

# Jahresbericht 2019

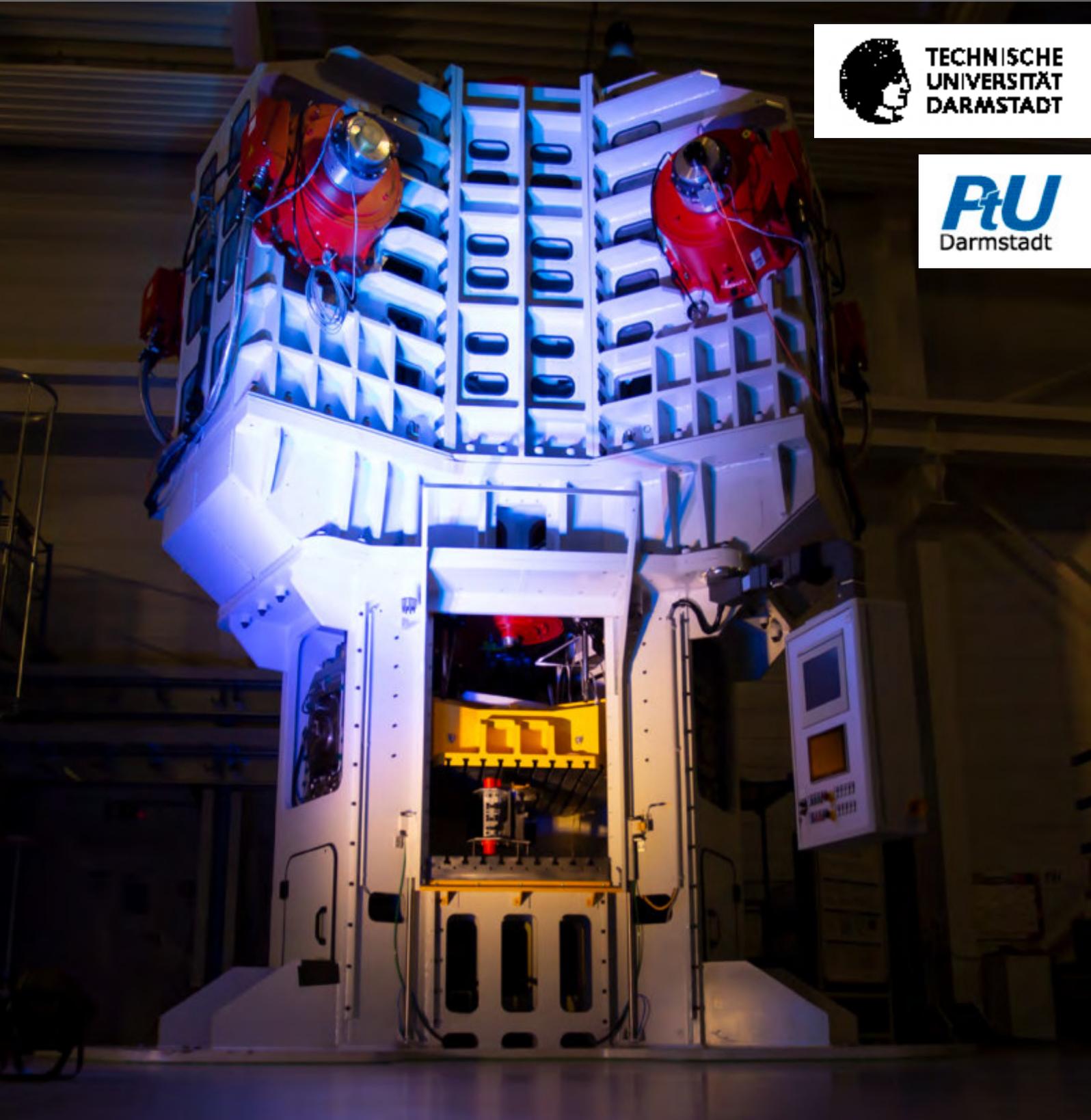
## Annual Report 2019

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



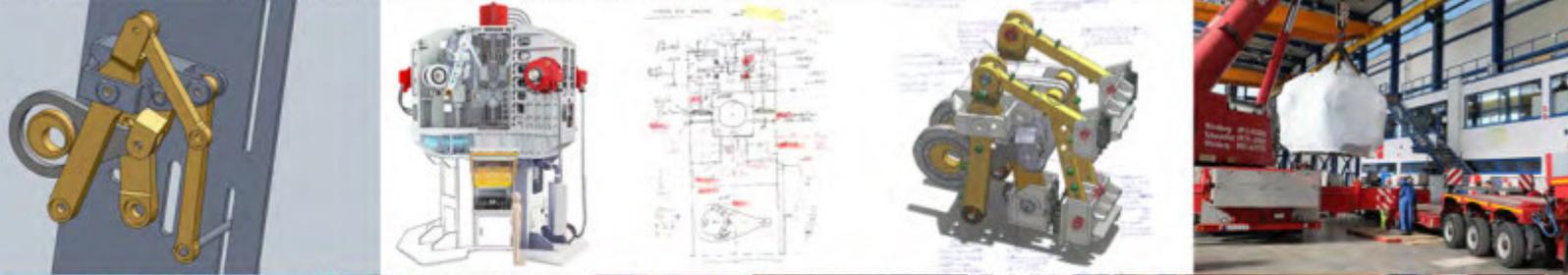
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

**PTU**  
Darmstadt



Umschlag und Innenseite:  
Mehrtechnologiemaschine  
3D Servo-Press

Cover and inside:  
Multi-technology machine  
3D servo press



---

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

6-15  
Institut  
Institute



16-79  
Forschung & Entwicklung  
Research & Development



84-99  
Studium & Lehre  
Study & Teaching



100-115  
Institutsleben  
Life at the Institute



4 Vorwort | Preface

**Institut | Institute**

8 Geschichte | History  
10 Institutsstruktur | Structure of the institute  
12 Finanzierung | Funding  
13 Institut für Fertigungsforschung e. V. | The Institute for Manufacturing Research e. V.  
14 Technische Ausstattung | Technical facilities

