



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

HTU
Darmstadt

Jahresbericht 2015 Annual Report 2015

BRUDERER



Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen
Institute for Production Engineering and Forming Machines

Metal Forming at PtU

The metal forming industry significantly contributes to the competitive and innovative strength of Germany as an industrial location. Our services in teaching and research contribute to the development of this industry and ensure high quality education in the future.

A comprehensive offer in university education qualifies and prepares prospective engineers for their future tasks. The theoretical knowledge of forming processes is taught in basic and advanced lectures accompanied by practical exercises and case studies. In tutorials students acquire knowledge concerning control systems for forming machines and numerical simulations of forming processes. Within the scope of group and project work students can experience engineering-related activities and train their skills in problem solving and scientific creativity. Content of these group and project work can be constructional, experimental, analytical or numerical problems deepening the knowledge gained in lectures. Last but not least, students can prove their expertise gained during their studies in complex scientific problems within the scope of Bachelor and Master theses.

Our research and development projects consider current problems in metal forming and manufacturing. For that purpose, the institute is divided into four departments focusing on process chains and forming units, roll forming and flow splitting, tribology as well as smart structures.

In the past years first approaches have shown how forming technology might be affected and extended by "Industry 4.0". The advancing realization of "Industry 4.0" in research and industry was presented impressively at the conference "Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt 2015" which focused on these developments. Several long-term research projects at PtU have been investigating the opportunities provided by "Industry 4.0". Key issues of those projects are, for instance, how the robustness of forming processes can be improved by integrating sensors in the process chain and how components can be utilized as actors and sensors by integrating functional material in forming processes. In addition, forming processes such as three-roll-bending are developed further in such a way that they automatically react to changing material properties or target geometries. Furthermore, the combination of printing processes producing conductive structures and large-scale production methods such as roll forming promise the cost-efficient fabrication of smart components.

Besides these new trends, the research focus of PTU is still on "classical" questions related to forming technology. Fundamental studies on e. g. end flare in roll forming processes broaden our knowledge and serve as a basis for further developments of forming processes. The transfer of widely-spread forming operations on new materials such as paper provides the possibility to extend the limits of forming technology. The investigation of tribological systems which are crucial for the success of many forming operations offers possibilities for more environmental friendly process design by reducing the amount of lubricants or replacing it.

We are glad to be your competent partner for consulting and research services in the future. We would like to thank all project partners for the excellent cooperation during the last year and look forward to a new year with many exciting and corporate challenges.

Yours, Peter Groche



Umformtechnik am PtU

Die Umformbranche trägt einen wesentlichen Beitrag zur Wettbewerbs- und Innovationsstärke des Wirtschaftsstandorts Deutschland bei. Unsere Arbeit in Lehre und Forschung unterstützt die Weiterentwicklung dieser Branche und stellt die qualitativ hochwertige Ausbildung der Studierenden auf dem Gebiet der Umformtechnik sicher.

Ein umfangreiches Angebot in der universitären Lehre durch das PtU bietet verschiedene Möglichkeiten zur Qualifizierung und Vorbereitung von Nachwuchsingenieurinnen und -ingenieuren für zukünftige Herausforderungen. Die Grundlagen und die weiterführende Vertiefung umformtechnischer Prozesse und Prozessketten werden in Vorlesungen vermittelt, die durch praxisnahe Übungen und Fallstudien sinnvoll ergänzt werden. Die Qualifizierung im Bereich der Steuerungs- und Regelungstechnik sowie der numerischen Simulation von Umformprozessen erfolgt in Tutorien. Im Rahmen verschiedener Projektarbeiten können Studierende ingenieursnahe Tätigkeiten erfahren und ihre Problemlösungskompetenzen sowie wissenschaftliche Kreativität erweitern. Solche Projektarbeiten können konstruktive, experimentelle, analytische oder auch numerische Fragestellungen enthalten und vertiefen das in den Vorlesungen erarbeitete Wissen. Im Rahmen von Abschlussarbeiten stellen Studierende ihre im Studium erworbenen fachlichen Fähigkeiten in komplexen wissenschaftlichen Fragestellungen unter Beweis.

Unsere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten betrachten aktuelle umform- und produktionstechnische Fragestellungen. Das Institut gliedert sich hierzu in vier Abteilungen, die sich mit den Themengebieten Prozessketten und Anlagen, Walz- und Spaltprofilieren, Tribologie sowie Funktions- und Verbundbauweisen beschäftigen.

In den vergangenen Jahren haben erste Ansätze gezeigt, wie die Umformtechnik durch die neuen Randbedingungen von »Industrie 4.0« beeinflusst und erweitert werden kann. Das auf diese Thematik ausgerichtete »Umformtechnische Kolloquium Darmstadt 2015« des PtU konnte die voranschreitende Umsetzung von »Industrie 4.0« in der Forschung und in der industriellen Anwendung eindrucksvoll demonstrieren. Auch in mehreren langjährigen Forschungsprojekten am PtU sind die Möglichkeiten von »Industrie 4.0« Gegenstand der Untersuchungen. Hierbei wird beispielsweise erforscht, inwiefern sich Produktionsprozesse in der Umformtechnik durch die Integration von Sensorik in der Prozesskette robuster gestalten lassen oder Bauteile durch die umformtechnische Integration von Funktionsmaterialien als Sensoren und Aktoren eingesetzt werden können. Darüber hinaus werden Umformprozesse, wie beispielsweise das Drei-Rollen-Biegen, derart weiterentwickelt, dass diese auf sich ändernde Materialeigenschaften und Zielgeometrien selbstständig regulierend reagieren können. Die Kombination von Druckverfahren zur Herstellung leitender Strukturen mit effizienten Massenfertigungsverfahren – wie dem Walzprofilieren – verspricht die kosteneffiziente Fertigung smarter Bauteilstrukturen.

Neben diesen neuen Entwicklungen in der Umformtechnik verlieren jedoch auch die »klassischen« Fragestellungen der Umformtechnik nicht an Bedeutung. Durch grundlegende Untersuchungen zu Prozessphänomenen – wie dem Kopfsprung beim Walzprofilieren – wird bestehendes Prozesswissen erweitert und die Grundlage für Weiterentwicklungen der Fertigungsverfahren gelegt. Möglichkeiten zur Erweiterung von Prozessen durch Übertragung der Anwendung auf weitere Werkstoffe bietet beispielsweise die umformtechnische Verarbeitung

von Papier. Die Betrachtung und Verbesserung tribologischer Systeme, die häufig entscheidend zum Erfolg von Umformprozessen beitragen, bieten das Potential zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit durch Reduzierung oder Substitution des eingesetzten Schmierstoffs.

Gerne stehen wir Ihnen auch in Zukunft als Ansprechpartner für Beratungsdienstleistungen und Forschungskooperationen zur Verfügung. Für die hervorragende Zusammenarbeit im Rahmen verschiedener Forschungs- und Entwicklungsprojekte im vergangenen Jahr möchten wir uns an dieser Stelle herzlich bedanken. Wir freuen uns auf ein neues Jahr mit vielen spannenden, gemeinsamen Herausforderungen.

Ihr Peter Groche



Index of contents

Foreword	2
Institute	6
History	8
Structure of the Institute	10
Services & Funding	12
Institute for Research in Production Technology e. V. (IfF e.V.)	14
Technical Equipment	16
Research	18
Research Activities with other Institutes	22
Research Departments	32
Completed Dissertations	56
Publications	62
Presentations	63
Teaching	64
Content of Teaching	66
Courses	67
Student Numbers	68
Completed Theses	69
A Supplementary Course in Mechanical Engineering	72
Life at the Institute	74
WGP Soccer Contest	76
Summer Festival	76
12 th Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt	77
Retirement of Mr. Hillgärtner	78
New Staff	79
Competition “Stahl fliegt”	80
Stuff Outing	81
40 years of service	82
Outlook: Forum “Tribological developments in sheet metal forming”	83
Directions	84
Imprint	86

Inhalt

Vorwort	2
Institut	6
Institutsentwicklung	8
Institutsstruktur	10
Dienstleistung & Finanzierung	12
Institut für Fertigungsforschung e. V. (IfF e.V.)	14
Technische Ausstattung	16
Forschung	18
Forschungsaktivitäten mit anderen Instituten	22
Forschungsaktivitäten der Abteilungen	32
Abgeschlossene Dissertationen	56
Veröffentlichungen	62
Vorträge	63
Lehre	64
Lehrinhalte	66
Vorlesungen	67
Studierendenzahlen	68
Abgeschlossene Arbeiten	69
Maschinenbau-Brückenkurs	72
Institutsleben	74
WGP Fußballturnier	76
Sommerfest	76
12. Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt	77
Ruhestand von Herrn Hillgärtner	78
Neue Mitarbeiter	79
Wettbewerb »Stahl fliegt«	80
Betriebsausflug	81
40-jähriges Dienstjubiläum	82
Ausblick: Forum »Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung«	83
Anfahrt	84
Impressum	86

Institute



Institut



From 1976 to 2015 – A long Tradition of Metal Forming at Technische Universität Darmstadt

Technical research and teaching in Darmstadt has over 120 years of tradition. In 1976, metal forming was spun off from the Institute for Machine Tools. Prof. Dr.-Ing. Dieter Schmoeckel became head of the new founded Institute for Metal Forming (IfU). Since 1989, the institute has been bearing its present name Institute for Production Engineering and Forming Machines (PtU) and it has been led by Professor Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche since 1999.

The test area on campus Lichtwiese is equipped with numerous test facilities and machine tools. By employing a mechanical workshop with 21 skilled workers and trainees, forming tools and test rigs can be manufactured locally. For more experimenting capacities, a second experimenting hall, built for the Collaborative Research Centre CRC 666, was opened in 2007. Modern computer hardware enables the efficient use of state-of-the-art simulation and design software plus the latest measurement technologies in research. The equipment is completed by student multimedia workstations as well as a training kit to perform hands-on exercises in the new tutorial "Control of Forming Machines".

Since the early days of the institute, the number of employees has constantly been rising to currently 38 scientific assistants, 11 administrative and technical members of staff and two trainees as well as about 50 student research assistants. The fact that PtU has preserved this positive development

over the years confirms the good reputation the institute has gained among funding organizations and industrial partners.

Due to the increasing number of research associates and in order to facilitate the internal communication and improve the scientific exchange, the departments were reconstructed in 2014. The members of the three former research departments have been thematically redistributed to the four new departments "Process Chains and Forming Units", "Roll Forming and Flow Splitting", "Tribology" and "Smart Structures".

Die produktionstechnische Forschung und Lehre in Darmstadt blickt auf eine über 120-jährige Tradition zurück. Im Jahre 1976 wurde aus dem Institut für Werkzeugmaschinen die Umformtechnik ausgegliedert. Prof. Dr.-Ing. Dieter Schmoeckel leitete das damals unter dem Namen Institut für Umformtechnik (IfU) gegründete Fachgebiet. Seit 1989 führt das Institut den heutigen Namen Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) und wird seit 1999 von Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche geleitet.

Das Versuchsfeld an der Lichtwiese ist mit einer Vielzahl von Prüfständen und Werkzeugmaschinen ausgestattet. Durch die Anbindung einer mechanischen Werkstatt mit 21 Facharbeitern und Auszubildenden können Umformwerkzeuge und Versuchsstände direkt vor Ort gefertigt werden. Seit

2007 steht zusätzlich die für den Sonderforschungsbereich SFB 666 gebaute zweite Versuchshalle zur Verfügung. Moderne Computerhardware ermöglicht die effiziente Nutzung aktueller Simulations- und Konstruktionssoftware sowie neuester Messtechnik im Rahmen der Forschungsarbeiten. Abgerundet wird die Ausstattung im Bereich Lehre durch multimediale Arbeitsplätze sowie einen Lernbaukasten zur Durchführung von praktischen Übungen im Rahmen des Tutoriums »Steuerung und Regelung von Umformmaschinen«.

Seit der Gründung des Instituts ist die Mitarbeiterzahl stetig gestiegen. Aktuell arbeiten 38 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am PtU. Diese Bilanz über Jahre aufrecht zu erhalten, bestätigt den guten Ruf, den sich das Institut im Laufe der Zeit bei Fördergesellschaften und Industriepartnern erworben hat. Weiterhin arbeiten 11 Mitarbeiter und zwei Auszubildende in Verwaltung und Technik sowie etwa 50 studentische Hilfskräfte am PtU.

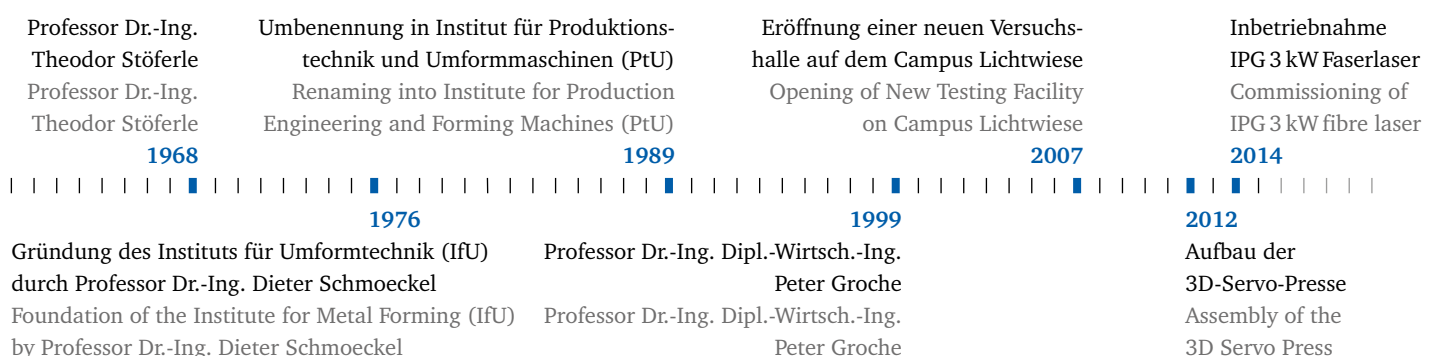
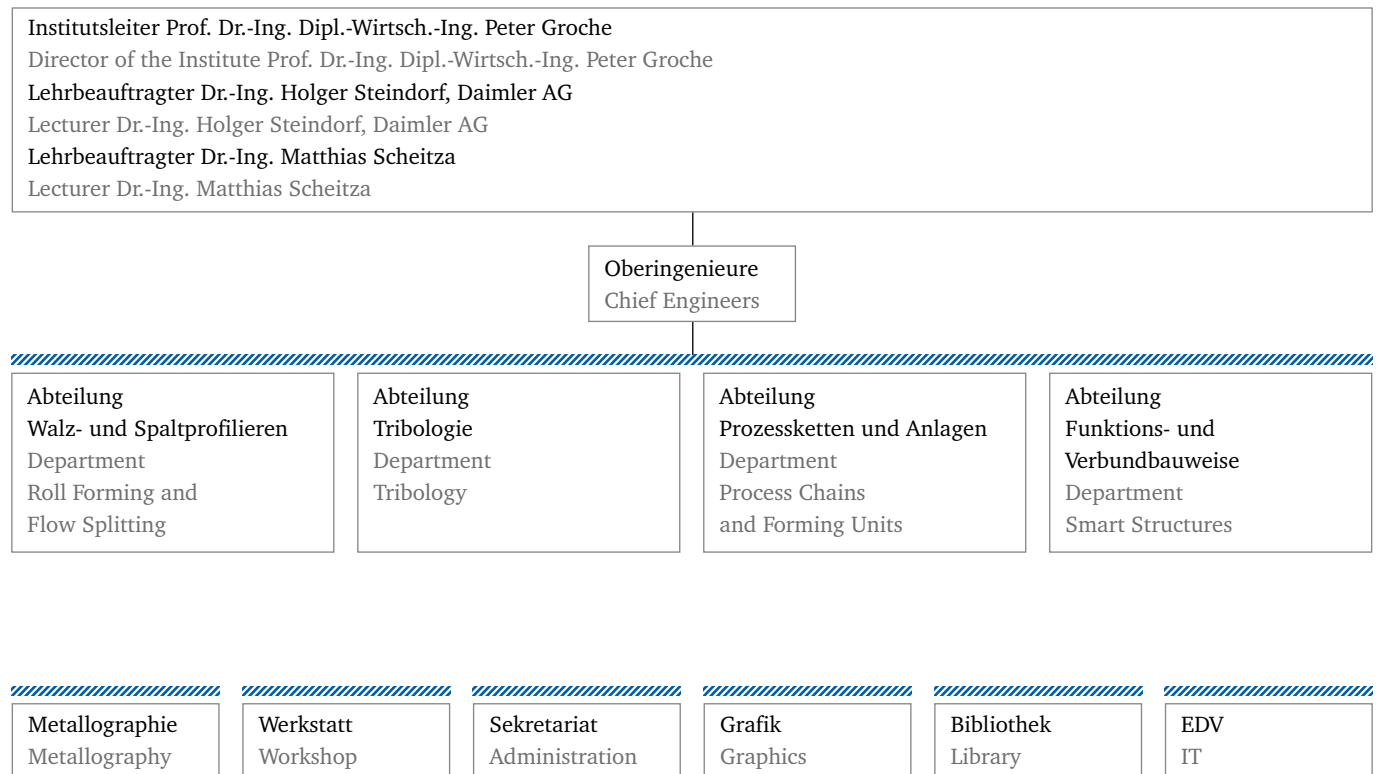
Aufgrund der stetig wachsenden Anzahl an wissenschaftlichen Mitarbeitern wurde 2014 eine Umstrukturierung der Abteilungen durchgeführt. Die Mitarbeiter der ehemals drei Abteilungen wurden thematisch auf die vier neuen Abteilungen »Prozessketten und Anlagen«, »Walz- und Spaltprofilieren«, »Tribologie« und »Funktions- und Verbundbauweise« umverteilt. Dadurch wird die abteilungsinterne Kommunikation erleichtert und der wissenschaftliche Austausch verbessert.

Erweiterung des Lehrstuhls durch
Professor Dipl.-Ing. Ludwig von Roeßler
Expansion of the Chair by
Professor Dipl.-Ing. Ludwig von Roeßler
1903

1894
Gründung des Lehrstuhls Maschinenbau
durch Professor Kraus
Expansion of the Chair by
Professor Dipl.-Ing. Ludwig von Roeßler

1944
Professor Dr.-Ing.
Carl Stromberger
Professor Dr.-Ing.
Carl Stromberger

Von 1976 bis 2015 – Eine lange Tradition der Umformtechnik an der Technischen Universität Darmstadt



Services & Funding

As part of our research activities in the field of production engineering, we offer our partners a wide range of services. The focus is always on innovative and individual solutions that suit the customer's problem definition.

Knowledge and experience transfer of fundamental research in production engineering to our industrial partners is our utmost priority. At your request, we can enhance or newly develop your innovative forming process and products. Instead of just testing technology, we analyze the efficiency and quality of processes and products as well.

Due to our longtime collaboration with industrial partners, we are aware of the objectives and required tasks. Our teamwork and the interaction between basic and pre-competitive research resulting from it benefit both sides. In particular, PtU Darmstadt offers the following services:

- Feasibility studies and profitability analysis in the field of production and forming technology
- Optimization of production flow
- Numerical process simulation of sheet metal and bulk forming processes
- Evaluation of tribological systems (workpiece, coatings and lubricants) by means of model experiments
- Prototype development for products, tools and machinery
- Process analysis using the optical measuring systems GOM Argus, Aramis and Atos as well as a thermography camera
- Material characterization
- Surface analysis

The funding of the Institute for Production Engineering and Forming Machines (PtU) is mainly based on three different pillars. In addition to public authorities and research promotion associations, the close collaboration with different branches of industry has to be mentioned.

The state Hesse, represented by the Technische Universität Darmstadt, offers capital for basic equipment and hardware only, while the main part of funding comes from third-party funds. Among the most important third-party funding are the German Research Foundation (DFG), the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) as well as the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), the European Union (EU), the German Federation of Industrial Research Associations (AiF), The Central Innovation Program for SME (ZIM), The European Research Association for Sheet Metal Working (EFB), The European Research Association for Steel Application (Fosta), the German Fasteners Association, the Forging Association (IMU), the European Cold Rolled Section Association (ECRA), the German Cold Forging Group (GCFG) and the State Offensive for Development of Scientific and Economic Excellence (LOEWE). Thus, through every research project, the institute acquires means for a continuous and profound improvement of its research and teaching.

Dienstleistungen & Finanzierung

Im Rahmen unserer produktionstechnischen Forschungsaktivitäten bieten wir unseren Projektpartnern ein vielfältiges Portfolio an Dienstleistungen an. Im Fokus steht dabei immer eine innovative und kundenspezifische Lösung der an uns gestellten Aufgabe.

Der aktive Wissens- und Erfahrungstransfer von Ergebnissen der durchgeführten produktionstechnischen Grundlagenforschung an die Industriepartner hat für uns oberste Priorität. Innovative Umformprozesse und Umformprodukte unterziehen wir für Sie gerne einer Neu- bzw. Weiterentwicklung. Neben der Technologie überprüfen wir auch die Wirtschaftlichkeit und Qualität von Prozessen und Produkten.

Die Zielsetzungen und Aufgaben, die industrielle Partner an uns stellen, sind uns aus langjähriger Erfahrung bekannt. Die dabei entstehende Wechselwirkung zwischen Grundlagenforschung und vorwettbewerblichem Fortschritt bringt positive Impulse für beide Seiten mit sich. Konkret bietet das PtU Darmstadt folgende Dienstleistungen an:

- Machbarkeitsstudien und Wirtschaftlichkeitsanalysen im Bereich Produktions- und Umformtechnik
- Optimieren von Produktionsabläufen
- Numerische Prozesssimulation von Blech- und Massivumformprozessen
- Beurteilung tribologischer Systeme (Werkstück, Beschichtung, Schmierstoff) mit Hilfe von Modellversuchen
- Prototypenentwicklung für Produkte, Werkzeuge und Maschinen
- Prozessanalyse unter Zuhilfnahme moderner experimenteller und numerischer Analyseverfahren
- Materialcharakterisierung
- Oberflächenanalytik

Die Finanzierung des PtU Darmstadt stützt sich im Wesentlichen auf drei Säulen. Neben der öffentlichen Hand und Forschungsfördergesellschaften ist die enge Zusammenarbeit mit der Industrie eine wichtige Finanzierungsquelle.

Das Land Hessen, vertreten durch die Technische Universität Darmstadt, stellt dem Institut Mittel zur Grundausstattung zur Verfügung. Der überwiegende Teil der Finanzierung erfolgt jedoch durch Drittmittel. Zu den wichtigsten Drittmittelgebern zählen die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), die Europäische Union (EU), die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM), die Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung (EFB), die Forschungsvereinigung Stahlanwendung (Fosta), der Schraubenverband, der Industrieverband Massivumformung (IMU), die European Cold Rolled Section Association (ECRA), die German Cold Forging Group (GCFG) und die Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-Ökonomischer Exzellenz (LOEWE). Die akquirierten Mittel aus Forschungsprojekten leisten einen wichtigen finanziellen Beitrag zur ständigen Modernisierung der Ausstattung für Forschung und Lehre.

Institusstruktur

Structure of the Institute

Institutsleitung

Director of the Institute

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Peter Groche

Oberingenieure

Chief Engineers

Dipl.-Ing. Benjamin Heß
M.Sc. Tilman Traub
Dipl.-Ing. Lennart Wießner

Abteilung

Prozessketten und Anlagen

Department

Process Chains and Forming Units

Leitung

Head of Department

Dipl.-Ing. Sebastian Zang

MitarbeiterInnen

Staff

Dipl.-Ing. Stefan Calmano
M.Eng. Carolin Englert
Dipl.-Ing. Benjamin Heß
Dipl.-Ing. Daniel Hesse
M.Sc. Johannes Hohmann
M.Sc. Florian Hoppe
M.Sc. Thomas Kessler
M.Sc. Dominik Kraus
Dipl.-Ing. Wiktorija Morkwitsch
M.Sc. Johanna Schreiner
M.Sc. Julian Sinz
Dipl.-Ing. Lennart Wießner

Technischer Support

Technical Support

Leitung mechanische Werkstatt

Head of Mechanical Facilities

Mirko Feick

Versuchsfeldtechniker

Testfield Engineers

Paul Boger
Edwin Kirchner

Lehrbeauftragte

Lecturers

Dr.-Ing. Matthias Scheitza
Dr.-Ing. Holger Steindorf

Sekretariat | Bibliothek

Office | Library

Claudia Baltes
Anna Dimitrova
Sabine Passet

Abteilung

Walz- und Spaltprofilieren

Department

Roll Forming and Flow Splitting

Leitung

Head of Department

Dipl.-Ing. Alexander Duschka

MitarbeiterInnen

Staff

M.Tech. Pushkar Mahajan
M.Sc. Matthias Moneke
M.Sc. Vinzent Monnerjahn
M.Sc. Manuel Neuwirth
Dipl.-Ing. Mahmut Özel
M.Sc. Annemie Stöckigt
Dipl.-Ing. Martin Storbeck
M.Sc. Tilman Traub

Öffentlichkeitsarbeit

Public Relations

Design | Layout | Fotografie

Design | Layout | Photography

Julian Steen
Dipl.-Des. Julia Voit

Buchhaltung | SFB 666

Accountancy | SFB 666

Stephanie Keller
Dipl.-oec.-troph Annette Metz
Katrin Schallert

Abteilung Tribologie

Department
Tribology

Leitung

Head of Department

Dipl.-Ing. Philipp Kramer
M.Sc. Manuel Steitz

MitarbeiterInnen

Staff

M.Sc. Matthias Christiany
M.Sc. Florian Dietrich
M.Sc. Felix Kretz
M.Sc. Viktor Recklin
M.Sc. Wilhelm Schmidt
M.Sc. Peter Sticht

Abteilung

Funktions- und Verbundbauweisen

Department
Smart Structures

Leitung

Head of Department

M.Sc. Philipp Stein
M.Sc. Simon Wohletz

MitarbeiterInnen

Staff

M.Sc. Matthias Brenneis
M.Sc. Wilken Franke
M.Sc. Christiane Gerlitzky
M.Sc. Henning Husmann
M.Sc. Stefan Köhler
M.Sc. Martin Krech
M.Sc. Arne Mann
M.Sc. Christian Pabst
M.Sc. David Übelacker

IT Support

IT Support

IT-Systems Manager

IT-Systems Manager

Roman Haaf

Auszubildende

Trainees

Tara Dommershausen
Tino Unterköfler

eXist Forschungstransfer

eXist Research Transfer

M.Sc. Matthias Brenneis
Dr.-Ing. Jörg Stahlmann

Iff

The Institute for Manufacturing Research e.V. (Iff) is a forum that promotes the timeliness of teaching and research at the Institute for Production Engineering and Forming Machines (PtU) by an active exchange of scientific insights between industry and PtU. At the same time, the association founded in 1981 is committed to sponsoring scientific research in the fields of production engineering by providing additional funds for research activities that are not covered by the state budget of Technische Universität Darmstadt. Here, the association pursues exclusively non-profit purposes. The association's subsidies consist mainly of membership fees and donations.

The contributed funds are used to improve the equipment of the institute, support research projects, promote young scientists and to convey production engineering knowledge by organizing conferences and seminars. Under this motto, the efforts of Iff are to gain former employees, private individuals and companies for its goals. PtU needs a large and dedicated circle of friends to make the alignment of research attractive in the future, encourage the communication between employees of PtU and production engineers and to intensify existing contacts. In addition, Iff supports a variety of measures to prepare students for the tasks in professional practice and to enhance the skills of graduates.

We cordially invite you to become a member of the Institute for Manufacturing Research!

Iff

Das Institut für Fertigungsforschung e.V. (Iff) versteht sich als ein Forum, das die Aktualität von Forschung und Lehre am Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) durch lebhaften Austausch von Erkenntnissen zwischen der Industrie und dem PtU fördert. Gleichzeitig unterstützt der im Jahr 1981 gegründete Verein die Forschung auf dem Gebiet der Fertigungstechnik durch die Bereitstellung zusätzlicher Mittel, da die vielfältigen Forschungsaufgaben des PtU Mittel erfordern, die nicht immer aus dem staatlichen Etat der Technischen Universität Darmstadt gedeckt werden können. Dabei verfolgt das Iff ausschließlich gemeinnützige Zwecke. Die Fördergelder des Vereins setzen sich hauptsächlich aus Mitgliedsbeiträgen und Spenden zusammen.

Die eingebrachten Mittel werden zur Verbesserung der Institutsausstattung, Unterstützung von Forschungsvorhaben, Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und Vermittlung fertigungstechnischer Erkenntnisse durch Veranstaltung von Tagungen und Seminaren eingesetzt. Unter diesem Motto bemüht sich das Iff, ehemalige Mitarbeiter, Privatpersonen, Gesellschaften und Unternehmen für seine Ziele zu gewinnen. Das PtU braucht einen großen und engagierten Freundeskreis, um die Ausrichtung der Forschungsaktivitäten auch in Zukunft attraktiv zu gestalten, die Kommunikation zwischen Mitarbeitern des PtU und Fertigungstechnikern anzuregen und bestehende Kontakte zu vertiefen. Zudem unterstützt das Iff vielfältige Maßnahmen, um Studierende auf die Aufgaben in der Berufspraxis vorzubereiten und die Qualifikation der Absolventen zu erhöhen.

Wir laden Sie herzlich dazu ein, ebenfalls Mitglied des Instituts für Fertigungsforschung zu werden!



