

# Lehre • Forschung • Praxis

---

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen

---

## **Tätigkeitsbericht** des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen **2003 / 2004**

Herausgegeben von  
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann  
Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen  
der Technischen Universität Dresden  
Dresden, 2005

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](mailto:mailbox@iwm.mw.tu-dresden.de)

Internet: [iwm.mw.tu-dresden.de](http://iwm.mw.tu-dresden.de)

Autorenteam:

Tätigkeitsbericht 2003/2004

Redaktion:

K. Großmann

G. Brzezinski

Herstellung:

addprint<sup>®</sup> AG, Possendorf

Eigenverlag

ISBN 3-86005-458-9

© Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen 2005

---

## Vorwort

Der vorliegende Tätigkeitsbericht für die Jahre 2003 und 2004 soll nicht nur eine Zusammenstellung der in diesen beiden Jahren am Lehrstuhl geleisteten Arbeit und der dabei erzielten Ergebnisse in Lehre und Forschung liefern; er will auch einen Ein- und Überblick zu Studienangebot und Lehrinhalten, Forschungslinien und Kooperationen, Industrieverbindungen und Dienstleistungen, Ausstattung und Personal des Lehrstuhls ermöglichen.



An dieser Stelle möchte ich daher einige besondere Ereignisse aus dem Berichtszeitraum herausstellen.

Beginnen wir mit der Lehre.

Hier muss zunächst die Feststellung gemacht werden, dass sich die Rahmenbedingungen in unserem Bereich für die Hochschulausbildung offensichtlich phasenverschoben zu den Studentenzahlen entwickeln. Während in den Immatrikulationsjahrgängen 2003 und 2004 die Einschreibungen für das Präsenzstudium im Maschinenbau der TU Dresden wieder deutlich auf 577 bzw. 592 gestiegen sind, werden andererseits seit längerem diskutierte drastische Sparmaßnahmen mit Stellenabbau und Wiederbesetzungssperren wirksam. Es ist Aufgabe der kommenden Etappe, zu den Problemen mit den Entscheidungsträgern praktikablen Konsens zu finden, um Qualität und Attraktivität der Ausbildung auch zukünftig zu sichern.

Wir haben im Wintersemester 2004 erstmalig und sehr erfolgreich den neu erarbeiteten Anwendungsmodul "Bewegungsgeführte Maschinensysteme" (s. Seite 90) als Lehrveranstaltung durchführt. Das hat den Einsatz und das Engagement der beteiligten Mitarbeiter des Lehrstuhls in hohem Maße gefordert. Gleiches gilt auch für die wiederum großen Anstrengungen bei der Werbung um den Ingenieurnachwuchs (s. Seite 221).

Mit der Erarbeitung der neuen Lehrveranstaltungen wurde neben der umfassenden Aktualisierung der Inhalte auch deren Modularisierung

durchgestaltet, um damit die optimale Adaption der Lehrinhalte an unterschiedliche Studienabläufe zu ermöglichen.

Durch unsere Aktivitäten im Studiengang Mechatronik hat sich die Anzahl der vom Lehrstuhl in der vertiefenden Ausbildung der Werkzeugmaschinenentwicklung in Vorlesungen, Übungen, Praktika und studentischen Arbeiten betreuten Studenten gegenüber den Vorjahren signifikant erhöht. Das wird als Folge die Anzahl unserer studentischen Hilfskräfte sowie die Zahl der großen Belege und Diplomarbeiten erhöhen und damit einerseits die Forschungskapazität erfreulich erweitern und andererseits auch höheren Betreuungsaufwand fordern.

Nun zur Forschung.

Wenn ich im Folgenden auf Schwerpunkte unserer Forschungsarbeit der beiden Jahre eingehen möchte, dann auch dies mit einer kritischen Vorbemerkung: Es ist uns bislang unzureichend gelungen, unsere Kompetenzen in Projekten der großen Rahmenprogramme von EU und BMBF zum Tragen zu bringen.

Bei Erfolgsquoten von 10 % (Bewilligungen bezogen auf Anträge) in einigen dieser Programme ist dies nicht unbedingt wirklich überraschend. Meist sind diese erhöhten Antragshürden aber auch mit größeren Fördervolumina verbunden, so dass auch zukünftig weitere Anstrengungen auch in solcher Richtung unternommen werden müssen. Diese Aufgabe verbindet sich jedoch zwangsläufig - intern wie extern - mit der Forderung nach höherer Antragseffektivität, damit nicht letztendlich in einer Gesamtbilanz die Aufwendungen für Antragsgeschehen und Administration die eigentlichen Forschungsaufwendungen überholen.

Recht erfolgreich zeigten sich im Berichtszeitraum die Aktivitäten zu Themenvorgaben der DFG (s. Seite 111) und der AIF.

In den Verbundprojekten im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen ist aus unserer Sicht die weiter gewachsene Kooperation mit der Industrie, aber auch mit anderen Instituten sowohl innerhalb der TU Dresden (Festkörpermechanik, Baukonstruktion und Holzbau, Holz- und Papiertechnik, Produktionstechnik, Regelungs- und Steuerungstheorie, Textil- und Bekleidungstechnik) als auch anderer Hochschulen (Aachen, Breslau, Chemnitz,

Darmstadt, Hannover, München, Stuttgart) besonders wichtig. Diese Verbindungen bringen vielfältige wissenschaftliche Impulse und persönliche Kontakte. Und nicht zuletzt zeigen sich darin auch gegenseitige fachliche Wertschätzung und Anerkennung von Leistung und Zuverlässigkeit.

Dank der Deutschen Forschungsgemeinschaft gelang es, die grundlagennahen Forschungslinien mit deutlichem Zugewinn für unsere Kompetenzschwerpunkte zu vertiefen und auszubauen. Das betrifft vor allem die Arbeiten zu Technologien der Systemsimulation, zum thermischen Verhalten von Werkzeugmaschinen, zur Entwicklung, Inbetriebnahme und Applikation gesamtwirtschaftlich realisierbarer, flexibel konfigurierbarer, Handling und Bearbeitung ermöglichender Bewegungssysteme, zur strukturmodellbasierten, steuerungsintegrierten Korrektur von Bewegungsfehlern sowie zur Funktionserweiterung und Neukonzeption von Steuerungen.

Neben der Bearbeitung der Einzelvorhaben und der Mitgestaltung von zwei Schwerpunktprogrammen sehen wir einen besonderen Erfolg und eine entsprechende Herausforderung in unserer Mitarbeit in zwei Teilprojekten des 2004 begonnenen Sonderforschungsbereiches 639 (s. Seiten 113 - 117).

Insgesamt also eine durchaus positive Bilanz. Allen an diesen Ergebnissen mit Einsatzbereitschaft, Engagement und Kreativität beteiligten Mitarbeitern möchte ich dafür besonders danken.

Lassen sie mich zum Schluss noch einmal auf Besonderheiten unserer Arbeit zurückkommen.

Sowohl in der Lehre als auch in der Forschung arbeiten wir mit jungen Menschen, die wir ausbilden und in einer prägenden Phase ihres Lebens mit formen. Hier tragen Hochschullehrer und alle an dieser Ausbildung Beteiligten eine nicht zu überschätzende Verantwortung.

Über dem Eingangsportal "meines" alten Gymnasiums stand und steht noch heute in großen Lettern: "Die Kraft eines jeden Volkes liegt in seiner Jugend".

Wir können davon ausgehen, dass damit nicht an die Körperertüchtigung appelliert wird.

Ebenso kann man mit dieser Sicht annehmen, dass sich Deutschlands Zukunft nicht an ein paar Prozent mehr oder weniger in dieser oder jener Steuer entscheiden wird.

Absolut sicher ist dagegen, dass Investitionen in die Bildung unserer Jugend nachhaltig und zukunftssichernd sind. Versuchen wir gemeinsam unseren Politikern zu vermitteln, dass leider auch die Umkehrung dieses Satzes gilt.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Kurt G. ...', with a long horizontal flourish extending to the right.

Dresden, Mai 2005

## Inhaltsübersicht

1	Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik .....	1
1.1	Standort.....	2
1.2	Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden .....	5
1.3	Institutsverbund Produktionstechnik und Werkzeugmaschinen .....	7
1.4	Zur Geschichte des Instituts.....	11
2	Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen.....	15
2.1	Personal.....	16
2.2	Ausstattung .....	27
2.2.1	Experimentelle Ausstattung.....	27
2.2.2	Rechentechnische Ausstattung.....	29
2.2.3	Labor.....	30
2.2.4	Werkzeugmaschinen-Versuchsfeld.....	31
2.2.4.1	Vorschubachse mit linearem Direktantrieb.....	32
2.2.4.2	Vorschubachse mit Kugelgewindetrieb .....	34
2.2.4.3	Laufeigenschaften von Hauptspindeln .....	36
2.2.4.4	Motorspindel mit aktiver Magnetlagerung.....	38
2.2.4.5	Kupplungsprüfstand.....	40
2.2.4.6	Prüfstand für Profilschienenführungen .....	42
2.2.4.7	Prüfstand für Profilschienenführungen an Pressen .	44
2.2.4.8	Hexapod 1 .....	46
2.2.4.9	Hexapod 2 .....	48
2.2.4.10	Hexapod 3 .....	50
2.2.4.11	Programmierung der Steuerung von Fertigungssystemen (SPS).....	52
2.2.4.12	Geräuschuntersuchungen an Werkzeugmaschinen .	54
2.2.4.13	Positioniergenauigkeit einer Werkzeugmaschine ...	56
2.2.4.14	Kalibrierung einer Stabachse .....	58
3	Lehre .....	61
3.1	Entwicklungsetappen der vom Institut getragenen Lehre....	62
3.2	Lehrveranstaltungen.....	65
3.2.1	Übersicht.....	65
3.2.2	Grundlagen der Werkzeugmaschinen.....	68
3.2.3	Konzipierungsbeleg .....	70
3.2.4	Vorrichtungskonstruktion .....	73

3.2.5	Werkzeugmaschinenentwicklung/Vertiefung .....	75
3.2.6	Elektrische Antriebe für Werkzeugmaschinen.....	79
3.2.7	Simulation mechatronischer Systeme .....	81
3.2.8	Automatisierungstechnik von Fertigungseinrichtungen ..	83
3.2.9	Steuerungstechnik von Fertigungseinrichtungen .....	85
3.2.10	SPS-Programmierung von Fertigungseinrichtungen.....	87
3.2.11	Bewegungsgeführte Maschinensysteme .....	90
3.2.12	Werkzeugmaschinen-Versuchsfeld.....	94
3.2.13	Werkzeugmaschinen-Seminar .....	95
3.2.14	Unterstützung der Lehre an anderen Bildungseinrichtungen .....	98
3.3	Studien- und Diplomarbeiten .....	99
3.3.1	Entwerfen von Werkzeugmaschinen .....	99
3.3.2	Große Belege .....	101
3.3.3	Diplomarbeiten .....	103
3.4	Exkursionen .....	105
4	Forschung .....	109
4.1	Entwicklung der Forschung und Forschungsgebiete .....	110
4.2	Projekte .....	111
4.2.1	Voraussetzungen zur reproduzierbaren Fertigung von textilen Preforms .....	113
4.2.2	Entwicklung eines offenen Modells zur Darstellung, Planung und Überwachung von Abläufen zur Fertigung textilverstärkter Verbundkomponenten.....	115
4.2.3	Verfahrensalternativen und Genauigkeitsbedingungen zur räumlichen Referenzierung in Werkzeugmaschinen ....	118
4.2.4	Effiziente Kalibrierung von Parallelkinematiken einfacher Bauart mit dem Double-Ball-Bar.....	122
4.2.5	Entwicklung, Anwendung und Bewertung von Simulationstechnologien für die aktive virtuelle Werkzeugmaschine .....	126
4.2.6	Untersuchungen zu den Grenzwerten des Einsatzes adaptronischer Komponenten zur Impulskopplung von linearmotorgetriebenen Werkzeugmaschinenachsen unter veränderlichen strukturmechanischen Umgebungsbedingungen.....	128
4.2.7	Prozessgerechte Bewertung des thermischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen .....	131

---

4.2.8	Spezielle parallelkinematische Lösungen zur Bearbeitung von Formvollholz-Konstruktionselementen für den Holzbau.....	134
4.2.9	Simulationsgestützte Auslegung und Bewertung adaptiver Zerspanprozessregelungen bei im Arbeitsraum stark veränderlichem Maschinenverhalten .....	136
4.2.10	Analyse, Simulation und Korrektur fertigungsrelevanter Eigenschaften an Parallelkinematiken einfacher Bauart	139
4.2.11	Instationäres thermoelastisches Verhalten von Vorschubachsen mit bewegtem Wälzkontakt .....	142
4.2.12	Wissenschaftliche Grundlagen für ein Mess- und Richtzentrum mit integrierter Bildverarbeitung, parallelkinematischer Bewegungseinrichtung und intelligenter Richtstrategie .....	145
4.2.13	Virtuelle Werkzeugeinarbeitung - Vergleichende Bewertung der Simulation von Umformprozessen unter elastischen Randbedingungen.....	147
4.2.14	X-Y-lageregelbare Werkzeugaufspanplatte für das Prägen mit führungslosen Werkzeugen .....	150
4.2.15	Modellgestützte Analyse von Pressmaschinen auf Grundlage experimentell verifizierter Parameter.....	153
4.2.16	Einsatz von Profilschienenführungen als Stößelführung an Pressen .....	156
4.2.17	Entwicklung und Erprobung eines neuartigen parallelkinematischen Bearbeitungszentrums für Holzformteile .....	159
4.2.18	Ermittlung von Prozessparametern beim Nachschneiden schergeschnittener Konturen.....	162
4.2.19	Analyse der Werkzeug- und Maschinenerwärmung während der Anlaufphase von Anlagen der Blechverarbeitung.....	165
4.2.20	Simulationsgestützter Entwurf und anwendungsbezogene Optimierung aktiv magnetisch gelagerter elastischer WZM-Motorspindeln mit nichtlinearer Systemdynamik	168
4.2.21	Erarbeitung von Referenzmodellen für Lineardirektantriebe und Piezostapelaktuatoren.....	170
4.2.22	Belastung von Profilschienenführungen bei Geometriefehlern des Maschinenbetts .....	172

4.2.23	Dynamische Maschinenuntersuchung mittels experimenteller Modalanalyse .....	174
4.2.24	Verhalten von Rollenschienenführungen im Kurzhubbetrieb .....	176
4.2.25	Entwicklung eines parallelkinematischen Demonstrators "MiniHex" .....	179
4.2.26	Untersuchung von Stabachsen und Kardangelenken eines großen Hexapoden .....	181
4.2.27	Korrektur thermischer Verformungen an einem Bearbeitungszentrum .....	184
4.2.28	Kompensation thermischer Verformungen an einem Mehrspindeldrehautomaten.....	187
4.2.29	Entwicklung und Erprobung grafischer Bedienoberflächen für Hexapod-Steuerungen .....	190
4.2.30	Entwicklungs- und Betriebssystem einer neuartigen Steuerung unter besonderer Berücksichtigung von Funktionssicherheit und zustandsdynamischen Fehlerreaktionen .....	192
5	Dissertationen .....	197
5.1	Stand und Möglichkeiten der Systemsimulation von mechanischen Pressmaschinen.....	198
6	Öffentlichkeitsarbeit .....	205
6.1	Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminare .....	206
6.2	Veröffentlichungen .....	212
6.2.1	Vorträge .....	212
6.2.2	Fachaufsätze.....	216
6.2.3	Forschungsberichte .....	218
6.3	Messen und Ausstellungen.....	219
6.4	Gewinnung von Ingenieur-Nachwuchs.....	221
6.5	Mitarbeit in Gremien und Ausschüssen.....	226
6.6	Auszeichnungen für Mitarbeiter und Studenten des Lehrstuhls.....	227
6.7	DWM e. V. Dresdner Freundeskreis der Werkzeugmaschinen- und Steuerungstechnik .....	228
6.8	Schriftenreihe Lehre • Forschung • Praxis .....	231

---

# 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.

1961 wurde der Status einer *Technischen Universität* verliehen.

Nachdem bereits 1929 die Forstliche Hochschule Tharandt eingegliedert worden war, erfolgte im Laufe der letzten zehn 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.

Heute besitzt die TU Dresden 14 Fakultäten. In mehr als 100 Studiengängen und Studienfächern werden über 33.000 Studenten ausgebildet. Seit Ende der 90er Jahre bieten zunehmend mehr ingenieurwissenschaftliche Disziplinen neben dem klassischen Diplomstudium ein zweistufiges Studium nach angelsächsischem Muster an (Bachelor und Master).

Die TU Dresden ist Arbeitsstelle für ca. 6.000 Beschäftigte. Sie wird geleitet von einem Rektoratskollegium. Dieses besteht aus dem Rektor als Vorsitzenden, drei Prorektoren und dem Kanzler als Leiter der Verwaltung.

Rektor:	Prof. <b>H. Kokenge</b>
Prorektor f. Univ.-planung:	Prof. Dr.-Ing. habil. <b>H.-G. Marquardt</b>
Prorektor f. Wissenschaft:	Prof. Dr. phil. Dr. rer. nat. habil. <b>W. Killisch</b>
Prorektorin f. Bildung:	Prof. Dr. phil. habil. <b>M. Medick-Krakau</b>
Kanzler:	<b>A. Post</b>

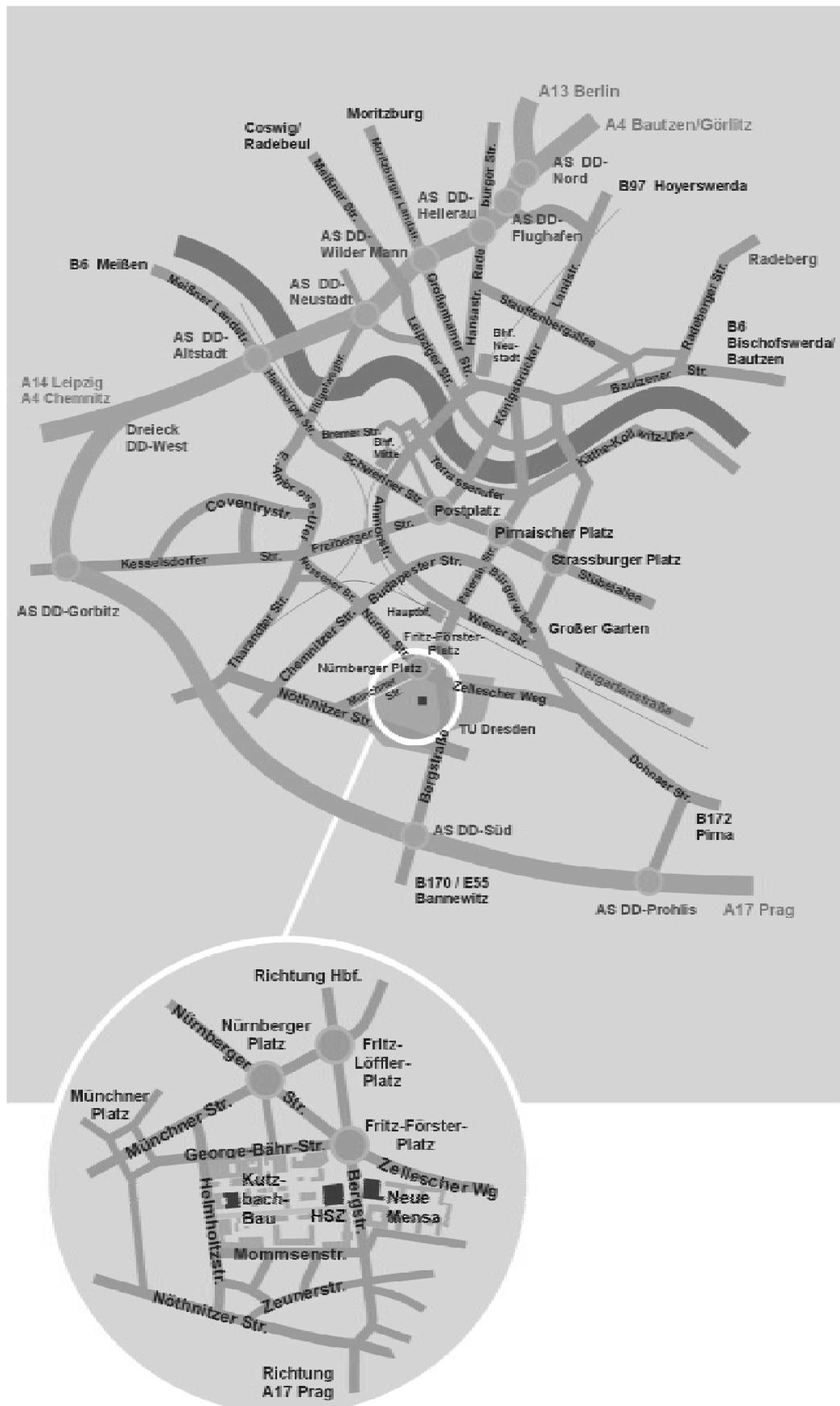
Umfassende Informationen zur TU Dresden unter: [www.tu-dresden.de](http://www.tu-dresden.de)

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 der TU Dresden**

### **Leitung**

#### **Dekan**

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

#### **Prodekan**

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

#### **Studiendekan – Studiengang Maschinenbau**

Prof. Dr.-Ing. habil. J. Huhn

#### **Studiendekan – Studiengang Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik Studiengang Werkstoffwissenschaft**

Prof. Dr. rer. nat. habil. T. Bley

### **Institute**

#### **Institut für Arbeitsingenieurwesen**

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

#### **Institut für Energiemaschinen und Maschinenlabor**

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

#### **Institut für Energietechnik**

Prof. Dr. rer. nat. J. Knorr, Geschäftsführender Direktor

#### **Institut für Festkörpermechanik**

Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Hardtke, Geschäftsführender Direktor

#### **Institut für Fluidtechnik**

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

#### **Institut für Fördertechnik, Baumaschinen und Logistik**

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

#### **Institut für Holz- und Papiertechnik**

Prof. Dr.-Ing. A. Wagenführ, Komm. 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. R. Grundmann, Direktor

**Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion**

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

**Institut für Produktionstechnik**

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

**Institut für Oberflächentechnik und Fertigungsmesstechnik**

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

**Institut für Strömungsmechanik**

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

**Institut für Textil- und Bekleidungstechnik**

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. P. Offermann, Direktor

**Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung**

Prof. Dr.-Ing. habil. A. Dittmann, 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.-Ing. habil. H. Worch, Direktor

**Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik**

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

**Zentrum für Produktionstechnik und Organisation (CIMTT)**

Prof. Dr.-Ing. habil. D. Fichtner, Sprecher

## **1.3            Institutsverbund Produktionstechnik                   und Werkzeugmaschinen**

Aus fachlichen, territorialen und traditionellen Gesichtspunkten arbeiten das Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik, das Institut für Produktionstechnik, das Institut für Oberflächentechnik und Fertigungsmesstechnik und das Zentrum für Produktionstechnik und Organisation (CIMTT) im Rahmen eines Institutsverbundes eng zusammen. Diese Zusammenarbeit basiert auf der fachlich-inhaltlichen Verknüpfungen von Maschine und Prozess und kommt u. a. zum Ausdruck in:

- Abstimmung und gegenseitige Nutzung der Lehrangebote des Instituts für Produktionstechnik sowie des Instituts für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik im Rahmen der Studienrichtung Produktionstechnik.
- Durchführung von Versuchsfeldübungen des Praktikums Produktionstechnik durch den Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen.
- Wechselseitige Teilnahme von Studenten beider Institute an den Exkursionen des Partnerinstitutes.
- Gemeinsame Nutzung von Ausrüstungen und Versuchseinrichtungen.
- Zusammenarbeit in Forschungsprojekten.

### **IWM - Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik**

#### **Direktor**

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann      Telefon: 0351/46 33 43 58

#### **Professur für Werkzeugmaschinenkonstruktion**

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

#### **Dozentur für Fertigungssysteme und Betriebsmittel**

Doz. Dr.-Ing. O. Wasner

## **IPT - Institut für Produktionstechnik**

### **Geschäftsführender Direktor**

Prof. Dr.-Ing. V. Thoms

Telefon: 0351/46 33 21 99

### **Professur für Fabrikplanung und Produktionsorganisation**

Prof. Dr.-Ing. habil. R. Koch

Arbeitsschwerpunkte:

Arbeitsplanung, Planung integrierter Produktionssysteme, Produktionslogistik, Integration in der Planung

### **Professur für Fügetechnik und Montage**

Prof. Dr.-Ing. habil. U. Füssel

Arbeitsschwerpunkte:

Kombinierte Fügeverbindungen, Kleb- und Beschichtungstechnik, Schweiß- und Löttechnik, Montageprozess-Planung/-projektierung, Montage- und Demontagetechnik, Robotertechnik, Recycling

### **Professur für Produktionsautomatisierung, Zerspan- und Abtragtechnik**

Prof. Dr.-Ing. habil. D. Fichtner

Arbeitsschwerpunkte:

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

### **Professur für Umform- und Urformtechnik**

Prof. Dr.-Ing. V. Thoms

Arbeitsschwerpunkte:

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

## **IOF - Institut für Oberflächentechnik und Fertigungsmesstechnik**

### **Direktor**

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

Telefon: 0351/46 33 19 93

### **Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik**

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

Arbeitsschwerpunkte:

Fügeverfahren: Schweißen, Lötten, 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 Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung**

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

Arbeitsschwerpunkte:

Messtechnik

Fertigungsplanung: Qualitätssicherung

Systemtechnik

## **Zentrum für Produktionstechnik und Organisation (CIMTT)**

### **Sprecher**

#### **des CIMTT der Fakultät Maschinenwesen**

Prof. Dr.-Ing. habil. D. Fichtner

Telefon: 0351/46 33 21 99

### **Koordinator**

Dr.-Ing. A. Stegemann

Das CIMTT unterstützt sächsische Firmen bei der Erarbeitung komplexer Lösungen zur Kopplung technischer Komponenten und der organisatorischen Einbindung der Mitarbeiter.

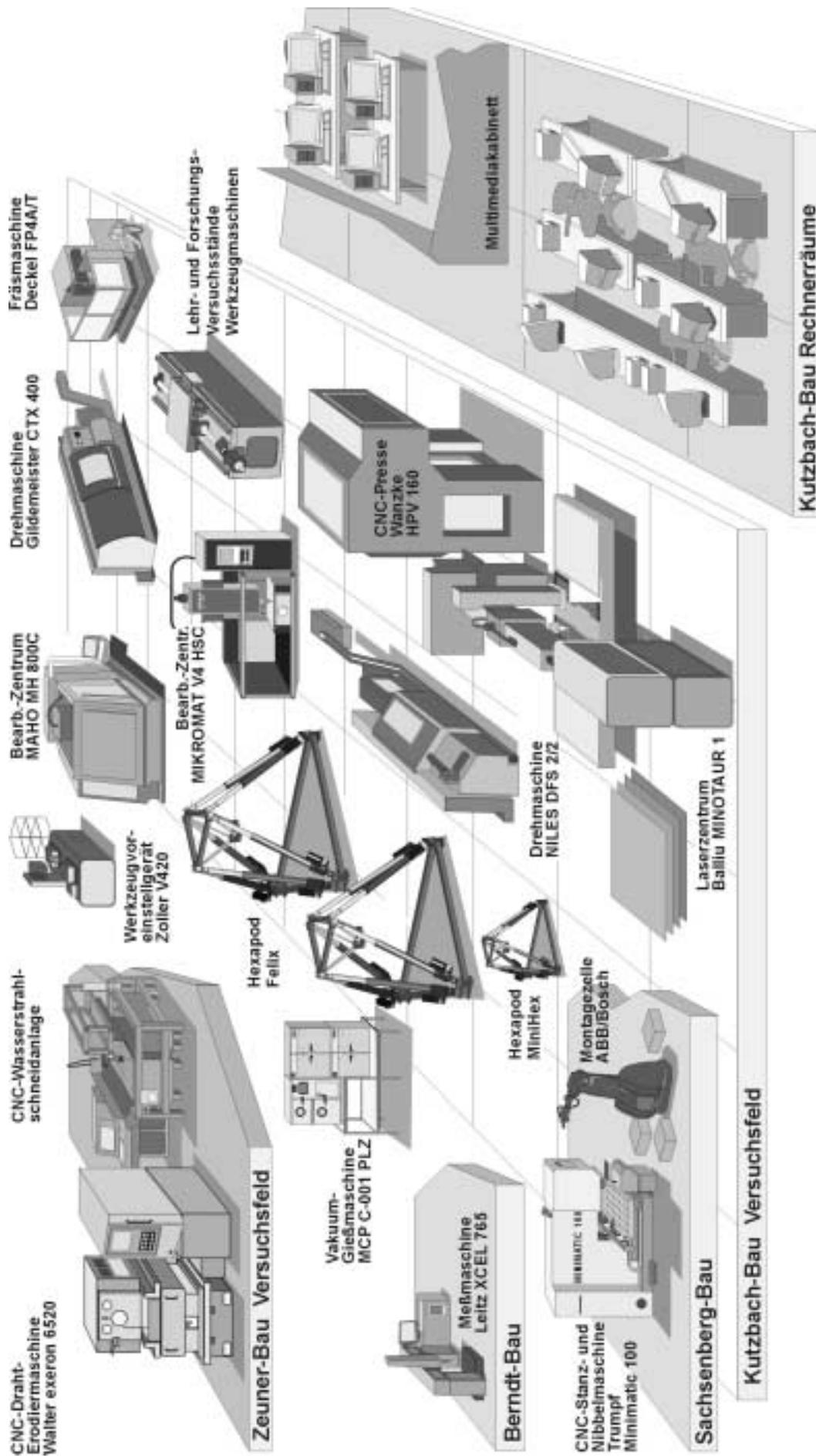
Arbeitsschwerpunkte:

Information und Kontaktvermittlung, Schulung und Weiterbildung,

Analysen zur Beurteilung betrieblicher Organisationsstrukturen,

Erarbeitung und Erprobung technischer und organisatorischer

Lösungen.



Ausgewählte Ausrüstungen des Institutsverbundes

## 1.4 Zur Geschichte des Instituts

### 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 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 Automatisierungstechnik/Werkzeugmaschinen (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      Dr.-Ing. D. Will  
zum Professor für Automatisierungstechnik/Werkzeugmaschinen (Hydraulik und Pneumatik)  
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**

1.12.1997 Direktor:  
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

Die Professur für Hydraulik und Pneumatik wird als Institut  
für Fluidtechnik ausgegründet.



---

## 2      Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen

---



## 2.1 Personal

### Prof. Dr.-Ing. habil. Knut Großmann



- geboren 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 Leiter des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen, Direktor des Instituts für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik 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 Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden
- 1992 - 1994 kommissarischer Institutsleiter
- seit 1992 Dozent für Fertigungssysteme und Betriebsmittel am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

### Dr.-Ing. Manfred Kießling



- geb. 1940 in Eßbach (Thür.)
- 1960 - 1966 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TUD
- 1966 - 1973 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TUD
- 1973 - 1986 Forschung und Entwicklung bei Elektromat Dresden
- 1987 - 2004 Oberassistent / Obergeringieur am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TUD

## **Dipl.-Ing. Gunter Brzezinski**



- geboren 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 Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen 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 Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

## **Dr.-Ing. Günter Jungnickel**



- geboren 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 Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

## **Dipl.-Ing. Bernd Kauschinger**



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

## **Dipl.-Ing.(FH) Holger Kretzschmar**



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

## **Dipl.-Ing. Michael Löser**



- geboren 1976 in Marienberg
- 1997 - 2003 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 2003 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen 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 Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

### **Dipl.-Ing. Thomas Morchel**



- geboren 1975 in Finsterwalde
- 1996 - 2002 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 2002 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

### **Dr.-Ing. Andreas Mühl**



- geboren 1964 in Olbernhau
- 1986 - 1991 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 1991 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

### **Dipl.-Ing. Jens Müller**



- geboren 1972 in Rodewisch
- 1994 - 1999 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 1999 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

### **Dipl.-Ing. Lars Neidhardt**



- geboren 1970 in Osterwieck
- 1990 - 1995 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- 1996 - 2001 Konstrukteur bei mehreren sächsischen Maschinenbauunternehmen
- seit 2001 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

### **Dipl.-Inf. (FH) Markus Prause**



- geboren 1976 in Lengenfeld
- 1996 - 2002 Studium Informatik an der FH Zwickau
- 2001 - 2003 Technischer Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

### **Dipl.-Ing. Steffen Rehn**



- geboren 1973 in Dohna
- 1998 - 2003 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 2004 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

### **Dipl.-Ing. (BA) Andreas Richter**



- geboren 1978 in Bautzen
- 1997 - 2000 Studium Technische Informatik an der Berufsakademie Sachsen, Staatliche Studienakademie Dresden
- seit 2001 Technischer Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

### **Dipl.-Ing. Mirko Riedel**



- geboren 1977 in Burgstädt
- 1997 - 2004 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 2004 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

## **Dipl.-Ing. Holger Rudolph**



- geboren 1968 in Jena
- 1990 - 1995 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 1995 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

## **Dr.-Ing. Klaus Schumacher**



- geb. 1941 in Dresden
- 1961 - 1967 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 1967 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

## **MSc. Szabolcs Szatmari**



- geboren 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 und Promotionsstudent am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen 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 Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

### **Dr.-Ing. Hajo Wiemer**



- geboren 1966 in Dresden
- 1988 - 1993 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 1996 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

### **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
- seit 1968 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

## Günter Gäk



- geb. 1941 in Kostschin (Schlesien)
- 1958 - 1960 Berufsausbildung als Werkzeugmacher
- 1966 - 1968 Meisterausbildung
- seit 1965 beschäftigt am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

## Sigfrid Frech



- geb. 1940 in Dresden
- 1954 - 1957 Berufsausbildung als Elektromechaniker
- 1967 - 1969 Meisterausbildung
- 1958 - 2004 beschäftigt am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

## Jens Ertel



- geb. 1961 in Leipzig
- 1977 - 1979 Berufsausbildung als Maschinenbauer
- 1986 - 1988 Meisterausbildung
- seit 1984 beschäftigt am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

## Jochen Loose

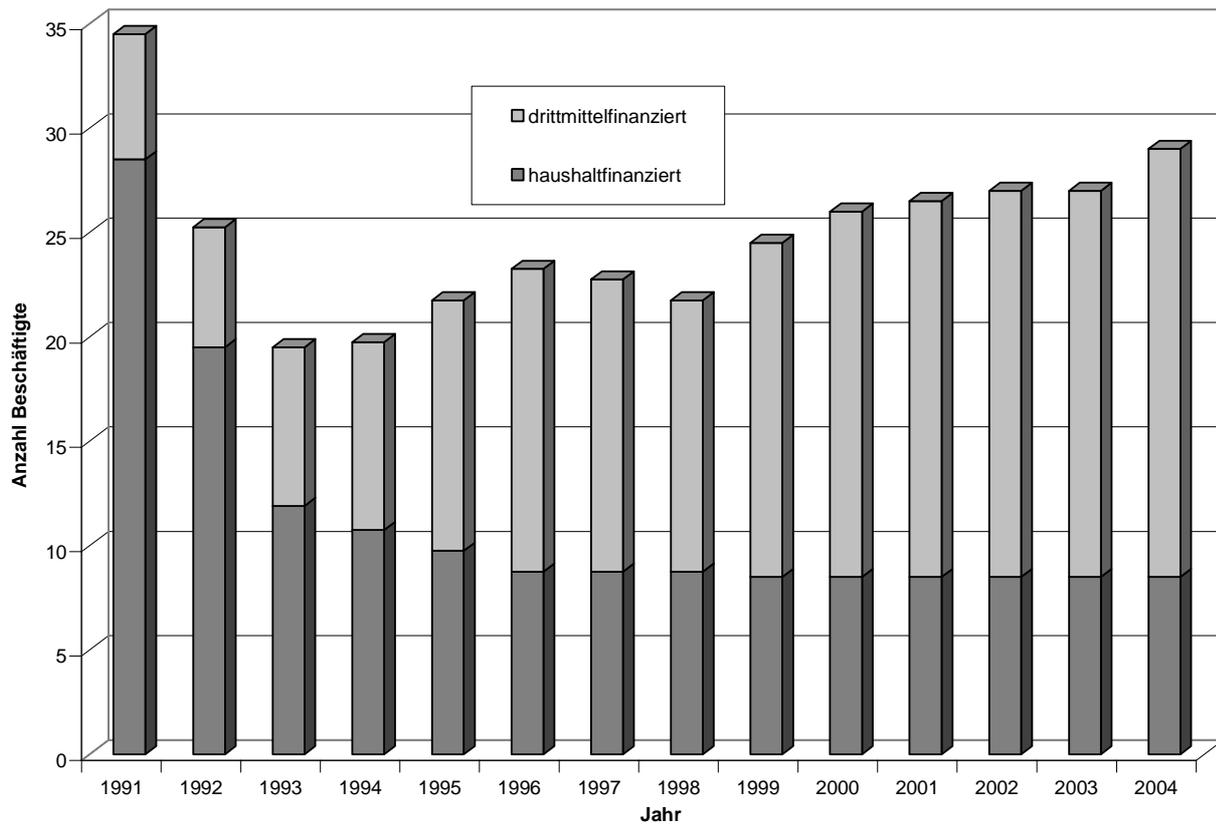


- geb. 1959 in Cottbus
- 1975 - 1977 Berufsausbildung als Elektromechaniker
- seit 1977 Facharbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

## Jens Schober



- geb. 1967 in Dresden
- 1983 - 1985 Berufsausbildung als Zerspanungsfacharbeiter
- seit 1985 Facharbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden



*Beschäftigte am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen*

## 2.2 Ausstattung

### 2.2.1 Experimentelle Ausstattung

#### Messplatz für geometrische Prüfungen u. Maschinenabnahme

- 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 der 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 Untersuchung von Maschinen

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

## **Messplatz zur dynamischen Untersuchung von Maschinen**

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

## **Messplatz für thermische Untersuchungen an Maschinen**

- 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 95 / NT 4 / 2000 / XP      IRIX  
Linux

### Netzwerk

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

### Software

MS Office 2000	MS Visual C++	AutoCAD 2000
Adobe Acrobat 4.05	Borland C++	ProEngineer 2000
Adobe Photoshop	Borland Delphi	SolidWorks
CorelDRAW 9	MathCAD 2001	MegaCAD
Studio 3	DIAdem	ITI-SIM
Designer	Ansys	Matlab/Simulink



*Bei der Ausbildung im Rechner-Labor*

### 2.2.3 Labor

Dem Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik steht zu gemeinsamer Nutzung mit dem Institut für Fluidtechnik der Teilbereich eines Laborverbundes mit angrenzendem Werkzeugmaschinen-Versuchsfeld zur Verfügung.

Auf eigenen Maschinen können fast alle erforderlichen Zerspanungsarbeiten (einschließlich CNC-Fräsen), Schweiß-, Montage- und Elektroarbeiten sowie einfache 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.



*Laborbereich des Werkzeugmaschinen-Versuchsfeldes*

## 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 weiterführender 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. Geräuschmessung 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

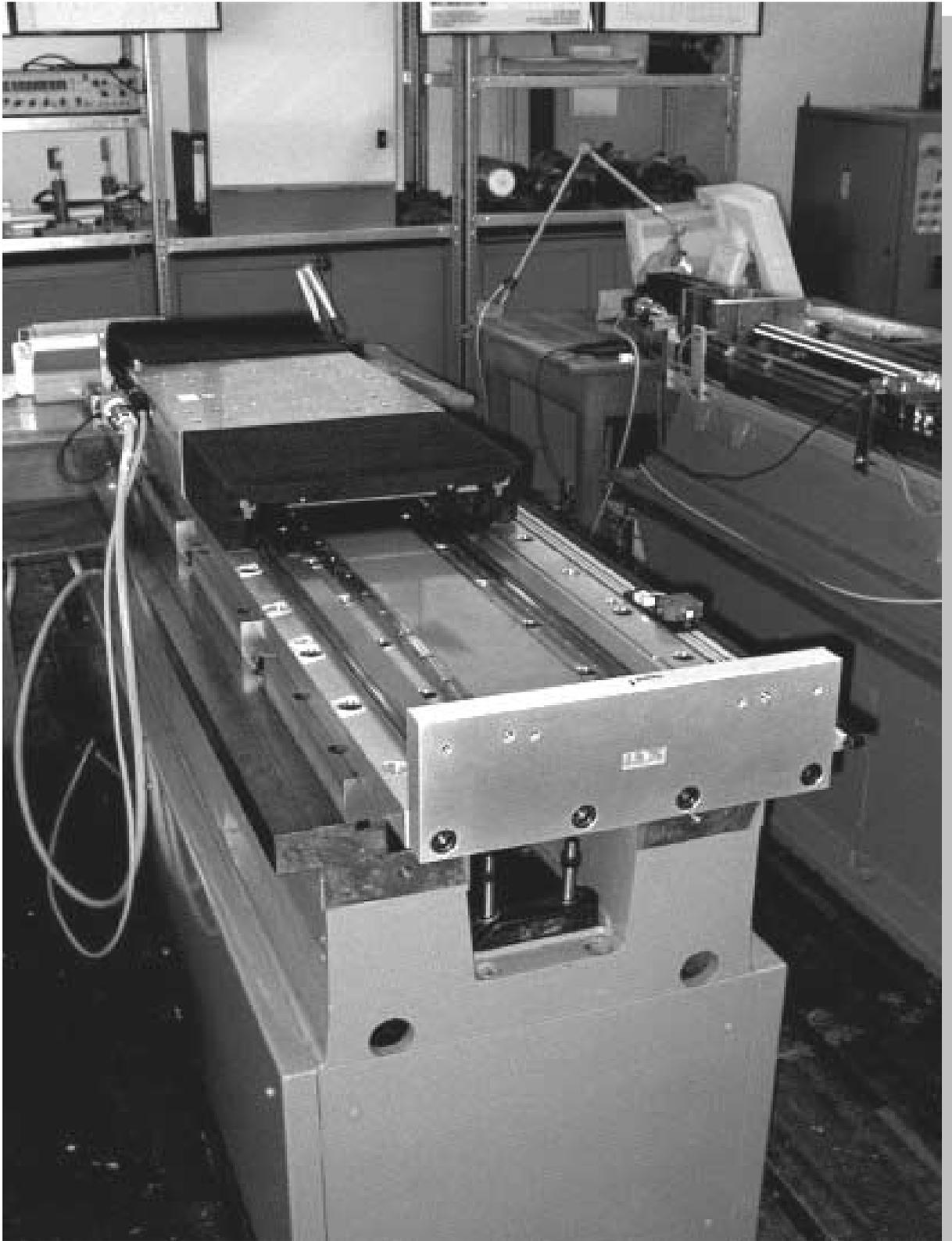
- Lagegeregelte Vorschubachse
- Kugel-Profilschienenführungen mit integriertem Messsystem

### Daten

- Vorschubkraft (max.) 3.800 N
- Dauerkraft 1500 N
- Geschwindigkeit (max.) 200 m/min
- Beschleunigung (max.) 60 m/s<sup>2</sup>
- 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 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

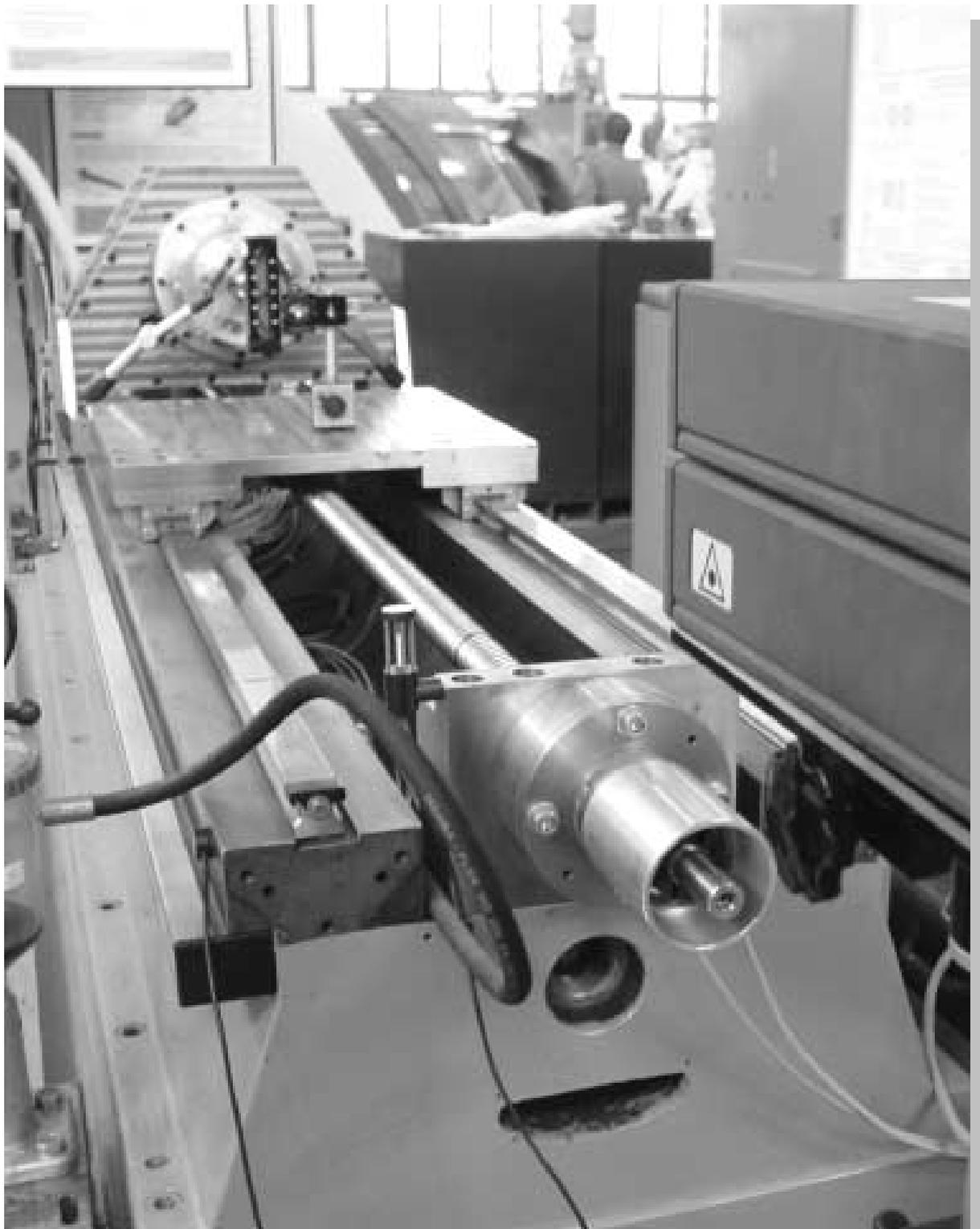
- Lagegeregelte Vorschubachse (Servoantrieb)
- Kugelgewindetrieb mit angetriebener Spindel, Doppelmutter mit einstellbarer Vorspannung, axial vorspannbarer Spindel und variabler Endenlagerung
- Lagemessung indirekt über rotatorisches Messsystem oder direkt über in eine Rollen-Profileschienenführung integriertes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

### Daten

- Motor-Nenn Drehzahl  $4.000 \text{ min}^{-1}$
- Kugelgewindetrieb 40 mm x 20 mm T5 (gerollt)
- Tischgröße 470 mm x 500 mm
- Verfahrweg 1.500 mm
- Rollen-Profileschienenführungen Größe 35

### Messtechnik

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



*Vorschubachse mit Kugelgewindetrieb*

### 2.2.4.3 Laufeigenschaften von Hauptspindeln

#### Aufgabenstellung

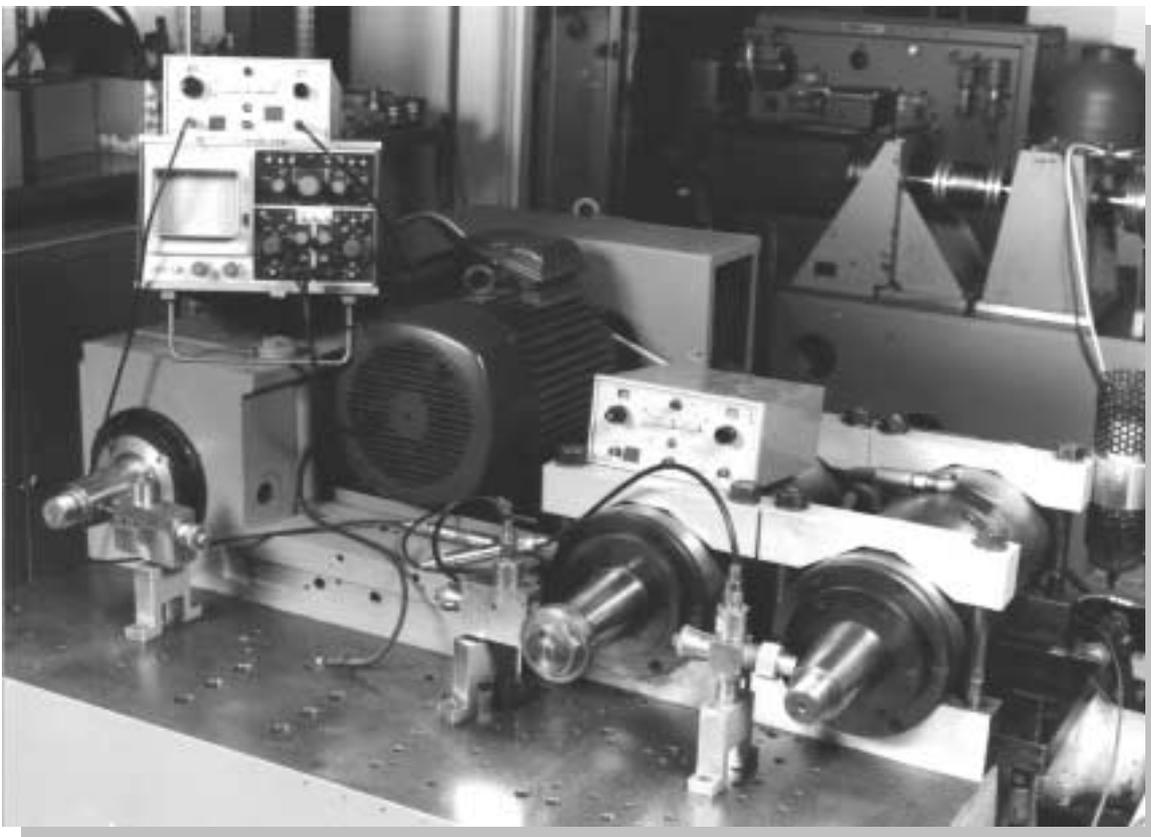
- Analyse und Vergleich der Laufeigenschaften von unterschiedlich gelagerten Genauigkeits-Spindeln
- Signalanalyse zur Ermittlung von Quellen wälzlagerbedingter Störbewegungen
- Ermittlung von Reibmoment und Verlustleistung an einer hydrostatischen Schleifspindel

#### Versuchsstandausrüstung

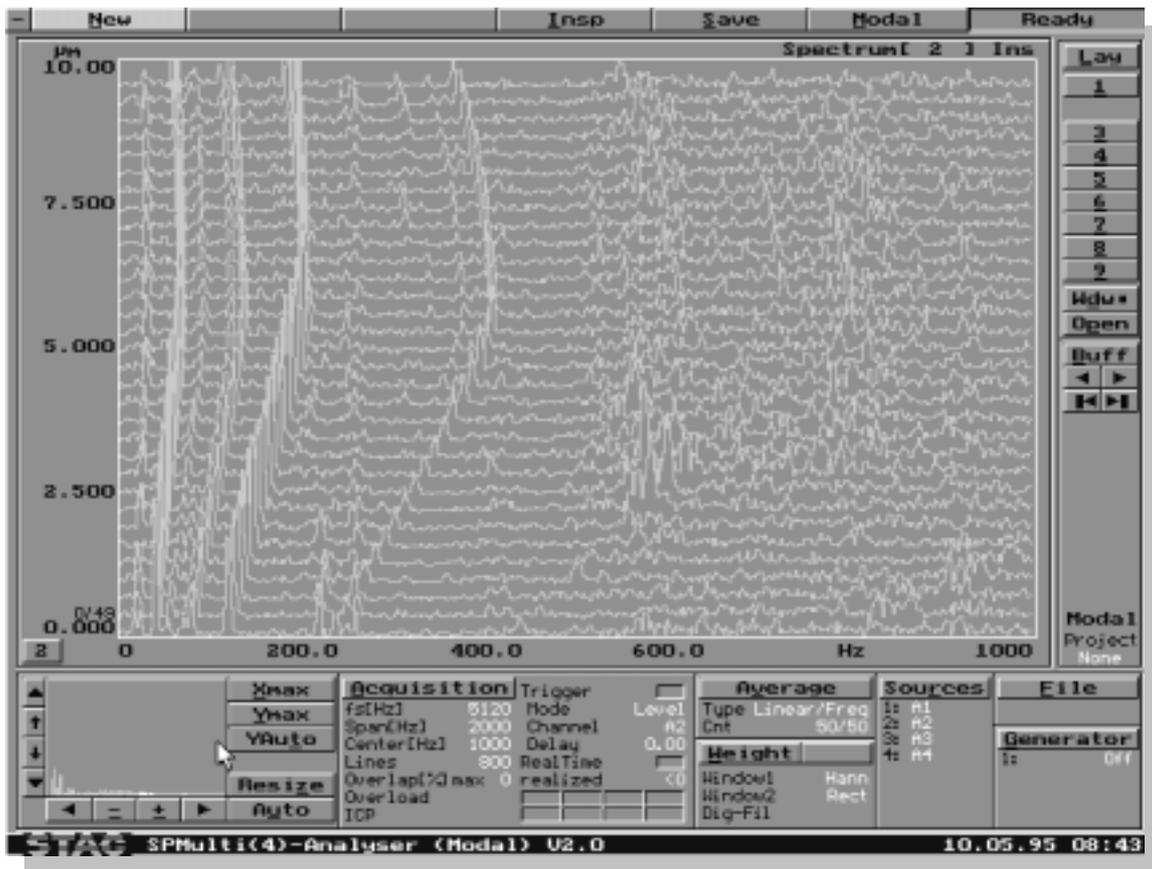
- hydrodynamisch, hydrostatisch und wälzgelagerte Spindeln für das Außenrundscheifen
- Bohrspindeleinheit
- Motor-Spindeln zum Bohrungsscheifen

#### Messtechnik

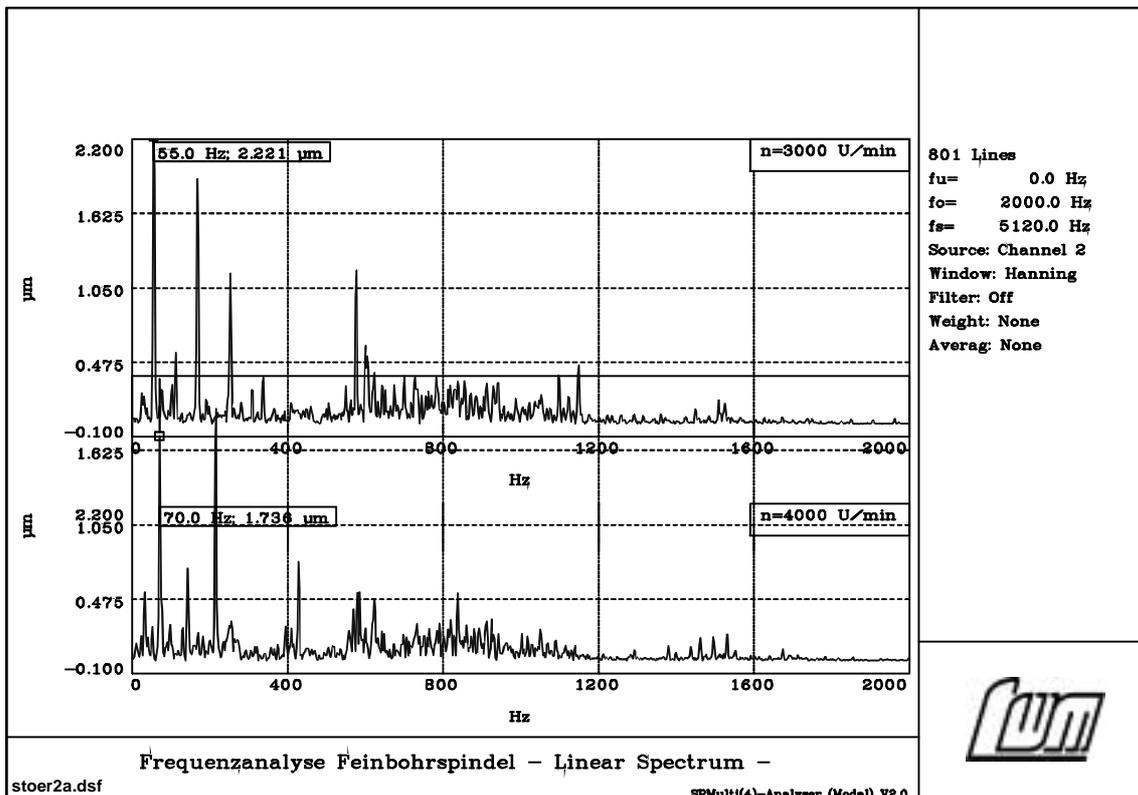
- kapazitive Wegmesseinrichtung
- PC-gestützter Echtzeit-FFT-Analysator



*Hauptspindelprüfstand*



Frequenzanalyse einer Feinbohrspindel bei verschiedenen Drehzahlen



## 2.2.4.4 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

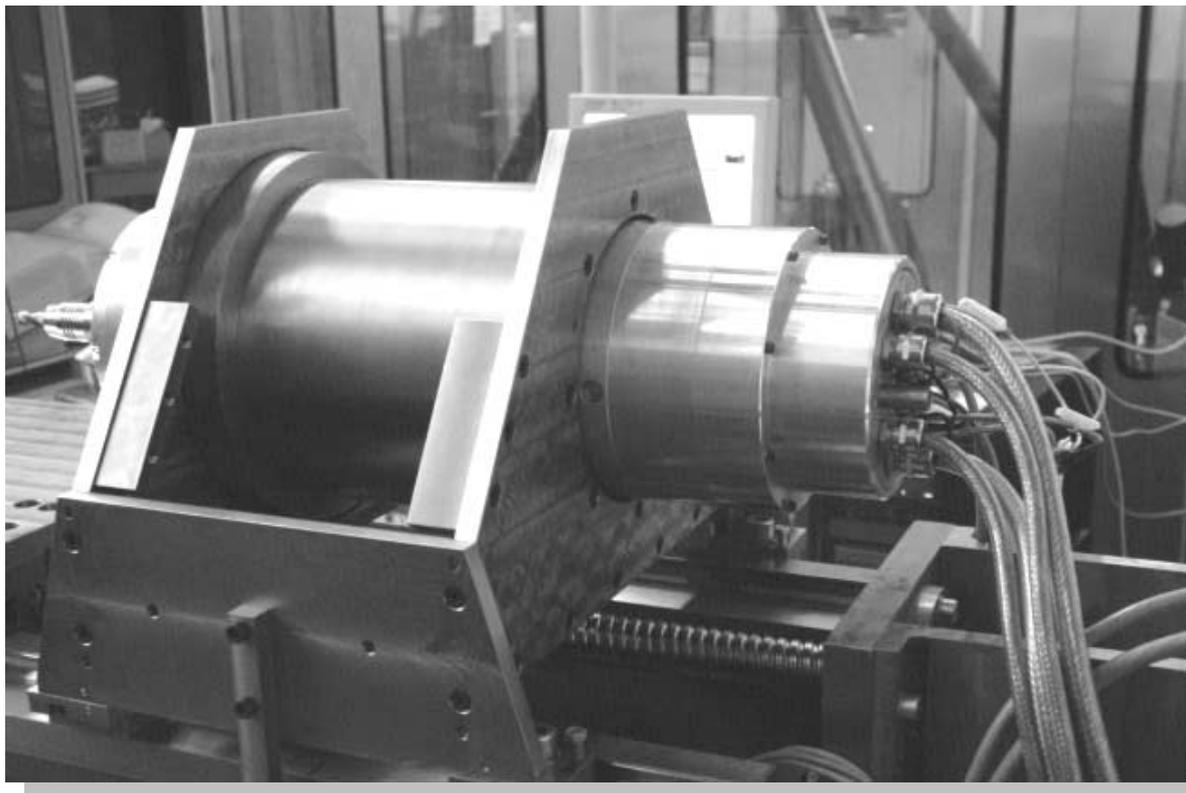
- Motorspindel mit aktiver Magnetlagerung, AXOMAT GmbH
- Einbindung mit paralleler Anordnung zu einer Linearvorschubachse in einen Versuchsstand zum Ausbohren

### 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)
- 3-Komponenten-Kraftmesstechnik zur Erfassung von Zerspankräften (System Kistler)



*Versuchsaufbau Motorspindel mit aktiver Magnetlagerung*



*Monitoring für die Unrund-Bearbeitung*

## **2.2.4.5 Kupplungsprüfstand**

### **Aufgabenstellung**

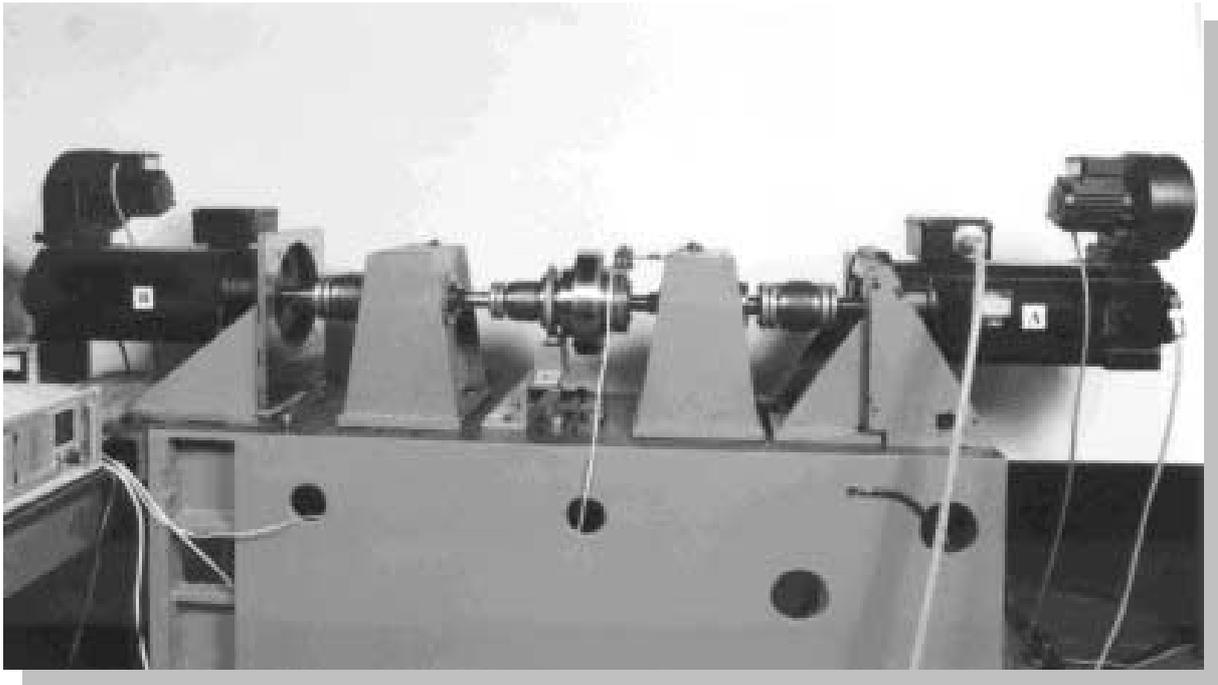
- Ermittlung von Übertragungseigenschaften von Schaltkupplungen und regelbaren Kupplungen
- Nachweis der Steuerbarkeit von Drehmomenten mit magnetorheologischen Flüssigkeiten
- Ermittlung der Parameter einer magnetorheologischen Experimentierkupplung
- Optimierung der konstruktiven, magnetischen und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