**Forschung & Entwicklung | Research & Development**

18 Forschungsaktivitäten mit anderen Instituten | Research activities with other institutes  
40 Abteilungen | Departments  
66 Abgeschlossene Dissertationen | Completed Dissertations  
76 Vorträge & Veröffentlichungen | Presentations & Publications

**Studium & Lehre | Study & Teaching**

86 Lehrveranstaltungen | Courses  
88 Kursbegleitende Fallstudien | Case studies  
95 Studierendenzahlen | Student numbers  
96 Abgeschlossene Arbeiten | Completed theses

**Institutsleben | Life at the Institute**

102 Neue Mitarbeiter | New staff  
103 Professor Groche feiert sein 20-jähriges Jubiläum am PtU | Professor Groche celebrates his 20-year anniversary at the PtU  
104 Mehrtechnologiemaschine 3D-Servo-Pressen | Multi-technology machine-3D servo press  
105 11. Fachtagung Walzprofilieren (WAPRO Tagung) | 11th Conference on Roll Forming  
106 Exkursionen im Rahmen der Vorlesungen Prozessketten in der Automobilindustrie I und II | Excursions within the scope of the lectures "Process Chains in Automotive Industry I and II"  
107 Stahl fliegt! 2019 | Steel flies! 2019  
108 Betriebsausflug | Staff excursion  
109 WGP-Fußballturnier | WGP football tournament  
110 Sommerfest | Summer festival  
111 Ultramarathon | Ultramarathon  
112 Ausblick: Forum „Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung“ | Outlook: Forum „Tribological developments in sheet metal forming“  
113 Ausblick: BMBF KMU Innovation IdentITI | Outlook: BMBF KMU Innovation IdentITI  
114 Ausblick: AiF-FOSTA Profilrichten durch partielles Auswalzen beim Walzprofilieren | Outlook: AiF-FOSTA Profile straightening by partial rolling in roll forming

116 Anfahrt | Directions

120 Impressum | Imprint

## Umformtechnik am PtU

### Forming technology at PtU



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

Liebe Leserinnen und Leser,

mit unserem Jahresbericht lassen wir das vergangene Jahr noch einmal Revue passieren.

2019 war ein ereignisreiches Jahr, auf welches wir am Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) mit Stolz zurück blicken können. Vor dem Hintergrund aktueller Trends und sich wandelnder Marktanforderungen beschäftigen wir uns in Forschung und Lehre mit zahlreichen spannenden Fragestellungen der modernen Umformtechnik. Inhaltlich umfassen sie vielfältige Themen – von fortschrittlichen Umformanlagen bis hin zu neuartigen Halbzeugen.

Beispielsweise fordert der Wunsch nach leistungsfähigeren Produkten durch die selektive Ausnutzung von Werkstoffeigenschaften zunehmend eine prozesssicher herzustellende Verbindung artunggleicher Werkstoffe. Neuartige Fügeverfahren durch plastische Deformation können diese Anforderung erfüllen, waren bisher jedoch hinsichtlich der Verfahrensgrenzen und wirkenden Bindemechanismen noch wenig durchdrungen. Im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1640 „Fügen durch plastische Deformation“ arbeiteten über drei Förderperioden hinweg Wissenschaftler aus verschiedensten Forschungsrichtungen zusammen daran, die neuartigen Verfahren zu untersuchen und weiter zu entwickeln. Den Abschluss bildete das Abschlusskolloquium, welches im Juni am PtU stattfand.

Ein besonderes Highlight in 2019 war außerdem die lang ersehnte Anlieferung der 3D-Servopresse. Diese basiert auf einem neuen Servopressenkonzept, welches eine dreidimensionale Bewegung des Stößels durch drei unabhängige Freiheitsgrade gewährleistet. Nach mehreren Jahren der Entwicklung und Fertigung konnten wir die 3D-Servopresse vor kurzem am PtU in Betrieb nehmen und beim ersten Pressenhub gespannt mitfiebern. Wir freuen uns, dass die Presse ab sofort kommenden Forschergenerationen für die Untersuchung vieler spannender Fragestellungen zur Verfügung stehen wird.

Neben aktueller Forschung ist ein weiterer Schwerpunkt am PtU die universitäre Lehre. Das oberste Ziel ist dabei, zukünftige Ingenieurinnen und Ingenieure auf kommende Herausforderungen vorzubereiten. In unserem umfangreichen Angebot von Lehrveranstaltungen kombinieren wir dazu gezielt die Vermittlung von Grundlagenwissen zu umformtechnischen Anlagen, Prozessen und Prozessketten in Vorlesungen mit der praktischen Anwendung der erworbenen Kenntnisse in Übungen, Fallstudien, Tutorien sowie Projekt- und Abschlussarbeiten. Neben der Qualifikation in der zielgerichteten Nutzung numerischer Berechnungsmethoden sowie der Auslegung von Steuerungs- und Regelungssystemen erfahren Studierende hier die Vielseitigkeit und die Faszination produktionstechnischer Aufgabenstellungen und erweitern ihre Problemlösungskompetenzen sowie wissenschaftliche Kreativität. Die hierbei bearbeiteten Fragestellungen sind aktuellen Forschungsprojekten entnommen und verlangen so einen Transfer des erarbeiteten Wissens in einen neuen Kontext.