Technical Equipment

Forming Machines, Special purpose machinery and test rigs

1. HMP UR8 CNC rotary swaging machine with induction heating and upset swaging unit
2. Leifeld St500 spinning and roller spinning machine
3. Flexible production line for branched multi-chamber profiles with linear flow-splitting module, roll forming module and linear bend-splitting
4. Stand for flexible flow splitting
5. Hydraulic bulge test equipment for flow limit diagrams according to Nakazima
6. Dunkes combined deep drawing and hydroforming press 30.000 kN
 - a. Burst testing of tubes and profiles
 - b. Modular tool system for high pressure forming of sheet metals (size of workpieces up to 1m²)
7. Self-made 500 kN triple-acting hydraulic press
8. Combined strip drawing facility
9. Linear motor driven press version Limo20
10. Linear motor driven press version Limo40
11. Linear bearing test station
12. Laser welding and cutting system
13. Test stand for the investigation of material properties during hot hydroforming
14. Test stand for joining by hydroforming in the hot temperature range
15. Slide-compression test stand for measurement of wear and friction in cold, warm and hot bulk metal forming
16. Intermitting strip drawing test stand

17. Strip drawing test stand according to VDA-standard
18. Synchropress SWP 2500 servo motor press
19. High performance stamping press BSTA 810-145
20. 3D Servo press with programmable ram stroke, tilting and orbital movement
21. VoestAlpine roll forming line (12 stands)
22. Numerically controlled calibration stand
23. Flexible roll forming stand
24. Pneumatic press for conventional forming (up to 40kN) and hydroforming (up to 10 bar) of fibre material
25. Test device for pneumatic bulge testing of thin sheet metal as well as plastic and fibre material
26. Film applicator and drying time recorder COATMASTER 510
27. Deep rolling system and hammer peening system for smoothing of surfaces and hardening of the surface layer
28. Hot melt coating machine Hardo TH 300-V37,5
29. Laser machining system 3D micro-STRUCT ns532
30. Induction generator Hüttinger Tru 5040 MF
31. Test stand for collision welding
32. Placement system Epson Scara G6-65xS
33. Heat treatment furnace Nabertherm
34. Strip drawing test stand for fibrous materials and plastics

Measurement Equipment

1. GOM Atos III 3D Digitizer
2. GOM Aramis optical 3D deformation measurement
3. GOM Argus optical forming analysis
4. Hommel Waveline T8000 roughness measuring station
5. Confocal microscope μ surf ®
6. Optical 3D measurement equipment μ surf ® mobile
7. Krautkramer USD 15SX ultrasonic test instrument
8. Thermography camera
9. Combined tensile compression test machine
10. Metallography laboratory
11. Scanning electron micrograph JEOL JS-M6610LV
12. Acoustic testing up to 500 kHz
13. Sonic camera "Noise Inspector Compact" produced by CAE Software & Systems
14. Profile measurement system Bytewise Profile360
15. HBM measurement equipment to analyze forming forces and driving torques
16. LUBRImini: Can be used to measure coating thicknesses. Especially the amount of lubricants can be detected. The measuring principle is based on the fluorescence technique.
17. Fischer MP 40 Dualscope: Measurement of film thickness using the eddy current method, equipped with measuring probes ETA 3.3 H and ED NC/NF
18. Pulsed diode laser light source CAVILUX SMART for high speed visualization
19. 4-channel high-speed camera PCO hsfc pro for high speed visualization
20. Hardness tester DuraScan20

Technische Ausstattung

Umformmaschinen, Sondermaschinen und Prüfstände

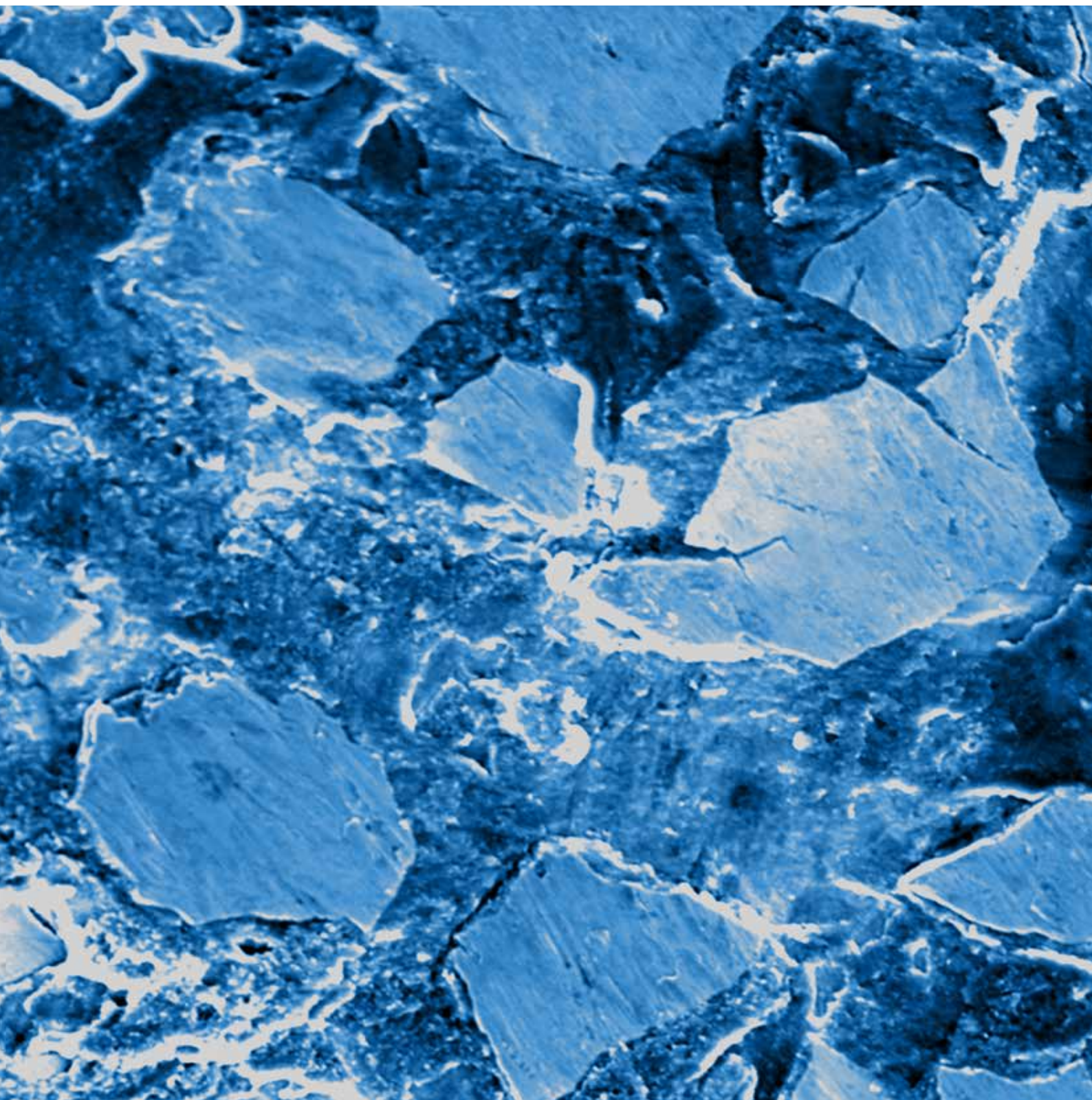
1. HMP UR8 CNC-Rundknetmaschine mit Induktionserwärmungsanlage und Stauch-einheit
2. Leifeld St500 Drück- und Drückwalzan-lage
3. Flexible Fertigungsanlage zur Herstellung verzweigter Mehrkammerprofile mit Spalt-profiliermodul, Walzprofiliermodul und Spaltbiegemodul
4. Flexibles Spaltprofiliergerüst
5. Hydraulischer Tiefungsversuchsstand zur Aufnahme der Grenzformänderungskurve nach Nakazima
6. Dunkes kombinierte Tiefzieh- & IHU-Pressen 30.000 kN
 - a. Berstprüfstand für Rohre und Profile
 - b. Modulares Werkzeugsystem für die Hoch-druck-Blechumformung (Bauteilgröße bis 1 m²)
7. Eigenbau 500 kN 3-fach wirkende hy-draulische Versuchspresse
8. Kombinierte Streifenzieh-anlage
9. Linearmotorpresse Typ Limo20
10. Linearmotorpresse Typ Limo40
11. Linearführungsprüfstand
12. Laserbearbeitungszentrum mit kombi-nierter Schneid-/Schweißoptik
13. Prüfstand für die Aufnahme von Fließ-daten für IHU-Prozesse im warmen Tempe-raturbereich
14. Prüfstand für das Warm-Innenhoch-druck-Fügen
15. Gleitstanchanlage für Reib- und Ver-schleißuntersuchungen in der Kaltmassiv-, Halbwarm- und Warmumformung
16. Intermittierender Dauerstreifenzieh-prüfstand
17. Reibversuchsanlage nach VDA-Standard

18. Synchropress SWP 2500 Servomotor-presse
19. Hochleistungs-Stanzaautomat BSTA 810-145
20. 3D-Servo-Pressen mit freiprogrammier-barer Hub-, Schwenk- und Taumelbewe-gung des Stößels
21. VoestAlpine 12-gerüstige Walzprofilie-ranlage
22. Kalibriergerüst
23. Sonderprofiliergerüst mit vier fliegend gelagerten Rollen zum Profilieren von di-ckenveränderlichen Blechen
24. Pneumatische Presse zur konventionel-len (bis 40 kN) und wirkmedienbasierten (bis 10 bar) Umformung von Faserwerk-stoffen
25. Prüfstand für pneumatische Tiefungs-versuche an Feinstblechen sowie Kunst- und Faserwerkstoffen
26. Filmzieh- und Trocknungsprüfgerät CO-ATMASTER 510
27. Festwalzsystem und Festklopfsystem zur Oberflächeneinglättung und Rand-schichtaufhärtung
28. Walzenauftragsmaschine für Schmelz-kleber Hardo TH 300-V37,5
29. Laserbearbeitungszentrum 3D micro-STRUCT ns532
30. Induktionsanlage Hüttinger Tru 5040 MF
31. Versuchsstand zum Kollisionsschweißen
32. Bestückungssystem Epson Scara G6-65xS
33. Wärmebehandlungsöfen Nabertherm N 41/H
34. Reibversuchsanlage für Faserwerkstoffe und Kunststoffe

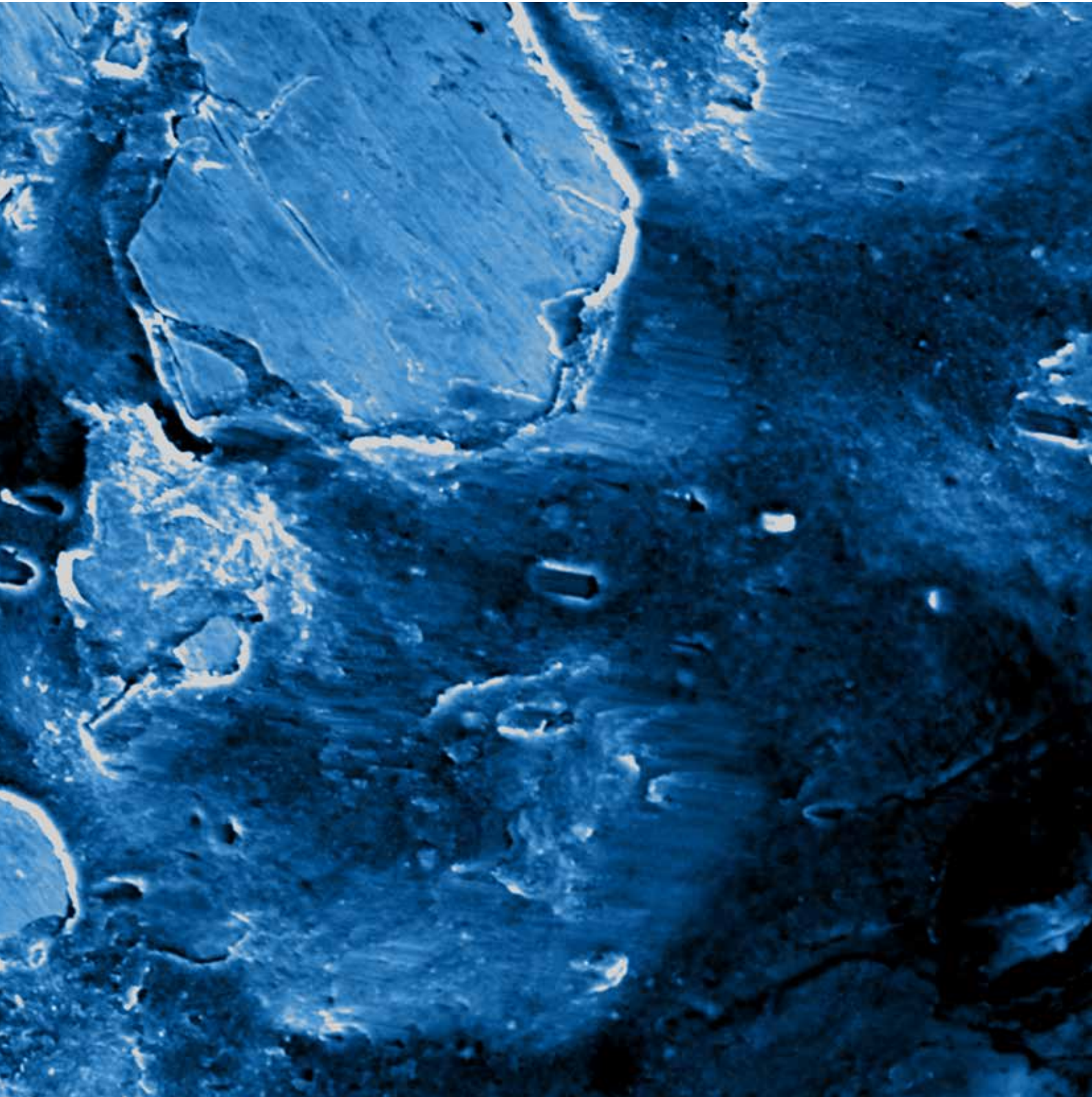
Messtechnik

1. GOM Atos III 3D Digitalisierungssystem
2. GOM Aramis Optische 3D Verformungs-messung
3. GOM Argus Optische Formänderungs-analyse
4. Hommel Waveline T 8000 Rauigkeits-messgerät im Tastschrittverfahren
5. µSurf ® Konfokalmikroskop
6. Optisches 3D Messgerät µsurf mobile
7. Krautkramer USD 15SX - Ultraschallprüf-gerät
8. Thermografie-Kamera
9. Zug-Druckprüfmaschine
10. Metallografie Labor
11. Rasterelektronenmikroskop JEOL JSM-6610LV
12. Akustische Schädigungsmessung bis 500 kHz
13. Akustische Kamera »Noise Inspector Compact« der Firma CAE Software & Sys-tems
14. Profilmessgerät Byte-wise Profile360™
15. Messtechnikaufbau von HBM zur Unter-suchung von Umformkräften und Antriebs-momenten
16. LUBRImini: System zur Messung von aufgetragenen Schichten, speziell auch Schmierstoffmengen. Das Messprinzip be-ruht auf der Fluoreszenzmess-technik.
17. MP 40 Dualscope der Fa. Fischer: Schichtdickenmessgerät nach dem Wirbel-stromverfahren, mit den Sonden ETA 3.3 H und ED 10 NC/NF
18. Gepulster Beleuchtungslaser CAVILUX SMART für Hochgeschwindigkeitsauf-nahmen
19. Vierkanalige Bildverstärkerkamera hsf pro von PCO für Hochgeschwindigkeitsauf-nahmen
20. Härteprüfgerät DuraScan20

Research



Forschung



Forschungsaktivitäten mit anderen Instituten

Research activities with other institutes

Grundlagen der umformgerechten Papierherstellung Fundamentals of Paperboard Formability	22	23
SFB 805: Umformen – Produktionsfamilien bei gleichbleibender Qualität SFB 805: Forming – Production families at equal quality	24	25
LOEWE-Schwerpunkt RESPONSE (Ressourcenschonende Permanentmagnete durch optimierte Nutzung seltener Erden) LOEWE-Focus RESPONSE (Resource-Efficient Permanent Magnets by Optimised Use of Rare Earths)	26	27
Schwerpunktprogramm 1640 (SPP 1640) – »Fügen durch plastische Deformation« Priority Program 1640 (SPP 1640) – “Joining by Plastic Deformation”	28	29
Sonderforschungsbereich 666 – »Integrale Blechbauweisen höherer Verzweigungsordnung« Collaborative Research Center 666 – “Integral Sheet Metal Design with Higher Order Bifurcations”	30	31

Abteilungsübersicht Departmental overview

32 33 Abteilung Walz- und Spaltprofilieren Department Roll Forming and Flow Splitting

Highlight 1
Highlight 1

Reduzierung der Rückfederung
beim Trennen von Rollprofilen
Reduction of spring back when
cutting off rolled profiles

34 35

Highlight 2
Highlight 2

Entwicklung eines Verfahrens
zur beschleunigten Simulation
von Walzprofilierprozessen
Development of an algorithm
to accelerate the simulation of
the roll forming process

36 37

38 39 Abteilung Tribologie Department Tribology

Trockenumformung von
Aluminiumlegierungen
Dry forming of
aluminum alloys

40 41

HaPTec – Weiterqualifizierung
des maschinellen Oberflächen-
hämmerns für den industriellen
Einsatz (CORNET)
HaPTec – Further Qualification
of Machine Hammer Peening
Technology for industrial Use
(CORNET)

42 43

44 45 Abteilung Prozessketten und Anlagen Department Process Chains and Forming Units

Highlight 1
Highlight 1

Entwicklung einer selbstlernen-
den Drei-Rollen-Biegemaschine
für das adaptive Biegen von
Profilen mit variablen Quer-
schnitten und Konturen
Development of a self-learning
three-roll-bending machine
for adaptive bending of profiles
with variable cross sections
and contours

46 47

Highlight 2
Highlight 2

Einfluss von Werkzeugspann-
mitteln auf die Werkstück-
qualität bei Stanz- und Tief-
ziehprozessen
Influence of tool clamping
devices on the workpiece
quality in shear cutting and
deep drawing processes

48 49

50 51 Abteilung Funktions- und Verbundbauweisen Department Smart Structures

Integration von
Funktionsmaterialien
Integration of
functional materials

52 53

Tiefziehen verzweigter Bleche
Stringer Sheet Forming

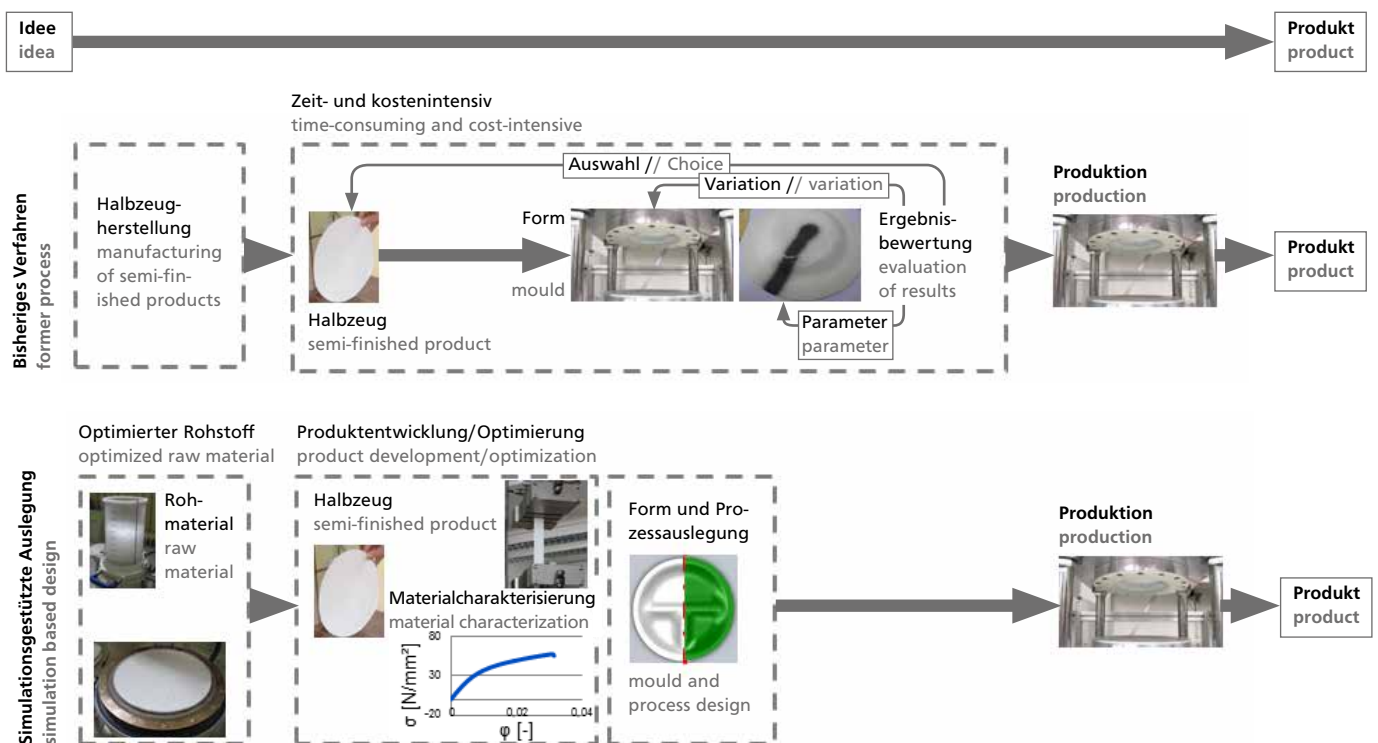
54 56

Fundamentals of Paperboard Formability

Paper is a very attractive material due to its low density, its strength but especially with regard to its environmental compatibility. Owing to its wide range of application paper has a significant economic importance which is expected to increase due to further legal restrictions for the use and manufacture of plastics. The benefits and potentials are offset by the limited formability of paper. Products made of paper or paperboard have generally a limited three-dimensional geometry or are produced by processes such as folding, winding or molded pulp. Profound investigations with regard to the forming capabilities, forming-friendly material production and further processing of paper have been carried out only to a small extent and lead to a mostly experiential, lengthy and to a product development which is often not predictable.

Within the cooperation of the Institute for Production Engineering and Forming Machines (PtU) and the Chair of Paper Technology and Mechanical Process Engineering (PMV), this year's IGF-research project no. 17788N "Application of Fluid-Based Deep-Drawing Processes for Paper and Paperboard" was finished successfully. Based on the fundamental results of the previous cooperation-project GR1818/37-1 "Fundamentals of Paperboard Formability" funded by the DFG, this project aims to adapt fluid-based processes and developing methods known from sheet-metal forming for paper and paperboard forming. The focus was a targeted product development strategy [1] and its industrial application.

In particular, PtU was responsible for determining the three following parameters which are important for the process optimization and modelling of forming: material behavior, forming limits and friction. On the other side PMV investigated the targeted material optimization. Based on a broad data base, simulation models of different processes were built – which allowed for process optimization and showed the feasibility of modelling the real processes with FEA in principle. Using the models an extended product design strategy and demonstrator parts [2] have been developed and manufactured.



[1] Vorgehensweise bei der Entwicklung von Papier-Umformteilen heute (oben) und simulationsgestützt (unten)

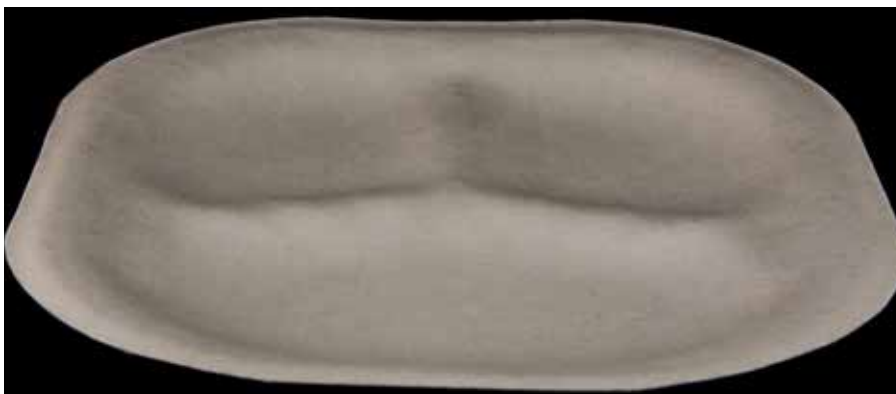
[1] Developing Paperboard forming Parts today (above) and Simulation-based (below)

Grundlagen der umformgerechten Papierherstellung

Papier ist aufgrund seiner geringen Dichte, seiner Festigkeit, aber besonders im Hinblick auf seine ökologische Verträglichkeit ein attraktiver Werkstoff. Durch sein Anwendungsspektrum besitzt Papier eine große wirtschaftliche Bedeutung. Gleichzeitig ist zu erwarten, dass sich dies durch die stetig zunehmenden gesetzlichen Restriktionen für Kunststoffe steigert. Den Vorteilen und dem Potential, das Papier bietet, steht vor allem seine begrenzte Formbarkeit als Nachteil gegenüber. Produkte aus Papier weisen in der Regel eine begrenzte dreidimensionale Kontur auf oder werden durch Verfahren wie Falten, Wickeln oder Faserguss erzeugt. Tiefgründige Untersuchungen in Bezug auf die Umformbarkeit, die umformgerechte Herstellung und Weiterverarbeitung von Papier wurden in diesem Zusammenhang nur in geringem Umfang durchgeführt und führen zu einer meist erfahrungsbasierten, langwierigen und häufig unplanbaren Produktentwicklung.

Im Rahmen der Kooperation des Instituts für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) mit dem Fachgebiet für Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik (PMV) wurde in diesem Jahr das IGF-Forschungsvorhaben Nr. 17788N mit dem Titel »Anwendung wirkmedienbasierter Verfahren zum Tiefziehen von Papier und Karton« erfolgreich abgeschlossen. Basierend auf den grundlegenden Ergebnissen des vorherigen durch die DFG geförderten Kooperationsprojektes GR1818/37-1 mit dem Titel »Grundlagen der umformgerechten Papierherstellung«, wurde in diesem Projekt die industrielle Umsetzung wirkmedienbasierter Verfahren und Entwicklungsmethoden aus dem Bereich der Metallverarbeitung für den Faserwerkstoff Papier/Karton untersucht. Insbesondere standen hier die Erarbeitung einer zielgerichteten Produktentwicklungsstrategie [1] sowie deren industrielle Anwendung im Vordergrund.

Auf der Agenda des PtU standen insbesondere die Ermittlung der drei für die prozessseitige Optimierung und Abbildung des Umformens wichtigen Größen: das Materialverhalten, die Formgebungsgrenzen sowie die Reibung, wohingegen die gezielte Materialoptimierung vom PMV durchgeführt wurde. Aufbauend auf einer breiten Datenbasis, konnten Simulationsmodelle der unterschiedlichen Prozesse aufgebaut werden. Diese dienen der Prozessoptimierung und belegen eine Abbildbarkeit der realen Prozesse im FEM-Modell. Mit Hilfe der erstellten Modelle konnten eine erweiterte Produktauslegungsstrategie sowie Demonstratorbauteile [2] entwickelt und gefertigt werden.



[2] Demonstratorbauteil hergestellt durch wirkmedienbasiertes Tiefziehen von industriell produziertem Karton
[2] Demonstrator Part made by hydroforming industrial Paperboard



M.Sc. Wilken Franke
+49 6151-16-23186
franke@ptu.tu-darmstadt.de

SFB 805: Forming – Production families at equal quality

Since January 2013, researchers of the Collaborative Research Centre (CRC) 805 are working for another four years on the “Control of Uncertainty in Load-Carrying Structures in Mechanical Engineering”. The aim of the CRC started in 2009 was to control uncertainty in product development, production and usage. This allows conserving resources, avoiding oversizing and enlarging the area of application. The research objectives of the first period have been continued and extended by the main areas of modularity and scalability of technical system under uncertainty.

The PtU participates in the CRC 805 in the field of production engineering and is represented in two subprojects as well as in a transfer project.

As part of the project B2 “Forming – Production families at equal quality” important knowledge could be obtained in the field of conception, design and construction of flexible processes and tools. This knowledge has been transferred to multi-stage, flexible processes which collect, forward and use information to optimize the process. Another main objective is to control the desired part properties during the process using closed-loop control in order to compensate variations in the semi-finished part properties.

In the project B4 “Integration of Function Materials” the main emphasis is put on the production of sensory and active rods. Focus of this study are thin-walled tubes with smooth outer contour and thus a small structural rigidity, which are eligible for a (semi-) active use. The sensory and active rods produced by rotary swaging are characterized in their properties and can be installed in the three-dimensional truss structure of the CRC demonstrator.

The transfer project T3 “The 3D Servo Press – from a research version to an industrial standard machine” indicates the advantages of the use of flexible manufacturing systems in forming under industrial conditions by giving a technological and economic comparison between flexible and conventional process variants. The focus is set on the use of the flexible movement possibilities of the press ram, which allows to extend and to adapt the boundaries of conventional forming processes.

SFB 805: Umformen – Produktionsfamilien bei gleichbleibender Qualität

Seit Januar 2013 dürfen Wissenschaftler des interdisziplinären Sonderforschungsbereichs (SFB) 805 weitere vier Jahre an der »Beherrschung von Unsicherheit in lasttragenden Systemen des Maschinenbaus« arbeiten. Motivation hinter dem 2009 gestarteten SFB war, durch die Anwendung neuer Methoden und Technologien die Unsicherheit von Produktentwicklung über Produktion bis in die Nutzung zu beherrschen. Dies ermöglicht es unter anderem, Überdimensionierung zu vermeiden, Ressourcen zu schonen und Einsatzbereiche zu erweitern. Die Ziele der ersten Förderperiode wurden fortgeführt und um die Schwerpunkte Modularisierung und Skalierung von technischen Systemen unter Unsicherheit erweitert sowie die Bewertung der entwickelten aktiven Maßnahmen eingeführt.

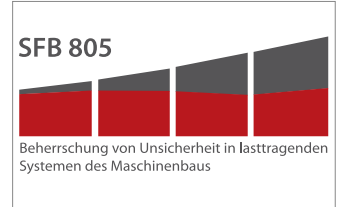
Das PtU beteiligt sich im SFB 805 im Bereich der Produktionstechnik und ist in zwei Teilprojekten sowie einem Transferprojekt vertreten.

Im Rahmen des Projekts B2 »Umformen – Produktionsfamilie mit gleichbleibender Qualität« konnten in der abgeschlossenen Förderperiode wichtige Erkenntnisse im Bereich der Konzeption, Auslegung und Konstruktion flexibler Prozesse und Werkzeuge gewonnen werden. Diese wurde in der zweiten Förderperiode auf mehrstufige, flexible Prozesse transferiert, bei denen

in jeder Stufe Prozess- und Bauteilinformation gesammelt, weitergeleitet und zur Prozessoptimierung genutzt wird. Ein weiterer Schwerpunkt liegt dabei in der Regelung der gewünschten Bauteileigenschaften während des Prozesses.

Im Projekt B4 »Integration von Funktionsmaterialien« steht in der aktuellen Phase die Herstellung sensorischer und aktiver Stäbe im Vordergrund. Untersuchungsschwerpunkte stellen dünnwandige Rohre mit glatter Außenkontur dar, die durch eine geringe Struktursteifigkeit für (semi-)aktive Einsätze tauglich sind. Die durch Rundkneten hergestellten sensorischen und aktorischen Stäbe werden in ihren Eigenschaften charakterisiert und kommen im dreidimensionalen Fachwerk des Gesamtdemonstrators zum Einsatz.

Das Transferprojekt T3, »Die 3D-Servo-Pressen – von der Forschungsversion zur industriellen Standardmaschine« soll anhand eines technologischen und ökonomischen Vergleichs zwischen flexiblen und konventionellen Verfahrensvarianten zeigen, welche Vorteile der Einsatz von flexiblen Fertigungssystemen in der Umformtechnik unter industriellen Rahmenbedingungen hat. Der Fokus liegt dabei auf flexiblen Bewegungsmöglichkeiten des Pressenstößels, die es erlauben, die Grenzen konventioneller Prozesse zu erweitern und zu flexibilisieren.