### **Versuchsstandausrüstung**

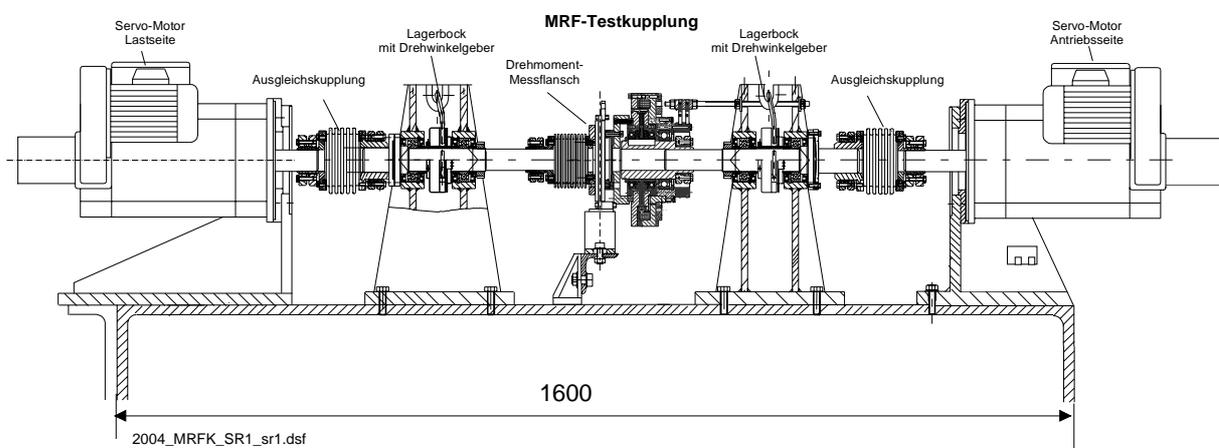
- zwei unabhängig regelbare Servoantriebe

### **Messtechnik**

- Drehmoment
- Drehzahl
- Temperatur



*Ansicht des Kupplungsprüfstandes*



*Schematischer Aufbau des Prüfstandes mit MRF-Kupplung*

## **2.2.4.6 Prüfstand für Profilschienenführungen**

### **Aufgabenstellung**

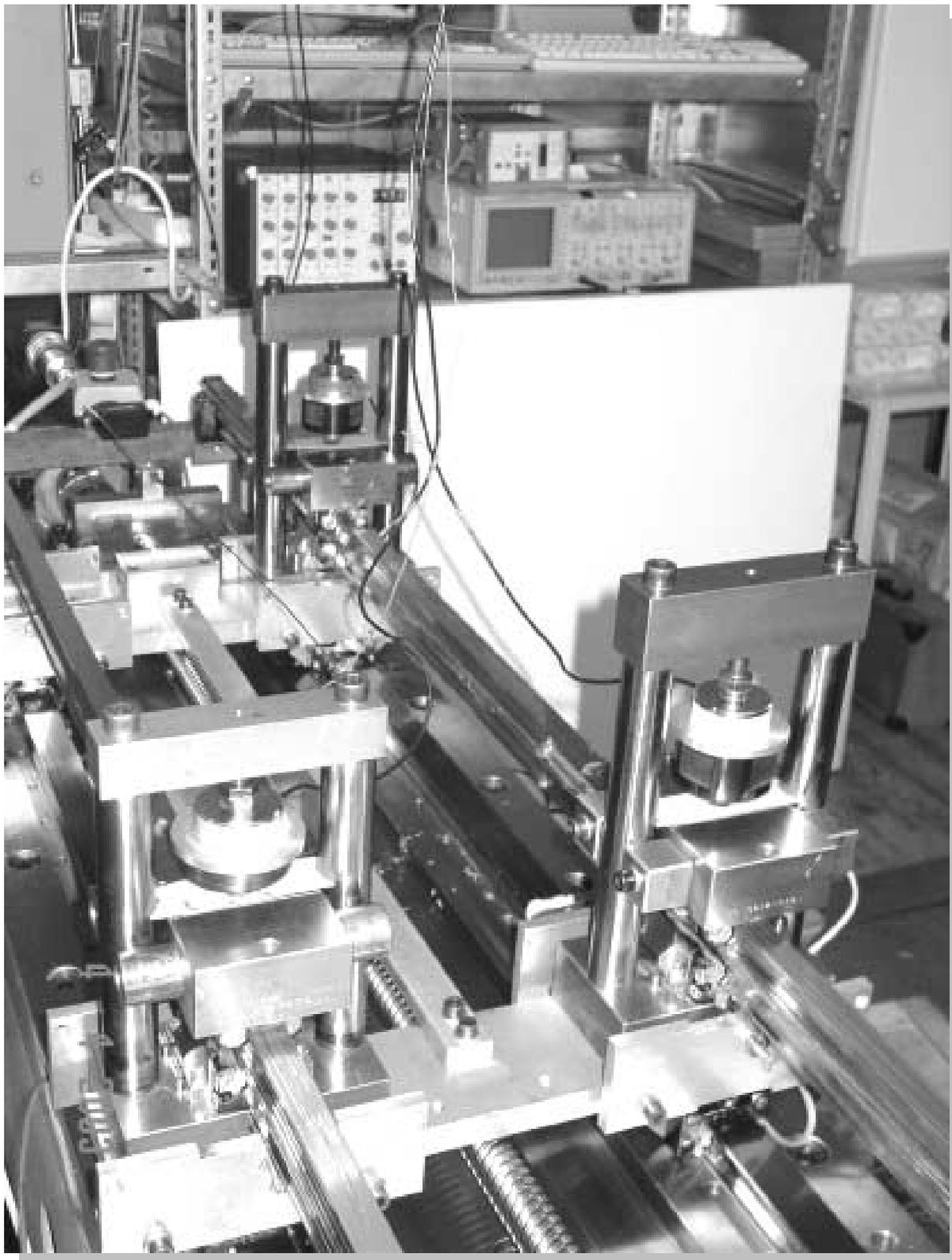
- Untersuchung des Einflusses von Lageabweichungen der Montageflächen an den Umbauteilen auf die Reibkraft und die Führungsgenauigkeit an einem Schlitten
- Untersuchung des Einflusses der Geschwindigkeit und des Bewegungsablaufs auf Reibkraft und Genauigkeit
- Lebensdauerprüfung von Profilschienenführungen

### **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*

## **2.2.4.7 Prüfstand für Profilschienenführungen an Pressen**

### **Aufgabenstellung**

- Lebensdaueruntersuchungen an Rollen-Profilschienenführungen unter pressentypischer stoßartiger Belastung
- Ermittlung des Einflusses dieser Belastungsart auf die Führungselemente
- Erarbeitung von Auslegungsrichtlinien für Profilschienenführungen als Pressenstoßelführung

### **Versuchsstandausrüstung**

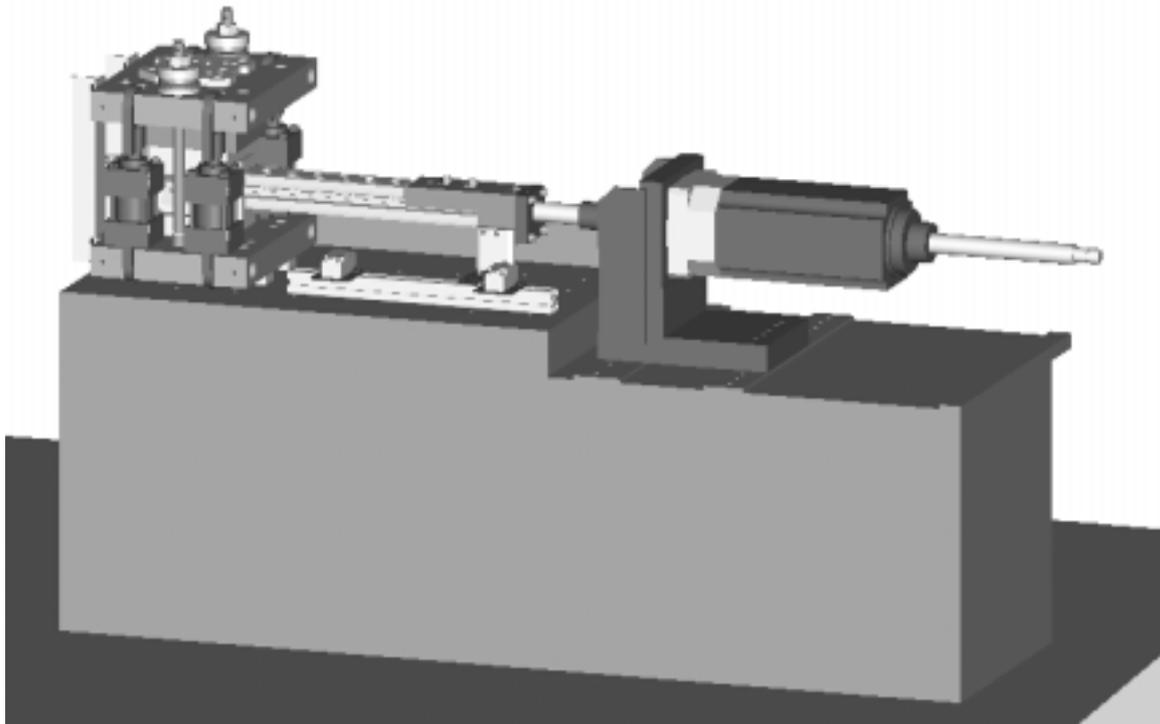
- Servoantrieb mit Hohlwellenmotor
- Belastungseinrichtung für statische und dynamische Kräfte

### **Daten**

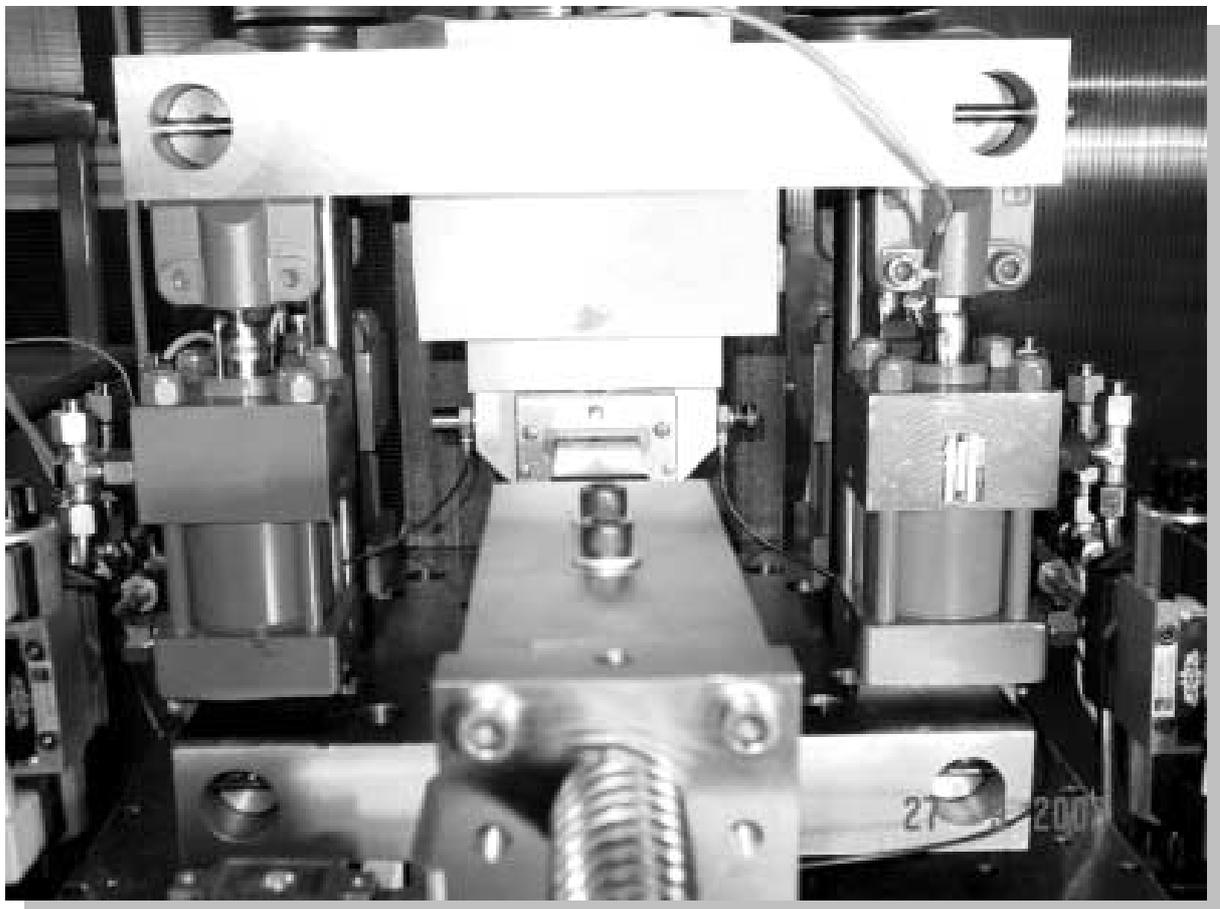
- Belastung (max.) 150 kN
- Hubzahl (max.) 85 min<sup>-1</sup>
- Beschleunigung (max.) 12 m/s<sup>2</sup>
- Beschleunigungsverlauf sinusförmig
- Hub (max.) 250 mm
- Messmöglichkeiten für Normal- und Reibkraft

### **Messtechnik**

- Belastungskraft
- Geschwindigkeit
- Temperatur



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



## 2.2.4.8 Hexapod 1

### Aufgabenstellung

- Adaptive Prozessführung
- Modellbasierte, steuerungsintegrierte Korrekturen systematischer Fehlerwirkungen (geometrisch, elastostatisch, thermisch)

### Versuchsstandausrüstung

- Bewegungseinrichtung mit Freiheitsgrad 6
- Hexapodspezifische Bedienoberfläche mit Netzwerkanbindung
- Programmierarbeitsplatz zur Entwicklung eigener Steuerungs-Funktionalität
- Frässpindel 10 kW, 21.000 min<sup>-1</sup>, Wasserkühlung
- REFU-Spindelumrichter mit digitalem SERCOS-Interface

### Messtechnik

- 3-Komponenten-Kraftmessplattform KISTLER mit 3-Kanal-Ladungsverstärker
- Genauigkeits-Messsystem (Double-Ball-Bar) RENISHAW QC 10
- Laser-Interferometer RENISHAW ML 10

### Technische Spezifikation des Hexapoden

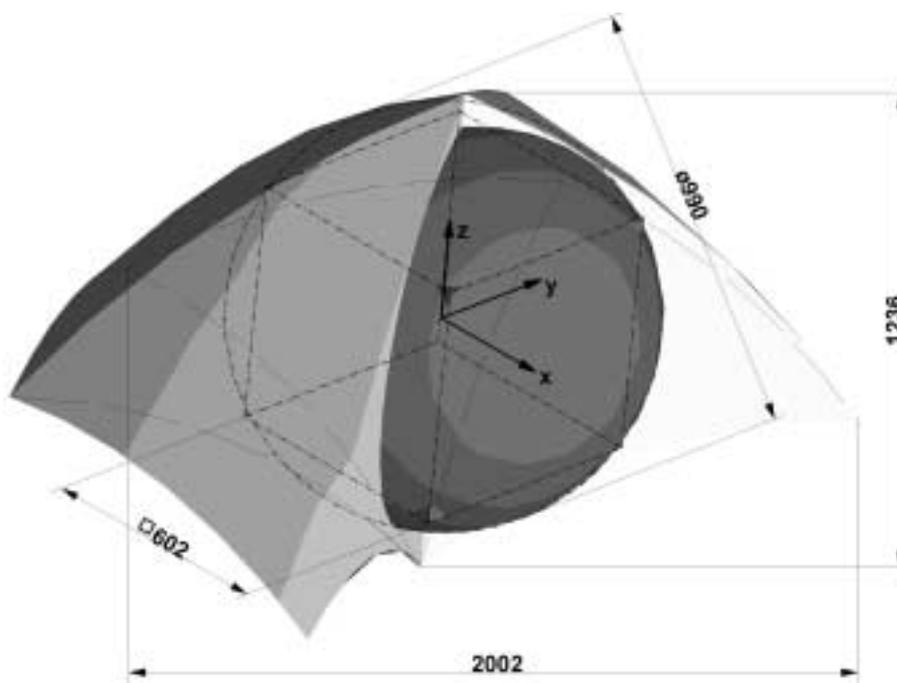
- Arbeitsraum:
 

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*

## 2.2.4.9 Hexapod 2

### Aufgabenstellung

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

### Versuchsstandausrüstung

- Bewegungseinrichtung mit Freiheitsgrad 6
- Hexapodspezifische Bedienoberfläche mit Netzwerkanbindung
- Offenes Steuerungssystem Bosch typ30sa mit digitalen Antrieben
- Programmierarbeitsplatz zur Entwicklung eigener Steuerungsfunktionalität
- Frässpindel 1,7 kW, 2.400 min<sup>-1</sup>, Luftkühlung, pneumatische Werkzeugspannung SK 30
- Frässpindel 7,8 kW, 17.400 min<sup>-1</sup>, Luftkühlung, Werkzeugspannzange 8 bis 12 mm
- Modulare pneumatische Spannvorrichtung zum Greifen und Spannen von Holzformteilen
- Industrielle Staub-/Späneabsaugung

### Messtechnik

- Bildverarbeitungssystem zur Lageerkennung des zu bearbeitenden Werkstücks
- weitere s. Pkt. 2.2.4.8

### Technische Spezifikation des Hexapoden

- identisch zu Hexapod unter Pkt. 2.2.4.8



*Bildverarbeitung / Rohling und bearbeitetes Werkstück*



*Auswertung des Kamerabildes für die Werkstück-Lageerkennung*

### 2.2.4.10 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

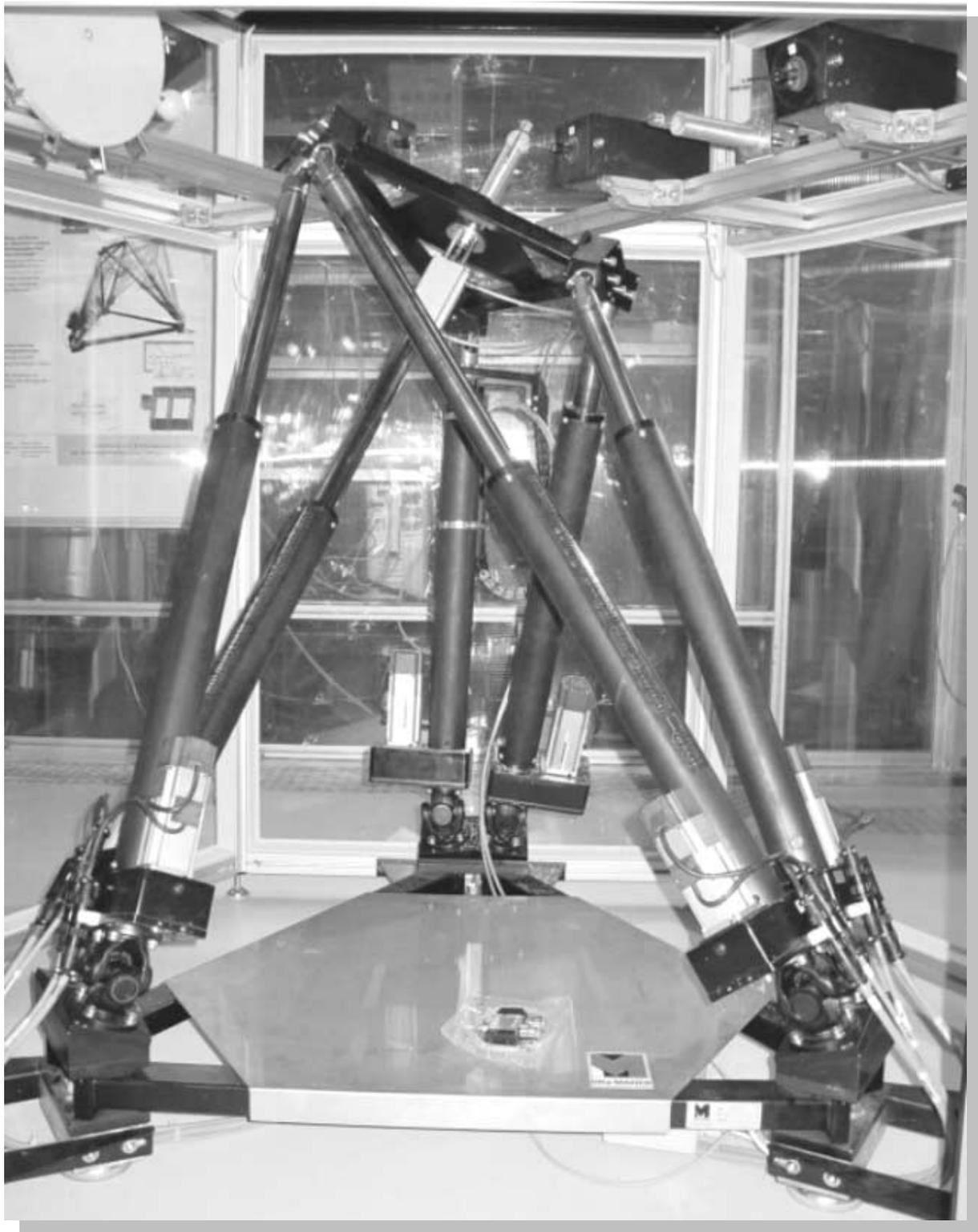
- Bewegungseinrichtung mit Freiheitsgrad 6
- Bewegung des Werkstückes relativ zu den feststehenden Werkzeugen
- Zweiter, fest angeordneter Greifer zum Umgreifen des Werkstückes für eine 6-Seiten-Bearbeitung

#### Messtechnik

- s. Pkt. 2.2.4.8

#### 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*

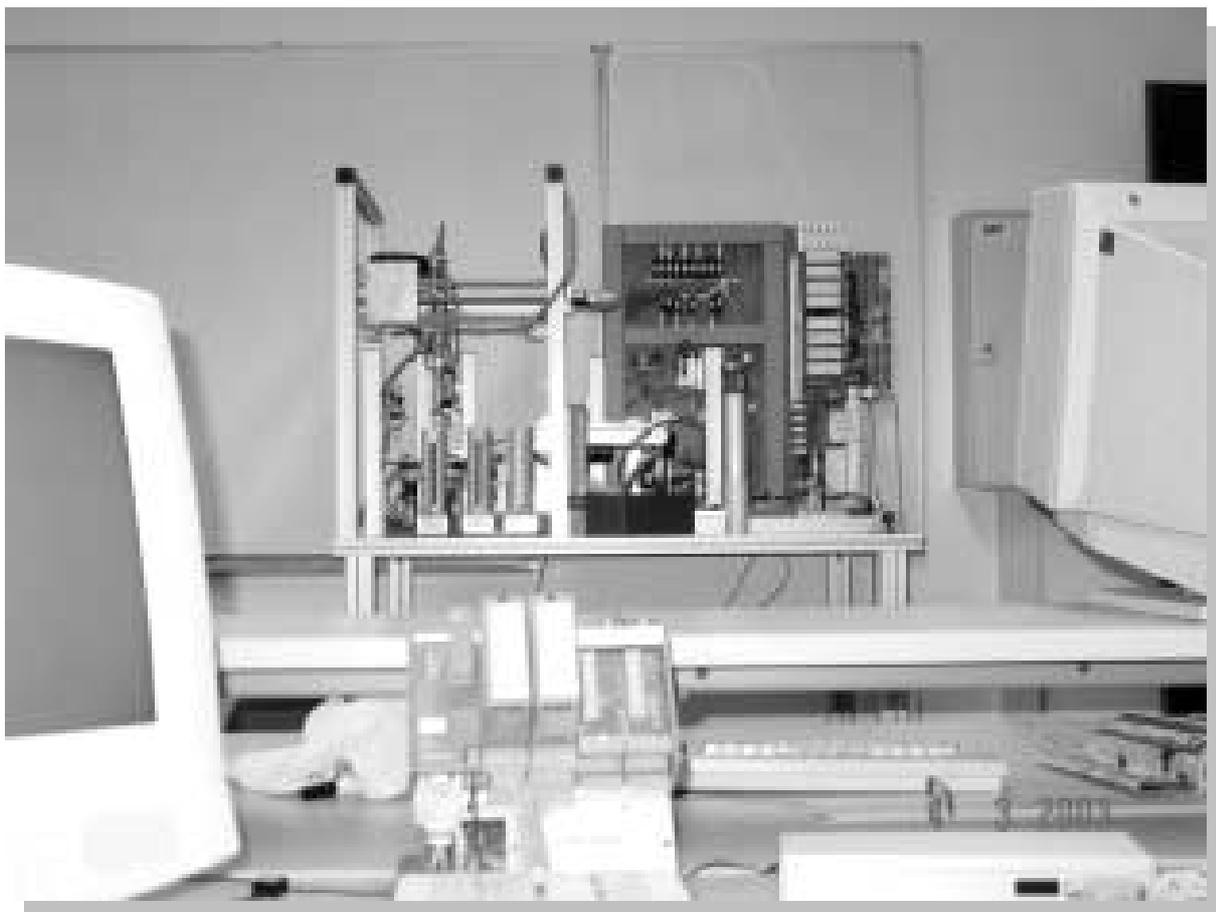
### 2.2.4.11 Programmierung der Steuerung von Fertigungssystemen (SPS)

#### Aufgabenstellung

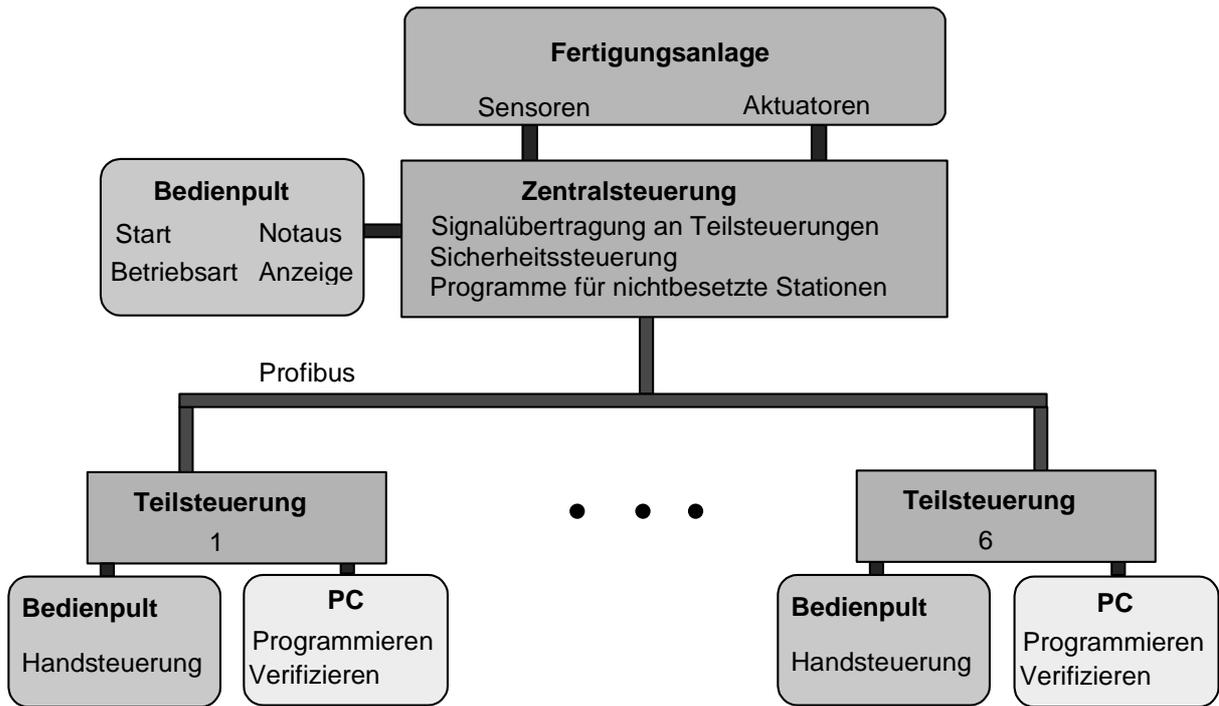
- Modulare Programmierung des asynchronen Ablaufs einzelner Arbeitsstationen
- Koordinierung ihres Zusammenwirkens in einem Fertigungssystem

#### Versuchsstandausrüstung

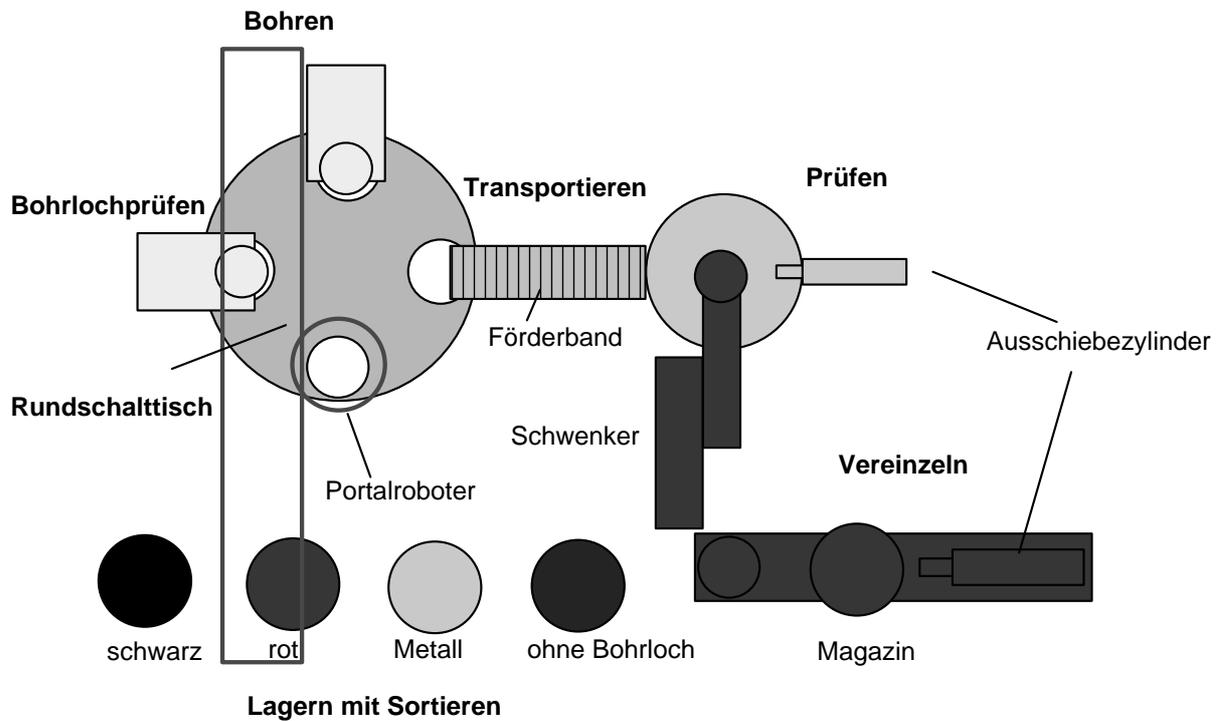
- Modell eines Fertigungssystems mit zentraler SPS (Speicher-programmierbare Steuerung)
- sechs über Feldbus angeschlossene Studentearbeitsplätze mit modularen SPS



*Lehrkabinett  
für die Programmierung der SPS eines modularen Fertigungssystems*



*Aufbau des Lehrkabinetts*



*Aufbau des Fertigungssystems*

## 2.2.4.12 Geräuschuntersuchungen an Werkzeugmaschinen

### Aufgabenstellung

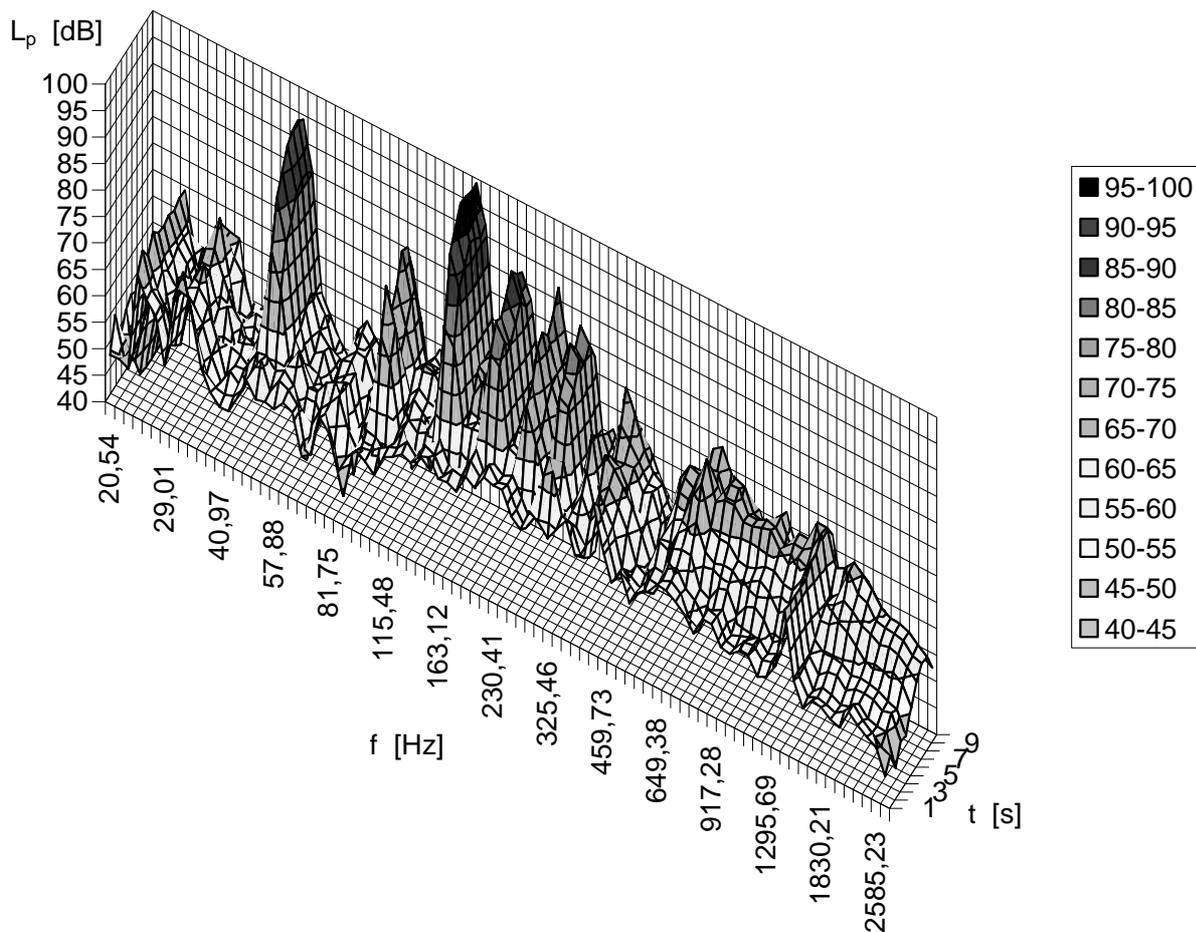
- Einführung in den Lärmschutz
- Messung von Lärmkenngrößen mit verschiedenen Messverfahren
- Kennenlernen von Analysemethoden und Lärminderungsmaßnahmen

### Versuchsstandausrüstung

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

### Messtechnik

- Schalldruckpegel-Messgerät
- Schallintensitäts-Messgerät



*Schalldruckpegel-Multispektrum eines Umformvorganges*



*Schallintensitätsmessung an einer Drehmaschine*

### 2.2.4.13 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 Prüfregele 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

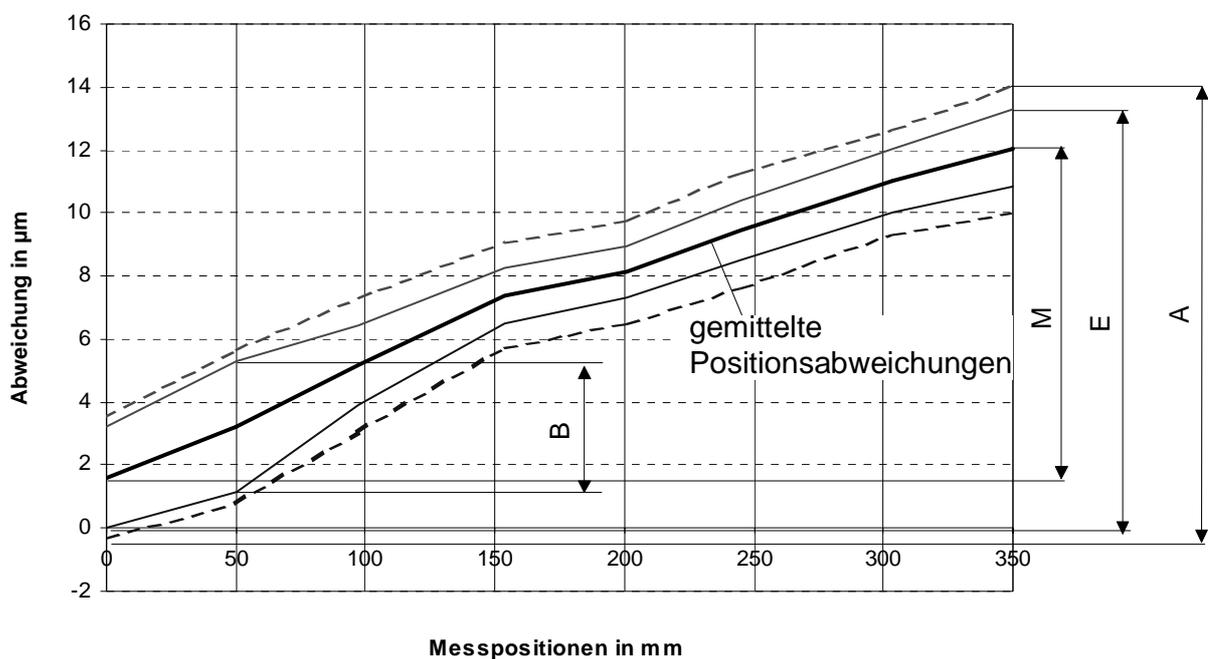
- Messung der Positionsabweichungen

#### 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  $\mu\text{m}$   
lineare Geschwindigkeit  
Messbereich 1 m/s  
Genauigkeit + 0,05 %  
Auflösung 0,05  $\mu\text{m/s}$



*Laser-Interferometer im Einsatz für eine lineare Verschiebungsmessung*



- B – Umkehrspanne einer Achse
- M – gemittelte zweiseitige Positionsabweichung einer Achse
- E – zweiseitige systematische Positionsabweichung einer Achse
- A – zweiseitige Positionierunsicherheit einer Achse

*Untersuchungsergebnisse für eine Achse*

## **2.2.4.14 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**

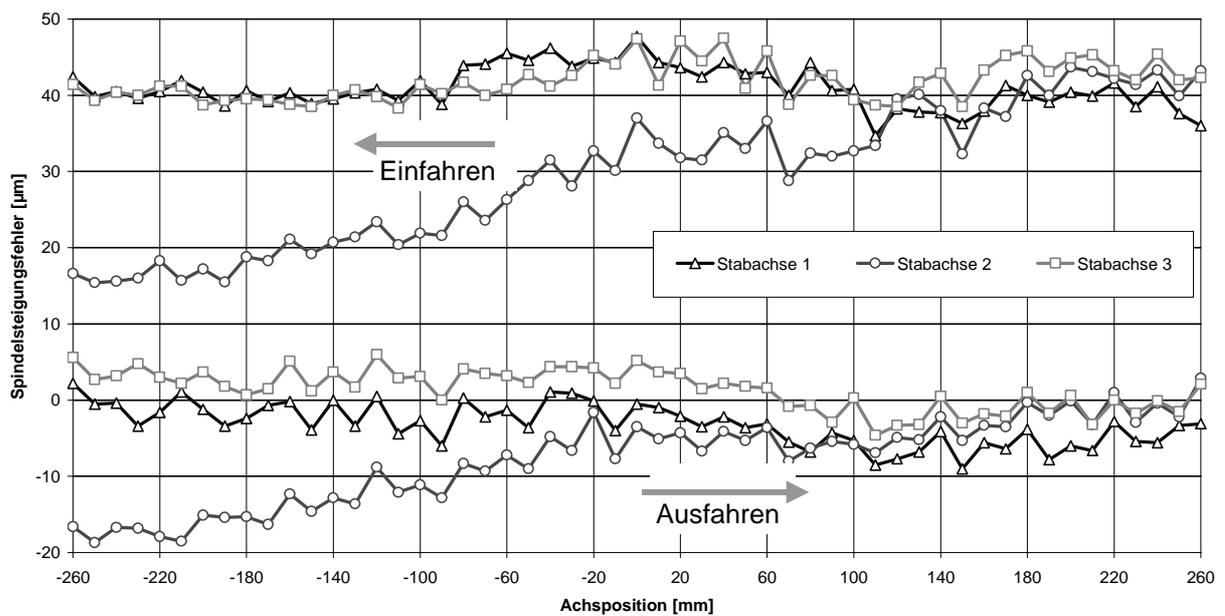
- Prüfstand mit modularen Gelenkaufnahmen für verschiedene Stabachsbauformen und -größen
- auf Profilschiene verschiebbarer Wagen mit Gelenkaufnahme
- Adapter zur Anbringung von Kraftsensoren
- Einrichtung zur Aufbringung von Vorspannungen
- Endmaße als physisch repräsentiertes Bezugsmaß

### **Messtechnik**

- Laser-Interferometer RENISHAW ML 10 für Referenzmessungen
- BUSRTER-Kraftsensor 0...500 kN zur Ermittlung von Stablängskräften
- STAC-Analysator mit Mehrachs-Beschleunigungssensor für dynamische Untersuchungen



Praktikum am Stabachsprüfstand



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-Grundlagenlehrveranstaltungen 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 Maschinenelementen, 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 Konstruieren einer Werkzeugmaschine.

ab 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:

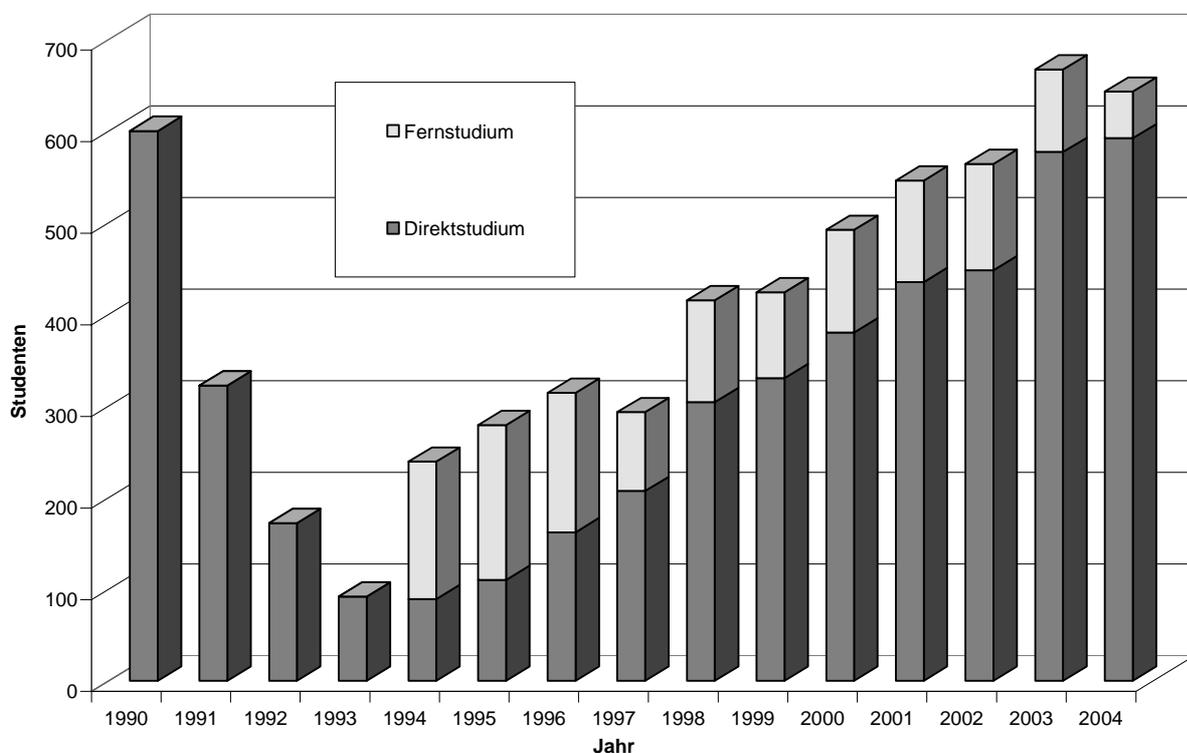
- Werkzeugmaschinenentwicklung II
- Verhaltensanalyse von Werkzeugmaschinen
- Simulation technischer Systeme
- Alternative Antriebs- und Maschinenstrukturen
- Elektrische Antriebe für Werkzeugmaschinen

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)



*Studienanfänger im Studiengang Maschinenbau der Fakultät Maschinenwesen*

## 3.2 Lehrveranstaltungen

### 3.2.1 Übersicht

Die Ausbildung am Lehrstuhl Werkzeugmaschinen umfasst die Fachkomplexe **Werkzeugmaschinenentwicklung** und **Automatisierung von Werkzeugmaschinen**, die Studienarbeiten **Entwerfen von Werkzeugmaschinen** und **Großer Beleg** sowie die **Diplomarbeit**.

Für den interdisziplinären Studiengang Mechatronik der Fakultäten Maschinenwesen, Elektrotechnik und Informationstechnik sowie Verkehrswissenschaften wird die Lehrveranstaltung **Bewegungsgeführte Maschinensysteme** angeboten.

#### **Werkzeugmaschinenentwicklung**

In dem für die Studienrichtung Produktionstechnik obligatorischen Fach **Werkzeugmaschinenentwicklung/Grundlagen** werden unter der Lehrveranstaltung **Grundlagen der Werkzeugmaschinen** die Anforderungen an und die wesentlichen Gestaltungsmöglichkeiten von Werkzeugmaschinen behandelt. Die praktische Vorstellung von Maschinen verschiedener Art und Entwicklungsstufe sowie die Bearbeitung eines Konzipierungsbelegs sind in dieser Lehrveranstaltung enthalten. Einbezogen ist auch die Lehrveranstaltung **Vorrichtungskonstruktion**, welche die Anfertigung eines konstruktiven Belegs beinhaltet.

Das Komplexfach **Werkzeugmaschinenentwicklung** stellt das Kernfach der Vertiefungsrichtung **Werkzeugmaschinenentwicklung** dar. Die Lehrveranstaltung **Werkzeugmaschinenentwicklung/Vertiefung** behandelt konstruktive Gestaltung, Dimensionierung, Funktion und Verhalten der Baugruppen von Werkzeugmaschinen.

In der Lehrveranstaltung **Elektrische Antriebe für Werkzeugmaschinen** werden ausgehend von den Anforderungen an das Bewegungsverhalten Aufbau, Wirkungsweise, Verhalten, Auswahl und Auslegung elektrischer Antriebe an Werkzeugmaschinen dargestellt.

In der Lehrveranstaltung **Simulation mechatronischer Systeme** werden die Grundlagen der Digitalen Simulation gelegt, die objektorientierte Systemsimulation als modernes Analysewerkzeuge behandelt und auf Werkzeugmaschinenbaugruppen angewendet.

## **Bewegungsgeführte Maschinensysteme**

Für Studenten des 7. und 8. Semesters des interdisziplinären Studiengangs Mechatronik wird als Wahlpflichtfach aus der Gruppe Anwendungen die Lehrveranstaltung **Bewegungsgeführte Maschinensysteme** angeboten. Ziel ist die Vermittlung von Kenntnissen über charakteristische Funktionen, Anforderungen und technische Lösungen an bewegungsgeführten Maschinensystemen der Produktionstechnik zur Realisierung von umformenden und zerspanenden Bearbeitungsprozessen sowie von Werkzeug- und Werkstück-Handhabungsprozessen. Darauf aufbauend werden grundlegende Kenntnisse, methodische Fähigkeiten und praktische Fertigkeiten zu Ursachen und Wirkungen, Modellbeschreibung und Berechnung sowie zielgerichteter Beeinflussung und Korrektur des die Produktivität und Genauigkeit der Fertigungssysteme beeinflussenden Verhaltens vermittelt und an Hand von Beispielen in Übungen und einem Praktikum erlebbar gemacht.

## **Automatisierung von Werkzeugmaschinen**

Die Lehrveranstaltung **Automatisierung von Fertigungseinrichtungen** behandelt die Möglichkeiten der Automatisierung von Werkzeugmaschinen mit Aufbau, Charakteristik und Einsatzgebieten der Automatisierungseinrichtungen und die NC-Steuerung von Werkzeugmaschinen und Robotern.

In der LV **Steuerungstechnik von Fertigungseinrichtungen** werden vertiefend Schaltsteuerungen (SPS), CNC-Steuerungen und Informationssysteme in der Fertigungstechnik behandelt.

In der Lehrveranstaltung **SPS-Programmierung von Fertigungseinrichtungen** werden Aufbau, Wirkungsweise und Programmierung von SPS vermittelt und in einer praktischen Übung wird die arbeitsteilige Programmierung eines Fertigungssystems realisiert.

## **Studienarbeiten "Entwerfen von Werkzeugmaschinen" und "Großer Beleg"**

Die Studienarbeit **Entwerfen von Werkzeugmaschinen** umfasst die Entwicklung und Konstruktion einer Funktionsgruppe einer Werkzeugmaschine.

Der **Große Beleg** stellt die erste selbständige wissenschaftliche Arbeit während des Studiums dar und ist die unmittelbare Vorstufe der Diplomarbeit.

Nr.	Lehrveranstaltung	Semesterwochenstunden (V / Ü / P)					
		Σ	5.	6.	7.	8.	9.
<b>Pflichtfächer</b>							
1	Grundl. d. Mess- u. Automatisierungstechnik	6	201 L	201 F	F A C H P R A K T I K U M		
2	Arbeitswissenschaften/Betriebswirtschaftslehre	5	200 TF	210 TF			
3	Werkzeugmaschinenentwicklung/Grundlagen	6		[F]			
	- Grundlagen der Werkzeugmaschinen	4	310 TF				
	- Vorrichtungskonstruktion	2		110 L			
4	Fertigungstechnik II	6	F				
	- Zerspan- u. Abtragtechnik	2	110				
	- Umformtechnik	2	110				
	- Oberflächen- und Schichttechnik	2	110				
5	Produktionssyst. - Automatisierg. u. Messtech.	5		F			
	- Produktionsautomatisierung	2	110				
	- Fertigungsmesstechnik u. Qualitätssicherung	3	100	002			
6	Maschinendynamik u. Mechanistenteknik	6		F			
	- Maschinendynamik	3	210 TF				
	- Mechanistenteknik	3		210 TF			
7	Produktionstechnisches Praktikum	2		002 S			
<b>Summe Pflichtfächer</b>		<b>36</b>	<b>21</b>	<b>15</b>			

**Wahlpflichtfächer** (\* = für die Vertiefung besonders empfohlen)

8	Fach 1 der Vertiefung Werkzeugmaschinenentwicklung	14					[F]
	- Werkzeugmaschinenentwicklung/Vertiefung	7				310	210 TF
	- Elektrische Antriebe f. Werkzeugmaschinen	3					210 TF
	- Simulation mechatronischer Systeme	2				110 L	
	- Produktionstechn. Prakt./WZM-Versuchsfeld	2					002 L
9	Fach 2 der Vertiefung Fertigungsautomatisierg. u. Qualitätssicherung	8					[F]
	- Automatisierungst. v. Fertigungseinrichtung.	3*				210 L	
	- Steuerungstechnik v. Fertigungseinrichtungen	3*					210 TF
	- Fertigungsinformatik	4				220 TF	
	- Fertigungsmesstechnik II	4				220 L	
	- Angewandte Qualitätssicherung	4					220 TF
	- Produktionstechn. Prakt./SPS-Programmierung.	2*				002 L	
10	Technisches Wahlpflichtfach	4				4 F	
11	Nichttechnisches Wahlpflichtfach	4					4 F
<b>Summe Wahlfächer</b>		<b>30</b>				<b>15</b>	<b>15</b>

**Studienarbeiten** u. sonst.

Entwerfen von Werkzeugmaschinen	300 h (interdisziplinäre Projektarbeit)
Großer Beleg	500 h
Exkursionen	Teilnahme insgesamt mindestens 2 Tage
Diplomarbeit	im 10. Semester

*Hauptstudienplan Studienrichtung Produktionstechnik,  
Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung  
(bis Immatrikulationsjahrgang 2002)*

## **3.2.2 Grundlagen der Werkzeugmaschinen**

### **Umfang**

4 SWS (3/1/0)

### **Hörende**

Studenten des 5. Semesters Maschinenbau der Studienrichtung Produktionstechnik

### **Lehrender**

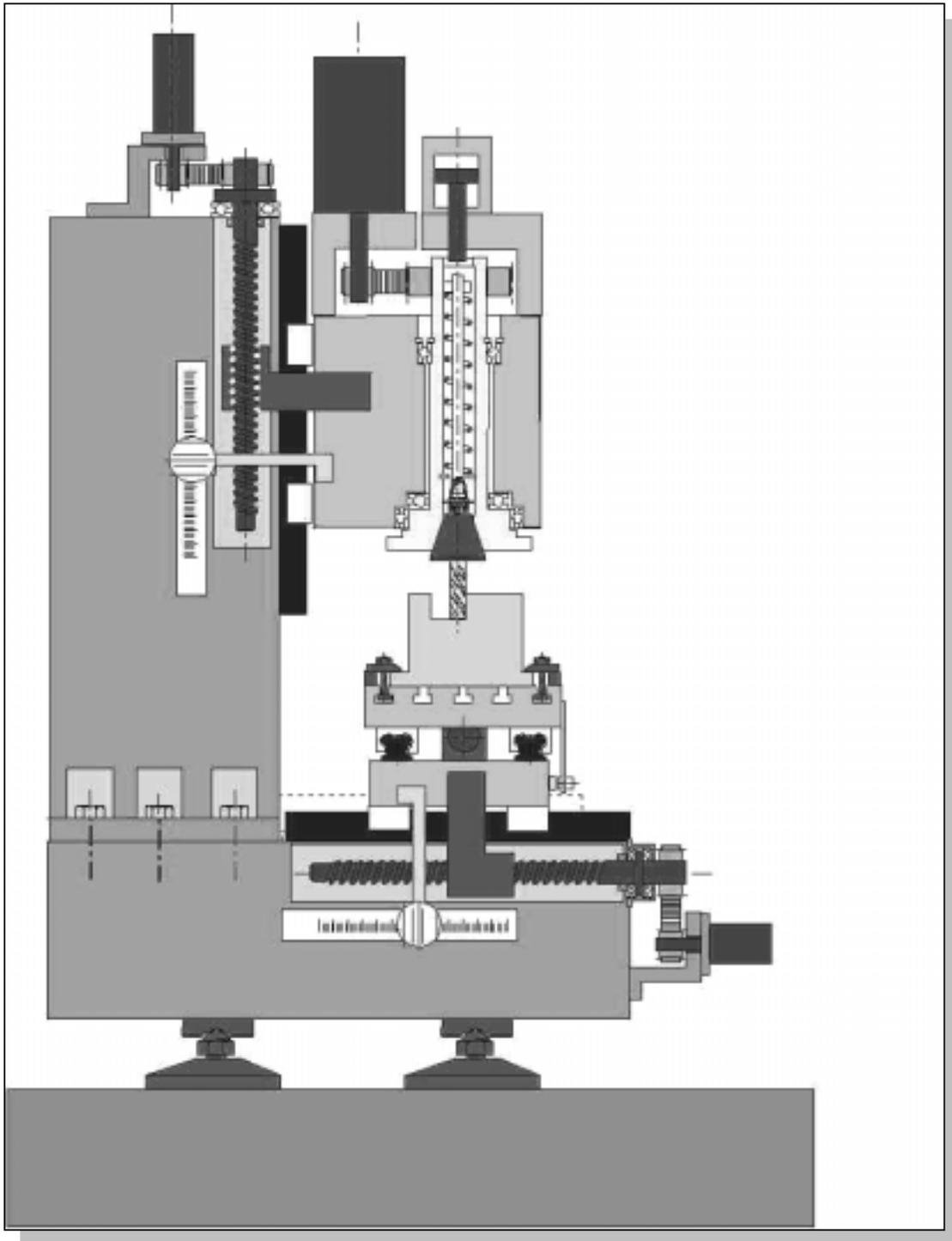
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

### **Inhalt**

1. Übersicht, Entwicklung und Methodik zur Werkzeugmaschine
  - Einleitung, Definition und Aufgaben der Werkzeugmaschine
  - Charakteristik umformender Werkzeugmaschinen
  - Charakteristik spanender Werkzeugmaschinen
  - Historische Entwicklung der Werkzeugmaschinen
2. Erzeugnisentwicklung im Produktprozess
  - Das Ziel einer Produktentwicklung
  - Heutige Bedingungen für ein erfolgreiches Produkt
  - Kürzestfassung "Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure"
  - Zum Entwicklungsablauf und zum Konstruktionsprozess
3. Funktion, Anforderungen und Gestaltung von Hauptbaugruppen spanender Werkzeugmaschinen
  - Hauptspindeln und Hauptantriebe
  - Führungen und Vorschubachsen
  - Steuerung und Automatisierung
  - Gestell und Aufstellung
4. Aufbau, Funktion und Anwendung ausgewählter Werkzeugmaschinen
  - Umformende Werkzeugmaschinen
  - Spanende Werkzeugmaschinen für Werkzeuge mit geometrisch bestimmter Schneide
  - Spanende Werkzeugmaschinen für Werkzeuge mit geometrisch unbestimmter Schneide
  - Werkzeugmaschinen zum Abtragen

## 5. Verhalten und technische Prüfung von Werkzeugmaschinen

- Geometrisch-kinematisches Verhalten
- Statisches Verhalten
- Thermisches Verhalten
- Dynamisches Verhalten
- Abnahme von Werkzeugmaschinen



*Schematischer Grundaufbau einer spanenden Werkzeugmaschine*

### 3.2.3 Konzipierungsbeleg

#### Umfang

7 DS (Bestandteil der LV "Grundlagen der Werkzeugmaschinen")

#### Teilnehmer

Hörende von "Grundlagen der Werkzeugmaschinen"

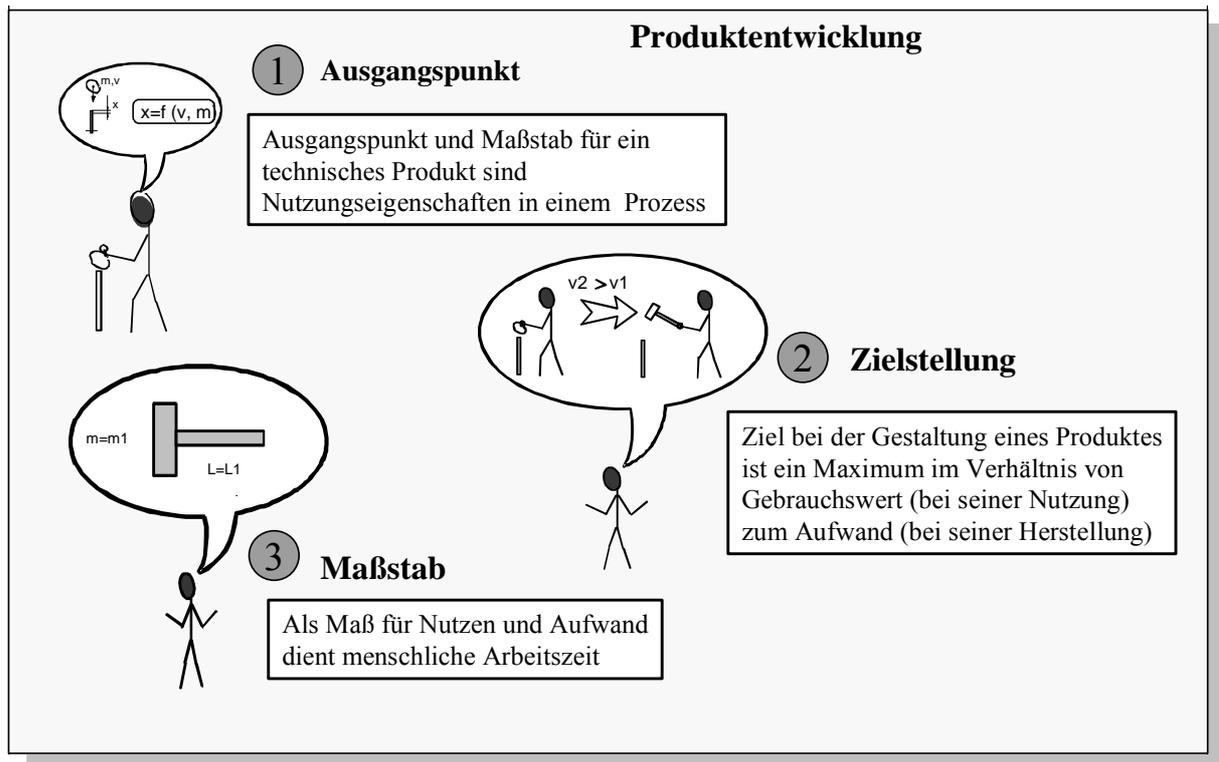
#### Leitung

Dipl.-Ing. V. Möbius

#### Inhalt

Mit dem Übungsinhalt und den zugeordneten Vorlesungseinheiten zum Konzipierungsbeleg soll bei den Studenten erstes Verständnis für prinzipielles entwicklungsmethodisches 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.



