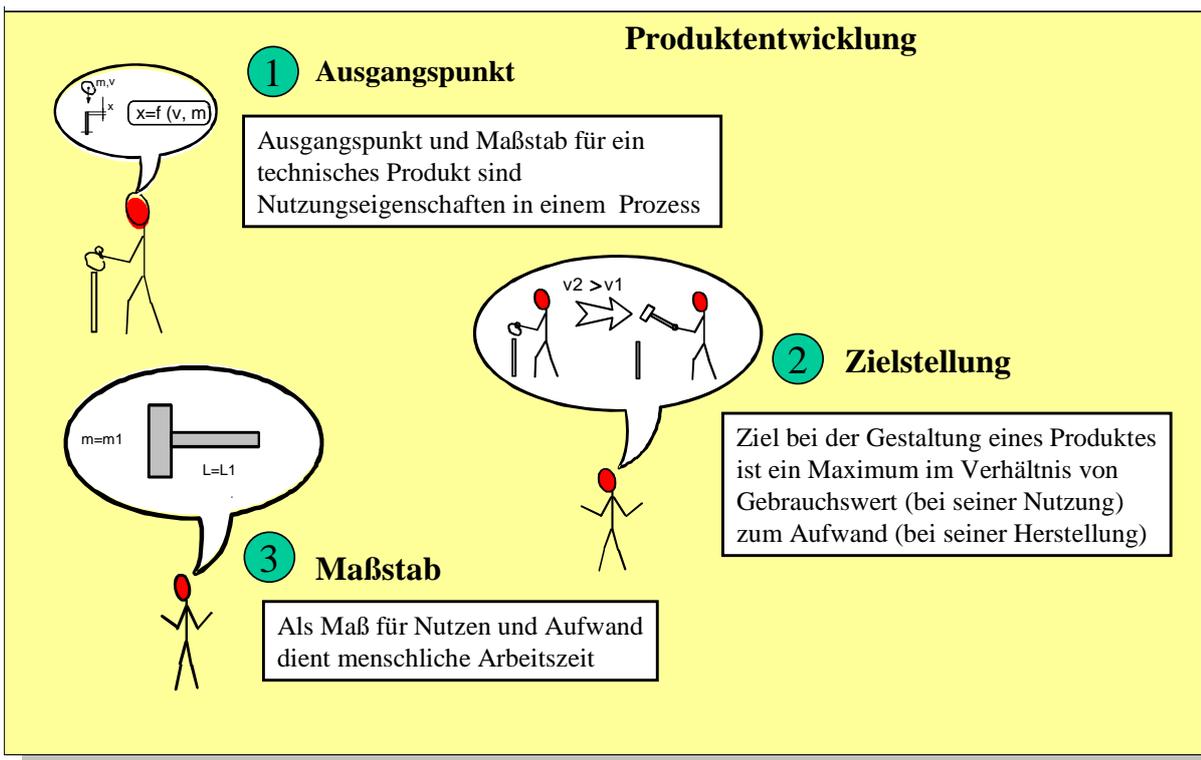
Inhalt

Mit Vorlesungsinhalt und anzufertigendem Beleg soll bei den Studenten erstes Verständnis für prinzipielles entwicklungs-methodisches Vorgehen bei der Produktentwicklung und für die dabei geltenden Bewertungsmaßstäbe erreicht werden. Das stützt sich auf Erfahrungen zu Defiziten bei Absolventen in der Fähigkeit, bei komplexen Konstruktionsaufgaben neben technischen Parametern auch angemessen und vergleichbar souverän mit wirtschaftlichen Kriterien umzugehen.

1. In der **Vorbereitung zum Beleg** wird herausgearbeitet, dass
 - das Ergebnis aller Technik an einem wirtschaftlichen Maßstab zu messen ist,
 - die Abschätzung der Wirkung einer technischen Entscheidung auf das wirtschaftliche Gesamtergebnis damit das einzig tragfähige Entscheidungskriterium darstellt,
 - entwicklungsbegleitende Kostenkalkulation für den Ingenieur genauso selbstverständlich sein muss wie der quantifizierte Nachweis der technischen Gestaltung.
2. Hinsichtlich der **methodischen Schritte** soll
 - der Schwerpunkt auf die Systemgestaltung in der Konzeptphase gelegt und die dort erfolgende "80 % -

Gesamtentscheidung" einer Entwicklung demonstriert werden,

- der Blick für die Bedeutung der Anwendungsprozesse durch die Definition einer Produktentwicklung als "schrittweise Informationspräzisierung zu einem System" geschärft werden,
- die gedankliche Beweglichkeit zur Innovationsfähigkeit gefördert werden.



Das Produkt als Gegenstand menschlicher Tätigkeit

3. Als **hervorgehobene Etappen** bei der Produktentwicklung und diesen Etappen zugeordnete Entscheidungsmeilensteine werden formuliert:

1. Die marktstrategische Zielstellung
2. Die technisch-wirtschaftliche Konzeption
3. Konstruktion mit technischer und wirtschaftlicher Dokumentation
4. Bau des Prototyps
5. Experimentelle Überprüfung des technischen Ergebnisses und Nachkalkulation

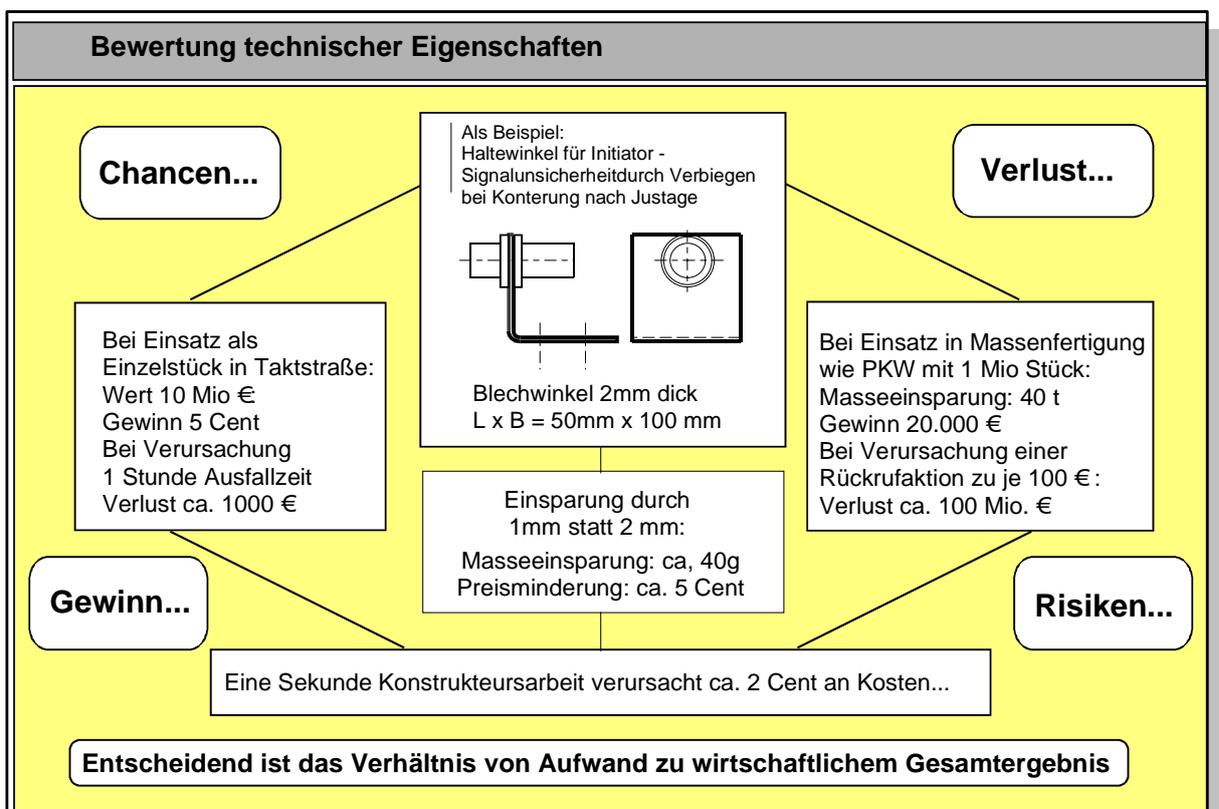
6. Überarbeitung zur Produktionsfreigabe

Dabei wird besonders die Bedeutung des Faktors Zeit herausgearbeitet.

Die Belegaufgabe beinhaltet unter einer angenommenen Ausgangssituation eines Unternehmens erste wichtige Schritte zur Innovation einer Fräsmaschine. Dazu erfolgt die Ausarbeitung von Dokumenten als Teilbeleg zur

- marktstrategischen Zielstellung,
- technisch-wirtschaftlichen Konzeption,
- Konkretisierung der Konzeption für eine Hauptbaugruppe.

Die Ergebnisse der Teilbelege werden jeweils von einigen Studenten in einem Rollenspiel als "Entwicklungsleiter des Unternehmens" vor den anderen Teilnehmern als "Vertreter der Geschäftsleitung" vorgetragen und sind in der Diskussion zu verteidigen.



Aufwand und Ergebnis

3.2.2.3 Vorrichtungskonstruktion

Umfang

2 SWS (1/1/0)

Hörende

Studenten des 5. Semesters Studiengang Maschinenbau,
Studienrichtung Produktionstechnik

Lehrender

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann
Dipl.-Ing. G. Brzezinski

Inhalt

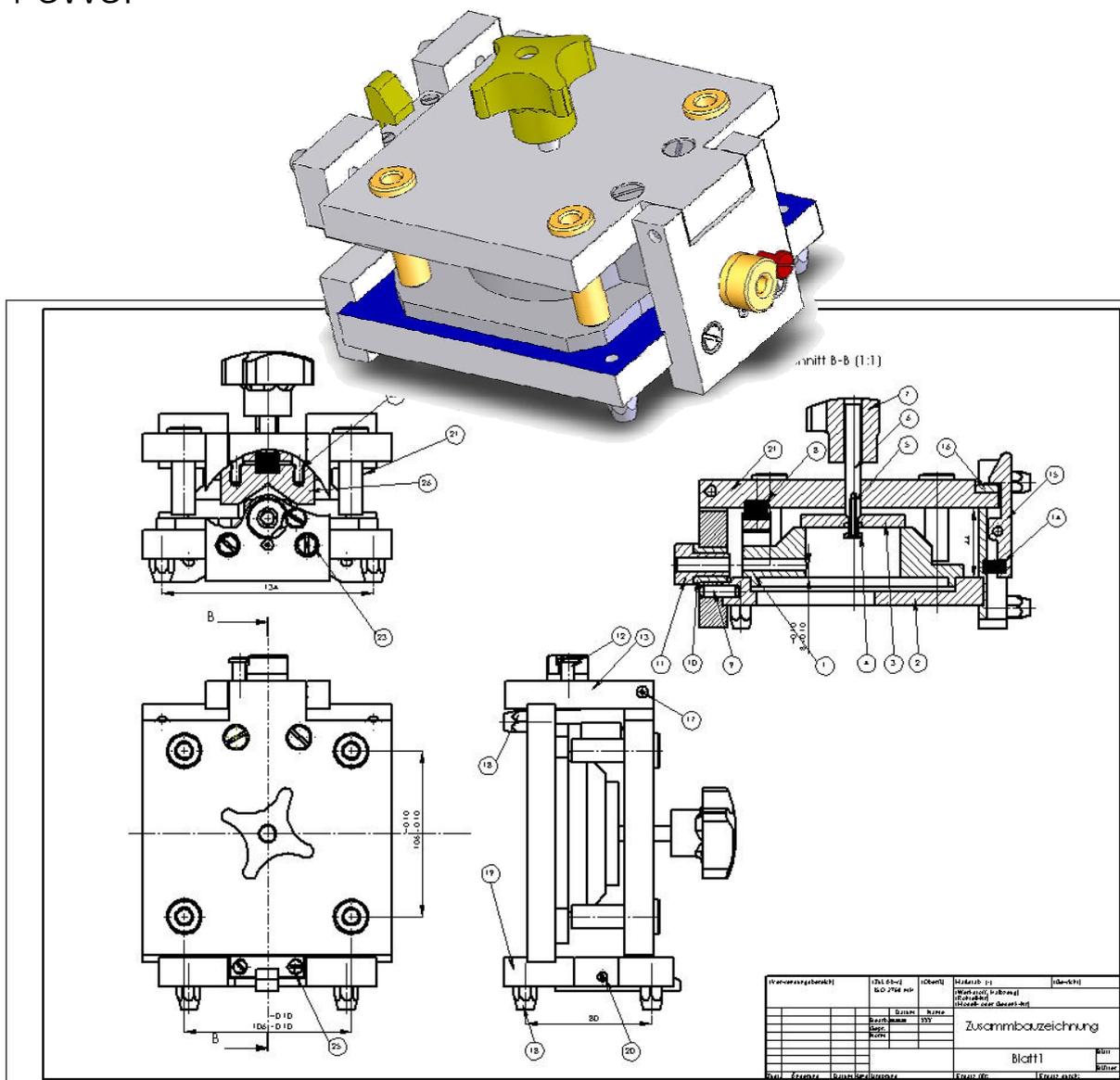
- Das System Werkzeugmaschine-Vorrichtung
 - Definition und Aufgabe der Werkzeugmaschine
 - Einordnung der Vorrichtung
 - Definition der Vorrichtung
 - Ausführungsbeispiele von Vorrichtungen
- Lagebestimmung des Werkstücks
 - Richtlinien
 - Bezugsebenen
 - Bestimmelemente
 - Toleranzbetrachtungen
 - Allgmeintoleranzen
- Spannen des Werkstücks
 - Spannprinzipie
 - Ermittlung der Bearbeitungskräfte
 - Bestimmung von Betrag und Richtung der Spannkraft
 - Spannelemente
 - Mechanische Spannelemente
 - Keilförmige Spannelemente
 - Spannkeil
 - Spannschraube
 - Spannspirale
 - Spannexzenter
 - Spannzange

- Spannhebelsysteme
 - Schubschwinge
 - Kurbelschwinge
- Mechanische Kraftübertragungselemente
 - Spanneisen
 - Winkelhebel
 - Niederzugspanner
 - Ausgleichspanner
- Spannen mit Druckmedien
 - Hydraulik
 - Grundlagen der Hydraulik
 - Handbetätigte Spannhydraulik-Systeme
 - Druckluftbetätigte Spannhydraulik-Systeme
 - Spannhydraulik syst. m. Motor u. Radialkolbenpumpe
 - Anwendungsbeispiele
 - Spannpneumatik / Anwendungsbeispiele
 - Spannen mit plastischen Medien / Anwendungsbeispiele
 - Magnetische Spannmittel / Anwendungsbeispiele
- Werkzeugführungen
 - Zweck
 - Direkte Werkzeugführungen
 - Bohrbuchsen / Anwendungsbeispiele
 - Räumnadelführungen
 - Indirekte Werkzeugführungen / Werkzeugeinstellelemente
- Vorrichtungskörper
 - Gegossene Ausführung
 - Geschweißte Ausführung
 - Verschraubt/verstiftete Ausführung
- Teileinrichtungen
 - Längsteilen
 - Kreisteilen
 - Index- und Feststellelemente
- Vorrichtungsverschlüsse
- Aufnahme der Vorrichtung auf der Werkzeugmaschine
 - Konventionelle Aufnahme / Anwendungsbeispiele
 - Aufnahmen für die automatisierte Fertigung

Palettensysteme Nullpunktspannsysteme (Zero-Point-Systems)

- Systemvorrichtungen
 - Einsatzkriterien
 - Grundsysteme
 - Lochsystem
 - Nutsystem
 - Kombisystem

Bestandteil der Lehrveranstaltung ist die Anfertigung eines konstruktiven Beleges "Vorrichtungskonstruktion" im Umfang von 1 SWS.



Ausschnitt aus einem Beleg Vorrichtungskonstruktion

3.2.3 Modul Werkzeugmaschinen-Entwicklung

3.2.3.1 Bewegungsgeführte Maschinensysteme - Funktionell relevantes Systemverhalten und Beispiele mechatronischer Anwendungen

Umfang

7 SWS (4/1/2)

Hörende

Studenten des 8. Semesters Studiengang Maschinenbau, Studienrichtung Produktionstechnik, Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung sowie Studenten des 8. Semesters im Studiengang Mechatronik als Wahlpflichtfach aus der Gruppe "Anwendungen"

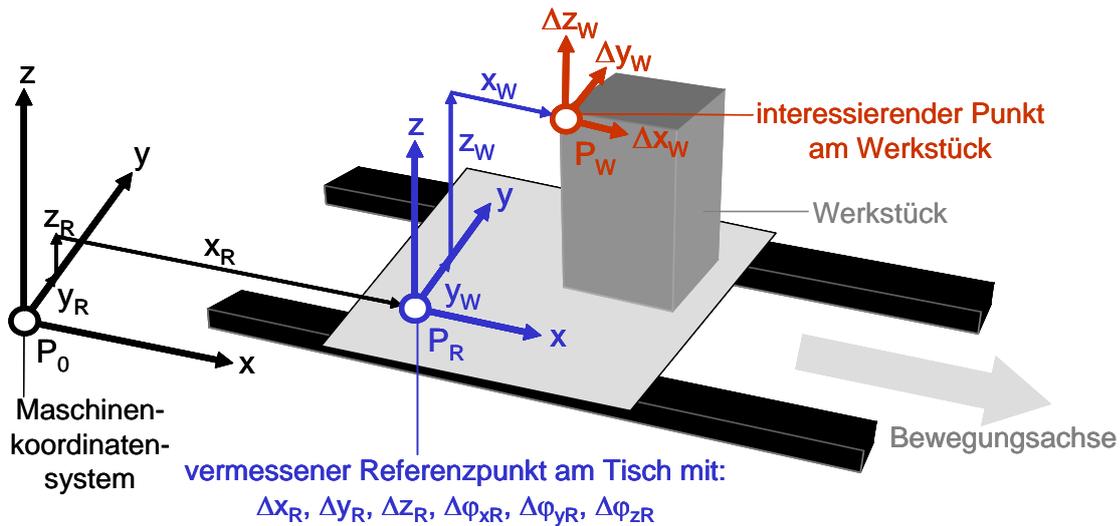
Lehrender

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann
u. a.

Inhalt

Funktionell relevante Verhaltenseinflüsse und -beschreibung (Vorlesung und Übung)

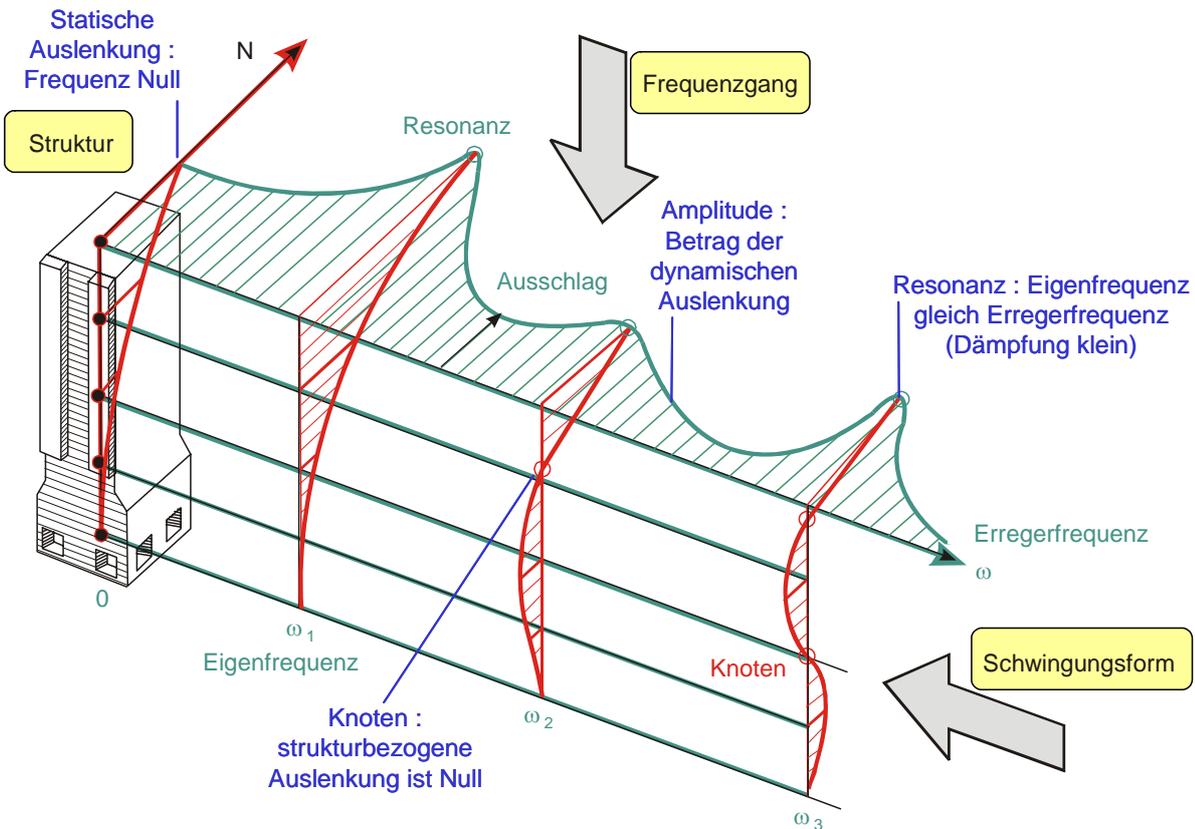
- Verhaltensbereiche und ihre funktionellen Einflüsse
- Geometrisch-kinematisches Verhalten
 - Prüfung im Rahmen der Maschinenabnahme
 - Genauigkeit im Bewegungsraum
- Linear-elastisches Verformungsverhalten
 - Grundlagen der linearen Strukturanalyse
 - Statisch und quasi-statisch bedingte Verformungen
 - Thermisch bedingte Verformungen
 - Dynamisch bedingte Verformungen im Frequenzbereich
- Nichtlineares Verhalten im Zeitbereich
 - Grundlagen der digitalen Simulation des Zeitverhaltens
 - Mechatronische Systemsimulation
 - Simulation instationärer thermischer Vorgänge



$$\{\Delta x(x_R)\}_W = \{\Delta x(x_R)\}_R + [\Delta\Phi(x_R)]_R * \{X\}_W$$

$$\{\Delta x\}_W = \begin{Bmatrix} \Delta x_W \\ \Delta y_W \\ \Delta z_W \end{Bmatrix} \quad \{\Delta x\}_R = \begin{Bmatrix} \Delta x_R \\ \Delta y_R \\ \Delta z_R \end{Bmatrix} \quad \{X\}_W = \begin{Bmatrix} x_W \\ y_W \\ z_W \end{Bmatrix} \quad [\Delta\Phi]_R = \begin{pmatrix} 0 & -\Delta\phi_{zR} & \Delta\phi_{yR} \\ \Delta\phi_{zR} & 0 & -\Delta\phi_{xR} \\ -\Delta\phi_{yR} & \Delta\phi_{xR} & 0 \end{pmatrix}$$

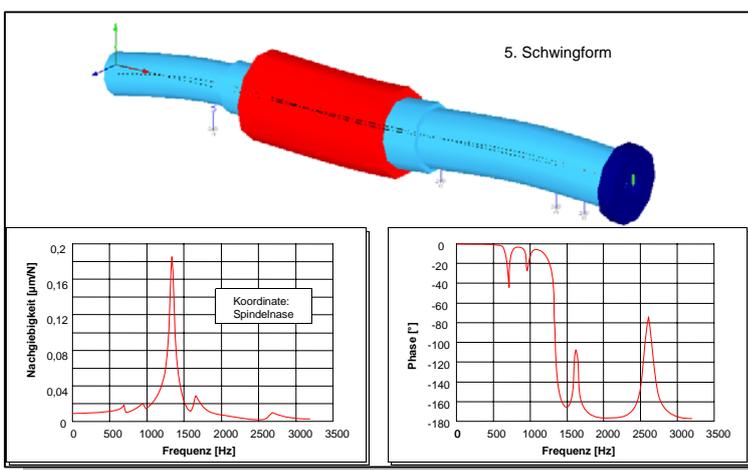
Räumliche Fehlerwirkungen bei Bewegung einer Achse



Veranschaulichung von Struktur, Schwingungsform und Frequenzgang

Beispiele mechatronischer Anwendungen (Praktikum)

- Lage geregelter elektro-mechanischer Vorschubantrieb
 - Grundlagen Modellstruktur und Parametrierung
 - Simulationsmodell, virtuelle Inbetriebnahme
 - Grundlagen zur experimentellen Prüfung an Vorschubachsen
 - Positionierverhalten, praktische Achstests
- Piezoelektrische Stellantriebe
 - Grundlagen Piezo-Stapelaktoren und Modellierung
 - Beispiel: Piezoelektrischer Werkstücktisch zur Neigungs korrektur
 - Beispiel: Piezoelektrische Mikro-Achse zur Werkzeug-Verstellung
- Aktiv magnetisch gelagerte Werkzeugmaschinen-Hauptspindel
 - Spindelaufbau, Funktionsweise, Spindelmodellierung
 - Strukturanalyse Spindel, Statik und Dynamik
 - Grundlagen Regleraufbau und -modellierung
 - Modellgestützte Ansteuerung und Regelung
- Parallelkinematisches Bewegungssystem "Hexapod"
 - Gestaltungsgrundlagen, Aufbau, Arbeitsweise
 - Bewegungssteuerung, Transformation, Fehlereinflüsse
 - Achsinbetriebnahme und -kalibrierung
 - Grundlagen modellgestützte Fehlerkorrekturen
 - Bedienung, Kreistest mit und ohne Korrektur
 - Grundlagen kinematische Kalibrierung
 - Kalibrierung mit Double Ball Bar (DBB)



Dynamikanalyse an einer Motorspindel (Praktikum)

3.2.3.2 Baugruppengestaltung

Umfang

4 SWS (2/1/1)

Hörende

Studenten des 9. Semesters Studiengang Maschinenbau, Studienrichtung Produktionstechnik, Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung

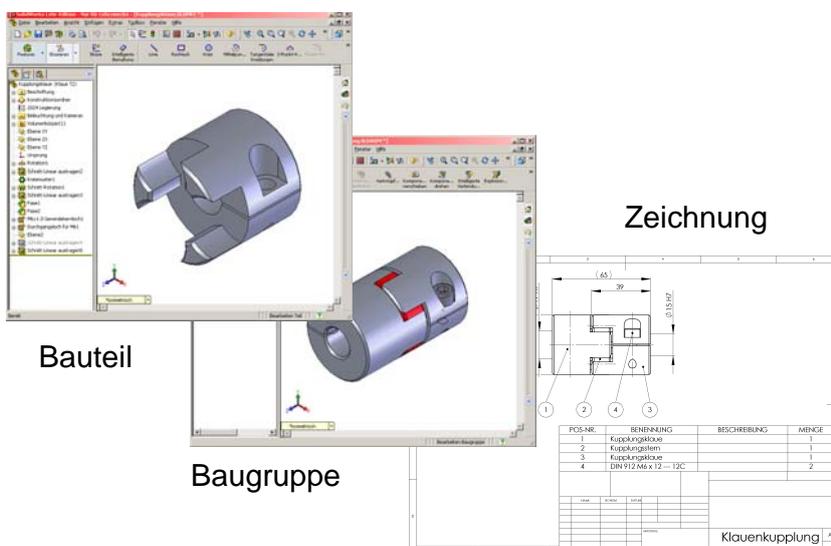
Lehrender

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann
u. a.

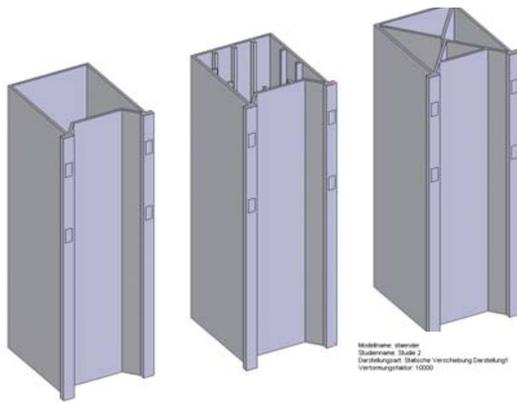
Inhalt

Anwendung von CAD zur Baugruppengestaltung

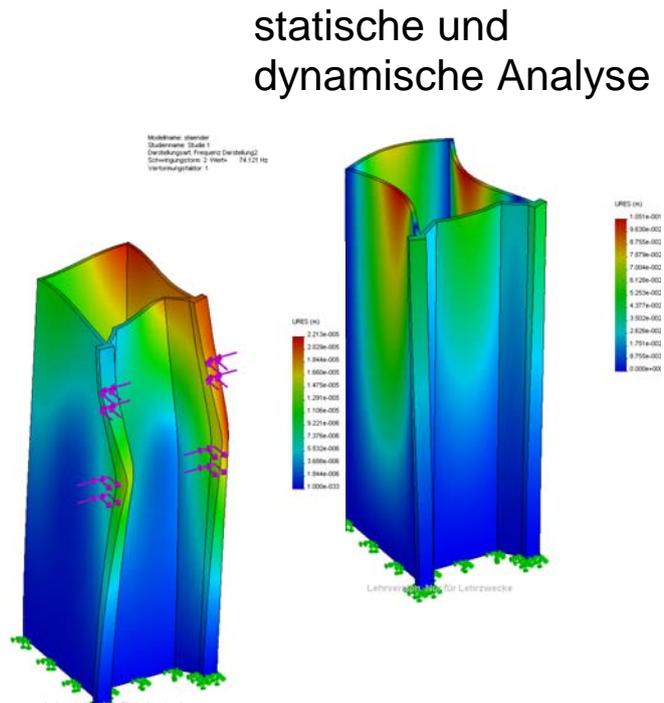
- Stand und Tendenzen der Anwendung von CAD in der Werkzeugmaschinen-Entwicklung
- Parametrische 3D-CAD-Beschreibung
- Einzelteile und Parametrierung, Kenngrößenermittlung
- Baugruppen, Strukturierung, Stücklisten
- Zusammenstellung, Darstellungsweisen, Varianten
- Kopplung von CAD und FEM



Modellierungsgrundlagen



Ableitung des Berechnungsmodells



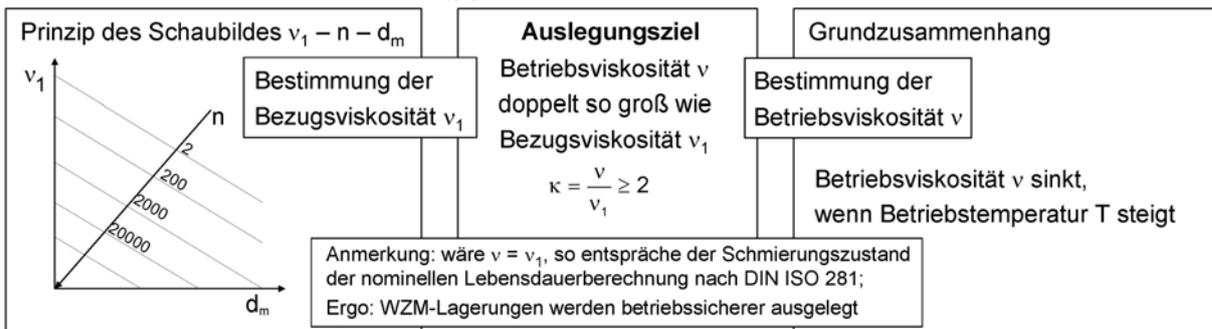
Modellvarianten und -analyse

Lagerungen und Hauptspindeln

- Gestaltung der Wälzlagerung von Hauptspindeln
- Integration von Hauptspindel und Antrieb
- Schmierung von wälzgelagerten Hauptspindeln
- Integration von Spannsystemen in die Spindel
- Alternative Hauptspindel-Lagerungen

Zusammenfassung der EHD-Theorie in Schaubildern:

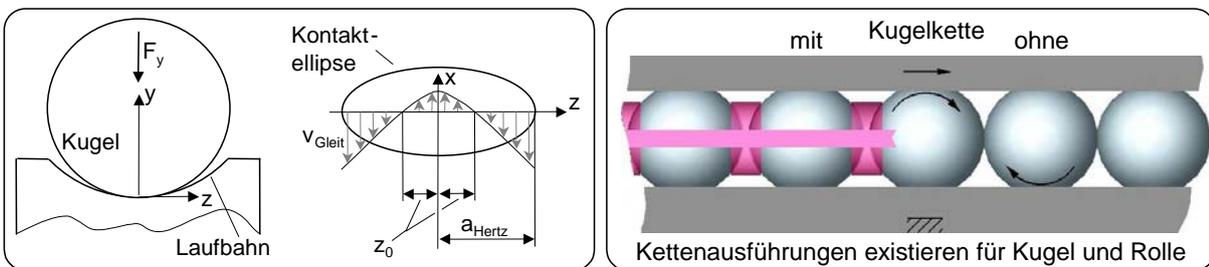
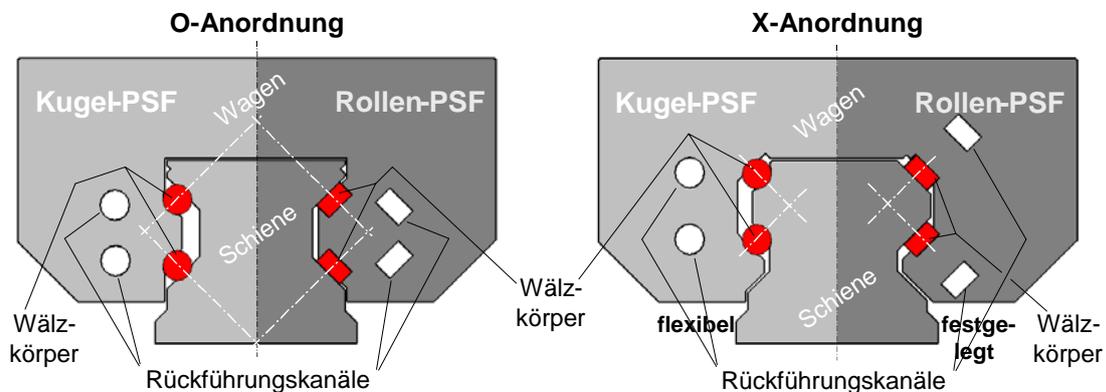
- Angabe einer kin. Bezugsviskosität v_1 als Funktion des mittl. Lagerdurchmessers d_m und der Drehzahl n
- Angabe der kin. Betriebsviskosität v als Funktion der Temperatur und der vom Schmierstoffhersteller angegebenen kin. Grundölviskosität $v_{40^\circ C}$ bei $40^\circ C$



Wahl von Schmierstoffen für wälzgelagerte Spindeln

Führungen und Vorschubachsen

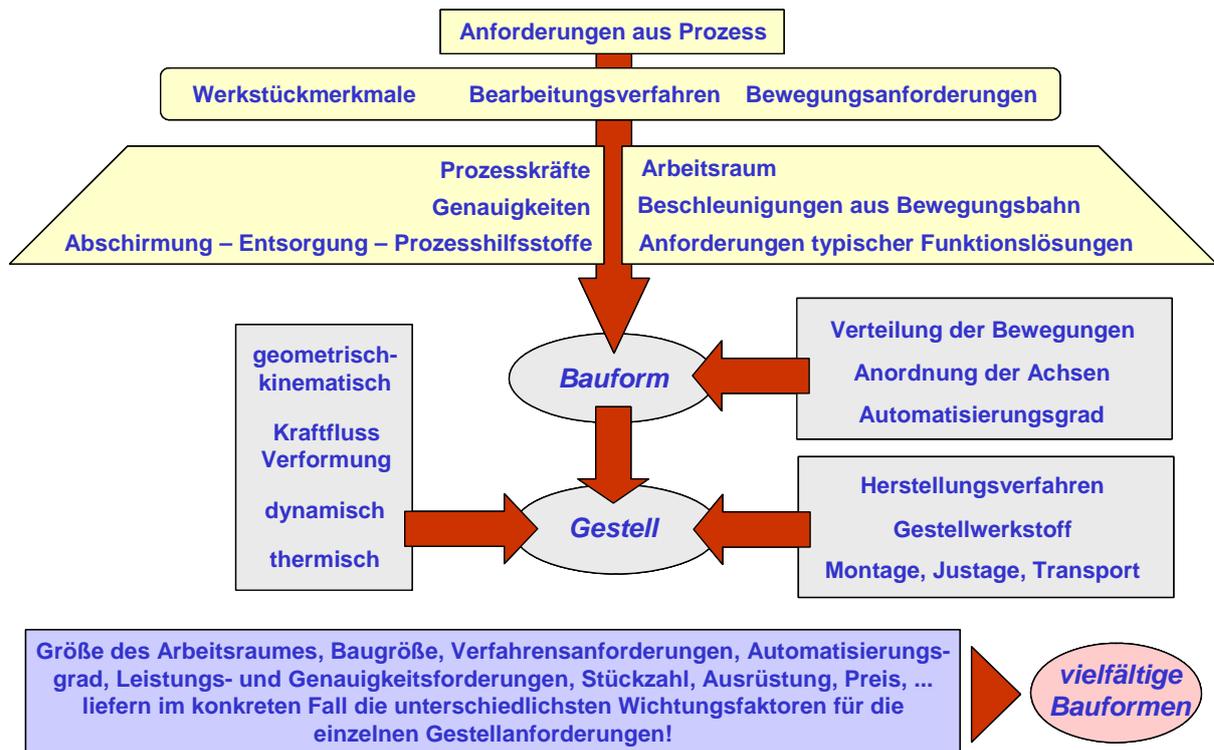
- Antriebsvarianten, Gewindetribe und deren Lagerungen
- Aufbau, Arten und Einsatz von Profilschienen-Führungen
- Montage und Betriebsbedingungen von Profilschienen-Führungen
- Experimentelle und modellgestützte Analyse von Profilschienen-Führungen
- Linear-Messsysteme, Dichtungs- und Abdeck-Systeme
- Eigenschaften u. Anwendungsbereiche alternativer Führungen



Profilschienen-Führungen (PSF) für Vorschubachsen

Strukturen und Baugruppen von Gestellen

- Gestaltungsprinzipien für den Strukturaufbau und Gestellkonzepte
- Charakteristik der Baugruppen der Bewegungsbasis (Betten, Ständer, ...)
- Charakteristik d. bewegten Baugruppen (Schlitten, Schieber, ...)
- Verschraubte Verbindungsstellen



Ablauf und Gesichtspunkte zur Gestellgestaltung

3.2.4 Modul Werkzeugmaschinen-Steuerung

3.2.4.1 Funktionssteuerung

Umfang

5 SWS (3/0/2)

Hörende

Studenten des 8. Semesters Studiengang Maschinenbau, Studienrichtung Produktionstechnik, Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung

Lehrender

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann
Dr.-Ing. B. Kauschinger
Dipl.-Ing. (FH) H. Kretzschmar

Inhalt (Vorlesung)

- Einführung
 - Entwicklungsgeschichte der Funktionssteuerung
 - Einteilung, Steuerungsarten
- Grundlagen
 - Abbild und Realität, Modelle als Basis zur Steuerung
 - Funktionelle Gliederung der Anlage
 - Grundsaltungen binärer Steuerungen
- Beschreibungsmittel
 - Programmiersprachen
 - Zustandsgraphen, Petrinetze
 - IEC 61131
- SPS
 - Aufbau und Arbeitsweise
 - Ausführungsformen (Software, Hardware)
 - Programmiersprachen
 - Programmierung, Inbetriebnahmen, Programmtest

- Felddbusse
 - Kommunikation (OSI-Referenzmodell,
 - Busanbindung, Topologien
 - Buszugriffsmechanismen
 - Bussysteme
(AS-interface, Interbus, CAN, ProfiBus, SERCOS)
- Sicherheit
 - Begriffe, Normen
 - Risikobeurteilung
 - Sicherheitskonzepte, Schutzarten
- Alternative Steuerungsansätze (CFS)

Programm-Organisations-Einheiten (POE):

- Funktionen
 - liefern für gleiche Eingangsgrößen immer gleiche Ergebnisse
 - instanzlos
- Funktionsbausteine
 - liefern für gleiche Eingangsgrößen **nicht** immer gleiche Ergebnisse, d.h. sie können speichernde Eigenschaften haben (Vorgeschichte)
 - Instantiierung nur innerhalb von Programmen oder anderen Funktionsbausteinen
- Programme
 - kapseln Funktionen und Funktionsbausteine
 - Instantiierung nur innerhalb von Ressourcen

Darstellung:

- Kopfbereich
 - Deklaration von Typen und Variablen
 - Definition von Ein- und Ausgangsgrößen
- Rumpf
 - Implementation in einer der 5 Sprachen

(* a) Textuelle Deklaration in ST-Sprache (siehe 3.3) *)

```

FUNCTION_BLOCK DEBOUNCE
(** External Interface ***)
VAR_INPUT
  IN      : BOOL ;           (* Voreinstellung = 0 *)
  DB_TIME : TIME := t#10ms ; (* Voreinstellung = t#10ms *)
END_VAR
VAR_OUTPUT OUT : BOOL ;     (* Voreinstellung = 0 *)
          ET_OFF : TIME ;    (* Voreinstellung = t#0s *)
END_VAR
VAR DB_ON  : TON ;          (* Interne Variablen *)
  DB_OFF  : TON ;          (* und FB-Instanzen *)
  DB_FF   : SR ;
END_VAR
(** Funktionsbaustein-Rumpf **)
DE_ON(IN:=IN, PT:=DB_TIME) ;
DE_OFF(IN:=NOT IN, PT:=DB_TIME) ;
DE_FF(S1:=DB_ON.Q, R:=DB_OFF.Q) ;
OUT := DB_FF.Q ;
ET_OFF := DB_OFF.ET ;
END_FUNCTION_BLOCK
    
```

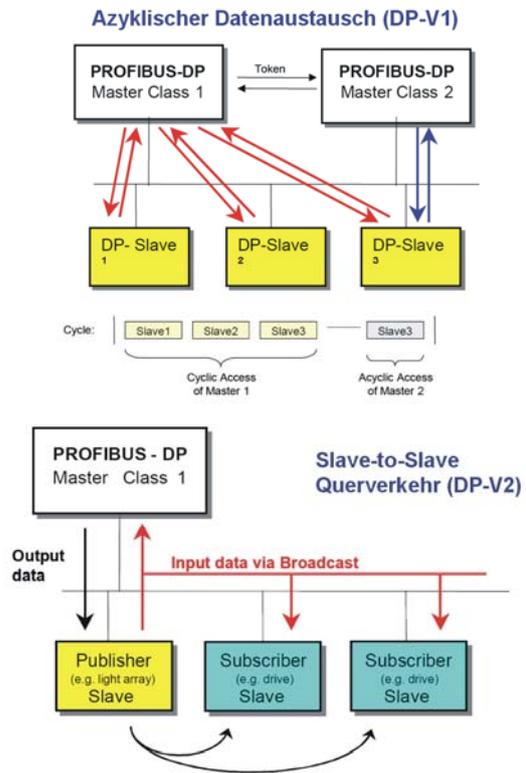
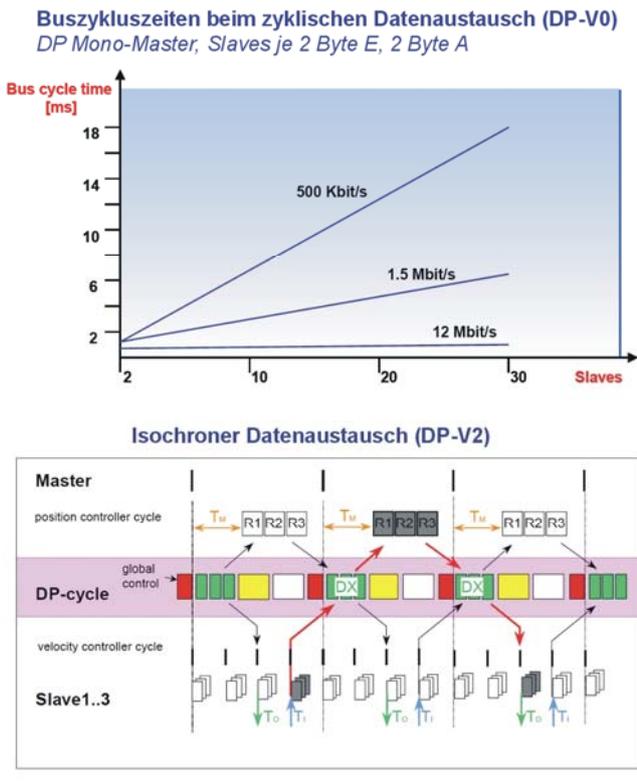
(* b) Grafische Deklaration in FBD-Sprache (siehe 4.3) *)

(* Funktionsbaustein-Rumpf *)

```

          DE_ON  DE_FF
          +-----+ +-----+
          | TON | | SR |
          | IN Q | | S1 Q |
          | PT ET | | R |
          +-----+ +-----+
IN-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
          | DE_ON | | DE_FF |
          | TON | | TON |
          | IN Q | | IN Q |
          | PT ET | | PT ET |
          +-----+ +-----+
DB_TIME---+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
          | DE_OFF |
          | TON |
          | IN Q |
          | PT ET |
          +-----+
          ET_OFF
END_FUNCTION_BLOCK
    
```

Programmierung: IEC 61131 - Programmorganisationseinheiten

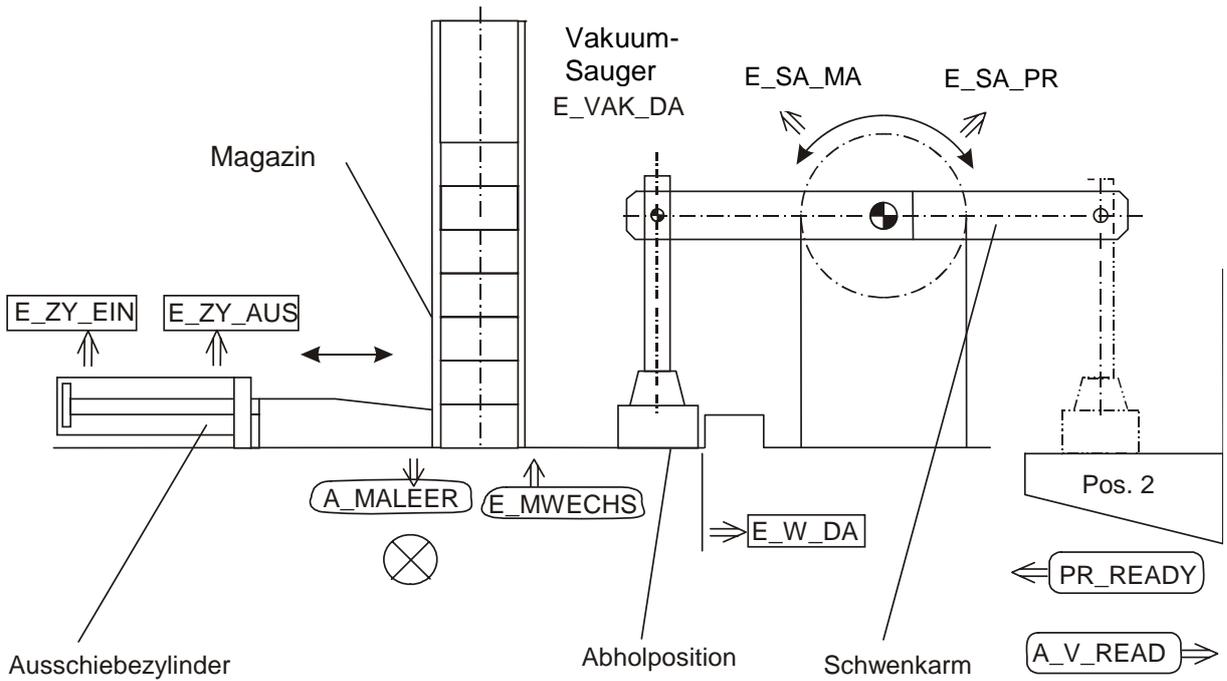


Feldbusse: ProfiBus DP - Leistungsstufen

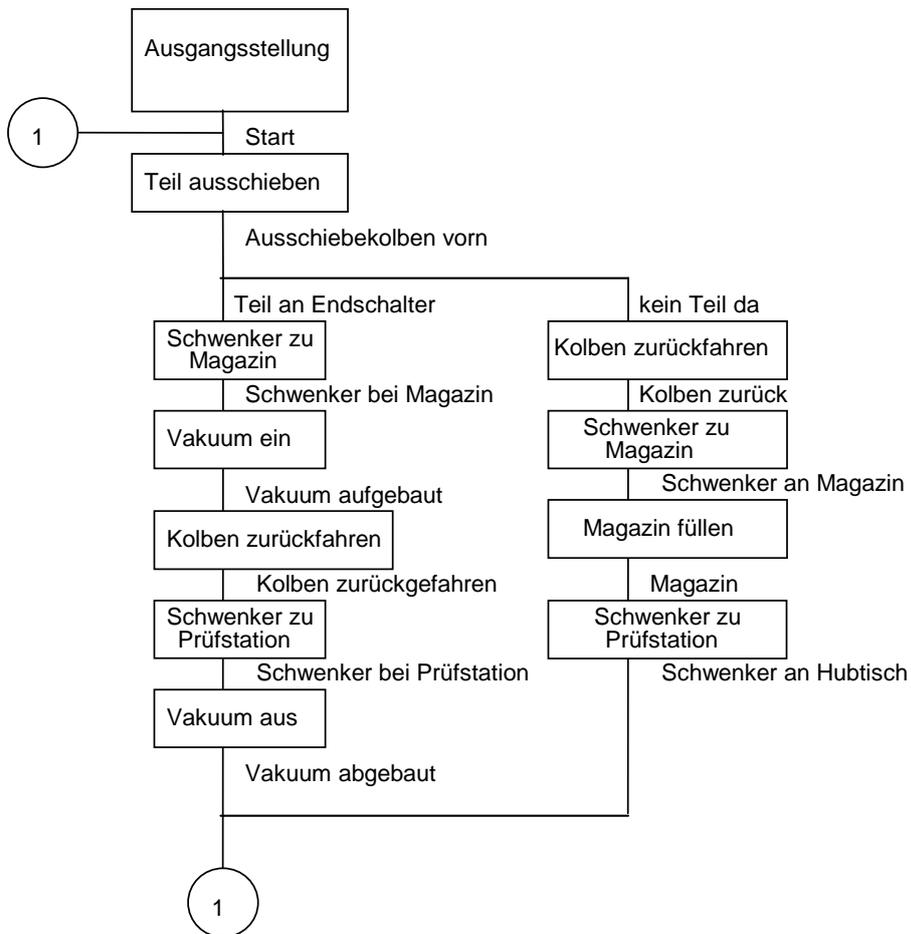
Inhalt (Praktikum)

Die Lehrveranstaltung umfasst ein Praktikum im Umfang von 2 SWS, in dessen Rahmen die Studenten die SPS eines Fertigungssystems, bestehend aus den Stationen Vereinzeln, Prüfen, Bearbeiten_1, Bearbeiten_2, Rundtisch und Lager, programmieren und an einem Modell des Systems testen (s. a. Punkt 2.2.4.13).