M.Sc. Florian Hoppe
+49 6151-16-23355
hoppe@ptu.tu-darmstadt.de

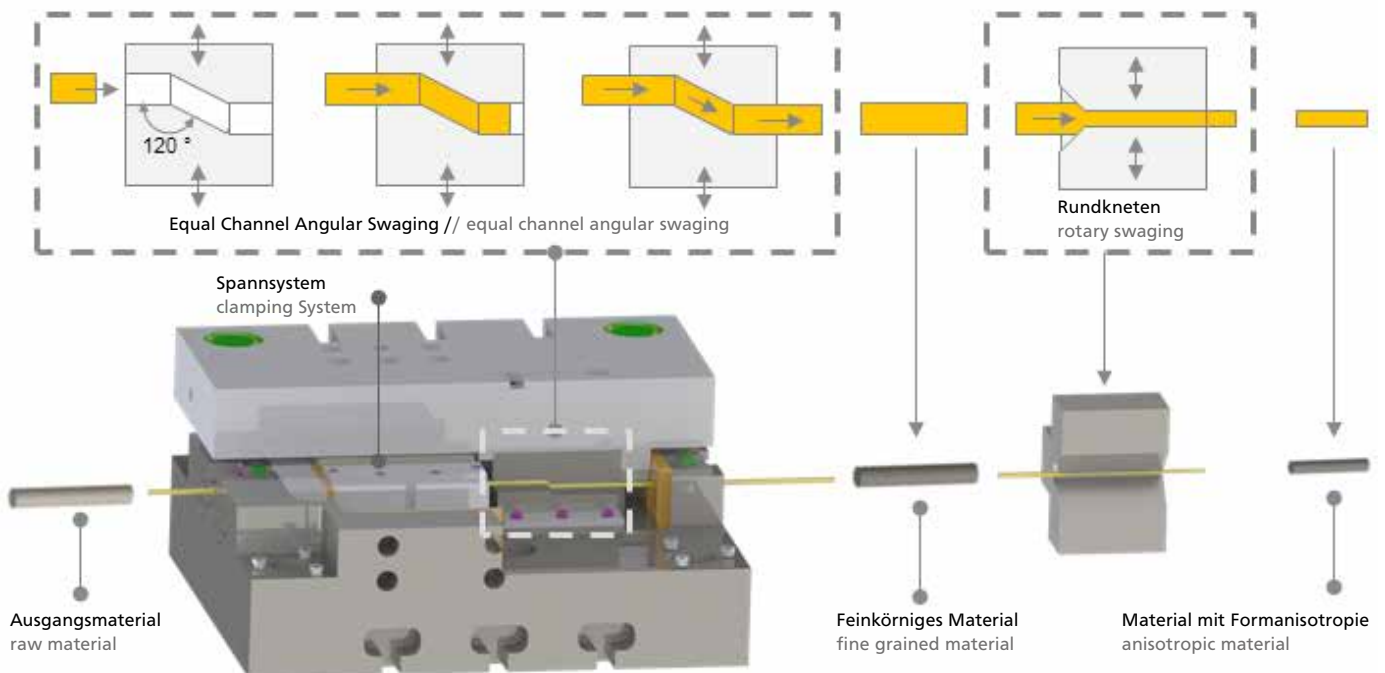
LOEWE-Focus RESPONSE

(Resource-Efficient Permanent Magnets by Optimised Use of Rare Earths)

Modern high-performance permanent magnets are a key component for the continuously growing electric mobility represented e.g. by hybrid or electric drives. They are also important components in alternative energy production methods such as wind power generators. To achieve a particularly high energy density, magnets with a large amount of rare earths are used. Compared to rare earth-based materials, classical magnetic materials have one fifth of the energy density only. However, the extraction of rare earths is highly energy-intensive due to the geological deposits and the chemical similarity to other elements and thus it causes intense environmental pollution. At the same time, rare earths are subjected to market dependencies.

This research project has two main objectives. On the one hand, the aim is to reduce or to substitute the proportion of rare earths in the strongest rare earth magnets without having any significant performance losses. The use of these magnets will focus on high performance application range in electric motors and generators for wind turbines. The second objective is to develop new magnets of the next generation without rare earths and with a much higher energy density than conventional magnetic materials. These magnets are expected to be used in the medium-to-high temperature range in small electric motors.

In cooperation with the Fraunhofer Project Group and the departments of materials science, chemistry, physics and engineering of Technische Universität Darmstadt, methods for the achievement of the described project objectives are developed. The focus of the project "New methods of synthesis" is to develop a process chain that enables grain refining and continuous production of highly textured magnetically anisotropic samples. For grain refinement and induction of high defect densities in soft and hard magnetic materials, the continuous ECAS process (Equal Channel Angular Swaging) should be used. This process will produce a nanocrystalline isotropic preform with high coercive field strength. A texture in the material is realized by a downstream rotary swaging process and/or by a magnetically enhanced heat treatment.



[1] ECAS-Prozess zur Kornfeinung (links), Vorschubrundkneten zur Texturinduzierung (rechts) (P. Groche, L. Wiessner (2015) High performance permanent magnets by cold forming. 60 Excellent Innovations in Metal Forming)

[1] ECAS process for grain refinement (left), Rotary swaging for texturizing (right) (P. Groche, L. Wiessner (2015) High performance permanent magnets by cold forming. 60 Excellent Innovations in Metal Forming)

LOEWE-Schwerpunkt RESPONSE

(Ressourcenschonende Permanentmagnete durch optimierte Nutzung seltener Erden)

Moderne Hochleistungspermanentmagnete stellen heutzutage eine Schlüsselkomponente für die sich im stetigen Wachstum befindliche Elektromobilität sowie für alternative Energiegewinnungsmethoden dar. Zum Erreichen einer besonders hohen Energiedichte werden in diesen Bereichen Magnete mit einem großen Anteil an seltenen Erden eingesetzt. Im Vergleich zu seltenerd-basierten Materialien weisen klassische Magnetmaterialien bislang nur ein Fünftel der Energiedichte auf. Die Gewinnung von seltenen Erden ist jedoch aufgrund der geologischen Vorkommen und der chemischen Ähnlichkeit zu anderen Elementen nur sehr energieintensiv und unter hoher Belastung der Umwelt möglich. Gleichzeitig sind seltene Erden großen Marktabhängigkeiten unterworfen.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden zwei Hauptziele verfolgt. Zum einen sollen die bisher stärksten Seltenerd-magneten in ihrem Seltenerdanteil deutlich reduziert bzw. substituiert werden, ohne nennenswerte Leistungsverluste in Kauf zu nehmen. Der Einsatz dieser Magnete fokussiert sich weiterhin auf Hochleistungsanwendungen in Elektromotoren oder Generatoren für Windturbinen. Zum anderen sollen neue seltenerdfreie Magnete der nächsten Generation mit einer deutlich höheren Energiedichte als klassische Magnetmaterialien entwickelt werden. Die Verwendung dieser Magnete ist für den mittleren bis hohen Temperaturbereich in kleinen Elektromotoren vorgesehen.

In Zusammenarbeit mit der Fraunhofer Projektgruppe und der Technischen Universität Darmstadt mit den Fachrichtungen Materialwissenschaft, Chemie, Physik und Maschinenbau werden Methoden entwickelt, mit denen die beschriebenen Projektziele erreicht werden können. Der Fokus des Teilprojekts »Neue Syntheseverfahren« liegt dabei auf der Entwicklung einer Prozesskette, die über Kornfeinung und Erzeugung von Umformtexturen die Voraussetzungen schafft, hochtexturierte, magnetisch anisotrope Proben in einem wirtschaftlichen, kontinuierlichen Prozess herzustellen. Zur Kornfeinung und Induzierung hoher Defektdichten in weich- und hartmagnetischen Werkstoffen soll dabei der kontinuierliche ECAS-Prozess (Equal Channel Angular Swaging) zum Einsatz kommen. Dieser dient dazu, einen nanokristallinen isotropen Vorkörper mit hoher Koerzitivfeldstärke zu erzeugen. Anschließend wird durch eine nachgelagerte Rundknetoperation und/oder durch eine magnetfeldunterstützte Wärmebehandlung eine Textur im Material realisiert.



Dipl.-Ing. Lennart Wießner
+49 6151-16-23310
wiessner@ptu.tu-darmstadt.de

[2] Mögliche Anwendungen: Dauermagnetgenerator
(links; Quelle: directindustry.com); Elektrofahrzeug (rechts; Quelle: atzlive.de)
[2] Possible Applications: Permanent magnet generator
(left; reference: directindustry.com); Electric vehicle (right; reference: atzlive.de)

Priority Program 1640 (SPP 1640) – “Joining by Plastic Deformation”

PtU is the coordinator of the priority program 1640 which is funded by the German Research Foundation (DFG). Initiated in 2011, in late 2012 the first research projects started into the first of three phases, each with a duration of two years. Currently, the projects are in the second funding period. The third and last phase will start in late 2016, the respective proposal colloquium will take place in mid-2016. At present, 24 research institutions are working together in 16 projects. Corresponding to their thematic focus, they are associated with one of the workgroups “metallurgical joints”, “form- and force-closed joints” or “simulation”.

Driven by the increase in consequent lightweight construction, the usage of multi material combinations also becomes more important. The main challenge is to produce joints of dissimilar materials according to the manifold requirements. This is where the priority program starts. It aims at an interdisciplinary gain of knowledge concerning joining by plastic deformation without additional connecting elements. There still exist partially significant lacks of knowledge regarding the governing joining mechanisms, their specific activation as well as the design and testing methods.

A characteristic of the priority program is the organization of a range of events, which are meant to summarize the individual research activities. In 2013, numerous papers were published in the the “Journal of Materials Processing Technology”. In 2014, the

PtU hosted the “International Conference on Tribology in Manufacturing Processes” (ICT-MP), where a particular session was dedicated exclusively to joining by plastic deformation. Almost all participants from the priority program used this as an opportunity to present their research results to the international audience. In 2015, PtU arranged a workshop with participants from the priority program as well as industrial companies. Its aim was the identification of necessary future works concerning process reliability, process control and relevant material combinations. These works will make up the main areas of research for the third and last funding period.

Within the priority program, available resources of the individual research institutions are shared. The participants support each other, for instance in the sharing of measurement equipment or the preparation of samples. Moreover, there is an active exchange of knowledge, which is supported by semi-annual meetings of all participants.

PtU is involved in the priority program with two research projects: The first project »Investigation and Enhancement on Bonding by Cold Bulk Metal Forming Processes« is carried out by Ms. Christiane Gerlitzky in collaboration with the Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH in Düsseldorf. Mr. Christian Pabst works on the second project “Investigation of the Formation Mechanisms of the Bonding Zone in Collision Welding”.

Schwerpunktprogramm 1640 (SPP 1640) – »Fügen durch plastische Deformation«

Das PtU ist Koordinator des Schwerpunktprogrammes 1640, das durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird. Es wurde 2011 ins Leben gerufen, und Ende 2012 starteten die Forschungsprojekte in die erste von insgesamt drei Phasen mit einer Dauer von jeweils zwei Jahren. Aktuell befinden sich die Projekte in der zweiten Förderperiode. Die dritte und letzte Phase wird Ende 2016 starten, das zugehörige Antragskolloquium wird Mitte 2016 stattfinden. Derzeit sind 24 Forschungseinrichtungen in 16 verschiedenen Projekten vertreten. Diese sind, entsprechend ihrer inhaltlichen Ausrichtung, einer der Arbeitsgruppen »Stoffschluss«, »Form- und Kraftschluss« oder »Simulation« zugeordnet.

Vor dem Hintergrund des zunehmenden, konsequenten Leichtbaus gewinnt auch die Multi-Material-Bauweise an Bedeutung. Hier besteht die Herausforderung darin, artungleiche Verbindungen den vielfältigen Anforderungen entsprechend herstellen zu können. Dort setzt das Schwerpunktprogramm an. Es zielt ab auf einen interdisziplinären Erkenntnisgewinn beim Fügen durch plastische Deformation ohne zusätzliche Verbindungselemente. Teilweise bestehen noch erhebliche Erkenntnislücken hinsichtlich der wirksamen Mechanismen, deren gezielter Aktivierung sowie der Auslegungs- und Prüfmethoden.

Das Schwerpunktprogramm ist geprägt durch eine Reihe von Veranstaltungen, in deren Rahmen die einzelnen Aktivitäten gebündelt werden. Im Jahr 2013 wurden gemeinsam zahlreiche Beiträge im »Journal of Materials Processing Technology« veröffentlicht. Im Jahr 2014 richtete das PtU die »International Conference on Tribology in Manufacturing Processes« (ICTMP) aus, in der dem Thema »Fügen durch plastische Deformation« eine eigene Session gewidmet wurde, um die Arbeiten einem internationalen Publikum vorzustellen. 2015 organisierte das PtU einen Workshop, an dem neben allen Teilnehmern des Schwerpunktprogram-

mes auch Industrievertreter aus Forschung und Anwendung teilnahmen. Ziel war die Identifikation zukünftiger Untersuchungsschwerpunkte auf den Gebieten der Prozesssicherheit, der Prozessüberwachung und möglicher Materialkombinationen. Diese Arbeiten werden den Schwerpunkt der dritten und letzten Förderperiode bilden.

Im Schwerpunktprogramm erfolgt eine gemeinsame Nutzung von vorhandenen Ressourcen: Die Teilnehmer unterstützen sich gegenseitig, unter anderem auf dem Gebiet der Messtechnik oder der Vorbereitung von Probenkörpern. Zudem findet ein reger Wissensaustausch statt, der durch die etwa halbjährlichen Treffen aller TeilnehmerInnen unterstützt wird.

Das PtU ist mit zwei Forschungsprojekten zum Stoffschluss im Schwerpunktprogramm aktiv: Das erste Projekt »Untersuchung und gezielte Verstärkung des stoffschlüssigen Fügens durch Verfahren der Kaltmassivumformung« wird von Frau Christiane Gerlitzky in Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH in Düsseldorf durchgeführt. Das zweite Projekt »Untersuchung der Bildungsmechanismen der Fügezone beim Kollisionsschweißen« wird von Herrn Christian Pabst bearbeitet.

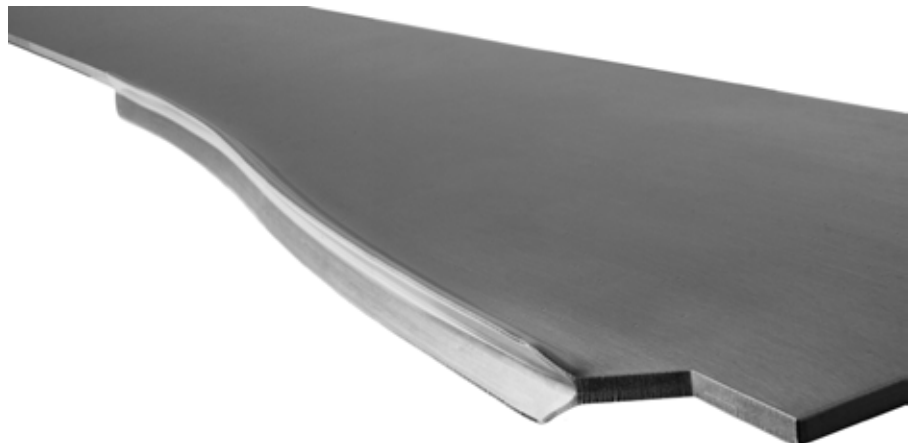


M.Sc. Christian Pabst
+49 6151-16-23357
pabst@ptu.tu-darmstadt.de

Collaborative Research Center 666 – “Integral Sheet Metal Design with Higher Order Bifurcations”

The Collaborative Research Center (CRC) 666 “Integral Sheet Metal Design with Higher Order Bifurcations” was established by Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) and Technische Universität Darmstadt in 2005. The main goal of the interdisciplinary research project is to develop new forming processes such as linear flow splitting for bifurcated sheet metal in an integral style. However, its research activities are not limited to the manufacturing processes. By using an interdisciplinary, global approach, new methods, procedures and forming units are generated for the development, manufacturing, characterization and application of sheet metal branched in an integral style. For this purpose, scientists of TU Darmstadt from the fields of mathematics, mechanical engineering, physical metallurgy and construction engineering joined forces and founded the interdisciplinary scientific venture of CRC 666. High rigidity and a low component weight at the same time? This is an important factor to assess today's sheet metal profiles, e.g. in automotive or civil engineering parts. Linear flow splitting extends conventional machining operations and generates completely new opportunities for sheet metal design. Flexible stiffening ribs, curved profiles or a high profile rigidity? These are only some characteristics of the innovative manufacturing process linear flow splitting.

The Collaborative Research Centre 666 has been working for more than ten years on the expansion of the form, product and application spectra. Through the successful implementation of a newly developed flexible flow splitting stand, new opportunities for the profile's design are opened. Previously, integral branches were incorporated into sheet metals with constant cross sections. Flexible flow splitting makes it now possible to produce branched profiles with variable cross sections [1]. Profiles are not only used for stiffening or support functions nowadays, they also make a variety of new tasks possible by means of additional elements. To achieve this multifunctionality of profiles, current researches at PtU deal with the joining of additional elements during linear flow splitting. Through careful exploitation of expansions occurring in the profile's web, additional functions, such as RFID-transponder [2], can be joined mechanically.

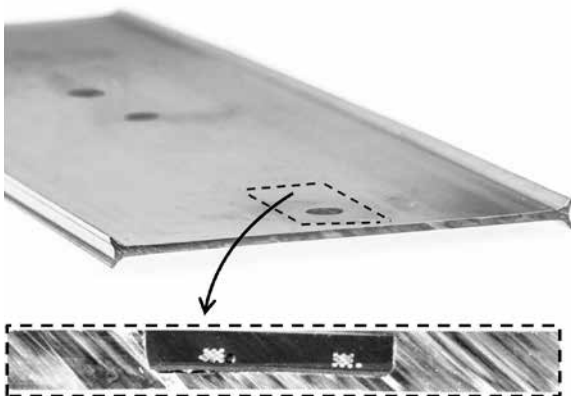


[1] Flexibel verzweigtes Profil
[1] Flexible flow split profile

Sonderforschungsbereich 666 – »Integrale Blechbauweisen höherer Verzweigungsordnung«

Im Mittelpunkt des im Jahr 2005 seitens der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der Technischen Universität Darmstadt eingerichteten interdisziplinären Forschungsprojektes stehen neuartige Umformprozesse zum kontinuierlichen Einbringen von integralen Verzweigungen in Blech. Durch einen interdisziplinären, ganzheitlichen Ansatz entstehen neue Methoden, Verfahren und Anlagen zur Entwicklung, Fertigung, Bewertung und Anwendung integral verzweigter Blechstrukturen. Zu diesem Zweck haben sich Wissenschaftler der TU Darmstadt aus den Disziplinen Produktentwicklung, Mathematik, Materialwissenschaften, Produktionstechnik, Betriebsfestigkeit und Baukonstruktion zu einem fachgebietsübergreifenden Forschungsverbund zusammengeschlossen. Hohe Steifigkeit bei gleichzeitig geringer Bauteilmasse? Dies ist ein entscheidendes Kriterium bei der Beurteilung heutiger Kaltprofile aus Blech, z.B. im Bereich der Automobilbranche oder im Bauwesen. Die Spaltprofiltechnologie erweitert konventionelle Blechbearbeitungsverfahren und eröffnet völlig neue Gestaltungsmöglichkeiten für Kaltprofile. Flexible Versteifungsrippen, gekrümmte Profilverläufe oder eine hohe Profilsteifigkeit? Dies sind nur einige Besonderheiten des innovativen Fertigungsprozesses Spaltprofilieren.

Der Sonderforschungsbereich 666 arbeitet seit mehr als 10 Jahren an der Erweiterung der Form-, Produkt- und Anwendungsspektren. Durch die erfolgreiche Umsetzung eines neu entwickelten flexiblen Spaltprofiliergerüsts werden neue Möglichkeiten der Profilgestaltung eröffnet. Bisher wurden integrale Verzweigungen in Blechprofilen mit konstanten Querschnitten eingebracht. Durch flexibles Spaltprofilieren ist es nun möglich, Spaltprofile mit veränderlichen Querschnitten herzustellen [1]. Profile werden heutzutage nicht nur für Versteifungs- oder Tragfunktionen eingesetzt, sondern sie erfüllen durch zusätzliche Elemente vielseitige Aufgaben. Um diese Multifunktionalität von Profilen zu erreichen, beschäftigen sich aktuelle Forschungen am PtU mit dem Fügen zusätzlicher Elemente während des Spaltprofilierens. Durch gezieltes Nutzen der auftretenden Dehnungen im Blech können weitere Funktionen, wie z.B. RFID-Transponder [2], kraft- und formschlüssig gefügt werden.



[2] Mechanisch gefügter RFID-Transponder im Spaltprofil

[2] Mechanically joined RFID transponder in a linear flow split profile



M.Sc. Vincent Monnerjahn
+49 6151-16-23311
monnerjahn@ptu.tu-darmstadt.de

Department of Roll Forming and Flow Splitting

Research in the field of roll forming has been one of the main topics at the PtU since the 1970s. Today, the institute is equipped with two roll forming lines with over 30 stands. In addition to conventional roll forming stands, a variety of new developments has been integrated successfully, such as automated calibration stands, linear flow and bend splitting processes as well as stands with additional degrees of freedom for the manufacturing of profiles with varying cross sections. Current research focuses on four areas: flexibility, improved methods of process design and dimensioning, the use of roll forming process to introduce additional functionality into the part and continuous splitting processes.

Flexibility – A significant part of roll formed products is used as structural components and, therefore, subject of lightweight design. By using flexible forming stands, lightweight profiles with variable cross sections and thicknesses in longitudinal direction can be made. The department Roll Forming and Flow Splitting develops the forming stands and the equipment and does research on the process layout.

Methods of process design and dimensioning – One of the basics of bending process design is a determination of the required bend allowance. A variety of scientific and industrial methods are state of the art. However, in calculating the unfolded length of profiles different approaches provide differing results. The objective of one of our projects is to derive a unified and improved method for bend allowance calculation on the basis of extensive experimental investigations on roll forming, folding and die bending. Another important goal is the acceleration of finite element roll forming simulations.

Splitting processes – Linear flow splitting and bend splitting are two in-house process developments of the PtU. They are used for manufacturing metal sheets with integrally bifurcated cross-sections at room temperature. Bifurcations can be created at the band edge (linear flow splitting) or somewhere else on the sheet (bend splitting). In contrast to roll forming, these continuous bulk forming operations avoid double layers of material. Combined with conventional roll forming, stringer profiles and multi-chamber profiles made of high strength steel can be manufactured from the coil. Current project targets are dedicated to the development of flexible flow splitting. By analogy to flexible roll forming this process allows bifurcated cross-sections changing along the longitudinal direction.

Integration of functionality – Due to their sequential arrangement, roll forming installations are easily integrated with other manufacturing operations. Using a forming operation not only to shape a part but also to introduce further functionality is an idea that leads to profiles with integrated printed sensors. Sensors are printed previous to the forming operation onto the flat sheet and formed simultaneously to profiles. In another project, the process induced longitudinal strains in flow splitting are used to integrate additional components, e.g. RFID-Tags.

Overview of ongoing and completed projects in 2015:

1. Optimized calculation of the unfolded length in bending of sheet metal into cold sections and pipes (AiF; completed 28.02.2015)
2. Computer aided part optimization with numerical process chain analysis (DFG - CRC666)
3. Extension of ascertained process limitations of linear flow splitting (DFG - CRC666)
4. Manufacturing of bifurcated profiles by integrated forming, milling and joining operations (DFG - CRC666)
5. Production of multi-directional widened profiles (DFG)
6. Reducing of spring back in cutting operations of cold rolled profiles (AiF)
7. Methods for the design of formed metal parts with printed sensors (DFG)
8. Development of an algorithm to accelerate the simulation of roll forming process (DFG)

Abteilung Walz- und Spaltprofilieren

Seit den 1970er Jahren zählt Forschung auf dem Gebiet des Walzprofilierens zu den Kernkompetenzen des PtU, das damals noch IfU hieß. Heute stehen dem Institut zwei Profilerstraßen zur Verfügung, auf denen neben konventionellen Gerüsten eine Vielzahl an Eigenentwicklungen, wie Kalibrier- und Spaltgerüste oder Gerüste mit zusätzlichen Freiheitsgraden zum Einsatz kommen. Gegenwärtig forscht das Institut an vier Schwerpunkten: Flexibilisierung, Verbesserung der Methoden zur Prozessauslegung, Funktionsintegration während der Umformung und Querschnittsverzweigung durch kontinuierliche Spaltprozesse.

Flexibilisierung – Flexible Profileranlagen ermöglichen die Herstellung von lastangepassten Leichtbauprofilen mit veränderlichem Querschnitts- und Dickenverlauf über der Längsachse. Die Abteilung Walz- und Spaltprofilieren beschäftigt sich sowohl mit der Konzeption und Konstruktion der Anlagen als auch mit der Prozessauslegung.

Methoden zur Prozessauslegung – Zu den Grundlagen der Prozessauslegung zählt die Ermittlung der abgewickelten Länge beim Biegen von Blech. Dennoch bestehen zwischen einzelnen Berechnungsansätzen im Stand der Technik und der industriellen Praxis im Ergebnis oft große Unterschiede. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wird hierzu ein Konzept zur Überarbeitung und Verbesserung dieser Ansätze auf Basis ausführlicher experimenteller Analysen erarbeitet. Ein weiteres Ziel ist die Beschleunigung der Finite-Elemente-Simulation von Profilerprozessen.

Spaltprozesse – Spaltprofilieren und Spaltbiegen sind Eigenentwicklungen des PtU. Sie zählen zu den Verfahren der Blechmasivumformung und dienen der Erzeugung von Verzweigungen des Blechquerschnitts ohne Materialdopplung. Die Verzweigungen entstehen dabei in einem kontinuierlichen Profilerprozess bei Raumtemperatur entweder an der Bandkante (Spaltprofilieren) oder in der Bandfläche (Spaltbiegen). Durch Kombination mit konventionellem Profileren entstehen so z. B. Mehrkammerprofile aus höherfestem Stahl vom Band. Aktuelle Vorhaben beschäftigen sich u. a. mit dem flexiblen Spaltprofilieren, das analog zum flexiblen Walzprofilieren in Längsrichtung veränderliche und gleichzeitig verzweigte Querschnitte erzeugt.

Funktionsintegration – Ihr sequentieller Aufbau prädestiniert Profileranlagen für die Integration weiterer Fertigungsoperationen in den Umformprozess. Der Gedanke die Funktionalität der erzeugten Produkte zu erweitern, führte zu Profilen mit integrierten gedruckten Sensoren. Dabei werden vor dem Walzprofilierprozess Sensoren durch Drucken auf das ebene Blechband appliziert und anschließend gemeinsam mit dem Blech umgeformt. Ein weiteres Projekt beschäftigt sich mit der gezielten Nutzung der beim Spaltprofilieren auftretenden Längs- und Querdehnungen, um dadurch Funktionselemente, beispielsweise RFID-Tags, fertigungssynchron in die Profile einzuformen.

Übersicht über die laufenden und im Jahr 2015 abgeschlossenen Projekte:

1. Optimierte Berechnung der abgewickelten Länge beim Biegen von Blech zu Kaltprofilen und Rohren (AiF; abgeschlossen 28.2.2015)
2. Rechnergestützte Bauteiloptimierung durch numerische Prozesskettenanalyse und numerische Betriebsfestigkeitsuntersuchungen (DFG - SFB666)
3. Erweitern der Verfahrensgrenzen beim Spaltprofilieren (DFG - SFB666)
4. Herstellung verzweigter Bauteile durch integrierte Umform-, Zerspan- und Fügeoperationen (DFG - SFB666)
5. Herstellung mehrdirektional geweiteter Profile (DFG)
6. Reduzierung der Rückfederung beim Trennen von Rollprofilen (AiF)
7. Methoden zur Auslegung von Umformteilen mit aufgedruckten Sensoren (DFG)
8. Entwicklung eines Verfahrens zur beschleunigten Simulation von Walzprofilierprozessen (DFG)



Abteilungsleitung

Head of department

Dipl.-Ing. Alexander Duschka

+49 6151-16-23188

duschka@ptu.tu-darmstadt.de

MitarbeiterInnen

Staff of department

M.Tech. Pushkar Mahajan

M.Sc. Matthias Moneke

M.Sc. Vinzent Monnerjahn

M.Sc. Manuel Neuwirth

Dipl.-Ing. Mahmut Özel

M.Sc. Annemie Stöckigt

Dipl.-Ing. Martin Storbeck

M.Sc. Tilman Traub

Reduction of spring back when cutting off rolled profiles

Motivation

Roll forming is a manufacturing process, whose profitability is predicated on its high output. When rolled profiles are cut to length, process-related residual shear stresses are released and increased spring back deformation at the profile ends occurs, also known as end flare [1]. Due to this deformation, deviations from the dimensional accuracy can occur, which cause problems during further processing of the parts. Additional operations are necessary to compensate for end flare, thereby increasing plant deployment time and production costs.

Aim

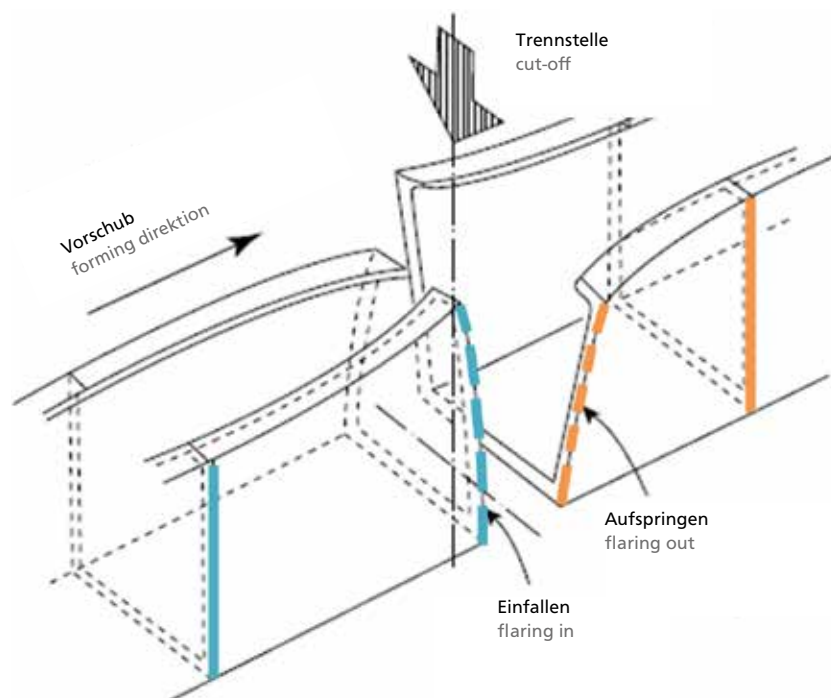
The objective of this research project is to develop guidelines, which allow enterprises to dimension the roll forming process with regard to low shear stresses so that the springback deformation at the profile ends is reduced and the dimensional accuracy of rolled profiles is increased. Further, by means of a specifically developed numerical finite-element-model, influencing factors and counter measures will be identified. By reducing the time used for compensation measures, the production costs can be decreased and the production of smaller lot sizes will be made more profitable.

Approach

At first, by means of a survey, the current status how enterprises cope with the occurrence of end flare was investigated, thereby determining influencing factors on end flare. Subsequently, a numerical finite-element-model that is able to correctly reproduce and predict the springback deformation at the profile ends, was developed and validated by experiments [2]. Based on the numerical and experimental investigations, countermeasures are developed and their potential for industrial implementation is investigated. Finally, the results are converted into guidelines for enterprises that describe how to dimension the roll forming process with regard to low shear stresses.

Acknowledgement

The PtU would like to thank the “Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen “Otto von Guericke” e.V. (AiF)” and the Research Association for Steel Application (FOSTA) for their support.



[1] Deformation der Blechenden durch den Kopfsprung [nach Halmos 2006]

[1] Deformation of the profile ends due to end flare [Halmos 2006]

Reduzierung der Rückfederung beim Trennen von Rollprofilen

Motivation

Das Walzprofilieren ist ein Verfahren, dessen Wirtschaftlichkeit auf einer hohen Ausbringungsmenge basiert. Beim Trennen der Profile nach dem Umformprozess werden prozessbedingte Schubeigenspannungen freigesetzt, die zu einem Einfallen bzw. Aufspringen der Profilenden an der Trennstelle führen [1]. Dieser sogenannte Kopfsprung führt zu Abweichungen der Maßhaltigkeit, die durch zusätzliche Bearbeitungsschritte kompensiert werden müssen. Dadurch steigt die Anlagenbelegungszeit und die Produktions- und Stückkosten nehmen zu.

Zielsetzung

Das Ziel des Projekts ist die Generierung von Gestaltungsrichtlinien, die es den Profilierbetrieben ermöglichen, den Walzprofilierprozess im Hinblick auf die Minimierung der Schubeigenspannungen, auszulegen. Grundlage dafür ist die Erstellung eines Finite-Elemente-Modells zur genauen Vorhersage des Kopfsprungs, mit dem die Identifizierung von Einflussfaktoren und effektiven Gegenmaßnahmen möglich ist. Durch das Einsparen von Richtprozessen können Zeit und Anlagenkosten gespart werden, wodurch die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens, insbesondere bei kleineren und mittleren Losgrößen, gesteigert wird.