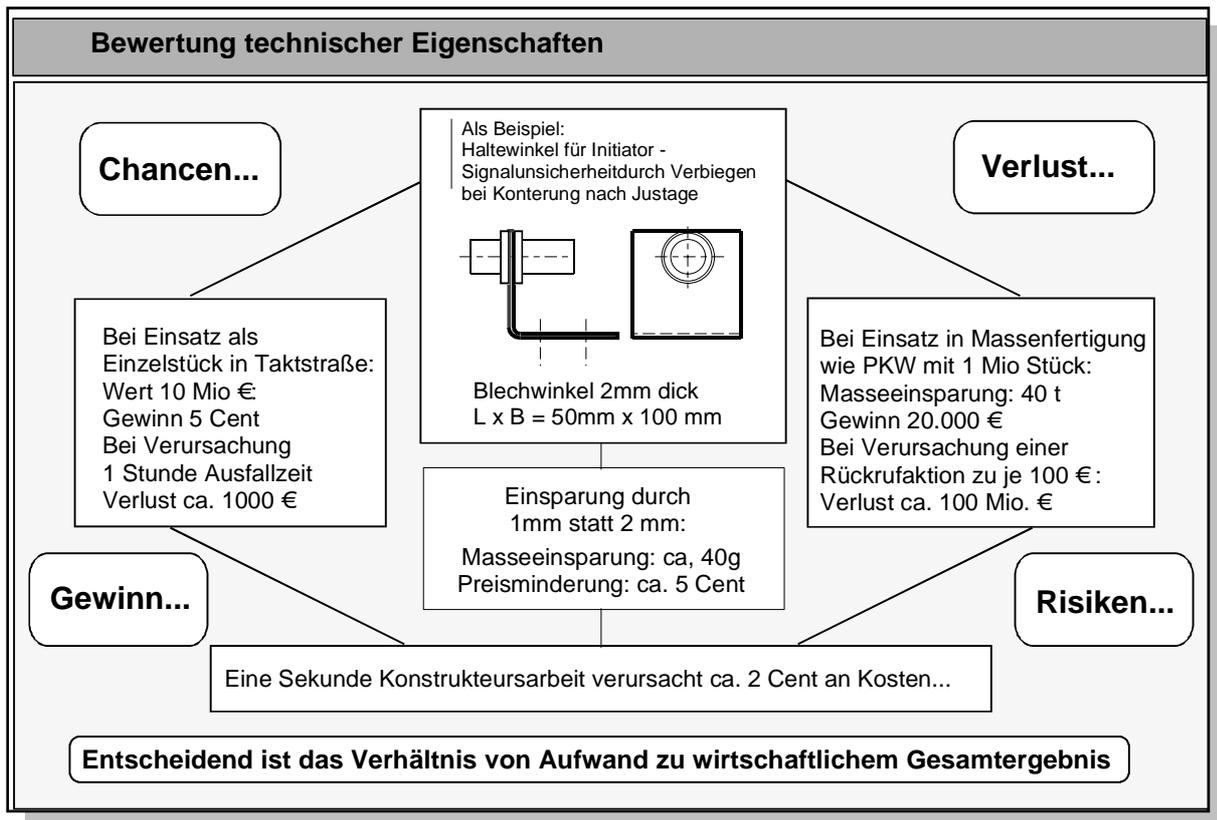
### *Das Produkt als Gegenstand menschlicher Tätigkeit*

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.



### Aufwand und Ergebnis

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.

## 3.2.4 Vorrichtungskonstruktion

### Umfang

2 SWS (1/1/0)

### Hörende

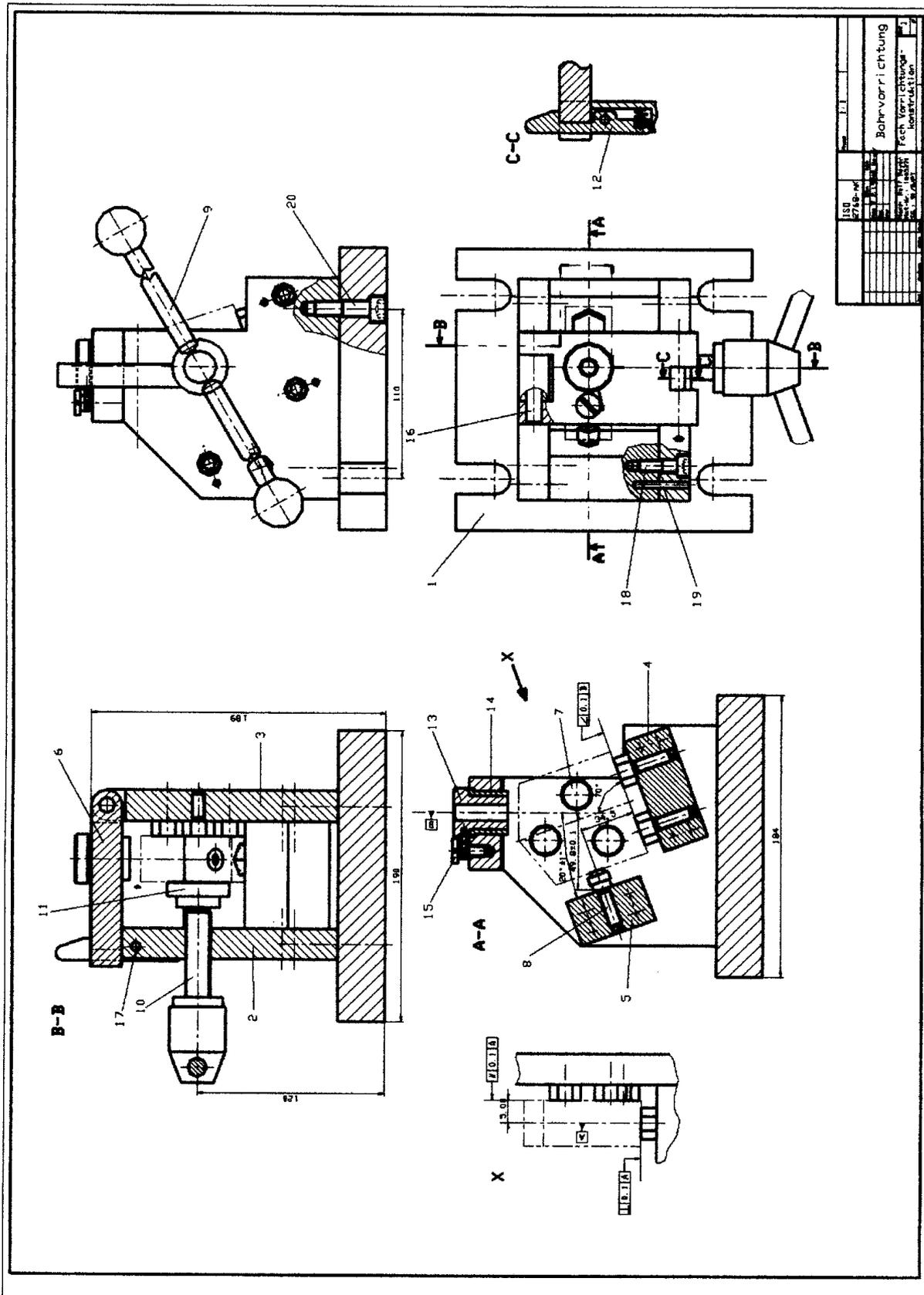
Studenten des 6. Semesters Maschinenbau der Studienrichtung Produktionstechnik

### Lehrender

Doz. Dr.-Ing. O. Wasner

### Inhalt

1. Lagebestimmung
  - Bestimmen des Teiles (Bestimmgrößen, -abweichungen, -elemente)
2. Spannen
  - Berechnung der Spannkraft
  - Spannelemente (mechanisch, hydraulisch, pneumatisch, elektromechanisch, magnetisch)
3. Werkzeugführungen (direkt, indirekt)
4. Vorrichtungskörper
  - geschraubt, verstiftet, geschweißt, gegossen
5. Teileinrichtungen
  - Längsteilen, Kreisteilen
  - Feststellelemente
6. Aufnahme von Vorrichtungen auf Maschinentischen
7. Systemvorrichtungen
8. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
9. Gestaltungsbeispiele
  - Bohrvorrichtung
  - Fräsvorrichtung
10. Konstruktion einer Spannvorrichtung



Ausschnitt aus einem Beleg Vorrichtungskonstruktion

### **3.2.5 Werkzeugmaschinenentwicklung/Vertiefung**

#### **Umfang**

7 SWS (5/2/0)

#### **Hörende**

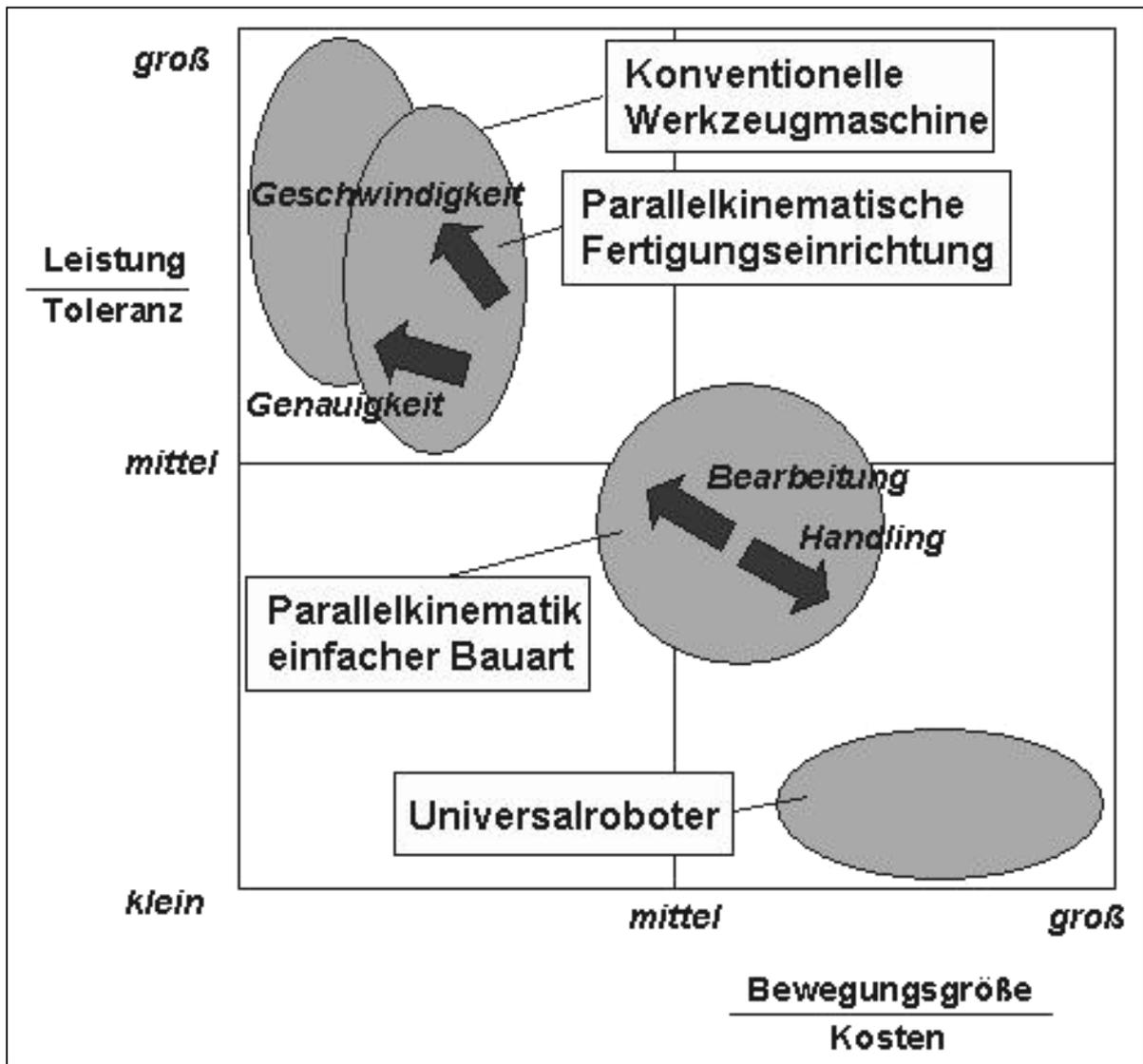
Studenten des 8. und 9. Semesters der Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung

#### **Lehrender**

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

#### **Inhalt**

1. Einordnung, Anforderungen und Methodik der WZM-Entwicklung
  - Charakteristik innovativer WZM
  - Stand und Tendenzen der Anwendung von CAD in der WZM-Entwicklung
    - CAD-Übung 01
    - CAD-Übung 02
    - CAD-Übung 03
  - Virtuelle Werkzeugmaschine - vom Produktentwurf zum Prozessbetrieb
2. Grundlagen der Modellierung und Verhaltensanalyse
  - Modellierungsansätze und Elementbeschreibung bei FEM und Simulation
  - Strukturbeschreibung und Systemaufbau bei FEM und Simulation
  - Berechnungsansätze der statischen Verhaltensanalyse
  - Berechnungsansätze der dynamischen Verhaltensanalyse
3. WZM-typische Antriebs- und Maschinen-Strukturen
  - Serielle Kinematiken
  - Parallele Kinematiken
  - Antriebs-Konfigurationen



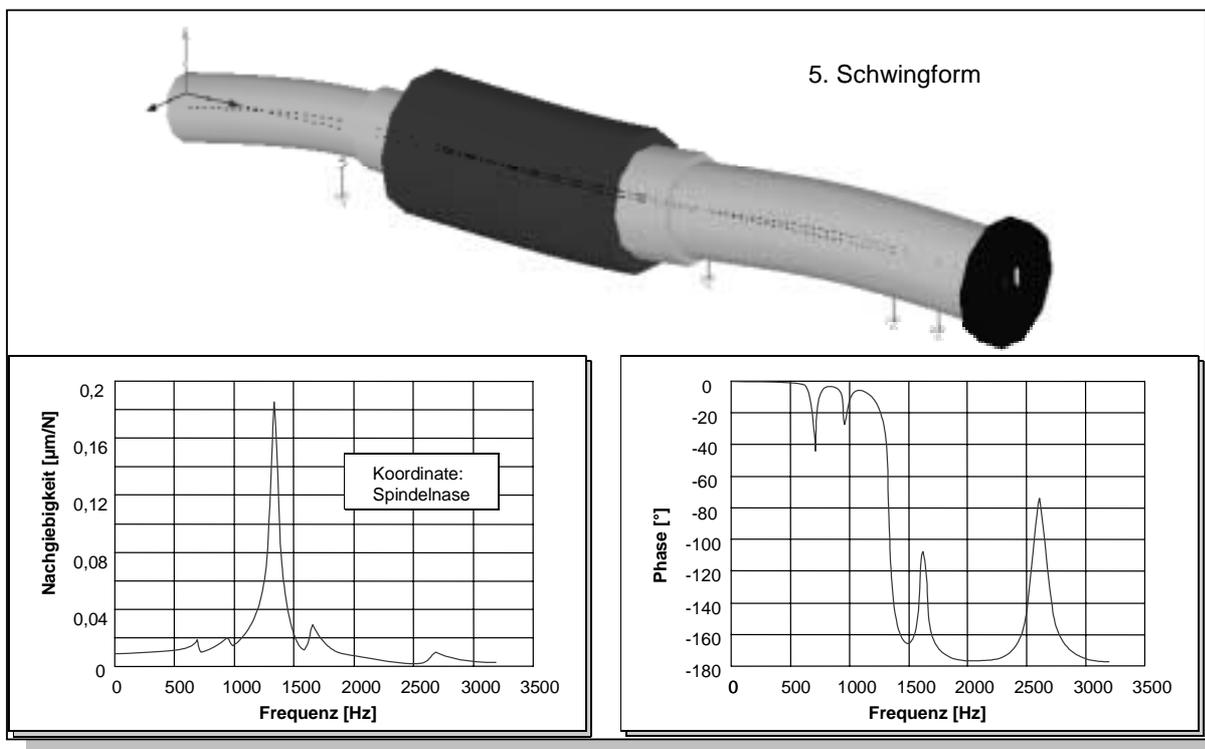
*Eigenschaftszuordnung nach anwendungsbezogenen Merkmalen für konventionelle Werkzeugmaschine, Universalroboter und Parallelkinematiken*

#### 4. Funktion und Verhalten der WZM-Hauptbaugruppen

- Hauptantriebe und Hauptspindeln
  - Funktionsweise, Gestaltung, Dimensionierung
    - Elektrische Hauptantriebsmotore, Keil- und Zahnriementriebe
    - Gestufte Hauptantriebe, Ausgleichs- und Schaltkupplungen
    - Hauptspindeln, Lagerung, Schmierung
    - WZ-Spannung, WZ-Kühlung, Hülsenspindeln
    - Motorspindeln

- Modellierung und Berechnung am PC  
Problemstellungen an Hauptantrieb und Hauptspindel  
Analyse des Biegeschwingsungsverhaltens an Hauptspindel und Werkzeug
  - Führungen und Vorschubachsen
    - Funktionsweise, Gestaltung, Dimensionierung  
Rotatorische Servomotore und Messsysteme  
Kugelgewindetriebe und Lagerungen  
Translatorische Führungen und Messsysteme  
Linearmotore  
Stabachsen
    - Modellierung und Berechnung am PC  
Problemstellungen an Führungen und Vorschubachsen  
Simulation des axialen Bewegungsverhaltens  
(Referenzmodelle und Parametrierung,  
Simulationsexperimente und Bewertung)
  - Baugruppen und Strukturen von Gestellen
    - Funktionsweise, Gestaltung, Dimensionierung  
Gestaltungsprinzipien für den Strukturaufbau  
und Gestellkonzepte  
Baugruppen der Bewegungsbasis: Betten, Ständer, Rahmen,  
Füße  
Bewegte Baugruppen: Schlitten, Schieber, Plattformen, Arme  
Verbindungsstellen und Aufstellung
  - Modellierung und Berechnung am PC
    - Problemstellungen an Gestellbaugruppen und -Strukturen
    - Aufbau und Parametrierung einer Gestellstruktur mit dem Balkenmodell
    - Statische und dynamische Analyse der Gestellstruktur mit dem Balkenmodell
    - Analyse lokaler Deformationen und vergleichende Modalanalyse an der Gestellstruktur mit dem FE-Modell
5. Genauigkeitsverhalten des Gesamtsystems der WZM
- Prüfung und Abnahme der Maschinengenauigkeit
    - Aufgabenstellungen, Vorgehen, Mess- und Prüfeinrichtungen  
Komponenten- und Montageprüfung  
Mustererprobung  
Abnahme durch den Kunden

- Realisierung und Demonstration am Hexapod
  - Vermessung der Geometrieparameter
  - Kalibrierung der Stabachsen
  - Bewegungsgenauigkeit im Arbeitsraum
- Genauigkeitsverbesserung durch Bewegungskorrektur
  - Modelle zur Fehlerbeschreibung und Korrektur
    - Geometrisch-kinematische Korrektur
    - Elasto-statische Korrektur
    - Thermische Korrektur
  - Realisierung und Demonstration am Hexapod
    - Simulation der Fehlerwirkungen
    - Korrekturwirkungen am Hexapod



### *Dynamikanalyse an einer Motorspindel*

## 3.2.6 Elektrische Antriebe für Werkzeugmaschinen

### Umfang

3 SWS (2/1/0)

### Hörende

Studenten des 9. Semesters der Studienrichtung Produktionstechnik

### Lehrender

Doz. Dr.-Ing. O. Wasner

### Inhalt

Vermittlung von Aufbau, Wirkungsweise, Verhalten, Auswahl und Auslegung elektrischer Antriebe an Werkzeugmaschinen.

#### 1. Das mechanische Antriebssystem

- Anforderungen
- Bewegungsgleichungen
- Übertragungsverhalten

#### 2. Motoren mit Betriebsverhalten, Stellverfahren und Auslegekriterien

- Theoretische Grundlagen
  - Magnetfluss - Induktion
  - Gleichstrommotor
  - Wechselstrommotor
  - Drehstrommotor
- DC-Servomotor
- AC-Servomotor
  - Asynchronmotor
  - Synchronmotor
- Sonderantriebe
  - Schrittmotor
  - Torquemotor - Transversalmotor
  - Linearmotor
  - Flächenmotor
  - Piezoantriebe

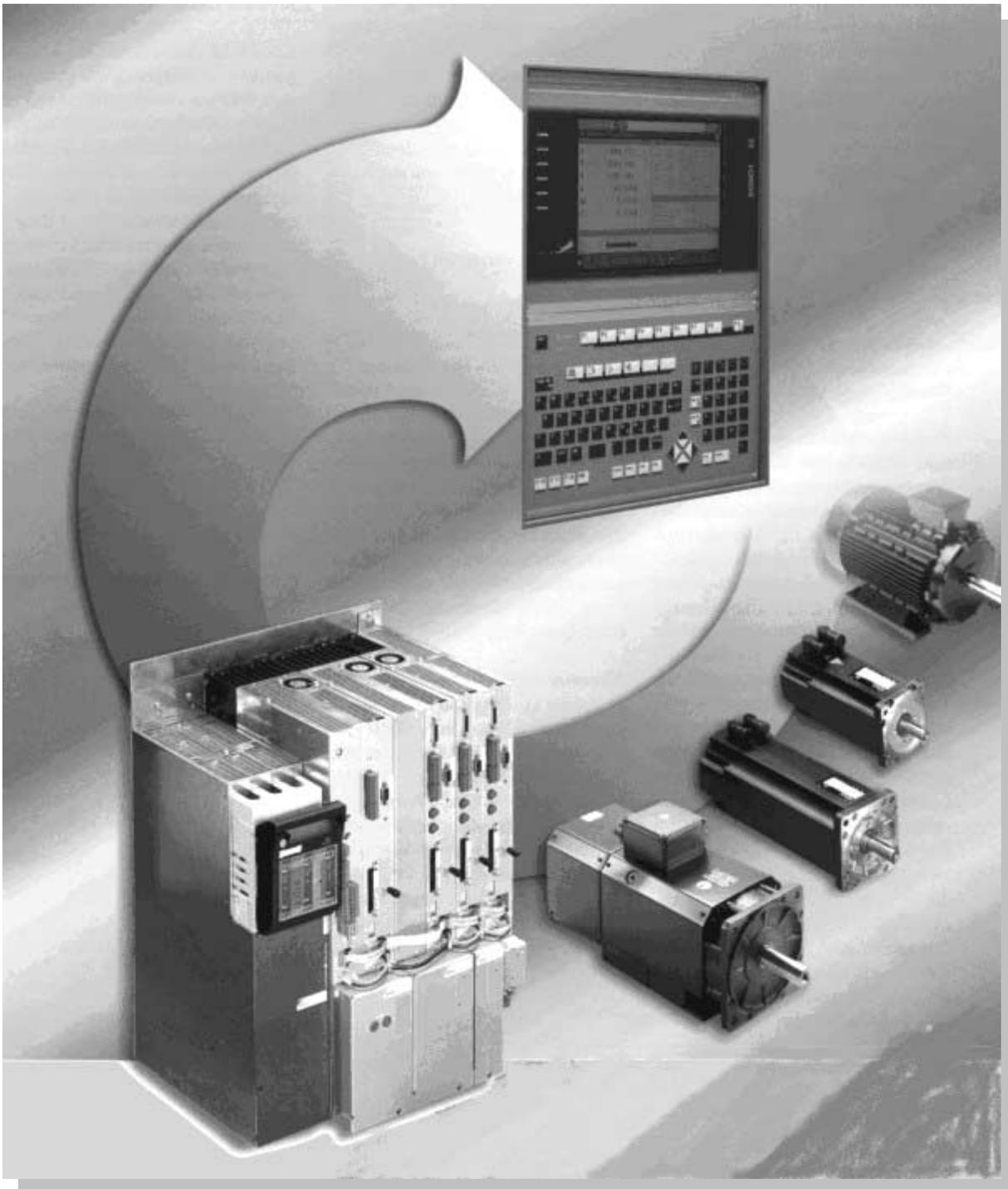
#### 3. Messsysteme

- Resolver
- Inkrementale Geber
- Absolutgeber

#### 4. Steller und Stellverfahren

- Leistungsstellelemente, ...
- Stellverfahren
- Aufbau von Servostellern

#### 5. Auswahl und Auslegung von Antrieben



*Baugruppen elektrischer Antriebe*

## 3.2.7 Simulation mechatronischer Systeme

### Umfang

2 SWS (1/1/0)

### Hörende

Studenten des 8. Semesters der Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung

### Lehrender

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

Dr.-Ing. A. Mühl

### Inhalt

#### 1. Grundlagen der Digitalen Simulation

- Was ist "digitale Simulation"?
- Einführung in die Beschreibungs- und Lösungsgrundlagen am Beispiel eines Feder-Dämpfer-Systems
- Objektorientierte Beschreibungs- und Lösungsansätze (Analogien der Verhaltensbereiche Mechanik, Thermik, Hydraulik, Pneumatik)
- Ableitung eines objektorientierten Beschreibungs- und Lösungsverfahrens
- Einführung in zwei Programmsysteme: ITI-SIM, MATLAB-Simulink

#### 2. Parametrierung von Simulationsmodellen (Beispiele)

- Parametergewinnung durch Berechnung: Ermittlung der räumlichen Steifigkeit eines Axiallagers
- Parametergewinnung durch Messung und modellgestützte Identifikation: Ermittlung der Steife eines Piezo-Multilayer-Aktuators in seiner Einbauumgebung

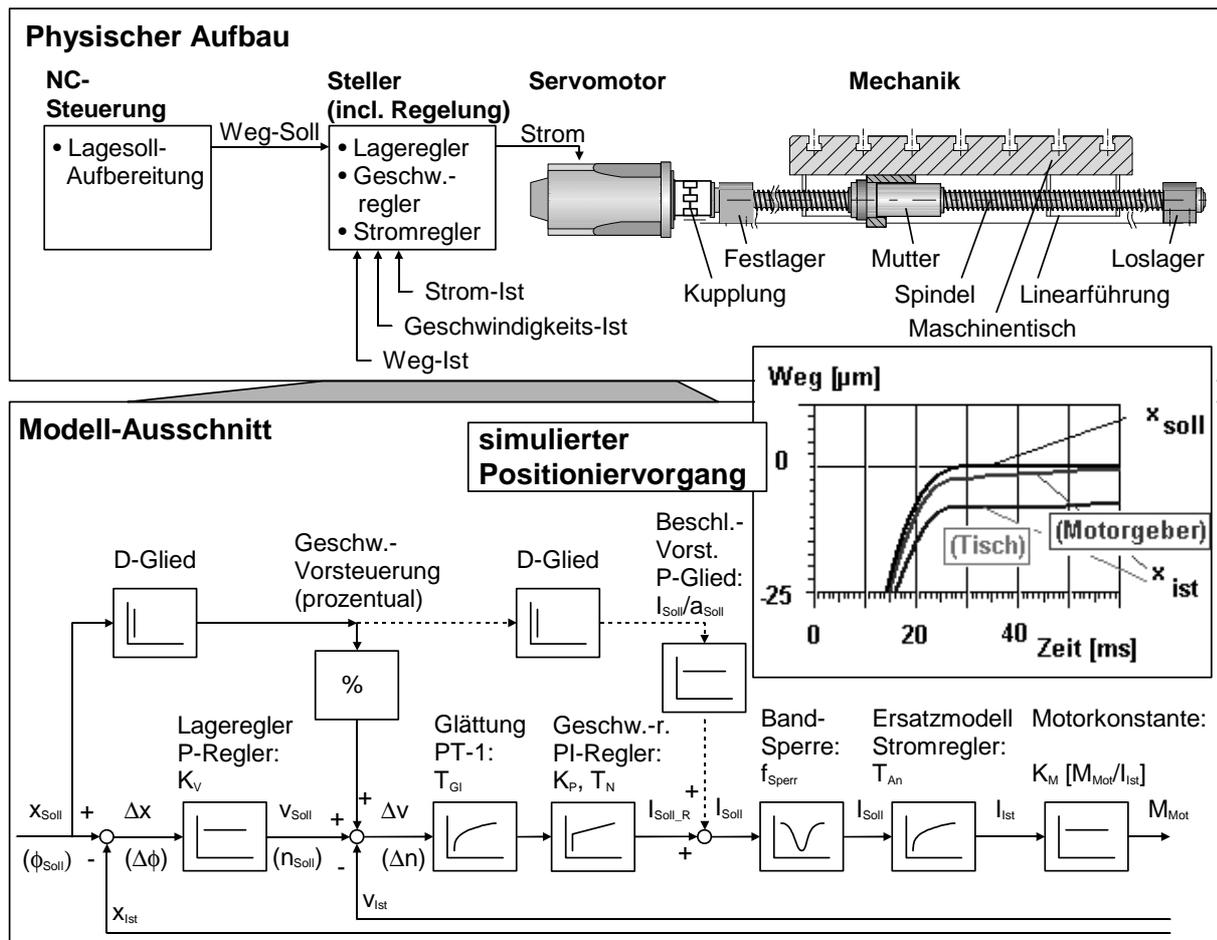
#### 3. Anwendungen – Digitale Simulation von Antriebssträngen und Prozessen

- Simulation des Hochlaufverhaltens des Antriebsstrangs eines Lüfters
- Simulation des Bewegungsverhaltens einer NC-Achse (s. Abbildung)
- Simulation von Stabilitätsgrenzen beim Drehen

#### 4. Einführung in die Mehrkörpersimulation (MKS)

- Problemstellungen der MKS
- Einführung in die mathematischen Grundlagen der MKS
- Beispiele

#### 5. Übungen am PC



Simulation eines Positioniervorganges einer NC-Achse

## **3.2.8 Automatisierungstechnik von Fertigungseinrichtungen**

### **Umfang**

3 SWS (2/1/0)

### **Hörende**

Studenten des 6. und 8. Semesters der Studienrichtung Produktionstechnik

### **Lehrender**

Doz. Dr.-Ing. O. Wasner

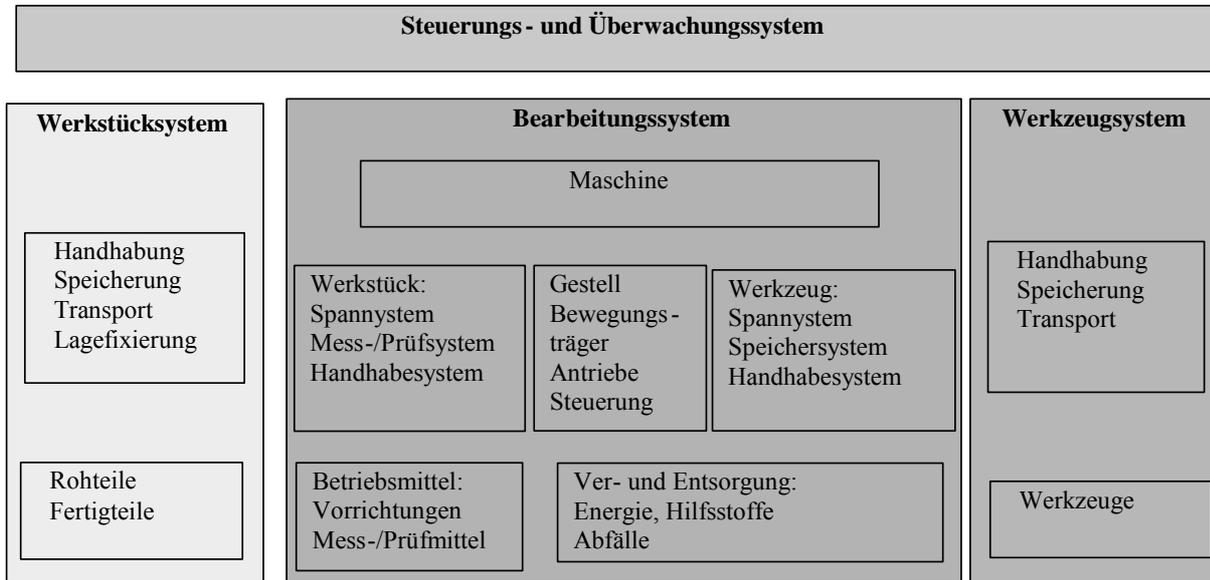
### **Inhalt**

1. Grundlagen der Automatisierung
  - Begriffsbestimmung
  - Ziele
  - Bausteine der Automatisierung
  - Bewegungsverhalten
2. Mechanisch gesteuerte Maschinen
  - Mechanische Informationsträger
  - Kurvengesteuerte Maschinen
  - Nachformsysteme
3. Elektrische Steuerung
  - Prinzipieller Aufbau einer Steuerung
  - Entwurf binärer Steuerungen
  - Verbindungsprogrammierte Steuerungen
  - Speicherprogrammierbare Steuerungen
    - Aufbau und Wirkungsweise
    - Programmierung nach IEC 61131-3
4. NC-Technik
  - Grundprinzip der Lage- und Drehzahlregelung
  - Aufbau von NC-Achsen
  - Verhalten von NC-Achsen
  - Aufbau von NC-Steuerungen
  - Bewegungsvorgabe (Interpolation)
  - Geregelte Antriebe

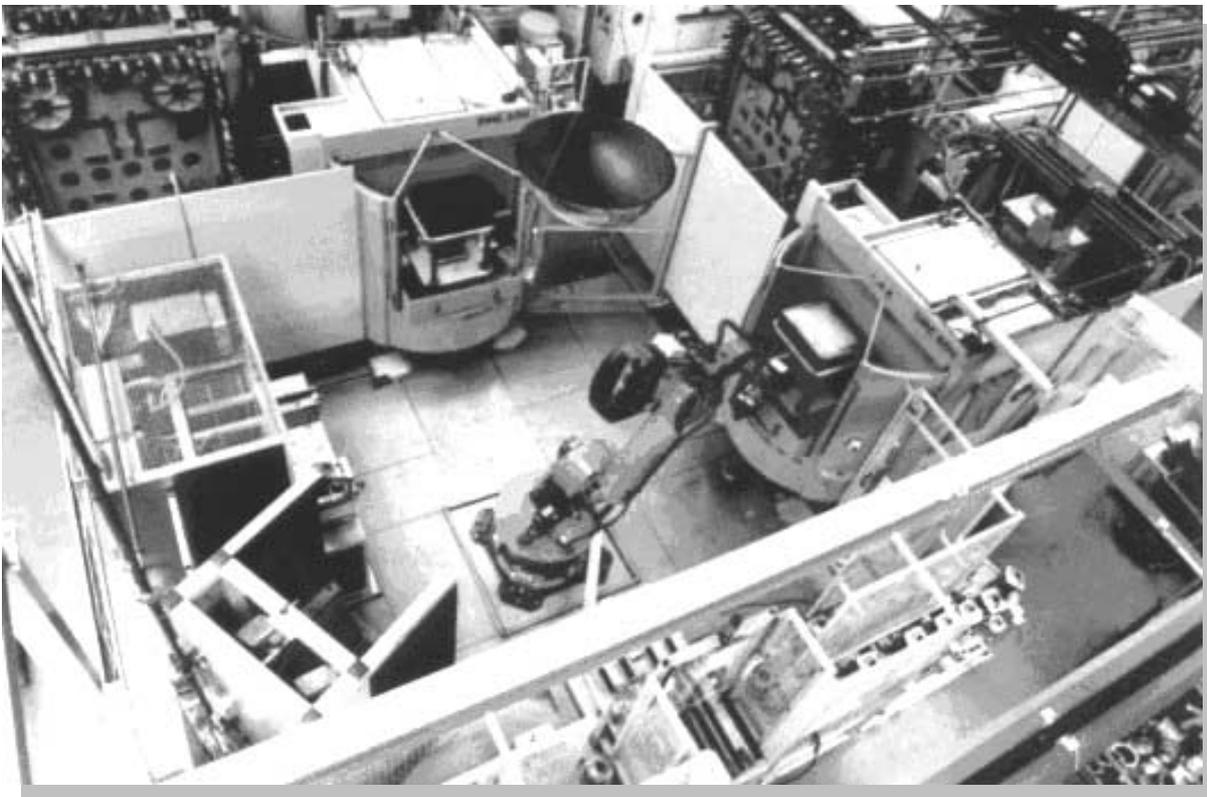
5. Fuzzy-Steuerung

6. Automatisierte Fertigungseinrichtungen

- Werkzeugsystem
- Werkstücksystem



*Komponenten eines automatisierten Fertigungssystems*



*Beispielansicht eines Fertigungssystems mit Beschickungsroboter*

## **3.2.9 Steuerungstechnik von Fertigungseinrichtungen**

### **Umfang**

3 SWS (2/1/0)

### **Hörende**

Studenten des 9. Semesters der Studienrichtung Produktionstechnik

### **Lehrender**

Doz. Dr.-Ing. O. Wasner

### **Inhalt**

Vermittlung von Aufbau, Wirkungsweise, Verhalten, Auswahl und Auslegung von Steuerungen für Werkzeugmaschinen

#### 1. Einführung

- Prinzipieller Aufbau einer Steuerung
- Typen von Steuerungen

#### 2. Schaltsteuerungen

- Grundlagen binärer Steuerungen
- Verbindungsprogrammierte Steuerungen
- Speicherprogrammierbare Steuerungen

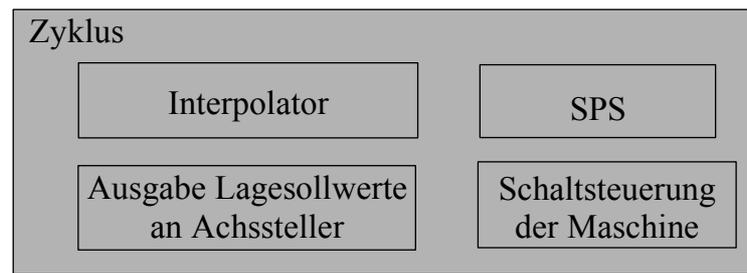
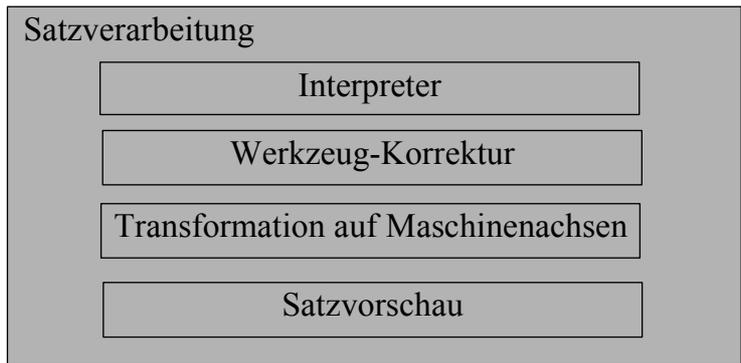
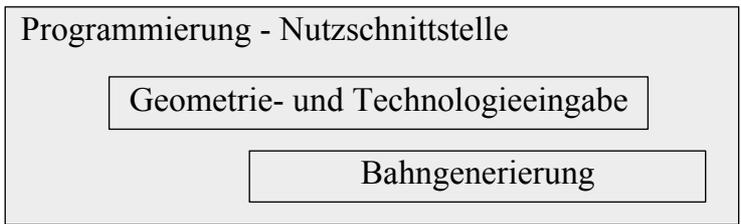
#### 3. CNC-Steuerung

- Einführung
- Aufbau und Funktion von CNC-Steuerungen
- Verarbeitung geometrischer Daten
- Gestaltung von Bewegungsfunktionen
- Transformationen und Korrekturen
- Schnittstellen zu den Antriebssystemen
- Verhalten des Lageregelkreises

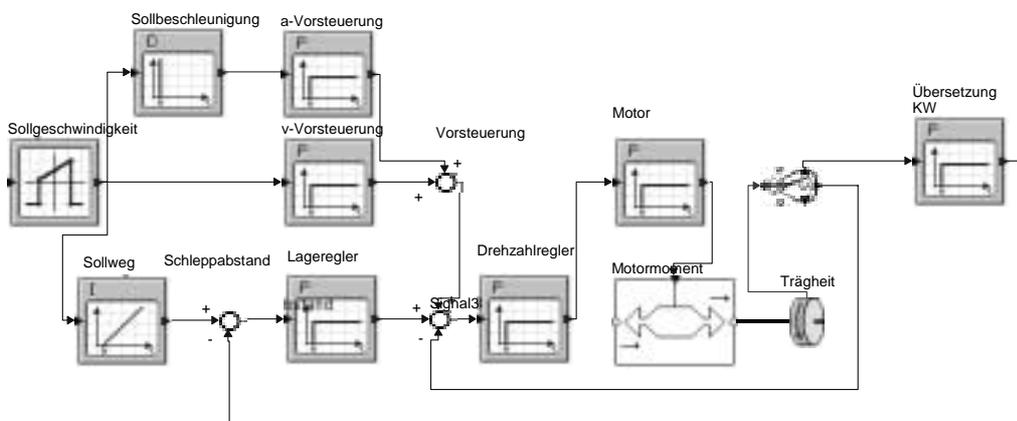
#### 4. Informationssysteme in der Fertigung

- Informationsebenen
- Kopplungen der Datenverarbeitungsgeräte
- Netzwerktopologie
- Zugriffsverfahren und Protokolle
- Übertragungsmedien und Signaltechnologie

- Standards für lokale Netzwerke
- Bussysteme



*Komponenten einer CNC-Steuerung*



*Simulationsmodell der Vorsteuerung*

### **3.2.10 SPS-Programmierung von Fertigungseinrichtungen**

#### **Umfang**

2 SWS (0/0/2)

#### **Hörende**

Studenten des 8. Semesters der Studienrichtung Produktionstechnik

#### **Lehrender**

Doz. Dr.-Ing. O. Wasner

#### **Inhalt**

Vermittlung von Aufbau, Wirkungsweise, Verhalten, Auswahl und Auslegung von Steuerungen für Werkzeugmaschinen

##### 1. Einführung

- Einordnung
- Historische Entwicklung

##### 2. Aufbau und Wirkungsweise

##### 3. Bestandteile einer Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS)

##### 4. Funktionsweise

##### 5. Programmierung nach IEC 61131-3

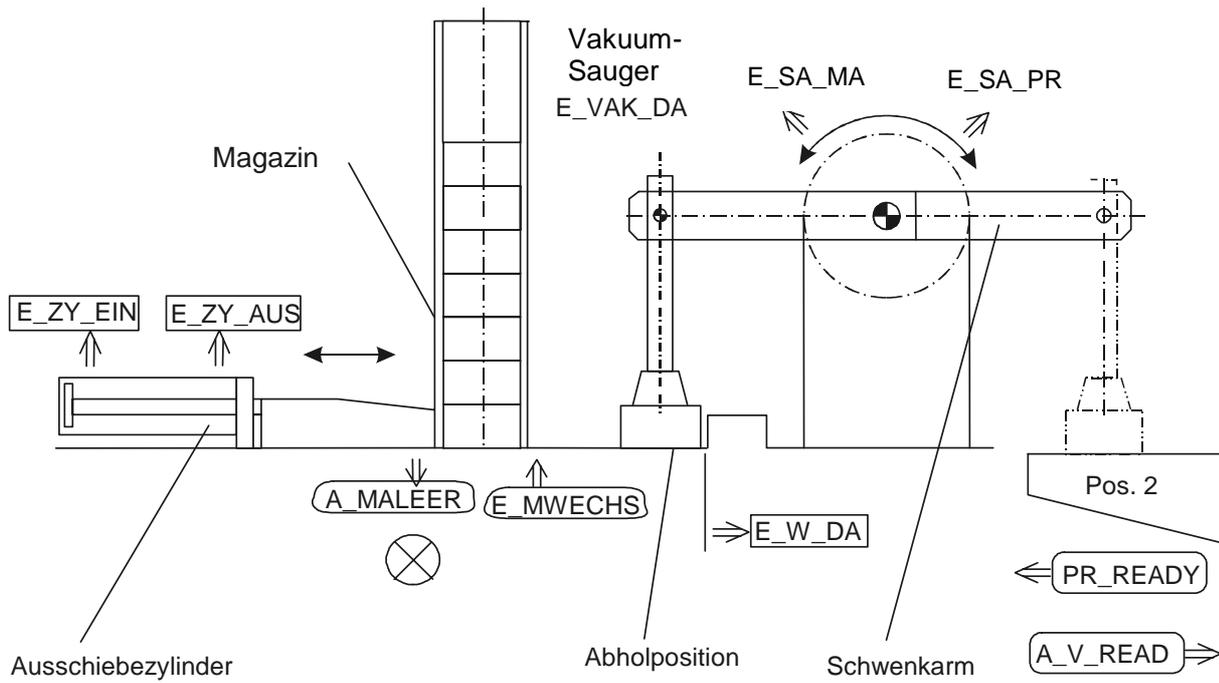
- Systematische Lösungsfindung
- Grundaufbau der IEC 61131-3
- Sprachen der IEC 61131-3

##### 6. Programmierung eines Fertigungssystems

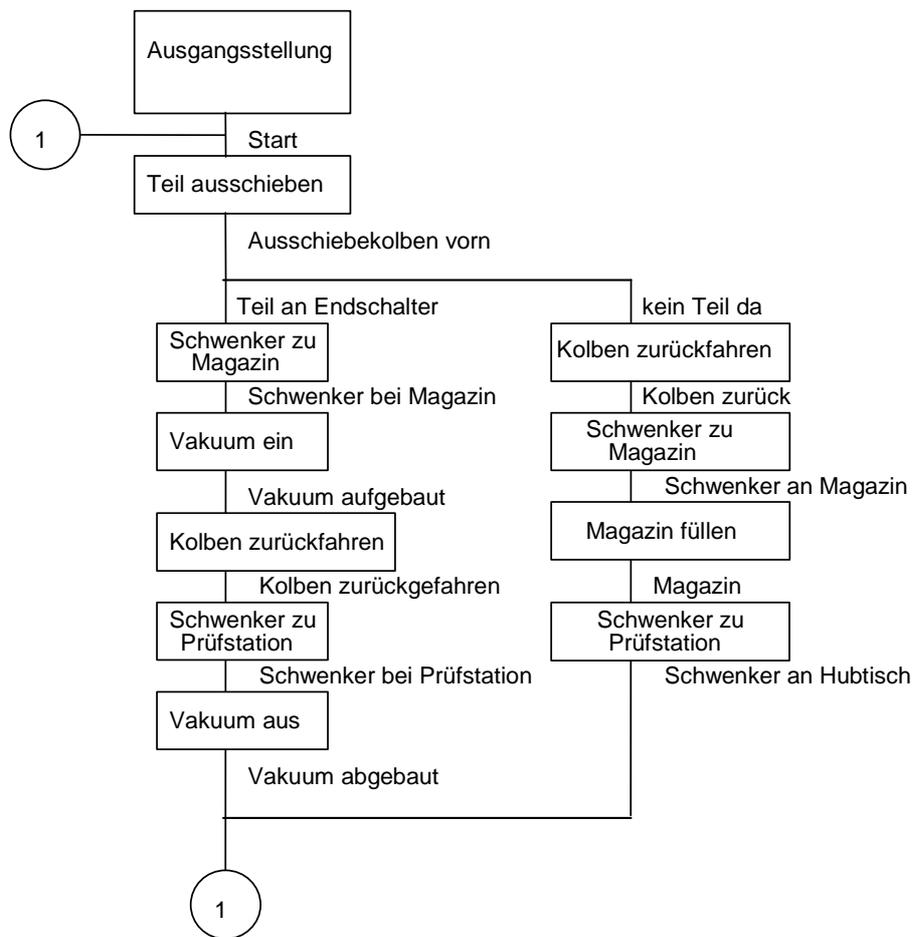
- Programmierung der Betriebsarten
- Selbständige Programmentwicklung für ein Teilsystem

Das Fertigungssystem unterteilt sich in die Stationen Vereinzeln, Prüfen, Bearbeiten1, Bearbeiten2, Rundtaktisch und Lagern.

- Der asynchrone Ablauf der einzelnen Stationen wird unabhängig voneinander in Form einer Anweisungsliste (AWL) programmiert. Die Synchronisation erfolgt über den Master-Teil der SPS.
- Als Betriebsarten werden Automatik-, Schritt- und Tippbetrieb programmiert.



*SPS-gesteuertes Modell-Fertigungssystem - Aufbau Station "Vereinzeln"*



*Prozessanalyse für die Station "Vereinzeln"*



*Auch beim "Schnupperstudium" für Gymnasiasten ist das Lehrkabinett für die Programmierung von SPS ein Anziehungspunkt*

### **3.2.11 Bewegungsgeführte Maschinensysteme**

#### **Umfang**

10 SWS (6/2/2)

#### **Hörende**

Studenten des 7. und 8. Semesters im Studiengang Mechatronik als Wahlpflichtfach aus der Gruppe "Anwendungen"

#### **Lehrender**

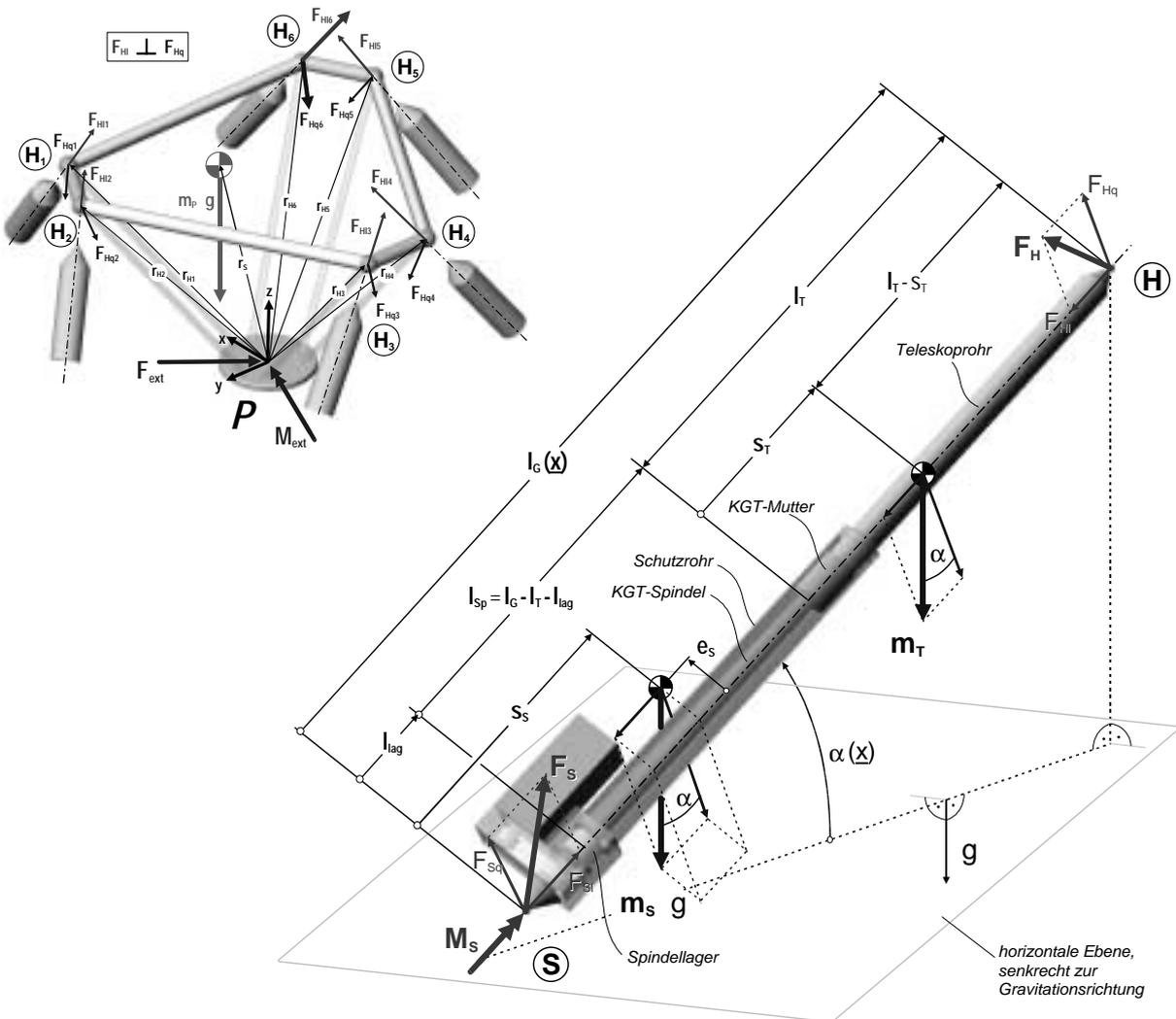
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann  
u. a.

#### **Inhalt**

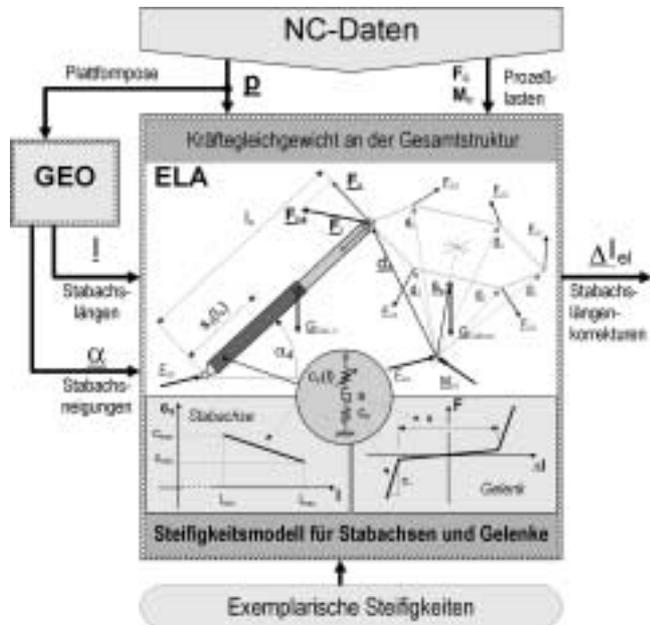
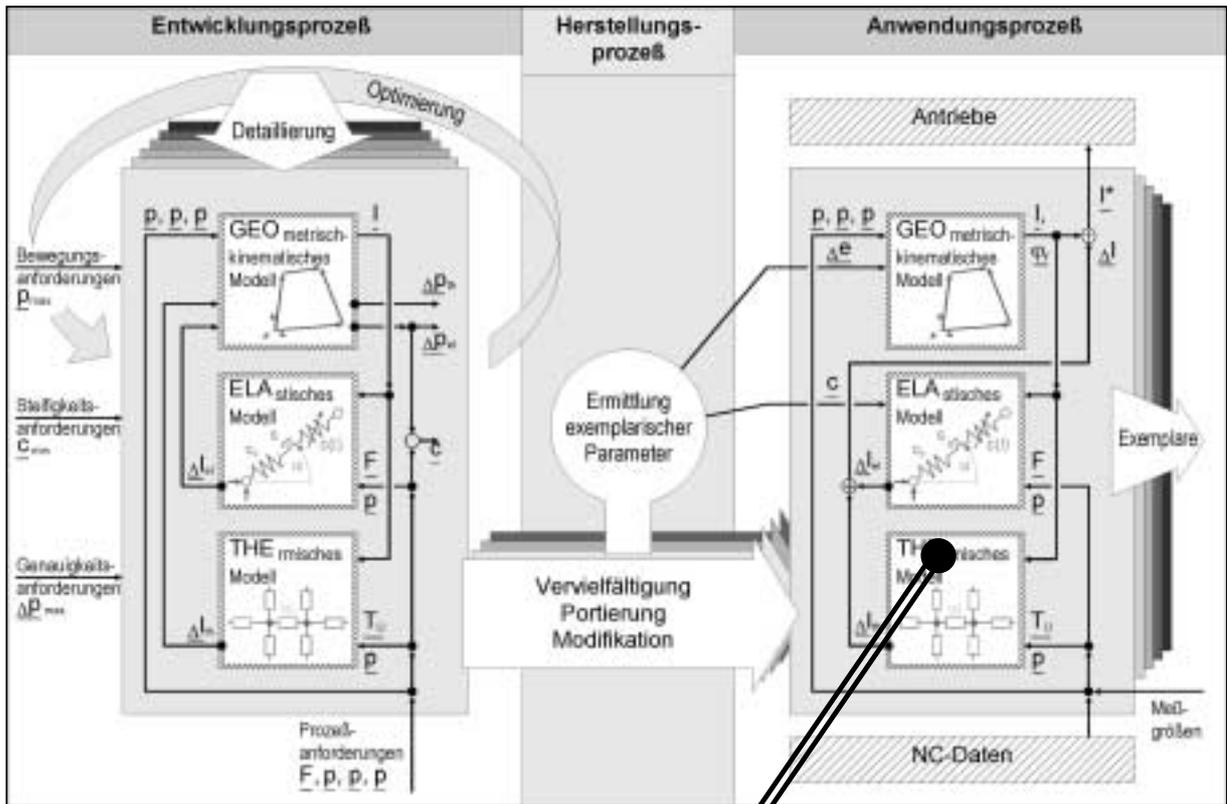
1. Mechatronischer Systemcharakter bewegungsgeführter Prozesse und Maschinen
  - Abgrenzung zwischen Handhabung und Bearbeitung
  - Bearbeitungsprozesse und -maschinen
    - Einteilung, Definition und Aufgaben der Werkzeugmaschinen
    - Beispiele aus der Blechumformung
    - Beispiele aus der Zerspanung
  - 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

2. 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
3. Funktionell relevante Verhaltenseinflüsse und -beschreibung
  - 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
4. Beispiele mechatronischer Anwendungen
  - 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)



Modell zur Aufstellung der Gleichgewichtsbedingungen für die Ermittlung der inneren Lasten



Strukturmodellbasierte Steuerungsfunktionalität zur Fehlerkorrektur am Hexapod

### 3.2.12 Werkzeugmaschinen-Versuchsfeld

#### Umfang

2 SWS (0/0/2)

#### Hörende

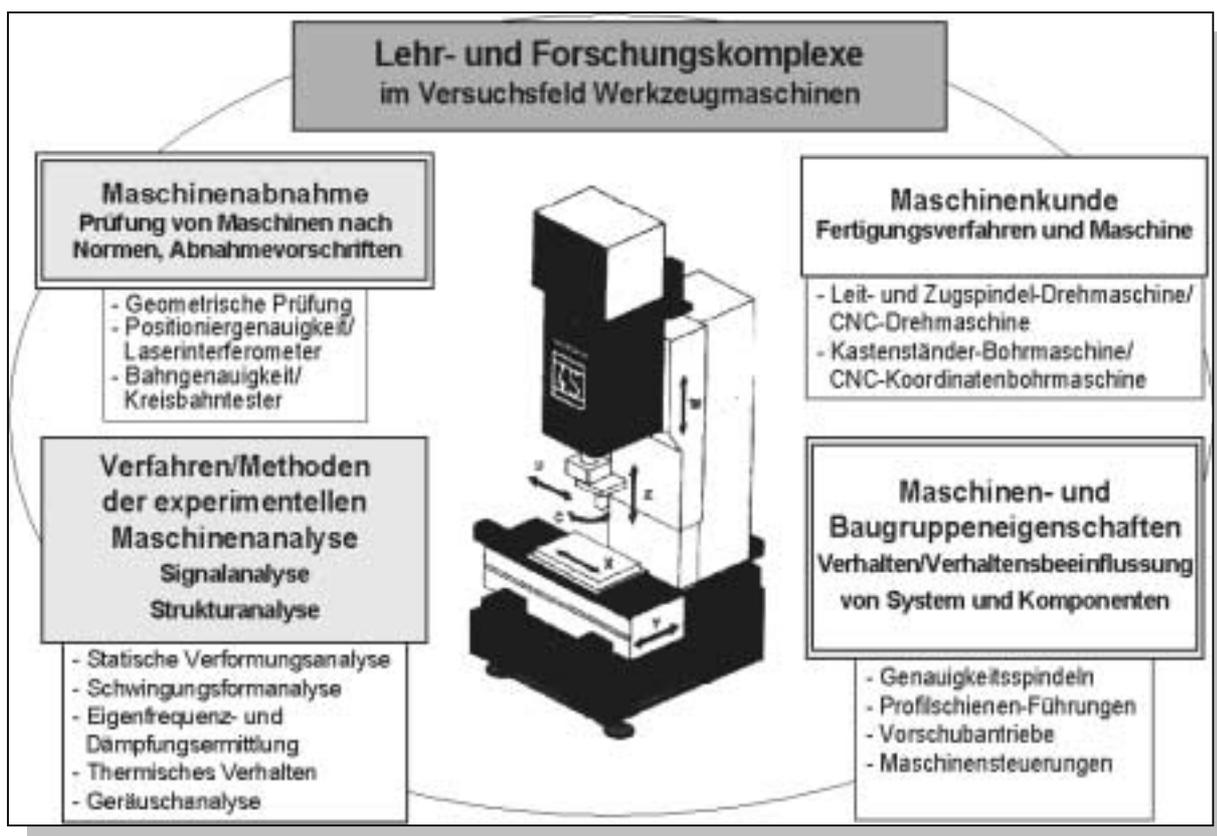
Studenten des 9. Semesters der Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung

#### Leitung

Dr.-Ing. K. Schumacher

#### Inhalt

Die Praktika des Werkzeugmaschinen-Versuchsfeldes werden an ausgewählten Lehrversuchsständen durchgeführt (s. Punkt 2.2.4).