Für die hervorragende Zusammenarbeit im vergangenen Jahr möchten wir uns an dieser Stelle herzlich bedanken. Ein großes Dankeschön gilt unseren Projektpartnern für die tatkräftige Unterstützung bei Forschungs- und Entwicklungsprojekten. Vielen Dank außerdem an unsere Partnerunternehmen für die Durchführung von Fallstudien und Exkursionen im Rahmen diverser Lehrveranstaltungen. Unser besonderer Dank gilt den Fördergesellschaften DFG, AiF, dem BMBF und BMWi sowie dem Land Hessen. Alle diese Projekte wären ohne ihre Unterstützung und die fruchtbare Kooperation nicht möglich.

Gerne stehen wir Ihnen auch in Zukunft als Ansprechpartner für Forschungskooperationen und Beratungsdienstleistungen zur Verfügung. Wir laden Sie herzlich ein, auf dem 11. Forum

„Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung“ Erfahrungen mit uns auszutauschen und dabei Grundlagen für neue, erfolgversprechende Kooperationen zu legen. Wir freuen uns auf viele spannende, gemeinsame Herausforderungen im nächsten Jahr!

Ihr Peter Groche

Dear Readers,

With our annual report we would like to reflect on the last year. 2019 was an eventful year that the Institute for Production Technology and Forming Machines (PtU) can look back on with pride. Our research and teaching work is focused on numerous exciting questions of modern forming technology in light of current trends and changing market requirements. These questions cover a wide range of topics - from advanced forming machines to innovative semi-finished products.

For instance, the desire for more efficient products through the selective exploitation of material properties increasingly demands a process-safe combination of dissimilar materials. Novel joining processes by plastic deformation can meet this requirement, but have so far been little understood in terms of process limits and effective bonding mechanisms. Within the scope of the Priority Programme 1640 "Joining by plastic deformation", scientists from various research fields worked together over three funding periods to investigate and improve these novel processes. This project was concluded by the final colloquium, which took place at the PtU in June.

Another notable highlight in 2019 was the long-awaited arrival of the 3D servo press. It is based on a new servo press concept which allows a three-dimensional movement of the slide thanks to three independent degrees of freedom. After several years of development and production, the assembly of the press at the PtU was recently com-

pleted and we witnessed the first press stroke with excitement. We are very pleased that the press is now available to future generations of researchers for the investigation of many exciting topics.

In addition to current research, another main focus at the PtU is university teaching. Our primary goal is to prepare prospective engineers for the challenges ahead. In our extensive range of courses, we specifically combine the transfer of basic knowledge about forming plants, processes and process chains in lectures with the practical application of the acquired knowledge in exercises, case studies, tutorials as well as project and final theses. In addition to the qualification in the targeted use of numerical calculation methods and the design of control systems, students experience the versatility and fascination of production engineering tasks and expand their problem-solving skills and scientific creativity. The tasks dealt with in these courses are taken from current research projects and thus require a transfer of the acquired knowledge into a new context.

We would like to take this opportunity to express our sincere thanks for the excellent cooperation over the past year. A big thank you is due to our project partners for their active support in research and development projects. Many thanks go to our partner companies for organizing case studies and excursions for various lectures. We owe special thanks to the funding agencies DFG, AiF, BMBF, BMWi and the State of Hesse. All these projects would not be possible without your support and the valuable cooperation.

We would be pleased to be your competent partner for consulting and research cooperations in the future. We cordially invite you to 11th forum "Tribological developments in sheet metal forming" to exchange experiences with us and lay the foundations for new, promising collaborations. We are looking forward to a new year with many exciting common challenges and opportunities.

Yours Peter Groche



Gruppenbild PtU-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter  
Group photo PtU staff

Von 1976 bis 2019 – eine lange Tradition der Umformtechnik an der Technischen Universität Darmstadt

From 1976 to 2019 – a long tradition of forming technology at Technische Universität Darmstadt



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 Facharbeiterinnen und Facharbeitern sowie 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 Beschäftigtenzahl stetig gestiegen. 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.

Aufgrund der stetig wachsenden Anzahl an wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern wurde 2014 eine Umstrukturierung der Abteilungen durchgeführt. Die Mitarbeiterinnen und 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.

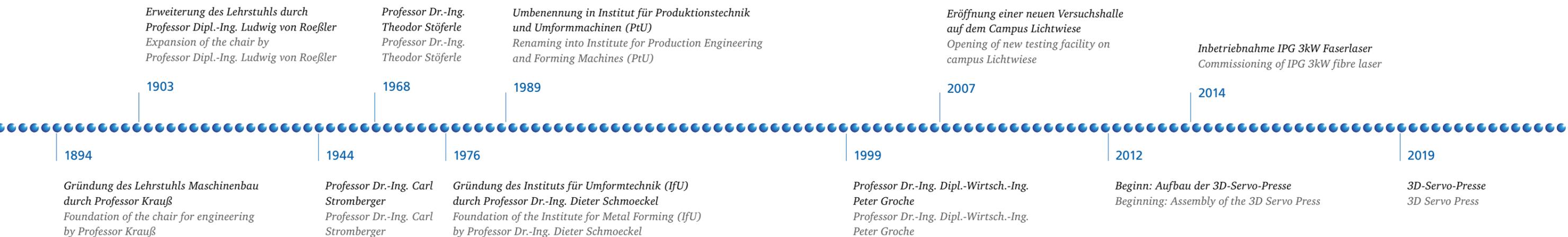
Technical research and teaching in Darmstadt has over 120 years of tradition. In 1976, metal forming was spun off from the Institute for Machine Tools. Prof. Dr.-Ing. Dieter Schmoeckel became head of the newly founded Institute for Metal Forming (IfU). Since 1989, the institute has been bearing its present 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 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. 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”.