Lösungsweg

Zunächst wurde mit Hilfe eines anonymisierten Fragebogens der aktuelle Umgang mit dem Kopfsprung in den Profilierbetrieben erfasst und Einflussgrößen auf den Kopfsprung ermittelt. Anschließend konnte ein Finite-Elemente-Modell entwickelt werden, das eine genaue Abbildung und Vorhersage des Kopfsprungs ermöglicht [2]. Auf Basis von numerischen Untersuchungen werden damit Gegenmaßnahmen zur Reduzierung des Kopfsprungs identifiziert und experimentell auf ihre praktische Umsetzbarkeit überprüft. Aus den erzielten Ergebnissen werden dann Gestaltungsrichtlinien für den Profilierprozess, im Hinblick auf die Minimierung der Schubeigenspannungen, abgeleitet.

Danksagung

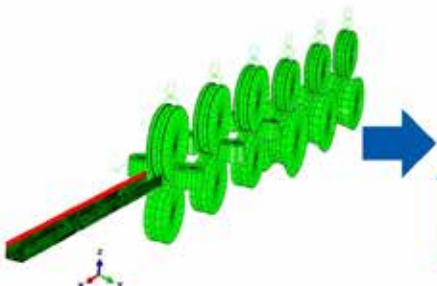
Für die Unterstützung im Rahmen des Projekts dankt das PtU der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V. (AiF) und der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA).



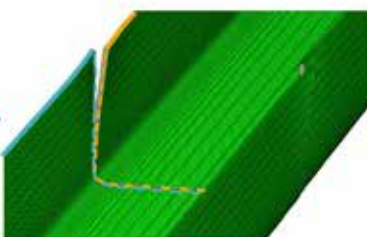
M.Sc. Matthias Moneke
+49 6151-16-23146
moneke@ptu.tu-darmstadt.de



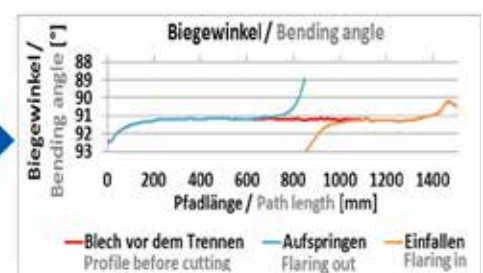
Simulation des Walzprofiliervorgangs
simulation of the roll forming process



Trennen des Profils
cutting of the profile



Erfassung des Kopfsprungs
measurement of the end flare



[2] Numerische Abbildung des Kopfsprungs
[2] Numerical simulation of the end flare

Development of an algorithm to accelerate the simulation of the roll forming process

Motivation

The roll forming process is emerged as one of the most important metal forming technologies. The design of the roll forming process is very complex and depends upon a large number of variables, which mainly rely upon experience based knowledge. In order to overcome these challenges and to optimize this process, numerical methods are used effectively. These numerical methods are time-consuming and depend on defined numerical parameters. However, the computational time required can be reduced with the help of new algorithms.

Objective

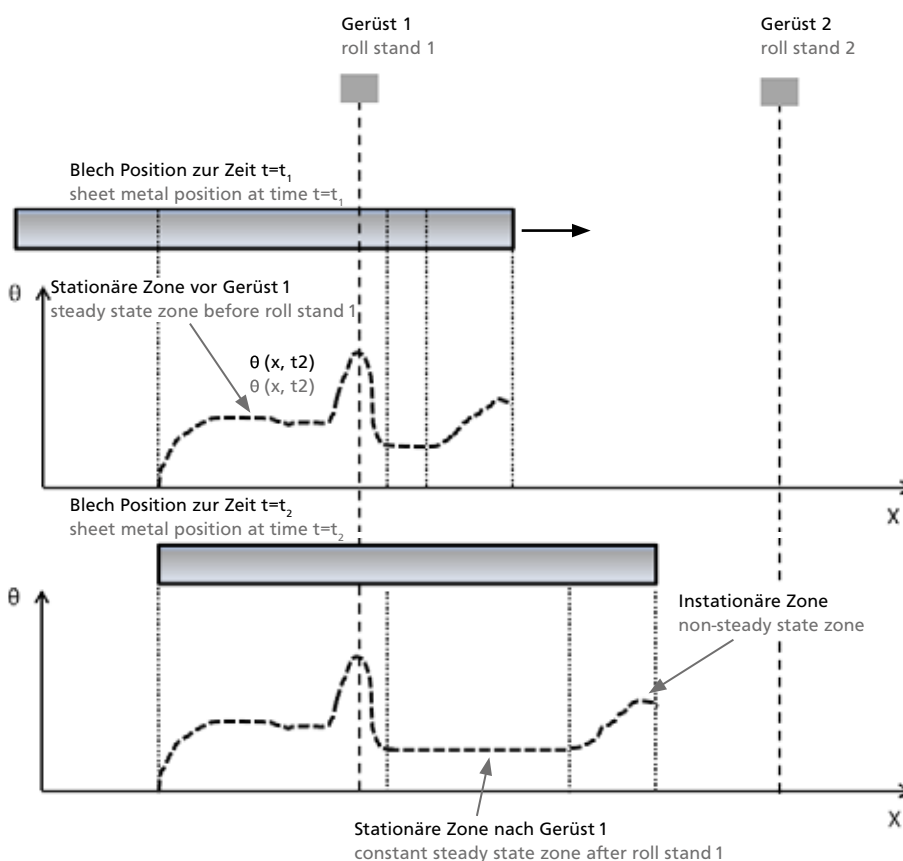
The main objective of this project is to accelerate the simulation of the roll forming process with the aid of steady state properties which are evolved during the process without reducing the quality of the results. A new algorithm developed in this project will take advantage of these steady state properties to map state variables on the sheet metal by means of a mathematical function, which can be determined by the finite element method. Furthermore, results of the simulation will be verified with experimental results.

Approach

The simulation will be performed by using the finite element method. A steady state zone in roll forming process occurs after each roll station as shown in [1]. This zone can be recognized with the help of longitudinal plastic strain at the sheet edge for two consecutive time intervals. After reaching a steady state, the simulation will be stopped and all state variables will be extrapolated until the sheet comes in contact with the next roll station. The mapping is expected to be carried out by a cubic polynomial as shown in [2]. The same procedure will be repeated until the process is finished.

Acknowledgement

This research project is funded by the German Research Foundation (DFG).



[1] Stationärer Zustand im Walzprofilierprozess

[1] Steady state in roll forming process

Entwicklung eines Verfahrens zur beschleunigten Simulation von Walzprofilierprozessen

Motivation

Walzprofilieren gilt als eines der wichtigsten Umformverfahren zur Erzeugung komplexer Profilstrukturen. Die Auslegung des Prozesses gilt als sehr komplex und hängt von einer Vielzahl an Parametern ab, die vor allem anhand von Erfahrungswerten optimiert werden. Eine weitere Möglichkeit diese Herausforderung zu meistern und Optimierungen durchzuführen, bieten numerische Simulationen. Diese numerischen Verfahren sind jedoch sehr zeitaufwändig und abhängig von numerischen Eingangsgrößen. Eine Verkürzung der Rechenzeit ist daher anzustreben und kann über neuartige Algorithmen erreicht werden.

Zielsetzung

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Verfahrens zur beschleunigten Simulation von Walzprofilierprozessen. Unter Ausnutzung der auftretenden stationären Zustände wird dabei eine gleichbleibende Ergebnisqualität der FE-Simulationen erreicht. Der entwickelte Algorithmus macht sich die auftretenden stationären Zustände

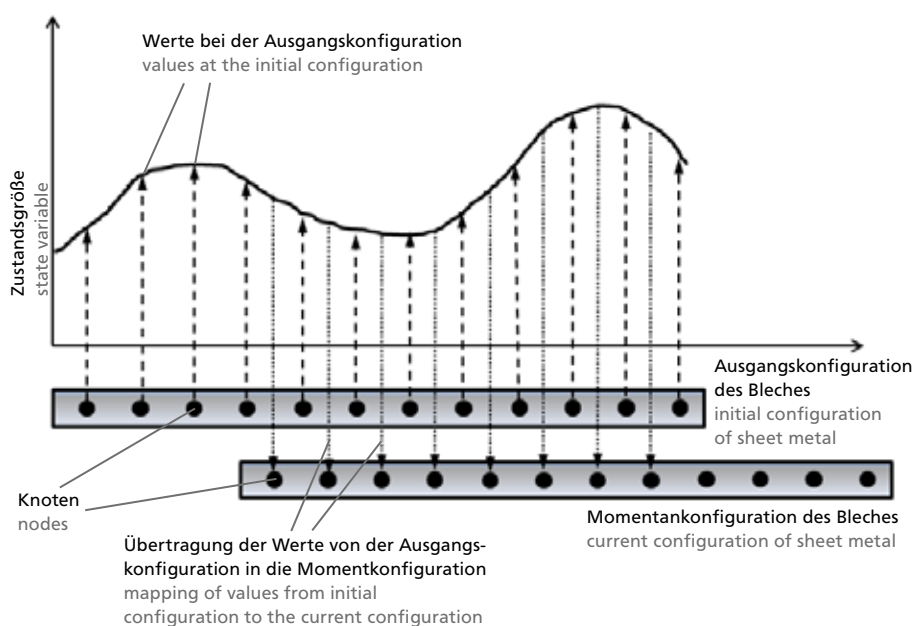
zu Nutze, um Zustandsvariablen zu extrapolieren. Weiterhin sollen die numerischen Ergebnisse durch experimentelle Arbeiten validiert werden.

Vorgehensweise

Die Simulationen werden mittels numerischer Methoden durchgeführt. Ein stationärer Zustand stellt sich beim Walzprofilieren nach jeder Umformstufe ein [1]. Dieser Bereich kann anhand der unveränderten plastischen Längsdehnungen an der Blechkante in zwei aufeinanderfolgenden Zeitintervallen erkannt werden. Nach dem Erreichen des stationären Zustands wird die Simulation angehalten und alle Zustandsvariablen bis zur darauffolgenden Umformstufe und dem sich dabei einstellenden Kontakt extrapoliert. Diese Extrapolation wird dabei für jede Umformstufe wiederholt bis der gesamte Walzprofilierprozess abgeschlossen ist.

Danksagung

Dieses Forschungsvorhaben wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.



M.Tech. Pushkar Mahajan
+49 6151-16-23185
mahajan@ptu.tu-darmstadt.de

[2] Extrapolation der Zustandsvariablen auf das weitere Blech
[2] Mapping of state variables on the metal sheet

Department of Tribology

Importance of Tribology

Tribology with its subsections friction, lubrication and wear is an inherent part of research and development at the PtU. On the one hand, comprehension of this fundamental area is an important subject. On the other hand, valuable results for industrial applications are obtained by working on application-oriented researches. The main focus of activities at the department Tribology is set on investigations of different forming processes like stretch- and deep drawing as well as cold forging.

Optimization measures for tribological systems

For an efficient tribological process optimization it is important to understand the conditions of friction between tool and workpiece. It is crucial to set them as homogeneous, constant and well-defined as possible. Furthermore, it is necessary to minimize the wear of tools and work pieces. A major precondition is the basic comprehension of appearing friction and wear mechanisms. Based on this, optimization methods can be derived, taking the whole tribological system into consideration, ranging from the semi-finished part over the lubricant to the tool. In addition, active and local modifications of the contact zone are important parts. Finally, detected dependencies can be described in friction and wear models, pro-

viding a valuable input for more precise numerical simulations and an increased accuracy of the formed parts.

The surfaces of tools and workpieces are of great importance in the field of forming technology. Not only do they give a functional property to the produced workpiece, but also influence the acting friction mechanisms during the forming process in the forming zone significantly. For the creation of convenient surfaces on semi-finished parts and tools, the mechanisms leading to surface changes during forming processes, must be understood.

Research Methods

The fundamental experimental investigation of tribological conditions in specific forming processes requires the mapping of occurring tribological load profiles in model experiments. The test stands at the PtU offer on one side the accessibility to measurement systems and on the other side the defined and selective adjustment of tribological loads under laboratory conditions. Examples are the strip drawing test for the determination of friction and wear in sheet metal forming and the slide-compression-test for cold forging. Besides the experimental research, the finite element method is used which allows the analysis of the tribological loads in the forming zone.

Overview of ongoing and completed projects in 2015:

1. Optimized calculation of the unfolded length in bending of sheet metal into cold sections and pipes (AiF; completed 28.02.2015)
2. Computer aided part optimization with numerical process chain analysis (DFG - CRC666)
3. Extension of ascertained process limitations of linear flow splitting (DFG - CRC666)
4. Manufacturing of bifurcated profiles by integrated forming, milling and joining operations (DFG - CRC666)
5. Production of multi-directional widened profiles (DFG)
6. Reducing of spring back in cutting operations of cold rolled profiles (AiF)
7. Methods for the design of formed metal parts with printed sensors (DFG)
8. Development of an algorithm to accelerate the simulation of roll forming process (DFG)



Ehemalige Abteilungsleitung

Former head of department

M.Sc. Manuel Steitz

+49 6151-16-23147

steitz@ptu.tu-darmstadt.de

Abteilung Tribologie

Bedeutung der Tribologie

Die Tribologie mit den Teilgebieten Reibung, Schmierung und Verschleiß ist ein fester Bestandteil der Forschung und Entwicklung am PtU. Dabei steht zum einen das Verständnis dieses Grundlangebietes im Vordergrund. Zum anderen können durch die Bearbeitung von anwendungsbezogenen Fragestellungen wertvolle Erkenntnisse für die industrielle Praxis gewonnen werden. Zu den betrachteten Umformverfahren gehört u. a. das Tief- und Streckziehen sowie verschiedene Verfahren der Kaltmassivumformung.

Optimierungsmaßnahmen für tribologische Systeme

Für eine tribologische Prozessoptimierung ist es wesentlich, möglichst konstante und definierte Reibverhältnisse in der Kontaktzone zwischen Werkstück und Werkzeug einzustellen sowie den resultierenden Verschleiß von Werkzeug und Werkstück zu minimieren. Voraussetzung hierfür ist das grundlegende Verständnis der wirkenden Reib- und Verschleißmechanismen. Aus diesem Verständnis heraus lassen sich Maßnahmen zur Optimierung ableiten, wobei das gesamte tribologische System vom Halbzeug über den Schmierstoff bis hin zum Werkzeug betrachtet werden muss. Auch die aktive, lokale Beeinflussung der Kontaktzone während der Umformung spielt hier eine Rolle. Hergestellte Wirkzusammenhänge lassen sich in Reib- und Verschleißmodellen beschreiben, die auch einen wertvollen Beitrag zur Vorhersagegüte der numerischen Simulation liefern.

Auch den Oberflächen von Werkzeug und Werkstück kommt im Rahmen der Umformtechnik eine große Bedeutung zu. Zum einen geben sie dem hergestellten Bauteil eine funktionale Eigenschaft, zum anderen beeinflussen sie die wirkenden Reibungsmechanismen in der Umformzone. Zum Einstellen geeigneter Halb- und Werkzeugoberflächen müssen wiederum die Mechanismen bekannt sein, die zu einer Oberflächenveränderung während der Umformung führen.

Untersuchungsmethoden

Die grundlegende, experimentelle Untersuchung tribologischer Gegebenheiten bei einzelnen Umformprozessen erfordert die Abbildung der jeweiligen tribologischen Beanspruchungsprofile in Modellversuchen. Unter Laborbedingungen bieten die Versuchsanordnungen am PtU zum einen messtechnische Zugänglichkeit und zum anderen das definierte Einstellen einzelner tribologischer Größen. Beispiele stellen der Streifenziehversuch zur Ermittlung der Reibungs- und Verschleißverhältnisse sowie die Gleitstauchanlage für die Massivumformung dar. Neben den experimentellen Untersuchungen kommt die Finite-Elemente-Methode zur Anwendung, die eine Analyse der in der Umformzone vorliegenden Beanspruchungszustände bei definierten Umgebungsgrößen erlaubt.

Übersicht über die laufenden und im Jahr 2015 abgeschlossenen Projekte:

1. Optimierte Berechnung der abgewickelten Länge beim Biegen von Blech zu Kaltprofilen und Rohren (AiF; abgeschlossen 28.2.2015)
2. Rechnergestützte Bauteiloptimierung durch numerische Prozesskettenanalyse und numerische Betriebsfestigkeitsuntersuchungen (DFG - SFB666)
3. Erweitern der Verfahrensgrenzen beim Spaltprofilieren (DFG - SFB666)
4. Herstellung verzweigter Bauteile durch integrierte Umform-, Zerspan- und Fügeoperationen (DFG - SFB666)
5. Herstellung mehrdirektional geweiteter Profile (DFG)
6. Reduzierung der Rückfederung beim Trennen von Rollprofilen (AiF)
7. Methoden zur Auslegung von Umformteilen mit aufgedruckten Sensoren (DFG)
8. Entwicklung eines Verfahrens zur beschleunigten Simulation von Walzprofilierprozessen (DFG)



Abteilungsleitung

Head of department
Dipl.-Ing. Philipp Kramer
+49 6151-16-23312
kramer@ptu.tu-darmstadt.de

MitarbeiterInnen

Staff of department
M.Sc. Matthias Christiany
M.Sc. Florian Dietrich
M.Sc. Felix Kretz
M.Sc. Viktor Recklin
M.Sc. Peter Sticht

Dry forming of aluminum alloys

Motivation

For economic and environmental aspects it is desirable to refrain from the use of lubricants in forming processes of aluminum alloys. The forming of aluminum alloys involves high demands on forming processes. The material shows a strong tendency of adhesion on common tool surfaces. The adhesions caused reduce the surface quality, the dimensional accuracy of the parts produced and the process stability.

Aim

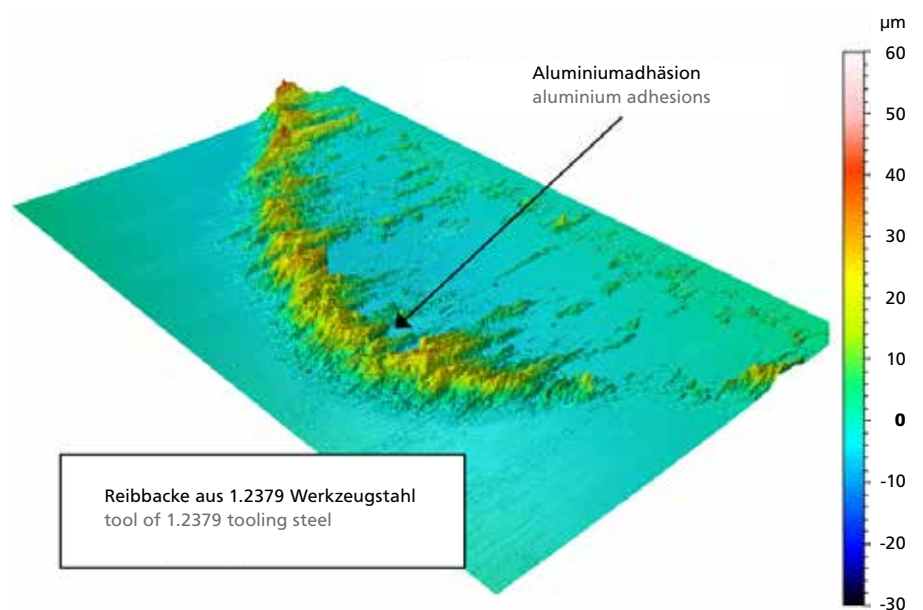
This project aims at the development of novel tribological systems to enable the dry forming of aluminum alloys. Finally, the correlations between the observed adhesion behavior and the influencing factors will allow the optimization of tribological systems concerning a real dry forming process of aluminum. These systems include newly developed tool coatings as well as optimized process and environmental parameters. The performance of the tribological system will be demonstrated subsequently by application oriented deep drawing experiments and transferred into an industrial field of application.

Methodical approach

To make dry forming technically possible and economically attractive, tools and their coatings have to be optimized in order to withstand the elevated stresses due to the tribological system. Furthermore, tool and part wear will be minimized by an adapted process control. Tribometer tests at the involved institutes Fraunhofer IST and PtU are used to identify influencing factors and qualify newly developed solutions in dry forming of aluminum.

Acknowledgment

The PtU would like to thank the German Research Foundation (DFG) for supporting the project “Dry forming of aluminum alloys” executed within the priority program SPP 1676 “Dry metal forming – sustainable production through dry processing in metal forming”.



[1] 3D-Ansicht von Aluminiumadhäsion auf einem Stahlwerkzeug
[1] 3D-View of aluminum adhesion on steel tool surface

Trockenumformung von Aluminiumlegierungen

Motivation

Sowohl aus ökonomischen als auch ökologischen Gesichtspunkten heraus ist es erstrebenswert, auf Schmierstoffe bei der Umformung von Aluminium zu verzichten. Insbesondere die hohe Adhäsionsneigung von Aluminium gegenüber Stählen stellt Umformprozesse generell vor prozesstechnische Herausforderungen. Die Kaltaufschweißungen führen zur Beeinträchtigung der Oberflächengüte, der Prozessstabilität und der angestrebten Bauteiltoleranzen.

Zielsetzung

Die Ergebnisse dienen der Entwicklung neuer, legierungsspezifischer Tribosysteme, die eine Trockenumformung von Aluminiumlegierungen ermöglichen. Diese Tribosysteme beinhalten neue Werkzeugbeschichtungen sowie optimierte Prozess- und Umgebungsparameter. Die Leistungsfähigkeit der Tribosysteme soll abschließend anhand anwendungsnaher Tiefziehversuche demonstriert und in die industrielle Anwendbarkeit überführt werden.

Lösungsweg

Um die Trockenumformung technisch möglich und wirtschaftlich attraktiv zu machen, müssen Werkzeuge und im Besonderen Schichtsysteme auf die steigende Beanspruchung durch das Tribosystem hin optimiert werden. Der werkzeug- und werkstückseitige Verschleiß wird durch eine angepasste Prozessführung ebenfalls minimiert. Durch Tribometerversuche an den beteiligten Instituten Fraunhofer IST und PtU werden Einflussgrößen identifiziert und neuartige Lösungsansätze qualifiziert.

Danksagung

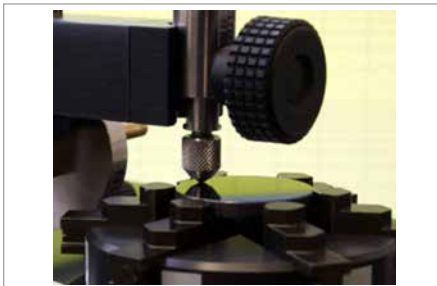
Das PtU dankt der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) für die Unterstützung des Projektes im Rahmen des Schwerpunktprogramms »SPP 1676 Trockenumformen – Nachhaltige Produktion durch Trockenbearbeitung in der Umformtechnik«.



M.Sc. Felix Kretz
+49 6151-16-23046
kretz@ptu.tu-darmstadt.de

Phase I

Grundlagenforschung:
Adhäsionsmechanismen
Basic research:
Mechanism of adhesion



Phase II

Industriennahe Entwicklung neuer
antiadhäsiver Tribosysteme
Development of new anti-adhesive
tribological systems



Phase III

Übertragung und Qualifikation
in die industrielle Praxis
Transfer and qualification
into an industrial application



HaPTec – Further Qualification of Machine Hammer Peening Technology for industrial Use (CORNET)

Motivation

Machine hammer peening (MHP) is a deterministic process used in tool and mold making industry to mechanically manipulate surface properties. It causes an increase in hardness and residual compressive stresses in the surface layer as well as surface smoothing [1]. Therefore, manual polishing work can mostly be substituted by MHP. Despite the extensive capabilities for the improvement of surface integrity, just a few industrial users have implemented the technology in existing process chains. Challenges are the machineable geometries, like holes, undercuts or sharp radii and the processable material. Furthermore, the interactions between hammering tool and manipulator are not yet investigated sufficiently.

Aim

Objective of the project is the extension of the industrial field of application for MHP. This includes creating a list of criteria for the application of MHP in an industrial setting and the feasibility to predict process results by a finite element analysis (FEA) using similarity mechanics. Furthermore, the project focuses on developing a new hammering kinematic to process surface regions that are difficult to access. Finally, guidelines for users to set up overall MHP systems will be created.

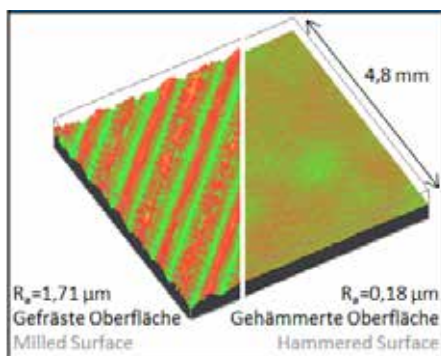
Approach

To reach the aims defined, work packages are distributed within the project consortium (Institute for Applied Materials (IAM-WK) of the Karlsruhe Institute of Technology, the Institute for Production Engineering and Laser Technology (IFT) of TU Vienna and PtU). The design of an innovative hammering kinematic [2] is conducted with the help of methodical product development techniques and the tool is being proved. The new tool concept allows machining surface regions that have been difficult to access until now.

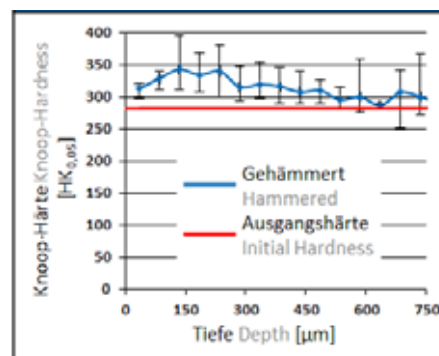
Acknowledgement

PtU would like to thank the EFB as well as ecoplus and all companies participating for the assistance with the execution of this project. All project results are obtained within the ERANET-CORNET research program.

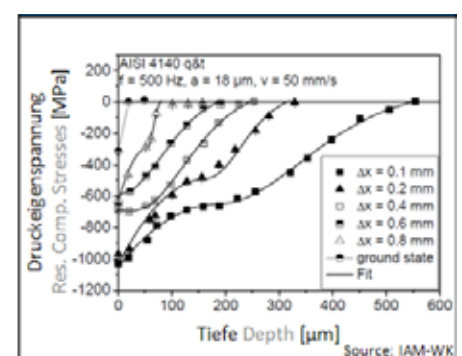
Einglättung
smoothing



Härtesteigerung
increase in hardness



Druckeigenspannung
residual compressive stresses



[1] Effekte des maschinellen Oberflächenhämmerns

[1] Effects of machine hammer peening

HaPTec – Weiterqualifizierung des maschinellen Oberflächenhämmerns für den industriellen Einsatz (CORNET)

Motivation

Das maschinelle Oberflächenhämmern (MOH) ist ein deterministisches Verfahren zur mechanischen Manipulation der Oberflächeneigenschaften, das im Werkzeug- und Formenbau Anwendung findet. Es bewirkt sowohl eine Härtesteigerung und Druckeigenspannungen in der Randschicht des bearbeiteten Bauteils als auch eine Einglätung der Werkstückoberfläche [1]. Daher kann manuelle Polierarbeit durch das MOH weitestgehend ersetzt werden. Trotz der Verbesserungsmöglichkeiten der Oberflächeneigenschaften ist die Technologie im industriellen Umfeld erst bei einigen Vorreibern in die Prozesskette des Werkzeugbaus integriert. Herausforderungen sind die bearbeitbaren Geometrien, wie Bohrungen, Hinterschnidungen und enge Radien sowie das bearbeitbare Werkstückmaterial. Ebenfalls sind die Wechselwirkungen zwischen Hammersystem und Manipulator noch nicht ausreichend bekannt.

Zielsetzung

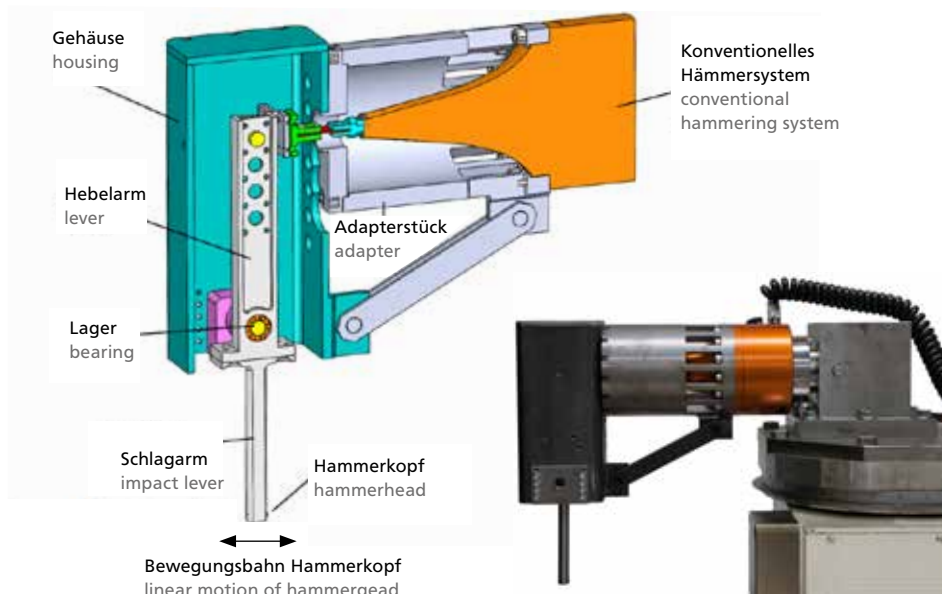
Ziel des Projekts ist die Ausweitung des industriellen Einsatzgebiets des MOH. Dies beinhaltet das Erstellen eines Kriterienkatalogs zur Anwendung des MOH im industriellen Umfeld und die Möglichkeit zur Vorhersage der Prozessergebnisse mittels Finite-Element-Analyse (FEA) unter Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik. Weiterhin ist die Entwicklung einer neuartigen Hammerkinematik zur Bearbeitung schwer zugänglicher Oberflächenbereiche ein Ziel. Abschließend sollen Richtlinien für Anwender zur Konzeptionierung von Gesamtsystemen zum MOH erstellt werden.

Lösungsweg

Die Arbeitspakete werden im Projektkonsortium unter den Forschungsstellen (IAM-WK des Karlsruher Institut für Technologie, IFT der TU Wien und PtU) aufgeteilt. Die Entwicklung der neuartigen Hämmerkinematik [2] wird am PtU mittels einer systematischen Produktentwicklung durchgeführt und das Werkzeug erprobt. Das gefertigte Hammersystem erlaubt die Bearbeitung bisher schwer zugänglicher Oberflächenbereiche.



M.Sc. Peter Sticht
+49 6151-16-23045
sticht@ptu.tu-darmstadt.de



[2] Schnittansicht der neuartigen Hämmerkinematik
[2] Sectional view of new hammering kinematic



Danksagung

Das PtU dankt der EFB sowie Ecoplus und den beteiligten Firmen für die Unterstützung bei der Durchführung des Projektes. Die Ergebnisse werden im Zuge des ERANET-CORNET Programms erarbeitet.

Department of Process Chains and Forming Units

The department of Process Chains and Forming Units focuses on the technical and economic analysis of forming processes, the development of new forming machines and the optimization of production processes using forming techniques.