*Lehr- und Forschungskomplexe im Versuchsfeld Werkzeugmaschinen*

### **3.2.13 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**

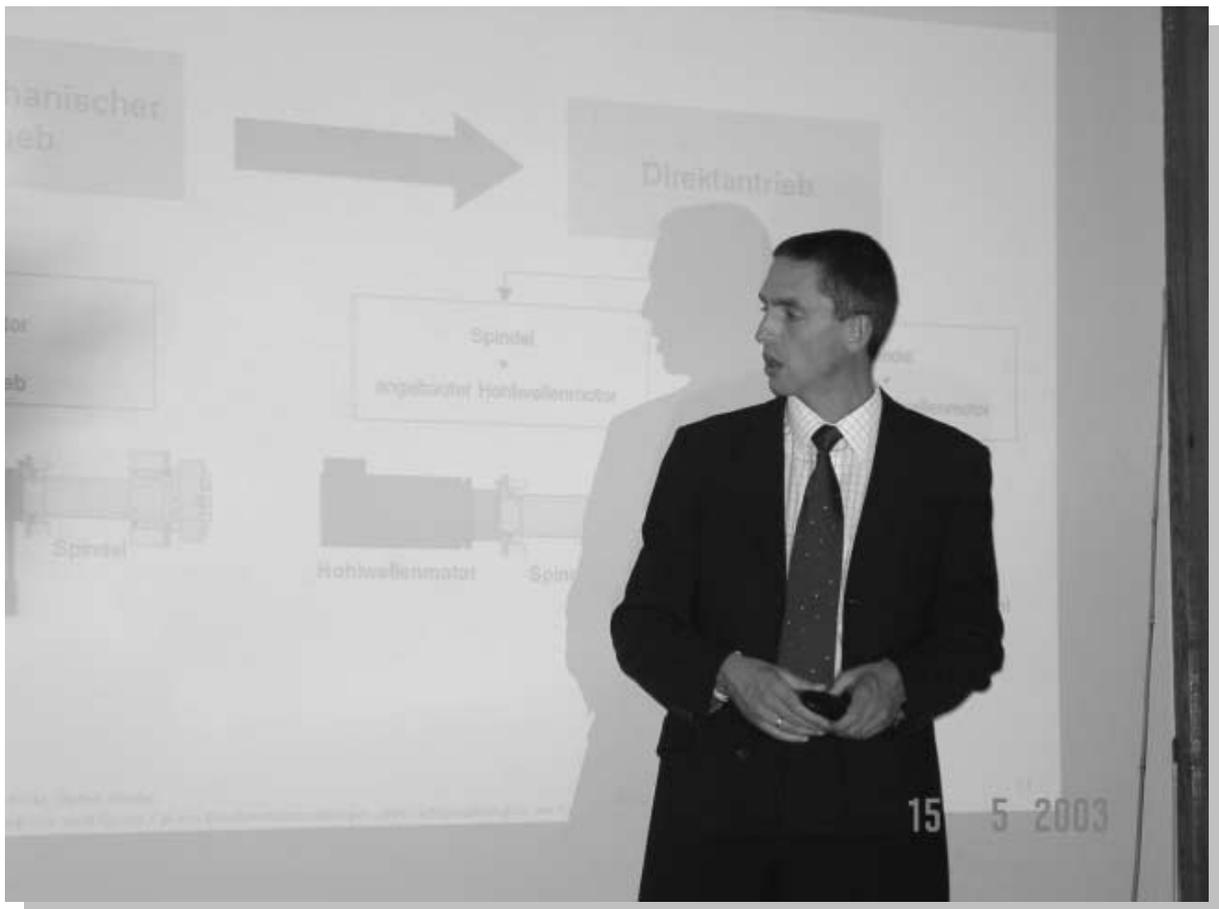
Vorstellung und Diskussion werkzeugmaschinenrelevanter Themen aus Lehre, Forschung und Praxis unter aktuellen Aspekten von Entwicklung und Konstruktion.

Im Berichtszeitraum fanden folgende Seminare statt:

#### **Jahr 2003**

- M. Prause (IWM)  
Kompensation der Stößelkipfung mechanischer Pressen durch ein passiv-hydraulisches System
- A. Schrake (MIKROMAT Werkzeugmaschinen GmbH)  
Unternehmen und Produkte
- M. Franzki (HOHENSTEIN Vorrichtungsbau und Spannsysteme GmbH)  
Intelligente Werkstückspannung
- S. Winkler (Rexroth Indramat GmbH)  
Trends und Entwicklungen der Direktantriebstechnik

- H. v. Biedersee (MTS Sensor Technologie GmbH & Co. KG)  
Magnetostriktive Längenmess-Sensoren
- B. Wunderlich (IWM)  
Modellbasierte Fehlerkorrektur am Hexapod
- H. Hoyer (THK GmbH)  
Einsatz von Linearführungen in Werkzeugmaschinen
- G. Bock (Systec GmbH)  
DriveSets - Die Einbaufertigen Antriebssysteme und ihre Anwendung



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

**Jahr 2004**

- A. Mühl (IWM)  
Adaptiv geregeltes Fräsen
- J. Thiele (AXOMAT GmbH); H. Rudolph (IWM)  
Magnetgelagerte Hauptspindeln für Werkzeugmaschinen - Grundlagen und Anwendungen
- A. Richter (IWM)  
WLAN am IWM - Verfügbare Technik/Einsatzmöglichkeiten/Demonstration
- H. Wiemer (IWM)  
Stand und Möglichkeiten der Systemsimulation von mechanischen Pressmaschinen für die Blechumformung
- B. Kauschinger (IWM)  
Modellgestützte Korrektur von Bewegungsfehlern an einer Parallelkinematik einfacher Bauart

### **3.2.14 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

## **3.3 Studien- und Diplomarbeiten**

### **3.3.1 Entwerfen von Werkzeugmaschinen**

#### **Umfang**

300 Stunden Studienarbeit

#### **Teilnehmer**

Studenten des 6. bis 9. Semesters der Vertiefungsrichtung Werkzeugmaschinenentwicklung

#### **Leitung**

Dr.-Ing. G. Wuttke

#### **Inhalt**

CAD-Beleg zum Entwerfen von komplexen Werkzeugmaschinenbaugruppen.

#### **Lösungsschritte**

1. Präzisierung der Aufgabenstellung
2. Konstruktionssystematik
3. Auslegungsberechnung
4. Konstruktive Gestaltung der Baugruppe



### 3.3.2 Große Belege

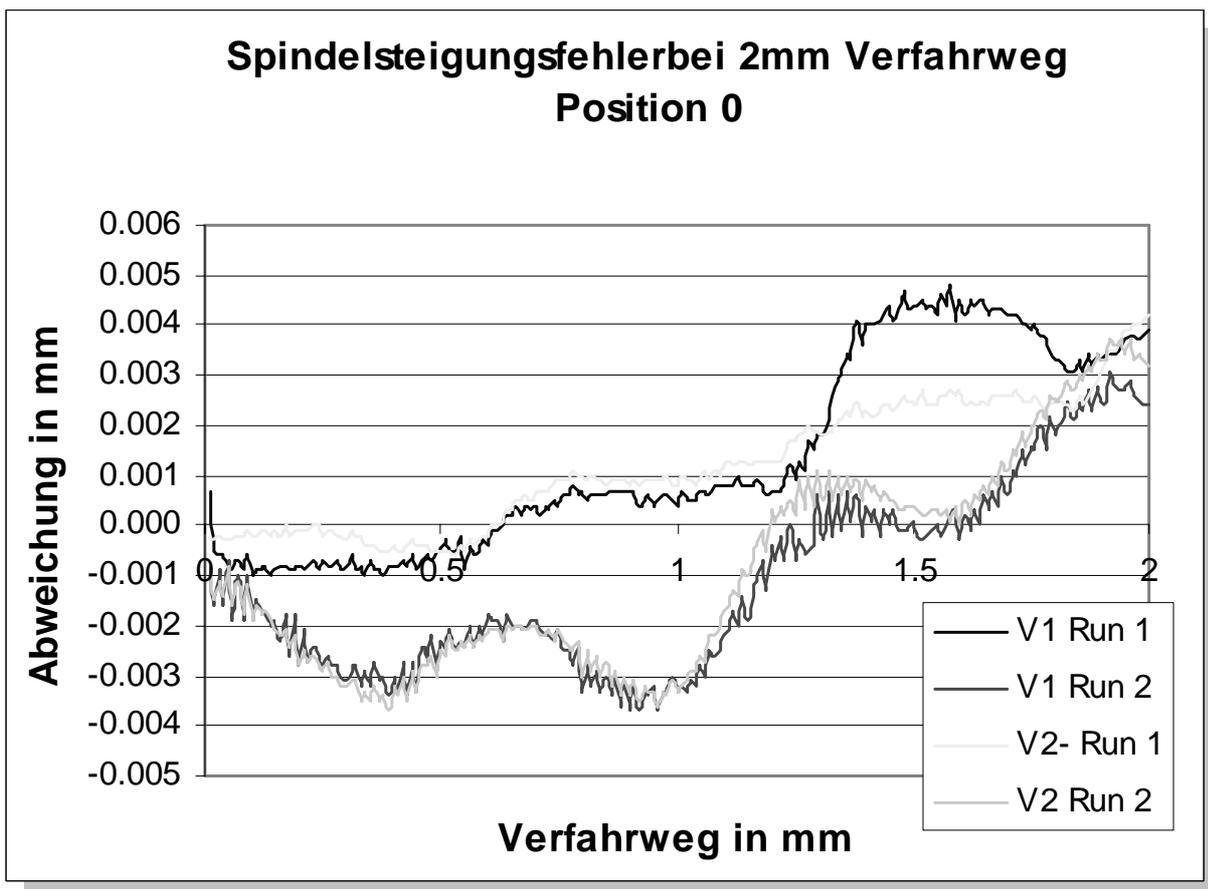
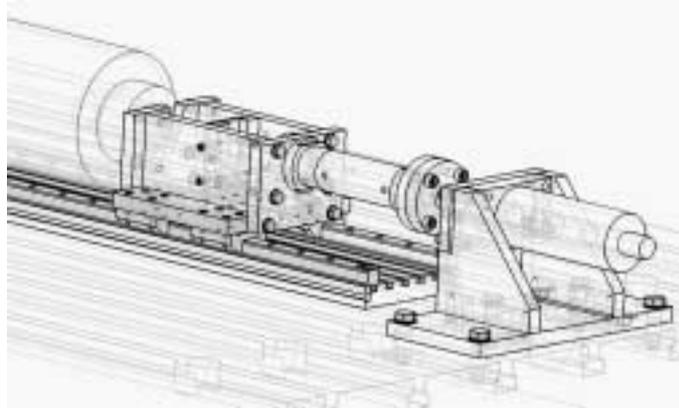
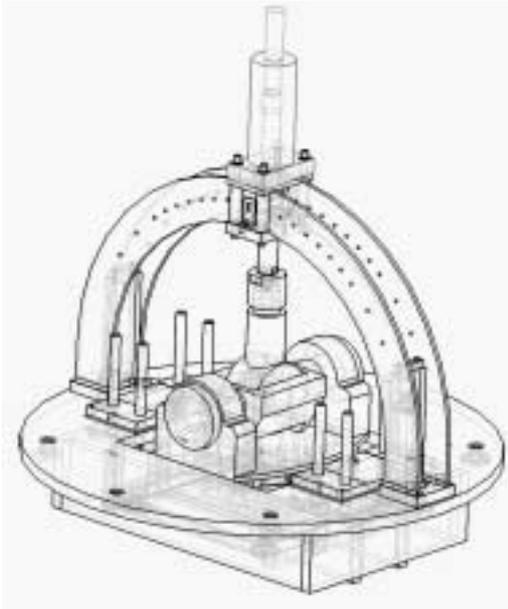
Der Große Beleg wird während des 9. Semesters mit einem geplanten Zeitaufwand von 500 Stunden bearbeitet. Er ist als selbständige wissenschaftliche Arbeit während des Studiums konzipiert und stellt die unmittelbare Vorstufe der Diplomarbeit dar. Die Themen der Belegarbeiten werden aus den laufenden Forschungsprojekten des Lehrstuhls ausgewählt. Jeder Beleg wird zum Abschluss durch den Studenten wie eine Diplomarbeit verteidigt.

#### Jahr 2003

Rehn, Steffen	Untersuchungen zur thermischen Korrektur an HEXAPOD-Stabachsen
Held, Mario	Lebensdaueruntersuchungen von Profilschienenführungen bei konstanter und stoßartiger Bewegung
Schicktanz, Kai	Simulation einer hydraulisch-mechanischen Universalpresse
Riedel, Mirko	Untersuchung von Stabachsen und Kardangelenken eines großen Hexapod

#### Jahr 2004

Bleischwitz, Mark	Methoden zur Abbildung von elastischen Umformwerkzeugen in der FEM-Prozess-Simulation
Niethammer, Stefan	FE-Modell und Prüfeinrichtung zur Ermittlung von Verlagerungen und Formänderungen an einer Kugelprofilschienenführung
Winkler, David	Konstruktion eines Transport-Hilfsstabwechselsystems für den Warenabzug gewalzter TF/PP-Hybridgarn-spacer-fabrics an einer Doppelgreifer-Webmaschine



*Ausschnitte aus Versuchsstand-Konstruktionsdaten und Untersuchungsergebnisse der Komponenten eines großen Hexapoden  
[Großer Beleg M. Riedel]*

### 3.3.3 Diplomarbeiten

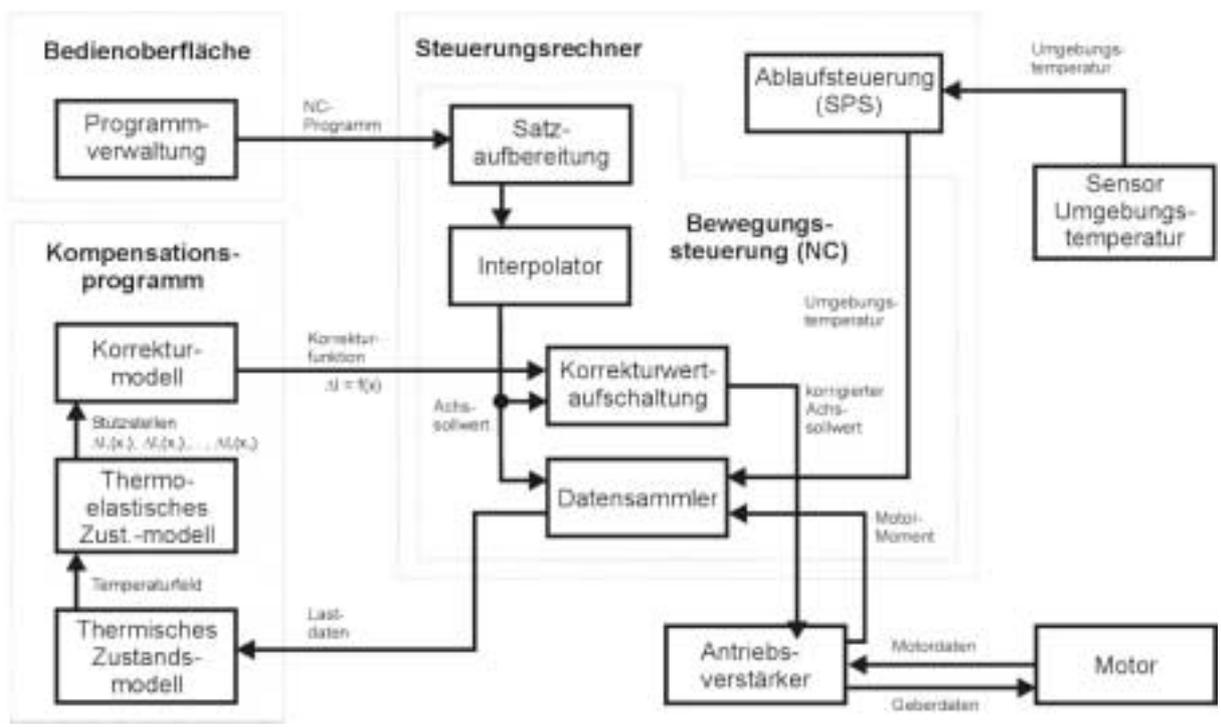
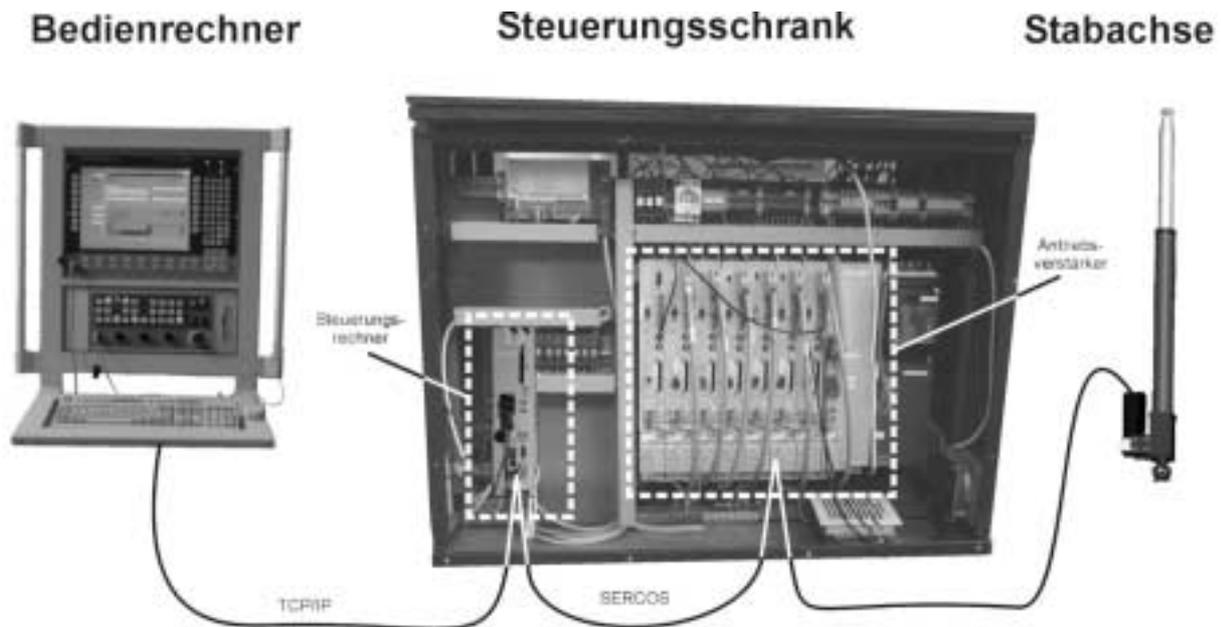
Nach erfolgreichem Abschluss aller Prüfungen erfolgt im 10. Semester die Anfertigung der Diplomarbeit. Die Themen der Diplomarbeiten werden aus den laufenden Forschungsprojekten des Lehrstuhls ausgewählt. Jede Arbeit wird zum Abschluss durch den Diplomanden verteidigt.

#### Jahr 2003

Löser, Michael	Entwicklung und Implementation eines adaptiven Reglers für das Entgraten durch Fräsen mit konstanten Kräften
Held, Mario	Erarbeitung eines neuartigen Steuerungsprogramms
Falke, Thomas	Vergleich konventioneller und entkoppelter Konstruktionsvarianten von Umformmaschinen hinsichtlich Genauigkeit
Schicktanz, Kai	Steuerungsnahe Kollisionsüberwachung am Hexapod
Rehn, Steffen	Entwurf und Implementation modellbasierter Bewegungskorrekturen in einer NC-Steuerung

#### Jahr 2004

Riedel, Mirko	Möglichkeiten und Grenzen durch Bildverarbeitung in Automatisierungsprozessen an Werkstücken mit Individual-Konturen
---------------	--



*Konzept modellbasierter Bewegungskorrekturen von Stabachsen in der NC-Steuerung  
[Diplomarbeit S. Rehn]*

### 3.4 Exkursionen

Mit unseren Exkursionen werden Studenten und Mitarbeiter mit dem Erzeugnisspektrum, den Aufgaben und Problemen der Erzeugnisentwicklung und -fertigung verschiedenartiger Unternehmen vertraut gemacht. Dafür wurden sowohl Betriebe der Großserien-/Massenproduktion als auch der Kleinserien-/Einzelfertigung 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 und der Studienrichtung Produktionstechnik. Aber auch interessierte Studenten anderer Semester und Fachrichtungen nutzten diese Gelegenheit für ihre berufliche Orientierung.



*Papenburg - vor dem Besuch der Meyer Werft*

## Jahr 2004

17.06.2004

- **METAV 2004**, 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 des Eintrittsgeldes.



*Gruppenfoto auf dem Düsseldorfer Messegelände*

**01.-03.07.2004**

• **ENERCON GmbH Windenergieanlagen**, Magdeburg

Jeder hat sie schon gesehen: Windenergieanlagen - mehr oder weniger zahlreich in alle Landschaften "harmonisch eingefügt" und von der Politik gefördert. Die Exkursionsteilnehmer hatten die Gelegenheit, die Fertigung der Großteile dieser Anlagen, die aus der Nähe gesehen beachtliche Dimensionen aufweisen, zu erleben. Neben der mechanischen Bearbeitung von Nabe, Rotor und Turm konnte auch die Herstellung der bis zu 30 m langen Rotorblätter besichtigt werden. Leider war aus Wettbewerbsgründen das Schießen von Fotos nicht gestattet.

• **Meyer Werft**, Papenburg

Noch ganz andere Dimensionen haben die Kreuzfahrt- und Containerschiffe, deren Entstehen im größten überdachten Baudock der Welt beim Werftbesuch besichtigt wurde. Eine beeindruckende Logistik garantiert die Fertigstellung der Schiffe in einem engen Zeitplan - von den ersten Stahlbauteilen bis zum letzten Einrichtungsgegenstand einer Luxuskabine. Krönender Abschluss jedes Schiffsneubaus der Meyer Werft ist die Ems-Überführung, eine Touristenattraktion, die am Besuchstag allerdings nicht auf dem Terminplan stand.

• **Transrapid Versuchsanlage Emsland**, Lathen

Alle Informationen zur Technik der Magnetschwebbahn "Transrapid", zu ihrer Entwicklungsgeschichte und zur Transrapid Versuchsanlage im Emsland bot das Besucherzentrum in Lathen. Eines allerdings können beeindruckende technische Parameter und werbewirksame Filmaufnahmen nicht ersetzen: das Gefühl, als Fahrgast zwei Runden auf der ca. 30 km langen Versuchsstrecke mit einer Spitzengeschwindigkeit von über 400 km/h mitzuschweben!



*Mitschweben im Transrapid - nur fliegen ist schöner ...*

• **Kultur**

Kulturell abgerundet wurde die Exkursion durch den Besuch des "Papenburger Zeitspeichers", einem interaktiven Informationserlebnis zu Wissenswertem rund um Geschichte und Gegenwart Papenburgs.

---

## 4      **Forschung**

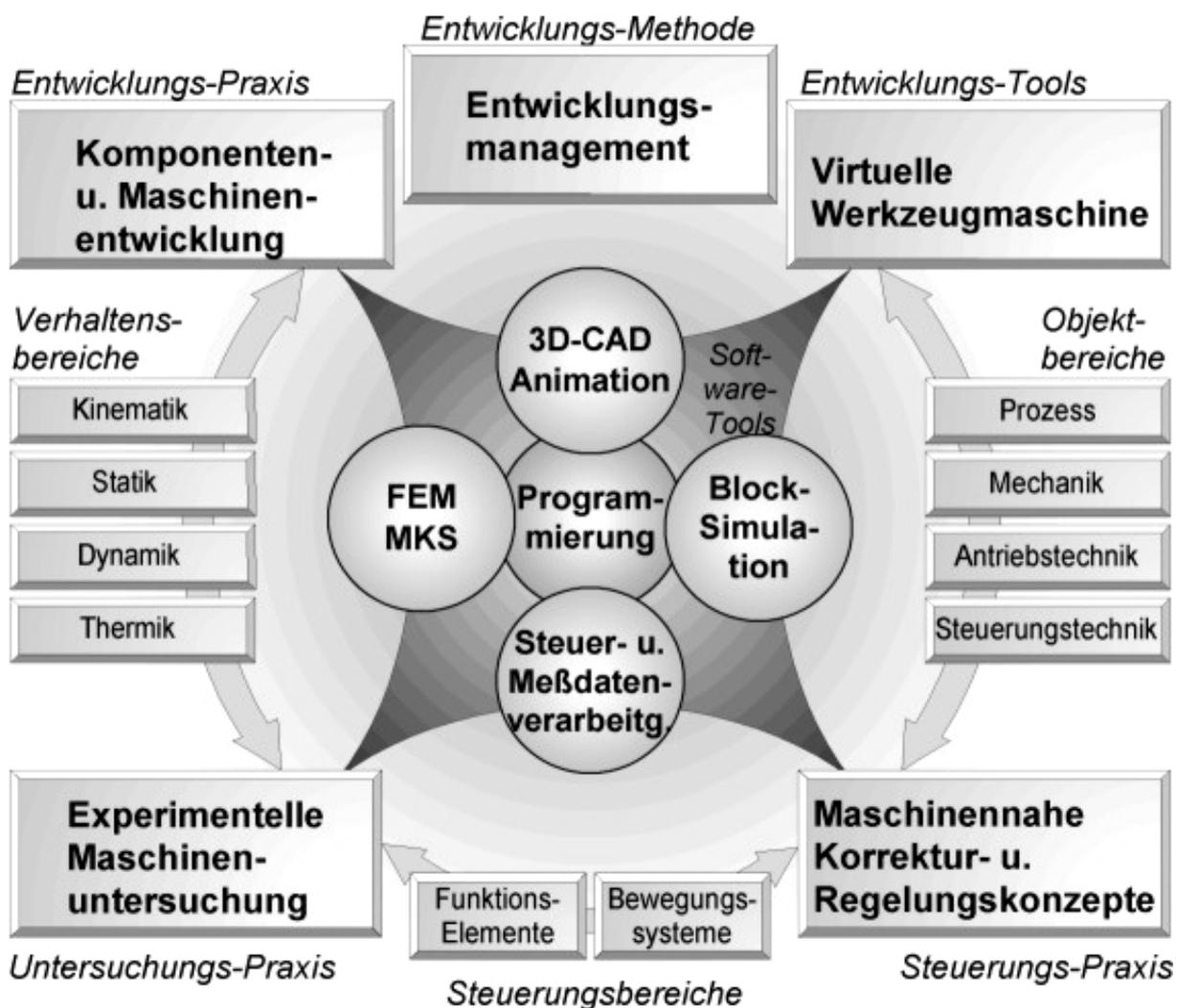
---



## 4.1 Entwicklung der Forschung und Forschungsgebiete

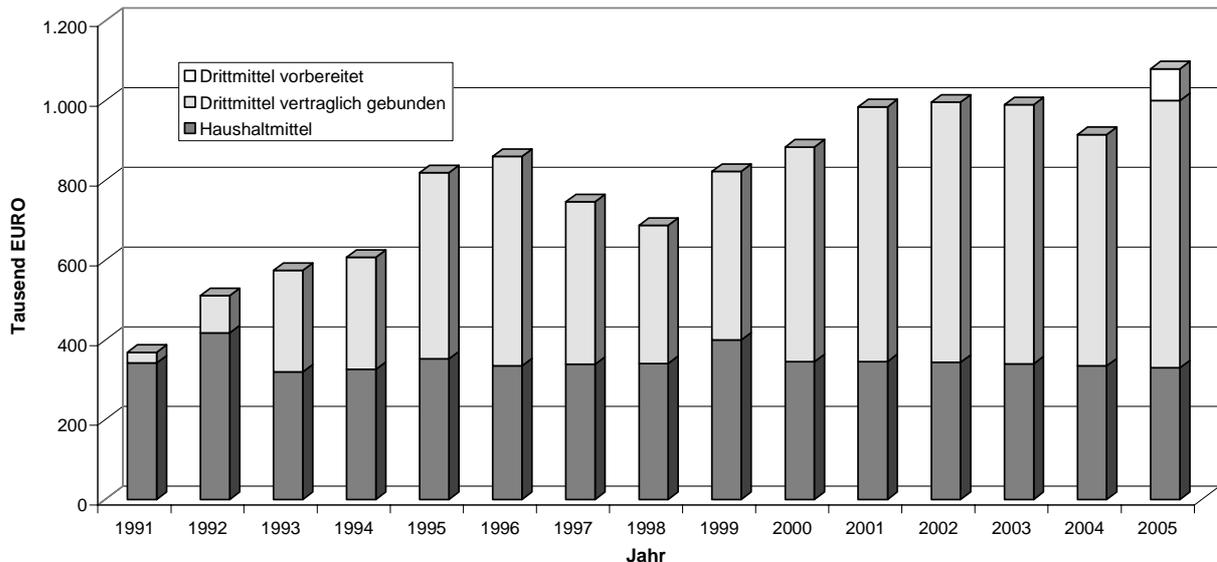
Die Forschungsgebiete des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen umfassen die für den Entwicklungsprozess zusammengehörenden Felder der mechanischen und steuerungseitigen Maschinenkomponenten und die für Auslegung und Eigenschaftsnachweis relevanten rechnerischen und experimentellen Arbeitsmittel und -methoden.

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 ohne den Bau einer Mustermaschine beurteilbar.



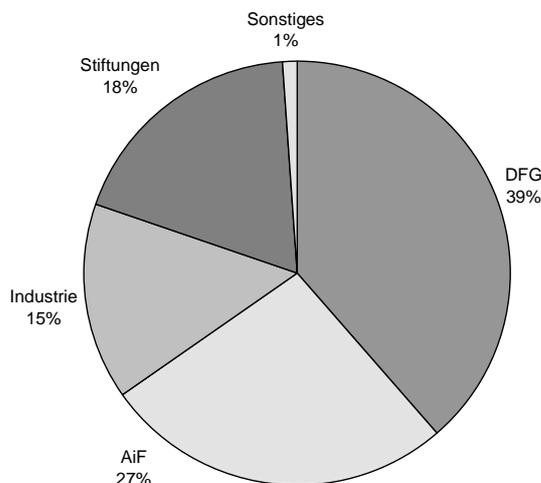
## 4.2 Projekte

Die wissenschaftlichen Aktivitäten des Lehrstuhls finden ihren Ausdruck in den nachfolgend aufgeführten Forschungsprojekten. Als Ergebnis einer intensiven Akquisitionstätigkeit zu Förderprojekten und Industrienaufträgen konnte das Drittmittelbudget zur Finanzierung der Forschung auf hohem Niveau gehalten werden (*Bild 1*).



*Bild 1: Budget des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen*

Bei den Finanzierungsquellen erhöhte sich der Anteil der DFG und es konnten erstmals beträchtliche Mittel aus Stiftungen der Industrie eingeworben werden (*Bilder 2 und 3*).



*Bild 2: Anteile der Forschungsfinanzierung 2003/2004 (Drittmittel)*

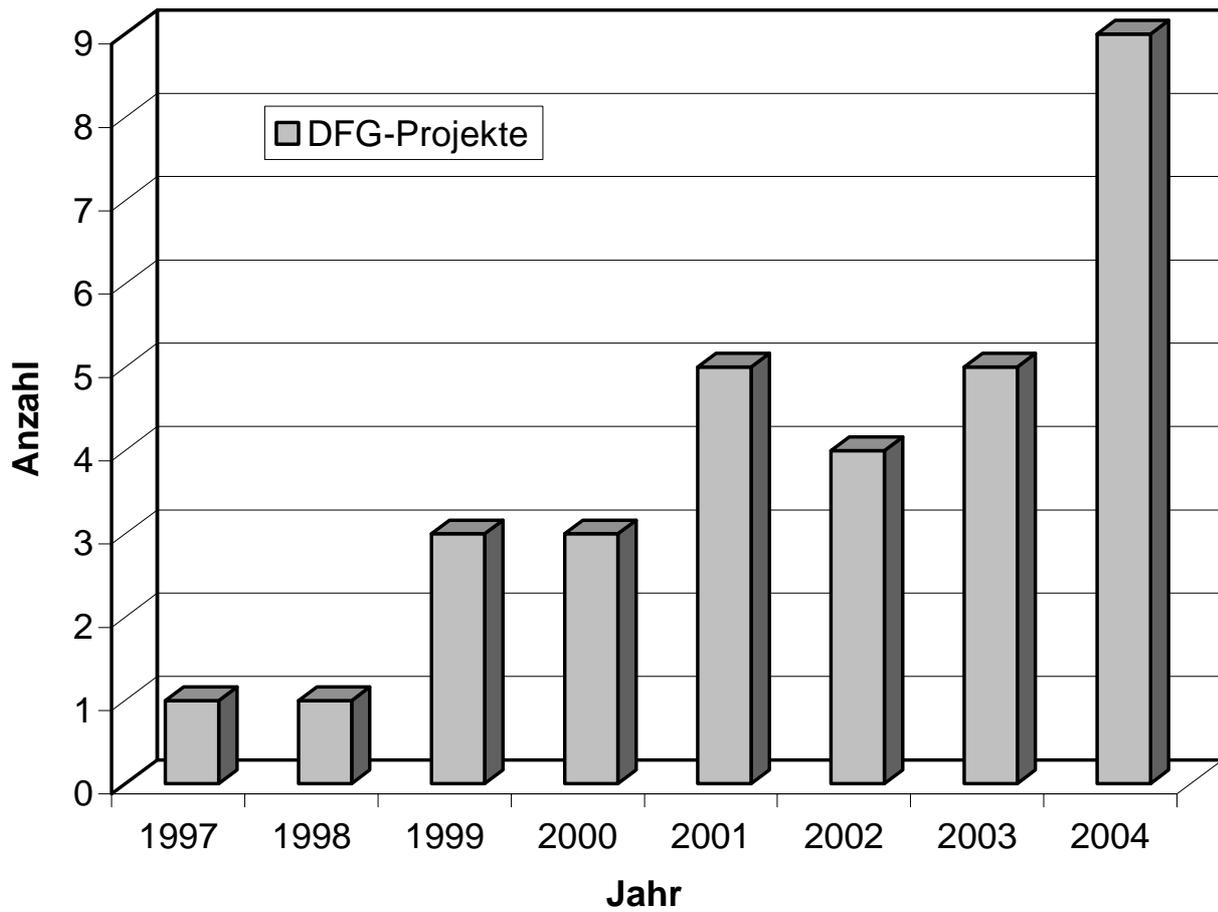


Bild 3: Entwicklung der Anzahl bearbeiteter DFG-Projekte

## 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 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 Hohlräumen 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 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 werden Varianten von Abzugs- und Handlingsystemen, die die bestehende technologische Lücke zwischen der Webfachbildung in der

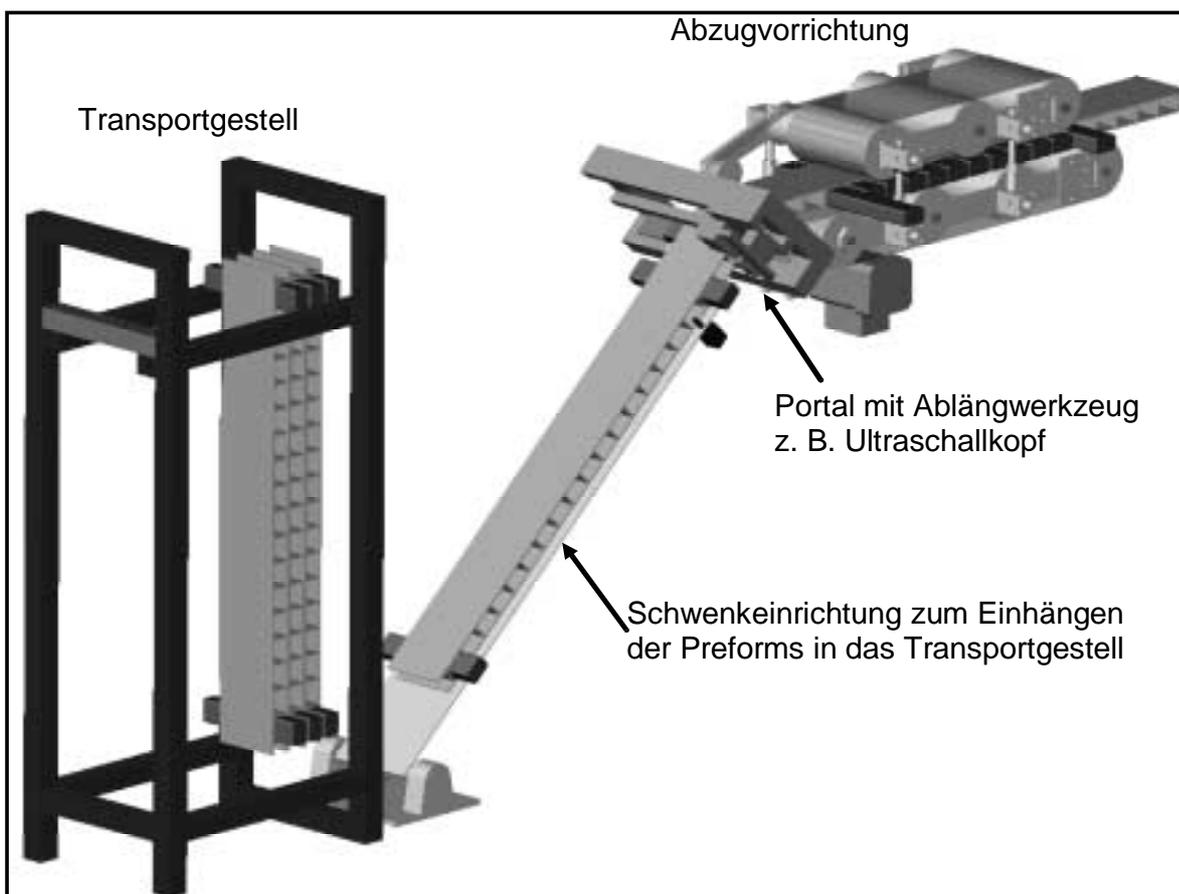
Webmaschine und dem Einlegen der Multifunktionskerne schließen, generiert, grob konstruktiv entworfen und bewertet.

Zentrale Bewertungskriterien sind die Forderungen nach weitgehender Vermeidung von Faserschädigungen, nach einer durchgängigen, reproduzierbar beherrschten Prozesskette sowie sich daraus ergebende technologische Detailfragen wie die Einleitbarkeit von Abzugskräften, die Synchronisierbarkeit von Webfachbildung, Abzugsgeschwindigkeit und Handling sowie Zuschnitt-Operationen.

Nach Auswahl einer Vorzugsvariante und nach dem Bau und Test kleiner Funktionsmuster werden die Anlagen und Systeme auskonstruiert sowie ein zugehöriges Steuerungskonzept entworfen. Anschließend erfolgen der Bau der Anlagen, die Implementation der entworfenen Steuerungs-Software und die praktische Inbetriebnahme.

## Ergebnisse

Die Abbildung zeigt eine Variante einer Prozesskette, mit der gewebte spacer preforms abgezogen, abgelängt und abgestapelt werden können.



*Variante einer Prozesskette zum Warenabzug, Ablängen und Abstapeln gewebter spacer preforms*

## 4.2.2 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 funktions- integrierende Mischbauweisen bei komplexen Leicht- bauanwendungen

<b>Laufzeit</b>	01/2004 - 12/2007
<b>Finanzierung</b>	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
<b>Bearbeiter</b>	Dr.-Ing. Hajo Wiemer
<b>Kooperation</b>	Mitgliedsinstitute der TU Dresden im SFB 639

### Zielstellung

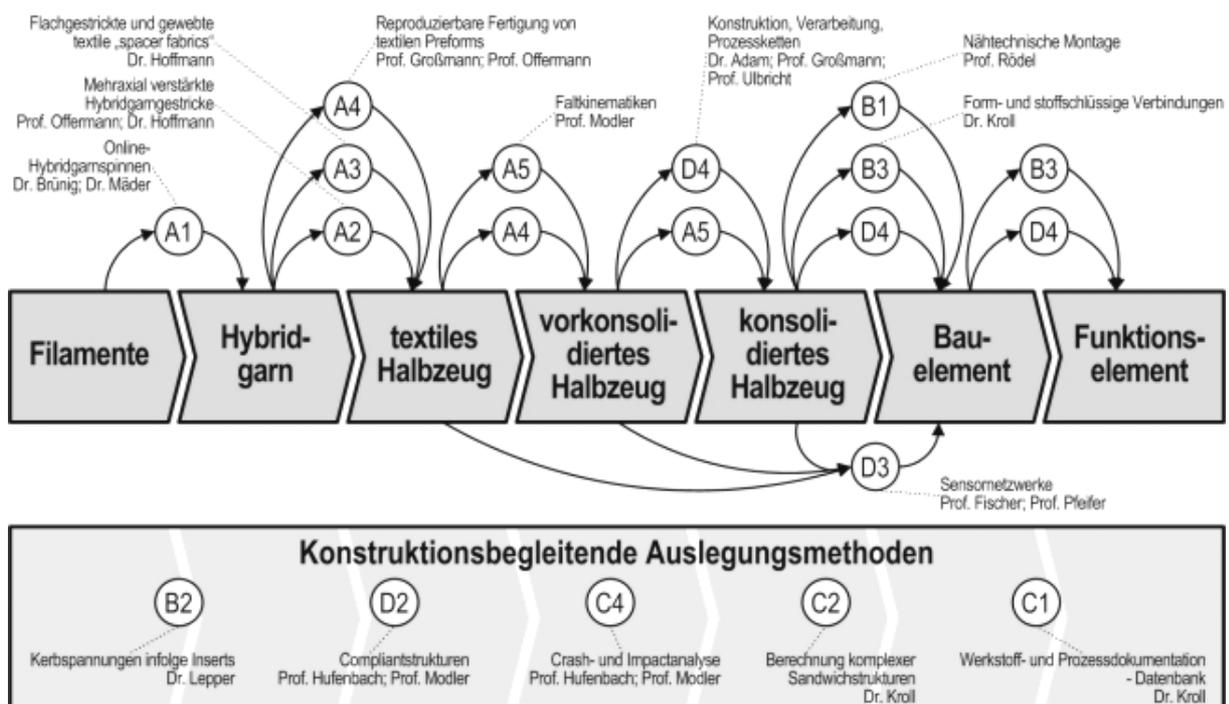
Im Zusammenhang mit Leichtbau-Konzepten erlangen textilverstärkte Verbundwerkstoffe immer mehr an Bedeutung. Textilverstärkte Verbundwerkstoffe besitzen große Flexibilität in Bezug auf die Anpassung der Werkstoffstruktur an die Belastungen. Diese Flexibilität ist durch viele Einflussmöglichkeiten entlang 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

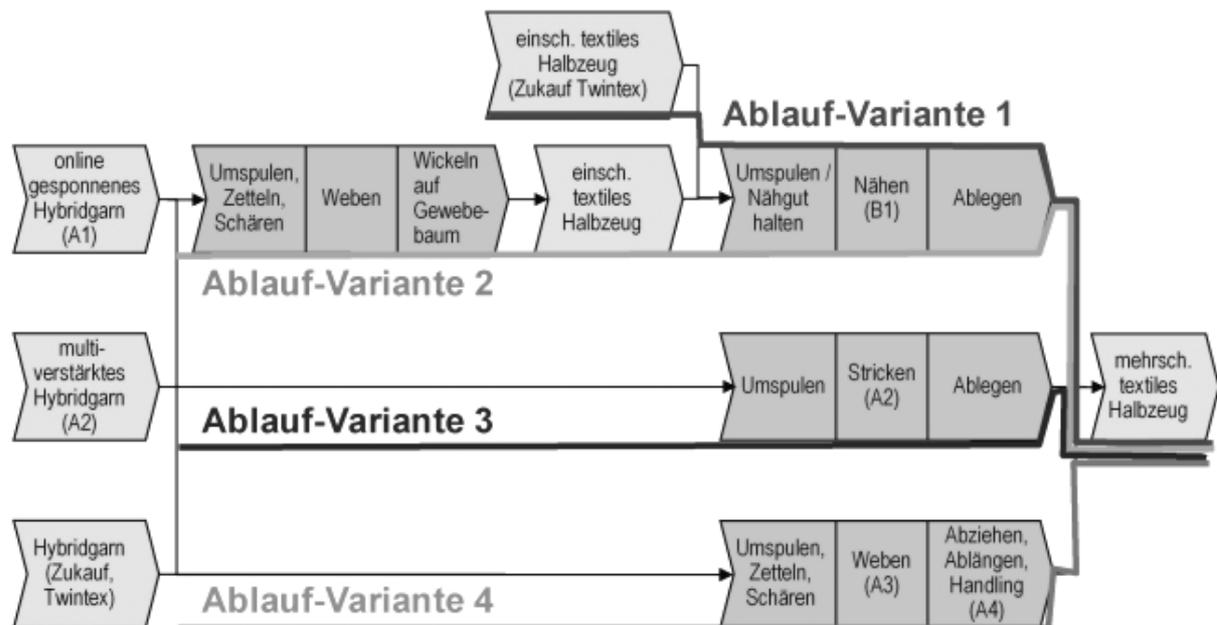
1. Analyse der Grobstruktur der Prozesskette sowie der charakteristischen Besonderheiten bei der Herstellung textilverstärkter Verbundstoffe.
2. Erstellen eines Anforderungskataloges an das Fertigungsprozessmodell.
3. Recherche nach geeigneten Planungsmethoden aus den planerischen Fachdisziplinen wie 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.



*Grobstrukturierung des Fertigungsablaufes bei der Herstellung textilverstärkter Verbundstoffe und thematische Einordnung der Teilprojekte des SFB 639*

## Ergebnisse

Im bisherigen Bearbeitungszeitraum erfolgte die grob strukturierte Darstellung des Fertigungsablaufes und die Analyse der Besonderheiten bei der Herstellung textilverstärkter Verbundstoffe. Weiterhin wurde der Anforderungskatalog an das Fertigungsprozessmodell erstellt.



*Ausschnitt aus dem alternativen Fertigungsprozessgraphen am Beispiel des Prozessschritts vom Hybridgarn zum mehrschichtigen textilen Halbzeug*

### 4.2.3 Verfahrensalternativen und Genauigkeitsbedingungen zur räumlichen Referenzierung in Werkzeugmaschinen

<b>Laufzeit</b>	10/2004 - 09/2006
<b>Finanzierung</b>	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
<b>Bearbeiter</b>	Dipl.-Ing. Bernd Kauschinger MSc Szabolcs Szatmari

#### Zielstellung

In der heutigen 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 noch wirtschaftliche Alternativen erschlossen werden. Ein Schlüssel dafür liegt in effizienten technologischen Abläufen sowie in der Ausnutzung des Bewegungsvermögens von Werkzeugmaschinen. Enorme Einsparpotenziale bietet 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. Bei der Referenzierung geht es darum, den Bezug eines messtechnisch nicht direkt erfassbaren Koordinatensystems indirekt über die Vermessung physisch repräsentierter Geometrien (z. B. Punkt, Linie, Fläche, etc.) herzustellen. Dadurch wird die räumliche Lage und Orientierung in einem Bezugssystem definiert oder ermittelt. Vorhabensziel ist die Entwicklung, Untersuchung und Erprobung eines alternativen Referenzierungsverfahrens für Werkstücke, Werkzeuge und Zusatzeinrichtungen im Arbeitsraum einer Werkzeugmaschine.

#### Lösungsweg

Basis dafür ist die Ermittlung der Koordinaten von drei Referenzpunkten durch automatisierte Vermessung räumlicher Kreisbahnen mit einem Double-Ball-Bar (*Bild 1*). Über die relativen Bezüge dieser physisch geeignet repräsentierten Referenzpunkte ist das gesuchte lokale Koordinatensystem eindeutig bestimmbar. Arbeitsinhalt ist die

Entwicklung der dafür erforderlichen Berechnungs- und Auswertungsgrundlagen sowie die Untersuchung der Genauigkeitsbedingungen. Auf einer am IWM Dresden vorhandenen sechssachsigen Werkzeugmaschine erfolgt die zweistufige Umsetzung. Im ersten Schritt wird das Verfahren manuell realisiert um den praktischen Funktionsnachweis zu erbringen und Anforderungen für die Verfahrensautomatisierung abzuleiten. Im zweiten Schritt wird das Verfahren automatisiert umgesetzt und bezüglich Zeitbedarf, Genauigkeit und Bedienbarkeit optimiert.

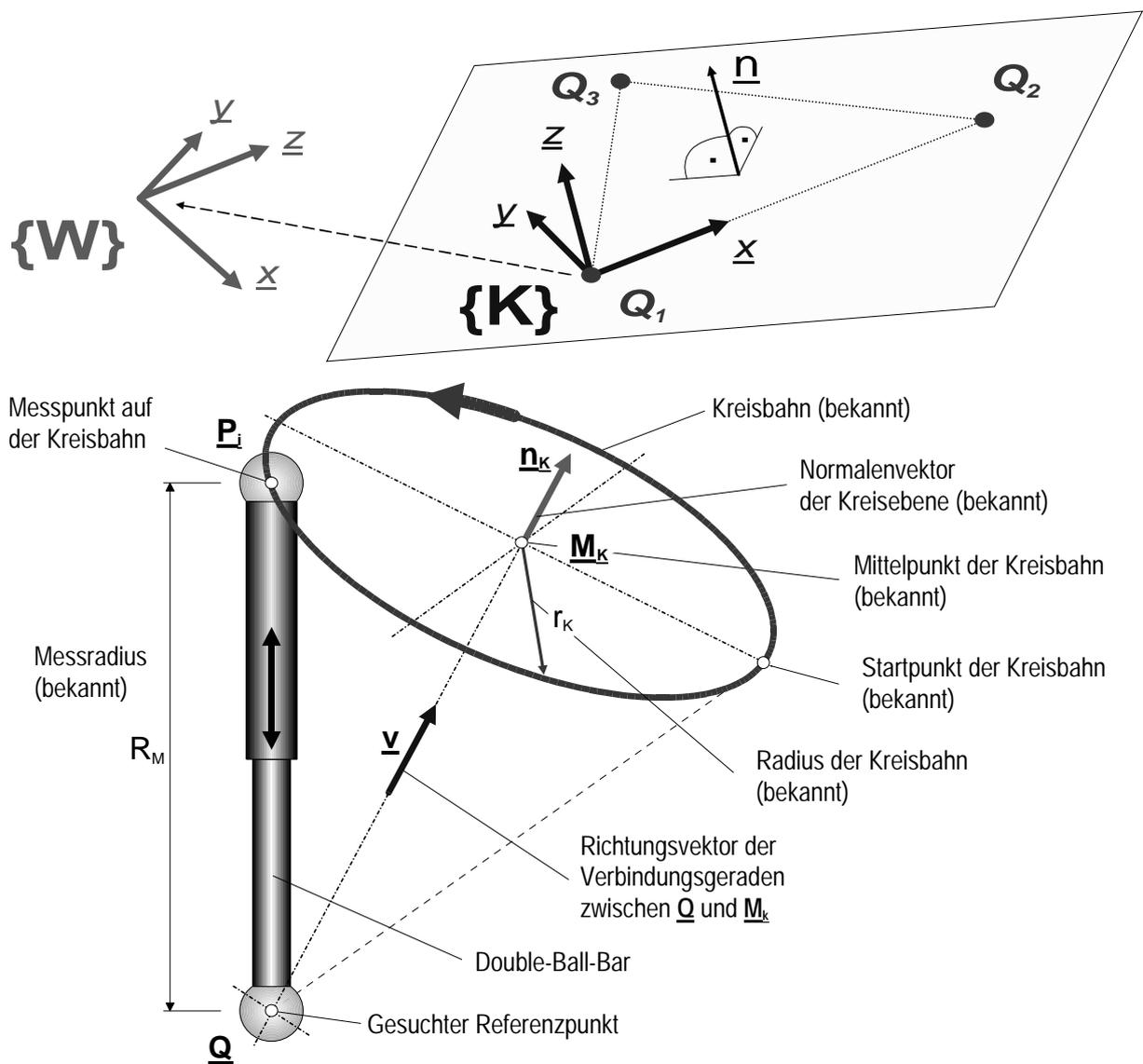
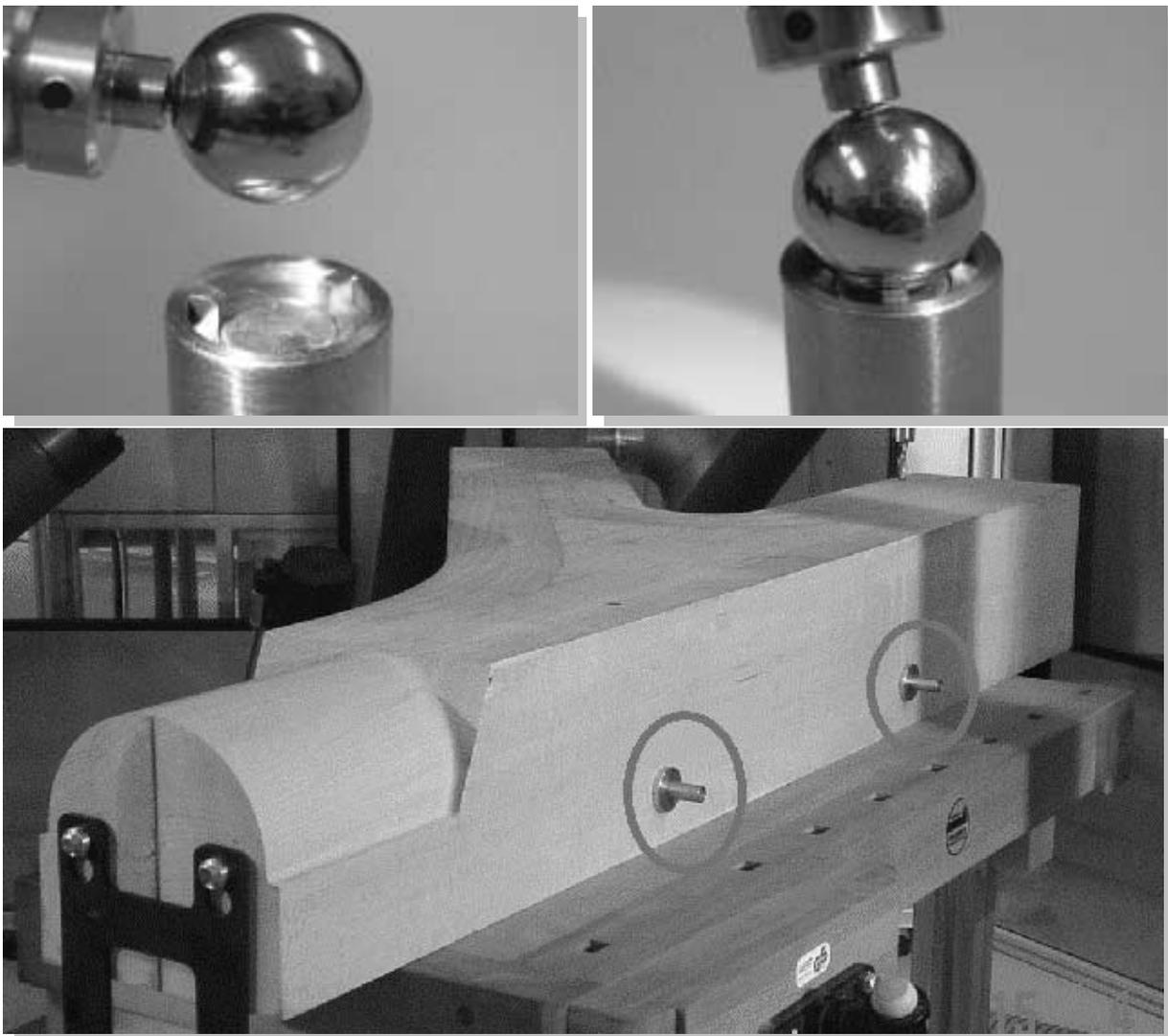


Bild 1: Bestimmung von Referenzpunkten  $Q$  im Arbeitsraum mit Hilfe eines Double-Ball-Bar

## Ergebnisse

Das Vorhaben basiert auf folgender Idee (vgl. *Bild 1*): Durch die NC-Steuerung werden komplette Kreisbahnen generiert, die üblicherweise aus mehreren tausend Messwerten bestehen und sich sehr schnell, effizient und gut automatisierbar mit einem Double-Ball-Bar vermessen lassen. Zur Bahnerzeugung und Vermessung ist geeignete Funktionalität in der NC-Steuerung bereitzustellen. Während der Vermessung beschreibt der Double-Ball-Bar einen Kegelmantel, wobei die Spitze dieses Kegels den zu bestimmenden Referenzpunkt darstellt. Aus der messbaren Kreisformabweichung kann die Position der Kegelspitze bestimmt werden.



*Bild 2: Magnetische Dreipunktaufnahme als physische Repräsentation der Referenzpunkte*

Damit ist ein automatisiert ablaufendes, iteratives Verfahren denkbar, mit dem sich, ausgehend von einem im Tippbetrieb angefahrenen nahezu beliebigen Startpunkt in der Nähe des gesuchten Referenzpunktes, eine fehlerminimierte räumliche Kreisbahn finden und so die Genauigkeit der Messung optimieren lässt. Als physische Repräsentation der Referenzpunkte dienen magnetische Dreipunktaufnahmen für die Kugelenden des Double-Ball-Bar (*Bild 2*).

In ersten Voruntersuchungen konnte gezeigt werden, dass dieses Referenzierungsverfahren prinzipiell funktioniert. Zur Minimierung der Messfehler sollte der Spitzenwinkel des Messkegels im Idealfall  $90^\circ$  betragen. Einschränkend wirken dabei jedoch die jeweils aktuellen Kollisionsbedingungen im Arbeitsraum der Maschine. Die laufenden Arbeiten befassen sich mit der Implementation der erforderlichen Steuerungsfunktionalität, der Automatisierung der Messabläufe sowie der simulationsgestützten Untersuchung der Genauigkeitsbedingungen.

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

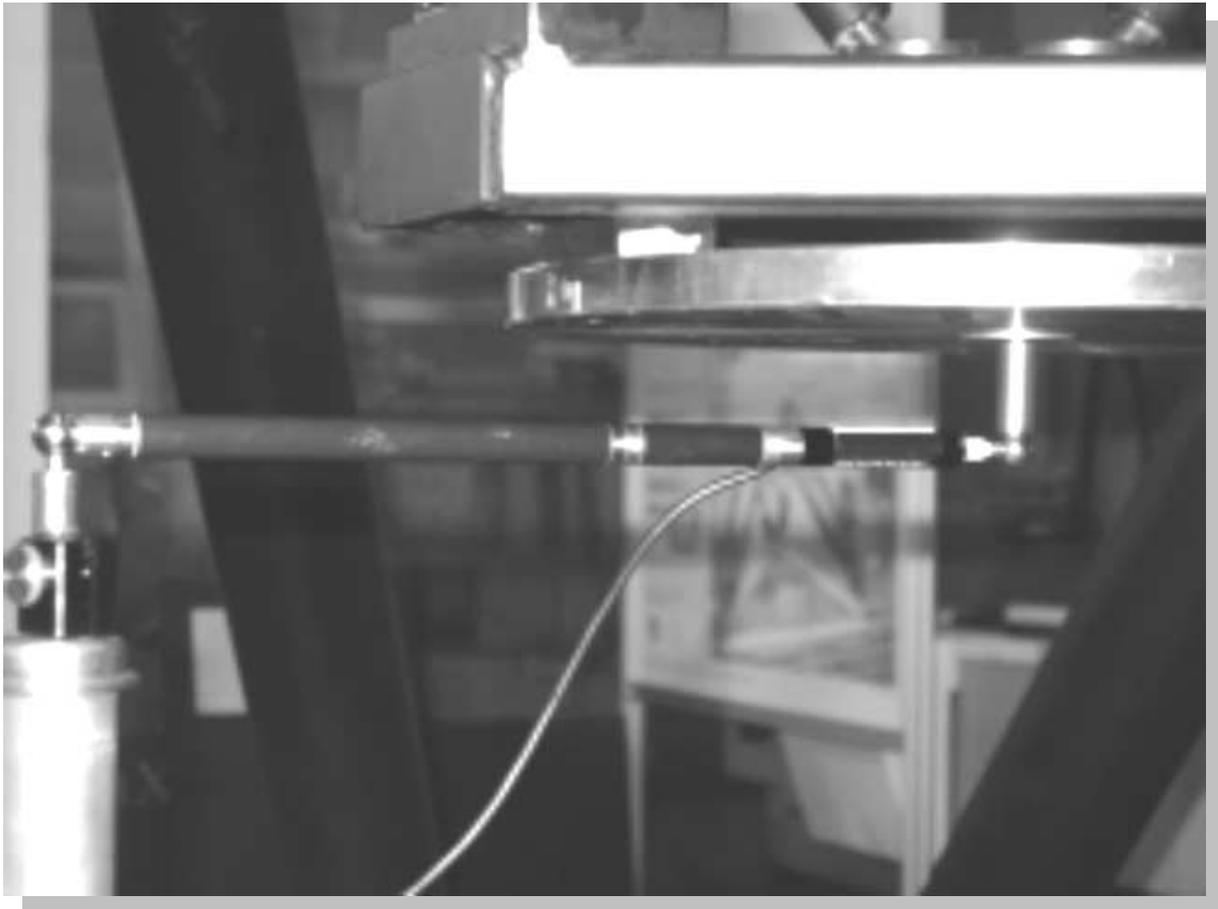
<b>Laufzeit</b>	08/2004 - 07/2006
<b>Finanzierung</b>	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) SPP 1099 Fertigungsmaschinen mit Parallelkinematik
<b>Bearbeiter</b>	Dipl.-Ing. Bernd Kauschinger Dipl.-Ing. Volker Möbius MSc Szabolcs Szatmari

##### **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 sogenannten 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 (*Bild 1*) 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.



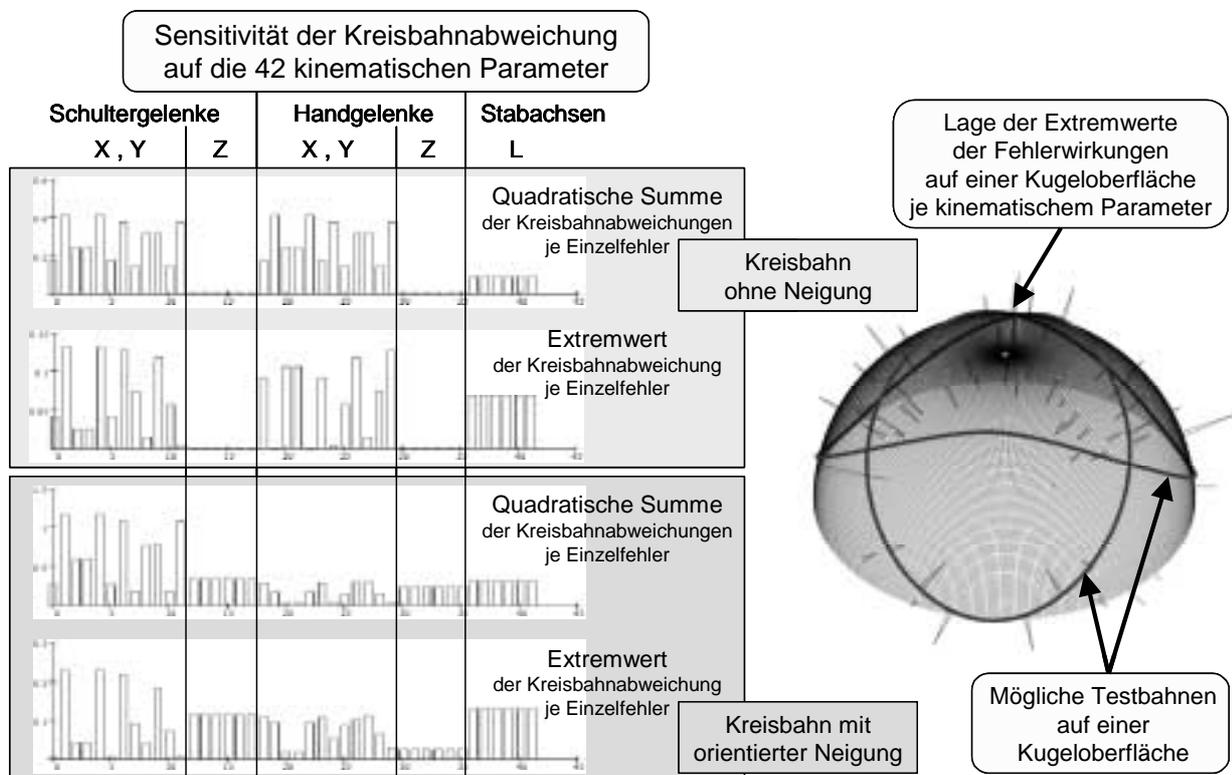
*Bild 1: Double-Ball-Bar beim ebenen Kreistest am Hexapod FELIX*

### **Lösungsweg**

Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1099 wurde am IWM bereits ein alternatives Genauigkeitskonzept entwickelt und erfolgreich am Einfach-Hexapod 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 soll durch nichtlineare Optimierung mit genetischen Algorithmen erfolgen. 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 anzupassen. Die prinzipielle Funktionsfähigkeit dieses Konzeptes wurde bereits im Rahmen von Vorarbeiten verifiziert. Inhaltlich ergeben sich vier Arbeitsschwerpunkte:

- Systematische Untersuchungen zur kinematik-spezifischen Generierung optimaler Messbahnen,
- automatisierte Messabläufe mit dem Double-Ball-Bar,
- Parameteridentifikation mit angepassten genetischen Algorithmen sowie
- der exemplarische Nachweis an verschiedenen Parallelkinematiken.