*Institutsstruktur*  
*Structure of the institute*

<p>Institutsleitung   Director of the Institute</p> <hr/> <p>Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche</p>		<p>Lehrbeauftragte   Lecturers</p> <hr/> <p>Prof. Dr.-Ing. Matthias Scheitza Dr.-Ing. Holger Steindorf</p>	
<p>Oberingenieure   Chief Engineers</p> <hr/> <p>Dominic Griesel, M. Sc. Henning Husmann, M. Sc.</p>		<p>Sekretariat   Office</p> <hr/> <p>Isabella Dölfel Sabine Passet</p>	
<p>Abteilung Prozessketten und Anlagen Department of Process Chains and Forming Units</p> <hr/> <p>Leitung   Head of Department</p> <p>Christian Kubik, M. Sc. Florian Hoppe, M. Sc.</p> <p>MitarbeiterInnen   Staff</p> <p>Alexander Breunig, M. Sc. Fansun Chi, M. Sc. Janosch Günzel, M. Sc. Thomas Kessler, M. Sc. Lukas Kluy, M. Sc. Maximilian Knoll, M. Sc. Daniel Martin, M. Sc. Wiktorija Morkwitsch, Dipl.-Ing. Erik Sellner, M. Sc. Julian Sinz, M. Sc.</p>		<p>Abteilung Walz- und Spaltprofilieren Department of Roll Forming and Flow Splitting</p> <hr/> <p>Leitung   Head of Department</p> <p>Tianbo Wang, M. Sc.</p> <p>MitarbeiterInnen   Staff</p> <p>Timon Suckow, M. Sc. Marco Becker, M. Sc. Matthias Moneke, M. Sc.</p>	
<p>Technischer Support   Technical support</p> <hr/> <p>Leitung mechanische Werkstatt Head of Mechanical Facilities</p> <p>Mirko Feick</p> <p>Versuchsfeldtechniker   Testfield Engineers</p> <p>Paul Boger Edwin Kirchner</p>		<p>Buchhaltung &amp; Verwaltung Accountancy &amp; Administration</p> <hr/> <p>Dipl.-Inf.-Wirt. Heidrun Felger Stephanie Keller Dipl.-oec.-troph Annette Metz</p>	
		<p>Abteilung Tribologie Department of Tribology</p> <hr/> <p>Leitung   Head of Department</p> <p>Felix Flegler, M. Sc.</p> <p>MitarbeiterInnen   Staff</p> <p>Alessandro Franceschi, M. Sc. Lukas Schell, M. Sc. Peter Sticht, M. Sc. Patrick Volke, M. Sc. Yutian Wu, M. Sc.</p>	
		<p>Abteilung Funktions- und Verbundbauweise Department of Smart Structures</p> <hr/> <p>Leitung   Head of Department</p> <p>Wilhelm Schmidt, M. Sc. Stefan Köhler, M. Sc.</p> <p>MitarbeiterInnen   Staff</p> <p>Nassr Al-Baradoni, M. Sc. Simon Biffar, M. Sc. Wilken Franke, M. Sc. Christiane Gerlitzky, M. Sc. Thiemo Germann, M. Sc. Dominic Griesel, M. Sc. Henning Husmann, M. Sc. Martin Krech, M. Sc. Julian Mushövel, M. Sc. Benedikt Niessen, M. Sc.</p>	
		<p>IT Support   IT Support</p> <hr/> <p>IT-Systems Manager IT-systems manager</p> <p>Roman Haaf</p> <p>Auszubildende   Trainees</p> <p>Lion Hirschel Aaron Stier</p>	
		<p>Öffentlichkeitsarbeit   Public Relations</p> <hr/> <p>Design &amp; Layout &amp; Fotografie Design &amp; layout &amp; photography</p> <p>Angelika Philipp, Dipl.-Des. Erwin Henkes</p>	

## Finanzierung

### Funding

Die Finanzierung des Instituts für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) verteilt sich im Wesentlichen auf drei Säulen. Neben der öffentlichen Hand und Forschungsfördergesellschaften ist die enge Zusammenarbeit mit der Industrie eine weitere, 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 Energie (BMWi), die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), die Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung (EFB), die Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA), der Verband Deutscher Papierfabriken (VDP), der deutsche Schraubenverband (DSV), die Forschungsgesellschaft Stahlverformung (FSV), der Industrieverband Massivumformung (IMU), die European Cold Rolled Section Association (ECRA), die German Cold Forging Group (GCFG), die Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-Ökonomischer Exzellenz (LOEWE), die Hessen Agentur und die Europäische Union (EU). Die akquirierten Mittel aus Forschungsprojekten leisten einen wichtigen finanziellen Beitrag zur ständigen Modernisierung der Ausstattung für Forschung und Lehre.

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

The state Hesse, represented by 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 sources 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 German Federation of Industrial Research Associations (AiF), the European Research Association for Sheet Metal Working (EFB), the European Research Association for Steel Application (FOSTA), the German Pulp and Paper Association (VDP), the German Fasteners Association (DSV), the Research Association Steel Deformation (FSV), the Forging Association (IMU), the European Cold Rolled Section Association (ECRA), the German Cold Forging Group (GCFG), the State Offensive for Development of Scientific and Economic Excellence (LOEWE), the Hesse Agency and the European Union (EU). Thus, through every research project, the institute acquires means for a continuous and profound improvement of its research and teaching.