Development of new machine concepts

In view of ever faster changes in sales markets the demand for flexible production systems has risen remarkably. The demands not only originate from the sales market but also from buying market factors such as varying batch qualities. One example is the need for quick adaption of installations and processes to changing production volumes. Actual approaches aim at the development of machines and processes which are able to produce different products of one family with low set up effort. Progress in drive technology and control systems allows building machines for a multitude of processes.

One major focus in this area is on servo presses. Great achievements have been obtained at PtU by applying linear induction motors and a 3D ram movement in press technology. Further development and evaluation of this drive train technology is carried out in several projects that use commercialized servo presses and test stands for the implementation of new machine concepts.

Development, analysis and optimization of process chains

Products manufactured by forming are usually the results of a value chain consisting of a multitude of individual processes. Each in-

dividual process leads to a change of characters, like hardening, microstructure change, thinning etc. which are relevant for downstream processes. The understanding of the interactions and defining the need for optimization are important steps to develop improved and new process chains.

One focal point in this area is the development of a process chain that enables grain refining and continuous production of highly textured magnetically anisotropic samples. For grain refinement and induction of the necessary high defect densities in soft and hard magnetic materials a new production method based on a modified rotary swaging process is used.

The approach of the joint research project RobIN 4.0 is an increase of the robustness of forming processes. Therefore, a target of this project is the development of an appropriate sensor system for the monitoring of forming processes. Afterwards, the obtained data are being collected, interpreted and continued to use. The storage and preparation of data on the entire process chain enables an adaptive control of individual processes as well as the upstream and downstream processes. This allows the management of increasingly volatile company surroundings.

The extension and optimization of the process chain hydroforming, ultrafine grained materials production and the usage of servo presses in sheet metal forming are examined in the projects using FE-simulation, small-scale test and prototyping.

Overview of ongoing and completed projects in 2015:

1. Analysis technologies for multi-stage forming processes using sensoric fasteners and data mining tools (Hessenagentur; completed in 2015)
2. The 3D Servo Press – From a research Version to an Industrial Standard Machine, DFG Collaborative Research Centre SFB 805 – Control of Uncertainty in Load-Carrying Mechanical Systems, Transfer Project T3
3. Forming – Production Families at Equal Quality, DFG Collaborative Research Centre SFB 805 – Control of Uncertainty in Load-Carrying Mechanical Systems, Subprojects B2
4. Development of a self-learning straightening machine for the adaptive 3D bending of cubic parts (ZIM)
5. Integration of Sensors and Interpretation of Measurements in Metal Forming Process Chains (Subproject) Joint Project: Robustness through Integration, Interaction, Interpretation and Intelligence (Robin 4.0) (BMBF)
6. Subproject: forming of functional printed sheets LOEWE-Focus RESPONSE (Resource-saving Permanent Magnets by Optimized Use of Rare Earth) Subproject: New Synthesizing Process Top-Down
7. Influence of tool clamping devices on the workpiece quality in shear cutting and deep drawing processes (EFB 15/114; IGF 18602N)
8. Design of a combined rolling-plain bearing and application as a hinge and main bearing in a servo knuckle joint press (ZIM)
9. Development of a self-learning three-roll-bending machine for adaptive bending of profiles with variable cross sections and contours (ZIM)

Abteilung Prozessketten und Anlagen

Die Schwerpunkte der Abteilung Prozessketten und Anlagen liegen auf der technischen und wirtschaftlichen Analyse von Umformverfahren, der Neuentwicklung von Anlagen sowie der Optimierung von Produktionsprozessen mit Fokus auf die Umformtechnik.

Entwicklung neuer Maschinenkonzepte

Auf Grund der immer schneller erfolgenden Veränderungen auf den Absatzmärkten werden flexible Produktionssysteme stärker nachgefragt. Die Anforderungen entstehen dabei sowohl auf Basis der beschaffungsmarktorientierten Schwankungen als auch durch die Veränderung auf den Absatzmärkten. So ist beispielsweise eine rasche Anpassung von Anlagen und Prozessen auf schwankende Produktionsmengen erwünscht. Aktuelle Ansätze zielen darauf ab, Anlagen und Prozesse zu entwickeln, die in der Lage sind, verschiedene Produkte einer Produktfamilie ohne bedeutenden Rüstaufwand herstellen zu können. Neue Technologien, wie Antriebselemente und Steuerungen erlauben es, Maschinen für eine Vielzahl von Prozessen einzurichten und somit dem Produzenten ein äußerst flexibel einsetzbares Werkzeug an die Hand zu geben. Einen wesentlichen Schwerpunkt in diesem Bereich nehmen Servopressen ein. Wegweisende Entwicklungen wurden am PtU durch den Einsatz von Linearmotoren und die Einführung der 3D-Stößelbewegung erbracht. Die Weiterentwicklung und Evaluierung dieser Antriebstechnologie erfolgt in mehreren Forschungsprojekten sowohl auf kommerziell erhältlichen Anlagen als auch auf Prüfständen, mit denen Anlagenkonzepte erprobt werden können.

Entwicklung, Analyse und Optimierung von Prozessketten

Umformtechnisch hergestellte Produkte sind in der Regel das Resultat einer Wertschöpfungskette, bestehend aus einer Vielzahl von Einzelprozessen, die jeweils zu einer Veränderung der Bauteileigenschaften führen. Ziel ist daher, die Wechselwirkungen durch eine entsprechende Analyse der Prozessketten zu verstehen, Optimierungsbedarf abzuleiten und auf dieser Basis neue, verbesserte Prozessketten zu entwickeln.

Ein Schwerpunkt in diesem Bereich liegt in der Entwicklung einer Prozesskette zur Herstellung hochtexturierter magnetischer Proben in einem wirtschaftlichen, kontinuierlichen Prozess. Zur notwendigen Kornfeinung und zur Induzierung der hohen Defektdichten in weich- und hartmagnetischen Werkstoffen wird dabei ein modifiziertes Rundknetverfahren verwendet.

Im Rahmen des Verbundprojekts ROBIN 4.0 wird eine Steigerung der Robustheit von Umformprozessen angestrebt. Hierfür wird eine geeignete Sensorik zur Überwachung der Prozesse entwickelt, die daraus gewonnenen Daten gespeichert, interpretiert und anschließend weiter verwendet. Die Speicherung und Aufbereitung der Daten über die gesamte Prozesskette ermöglicht die adaptive Steuerung einzelner Prozesse sowie von vor- und nachgelagerten Prozessen.

Die Ergänzung und Optimierung der Prozesskette Innenhochdruck-Umformen, UFG Werkstoff Herstellung sowie der Einsatz von Servopressen in der Blechumformung wird in den einzelnen Projekten durch FE-Simulationen, Modellversuche und Prototyping untersucht.

Übersicht über die laufenden und im Jahr 2015 abgeschlossenen Projekte:

1. Analysetechnologien für mehrstufige Umformprozesse auf Basis von sensorischen Verbindungselementen und Datamingtools (Hessenagentur; abgeschlossen in 2015)
2. Die 3D-Servo-Presse – von der Forschungsversion zur industriellen Standardmaschine, DFG Sonderforschungsbereich (SFB) 805 Beherrschung von Unsicherheit in lasttragenden Systemen des Maschinenbaus, Transferprojekt T3
3. Umformen – Produktionsfamilien bei gleich bleibender Qualität, Beherrschung von Unsicherheit in lasttragenden Systemen des Maschinenbaus, Teilprojekte B2
4. Entwicklung einer selbstlernenden Richtmaschine für das adaptive 3D-Biegen von kubischen Formbauteilen (ZIM)
5. Integration von Sensorik und Interpretation von Messwerten in umformtechnischen Prozessketten, Verbundprojekt: Robustheit durch Integration, Interaktion, Interpretation und Intelligenz (ROBIN 4.0) (BMBF)
6. LOEWE-Schwerpunkt RESPONSE (Ressourcenschonende Permanentmagnete durch optimierte Nutzung seltener Erden) Teilprojekt: Neue Syntheseverfahren top-down
7. Einfluss von Werkzeugspannmitteln auf die Werkstückqualität bei Stanz- und Tiefziehprozessen (EFB 15/114; IGF 18602N)
8. Auslegung und Einsatz eines kombinierten Wälz-Gleitlagers als Schwenk- und Hauptlager einer Servo-Kniehebelpresse (ZIM)
9. Entwicklung einer selbstlernenden 3 Rollen-Biegemaschine für das adaptive Biegen von Profilen mit variablen Querschnitten und Konturen (ZIM)



Abteilungsleitung

Head of department

Dipl.-Ing. Sebastian Zang

+49 6151-16-23188

zang@ptu.tu-darmstadt.de

MitarbeiterInnen

Staff of department

Dipl.-Ing. Stefan Calmano

M.Eng. Carolin Englert

Dipl.-Ing. Benjamin Heß

Dipl.-Ing. Daniel Hesse

M.Sc. Johannes Hohmann

M.Sc. Florian Hoppe

M.Sc. Thomas Kessler

M.Sc. Dominik Kraus

Dipl.-Ing. Wiktorija Morkwitsch

M.Sc. Johanna Schreiner

M.Sc. Julian Sinz

Dipl.-Ing. Lennart Wießner

Development of a self-learning three-roll-bending machine for adaptive bending of profiles with variable cross sections and contours

Motivation

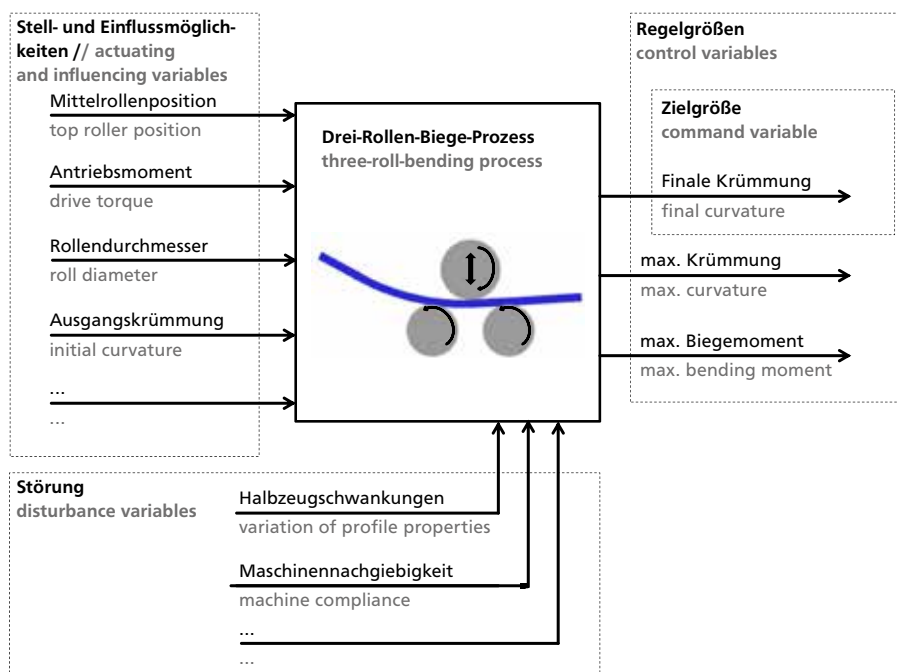
Three-roll-bending offers the advantage of a high flexibility of the producible contours and the applicable profile geometries by comparatively low tool costs. However, with the exception of some standard profiles, the bending of radii and contours is controlled manually. Therefore, the profile bending with the three-roll-bending machine requires high manpower and high competence of the operator. A continuous monitoring of the profiles is hard to be realized as well. In particular the variation of the profile characteristics requires a steady adaption of the process in order to assure a constant product quality.

Aim

The aim of this research project is to develop an adaptive feedback control for the three-roll-bending process and to set up the required hardware and software basics. Especially the spring-back, occurring during bending, which is strongly dependent on the material properties of the profiles, is to be compensated by the desired process control. By assuring quality and productivity, the competitiveness of companies in Germany is stabilized.

Approach

To develop the adaptive feedback control, a numeric model of the process is set up, which is validated by an experimental study of the process. With the help of the conducted simulations, a process analysis is carried out, in order to determine suitable and measurably actuating and control variables. The developed feedback control will be tested in further simulations and after that implemented on a machine prototype and applied to the real process.



Entwicklung einer selbstlernenden Drei-Rollen-Biegemaschine für das adaptive Biegen von Profilen mit variablen Querschnitten und Konturen

Motivation

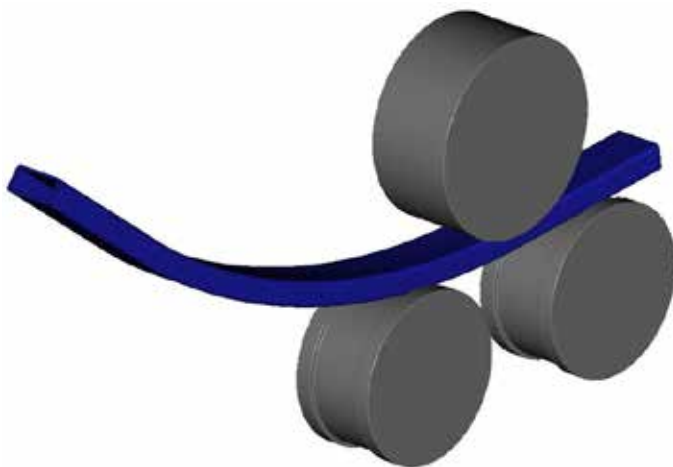
Das Drei-Rollen-Biegen bietet den Vorteil einer hohen Flexibilität der fertigbaren Konturen und der verwendbaren Profilgeometrien bei einem vergleichsweise sehr geringen Werkzeugaufwand. Das Biegen von Radien und Konturverläufen geschieht jedoch mit Ausnahme einiger Standardprofile manuell. Dies macht das Profilbiegen mit Drei-Rollen-Biegemaschinen zu einem sehr personalintensiven Fertigungsverfahren und bedarf einer hohen Kompetenz des Maschinenbedieners. Ebenso ist eine kontinuierliche Bauteilüberwachung nur schwer möglich. Insbesondere erfordern Schwankungen der Halbzeugeigenschaften eine stetige Adaptation des Prozesses, damit eine gleichbleibende Produktqualität sichergestellt werden kann.

Zielsetzung

Ziel dieses Projektes ist es, eine adaptive Regelung für den Drei-Rollen-Biegeprozess zu entwickeln und die hierfür notwendigen hardware- und softwareseitigen Grundlagen zu schaffen. Vor allem die beim Biegen auftretende Rückfederung, die im besonderen Maße von den Materialeigenschaften der Profile abhängt, soll durch die angestrebte Prozessregelung kompensiert werden. Durch die Sicherung von Qualität und Produktivität wird eine Festigung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen am Standort Deutschland ermöglicht.

Lösungsweg

Zur Entwicklung der adaptiven Prozessregelung erfolgt eine numerische Modellierung des Prozesses, die an eine experimentelle Untersuchung gekoppelt ist. Anhand der durchgeführten FE-Simulationen wird eine Prozessanalyse durchgeführt, wodurch geeignete und im Prozess messbare Stell- und Regelgrößen identifiziert werden. Die darauf aufbauende Regelung wird zunächst anhand von FE-Simulationen getestet. Anschließend wird diese in einen Maschinenprototyp implementiert und auf den realen Prozess angewandt.



M.Sc. Thomas Kessler
+49 6151-16-23354
kessler@ptu.tu-darmstadt.de

Influence of tool clamping devices on the workpiece quality in shear cutting and deep drawing processes

Motivation

The variation of the type and number of clamping devices changes the stiffness of the system tool-press which results in the modification of the bending of the tool and its vibration behaviour. Based on scientific investigations, it is known that these two parameters have an influence on the achievable part quality and the tool wear. The issue of the impact of the tool clamping situation on the forming process has not been investigated yet. At the same time it offers great potential for process optimization.

Aim

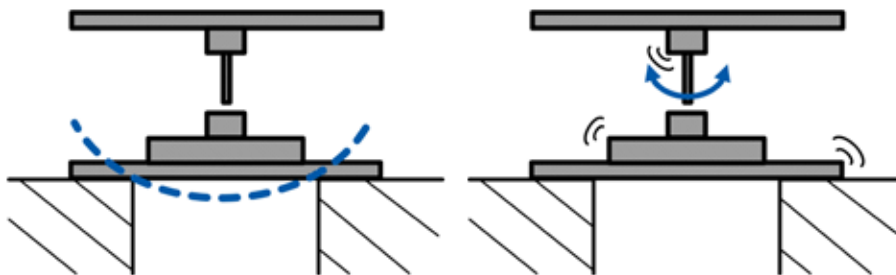
The aim of this research project is to measure and evaluate the influences of tool clamping systems on process variables in deep drawing and shear cutting processes. The analysis of this influence will be used for the systematic selection of suitable clamping devices. In addition, the possibilities and limitations of an innovative, magnetic tool clamping system – to influence the tool behaviour and to optimize the process quality – will be shown.

Methodical approach

To achieve the desired research results, the tool geometry and vibration are determined by measurements during the forming process. Furthermore, the component quality is investigated. By varying the tool clamping situation and by the comparison with a reference state, the context of the clamping situation and the impact on the process can be indicated. Parallel to the experimental analysis a numerical model of the experimental tools and processes is built. The FE-simulation offers further opportunities for the tool analysis, such as the evaluation of the thermal expansion of the tool. The results of the project are included in a leaflet which gives guidelines for the use of tool clamping devices.

Acknowledgment

The research project is funded by the German Federation of Industrial Research Associations (AiF).



[2] Schematische Darstellung der Werkzeugdurchbiegung (links) und -schwingung (rechts)

[2] Schematic representation of the tool deflection (left) and tool vibration (right)

Einfluss von Werkzeugspannmitteln auf die Werkstückqualität bei Stanz- und Tiefziehprozessen

Motivation

Mit der Art und Anzahl der verwendeten Spannmittel ändert sich die Steifigkeit des Systems Werkzeug-Presse und damit die Werkzeugdurchbiegung und -schwingung. Aus wissenschaftlichen Untersuchungen ist bekannt, dass diese beiden Größen die erreichbare Produktqualität und den Werkzeugverschleiß beeinflussen. Von wissenschaftlicher Seite wurde das Thema der Auswirkungen der Werkzeugspannsituation auf den Umformprozess noch nicht untersucht und bietet gleichzeitig großes Potential zur Prozessoptimierung.

Zielsetzung

Ziel dieses Forschungsprojektes ist die Erfassung und Bewertung von Einflüssen der Werkzeugspannsituation auf Prozessgrößen bei Tiefzieh- und Stanzprozessen. Die Analyse dieses Einflusses dient zum einen der systematischen Auswahl geeigneter Spannmittel. Zum anderen werden die Möglichkeiten und Grenzen eines neuartigen, magnetischen Werkzeugspannsystems zur Beeinflussung des Werkzeugverhaltens und zur Optimierung der erreichbaren Prozessergebnisse analysiert. Bezüglich konventioneller Spannmittel werden Möglichkeiten zur Beeinflussung der Werkzeugeigenschaften untersucht, um deren optimale Nutzung zu ermitteln.

Lösungsweg

Zum Erreichen der angestrebten Forschungsergebnisse werden die Werkzeuggeometrie und die Werkzeugschwingung während des Umformprozesses messtechnisch erfasst. Weiterhin erfolgt die Untersuchung der erreichten Bauteilqualität. Durch Variation der Werkzeugspannsituation und den Vergleich mit einem Referenzzustand können dann eindeutige Aussagen über den Zusammenhang der Spannsituation und der Auswirkung auf den Prozess getroffen werden. Begleitend zu der experimentellen Analyse erfolgt eine numerische Modellierung der Versuchswerkzeuge bzw. der Prozesse. Die FE-Simulation eröffnet hierbei weitere Möglichkeiten zur Werkzeuganalyse wie beispielsweise die Auswertung der Wärmeausdehnung des Werkzeugs. Die Ergebnisse des Projektes fließen in ein Merkblatt ein, das Handlungsrichtlinien zum Spannen des Werkzeugs geben wird.

Danksagung

Das Forschungsprojekt wird gefördert durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF).



M.Sc. Dominik Kraus
+49 6151-16-23046
kraus@ptu.tu-darmstadt.de



Punktuell am Werkzeugrand
point by point



Spannschrauben, Spannpratzen
clamping bolt, clamping claws



Linienförmig über Werkzeugfläche
linear



Spannleisten
clamping strip



Flächig
two-dimensional



Magnetische Spannplatten
magnetic clamping plate



[1] Unterteilung der Spannmittel nach Art der Krafteinleitung

[1] Classification of clamping devices depending on the type of the force application

Department of Smart Structures

Due to the increasing demand for a more responsible and sustainable use of available resources, the key issue of today's research is to optimize their use. The department Smart Structure contributes to the reduction of resources by investigating the forming fundamentals in the manufacturing and processing of functional materials and complex components with integrated sensors or actuators. Furthermore, the joint formation and the properties of functional materials are explored.

Manufacture and fundamentals of forming functional materials

The trend towards a more efficient forming is promoted by the developments in the electro mobility and by the need for a more saving use of rare earth materials. Due to relatively high plastic deformation, superfine grained material can be produced. This effect can be used to manufacture permanent magnets without any rare earth materials. The example is only one facet of modern materials used in forming technology. In order to benefit from the advantages of forming with regard to productivity to the fullest, the formability of workpiece materials has to be controlled in forming processes. Thus, the PtU develops its own experimental methods and test stands in order to evaluate the formability of fiber materials and to prepare the industrial implementation.

The use of new materials and material compounds is more and more a subject in modern design. Thus, the question arises, how conventional forming processes are limited by the processing of these materials and how these limitations can be extended. In comparison with shear cutting of monolithic material, additional defects like delamination, edge indentation or core compression can occur by shear cutting of sandwich material. In addition to the issue of the processing of compound material, the manufacturing of sandwich structures is also in the focus of the department's research.

Joining by plastic deformation

Joining processes utilizing the mechanisms of plastic deformation include the possibility to combine high strength with lightweight material for the sake of weight reduction by an optimal strength to weight relation. Furthermore, compounds of metallic workpiece materials enable the local use of specific material properties with regard to corrosion, heat transfer or magnetizability in a component. The phenomenological basics, which lead to a resilient joint by cold pressure welding or collision joining, are in scope of the department's research work. On the long term, these projects aim at a safe, predictable and robust design of new processes and components.

In addition to the research on the fundamental basics of the metallurgical and mechanical joint formation, the manufacturing of structures with integrated sensors or actuators are also subject to the department's work.

Overview of ongoing and completed projects in 2015:

1. Investigation and enhancement on bonding by cold bulk metal forming processes (DFG SPP 1640)
2. Investigation of the formation mechanisms of the bonding zone in collision welding (DFG SPP 1640)
3. Stringer Sheet Hydroforming (DFG SFB 666)
4. Integration of Function Materials (DFG SFB 805)
5. Process-integrated manufacturing of sandwich structures (AiF)
6. Lubricant free shear cutting of composite materials (AiF)
7. Intelligent die for lubricant free shear cutting of composite materials (DFG)
8. Sensoric fastener (Exist)
9. Prestressed, hybrid stringered sheets (DFG)
10. Hydroforming processes of paper and paperboard (AiF, completed in 2015)



Ehemalige Abteilungsleitung

Former head of department

M.Sc. Simon Wohletz

+49 6151-16-23144

wohletz@ptu.tu-darmstadt.de

Abteilung Funktions- und Verbundbauweisen

Aufgrund der stetig wachsenden Forderung nach einem verantwortungsvollen und nachhaltigeren Umgang mit Ressourcen ist das Leitthema der heutigen Forschung, den Ressourceneinsatz zu optimieren. Die Abteilung Funktions- und Verbundbauweise trägt durch die Untersuchung der umformtechnischen Grundlagen bei der Erzeugung und Verarbeitung von Funktionswerkstoffen und der Erzeugung komplexer Baugruppen mit integrierter Sensorik oder Aktorik dazu bei, den Einsatz der zur Verfügung stehenden Ressourcen zu reduzieren. Darüber hinaus werden die Fügemechanismen und die Materialeigenschaften funktionaler Materialien untersucht.

Erzeugung und umformtechnische Grundlagen von Funktionswerkstoffen

Der Trend zur ressourceneffizienten Umformung wird unter anderem durch die Elektromobilität und den Bedarf nach einem sparsamen Einsatz seltener Erden vorangetrieben. Durch vergleichsweise hohe plastische Deformationen mit hohen Scheranteilen kann ultrafeinkörniges Gefüge erzeugt werden. Dieses eignet sich in Abhängigkeit von der Legierungszusammensetzung dazu, Permanentmagnete umformtechnisch herzustellen. Das ist jedoch nur eine Facette neuer Werkstoffe. Im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen sind die umformtechnischen Grundlagen bei Faserwerkstoffen wie beispielsweise Papier nicht bekannt. Daher entwickelt das PtU eigene Versuchsmethoden und Versuchsstände zur Beurteilung des Umformverhaltens von Faserwerkstoffen.

Aus dem vermehrten Einsatz von Verbundwerkstoffen, leitet sich die zentrale Frage-

stellung ab, inwiefern konventionelle Umformprozesse durch die Verarbeitung neuer Werkstoffe und Werkstoffverbünde limitiert werden und welche Maßnahmen zur Erweiterung der Prozessgrenzen nötig sind. Beispielhaft sei hier die Anpassung des Scherschneidens zur Bearbeitung von Verbundblechen genannt, um Delamination, Kernstauchung und Kanteneinzug zu minimieren. Darüber hinaus ist auch die Erzeugung von Sandwichblechen in neuartigen Umformprozessen Gegenstand der Forschungsaktivität.

Fügen

Wird der Trend zur ressourceneffizienten Herstellung von Bauteilen konsequent verfolgt, so bieten Fügeverfahren, basierend auf den Mechanismen der plastischen Deformation das Potential funktional gestaltete Bauteile mit einem optimierten Festigkeits-Gewichtsverhältnis herzustellen. Im Fokus der dazu nötigen Untersuchungen stehen dabei die physikalischen Grundlagen, die zu einer belastbaren Verbindung durch Pressschweißen und Kollisionsfügen führen. Langfristig sollen dadurch neuartige Prozesse und Bauteile vorhersagbar, sicher und reproduzierbar ausgelegt werden können.

Neben den grundlegenden Mechanismen, die zu einem Stoffschluss oder mechanischen Verbund führen, widmen sich die Forschungsaktivitäten der Abteilung der Erzeugung von Strukturen mit integrierten sensorischen oder aktorischen Funktionen. Durch diese Vorgehensweise erhalten umformtechnische Erzeugnisse Funktionalität ohne zusätzlich Handhabungs- und Montageprozesse.

Übersicht über die laufenden und im Jahr 2015 abgeschlossenen Projekte:

1. Untersuchung und gezielte Verstärkung des stoffschlüssigen Fügens durch Verfahren der Kaltmassivumformung (DFG SPP1640)
2. Untersuchung der Bildungsmechanismen der Fügezone beim Kollisionsschweißen (DFG SPP 1640)
3. Tiefziehen verzweigter Bleche (DFG SFB 666)
4. Integration von Funktionsmaterialien (DFG SFB 805)
5. Prozessintegrierte Herstellung von Sandwichstrukturen (AiF)
6. Trocken-Scherschneiden von Sandwichblechen (AiF)
7. Intelligente Werkzeuge für das Trocken-Scherschneiden von Verbundwerkstoffen (DFG)
8. Sensorische Verbindungselemente (Exist)
9. Vorgespannte, hybride Stegblechstrukturen (DFG)
10. Grundlagen der umformgerechten Papierherstellung (AiF, abgeschlossen in 2015)



Abteilungsleitung

Head of department

M.Sc. Philipp Stein

+49 6151-16-23047

stein@ptu.tu-darmstadt.de

MitarbeiterInnen

Staff of department

M.Sc. Matthias Brenneis

M.Sc. Wilken Franke

M.Sc. Christiane Gerlitzky

M.Sc. Henning Husmann

M.Sc. Stefan Köhler

M.Sc. Martin Krech

M.Sc. Arne Mann

M.Sc. Christian Pabst

M.Sc. David Übelacker

Integration of functional materials

Motivation

Uncertainty in load-bearing structures is present in the design, production and utilization phase of machine elements. An approach to control this uncertainty is to equip mechanical structures with additional functional elements like sensors, actuators and required periphery. In order to allow a wide-spread utilization, there is a need for cost-efficient large-scale production processes which allow a safe coupling of brittle and sensitive functional elements simultaneously to the forming of the part.

Objectives

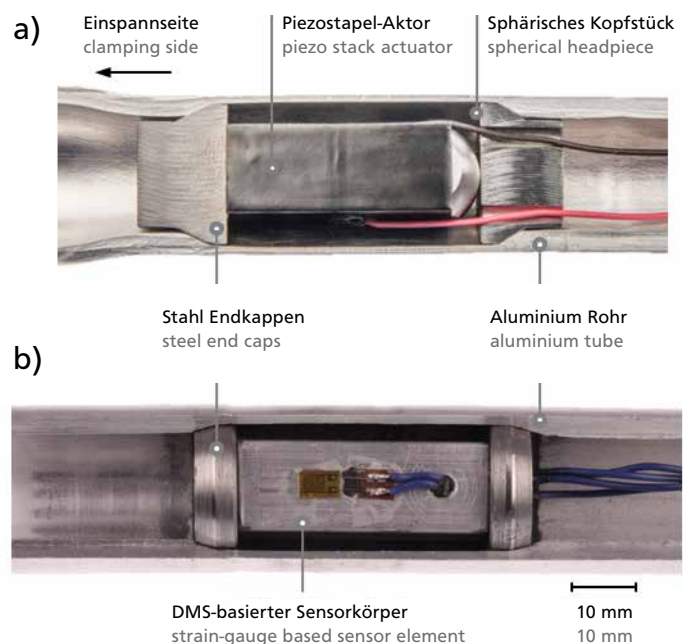
The aim of this project is to integrate functional elements, like sensors or piezo stack actuators, in load-bearing structures by rotary swaging. This cold forming technique is an incremental process, whereby the net shape of a part is reached in many small forming steps. Four oscillating tools reduce the diameter of a tubular work piece with alternating strokes. The demand for a flexible outer contour of the processed tubular parts requires an adapted process control and the utilization of mandrels.

Approach

An effective utilization of the functional compound requires the elements to lie in the path of forces which is ensured by an axial pretension. By this, the functional structure is able to detect tensile forces by an integrated sensor in a wide range. This pretension is generated by a directed material flow on the end caps which lead to compression forces inside the functional element. The mechanisms and influencing factors in this process are investigated experimentally and numerically by finite element analysis. In order to set up the targeted pretensions experimentally, the integrated sensory elements itself can be utilized during the forming process. For this, a telemetry unit is attached to the rotating work piece [2].

Acknowledgements

The authors want to express their gratitude to the DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) for the support of the subproject “Integration of Functional Materials” within the Collaborative Research Centre 805.



[1] Integrierte Funktionselemente a) Piezostapelaktor, b) DMS-Sensorkörper

[1] Integrated functional elements a) Piezoelectric stack actuator, b) strain-gauge based sensor element

Integration von Funktionsmaterialien

Motivation

Unsicherheit in lasttragenden Systemen des Maschinenbaus tritt in der Auslegungs-, Produktions- und Nutzungsphase von Maschinenelementen auf. Ein Ansatz zur Beherrschung dieser Unsicherheit ist die Ausstattung von mechanischen Strukturen mit zusätzlichen Funktionselementen, wie Sensoren und Aktuatoren sowie der erforderlichen Peripherie. Um eine breite Anwendung funktionsintegrierter Maschinenelemente zu ermöglichen, müssen Produktionsverfahren für eine kosteneffiziente und großserientaugliche Herstellung qualifiziert werden.