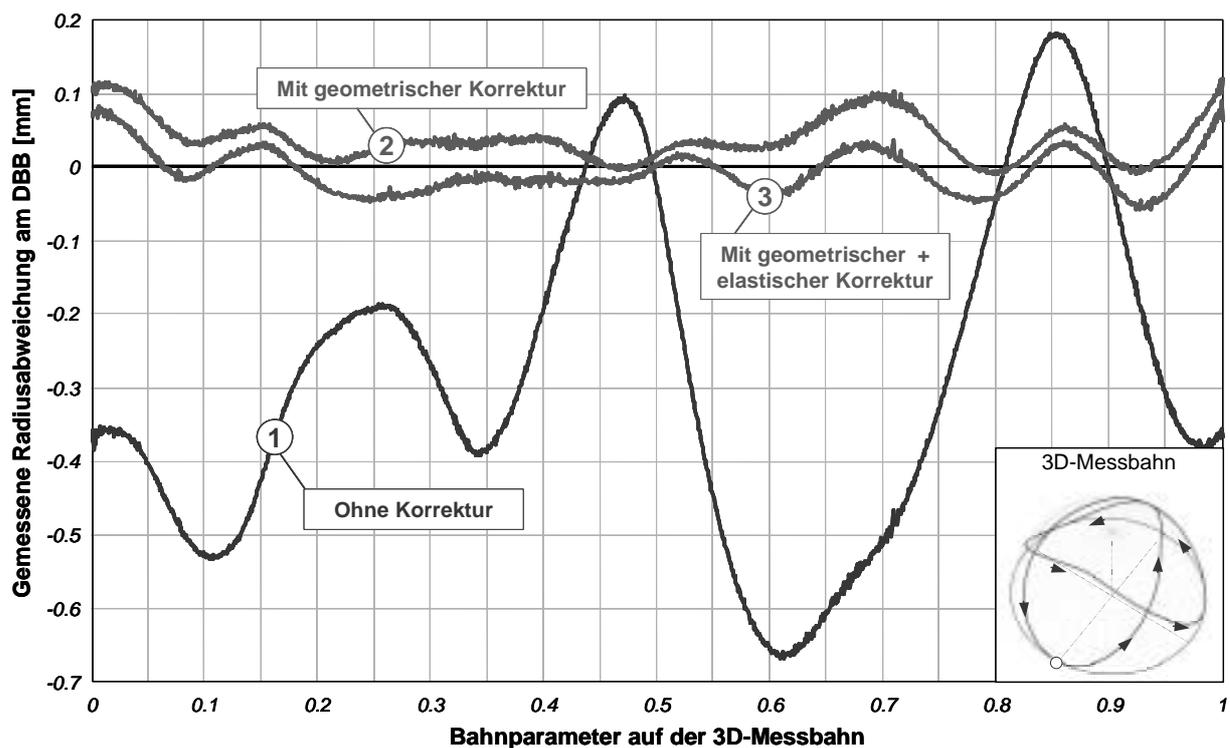


*Bild 2: Sensitivitätsanalyse für Messbahnen mit und ohne Plattformneigung. Im ungünstigen Fall sind Abweichungen in den Z-Koordinaten der Gelenke nicht identifizierbar*

## Ergebnisse

Bereits im Rahmen von Voruntersuchungen konnte gezeigt werden, dass ebene Kreistests mit konstanter Plattformorientierung ungeeignet sind zur Identifikation der 42 kinematischen Parameter am Hexapod FELIX. Schon die Vermessung ebener Kreisbahnen mit Variation eines der drei Orientierungswinkel der Plattform verbessert die Sensitivität deutlich (*Bild 2*).

Weitere Verbesserungen der Sensitivität und Orthogonalität sind zu erwarten, wenn nicht nur ebene Kreisbahnen, sondern räumliche Bahnen auf einer Kugeloberfläche unter Variation aller Orientierungsfreiheitsgrade zur Gewinnung der Messdaten genutzt werden. Erste vielversprechende Ergebnisse auf der Basis empirischer Versuche zeigt *Bild 3*.



*Bild 3: Erste Ergebnisse einer Kalibrierung auf Basis empirischer Versuche*

## **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.

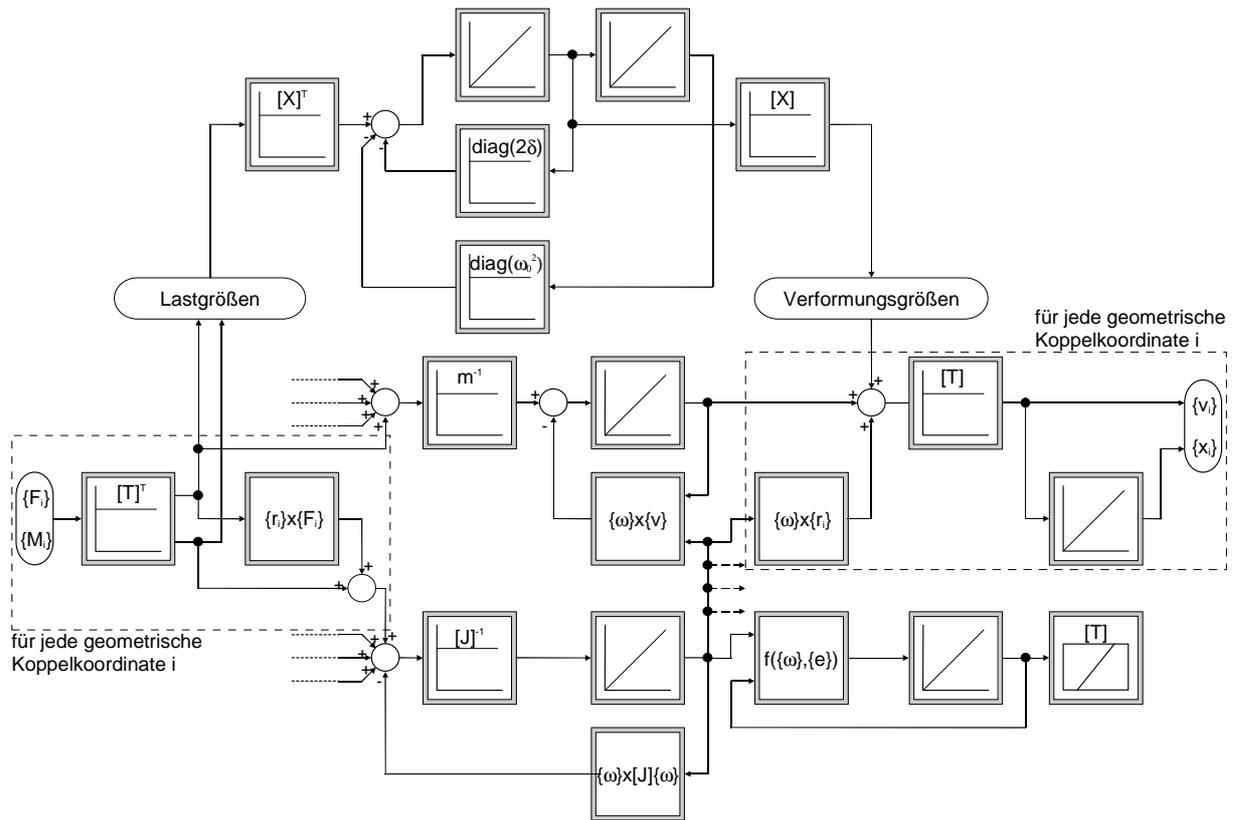
Im Forschungsprojekt sollen Simulationstechnologien entwickelt und angewandt werden, welche veränderliche Maschinenstrukturen einer Modellierung und numerischen Lösung zuführen. Hierzu sollen die Modellgrundlagen für die Simulation kontinuierlicher Bauteilbewegungen an elastischen, strukturvariablen 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 gegenwärtigen Arbeiten befassen sich mit der algorithmischen Aufbereitung und Implementation der Modelle. Diese führen auf eine Reihe von abstrakten Simulationsobjekten für die Simulationsumgebung MATLAB/Simulink. Die Abbildung zeigt den Entwurf für das Blockschaltbild zur Modellierung linearelastischer Baugruppen.



Blockschaltbild für den elastischen Körper (flexible body)

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

**Laufzeit** 06/2003 - 05/2005

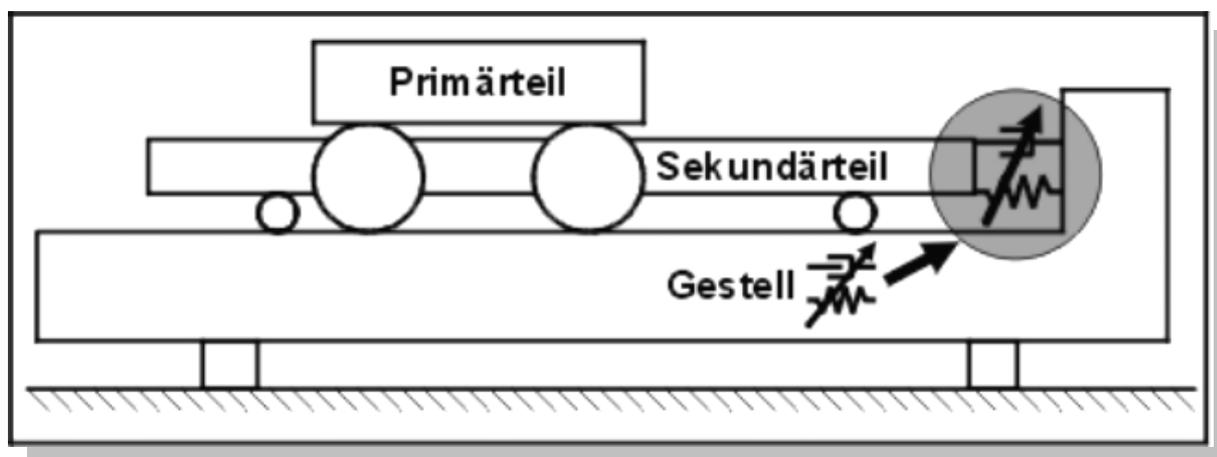
**Finanzierung** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)  
SPP 1156 Adaptronik für Werkzeugmaschinen

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

**Kooperation** FhG IWU Chemnitz, Außenstelle Dresden

### Zielstellung

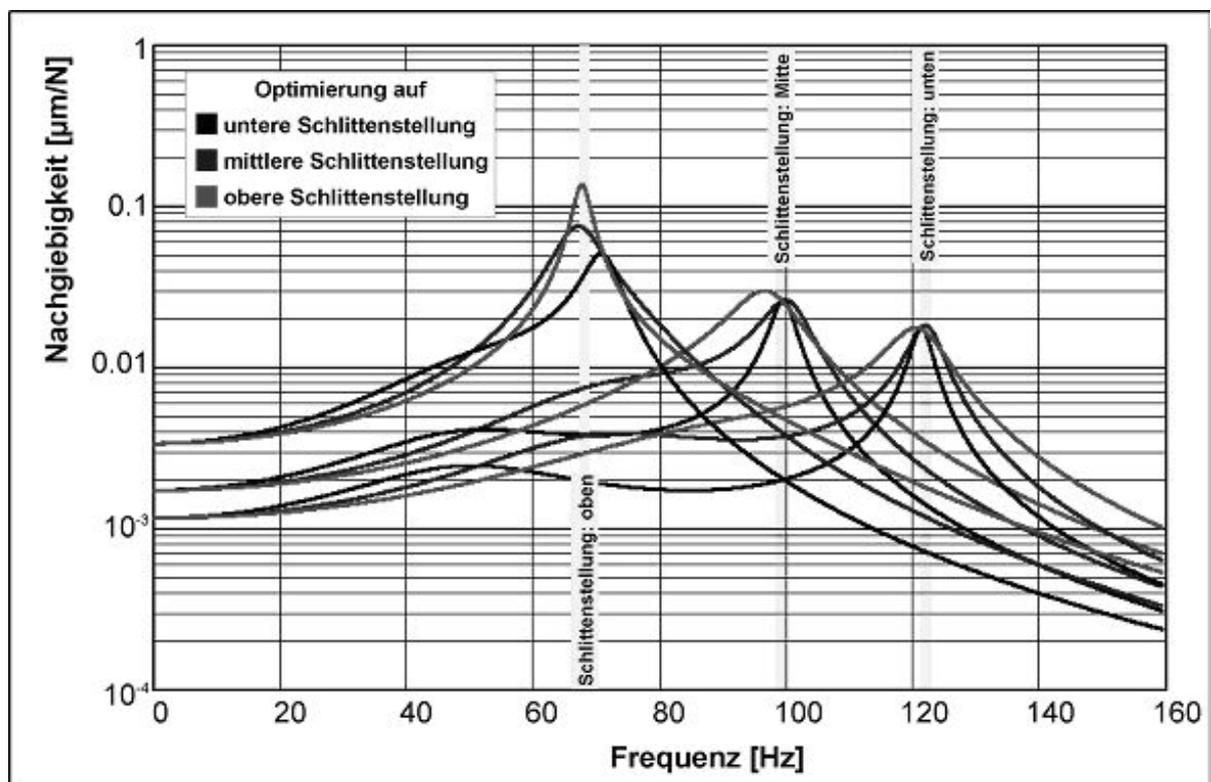
Ziel des Forschungsvorhabens sind Grundlagenuntersuchungen zur wirksamen Impulskopplung des Gestells einer Maschinenstruktur mit Lineardirektantrieb nach dem Funktionsprinzip der Lafette. Es soll nachgewiesen werden, dass der Ansatz festeingestellter Feder-/Dämpfer-Parameter den Erfordernissen strukturmechanisch 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

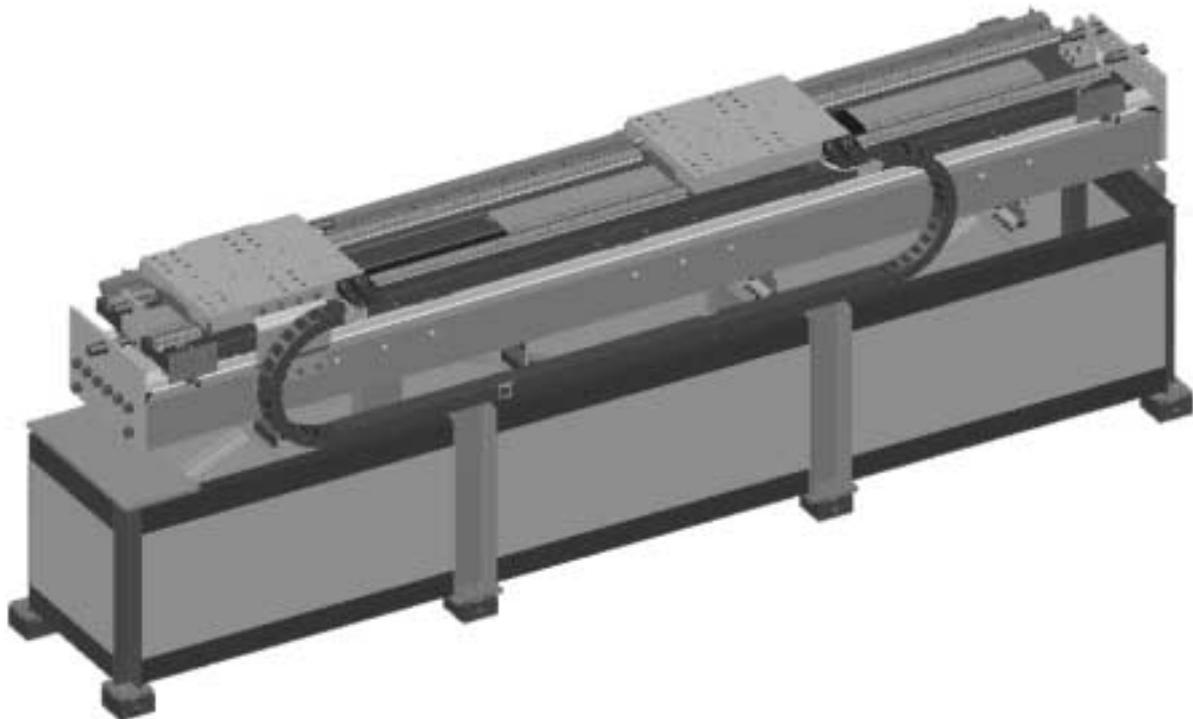
Es wurde zunächst ein vereinfachtes Simulationsmodell entwickelt, das eine Fräsmaschine in Gantry-Bauweise als Feder-Masse-System sowie die zugehörigen Regelkreise reduziert abbildet. Hiermit durchgeführte Variationsrechnungen belegen bereits, dass ein Feder-/Dämpfer-System die Anregung des Gestells 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 Impulskopplung 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.



*Bild 2: Nachgiebigkeitsfrequenzgänge einer Seitenständermaschine mit Impulskopplung; Steifigkeit und Dämpfung des Feder-/Dämpfer-Systems variieren*

## Ergebnisse

Wie die theoretischen Untersuchungen gezeigt haben, ist es erforderlich, sowohl die Dämpfung als auch die Steifigkeit des Feder-/Dämpfer-Systems an veränderliche Gestellparameter anzupassen. Für jede Kombination von Gestellsteifigkeit und -dämpfung ergibt sich ein Paar optimaler Parameter für Dämpfung und Steifigkeit des Feder-/Dämpfer-Systems. Dabei zeigt sich einerseits, dass sich suboptimale Feder-/Dämpfer-Parameter im unteren Frequenzbereich wesentlich stärker auswirken als im oberen, und andererseits, dass die Steifigkeit der maßgebliche Einflussfaktor auf eine optimale Impulskopplung ist. Eine alleinige adaptronische Beeinflussung der Dämpfungseigenschaften ist daher nicht sinnvoll. Die experimentelle Überprüfung der Ergebnisse ist in Vorbereitung.



*CAD-Entwurf des Prüfstandes zur Impulskopplung*

## **4.2.7 Prozessgerechte Bewertung des thermischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen**

**Laufzeit** 05/2003 - 04/2006

**Finanzierung** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

**Bearbeiter** Dr.-Ing. Günter Jungnickel

### **Zielstellung**

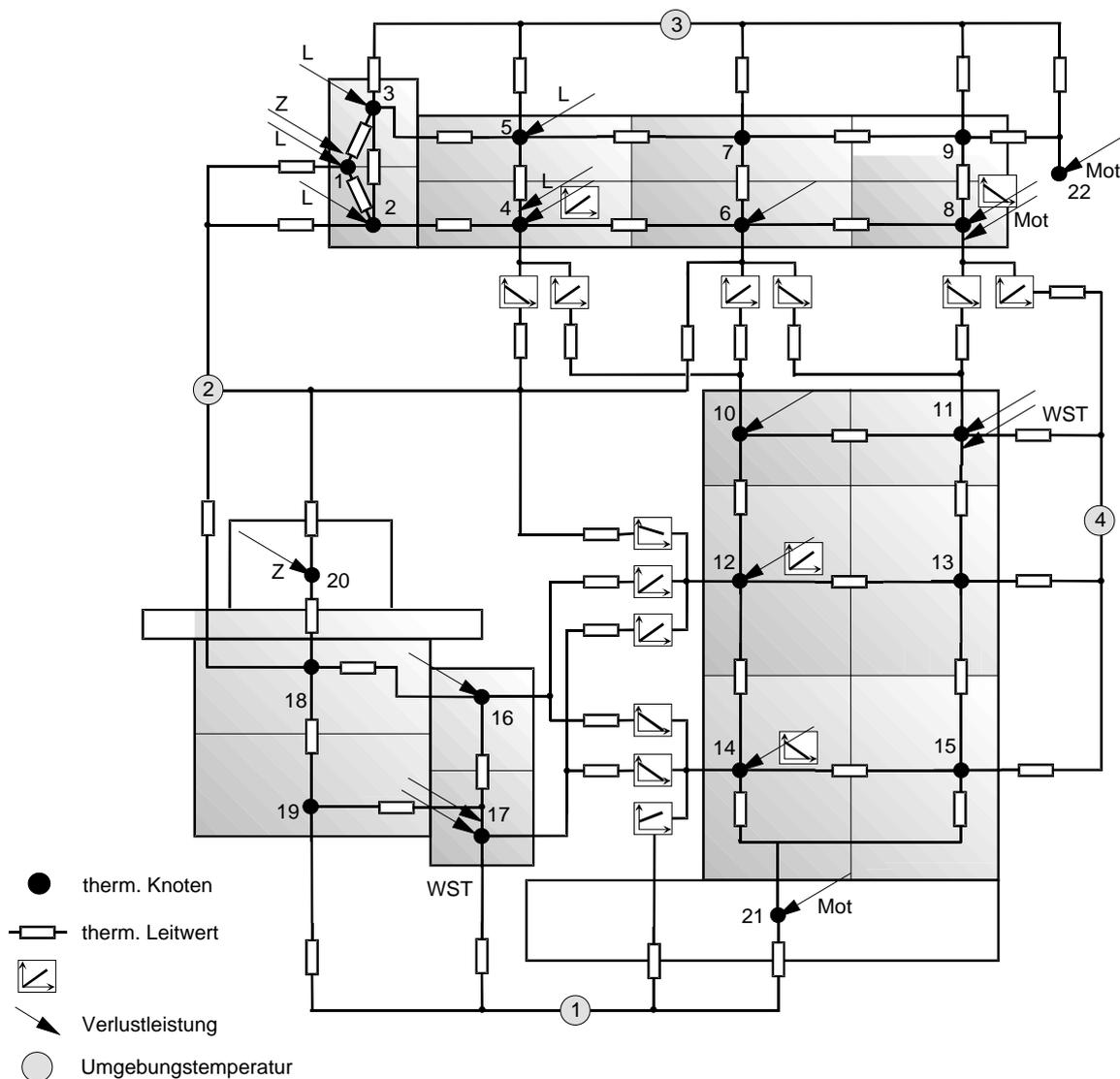
Das thermische Verhalten der Werkzeugmaschine, d. h. die thermisch bedingte Verlagerung des Wirkpunktes (tool center point), wird in der Regel als instationärer Verlauf der Positionsabweichungen und der Neigungsänderungen im Wirkpunkt unter einfachen Last- und Randbedingungen dargestellt. Prüfvorschriften 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 maschinenbezogenen 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. Ziel des Vorhabens ist der Aufbau einer Bewertungsstrategie.

### **Lösungsweg**

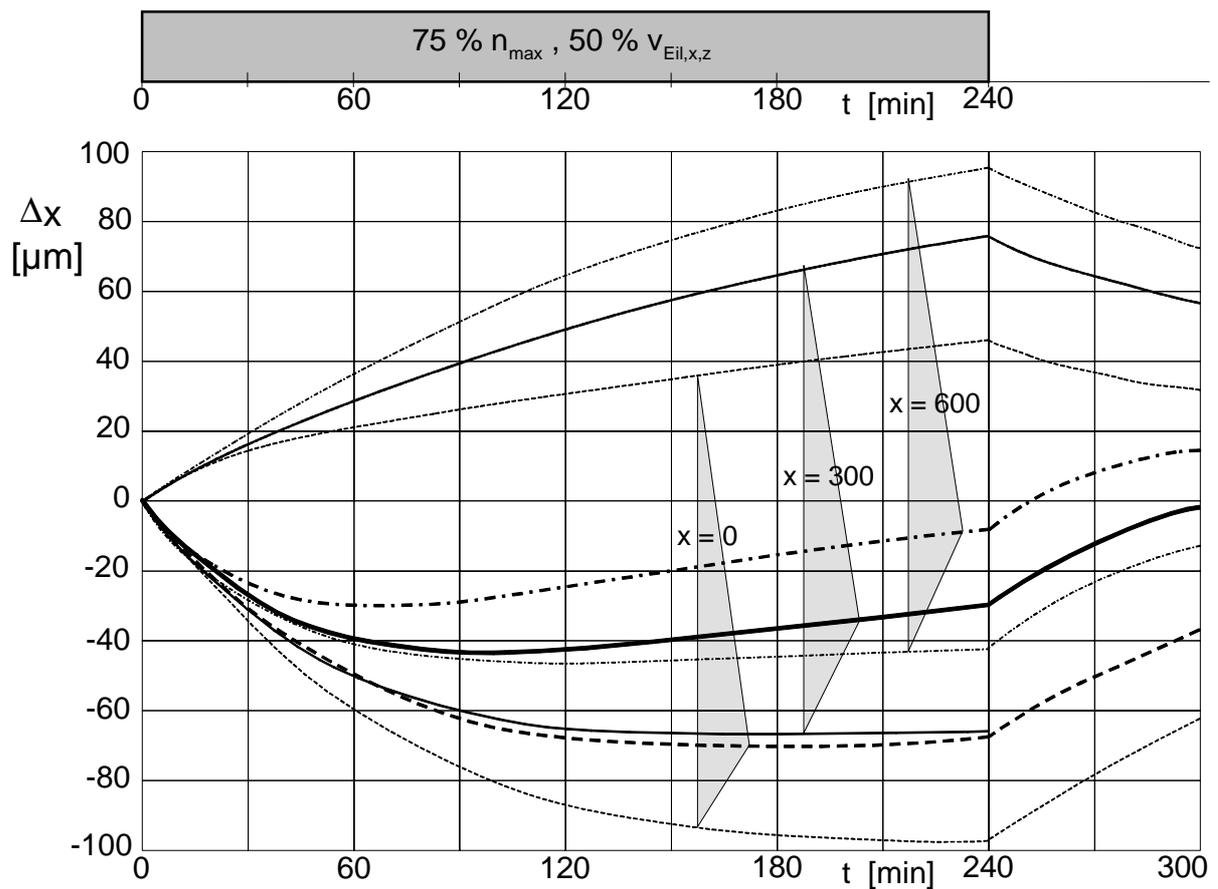
Die Aufgabe lässt sich effektiv nur mittels Simulation bearbeiten anhand einer "virtuellen" Werkzeugmaschine mit "virtuellem" Fertigungsprozess. Dazu ist das Knotenpunktverfahren mit vereinfachter Verformungsberechnung prädestiniert. Als wesentliche Funktionalität der Werkzeugmaschine ist die Bewegung der Vorschubachsen im Modell als Strukturänderung während der Simulationsrechnung zu berücksichtigen. Der Fertigungsprozess ist realitätsnah abzubilden. Die Auswertung der Wirkpunktabweichungen muss positionsabhängig über dem Arbeitsraum erfolgen. Für den Aufbau eines solchen Simulationsmodells sind geeignete Modellobjekte zu entwickeln, um den Modellierungsaufwand zu senken. Mit dem zu erstellenden Modell steht dann ein Experimentierwerkzeug zur Verfügung, mit dem Detailfragen bearbeitet und auf dem Wege der Reduktion des Datenumfanges Bewertungsstrategien und Kenngrößen aufgebaut und getestet werden können.

## Ergebnisse

In einer ersten Stufe wurden Voruntersuchungen mit einem 2-dimensionalen Modell eines Bearbeitungszentrums (*Bild 1*) vorgenommen. Es zeigte sich, dass neben den instationären lastabhängigen Bedingungen sowohl die Position im Arbeitsraum als auch die thermische Vorgeschichte den Verlauf der Wirkpunktabweichungen wesentlich bestimmen (*Bild 2*). Für eine Bewertung der erreichbaren, durch thermische Einflüsse begrenzten Fertigungsgenauigkeit ist deshalb die Positionsabhängigkeit der Wirkpunktabweichungen einzubeziehen. Die Untersuchungen werden auf 3-dimensionale Modelle erweitert.



*Bild 1: Knotenpunktmodell des Bearbeitungszentrums*



*Bild 2: Abweichung der Wirkpunktlage  $\Delta x$  während der Erwärmung; Streubereich in Abhängigkeit von der  $x$ -Position im Arbeitsraum und von der thermischen Vorgeschichte*

## 4.2.8 Spezielle parallelkinematische Lösungen zur Bearbeitung von Formvollholz-Konstruktionselementen für den Holzbau

<b>Laufzeit</b>	11/2002 - 10/2003
<b>Finanzierung</b>	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – SFB 528
<b>Bearbeiter</b>	Dipl.-Ing. Volker Möbius Dipl.-Ing. Lars Neidhardt MSc. Szabolcs Szatmari Dr.-Ing. Klaus Rehm
<b>Kooperation</b>	TU Dresden, Inst. f. Baukonstruktion und Holzbau TU Dresden, Inst. f. Holz- Und Papiertechnik

### Zielstellung

Als Teilprojekt im Sonderforschungsbereich 528 werden vom Institut für Baukonstruktion und Holzbau der TU Dresden für innovative Konstruktionen im Holzbau neue Formvollholz-Elemente entwickelt. Verfahrensbedingt entstehen die Rohlinge der Versuchsmuster mit rechteckigen Querschnitten, aus denen – funktionell oder architektonisch gewünschte – Formen mit typischerweise gekrümmten Flächen herausgearbeitet werden sollen.

### Lösungsweg

An der bewegten Plattform des Hexapoden Felix wird eine für die Holzbearbeitung geeignete Arbeitsspindel aufgenommen. Der Werkstückrohling wird auf einem einfachen Unterstützungstisch im Hexapoden-Bewegungsbereich befestigt.

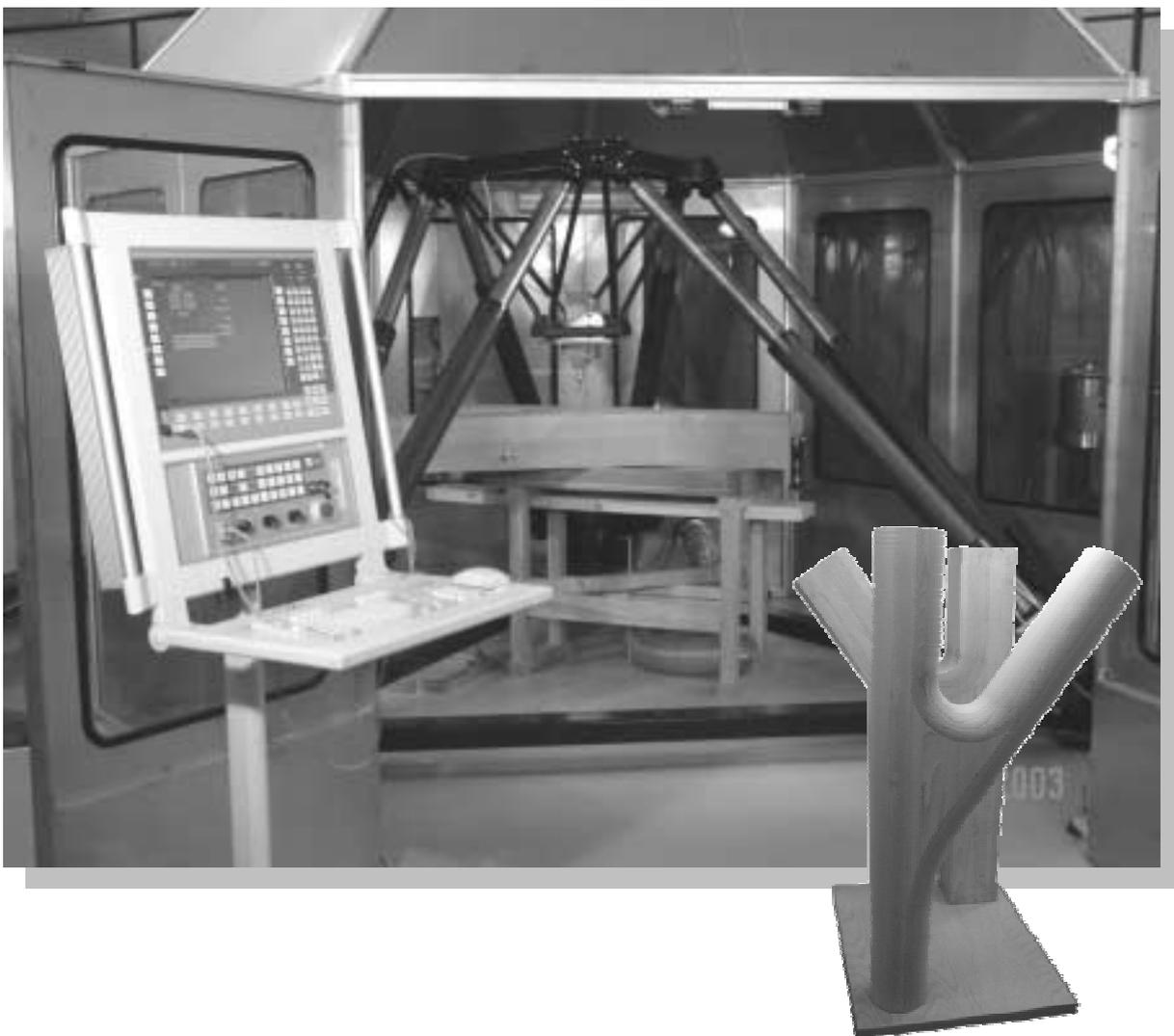
Sowohl die notwendige Bearbeitung aller Seiten als auch die Werkstücklänge machen mehrere unterschiedliche Zuordnungen des Werkstückes zum Werkzeug-Bewegungsbereich notwendig. Die Herstellung der an sich kontinuierlichen Flächen wird deshalb durch Untergliederung in mehrere Teilflächen bei unterschiedlichen Werkstücklagen erreicht. Bei einer veränderten Werkstücklage wird mit Hilfe spezieller werkstückfester Referenzmarken ein dafür geeignetes Referenzierungsverfahren angewandt und die neue Lage des Rohlings im Bewegungsbereich des Hexapoden bestimmt. Unter Nutzung der sechs Freiheitsgrade des Hexapoden wird die Bewegung

bestimmende Werkzeug-Koordinatensystem in die neue Zuordnung zum Werkstück-Koordinatensystem transformiert.

## Ergebnisse

Die ausgewählte technologische Lösung wurde in der grundsätzlichen Funktionalität und der praktischen Anwendbarkeit in vollem Umfang bestätigt. Die für den SFB 528 benötigten Versuchswerkstücke konnten termingerecht und in guter Qualität bearbeitet und bereitgestellt werden.

Außer der unmittelbaren Problemlösung der anstehenden Bearbeitungsaufgabe wurden grundsätzliche Erkenntnisse zur segmentierten Bearbeitung von kontinuierlichen doppelt gekrümmten Oberflächen an großen Werkstücken gewonnen.



*Referenzierungsvorgang sowie Rohling und bearbeitetes Werkstück*

## 4.2.9 Simulationsgestützte Auslegung und Bewertung adaptiver Zerspanprozessregelungen bei im Arbeitsraum stark veränderlichem Maschinenverhalten

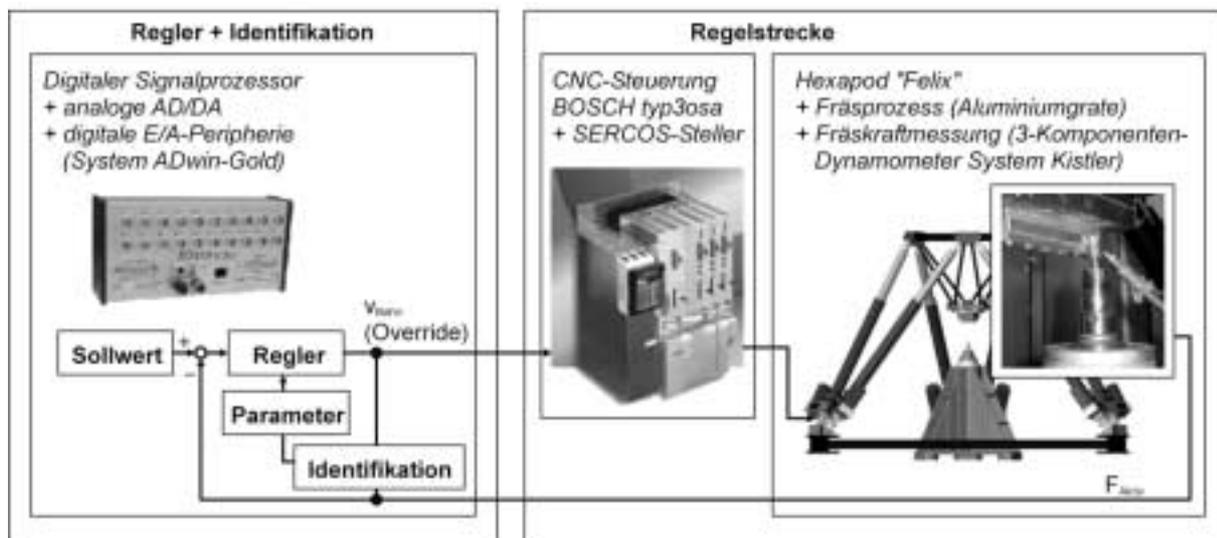
**Laufzeit** 05/2001 - 04/2003, Verlängerung bis 08/2003

**Finanzierung** DFG

**Bearbeiter** Dr.-Ing. Andreas Mühl

### Zielstellung

Das Ziel der Arbeiten bestand darin, Modellgrundlagen für die simulationsgestützte Auslegung von adaptiven Zerspanprozessregelungen auf Maschinenstrukturen mit im Arbeitsraum stark veränderlichen statischen und dynamischen Eigenschaften zu schaffen. Diese Grundlagen wurden am Beispiel der Auslegung einer parameteradaptiven Fräsprozessregelung zur Gewährleistung definierter Kräfte beim Entgraten von Leichtmetall-Gussteilen auf einer Hexapod-Parallelkinematik verifiziert und in ihrer Anwendung demonstriert, *Bild 1*.



*Bild 1: Signalfluss und Gerätetechnik der parameteradaptiven Regelung*

### Lösungsweg

Der modellseitige Lösungsansatz beschreibt das Übertragungsverhalten der Regelstrecke zwischen Bahngeschwindigkeitsvorgabe und entstehenden Fräskräften und geht von dem in *Bild 2* dargestellten Wirkungskreis aus.

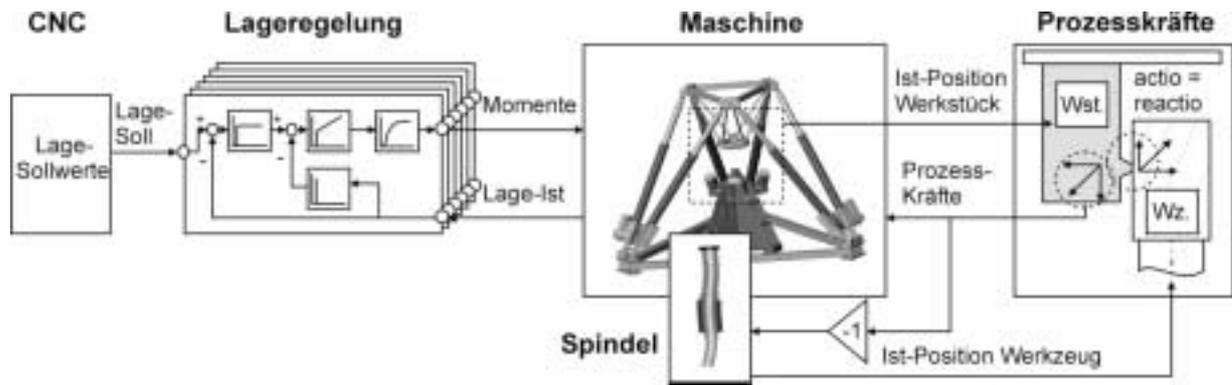


Bild 2: Wirkungskreis des Maschinen- und Prozessverhaltens

Zunächst wurde ein in physikalische Wirkzusammenhänge aufgelöstes parametrisches Streckenmodell entwickelt. Als Modellierungswerkzeug kam zunächst die Co-Simulation zwischen einem MKS-System (MSC.ADAMS) und einer Software zur blockorientierten nichtlinearen digitalen Simulation (MATLAB-Simulink) zum Einsatz. Anschließend wurden ersetzende Beschreibungen des Strecken-Übertragungsverhaltens direkt auf dem für die Regelung vorgesehenen DSP implementiert.

An diesem Modell wurde die ebenfalls auf dem DSP implementierte parameteradaptive Regelung getestet:

- Stellgröße: Bahngeschwindigkeit
- Regelgröße: Fräskraft
- Regler: adaptive DeadBeat- und PID-Regler.

Im letzten Schritt erfolgte die Anbindung des DSP an die CNC-Steuerung der Maschine sowie der Test und das Tuning der Regelung am realen Fräsprozess.

## Ergebnisse

Im Ergebnis wurde eine parameteradaptive Regelung für das durch Fräsen erfolgende Entgraten von Leichtmetall-Guss mit a-priori unbekanntem Gratquerschnitt entwickelt. Gemessene Graphen der Regelgröße, der Stellgröße sowie der online identifizierten Parameter des Streckenübertragungsverhaltens Zeitkonstante und Verstärkung zeigt Bild 3.

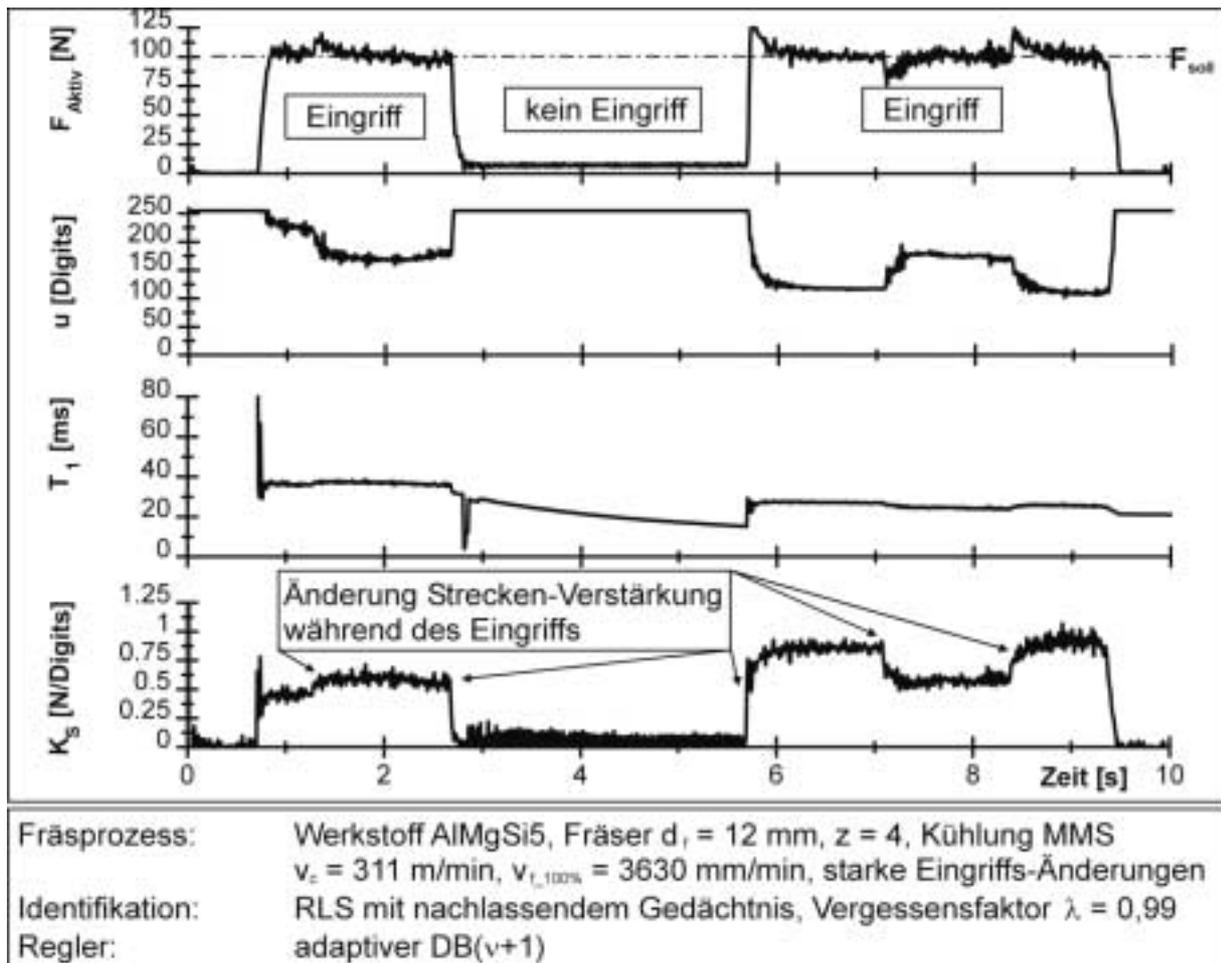


Bild 3: Geregelt Fräsen mit einem optimierten adaptiven DB( $v+1$ )-Regler bei mehrfacher abrupter Änderung im Übertragungsverhalten der Regelstrecke

## 4.2.10 Analyse, Simulation und Korrektur fertigungsrelevanter Eigenschaften an Parallelkinematiken einfacher Bauart

<b>Laufzeit</b>	08/2000 - 07/2001	
	08/2001 - 07/2002	1. Fortsetzung
	08/2002 - 07/2004	2. Fortsetzung
<b>Finanzierung</b>	DFG	
	SPP 1099 Fertigungsmaschinen mit Parallelkinematik	
<b>Bearbeiter</b>	Dipl.-Ing. Bernd Kauschinger	
	Dipl.-Ing. Volker Möbius	
	Dr.-Ing. Holger Arndt	

### Zielstellung

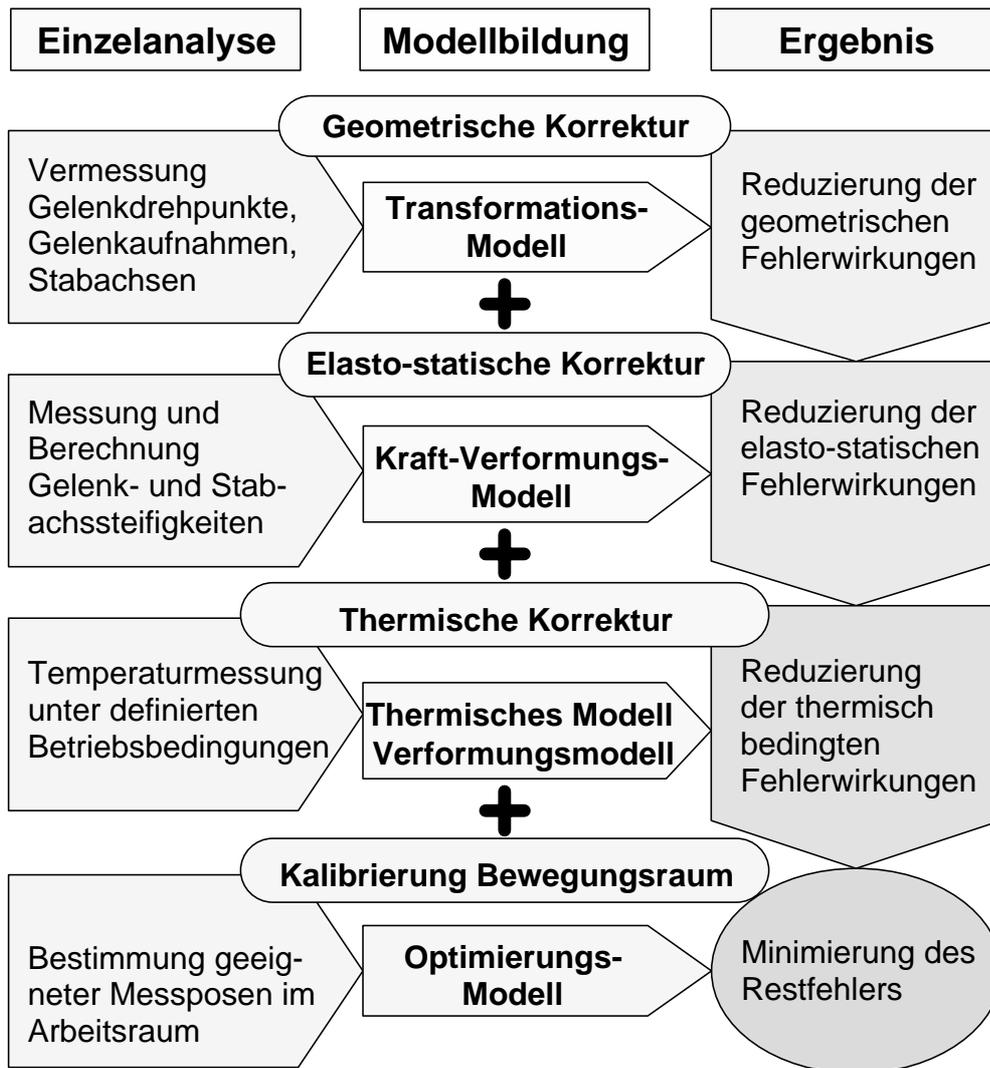
Am Beispiel des am IWM entwickelten Hexapoden "Felix" sollen für Parallelkinematiken einfacher Bauart Genauigkeitsreserven erschlossen werden. Durch Ermittlung fertigungsrelevanter Eigenschaften und deren Verarbeitung in erweiterten Modellen sowie Simulationen soll die erreichbare Bewegungsgenauigkeit durch zusätzliche Korrekturen in der Steuerung preiswert verbessert werden. Diese Analysen erfassen folgende Bereiche:

- geometrische Korrektur,
- elasto-statische Korrektur,
- thermische Korrektur,
- Kalibrierung des Bewegungsraumes.

### Lösungsweg

Im ersten Abschnitt des Projektes konzentrierten sich die Arbeiten auf die geometrische Korrektur und auf die Eigenschaften der Stabachsen als grundlegende Voraussetzung für eine modellseitige Beschreibung des Gesamtsystems. Im zweiten Schritt erfolgte eine kombinierte experimentell-analytische Steifigkeitsuntersuchung von Gelenken und Stabachsen für eine qualifizierte Parametrierung des Kraft-Verformungs-Modells mit Einbeziehung der exemplarischen Steifigkeits- und Spiel-Verläufe sowie Berücksichtigung von poseabhängigen elastostatischen Fehlerwirkungen. In einem dritten Schritt wurde, wie projiziert, ein diskretes thermisches Punkt-Modell für Stabachsen und

Gestell für die zustandsaktuelle Berechnung der Temperaturverteilung und die Berechnung der dadurch bewirkten thermischen Längenänderungen erarbeitet, implementiert und verifiziert. Im letzten Arbeitsabschnitt des Projektes wurden wesentliche Erkenntnisse zur Kalibrierung gewonnen. *Bild 1* zeigt die wichtigsten Bereiche und Arbeitsschritte dieser realisierten Gesamtstrategie.



*Bild 1: Das realisierte Genauigkeitskonzept für den Einfach-Hexapod*

## Ergebnisse

Als Ergebnis des Projektes liegen wichtige Erkenntnisse zu Möglichkeiten und Grenzen der untersuchten Wege zur Genauigkeitssteigerung von Parallelkinematiken solcher Bauart vor. So konnte die Erwartung begründet werden, mit diesen Ansätzen und Methoden effektiv für das angestrebte Einsatzfeld angemessene Genauigkeiten zu erreichen, exemplarisch belegt durch:

- Verbesserung der Positioniergenauigkeit auf einer Geraden von 1.500 mm Länge:
  - Ausgangsabweichung unkorrigiert nach Montage  $>1 \text{ mm}$
  - Nach Kalibrierung und Korrektur  $< 100 \text{ }\mu\text{m}$
- Kreisformabweichung:
  - gemessen mit Double-Ball-Bar  $d = 300 \text{ mm}$   $< 100 \text{ }\mu\text{m}$
- Reduzierung der Fehleranteile durch thermisch bedingte Längenänderungen an der Hexapod-Struktur durch die modellgestützte Korrektur auf ca. 30 %

Neben diesen positiven Ergebnissen wurde aber auch deutlich, dass für eine praktisch unkomplizierte und robuste Kalibrierung noch erhebliche Forschungsleistungen zu erbringen sind. Ebenso sind für die Steuerungen Forschungspotenziale und Arbeiten der Hersteller notwendig, da gegenwärtig das Einbinden und Verarbeiten von Korrekturmodellen nicht ausreichend unterstützt wird.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Thema den angestrebten wichtigen Zuwachs in den Grundlagen für Hexapoden einfacher Bauart erbracht hat und damit die Basis für eine zukünftige breitere Anwendung begründet.

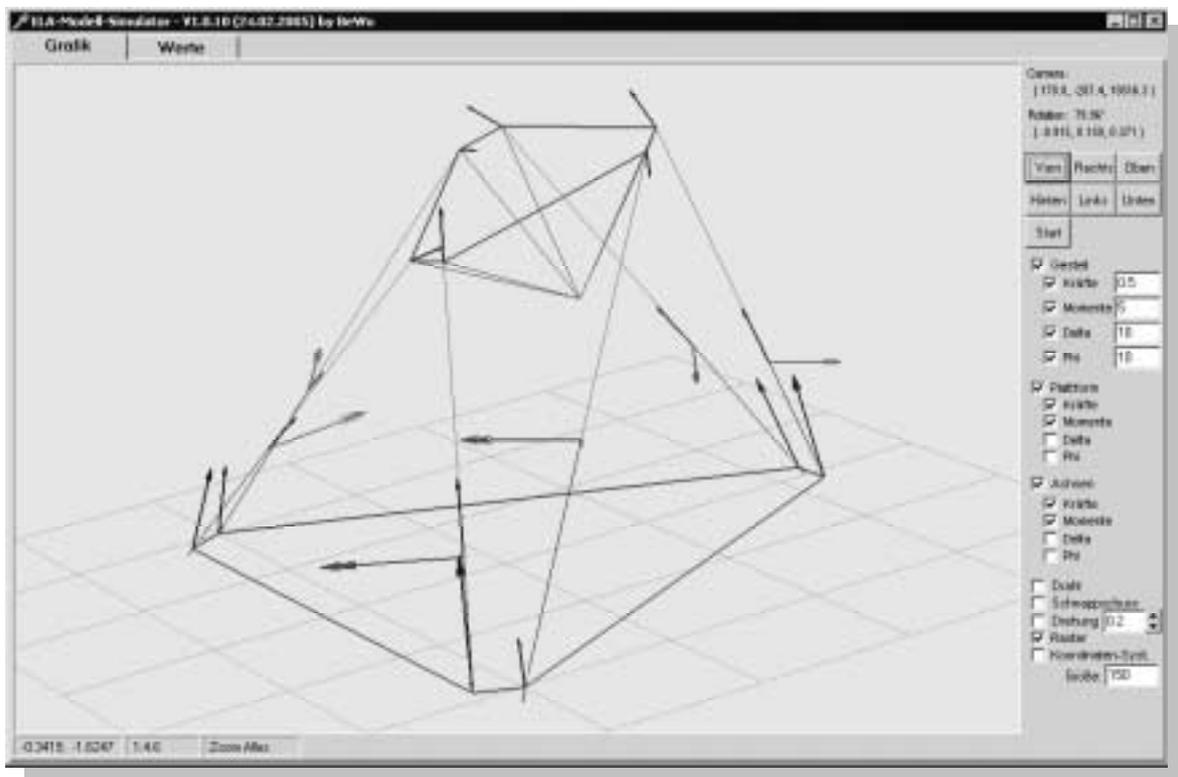


Bild 2: Kraftmodell zur Korrektur elasto-statischer Fehler

## **4.2.11 Instationäres thermoelastisches Verhalten von Vorschubachsen mit bewegtem Wälzkontakt**

**Laufzeit** 10/1999 - 09/2003

**Finanzierung** DFG

**Bearbeiter** Dr.-Ing. Holger Arndt  
Dr.-Ing. Günter Jungnickel

### **Zielstellung**

Translatorische Vorschubachsen in Werkzeugmaschinen werden vorwiegend mit Kugelgewindetrieben aufgebaut. Die Kugelgewindetriebe sind wesentliche Wärmequellen und beeinflussen somit das thermische Verhalten der Maschine. In Verbindung mit einer indirekten Wegmessung bestimmen sie entscheidend die Positioniergenauigkeit der Achse; das Reibungs- und Steifeverhalten bestimmt die Bewegungsqualität. Die Größen Reibung, Steife und Wärmeübertragungsvermögen sind über die Vorspannung des Wälzkontaktes gekoppelt und hängen damit von der Temperatur ab.

Ziel des Vorhabens ist die simulative Abbildung dieser komplexen Zusammenhänge und ihrer Auswirkungen auf die Genauigkeit von Vorschubachsen mit Kugelgewindetrieb für vergleichende Untersuchungen. Die Ergebnisse dienen einer verbesserten Vorhersage des thermischen Verhaltens mittels Simulation sowie der modellbasierten Korrektur thermischer Fehler in Werkzeugmaschinen.

### **Lösungsweg**

Die Untersuchung des thermischen Verhaltens von Vorschubachsen mit Kugelgewindetrieb in den unterschiedlichsten Konfigurationen und Einsatzfällen, eine Einflussanalyse wesentlicher Gestaltungsparameter und die Ableitung von Konstruktionshinweisen erfordert die Einbeziehung der Simulation. Die Modelle zur thermischen Simulation müssen die Temperatur-, Geschwindigkeits- und Belastungsabhängigkeiten der Verlustleistungen und Parameter sowie Änderungen der Modellstruktur berücksichtigen, wie sie sich beim Verfahren der Vorschubachse ergeben. Die Modelle sind um die thermische und elastische Verformungsberechnung, die Steifeermittlung und um Aussagen zur Genauigkeit der Achse zu erweitern. Zum Aufbau solcher

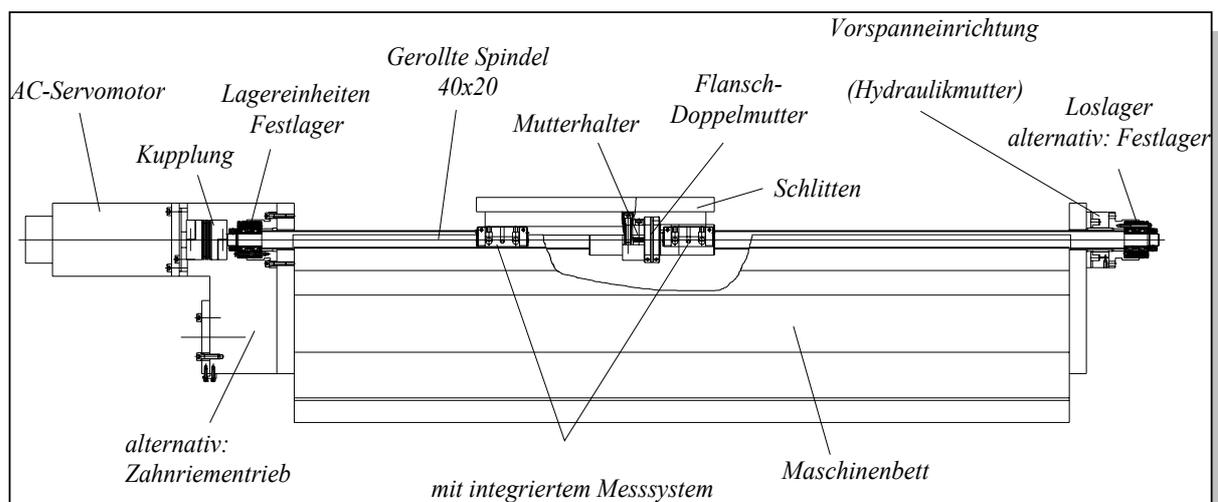
Modelle sind viele Einzelfragen zu lösen. Die erarbeiteten Ansätze werden versuchstechnisch überprüft.

## Ergebnisse

In der ersten Phase des Forschungsvorhabens wurden elementare und einfach parametrierbare Modellansätze zur Reibungs- bzw. Verlustleistungsentstehung und Wärmeübertragung am Wälzkontakt aufgebaut und durch Versuche an einem Wälzlager-Prüfstand bestätigt. Daraus ließen sich entsprechende Beziehungen für den Kugelgewindetrieb ableiten.

Für deren Überprüfung und für allgemeine Untersuchungen wurde ein spezieller Vorschubachs-Prüfstand nach *Bild 1* entwickelt. Der Prüfstand besitzt integrierte Messmöglichkeiten und erlaubt den Aufbau unterschiedlicher konstruktiver Ausführungen der Achse sowie die Einstellung verschiedener Parameter. Die Validierung von Modellparametern erfolgt anhand eines Versuchstandmodells, welches entsprechend den Versuchsabläufen betrieben wird.

*Bild 2* zeigt das zugehörige thermische Knotenpunktmodell. Dieses Modell bildet die Grundlage für den Aufbau eines verallgemeinerten und umfassenden Simulationsmodells für Vorschubachsen mit Kugelgewindetrieb für die geplanten Untersuchungen. Dieses Modell wird konfigurierbar und entsprechend den Kenngrößen von Kugelgewindetrieben parametrierbar ausgeführt.