- Programmentwicklung für einen vorgegebenen Fertigungsablauf mit den Betriebsarten
 - Automatikbetrieb
 - Schrittbetrieb
 - Tippbetrieb
- Programmierung der Funktion jeder Arbeitsstation in Form einer Anweisungsliste (AWL)
- Synchronisation über den Master-Teil der SPS



SPS-gesteuertes Modell-Fertigungssystem - Station "Vereinzeln"



Prozessanalyse für die Station "Vereinzeln"

3.2.4.2 Bewegungssteuerung

Umfang

5 SWS (2/0/1)

Hörende

Studenten des 8. Semesters Studiengang Maschinenbau, Studienrichtung Produktionstechnik, Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung

Lehrender

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann
Dr.-Ing. B. Kauschinger

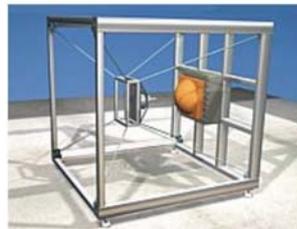
Inhalt

- Einführung
 - Motivation
 - Steuerung und Automatisierung
 - Entwicklung der Rechentechnik und der NC-Technik
- Bewegungseinrichtungen
 - serielle, parallele und hybride Kinematiken
 - Freiheitsgrade
 - Bewegungsachsen
- Bahnerzeugung
 - Mathematische Grundlagen
 - Bahnvorbereitung (Satzverarbeitung, look-ahead, Ruckbegrenzung)
 - Interpolation (Bahn-, Geschwindigkeits-, Beschleunigungs-führung)
- NC-Programmierung
 - Programmierverfahren
 - DIN-ISO 66025 (G-Code)
 - STEP-NC, Roboterprogrammierung

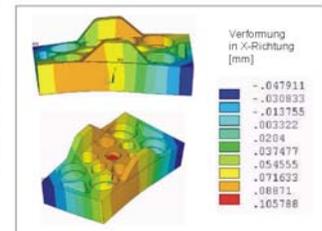
- Aufbau und Komponenten von NC-Steuerungen
 - Bedienoberflächen
 - Antriebe
 - Messsysteme
 - Antriebsregelung
- Antriebskommunikation
 - Schnittstellen, Protokolle
 - SERCOS-interface
- Bewegungsgenauigkeit
 - Ursachen
 - Korrektur
 - Kalibrierung

Bewegungseinrichtungen:

- **Kinematik:**
 - Seriell / parallel / hybrid
 - statisch bestimmt / überbestimmt
 - redundante Achsen



Seilkinematik
(parallel, statisch überbestimmt)



Statisch überbestimmter Stößel



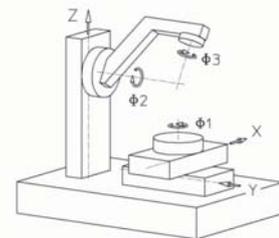
Hexapod (parallel)



Tricept (hybrid)

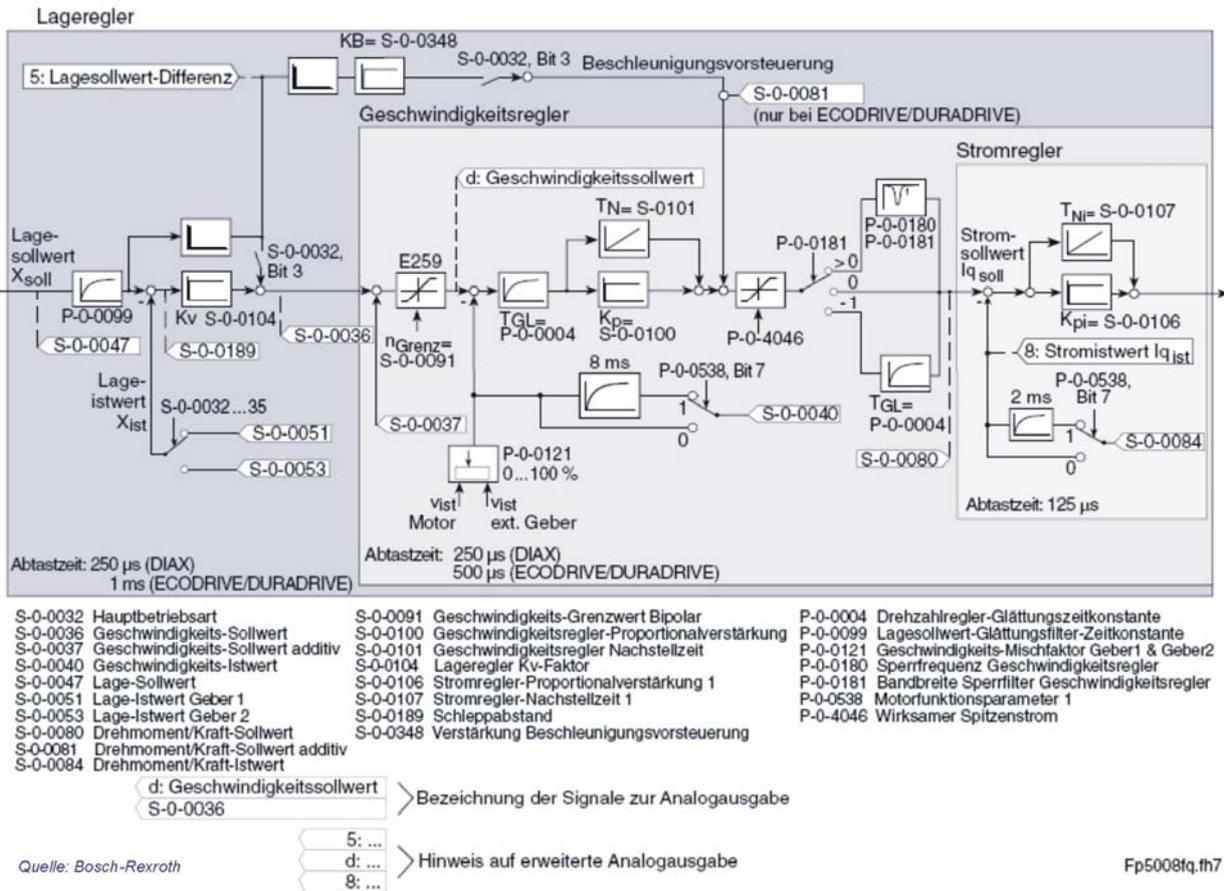


Industrieroboter (seriell)



Werkzeugmaschine (seriell)

Bewegungseinrichtungen: Kinematiken



Antriebsregelung: Regelkreisstruktur an einem SERCOS-Antrieb

3.2.5 Modul Bewegungsgeführte Maschinensysteme

3.2.5.1 Systemcharakter und Komponenten bewegungsgeführter Prozesse und Systeme

Umfang

3 SWS (2/1/0)

Hörende

Studenten 7. Semesters im Studiengang Mechatronik als Wahlpflichtfach aus der Gruppe "Anwendungen"

Lehrender

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann
u. a.

Inhalt

Der Inhalt ist identisch zu Punkt 3.2.2.1

3.2.5.2 Funktionell relevantes Systemverhalten und Beispiele mechatronischer Anwendungen

Umfang

7 SWS (4/1/2)

Hörende

Studenten 8. Semesters im Studiengang Mechatronik als Wahlpflichtfach aus der Gruppe "Anwendungen"

Lehrender

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann
u. a.

Inhalt

Der Inhalt ist identisch zu Punkt 3.2.3.1

3.2.6 Werkzeugmaschinen-Seminar

Umfang

1 SWS (1/0/0)

Teilnehmer

- Studenten der Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung
- Mitarbeiter des Instituts für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik
- Gäste

Leitung

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

Dipl.-Ing. G. Brzezinski

Inhalt

Vorstellung und Diskussion aktueller werkzeugmaschinenrelevanter Themen aus Lehre, Forschung und Praxis.

Im Berichtszeitraum fanden folgende Seminare statt:

Jahr 2005

- A. Mühl, M. Löser (IWM)
Neue Aspekte der Ratterkartenberechnung beim Fräsen
- K. Großmann (IWM)
Vorstellung der Lehrveranstaltung "Bewegungsgeführte Maschinensysteme - Funktionell relevantes Systemverhalten und Beispiele mechatronischer Anwendungen"
- H. Geipel, F. Lucker (EMAG Leipzig Maschinenfabrik GmbH)
Vorstellung des Unternehmens EMAG Leipzig und ausgewählter Werkzeugmaschinen der EMAG-Gruppe
- Sz. Szatmari (IWM)
Kalibrierung von Hexapoden einfacher Bauart

- Th. Morchel (IWM)
Computer Function Control (CFC) - Überblick und Arbeitsstand
- V. Möbius, M. Riedel, M. Löser (IWM)
Projektvorstellung Mess- und Richtzentrum - Konzeption und Arbeitsstand
- A. Mühl, M. Löser (IWM)
Entwicklung eines Abzugs-, Schneid- und Stapelsystems für das Weben von spacer fabrics (Teilprojekt A4 des SFB 639)
- B. Kauschinger (IWM)
Alternatives Steuerungskonzept - Wurzeln, Prinzip, Stand, Potenziale



Vorträge von Industrievertretern sind immer von besonderem Interesse für Studenten und Mitarbeiter

Jahr 2006

- Th. Morchel (IWM)
Das System als Objekt - Theoretische Betrachtung mit dem Ziel einer objekt- und ereignisorientierten Sicherheitssteuerung
- R. Strobel, A. Barth (DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH)
Längen- und Winkelmessungen an Werkzeugmaschinen und Grundlagen der Messprinzipien
- H. Wiemer (IWM)
Thermoglätten von Holz und Holzwerkstoffen mittels parallel-kinematischer Bewegungseinheit
- J. Müller (IWM)
Impulskopplung / -kompensation von Lineardirektantrieben - Projektarbeitsstand
- H. Wiemer, A. Hardtmann (IWM)
Simulation des Blechumformprozesses mit Berücksichtigung der elastischen Einflüsse aus Maschine und Werkzeug

3.2.7 Unterstützung der Lehre an anderen Bildungseinrichtungen

Berufsakademie Sachsen Staatliche Studienakademie Riesa

Fach Werkzeugmaschinen

Lehrender Dr.-Ing. A. Mühl

Steinbeis-Hochschule

Fach Kompetenzstudium Produktionstechnik

Lehrender **Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann**
Dipl.-Ing. V. Möbius
Dipl.-Ing. (FH) H. Kretzschmar

3.3 Studien- und Diplomarbeiten

3.3.1 Interdisziplinäre Projektarbeit

Umfang

300 Stunden, Laufzeit 6 Monate

Teilnehmer

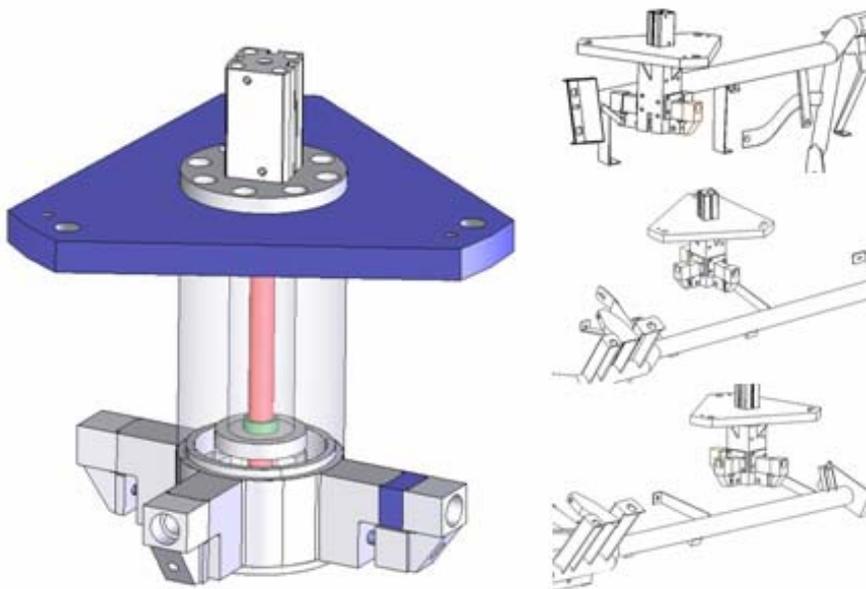
Studenten des 6. bis 9. Semesters der Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung und des Studiengangs Mechatronik

Leitung

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

Inhalt

Mit der Interdisziplinären Projektarbeit wird die Fähigkeit zur Teamarbeit und insbesondere zur Entwicklung, Durchsetzung und Präsentation von Konzepten nachgewiesen. Hierbei soll der Student zeigen, dass er an einer größeren Aufgabe Ziele definieren sowie interdisziplinäre Lösungsansätze und Konzepte erarbeiten kann. Die Themen leiten sich aus den aktuellen Forschungsprojekten des IWM ab.



*Ausschnitt aus einer Projektarbeit
"Entwicklung eines Richtwerkzeuges" [L. Penter]*

3.3.2 Große Belege

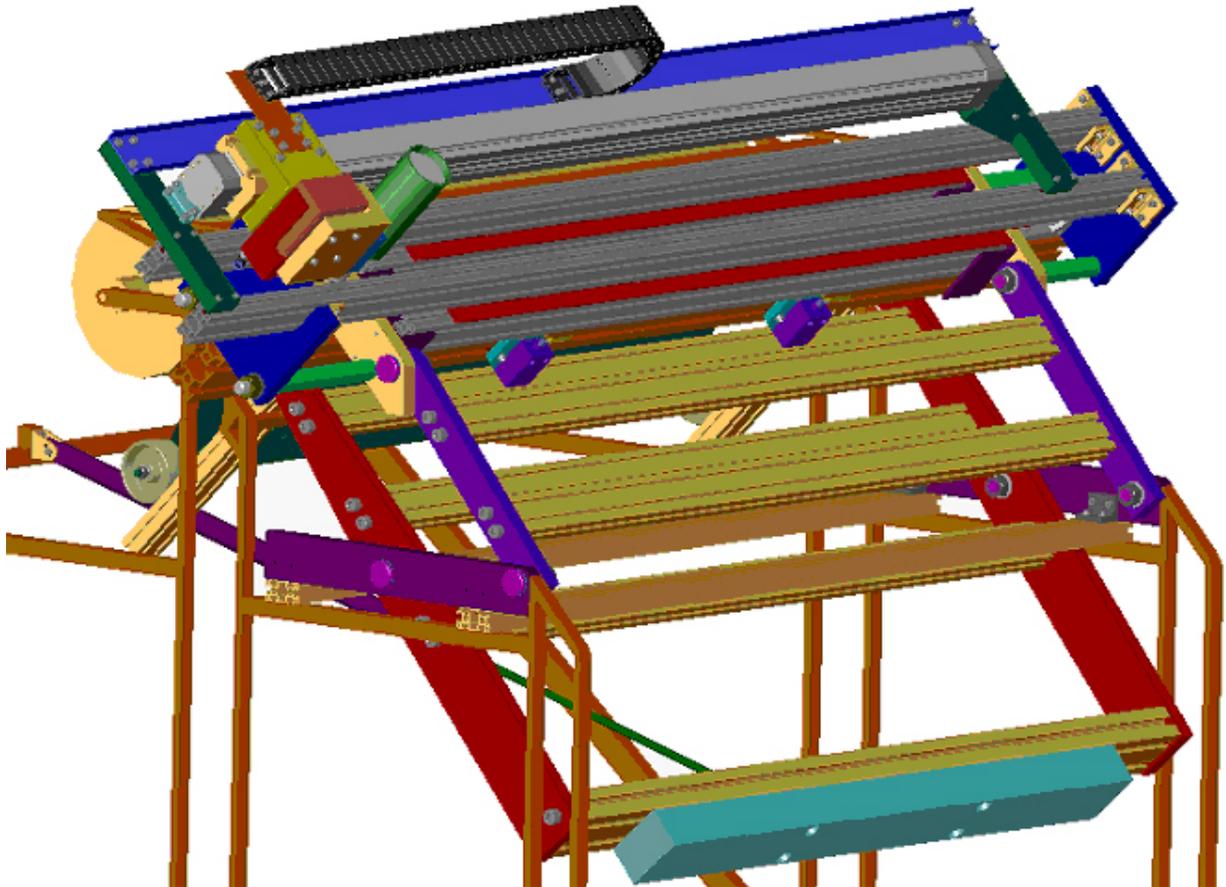
Der Große Beleg wird während des 9. Semesters mit einem geplanten Zeitaufwand von 500 Stunden bearbeitet (Laufzeit 6 Monate). Er ist als selbständige wissenschaftliche Arbeit während des Studiums konzipiert und stellt die unmittelbare Vorstufe der Diplomarbeit dar. Die Themen der Belegarbeiten werden aus den laufenden Forschungsprojekten des Lehrstuhls ausgewählt. Abschluss des Beleges ist die Verteidigung.

Jahr 2005

Winkler, David	Konstruktion eines Transport-Hilfsstab-Wechselsystems für den Warenabzug gewebter GP/PP-Hybridgarn-spacer fabrics an einer Doppelgreifer-Webmaschine
Holowenko, Olaf	Konstruktion der gekoppelten Komponenten Schneideinheit und Stapeleinheit eines Abzugs-, Schneid- und Stapelsystems für gewebte spacer fabrics aus GP/PP-Hybridgarn
Röhner, Markus	Methoden zur Abbildung von Abläufen zur Fertigung von textilverstärkten Verbundkomponenten

Jahr 2006

Berndt, Dirk	Entwicklung und Implementierung eines Algorithmus zur kollisionsüberwachten Bahnplanung in einem Mess- und Richtzentrum
Germer, Sascha	Planung der Steuerung eines Abzugs-, Schneid- und Stapelsystems für das Weben von spacer fabrics
Penter, Lars	Experimentierumgebung für den Abgleich von FEM-Umformprozessmodellen mit elastischer Werkzeug- und Maschinenbeschreibung



*Schneid- und Stapelsystems für gewebte spacer fabrics aus GP/PP-Hybridgarn
[Großer Beleg O. Holowenko]*

3.3.3 Diplomarbeiten

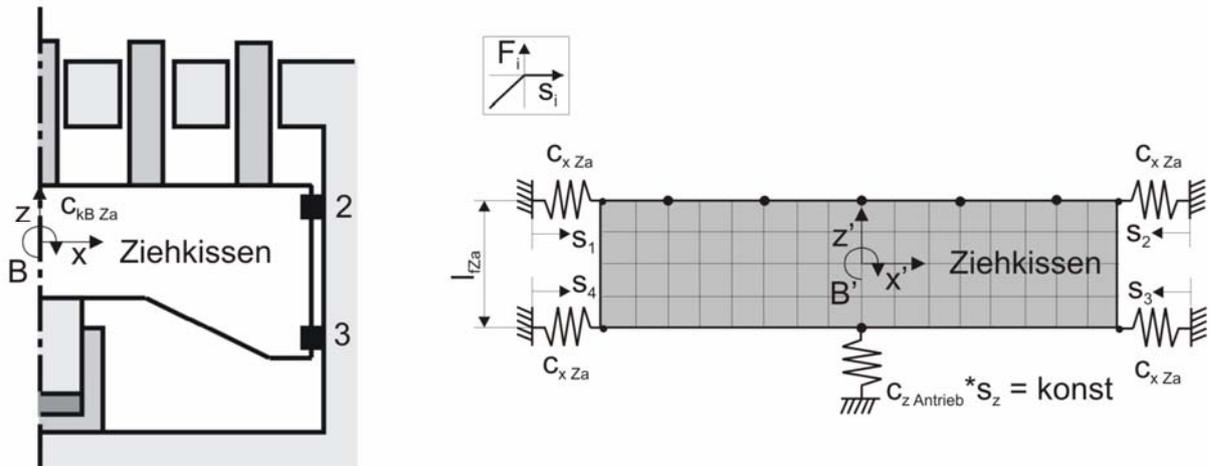
Nach erfolgreichem Abschluss aller Prüfungen erfolgt im 10. Semester die Anfertigung der Diplomarbeit (Bearbeitungszeit 4 Monate). Die Themen der Diplomarbeiten werden aus den aktuellen Forschungsprojekten des Lehrstuhls ausgewählt. Jede Arbeit wird zum Abschluss durch den Diplomanden verteidigt.

Jahr 2005

- Niethammer, Stefan Analyse und Bewertung des Einflusses der Versuchsbedingungen auf das Ergebnis von Lebensdauerprüfungen an Profilschienenführungen
- Luginger, Florian Simulationsgestützte Untersuchung des Stellverhaltens eines XY-Tisches an einer mechanisch-hydraulischen Universalpresse
- Röhner, Markus Automatisierte Vermessung von räumlichen Punktkoordinaten mit dem Double-Ball-Bar

Jahr 2006

- Holowenko, Olaf Entwicklung eines Programmsystems für die Demonstration der Testung eines SPS-Programms am virtuellen CFS-Funktionsmodell
- Bleischwitz, Mark Modellierung der statischen Maschineneigenschaften im FE-Modell des Umformprozesses auf Basis von LS-DYNA
- Weiser, Tobias Entwicklung eines Berechnungsmodells für die Trägheitskräfte an einer Parallelkinematik
- Sassi, Francesca Substituting modelling of the drive kinematics of mechanical presses in the FEA of sheet metal forming processes
- Penter, Lars Erweiterung des Umformprozessmodells hinsichtlich der Zieheinrichtung einschließlich der Werkzeugführung



Modell zur Abbildung des Ziehkissenführungssystems in der FEM-Umgebung
 [Diplomarbeit L. Penter]

Parameters calculated in analytical way	Parameters calculated with FEA model
$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{8 \cdot c_{Fy}}{m_{ram}}} = 27,44\text{Hz}$	27,35 Hz
$f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{8 \cdot c_{Fy}}{m_{ram}}} = 27,44\text{Hz}$	27,35 Hz
$f_3 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_{gz}}{J_{zram}}} = 47,53\text{Hz}$	47,34 Hz
$f_4 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_{Kx}}{J_{xram}}} = 77\text{Hz}$	76,29 Hz
$f_5 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_{Ky}}{J_{yram}}} = 77\text{Hz}$	76,29 Hz
$f_6 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_{gssz}}{m_{ram}}} = 81,99\text{Hz}$	81,13 Hz

Table 4.4. First six Eigen frequencies

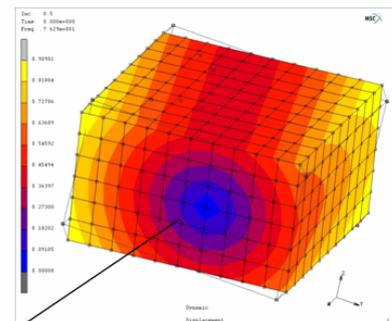


Fig. 4.5 Tilting around x-axis

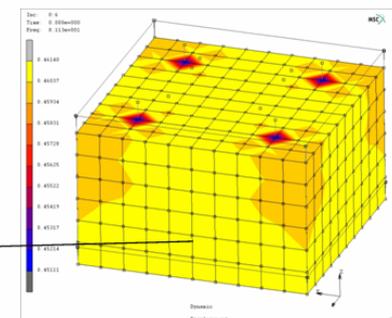


Fig. 4.8 Displacement in z-direction.

Modal analysis of the ram
 [Diplomarbeit F. Sassi]

3.4 Exkursionen

Mit unseren Exkursionen werden Studenten und Mitarbeiter mit dem Erzeugnisspektrum, den Aufgaben und Problemen der Erzeugnissentwicklung und -fertigung verschiedenartiger Unternehmen vertraut gemacht. Dafür wurden sowohl Betriebe der Großserien-/Massenproduktion als auch der Kleinserien/Einzel-fertigung besucht und großer Wert auf die Besichtigung der Fertigungs- und Erprobungsbereiche gelegt. Den neuesten Stand der Technik boten die besuchten Messen.

Teilnehmer der Exkursionen waren vor allem Studenten des letzten Studienjahres der Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung, der Studienrichtung Produktionstechnik und des Studiengangs Mechatronik. Aber auch interessierte Studenten anderer Semester und Fachrichtungen nutzten diese Gelegenheit für ihre berufliche Orientierung.



Exkursion zur EMO 2005 in Hannover

16.09.2005

- **EMO 2005** (Exposition mondiale de la Machine Outil), Hannover
Die EMO Hannover war 2005 der attraktivste Treffpunkt für die internationale Welt der Metallbearbeitung. Über 160 000 Fachbesucher aus 82 Ländern informierten sich über die Neuheiten in der Fertigungstechnik. 2 000 Aussteller aus 39 Ländern präsentierten ihre zukunftsweisenden Lösungen für die industrielle Produktion. Das IWM organisierte eine Busfahrt, finanziell unterstützt vom Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (VDW).



Am Messestand der Wohlenberg Werkzeugmaschinen GmbH

21.06.2006

- **METAV 2006**, Düsseldorf

Studenten und Mitarbeiter des IWM besuchten die für den deutschen Markt bedeutendste Messe für Metallbearbeitung. Der Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (VDW) übernahm die Finanzierung des Exkursionsbusses und der Eintrittskarten.



Gruppenfoto auf dem Düsseldorfer Messegelände

05.-07.10.2006

- **GF Messtechnik GmbH**, Teltow

Messtechnik von GFM steht für computergestützte Oberflächenmessgeräte und Software für zerstörungsfreie optische Mess- und Prüfverfahren. Der Vorteil dieser Messverfahren liegt in der berührungslosen und hochgenauen Erfassung der Oberfläche. Dabei kommen die aktive (Streifenprojektion) und

die passive (Fotogrammetrie) Triangulation sowie die Interferometrie zum Einsatz. Haupteinsatzgebiete der computergestützten optischen Messsysteme sind u. a. der Maschinen- und Fahrzeugbau, die Kosmetikindustrie und Medizin, die Papier-, Kunststoff- und Druckindustrie, die Kriminalistik, die Glassindustrie sowie unterschiedlichste Forschungseinrichtungen in der Industrie und im Hochschulbereich.

- **GEVA Gesellschaft für Entwicklung und Versuch mbH,**
Berlin Adlershof

Das Leistungsspektrum der GEVA umfasst statische und dynamische Betriebsfestigkeitsuntersuchungen durch Simulation repräsentativer Belastungszustände, die Entwicklung von Untersuchungsmethoden zur numerischen und experimentellen Beurteilung komplexer Belastungszustände, die Optimierung von Bauteilen und Baugruppen. Die in der Luftfahrttechnik erarbeitete Kompetenz wird auch für andere Sparten der Verkehrstechnik, insbesondere im Automobilbereich, eingesetzt.

- **NILES Werkzeugmaschinen GmbH,** Berlin Falkenberg

Die NILES Werkzeugmaschinen GmbH ist ein traditionsreicher Hersteller von Präzisionswerkzeugmaschinen, der heute vor allem Profilschleifmaschinen produziert. Die Verzahnungsschleifmaschinen erlauben die Bearbeitung gerader und schräger Außen- und Innenverzahnungen im Profilschleifverfahren für einen Arbeitsbereich von 800 mm bis 4.500 mm maximaler Kopfkreisdurchmesser. Anwendungsbereiche sind Energietechnik, Schiff- und Luftfahrt, Walzwerk- und Bergbaueinrichtungen sowie der allgemeine Maschinenbau.

Die Führung durch Konstruktionsabteilung, Fertigung und Montage übernahm der Werkleiter, Dr.-Ing. Frank Reichel, der am IWM in Dresden studiert und 1991 auch promoviert hat.



Auch der Fachmann kann immer wieder Neues entdecken ...

• **Produktionstechnisches Zentrum Berlin**

Im Produktionstechnischen Zentrum Berlin (PTZ) sind das Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der Technischen Universität Berlin sowie das Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) in einem Doppelinstitut zusammengeführt. Das PTZ verbindet die universitäre Einheit von Forschung und Lehre mit der industrienahe Anwendungsorientierung der Fraunhofer Gesellschaft.

Nach einem Einführungsvortrag von Prof. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann, dem Geschäftsführenden Direktor des PTZ, bestand die Möglichkeit zur Besichtigung des Versuchsfeldes mit Erläuterung der aktuellen Forschungsprojekte und Demonstration der Versuchsstände.



Prof. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann begrüßt die Exkursionsteilnehmer am PTZ Berlin

- **Kultur**

Kulturell abgerundet wurde die Exkursion durch eine City-Tour per Schiff "Durch die Brücken des historischen und neuen Berlin" und den abschließenden Besuch des Deutschen Technikmuseums Berlin.



Mit dem Schiff vorbei am Produktionstechnischen Zentrum Berlin

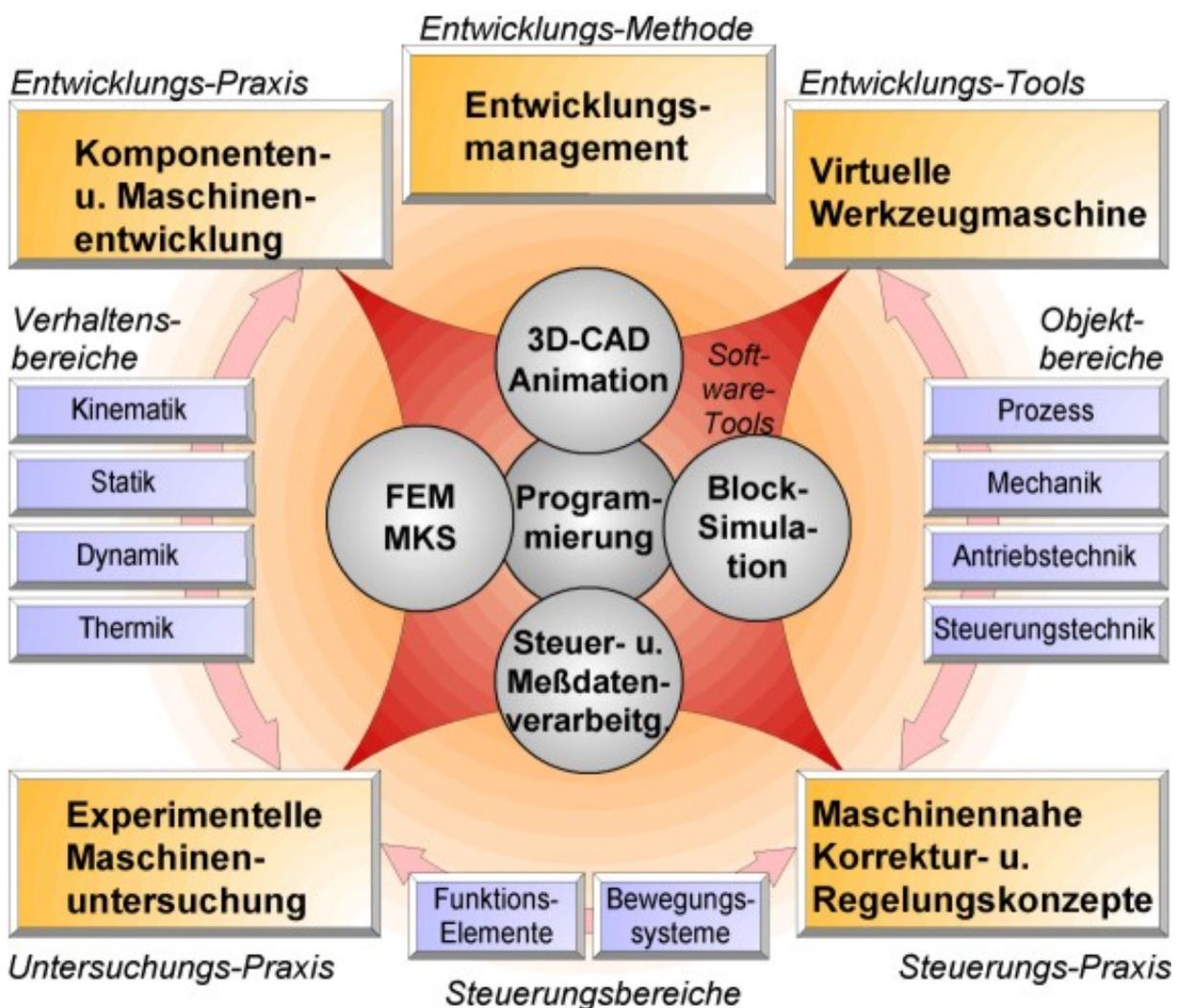
4 Forschung



4.1 Entwicklung der Forschung und Forschungsgebiete

Die Forschungsgebiete des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen umfassen die für den Entwicklungsprozess zusammengehörenden Felder der mechanischen und steuerungseitigen Maschinenkomponenten und die für Auslegung und Eigenschaftsnachweis relevanten rechnerischen und experimentellen Arbeitsmittel und -methoden.

Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang dem "Virtual Prototyping" zu, der ganzheitlichen Abbildung der Maschine im Rechner. Hierdurch werden wesentliche Eigenschaften einer Neu- oder Weiterentwicklung vor dem Bau der ersten Maschine beurteilbar.



Die wissenschaftlichen Aktivitäten des Lehrstuhls finden ihren Ausdruck in den nachfolgend aufgeführten Forschungsprojekten.

Die Projektbearbeitung erfolgt in den drei Arbeitsgruppen

- Struktur- und Prozessanalyse
Leiter: Dr.-Ing. Andreas Mühl
- Steuerungstechnik
Leiter: Dr.-Ing. Bernd Kauschinger
- Umformtechnik/Arbeitsplanung
Leiter: Dr.-Ing. Hajo Wiemer

Als Ergebnis einer intensiven Akquisitionstätigkeit zu Projekten und Industrieaufträgen konnte das Drittmittelbudget zur Finanzierung der Forschung weiter erhöht werden (*Bild 1*).

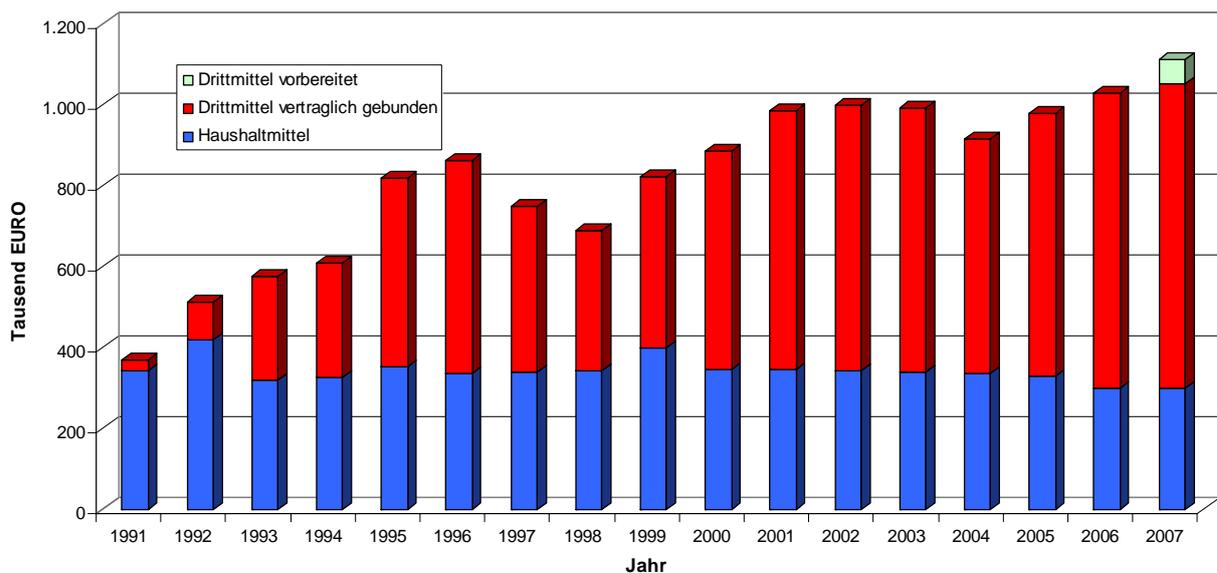


Bild 1: Budget des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen

Bei den Finanzierungsquellen konnte der Anteil der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) um 60 % erhöht werden, der Anteil der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF) blieb etwa konstant. Wesentlich geringer als im vorhergehenden Berichtszeitraum waren die Finanzierungen über Industrie und aus Stiftungen (*Bilder 2 und 3*).

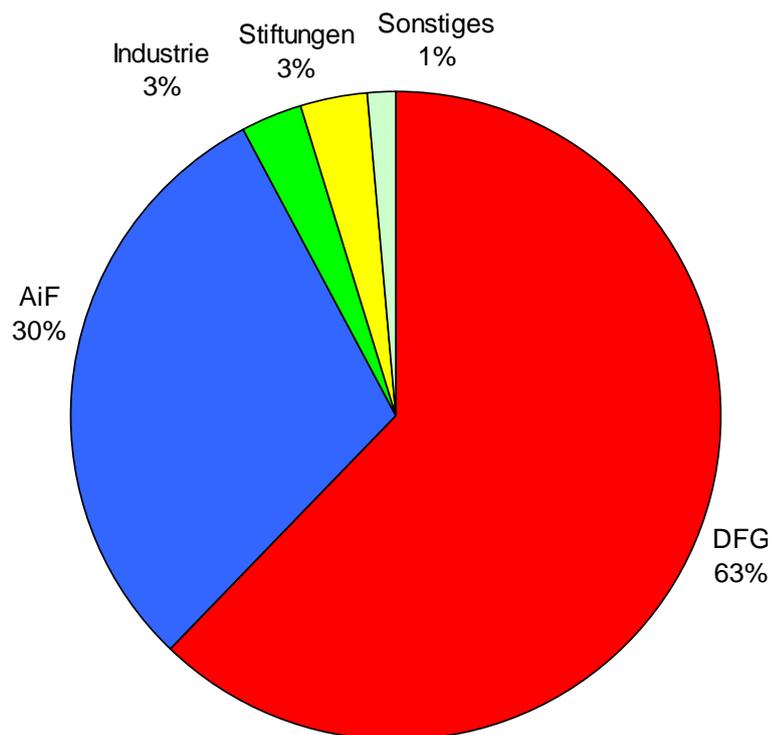


Bild 2: Anteile der Forschungsfinanzierung 2005/2006 (Drittmittel)

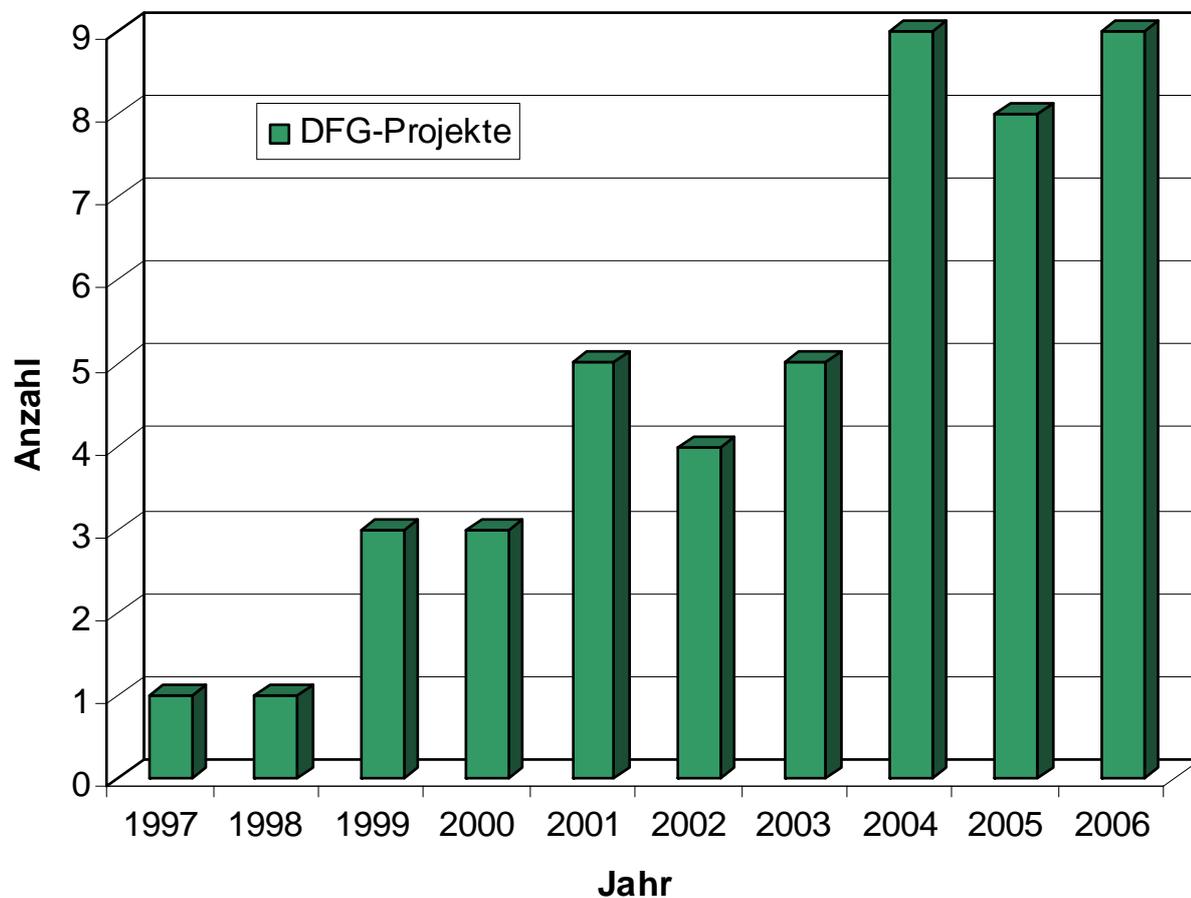


Bild 3: Entwicklung der Anzahl bearbeiteter DFG-Projekte

4.2 AG Struktur- und Prozessanalyse

4.2.1 Voraussetzungen zur reproduzierbaren Fertigung von textilen Preforms



Teilprojekt A4 im SFB 639

**Textilverstärkte Verbundkomponenten für
funktionsintegrierende Mischbauweisen bei
komplexen Leichtbauanwendungen**

Laufzeit 01/2004 - 12/2007

Finanzierung Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Bearbeiter Dr.-Ing. Andreas Mühl
Dipl.-Ing. Michael Löser

Kooperation Mitgliedsinstitute der TU Dresden im SFB 639

Zielstellung

Das Teilprojekt A4 des SFB 639 will in Verknüpfung mit den ebenfalls im SFB laufenden Vorhaben A3 ("Textile spacer fabrics"), A5 ("Faltkinematik") und D4 ("Konstruktion und Verarbeitung") einen Beitrag zur Entwicklung einer Prozesskette liefern, mit der neuartige, mit Flächenstrukturen im Abstandhalter versehene textile spacer fabrics aus Glasfaser-Polypropylen-Hybridgarn gewebt, gehandhabt, gepuffert und thermisch verpresst werden können. Das Teilprojekt A4 entwickelt die technologischen und maschinentechnischen Bindeglieder zwischen dem Weben einerseits (Teilprojekt A3) und dem Einlegen neuartiger Multifunktionskerne in die von den Flächenstrukturen bzw. Stegen gebildeten Hohlräume vor dem thermischen Verpressen andererseits (Teilprojekte A5 und D4). Diese Bindeglieder sind die für eine reproduzierbare Fertigung notwendigen, neuartigen Anlagen und Systeme

- zum faserschonenden Warenabzug aus der Webmaschine heraus,
- zum Ablängen der spacer preforms und

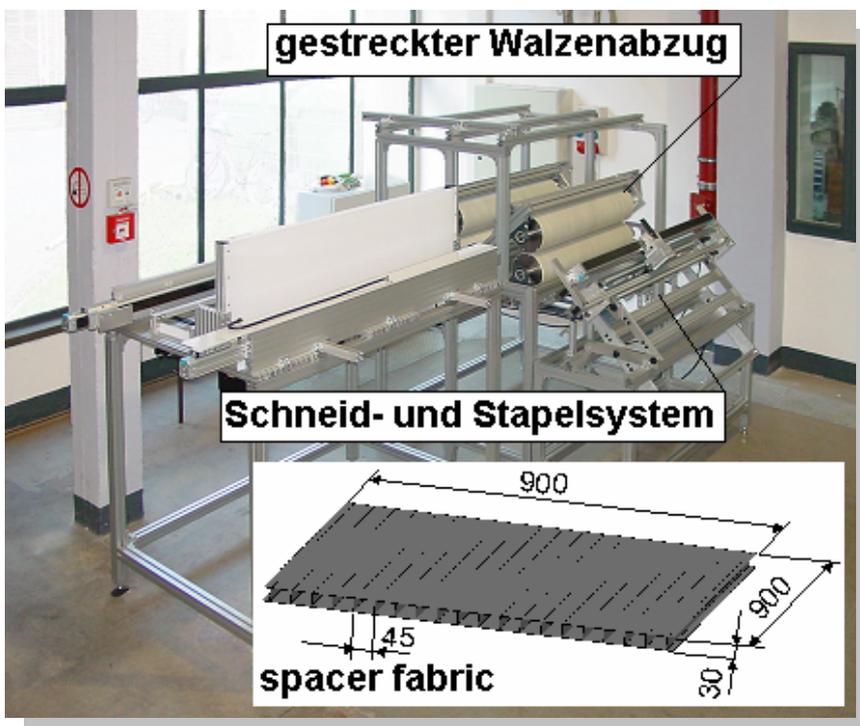
- zum formerhaltenden Ab stapeln der noch unkonsolidierten spacer preforms in einem Bereitstellungs-Puffer für das nachfolgende Einlegen der Multifunktionskerne.

Lösungsweg

Zunächst wurden Varianten von Abzugs-, Schneid- und Stapelsystemen, die die bestehende technologische Lücke zwischen der Webfachbildung in der Webmaschine und dem Einlegen der Multifunktionskerne schließen, generiert, grob konstruktiv entworfen und bewertet. Nach Auswahl einer Vorzugsvariante und nach Konstruktion, Bau und Test kleiner Funktionsmuster wurde das Abzugs-, Schneid- und Stapelsystem auskonstruiert. Nach der Fertigung und der Montage der mechanischen Systemkomponenten sowie des Entwurfs der SPS-Software erfolgt derzeit die Inbetriebnahme der Anlage.

Ergebnisse

Das Bild zeigt das im Teilprojekt A4 entwickelte Abzugs-, Schneid- und Stapelsystem für das Weben von spacer fabrics sowie die geometrischen Abmessungen der Spacer-Struktur.



Variante einer Prozesskette zum Warenabzug, Ablängen und Ab stapeln gewebter spacer preforms

4.2.2 Thermische Simulation des Konsolidierungsprozesses für Spacer fabrics



Vorhaben im Teilprojekt D4 des SFB 639 Textilverstärkte Verbundkomponenten für funktionsintegrierende Mischbauweisen bei komplexen Leichtbauanwendungen

Laufzeit 01/2004 - 12/2007

Finanzierung Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Bearbeiter Dr.-Ing. Günter Jungnickel

Kooperation Mitgliedsinstitute der TU Dresden im SFB 639

Zielstellung

Im Teilprojekt D4 "Konstruktion und Verarbeitung" des Sonderforschungsbereichs 639 "Textilverstärkte Verbundkomponenten für funktionsintegrierende Mischbauweisen bei komplexen Leichtbauanwendungen" bildet die thermische Konsolidierung der Spacer fabrics einen Schwerpunkt. Aus der Konsolidierung räumlich aufgebauter Preforms und den geforderten kurzen Taktzeiten ergeben sich Probleme, die sich nur auf dem Wege der Simulation effektiv lösen lassen. Im vorliegenden Projekt wurde ein Simulationssystem für das im SFB 639 behandelte Musterwerkstück aufgebaut.

Lösungsweg

Die praktisch erreichbaren Prozesszeiten weichen erheblich von den theoretischen Werten einfacher Modellvorstellungen ab (*Bild 1*). Die Ursachen liegen im nichtlinearen Werkstoffverhalten, in den teilweise erheblichen Wärmekapazitäten der Leistungsquellen, Wärmeträger und Werkzeuge, in den Wärmeverlusten an die Umgebung, in den örtlichen Eigenschaften der Leistungsquellen, in den Temperaturunterschieden über dem Wandquerschnitt des Werkstücks und in Temperaturgrenzen auf der Wärmeübertragungstrecke. Alle diese relevanten Einflüsse müssen im Simulationsmodell berücksichtigt werden. Ein Teil

dieser Probleme wurde gesondert behandelt und als Korrekturlösung in das Simulationsmodell eingebracht. Für den zyklischen Konsolidierungsprozess nach *Bild 2* sind die einzelnen Phasen entsprechend der jeweiligen Anlagenkonfiguration und den konkreten thermischen Lastbedingungen im Simulationsmodell abzubilden. Bei der Berechnung der instationären Temperaturänderungen wird der Übergang von einer Phase zur nächsten mit dem Erreichen eines Temperaturkriteriums oder dem Ablauf einer technologisch bedingten Zeit ausgelöst. Die Rechnungen müssen bis in den quasistationären Zustand ausgeführt werden, denn erst hier liegen stabile Fertigungsbedingungen der Anlage vor. Dieser Zustand ist für die Gestaltung des technologischen Prozesses und die Leistungsauslegung und den Abgleich der Leistungsquellen maßgebend.