Zielsetzung

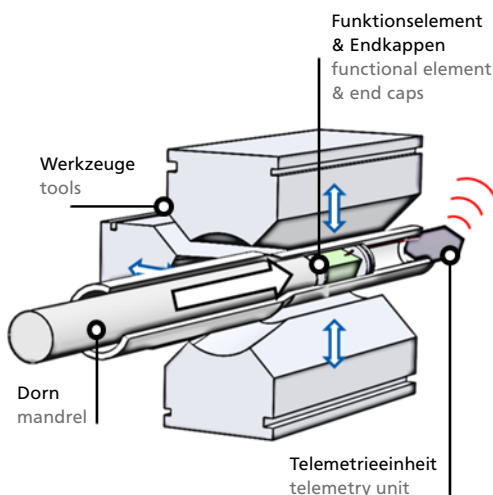
Ziel dieses Projektes ist es, Funktionselemente, wie Sensoren oder Piezoaktoren, schadungsfrei in lasttragende Strukturen zu integrieren. Zum Einsatz kommt dabei das inkrementelle Kaltmassivumformverfahren Rundkneten, bei dem die Formgebung des Werkstücks in vielen kleinen Schritten erreicht wird. Vier oszillierende Werkzeuge reduzieren den Durchmesser eines rohrförmigen Werkstücks durch einen alternierenden Werkzeugeingriff. Eine flexible Außenkontur der erzeugten funktionsintegrierten Strukturen erfordert zudem eine angepasste Prozesssteuerung und die Verwendung von Dornen.

Vorgehensweise

Eine zweckmäßige Nutzung der erzeugten Strukturen erfordert eine axiale Verspannung der integrierten Elemente. Dadurch ist es beispielsweise möglich, Zugkräfte durch einen integrierten Sensor in einem weiten Bereich zu detektieren. Die Vorspannung wird durch ein gezieltes Abfließen von Rohrmaterial auf der Endkappe erreicht, wodurch Druckkräfte innerhalb des Funktionselementes entstehen. Die Mechanismen und Einflussgrößen bei diesem Verfahren werden experimentell und numerisch durch Finite-Elemente-Simulation untersucht. Um Vorspannkräfte in der Fertigung gezielt einstellen zu können oder eine Prozessüberwachung zu ermöglichen, werden die zu integrierenden sensorischen Elemente bereits während der Formgebung genutzt. Durch eine Telemetrieinheit am rotierenden Werkstück können Spannungszustände über den gesamten Umformprozess ermittelt und ausgewertet werden [2].

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung des Teilprojekts B4: »Integration von Funktionsmaterialien« innerhalb des Sonderforschungsbereichs 805.



M.Sc. Martin Krech
+49 6151-16-23354
krech@ptu.tu-darmstadt.de

[2] Aufbau der Rundkneteinheit mit Fügekomponenten und Telemetrieinheit

[2] Setup of the rotary swaging machine with attached telemetry system

Stringer Sheet Forming

Motivation

The forming operation during the hydro-forming process of sheet metals is performed by a pressure medium. Weight and strength optimized structures often use stringer elements to fulfill lightweight requirements. A subsequent attachment of stringer elements to multi-curved surface structures is complex in many respects. Stringer sheets have to be manufactured precisely according to the face sheet. The positioning of the stringer to the face sheet and the control of the laser beam position along a 3D-curvature during the welding process are very sophisticated.

Objectives

The aim of this project is to create a technological basis for the production of multiple curved stringer sheet metal structures [1]. The influence of the heat-affected zone on the material flow as well as the effect of the

tolerances of the welded stringer on the failure modes have to be investigated. The result of this scientific work will be a method for dimensioning the stringer parameters as well as the process control strategy. Furthermore, a conventional deep-drawing tool for stringer sheets will be developed to benefit from the lower cycle times. Figure [2] shows the corresponding tool concept.

Approach

The process will be studied with the help of the finite element analysis. The material flow, the thinning, the distribution of the surface pressure in the flange area, as well as the stresses and the true strains will be considered for the dimensioning of the tool systems as well as for the process design. The methodical approach will be tested on sample geometries with stringers in the inner surface as well as in the outer face.



[1] Wirkmedienbasiert geformtes Bauteil mit lasergeschweißten Rippen

[1] Hydroformed stringer sheet with laser welded stringers

Tiefziehen verzweigter Bleche

Motivation

Wirkmedienbasierte Umformverfahren bieten gegenüber konventionellen Ziehverfahren ein hohes Maß an gestalterischer Freiheit. Der konstruktive Leichtbau verwendet unter anderem Rippen, um Bleche zu versteifen. Solche Strukturen bieten ein breites Anwendungsgebiet wie z. B. auf Kuppeldächern, im Brückenbau, in Autokarosserien, im Flugzeugbau oder in der Verpackungs- und Möbelindustrie. Der dreidimensionale Fügeprozess von Rippen auf Deckblechen ist sehr komplex.

Zielsetzung

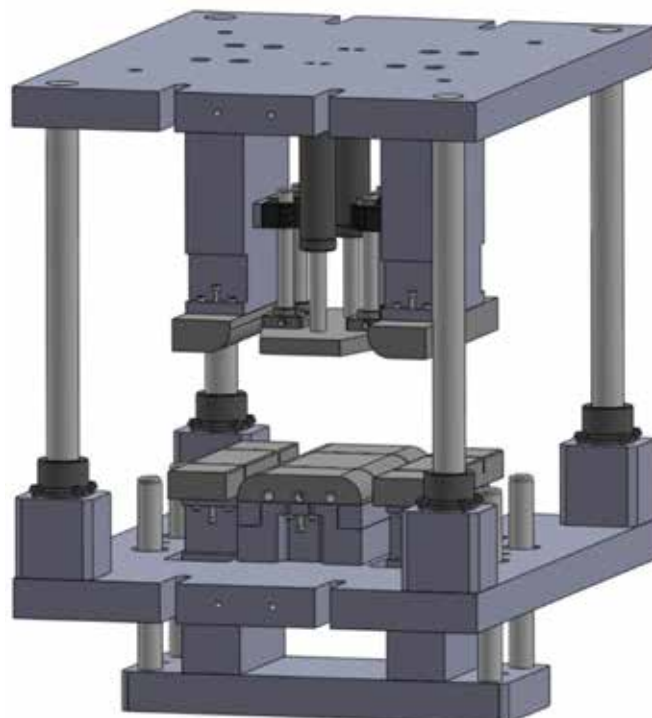
Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Schaffung einer technologischen Grundlage für die Bereitstellung mehrfach gekrümmter, mit Stützrippen versehener Blechstrukturen [1]. Die bei der Umformung maßgeblich wirkenden Mechanismen sollen hierzu erarbeitet und die Verfahrensgrenzen bestimmt werden. Ferner sollen die Einflüsse der vorgelagerten Bearbeitungsschritte auf das Tiefziehen sowie auf die Versagensgrenzen untersucht werden. Daraus werden verfahrensspezifische Restriktionen sowohl bezüglich der Bauteil- und Steggeometrie als auch der Steganordnung abgeleitet. Des Weiteren soll ein konventionelles Tiefziehwerkzeug entwickelt werden, mit dem verzweigte Bleche umformbar sind, um von den geringeren Taktzeiten im Vergleich zum wirkmedienbasierten Prozess zu profitieren. Bild [2] zeigt das entsprechende Werkzeugkonzept.

Vorgehensweise

Mithilfe von FE-Berechnungen werden der Materialfluss, die Blechaufdickung im Flanschbereich, der Umformgrad sowie die Spannungen und Dehnungen im Bauteilboden sowie in den Stegen untersucht. Darauf aufbauend erfolgen die Auslegung der Werkzeugsysteme sowie die Bestimmung der Strategien zur Prozessführung. Die experimentell bestimmten Prozessparameter werden in Form eines Arbeitsdiagramms dargestellt. Die Veranschaulichung der methodischen Vorgehensweise sowie der Ergebnisse erfolgt am Beispiel von Demonstratorbauteilen. Es werden gleichsinnig (synklastisch) gekrümmte Schalen mit Verstärkungen im inneren und äußeren Bereich des Bauteils realisiert.



M.Sc. Stefan Köhler
+49 6151-16-23314
koehler@ptu.tu-darmstadt.de



[2] Werkzeugkonzept zum konventionellen Tiefziehen von verzweigten Blechen
[2] Concept for stringer sheet forming with solid tools

Completed Dissertations

Formgebung mehrachsig
stark gekrümmter Stahlbleche
mit lastangepassten Versteifungsrippen

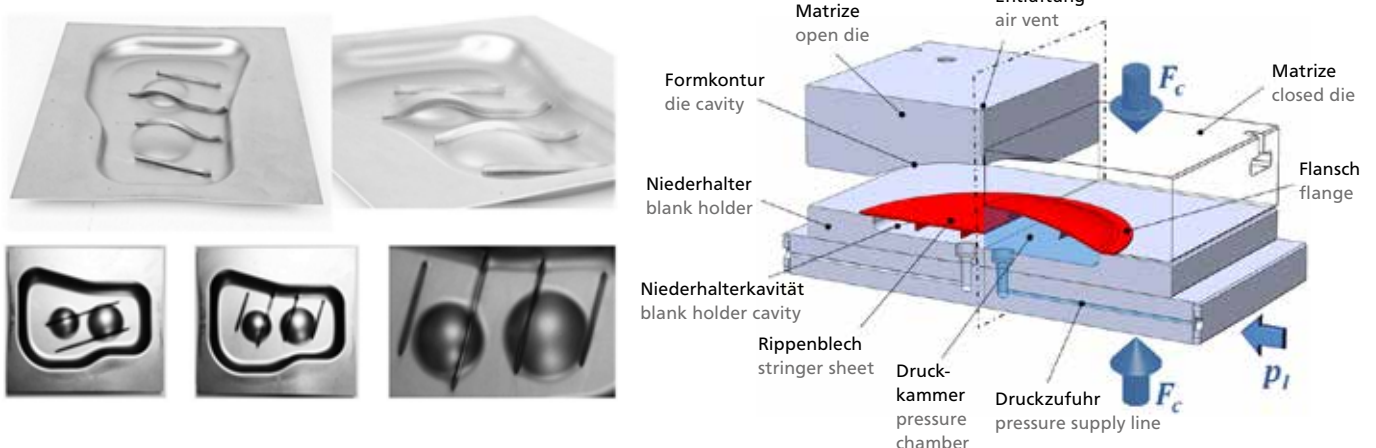
Shaping Multiaxial
Highly-Curved Steel Panels with
Load-adapted Stiffening Ribs

Zur Versteifung flächiger Strukturen nutzt der konstruktive Leichtbau nach dem Vorbild der Natur Rippen. Die Hochdruckblechumformung (HBU) lasergeschweißter Rippenbleche bietet eine Möglichkeit der Herstellung dieser versteiften Blechstrukturen. Die Arbeit beschreibt Maßnahmen zum Verschieben von Grenzen verschiedener Fehlerarten, um damit das herstellbare Bauteilspektrum der HBU von Rippenblech aus Stahl zu erweitern. Im Speziellen wird auf die Kerbwirkung der Rippenenden, das Ausbeulen der Rippen während der Umformung, das Rückfederungsverhalten von Rippenblechen und die definierte Rippenpositionierung auf dem Halbzeug eingegangen. Abbildung 1 zeigt links beispielhaft eine der untersuchten Versuchsgeometrien und rechts das Verfahrensprinzip der Rippenblech HBU.

To stiffen planar structures, stringers are used in lightweight design. Hydroforming of laser-welded stringer sheets provides a way of manufacturing these stiffened sheet structures. The work describes methods to move the boundaries of different types of errors, in order to expand the spectrum of producible stringer sheet geometries. Specifically, the notch effect of the stringer ends, the buckling of the stringers during the forming process, the springback behaviour of stringer sheets and defined positioning of stringers on the semi-finished product are investigated. Figure 1 shows an example of the produced experimental geometries (left) and the process principle of stringer sheet hydroforming (right).



Dr.-Ing. Frederic Bäcker



[1] Rippenblech Beispielbauteil (links); Verfahrensprinzip HBU von Rippenblechen (rechts)

[1] Stringer sheet example (left); Process principle of stringer sheet hydroforming (right)

Abgeschlossene Dissertationen

Schmierung von Werkzeugen
der Kaltmassivumformung mit
Einschichtschmierstoffsystemen

Lubrication of cold forging
tools with single layer
lubrication systems

Die Basis für die Optimierung tribologischer Systeme besteht neben der Kenntnis der tribologischen Lasten auch in der eingehenden Charakterisierung des tribologischen Systems. Im Rahmen dieser Dissertation wurden zunächst offene Punkte hinsichtlich der numerischen Bestimmung der tribologischen Lasten sowohl aufgezeigt als auch geschlossen. Als zusätzliches Instrument der Charakterisierung des Schmierstoffsystems wurde die Möglichkeit der Messung der Schmierfilmdicke mittels fluoreszierenden Partikeln aufgezeigt. Hiermit konnte die Schmiermittelausdünnung während des Umformprozesses qualitativ nachgewiesen werden. Auf dieser Erkenntnis aufbauend wurde ein Konzept zur Schmierung der Werkzeuge entwickelt und in Analogie- und Realversuchen belegt. Mit Hilfe dieses neuartigen Beschichtungsverfahrens konnte abschließend gezeigt werden, dass eine Benetzung der Werkzeuge mit Schmierstoff eine Möglichkeit darstellt, sowohl die Prozessgrenzen in der Kaltmassivumformung gegenüber dem heutigen Stand zu erweitern als auch die Prozesskette zu verkürzen.

The optimization of tribological systems is based on the exact knowledge of the tribological loads as well as the adequate characterization of the tribological system. Within the scope of this dissertation, open issues concerning the numerical determination of the tribological loads were addressed and filled. As an additional instrument for the characterization of the tribological system, a novel procedure for the determination of the lubricant layer thickness with the help of fluorescent particles was presented. It could be shown qualitatively that the lubricant layer thins out during the forming process. Based on this knowledge, a concept for lubrication of the tools was developed and verified in tribometer and industrial tests. Concluding, it was shown that with the aid of this novel method of tool lubrication, it is possible to coat the forming tools rather than the work piece, which in turn allows for an extension of the current process boundaries as well as a shortening of the process chain.



Dr.-Ing. Christoph Müller

Wirkmedienbasiertes Umformen von Papier

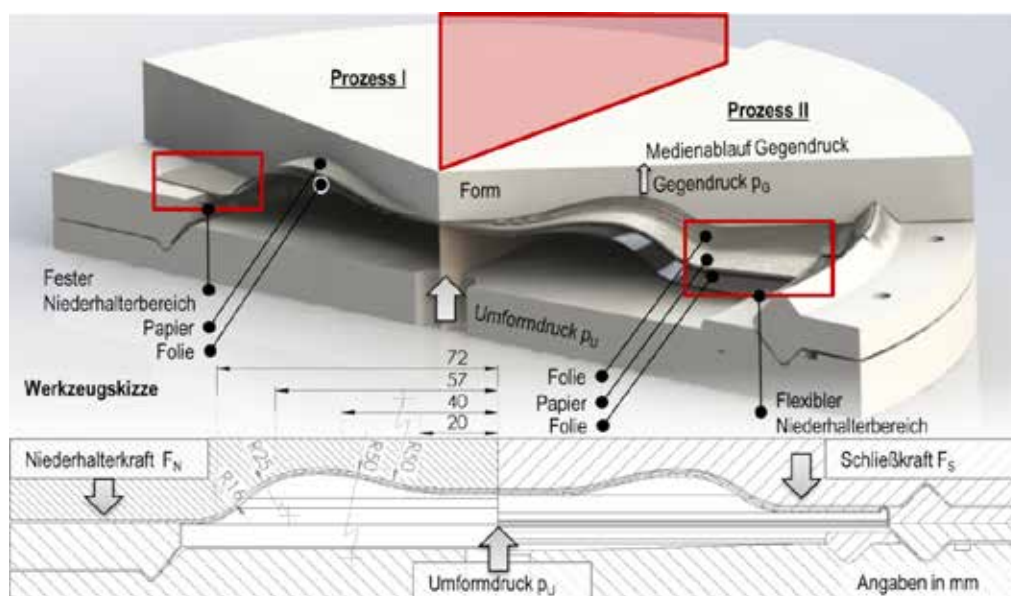
Hydroforming of Paper

Zum jetzigen Zeitpunkt basiert das Vorgehen bei der Entwicklung neuer Umformprodukte aus Papier auf Erfahrungen der Hersteller sowie zeit- und kostenintensiven Experimenten. Im Rahmen dieser Dissertation wurden aus der Metallumformung bekannte wirkmedienbasierte Prozesse [1] auf den Faserwerkstoff Papier übertragen und untersucht. Aufbauend auf der umfassenden Ermittlung der drei für die Abbildung und Optimierung des Umformprozesses maßgeblichen Einflussgrößen, wie dem Materialverhalten, den Formgebungsgrenzen und der Reibung, wurden numerische Simulationsmodelle entwickelt und untersucht. Mit Hilfe dieser Simulationsmodelle ist eine gezielte und stark verkürzte Produktentwicklung grundsätzlich möglich. Abschließend wurde auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse und mithilfe der Finiten-Elemente-Simulation ein Demonstratorbauteil entwickelt.

At the moment the development of new products made of three-dimensional formed paper is based on both the experience of manufacturers and time- and cost-intensive experiments. Within the scope of this thesis, fluid-based processes [1] have been transferred from metal forming to the fiber based material paper and subsequently investigated. Building on comprehensive investigation of the three relevant factors for the modelling and optimization of the forming processes, named material behavior, forming limits and friction, numerical simulation models have been developed and studied. Using this simulation models a targeted and shortened product development is in principle possible. Finally, a demonstration part is developed by the made findings and the FEA-tools.



Dr.-Ing. Dominik Huttel



Gegenüberstellung von zwei auf Papier angepasste wirkmedienbasierte Prozesse; Prozess I: Einseitiger Wirkmediendruck; Prozess II: Zweiseitiger Wirkmediendruck
comparison of two fluid-based processes transferred to paper-materials; Prozess I: one-sided fluid pressure; Prozess II: double-sided fluid pressure

Umformen von Aluminiumblechen mit aufgedruckter Elektronik am Beispiel von Dehnungsmessstreifen

Forming of aluminium sheets with printed electronics using the example of strain gauges

Vor dem Hintergrund des hohen und weiter steigenden Anteils elektronischer Komponenten in Produkten birgt ihre Integration in bestehende umformtechnische Bauteile und deren Wertschöpfungsketten ein hohes Potential. Aufgrund der getrennten Auslegung, Fertigung und Montage von elektronischen und mechanischen Produktbestandteilen bleibt dieses Potential bisher ungenutzt.

Im Rahmen dieser Dissertation wird die Umformbarkeit von Aluminiumblechen mit aufgedruckter Elektronik am Beispiel von Dehnungsmessstreifen (DMS) untersucht. Hierbei wird die schädigungsfreie Umformbarkeit nachgewiesen und eine Methode zur Bestimmung der Grenzformänderungskurven von Beschichtungssystemen entwickelt, die die Basis der gedruckten DMS bilden. Des Weiteren wird die Funktionalität der gedruckten DMS anhand von U-O-gebogenen Kraftmessringen nachgewiesen.

Taking into account the rising percentage of electronic parts in many products, the integration of electronic components into existing metal forming parts as well as their value chain promises a high potential. However, because of the separated design, manufacturing and assembly of electronic and mechanical parts, this potential has not been used so far.

This dissertation examines and proves the formability of aluminium sheets with printed electronics for printed strain gauges. A methodology for determining the forming limit curves of the printed layers of the strain gauges is developed as well. Furthermore, the functionality of the printed strain gauges is proven on the example of U-O-bend tube sections with printed strain gauges.



Dr.-Ing. Mesut Ibis



U-O-gebogene Kraftmessringe mit aufgedruckten DMS
U-O-bend tube sections with printed strain gauges

Vorgehensmodell der realen iterativen Produktentwicklung

A model of the real iterative product development process

Der Arbeitsalltag von Konstrukteuren und Produktentwicklern hat sich durch den Wandel von Produkten und Märkten stark verändert. Die bestehenden methodischen Konstruktions- und Entwicklungsansätze scheinen jedoch diesen Wandel nicht ausreichend zu berücksichtigen. Um diese Lücke zwischen der akademischen Konstruktionsmethodik und der industriellen Anwendung zu verkleinern, wurde in dieser Dissertation das sogenannte Vorgehensmodell der realen iterativen Produktentwicklung erarbeitet.

Innerhalb dieses Modells werden die an der Produktentwicklung beteiligten Anspruchsgruppen sowie die bestehenden Informationswege innerhalb von drei Modellbereichen untersucht [1]. Berücksichtigt werden dabei auch die in der Realität meist unbewusst ablaufenden Vorgänge der Produktentwicklung, wodurch die Bewertung, die Dokumentation sowie die Kommunikation von Lösungen ermöglicht werden.

The daily routine of designers and product developers has changed due to the change of the markets and products, but the existing systematic design and development approaches seem to not respect this change sufficiently. In this work a model of the real iterative product development process was developed in order to bridge the gap between the academic design methods and their industrial application.

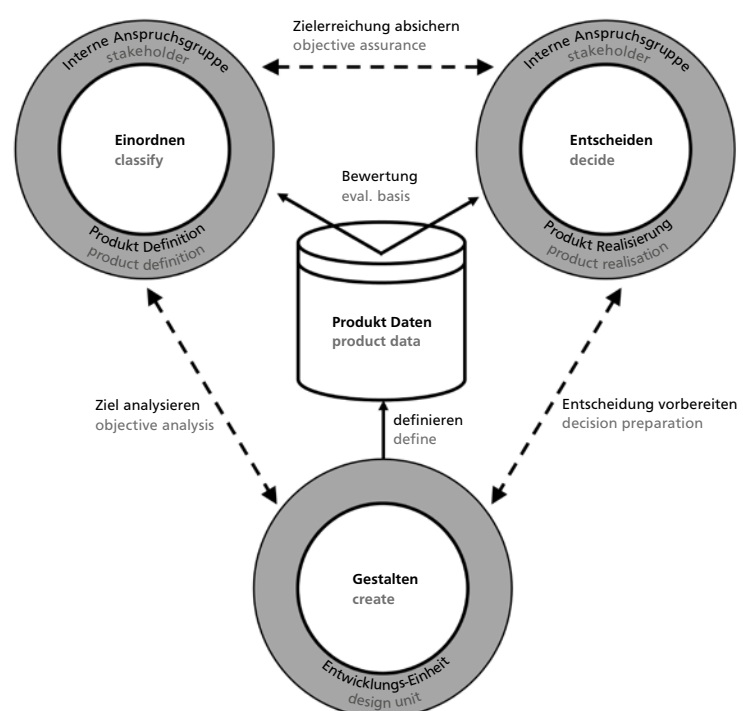
Object of this investigation are the stakeholders involved in the product development process and the existing paths of information within three different model areas, which can be seen in [1]. This model also considers processes that are automatically executed by the developer in practice. This allows the evaluation, documentation and communication of solutions.



Dr.-Ing. Sebastian O. Schmitt

Modellbereiche, Anspruchsgruppen und Informationswege des Vorgehensmodells der realen iterativen Produktentwicklung (Quelle: Schmitt, S. O.: Vorgehensmodell der realen iterativen Produktentwicklung, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, Shaker, 2015)

Areas, stakeholders and information paths in the model of the real iterative product development process (Quelle: Schmitt, S. O., Scheitza, M., Groche, P.: A model for improving the applicability of design methodologies to mechanical engineering design routines, Journal of Engineering Design, Vol. 26, Iss. 10-12, 2015)



Wir bedanken uns bei unseren Partnern, Förderern, Sponsoren und zahlreichen Firmen recht herzlich für die gute Zusammenarbeit und die finanzielle Unterstützung!

We would like to thank our partners, supporters, sponsors and numerous companies for a good cooperation and financial support!

AVIF



E ♦ C ♦ R ♦ A



Veröffentlichungen Publications

T. Traub; P. Groche:

Experimental and Numerical Determination of the Required Initial Sheet Width in Die Bending

Key Engineering Materials, Ausgabe: 639, 2015, S. 436–445, Trans Tech Publications, Switzerland

P. Groche; T. Traub:

Five Ways to Determine the Initial Sheet Width in Bending

steel research international, Ausgabe: 86.4, 2015, S. 147–154, WILEY-VCH-Verlag

P. Groche; T. Traub; H. Dridi;

L. Acosta Falcon:

Bestimmung der Zuschnittslänge beim Walzprofilieren von Kaltprofilen

wt Werkstattstechnik online, Ausgabe: 105.10, 2015, S. 709–714, Springer-VDI-Verlag

A. Duschka; P. Groche:

Design Approach for Roll Forming of Profiles with Integrated Electrical Conductors

Applied Mechanics and Materials, Ausgabe: 794, 2015, S. 112–119

D. Größ; M. Müller; J. Hohmann:

Auf dem Weg zu Industrie 4.0. Ansätze und Potentiale in der Stanzteilefertigung

12. Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt, Ausgabe: 06/2015, S. 51–64, Meisenbach Verlag GmbH, Bamberg

P. Groche; J. Hohmann; T. Kessler; J.

Schreiner; M. Krech; A. Duschka; V. Monnerjahn; M. Coric:

Industrie 4.0. Forschung am PtU

12. Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt, Ausgabe: 06/2015, S. 27–47, Meisenbach Verlag GmbH, Bamberg

P. Groche; M. Ludwig, M. Steitz:

Ermittlung der Reibzahlen nach Vorbelastung

EFB-Forschungsbericht, Ausgabe: 386, 2014, ISBN: 978-3-86776-428-5, Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V.

M. Steitz; P. Klasen; P. Groche:

Wear behavior of hammer peened surface textures during strip drawing test

Proceeding of the 34th International Deep Drawing Research Group Conference, Ausgabe: 2015, S. 270–281

T. Abraham; M. Weber; G. Bräuer; F. Resch; M. Steitz; P. Groche:

Tribologische Bewertung von Tribometer- und Streifenziehversuch zur Nachbildung eines Trockenumformprozesses von Aluminium

Dry Metal Forming Open Access Journal, Ausgabe: 2015, S. 83–90

P. Groche; S. Köhler; T. Kessler:

Tiefziehen von Blechen mit integrierter Sensorik

Bänder Bleche Rohre, Ausgabe: 10/2015, Henrich Publikationen

P. Groche; C. Pabst:

Numerical Simulation of Impact Welding Processes with LS-DYNA

10th European LS-DYNA Conference, Ausgabe: 06/2015, ISBN: 978-3-9816215-2-5, S. 153–154
Das ist nur das »book of abstracts«. Die vollständigen Veröffentlichungen wurden nicht gedruckt.

S. Wohletz; P. Groche; A. Erbe; A. Altin:

Metallische Verbunde durch Fließpressen

30. Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, Ausgabe: 02/2015, Inproceedings

P. Stein; D. Übelacker; D. Holke; P. Groche:
Experimental Investigation of the Shear Cutting Behaviour of Sandwich Panels

Materials Science Forum. 20th Symposium on Composites, Ausgabe: 20, 06/2015, S. 443–440, Trans Tech Publications, Switzerland

P. Groche; P. Stein; D. Übelacker;

F. Neumayer; F. Steinbach:

Trockenscherschneiden von Verbundblechen

wt Werkstattstechnik online, Ausgabe: 105.1, 2015, Springer-VDI-Verlag

P. Groche; M. Krech:

Integration of functions through rotary swaging – New possibilities for the monitoring of states and loads in tubular machine elements.

New Developments in Forging Technology 2015, Ausgabe: 05/2015, S. 247–255

M. Krech; P. Groche:

Smart machine elements by rotary swaging – Manufacturing and Applications

5th Scientific Symposium of the CRC/TR 39

PT-PIESA, Light-Weight Design by Function Integration, Ausgabe: 09/2015, S. 35–39

P. Groche; F. Resch:

Dry forming of aluminum alloys – Wear mechanisms and influencing factors

Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, Ausgabe: 46, 08/2015, S. 813–828, WILEY-VCH-Verlag

V. Monnerjahn; P. Groche:

Bleche fügen per Spaltprofilierung

Bleche Rohre Profile, Ausgabe: 2, 2015, Meisenbach Verlag GmbH, Bamberg

V. Monnerjahn; N. Heinzmann; M. Lobers;

P. Groche; S. Schmidt; M. Linke; P. Schwarz; R. Spielmann; E. Abele:

Herstellung multifunktionaler Profile und Profilverbindungen durch umformende und spanende Prozesse

9. Fachtagung Walzprofilieren & 5. Zwischenkolloquium SFB 666, Ausgabe: 11/2014, S. 67–78, Meisenbach Verlag GmbH, Bamberg

P. Groche; L. Wießner:

High-Performance Permanent Magnets by Cold Forming

60 Excellent Inventions in Metal Forming, Ausgabe: 2015, S. 337–342, Springer Vieweg

L. Wießner; T. Größ; E. Bruder; P. Groche; C. Müller:

Severe plastic deformation and incremental forming for magnetic hardening

Applied Mechanics and Materials, Ausgabe: 794, 2015, S. 152–159, Trans Tech Publications, Switzerland

P. Groche; F. Vogler; L. Wießner:

Examination of tailored preforms produced by rotary swaging for subsequent hydroforming

Production Engineering Research & Development, Ausgabe: 07/2015, Springer

Vorträge Presentations

T. Traub; P. Groche:

Experimental and Numerical Determination of the Required Initial Sheet Width in Die Bending

The 16th International Conference on Sheet Metal, SHEMET 2015, 16.–18. März 2015, Erlangen Deutschland

M. Steitz:

Reib- und Verschleißverhalten von gehämmerten Mikrostrukturen beim Tiefziehen.

3. Workshop Machine Hammer Peening, 28.11.2014, Aachen, Deutschland

M. Steitz; P. Stein; P. Groche

Wear behavior of hammer peened surface textures during strip drawing test.