**DFG**  
Deutsche Forschungsgemeinschaft

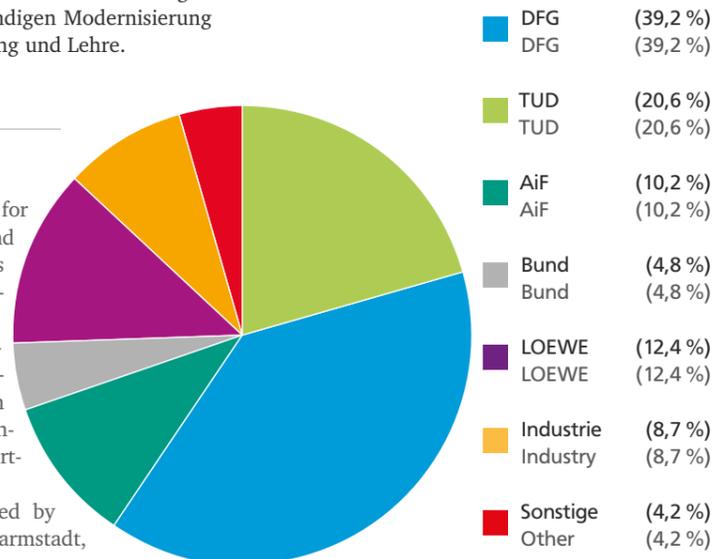
**TUD**  
Technische Universität Darmstadt

**AiF**  
Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V.

**Bund**  
Bundeshaushalt

**LOEWE**  
Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz

**Sonstige**  
Erasmus, Spenden, etc.



## Institut für Fertigungsforschung e. V.

### The Institute for Manufacturing Research e. V.

Das Institut für Fertigungsforschung e. V. (IfF) versteht sich als ein Forum, das die Aktualität von Forschung und Lehre am 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 Gelder, 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 die Veranstaltung von Tagungen und Seminaren eingesetzt. Unter diesem Motto bemüht sich das IfF, ehemalige Mitarbeiterinnen und 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 den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des PtU und in der Produktionstechnik tätigen Ingenieurinnen und Ingenieuren anzuregen und um bestehende Kontakte zu vertiefen. Zudem unterstützt das IfF vielfältige Maßnahmen, um Studierende auf die Aufgaben in der Berufspraxis vorzubereiten und die Qualifikation der Absolventinnen und Absolventen zu erhöhen.

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

The Institute for Manufacturing Research e. V. (IfF) is a forum that promotes the timeliness of teaching and research at 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



Gruppenfoto IfF-Mitglieder  
Group photo IfF members

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. Its 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 convey production engineering knowledge by organizing conferences and workshops. Using this motto, the efforts of IfF lie within gaining former employees, private individuals and companies for its goals. PtU needs a large and dedicated circle of friends to make the alignment of research appealing in the future, encourage the communication between PtU employees and production engineers and 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 as well as your enterprise to become a member of the Institute for Manufacturing Research!



Institut für  
Fertigungsforschung e. V.

## Technische Ausstattung

### Technical equipment



#### Anlagen

- 12-gerüstige Walzprofilieranlage – VoestAlpine  
- Flexibles Profiliergerüst
- 3-fach wirkende hydraulische Versuchspress (500 kN)
- 3D-Servo-Press – im Aufbau (3 DOF, 1.600 kN)
- Drück- und Drückwalzanlage
- Flexible Fertigungsanlage zur Herstellung verzweigter Mehrkammerprofile  
- Spaltprofiliermodul  
- Walzprofiliermodul
- Flexibles Spaltprofiliergerüst
- Gleitstauchanlage  
(Kalt- und Warmmassivumformung)
- Hotmelt Walzenauftragsmaschine für Schmelzkleber TH 300-V37,5
- Hydraulische Universalpresse mit IHU-Einheit (30.000 kN)  
- Berstprüfstand für Rohre und Profile
- Hydraulischer Tiefungsversuchsprüfstand (HTV)
- Induktionsanlage TruHeat 5040 MF
- Intermittierender Dauerstreifenziehprüfstand
- Kombinierte Streifenziehanlage
- Laserbearbeitungszentrum mit kombinierter Schneid-/Schweißoptik
- Wälz-Gleitlager Prüfstand
- Linearmotorpresse Typ Limo20
- Linearmotorpresse Typ Limo40
- Modellversuchsstand zum Kollisionsschweißen
- Pneumatische Presse zur konventionellen und wirkmedienbasierten Umformung
- Pneumatischer Tiefungsversuch (PTV)
- Präzisionssiebdruckhalbautomat PAB 45 für Flach- und Runddruck
- Prototyp der 3D-Servo-Press (3 DOF, 10 kN)
- Reibversuchsanlage nach VDA-Standard

- Reibversuchsanlage für Faserwerkstoffe und Kunststoffe
- Rundknetanlage UR 8-4-DD-50LH-CNC
- SCARA Bestückungssystem
- Schnellläuferpresse – BRUDERER Stanzautomat BSTA 810-145
- Servomotorpresse (Synchropress SWP 2500, 2.500 kN)
- Systeme zur maschinellen Oberflächenbehandlung – Maschinelles Oberflächenhämmern und Festwalzen
- Wärmebehandlungsöfen N 41/H
- Zug-Druckprüfmaschine – Zwick Roell 100

#### Messtechnik

- Gepulster Beleuchtungslaser CAVILUX SMART
- GOM Aramis – Optische 3D Bewegungs- und Verformungsmessung
- GOM Atos III – Industrieller 3D Scanner
- GOM Pontos – 3D-Online-Photogrammetrie
- Härteprüfer DuraScan 20 – Struers
- Hochgeschwindigkeit-Bildverstärkerkamera PCO hsfc pro
- Konfokales Weisslichtmikroskop  $\mu$ Surf® (stationär und mobil)
- Metallographie
- Öl-Schichtdickenmessgerät – LUBRImini
- Profilmessgerät Byte-wise Profile360
- Rasterelektronenmikroskop – Jeol JSM 6610LV
- Thermografie-Kamera – FLIR S65
- Umfangreiche Messtechnik zur Prozessintegration und online Aufnahme von Prozessparametern und Zuständen
- Ultraschallprüfgerät – Krautkramer USD 15SX
- Ultraschall-„MiniScanner“ Amsterdam Technology
- Waveline T8000 Taktiles Rauigkeitsmessgerät im Tastschrittverfahren – Hommel