*Bild 1: Vorschubachsprüfstand mit Kugelgewindetrieb*

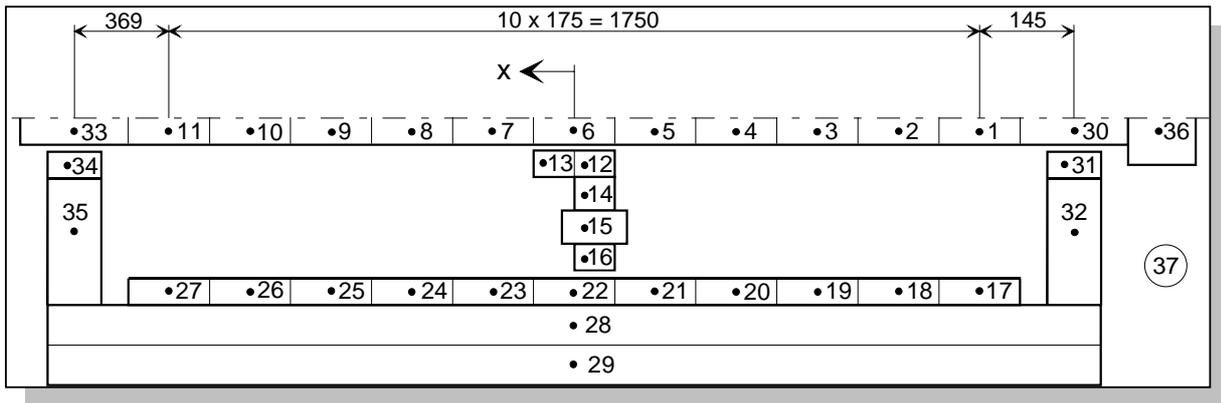
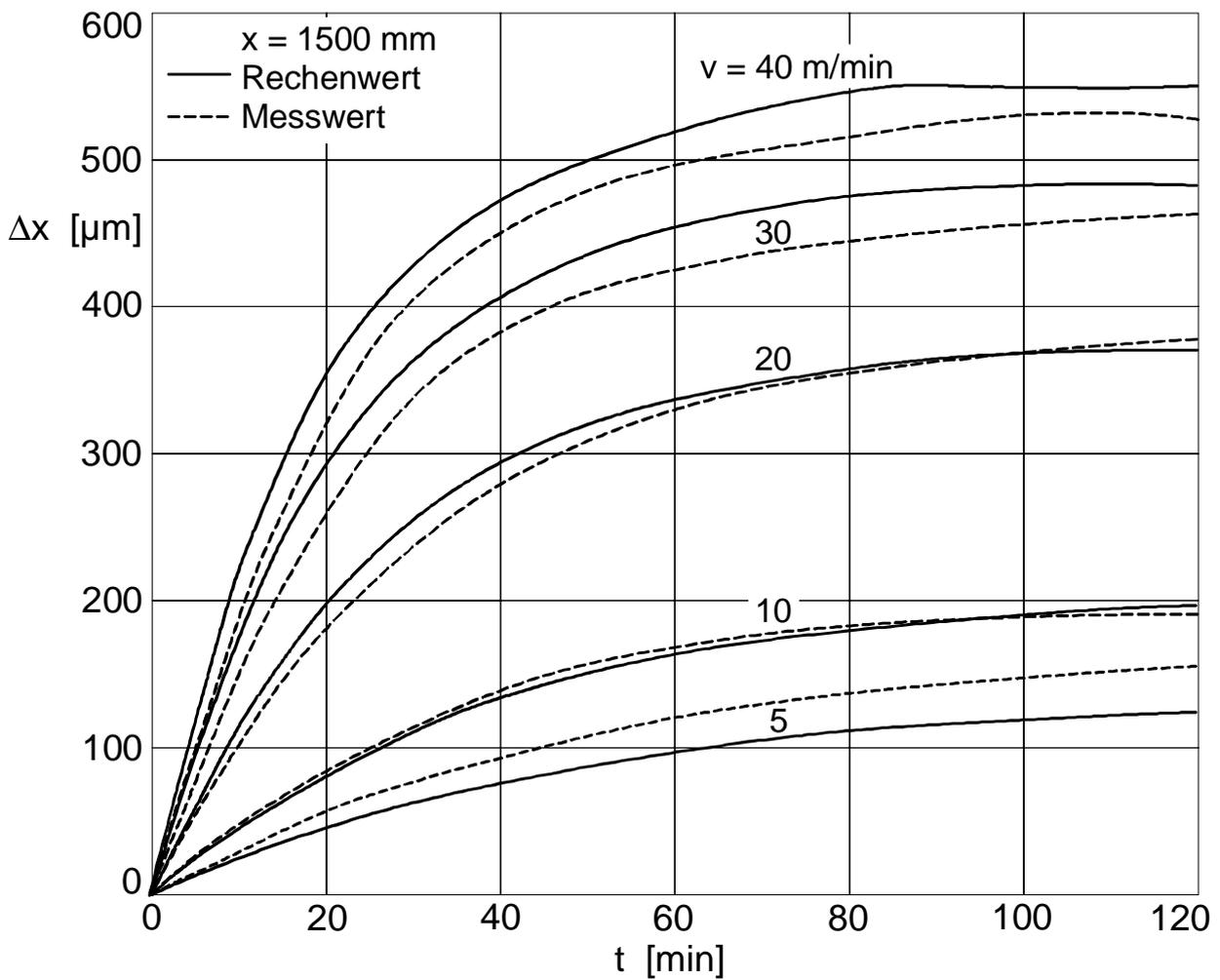


Bild 2: Knotenpunktmodell des Vorschubachsprüfstandes



Vergleich von Mess- und Rechenwerten für den Vorschubachsprüfstand: Verschiebung  $\Delta x$  in loslagerseitiger Endlage für Fest-Los-Lagerung

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

**Laufzeit**            10/2004 - 09/2006

**Finanzierung**      AiF; PRO INNO II  
Kooperationsprojekt "Entwicklung einer technologischen 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**      Dr. Mader Maschinenbau 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:

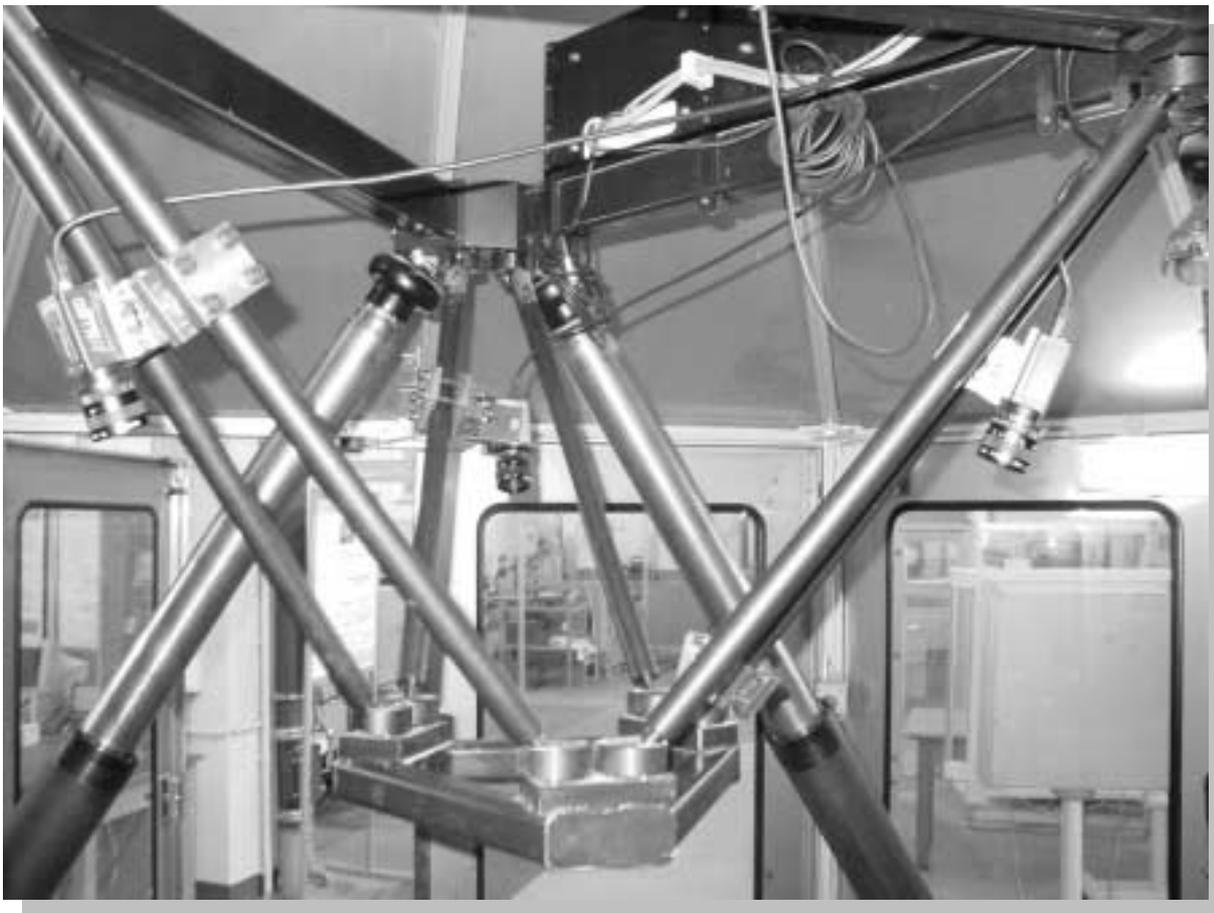
- Geeignete funktionell-konstruktive Gestaltungen für Anordnung und Struktur der Elemente des Hexapoden und der benötigten Funktionskomponenten

- 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.

## Ergebnisse

Mit der Themenbearbeitung wurde am Ende des Berichtszeitraumes begonnen. Es liegen erste Arbeitsergebnisse und Erfahrungen zur automatischen Bilderkennung vor.



*Kamera-Anordnung zur Bilderkennung am Hexapoden*

### **4.2.13 Virtuelle Werkzeugeinarbeitung - Vergleichende Bewertung der Simulation von Umformprozessen unter elastischen Randbedingungen**

**Laufzeit** 03/2004 - 04/2006

**Finanzierung** AiF / EFB

**Bearbeiter** Dr.-Ing. Hajo Wiemer

**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 Gemeinschaftsvorhabens mit dem IFKM der TU Dresden besteht 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.

Die zu erweiterten Umformprozessmodelle sollen an einem praxisrelevanten Beispiel, dem ins Virtuelle verlagerten Werkzeugeinarbeitungsprozess, demonstriert werden. Um den in der industriellen Praxis notwendigen Einarbeitungsprozess von Umformwerkzeugen (try out) in die Simulation des Umformprozesses mit einbeziehen zu können, ist für die Modellierung die Berücksichtigung der lokalen sowie der globalen Werkzeugdeformationen unumgänglich.

#### **Lösungsweg**

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

- Berechnung der erweiterten FEM-Prozessmodelle.
- Herstellung und Messung der Referenzwerkstücke in den projektbegleitenden Industrieunternehmen.
- Vergleich der Analyseergebnisse der unterschiedlichen Modellansätze mit den Messergebnissen der Realteile.
- Anwendung zur virtuellen Werkzeugeinarbeitung: Auf der Basis der Ausgangsgeometrie der Werkzeugkonstruktion wird das Simulationsmodell des Umformprozesses mit den elastischen Randbedingungen aus der Presse und dem Werkzeug erstellt und berechnet. Als Fehlerkriterium wird die Geometrie des berechneten Blechteiles mit der Sollgeometrie verglichen. Wird dabei noch kein Gutteil erreicht, wird die Werkzeuggeometrie um die Deformationsanteile korrigiert und der Umformprozess wird mit der korrigierten Werkzeuggeometrie erneut simuliert. Dieser Zyklus wird bis zum Erreichen eines Gutteils durchlaufen. Die Differenz zwischen Ausgangs- und korrigierter Endgeometrie des Werkzeugsatzes sollte der Geometrieänderung bei der Werkzeugeinarbeitung entsprechen (Bild 2).

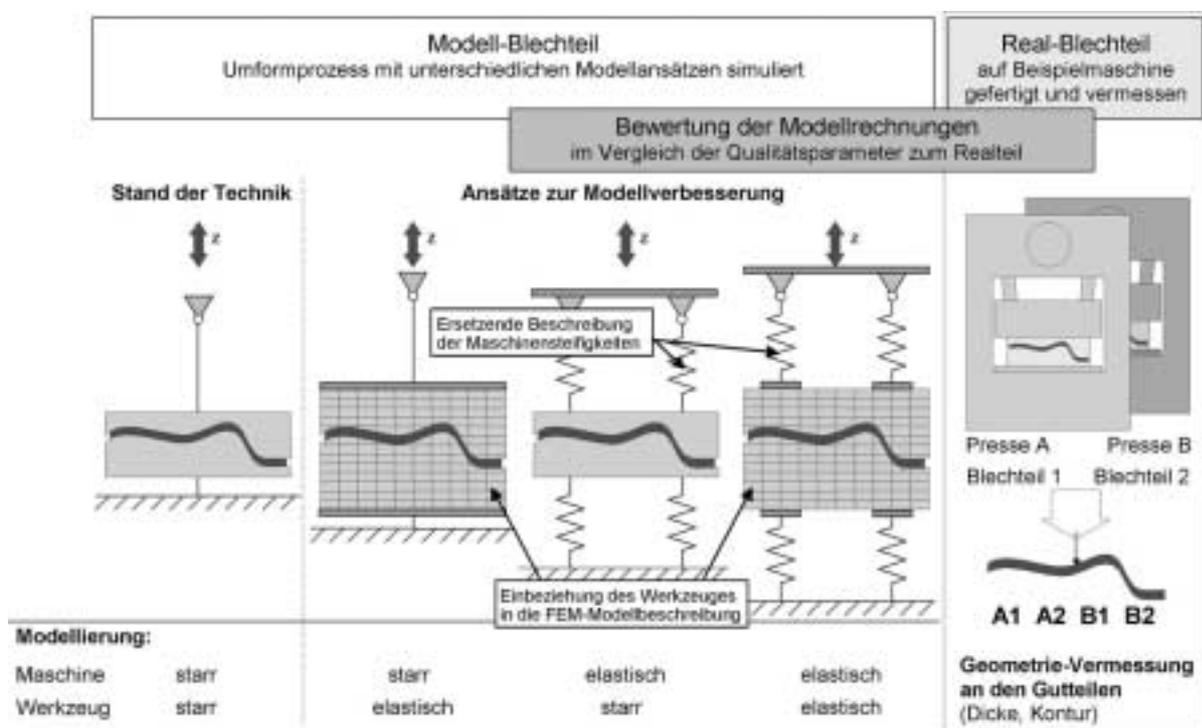


Bild 1: Vorgehensweise bei der Modellbildung des erweiterten FEM-Umformprozessmodells

## Ergebnisse

Im bisherigen Bearbeitungszeitraum wurden verfügbare, kommerzielle Softwarewerkzeuge zur Umformprozesssimulation analysiert und deren Eignung für die Modellierung des oben erläuterten Problems bewertet.

In diesem Zusammenhang wurden für ein akademisches Probewerkstück Prozesssimulationen mit elastischen Werkzeugen durchgeführt, welche die prinzipielle Machbarkeit von mit elastischen Randbedingungen erweiterten Prozessmodellen demonstrierten. Die endgültige Bewertung dieser Ergebnisse ist jedoch erst mit der Übertragung der Modellierungsmethode auf praktische Werkstücke und nach der Einbeziehung der elastischen Maschinenrandbedingungen sinnvoll.

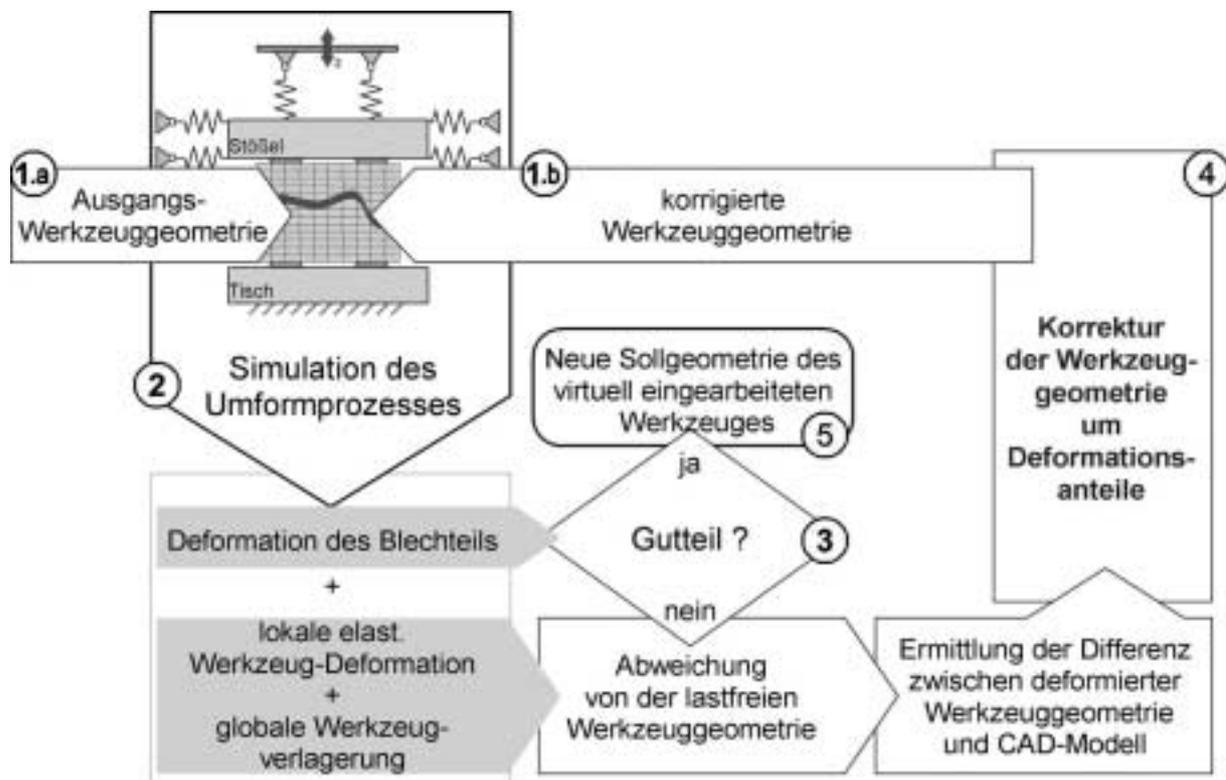


Bild 2: Prinzip der virtuellen Werkzeugeinarbeitung

## 4.2.14 X-Y-lageregelbare Werkzeugaufspannplatte für das Prägen mit führungslosen Werkzeugen

**Laufzeit** 07/2003 - 06/2005

**Finanzierung** AiF / EFB

**Bearbeiter** Dipl.-Ing. Bernd Kauschinger

**Kooperation** Universität Stuttgart, Institut für Umformtechnik

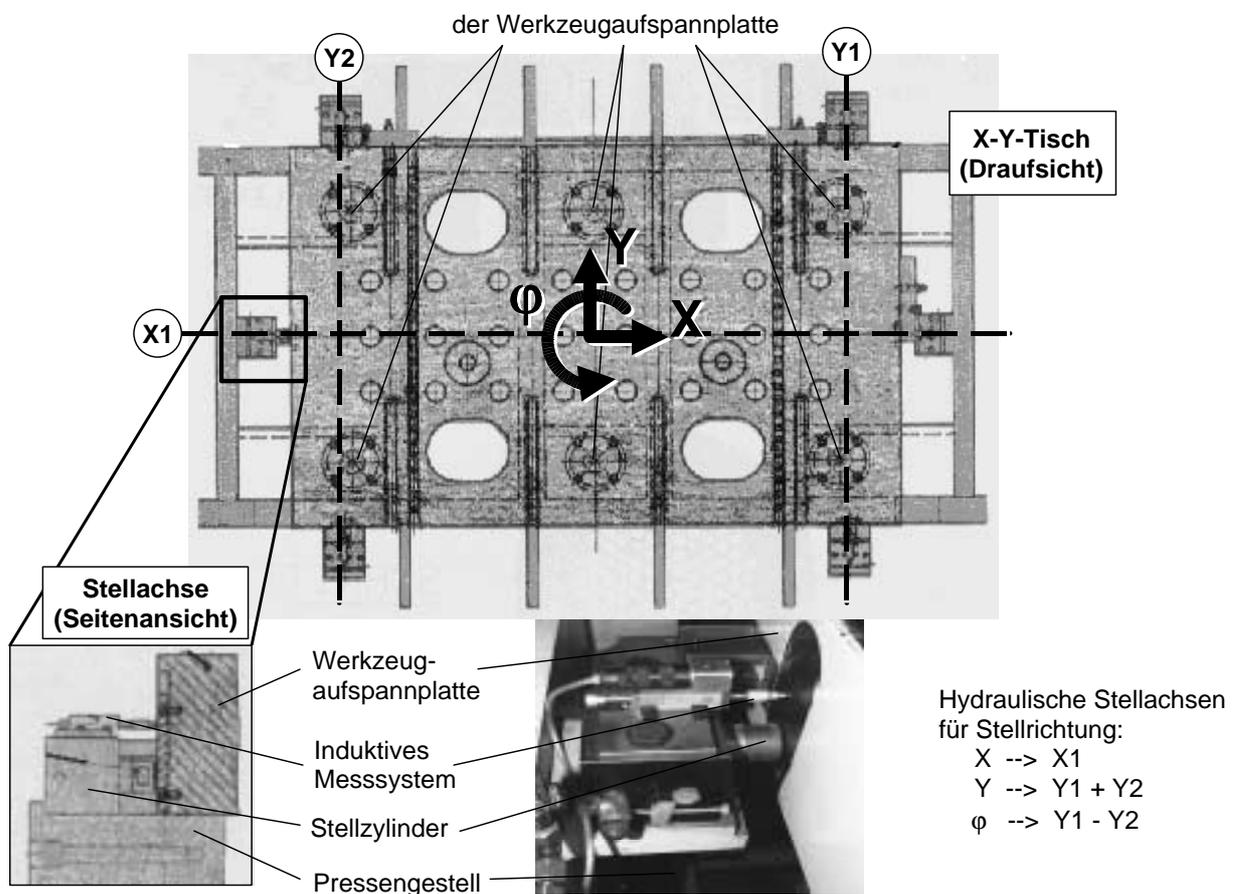
### Zielstellung

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 sollten, 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 wird in Zusammenarbeit mit dem IfU Stuttgart das in einer mechanisch-hydraulischen 3.150 kN Hybridpresse vorhandene Stellsystem weiterentwickelt. Hierzu wird ein geschlossener Regelkreis konzipiert. Die Solllage wird durch Werkstückvermessung mittels Bildverarbeitung ermittelt.

### Lösungsweg

Die Untersuchungen werden beispielhaft für die Besteckprägung von Löffeln durchgeführt. Zuerst werden die möglichen Fehlerarten am Löffel spezifiziert und aufgezeichnet. Ausgehend von einer fehlerfreien Justierung von Ober- und Unterwerkzeug werden durch gezielte Verstellung der verschiebbaren Werkzeugaufspannplatte definierte Fehlervektoren  $\{x, y, \phi\}$  erzeugt und ihre Wirkung am Werkstück (Art,

Ort, Größe) ausgewertet. Darauf aufbauend wird eine Versatzmessung mittels Bildverarbeitung aufgebaut. Aus gemessenen Fehlern am Werkstück werden 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 1: X-Y-lageregelbare Werkzeugaufspannplatte*

## 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 Verfahrensgeschwindigkeit 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.

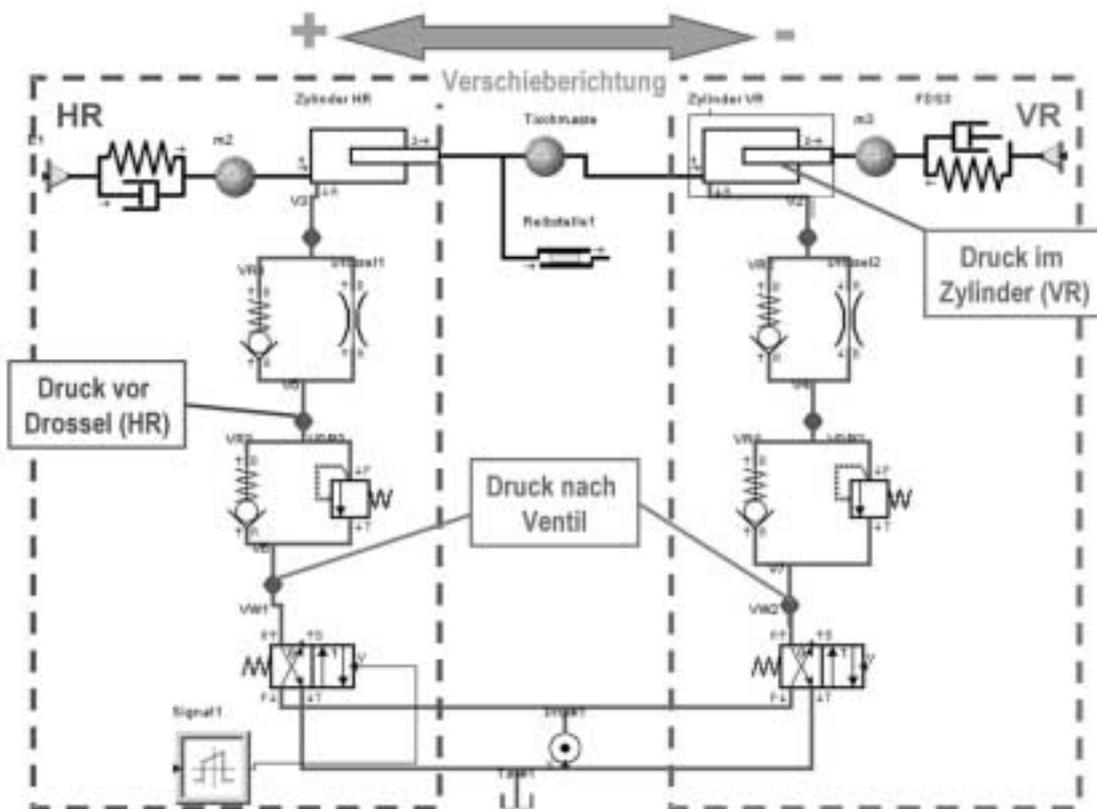


Bild 2: Struktur der hydraulischen Ansteuerung einer Stellachse

## 4.2.15 Modellgestützte Analyse von Pressmaschinen auf Grundlage experimentell verifizierter Parameter

<b>Laufzeit</b>	06/2003 - 11/2005
<b>Finanzierung</b>	AiF / EFB
<b>Bearbeiter</b>	Dr.-Ing. Hajo Wiemer
<b>Kooperation</b>	TU Darmstadt, Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen

### Zielstellung

Das Gemeinschaftsvorhaben mit dem PtU der TU Darmstadt verfolgt 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.

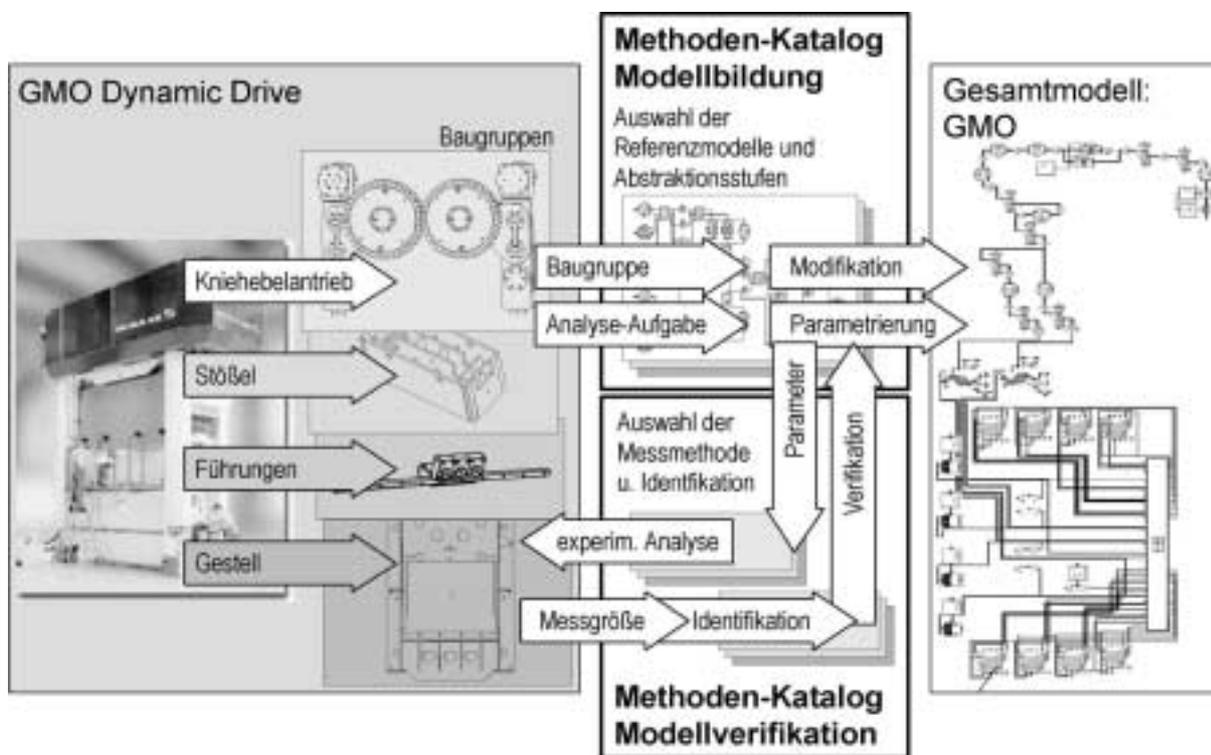
Projektziel ist somit die Entwicklung eines praxistauglichen Analyse-Werkzeuges auf der Basis vorhandener Modellgrundlagen, welches diesen Anforderungen gerecht wird.

### 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 werden folgende Schwerpunkte bearbeitet:

- Anwendung des Modells der Zweistößel-Transferpresse für grundlegende Problemanalysen an Mehrstößel-Transferpressen z. B. im Überlast- und Prozessverhalten.

- Verallgemeinerung der erstellten exemplarischen 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*

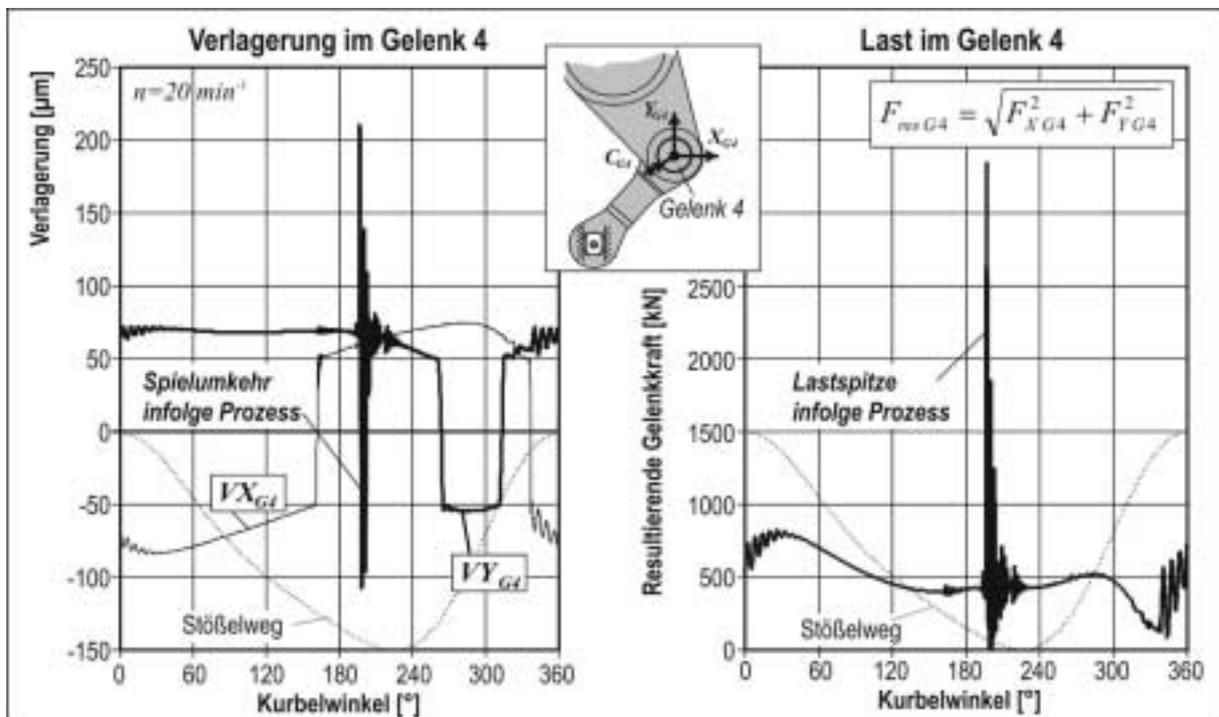
## Ergebnisse

Als aktuelle Zwischenergebnisse 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]*

## 4.2.16 Einsatz von Profilschienenführungen als Stößelführung an Pressen

<b>Laufzeit</b>	10/2001 - 06/2004
<b>Finanzierung</b>	AiF / EFB
<b>Bearbeiter</b>	Dipl.-Ing. Lars Neidhardt
<b>Kooperation</b>	Universität Hannover, Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen

### Zielstellung

Wie in vielen anderen Produktionsbereichen existiert auch in der Umformtechnik der Trend zu genaueren Teilen, um die Anzahl der an der Herstellung beteiligten Fertigungsschritte zu verringern. Infolgedessen wird nach Möglichkeiten gesucht, die Ungenauigkeiten am Werkstück durch Änderungen an der Maschinengestaltung zu verringern. An Umformmaschinen resultieren Werkstückungenauigkeiten unter anderem aus dem Versatz und der Kippung des Pressenstößels. Obwohl spielfreie Stößelführungselemente zu deren Minderung beitragen können, werden zur Stößelführung gegenwärtig größtenteils spielbehaftete Gleitführungen eingesetzt. Die seit kurzem am Markt verfügbaren Profilschienenführungen (PSF) der Baugrößen 100 und 125 sind besonders für den Einsatz unter großen Belastungen und somit auch für den Einsatz in Umformmaschinen geeignet.

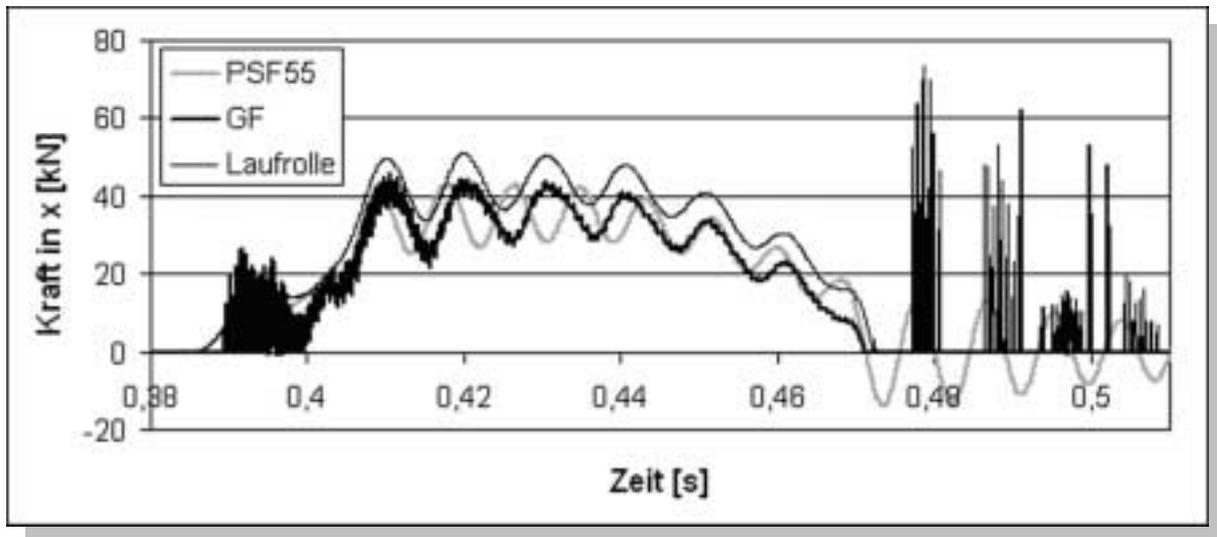
Ziel des Projektes war es, Auslegungskriterien für Profilschienenführungen zum Einsatz in Umformmaschinen zu schaffen und mögliche Genauigkeitserhöhungen durch den Einsatz von PSF nachzuweisen.

### Lösungsweg

Für die Dimensionierung von PSF ist es unerlässlich, die vorliegenden Belastungen an der Führung zu ermitteln. Im konventionellen Umformmaschinenbau erfolgt dies statisch unter Berücksichtigung von, erfahrungsgestützten Sicherheitsfaktoren. Mit Hilfe der Simulation im Zeitbereich ist die Ermittlung von dynamischen Führungsbelastungen an Umformmaschinen bereits in der Konstruktionsphase möglich.

Am IWM wurden Simulationsmodelle erstellt, mit denen sowohl die Führungsbelastungen (*Bild 1*) als auch der Stößelversatz an Umformmaschinen ermittelt werden können. Experimentelle Unter-

suchungen von Referenzmaschinen, durchgeführt vom IFUM der Universität Hannover, dienen zum Abgleich der Simulationsmodelle.



*Bild 1: Prozessbelastung der Führung in x-Richtung bei verschiedenen Führungstypen*

Da nur sehr begrenzte Erfahrungen bezüglich der Lebensdauer von PSF in Umformmaschinen vorliegen, wurden im zweiten Projektteil auf einem, am IWM entwickelten und gefertigten, Versuchsstand Lebensdauerversuche an PSF unter pressentypischer Belastung durchgeführt (*Bild 2*).

## Ergebnisse

Mit Hilfe der erstellten Simulationsmodelle konnte gezeigt werden, dass mit dem Einsatz von PSF als Pressenstoßführung die Genauigkeit im Vergleich zu anderen Führungsarten erhöht werden kann (*Bild 3*).

Wie zu erwarten, wurde im Ergebnis der Lebensdauerversuche festgestellt, dass die nach üblichen Verfahren berechnete Lebensdauer bei pressentypischer Belastung nicht erreicht wird. In der Konsequenz wurde aus den Versuchsdaten ein Korrekturfaktor ermittelt, der für PSF-Dimensionierung verwendet werden kann.

In Verbindung dessen mit der Simulation sowie FEM-Analysen zur thermischen Dehnung und zur Verformung wurde ein Verfahren entwickelt, das die Dimensionierung von PSF bei Berücksichtigung sowohl der Prozess- als auch der Zwangskräfte ermöglicht. Als Alternative wurden Möglichkeiten aufgezeigt, die ohne die FEM und die Simulation zum, wenn auch weniger genauen, Ergebnis führen.

Weiterhin wurde eine einfache Methode zur Versteifung von Rollen-PSF bei der Montage entwickelt, die bei hohen Belastungen durch günstigere Abwälzbedingungen eine Lebensdauererhöhung von bis zu 20 Prozent bewirkt.

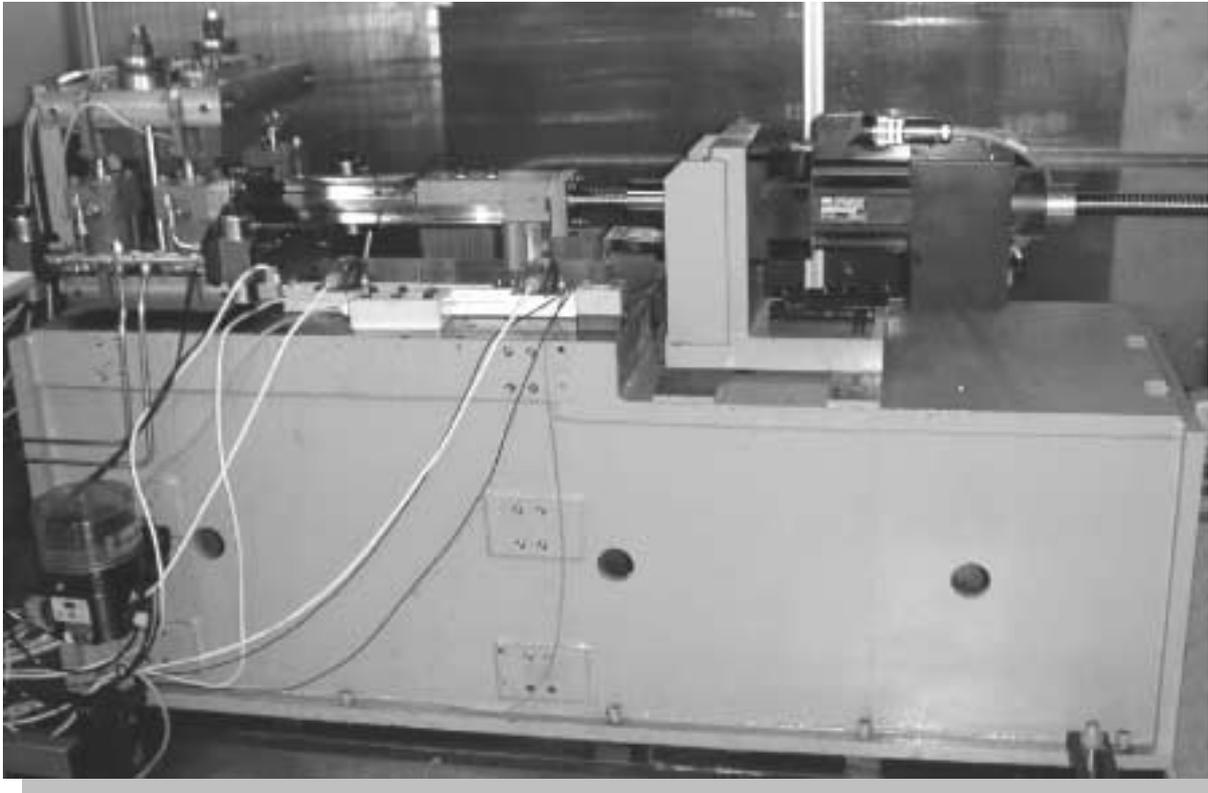


Bild 2: Lebensdauerversuchsstand mit pressentypischer Last

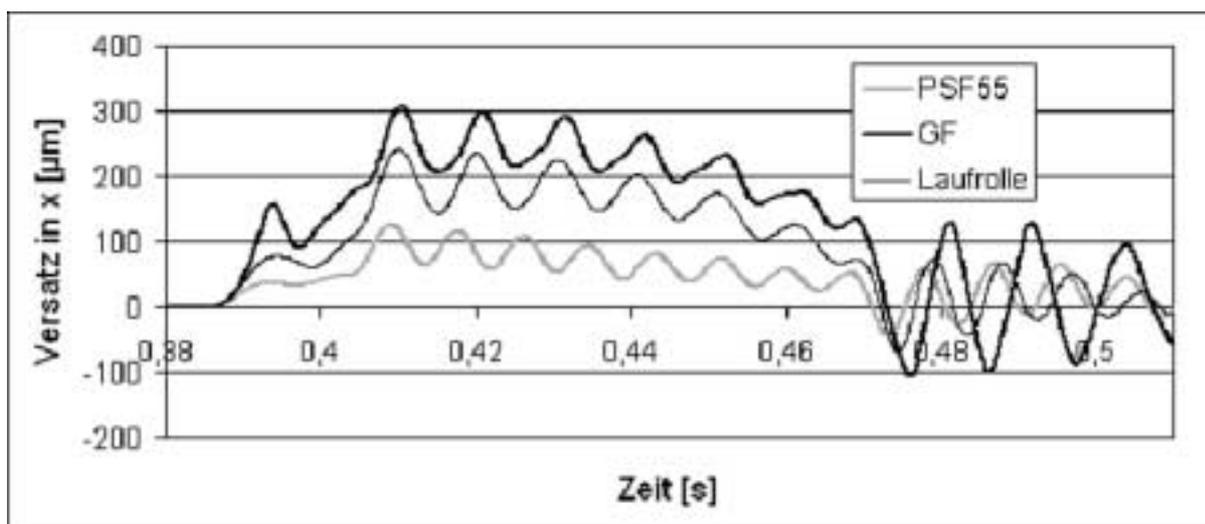


Bild 3:  $x$ -Versatz des Stößels bei verschiedenen Führungstypen über der Zeit

### **4.2.17 Entwicklung und Erprobung eines neuartigen parallelkinematischen Bearbeitungszentrums für Holzformteile**

**Laufzeit** 10/2001 - 09/2003

**Finanzierung** AiF ZUTECH / VTH

**Bearbeiter** Dipl.-Ing. Volker Möbius  
Dipl.-Ing. Bernd Kauschinger  
Dr.-Ing. Holger Arndt  
Dipl.-Ing. Lars Neidhardt

**Kooperation** TU Dresden, Institut für Holz- und Papiertechnik

#### **Zielstellung**

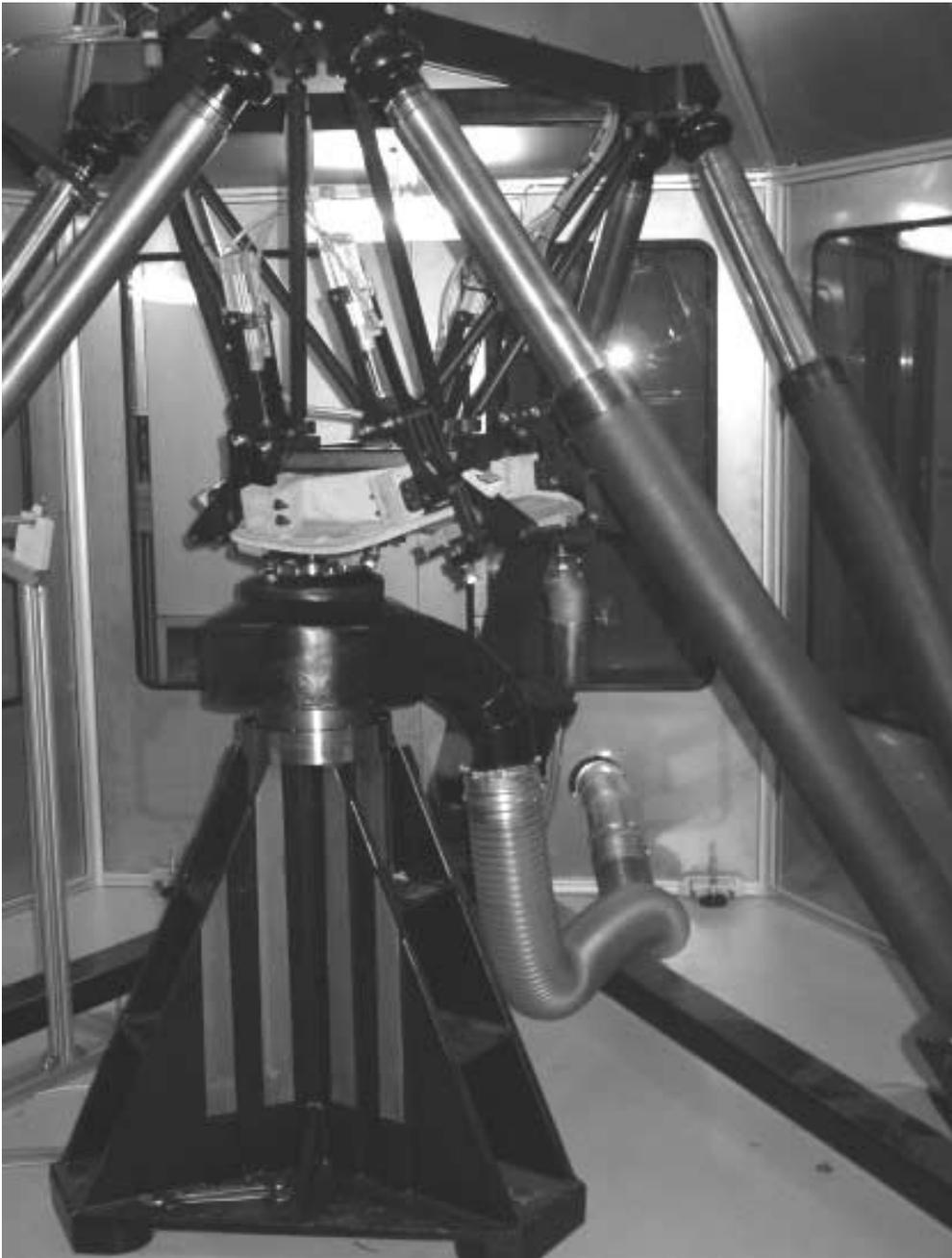
Das Forschungsziel war die Entwicklung eines neuartigen Bearbeitungszentrums für Holzformteile, die prinzipielle Ausarbeitung einer diesen Bedingungen angepassten Technologie und der Nachweis der wichtigsten Eigenschaften an einem Prototypen.

#### **Lösungsweg**

Aufbauend auf am IWM geleistete Vorarbeiten zu Einfach-Parallelkinematiken, vorliegende Forschungsergebnisse und Industriekontakte sollen insbesondere für folgende Aufgaben praxisgerechte Lösungen erarbeitet werden:

- Angemessene funktionell-konstruktive Gestaltungen für Anordnung der Werkzeugspindel und der Werkstückaufnahme.
- Problemgerechte Steuerungsalgorithmen und Steuerungsoberflächen.
- Späne- und Staubabsaugung und Abschirmung des Arbeitsraumes.
- Konstruktion von speziellen Greifern und deren Einbindung in die Steuerung.
- Erarbeitung einer spezifischen Lösung zur Referenzierung der Werkstücklage mit Hilfe optischer Markierungen und Einsatz von Bilderkennung.

Für die Demonstrationsanwendung zur Bearbeitung von Holzformteilen wurde eine Mustertechnologie erarbeitet, getestet und vorgeführt.



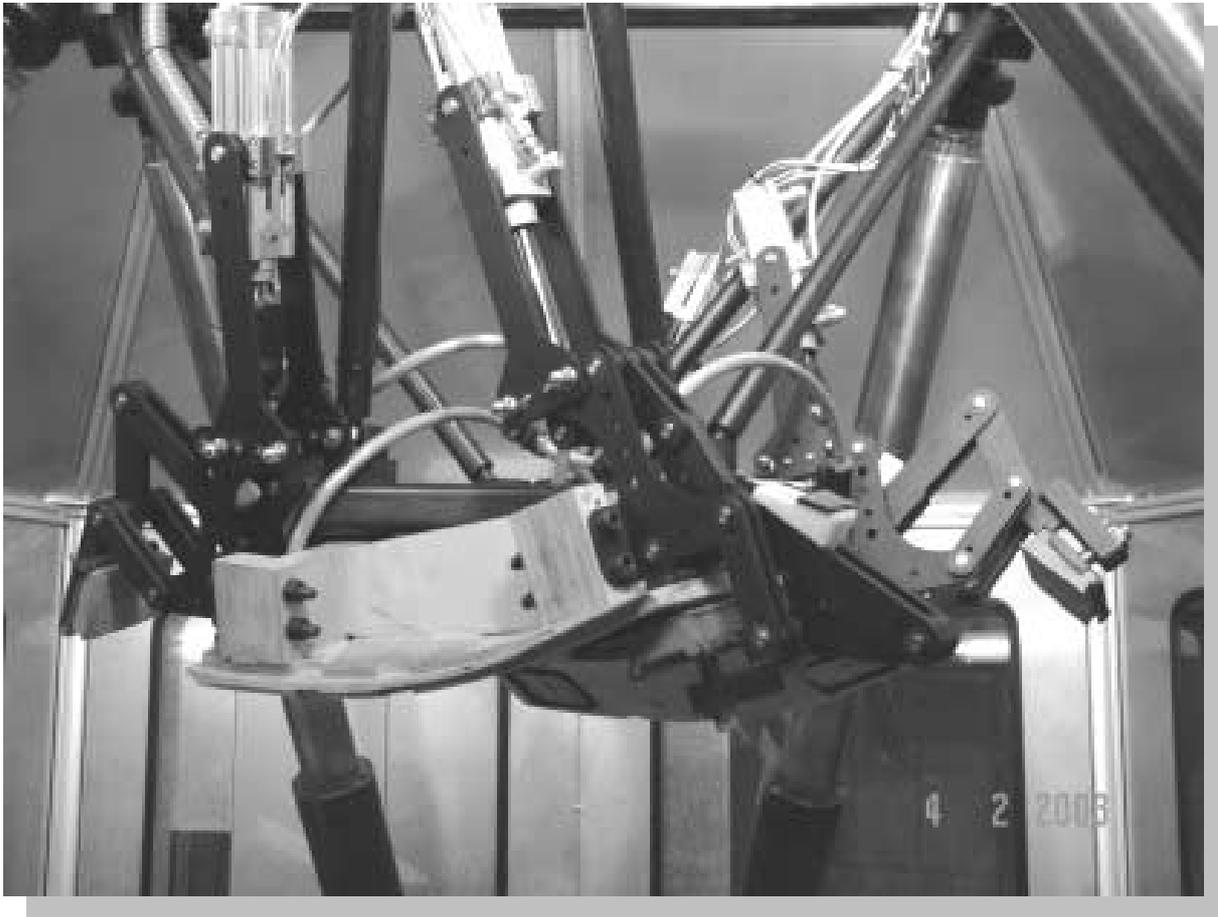
*Bild 1: Bearbeitungszentrum für Holzformteile*

## **Ergebnisse**

Die im Thema gestellten Aufgaben wurden vollständig bearbeitet und zum Themenende vor dem projektbegleitenden Ausschuss mit positivem Ergebnis verteidigt.

Die Ergebnisse zur Produktgestaltung und zur Technologie wurden den Grundsätzen der industriellen Gemeinschaftsforschung entsprechend aufbereitet, veröffentlicht und der Industrie zur Verfügung gestellt.

*Bild 1* zeigt eine Gesamtansicht des Demonstrationsmusters "Bearbeitungszentrum für Holzformteile" mit Umhausung, Absaugung, feststehender Werkzeugspindel und bewegtem Werkstück an der Plattform des Hexapoden, *Bild 2* das für den Demonstrator gewählte Musterwerkstück.



*Bild 2: Intelligentes Greifersystem bei der Holzformteil-Bearbeitung*

## 4.2.18 Ermittlung von Prozessparametern beim Nachschneiden schergeschnittener Konturen

<b>Laufzeit</b>	04/2001 - 03/2003
<b>Finanzierung</b>	AiF / EFB
<b>Bearbeiter</b>	Dr.-Ing. Hajo Wiemer
<b>Kooperation</b>	TU München, Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen

### Zielstellung

Das Gemeinschaftsvorhaben mit dem utg der TU München verfolgt das Ziel, Prozessparameter für eine stabile Anwendung des Verfahrens Nachschneiden zu ermitteln. Nachschneiden ist ein Verfahren, mit dem Werkstücke mit glatten, gratfreien Funktionsflächen in einem Arbeitsgang unter Einsparung von zusätzlichen Produktionsschritten hergestellt werden können. Nachschneidteile werden vorzugsweise auf schnelllaufenden Stanzautomaten mit Hubzahlen bis zu über 1.000 Hübe pro Minute hergestellt. Die hohen Hubfrequenzen haben die Zunahme der Dynamik des Systems Presse-Werkzeug-Prozess zur Folge. Die Realisierung des Nachschneidprozesses ist an sehr kleine Schneidspalte gebunden, die möglicherweise im Bereich der durch die Schwingungen verursachten Werkzeugversätze liegen. Neben den technologischen Parametern wie Schneidspalt oder Schneidzugabe soll deshalb auch der Einfluss der dynamischen Presseneigenschaften untersucht werden, um Verfahrensgrenzen aus der Maschinenteknik zu ermitteln bzw. maschinenverursachte Prozessunstabilitäten zu vermeiden.

### Lösungsweg

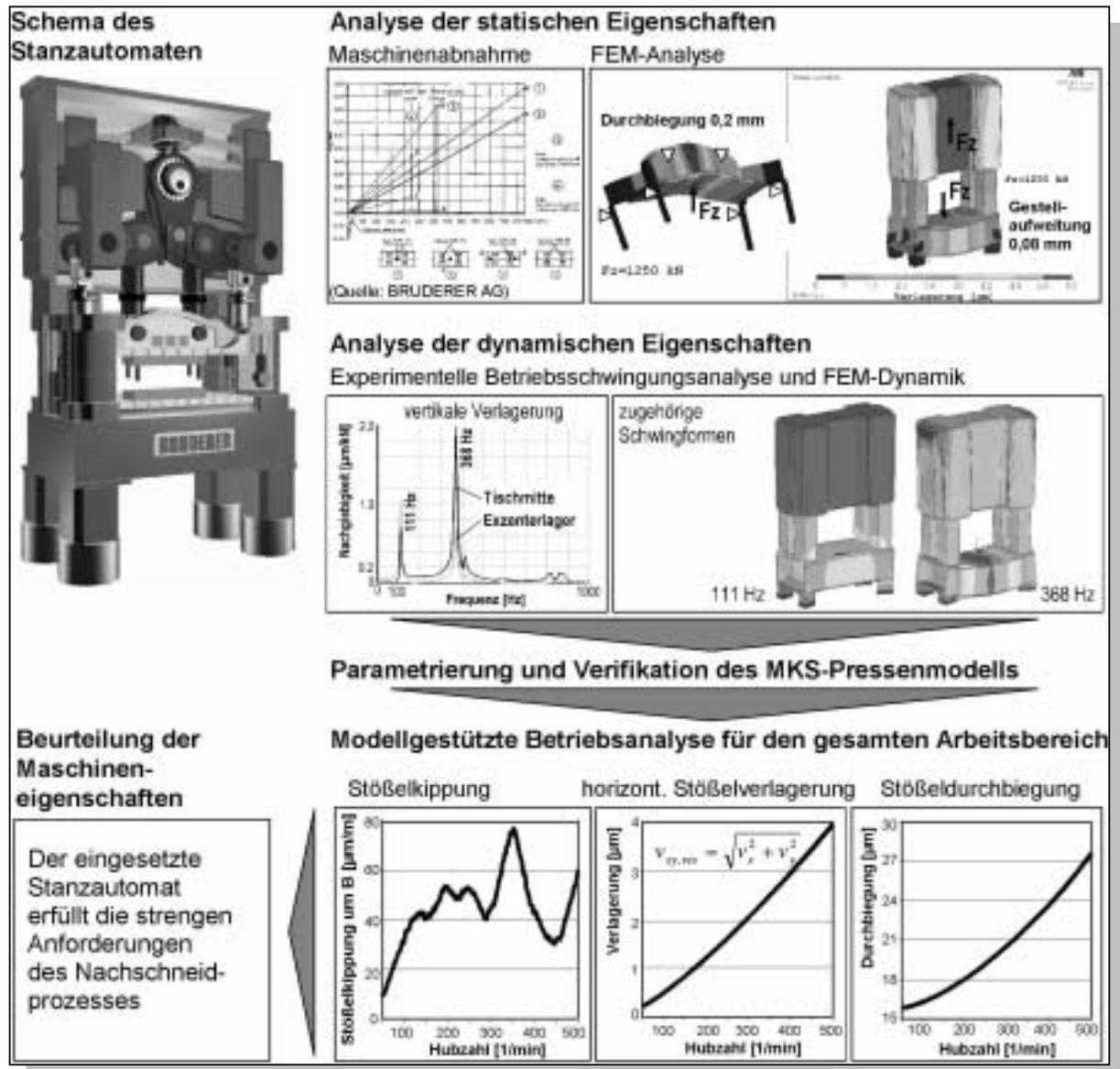
Die Maschinenanalyse wurde in folgendem Arbeitsablauf durchgeführt:

- Experimentelle Untersuchung der Versuchspresse zur Bestimmung der statischen und dynamischen Eigenschaften.
- Modellaufbau für die modellgestützte Maschinenuntersuchung.
- Berechnung der Maschineneinflüsse auf den Schneidspalt.

Im zweiten und dritten Schritt wurde das dynamische Pressenverhalten mittels modellgestützter Untersuchungsmethoden analysiert. Dabei ging es vor allem um die Einflussanalyse der Pressenbaugruppen Führungs- und Dämpfungssystem und des relativ biegeweichen Stößels auf die

Positioniergenauigkeit im Schneidwerkzeug. Die Pressenmodelle wurden für den gesamten Hubzahlbereich berechnet.

- Bewertung der Untersuchungsergebnisse begleitend zu den technologischen Versuchen.
- Schwachstellenanalyse an der Maschine, Erarbeitung und Test von Maßnahmen zur Prozessstabilisierung.



*Vorgehensweise und Projektergebnisse*

**Ergebnisse**

Die Maschinenanalyse zeigte für den untersuchten Nachschneidprozess keinerlei kritische Einflüsse aus dem eingesetzten Stanzautomaten. Auch

die technologischen Untersuchungen stützten dieses Ergebnis. Allerdings betrug die Last aus dem vorliegenden Nachschneidprozess nur ein Zehntel der Pressennennkraft und der Einbau des Werkzeugs gewährleistete einen mittigen Kräfteintrag in den Pressenstößel. In weiteren Modellrechnungen wird das Maschinenverhalten für größere Schneidkräfte sowie außermittigen Werkzeugeinbau analysiert. Trotz der stabilen Durchführung der Nachschneidversuche konnte Optimierungspotenzial bzgl. einer höheren Arbeitsgenauigkeit der Presse identifiziert werden, welches gemeinsam mit dem Pressenhersteller diskutiert wird.

## **4.2.19 Analyse der Werkzeug- und Maschinen- erwärmung während der Anlaufphase von Anlagen der Blechverarbeitung**

**Laufzeit** 07/2000 - 04/2003

**Finanzierung** AiF / EFB

**Bearbeiter** Dr.-Ing. Günter Jungnickel

**Kooperation** Universität Hannover, Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen

### **Zielstellung**

Beim Anlauf von Anlagen der Umformtechnik nach dem Einrichten der Werkzeuge oder nach Unterbrechungen kommt es aufgrund thermischer Einflüsse anfänglich zu Ausschuss. Eine ausreichende Fertigungsstabilität wird erst bei annähernd stationären thermischen Verhältnissen erreicht. Während die statischen und dynamischen Einflüsse an Pressen bereits ausgiebig erforscht worden sind, gibt es für die thermischen Einflüsse bislang keine systematischen Untersuchungen. Ziel des Projektes ist die Entwicklung von konstruktiven Verbesserungsvorschlägen zur Optimierung des thermischen Verhaltens von Umformmaschinen für die Blechverarbeitung, um hierdurch die Wiederanlaufzeit und den damit verbundenen Produktionsausfall zu minimieren.

### **Lösungsweg**

Das Projekt wird versuchstechnisch und durch begleitende Simulationen bearbeitet. Das Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Universität Hannover führt dazu Temperaturmessungen an Pressen unter Produktionsbedingungen, Untersuchungen zu thermischen Einflüssen auf die Werkstückqualität und den Test von Verbesserungsmaßnahmen aus. Parallel dazu werden am Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik (IWM) der TU Dresden thermische Simulationsmodelle von Umformwerkzeug und Presse aufgebaut. Während seitens der Presse die Auswirkung der thermischen Verformungen auf das Werkzeug (z. B. Änderung des Schließspaltes) interessieren, ist werkzeugseitig die Einhaltung des optimalen Temperaturfensters für den Umformprozess und die thermische Verformung (z. B. Änderung des Ziehspaltes) wichtig. Mit den

Simulationsmodellen steht dann ein wirkungsvolles Werkzeug für die Untersuchung grundlegender thermischer Eigenschaften von Werkzeug und Presse zur Verfügung, mit dem verschiedene Lastfälle und zeitliche Belastungsverläufe wie das Anfahrregime bis zum quasistationären Zustand untersucht, die Wirkung verschiedener Maßnahmen wie die Temperierung von Baugruppen vorausbestimmt, Einflussanalysen von Parametern vorgenommen und Optimierungsrechnungen ausgeführt werden können.