34th International Deep Drawing Research Group Conference, IDDRG 2015, 31.05.–03.06.2015, Shanghai, China

M. Steitz:

Tribologische Beeinflussung von Werkzeugrandschichten mittels Oberflächenmodifikation
Freitagsseminar 3|2015: Tribologische Schichten auf Umformwerkzeugen, 18.09.2015, Schwäbisch Gmünd, Deutschland

M. Neuwirth; M. Özel; W. Schmitt;

F. Rullmann:

Flexibles Spaltprofilieren: Verfahren und numerische Abbildung

9. Fachtagung Walzprofilieren & 5. Zwischenkolloquium SFB 666, WAPRO 2014, 19.–20.11.2014, Darmstadt, Deutschland

S. Wohletz; P. Groche; A. Erbe; A. Altin:

Bond Formation by Cold Extrusion Welding
Department Seminar of the Max-Planck-Institut für Eisenforschung, 01.07.2015, Düsseldorf, Deutschland

S. Wohletz; P. Groche; A. Erbe; A. Altin:

Metallische Verbunde durch Fließpressen
30. Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, 11.–12.02.2015, Düsseldorf, Deutschland

S. Wohletz; P. Groche:

Formende Fügeverfahren für artungleiche Verbindungen

DGM-Fortbildungsseminar Fügen hybrider Verbindungen, 19.–20.11.2014, Bremen, Deutschland

L. Wießner; T. Gröb; E. Bruder; P. Groche; C. Müller:

Hochgradig plastische Verformung und inkrementelle Umformung zur magnetischen Härtung

6.–7.09.2015, Hamburg, Deutschland

V. Monnerjahn; J. Niehuesbernd; M. Roos:

Potentiale des Spaltprofilierens für die integrale Herstellung von Profilverbindungen aus Blech

9. Fachtagung Walzprofilieren & 5. Zwischenkolloquium SFB 666, WAPRO 2014, 19.–20.11.2014, Mörfelden-Walldorf, Deutschland

C. Wagner; S. Gramlich; V. Monnerjahn; P. Groche; H. Klobardanz:

Technology pushed process and product innovation – Joining by Linear Flow Splitting
4th CIRP Global Web Conference on Production Engineering, 29.09–01.10.2015

Teaching



Lehre



Lehrinhalte

Contents of Teaching

Lehrveranstaltungen

Am Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) werden für Studierende der Studiengänge Mechanical and Process Engineering, Wirtschaftsingenieurwesen, Computational Engineering und Education verschiedene Lehrveranstaltungen aus dem Bereich der Produktionstechnik angeboten. Einen ersten Einblick in das weitläufige Themengebiet der Produktionstechnik erhalten die Studierenden in der Basisvorlesung »Technologie der Fertigungsverfahren«, die im ersten Semester des Bachelorstudiums angeboten wird. Das Verständnis für Produktionsprozesse wird hierbei durch praxisbezogene Fertigungsbeispiele und Bauteildemonstratoren gefördert. Zusätzlich bieten die angebotenen Fallstudien den Studierenden die Möglichkeit, reale Problemstellungen aus der Industrie zu bearbeiten. Die besten Lösungsansätze werden in der Vorlesung ausgezeichnet und den Teilnehmerinnen und Teilnehmern wird eine Exkursion zu dem jeweiligen Industriepartner ermöglicht. In den folgenden Semestern kann das erlangte Basiswissen in verschiedenen weiterführenden Vorlesungen des Wahlpflichtbereichs vertieft werden. Hierzu zählen unter anderem die Vorlesungen »Umformtechnik I + II« und »Maschinen der Umformtechnik I + II«. Schwerpunkte dieser Vorlesungen sind die Grundlagen der Plastomechanik und Tribologie, Umformtechnologien und die dafür erforderlichen Maschinen sowie Fertigungs- und Handhabungsvorrichtungen. Des Weiteren stellt die Vorlesung »Laser in der Fertigung« die Grundlagen und Anwendungsgebiete der Lasertechni-

schen Materialbearbeitung dar. Abgerundet wird das Lehrangebot durch die Vorlesungen »Prozessketten in der Automobilindustrie I + II« und »Fertigungsgerechte Maschinenkonstruktion I + II«. Beide Vorlesungen werden von externen Dozenten veranstaltet, wodurch den Studierenden ein tiefer Einblick in die industrielle Praxis sowie in das fertigungsgerechte Gestalten ermöglicht wird. Daneben wird die Projektvorlesung zum Sonderforschungsbereich 666 angeboten, die sich mit der Entstehung von integralen Blechbauteilen auseinandersetzt.

Das umfangreiche Vorlesungsangebot wird durch die »FE Tutorien I + II«, das umformtechnische Tutorium »Stahl fliegt« und das Tutorium »Steuerung und Regelung von Umformmaschinen« ergänzt. Neben dem Lehrangebot besteht für Studierende die Möglichkeit, ihr Wissen in Bachelor- und Masterarbeiten sowie in Advanced Design Projects und Advanced Research Projects anzuwenden.

Courses

The Institute for Production Engineering and Forming Machines (PtU) offers students majoring in mechanical and process engineering, industrial engineering, computational engineering and education a broad range of courses in the field of production engineering. The students receive their first impression of the extensive field of production engineering in the basic course "Technology of Manufacturing Processes" which is offered in the first semester of their Bachelor studies. The understanding of production processes is expanded on the basis of manufacturing examples. Case studies additionally provide the opportunity to solve industrial tasks. The best students' solution is honored in the lecture and the participants in the case study are invited to visit industrial partners. In the successive semesters, the already gained basic knowledge can be extended in the compulsory selective courses "Forming Technologies I + II" and "Forming Machines I + II". The focus in these lectures is set on the basics of plastomechanics and tribology, forming technologies and the necessary machines, manufacturing and handling facilities. The lecture "Laser in Manufacturing" also introduces students into the basics and fields of applications of lasers used for industrial material processing. All lectures are completed by the courses "Process Chains in the Automotive Industry I + II" and "Machine Design I + II". Both courses are held by industrial guest lecturers who are able to provide a deeper insight into the industrial practice as well as into the production-oriented design. In addition, a lecture on producing integral sheet metal devices in co-operation with the Collaborative Research Center 666 is offered. The wide range of lectures is completed by the "FE-Tutorial I + II", the forming tutorial "Airborne Steel" and the tutorial "Control of Forming Machines". Besides all the lectures, the students have the possibility to expand their knowledge in Bachelor and Master Theses, Advanced Design Projects and Advanced Research Projects.

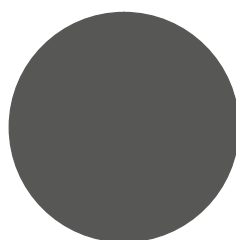
Vorlesungen

Lectures

	Titel Title	Inhalt Topics	Durchführung Held by
Vorlesungen Lectures	Technologie der Fertigungsverfahren	Einführung in die Fertigungstechnik, Grundlagen des Ur- und Umformens, Fertigungsbeispiele	Prof. P. Groche
	Technology of Manufacturing Processes	Introduction into Production Technology, Basics of Master Forming and Metal Forming, Examples from Production	Prof. P. Groche
	Umformtechnik I + II	Technische und wirtschaftliche Grundlagen, Metallkunde, Plastomechanik und Tribologie, Verfahren der Blech- und Massivumformung	Prof. P. Groche
	Forming Technologies I + II	Technical and Economical Basics, Metal Science, Plastomechanics and Tribology, Processes of Sheet and Bulk Metal Forming	Prof. P. Groche
	Maschinen der Umformtechnik I + II	Bauarten von Maschinen: Kenngrößen, Baugruppen, Steuerungen	Prof. P. Groche Prof. P. Groche
	Forming Machines I + II	Forming Machines: Parameters, Components, Controls	Prof. P. Groche
	Laser in der Fertigung	Grundlagen der Lasertechnik, Materialbearbeitung mit Laser, Rapid Prototyping	Prof. P. Groche
	Laser in Manufacturing	Basics of Laser Technology, Material Processing with Lasers, Rapid Prototyping	Prof. P. Groche
	SFB-Projektvorlesung	Interdisziplinäre Ringvorlesung zur Entstehung von integralen Blechbauteilen	Prof. P. Groche und Kollegen
	SFB-Project Lecture	Interdisciplinary Cycle of Lectures on the Development of Integral Sheet Metal Components	Prof. P. Groche and colleagues
Kolloquien Colloquia	Prozessketten in der Automobilindustrie I + II	Automobilindustrie und Nutzfahrzeuge, Pilot- und Vorserienfertigung, Produktionshochlauf und Markteinführung	Dr.-Ing. H. Steindorf, Daimler AG
	Process Chains in the Automotive Industry I + II	Automotive and Utility Vehicle Industry, Pilot Production and Market Introduction	Dr.-Ing. H. Steindorf, Daimler AG
	Fertigungsgerechte Maschinenkonstruktion I + II	Grundlagen der Konstruktionslehre und Prinzipien des fertigungsgerechten Gestaltens	Dr.-Ing. M. Scheitza
	Machine Design I + II	Fundamentals of Engineering Design and Principles of Production-Oriented Designing	Dr.-Ing. M. Scheitza
	Umformtechnische Kolloquien	Vorstellung von Bachelor- und Masterarbeiten	Prof. P. Groche und Mitarbeiter
	Forming Colloquia	Presentation of Bachelor- and Master Theses	Prof. P. Groche and staff
	Tutorium »Stahl fliegt«	Konstruktion und Fertigung eines flugfähigen Objekts aus Stahlwerkstoffen (Studierendenwettbewerb »Stahl fliegt«)	Prof. P. Groche und Mitarbeiter
	Tutorial "Airborne Steel"	Design and Construction of a Flying Object Only Made from Steel Products (Student Competition "Airborne Steel")	Prof. P. Groche and staff
	Tutorium Umformtechnik	Bearbeitung einer Aufgabenstellung aus der Ingenieurspraxis mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode	Prof. P. Groche und Mitarbeiter
	Tutorial Forming Technologies	Real-Life-Task from Practice: Application of the Finite Elements Analysis	Prof. P. Groche and staff
Sonstige Other	Tutorium Modellbildung	Erlernen von benutzerdefinierten Programmier- und Modellierungsstrategien mit verschiedenen Programmcodes	Prof. P. Groche und Mitarbeiter
	Tutorial Modelling	Learning Custom Programming and Modelling Strategies with Different Program Codes	Prof. P. Groche and staff
	Tutorium Steuerung und Regelung von Umformmaschinen	Erlernen von Prinzipien der Steuerung und Regelung von Umformmaschinen und Bearbeitung einer Aufgabenstellung der Ingenieurspraxis	Prof. P. Groche und Mitarbeiter
	Tutorial Control of Forming Machines	Learning Principles of Control Systems of Forming Machines and Real-Life-Task from Practice	Prof. P. Groche and staff
	Forschungsseminar	Erarbeitung wissenschaftlicher Erkenntnisse auf wechselnden Spezialgebieten der Umformtechnik	Prof. P. Groche und Mitarbeiter
	Research Project	Development of Scientific Insights into Various Fields of Forming Technology	Prof. P. Groche and staff
	Advanced Design Project und Advanced Research Project	Bearbeitung einer komplexen Aufgabenstellung aus der Ingenieurspraxis in Teamarbeit	Prof. P. Groche und Mitarbeiter
	Advanced Design Project and Advanced Research Project	Real-Life-Task from Practice: Complex Engineering Task in Team Work	Prof. P. Groche and staff
	Exkursionen	Besichtigungen und Führungen durch Betriebe im Bereich Umformtechnik	Prof. P. Groche, Prof. Dr.-Ing. M. Dostal
	Excursions	Field Trips and Guided Tours through Companies in the Field of Metal Forming	Prof. P. Groche, Prof. Dr.-Ing. M. Dostal

Studierendenzahlen Student Numbers

Maschinenbau gesamt
Mechanical Engineering in total



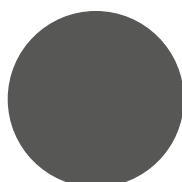
3.028

Diplom
Diploma



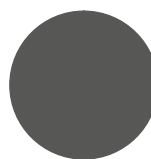
27

**Bachelor Mechanical und
Process Engineering**
Bachelor Mechanical and
Process Engineering



1.749

**Master Mechanical und
Process Engineering**
Master Mechanical and
Process Engineering



1.244

**Master Paper Science
und Technology**
Master Paper Science
and Technology

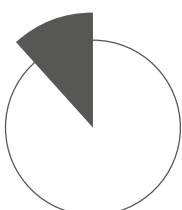


8

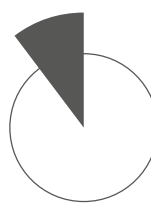
Davon weiblich
Female



1



203



125

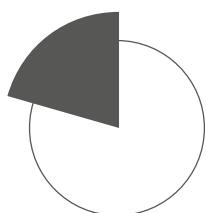


3

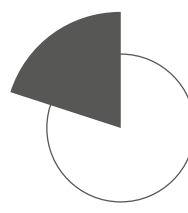
Im 1. Fachsemester (gesamt)
First Semester (in total)



0



359



247



2

Studienarbeiten

Study Theses

Daum, Martin; Betreuer: Dipl.-Ing. Dominik Huttel: *Experimenteller Vergleich unterschiedlicher Testmethoden zur Ermittlung von Verfahrensgrenzen*

von Woikowsky-Biedau, Philipp; Betreuer: M.Sc. Julian Sinz: *Erstellung und Anwendung eines Modularisierungsansatzes zur Überführung der 3D-Servo-Presse in die industrielle Praxis*

Lal, Muneet; Betreuer: M.Sc. Julian Sinz: *Untersuchung und Bewertung flexibler Pressensysteme in der Umformtechnik*

Bachelorarbeiten

Bachelor Theses

Memmesheimer, Jens; Betreuer: M.Sc. Manuel Steitz: *Entwicklung eines Hammersystems zur Bearbeitung komplexer Geometrielemente in Umformwerkzeugen*

Lu, Jing; Betreuer: M.Sc. Manuel Steitz: *Validierung physikalischer Ziehsicken in Simulation und Experiment für die Pressteilfertigung im Karosseriebau*

Biffar, Simon; Betreuer: M.Sc. Matthias Christiany: *Analyse und Vergleich von Verschleißmodellen unter Berücksichtigung des Streifenziehversuchs*

Acosta Falcón, Luis; Betreuer: M.Sc. Tilman Traub: *Einfluss des Biegeverfahrens Walzprofilieren auf die abgewinkelte Länge*

Rezanov, Vladimir; Betreuer: Dipl.-Ing. Philipp Kramer: *Untersuchung des Einflusses der Schmierstofftemperierung in der Kaltmassivumformung*

Lobers, Martin; Betreuer: M.Sc. Vincent Monnerjahn: *Prozessintegriertes Fügen von Funktionselementen beim Spaltprofilieren*

Knoll, Maximilian; Betreuer: Dipl.-Ing. Daniel Hesse / Dipl.-Ing. Stefan Calmano:

Konzeption einer neuen Werkzeuggeneration für flexible mehrstufige Prozesse am Beispiel der 3D-Servo-Presse

Steinberg, Noah; Betreuer: M.Sc. Christian Pabst: *Prozessfensterermittlung beim Fügen durch Hochgeschwindigkeitsaufprall*

Röth, Jens; Betreuer: M.Sc. Christian Pabst: *Untersuchung und Interpretation des emittierten Lichtspektrums beim stoffschlüssigen Fügen durch Hochgeschwindigkeitsaufprall*

Büdenbender, Christoph; Betreuer: M.Sc. Manuel Steitz: *Optimierung der numerischen Simulation des Mikrostrukturierungsprozesses von Tiefziehwerkzeugen*

Hölzinger, Jonas; Betreuer: M.Sc. Arne Mann: *Prozesskettenanalyse zur Herstellung von Sandwichstrukturen mittels Kragenverbindungen und Umsetzung der Fertigung eines flächigen Demonstrators*

Buchen, Florian; Betreuer: M.Sc. Arne Mann: *Auslegung eines Fügeprozesses und Konstruktion eines Werkzeuges zur Herstellung von Kragenverbindungen*

Rost, Jan; Betreuer: Dipl.-Ing. Stefan Calmano / M.Sc. Florian Hoppe: *Entwicklung eines Systems zur Positionsbestimmung und -regelung von Umformwerkzeugen beim Taumeln mit Hilfe einer 3D-Servo-Presse*

Gröger, Lauritz Yannick; Betreuer: M.Sc. Vincent Monnerjahn: *Fügen von Zahnstangenelementen beim Spaltprofilieren*

Kuhn, Thomas; Betreuer: M.Sc. Johannes Hohmann / M.Sc. Tilman Traub: *Gestaltung einer integrierten Prozessüberwachung beim Biegen*

Eitel, Florian; Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian Zang: *Untersuchung der Leistungsfähigkeit neuartiger Einsichschmierstoffe bei erhöhten Temperaturen in der Kaltmassivumformung*

Meissner, Felix; Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian Zang: *Inbetriebnahme einer In-line-Beschichtungseinheit für die Kaltmassivumformung*

Hieronymus, Aljoscha; Betreuer: M.Sc. Matthias Christiany: *Numerische Analyse der Beanspruchung im Ziehsickenversuch*

Östreicher, Sebastian Alwin; Betreuer: M.Sc. Philipp Stein: *Bewertung der Vibrometrie zur Detektion von Delamination in Sandwichblechen*

Seidler, Gero; Betreuer: M.Sc. Matthias Moneke / M.Sc. Tilman Traub: *Erstellung und Validierung einer numerischen Simulation eines Walzprofilierungsvorgangs*

Müftüoğlu, Atilla Franco Marcel; Betreuer: Dr.-Ing. Jörg Stahlmann / M.Sc. Johannes Hohmann: *Qualifizierung eines Schneidprozesses zur vorgelagerten Prozessdatenerhebung*

Wohlens, Roman; Betreuer: Dipl.-Ing. Lennart Wießner: *Konstruktion einer Vor-schubeinheit und eines Kühlsystems für ein auf einer Schnellläuferpresse implementiertes Werkzeugsystem*

Fertig, Alexander; Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian Zang: *Entwicklung einer Methodik zur Bestimmung der Werkstücktemperatur in der Kaltmassivumformung*

Dierbach, Florian; Betreuer: M.Sc. Christian Pabst: *Optimierung der Regelung und des Bewegungsablaufes an einem Versuchsstand zum Schweißen mit kinetischer Energie*

Baron, Alexander; Betreuer: M.Sc. Stefan Köhler: *Weiterentwicklung der Stegblechumformung mit starren Werkzeugen*

Hummel, Valentin; Betreuer: Dipl.-Ing. Daniel Hesse / M.Sc. Dominik Kraus: *Erweiterung eines Prüfstands zur Untersuchung kombinierter Lagerungen*

Sellner, Erik; Betreuer: Dipl.-Ing. Philipp Kramer: *Experimentelle Untersuchung der Reibwert- und Rauigkeitsentwicklung in Triebometer- und Fließpressversuchen*

Hegemann, Michael; Betreuer: M.Sc. Manuel Neuwirth: *Untersuchung und Qualifizierung des Umformprozesses flexibler Walzprofilieren zur Erzeugung der notwendigen Vorform für das flexible Spaltbiegen*

Voegelé, Jan Dieter; Betreuer: M.Sc. Philipp Stein / M.Sc. David Übelacker: *Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Verbundparameter auf das Scher- und Konterscherschneiden von Metall-Polymer-Verbünden*

Suckow, Timon; Betreuer: M.Sc. Tilman Traub: *Numerische Simulation des Biegens höherfester Stähle*

Schaede, Felix Julian; Betreuer: M.Sc. Viktor Recklin: *Numerische Simulation und Konstruktion eines Keilzugwerkzeuges*

Loos, Steven; Betreuer: Dipl.-Ing. Philipp Kramer: *Aufbau und parametrische Untersuchung einer Simulation des Profilwalzens*

Vogelgesang, Malte; Betreuer: M.Sc. Arne Mann: *Experimentelle Untersuchung des Laserlötens*

Camborda, Juan Carlos; Betreuer: M.Sc. Simon Wohletz: *Thermal induced modification of the bond characteristics of cold forged, pressure welded parts*

Hülsebrock, Moritz; Betreuer: Dipl.-Ing. Benjamin Heß: *Modellierung des dynamischen Verhaltens der Servopresse »synchronpress SWPT 2500« mit experimenteller Validierung*

Mendoza Borda, Juan Jacobo; Betreuer: M.Sc. Vinzent Monnerjahn: *Biegen hochverfestigter Flansche in Spaltprofilen mit einer zusätzlichen lokalen Wärmebehandlung*

Haefele, Tobias; Betreuer: M.Sc. Viktor Recklin: *Experimentelle Untersuchungen der Änderung von Materialeigenschaften infolge des Tiefziehvorgangs*

Diebel, Pierre Simon; Betreuer: M.Sc. Philipp Stein: *Bewertung der aktiven Thermographie zur Detektion von Delamination in Sandwichblechen*

Wesseler, Daniel; Betreuer: M.Sc. Martin Krech: *Experimentelle Untersuchungen zur Formgebung der Rohrrinnenkontur beim Fügen durch Rundkneten*

Gotta, Christian; Betreuer: M.Sc. Stefan Köhler: *Entwicklung einer Vorrichtung zur Nachbehandlung von Laserschweißnähten*

Diplomarbeiten

Diploma Theses

Bobat, Haaris; Betreuer: Dipl.-Ing. Alexander Duschka: *Numerische Vorhersage der Versagensmechanismen bei der Umformung von multifunktionalen Profilen durch Walzprofilieren*

Railsback, Charles; Betreuer: M. Sc. Johanna Schreiner / M.Sc. Johannes Hohmann: *Numerische Prozessauslegung blechumgeformter Bauteile mit Rückführung relevanter Prozessparameter*

Masterarbeiten

Master Theses

Kubens, Viktor; Betreuer: Dipl.-Ing. Lennart Wießner: *Konstruktion eines Rundknetwerkzeuges zur Texturierung von magnetischen Materialien*

Koch, Jens; Betreuer: Dipl.-Ing. Martin Storbeck: *Schließen von Profilen durch Schweißen*

Holke, Dirk; Betreuer: M.Sc. Philipp Stein, M.Sc. David Übelacker: *Optimierung des Schneidergebnisses von Metall-Polymer-Metall Verbünden*

Yuan, Tan; Betreuer: Dipl.-Ing. Martin Storbeck: *Innenhochdruck-Umformen von Profilen mit Sicken*

Breil, Matthias; Betreuer: Dipl.-Ing. Martin Storbeck: *Konstruktion und Inbetriebnahme von Werkzeugen zum Sicken von Blech*

Moneke, Matthias; Betreuer: Dipl.-Ing. Alexander Duschka: *Numerische Untersuchungen zur Rückfederung der Profilenden von walzprofilierten Bauteilen*

Köhler, Stefan; Betreuer: Dipl.-Ing. Frederic Bäcker: *Qualifizierung der Stegblechumformung für den industriellen Einsatz*

Dübbbers, Anna; Betreuer: M.Sc. Philipp Stein: *Einfluss der Prozess- und Materialparameter auf das Verformungsverhalten von ROHACELL® Hartschäumen im Thermo-Shaping Prozess*

Jesse, Tobias; Betreuer: M.Sc. Tilman Traub: *Gestaltung, Realisierung und Erprobung einer Messtechnik zur Erfassung der Schlupfbedingungen beim Walzprofilieren*

Husmann, Henning; Betreuer: M.Sc. Manuel Neuwirth: *Entwurf einer adaptiven Blechführung für das beidseitige flexible Spaltprofilieren*

Tao, Bo; Betreuer: M.Sc. Matthias Christiany / M.Sc. Manuel Steitz: *Analyse des Verschleißverhaltens tribologisch optimierter Werkzeugoberflächen*

Dick, Waldemar; Betreuer: M.Sc. Matthias Brenneis: *Untersuchung und gezielte Beeinflussung von dehnpfadabhängigen Effekten bei der Herstellung von sensorischen Tragstrukturen*

Stöckigt, Annemie; Betreuer: Dipl.-Ing. Alexander Duschka / Dipl.-Ing. Sebastian Zang: *Roll Forming of Electronics Printed on Sheet Metal*

Sticht, Peter; Betreuer: M.Sc. Manuel Steitz / Dipl.-Ing. Sebastian Zang: *Manipulation der Oberflächeneigenschaften von Umformwerkzeugen durch Einsatz des Maschinellen Oberflächenhämmerns*

Wu, Jiajun; Betreuer: M.Sc. Martin Krech: *FE-Analyse eines zweistufigen Rundknetprozesses zum Fügen und Vorspannen eines Piezostapelaktors*

Wang, Hung-Chen; Betreuer: M.Sc. Manuel Neuwirth: *Auslegung und Konstruktion von Gestell und Walzeinheit eines Reversiergerüsts zum flexiblen Spaltbiegen*

Karg, Melanie; Betreuer: M.Sc. David Übelacker: *Untersuchung zum Einfluss der Temperatur und der Werkzeugkinematik beim Scher- und Konterscherschneiden von Metall-Polymer-Metall Verbünden*

Koev, Stancho; Betreuer: M.Sc. Johannes Hohmann / M.Sc. Dominik Kraus: *Sensorintegration an einem industriellen Folgeverbundwerkzeug*

Kretz, Felix; Betreuer: Dipl.-Ing. Benjamin Heß: *Numerische Abbildung des oszillierenden Verzahnungsdrückens und Ermittlung der dafür notwendigen Reib- und Materialparameter*

Spring de Souza, Bernardo; Betreuer: M.Sc. Viktor Recklin: *Numerische und experimentelle Analyse von Reibwerten mittels Napfziehversuch*

Hammen, Florian; Betreuer: Dipl.-Ing. Philipp Kramer: *Auslegung und Konstruktion eines Versuchsstands zum Profilwalzen*

Stockert, Sven; Betreuer: M.Sc. Manuel Steitz: *Beeinflussung des Umformergebnisses durch Einsatz eines mikrostrukturierten Tiefziehwerkzeuges*

Born, Jakob; Betreuer: M.Sc. Manuel Steitz: *Entwicklung eines Hammersystems zur Bearbeitung komplexer Geometrieelemente in Umformwerkzeugen*

Traidl, Philipp Matthias; Betreuer: Dipl.-Ing. Daniel Hesse / Dipl.-Ing. Stefan Calmano: *Entwicklung eines flexiblen Prozesses zum Taumeln von Flanschelementen mit geregelter Materialfluss*

Schuch, Fabian; Betreuer: Dipl.-Ing. Benjamin Heß: *Konstruktion eines Folgeverbundwerkzeugs für den Einsatz auf der Servopresse »synchronpress SWPT 2500«*

Schell, Edgar; Betreuer: M.Sc. Simon Wohletz: *Auslegung von Werkzeugen für das stoffschlüssige Fügen durch Massivumformung*

Yun, Li; Betreuer: M.Sc. Johanna Schreiner, Johannes Hohmann: *Simulative Ermittlung optimaler Sensorpositionen und Auswahl geeigneter Sensorsysteme zur Prozessanalyse bei Stanzprozessen*

Velázquez, Sally; Betreuer: M.Sc. David Übelacker: *Numerische Untersuchungen zum Trockenscherschneiden von Verbundwerkstoffen*

Okucu, Mehmet Okan; Betreuer: M.Sc. Tilman Traub: *Analyse der Herstellung eines Profilbiegeteils auf Karosseriepressen*

Franke, Wilken; Betreuer: Dipl.-Ing. Dominik Huttel / Dipl.-Ing. Lennart Wießner: *Entwicklung eines Demonstratorbauteils für die wirkmedienbasierte Umformung von Faserwerkstoffen*

Wu, Shuqian; Betreuer: M.Sc. Johanna Schreiner, M.Sc. Johannes Hohmann: *Numerische Prozessauslegung massivumgeformter Wellen mit Rückführung relevanter Prozessparameter*

Hoppe, Florian; Betreuer: Dipl.-Ing. Stefan Calmano: *Entwicklung, Implementierung und Erprobung von Regelalgorithmen zur Kompensation der Rückfederung beim einachsigen Richten*

A Supplementary Course in Mechanical Engineering

Motivation

Students start their studies at a significantly varying educational level. This is due to, among other things, the choice of different priority subjects at school, the type of school as well as the individually fluctuating level of comprehension. Furthermore, numerous selection, mentoring and counseling meetings showed another educational deficit in engineering sciences so far: the application and linkage of mathematical and scientific methods and skills to technical issues.

Aim

The aim of the interdisciplinary pilot project is to offer pupils the opportunity to access the learning content independently. On the one hand, a more homogenous level of learning can be reached this way. On the other hand, a bridge from the acquired

school knowledge to the application of this knowledge in studies can be built. In addition, the discipline diversity in Mechanical Engineering at TU Darmstadt will be clarified.

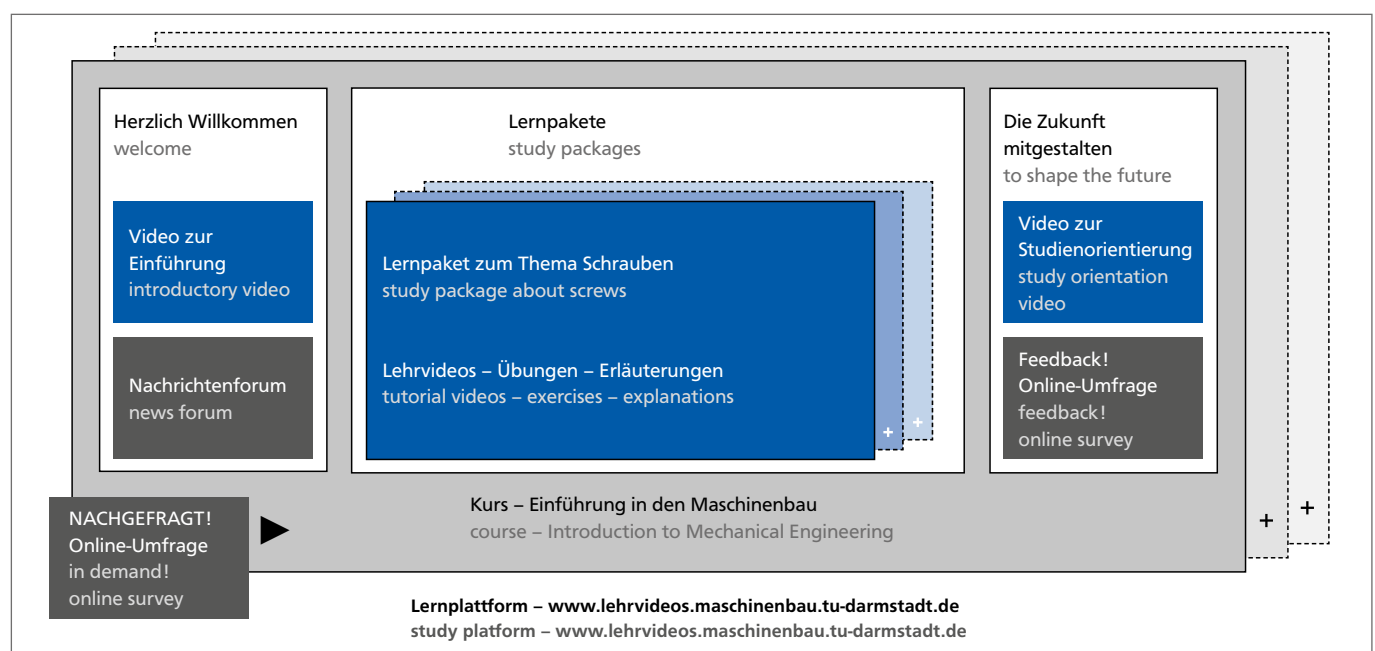
Approach

Application-oriented learning content in the form of tutorial videos and accompanying exercises are the basic building blocks of the supplementary course in Mechanical Engineering. They will be available online on the learning platform www.lehrvideos-maschinenbau.tu-darmstadt.de that was particularly configured for that purpose. The product “screw” that seems to be simple and ubiquitous at first sight was chosen to be the introduction topic in the studies of Mechanical Engineering. The evaluation of previous e-learning offers for students and first test tutorial videos have already shown si-

gnificantly positive assessments in terms of quality, value and consolidation. As part of a pupils’ day at PtU, this agreement was confirmed in a recent test implementation with around 30 pupils of two physics advanced courses of Goethe-Gymnasium Frankfurt.

Acknowledgement

The project management would like to thank the central QSL allocation of funds for the financial support by means of which the quality of study conditions and teaching can be improved, Professor Bruder from the Department of Mathematics and Professor Müller from the Department of Materials Science for the interdisciplinary collaboration, and the E-Learning Working Group of Technische Universität Darmstadt for the technical assistance.



[1] Strukturaufbau der Lernplattform des Maschinenbau-Brückenkurses

[1] Structure of the learning platform of the supplementary course in Mechanical Engineering

Maschinenbau-Brückenkurs

Motivation

Die Studierenden befinden sich in der Studieneingangsphase auf deutlich differierenden Lernniveaus. Dies begründet sich unter anderem durch die Wahl unterschiedlicher Schwerpunktfächer in der Schule, die spezielle Form der besuchten Schule sowie die individuell schwankende Auffassungsgabe. In zahlreichen Auswahl-, Mentoren- und Beratungsgesprächen zeigte sich darüber hinaus ein weiteres Defizit der bisherigen Ausbildung in Technikwissenschaften: die Verknüpfung und Anwendung mathematischer und naturwissenschaftlicher Methoden und Fertigkeiten mit technischen Sachverhalten.