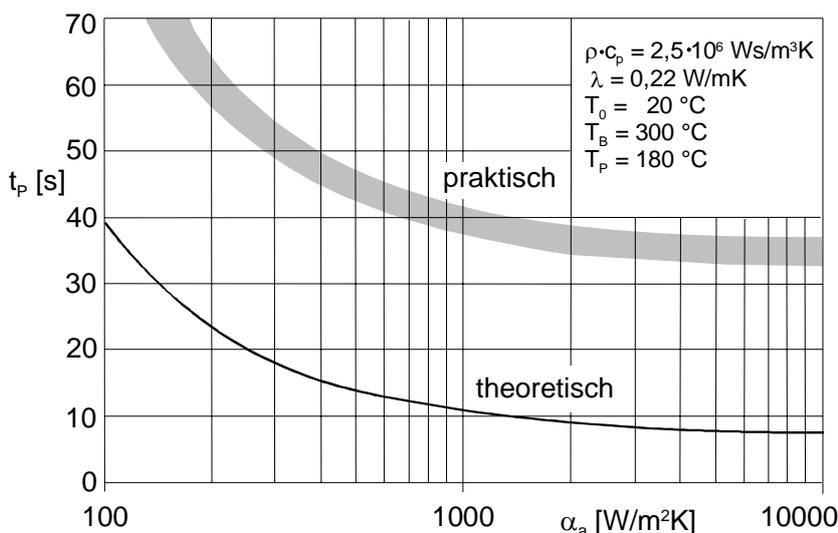


Bild 1: Erwärmungszeit des Musterwerkstücks

Ergebnisse

Es wurde ein Simulationssystem zur Lösung von Fragestellungen bei der thermischen Konsolidierung von Spacer fabrics aufgebaut. *Bild 3* zeigt beispielsweise die Temperaturverteilung im Werkstück nach Abschluss der Heizphase. Ein wesentliches Ergebnis waren die Leistungswerte zur Auslegung der Versuchsanlage. Im Zuge der laufenden Entwicklung müssen die Modelle den konkretisierten Daten nachgeführt werden. Der nächste Einsatzbereich des Simulationssystems ist die Prozessoptimierung.

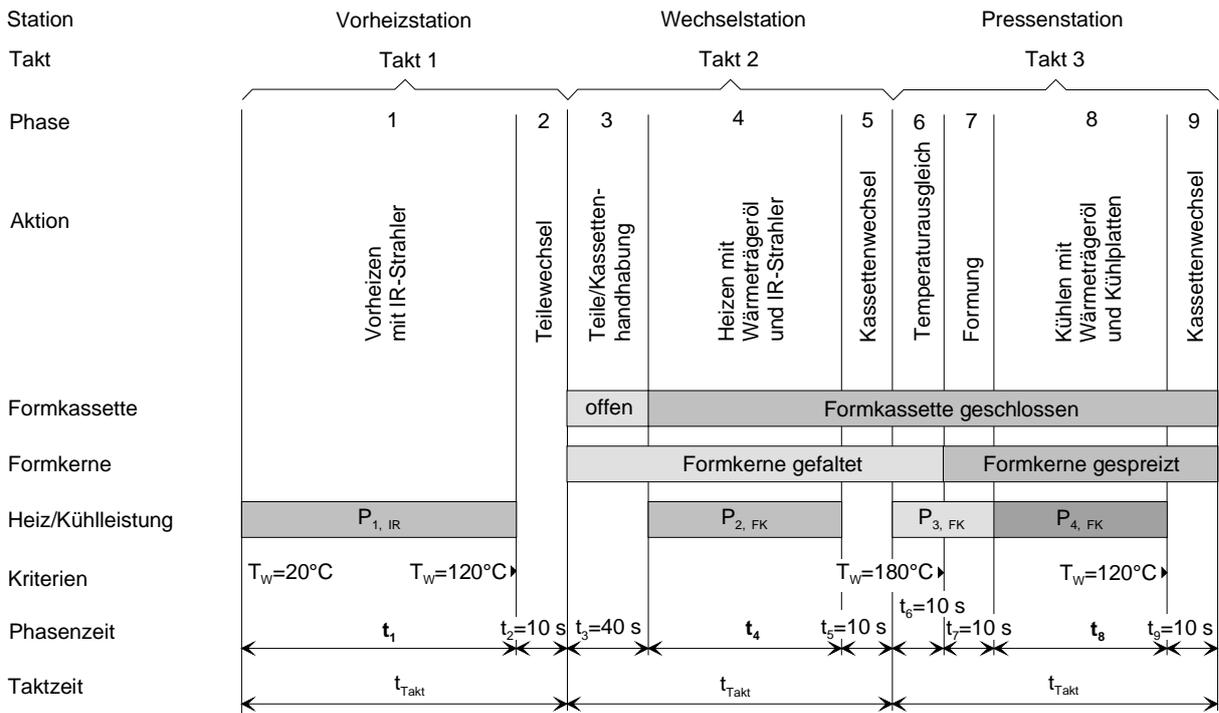


Bild 2: Prozess zur Konsolidierung von Spacer fabrics

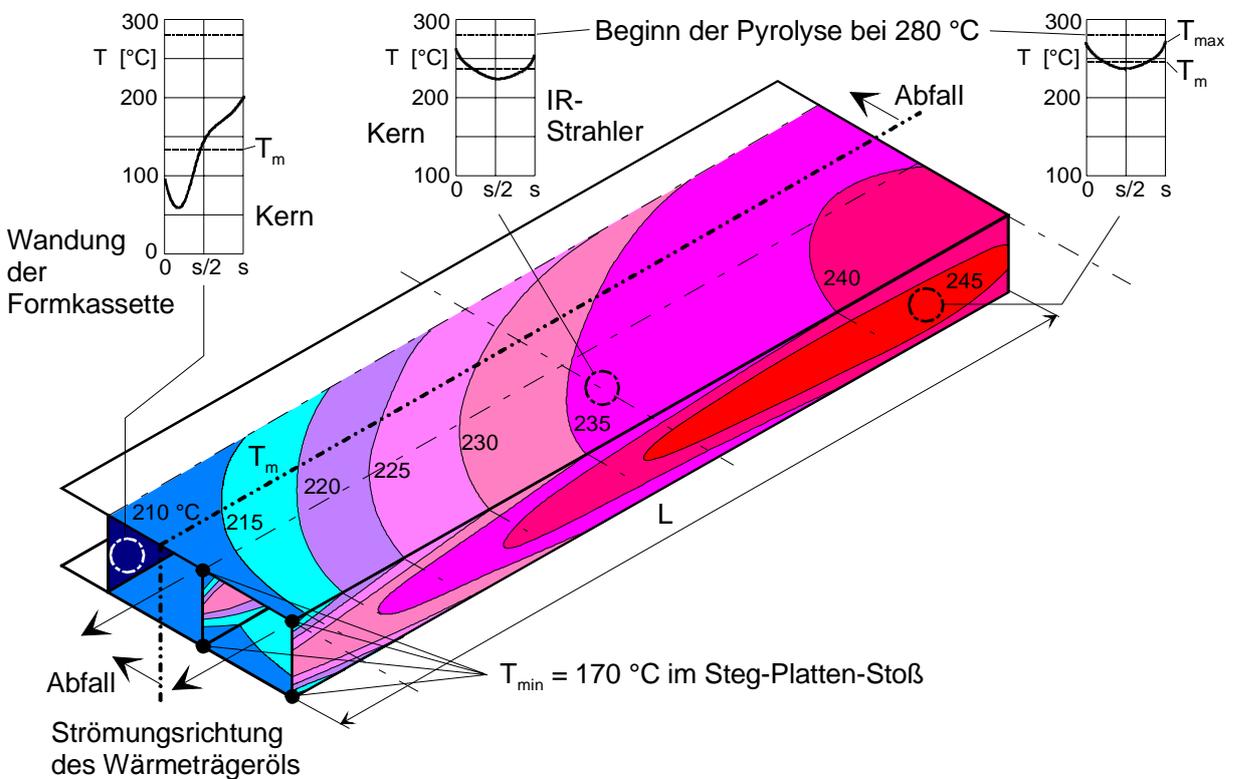


Bild 3: Temperaturverteilung im Werkstück nach Abschluss der Heizphase

4.2.3 Strukturbasierte Modellierung des für die Stabilität des Zerspanprozesses relevanten drehzahlabhängigen Übertragungsverhaltens eines Spindel/Werkzeug-Systems

Laufzeit 10/2005 - 09/2007

Finanzierung Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Bearbeiter Dr.-Ing. Andreas Mühl
Dipl.-Ing. Michael Löser

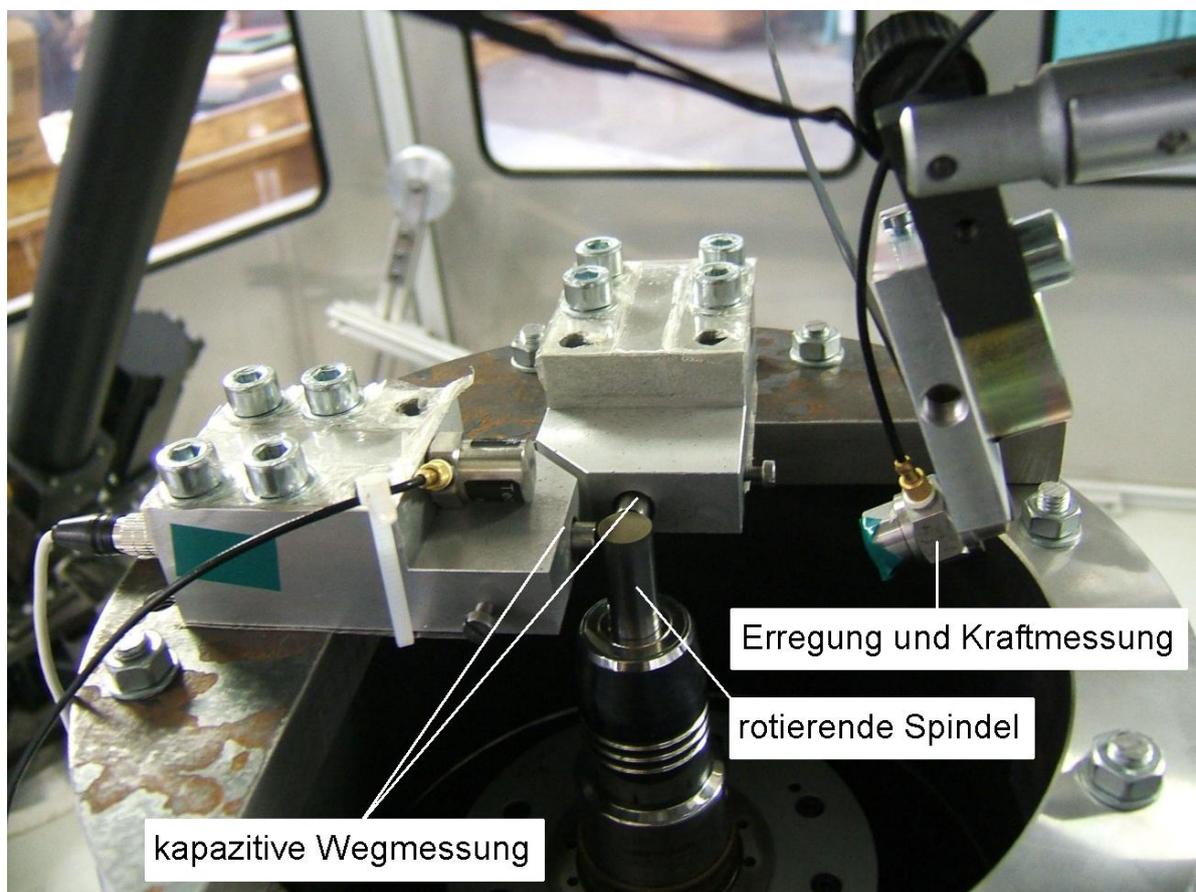
Zielstellung

Ziel des Projektes ist es, eine Modellierungs- und Parametrierungsstrategie für hochtourige Spindel/Fräser-Systeme bereitzustellen, mit der eine exaktere Abbildung des durch die Drehzahl beeinflussten dynamischen Maschinenverhaltens erfolgen und somit die Genauigkeit vorausberechneter Ratterkarten erhöht werden kann.

Lösungsweg

Um die Ziele zu erreichen wird ein Modell erstellt, welches das drehzahlabhängige Übertragungsverhalten nicht nur als Wirkung abbildet, sondern auch die Ursachen dieser Drehzahlabhängigkeit berücksichtigt. Für eine solche Modellierung eignet sich eine Abbildung als elastisches MKS-Modell, da hier parametergebundene Ursachen (z. B. drehzahlabhängige Lagersteifigkeiten) aufgrund der im Modell berücksichtigten physikalischen Struktur von Spindel und Werkzeug abgebildet werden können nicht parametergebundene Ursachen (Gyroskopie, Auftreten von Kreuznachgiebigkeiten aufgrund der Drehbewegung) durch den Lösungsalgorithmus der MKS-Simulationsumgebung berücksichtigt werden. In einem ersten Schritt wurde ein vereinfachtes MKS-Modell eines Spindel-/Werkzeug-Systems erstellt. Hieran konnten grundlegende Untersuchungen zum Einfluss der Drehzahl auf das Übertragungsverhalten durchgeführt werden. Darüber hinaus ermöglichte eine Kopplung mit einem Prozess-

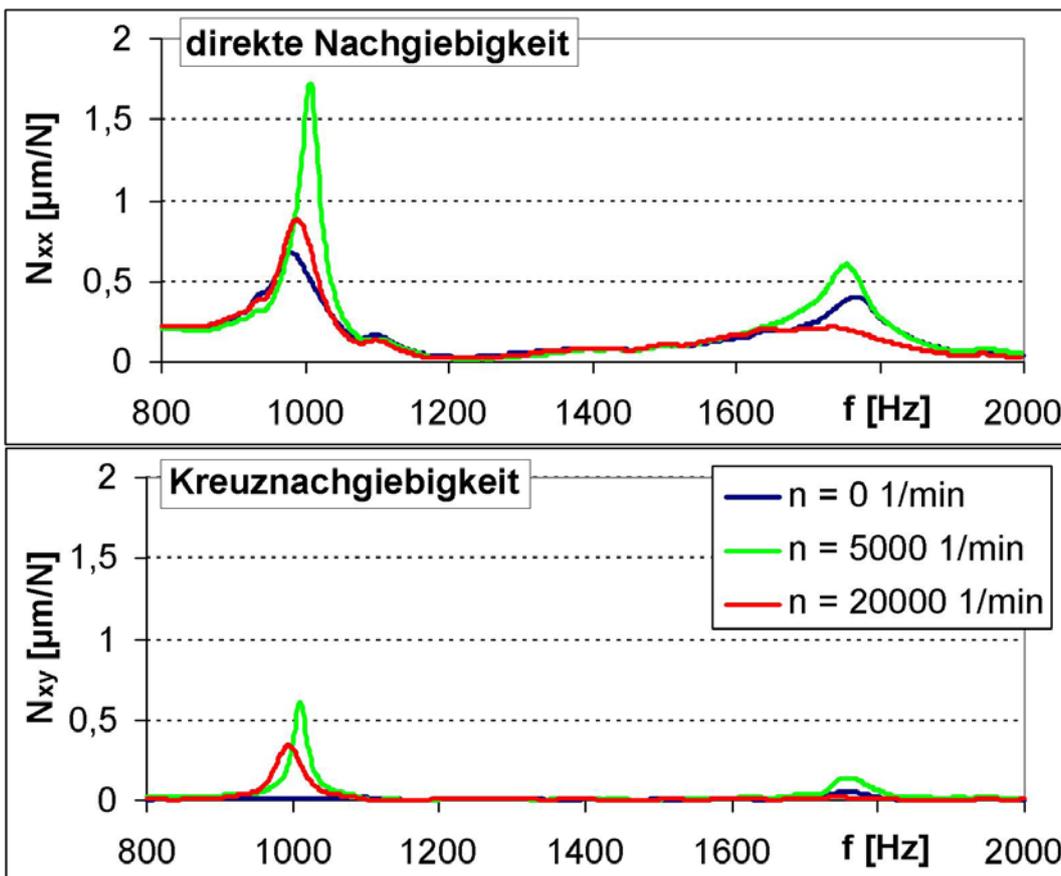
kraftmodell Aussagen zur Qualität des Drehzahleinflusses auf berechnete Stabilitätsgrenzen von Fräsprozessen. Im Weiteren werden die gewonnenen Erkenntnisse auf die Modellierung einer am IWM vorhandenen Motorspindel angewandt. Für das zunächst mit einer Startparametrierung zu versehen Spindelmodell ist ein messtechnischer Modellabgleich notwendig. Die verbaute Spindel ist jedoch nur in beschränktem Maße für eine messtechnische Untersuchung zugänglich, des Weiteren stellen Messungen an der rotierenden Spindel eine enorme Herausforderung dar. Um den Abgleich dennoch zu ermöglichen, werden deshalb am Modell Untersuchungen zur Sensitivität des Übertragungsverhaltens auf Parameteränderungen durchgeführt. Somit ist es möglich, am realen Objekt gemessene Effekte bestimmten Systemkomponenten ursächlich zuzuordnen und gezielt Modellparameter abzugleichen. Das abgegliche Spindelmodell wird dann als Modell-Baustein zur Berechnung von Ratterkarten durch Simulation im Zeitbereich dienen.



Messaufbau

Ergebnisse

Die am Modell durchgeführten Untersuchungen zeigen den Einfluss der Drehzahl auf das Übertragungsverhalten. Insbesondere wurde das drehzahlabhängige Auftreten von Kreuznachgiebigkeiten zunächst anhand von Modellrechnungen gefunden. Dieser Effekt wirkt sich auch auf die Prozessstabilität aus. Es wurde nachgewiesen, dass sich bei Berücksichtigung bzw. Nichtberücksichtigung des Drehzahleinflusses nennenswerte Unterschiede in den berechneten Stabilitätsgrenzen ergeben. Inzwischen ist mit den Arbeiten zur Modellierung und zum zugehörigen messtechnischen Modell-Abgleich für eine am IWM vorhandene Spindel die Fähigkeit erlangt worden, Nachgiebigkeitsfrequenzgänge an einer Spindel auch während hochtouriger Rotation zu messen. Mit dieser versuchs-technischen Basis wurde die Existenz drehzahlabhängiger Kreuznachgiebigkeiten eines an sich symmetrischen Spindel-systems erstmals auch experimentell nachgewiesen



Gemessene NF-Gänge

4.2.4 Untersuchungen zu den Grenzwerten des Einsatzes adaptronischer Komponenten zur Impulskopplung von linearmotorgetriebenen Werkzeugmaschinenachsen unter veränderlichen strukturmehchanischen Umgebungsbedingungen

Laufzeit 06/2003 - 05/2005

Finanzierung Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
SPP 1156 Adaptronik für Werkzeugmaschinen

Bearbeiter Dipl.-Ing. Jens Müller
Dr.-Ing. Günter Jungnickel

Kooperation FhG IWU Chemnitz, Außenstelle Dresden

Zielstellung

Ziel des Forschungsvorhabens sind Grundlagenuntersuchungen zur wirksamen Impulskopplung des Gestells einer Maschinenstruktur mit Lineardirektantrieb nach dem Funktionsprinzip der Lafette. Es soll nachgewiesen werden, dass der Ansatz fest eingestellter Feder-/Dämpfer-Parameter den Erfordernissen strukturmehchanisch veränderlicher Maschinenstrukturen nicht gerecht wird. Im Ergebnis soll ein adaptronisch wirkendes Feder-/Dämpfer-Element entwickelt werden, das sich variablen Steifigkeits- und Dämpfungsverhältnissen anpassen kann (*Bild 1*).

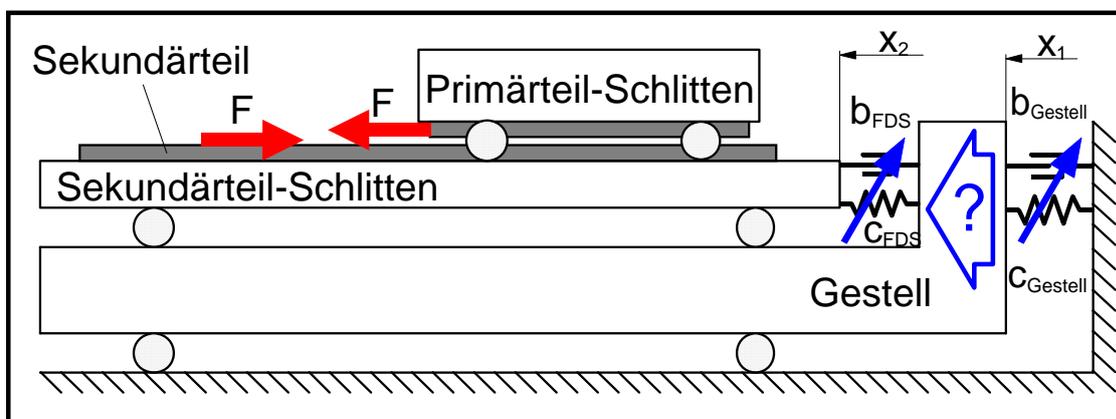


Bild 1: Grundprinzip der Impulskopplung mit adaptronischem Feder-/Dämpfer-System

Lösungsweg

Es wurde zunächst ein vereinfachtes Simulationsmodell entwickelt, das eine Fräsmaschine in Gantry-Bauweise als Feder-Masse-System sowie die zugehörigen Regelkreise reduziert abbildet. Hiermit durchgeführte Variationsrechnungen belegen bereits, dass ein Feder-/Dämpfer-System die Anregung des Gestells deutlich verringert und dass eine für die optimierten Parameter relevante Strukturabhängigkeit besteht (*Bild 2*). Weiterhin wurden Maschinentypen gesucht, die für den Einsatz eines Lineardirektantriebs geeignet sind, deren Genauigkeitsanforderungen und/oder anwendungsbedingte Anforderungen den erhöhten Aufwand einer Impulsentkopplung rechtfertigen und deren Gestellsteifigkeit sich über den Verfahrenweg mindestens einer Maschinenachse maßgeblich ändert. Für diese Maschinentypen wurden einfache FE-Modelle erstellt, die dann in einem für diese Bauformen repräsentativen Parameterbereich analysiert wurden. Für die dabei ermittelten Gestelleigenfrequenzen wurde dann ein Verfahren gefunden, mit dem die jeweils optimalen Parameter für das Feder-/Dämpfer-System ermittelt werden können. Zur experimentellen Verifizierung der o. g. Ergebnisse wurde ein Versuchsstand konstruiert, gebaut und in Betrieb genommen, sowie eine PC-basierte Steuerung für den Versuchsstand programmiert (*Bild 2*).

Ergebnisse

Wie die theoretischen und experimentellen Untersuchungen gezeigt haben, ist es erforderlich, sowohl die Dämpfung als auch die Steifigkeit des Feder-/Dämpfer-Systems an veränderliche Gestellparameter anzupassen. *Bild 3* zeigt die maximale Gestellbeschleunigung bei Anregung durch einen Verfahrensvorgang um 200 mm mit Sollgeschwindigkeit $v_{\text{Soll}} = 0,6 \text{ m/s}$, Sollbeschleunigung $a_{\text{Soll}} = 40 \text{ m/s}^2$ sowie Sollruck $r_{\text{Soll}} = 10000 \text{ m/s}^3$ und bei unterschiedlichen Gestelleigenfrequenzen und Feder-Dämpferparametern für die Impulsentkopplung.



Bild 2: Prüfstand zur Impulskopplung

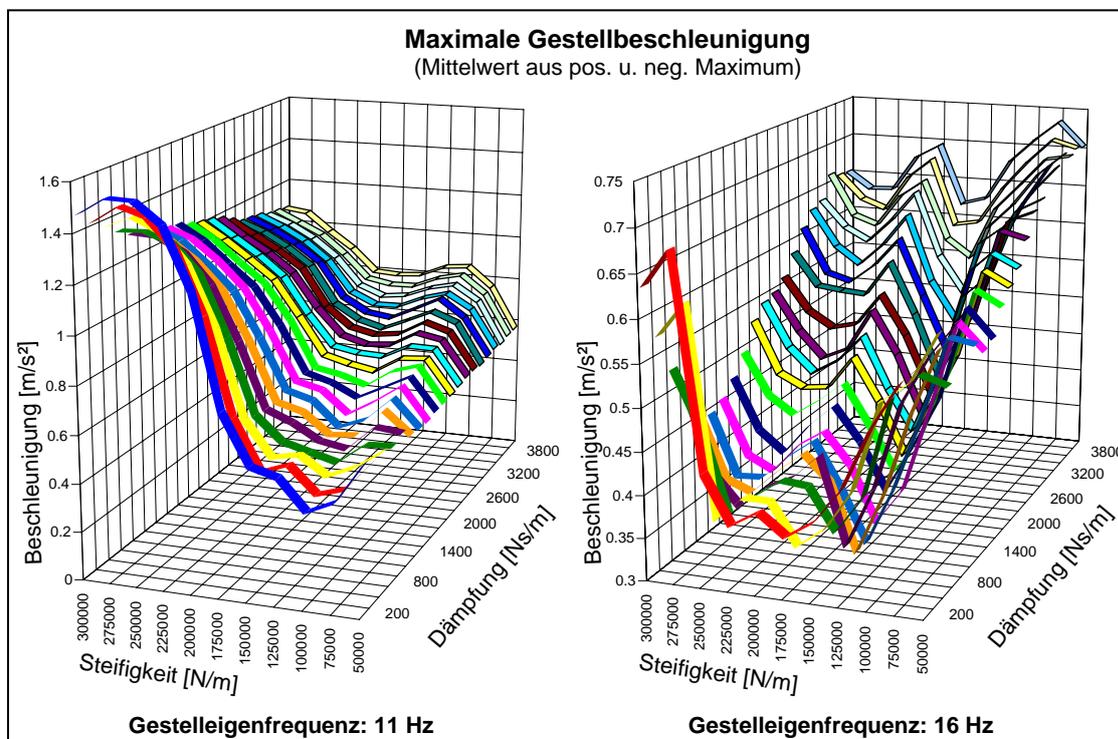


Bild 3: Maximale Gestellbeschleunigung bei 11 und 16 Hz Gestelleigenfrequenz und unterschiedlichen Feder-/Dämpferparametern zur Impulskopplung

4.2.5 Entwicklung, Anwendung und Bewertung von Simulationstechnologien für die aktive virtuelle Werkzeugmaschine

Laufzeit 04/2004 - 03/2006

Finanzierung Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Bearbeiter Dipl.-Ing. Holger Rudolph

Zielstellung

Für die Analyse, Bewertung und Optimierung des Maschinenentwurfs in einem Simulationsmodell ist es erforderlich, die einzelnen, in sich zumeist linearelastischen, Baugruppen unter der Wirkung der Antriebe und des eigentlichen Fertigungsprozesses relativ zueinander bewegen zu können. Diese Relativbewegungen führen zu einer strukturellen Veränderung der gesamten Maschine. Im Forschungsprojekt sollen Simulationstechnologien entwickelt und angewandt werden, welche veränderliche Maschinenstrukturen einer Modellierung und numerischen Lösung zuführen. Hierzu sollen die Modellgrundlagen für die Simulation kontinuierlicher Bauteilbewegungen an elastischen, strukturvariablen Modellen geschaffen und in einem ausgewählten Softwaresystem umgesetzt werden.

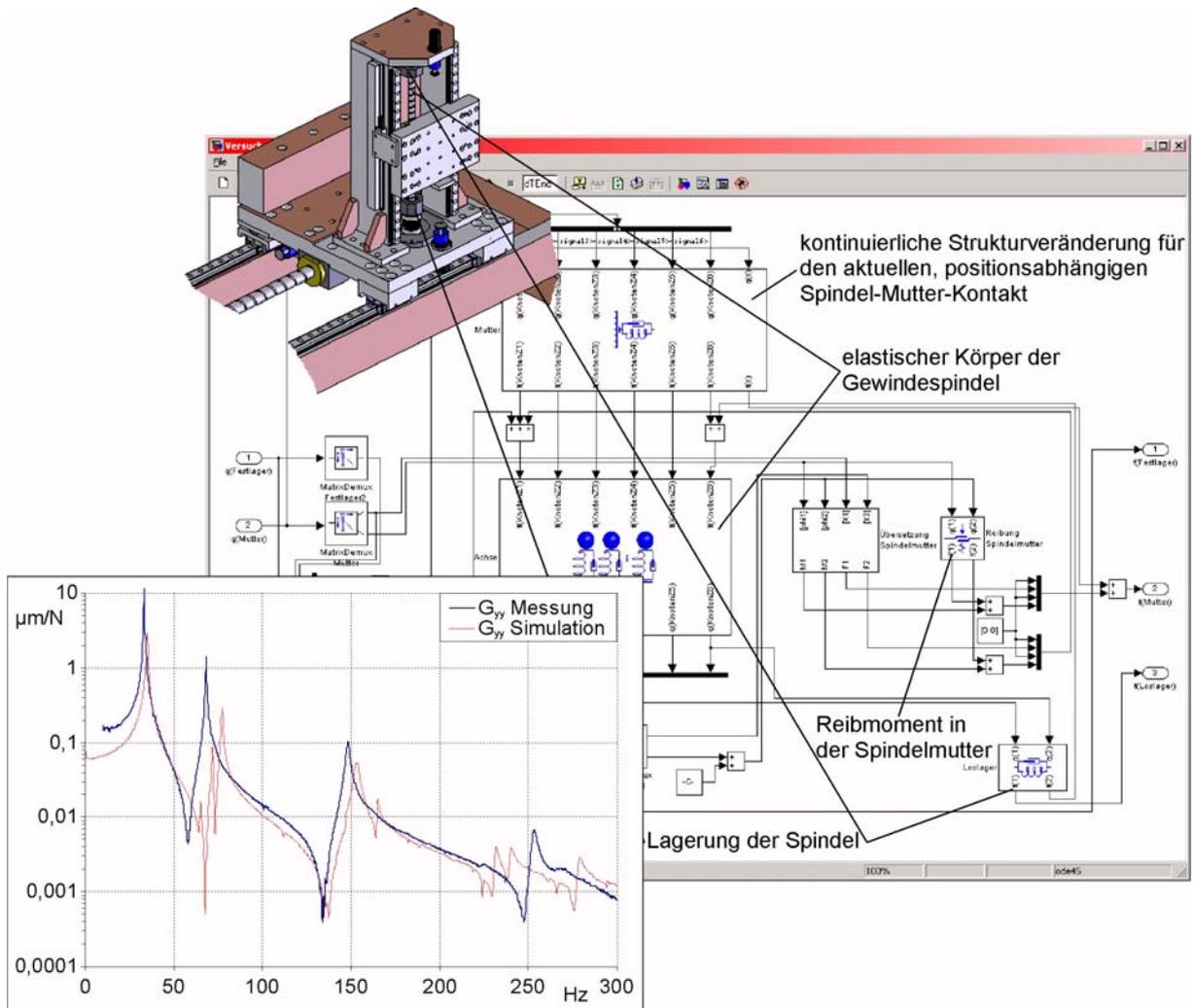
Lösungsweg

Für die gemäß der Zielstellung erforderliche räumliche Beweglichkeit von Werkzeugmaschinen-Baugruppen wird die Modell-Funktionalität für elastische Körper (abgebildet durch ein modal reduziertes Ersatzsystem) mit den aus der Starrkörpermechanik bekannten Berechnungsgrundlagen in einer Modellsynthese verknüpft. Um die Relativbewegungen zwischen den Baugruppen simulieren zu können, wird die Interaktion zwischen den diskreten, jeweils korrespondierenden Strukturkoordinaten durch einen gleitenden Übergang modelliert.

Ergebnisse

Die abschließenden Arbeiten befassen sich mit der Verifikation der Modelle und der vergleichenden Simulation von Bewegungs-

vorgängen für den gesamten Versuchstand. Das Bild zeigt ein Teilmodell des Versuchstandes und den Vergleich von simulierten und gemessenen Nachgiebigkeitsfrequenzgängen für eine ausgewählte Position im Arbeitsraum.



Simulationsmodell des Versuchstandes und Vergleich von Frequenzgängen

4.2.6 Prozessgerechte Bewertung des thermischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen

Laufzeit 05/2003 - 04/2006

Finanzierung Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Bearbeiter Dr.-Ing. Günter Jungnickel

Zielstellung

Das thermische Verhalten der Werkzeugmaschine, d. h. die thermisch bedingte Verlagerung des Wirkpunktes (tool center point), wird in der Regel als instationärer Verlauf der Positionsabweichungen und der Neigungsänderungen im Wirkpunkt unter einfachen Last- und Randbedingungen dargestellt. Prüfvorschriften wie die DIN V 8602 und die ISO 230-3 vereinheitlichen die Durchführung von Messungen und liefern auf deren Basis vergleichbare Ergebnisse. Eine solche rein maschinenbezogene Bewertung des thermischen Verhaltens liefert allerdings keine direkten Aussagen zur erreichbaren Fertigungsgenauigkeit. Für eine prozessgerechte Bewertung des thermischen Verhaltens der Werkzeugmaschine sind die Bedingungen des Fertigungsprozesses und die Geometrie des zugehörigen Werkstücks in die Betrachtungen einzubeziehen.

Lösungsweg

Die Aufgabe lässt sich effektiv nur mittels Simulation bearbeiten anhand einer "virtuellen" Werkzeugmaschine mit "virtuellem" Fertigungsprozess. Dazu ist das Knotenpunktverfahren mit vereinfachter Verformungsberechnung prädestiniert. Als wesentliche Funktionalität der Werkzeugmaschine ist die Bewegung der Vorschubachsen im Modell als Strukturänderung während der Simulationsrechnung zu berücksichtigen, siehe *Bild 1*. *Bild 2* zeigt, wie sich die Fertigungsbedingungen für den Zerspanungsprozess im Maschinenmodell abbilden lassen. Die Auswertung der Wirkpunktabweichungen muss positionsabhängig über dem Arbeitsraum erfolgen. Für den Aufbau solcher Simulationsmodelle wurden geeignete Modellobjekte entwickelt, um den

Modellierungsaufwand zu senken. Damit lassen sich auf thermischen Modellen der Werkzeugmaschine Fertigungsprozesse simulieren und die maschinenseitig thermisch bedingten Anteile der Werkstückabweichungen bestimmen.

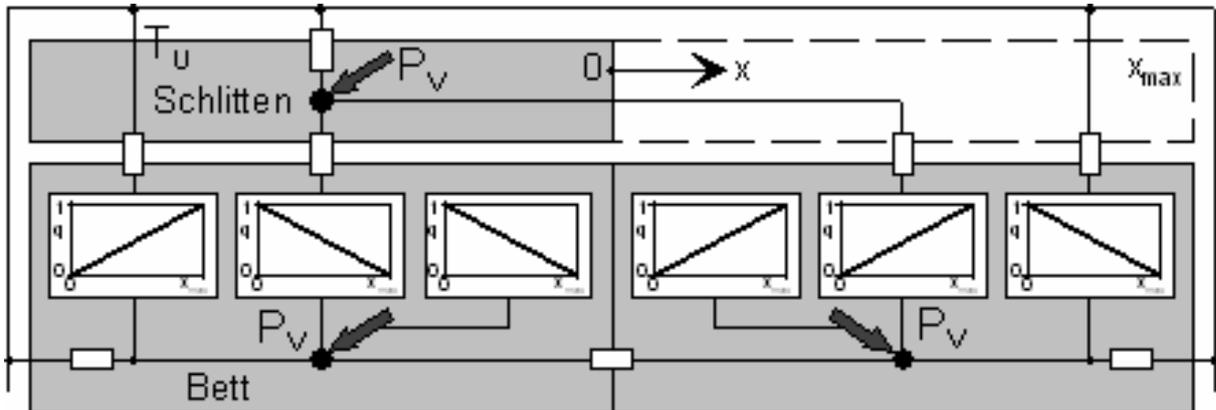


Bild 1: Modellierung der Strukturänderung durch die Vorschubbewegung

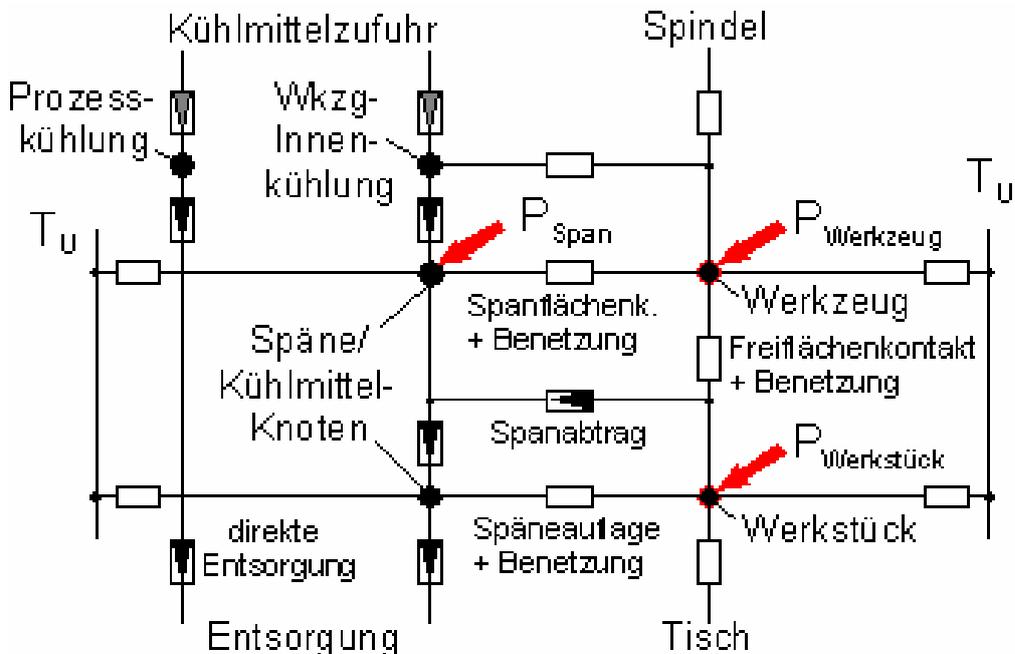


Bild 2: Knotenpunktmodell des Zerspanungsprozesses

Ergebnisse

Die prozessgerechte Bewertung des thermischen Verhaltens der Werkzeugmaschine kann immer nur für ein konkretes Werkstück mit zugehörigem Fertigungsprozess erfolgen. *Bild 3* zeigt die Simulationsergebnisse für die Bearbeitung des angegebenen Werkstücks auf einem Bearbeitungszentrum. Die thermisch bedingten Werkstuckabweichungen der Formelemente können direkt mit den Werkstucktoleranzen verglichen werden. Damit lassen sich die thermischen Einflüsse von Maschine und Prozess auf das Fertigungsergebnis bewerten.

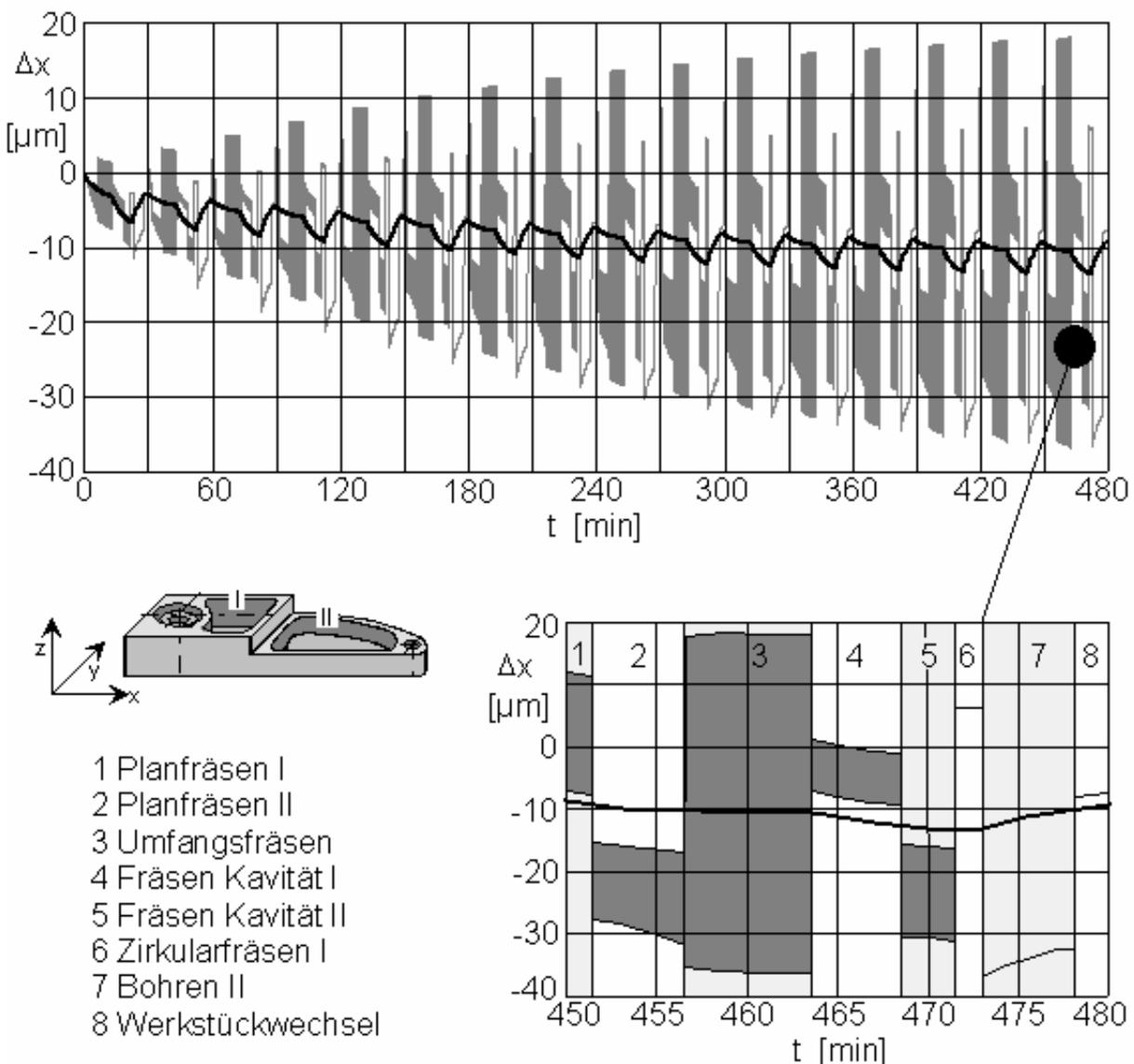


Bild 3: Wirkpunktabweichung Δx für ein Bearbeitungsbeispiel

4.2.7 Simulationsgestützter Entwurf und anwendungsbezogene Optimierung aktiv magnetisch gelagerter elastischer Werkzeugmaschinen-Motorspindeln mit nicht-linearer Systemdynamik

Laufzeit 10/2002 - 03/2006

Finanzierung VolkswagenStiftung

Bearbeiter Dipl.-Ing. Holger Rudolph
Dr.-Ing. Andreas Mühl

Kooperation TU Dresden, Institut für Regelungs- und Steuerungstheorie

Zielstellung

Zur Unterstützung des Entwurfs und der Bewertung des Gesamtsystems "aktiv magnetisch gelagerte Spindel" in Anwendungsfällen, in denen ein nichtlineares Verhalten der Regelstrecke vorliegt, soll eine insbesondere für die Anwendung in der Entwurfsphase des Systems geeignete Simulationsumgebung geschaffen und verifiziert werden. Das Bild zeigt den zur Untersuchung der Magnetspindel und zur Verifikation der Modelle aufgebauten Versuchstand.

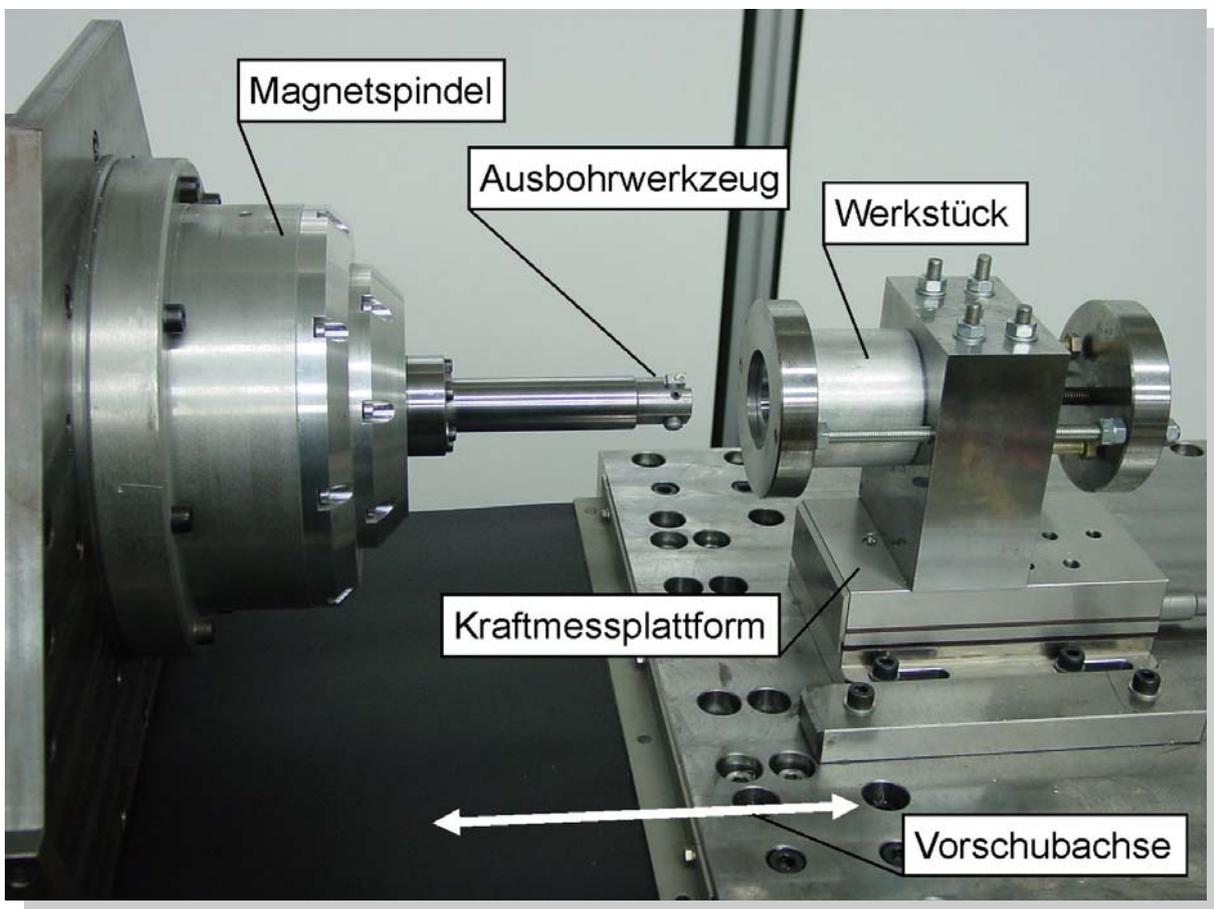
Lösungsweg

Für die Komponenten und Verhaltensbereiche elastischer Spindelkörper, Magnetlager, Verstärker, Hauptantriebsmotor, dynamische Fräskräfte sowie nichtlineare Regler und Beobachter werden verknüpfbare und im Zeitbereich simulierbare Modelle und zugehörige Parametrierungsvorschriften entwickelt und mit Messungen an einer realen Spindel abgeglichen.