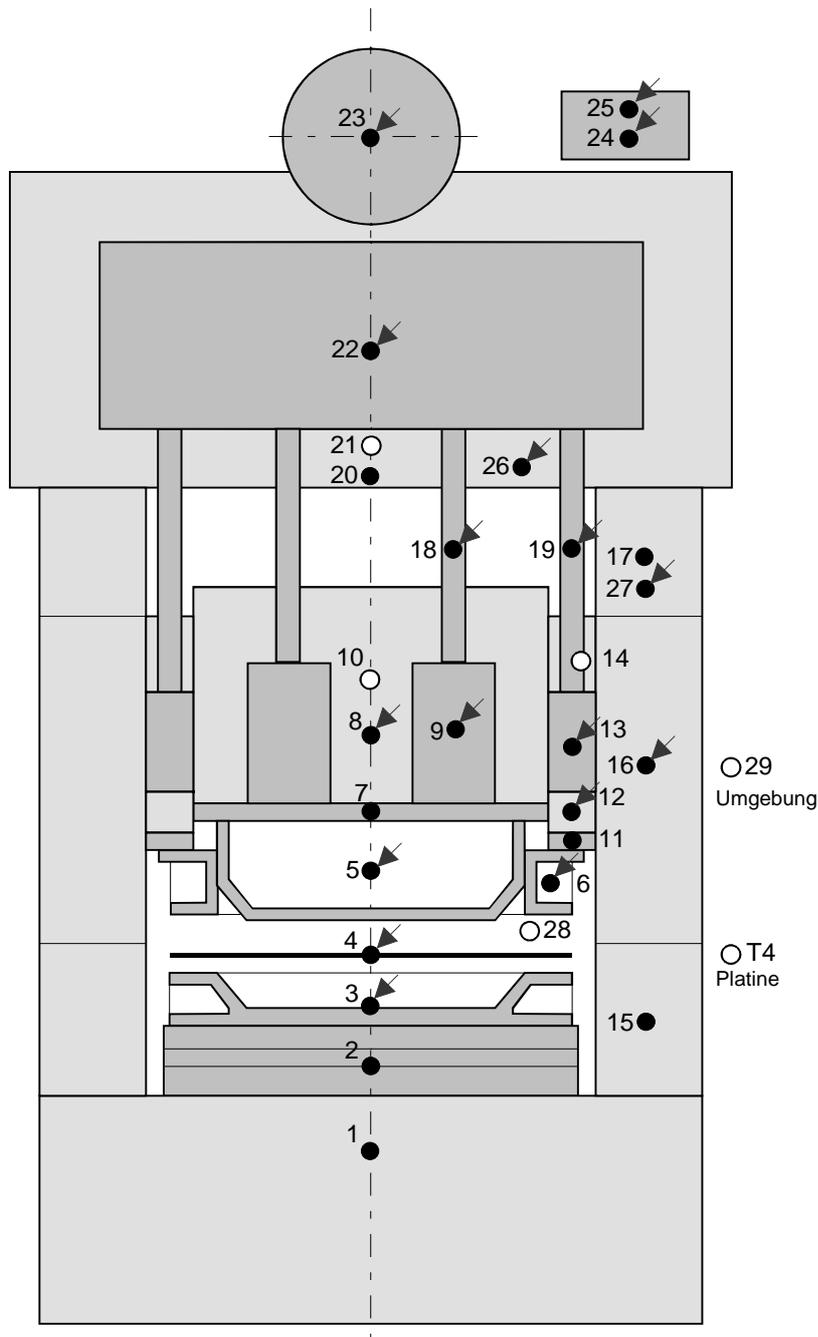
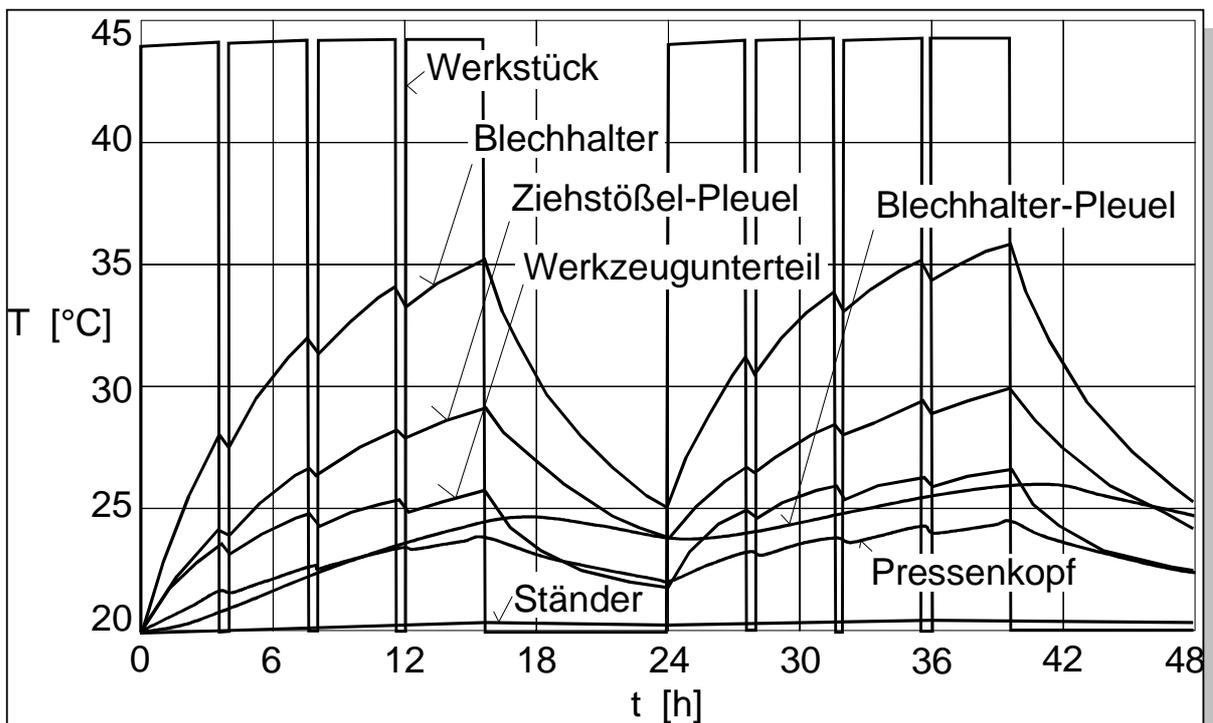


Bild 1: Knotenpunktplan der Tiefziehpresse

## Ergebnisse

Für eine doppelwirkende Tiefziehpresse als Beispiel einer Großanlage wurde das thermische Simulationsmodell aufgebaut (*Bild 1*) und das thermische Verhalten untersucht. *Bild 2* zeigt ein typisches Verhalten beim Anlauf und bei Unterbrechungen. Eine Einflussanalyse der verschiedenen Wärmequellen lieferte die Ansatzpunkte für Verbesserungsmaßnahmen. In einer Vielzahl von Simulationsrechnungen wurde deren Wirksamkeit getestet. Wesentliche Erfolge lassen sich mit der Erweiterung des Durchflusses und der Umgestaltung der Schmierkreisläufe in temperierte Kühlkreisläufe erreichen. Für einen Stufenumformautomaten als Beispiel einer schnelllaufende Presse konnte mittels Simulation nachgewiesen werden, dass die Werkzeugerwärmung auch zu einer wesentlichen thermischen Verformung der Presse führt. Verbesserungen des instationären Verhaltens lassen sich mit einer Temperierung der Werkzeuge und deren Isolation gegenüber der Presse erzielen.



*Bild 2: Pressenanlauf mit Unterbrechungen*

## 4.2.20 Simulationsgestützter Entwurf und anwendungsbezogene Optimierung aktiv magnetisch gelagerter elastischer WZM-Motorspindeln mit nichtlinearer Systemdynamik

**Laufzeit** 10/2002 - 09/2005

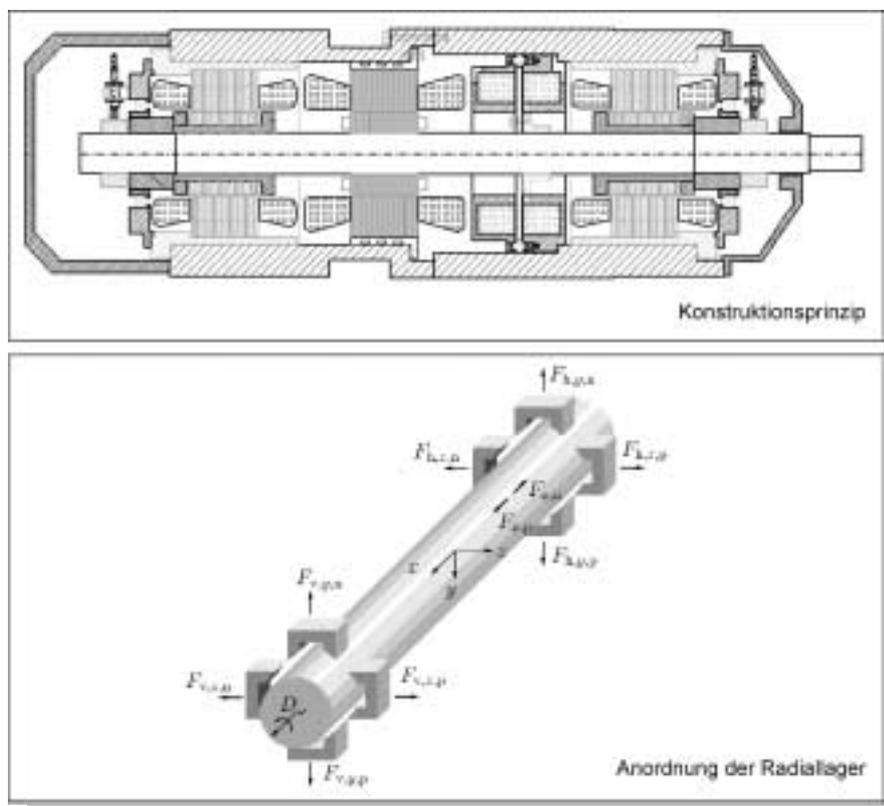
**Finanzierung** VolkswagenStiftung

**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.



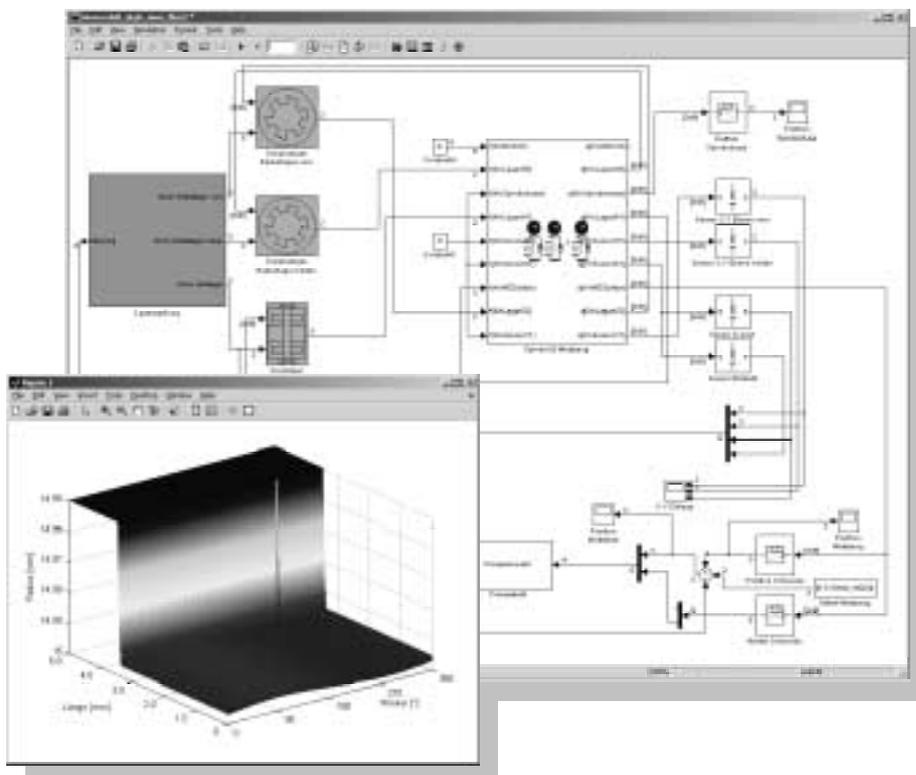
*Aktiv magnetisch gelagerte Spindel*

## 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. Gegenwärtig wird an der Verifizierung der Modelle und an den messtechnischen Untersuchungen am Versuchstand gearbeitet.



*Simulationsmodell der Magnetspindel und Ergebnis der simulierten Oberflächenqualität beim Ausbohren*

## 4.2.21 Erarbeitung von Referenzmodellen für Linear-direktantriebe und Piezostapelaktuatoren

<b>Laufzeit</b>	09/2002 - 04/2003
<b>Finanzierung</b>	Fraunhofer Gesellschaft
<b>Bearbeiter</b>	Dipl.-Ing. Jens Müller Dipl.-Ing. Holger Rudolph

### Zielstellung

Das Ziel besteht zum einen darin, ein herstellerneutrales Referenzmodell für Lineardirektantriebe mit Matlab/Simulink zu erarbeiten, das alle grundlegenden Eigenschaften eines Lineardirektantriebes abbildet, ohne jedoch herstellerspezifische Besonderheiten zu berücksichtigen.

Zum anderen ist ein empirisches Referenzmodell eines Piezostapelaktuators mit Matlab/Simulink aufzubauen, das die grundlegenden Eigenschaften von Piezostapelaktuatoren abbildet. Die Parametrierung soll weitgehend mit üblichen Herstellerangaben möglich sein.

### Lösungsweg

#### *Referenzmodell für Lineardirektantriebe*

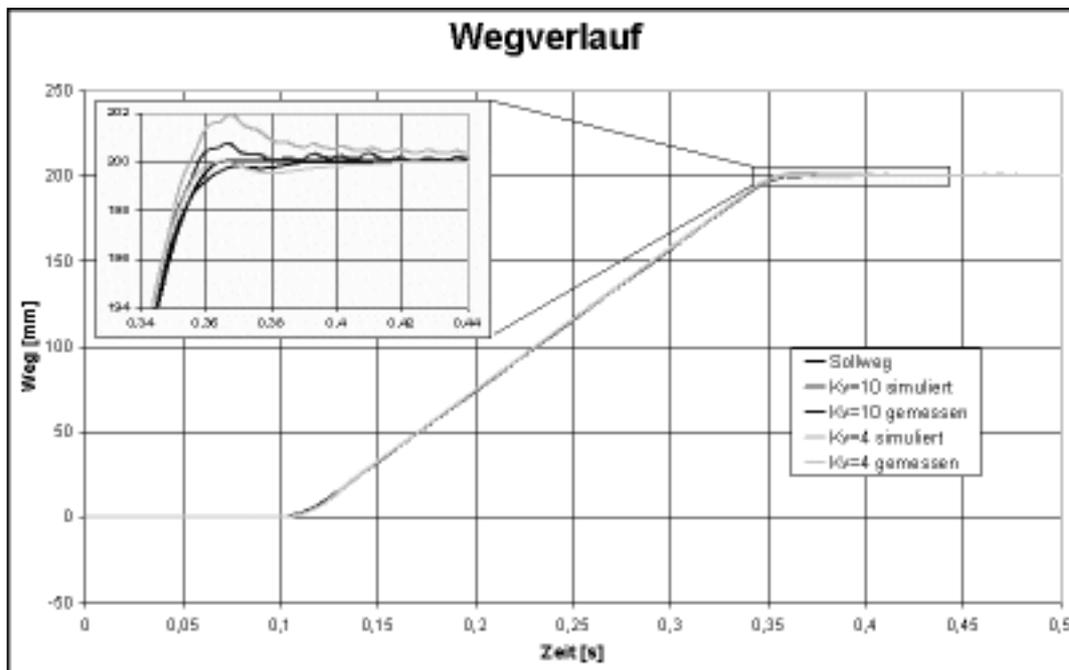
Zur Erstellung des Referenzmodells für Lineardirektantriebe sind zunächst erforderliche Kenndaten und Herstellerangaben zu Linearmotoren und deren Steuerungen zu recherchieren, wichtige Kenndaten herauszufiltern und ggf. Ersatzparameter zu bestimmen. Mit diesen Informationen ist ein Simulationsmodell mit Matlab/Simulink zu erstellen, das die wesentlichen Eigenschaften und Charakteristika aktueller Lineardirektantriebe berücksichtigt, wobei möglichst herstellerspezifische Eigenschaften vernachlässigt bzw. ersetzend beschrieben werden. Die Parametrierung erfolgt weitgehend auf Grundlage von Katalogangaben.

#### *Referenzmodell eines Piezostapelaktuators*

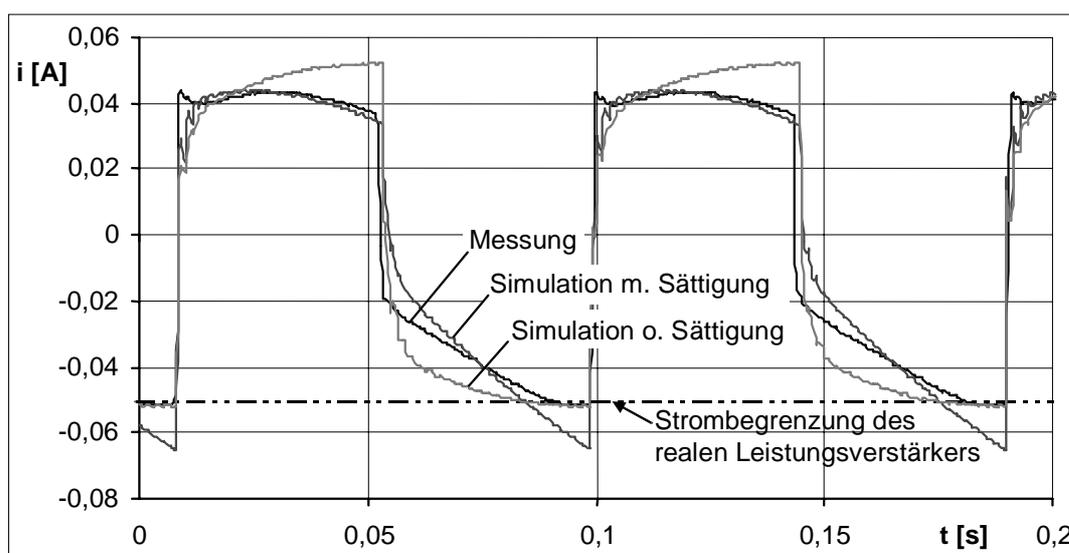
Es ist eine Recherche zum Stand der Technik durchzuführen sowie erforderliche Kenndaten und Herstellerangaben zu beschaffen bzw. zu berechnen. Die elektromechanischen Eigenschaften von Piezostapelaktuatoren sind mathematisch aufzubereiten und aus den gesammelten Informationen ein empirisches Piezo-Simulationsmodell mit Matlab/Simulink zu erstellen.

## Ergebnisse

Die beiden Referenzmodelle wurden wie oben beschrieben erstellt und mittels Herstellerangaben und Messdaten des Linearmotorversuchsstandes TKL 35-440 des IWM sowie von Hochvolt-Piezostapelaktuatoren abgeglichen. Die Simulationsergebnisse wurden anhand von Messdaten verifiziert.



*Folgeverhalten des Lineardirektantriebes: Vergleich von Simulation und Messung bei gleicher Reglerparametrierung*



*Vergleich des gemessenen und simulierten Strombedarfes am Piezoaktor bei periodischer Ansteuerung mit Dreieck-Signal 0...1000 V bei 11 Hz*

## **4.2.22 Belastung von Profilschienenführungen bei Geometriefehlern des Maschinenbetts**

**Laufzeit** 04/2004 – 05/2004

**Finanzierung** Industrie

**Bearbeiter** Dipl.-Ing. Lars Neidhardt

### **Zielstellung**

Profilschienenführungen (PSF) zur Realisierung linearer Bewegungen sind spielfreie Präzisionselemente. In industriellen Anwendungen werden sie oft in Schlittensystemen eingesetzt, wobei infolge von Geometriefehlern der Umgebungsbauteile Zwangskräfte in der PSF entstehen, die sich negativ auf deren Lebensdauer auswirken.

Die Ermittlung der dabei in den PSF wirkenden Einzelwälzkörperkräfte als Eingangsgröße für Detaillebensdaueranalysen mit Hilfe der FEM war Gegenstand des hier vorgestellten Projekts.

### **Lösungsweg**

Der gewählte Lösungsansatz basiert im Wesentlichen auf der Beschreibung der elastischen Eigenschaften jedes Einzelwälzkörpers im FEM-System durch Ersatzfeder-elemente. Dabei wurde den Feder-elementen eine Kennlinie hinterlegt, die nur Druckkräfte zulässt und das nichtlineare Verhalten der Kontaktverformung abbildet.

PSF-Wagen, PSF-Schiene und Schlitten wurden ebenfalls im FEM-System modelliert. Der Geometriefehler am Maschinenbett wurde über Verformungsrandbedingungen an den eingespannten Schienenbefestigungsflächen vorgegeben.

### **Ergebnisse**

Die anschließenden FEM-Rechenläufe wurden für verschiedene Werte des Geometriefehlers und mehrere Schlittendicken durchgeführt. (s. Beispiel in der Abbildung).

Innerhalb der einzelnen Laufbahnen waren beachtliche Unterschiede bei der Belastung der Wälzkörper zu verzeichnen.

Weiterhin ergab sich, dass in Anlagen, die eine hohe Lebensdauer gewährleisten müssen, die Steifigkeiten von Schlitten und Bett gering sein sollten. Bei Anlagen, die hohe Steifigkeiten aufweisen müssen, ist

es für die Gewährleistung einer vergleichbaren Lebensdauer erforderlich, die Geometriefehler der Umgebungsbauteile gering zu halten.

Der wesentliche Vorteil der Betrachtung dieses Problemfeldes mit Hilfe der FEM liegt in der Ermittlung konkreter Belastungen, die für die Lebensdauerberechnung notwendig sind. Bei den untersuchten Varianten ergeben sich keine Belastungen, die bei allgemeinen Anwendungen die Lebensdauer bis in kritische Bereiche absenken.



*Verformung des Schlittensystems*

### **4.2.23 Dynamische Maschinenuntersuchung mittels experimenteller Modalanalyse**

**Laufzeit** 01/2003 – 12/2004 (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.

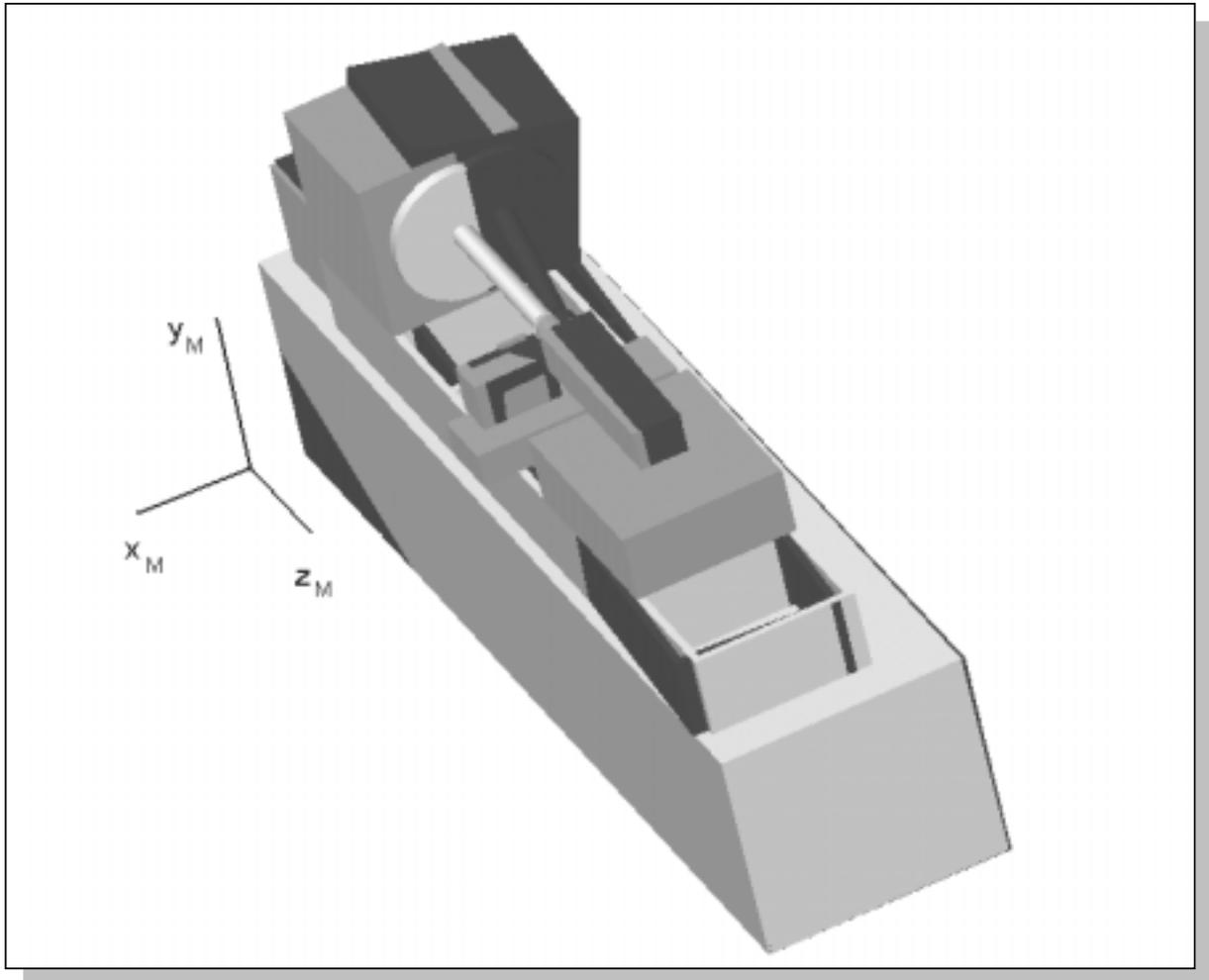
- das dynamische Verhalten von Gestell-, Antriebs- und Führungsstrukturen bewertet und Vorschläge zu deren Verbesserung aus strukturdynamischer Sicht erarbeitet,
- dynamisch kritische Komponenten wie z. B. Bestandteile von Getriebezügen während des Betriebes der Maschine oder Anlage identifiziert, deren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

#### **Lösungsweg**

Aufgabenstellung 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

Die Abbildung zeigt eine gemessene und anschließend visualisierte Eigenschwingungsform einer Großdrehmaschine.



*Beispiel einer visualisierten Eigenschwingungsform einer Großdrehmaschine*

## 4.2.24 Verhalten von Rollenschienenführungen im Kurzhubbetrieb

**Laufzeit** 05/2003 - 10/2004

**Finanzierung** Industrie

**Bearbeiter** Dr.-Ing. Klaus Schumacher

### Zielstellung

Das Verhalten einer Rollenschienenführung bei kurzen Hübten ist weitgehend unbekannt. Das gilt insbesondere bei sehr kleinen Bewegungen, bei denen nur ein Pendeln im Wälzkontakt entsteht. Deshalb sollten systematische Untersuchungen zu Veränderungen in den Kontaktzonen und zum Schmierfilmaufbau bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen durchgeführt werden. Anhand dieser Prüfung sollten Erfahrungen für weiterführende Kurzhubuntersuchungen gesammelt werden - insbesondere zu zweckmäßigen Betriebsbedingungen, Messverfahren und Bewertungskriterien.

### Lösungsweg

Im Projekt wurde das Verhalten einer Rollenschienenführung der Größe 65 unter einer aufliegenden Belastungskraft  $F \leq C_{\text{dyn}}$  bei Hübten  $H < 100 \mu\text{m}$  ermittelt. Die Schmierung erfolgte mit dem vom Hersteller empfohlenen Hochleistungsfett zunächst über zusätzliche Schmierbohrungen in der Schiene, dann nur noch mit der im Herstellerkatalog angegebenen Grundschrnerung. Gemessen wurden die Veränderungen des Verschiebekraftbedarfs sowie der Schienen- und Wagentemperatur. Beobachtet und beurteilt wurden die Änderungen des Laufbahn- und Schmiermittelzustandes.

Für die Untersuchungen wurde der in *Bild 1* dargestellte Prüfstand aufgebaut. Die gegeneinander verschraubten Führungsschienen mit je einem Wagen waren in einem 4-Säulen-Gestell aufgenommen. Die Belastung erfolgte in aufliegender (Druck-)Richtung mit einer hydrostatischen Belastungseinheit.

Die Hubbewegung der Führungsschienen wurde über einen einstellbaren Doppelpexzenter realisiert. Ein Servomotor trieb die in einem Stehlagergehäuse gelagerte Exzenterwelle an. Zwischen der Koppelstange und der unteren Führungsschiene war ein piezoelektrischer Sensor zum Messen der axialen Verschiebekraft eingebaut. Zur

Kontrolle der tatsächlichen Verschiebung zwischen den Wagen und Schienen wurden zwei kapazitive Wegsensoren eingesetzt. Die Überwachung der Temperatur erfolgte mit Messsonden in der Schmierbohrung der unteren Führungsschiene und in einer Bohrung der oberen Platte des Säulengestells. Zum besseren Wärmeübergang waren diese beiden Bohrungen mit Fett gefüllt worden.

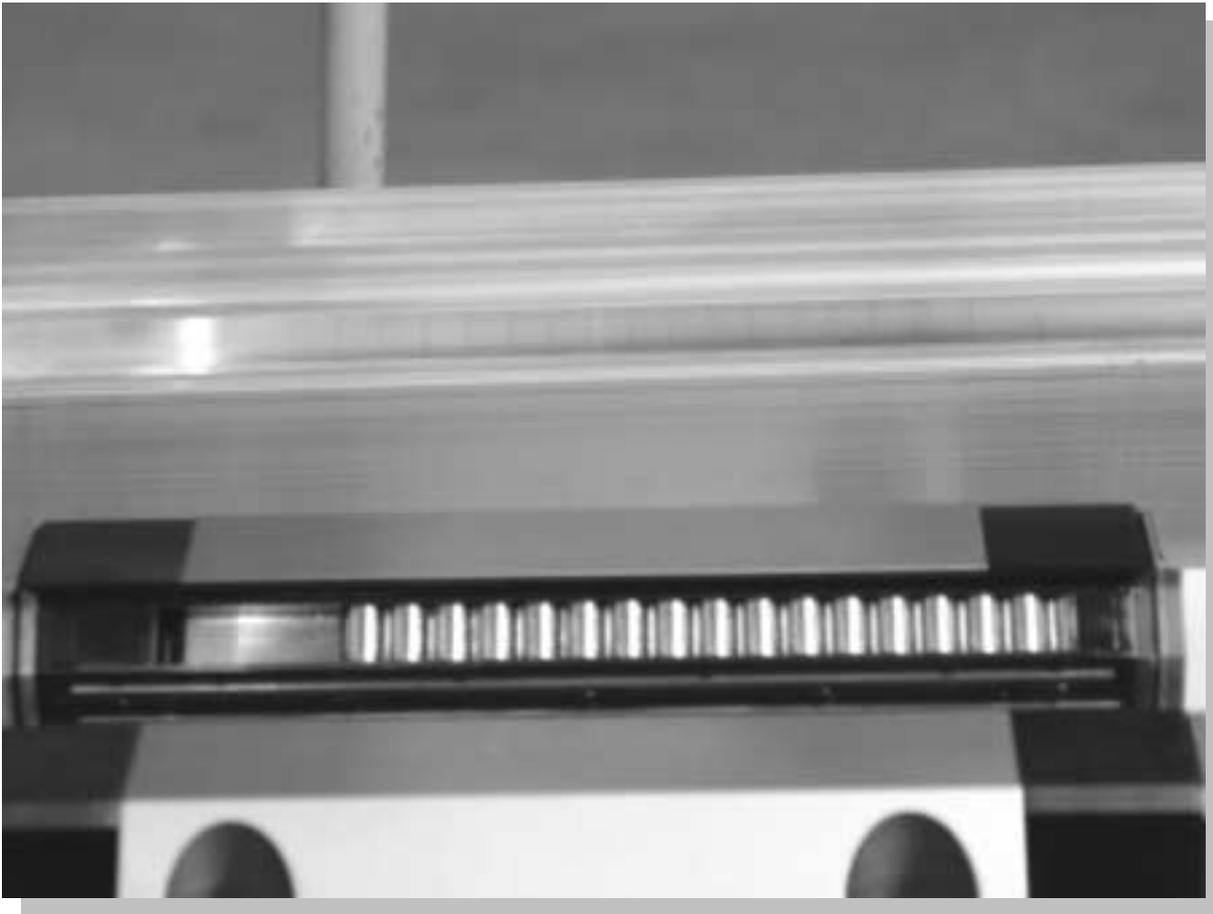


*Bild 1: Prüfstand für Kurzhubversuche*

## **Ergebnisse**

Die Prüfung der Rollenführung unter den in der Aufgabenstellung festgelegten Bedingungen wurde nach ca. 75 Millionen Doppelhuben beendet, ohne dass von außen bzw. über die Kraft- und Temperatursensoren eine Schädigung der Prüflinge feststellbar war (*Bild 2*).

Die Prüfbedingungen und die Prüfdauer bis zum Versuchsende entsprachen einem Beispieleinsatz der Führungen über einen Zeitraum von ca. zwei Jahren.



*Bild 2: Laufbahnen nach ca. 75 Millionen Doppelhüben*

## 4.2.25 Entwicklung eines parallelkinematischen Demonstrators "MiniHex"

**Laufzeit** 03/2003 – 09/2003

**Finanzierung** Industrie

**Bearbeiter** Dipl.-Ing. Volker Möbius  
Dipl.-Ing. Bernd Kauschinger  
Dipl.-Ing. (FH) Holger Kretzschmar  
Dipl.-Ing. Lars Neidhardt

**Kooperation** Bosch-Rexroth AG  
Dr. Mader Maschinenbau GmbH

### Zielstellung

Entwicklung eines kleinen Hexapoden mit vollständiger Funktionalität und leichter Transportfähigkeit für Messen und Ausstellungen.

Die Einsatzorientierung liegt auf der Bearbeitung kleiner Holzteile der Spielzeugindustrie.

### Lösungsweg

Unter weitgehender Skalierung des Hexapoden "Felix" (s. Pkt. 2.2.4.8) wurde in sehr kurzer Zeit von den Partnern gemeinsam der "MiniHex" für die Erstpräsentation auf der Messe für Holzbearbeitung LIGNA 2003 in Hannover realisiert (s. Pkt. 6.3).

### Ergebnisse:

Der Hexapod "MiniHex" war zwischenzeitlich auf mehreren Messen und Ausstellungen im Einsatz und hat sich dort für das Demonstrieren von Einsatzmöglichkeiten von Hexapoden bewährt.

Mit gleichem Erfolg wird der "MiniHex" in der studentischen Ausbildung und für Qualifizierungsaufgaben eingesetzt.

Die parallelkinematische Grundlösung wurde in die Produktpalette des Industriepartners aufgenommen.



*Hexapod "MiniHex"*

## 4.2.26 Untersuchung von Stabachsen und Kardangelenken eines großen Hexapoden

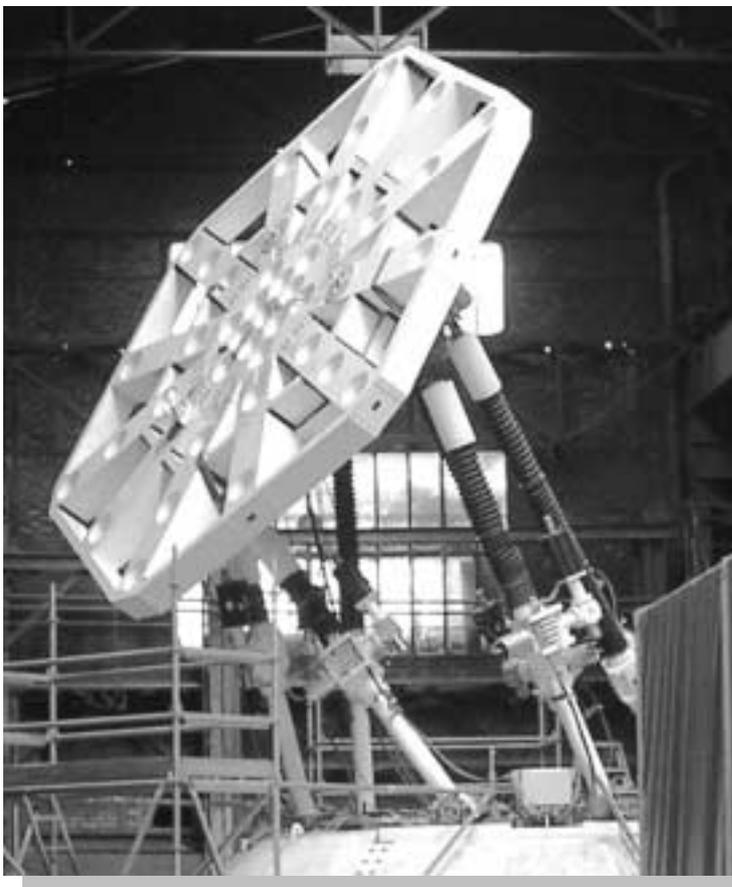
**Laufzeit** 04/2003 - 10/2003

**Finanzierung** Industrie

**Bearbeiter** Dipl.-Ing. Volker Möbius  
Dipl.-Ing. Mirko Riedel

### Zielstellung

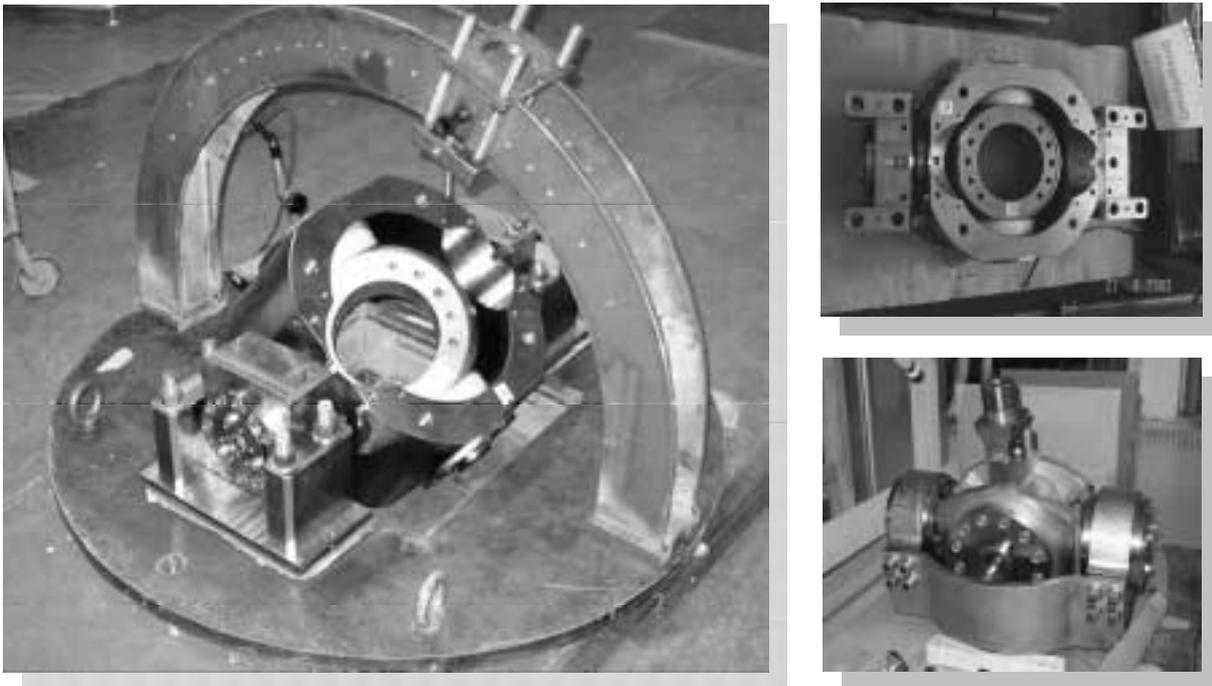
Für einen Hersteller großer Antennenanlagen sollten die Stabachsen und Kardangelenke eines Teleskops, für dessen Bewegungserzeugung ein Hexapod einfacher Bauart verwendet wird, untersucht werden. Es stand die Aufgabe, die Steife der Kardangelenke, die Längensteigungsfehler der Stabachsen und deren Steife über der Gesamtlänge zu ermitteln. Die Messungen sollten als Typprüfung zum Nachweis der Funktionsfähigkeit des einzelnen Exemplars der Baureihe und als Exemplarprüfung zur Kontrolle der Eigenschaftsschwankungen aller gelieferten Exemplaren dienen.



*Bewegungseinrichtung des Teleskops*

## Lösungsweg

Zur Prüfung der Kardangelenke wurde ein Versuchsstand aufgebaut, mit dem die Gelenke in verschiedenen Winkelrichtungen durch einen Hydraulikzylinder mit einem Kraftzyklus von  $\pm 50$  kN beaufschlagt und die dazugehörige Verlagerung mit elektronischen Feinzeigern aufgenommen werden konnten.



*Gelenkprüfstand (ohne Belastungseinrichtung)*

Ein weiterer Versuchsstand wurde zur Prüfung der Stabachsen aufgebaut. Hier konnten die Achsen mit einem Kraftzyklus von  $\pm 50$  kN beaufschlagt werden. Mit Hilfe eines Laserinterferometers wurden die Längenänderung im Vergleich zu den Anzeigen des spindeligenen Messsystems ermittelt.

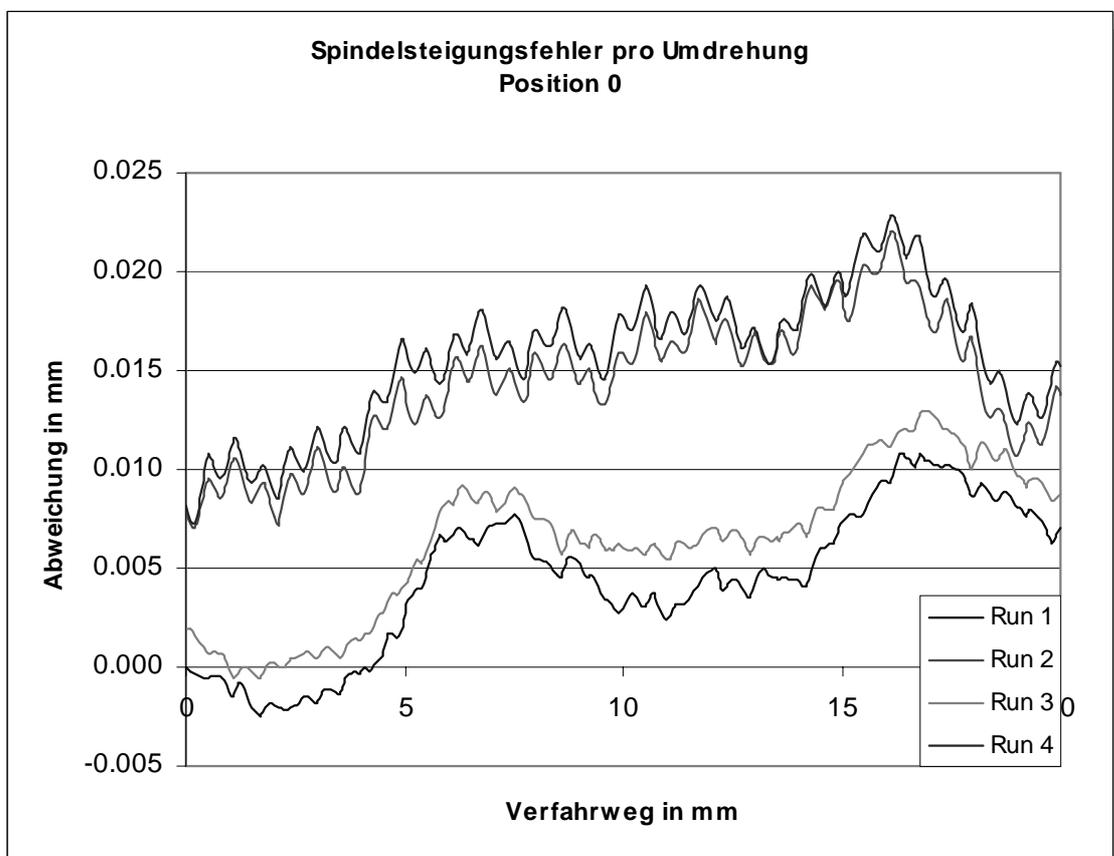
## Ergebnisse

Ergebnis der Gelenkuntersuchung war das winkelabhängige Nachgiebigkeitsverhalten der Hand- und Schultergelenke des Hexapoden. Mit den Messungen konnten die erwarteten Kennwerte der Gelenke bestätigt werden. Die Exemplarprüfung zeigte auch, dass alle Gelenke ein fast identisches Nachgiebigkeitsverhalten besitzen und somit keines der Gelenke nachgearbeitet werden musste. Die Ergebnisse der Spindelsteigungsfehlermessungen dienen beim Einsatz des Teleskops zur Korrektur der Bewegungen über die Steuerung.

Bei der Messung der Nachgiebigkeiten konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Spindeln festgestellt werden.



*Stabachsprüfstand*



*Ergebnisse der Steigungsfehlermessung*

## 4.2.27 Korrektur thermischer Verformungen an einem Bearbeitungszentrum

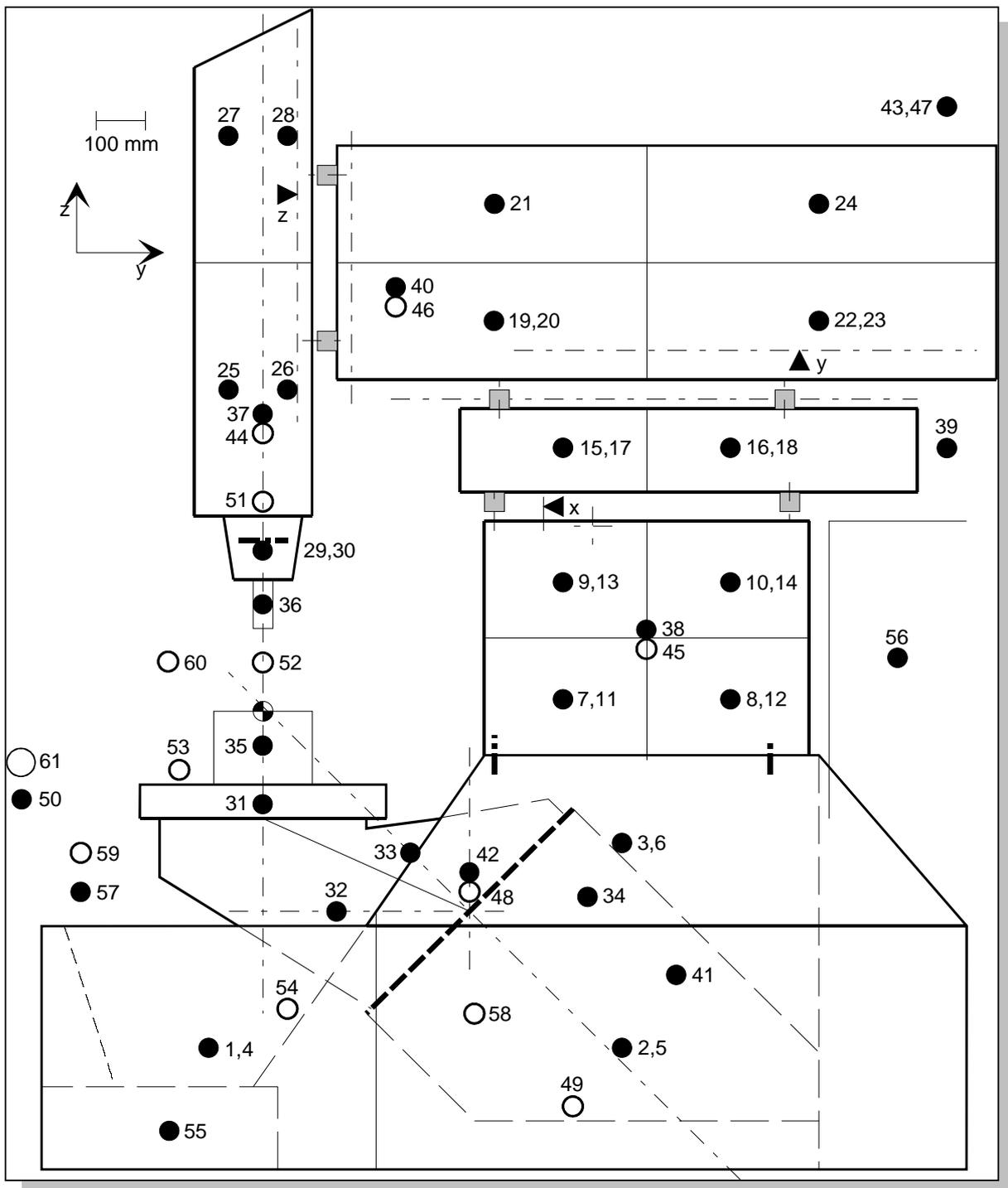
<b>Laufzeit</b>	01/2002 - 07/2005
<b>Finanzierung</b>	Industrie
<b>Bearbeiter</b>	Dr.-Ing. Günter Jungnickel Dipl.-Ing. (BA) Andreas Richter

### Zielstellung

Für ein Bearbeitungszentrum ist 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 Kühlmiteleinsatz, zur Arbeitsraumtür usw. Weitere unumgängliche Eingangsgrößen sind die Umgebungstemperatur und die Vorlauftemperatur 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*. Die Programmierung als WIN32-DLL ist abgeschlossen. Gegenwärtig laufen beim Anwender die Inbetriebnahme der Korrektur und Versuche zur erreichbaren Genauigkeit.

Im vorliegenden Projekt sind 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 ist für ein Folgeprojekt vorgesehen.

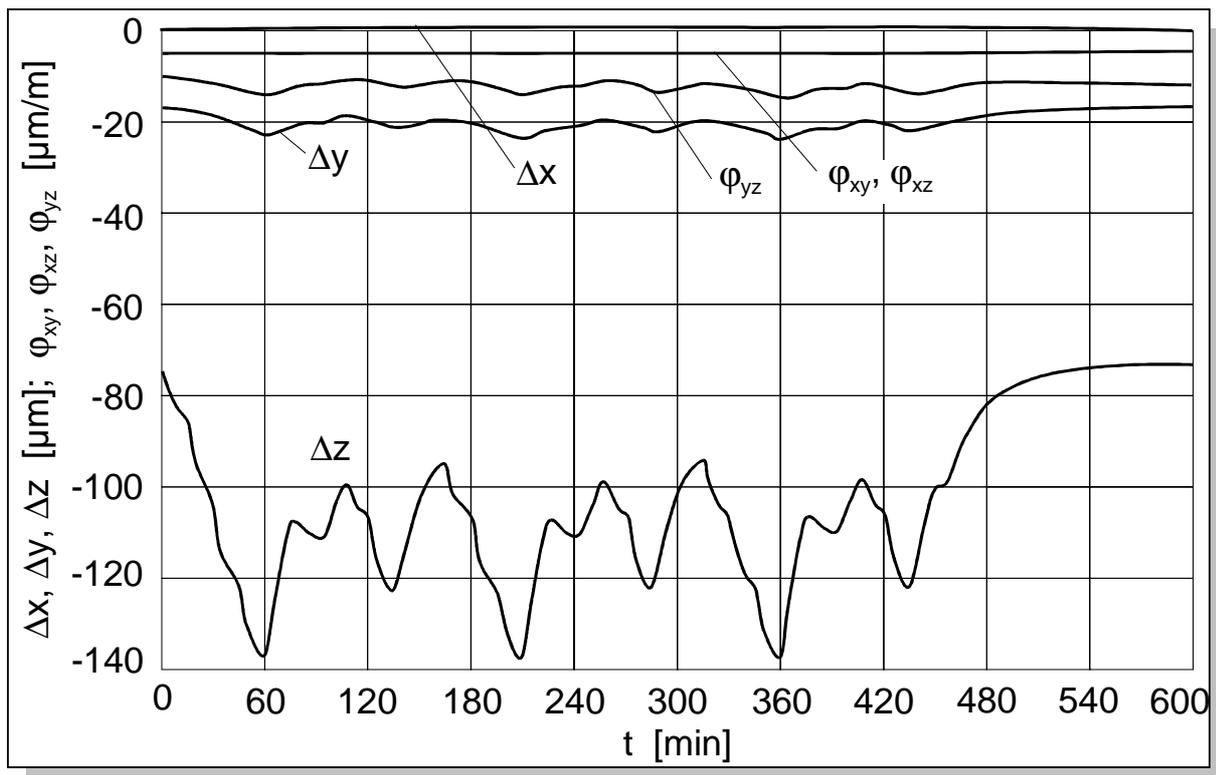


Bild 2: Wirkstellenverlagerung bei einem Drehzahlmix nach DIN V 8602

## 4.2.28 Kompensation thermischer Verformungen an einem Mehrspindeldrehautomaten

**Laufzeit** 09/2001 - 06/2004

**Finanzierung** Industrie

**Bearbeiter** Dr.-Ing. Günter Jungnickel  
Dipl.-Ing. (BA) Andreas Richter

### Zielstellung

Die hohe Leistungskonzentration in einem Mehrspindelautomaten führt zu beträchtlichen Erwärmungen der Maschine und damit zu thermischen Verformungen, welche sich als Durchmesser- und Längenabweichung am Werkstück abbilden. Für den Mehrspindelautomaten ist im Anschluss an ein vorangegangenes Projekt ein thermisches Kompensationsmodell als Softwarelösung aufzubauen. Die Korrektur wird mit den lagegeregelten Quer- und Längsachsen ausgeführt.

### Lösungsweg

Das Kompensationsmodell wird als strukturbasiertes Zustandsmodell aufgebaut. Kennzeichnend für die Problemstellung ist eine große Variabilität in Aufbau und Einsatz der Maschine. Dazu werden diese Möglichkeiten im Modell installiert und über spezielle Eingabeparameter entsprechend der aktuellen Maschinenkonfiguration und Betriebsbedingungen eingestellt. Mit einem Knotenpunktmodell werden alle wesentlichen thermischen Vorgänge in der Maschine abgebildet und die instationären Verläufe der Temperatur von Bauteilen, Baugruppen oder Bereichen bestimmt. Die Temperaturfeldberechnung erfolgt prozessparallel mit den aktuellen Lastdaten wie Drehzahlen und Vorschubgeschwindigkeiten, Umgebungs- und Hydrauliktemperatur, der Zerspanungsleistung usw. Anhand der Knotenpunkttemperatur lassen sich mit vereinfachenden Modellansätzen die thermischen Verformungen der Bauteile und daraus die thermisch bedingten Abweichungen am Wirkpunkt Werkzeug/Werkstück ermitteln.

*Bild 1* zeigt die Zerlegung der Grundmaschine in einzelne Verformungskörper. Diese Abweichungen werden der Maschinensteuerung für eine Korrektur der Schlittenlagen übergeben.

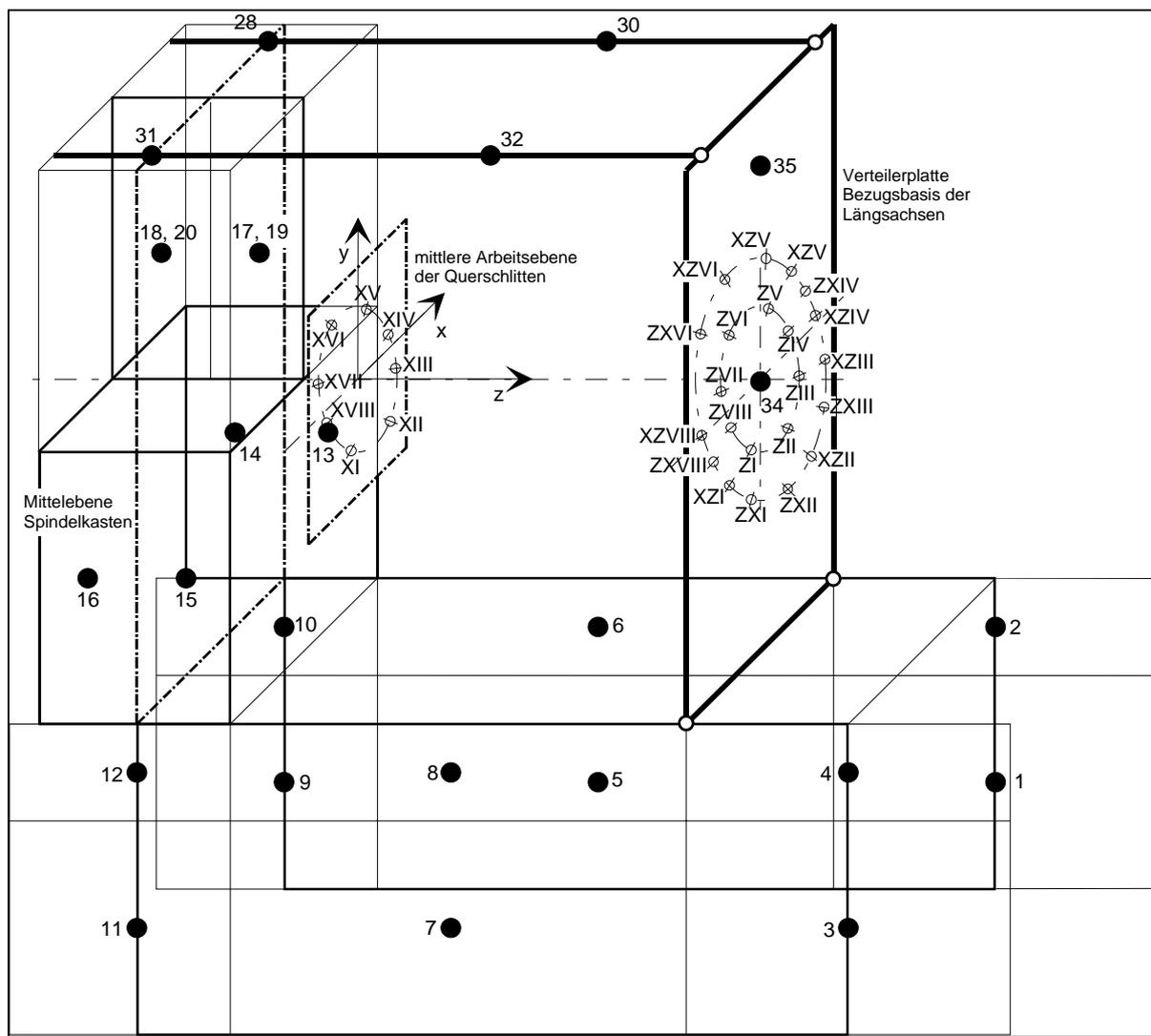


Bild 1: Mehrspindeldrehautomat, Modell für die Verformungsberechnung der Grundmaschine

## Ergebnisse

Das Simulationsmodell des Mehrspindeldrehautomaten wurde erfolgreich getestet. Bei einem Bearbeitungsversuch mit prozessparalleler Simulation konnte nachgewiesen werden, dass sich die Werkstückabweichungen auf etwa 1/4 der Werte im unkorrigierten Fall vermindern lassen (Bild 2). Das Kompensationsmodell wurde in Form einer WIN32-DLL geschrieben und dem Anwender als implementationsfähige Software übergeben.

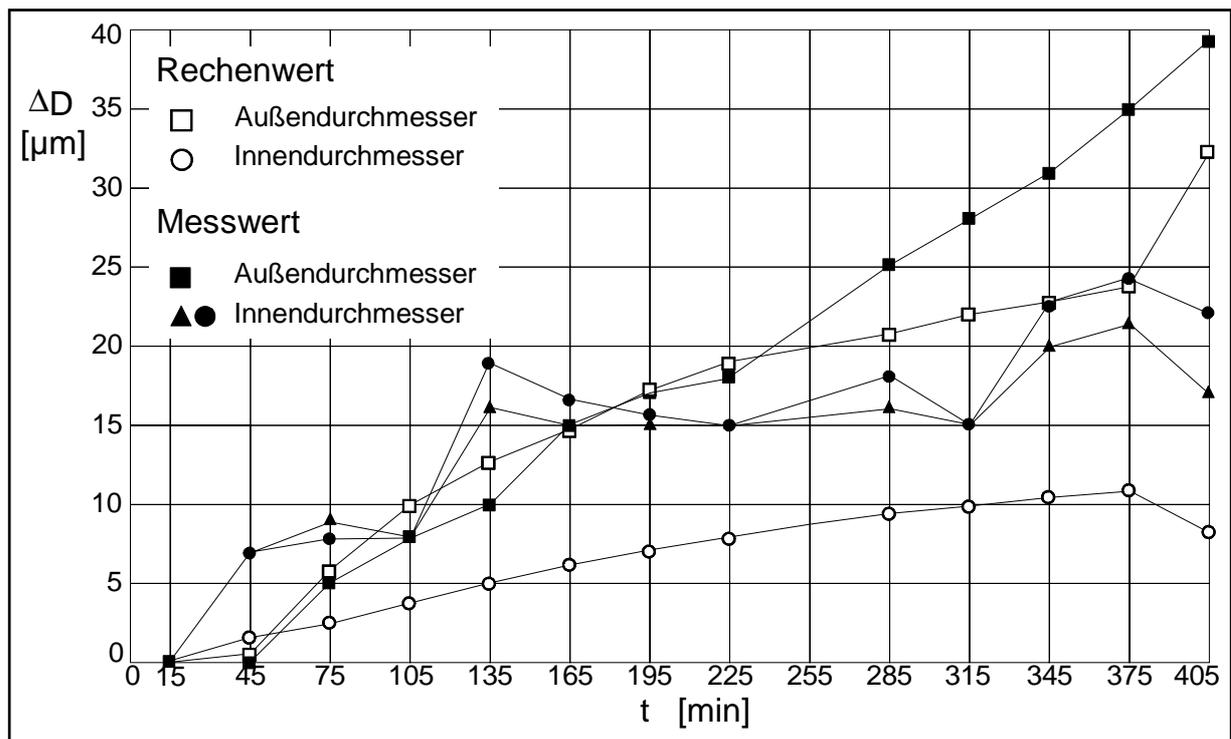


Bild 2: Vergleich zwischen Werkstückabweichung und berechnetem Korrekturwert (durchmesserbezogen)

## 4.2.29 Entwicklung und Erprobung grafischer Bedienoberflächen für Hexapod-Steuerungen

<b>Laufzeit</b>	04/2002 - 12/2003
<b>Finanzierung</b>	EU / Support for Centres of Excellence
<b>Bearbeiter</b>	Dr.-Ing. Holger Arndt Dipl.-Ing. (FH) Holger Kretzschmar Dipl.-Ing. (BA) Andreas Richter
<b>Kooperation</b>	Center of Advanced Manufacturing Technologies (CAMT) TU Wroclaw (Polen)

### Zielstellung

Im Rahmen des vom CAMT der TU Wroclaw eingeworbenen EU-Projektes *Support for Centres of Excellence* wird das am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden erarbeitete Know-how zur Entwicklung grafischer Bedienoberflächen für Hexapod-Steuerungen durch Delegation der entsprechend qualifizierten Mitarbeiter an das CAMT transferiert und in gemeinsamer Arbeit mit den polnischen Wissenschaftlern erweitert.