#### Facilities

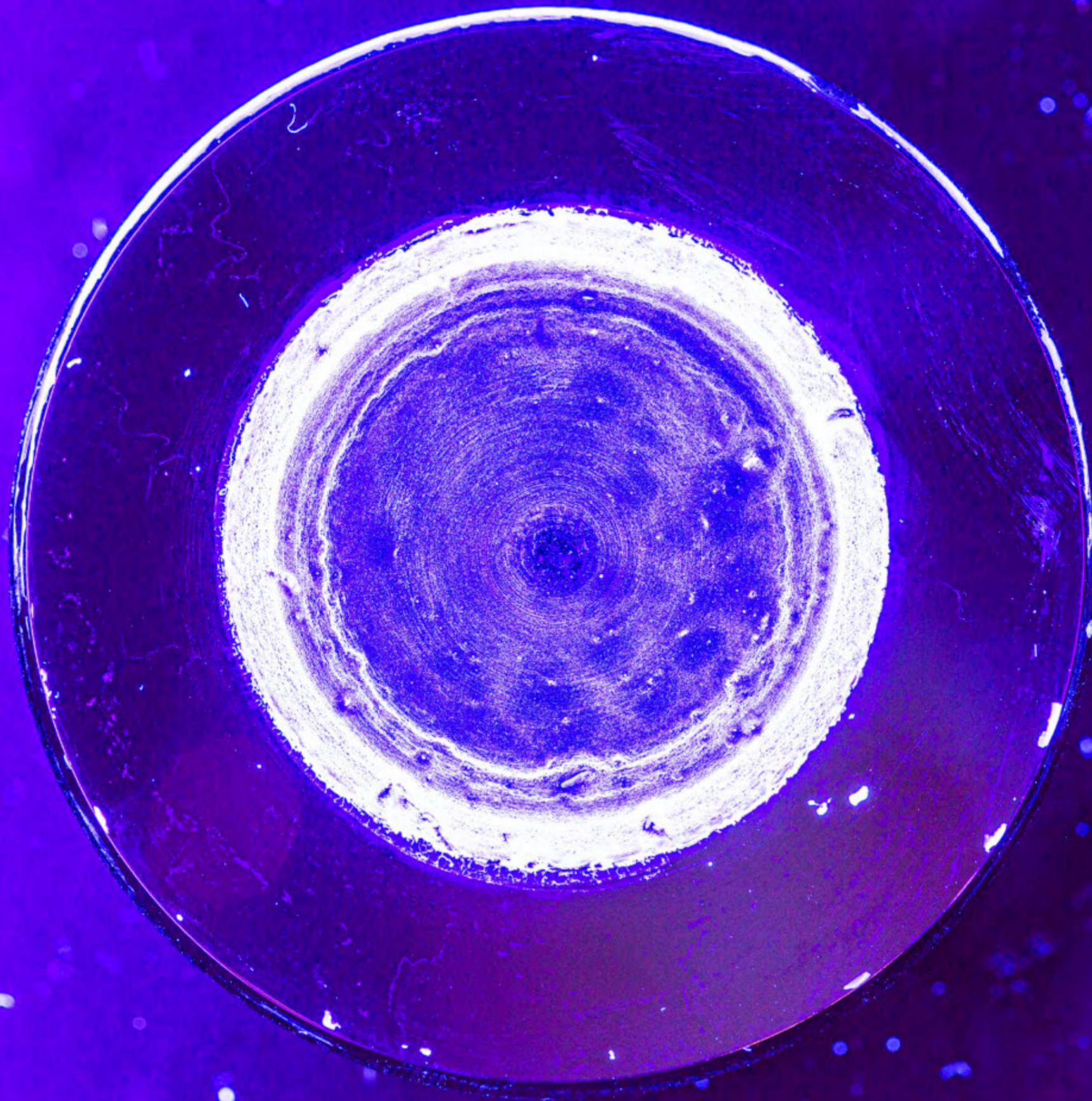
- Roll Forming Line (12 stands)  
- Stand for the Flexible Roll Forming
- Triple Acting Hydraulic Press (500 kN)
- 3D Servo Press – Under Construction (3 DOF, 1.600 kN)
- Spinning and Flow Forming Machine
- Flexible Production Plant for Branched Multiple Chamber Profiles  
- Linear Flow Splitting Module  
- Roll Forming Module
- Stand for the Flexible Flow Splitting
- Sliding Compression Test Stand (Cold and Hot Bulk Metal Forming)
- Hotmelt Coating Machine TH 300-V37,5
- Hydraulic Universal Press with High Pressure Unit (30.000 kN)  
- Burst Testing of Tubes and Profiles
- Hydraulic Bulge Test Bench (HBT)
- Induction Generator TruHeat 5040 MF
- Intermitting Strip Drawing Test Rig
- Combined Strip Drawing Facility
- Laser Welding and Cutting System
- Test Rig for Combined Roller and Plain Bearings
- Linear Motor Driven Press Version Limo20
- Linear Motor Driven Press Version Limo40
- Model Test Rig for Collision Welding
- Pneumatic press for conventional and fluid-based forming
- Pneumatic bulge test (pbt)
- Semi-automatic Precision Screen Printing Machine PAB 45 for Flat and Round Printing
- Prototype of the 3D Servo Press (3 DOF, 10 kN)
- Strip Drawing Test Rig According to VDA Standard
- Strip drawing test rig for fibrous materials and plastics

- Rotary Swaging Machine UR 8-4-DD-50LH-CNC
- SCARA Placement System
- High Performance Stamping Press – BRUDERER BSTA 810-145
- Servo Motor Press (Synchropress SWP 2500, 2.500 kN)
- Systems for Mechanical Surface Treatment – Machine Hammer Peening and Deep Rolling
- Heat Treatment Furnace N 41/H
- Combined Tensile Compression Test Machine