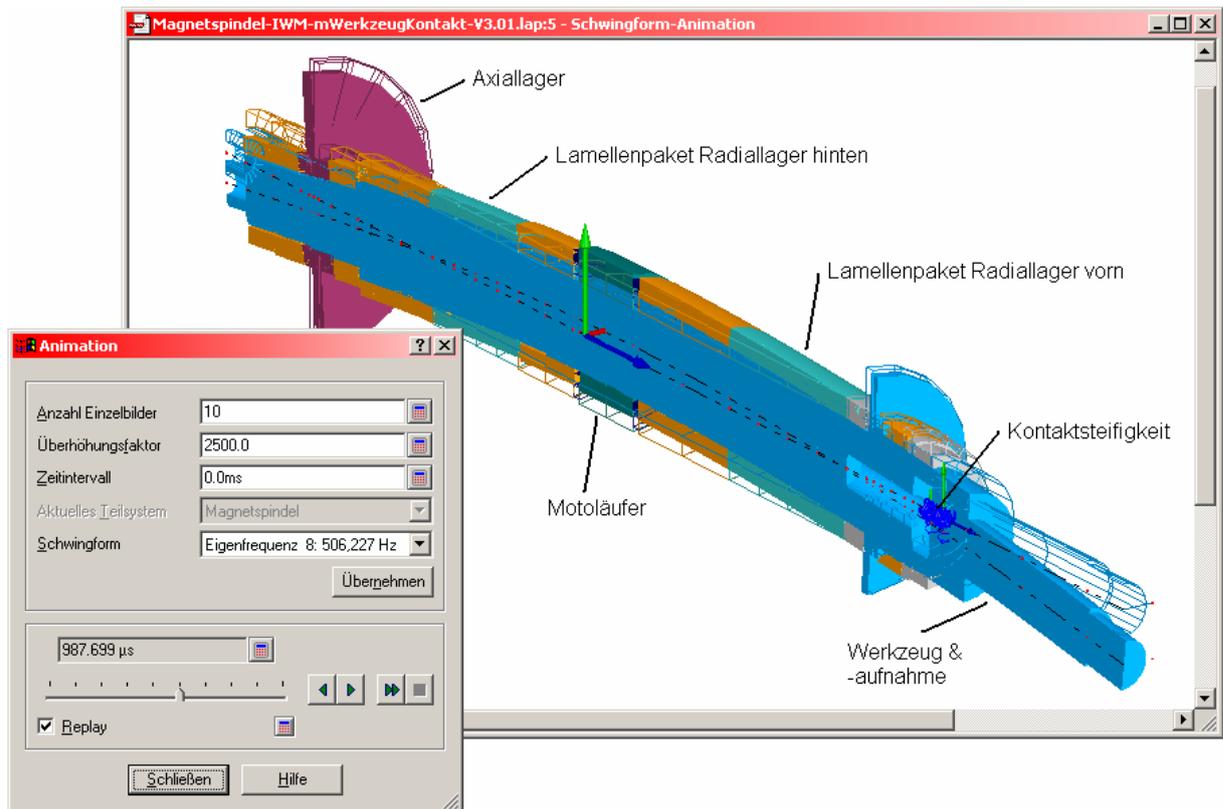
Ergebnisse

Es ist am IWM ein leicht und intuitiv bedienbares FE-Berechnungswerkzeug für ungefesselte elastische Spindelkörper inkl. einer Schnittstelle für den Export modaler Parameter des mechanischen Modells entwickelt worden. Für die Simulation

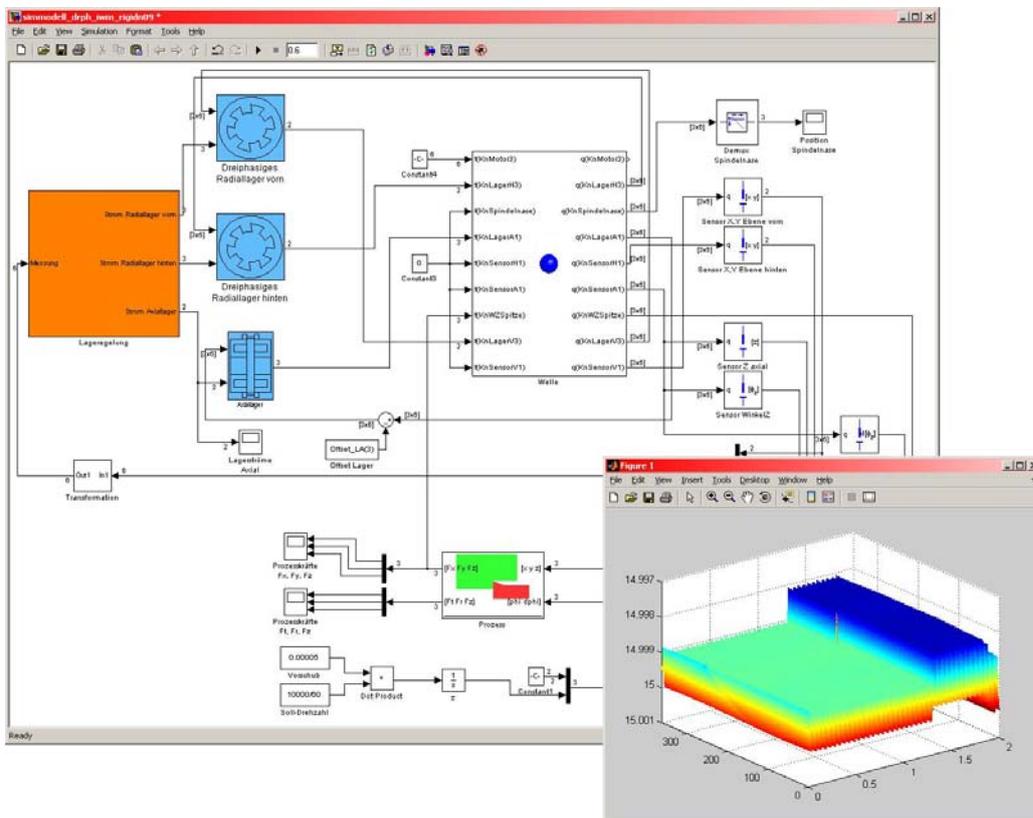
des Gesamtsystems im Zeitbereich entstanden wesentliche Modellkomponenten zur Abbildung elastischer bzw. starrer Rotoren sowie des Zerspanprozesses. Weitere im Lösungsweg genannte Modellobjekte werden am Institut für Regelungs- und Steuerungstheorie entwickelt. Abschließend wird an der Verifizierung des Gesamtmodells und an der Simulation von Ausbohrprozessen unter Variation von Prozessparametern gearbeitet. Das Bild zeigt das Modell der Magnetspindel und die Oberflächenqualität als Ergebnis eines derart simulierten Fertigungsprozesses.



Versuchstand zur Untersuchung des Verhaltens der Magnetspindel im Fertigungsprozess



Magnetspindelmodell mit Darstellung der 1. Biege-Eigenform



Simulationsmodell und -ergebnis zur Oberflächenqualität beim Ausbohren

4.2.8 Wissenschaftliche Grundlagen für ein Mess- und Richtzentrum mit integrierter Bildverarbeitung, parallelkinematischer Bewegungseinrichtung und intelligenter Richtstrategie

Laufzeit 10/2004 - 09/2006

Finanzierung Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungs-
gemeinschaften "Otto von Guericke" (AiF)
PRO INNO II
Kooperationsprojekt "Entwicklung einer technolo-
gischen Gesamtlösung für das Messen und
Richten geschweißter Tragkörper-Bauteile"

Bearbeiter Dipl.-Ing. Volker Möbius
Dipl.-Ing. Mirko Riedel
Dipl.-Ing. Bernd Kauschinger
Dipl.-Ing. Steffen Rehn
Dr.-Ing. Andreas Mühl

Kooperation MAB Maschinen- und Anlagenbau GmbH
automation&assembly technologies GmbH

Zielstellung

Für eine im Fahrzeugbau typische Werkstückgruppe soll eine automatisierbare technologische Gesamtlösung erarbeitet werden.

Lösungsweg

Gemeinsam mit den beteiligten Industriepartnern sollen Möglichkeiten zur Bestimmung vorliegender exemplarischer Fehler an den Demonstrationswerkstücken mit optischen Methoden untersucht werden. Die so ermittelten räumlichen Lagefehler werden gespeichert und aufbereitet. Aus diesen aufbereiteten Werten wird unter Beachtung der Richtungssteifigkeiten der einzelnen Elemente die erforderliche Richtbewegung einer Parallelkinematik ermittelt. Aufbauend auf am IWM geleistete Vorarbeiten zu Einfach-Parallelkinematiken,

optischen Methoden zur Lagebestimmung sowie modellbasierten Steueralgorithmen werden insbesondere für folgende Aufgaben die wissenschaftlichen Grundlagen erarbeitet:

- Geeignete funktionell-konstruktive Gestaltungen für Anordnung und Struktur der Elemente des Hexapoden und der benötigten Funktionskomponenten
- Konstruktionsanforderungen für Aufnahme und Spannung der Werkstücke.
- Erarbeitung einer spezifischen Lösung zur Referenzierung der Lage der Werkstücke im Bewegungsraum des Hexapoden.
- Möglichkeiten und Grenzen der anwendbaren Verfahren der Bilderkennung.
- Bedingungen und Konsequenzen für die Ermittlung und Berücksichtigung der elementbezogenen Richtungssteifigkeiten.
- Problemgerechte Steuerungsalgorithmen und Steuerungsoberflächen.

Für den Testaufbau einer Demonstrationsanwendung wird der am IWM vorhandene Hexapod entsprechend umgerüstet.



Mess- und Richtzentrum

Ergebnisse

Das Thema befindet sich zum Berichtszeitpunkt noch in Arbeit. Es liegen erste Arbeitsergebnisse und Erfahrungen zum Aufbau des optischen Messsystems vor, der Demonstrator ist aufgebaut und es kann mit der Verifizierung der Simulationsergebnisse des Werkstückverhaltens begonnen werden.



Kamera- und Werkstück-Anordnung

4.2.9 Modellgestützte Kompensation von thermisch bedingten Verlagerungen in Echtzeitfähigkeit

Laufzeit 03/2005 - 02/2007

Finanzierung Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungs-
gemeinschaften "Otto von Guericke" (AiF)
PRO INNO II
Kooperationsprojekt "Genauigkeitssteigerung an
Bohr- und Fräsmaschinen durch modellgestützte
Kompensation thermisch bedingter Verlagerun-
gen; Modellgestützte Kompensation von ther-
misch bedingten Verlagerungen in Echtzeit"

Bearbeiter Dr.-Ing. Günter Jungnickel
Dipl.-Ing. Steffen Rehn

Kooperation UNION Werkzeugmaschinen GmbH Chemnitz
Zielstellung

An Großmaschinen führt neben den internen Wärmequellen und den Einflüssen des Bearbeitungsprozesses vor allem der Umgebungseinfluss zu großen thermisch bedingten Wirkpunkt-
abweichungen. Für ein Bohrwerk ist eine thermische Korrektur
als Softwarelösung aufzubauen. Auf Grund der großen Achswege
ist eine positionsabhängige Korrektur notwendig. In einer ersten
Stufe werden die thermisch bedingten Längenfehler der
Bohrspindel-Achse betrachtet. In der Fortsetzung werden die
erreichten Ergebnisse in ein Korrekturprogramm für die kom-
plette Maschine eingearbeitet.

Lösungsweg

Der Korrektur wird ein strukturbasiertes Zustandsmodell der
Maschine zugrunde gelegt. Der Vorteil dieser Methode
gegenüber korrelativen Zustandsmodellen besteht in der
Abbildung beliebiger thermischer Lastverläufe und Rand-
bedingungen und der durch die Vorschubbewegungen bedingten
Strukturänderungen. Der letztgenannte Punkt ermöglicht
überhaupt erst den Aufbau einer positionsabhängigen Korrektur.

Aus der Simulation des Temperaturfeldes in Echtzeit wird positionsabhängig der Längenfehler am Wirkpunkt bestimmt. *Bild 1* zeigt für das untersuchte Bohrwerk die simulierten Wirkpunktabweichungen über dem Arbeitraum als Folge von Temperaturunterschieden in der Maschinenumgebung. Diese Werte werden der Steuerung zur Realisierung der Korrektur übergeben.

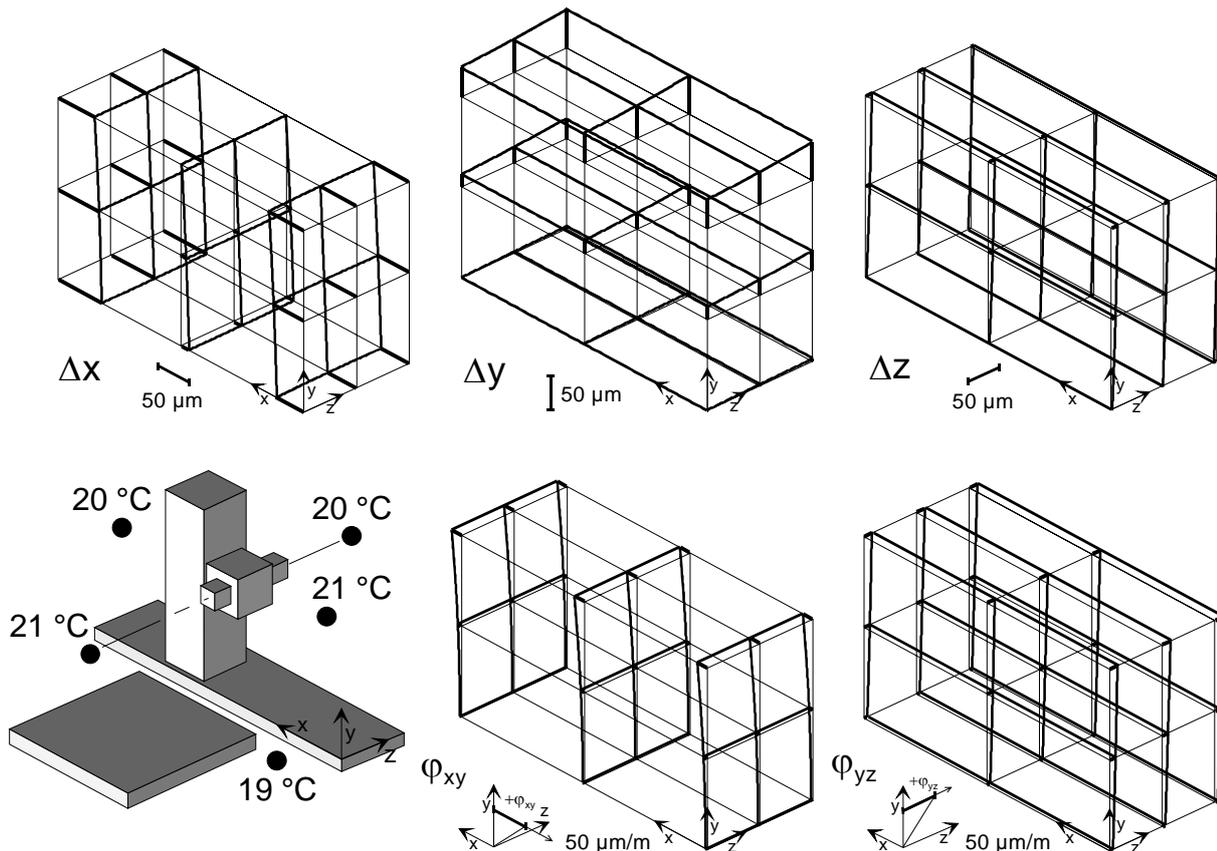


Bild 1: Simulierte Wirkpunktabweichungen an einem Bohrwerk bei Temperaturgradienten in der Umgebung

Ergebnisse

Gemeinsam mit dem Steuerungshersteller wurden die Voraussetzungen für eine Implementation des Korrekturkonzeptes geklärt. Als Ergebnis der beiden ersten Projektstufen liegen das strukturbasierte Zustandsmodell eines Bohrwerk-Spindelstocks und eines Bohrwerkes vor.

Gegenwärtig laufen die Inbetriebnahme der Korrektur beim Anwender und Versuche zur erreichbaren Genauigkeit, siehe *Bild 2*.

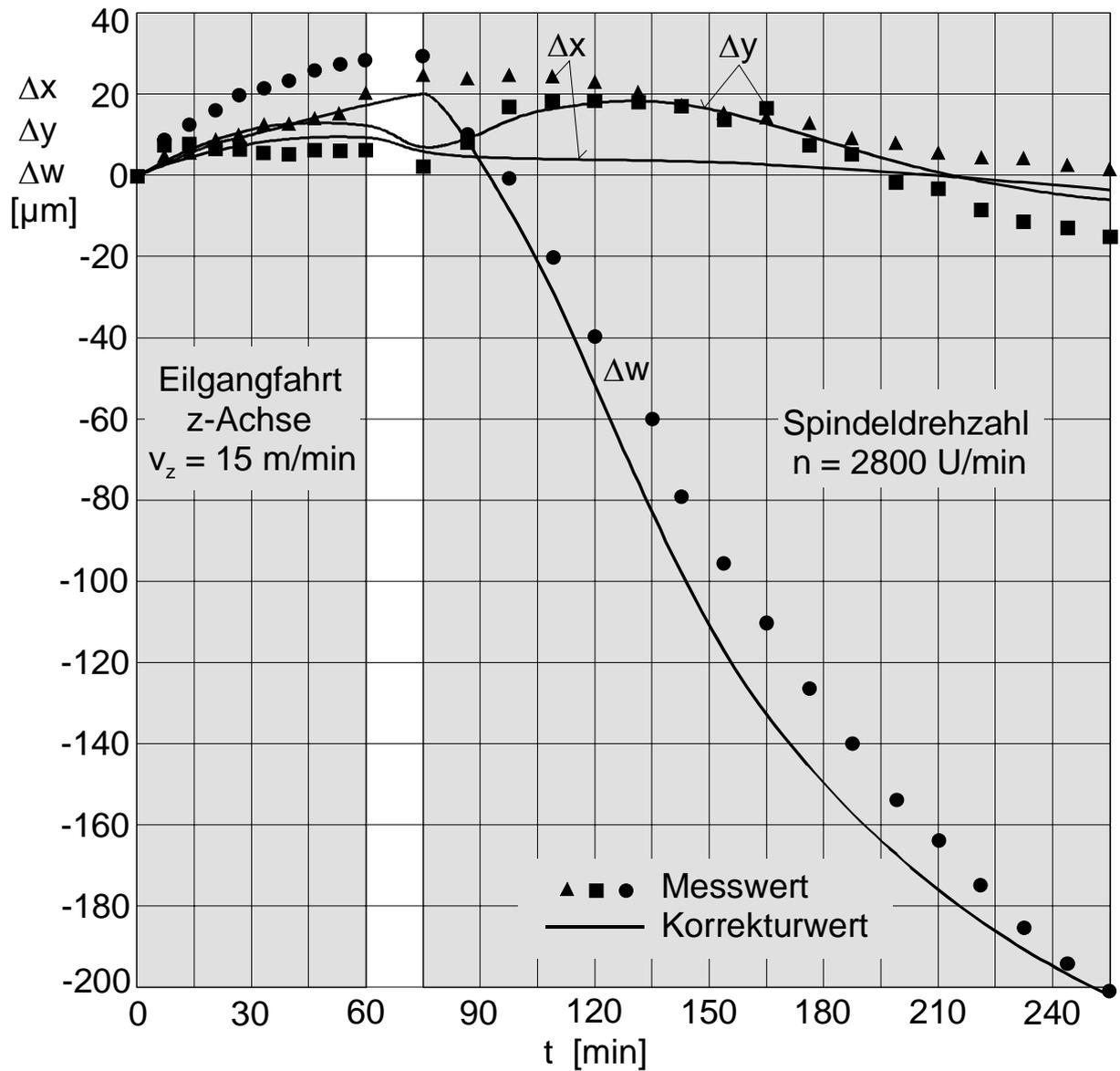


Bild 2: Wirkstellenverlagerungen und Korrekturwerte bei einem Eilgang- und Drehzahlversuch

4.2.10 Korrektur thermischer Verformungen an einem Bearbeitungszentrum

Laufzeit	01/2002 - 07/2005
Finanzierung	Industrie
Bearbeiter	Dr.-Ing. Günter Jungnickel Dipl.-Ing. (BA) Andreas Richter

Zielstellung

Für ein Bearbeitungszentrum war eine thermische Korrektur als Softwarelösung aufzubauen. Diese Maschine besitzt drei translatorische und mit der Rundtisch- und Schwenkeinheit zwei rotatorische lagegeregelte Vorschubachsen, welche für die Ausführung der thermischen Korrektur genutzt werden sollen. Als wesentliche Wärmequellen und Einflussgrößen kommen die Hauptspindel, die Vorschubantriebe, der Zerspanungsprozess mit Prozesskühlung, das Kühlregime der Antriebsmotoren und die Umgebungstemperatur in Betracht.

Lösungsweg

Der Korrektur wird ein strukturbasiertes Zustandsmodell der Maschine zugrunde gelegt. Der Vorteile dieser Methode gegenüber korrelativen Zustandsmodellen besteht in der Verarbeitung beliebiger thermischer Lastverläufe und Randbedingungen. An einem thermischen Knotenpunktmodell nach *Bild 1* erfolgt prozessparallel die Berechnung des Temperaturfeldes mit den aktuellen Lastdaten wie Drehzahlen und Leistungen der motorischen Antriebe, Position der Achsen und Signalgrößen zur Beschreibung des Maschinenzustandes, zum Kühlmiteleinsetz, zur Arbeitsraumtür usw. Weitere unumgängliche Eingangsgößen sind die Umgebungstemperatur und die Vorlaufemperatur der Fluidkreisläufe. Aus dem Temperaturfeld der Maschine lassen sich mit vereinfachenden Ansätzen die thermischen Verformungen der Bauteile und die thermisch bedingten Abweichungen am Wirkpunkt Werkzeug/Werkstück ermitteln. Diese Abweichungen werden in der Maschinensteuerung zur Korrektur der Achspositionen genutzt.

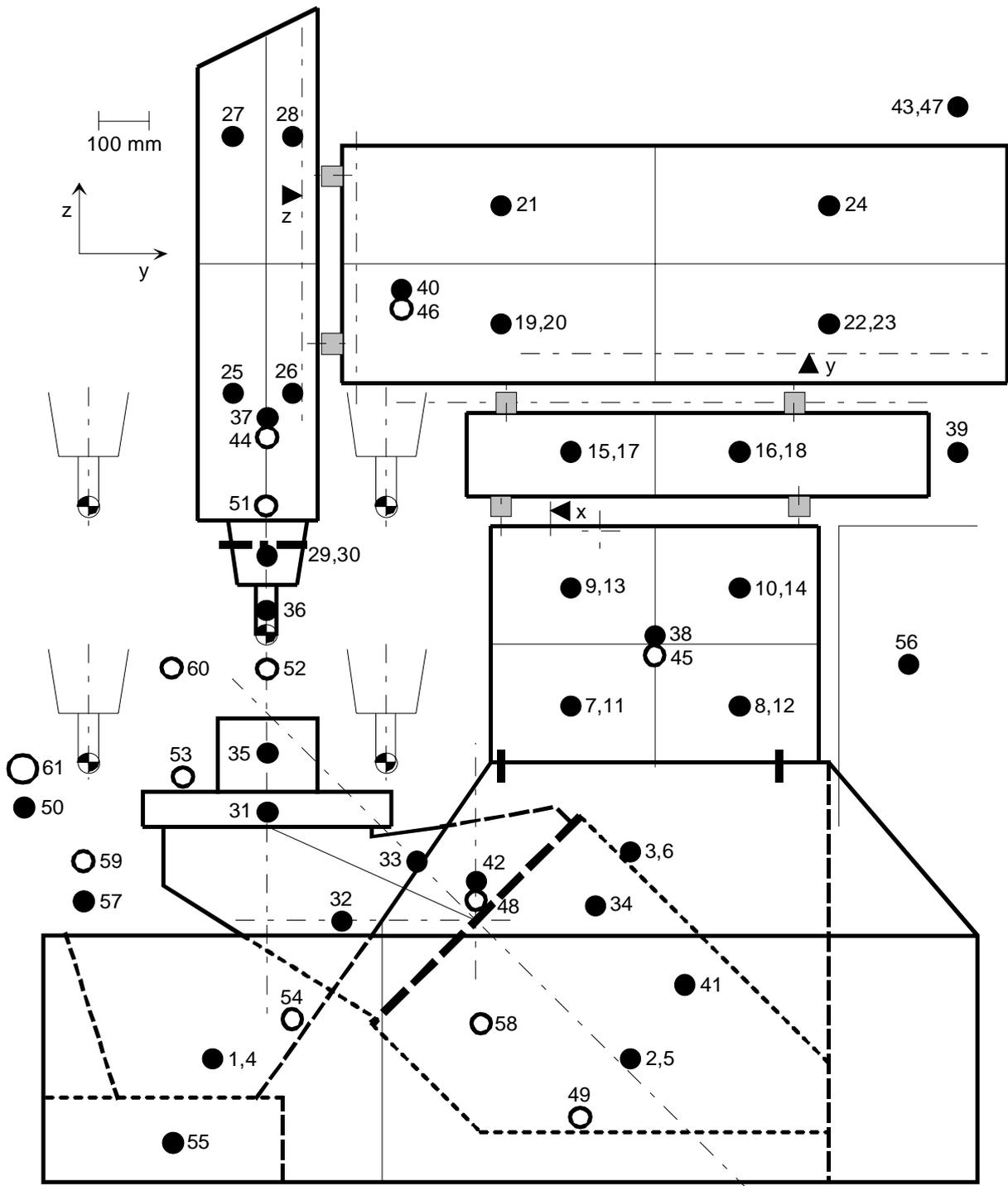


Bild 1: Knotenpunktplan für das Bearbeitungszentrum

Ergebnisse

Das Zustandsmodell wurde entwickelt und getestet, siehe *Bild 2*. Das Kompensationsprogramm ist als WIN32-DLL ausgeführt. Beim Anwender laufen Versuche zur erreichbaren Genauigkeit und Maßnahmen für eine industrietaugliche Integration in die Maschinensteuerung.

Im vorliegenden Projekt waren nur die translatorischen Abweichungen zu korrigieren. Die Maschine wird in der Mittelstellung der Vorschubachsen bei waagerechter Tischlage betrachtet, wobei jedoch die durch die Vorschubbewegungen hervorgerufenen Verlustleistungen berücksichtigt werden. Die Einbeziehung der mit den Achsbewegungen verbundenen Strukturänderung im thermischen Modell und der Aufbau einer positionsabhängigen Arbeitsraumkorrektur sind für ein Folgeprojekt vorgesehen.

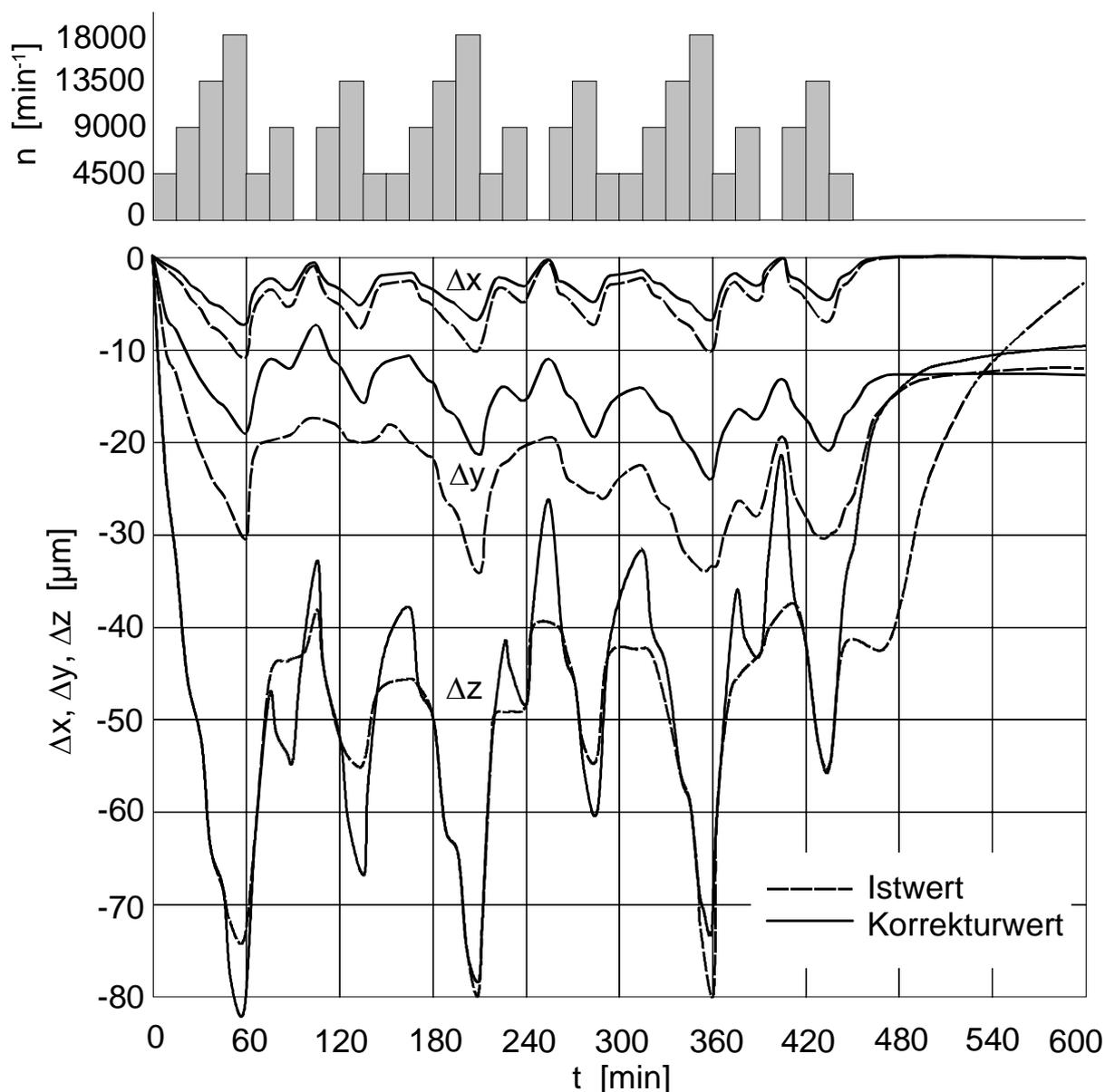


Bild 2: Wirkstellenverlagerung bei einem Drehzahlspektrum nach DIN V 8602

4.2.11 Dynamische Maschinenuntersuchung mittels Experimenteller Modalanalyse

Laufzeit laufend

Finanzierung Industrie

Bearbeiter Dr.-Ing. Andreas Mühl
Dipl.-Ing. Michael Löser

Zielstellung

Das IWM misst und visualisiert im Industrieauftrag an spanenden und umformenden Werkzeugmaschinen sowie an sonstigen dynamisch belasteten Maschinen, Anlagen und Gehäusestrukturen deren Eigenfrequenzen, zugehörige Eigenschwingungsformen sowie Betriebsschwingungsformen, letztere bei Erregung der Maschine durch den Prozess selbst. Zum Analyseumfang gehören, je nach konkreter Aufgabenstellung, die Herstellung kausaler Zusammenhänge zwischen den ggf. auftretenden Fehlern am Werkstück sowie den Begrenzungen der Dynamik in den Bewegungsvorgaben der Maschine einerseits und den gemessenen Eigen- und Betriebsschwingungsformen andererseits. Je nach konkreter Aufgabenstellung werden auf Basis dieser Messungen und Visualisierungen z. B.

- das dynamische Verhalten von Gestell-, Antriebs- und Führungsstrukturen bewertet und Vorschläge zu deren Verbesserung aus strukturdynamischer Sicht erarbeitet,
- dynamisch kritische Komponenten wie z .B. Bestandteile von Getriebezügen während des Betriebes der Maschine oder Anlage identifiziert, deren Verhalten diagnostiziert und Vorschläge zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens erarbeitet.

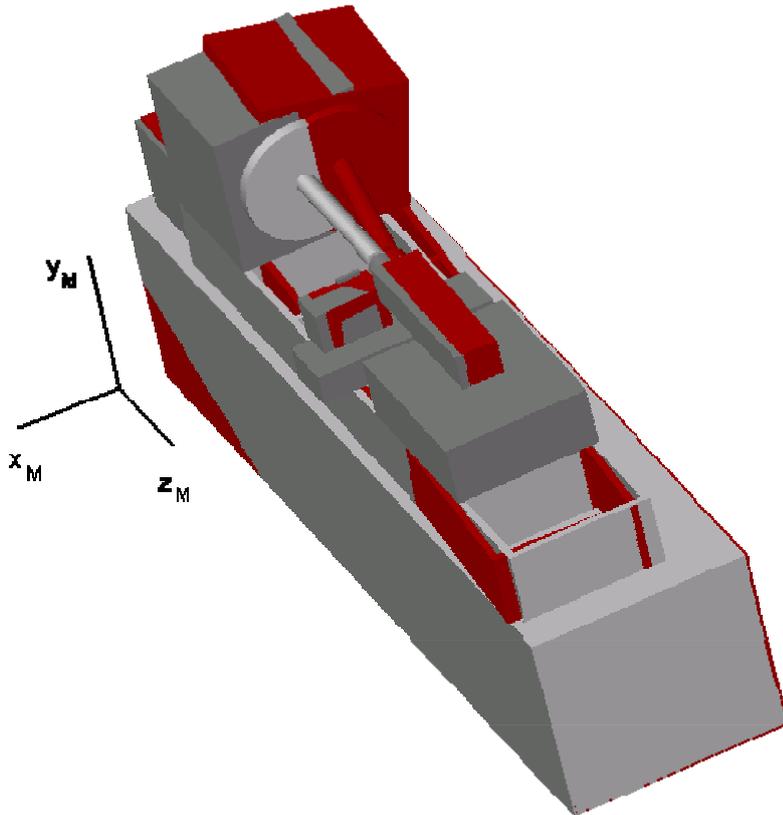
Lösungsweg

Aufgabenstellungen dieser Art werden mittels experimenteller Modalanalyse und zugehöriger Auswertungen gelöst. Experimentelle Modalanalysen gehören zu den Standard-Aufgabenstellungen am IWM und werden mit entsprechend verfügbarer

Erregungs-, Mess- und Signalverarbeitungstechnik sowie gestützt auf langjährige Erfahrung durchgeführt.

Ergebnisse

Das *Bild* zeigt eine gemessene und anschließend visualisierte Eigenschwingungsform einer Großdrehmaschine.



Beispiel einer visualisierten Eigenschwingungsform einer Großdrehmaschine

4.3 AG Steuerungstechnik

4.3.1 Effiziente Kalibrierung von Parallelkinematiken einfacher Bauart mit dem Double-Ball-Bar

Laufzeit 07/2004 - 06/2006

Finanzierung Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
SPP 1099 Fertigungsmaschinen mit Parallelkinematik

Bearbeiter Dr.-Ing. Bernd Kauschinger
Dipl.-Ing. Volker Möbius
MSc. Szabolcs Szatmári

Zielstellung

Die Bewegungsgenauigkeit von Parallelkinematiken wird im Gegensatz zu seriellen Strukturen nicht durch die Genauigkeit des Führungssystems bestimmt sondern durch die genaue Kenntnis der geometrischen Parameter im kinematischen Modell der Steuerung. Damit ist prinzipiell eine deutliche Reduzierung von Fertigungs- und Montageaufwendungen möglich. Eine anschließende exemplarische Vermessung der Baugruppen scheitert jedoch daran, dass die Gelenkpunkte auf wirtschaftliche Weise einer direkten Messung in der nötigen Genauigkeit nicht zugänglich sind. Hohe Fertigungs- und Montagegenauigkeiten führen andererseits aber zu teuren und damit meist unwirtschaftlichen Lösungen, die einen breiten Durchbruch von Parallelkinematiken im industriellen Einsatz noch immer behindern. Die Alternative besteht in der indirekten Vermessung der Bewegungsgenauigkeit mit anschließender Identifikation der geometrischen Parameter aus den Messwerten, der so genannten kinematischen Kalibrierung. Trotz der Vielzahl bereits veröffentlichter Kalibrieransätze existiert bisher noch kein praxistaugliches, wirtschaftliches Verfahren. Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung der Grundlagen für ein automatisierbares Kalibrierverfahren auf Basis des Double-Ball-Bar als einfaches und

robustes Messmittel. Dies soll eine effiziente, d. h. schnelle, wirksame, preiswerte und damit wirtschaftliche Kalibrierung von Parallelkinematiken, vor allem einfacher Bauart, ermöglichen.

Lösungsweg

Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1099 wurde am IWM Dresden bereits ein alternatives Genauigkeitskonzept entwickelt und erfolgreich am Hexapod einfacher Bauart FELIX erprobt. Es beinhaltet die modellbasierte Korrektur geometrisch-kinematischer, elastischer und thermischer Bewegungsfehler in der NC-Steuerung. Damit wurde die Bewegungsgenauigkeit praktisch nachweisbar verbessert. Auf dieser Basis ist nun die wirksame Kalibrierung des kinematischen Modells möglich. Die mit dem Double-Ball-Bar gemessenen Bewegungsfehler werden bereits während der Messung durch modellbasierte Korrekturen in der Steuerung weitgehend um elastische und thermische Anteile bereinigt. Die Identifikation der kinematischen Parameter erfolgt durch nichtlineare Optimierung mit genetischen Algorithmen. Voraussetzung dafür sind Kinematik-spezifisch optimale Messbahnen, die nicht nur repräsentativ sein müssen für den gesamten Bewegungsraum, sondern in denen die zu identifizierenden Parameter auch ausreichende Sensitivität und Orthogonalität aufweisen müssen. Hinsichtlich Stabilität und Konvergenz sind die genetischen Algorithmen an das Kalibrierproblem angepasst. Die prinzipielle Funktionsfähigkeit dieses Konzeptes wurde bereits im Rahmen von Vorarbeiten verifiziert. Inhaltlich ergeben sich vier Arbeitsschwerpunkte (*Bild 1*):

- Systematische Untersuchungen zur Kinematik-spezifischen Generierung optimaler Messbahnen: Sensitivitäts- und Orthogonalitätsanalysen im Arbeitsraum (AR),
- automatisierte Messabläufe mit dem Double-Ball-Bar (DBB),
- Parameteridentifikation mit angepassten genetischen Algorithmen sowie
- der exemplarische Nachweis an verschiedenen Parallelkinematiken (PKM).

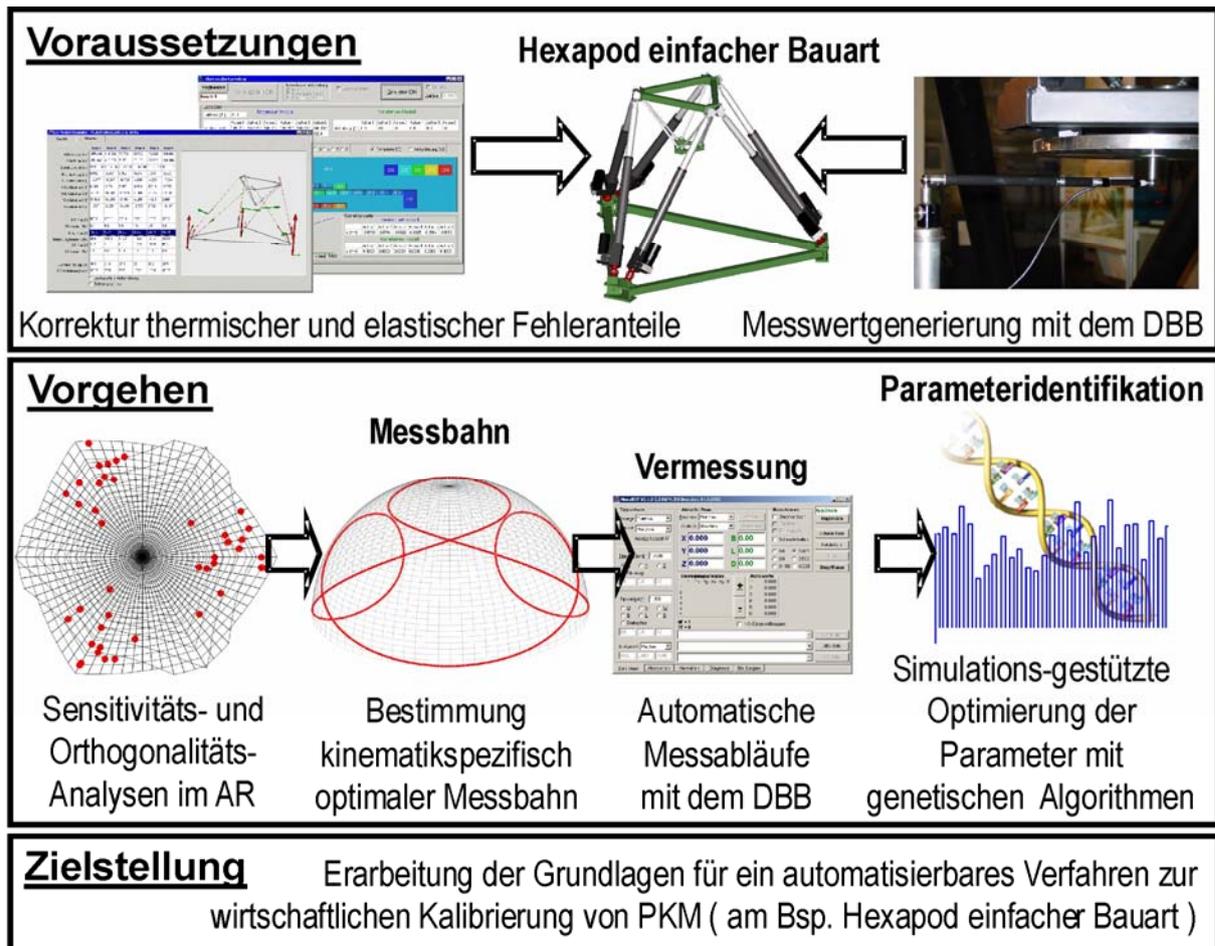
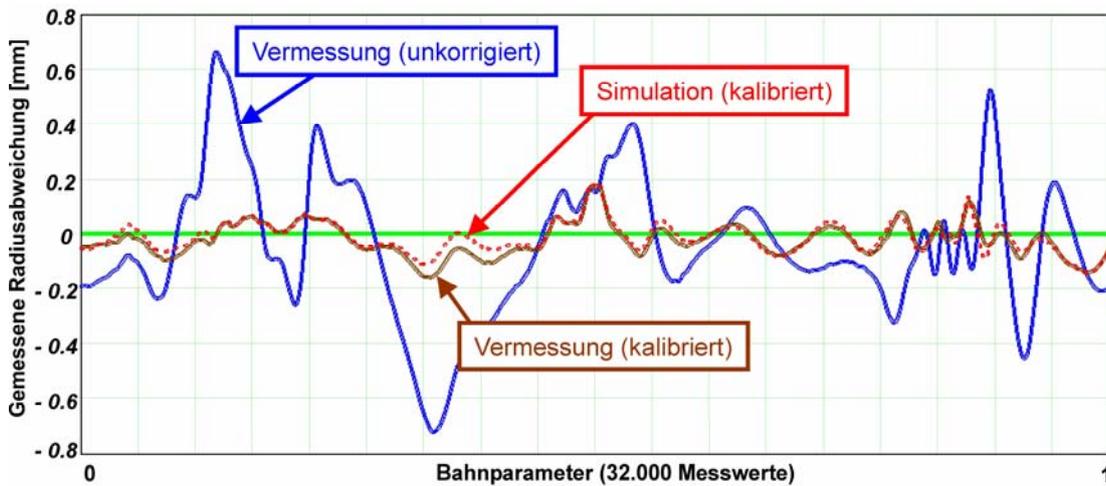


Bild 1: Basis, Vorgehen und Zielstellungen des Verfahrens

Ergebnisse

Als Ergebnis der Sensitivitäts- und Orthogonalitätsanalyse lassen sich Einzelposen im Arbeitsraum selektieren an denen die kinematischen Parameter (Fehler) am stärksten wirken. Durch Verbindung dieser Posen zu einer Trajektorie auf der mit dem DBB vermessbaren virtuellen Kugeloberfläche sowie Interpolation zusätzlicher Zwischenposen lässt sich die Messbahn generieren. Die Messwerte einer Vermessung mit dem DBB werden vom Messrauschen bereinigt (gefiltert) und für die Parameteridentifikation vorbereitet. Elastisch und thermisch bedingte Fehleranteile werden im Rahmen einer steuerungsintegrierten, modellgestützten Korrektur behandelt, die den Gegenstand des Vorgängerprojektes am IWM, "Analyse, Simulation und Korrektur fertigungsrelevanter Eigenschaften an Parallelkinematiken einfacher Bauart", im DFG-SPP 1099 bildete. Die Parameteridentifikation erfolgt auf Basis genetischer Algorithmen.

men, die hinsichtlich Stabilität und Konvergenz an das Kalibrier-



problem angepasst wurden. Als Ergebnismachweis der Kalibrierung erfolgte die Vermessung an einer am IWM verfügbaren Parallelkinematik (*Bild 2*). Diese zeigt eine deutliche Verbesserung der Positioniergenauigkeit nicht nur entlang der Referenzbahn, sondern auch auf Kreisbahnen im gesamten Arbeitsraum (*Bild 3*).

Bild 2: Ergebnismachweis der Kalibrierung

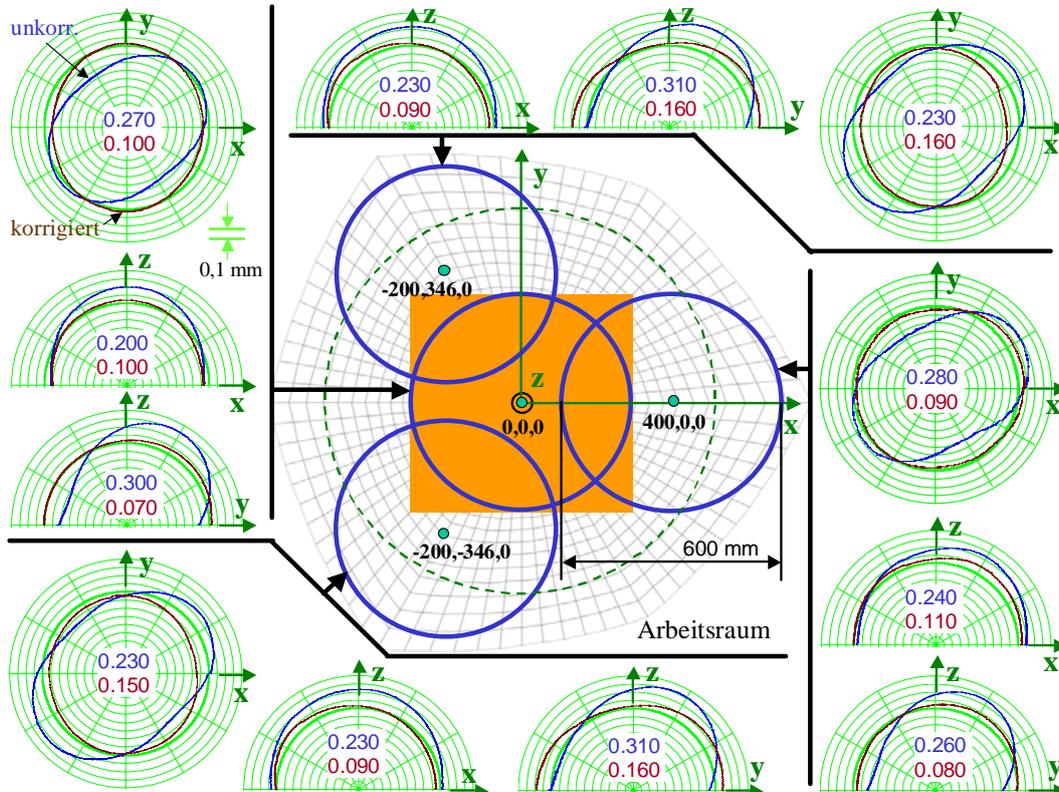


Bild 3: Genauigkeitsbewertung mit ebenen Kreisbahnen

4.3.2 Verfahrensalternativen und Genauigkeitsbedingungen zur räumlichen Referenzierung in Werkzeugmaschinen

Laufzeit 10/2004 - 09/2006

Finanzierung Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Bearbeiter Dr.-Ing. Bernd Kauschinger

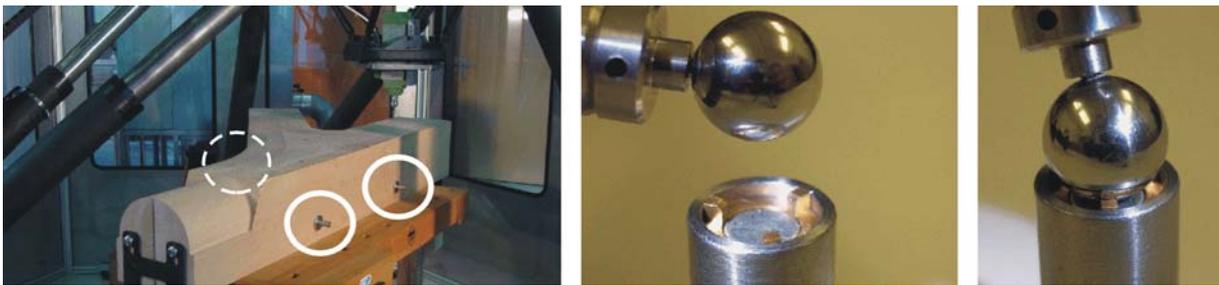
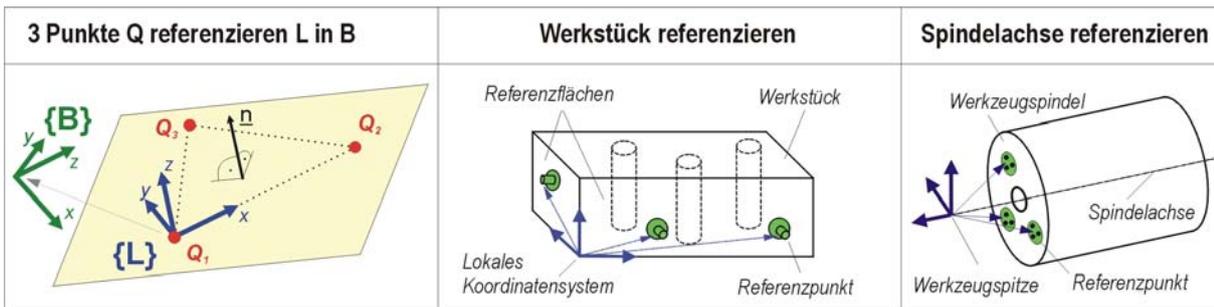
Zielstellung

In der Fertigung steigt durch zunehmende Individualisierung der Produkte die Fertigungskomplexität und die Losgrößen verringern sich - im Extremfall bis zur Stückzahl "Eins". Anteilig nehmen dadurch unproduktive Nebenzeiten zu. Eine nachhaltig wirtschaftliche Fertigung erfordert somit flexible sowie schnell und einfach rekonfigurierbare Fertigungseinrichtungen. Dafür müssen wirtschaftliche Alternativen erschlossen werden. Ein Schlüssel dazu liegt in effizienten technologischen Abläufen sowie in der Ausnutzung des Bewegungsvermögens von Werkzeugmaschinen. Enorme Einsparpotenziale bietet dabei das Referenzieren von Werkstücken, Werkzeugen und Zusatzeinrichtungen, wenn dafür schnelle, preiswerte, genaue und vor allem automatisierte Verfahren eingesetzt werden. Derzeit übliche Verfahren erfüllen diese Forderungen nur teilweise. Vorhabensziel war die Entwicklung, Untersuchung und Erprobung eines alternativen Referenzierungsverfahrens für Werkstücke, Werkzeuge und Zusatzeinrichtungen im Arbeitsraum einer Werkzeugmaschine.