### Lösungsweg

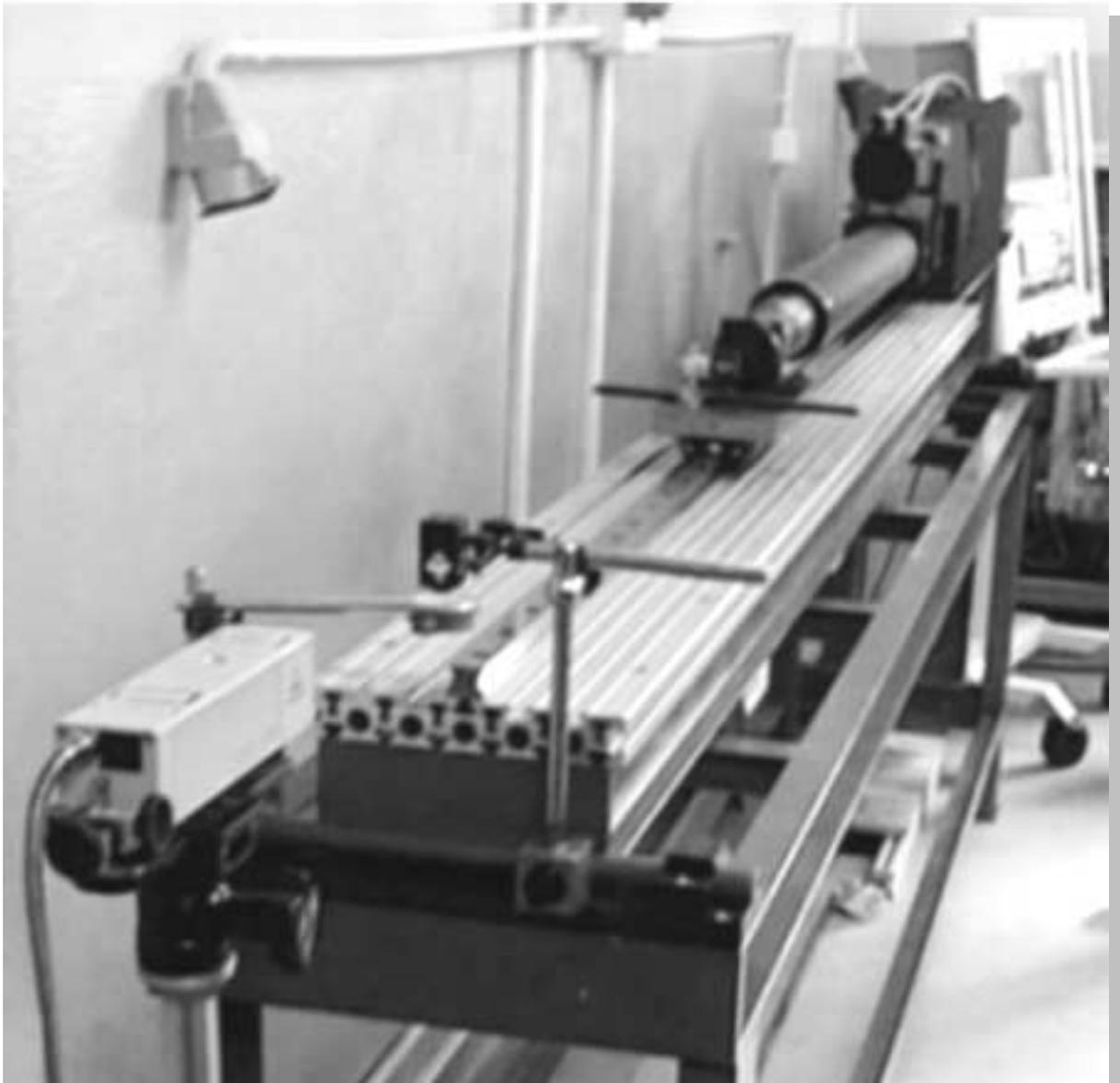
Nachdem im ersten Schritt Aufbau und Inbetriebnahme des vom CAMT erworbenen Hexapoden vom Typ FELIX in Wroclaw erfolgten sowie ein Stabachsprüfstand geschaffen wurde konzentrierten sich die Arbeiten im zweiten Schritt vor allem auf die Weiterentwicklung der Maschinenbedienoberfläche.

### Ergebnisse

Mit den geschaffenen Hilfsmitteln und dem transferierten Wissen ist das CAMT in der Lage, die Maschine selbständig zu betreiben. Als neues Merkmal der bisher nur in deutscher Sprache vorhandenen Maschinenbedienoberfläche wurden die Voraussetzungen für eine Wahlmöglichkeit der Sprache geschaffen. Dafür sind alle vorhandenen Begriffe und Texte innerhalb der Bedienoberfläche in englische und polnische Sprache übersetzt und die Software entsprechend erweitert worden.

Weitere Ergebnisse der Projektbearbeitung sind die Realisierung von Steuerungsprogrammen zur Demonstration der Bewegungsmöglich-

keiten des Hexapoden sowie erste Ergebnisse bei der Erstellung der grafischen Steuerungsoberfläche. Dabei bildeten Arbeiten zur Arbeitsraumkonfiguration und deren Visualisierung mit dem Ziel der Kollisionsüberwachung den Schwerpunkt.



*Achsprüfstand mit Laserinterferometer (Quelle: CAMT)*

### **4.2.30 Entwicklungs- und Betriebssystem einer neuartigen Steuerung unter besonderer Berücksichtigung von Funktionssicherheit und zustandsdynamischen Fehlerreaktionen**

**Laufzeit** 11/2002 - 10/2005

**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 erster 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 Implementationen, Ableitung von Optimierungsvorschlägen und Bewertung der neuen Steuerungseigenschaften.

## Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden bei den einzelnen Aufgabenbereichen 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**  
Der Compiler prüft die syntaktische Richtigkeit der implizit verknüpften Nutzungsbefehle und warnt vor Wechselwirkungen zwischen unabhängigen Teilsystemen. Weiterhin wird die Netzstruktur durch zusätzliche explizite Informationen ergänzt, die es dem Befehlsrechner ermöglichen, rekursionsfrei das Netz aus Nutzungs-

befehlen zu durchlaufen. Das wird durch die automatische Aufzeichnung aller möglichen Pfade durch die Nutzungsbefehlsstruktur erreicht.

- **Befehlsrechner**

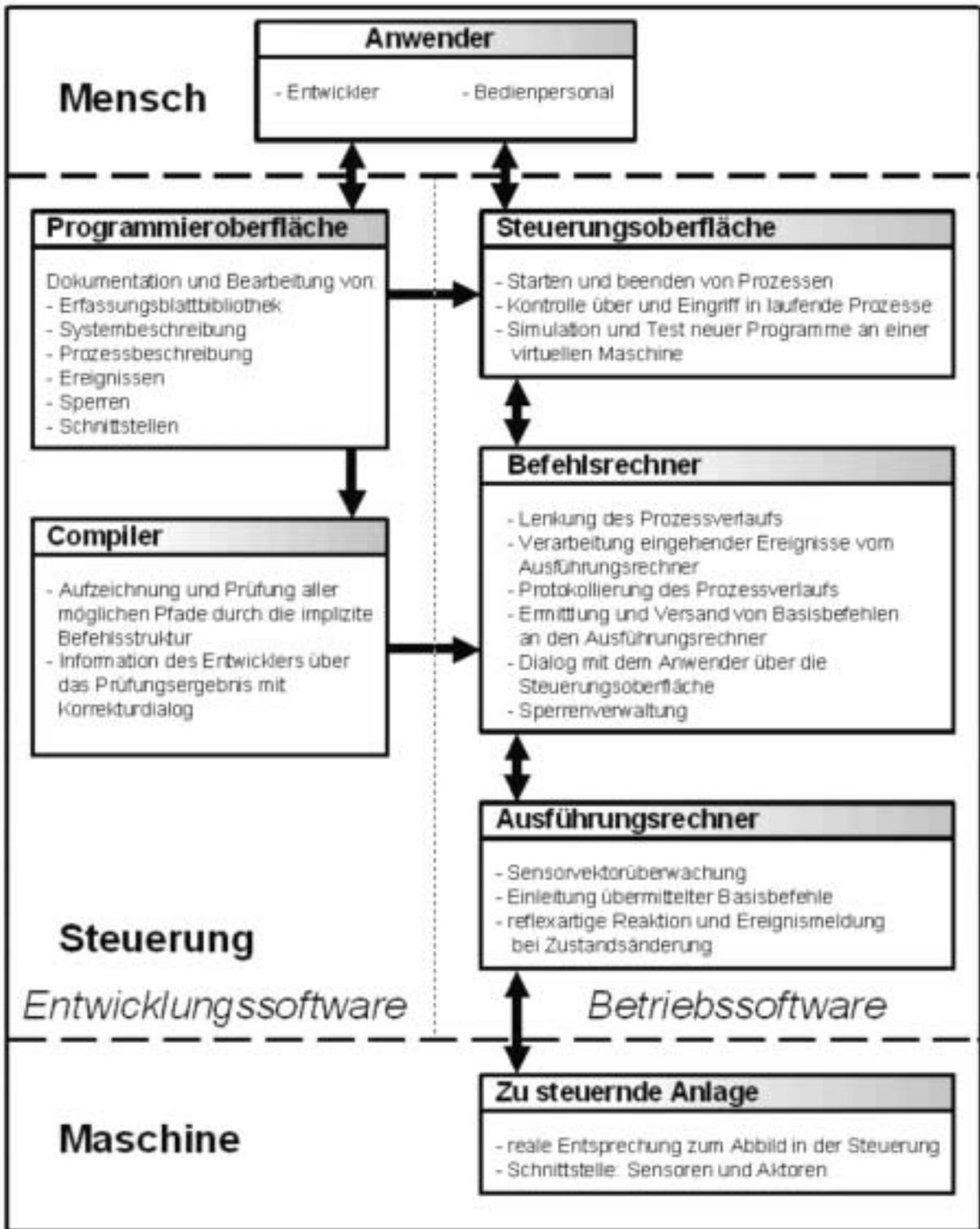
Die Abarbeitung des Compilats durch den Befehlsrechner erfolgt, indem es in Basisbefehle aufgeschlüsselt an den Ausführungsrechner übergeben wird. Weiterhin bewertet der Befehlsrechner die vom Ausführungsrechner rückgemeldeten Ereignisse und entscheidet auf deren Grundlage über den weiteren Weg der *Prozessmarken*. Durch die Prozessmarken werden dynamisch die aktuell in Abarbeitung befindlichen Befehle gekennzeichnet. Bevor Marken im Prozess voranschreiten dürfen, wird die Zulässigkeit des Schritts anhand der ebenfalls im Befehlsrechner verwalteten Verriegelungen kontrolliert.

- **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.



Steuerungsbausteine der CFC

---

# 5      Dissertationen

---



## 5.1 Stand und Möglichkeiten der Systemsimulation von mechanischen Pressmaschinen

### Promovend



#### Hajo Wiemer

- geboren am 07.12.1966 in Dresden
- 1988 - 1993 Studium Maschinenbau / Werkzeugmaschinenkonstruktion an der TU Dresden
- seit 1996 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der TU Dresden

### Gutachter

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

Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Voelkner (i. R., TU Dresden)

Dr.-Ing. habil. Peter Bogon (DaimlerChrysler AG, Werk Sindelfingen)

### Verteidigung

3. Dezember 2004

### Einführung

Die Situation in der Blechteilfertigung ist weiterhin von zunehmenden Ansprüchen an Qualität und Produktivität gekennzeichnet und generiert Forderungen an die Pressenentwicklung (z. B. von einer Mehrstößel-Transferpresse im *Bild 1*) nach leistungsfähigeren, genaueren, kostengünstigeren und prozessstabileren Maschinen.

Der Anspruch, sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die Arbeitsgenauigkeit der Maschinen zu steigern, stellt jedoch einen Widerspruch dar, da aufgrund der produktivitätssteigernden Maßnahmen die statischen und dynamischen Belastungen der Baugruppen, infolge dessen die Baugruppendeformationen und letztendlich die qualitätsbeeinträchtigenden Werkzeugverlagerungen zunehmen.

Um den Entwicklungsansprüchen dennoch gerecht zu werden, ist die detaillierte Kenntnis der komplexen, durch Nichtlinearitäten geprägten Zusammenhänge im Gesamtsystem "Maschine-Werkzeug-Prozess" bezogen auf die Beeinflussung der Werkzeugverlagerungen notwendig.



*Bild 1: Sechsstößel-Transferpresse der Müller-Weingarten AG*

Entsprechende experimentelle Analysemethoden zur Ermittlung der dynamischen Maschineneigenschaften sind aufgrund des exemplarischen Charakters und aus Gründen der messtechnischen Zugänglichkeit und Erfassbarkeit nur eingeschränkt aussagefähig. Hinzu kommt, dass im Pressenbau aus Kostengründen während der *Entwicklungsphase* meist keine Prototypen für die Eigenschaftsanalyse zur Verfügung stehen.

Für die Analyse des dynamischen Maschinenverhaltens ist deshalb der Einsatz modellgestützter Methoden unentbehrlich.

### **Stand des Wissens**

Entsprechend geeignete modellgestützte Analysemethoden sind verfügbar und haben in anderen Fachgebieten ihre Leistungsfähigkeit unter Beweis gestellt. Für die Pressenplanung wesentliche Simulationen mit ihren typischen Anwendungsbereichen wurden zusammengefasst. Aus dem Stand der Systemsimulation an

mechanischen Pressmaschinen wurden die signifikanten Defizite bzgl. der Modellkomplexität und einer durchgängigen Modellbehandlung abgeleitet:

- Bezüglich des aufgabengerechten Modellumfanges blieben im Pressenmodell die für das Genauigkeitsverhalten relevanten Baugruppen *hydraulische Überlastsicherung* sowie *Stößelgewichtsausgleich* bisher unberücksichtigt.
- Die Modelle *Stößelführungssystem*, *Stößel*, *Pressengestell*, *Hebelgetriebe* und *Umformprozess* waren für die Anwendung in der Baugruppenauslegung in der Gestaltungsphase aufgrund der starken Abstraktion ungeeignet.
- Die für die Darstellung und Nutzung der Potenziale der Systemsimulation erforderliche Einordnung der *virtuellen Presse* in den gesamten Produktprozess (Entwicklung, Herstellung und Anwendung) der Presse sowie ein daraus abgeleitetes übergreifendes Modellierungskonzept lagen nicht vor.
- Bezüglich möglicher Anwendungspotenziale der Pressenmodelle im gesamten Produktprozess der Presse fehlten Betrachtungen:
  - zu typischen, relevanten Aufgabenstellungen für die Anwendung der *virtuellen Presse* in der Entwicklungs-, Herstellungs- und Anwendungsphase der Presse,
  - zu in den Phasen möglichen und erforderlichen Modelldetailierungsgraden (inkl. Parametrierung, Verifikation und Modellaussagefähigkeit),
  - zum Zusammenhang zwischen Modellkomplexität und Aussagegenauigkeit.

## Zielstellung

Die Dissertation verfolgte das Ziel, die Systemsimulation von mechanischen Pressmaschinen zum übergreifenden durchgängigen Modellierungskonzept *virtuelle Presse* weiterzuentwickeln und damit die Voraussetzungen zu schaffen, um mit modellgestützten Methoden die Arbeitsgenauigkeit und Wirtschaftlichkeit mechanischer Pressmaschinen verbessern zu können.

## Ergebnisse

Dazu wurden zunächst die Anwendungspotenziale der *virtuellen Presse* als mögliche simulationsrelevante Aufgabenstellungen im Produktprozess der Presse, ausgehend von der Konzeptions- und Gestaltungsphase des Entwicklungsprozesses über den Herstellungs- bis zum Anwendungsprozess der Presse, beschrieben. Aus den dargestellten Anwendungsmöglichkeiten und der Betrachtung der dazu erforderlichen und realisierbaren Modellstrukturen wurde ein über die Phasen des Produktprozesses durchgängiger Modellentwicklungsprozess abgeleitet (*Bild 2*).

In einem weiteren Kapitel wurden entsprechende aufgabenspezifische Modellstrukturen für die Baugruppen

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

entwickelt, die erforderlichen Parameter beschrieben und die Aussagefähigkeit der Modelle veranschaulicht. Anwendungsorientiert wurden die Modelle für die Konzeption und die Gestaltung (als Schwerpunkte im Entwicklungsprozess), die Herstellungsphase sowie die Anwendungsphase erstellt. Zudem wurde die praktische Modellanwendung in ausgewählten Beispielen demonstriert.

Für die Analyse des Pressenverhaltens unter Prozesseinfluss ist eine realitätsnahe Berücksichtigung des Umformprozesses erforderlich. Deshalb bildete die Erarbeitung der Modelle für den Umformprozess einen weiteren Schwerpunkt.

Das entwickelte realitätsnahe Prozessmodell berücksichtigt

- den räumlichen Prozesscharakter,
- den Prozessfortschritt während des Umformvorganges,
- die separate Darstellung der plastischen und elastischen Lastanteile,
- mehrere Operationen zur Darstellung einer Stufenfolge sowie

- die mechanischen Einflüsse aus dem Niederhalter und dem Ziehkissen.

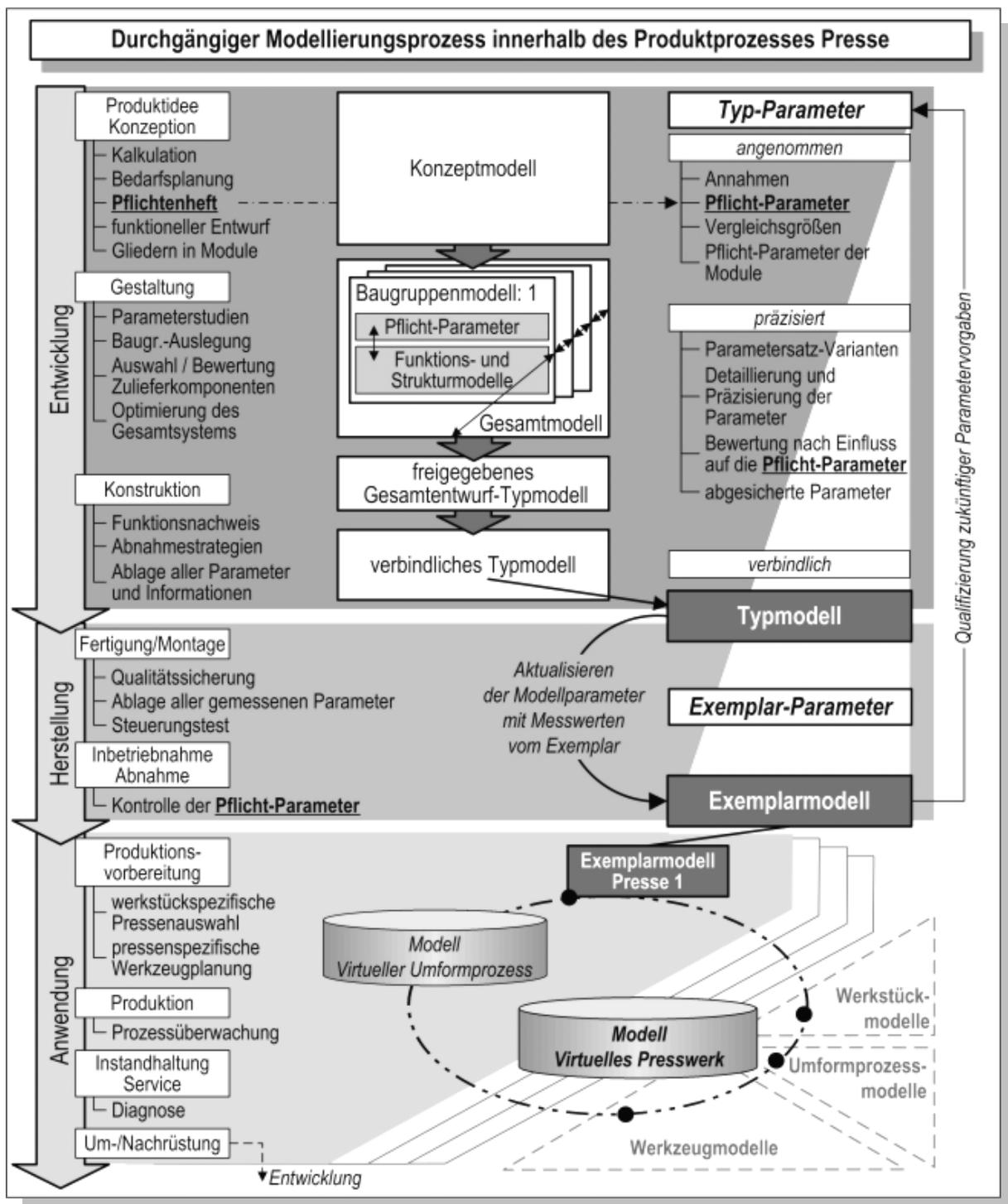


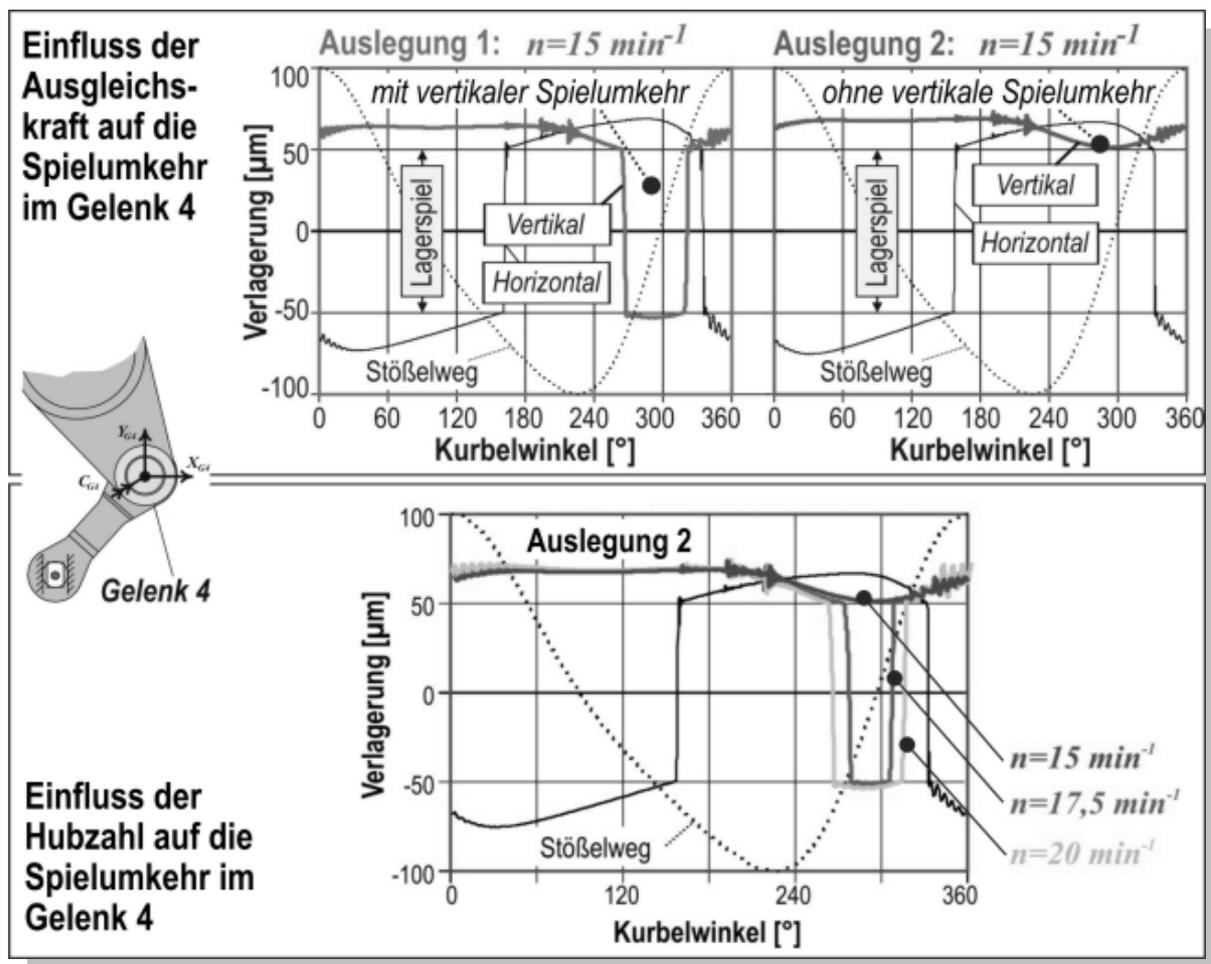
Bild 2: Durchgängiger Modellierungsprozess „virtuelle Presse“ -  
 Modelldurchlauf u. -präzisierung im Produktprozess der Presse

Damit steht mit der *virtuellen Presse* ein Werkzeug zur Verfügung, welches das charakteristische mechanische Verhalten mechanischer

Pressmaschinen bzgl. der Arbeitsgenauigkeit und Wirtschaftlichkeit unter den Einflüssen der relevanten Baugruppen und des Umformprozesses abbildet.

Als stellvertretendes Beispiel sei hier die Simulation der genauigkeits- und verschleißbeeinflussenden Spielumkehr in den Gelenken des Hebelgetriebes (*Bild 3*) genannt.

Im Beispiel wurde der Einfluss unterschiedlicher Auslegungen, das heißt, Kräfteinstellungen am Stößelgewichtsausgleich, analysiert. Mit der Ausgleichskraft kann die Spielumkehr in den Gelenken des Hebelgetriebes beeinflusst werden. Für den Pressenbetrieb bedeutet das, mit dem Betriebsdruck des Gewichtsausgleichs kann auf den Hubzahl-einfluss auf die Spielumkehr, welcher im unteren Teil von *Bild 3* veranschaulicht ist, reagiert werden.

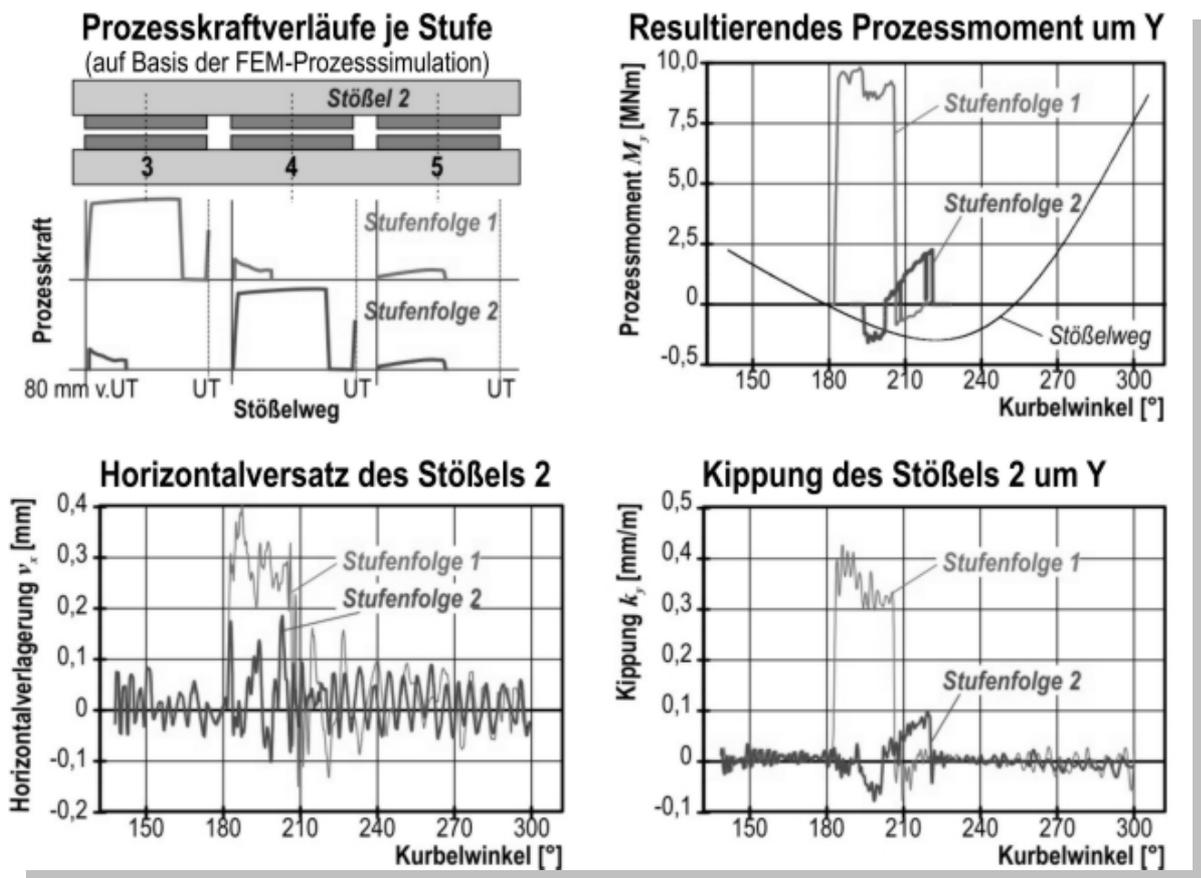


*Bild 3: Simulationsergebnis - Einfluss der Kraft des Stößelgewichtsausgleichs (oben) und der Hubzahl (unten) auf die Spielumkehr in einem Gelenk des Hebelgetriebes*

Ferner sind mit der *virtuellen Presse* die Voraussetzungen geschaffen, um die maschinenseitigen in der Simulation des Umformprozesses darzustellen. *Bild 4* zeigt beispielhaft die mit der virtuellen Presse einer Zweistößelpresse berechneten Stößelverlagerungen unter Prozesseinfluss für zwei Varianten einer Stufenfolge.

Im oberen Teil von *Bild 4* sind links die Prozesskraftverläufe pro Stufe und rechts die resultierenden am Stößel 2 angreifenden Prozessmomente dargestellt. Deutlich ist der veränderte Momentenverlauf, der aus der variierten Stufenfolge resultiert, zu erkennen.

Die entsprechenden Reaktionen der Presse sind als Horizontalversatz und Kippung des Stößels im *Bild 4* im linken unteren bzw. rechten unteren Diagramm dargestellt. Die Verläufe zeigen, dass mit der Stufenfolge 2 die Stößelkippung und der Horizontalversatz verringert werden konnte.

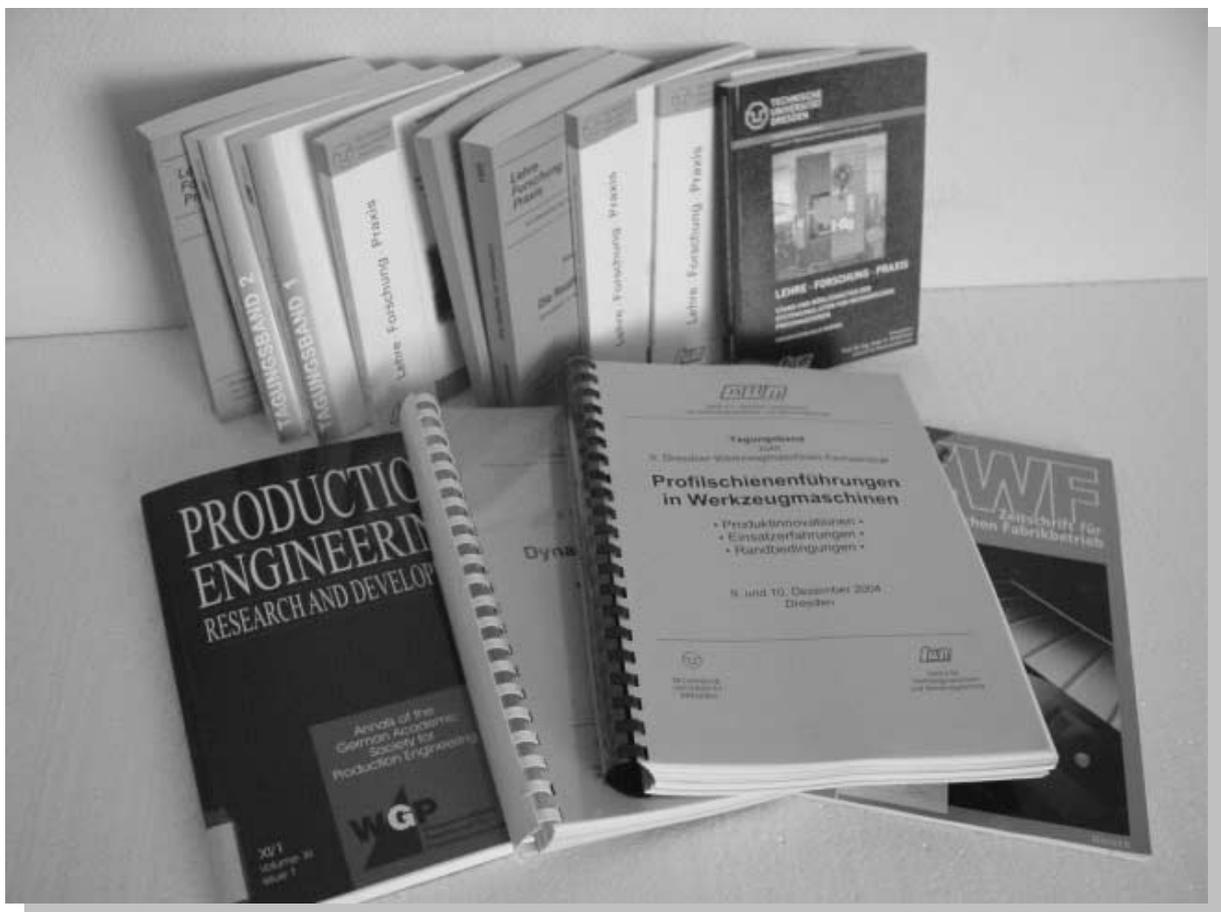


*Bild 4: Simulationsergebnis - Horizontalversatz und Kippung des Stößels unter Prozesseinfluss*

---

# 6 Öffentlichkeitsarbeit

---



## **6.1 Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminare**

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

Das Fachseminar bot jährlich zwei Veranstaltungen zu ausgewählten Spezialthemen der Werkzeugmaschinen-Entwicklung. Sie waren das Forum für Forscher und Ingenieure zur Darstellung und Diskussion des jeweils aktuellen Arbeitsstandes.

Das Themenangebot orientierte sich einerseits verständlicherweise 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 besetzen. Die Industrie war durch die Beteiligung von Mitgliedsunternehmen des Vereins Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW) vertreten. Die internationale Zusammenarbeit bei der Forschung dokumentierte vor allem die Beteiligung von Wissenschaftlern der TU Breslau (Polen).

Die vollständigen Programme aller Veranstaltungen sind aus dem Internet unter <http://iwm.mw.tu-dresden.de> abrufbar.

### **6. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar**

#### ***Simulation an Umformmaschinen***

**12. bis 13.06.2003**

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

IWM, TU Dresden

Simulationspotenzial an Umformmaschinen

Dr.-Ing. habil. P. Bogon

DaimlerChrysler, Sindelfingen

Anforderungen an Simulationssysteme zur Optimierung der Produktionseigenschaften von Pressmaschinen

Prof. Dr.-Ing. habil. V. Ulbricht; Dr.-Ing. F. Schirmacher  
IFKM, TU Dresden

Umformprozess und Maschinenverhalten – Ansätze zu einer  
ganzheitlichen Beschreibung

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

Simulation der Pressendynamik an ausgewählten Beispielen

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann; Dipl.-Ing. L. Neidhardt  
IWM, TU Dresden

Simulationsuntersuchungen für den Einsatz von Profilschienen-  
führungen in Pressen

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann; Dr.-Ing. G. Jungnickel  
IWM, TU Dresden

Simulation des thermischen Pressen-Anlaufverhaltens

Prof. Dr.-Ing. S. Helduser; Dr.-Ing. Th. Neubert; MSc H. Li  
IFD, TU Dresden

Optimierung hydraulischer Antriebssysteme in Pressen mit Hilfe der  
Pressensimulation

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann; Dipl.-Ing. B. Wunderlich  
IWM, TU Dresden

Passiv-hydraulische Kompensation der Stößelkippung an einer  
mechanischen Presse

## **7. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar**

### ***Innovative Bearbeitungstechnologien für Holzformteile***

**04. bis 05.12.2003**

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann  
IWM, TU Dresden

Neue Möglichkeiten zur wirtschaftlichen Bearbeitung von Holz-  
formteilen auf Hexapoden einfacher Bauart

Dipl.-Ing. V. Möbius  
IWM, TU Dresden

Parallelkinematisches Bearbeitungszentrum für Holzformteile  
(AiF/ZUTECH)

Prof. Dr.-Ing. A. Wagenführ  
IHP, TU Dresden  
Herstellung und verarbeitungstechnische Eigenschaften von  
Holzformteilen

Dr.-Ing. K. Rehm  
IHP, TU Dresden  
Anpassung der Bearbeitungstechnologie einer Sitzschale an die  
Maschine-Werkstück-Konfiguration

Dr.-Ing. K. Rehm; Dipl.-Ing. M. Oertel  
IHP, TU Dresden  
Organisation der Mehrfachpositionierung und Bearbeitung von großen  
Werkstücken im Arbeitsraum von Parallelkinematiken

cand. ing. M. Riedel; Dipl.-Ing. M. Oertel  
IWM und IHP, TU Dresden  
Handling und Referenzierung von gepressten Holzformteilen am  
Beispiel einer Sitzschale

Dipl.-Ing. M. Oertel  
IHP, TU Dresden  
Möglichkeiten der effektiven Kleinteilbearbeitung auf Mini-Hexapoden

Dipl.-Ing. B. Wunderlich; MSc S. Szatmari  
IWM, TU Dresden  
Bedien- und Steuerungskonzept für Hexapoden einfacher Bauart

Dipl.-Ing. S. Rehn; Dipl.-Ing. B. Wunderlich  
IWM, TU Dresden  
Genauigkeitskonzept und Fehlerkorrekturen für Hexapoden einfacher  
Bauart

## **8. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar**

### ***Neue Funktionalität der Ablauf- und Bewegungssteuerung an Werkzeugmaschinen***

**03. bis 04.06.2004**

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann  
IWM, TU Dresden  
Spannungsfeld: Anforderungen - Möglichkeiten - Verfügbarkeiten

Dr.-Ing. A. Donner  
Siemens AG Automation and Drives, Chemnitz  
Stand der Technik und zukünftige Anwendungen bei Steuerungen und Antrieben

Dipl.-Ing. Th. Fey  
Bosch Rexroth Drive & Control, Lohr a. M.  
Skalierbarkeit u. Funktionalität an der neuen Steuerungsgeneration MTX

Dipl.-Ing. G. Weller  
MIKROMAT GmbH, Dresden  
Steuerungs- und Antriebsfunktionen unter dem Aspekt hoher Bearbeitungsgenauigkeit

Dr.-Ing. F. Wieland  
UNION Werkzeugmaschinen GmbH, Chemnitz  
UNION-Modulbauweise und daraus resultierende Steuerungsanforderungen

Dr.-Ing. A. Schween  
WOHLENBERG Werkzeugmaschinen GmbH, Hannover  
Steuerungstechnische Konsequenzen aus der kundenspezifischen Projektierung von Großdrehmaschinen

Prof. Dr.-Ing. M. Zäh; Dipl.-Ing. C. Pörnbacher; Dipl.-Ing. G. Wunsch iwB, TU München  
Vorabinbetriebnahme und Qualitätssicherung von Steuerungssoftware durch Simulation

Dipl.-Ing. V. Möbius; Dipl.-Ing. Th. Morchel  
IWM, TU Dresden  
ASS - alternative Lösung zur SPS

Prof. Dr.-Ing. Ch. Brecher; Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. M. Weck; Dipl.-Ing. Th. Ostermann  
WZL, RWTH Aachen  
Pick&Place - präzise und dynamisch positionieren mit Impulsentkopplung

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. G. Pritschow; Dr.-Ing. D. Scheifele; Dipl.-Ing. Th. Bürger  
ISW, Universität Stuttgart  
Einheitliche Bewegungssteuerung aus einem Baukasten

Dipl.-Ing. B. Wunderlich

IWM, TU Dresden

Chancen für mehr Flexibilität, Funktionsintegration und effiziente Anwenderspezifika in der Bewegungssteuerung

**9. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar**  
***Profilschienenführungen in Werkzeugmaschinen***  
**09. bis 10.12.2004**

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

IWM, TU Dresden

Stand und Entwicklung von Profilschienenführungen an Werkzeugmaschinen

Dipl.-Ing. (FH) E. Albert; Dipl.-Ing. (FH) R. Greubel

Bosch Rexroth AG, Linear Motion and Assembly Technologies, Schweinfurt

Schwermaschinenbau mit Rollen-Profilschienenführungen

Dr.-Ing. W. Bauer; Dipl.-Ing. P. Lutz

INA-Schaeffler KG, Geschäftsbereich Lineartechnik, Homburg/Saar  
Kompetenz für die Werkzeugmaschine

Dr.-Ing. K. Zillner

Schneeberger GmbH, Höfen/Enz

AMS: Integriertes magnetisches Längenmess-System für Werkzeugmaschinen

Dipl.-Ing. H. Hoyer

THK GmbH, Ratingen

Linearführungen für Werkzeugmaschinen

Dipl.-Ing. R. G. Welle

THK GmbH, Ratingen

Innovative Produktkonzepte von THK für Werkzeugmaschinen

W. Schier

ELHA-Maschinenbau Liemke KG, Hövelhof

Einsatz von Hochleistungs-Wälzführungen an Präzisions-Bearbeitungszentren

Dr.-Ing. B. Draßdo  
MIKROMAT GmbH, Dresden  
Erfahrungen bei der Anwendung von Linearführungen im Präzisions-  
maschinenbau

Dr.-Ing. U.-V. Jackisch  
EPUCRET Polymertechnik GmbH & Co. KG, Wangen  
Betrachtungen zur Schnittstelle Profilschienenführung-Mineralguss-  
gestell im Focus der Abformtechnologie

H. Eggenschwiler  
W. Schneeberger AG, Roggwil (CH)  
Montage von Führungsschienen auf Mineralgussbetten mit speziellen  
Anforderungen an die Präzision

Dipl.-Ing. L. Neidhardt; Dr.-Ing. K. Schumacher  
IWM, TU Dresden  
Möglichkeiten der FEM-Modellierung zur Beschreibung des elastischen  
Verhaltens von Profilschienenführungen



*Angeregte Diskussion der Fachseminar-Teilnehmer*

## 6.2 Veröffentlichungen

### 6.2.1 Vorträge

#### Jahr 2003

Wiemer, H.; Bogon, P.

Virtuelles Presswerk - Pressensimulation ein wesentlicher Baustein  
EFB-Kolloquium "Optimierung von Produktionsabläufen in der  
Blechverarbeitung", 2003, Fellbach, Tagungsband

Großmann, K.

Parallelkinematiken - Stand, Perspektiven, Anwendungen  
Magdeburger Fertigungstechnisches Kolloquium MFK 2003, 09.-  
10.05.2003, TU Magdeburg, Tagungsband

Großmann, K.

Wood Machining on Parallel Kinematic Machine Tools  
Second International CAMT Conference "Modern Trends in  
Manufacturing", 20.-21.02.2003, TU Wroclaw

Großmann, K.

Simulationspotenzial an Umformmaschinen  
6. Dresdner WZM-Fachseminar "Simulation an Umformmaschinen",  
12.-13.06.2003 TU Dresden, Tagungsband

Großmann, K.; Wiemer, H.

Simulation der Pressendynamik an ausgewählten Beispielen  
6. Dresdner WZM-Fachseminar "Simulation an Umformmaschinen",  
12.-13.06.2003 TU Dresden, Tagungsband

Großmann, K.; Neidhardt, L.

Simulationsuntersuchungen für den Einsatz von Profilschienen-  
führungen in Pressen  
6. Dresdner WZM-Fachseminar "Simulation an Umformmaschinen",  
12.-13.06.2003 TU Dresden, Tagungsband

Großmann, K.; Jungnickel, G.

Simulation des thermischen Pressen-Anlauferhaltens  
6. Dresdner WZM-Fachseminar "Simulation an Umformmaschinen",  
12.-13.06.2003 TU Dresden, Tagungsband

Großmann, K.; Wunderlich, B.

Passiv-hydraulische Kompensation der Stößelkipfung an einer mechanischen Presse

6. Dresdner WZM-Fachseminar "Simulation an Umformmaschinen", 12.-13.06.2003 TU Dresden, Tagungsband

Großmann, K.

Neue Möglichkeiten zur wirtschaftlichen Bearbeitung von Holzformteilen auf Hexapoden einfacher Bauart

7. Dresdner WZM-Fachseminar "Innovative Bearbeitungstechnologien für Holzformteile", 04.-05.12.2003 TU Dresden, Tagungsband

Möbius, V.

Parallelkinematisches Bearbeitungszentrum für Holzformteile

7. Dresdner WZM-Fachseminar "Innovative Bearbeitungstechnologien für Holzformteile", 04.-05.12.2003 TU Dresden, Tagungsband

Riedel, M.; Oertel, M.

Handling und Referenzierung von gepressten Holzformteilen am Beispiel einer Sitzschale

7. Dresdner WZM-Fachseminar "Innovative Bearbeitungstechnologien für Holzformteile", 04.-05.12.2003 TU Dresden, Tagungsband

Wunderlich, B.; Szatmari, S.

Bedien- und Steuerungskonzept für Hexapoden einfacher Bauart

7. Dresdner WZM-Fachseminar "Innovative Bearbeitungstechnologien für Holzformteile", 04.-05.12.2003 TU Dresden, Tagungsband

Rehn, S.; Wunderlich, B.

Genauigkeitskonzept und Fehlerkorrekturen für Hexapoden einfacher Bauart

7. Dresdner WZM-Fachseminar "Innovative Bearbeitungstechnologien für Holzformteile", 04.-05.12.2003 TU Dresden, Tagungsband

Großmann, K.; Szatmari, S.

Genetic Algorithms for Calibration of Hexapod Structures

ICCC2003, Siófok, Ungarn, 2003, Tagungsband

## **Jahr 2004**

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

Progress in Accuracy and Calibration of Parallel Kinematics

4. Parallelkinematik-Seminar, 20./21.04.2004 Chemnitz, Tagungsband

Mühl, A.

Berechnung der Maschine-Prozess Interaktion beim Fräsen durch

Co-Simulation MSC.ADAMS-Simulink

MATLAB Hochschul-Thementag, Dresden, 2004

Mühl, A.

Gekoppelte Simulation der Systemdynamik von Werkzeugmaschine und  
Zerspanungsprozess

in: Zäh, M.; Reinhart, G. (Hrsg.): iwb Seminarbericht Nr. 70:

Mechatronik - Strukturodynamik von Werkzeugmaschinen, München,  
2004

Neidhardt, L.; Schumacher, K.

Möglichkeiten der FEM-Modellierung zur Beschreibung des elastischen  
Verhaltens von Profilschienenführungen

9. Dresdner WZM-Fachseminar "Profilschienenführungen in

Werkzeugmaschinen", 09.-10.12.2004 TU Dresden, Tagungsband

Großmann, K.

Stand und Entwicklung von Profilschienenführungen an  
Werkzeugmaschinen

9. Dresdner WZM-Fachseminar "Profilschienenführungen in

Werkzeugmaschinen", 09.-10.12.2004 TU Dresden, Tagungsband

Wunderlich, B.

Chancen für mehr Flexibilität, Funktionsintegration und effiziente  
Anwenderspezifik in der Bewegungssteuerung

8. Dresdner WZM-Fachseminar "Neue Funktionalität der Ablauf- und

Bewegungssteuerung an Werkzeugmaschinen", 03.-04.06.2004 TU  
Dresden, Tagungsband

Möbius, V.; Morchel, Th.

ASS - alternative Lösung zur SPS

8. Dresdner WZM-Fachseminar "Neue Funktionalität der Ablauf- und

Bewegungssteuerung an Werkzeugmaschinen", 03.-04.06.2004 TU  
Dresden, Tagungsband

Großmann, K.

Spannungsfeld: Anforderungen - Möglichkeiten - Verfügbarkeiten  
8. Dresdner WZM-Fachseminar "Neue Funktionalität der Ablauf- und  
Bewegungssteuerung an Werkzeugmaschinen", 03.-04.06.2004 TU  
Dresden, Tagungsband

Großmann, K.; Wunderlich, B.; Prause, M.; Siegert, K.; Luginger, F.  
Kompensation der Stößelkipfung mechanischer Pressen mit einem  
passiv-hydraulischen System

Internationale Konferenz "Neuere Entwicklungen in der  
Blechumformung", 11.-12.05.2004, Fellbach, Tagungsband



## 6.2.2 Fachaufsätze

### Jahr 2003

Großmann, K.; Möbius, V.

Individualisierung der Produkte als Herausforderung an die Steuerungstechnik

in: Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Marktchance Individualisierung, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 2003

Großmann, K.; Jungnickel, G.

Instationäres thermoelastisches Verhalten von Vorschubachsen mit bewegtem Wälzkontakt

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen, TU Dresden, 2003

Großmann, K.

Tätigkeitsbericht des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen 2001/2002  
Schriftenreihe des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen, TU Dresden, 2003

Großmann, K.; Wunderlich, B.; Prause, M.; Siegert, K.; Luginger, F.  
Kompensation der Stößelkipfung mechanischer Pressen mit einem passiv-hydraulischen System

ZWF, 98 (2003) 10, S. 505-509

Kühlewein, R.; Wiemer, H.

Funktionsflächen durch Nachschneiden

[www.utfscience.de](http://www.utfscience.de), II/2003

Großmann, K.; Mühl, A.; Müller, J.; Schween, A.

Mit der "Mikroachse" genauer drehen

Werkstatt und Betrieb, 136 (2003) 7-8, S. 51-54

### Jahr 2004

Großmann, K.; Mühl, A.

Adaptiv geregeltes Fräsen auf einem Hexapoden

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen, TU Dresden, 2004

Wiemer, H.

Stand und Möglichkeiten der Systemsimulation von mechanischen Pressmaschinen

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen, TU Dresden, Dissertation, 2004

Großmann, K.

Die digitale Simulation für den Entwurf der Werkzeugmaschine

in: Klocke, F.; Pritschow, G. (Hrsg.): Autonome Produktion, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 2004

Großmann, K.; Jungnickel, G.

Simulation and Assessment of the Thermal Behavior of Feed Axes with Ball Screw

Production Engineering, Vol. XI/1 (2004)

Großmann, K.; Brzezinski, G.

Wirtschaftliche Automatisierung zur Fertigung kleiner Stückzahlen

Dresdner Transferbrief, (2004) 2, S. 7

Großmann, K.; Rudolph, H.

Dynamische Strukturanalyse und Simulation an Werkzeugmaschinen mit dem Balkenmodell

ZWF, 99 (2004) 7-8, S. 390-397

Großmann, K.; Mühl, A.; Löser, M.

Adaptiv geregeltes Fräsen auf einer Parallelkinematik

ZWF, 99 (2004) 5, S. 259-264

Kühlewein, R.; Wiemer, H.

Funktionsflächen durch Nachschneiden

Blech Rohre Profile, 3 (2004)

Wiemer, H.; Kühlewein, R.

Die Virtuelle Presse unterstützt technologische Untersuchungen zum Nachschneiden

[www.utfscience.de](http://www.utfscience.de), III/2004

Luginger, F.; Wunderlich, B.; Heinzl, H.

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

wt Werkstatttechnik online, 11/2004

## **6.2.3 Forschungsberichte**

### **Jahr 2003**

Hoffmann, H.; Kühlewein, R.; Großmann, K.; Wiemer, H.  
Ermittlung von Prozessparametern beim Nachschneiden  
schergeschnittener Konturen  
EFB-Forschungsbericht, Nr. 206, Hannover 2003

Derenthal, M.-J.; Doege, E.; Großmann, K.; Jungnickel, G.  
Analyse der Werkzeug- und Maschinenerwärmung während der  
Anlaufphase von Anlagen der Blechbearbeitung  
EFB-Forschungsbericht, Nr. 208, Hannover 2003

Großmann, K.; Wunderlich, B.; Prause, M.; Siegert, K.; Luginger, F.  
Kompensation der Stößelkipfung mechanischer Pressen durch ein  
passiv-hydraulisches System  
Abschlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 12586, 2003

### **Jahr 2004**

Großmann, K.; Behrens, B.-A.; Neidhardt, L.; Ahrens, M.  
Einsatz von Profilschienenführungen (PSF) als Stößelführung an  
Pressen  
Abschlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben EFB 13083 BG, 2004

Großmann, K.; Wagenführ, A.  
Entwicklung und Erprobung eines neuartigen parallelkinematischen  
Bearbeitungszentrums für Holzformteile  
Abschlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben iVTH 54 ZBR/4, 2004

## 6.3 Messen und Ausstellungen

### LIGNA 2003

Auf der Weltmesse für die Forst- und Holzwirtschaft vom 26. bis 30.05.2003 in Hannover war das IWM auf zwei Messeständen mit Exponaten vertreten:



Der Gemeinschaftsstand der TU Dresden präsentierte die "Astgabel", ein vom Institut für Baukonstruktion und Holzbau der TU Dresden entwickeltes Formvollholz-Konstruktionselement für den Holzbau, das seine endgültige Form durch Fräsbearbeitung mit dem Hexapoden FELIX am IWM erhielt.

Der MiniHex als parallelkinematisches Bearbeitungszentrum für Holzformteile war auf dem Messestand der Bosch Rexroth AG ausgestellt, die diese Neuentwicklung des IWM mit der Beistellung von Komponenten unterstützt hat.

### COMTEC 2003

Der MiniHex in der Konfiguration als parallelkinematisches Bearbeitungszentrum für Holzformteile war Exponat auf dem Gemeinschaftsstand "Forschungsland Sachsen" der COMTEC in Dresden vom 06. bis 08.11.2003.

Das gemeinsame Angebot von IWM als Entwickler und der Dr. Mader Maschinenbau GmbH, Coswig, als Maschinenhersteller richtete sich auf dieser Messe vor allem an die traditionelle mittelständische holzverarbeitende Industrie in unserer Region und fand dort auch großes Interesse.

#### 4. Chemnitzer PKS 2004

Im Rahmen des 4. Chemnitzer Parallelkinematik-Seminars vom 20. bis 21.04.2004 fand die begleitende Ausstellung "Parallel Kinematics in Action" statt. Hier präsentierte das IWM seinen MiniHex, konfiguriert als "Parallel Kinematic Machining Center for Shaped Plywood Parts". Diese praktische Anwendung einer Parallelkinematik unterstützte eindrucksvoll die Aussagen des von Prof. K. Großmann auf dem Seminar gebotenen Vortrags (s. Pkt. 6.2.1.).



*MiniHex auf der COMTEC 2003*

## 6.4 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 2003**

#### **Schnupperstudium für einen Tag**

09.01.2003

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

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

10.05.2003

- 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**

28.04. bis 09.05.2003, 6 Schüler

- 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"

### **Info-Theke**

10.07.2003

- 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



*Informationsstand vor dem Kutzbach-Bau am Uni-Tag 2003*

## **Jahr 2004**

### **Schnupperstudium für einen Tag**

15.01.2004

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

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

24.04.2004

- 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

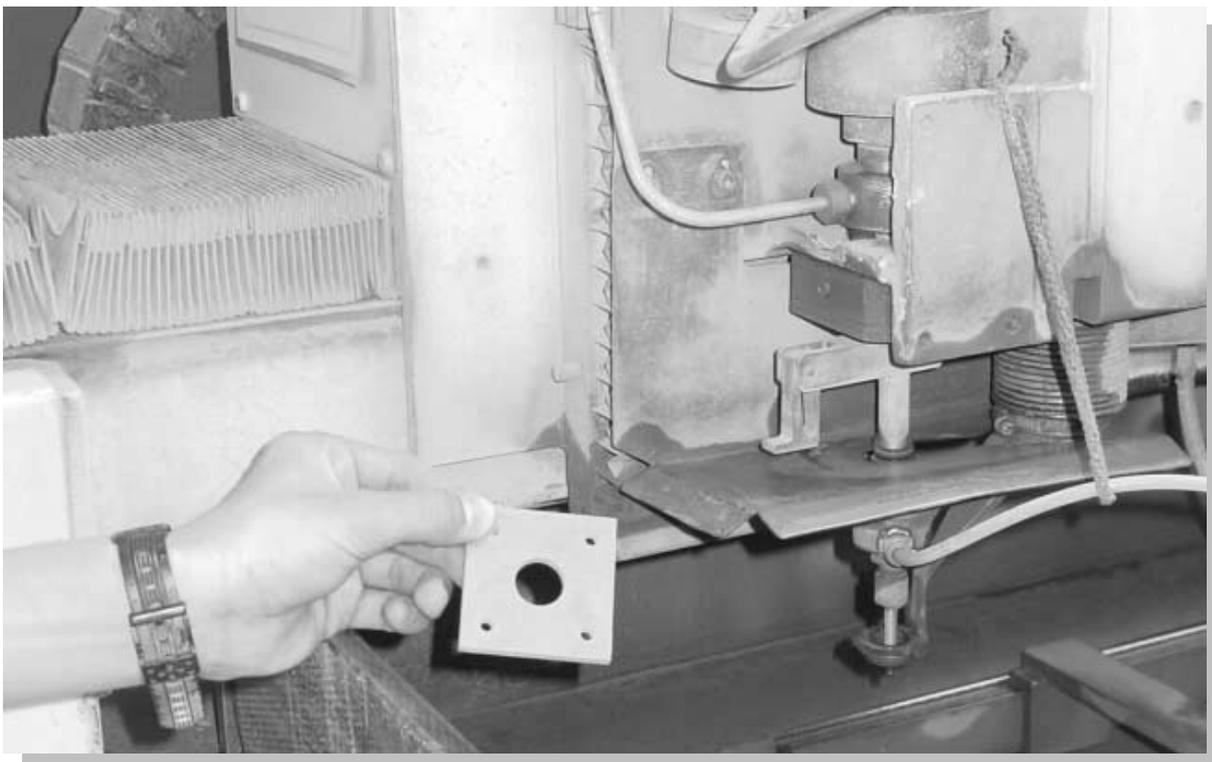
### **Betriebspraktikum der 9. Klassen von Gymnasien**

28.04. bis 09.05.2004, 6 Schüler

- Demonstration verschiedener Werkzeugmaschinen
- Programmierung der SPS einer einfachen Fertigungseinrichtung
- Einführung in die Arbeit mit 3D-CAD-Software
- Gestaltung einer Web-Site über das Praktikum
- Teilnahme an einer Vorlesung "Werkzeugmaschinenentwicklung"
- Demonstration Wasserstrahl- und Laserschneiden
- Praktische Tätigkeit am Lehrversuchsstand "Dynamik einer Bohrstange"



*Demonstration Wasserstrahlschneiden für Schüler im Praktikum*



## Veranstaltung im Rahmen der Jugendarbeit und Jugendweihe

Der DWM e. V., der Förderverein des IWM, organisiert in Zusammenarbeit mit dem Sächsischen Verband für Jugendarbeit und Jugendweihe e. V., Regionalbüro Dresden, jährlich mehrere Veranstaltungen für Schüler 8. Klassen zur Unterstützung der Berufswahl.

Die Veranstaltungsreihe trägt den Titel "Die Realität im Virtuellen – mit Informationstechnologie zu moderner Maschinenteknik". Die Schüler erkennen im Versuchsfeld und im Rechner-Labor des IWM, dass moderne Informationstechnologie mehr bietet als Chatten, Surfen, Mailen, Computer-Spielen, ... Sie erleben hautnah den Einsatz von Computern bei Konstruktion, Berechnung, Design und Steuerung von Maschinen.

Und das nicht nur theoretisch, sondern als Höhepunkt der Veranstaltung beim Entwurf eines eigenen Werkstückes am PC. Dessen Herstellung kann anschließend verfolgt werden – von der Erstellung eines NC-Programms bis zum Laser-Schneiden. Und dann kann es mit nach Hause genommen werden ...

2003/2004 gab es vier Veranstaltungen mit insgesamt 37 Teilnehmern.



*Schüler im Rechner-Labor*

## **6.5 Mitarbeit in Gremien und Ausschüssen**

### **Prof. Dr.-Ing. habil. K Großmann**

- Mitglied der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik
- DFG-Fachgutachter
- AiF Sonder-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

### **G. Gäk, S. Frech, J. Ertel**

- Mitglied des Meisterrates der TU Dresden

### **Ing. Christine Häusler**

- Mitglied des Konzils 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

## **6.6 Auszeichnungen für Mitarbeiter und Studenten des Lehrstuhls**

### **VDW Studienpreis**

des VDW Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V.

2003

**Dipl.-Ing. Michael Löser**

für seinen Großen Beleg

"Erweiterung und Verifizierung des Simulations-Modells einer Hexapod-Stabachse"

2004

**Dipl.-Ing. Mirko Riedel**

für seinen Großen Beleg

"Untersuchung von Stabachsen und Kardangelenken eines großen Hexapoden"

## **6.7 DWM e. V. Dresdner Freundeskreis der Werkzeug- maschinen- und Steuerungstechnik**

### **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



Werkzeugmaschinenfabrik 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.

## 6.8 Schriftenreihe Lehre • Forschung • Praxis

Der Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen veröffentlicht die Ergebnisse seiner Arbeit u. a. in seiner Schriftenreihe **Lehre • Forschung • Praxis**. 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 Maschinenteknik**  
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

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](mailto:mailbox@iwm.mw.tu-dresden.de)