#### Measuring

- Pulsed Diode Laser Light Source CAVILUX SMART
- GOM Aramis – Optical 3D Deformation and Motion Measurement
- GOM Atos III – Industrial 3D Scanning Technology
- GOM Pontos – 3D-Online-Photogrammetry
- Hardness Tester DuraScan 20 – Struers
- High-speed Image Intensifier Camera hsfc pro
- Confocal Microscope  $\mu$ Surf® (Stationary and Mobile)
- Metallography Laboratory
- Oil Thickness Measuring Device – LUBRImini
- Profile Measuring System Byte-wise Profile360
- Scanning Electron Micrograph JEOL JSM6610LV
- Thermography Camera – FLIR S65
- Broad Measurement Equipment for Process Integration and Identification of Process Parameters and States
- Ultrasonic Test Instrument – Krautkramer USD 15SX
- Ultraschall-„MiniScanner“ Amsterdam Technology
- Hommel Waveline T8000 Roughness Measuring Station

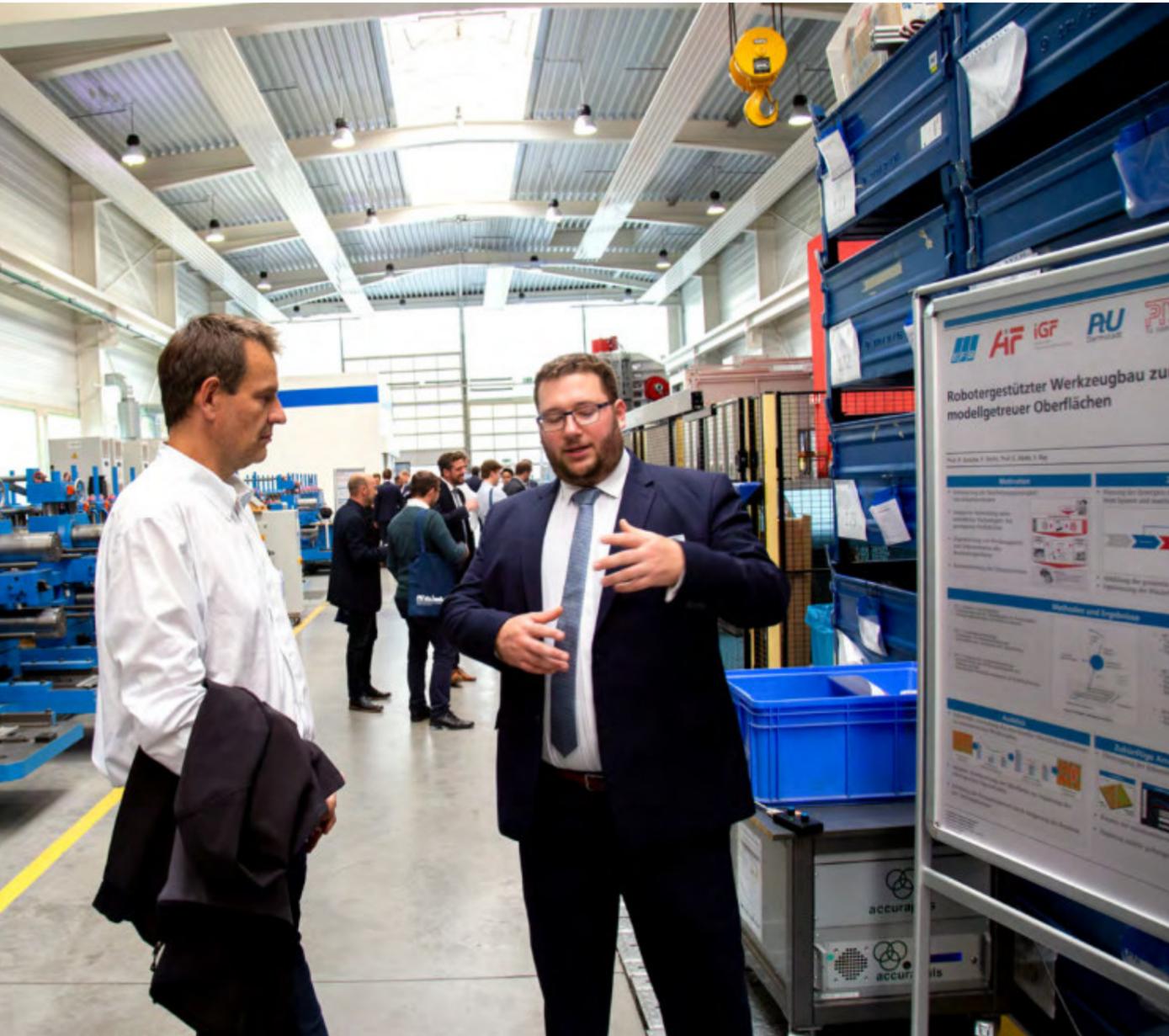
*Forschung & Entwicklung  
Research & Development*



*Foto: Schichtdickenbestimmung von Schmierstoffen  
mittels UV Indikatoren  
Photo: Determination of coating thickness of lubricants  
by means of UV indicators*

## Forschungsaktivitäten mit anderen Instituten

### Research activities with other institutes



Versuchsfeldbegehung am PtU  
Test Field Inspection at the PtU

- 20 LOEWE-Schwerpunktprogramm BAMP! (Bauen mit Papier)  
LOEWE-focus programme BAMP! (Building with paper)
  
- 22 SFB 805: Beherrschung von Unsicherheit in lasttragenden Systemen des Maschinenbaus  
CRC 805: Control of uncertainty in load-carrying structures in mechanical engineering
  