Lösungsweg

Arbeitsinhalt war, ausgehend von den Vorarbeiten, die Entwicklung der erforderlichen Berechnungs- und Auswertungsgrundlagen sowie die Untersuchung der Genauigkeitsbedingungen. Anschließend erfolgte auf einer am IWM Dresden vorhandenen 6achsigen Werkzeugmaschine eine zweistufige Umsetzung zur Demonstration und experimentellen Untersuchung des neuen Verfahrens. Im ersten Schritt wurde das Verfahren manuell realisiert um den praktischen Funktionsnachweis zu erbringen und Anforderungen für die Verfahrenauto-

omatisierung abzuleiten. Im zweiten Schritt wurde das Verfahren automatisiert umgesetzt und bezüglich Zeitbedarf, Genauigkeit und Bedienbarkeit optimiert. Darüber hinaus erfolgten vergleichende Untersuchungen zu dem etablierten Verfahren des Antastens mit einem Messtaster. Basis für die hier betrachtete Referenzierung ist die Ermittlung der Koordinaten von (mindestens) drei Referenzpunkten am zu referenzierenden Teil.



*Bild 1: oben: Drei Punkte genügen zur eindeutigen Referenzierung eines Teils
unten: Präzisionskugeln in magnetischen Dreipunktaufnahmen als physische Repräsentation der Referenzpunkte*

Über die relativen Bezüge dieser Punkte kann das gesuchte lokale Koordinatensystem eindeutig bestimmt werden (Bild 1, oben). Die Messaufgabe reduziert sich dann darauf, die Koordinaten dieser (physisch geeignet repräsentierten) Referenzpunkte zu bestimmen. Die physische Repräsentation gelingt vorteilhaft mit Präzisionsstahlkugeln, wie sie beispielsweise in Kugellagern verwendet werden. Deren Mittelpunkt kann aus beliebigen Richtungen vermessen werden. Die Fixierung der Kugeln erfolgt in magnetischen Dreipunktaufnahmen (Bild 1, unten). Dadurch ist eine einfache Anbringung mit sehr hoher Wiederholgenauigkeit gegeben.

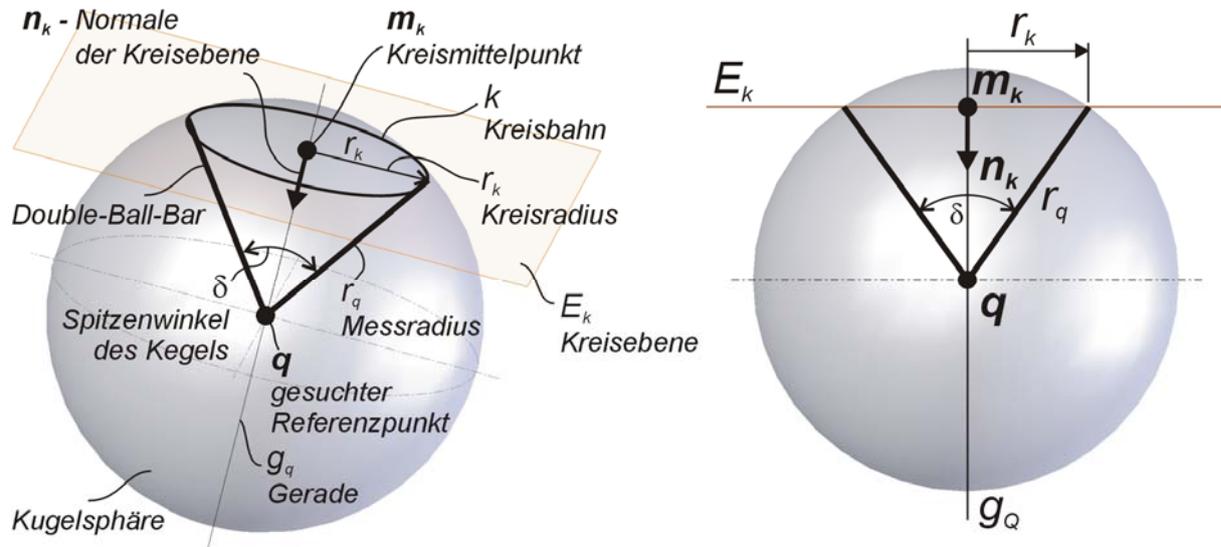


Bild 2: Grundlagen zur Referenzpunktvermessung mit dem Double-Ball-Bar

Die Ermittlung der Referenzpunktkoordinaten erfolgt durch automatisierte Vermessung mit einem Double-Ball-Bar (DBB). Dieser misst quasikontinuierlich den räumlichen Abstand zwischen dem Mittelpunkt der zu referenzierenden, feststehenden Kugel und einer weiteren, bewegten Kugel am Endeffektor der Bewegungseinrichtung. Letztere wird dazu auf einer räumlichen Kreisbahn geführt, wobei für spezielle Kreisbahnen mit dem DBB keine Abstandsänderung messbar ist. Dies gilt für alle Kreise \mathbf{k} , die sich als Schnittkontur zwischen einer Ebene \mathbf{E}_k und einer Kugelsphäre ergeben, die den gesuchten Referenzpunkt \mathbf{q} als Mittelpunkt und die Messlänge des DBB \mathbf{r}_q als Radius hat (Bild 2).

Ergebnisse

Mit dem entwickelten Messverfahren ist es möglich, ausgehend von einer Startschätzung der Referenzpunktkoordinaten, eine geeignete räumliche Kreisbahn und damit auch die Koordinaten des gesuchten Referenzpunktes mit hoher Genauigkeit und Wiederholbarkeit zu bestimmen. Die Ermittlung der Startschätzung der Referenzpunktkoordinaten ist dabei ebenso automatisiert möglich wie die iterativ ablaufende Generierung und Vermessung der räumlichen Kreisbahnen. Die Interaktion des Bedieners bleibt auf das Einsetzen bzw. Entfernen des DBB

beschränkt. Diese Bedieninteraktion kann durch einen größeren Messbereich des DBB, der bei dem im Projekt verwendeten *Renishaw QC10* nur ± 1 mm betrug, weiter vereinfacht werden. Das neue Messverfahren wurde in experimentellen Untersuchungen verglichen mit einem konventionellen Messverfahren zur Bestimmung der Kugelmittelpunkte, und zwar durch Antasten mit einem Messtaster. Die Ergebnisse zeigen, dass die erreichbare Messgenauigkeit bei beiden Messverfahren in der gleichen Größenordnung liegt. Diese wird in erster Linie durch die Positionier- und Wiederholgenauigkeit der Bewegungseinrichtung bestimmt (*Bild 3*). Darüber hinaus ergab sich aus analytischen Untersuchungen für beide Messverfahren ein deutlich höheres Genauigkeitspotential, das unterhalb der mit Werkzeugmaschinen praktisch realisierbaren Bewegungsgenauigkeiten liegt. Weiterhin zeigte sich aber auch, dass beim Antasten mit dem Messtaster nicht nur umfangreichere Bedieninteraktionen nötig sind sondern im Hinblick auf Sicherheit und Reproduzierbarkeit auch eine deutlich höhere Aufmerksamkeit und Konzentration des Bediener, wodurch die Fehleranfälligkeit prinzipiell erhöht wird.

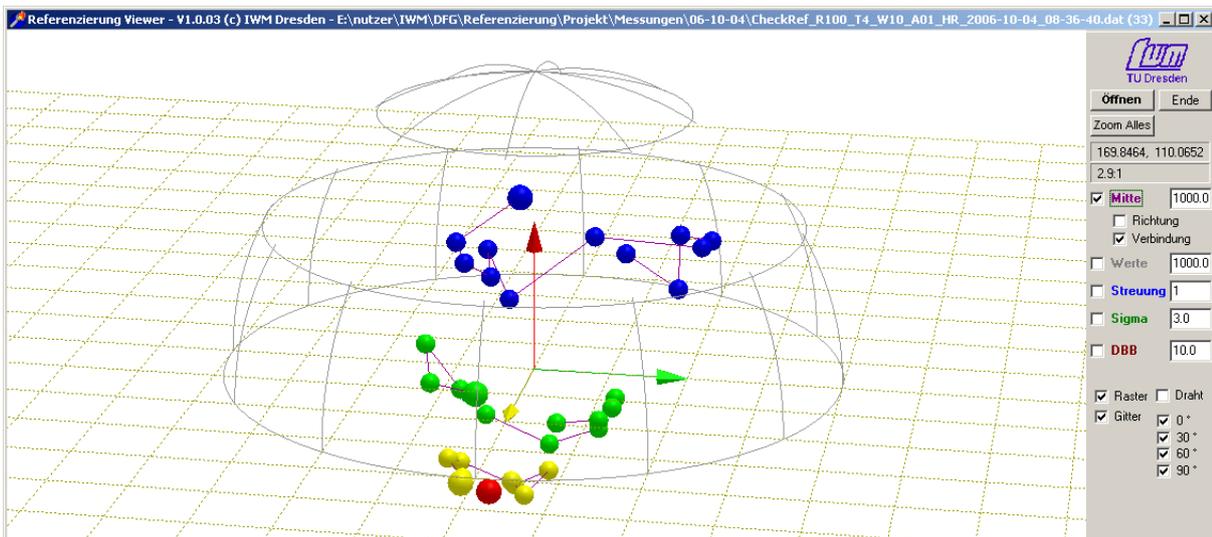
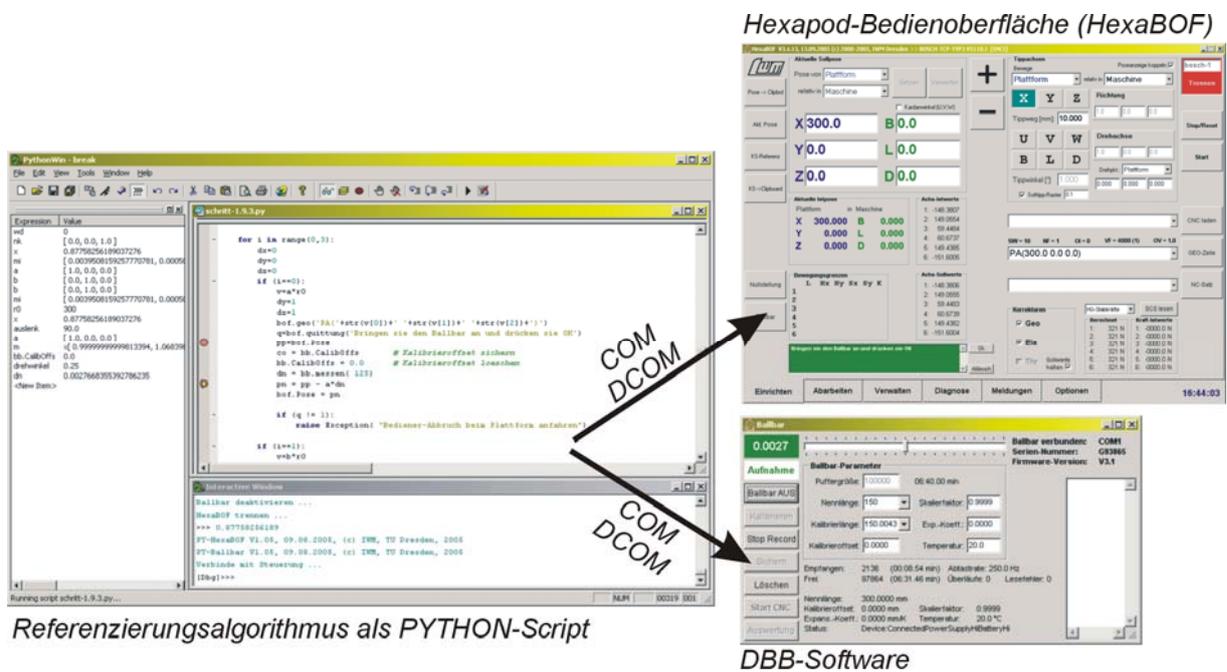


Bild 3: 3D-Auswertesoftware – Ermittelte Koordinaten bei Vermessung aus 33 unterschiedlichen Richtungen (stark überhöhte Darstellung)

Für die Automatisierung der einzelnen Verfahrensteile wurde die benötigte Bewegungsfunktionalität über einen COM/DCOM-Server bereitgestellt. Ein weiterer COM/DCOM-Server wurde für die Ansteuerung des DBB entwickelt. Das Messverfahren selbst wurde unter Nutzung von *Python*-Scripten implementiert und automatisiert, einer objektorientierten Scriptsprache, die im Internet frei verfügbar ist (derzeit Version 2.5). Zusätzlich wurden die Windows-Erweiterung *PyWin* für Funktionsaufrufe über COM/DCOM sowie *NumPy* zur Datenauswertung mittels Diskreter Fourier-Transformation (DFT) eingesetzt (*Bild 4*).



Referenzierungsalgorithmus als PYTHON-Script

DBB-Software

Bild 4: Softwareseitige Umsetzung des Referenzierungsverfahrens

Der Zugriff auf die Funktionalität der Steuerungssoftware und des DBB wurden in speziellen Python-Objekten gekapselt, als Grundlage für einen transparenten und problemorientierten Script-Code. Zusätzlich wurden Python-Objekte für 3D-Berechnungen entwickelt, die einen einfachen Umgang mit räumlichen Vektoren, Rotationsmatrizen und Koordinatensystemen bei der Bewegungsprogrammierung, bei Zugriffen auf die Bewegungsfunktionalität des Hexapod sowie bei statistischen Auswertungen der räumlichen Vermessung gestatten.

4.3.3 **Regelung der Ziehstabhöhe beim Ziehen von Blechformteilen zur Erzielung ebener Zargenflächen**

Laufzeit 11/2006 - 02/2007

Finanzierung Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Bearbeiter Dr.-Ing. Bernd Kauschinger
Dipl.-Ing. Christian Blaich (IFU Stuttgart)

Kooperation Universität Stuttgart, Institut für Umformtechnik

Zielstellung

Wenn Blechformteile mit geraden Zargenabschnitten tiefgezogen werden, kommt es oftmals zu einer Beeinträchtigung der Ziehteilqualität durch Formabweichungen in der Zarge (Falten 2.Art). Die Ursache dafür liegt in der nicht vollständigen Plastifizierung des Umformgutes über dem Zargenquerschnitt. Konventionelle Ziehtechnik (Stempel, Ziehring, Niederhalter) kann dies nur begrenzt leisten, da eine Erhöhung der Niederhalterkraft eher zu Reißen am Werkstück führt. Eine Alternative besteht im Aufbringen zusätzlicher Zugspannungen gegen Ende des Ziehprozesses. Dies ist möglich mit Hilfe von Ziehsicken und in der Höhe verstellbaren Ziehsickenstäben. Dadurch wird die Zarge gereckt, und somit plastisch nachverformt, was zur Minimierung der Formabweichungen führt. Voruntersuchungen haben gezeigt, dass sich die Ebenheit der Zarge mit der Höhe der wirkenden Zargenspannungen verbessern lässt, wobei unerheblich ist, über welchen Ziehweg die maximale Zargenspannung wirkt; sie muss nur am Ende des Ziehprozesses wirken. Neben der Form von Ziehsicke und Ziehsickenstab wird die Längsspannung in der Zarge auch durch die Änderung tribologisch relevanter Eingangsparameter (Schmierstoffart und -menge pro Fläche, Blechoberflächen usw.) und durch die Eigenschaften des Blechwerkstoffes beeinflusst. Eine *gesteuerte* Verstellung der Ziehsickenstabhöhe abhängig vom Stempelweg (sogenanntes Shape-Set) kann auf diese Einflüsse nicht reagieren und ermöglicht dadurch nur in begrenztem Maße eine sichere und

robuste Prozessführung. Ein Ziel des Projektes war es deshalb, die Zargenspannung durch Höhenverstellung von Ziehsickenstäben auf einen vorgegebenen Verlauf zu regeln und den Nachweis zu erbringen, dass dies auch unabhängig von Schwankungen tribologisch relevanter Eingangsparameter möglich ist. Dafür sollte eine geeignete Regelung aufgebaut und deren Funktion praktisch nachgewiesen werden.

Lösungsweg

Das IWM Dresden unterstützte das IFU Stuttgart bei Aufbau und Programmierung der Regelung, der Durchführung der entsprechenden experimentellen Untersuchungen sowie bei der Auswertung der Ergebnisse. Für die Untersuchungen wurde ein spezielles Umformwerkzeug mit steuerbaren Ziehsickenstabhöhen und integrierten Zargenspannungssensoren eingesetzt, das bereits in vorangegangenen Untersuchungen entwickelt, aufgebaut und erprobt worden war (*Bild 1*). Die Höhenverstellung der vier Ziehsickenstäbe erfolgte jeweils über servohydraulisch angetriebene Zylinder, die am Ziehring des Werkzeuges befestigt waren und auf einen Keilschiebermechanismus wirkten. Zur Zargenspannungsmessung dienten spezielle Sensoren mit integrierten Piezokraftmesszellen.

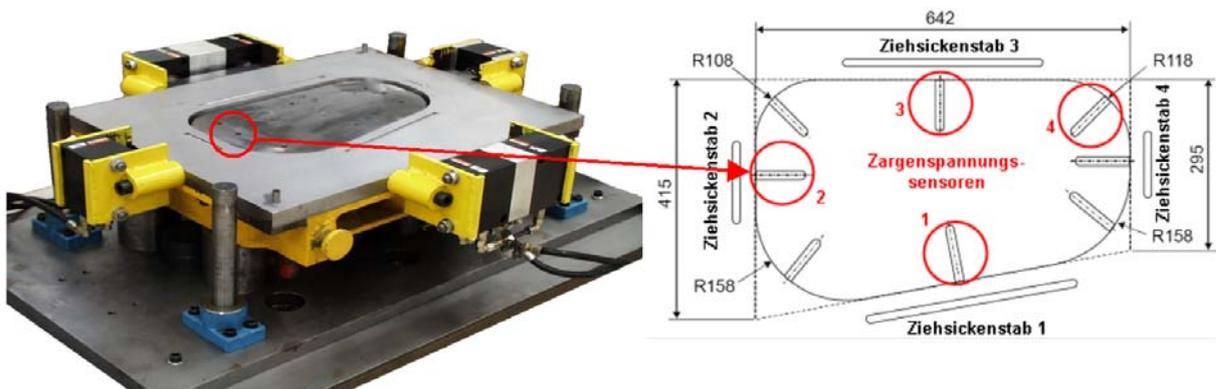


Bild 1: Versuchswerkzeug mit Anordnung der Ziehsickenstäbe und Zargenspannungssensoren (Quelle: IFU Stuttgart)

Für den Sollwert der Zargenspannung sollte ein Verlauf über dem Stößelweg vorgegeben werden können, mit einer Anhebung bis kurz unter die Reißergrenze kurz vor Ende des Ziehvorgangs.

Das Regelungssystem besteht aus den Komponenten Sensorik, Aktorik, Rechnerhardware und Regelungssoftware. Es wurde aufgebaut an einer hydraulischen Presse der Fa. Müller Weingarten. Als Regelungsrechner diente ein VMEbus-System, das bereits im Rahmen anderer regelungstechnisch geprägter Forschungsprojekte am IFU erfolgreich eingesetzt wurde. Das Rechnersystem besteht aus einem schnellen Prozessorboard mit PC-typischer Architektur (intel PIII-850 MHz, 256 MB RAM, Schnittstellen für IDE-HDD, FDD, USB, VGA, PS2, Keyboard, Ethernet, etc.) und Interfacechips für den VMEbus. Weiterhin sind im Rechnersystem mehrere VMEbus-Trägerboards (VMOD-IO der Fa. JANZ) integriert, die mit unterschiedlichen I/O-Modulen zum Anschluss der Sensorik und Aktorik bestückt sind. Als Betriebssystem des Regelungsrechners wird Linux (Kernel 2.4.25) mit der Echtzeiterweiterung RTAI (Version 3.2) verwendet. Auf der eingesetzten Hardware sind damit Zykluszeiten für den Regler bis $< 100 \mu\text{s}$ in harter Echtzeit bei wenigen μs Jitter realisierbar. Darüber hinaus bietet die Linux-Lösung bereits umfangreiche Funktionalität und Schnittstellen für die Entwicklung leistungsfähiger, flexibler und komfortabler Reglungs- und Bediensoftware. Als Klassenbibliothek für die Bedienoberfläche diente das QT-Framework 3.3.3 (C++ Toolkit der Fa. Trolltech AS) mit den zugehörigen Entwicklungswerkzeugen. Die durchgeführten Arbeiten bestanden in der Entwicklung, Inbetriebnahme und Parametrierung der Regelung, sowie der Durchführung und Auswertung von Tiefziehversuchen mit und ohne Regelung.

Ergebnisse

Die vom IWM Dresden entwickelte Reglersoftware besteht im Wesentlichen aus zwei Komponenten:

- Reglerkern mit zeitkritischen Funktionen (Hardwareansteuerung, Messwerterfassung und -aufbereitung, Filterung, Berechnung der Regelalgorithmen, Stellwertaufbereitung und -ausgabe, Daten-Logging, Kommunikation mit der Bedienoberfläche), realisiert als Echtzeit-Kernelmodul und ausgeführt als hochpriorisierte RTAI-Task. Als Reglertakt wurde 1 ms gewählt.

- Bedienoberfläche (*Bild 2*) mit zeitunkritischen Funktionen (Bedienung, Datenanzeige, Logdatenübernahme, -auswertung und -speicherung, Parametrierung der Reglersoftware, grafische Anzeige, Parametersicherung und -wiederherstellung, Kommunikation mit der Reglersoftware).

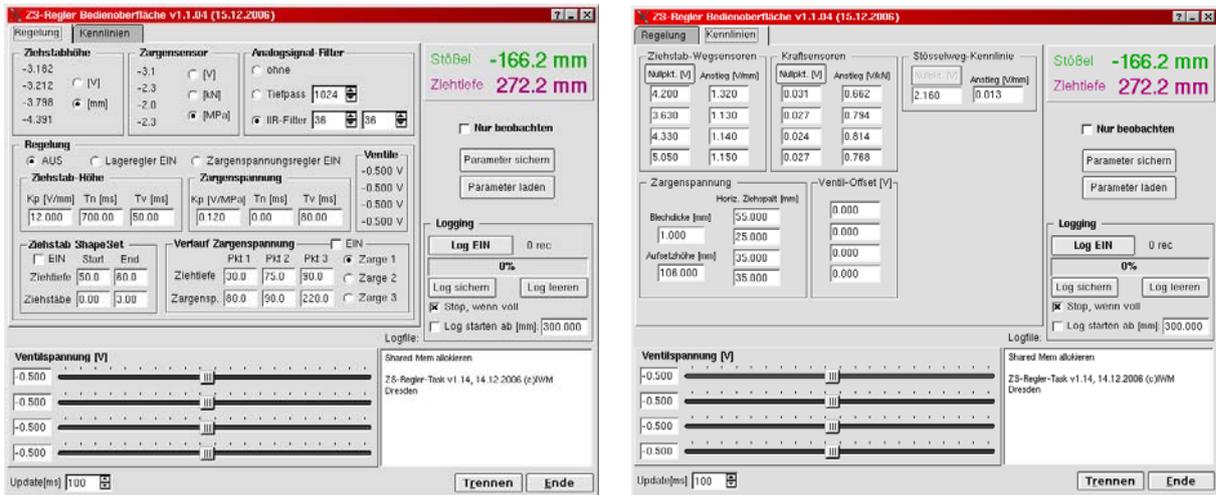


Bild 2: Bedienoberfläche der am IWM entwickelten Software zur Regelung der Zargenspannung

In die Reglersoftware wurden auch Funktionen zum Mitschreiben von reglerinternen Daten (Logging) integriert, als grundlegende Voraussetzung für nachfolgende Untersuchungen des Tiefziehprozesses sowie für die Reglerentwicklung und -auslegung. Das betrifft nicht nur Sensormesswerte sondern prinzipiell alle im Reglerkern verwendeten Daten. Die Funktionsfähigkeit dieser Reglerlösung konnte anhand einer Vielzahl von Tiefziehversuchen für veränderte Prozessbedingungen erfolgreich nachgewiesen werden. Untersucht wurden dabei Kombinationen aus verschiedenen Schmierstoffarten, unterschiedlichen Schmierstoffmengen pro Fläche sowie verschiedenen Blechwerkstoffen. *Bild 3* zeigt beispielhaft Messergebnisse für einen geregelten und einen ungeregelten Tiefziehversuch.

Für die mit Zargenspannungsregelung tiefgezogenen Bauteile konnte eine Verbesserung der Bauteilqualität insbesondere im Zargenbereich nachgewiesen werden (*Bild 4*).

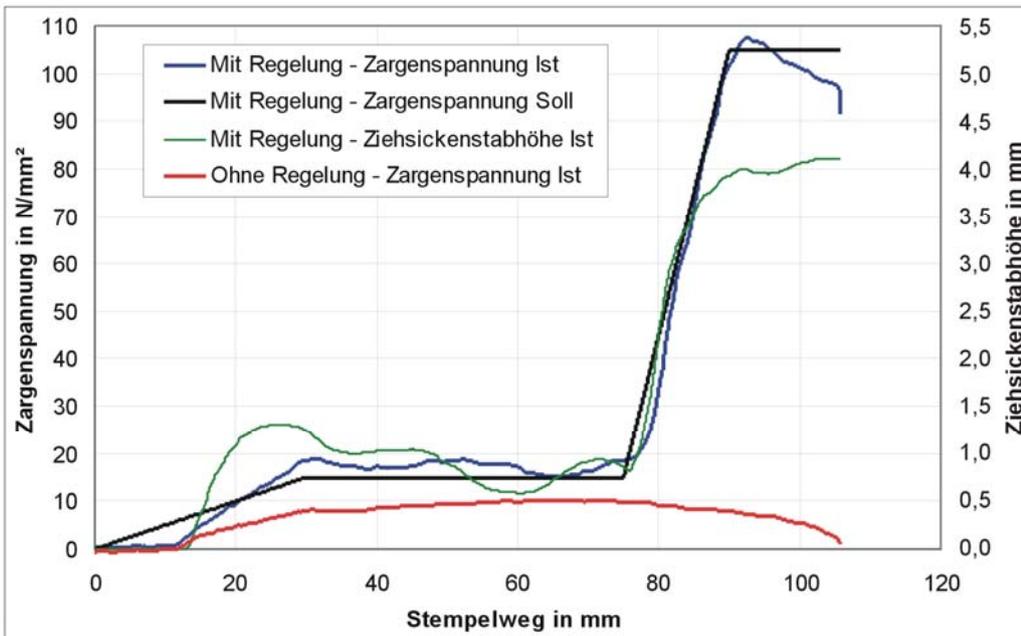


Bild 3: Verlauf der Zargenspannung über dem Stempelweg ohne (unten) und mit (oben) stempelwegabhängiger Zargenspannungsregelung für einen Ziehsickenstab

Es wird ein praxisrelevanter Weg zu einem geregelten Umformprozess gezeigt, der einerseits die geforderte Produktgüte sicherstellt und andererseits bei Einsatz nur eines Werkzeugs für die Kombination von Tiefziehen und mechanischem Tiefen eine hohe Produktivität verspricht.

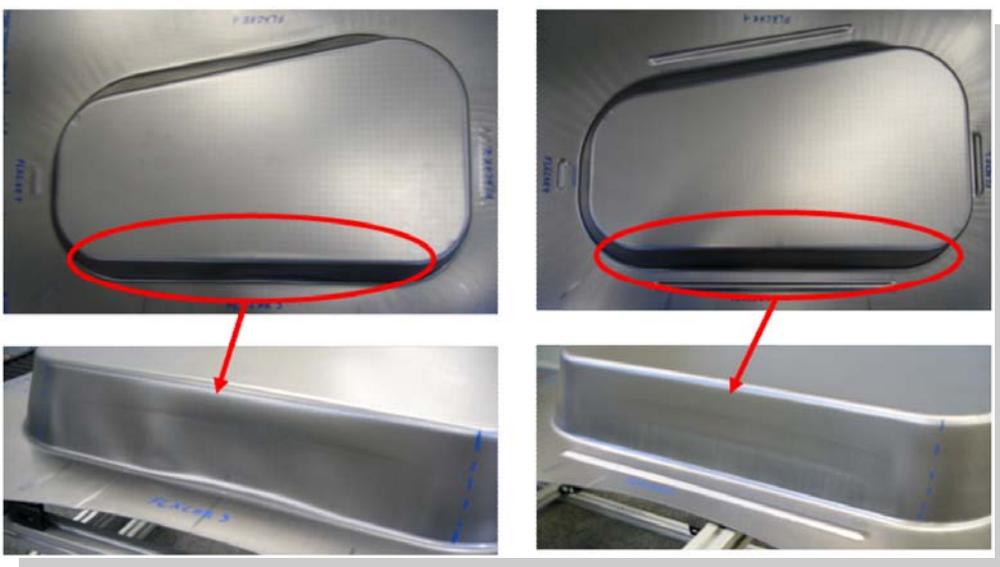


Bild 4: Ergebnisse, links: Zu große Formabweichungen in der Zarge, rechts: Gutteil

4.3.4 Thermoglätten von Holz und Holzwerkstoffen mittels parallel-kinematischer Bewegungseinheit

Laufzeit 09/2005 - 08/2007

Finanzierung Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungs-
gemeinschaften "Otto von Guericke" (AiF) /
Internationaler Verein für Technische Holzfragen
e. V. (iVTH)

Bearbeiter Dr.-Ing. Hajo Wiemer
Dipl.-Ing. Steffen Rehn

Kooperation TU Dresden, Institut für Holz- und Papiertechnik
ihd Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH

Zielstellung

Die Herstellung profilierter Möbelteile aus Holz oder Mitteldichter Faserplatte (MDF) erfolgt mittels Fräsen auf CNC-gesteuerten Bearbeitungszentren (BAZ). Die durch Fräsen erzielbare Oberflächenqualität ist in der Regel für eine nachfolgende Flüssig- oder Foliebeschichtung nicht ausreichend, deshalb werden Profilflächen von Hand oder mit Spezialwerkzeugen geschliffen. Bei Flüssigbeschichtungen werden die Schleifprozesse im Wechsel mit der Beschichtung wiederholt. Am Institut für Holztechnologie Dresden (ihd) wurden verschiedene Thermoglättverfahren entwickelt, die mittels Druck und Temperatur ein Glätten und Verdichten der Profiloberflächen bewirken. Auf CNC-Bearbeitungszentren werden durch Fräsen Profilflächen erzeugt, die in der gleichen Aufspannung anschließend durch Fixglätten mit beheizbaren Glättwerkzeugen vergütet werden. Bisher wird so die erforderliche Bearbeitungsgenauigkeit gesichert. Durch das Glätten verdoppelt sich die Bearbeitungsdauer der Teile auf dem BAZ.

Im Rahmen dieses Projektes wird untersucht, ob das Entkoppeln von Fräs- und Glättvorgang möglich ist und das Fixglätten mittels des am IWM entwickelten Hexapoden „FELIX“ (*Bild 1*) separat realisiert werden kann.

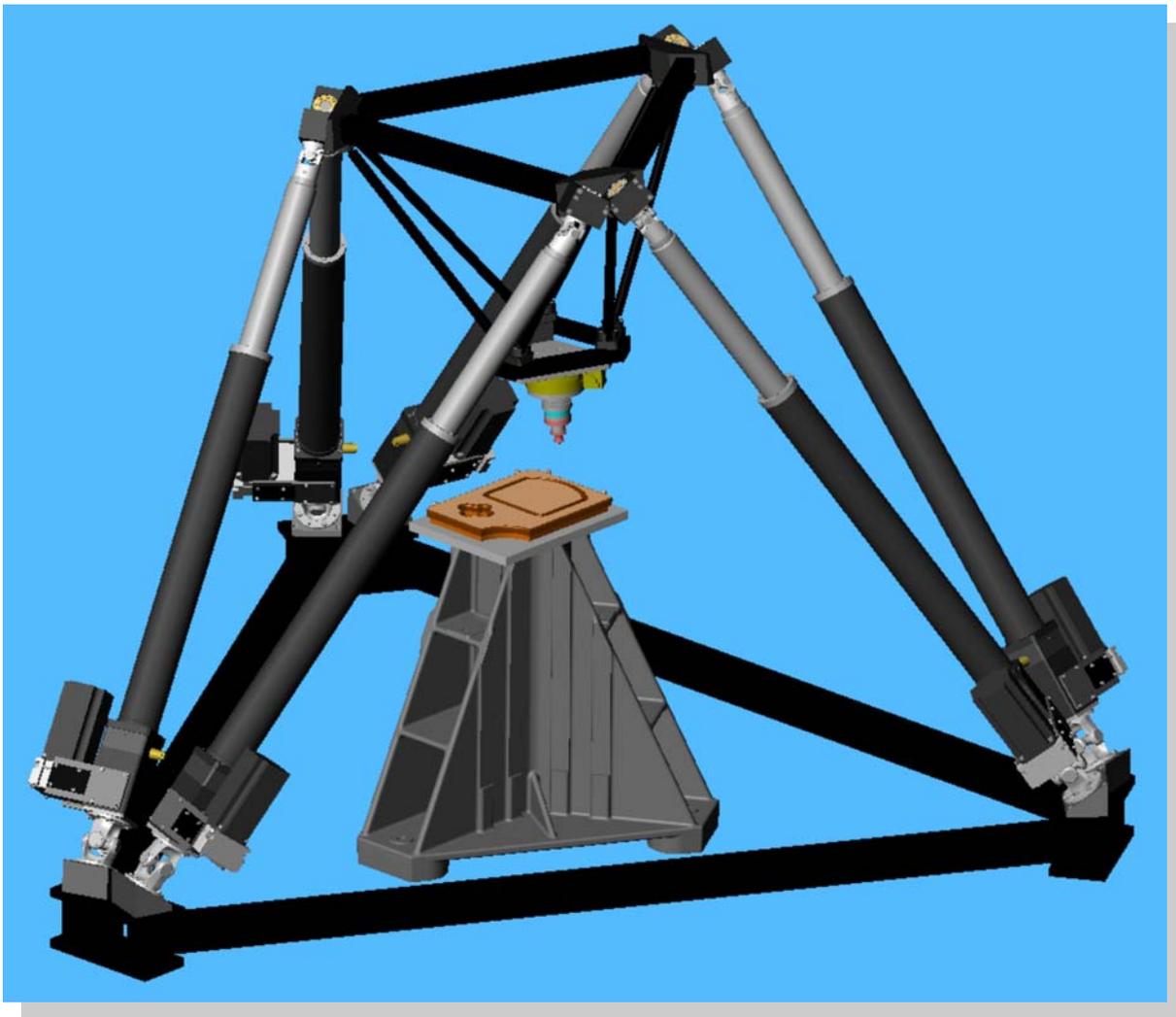


Bild 1: Hexapod "FELIX" mit Glättwerkzeug und Werkstück-Spannvorrichtung

Lösungsweg

Mit dem Hexapod wird das Glättwerkzeug in der bereits gefrästen Profilbahn geführt. Dabei wird eine Kraft aufgebracht, die den Flächendruck zum Verdichten der Oberfläche erzeugt. Zum Erreichen optimaler Glättergebnisse werden verschiedene passive und aktive Kraftführungsstrategien entwickelt. Diese sollen sicherstellen, dass die durch verschiedene Einflüsse entstehenden Kraftschwankungen im zulässigen Bereich bleiben.

Ergebnisse

Die Grundlagen für diese Strategien sind bereits zum Großteil erarbeitet. Als passive Strategien der Kraftführung werden dabei verfolgt:

- Verringerung der Steifigkeitsschwankungen der Maschine durch Anpassung der Systemsteifigkeit mittels Federelement,
- Ausgleich der Steifigkeitsschwankungen durch eine positionsaktuelle Veränderung des Zustellwegs und
- die Untersuchung verschiedener Varianten der Referenzierung des Werkstücks im Arbeitsraum des Hexapod.

Mit der aktiven Kraftführung wird eine Regelung der am Werkzeug wirkenden Kräfte umgesetzt. Als Stellgröße dient die der Steuerung vorgegebene Lage des Werkzeugs relativ zum Werkstück. Dazu werden geeignete Softwaremodule und Schnittstellen entwickelt, die die Verarbeitung und den Transport der an der Regelung beteiligten Größen ermöglichen. In ersten Probeläufen (*Bild 2*) konnten bereits gute Glätteeffekte am Referenzteil erreicht werden. Weitere Verbesserungen werden durch die derzeit erfolgende Umsetzung der passiven und aktiven Kraftführungsstrategien erwartet.



Bild 2: Glätten eines Innenprofils einer MDF-Faserplatte

4.3.5 X-Y-lageregelbare Werkzeugaufspannplatte für das Prägen mit führungslosen Werkzeugen

Laufzeit 07/2003 - 06/2005

Finanzierung Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungs-gemeinschaften "Otto von Guericke" (AiF) / Europäische Forschungsgesellschaft für Blech-verarbeitung e. V. (EFB)

Bearbeiter Dr.-Ing. Bernd Kauschinger

Kooperation Universität Stuttgart, Institut für Umformtechnik

Zielstellung

Das Auftreten von Horizontalversatz an Pressen beeinflusst nicht nur die Teilequalität nachteilig, sondern wirkt sich auch negativ auf die Lebensdauer der Werkzeuge aus. Schon bei geringem Versatz zwischen Ober- und Unterwerkzeug können Schneidwerkzeuge, deren Messer im Bereich weniger 0,01 mm für einen optimalen Schneidspalt justiert werden, durch Auflaufen der Messer zerstört werden. Zur Vermeidung dieser Gefahr vergrößert man häufig den Schneidspalt und nimmt damit einen erhöhten Schnittgrat bei verminderter Teilequalität in Kauf. Beim Prägen ist das Auftreten eines einseitigen Grates aber unter keinen Umständen akzeptabel. Üblicherweise verwendet man hier einen Spannrahmen, in den verschiedene Formhälften gespannt werden. Die erforderliche Justierung erfolgt manuell und ist sehr zeitaufwändig. Ziel des Vorhabens ist die automatisierte Versatzkompensation zwischen Ober- und Unterwerkzeug durch den Einsatz einer x-y-lageregelbaren Werkzeugaufspannplatte auf dem Pressentisch (Bild 1), um damit Werkzeugbrüche und lange Einfahrzeiten zu vermeiden. Entsprechend wurde in Zusammenarbeit mit dem IfU Stuttgart das in einer mechanisch-hydraulischen 3.150 kN Hybridpresse vorhandene Stellsystem weiterentwickelt. Hierzu wurde ein geschlossener Regelkreis konzipiert. Die Solllage wird durch Werkstückvermessung mittels Bildverarbeitung ermittelt.

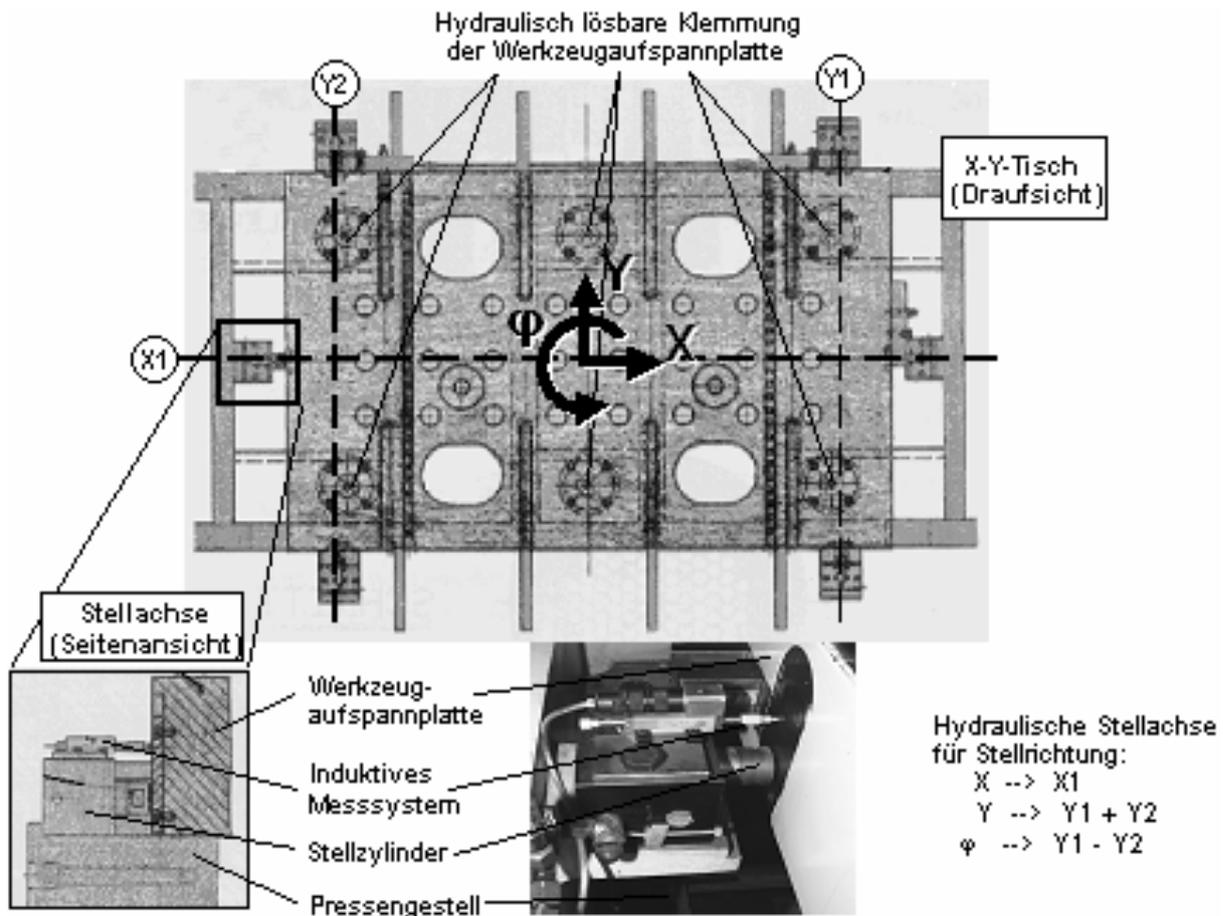


Bild 1: X-Y-lageregelbare Werkzeugaufspannplatte

Lösungsweg

Die Untersuchungen wurden beispielhaft für die Besteckprägung von Löffeln durchgeführt. Zuerst wurden die möglichen Fehlerarten am Löffel spezifiziert und aufgezeichnet. Ausgehend von einer fehlerfreien Justierung von Ober- und Unterwerkzeug wurden durch gezielte Verstellung der verschiebbaren Werkzeugaufspannplatte definierte Fehlervektoren $\{x, y, \phi\}$ erzeugt und ihre Wirkung am Werkstück (Art, Ort, Größe) ausgewertet. Darauf aufbauend wurde eine Versatzmessung mittels Bildverarbeitung aufgebaut. Aus gemessenen Fehlern am Werkstück wurden dann geeignete Stellgrößen für die Werkzeugaufspannplatte abgeleitet. Die Verstellung der Werkzeugaufspannplatte erfolgt über drei hydraulische Stellachsen, die über einfache Schaltventile angesteuert werden. Über Stelldrosseln wird die

maximale Stellgeschwindigkeit fest eingestellt (Bild 2). Durch dieses Stellprinzip gestaltet sich die Lageregelung der drei Stellachsen zwar komplizierter als mit Servohydraulik, ist aber deutlich einfacher, preiswerter und robuster zu realisieren.

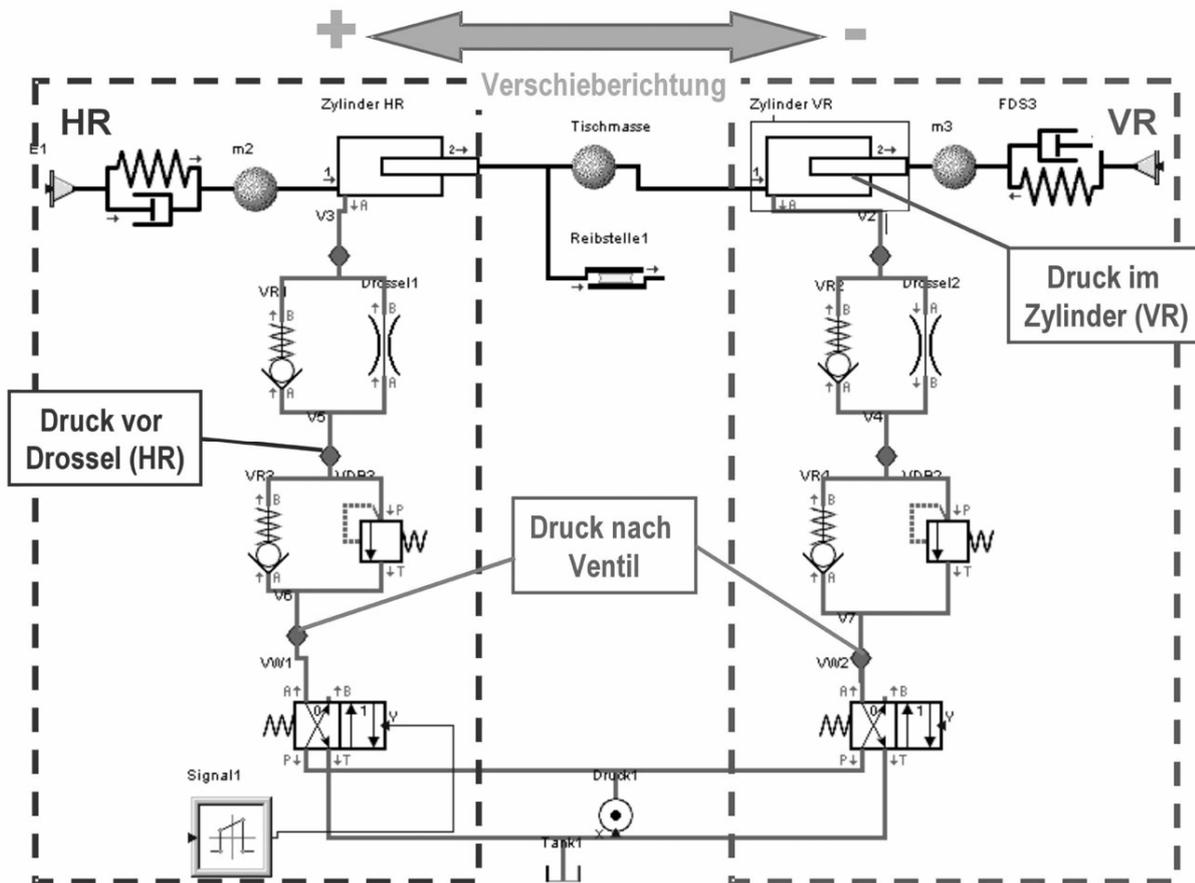


Bild 2: Struktur der hydraulischen Ansteuerung einer Stellachse

Ergebnisse

Die Untersuchung der Fehlerwirkungen zeigte, dass ein Versatz in der Versuchseinrichtung nur zu etwa einem Drittel als Fehler am Werkstück sichtbar wird. Es wurde ein optisches Messsystem aufgebaut, das die prozessnahe Vermessung der Werkstücke und die Ableitung geeigneter Korrekturwerte ermöglicht. Besondere Herausforderung war dabei die Realisierung optimaler Beleuchtungsverhältnisse. Zur Ansteuerung der Werkzeugaufspannplatte wurden experimentelle Untersuchungen des Stellverhaltens durchgeführt. Die Ergebnisse dienen der Erstellung und dem Abgleich eines

Modells der Stellachsen für die simulationsgestützte Auslegung einer geeigneten Lageregelung. Die ursprünglich geplante Ansteuerung mit einzelnen Stellimpulsen definierter Länge erwies sich aufgrund des nichtlinearen sowie stark streuenden exemplarischen Verhaltens als zu ungenau. Als Alternative wurde eine Ansteuerung mit pulsweitenmodulierten Impulsfolgen entwickelt. Über das Pulsverhältnis ist so nicht nur eine näherungsweise Linearisierung sondern zusätzlich auch die variable Einstellung der Verfahrgeschwindigkeit möglich. Die steuerungstechnische Umsetzung erfolgte auf einem VMEbus-System unter LINUX mit der Echtzeiterweiterung RTAI. Die Software sowohl für die hardwarenahe, echtzeitfähige Regelung als auch zur Bedienung, Messung und Auswertung auf einer modernen grafischen Oberfläche wurde am IWM Dresden entwickelt. Das realisierte Stellsystem eignet sich sehr gut auch als Nachrüstlösung für bereits existierende Pressen.