Zielsetzung

Ziel des interdisziplinären Pilotprojektes ist es, Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit zu bieten, individuell auf Lerninhalte zurückzugreifen, sodass einerseits ein homogeneres Lernniveau erreicht und andererseits die Brücke vom erlernten Schulwissen bis hin zur Anwendung dieses Wissens im Studium geschlagen wird. Darüber hinaus wird die Disziplinvielfalt des Maschinenbaustudiums an der TU Darmstadt stärker verdeutlicht.

Lösungsweg

Anwendungsbezogene Lerninhalte in Form von Lehrvideos und darauf aufbauende Übungen bilden die wesentlichen Bausteine des entstandenen Maschinenbau-Brückenkurses und stehen zukünftig über die eigens konfigurierte Lernplattform unter www.lehrvideos-maschinenbau.tu-darmstadt.de online zur Verfügung. Das scheinbar einfache und allgegenwärtige Produkt »Schraube« wurde hierbei als Thema zur Einführung in den Maschinenbau gewählt. Die themenspezifischen Lerninhalte sind inhaltlich, technisch und grafisch, aufgrund der eigens am Institut produzierten Videos, erläuternden Grafiken und Animationen sowie Hilfestellungen und ergänzenden Informationen, aufeinander abgestimmt und hierdurch verständlich und ansprechend dargestellt. Die Evaluationen vorangegan-

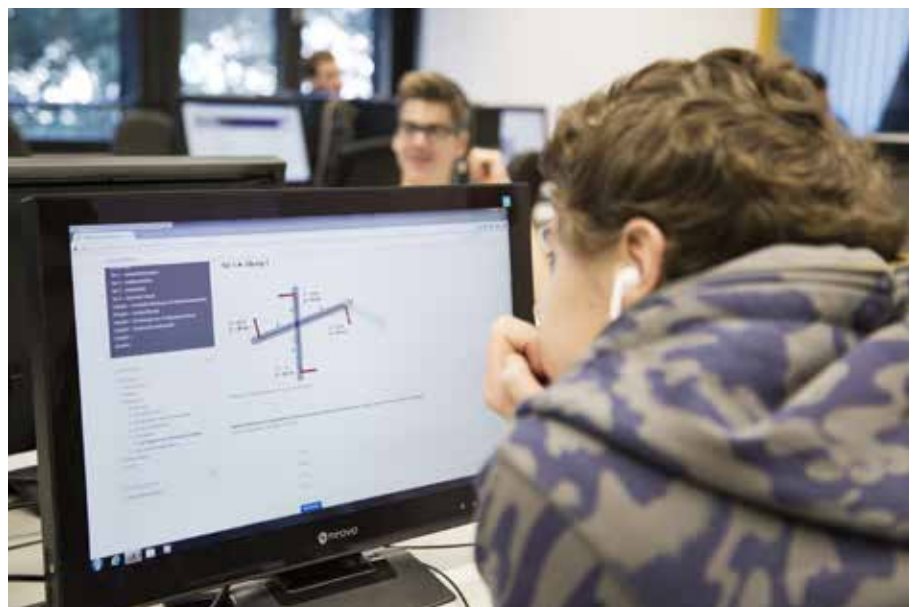
gener E-Learning-Angebote für Studierende und erster Testlehrvideos zeigten bereits signifikant positive Bewertungen hinsichtlich Qualität, Mehrwert und Verstärkungswunsch. Im Rahmen eines Schülertages am PtU konnte diese Zustimmung in einem letzten Testdurchlauf mit rund 30 Schülerinnen und Schülern zweier Physikleistungskurse des Goethe-Gymnasiums Frankfurt bestätigt werden.

Danksagung

Die Projektleitung bedankt sich für die finanzielle Förderung bei der zentralen QSL-Mittelvergabe zur Verbesserung der Qualität der Studienbedingungen und der Lehre, für die interdisziplinäre Zusammenarbeit bei Professorin Bruder im Fachbereich Mathematik und Professor Müller im Fachbereich Materialwissenschaften sowie für die technische Unterstützung bei der E-Learning-Arbeitsgruppe der Technischen Universität Darmstadt.



Dipl.-Des. Julia Voit
+49 6151-16-23350
voit@ptu.tu-darmstadt.de



[2] Durchführung des Maschinenbau-Brückenkurses während des Schülertages
[2] The supplementary course in Mechanical Engineering during the pupils' day

Live at the Institute



Institutsleben



WGP-Fußballturnier 2015 WGP Football Tournament 2015

Auch in diesem Jahr ist das PtU gemeinsam mit dem Partnerinstitut PTW beim WGP-Fußballturnier angetreten. Austragungsort war Dortmund, wo 14 Mitgliedsinstitute der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP) am 6. und 7. August den Titel ausgespielt haben. Nach einer souveränen Vorrunde als Gruppensieger und zwei Siegen im Viertel- und Halbfinale traf die Mannschaft im Finale auf den Titelverteidiger WZL aus Aachen. In einem packenden Finale konnten wir uns mit einem 2:0 den Turniersieg sichern.

Once again, this year the PtU participated in the WGP Football Tournament in collaboration with its partner institute PTW. From August 6 to 7, fourteen member institutions of the German Academic Society for

Production Engineering (WGP) competed for the cup in Dortmund, this year's venue. After convincingly finishing the preliminary round as group winner and after successes

in the quarter- and semi-finals, we met last year's winner WZL Aachen in the final. In an exciting match we won the tournament, achieving a 2:0 score.



Gruppenfoto WGP-Fußballturnier
Team Photo WGP Football Tournament

Sommerfest 2015 Summer Festival 2015

Jedes Jahr veranstaltet das PtU für Studierende und Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter als Dank für ein erfolgreiches Jahr ein Sommerfest. Bei ausreichend Grillgut und gekühlten Getränken folgten bei sommerlichem Wetter am 17. Juli 2015 140 Gäste der diesjährigen Einladung. Darunter befanden sich, wie im letzten Jahr, neben Studierenden, den Werkstattmitarbeiterinnen und -mitarbeitern, dem Sekretariat und den wissenschaftlichen Hilfskräften auch die Mitglieder des Instituts für Fertigungsforschung (IfF). Als Highlight wurde dieses Jahr ein Kickerturnier angeboten. In diesem lockeren Umfeld entwickelten sich viele interessante Gespräche auch abseits der üblichen Themen des Universitätslebens.

140 people followed the invitation to have a nice evening on 17th July 2015, with tasty food and cold drinks. The guests included students, workshop employees, student research assistants and members of IfF. As a

highlight, a table kicker tournament was offered this time. In this relaxed atmosphere, very interesting conversations were held, also about non-commission issues of the workaday life of university business.



Sommerfest 2015
Summer Festival 2015

Every year, PtU organizes a summer festival for students and employees to say »thank you« for a successful year. A total of

12. Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt (UKD) »Industrie 4.0 in der Umformtechnik« 12th Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt (UKD) "Industry 4.0 in forming technology"

Im Juni 2015 richtete das PtU das 12. Umformtechnische Kolloquium Darmstadt (UKD) mit dem Thema »Industrie 4.0 in der Umformtechnik« aus. Zehn Fachvorträge von Vertretern der Massiv- und Blechumformung sowie Halbzeug- und Maschinenherstellern präsentierten den 120 Teilnehmer/innen einen Überblick über die aktuelle Relevanz, Herausforderungen und Chancen von »Industrie 4.0« für Betriebe der Umformbranche. Eine Versuchsfeldbesichtigung am PtU bot im Anschluss die Möglichkeit, die Integration von Kommunikations- und Informationstechnologien in Produkte und Prozesse live zu erleben. In zwei Industriearbeitskreisen zum Thema Industrie 4.0 in der Blech- bzw. Massivumformung wurden zum einen Ansätze für effizientere und kundenorientiertere Prozessketten beleuchtet. Zum anderen identifizierten und diskutierten die Teilnehmer/innen Vorgehen zur »Veredelung« von Produkten.

In June 2015, PtU hosted the 12th Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt on "Industry 4.0 in forming technology". Ten expert presentations by representatives of the solid and sheet metal forming industry as well as machinery manufacturers and manufacturers of semi-finished products presented an overview of the current relevance, challenges and opportunities of "Industry 4.0" for metal forming companies to the 120 participants. A visit to the experimental field

of PtU, which included live presentations as well, offered the opportunity to explore the integration of information and communication technologies in products and processes. In two industrial working groups devoted to "Industry 4.0 in the sheet metal and bulk metal forming", concepts for more efficient and more customer-oriented process chains were examined. Furthermore, participants identified and discussed approaches for refining products.



Begrüßung zur Arbeitskreissitzung durch Prof. Groche
Welcome to the working group meeting by Prof. Groche

Ruhestand von Herrn Hillgärtner Retirement of Mr. Hillgärtner

Seit April 2015 ist Herr Hillgärtner in seinem wohlverdienten Ruhestand. Er begann am 1.12.1966 seine Lehre in der Werkstatt des Instituts für Werkzeugmaschinen, damals unter der Leitung von Professor Dr.-Ing. Carl Stromberger. Nach der Lehre wurde Karlheinz Hillgärtner als Facharbeiter übernommen und erledigte dabei bereits nach kurzer Zeit die Aufgaben eines Vorarbeiters. In seiner langjährigen Zugehörigkeit zur Werkstatt des PtU und PTW waren seine Einsatzgebiete vor allem die zerspanende Bearbeitung, die Verwaltung von Messmitteln sowie Arbeiten im Bereich des Pressenumbaus. Bei der mechanischen Bearbeitung zeichnete er sich durch sein besonders gutes Augenmaß und Geschick aus. Das PtU bedankt sich für die langjährige und vertrauensvolle Zusammenarbeit. Wir wünschen Karlheinz Hillgärtner alles Gute und viel Freude in seinem Ruhestand.

Mr. Hillgärtner has been in his well-deserved retirement since April 2015. He began his apprenticeship on 1st December 1966 in the workshop of the Institute of Machine Tools, headed by Professor Dr.-Ing. Carl Stromberger at that time. After his education, Karlheinz Hillgärtner was employed. In a little while, he took over the responsibilities of a lead worker. In his long-standing affiliation with the workshop of PtU and PTW, his work areas included grinding, administration of measuring equipment as well as tasks in the field of press remodeling, in particular. Hereby, he demonstrated a very good sense of proportion and skill in dealing with his tasks. PtU is grateful for the trustful long-time cooperation. We wish Karlheinz Hillgärtner all the best and a lot of joy in his retirement.



Ruhestandsfeier für Karlheinz Hillgärtner
Retirement celebration for Karlheinz Hillgärtner

Neue Mitarbeiter New Staff

Im Jahr 2015 können wir am Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen insgesamt zehn neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter begrüßen. Die Abteilung »Funktions- und Verbundbauweisen« erhält fortan Unterstützung durch M.Sc. Christiane Gerlitzky, M.Sc. Wilken Franke und M.Sc. Henning Husmann. In der Abteilung »Tribologie« wirken nun M.Sc. Peter Sticht, M.Sc. Wilhelm Schmidt und M.Sc. Felix Kretz an erfolgreichen Projekten mit. Die Abteilung »Walz- und Spaltprofilieren« erhält mit M.Sc. Annemie Stöckigt eine neue Mitarbeiterin. In der Abteilung »Prozessketten und Anlagen« begrüßen wir M.Sc. Florian Hoppe und M.Eng. Carolin Englert, die uns bei der Realisierung des Projekts »3D-Servo-Press« unterstützen werden. Unser Sekretariat erhält tatkräftige Unterstützung durch M.A. Anna Dimitrova, die unter anderem die Betreuung der Bibliothek übernimmt. Allen neuen Kolleginnen und Kollegen wünschen wir einen guten Start und viel Erfolg am PtU!

This year, ten new colleagues took up employment at the Institute for Production Engineering and Forming Machines. M.Sc. Christiane Gerlitzky, M.Sc. Wilken Franke and M.Sc. Henning Husmann support the department "Smart Structures". M.Sc. Peter Sticht, M.Sc. Wilhelm Schmidt und M.Sc. Felix Kretz work on successful projects in the department "Tribology". In addition, we welcome M.Sc. Annemie Stöckigt to the department "Roll Forming and Flow Splitting". M.Sc. Florian Hoppe and M.Eng. Carolin Englert will support us in the realization of the project "3D-servo-press" in the department "Process Chains and Forming Units". Last but not least, M.A. Anna Dimitrova joins our secretary team and organizes, among other things, our library. We wish all our new colleagues a good start and good luck at PtU!



M.Sc. Felix Kretz



M.Sc. Annemie Stöckigt



M.Sc. Henning Husmann



M.Sc. Florian Hoppe



M.Sc. Christiane Gerlitzky



M.Sc. Peter Sticht



M.Eng. Carolin Englert



M.Sc. Wilken Franke



M.Sc. Wilhelm Schmidt



M.A. Anna Dimitrova

Wettbewerb »Stahl fliegt 2015« Competition "Stahl fliegt 2015"

Am 16. und 17. Juni fand der studentische Wettbewerb »Stahl fliegt« in Düsseldorf statt. Dabei traten 60 Studierende in 15 Teams von sechs deutschen Universitäten an. Ziel war es, eine möglichst lange Flugzeit mit den ausschließlich aus Stahl bestehenden Flugmodellen zu erzielen. Am Vortag zu den Wettflügen stellten die Teams ihre Flieger und deren Fertigung an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) in Aachen vor. Eine Führung durch das Versuchsfeld des Instituts für Bildsame Formgebung (IBF) rundete den Tag ab, der mit einem gemütlichen Grillabend ausklang. Austragungsort für die Wettflüge am nächsten Tag war die Halle 6 der Messe Düsseldorf, in der die Flieger aus etwa neun Metern Höhe gestartet wurden. Die Flieger durften ein maximales Gewicht von 400 Gramm nicht überschreiten, mussten in einen Kubus von einem Meter Kantenlänge hineinpassen und eine Schraubenmutter als Nutzlast transportieren. Das maximale Budget für die Teams betrug jeweils 300,- €. Eine Neuerung des Regelwerks sah in diesem Jahr erstmals eine Kategorisierung der Flieger vor, wobei zwischen angetriebenen und nicht angetriebenen Flugmodellen unterschieden wurde. In der Kategorie der angetriebenen Flugmodelle konnte sich das Team Darmstadt 3 den ersten Platz sichern. Auch bei den nicht angetriebenen Fliegern mussten sich die andern beiden Teams aus Darmstadt nicht verstecken und belegten die Plätze vier und fünf. Den Sieg holte sich hier ein Team aus Dortmund mit einer Flugzeit von 17,2 Sekunden und einem Fliegergewicht von 82,5 Gramm. Der Wettbewerb wird vom IBF in Aachen organisiert und von der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (FOSTA) finanziell unterstützt.

The student competition »Stahl fliegt« took place on June 16th and 17th in Düsseldorf. 60 students in 15 teams from six German universities competed for the longest possible flight with an aircraft entirely made of steel. On the day before the competition, all teams presented their planes and their manufacturing processes at the RWTH Aachen University. After visiting the test field of the Institute of Metal Forming (IBF), the day ended with a barbecue together with all teams and the organizers. As a venue for the flights on the next day, the exhibition hall 6 in Düsseldorf was chosen. The planes were launched from a height of about 9 meters. Besides a maximum weight of 400 grams, the planes had to fit into a cu-

be with an edge length of one meter and had to carry a screw nut as payload. The maximum budget for each team was 300,- €. For the first time in the history of this competition, the planes started in two categories: driven and non-driven. In the category of driven aircrafts, team Darmstadt 3 won the competition. The teams Darmstadt 1 and Darmstadt 2 achieved the places four and five in the non-driven category. Winner of this category was a team from Dortmund with a flight time of 17.2 seconds, and a weight of the aircraft of 82.5 grams. The competition is organized by the IBF in Aachen and financially supported by the Research Association for Steel Application (FOSTA).



Darmstädter Teilnehmer des Wettbewerbs »Stahl fliegt 2015«
Participants of the competition "Stahl fliegt 2015" from Darmstadt

Betriebsausflug 2015 Staff Outing 2015

Am 20. August, bei kühlem und regnerischem Wetter, starteten die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des PtU mit dem Bus in Richtung Wetzlar. Ziel des diesjährigen Betriebsausflugs des PtU war die Buderus Edelstahl GmbH, wo die Produktion besichtigt wurde. Während der zweistündigen Führung durch das Werk erklärten fachkundige Werksangehörige die komplette Herstellungskette: Von der Stahlschmelze über die Schmiede und die Wärmebehandlung bis hin zur spanenden Endbearbeitung und dem Walzwerk. Nach einer kurzen Stärkung gegen Mittag folgte der zweite Höhepunkt des Ausfluges: Bei mittlerweile bestem Wetter und angenehmen Temperaturen stand eine Kanufahrt auf der nahegelegenen Lahn auf dem Programm. Nach fünf Schleusen und 15 Flusskilometern bildeten schließlich ein gemeinsames Grillen und geselliges Beisammensein den kulinarischen Abschluss des Tages im Biergarten.

The weather was chilly and rainy on August 20, when the PtU's staff members departed for Wetzlar by bus. The Buderus Edelstahl GmbH plant was the destination of this year's staff outing, where the production facilities were visited. During the two-hours tour behind the scenes, expert employees of Buderus explained the entire production chain: Starting from melting over forging and heat treatment to machining and

the rolling mill. This visit was to be followed by the second highlight of the trip: After a small snack around noon, the group headed for a canoe tour on the nearby river Lahn. Meanwhile, the weather had turned marvelous and the temperature was comfortable. Finally, five locks and 15 kilometers later, the outing ended with a barbecue and a cosy get-together.



Das PtU beim Ausklang des Betriebsausfluges
The PtU at the end of the staff outing

40-jähriges Dienstjubiläum 40 years of service

Wir sprechen Herrn Ingolf Kunz, stellvertretender Werkstattleiter des PtU und PTW, herzliche Glückwünsche zum 40-jährigen Dienstjubiläum aus.

Begonnen hat seine Laufbahn an der TU Darmstadt am 01.09.1974 als Lehrling unter dem damaligen Lehrstuhlinhaber Prof. Dr.-Ing. Theodor Stöferle. Aufgrund seiner guten Leistungen konnte Herr Kunz seine Lehrzeit um ein halbes Jahr verkürzen. Bei einem praktischen Leistungswettbewerb der Handwerksjugend 1977 ging er als 2. Kammer Sieger unter den Maschinenbauer-Handwerkern hervor.

Im Anschluss an seine Lehre wurde er als Facharbeiter am Institut übernommen. Nach seiner Meisterprüfung am 26.11.1982 wurde er mit dem Ausscheiden von K.-H. Wieland (1998) stellvertretender Werkstattleiter. Bis heute ist er unter anderem für die Ausbildung der Lehrlinge zuständig und arbeitet schwerpunktmäßig im Bereich der CNC-Dreherei.

Wir danken Herrn Kunz für seinen treuen Einsatz und wünschen ihm für seine Zukunft alles erdenklich Gute.



Übergabe der Jubiläumsurkunde an Herrn Kunz durch Prof. Groche
Handing over of the anniversary certificate to Mr. Kunz by Prof. Groche

We wish Ingolf Kunz all the best for his 40th anniversary of service. He is currently the deputy head of the mechanical workshop of PtU and PTW.

His career started under the former head of the institute Prof. Dr.-Ing. Theodor Stöferle on September 1st, 1974. Due to his good performance Mr. Kunz was able to shorten the period of his apprenticeship by half a year. In 1977 he achieved to be second-best in a practical youth craftsmen competition in the field of mechanical engineering.

Following his apprenticeship he was employed at the Institute as a skilled worker. After the retirement of Mr. K.-H. Wieland, Mr. Kunz became the deputy head of the mechanical workshop in May 1998. Until today he is, among other things, responsible for the training of apprentices and works primarily in the field of CNC turning.

We thank Mr. Kunz for his loyal commitment and wish him all the best for the future.

Ausblick: Forum »Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung«
Outlook: Forum "Tribological developments in sheet metal forming"

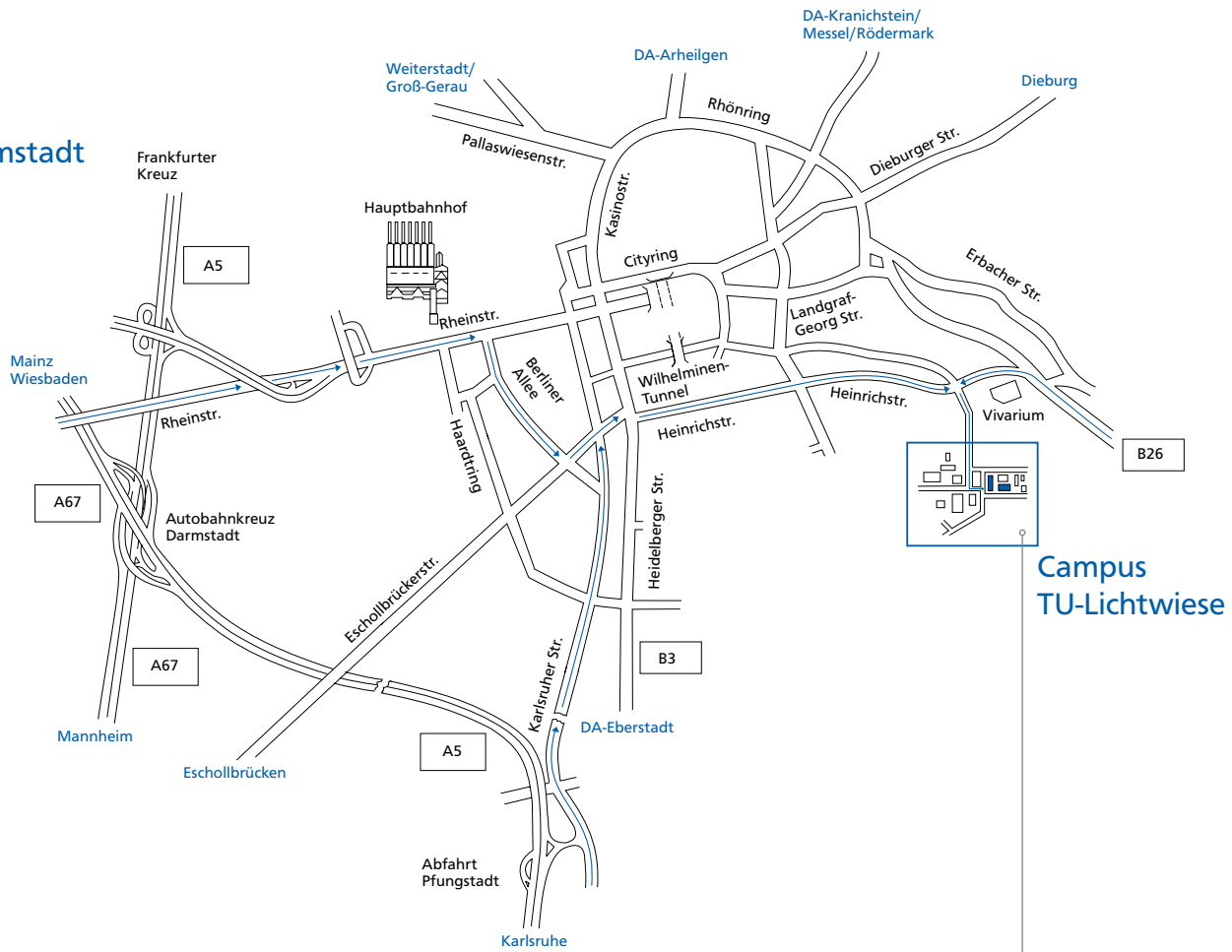
Am 24. und 25. Februar 2016 richtet das Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) der Technischen Universität Darmstadt zum neunten Mal das Forum »Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung« in Darmstadt aus. Mit Fachvorträgen ausgewählter Referenten aus den Gebieten der Schmierstofftechnik, des Werkzeugbaus und der numerischen Simulation verfolgt die Tagung das Ziel, den Dialog zwischen Produktentwicklern, Fertigungsfachleuten und Anwendern zu intensivieren und interessierten Gästen aus Verbänden, Industrie und Wissenschaft ein entsprechendes Forum zu bieten. Detaillierte Information finden Sie auf: www.triboforum.ptu-darmstadt.de.

On February 24th and 25th 2016, the Institute for Production Engineering and Forming Machines (PtU) will organize the 9th forum "Tribological developments in sheet metal forming" which will take place in Darmstadt. Selected lectures from the field of tribology, toolmaking and numerical simulation will be the basis for a vital discussion between the participants from all sectors of sheet metal forming. The aim of the one-day event is to strengthen the dialogue between product designers, manufacturing engineers and users and to offer interested guests from associations, industry and science an appropriate forum. Detailed information will be available on the following website: www.triboforum.ptu-darmstadt.de.



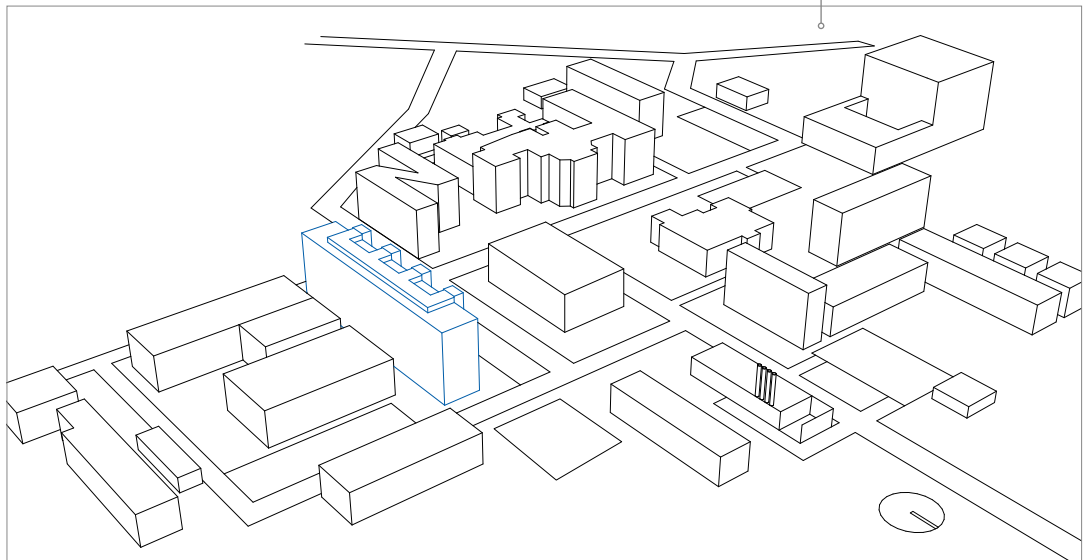


Darmstadt



Campus TU-Lichtwiese

PtU
Gebäude L1 | 01 Raum 148
Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt





Autobahn

Autobahn A5 (Frankfurt–Basel) oder Autobahn A67 (Köln–Mannheim), Abfahrt Darmstädter Kreuz, von dort Richtung Darmstadt Stadtmitte. Beschilderung »TU-Lichtwiese« folgen. Je nach Tageszeit dauert die Fahrt mit dem Auto durch die Innenstadt zwischen 15 und 20 Minuten.



Ab Flughafen Frankfurt Main

Von Terminal 1 ab Bussteig 14 sowie von Terminal 2 fährt der HEAG-Airliner alle 30–60 Minuten direkt nach Darmstadt (Fahrzeit ca. 30 Minuten). In Darmstadt an der dritten Haltestelle »Hauptbahnhof« aussteigen. Von dort Buslinie K oder KU bis zur Endstation TU-Lichtwiese fahren. Die Busse fahren im Takt von ca. 15 Minuten.



Ab Frankfurt Hauptbahnhof

Mit der Odenwaldbahn SE 65 Richtung Erbach (Odw.) der VIAS GmbH bis zur Haltestelle TU-Lichtwiese. Folgen Sie dem Fußweg entlang der Versuchshallen des Fachbereichs Maschinenbau, bis Sie rechter Hand das große rote Zahnrad sehen. Dieses steht unmittelbar vor dem Foyer des Maschinenbaugebäudes.



Ab Darmstadt Hauptbahnhof

Buslinie K oder KU bis zur Endstation TU-Lichtwiese. Die gesamte Fahrzeit beträgt etwa 30 Minuten, die Busse fahren im Takt von ca. 15 Minuten.

Gegenüber der Bushaltestelle befindet sich das neue »Hörsaal- und Medienzentrum Lichtwiese«. Das Gebäude auf der anderen Seite des Neubaus ist das Maschinenbaugebäude, gut zu erkennen am großen Zahnrad vor dem Gebäude: Otto-Berndt-Straße 2, Gebäude L1|01. Das PtU befindet sich dort im ersten Stock. Bitte melden Sie sich im Sekretariat (Zimmer 148) im ersten Stock an.



Autobahn

From Autobahn A5 (Frankfurt–Basel) or Autobahn A67 (Köln–Mannheim) take exit "Darmstadt" at Autobahn junction "Darmstädter-Kreuz" follow direction "Darmstadt Stadtmitte" (city centre) then follow the signs to "TU-Lichtwiese". Driving through the city takes about 15 to 20 minutes.



From Frankfurt International Airport

Go to bus platform 14 outside the baggage claim area of terminal 1 on the arrival level or to the bus stop at terminal 2 and take the bus "Airliner", which goes directly to Darmstadt (travel time about 30 minutes; leaving every 30–60 minutes). Change at the third stop in Darmstadt "Hauptbahnhof" (main station) to bus K or KU, exit at final destination "TU-Lichtwiese".



From Frankfurt Main Station

Take the "Odenwaldbahn SE 65" Direction: Erbach (Odw.) operated by VIAS GmbH to "TU-Lichtwiese". Follow the path along the laboratories until you reach the large red gearwheel on your right. Next to the gearwheel you find the building of mechanical engineering.



From Darmstadt Main Station

Take bus line K or KU to final destination "TU-Lichtwiese". The trip takes about 30 minutes, the busses leave every 15 minutes. Bus tickets are available either at the ticket machine or from the bus driver.

You will find the PtU at university campus "TU-Lichtwiese" in building number L1|01 (mechanical engineering). The building can be identified by the large gearwheel in front. Please register at the office in room 148 on the first floor.

Impressum

Imprint

Herausgeber

Publisher

Technische Universität Darmstadt
Institut für Produktionstechnik
und Umformmaschinen
Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt
Telefon +49 (6151) 16-23143
Telefax +49 (6151) 16-23142
info@ptu.tu-darmstadt.de
www.ptu.tu-darmstadt.de

Redaktion

Editor

M.Sc. Florian Dietrich, die Mitarbeiterinnen des
Sekretariats und alle weiteren wissenschaftlichen
MitarbeiterInnen des PtU
M.Sc. Florian Dietrich, the administrative team and
all other scientific assistants of the PtU

Gestaltung

Layout

Julian Steen

Druck

Print

typographics GmbH
Röntgenstraße 27a
64291 Darmstadt
www.27a.de

Auflage: 600
Corporate Design der Technische Universität Darmstadt
Schriften: Frontpage, Charter, Stafford
Farbe: 100c 60m

© PtU Darmstadt 2015 — Nachdruck, auch nur auszugsweise, nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des Instituts.

© PtU Darmstadt 2015 — Reproduction, even in extracts, only after written permission from the institute.

Institut für Produktionstechnik
und Umformmaschinen

Technische Universität Darmstadt
Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt

Telefon +49 (6151) 16-23143
Telefax +49 (6151) 16-23142
info@ptu.tu-darmstadt.de
www.ptu.tu-darmstadt.de