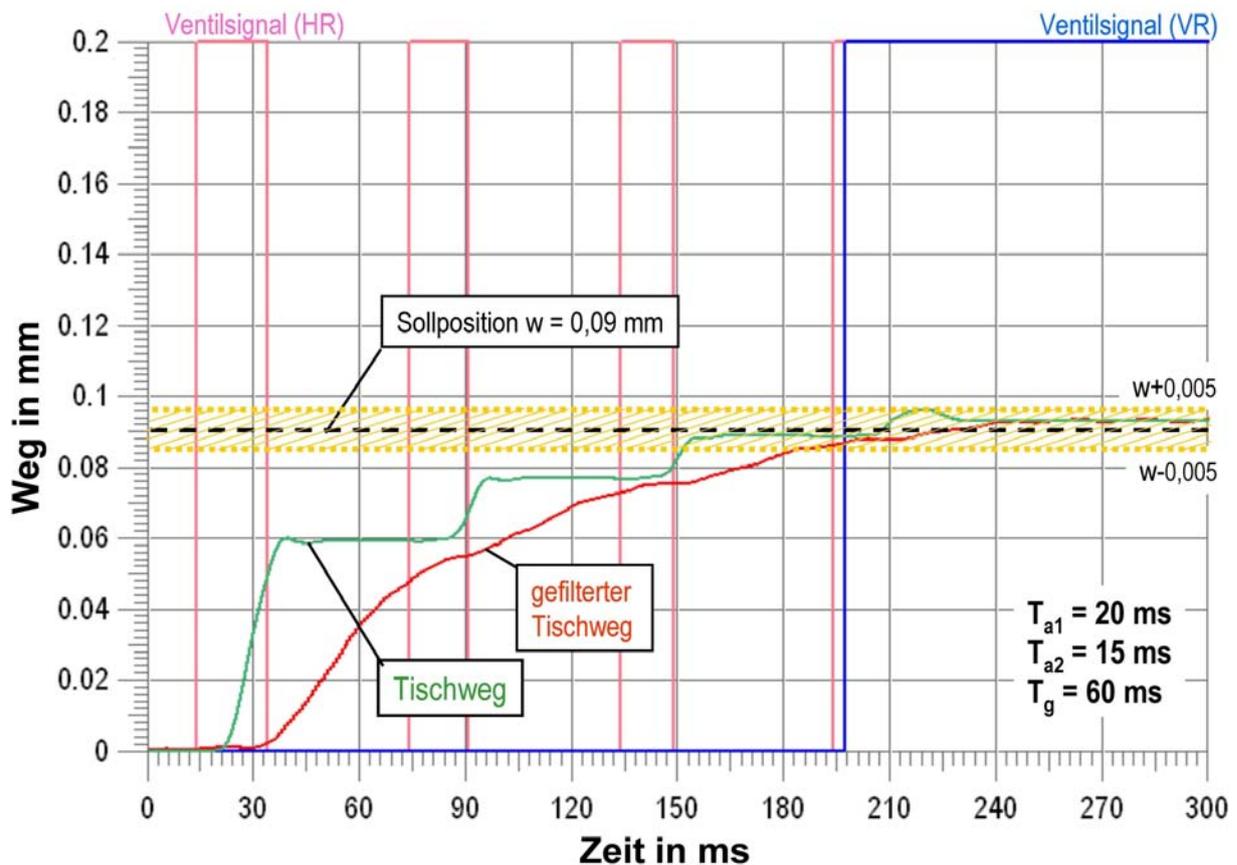


Bild 3: Stell- und Messgrößen an einer Achse

Bild 3 zeigt Stell- und Messgrößen an einer derart geregelten Achse. Zu Demonstrationszwecken wurde mit dieser Feinverstellung aus einzelnen Punkten der Schriftzug "IFU-IWM" geprägt (*Bild 4*).

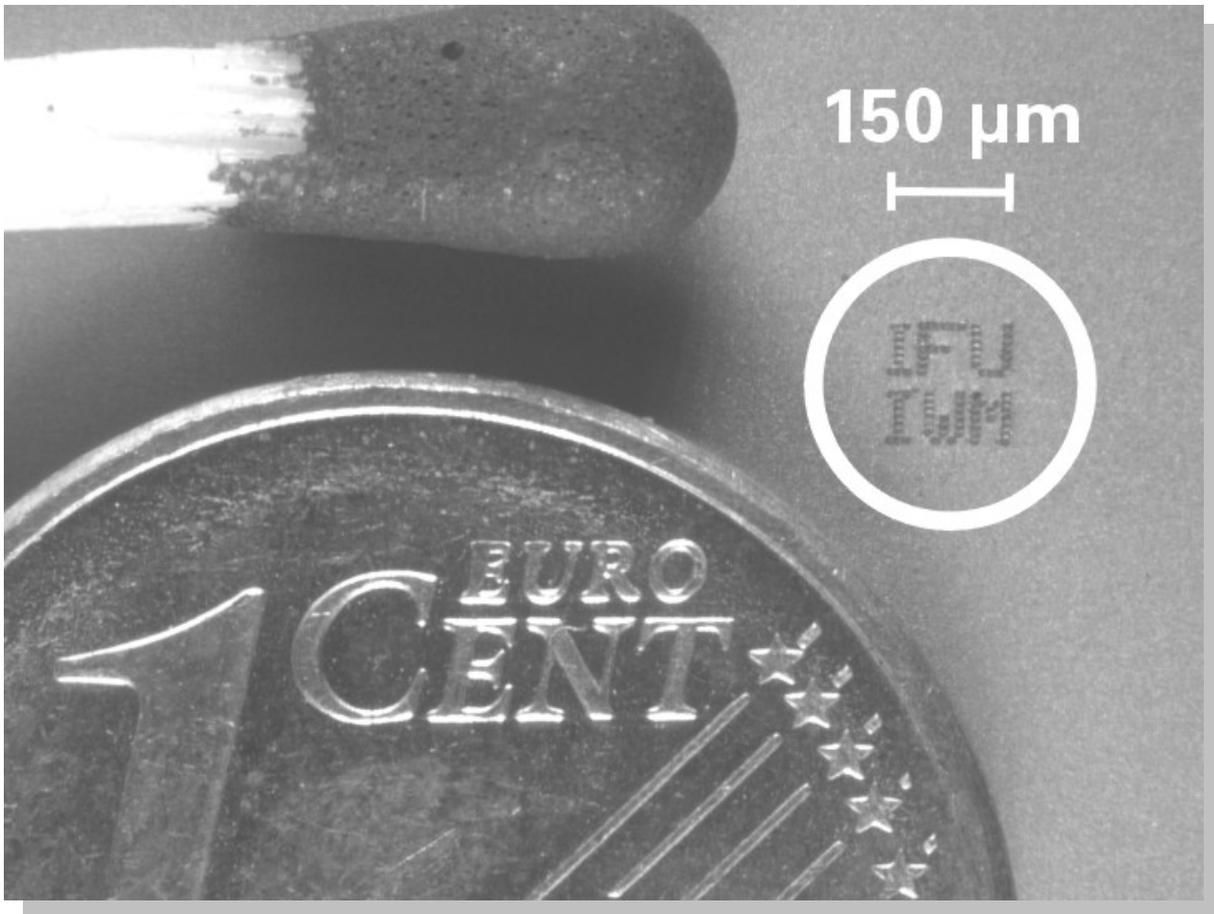


Bild 4: Aus einzelnen Punkten geprägter Schriftzug

4.3.6 Entwicklungs- und Betriebssystem einer neuartigen Steuerung unter besonderer Berücksichtigung von Funktionssicherheit und zustandsdynamischen Fehlerreaktionen

Laufzeit 11/2002 - 09/2006

Finanzierung Studienstiftung des deutschen Volkes /
Eigenfinanzierung IWM

Bearbeiter Dipl.-Ing. Thomas Morchel
Dipl.-Ing. Volker Möbius

Zielstellung

Es soll das patentierte Konzept zur "Anwenderspezifisierbaren Steuerung" (ASS) als "Computer Function Control" (CFC) in ein lauffähiges Programmsystem für eine Demonstrationslösung umgesetzt werden. Dieses Programmsystem soll sowohl die Entwicklungssoftware als auch die Betriebssoftware der CFC erfassen (s. *Abbildung*) und in Verbindung mit einer Demonstrationslösung die wichtigsten Eigenschaften der neuen Steuerung praktisch belegen und beurteilbar machen. Den besonderen Bewertungsschwerpunkt sollen dabei neue Qualitäten in Funktionssicherheit und Fehlerreaktionen bilden.

Lösungsweg

Der erste Kernbestandteil der CFC verlangt eine funktionale hierarchische Systembeschreibung. Für diese ist eine geeignete Beschreibungsmethodik für die Elementarfunktionen zu entwickeln und mit diesen Informationen eine objektorientierte Erfassungsblattbibliothek aufzubauen.

Den zweiten Kernbestandteil bildet die ablauforientierte Prozessbeschreibung der CFC, die auf den in der Systembeschreibung instanziierten Elementarbefehlen basiert. Dafür sind spezifische Notationsformen und Auswertungswerkzeuge zu gestalten.

Die so strukturierte Beschreibung von System und Prozess wird mit einer gegenüber einer SPS grundsätzlich veränderten

Strategie zur Verarbeitung der Sensorsignale kombiniert. Hier werden zyklisch alle Sensoren überwacht, reagiert wird aber nur auf Änderungen eines Signalpegels im Vergleich zum vorhergehenden Zyklus.

Die Realisierung des Projektes erfordert:

- Entwicklung und Umsetzung der Entwicklungssoftware, bestehend aus leicht bedienbaren System- und Prozessbeschreibungswerkzeugen sowie einem Compiler,
- Entwicklung und Umsetzung der Betriebssoftware bestehend aus Befehlsrechner mit Steuerungsoberfläche und Ausführungsrechner als Schnittstelle zur Maschine beziehungsweise zur Programmablaufsimulation,
- Realisierung eines beispielhaften Anwendungsfalls an einem Anlagenmodell zur Demonstration der neuen Eigenschaften,
- Vergleich des neuen Konzepts mit bestehenden Implementierungen, Ableitung von Optimierungsvorschlägen und Bewertung der neuen Steuerungseigenschaften.

Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden bei den einzelnen Aufgabebereichen und Lösungskomponenten folgende Denk- und Arbeitsstände realisiert:

1. Entwicklungssoftware

- Funktionelle Systembeschreibung: Das zu steuernde technische System wird als "virtuelle Maschine" beschrieben. Dazu zerlegt man es unter funktionalen Gesichtspunkten in gekapselte *Teilsysteme*, welche abgegrenzte Systemaufgaben bewältigen. Die Strukturierung erfolgt unabhängig von der späteren Integration dieser Einheiten in Prozesse und kennzeichnet aus welchen untergeordneten Systemen sich ein übergeordnetes System zusammensetzt. Am Ende dieser Gliederung stehen *Elementarfunktionen*, die sich nicht weiter sinnvoll untergliedern lassen. Sie beinhalten die Instanz einer vollständigen Beschreibung ihrer Funktionalität auf einem *Erfassungsblatt*.

- Erfassungsblattbibliothek: Erfassungsblätter werden in einer Klassenbibliothek verwaltet und können mit den Möglichkeiten der objektorientierten Beschreibung abstrahiert und an abgeleitete Varianten vererbt werden. Ein Erfassungsblatt verfügt über *Sensoren* und *Aktoren*, welche in Vektoren zusammengefasst sind. Die *Zustände* einer Elementarfunktion sind durch Inhalte des Sensor- und Aktorvektors beschreibbar. Als Basis für eine Prozessbeschreibung dienen *Elementarbefehle*. Sie beinhalten die Aufforderung zum Wechsel in einen neuen Zustand innerhalb einer vorgegebenen *Kontrollzeit*.
- Ablauforientierte Prozessbeschreibung: Die Prozessbeschreibung beinhaltet Informationen, welche das Zusammenwirken der in der Systembeschreibung enthaltenen Elementarbefehle zur Realisierung bestimmter Abläufe festlegen. Die Aufforderung zur Ausführung eines Prozesses heißt *Nutzungsbefehl*. Ein Prozess besteht aus der gerichteten Verkopplung untergeordneter Teilprozesse mit der Möglichkeit des Datenaustauschs. Ein elementarer Teilprozess ist ein Zustandswechsel einer Elementarfunktion. Die Aufforderung zu seiner Ausführung trägt die Bezeichnung *Elementarbefehl* und findet sich als *Schnittstelle zwischen System- und Prozessbeschreibung* auf den Instanzen der Erfassungsblätter wieder. An einen Elementarbefehl lassen sich *Reflexelementarbefehle* und *Ereignisse* binden, die bei unerwarteten Zuständen von der betroffenen Elementarfunktion aufgerufen werden. Ein so erweiterter Elementarbefehl heißt *Basisbefehl*. Reflexelementarbefehle kommen zeitlich unmittelbar bei Erkennung der Zustandsabweichung zur Ausführung, Ereignisse wenden sich hingegen an höhere Steuerungsebenen und können komplexe Prozesse oder eine Kommunikation mit dem Anwender auslösen. Weiterhin stehen spezielle Nutzungsbefehlstypen zur Synchronisation, Verriegelung, Verzweigung und Verzögerung von Prozessabläufen und zur logischen Verknüpfung von Prozessparametern bereit.

2. Betriebssoftware

Das neuartige Steuerungssystem geht arbeitsteilig vor. Ein *Ausführungsrechner* übernimmt unter Echtzeitbedingungen die Überwachung der Anlage und sorgt für die Umsetzung der Basisbefehle. Der *Befehlsrechner* übernimmt das Programm aus System- und Prozessbeschreibung nachdem es einen *Compiler* durchlaufen hat. Zur Bedienung durch den Anwender dient eine *Steuerungsoberfläche*, die mit dem Befehlsrechner verbunden ist.

- Compiler

Nutzungsbefehle können implizit und verschachtelt formuliert werden. Beim Kompilieren werden diese impliziten Formulierungen in explizite Befehlsfolgen aufgelöst und abgespeichert. Dabei wird gleichzeitig die syntaktische Richtigkeit der Befehle geprüft. Da mögliche Alternativen ebenso mit den dadurch bedingten Pfaden aufbereitet werden, stehen im Befehlsrechner für alle vorgedachten Alternativen rekursionsfreie explizite Befehlsketten bereit.

- Befehlsrechner

Die Abarbeitung der Nutzungsprogramme durch den Befehlsrechner erfolgt, indem die im Kompilat aufgeschlüsselten Basisbefehle nach den dazu gespeicherten Festlegungen an den Ausführungsrechner übergeben werden. Der Befehlsrechner bewertet die vom Ausführungsrechner rückgemeldeten Ereignisse und entscheidet auf deren Grundlage über den weiteren Weg.

- Ausführungsrechner

Der Ausführungsrechner überwacht zyklisch den Sensorvektor des Systems sowie laufende Kontrollzeiten und prüft ob neue Basisbefehle eingetroffen sind. Im Überwachungszyklus wird der aktuelle Sensorvektor mit dem einen Zyklus zuvor gelesenen Vektor verglichen. Er wird lediglich dann verlassen, wenn eine Signalpegeländerung erkannt wurde. Daraufhin werden die am Abbild der Elementarfunktion hinterlegten Informationen des zuletzt an sie gerichteten Basisbefehls ausgewertet und kommen gegebenenfalls zur Ausführung. Die

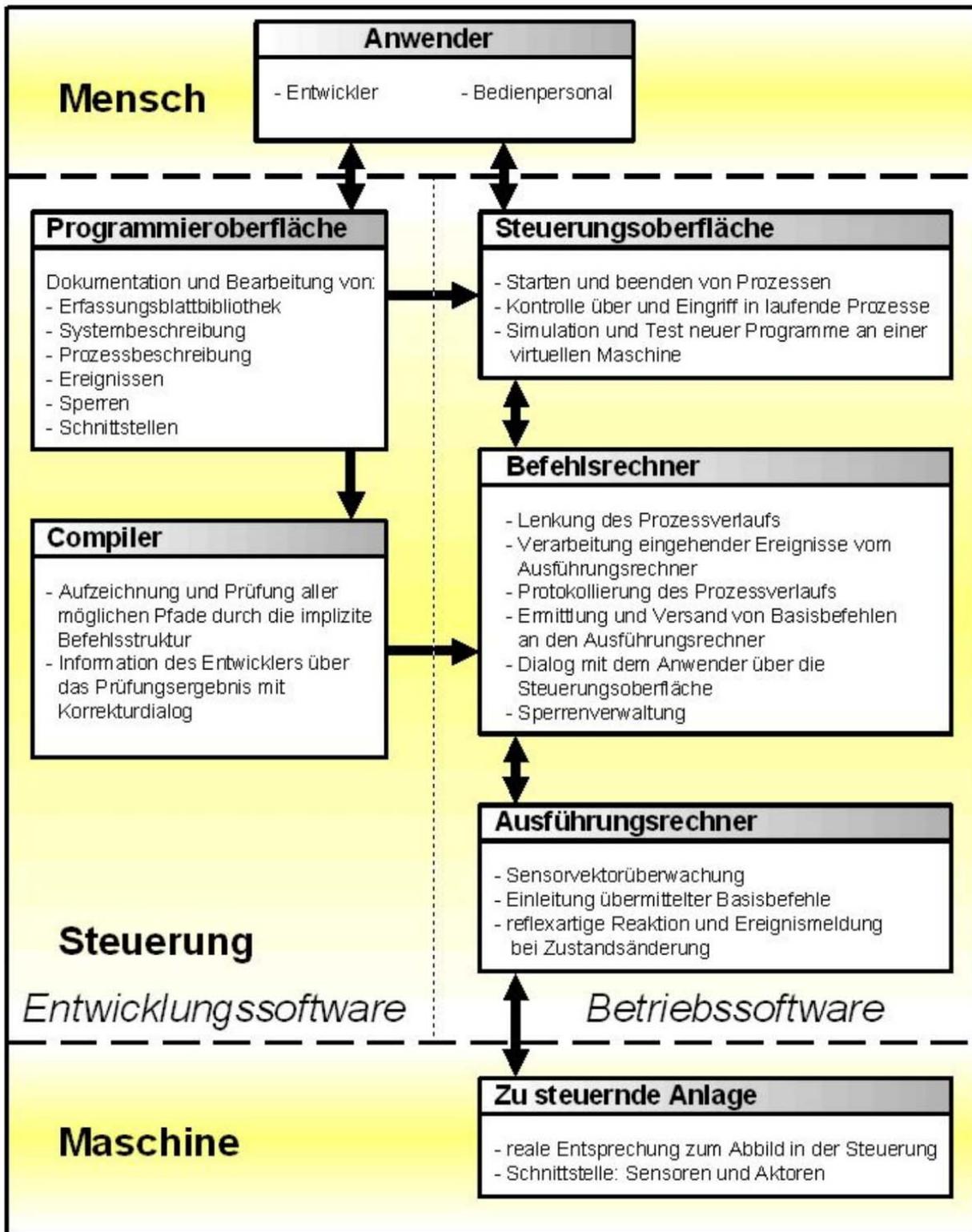
Informationen sind so aufbereitet, dass die Zeit für ihre Verarbeitung minimal ist. Damit wird im Gegensatz zur SPS die Sensorüberwachung nur dann verlassen, wenn tatsächlich der Bedarf für eine Aktualisierung des Systemabbilds und Veränderungen im Aktorvektor besteht. Die Einleitung von hinterlegten Reflexelementarbefehlen übernimmt vollständig der Ausführungsrechner. Sie sind das Mittel zur Realisierung zeitkritischer Zustandsänderungen.

Eigenschaften

Die veränderte Überwachungs- und Reaktionsstrategie eröffnet qualitativ neue Eigenschaften für die Steuerung. Dies wird mit einer intuitiven Bedienbarkeit durch die veränderte Programmierweise kombiniert. Ebenso steht eine Erhöhung der Betriebssicherheit im Vordergrund, die aus dem arbeitsteiligen Konzept mit Trennung von Prozessabarbeitung und Anlagenüberwachung in Verbindung mit der Behandlung von Signalpegeländerungen resultiert. Die so erstellten Programme sind vollständig und ohne physische Anlage prüfbar.

Im Projekt wurden erste Grundlagen für eine Systembeschreibung und eine Prozessbeschreibung erarbeitet und am Demonstrationsbeispiel mit überzeugender Bestätigung der grundlegenden Eigenschaften getestet.

Als ein Schwerpunkte einer thematischen Fortsetzung kristallisierte sich heraus, effektive Lösungen für die Funktionsnotation als Grundlage der Systembeschreibung zu entwickeln.



Steuerungsbausteine der CFC

4.4 AG Umformtechnik/Arbeitsplanung

4.4.1 Entwicklung eines offenen Modells zur Darstellung, Planung und Überwachung von Abläufen zur Fertigung textilverstärkter Verbundkomponenten



Vorhaben im Teilprojekt D4 des SFB 639 Textilverstärkte Verbundkomponenten für funktionsintegrierende Mischbauweisen bei komplexen Leichtbauanwendungen

Laufzeit 01/2004 - 12/2007

Finanzierung Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Bearbeiter Dr.-Ing. Hajo Wiemer

Kooperation Mitgliedsinstitute der TU Dresden im SFB 639

Zielstellung

Im Zusammenhang mit Leichtbau-Konzepten erlangen textilverstärkte Verbundwerkstoffe immer mehr an Bedeutung. Textilverstärkte Verbundwerkstoffe besitzen große Flexibilität in Bezug auf die Anpassung der Werkstoffstruktur an die Belastungen. Diese Flexibilität ist durch viele Einflussmöglichkeiten entlang der Prozesskette, beginnend mit den Eigenschaften der Rohstoffe, deren Mischungsverhältnisse bei der Filament- und Garnherstellung, über die Wahl unterschiedlicher Verarbeitungsverfahren und Montagevarianten zum textilen Halbzeug mit zugehörigen anpassbaren Prozessparametern bis zur Konsolidierung des Textiles zum Bauteil gegeben. Die bislang übliche isolierte Betrachtung von einzelnen Problemfeldern und Prozessschritten wird bei einer von derartigen starken Wechselwirkungen geprägten Prozesskette den Anforderungen nicht gerecht. Die durchgängige Betrachtung der einzelnen Teilbereiche Werkstoffe, Konstruktion, Fertigung und Montage ist zwingend erforderlich. Denn nur bei möglichst durchgängiger, abgestimmter Vorgehensweise kann das gegebene hohe

Leichtbaupotenzial voll ausgeschöpft werden. Ziel der Forschungsarbeit ist daher die Entwicklung eines offenen Modells zur Darstellung, Planung und Überwachung von Fertigungsabläufen textilverstärkter Verbundstoffe.

Lösungsweg

1. Analyse der Grobstruktur der Prozesskette sowie der charakteristischen Besonderheiten bei der Herstellung textilverstärkter Verbundstoffe.
2. Erstellen eines Anforderungskataloges an das Fertigungsprozessmodell.
3. Recherche nach geeigneten Planungsmethoden aus den planerischen Fachdisziplinen wie Arbeitsplanung und Prüfung der Einsatzmöglichkeiten kommerziell verfügbarer Planungssoftware.
4. Darstellung des Fertigungsablaufes im SFB 639 im Sinne der Grobplanung.
5. Untersetzung der Grobstruktur mit Arbeitsgängen, Arbeitsstufen, Stammdaten, Prüfanweisungen usw. im Sinne der Feinplanung.
6. Darstellung und Nutzbarmachung des Fertigungsprozessmodells in einer Software.

Ergebnisse

Im bisherigen Bearbeitungszeitraum wurde die Charakteristik der Prozesskette zur Herstellung textilverstärkter Verbund-Bauteile analysiert (*Bild 1*) und daraus ein Anforderungskatalog an das Fertigungsprozessmodell abgeleitet. Der Fertigungsablauf wurde grob strukturiert dargestellt (*Bild 2*). Für einzelne Prozessabschnitte wurde die Beschreibung weiter detailliert (*Bild 3*). Die Detaillierung umfasste die feinere Untergliederung des technologischen Ablaufes und der eingesetzten Fertigungsmittel mit deren fixen und variablen Parameter sowie die Beschreibung innerer und äußerer Wechselwirkungen zwischen technisch-technologischen Betriebsparametern und Werkstückeigenschaften.

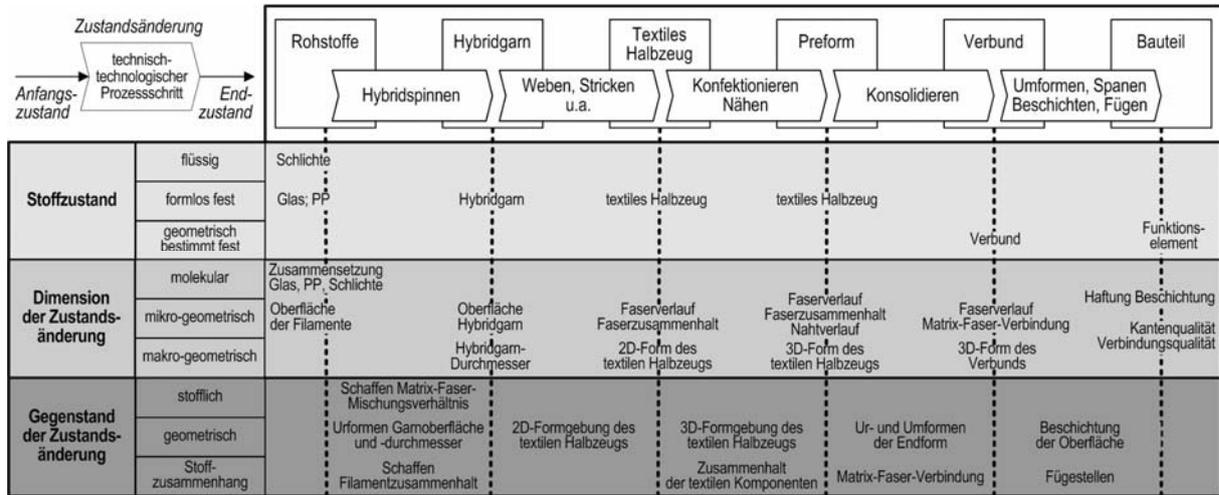


Bild 1: Analyse der Charakteristik der Prozesskette des SFB 639

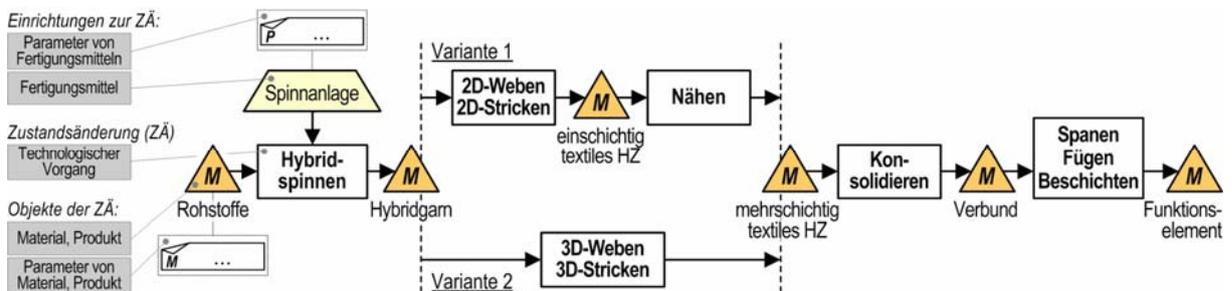


Bild 2: Grobstrukturierung des Fertigungsablaufes bei der Herstellung textilverstärkter Verbundstoffe und thematische Einordnung der Teilprojekte des SFB 639 (Prozessstufen-Ebene)

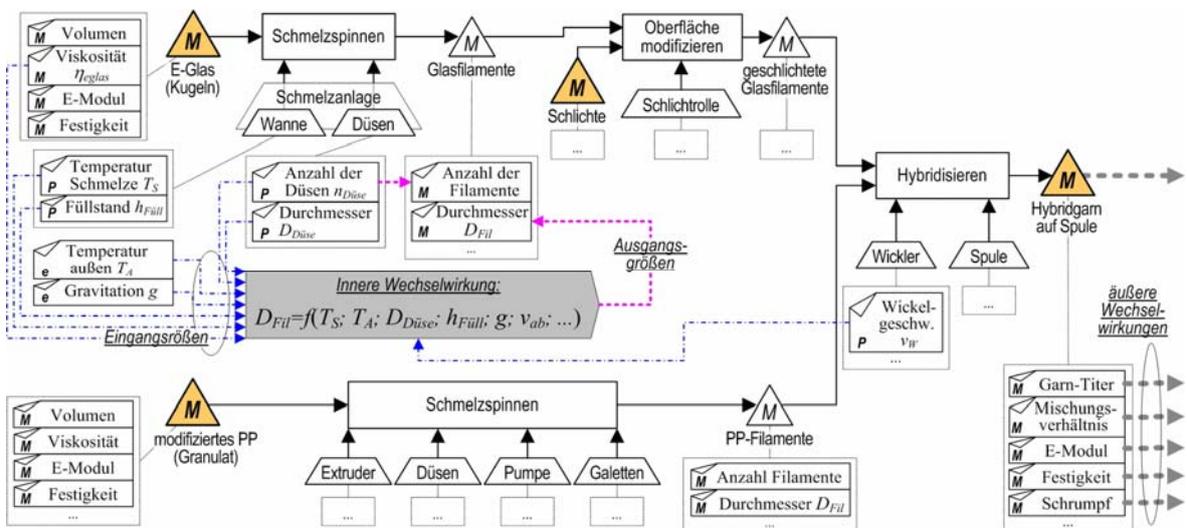


Bild 3: Feinstrukturierung des Prozessschritts „Hybridspinnen“ (Arbeitsstufen-Ebene)

4.4.2 Entwicklung und Bewertung von Simulationstechnologien für die Blechumformung unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Maschine/Werkzeug und Prozess/Werkstück

Laufzeit 01/2006 - 12/2008

Finanzierung Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
SPP 1180 Prognose und Beeinflussung der Wechselwirkungen von Strukturen und Prozessen

Bearbeiter Dr.-Ing. Hajo Wiemer
Dipl.-Ing. André Hardtmann

Zielstellung

Um bereits in der Planungsphase die Qualität und Wirtschaftlichkeit des Blechumformprozesses wesentlich verbessern zu können, müssen bei der Prozesssimulation praktisch relevante Einflüsse wie Stößelkipfung, Querversatz, Werkzeugdeformation, Hubzahl-erhöhung, Auftreffstoß und Schnittschlag mit berücksichtigt werden.

Ziel des Vorhabens ist deshalb die Schaffung eines umformtechnischen Gesamtmodells, welches die Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen Maschine/Werkzeug und Prozess/Werkstück sowie deren wesentliche Einflussgrößen beschreibt. Es erweitert die Aussagefähigkeit der bisherigen Prozessanalyse, da es die Randbedingungen von Maschine und Werkzeug mit einbezieht, was beim derzeitigen Stand der Simulation aufgrund der isolierten Modellierung nicht realisiert wird. Die Prognosefähigkeit des erweiterten Umformprozessmodells wird an einem Beispielwerkstück, welches begleitend zur Modellbildung in einer Experimentiereinrichtung gefertigt wird, untersucht und bewertet.

Lösungsweg

- Modellierung der quasistatischen elastischen Maschineneinflüsse (*Bild 1*).
- Modellierung der quasistatischen elastischen Werkzeuginflüsse
- Modellierung der quasistatischen elastischen Einflüsse von Zieheinrichtungen (*Bild 2*) und Werkzeugführungen
- Entwicklung der Experimentiereinrichtung
- Modellberechnungen und begleitende Experimente
- Ergebnisdarstellung und -bewertung (*Bild 3*)
- Modellierung der dynamischen Einflüsse

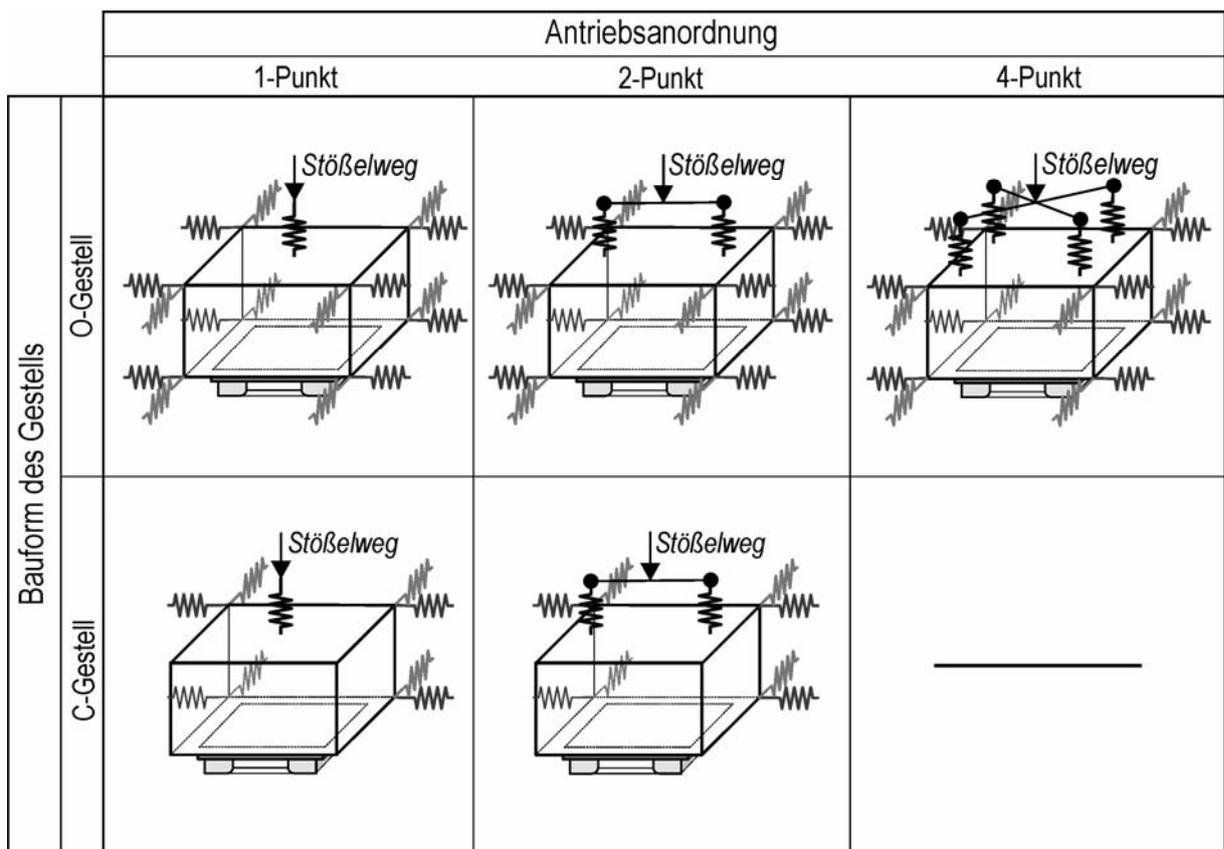


Bild 1: Schematische Darstellungen von Modellen unterschiedlicher Pressenstrukturen

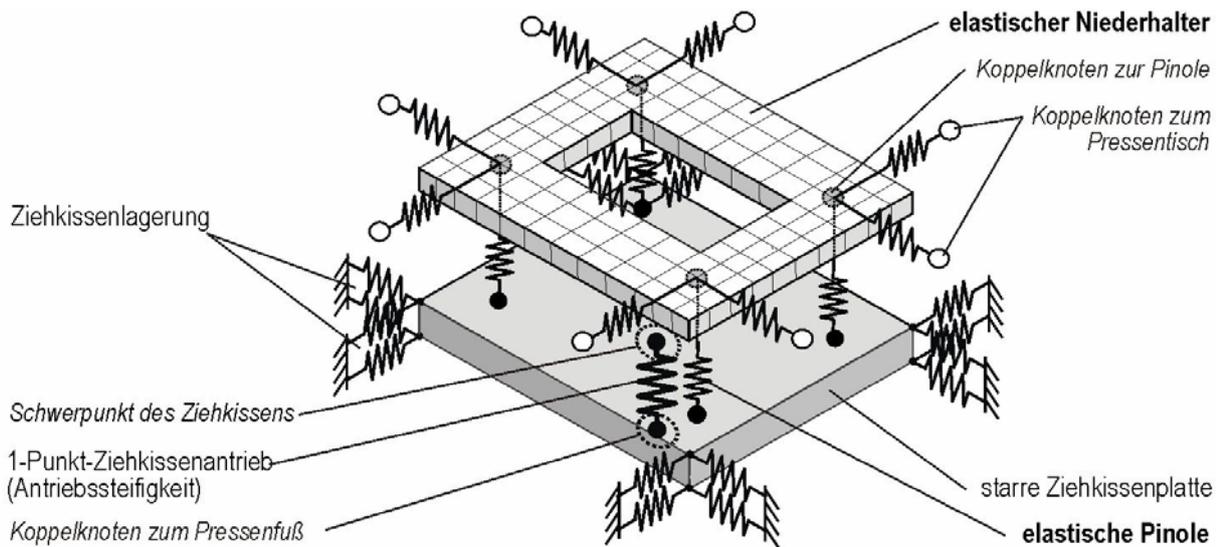


Bild 2: Modellstruktur der Zieheinrichtung für elastischen Blechhalter

Ergebnisse

Ausgehend von den relevanten Einflüssen aus Werkzeug, Presse und Zieheinrichtung auf den Umformprozess wurden bei Variation der Pressenstruktur (*Bild 1*) entsprechende Teilmodelle entwickelt, welche das bisherige FEM-Modell des Umformprozesses erweitern. Der Vergleich der Simulationsergebnisse der erweiterten Umformprozessmodelle mit den Ergebnissen der bisherigen Modellierung zeigt, dass mit um die Einflüsse der Presse und Zieheinrichtung erweiterten Umformprozessmodellen maschinenbedingte Einflüsse auf das Ziehergebnis sichtbar gemacht werden können.

Damit steht prinzipiell ein Gesamtmodell des Umformprozesses zur Verfügung, um sowohl Einflüsse unterschiedlicher Presseigenschaften als auch unterschiedlicher Ziehkissenkonfigurationen und -einstellungen in der Prozessplanung zu berücksichtigen (*Bild 3*).

Parallel zu den Arbeiten der Modellbildung wurden Entwicklung und Bau einer Experimentierumgebung zur experimentellen Validierung der Simulationsergebnisse durchgeführt. Weiterführende Arbeitsschritte haben die reduzierte Modellierung der

elastischen Werkzeugeigenschaften und die Einbeziehung der elastischen Einflüsse der Werkzeugführungen zum Inhalt.

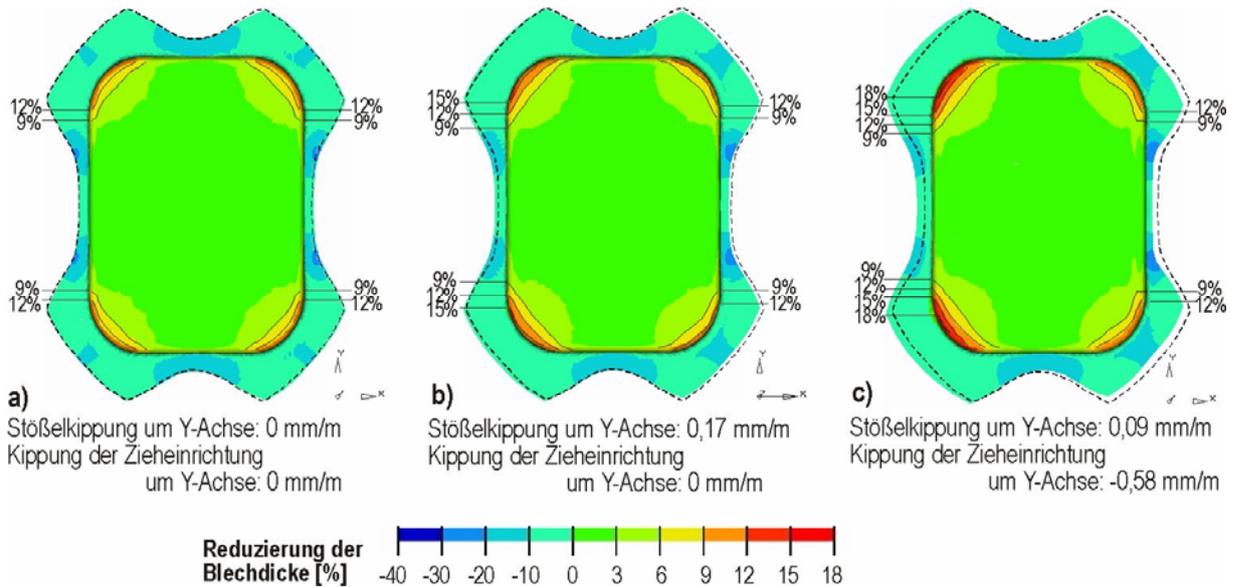


Bild 3: Blechdickenreduzierung und Blecheinzug, O-Gestell-Pressen mit 1-Punkt-Antrieb

a) starr: Presse, Zieheinrichtung, Werkzeug

b) elastisch: Presse; starr: Werkzeug, Zieheinrichtung

c) elastisch: Presse, Zieheinrichtung; starr: Werkzeug

4.4.3 Objektivierung der Verfahrensgrundlagen für die experimentelle Ermittlung der dynamischen Tragzahl von Profilschienenführungen

Laufzeit 03/2006 - 02/2008

Finanzierung Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Bearbeiter Dipl.-Ing. Lars Neidhardt

Zielstellung

Die Lebensdauerberechnung für PSF ist auf rein analytischem Weg bislang nicht möglich. Als Alternative existiert das empirisch gefundene Modell von Lundberg und Palmgren, welches auf experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der dynamischen Tragzahl angewiesen ist. Die dabei ermittelte dynamische Tragzahl wird durch die Untersuchungsbedingungen und durch die Auswertung der Ergebnisse beeinflusst. Aus diesen Tatsachen ergeben sich vier Hauptziele für das Projekt:

1. Erfassung, Bewertung und Verringerung nicht idealer Belastungen.
2. Bewertung des Einflusses der Prüfkrafthöhe und darauf basierende Festlegung der Prüfkrafthöhe.
3. Erarbeitung von Methoden zur definierten Feststellung eines Prüflingsausfalls.
4. Entwicklung eines bezüglich der Ergebnisgenauigkeit optimierten Verfahrens zur Auswertung von PSF- Lebensdaueruntersuchungen.

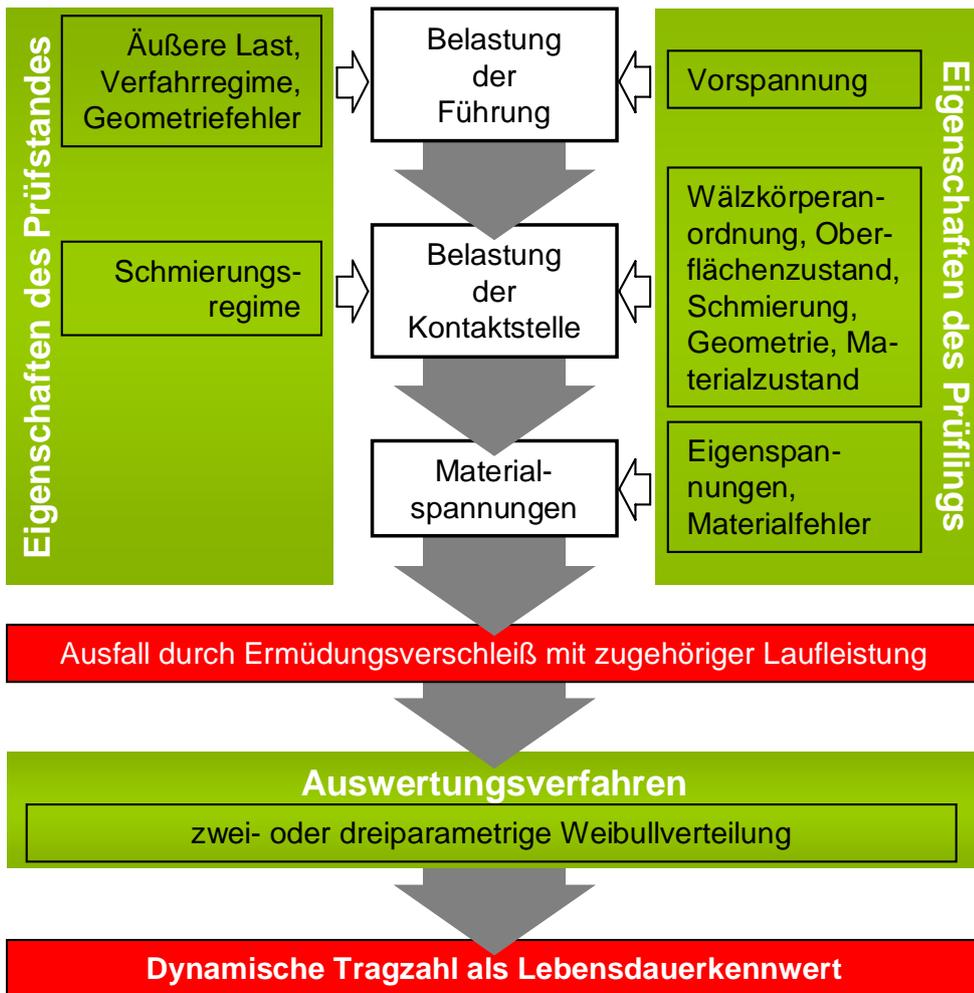
Lösungsweg

- Messtechnische Erfassung realer Prüflasten
- Auswirkungsanalyse nicht idealer (z. B. außermittiger) Belastungen auf Basis der FEM.
- Festlegung der maximal zulässigen Höhe nicht idealer Belastungen.

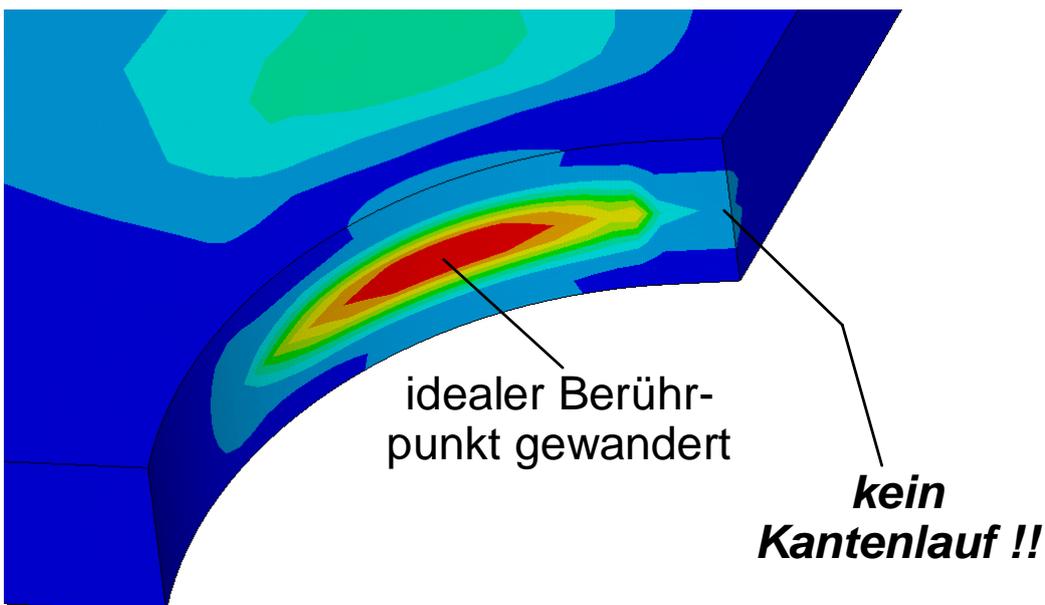
- Berechnung Kantenlauf bewirkender Prüflasthöhen auf Basis von FEM-Kontaktmodellen am Markt erhältlicher PSF.
- Ermittlung der Abhängigkeit der dynamischen Tragzahl von der Prüflasthöhe auf Basis von Lebensdauerexperimenten bei verschiedenen Prüflasthöhen.
- Bewertung möglicher Verfahren zur Ausfallerkennung auf Basis der Abweichungen der ermittelten dynamischen Tragzahlen von dem Wert, der aus der sensibelsten Ausfallerkennung resultiert.
- Definition des Zustandes (unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten zur Ausfallerkennung) bei dem ein Prüflingsausfall vorliegt.
- Beschreibung der realen Ausfallverteilung durch Wertepaare von Ausfallwahrscheinlichkeit und Laufwert anhand durchgeführter Lebensdauerexperimente.
- Ermittlung einer, durch Parameter beschreibbaren, Wahrscheinlichkeitsverteilung, welche die reale Ausfallverteilung mit möglichst geringen Abweichungen beschreibt.
- Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung der unbekanntenen Beschreibungsparameter der ermittelten Wahrscheinlichkeitsverteilung aus experimentell gewonnenen Laufwerten.
- Entwicklung einer Software zur Bestimmung der dynamischen Tragzahl aus experimentell ermittelten Laufwerten.

Ergebnisse

Eingrenzung des Bereichs der zulässigen Prüfkraft auf Basis von FEM-Untersuchungen zum Erreichen von Wälzkörper-Kantenlauf. Messtechnische Erfassung der tatsächlich bei Lebensdauerexperimenten auf die Prüflinge einwirkenden Belastungen. Bewertung der Auswirkung dieser tatsächlichen Belastungen auf die mit dem Versuch ermittelte dynamische Tragzahl.



Vorgehensweise



Spannungsverlauf in der Wagenlaufbahn

4.4.4 Modellgestützte Analyse von Pressmaschinen auf Grundlage experimentell verifizierter Parameter

Laufzeit 06/2003 - 11/2005

Finanzierung Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungs-gemeinschaften "Otto von Guericke" (AiF) / Europäische Forschungsgesellschaft für Blech-verarbeitung e. V. (EFB)

Bearbeiter Dr.-Ing. Hajo Wiemer

Kooperation TU Darmstadt, Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen

Zielstellung

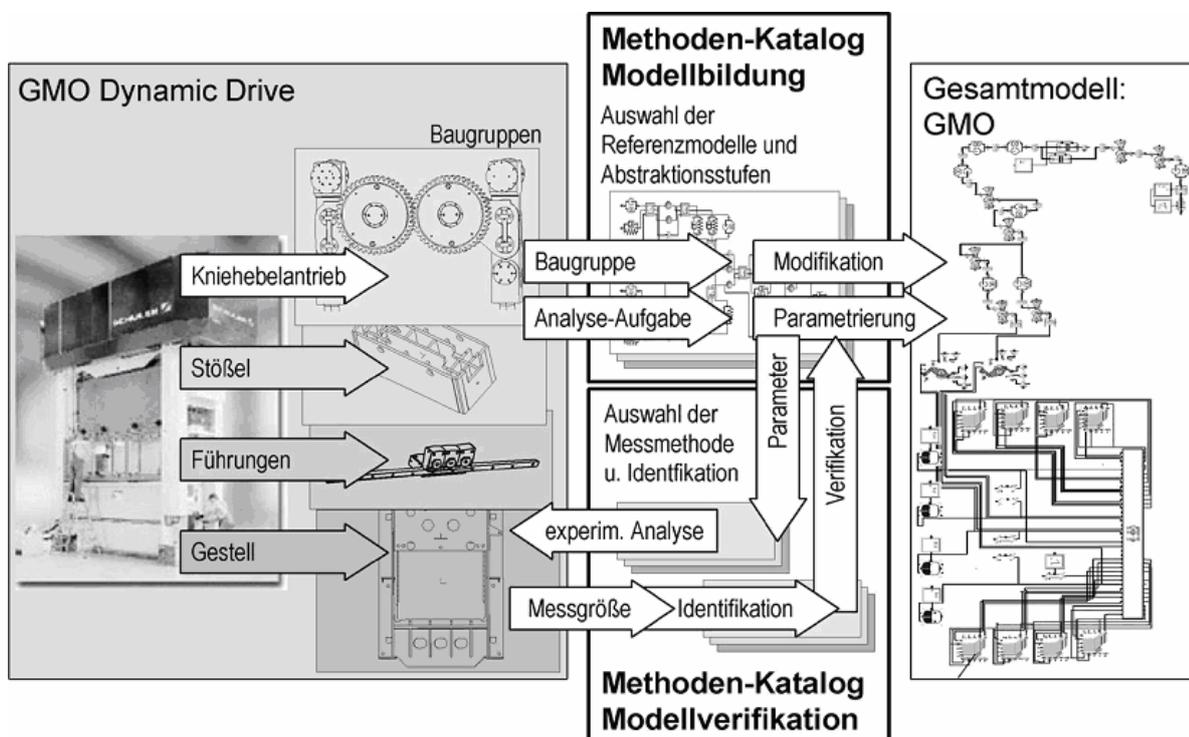
Das Gemeinschaftsvorhaben mit dem PtU der TU Darmstadt verfolgte das Ziel, einen Beitrag zur Verbesserung des Genauigkeits- und Verschleißverhaltens sowie zur Steigerung der Produktivität von Pressmaschinen zu leisten. Dies gelingt maschinenseitig nur mit der Verbesserung der Maschineneigenschaften, beispielsweise durch Optimierung von variablen Pressenparametern, der Werkzeuggestaltung sowie der konstruktiven Pressengestaltung. Dazu ist jedoch vertieftes Wissen über die komplexen dynamischen Wechselwirkungen im System "Pressmaschine, Werkzeug und Prozess" notwendig, welches den Einsatz modellgestützter Analysemethoden unentbehrlich macht. Im Projekt soll deshalb den Forderungen aus der Praxis nach Simulationsmethoden mit verbesserter Aussagefähigkeit, mehr Anwenderfreundlichkeit sowie nach unterstützenden Methoden zur Modellverifikation nachgegangen werden. Projektziel ist somit die Entwicklung eines praxis-tauglichen Analyse-Werkzeuges auf der Basis vorhandener Modellgrundlagen, welches diesen Anforderungen gerecht wird.

Lösungsweg

In vorangegangenen Forschungsarbeiten des IWM ging es insbesondere um die Grundlagen für Modellierung und Simulation

des dynamischen Verhaltens von Umformpressen und deren Baugruppen anhand des exemplarischen Beispiels GT-Pressen PTR3200. In der konsequenten thematischen Weiterführung wurden folgende Schwerpunkte bearbeitet:

- Anwendung des Modells der Zweistößel-Transferpresse für grundlegende Problemanalysen an Mehrstößel-Transferpressen z. B. im Überlast- und Prozessverhalten.
- Verallgemeinerung der erstellten Teilmodelle der einzelnen Baugruppen, Ablage in Referenzmodellen und zusammenfassende Erstellung eines "Methodenkataloges zur Modellbildung".
- Modellverifikation auf Grundlage experimentell ermittelter Parameter und Erstellung des "Methoden-Kataloges zur Modellverifizierung" (Entwicklung von experimentellen Untersuchungsmethoden, mit denen u. a. eine indirekte Parameterverifikation möglich ist).
- Nachweis der Anwendbarkeit der Referenzmodelle sowie der Verifikationsmethoden an vom projektbegleitenden Ausschuss ausgewählten Pressen anderer Bauart.



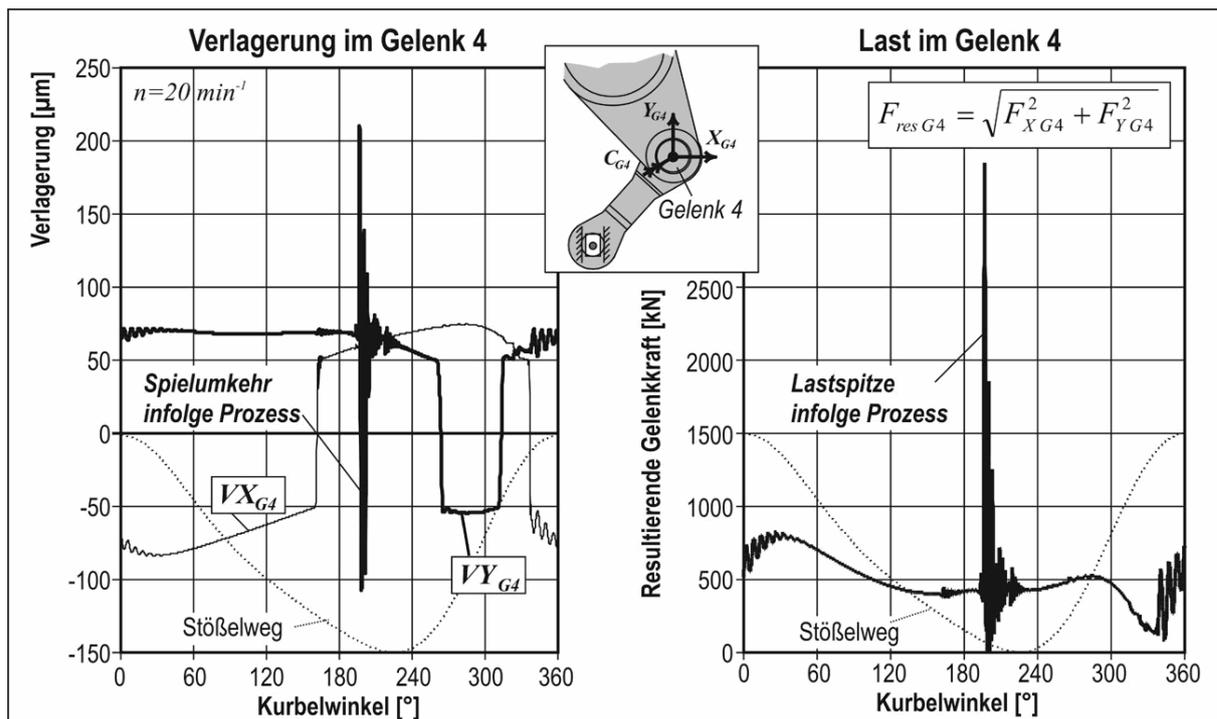
Vorgehensweise bei der Modellbildung durch Anwendung der Methoden-Kataloge zur Modellbildung und Modellverifikation

Ergebnisse

Als Ergebnisse wurden am IWM die Grundlagen für die Modellierung (Modellbildung, Parameterermittlung, Grenzen der Modellaussagefähigkeit) der wesentlichen Pressenbaugruppen bearbeitet. Die wesentlichen Baugruppen sind

- Stößel, Pressenrahmen und Aufstellung,
- Räder- und Hebelgetriebe, hydraulische Überlastsicherung, Stößelgewichtsausgleich,
- Stößelführungssystem.

Die Baugruppenmodelle wurden im Sinne von Referenzmodellen in einem so genannten "Methodenkatalog zur Modellbildung" abgelegt und werden im weiteren Projektverlauf mit den vom Projektpartner erarbeiteten Verifikationsmethoden verknüpft.



Anwendungsbeispiel des Pressenmodells für die Berechnung der Baugruppenbelastung im Betriebsfall - "Ermittlung der Verlagerung und der Kraft in einem Gelenk des Hebelgetriebes unter Einfluss eines Schneidprozesses" (Gelenkspiel 0,1 mm) [Dissertation H. Wiemer]

4.4.5 Virtuelle Werkzeugeinarbeitung - Vergleichende Bewertung der Simulation von Umformprozessen unter elastischen Randbedingungen

Laufzeit 03/2004 - 12/2006

Finanzierung Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungs-
gemeinschaften "Otto von Guericke" (AiF) /
Europäische Forschungsgesellschaft für Blech-
verarbeitung e. V. (EFB)

Bearbeiter Dr.-Ing. Hajo Wiemer
Dipl.-Ing. André Hardtmann

Kooperation TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik

Zielstellung

Beim gegenwärtigen Stand der FEM-Prozesssimulation von Umformvorgängen werden i. A. die Werkzeuge und die Umformmaschine starr, d. h. nicht deformierbar, modelliert. Das Ziel des Vorhabens bestand darin, die am realen Werkzeug und an der realen Maschine während des Umformvorganges auftretenden Deformationen im Modell des Umformprozesses mit zu berücksichtigen und auf diese Weise einen Beitrag zur Verbesserung der Aussagegenauigkeit der Prozesssimulation zu leisten. An einem praxisrelevanten Beispiel sollten die Umformprozessmodelle für die Berücksichtigung der statischen Pressen- und Werkzeugeinflüsse erweitert werden. Darauf aufbauend waren Ansätze für die Verlagerung des Werkzeugeinarbeitungsprozesses ins Virtuelle zu erarbeiten.

Lösungsweg

- Auswahl der Referenzwerkstücke und -maschinen.
- Erstellung des Werkzeug-Modells auf FEM-Basis für die Abbildung der elastischen Werkzeugeigenschaften im erweiterten FEM-Prozessmodell.
- Erstellung des ersetzenden Pressen-Modells zur Abbildung der wesentlichen statischen Eigenschaften (*Bild 1*).

- Erweiterung des FEM-Prozessmodells.
- Berechnung der erweiterten FEM-Prozessmodelle (*Bild 2*).
- Herstellung und Messung der Referenzwerkstücke sowie Vergleich der Analyseergebnisse der unterschiedlichen Modellansätze mit den Messergebnissen der Realteile in Abstimmung mit den projektbegleitenden Industrieunternehmen.
- Erarbeitung einer prinzipiellen Vorgehensweise zur virtuellen Werkzeugeinarbeitung mithilfe der FEM-Prozesssimulation und beispielhafte Anwendung. (*Bild 3*).

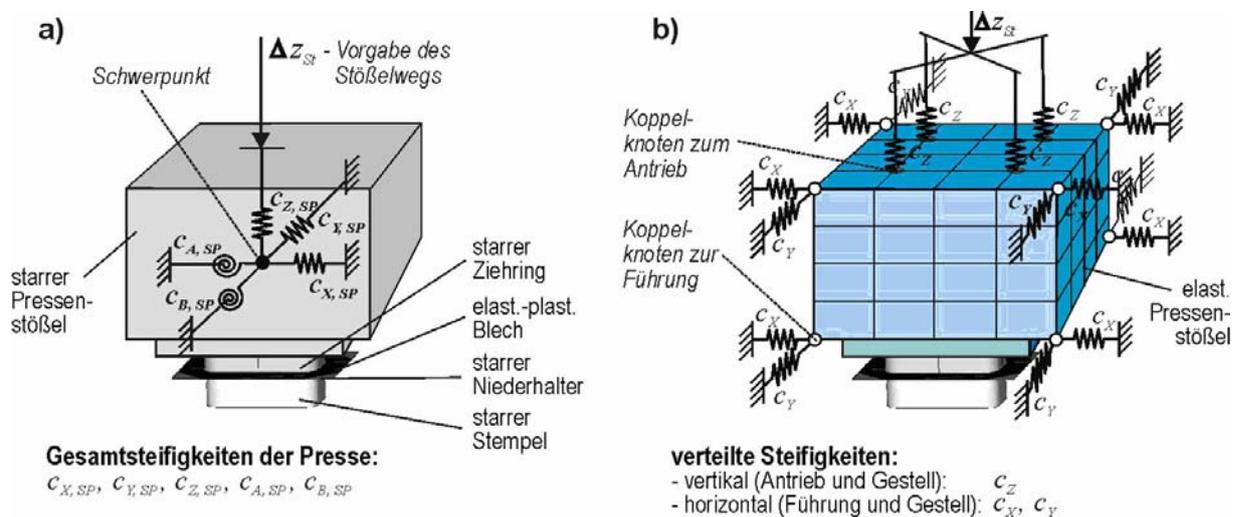


Bild 1: FEM-Modell des Umformprozesses

- a) erweitert mit Pressenmodell für die elastische Aufhängung des starren Stößels im Schwerpunkt*
- b) erweitert mit Pressenmodell in Antriebs- und Führungsfedern aufgelöst für elastischen Stößel (Beispiel: O-Gestell mit 4-Punkt-Antrieb)*

Ergebnisse

Im Vorhaben wurde das FEM-Prozessmodell für die Berücksichtigung der elastostatischen Pressen- und Werkzeugeinflüsse erweitert. Am Benchmarkteil "S-Rail" wurde demonstriert, dass die Pressen- und Werkzeugeinflüsse darstellbar sind und am Ziehergebnis sichtbar sind (*Bild 2*).

Der experimentelle Nachweis wurde in Abstimmung mit der Industrie in der Themenfortführung vorgesehen.

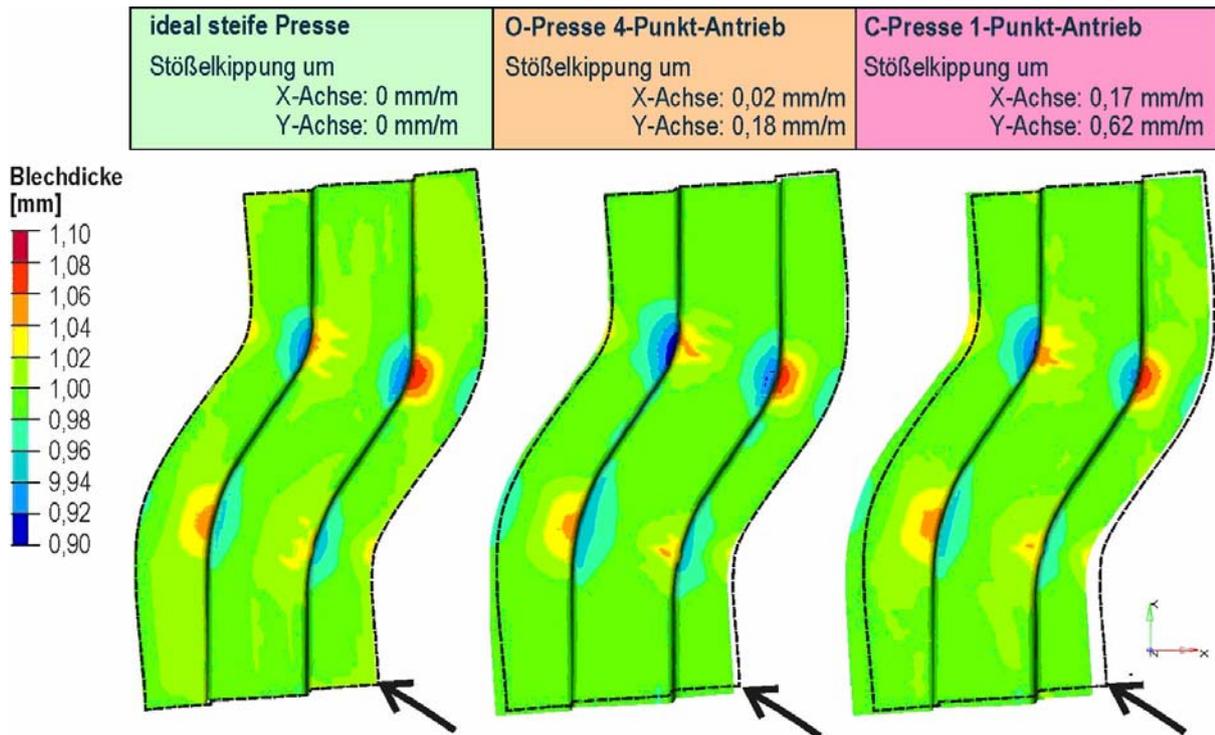


Bild 2: Simulationsergebnisse zur Analyse der Presseneinflüsse (Blechdickenverteilung und Blecheinzug bei Ziehtiefe von 40 mm für das Bauteil "S-Rail")

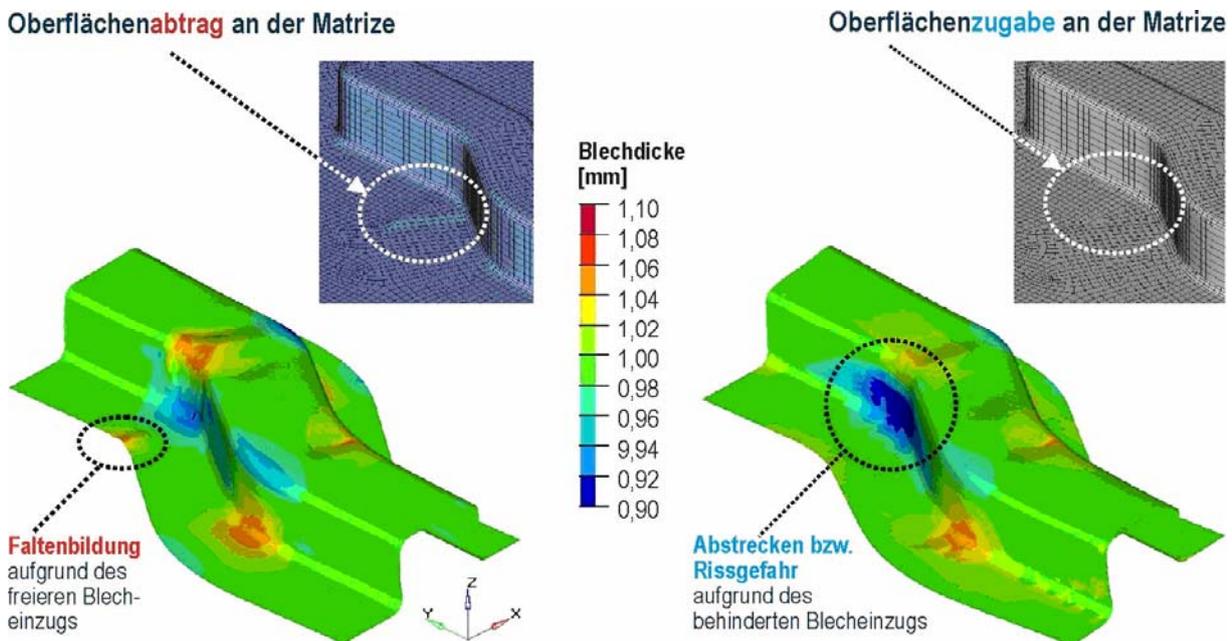


Bild 3: Möglichkeiten der Werkzeug-Topologieanpassung in der FEM-Simulation des Umformprozesses mit detaillierter Werkzeugbeschreibung als Basis für die virtuelle Werkzeugeinarbeitung

4.4.6 Lebensdaueruntersuchungen an Rollenprofilschienenführungen der Baugröße 125

Laufzeit seit 010/2004

Finanzierung Industrie

Bearbeiter Dipl.-Ing. Lars Neidhardt

Zielstellung

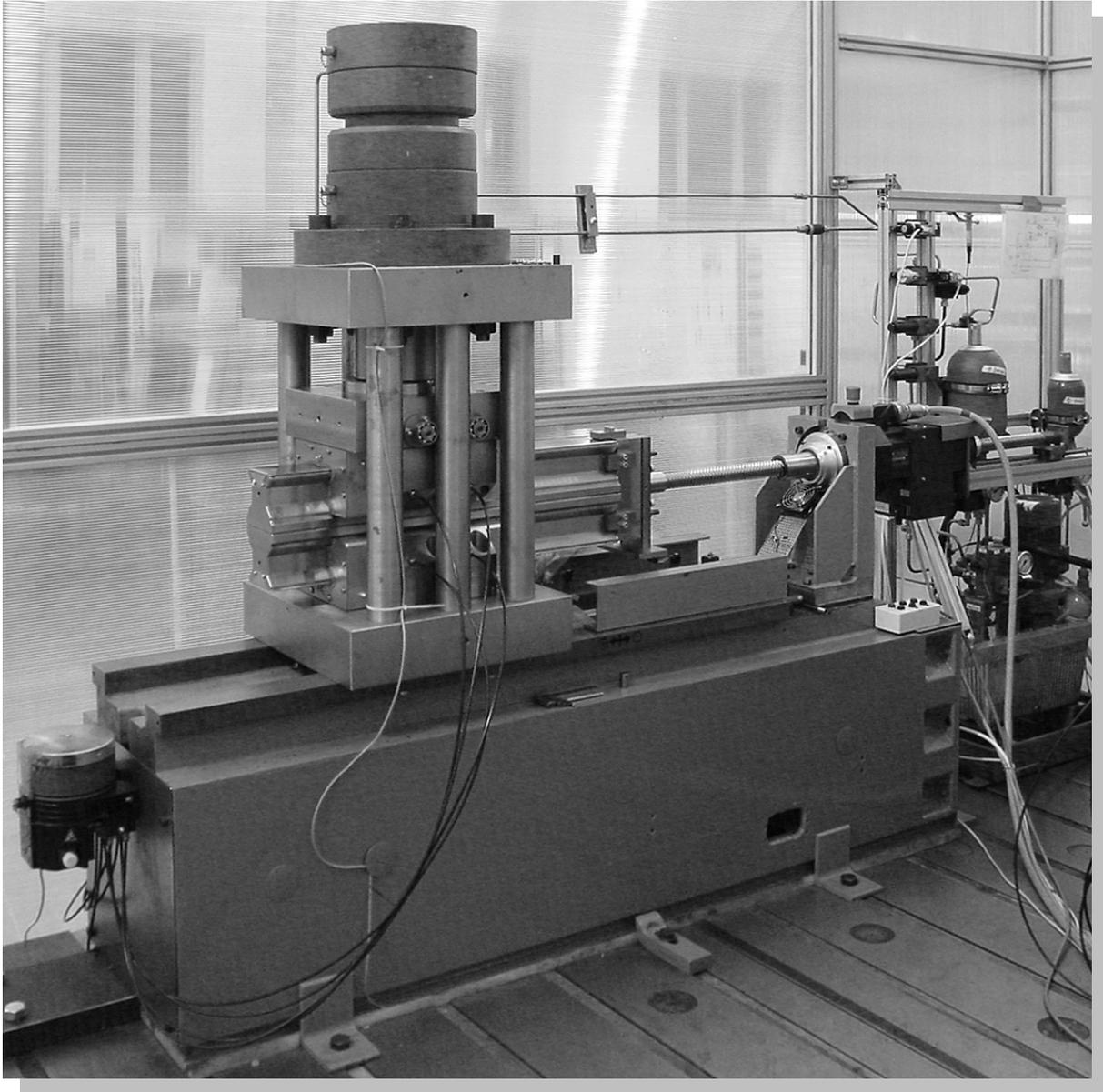
Profilschienenführungen (PSF) wurden bisher größtenteils für die lineare Führung von Baugruppen in Werkzeugmaschinen und Automatisierungseinrichtungen eingesetzt. Zurzeit ist allerdings auch die vermehrte Verwendung von PSF als Stoßführung an Umformmaschinen festzustellen. Im Vergleich zu den dort bisher meist verwendeten Gleitführungen sind bei Versatz und Kippung des Pressenstößels Verbesserungen infolge der Spielfreiheit von PSF zu erwarten. Der Einsatz als Pressenstößelführung stellt jedoch neue Anforderungen an diese Führungselemente. Sie bestehen einerseits in einem Weg, der zu klein ist, um die Wälzkörper komplett umlaufen zu lassen und andererseits in der stoßartigen Belastung, die praktisch immer am gleichen Ort des Stößelhubes einsetzt. Weiterhin sind die auftretenden Lasten in der Regel höher als in den bisherigen Einsatzgebieten von PSF. Ziel des Projektes ist es, einen Stoßfaktor für den Einsatz von PSF in der Baugröße 125 zu ermitteln, um deren Dimensionierung nach der Lebensdauer unter den Bedingungen als Pressenstößelführung zu ermöglichen.

Lösungsweg

- Durchführung von Lebensdaueruntersuchungen mit einer pressentypischen, stoßartigen Belastung.
- Auswertung der mit Ausfall der einzelnen Prüflinge ermittelten Laufwerte.
- Berechnung eines Stoßfaktors für die Dimensionierung von PSF der Baugröße 125 nach der Lebensdauer.

Ergebnisse

- Konstruktion und Inbetriebnahme eines neuen Versuchstandes.
- Durchführung von Lebensdauerversuchen: Laufwerte für fünf Prüflinge ermittelt.



Versuchsstand zur Ermittlung der Lebensdauer von PSF der Baugröße 125 unter stoßartiger Belastung

4.4.7 Lebensdaueruntersuchungen unter Kurzhubbedingungen an beschichteten Rollenprofilschienenführungen der Baugröße 45

Laufzeit 07/2006 - 11/2006

Finanzierung Industrie

Bearbeiter Dipl.-Ing. Lars Neidhardt

Zielstellung

Profilschienenführungen (PSF) werden meist mit Schienen und Wagen in Stahlausführung eingesetzt. Außerdem sind die Fahrwege bei üblichen Einsatzbedingungen lang genug, um mindestens einen kompletten Umlauf der Wälzkörper im Wagen zu bewirken. Für eine konkrete Kundenanwendung mit einem Weg von nur 2 mm werden zum Korrosionsschutz beschichtete PSF verwendet. Obwohl bei deren Hersteller ein gewisser Erfahrungsschatz zu den Auswirkungen bei Kurzhub besteht, ist bisher nichts über das Verhalten beschichteter PSF unter diesen Verfahrbedingungen bekannt. Ziel des Projektes ist es daher, die Einsatzbedingungen der Kundenanwendung bezüglich Belastung und Fahrweg nachzubilden und Veränderungen der Prüflinge unter diesen Bedingungen zu dokumentieren.

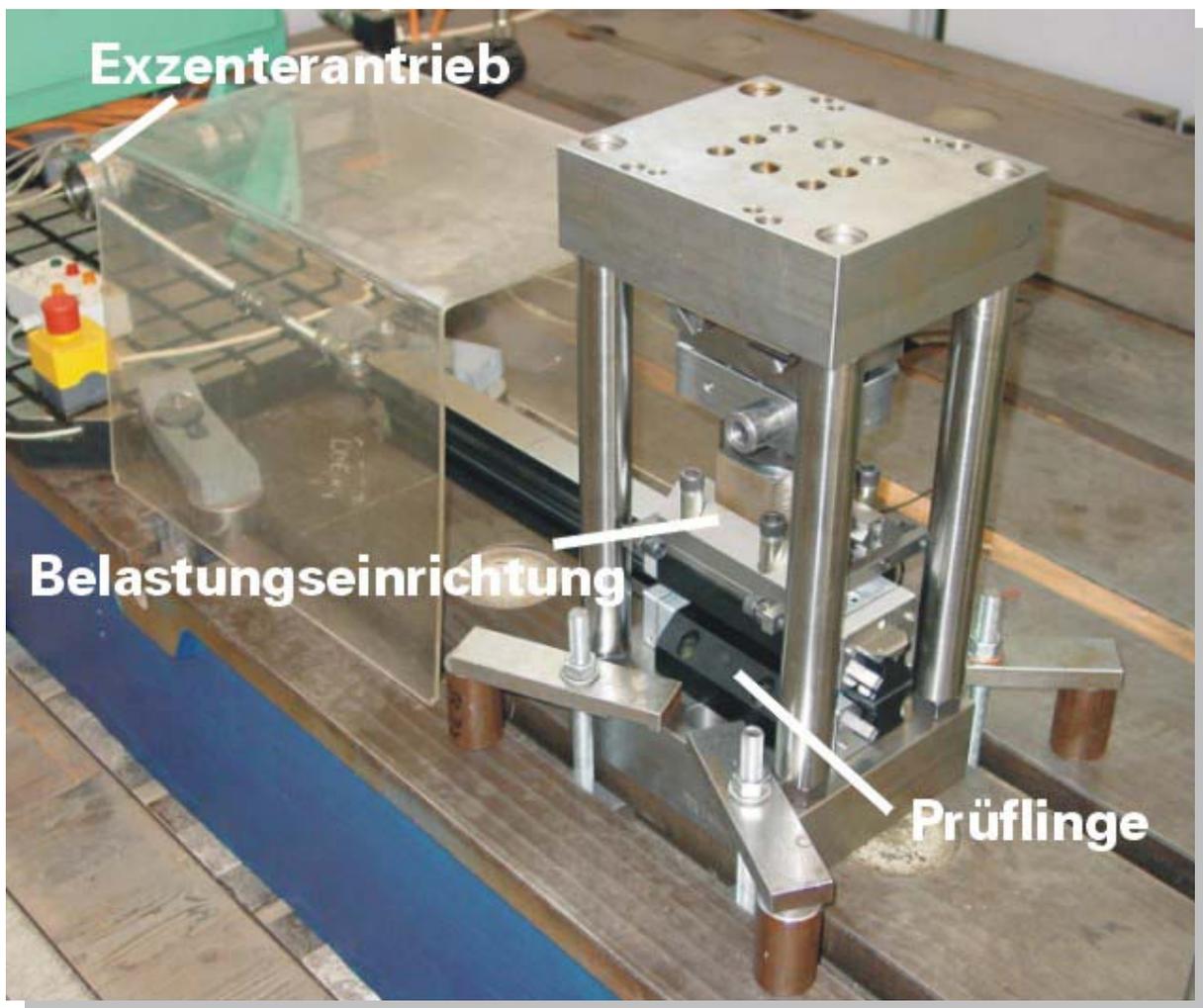
Lösungsweg

- Aufbau eines Versuchsstandes zur Last- und Weggenerierung.
- Durchführung der Lebensdauerversuche bei Kurzhub mit äußerer Last bis 5×10^6 Doppelhübe erreicht sind.
- Messen u. Dokumentieren der äußeren Last u. der Verfahrlast.
- Aufnehmen u. Dokumentieren v. Veränderungen der Prüflinge.

Ergebnisse

- Alle Prüflinge waren nach 5×10^6 Doppelhüben noch einsatzbereit.
- Es kam bei keinem Prüfling zu Pittingbildung.

- Im Verfahrbereich der absolvierten Doppelhübe hat sich eine Raststellung gebildet.
- Im Bereich dieser Raststellung gab es Vertiefungen von maximal $6,4 \mu\text{m}$.
- Das (nur vor Versuchsbeginn) eingebrachte Schmierfett war stark schwarz verfärbt und in deutlich reduzierter Menge vorhanden.
- Es wurden Wartungs- und Schmierintervalle festgelegt.



Versuchsstand zur Ermittlung der Lebensdauer von PSF bei konstanter äußerer Last und unter Kurzhubbedingungen

5 Dissertationen



5.1 Verbesserung der Bewegungsgenauigkeit an einem Hexapod einfacher Bauart

Promovend



Bernd Kauschinger

- geboren 1968 in Schkeuditz
- 1990 - 1995 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 1995 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWM

Gutachter

Prof. Dr.-Ing. habil. Knut Großmann (TU Dresden)

Prof. Dr. rer.nat. habil. Karl-Heinz Modler (TU Dresden)

Dr.-Ing. Ralf Bonefeld (BoschRexroth AG, Lohr)

Verteidigung

21. März 2006

In der Arbeit wird ein alternatives, modulares Genauigkeitskonzept zur Verbesserung der Bewegungsgenauigkeit einer Hexapod-Parallelkinematik vorgestellt. Es stützt sich auf die modellbasierte, steuerungsintegrierte Korrektur geometrisch-kinematischer, elastischer und thermisch bedingter Verlagerungen an der Wirkstelle (*Bild 1*). Als Stellachsen für die Korrektur werden dabei die Stabachsen des Hexapod verwendet. Berücksichtigt werden statische und quasistatische Fehleranteile an der Wirkstelle. Das dynamische Verhalten der Bauteile wurde aus Gründen der Komplexität nicht betrachtet. Prinzipiell kann das Genauigkeitskonzept aber dahingehend erweitert werden.

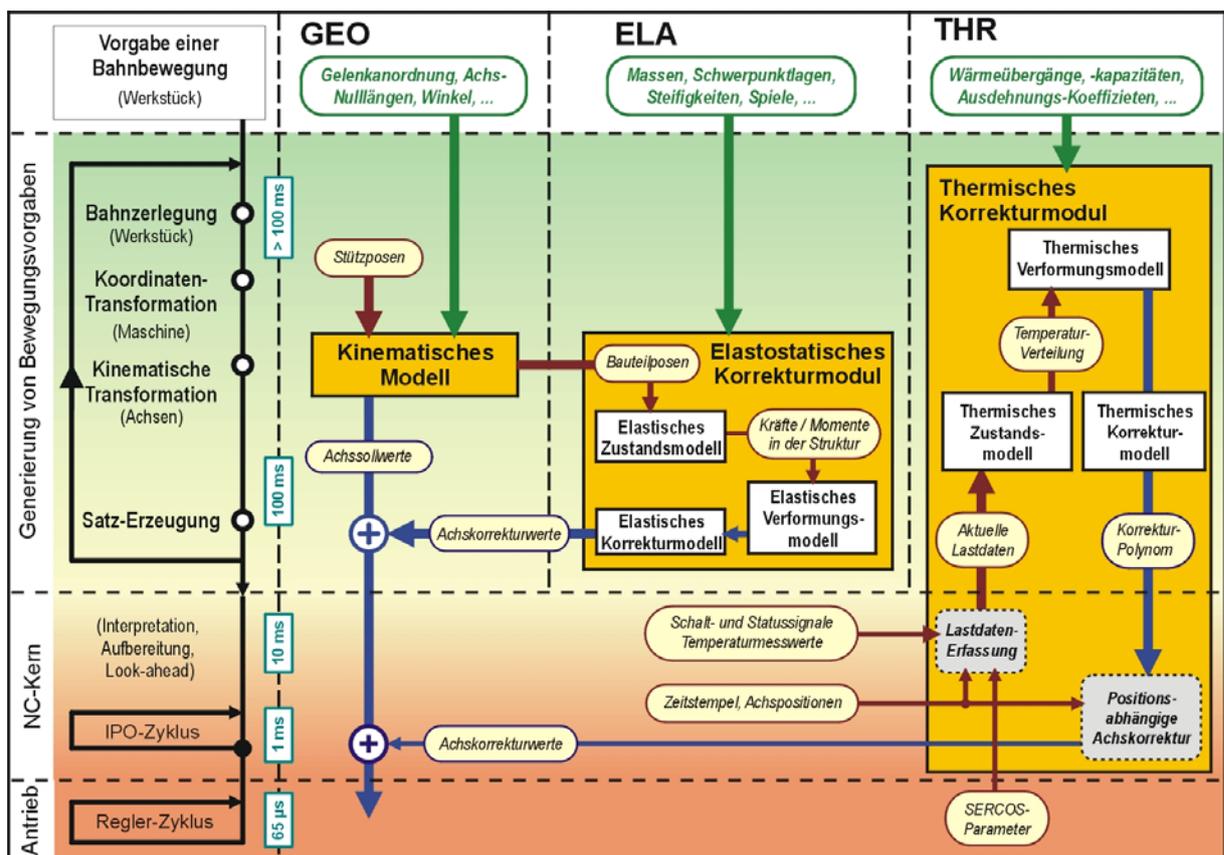


Bild 1: Steuerungintegrierte modellbasierte Korrektur von Bewegungsfehlern

Die Umsetzung erfolgte beispielhaft für den Hexapod einfacher Bauart FELIX (Bild 2). Das Konzept der einfachen Bauart orientiert auf eine Reduzierung des konstruktiv-mechanischen Aufwandes. Es stützt sich dabei auf einfache, robuste, sicher beherrschbare und funktionell abgemagerte konstruktive Lösungen, die deutlich im Low-Cost-Bereich verbleiben, in Verbindung mit dem Ausreizen steuerungstechnischer Möglichkeiten. Die Zielstellung besteht dabei in einer wirtschaftlichen Gesamtlösung. Der Anwendungsfokus des Hexapod FELIX liegt auf Fertigungsaufgaben mit Bewegungsanforderungen in bis zu sechs Freiheitsgraden bei mittleren Genauigkeiten, Geschwindigkeiten und Belastungen. Anhand experimenteller Untersuchungen konnte die Wirksamkeit des gewählten Korrekturansatzes und die Funktionsfähigkeit der Lösung gezeigt werden. Die einzelnen Module des Genauigkeitskonzeptes können schrittweise und weitgehend unabhängig voneinander umgesetzt werden.

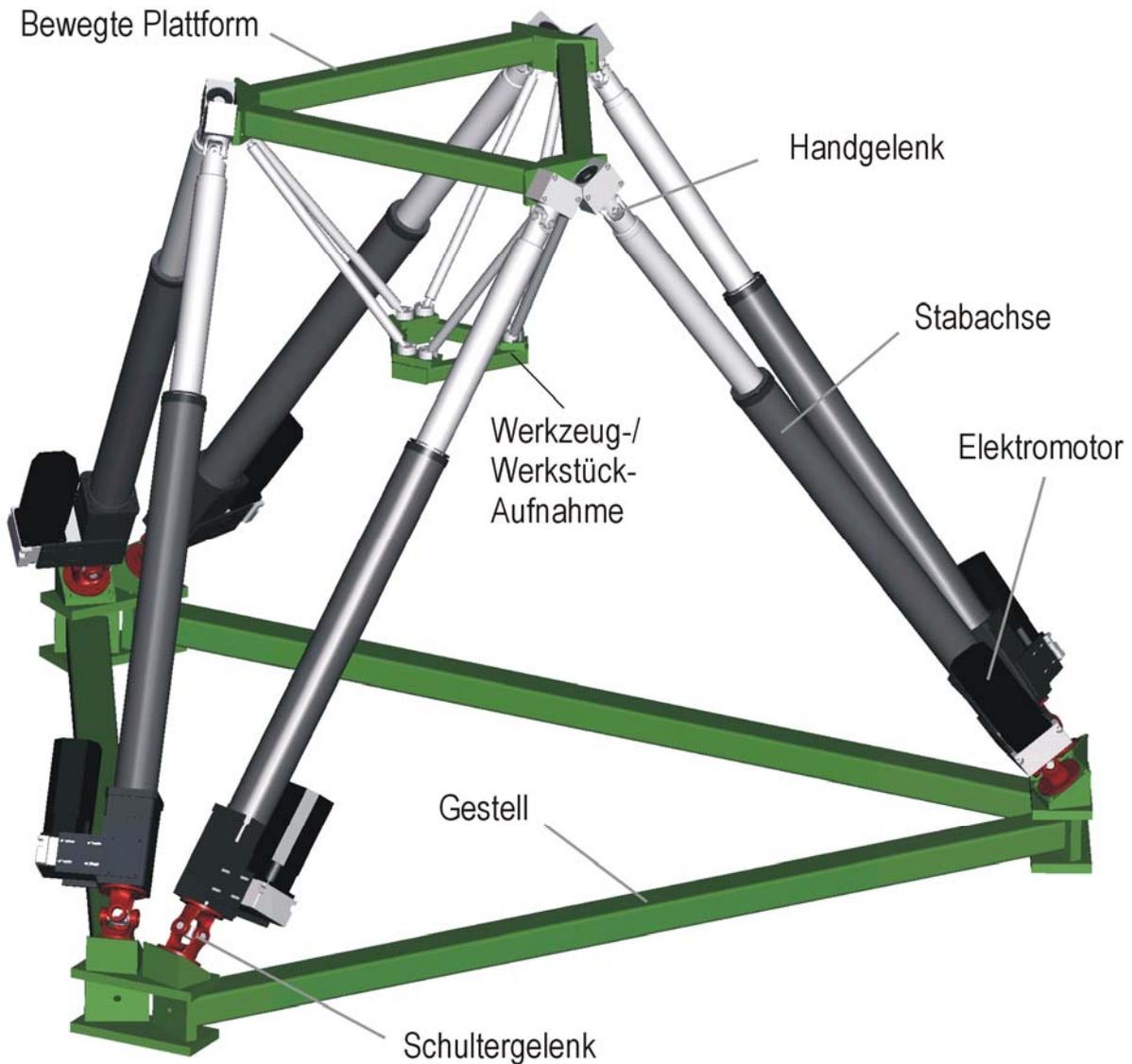


Bild 2: Hexapod einfacher Bauart FELIX

Der nötige Aufwand kann damit an die anwendungsspezifischen Genauigkeitsforderungen angepasst werden. Der Ansatz bildet eine Grundlage für die Anwendbarkeit des Konzeptes der einfachen Bauart und für eine effiziente kinematische Kalibrierung des Hexapod. Er ermöglicht leistungsfähige und preiswerte Parallelkinematiken mit mehr Akzeptanz beim Anwender.



Bild 3: Rolle der Steuerung in der Fertigungseinrichtung

Für die Umsetzung des Genauigkeitskonzeptes erweist sich eine alternative Sichtweise auf die Rolle der Steuerung in der Fertigungseinrichtung als zweckmäßig. Die Steuerung ist nicht nur eine rechentechnische Komponente der Maschine, vielmehr stellt das Abbild in der Steuerung ein virtuelles Gegenstück zur realen Struktur dar (Bild 3). Genauigkeitsverbesserungen sind dann möglich durch Reduzierung der Abweichungen zwischen dem steuerungsinternen Abbild und der realen Struktur. Das gelingt durch Maßnahmen an der realen Struktur (Gestaltung, Fertigung) und am steuerungsinternen Verhaltensabbild (Modellierung).

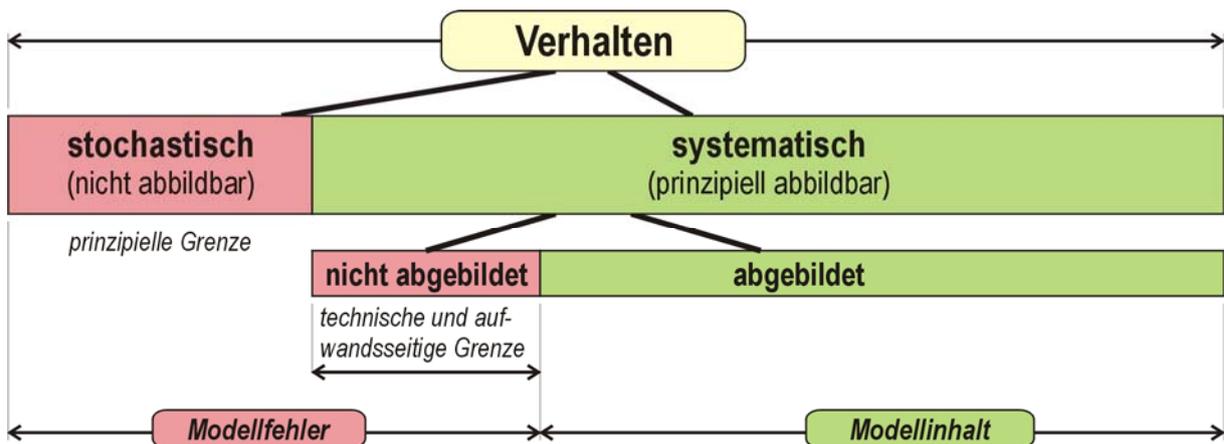


Bild 4: Abbildbarkeit von Verhalten

Beide Varianten sind in ihrer Wirksamkeit begrenzt. So ist eine Voraussetzung für die Abbildbarkeit von Verhalten ein überwiegend systematisches Verhalten der Baugruppen. Darüber hinaus existieren prinzipielle sowie technische und aufwands-

seitige Grenzen bei der Verhaltensmodellierung (*Bild 4*). Gleiches gilt für Maßnahmen an der realen Struktur.

Wirtschaftliche Lösungen erfordern somit stets eine Kombination genauigkeitsverbessernder Maßnahmen sowohl an der realen Struktur als auch am Verhaltensabbild. Die Kriterien zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit sind dabei abhängig von der konkreten Anwendung.



Bild 5: Vorvermessung der Gelenkpunkten am Gestell mit einfachen Mitteln

Aufgrund unterschiedlicher Anforderungen und Teilaufgaben bei der Korrektur ist eine Zerlegung der Korrekturfunktionalität in einzelne Komponenten zweckmäßig. Deren Implementation kann weitgehend in zeitunkritischen Bereichen der Steuerung erfolgen. Der Implementationsaufwand im zeitkritischen Bereich wurde dadurch auf ein Minimum reduziert. Der komponentenbasierte Ansatz bietet Potenzial für die verteilte Berechnung komplexer Modelle im Netzwerk. Für die Umsetzung erweisen sich offene Steuerungen als vorteilhaft. Die Berücksichtigung geometrisch-kinematischer Einzelfehler erfolgte über ein erweitertes kinematisches Modell. Eine indirekte Vermessung der Gelenkpunktkoordinaten ist unter Werkstattbedingungen und mit

einfachen Mitteln möglich (Bild 5). Die damit erreichbaren Verbesserungen rechtfertigen einen reduzierten Fertigungs- und Montageaufwand der einzelnen Baugruppen. Für weitere Verbesserungen ist ein wirtschaftliches Verfahren zur effizienten kinematischen Kalibrierung erforderlich. Dieses ist bislang nicht verfügbar, an viel versprechenden Ansätzen, z. B. auf Basis einer quasikontinuierlichen Vermessung räumlicher Bahnen mit dem Double-Ball-Bar, wird derzeit noch gearbeitet. Elastische Verformungen der Hexapodstruktur können poseabhängig korrigiert werden, wobei auch nichtlineare Effekte, wie z. B. Gelenkspiel, modellierbar sind (Bild 6). Dafür waren eine hohe Abbildungsgüte des elastischen Zustandsmodells zur genauen Erkennung des Spieldurchgangs in den Gelenken sowie die Berücksichtigung des elastischen Verhaltens am Gestell erforderlich. Berücksichtigt wurden quasistatische elastische Verformungen infolge von poseabhängig verlagerten Eigen- gewichten der Bauteile. Die Erweiterung des Zustandsmodells um Trägheits- und Prozesskräfte gelingt durch Erweiterung der rechten Seite im resultierenden räumlichen Kräfte- und Momentengleichgewicht. Durch Optimierung des Gleichungssystems konnte der Rechenaufwand deutlich reduziert werden.

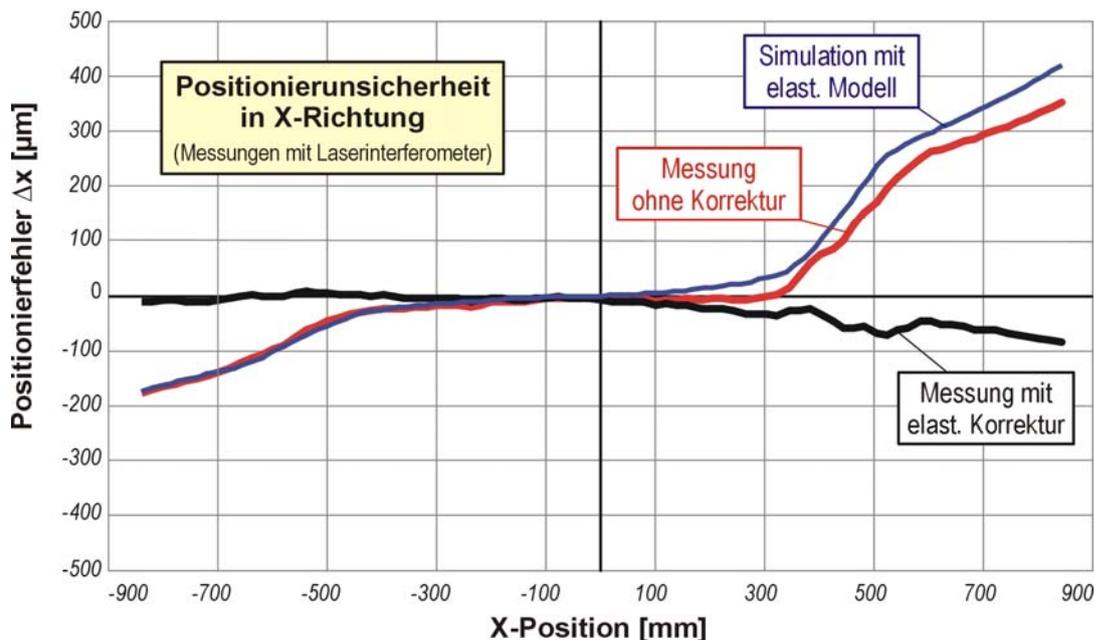


Bild 6: Korrektur elastischer Anteile am Bewegungsfehler mit Berücksichtigung nichtlinearen Verhaltens infolge von Gelenkspiel (Knicke im Verlauf)

Neben der Möglichkeit zur Korrektur elastischer Verformungen eröffnet das elastische Zustandsmodell auch die Möglichkeit für die Nutzung der Hexapodstruktur als 6achsige Kraftmessplattform zur Bestimmung räumlicher Prozesskräfte. Eingangsgrößen können dabei gemessene Achslängskräfte oder indirekt über den Motorstrom erfasste Vorschubkräfte sein. Zur Korrektur thermisch bedingter Fehleranteile wurden für die Stabachsen korrelative Modelle und strukturbasierte Knotenpunktmodelle erstellt und untersucht. In der Korrekturwirkung waren die strukturbasierten Modelle durch ihren größeren Gültigkeitsbereich den korrelativen Modellen überlegen (*Bild 7*). Die modellbasierte Korrektur ermöglicht eine Reduzierung thermisch bedingter Fehleranteile um 50 ... 70 %.

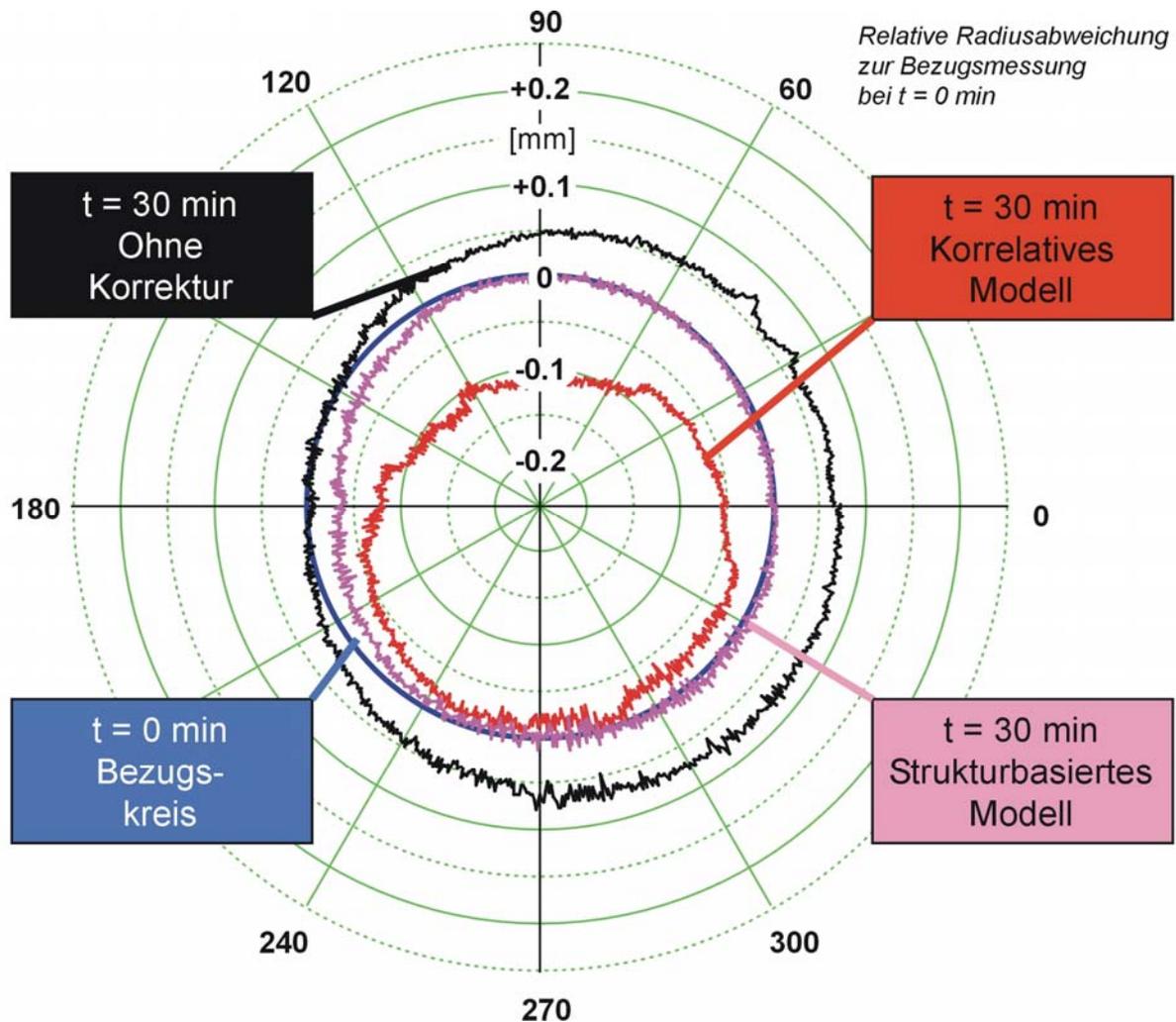


Bild 7: Nachweis der thermischen Korrektur mit unterschiedlichen Modellansätzen

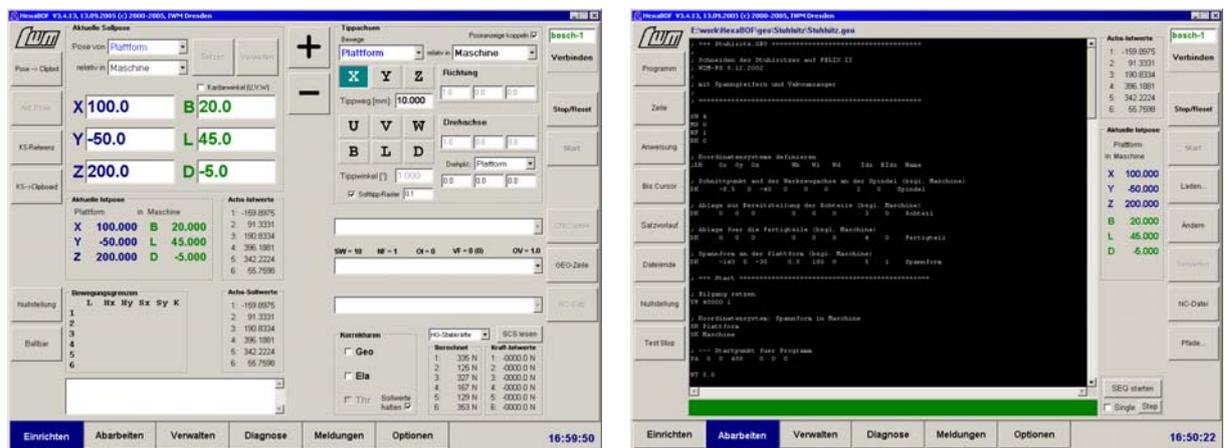


Bild 8: Bedienoberfläche "HexaBOF" des Hexapod FELIX

Für die Bedienung und Bewegungsprogrammierung des Hexapod FELIX wurde eine spezielle Steuerungssoftware als Bedienoberfläche entwickelt (Bild 8). Diese implementiert den Großteil der erforderlichen komplexen Berechnungen für Korrekturmodelle sowie Achs- und Koordinatentransformationen im zeitunkritischen Bereich.

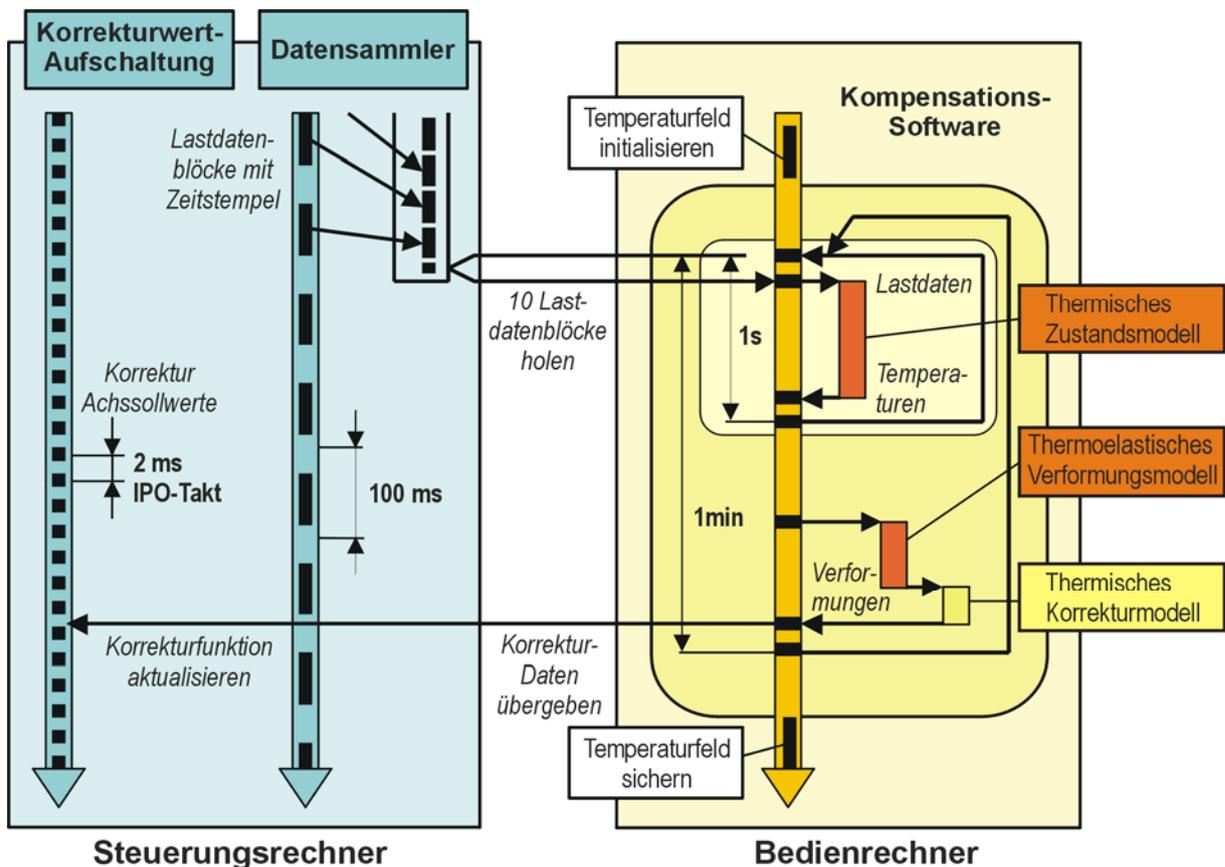


Bild 9: Konzept zur Implementation der thermischen Korrektur in der Steuerung

Die notwendigen Erweiterungen im zeitkritischen Bereich des NC-Kerns (z. B. für thermische Korrektur) konnten so auf ein Minimum reduziert werden (*Bild 9*). Die Hexapod-Bedienoberfläche ermöglicht u. a. den Tippbetrieb des Hexapod in kartesischen Koordinaten, die einfache Nutzung lokaler räumlicher Koordinatensysteme oder auch die Erstellung, automatische Abarbeitung und den Test von Bewegungs- und Bearbeitungsprogrammen. Darüber hinaus ist die Einbeziehung externer Messtechnik (z. B. Double-Ball-Bar oder Bildverarbeitung) in die Bewegungsabläufe möglich. Andere Anwendungen können die Steuerungsfunktionalität über einen COM-Server nutzen.

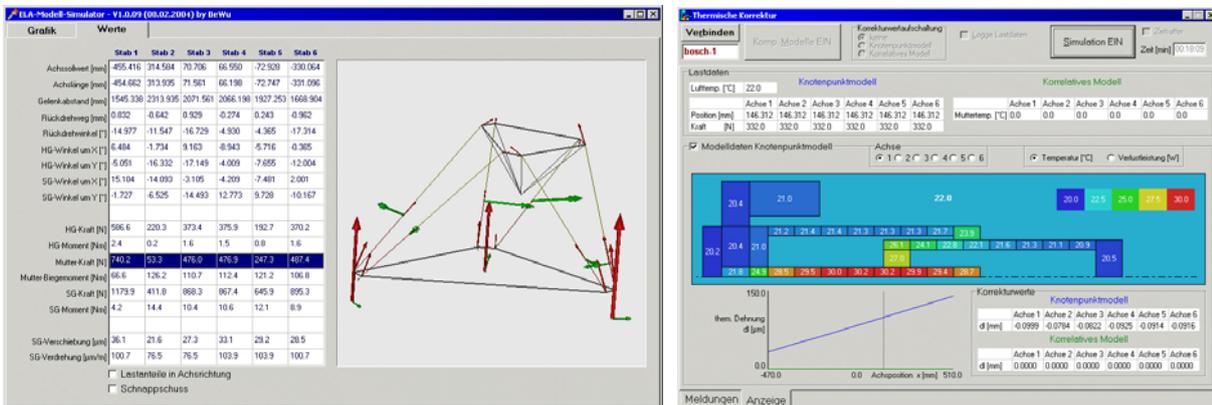
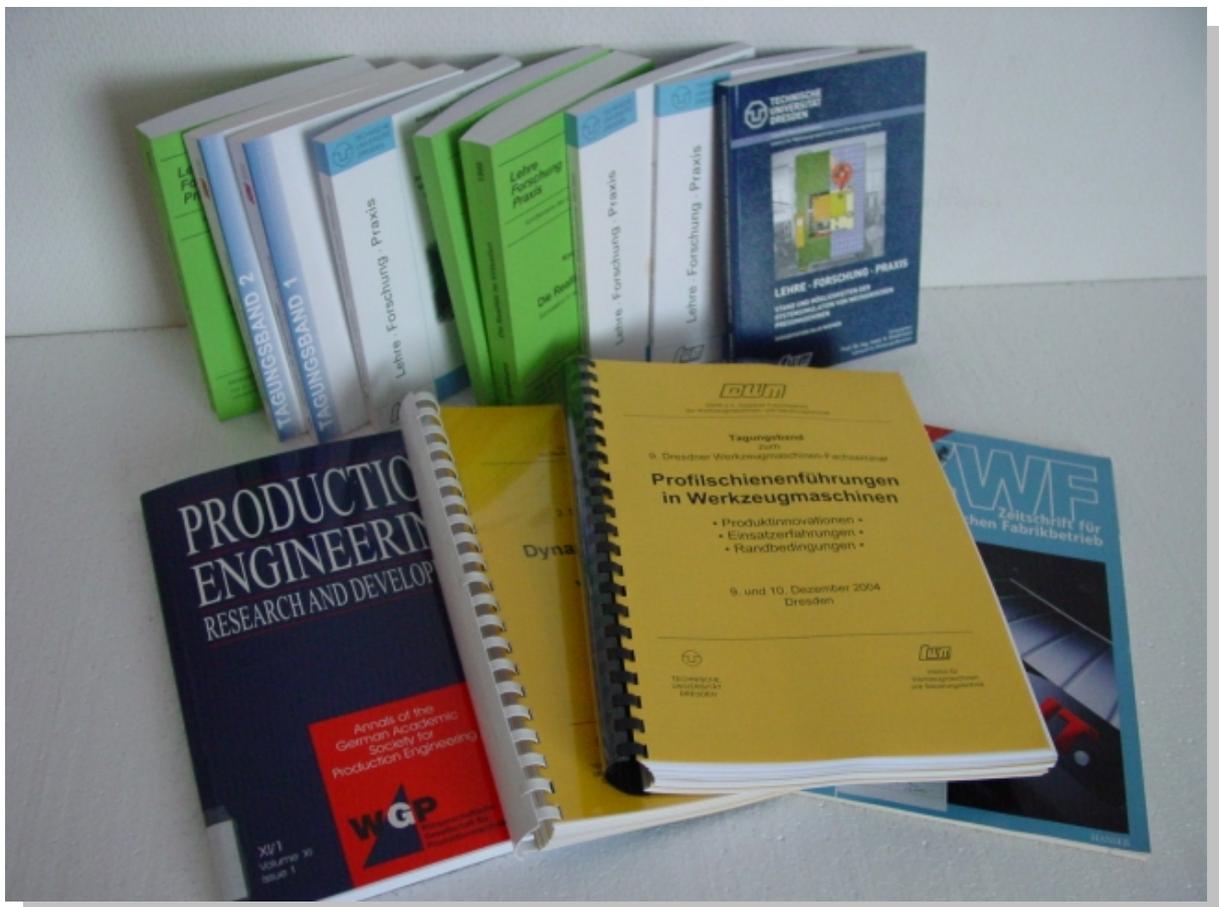


Bild 10: Bedienoberflächen für die elastische (links) und thermische (rechts) Korrektur

Die Untersuchung und Parametrierung der einzelnen Komponenten des Genauigkeitskonzeptes erfolgte ebenfalls mit Hilfe spezieller Bedienoberflächen, die unter Windows lauffähig sind (*Bild 10*). Die bisher erreichten Ergebnisse demonstrieren einerseits das erhebliche Potential einer steuerungsintegrierten Korrekturlösung, zeigen aber andererseits auch weitere Reserven für die Qualifizierung der Modelle auf. Insbesondere eine effiziente steuerungsseitige Unterstützung bei der Modellerstellung und der exemplarischen Parametrierung ist entscheidend für die Effizienz und Wirtschaftlichkeit einer solchen Lösung. Zukünftig müssen Modellabgleich und Parametrierung Teil der Maschinen-Inbetriebnahme werden. Der sich daraus ergebende Forschungsbedarf bildet den Gegenstand für weiterführende Arbeiten.

6 Öffentlichkeitsarbeit



6.1 Dresdner Werkzeugmaschinen- Fachseminare

Das IWM hat die im Jahr 2000 begonnene Reihe der Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminare in Zusammenarbeit mit dem DWM e. V. Dresdner Freundeskreis der Werkzeugmaschinen- und Steuerungstechnik e. V. erfolgreich fortgesetzt.

Die Fachseminare waren das Forum für Forscher und Ingenieure zu Darstellung und Diskussion des aktuellen Arbeitsstandes ausgewählter Spezialthemen der Werkzeugmaschinenentwicklung.

Das Themenangebot orientierte sich einerseits an aktuellen Forschungsschwerpunkten des Institutes für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik (IWM) der TU Dresden, andererseits war es Ziel und Verpflichtung, die Veranstaltungen mit Beiträgen der auf den jeweiligen Spezialgebieten führend tätigen Forschungsinstitute der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP) zu bereichern. Die Industrie war u. a. durch die Beteiligung von Mitgliedsunternehmen des Vereins Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW) vertreten. Die internationale Zusammenarbeit in der Forschung dokumentierte die Beteiligung von Wissenschaftlern der TU Breslau (Polen).

10. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar *Neue Aspekte zur Stabilitätsanalyse der Zerspanung* 08. bis 09.12.2005

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

IWM, TU Dresden

Neue Anforderungen und Möglichkeiten der Stabilitätsanalyse

Prof. Dr.-Ing. M. Zäh; Dipl.-Ing. D. Siedl

iwv, TU München

Mehrkörpersimulation - Schlüsseltechnologie für große Verfahrensbewegungen

Prof. Dr.-Ing. B. Denkena; Dipl.-Ing. H.-Ch. Möhring

IFW, Universität Hannover

Berechnung von Strukturnachgiebigkeiten in Hybridkinematiken

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann; Dipl.-Ing. H. Rudolph
IWM, TU Dresden

Dynamisches Verhalten hochtouriger Frässpindeln

Prof. Dr.-Ing. Ch. Brecher; Dipl.-Ing. M. Esser

WZL, RWTH Aachen

Prozessstabilität in der Hochgeschwindigkeitszerspannung - Test
und Simulation von Motorspindelsystemen

Dr.-Ing. M. Kalveram; Dipl.-Ing. D. Enk

ISF; Universität Dortmund

Stabilitätsuntersuchungen beim HSC-Fräsen mit schlanken
Schaftwerkzeugen

Prof. Dr.-Ing. B. Denkena; Dipl.-Ing. L. de Leon Garcia;

Dipl.-Ing. J. Köhler

IFW, Universität Hannover

Optimierung von HPC-Prozessen mittels Acoustic Emission

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. K. Weinert; Dipl.-Ing. T. Jansen

ISF; Universität Dortmund

NC-Formschleifen von Freiformflächen mit Torusschleifscheiben -
Beschreibung der Werkzeug-Werkstück-Durchdringung zur
Vorhersage und Beeinflussung der Wechselwirkungen zwischen
Struktur und Prozess

Prof. Dr.-Ing. Ch. Brecher; Dipl.-Ing. St. Witt

WZL, RWTH Aachen

Ansätze zur integrierten Simulation von Maschine, Werkstück
und Fertigungsprozess

Prof. Dr.-Ing. M. Zäh; Dipl.-Ing. F. Schwarz

iwb, TU München

Struktur- u. Regelungsdynamik d. virtuellen Werkzeugmaschine

Dr.-Ing. A. Mühl; Dipl.-Ing. M. Löser

IWM, TU Dresden

Diskussion von Einflussparametern der Struktur- und Prozess-
modellierung auf die simulierte Stabilitätsaussage

11. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar Aktuelle Ergebnisse zur steuerungsintegrierten Korrektur thermisch bedingter Fehler im Arbeitsraum 07. bis 08.12.2006

Prof. Dr.-Ing. Ch. Brecher; Dipl.-Ing. A. Wissmann
WZL, RWTH Aachen

Messtechnische Untersuchung des thermoelastischen Verla-
gerungsverhaltens an WZM

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. U. Heisel; Dipl.-Ing. G. Koscsak;
Dr.-Ing. Th. Stehle

IfW, Universität Stuttgart

Thermografiebasierte Untersuchungen von Vorschubachsen

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. U. Heisel;

Prof. Dr.-Ing. habil. J. Tröger; Dr.-Ing. Th. Stehle;

Dipl.-Ing. W. Pittner

IfW, Universität Stuttgart

Werkzeugverschleißdetektion beim Fräsen von Holz und Holz-
werkstoffen sowie Metall mittels Infrarotmesstechnik

Prof. Dr.-Ing. M. Zäh; Dipl.-Phys. R. Guserle

iwb, TU München

Modellgestützte Simulation des thermischen und dynamischen
Verhaltens von WZM auf Basis eines integrativen Einsatzes von
CAX-Tools

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. K. Weinert; Dipl.-Ing. M. Noyen

ISF, Universität Dortmund

FE-Simulation zur Ermittlung des thermomechanischen
Belastungskollektivs beim Schleifen

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann; Dr.-Ing. G. Jungnickel

IWM, TU Dresden

Korrektur thermischer Verformungen an Werkzeugmaschinen mit
strukturbasiertem Zustandsmodell

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann; Dr.-Ing. B. Kauschinger;

Dipl.-Ing. St. Rehn

IWM, TU Dresden

Umsetzung der strukturmodellbasierten thermischen Korrektur auf der Maschinensteuerung

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. K. Weinert; Dipl.-Ing. A. Peuker;

M. Sc. L. Zhang

ISF, Universität Dortmund

Kompensation von geometrischen und thermischen Fehlern mit Spline- und Shape-Funktionen

Prof. Dr.-Ing. Ch. Brecher; Dipl.-Ing. P. Hirsch

WZL, RWTH Aachen

Kompensation thermoelastischer Verlagerungen an WZM

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann; Dr.-Ing. G. Jungnickel

IWM, TU Dresden

Anwendungsbeispiele zur Korrektur thermischer Verformungen unter Berücksichtigung der Prozesseinflüsse



Die ungeteilte Aufmerksamkeit gilt dem Vortragenden

6.2 Veröffentlichungen

6.2.1 Bücher

Jahr 2005

Tätigkeitsbericht des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen
2003/2004
243 Seiten; erschienen 05/2005

Jahr 2006

Bernd Kauschinger
Verbesserung der Bewegungsgenauigkeit an einem Hexapod
einfacher Bauart
Dissertation, 172 Seiten, erschienen 04/2006

Knut Großmann; Günter Jungnickel
Prozessgerechte Bewertung des thermischen Verhaltens von
Werkzeugmaschinen
259 Seiten, erschienen 12/2006

6.2.2 Fachaufsätze

Jahr 2005

Großmann, K.; Wiemer, H.
Simulation of the Process Influencing Behaviour of Forming
Machines
steel research int. 76 (2005) No. 2/3 , pp. 205-210

Luginger, F.; Kauschinger, B.
Simulation und Positionsregelung einer x-y-lageregelbaren
Werkzeugaufspannplatte
wt werkstatttechnik online 95 (2005) 10, S. 746-752

Großmann, K.; Müller, J.
Verringerung der Gestellanregung durch Lineardirektantriebe
mittels Impulskompensation
ZWF 100 (2005) 11, S. 656-660

Jahr 2006

Großmann, K.; Jungnickel, G.

Thermische Simulation des Konsolidierungsprozesses für Spacer fabrics, Teil 1: Modellierung

ZWF 101 (2006) 4, S. 203-208

Großmann, K.; Jungnickel, G.

Thermische Simulation des Konsolidierungsprozesses für Spacer fabrics, Teil 2: Simulation des Konsolidierungsprozesses

ZWF 101 (2006) 5, S. 287-291

Großmann, K.; Mühl, A.; Löser, M.

Prognose von Stabilitätsgrenzen für das Fräsen

ZWF 101 (2006) 7/8, S. 416-421

Großmann, K.; Reinschke, K.; u. a.

Auslegung aktiv magnetisch gelagerter Werkzeugmaschinen-Hauptspindeln

ZWF 101 (2006) 9, S. 486-491

Großmann, K.; Neidhardt, L.

FEM-gestützte Analyse von Profilschienen-Führungssystemen, Teil 1: Technologien und Beispiele zur Untersuchung von Profilschienenführungen und geführten Baugruppen

ZWF 101 (2006) 9, S. 517-521

Großmann, K.; Neidhardt, L.

FEM-gestützte Analyse von Profilschienen-Führungssystemen, Teil 2: Technologien und Beispiele zur Untersuchung von Maschinen mit Profilschienenführungen

ZWF 101 (2006) 10, S. 574-578

Großmann, K.; Hardtmann, A.; Wiemer, H.

Simulation des Blechumformprozesses unter Berücksichtigung des statischen Verhaltens der Pressmaschine

ZWF 101 (2006) 10, S. 600-605

Mühl, A.; Löser, M.; Großmann, K.; Hoffmann, G.; Klug, P.; Cherif, Ch.

Abzugs-, Schneid- und Stapelsystem für das Weben von Abstandsstrukturen. Melliand Textilberichte, 11/12(2006) S. 810-812

6.2.3 Vorträge

Jahr 2005

Mühl, A.

Co-Simulation der Interaktion der Werkzeugmaschine mit dem Zerspanprozess - dargestellt am Beispiel der Auslegung einer Prozesskraftregelung

IWF-Kolloquium "Entwurf und Simulation von Antrieben bei Werkzeugmaschinen", 27.01.2005 ETH Zürich

Großmann, K.

Laudatio zur Ehrenpromotion Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h.

Manfred Weck

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen,
17.06.2005 TU Dresden

Großmann, K.

Characterization, Analysis and Influencing of Thermal Behavior of Machine Tools, Memorial Lecture at Mori Seiki,

24.09.2005 Nara (Japan)

Großmann, K.; Kauschinger, B.; Szatmari, S.

Effiziente Kalibrierung von Parallelkinematiken einfacher Bauart mit dem Double-Ball-Bar

DFG-Kolloquium SPP 1099 "Fertigungsmaschinen mit Parallelkinematiken", 03.11.2005 Stuttgart, Tagungsband

Großmann, K.; Wiemer, H.; Mühl, A.; Adam, F.

Darstellung der im SFB 639 verknüpften Prozessketten.

Kolloquium zum DFG-Sonderforschungsbereich 639,
11.11.2005 Rabenau

Wiemer, H.; Kauschinger, B.

Die Computer-Funktions-Steuerung -

Wurzeln/Prinzip/Stand/Potenziale

Vortrag bei Bosch Rexroth, 29.11.2005 Lohr am Main

Großmann, K.; Wiemer, H.; Hardtmann, A.

Entwicklung und Bewertung von Simulationstechnologien für die Blechumformung unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Maschine/Werkzeug und Prozess/Werkstück

DFG-Kolloquium SPP 1180 "Prognose und Beeinflussung der Wechselwirkung von Strukturen und Prozessen",
30.11.2005 Hannover, Tagungsband

Großmann, K.

Neue Anforderungen und Möglichkeiten der Stabilitätsanalyse
10. Dresdner WZM-Fachseminar "Neue Aspekte zur Stabilitätsanalyse der Zerspanung", 08.-09.12.2005 TU Dresden, Tagungsband

Großmann, K.; Rudolph, H.

Dynamisches Verhalten hochtouriger Frässpindeln
10. Dresdner WZM-Fachseminar "Neue Aspekte zur Stabilitätsanalyse der Zerspanung", 08.-09.12.2005 TU Dresden, Tagungsband

Mühl, A.; Löser, M.

Diskussion von Einflussparametern der Struktur- und Prozessmodellierung auf die simulierte Stabilitätsaussage
10. Dresdner WZM-Fachseminar "Neue Aspekte zur Stabilitätsanalyse der Zerspanung", 08.-09.12.2005 TU Dresden, Tagungsband

Jahr 2006

Wiemer, H.

Stand und Möglichkeiten der Systemsimulation von mechanischen Pressmaschinen für die Blechumformung
H&T Produktionstechnologie, 20.03.2006 Crimmitschau

Großmann, K.; Kauschinger, B.; Szatmari, S.

Referencing of Workpieces and Tools in a Hexapod Machine Using a Double-Ball-Bar
5. Parallelkinematik-Seminar, 25.-26.04.2006 Chemnitz, Tagungsband

Großmann, K.; Kauschinger, B.; Szatmari, S.

Efficient Calibration of a Hexapod of Simple Design Using the Double-Ball-Bar
5. Parallelkinematik-Seminar, 25.-26.04.2006 Chemnitz, Tagungsband

Großmann, K.; Kauschinger, B.; Szatmari, S.
Effiziente Kalibrierung von Parallelkinematiken einfacher Bauart
mit dem Double-Ball-Bar

DFG-Kolloquium SPP 1099 "Fertigungsmaschinen mit
Parallelkinematiken", 27.04.2006 Chemnitz, Tagungsband

Großmann, K.; Hardtmann, A.; Wiemer, H.
Entwicklung und Bewertung von Simulationstechnologien für die
Blechumformung unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen
zwischen Maschine/Werkzeug und Prozess/Werkstück

DFG-Kolloquium SPP 1180 "Prognose und Beeinflussung der
Wechselwirkung von Strukturen und Prozessen", 06.-07.06.2006
Hannover

Wiemer, H.

Stand und Möglichkeiten der Systemsimulation von
mechanischen Pressmaschinen für die Blechumformung
Institut für Oberflächen- und Fertigungstechnik der TU Dresden,
14.06.2006 Dresden

Großmann, K.; Löser, M.

Prognose von Stabilitätsgrenzen für das Fräsen - Einfluss von
Modellstruktur und Parametrierung

METAV 2006, VDW-Veranstaltung "Gefertigt wie geplant -
Potenziale der Werkzeugmaschinen, Prozess, Produktion",
20.06.2006 Düsseldorf

Mühl, A.; Großmann, K.; Offermann, P.; Löser, M

Neuartiges Abzugs-, Schneid- und Stapelsystem für das Weben
von spacer fabrics

8. Dresdner Textiltagung, 21.-22.06.2006 Dresden

Wiemer, H.

Stand und Möglichkeiten der Systemsimulation von
mechanischen Pressmaschinen für die Blechumformung

Forschungsschwerpunkte des Institutes für Werkzeugmaschinen
und Steuerungstechnik der TU Dresden, Müller-Weingarten AG,
12.09.2006 Weingarten

Großmann, K.

Neue Möglichkeiten und Impulse zur Holzbearbeitung durch Hexapoden

Internationale Konferenz zur Automation in der Holzwirtschaft, Berner Fachhochschule, 12.-13.10.2006 Biel (Schweiz), Tagungsband

Kauschinger, B.

Automatische Referenzierung von Werkzeugen und Werkstücken im Arbeitsraum einer Hexapodmaschine bei der Holzbearbeitung
Internationale Konferenz zur Automation in der Holzwirtschaft, Berner Fachhochschule, 12.-13.10.2006 Biel (Schweiz), Tagungsband

Großmann, K.; Kretzschmar, H.

Hexapod & Co. - neue Werkzeugmaschinenstrukturen und ihre Leistungsfähigkeit

Veranstaltungsreihe "Produktion im 21. Jahrhundert", 14.11.2006 TU Dresden

Großmann, K.; Hardtmann, A.; Wiemer, H.; Penter, L.

Berücksichtigung (quasi)statischer Einflüsse von Maschine und Werkzeug in der FEM-Simulation des Blechumformprozesses

13. Sächsische Fachtagung Umformtechnik, 14.-15.11.2006 Chemnitz, Tagungsband

Großmann, K.; Jungnickel, G.

Korrektur thermischer Verformungen an Werkzeugmaschinen mit strukturbasiertem Zustandsmodell

11. Dresdner WZM-Fachseminar "Aktuelle Ergebnisse zur steuerungsintegrierten Korrektur thermisch bedingter Fehler im Arbeitsraum", 07.-08.12.2006 TU Dresden, Tagungsband

Großmann, K.; Jungnickel, G.

Anwendungsbeispiele zur Korrektur thermischer Verformungen unter Berücksichtigung der Prozesseinflüsse

11. Dresdner WZM-Fachseminar "Aktuelle Ergebnisse zur steuerungsintegrierten Korrektur thermisch bedingter Fehler im Arbeitsraum", 07.-08.12.2006 TU Dresden, Tagungsband

Großmann, K.; Kauschinger, B.; Rehn, S.
Umsetzung der strukturmodellbasierten thermischen Korrektur
auf der Maschinensteuerung
11. Dresdner WZM-Fachseminar "Aktuelle Ergebnisse zur
steuerungsintegrierten Korrektur thermisch bedingter Fehler im
Arbeitsraum", 07.-08.12.2006 TU Dresden, Tagungsband

Großmann, K.; Hardtmann, A.; Wiemer, H.
Entwicklung und Bewertung von Simulationstechnologien für die
Blechumformung unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen
zwischen Maschine/Werkzeug und Prozess/Werkstück
Workshop AG Modellierung im DFG-SPP 1180 "Prognose und
Beeinflussung der Wechselwirkung von Strukturen und
Prozessen", 11.12.2006 Dresden

Großmann, K.; Kauschinger, B.; Szatmari, S.
Effiziente Kalibrierung von Parallelkinematiken einfacher Bauart
mit dem Double-Ball-Bar
DFG-Kolloquium SPP 1099 "Fertigungsmaschinen mit
Parallelkinematiken", 12.12.2006 Stuttgart, Tagungsband

Großmann, K.
Maschinen im 21. Jahrhundert: Intelligente Kreaturen?
Veranstaltungsreihe "Faszination Maschinenwesen", 18.12.2006
TU Dresden

6.2.4 Forschungsberichte

Jahr 2005

Großmann, K.; Jungnickel, G.
Thermische Simulation des Konsolidierungsprozesses für Spacer
fabrics
Teilbericht im DFG-Sonderforschungsbereich 639,
unveröffentlicht, 2005 TU Dresden IWM

Großmann, K.; Wiemer, H., Ulbricht, V.; Süße, D.
Vergleichende Bewertung der Simulation von Umformprozessen
unter elastischen Randbedingungen
Zwischenbericht zum AiF-Vorhaben 13829 BR im Arbeitskreis der
EFB, 27.01.2005 Hannover

Großmann, K.; Wiemer, H., Groche, P.; Hofmann, T.
Modellgestützte Analyse von Pressmaschinen auf Grundlage
experimentell verifizierter Parameter
Zwischenbericht zum AiF-Vorhaben 13683 BG im Arbeitskreis der
EFB, 27.01.2005 Hannover

Siegert, K.; Luginger, F.; Großmann, K.; Kauschinger, B.
X-Y-lageregelbare Werkzeugaufspannplatte für das Prägen mit
führungslosen Werkzeugen
Zwischenbericht zum AiF-Vorhaben 13776 BG im Arbeitskreis der
EFB, 27.01.2005 Hannover

Großmann, K.; Wiemer, H., Groche, P.; Hofmann, T.
Modellgestützte Analyse von Pressmaschinen auf Grundlage
experimentell verifizierter Parameter
Zwischenbericht zum AiF-Vorhaben 13683 BG im Arbeitskreis der
EFB, 15.06.2005 Dresden

Großmann, K.; Wiemer, H., Ulbricht, V.; Süße, D.
Vergleichende Bewertung der Simulation von Umformprozessen
unter elastischen Randbedingungen
Zwischenbericht zum AiF-Vorhaben 13829 BR im Arbeitskreis der
EFB, 15.06.2005 Dresden

Liewald, M.; Luginger, F.; Großmann, K.; Kauschinger, B.
X-Y-lageregelbare Werkzeugaufspannplatte für das Prägen mit
führungslosen Werkzeugen
Abschlussbericht zum AiF-Vorhaben 13776 BG im Arbeitskreis
der EFB, 16.06.2005 Dresden

Großmann, K.; Möbius, V.; Riedel, M.
Wissenschaftliche Grundlagen für ein Mess- und Richtzentrum
mit integrierter Bildverarbeitung, parallelkinematischer
Bewegungseinrichtung und intelligenter Richtstrategie
Zwischenbericht zum AiF-Vorhaben PRO INNO II,
10.10.2005 TU Dresden IWM

Jahr 2006

Großmann, K.; Wagenführ, A.; Gottlöber, C.; Möbius, V.; Raatz, C.; Tobisch, S.

Thermoglätten von Holz und Holzwerkstoffen mittels parallelkinematischer Bewegungseinheit

Zwischenbericht zum AiF-Vorhaben 14498 BR, 20.01.2006
Dresden

Großmann, K.; Wiemer, H.; Hardtmann, A.; Ulbricht, V.; Süße, D.

Vergleichende Bewertung der Simulation von Umformprozessen unter elastischen Randbedingungen

Zwischenbericht zum AiF-Vorhaben 13829 BR im Arbeitskreis der EFB, 26.01.2006 Magdeburg

Großmann, K.; Müller, J.

Untersuchungen zu den Grenzwerten des Einsatzes adaptronischer Komponenten zur Impulskopplung von linearmotorgetriebenen Werkzeugmaschinenachsen unter veränderlichen strukturmechanischen Umgebungsbedingungen

Zwischenbericht im DFG-SPP 1156 "Adaptronik für Werkzeugmaschinen", 27.04.2006 Chemnitz, Tagungsband

Großmann, K.; Rudolph, H.

Entwicklung, Anwendung und Bewertung von Simulationstechnologien für aktive virtuelle Werkzeugmaschinen
Bericht zum DFG-Vorhaben GR1458/18-1, 30.06.2006 Dresden

Großmann, K.; Wiemer, H.; Groche, P.; Hofmann, T.

Modellgestützte Analyse von Pressmaschinen auf Grundlage experimentell verifizierter Parameter

EFB-Forschungsbericht Nr. 245, Hannover 2006

Großmann, K.; Jungnickel, G.

Modellgestützte Kompensation thermisch bedingter Längenfehler an der w-Achse eines Bohrwerkes

Zwischenbericht zum AiF-Vorhaben PRO INNO II, 2006 TU Dresden IWM



11. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar
"Aktuelle Ergebnisse zur steuerungsintegrierten Korrektur
thermisch bedingter Fehler im Arbeitsraum"

6.3 Gewinnung von Ingenieur-Nachwuchs

Große Bedeutung kommt am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der Gewinnung von Ingenieur-Nachwuchs zu. Dazu werden Schülern und anderen interessierten Personen viele Möglichkeiten geboten, sich im Versuchsfeld und im Rechner-Labor mit moderner Maschinen- und Rechentechnik sowie den angebotenen Lehrinhalten und aktuellen Forschungsvorhaben vertraut zu machen.

Nachfolgend sind zentrale Veranstaltungen der TU Dresden, für die der Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen engagierte Beiträge lieferte, sowie eigene Angebote aufgeführt, die von den Studierenden in spe gern und zahlreich genutzt wurden.

Der Dank für Vorbereitung und Durchführung der Veranstaltungen gilt hier insbesondere dem DWM e. V. Dresdner Freundeskreis der Werkzeugmaschinen- und Steuerungstechnik.

Jahr 2005

Schnupperstudium für einen Tag

13.01.2005

- Angebot der tagaktuellen Lehrveranstaltungen zum "Schnuppern"
- Versuchsfeldbesichtigungen
- Demonstration von CAD- und Berechnungssoftware

Uni-Tag (Tag der offenen Tür der TU Dresden)

30.04.2005

- Informationen zur Ausbildung in der Studienrichtung Produktionstechnik und in der Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung
- Vorführung von Lehr- und Forschungsversuchsständen im Versuchsfeld des IWM
- PC-Einsatz in Konstruktion und Verhaltensberechnung

Betriebspraktikum der 9. Klassen von Gymnasien

17.04. bis 31.05.2005, 4 Schüler

- Maschinenkunde - Demonstration verschiedener Werkzeugmaschinen
- Programmierung der SPS des Modells einer Fertigungseinrichtung
- Einführung in die Arbeit mit 3D-CAD-Software
- Gestaltung einer Web-Site
- Teilnahme an einer Übung "Vorrichtungskonstruktion"
- Demonstration Wasserstrahl- und Laserschneiden
- Arbeit am Lehrversuchsstand "Dynamik einer Bohrstange"



Schüler versuchen sich an einer Zug- und Leitspindel-Drehmaschine

Info-Theke

15.07.2005

- Informationen zum Hauptstudium für Studenten des Studiengangs Maschinenbau nach Abschluss des Grundstudiums
- Möglichkeit der Besichtigung von Maschinen- und Versuchstechnik
- Vorführung von Berechnungs- und Analyse-Software an den PC-Arbeitsplätzen
- Informationen zu Einsatzmöglichkeiten der Absolventen der Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung
- Leckeres vom Grill und Getränke



Info-Theke: Infos zum Hauptstudium, Bratwurst, Getränke

Jahr 2006

Schnupperstudium für einen Tag

12.01.2006

- Angebot der tagaktuellen Lehrveranstaltungen zum "Schnuppern"
- Versuchsfeldbesichtigungen
- Demonstration von CAD- und Berechnungssoftware

Uni-Tag (Tag der offenen Tür der TU Dresden)

29.04.2006

- Informationen zur Ausbildung in der Studienrichtung Produktionstechnik und in der Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung
- Vorführung von Lehr- und Forschungsversuchsständen im Versuchsfeld des IWM
- PC-Einsatz in Konstruktion und Verhaltensberechnung



Uni-Tag-Atmosphäre im Hörsaalzentrum

6.4 Mitarbeit in Gremien

Prof. Dr.-Ing. habil. K Großmann

- Mitglied der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP)
- DFG-Sonder-Fachgutachter
- AiF-Fachgutachter
- Vorsitzender des Beirates des DWM e. V. Dresdner Freundeskreis der Werkzeugmaschinen- und Steuerungstechnik

Doz. Dr.-Ing. O. Wasner

- Mitglied der VDI-Gesellschaft Produktionstechnik
- Abgeordneter im Stadtrat der Stadt Freital

Dipl.-Ing. G. Brzezinski

- Vorsitzender des Vorstandes des DWM e. V. Dresdner Freundeskreis der Werkzeugmaschinen- und Steuerungstechnik

J. Ertel

- Mitglied des Meisterrates der TU Dresden

Dipl.-Ing. Th. Morchel

- Mitglied des TU MADRE Absolventenverein der Fakultät Maschinenwesen an der TU Dresden e. V.

Dr.-Ing. H. Wiemer

- Mitglied des Vorstandes des DWM e. V. Dresdner Freundeskreis der Werkzeugmaschinen- und Steuerungstechnik

6.5 Auszeichnungen für Mitarbeiter und Studenten des Lehrstuhls

VDW Studienpreis 2006

des VDW Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V.

Dipl.-Ing. Lars Penter

für seinen Großen Beleg

"Experimentierumgebung für den Abgleich von FEM-Umformprozessmodellen mit elastischer Werkzeug- und Maschinenbeschreibung"



Auszeichnungsveranstaltung am 22.11.2006 in Vaals bei Aachen

6.6 Förderverein DWM e. V.

Name und Sitz des Vereins

Der Förderverein des Instituts für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik der Technischen Universität Dresden führt den Namen

DWM e. V.

Dresdner Freundeskreis der Werkzeugmaschinen- und Steuerungstechnik.

Der Sitz des Vereins ist Dresden.

Aufgaben, Gemeinnützigkeit

Der Verein verfolgt ausschließlich gemeinnützige Zwecke. Seine Aufgabe ist die Förderung von Wissenschaft und Forschung auf dem Gebiet der Werkzeugmaschinen- und Steuerungstechnik und die damit verbundene Unterstützung des Instituts für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik der Technischen Universität Dresden. Dies betrifft vor allem die Initiierung von Forschungsvorhaben, die regelmäßige Verbreitung von Forschungsergebnissen, Aufbau, Pflege und Koordination von Kontakten zur Industrie und zu Forschungseinrichtungen, den wissenschaftlich-technischen Erfahrungsaustausch sowie Fragen der fachspezifischen Aus- und Weiterbildung.

Die Vereinsmitglieder verwirklichen diese Zielstellung durch:

- die Erarbeitung zukunftsorientierter Maßstäbe für die Entwicklung und Anwendung von Werkzeugmaschinen,
- die Förderung praxisrelevanter Inhalte für Lehre und Weiterbildung auf dem Gebiet der Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik,
- Beratungsleistungen bei der Ausarbeitung und Durchführung gemeinsamer Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit der Industrie,
- die Unterstützung interdisziplinärer Forschungsprojekte durch institutsübergreifende wissenschaftliche Zusammenarbeit,

- die Vermittlung von Forschungspartnern, Praktikumsplätzen und Arbeitsstellen,
- die Konzipierung und Organisation von Vortragsveranstaltungen, Kolloquien, Seminaren und Tagungen zur Publikation der Forschungsergebnisse des Instituts,
- Publikationen zur zeitnahen Verbreitung von Forschungsergebnissen und Nachrichten aus dem Fachgebiet,
- die Pflege von Kontakten zu den Absolventen des Instituts in Wirtschaft, Wissenschaft und Administration
- die materielle Anerkennung herausragender Studien- und Forschungsleistungen in der Fachrichtung.

Mitglieder im DWM e. V.

Neben zahlreichen natürlichen Personen – darunter viele Absolventen des IWM – sind die folgenden Unternehmen und Institutionen Mitglied im Förderverein und tragen aktiv zur Erfüllung der gesteckten Ziele bei:

CIMTT

TU Dresden
CIMTT Zentrum für Produktionstechnik
und Organisation



Dr. Mader Maschinenbau GmbH



EMAG Leipzig Maschinenfabrik GmbH



HOHENSTEIN
Vorrichtungsbau und Spannsysteme
GmbH



KWD Kupplungswerk Dresden GmbH



WEMA VOGTLAND GmbH



Wohlenberg Werkzeugmaschinen
GmbH

Aktuelle Informationen zur Tätigkeit des Fördervereins gibt es im Internet unter

<http://iwm.mw.tu-dresden.de>

Von dort können auch Satzung des Vereins und Mitgliedsantrag herunter geladen werden.

6.7 **Schriftenreihe** **Lehre • Forschung • Praxis**

Die Forschungsergebnisse des IWM werden u. a. in der Schriftenreihe **Lehre • Forschung • Praxis** veröffentlicht. In dieser Reihe sind in Zusammenarbeit mit dem DWM e. V. Dresdner Freundeskreis der Werkzeugmaschinen- und Steuerungstechnik bisher erschienen:

- **Tätigkeitsbericht des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen 1995/96**

121 Seiten, erschienen 12/1996

- Andreas Mühl

- **Technologie und angepasste Maschinenkonzepte zum Schleifen von Konstruktionskeramik auf Koordinatenschleifmaschinen**

Dissertation, 116 Seiten, erschienen 02/1997

- Simeon Christov

- **Einbaugenauigkeit und Querschnittsberechnung von Profilschienenführungen**

Dissertation, 244 Seiten, erschienen 05/1997

- Knut Großmann; Horst Neundorf; Roger Grundmann

- **Intelligente Funktionsmodule der Maschinentechnik**

Zwischenbericht 1997 zum Landesinnovationskolleg, 206 Seiten, erschienen 04/1997

- Knut Großmann

- **Die Realität im Virtuellen**

Simulation in technischen Anwendungen
396 Seiten, erschienen 12/1997

- **Potentiale und Chancen**

Absolvententagung am Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik

20.-21. November 1998, 260 Seiten, erschienen 11/1998

- **Tätigkeitsbericht des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen 1997/98**
300 Seiten, erschienen 12/1998
- Andreas Mühl; Bernd Wunderlich
ACC-Regelung von Bahnschleifprozessen
Abschlussbericht zu den Forschungspraktika 55/96 und 56/96 bei der Stiftung Industrieforschung, 94 Seiten, erschienen 01/1999
- **Intelligente Funktionsmodule der Maschinentechnik**
Abschlussbericht zum Landesinnovationskolleg 1995-1998, 228 Seiten, erschienen 07/1999
- Günter Jungnickel
Simulation des thermischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen
228 Seiten, erschienen 02/2000
- Holger Arndt
Auslegung und Bewertung von Vorschubantrieben mit Spindel-Mutter-Systemen
Dissertation, 180 Seiten, erschienen 12/2000
- **Tätigkeitsbericht des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen 1999/2000**
200 Seiten, erschienen 04/2001
- **Tätigkeitsbericht des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen 2001/2002**
200 Seiten; erschienen 04/2003
- Knut Großmann; Günter Jungnickel
Instationäres thermoelastisches Verhalten von Vorschubachsen mit bewegtem Wälzkontakt
230 Seiten, erschienen 09/2003
- Knut Großmann; Andreas Mühl
Adaptiv geregeltes Fräsen auf einem Hexapoden
108 Seiten, erschienen 02/2004

- Hajo Wiemer
Stand und Möglichkeiten der Systemsimulation von mechanischen Pressmaschinen
Dissertation, 228 Seiten, erschienen 12/2004
- **Tätigkeitsbericht des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen 2003/2004**
243 Seiten; erschienen 05/2005
- Bernd Kauschinger
Verbesserung der Bewegungsgenauigkeit an einem Hexapod einfacher Bauart
Dissertation, 172 Seiten, erschienen 04/2006
- Knut Großmann; Günter Jungnickel
Prozessgerechte Bewertung des thermischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen
259 Seiten, erschienen 12/2006
- **Tätigkeitsbericht des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen 2005/2006**
251 Seiten; erschienen 04/2007

Die Hefte der Schriftenreihe können käuflich erworben werden bei:

DWM e. V.
c/o Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik
Technische Universität Dresden
01062 Dresden

Bestellungen bitte schriftlich an o. g. Anschrift,
per Fax (0351) 463 37073
oder per E-Mail: mailbox@iwm.mw.tu-dresden.de