- 24 LOEWE-Schwerpunktprogramm – ALLEGRO (Hochleistungskomponenten aus Aluminiumlegierungen durch ressourcen-optimierte Prozesstechnologien)  
LOEWE-focus programme – ALLEGRO (High-performance components made of aluminium alloys through resource-optimized process technologies)
  
- 26 WarmAp (Warmumformen von Aluminiumblechen für Hochleistungskomponenten zukünftiger Mobilitätskonzepte)  
WarmAp (Hot Forming of Aluminium Sheets for high-performance Components of future Mobility Concepts)
  
- 28 Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum Darmstadt  
SMEs 4.0 – Darmstadt Competence Centre
  
- 30 Schwerpunktprogramm 1676 Trockenumformung von Aluminiumlegierungen  
Priority Programme 1676 Dry forming of aluminum alloys
  
- 32 Schwerpunktprogramm 2013 Gezielte Einstellung von Eigenspannungen während der Kaltmassivumformung  
Priority Programme 2013 Targeted use of forming induced residual stresses in metal components
  
- 34 Schwerpunktprogramm 1640 Fügen durch plastische Deformation  
Priority Programme 1640 Joining by plastic deformation
  
- 36 Nächste Generation von Tiefziehprozessen durch Nutzung smarter Beobachter, geschlossener Regelkreise und einer 3D-Servo-Pressen  
Next Generation Deep Drawing Using Smart Observers, Closed-Loop Control, and 3D Servo Press
  
- 38 International Cold Forging Group (ICFG) –Benchmark Test der Subgroup Lubrication  
International Cold Forging Group (ICFG) –Benchmark Test of the Subgroup Lubrication

## LOEWE\*-Schwerpunktprogramm BAMP! (Bauen mit Papier)

### LOEWE\*-focus programme BAMP! (Building with paper)



Die öffentliche Forderung nach einem verantwortungsvollen und nachhaltigen Ressourceneinsatz führte in den letzten Jahren zu einem Forschungsschwerpunkt in den Bereichen Werkstoff- und Strukturleichtbau. Der Werkstoff Papier bietet dabei als nachwachsender Rohstoff eine umweltfreundliche Alternative zu den etablierten, erdölbasierten Lösungen, wie glasfaserverstärkten Kunststoffen und Schichtverbunden mit Polymerkern.

Im Rahmen des LOEWE-Schwerpunktprogramms „Bauen mit Papier (BAMP!)“ soll Papier für den Einsatz in Baustrukturen qualifiziert und weiterentwickelt werden. Zum Erreichen dieser Ziele haben sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der TU Darmstadt, der Hochschule Darmstadt und der Technischen Hochschule Mittelhessen zu einem weltweit einzigartigen Konsortium im Bereich der Papierforschung zusammengeschlossen (Bild 1). Neben Papieringenieurinnen und Papieringenieuren sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Bereichen Maschinenbau, Chemie, Bauingenieurwesen und Architektur an dem Vorhaben beteiligt. Innerhalb des Konsortiums kommt dem PtU die Aufgabe zu, etablierte Umformverfahren an den Werkstoff Papier und die Dimensionen und Anforderungen im Baugewerbe anzupassen. Hierzu wird unter anderem die Übertragbarkeit des aus der Metallumformung bekannten inkrementellen Umformens untersucht. Das Verfahren kann zur Herstellung von Strukturen mit geometrischen Freiformflächen genutzt werden. Aus vorherigen Untersuchungen ist bekannt, dass durch eine Drucküberlagerung während des Umformprozesses die Formgebungsgrenzen von Papier deutlich erweitert werden können. Der Ansatz der reversiblen Drucküberlagerung wurde in einem entwickelten Werkzeug integriert.

Während der vierjährigen Projektlaufzeit (Beginn: 01.01.2017) werden regelmäßige, öffentliche Kolloquien durchgeführt, die dazu dienen, die erreichten Fortschritte einem breiten Fachpublikum aus der Industrie zu präsentieren und mit anderen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus den verschiedenen Fachdisziplinen zu diskutieren. Am 7. November 2019 fand erstmalig die BAMP!-Konferenz in Darmstadt statt. Im Zuge der eintägigen Tagung im Georg Christoph Lichtenberg Haus wurden sowohl ausgewählte Pro-

jektfortschritte präsentiert, als auch Vorträge von Vertretern aus der Industrie gehalten. Highlight der Veranstaltung war die Vorführung und anschließenden Belastungsprüfung der im Rahmen einer Summer School entwickelten Demonstrator-Häuser.

Weiterführende Informationen erhalten Sie unter: <https://www.tu-darmstadt.de/bauenmitpapier>

Over the last years the public demand for a responsible and sustainable use of resources has led to a research focus in the fields of material and structural lightweight design. As a renewable raw material, paper offers an environmentally friendly alternative to established, crude-oil-based solutions such as glass-fibre reinforced plastics and sandwich structures with polymer cores.

Within the LOEWE-focus programme “Building with Paper (BAMP!)” funded by the Hessian government, paper is being qualified and further developed to fit the requirements in building structures. To achieve these goals, scientists of TU Darmstadt, University of Applied Science - Darmstadt and Technische Hochschule Mittelhessen joined their forces and formed a unique consortium in the field of paper science (figure 1). In addition to paper engineers, scientists of the Departments of Mechanical Engineering, Chemistry, Civil Engineering and Architecture contribute to the project. Within the project, the PtU focuses on the adaptation of established forming processes to the material paperboard and to the dimensions and requirements of the construction industry. Among other things, the transferability of incremental forming known from metal forming to paper forming is investigated. The process can be used to produce structures with geometric free-form surfaces. It is known from previous studies that the forming limits of paper can be significantly extended by superimposing a counter pressure during the forming process. The approach of reversible counter pressure superposi-

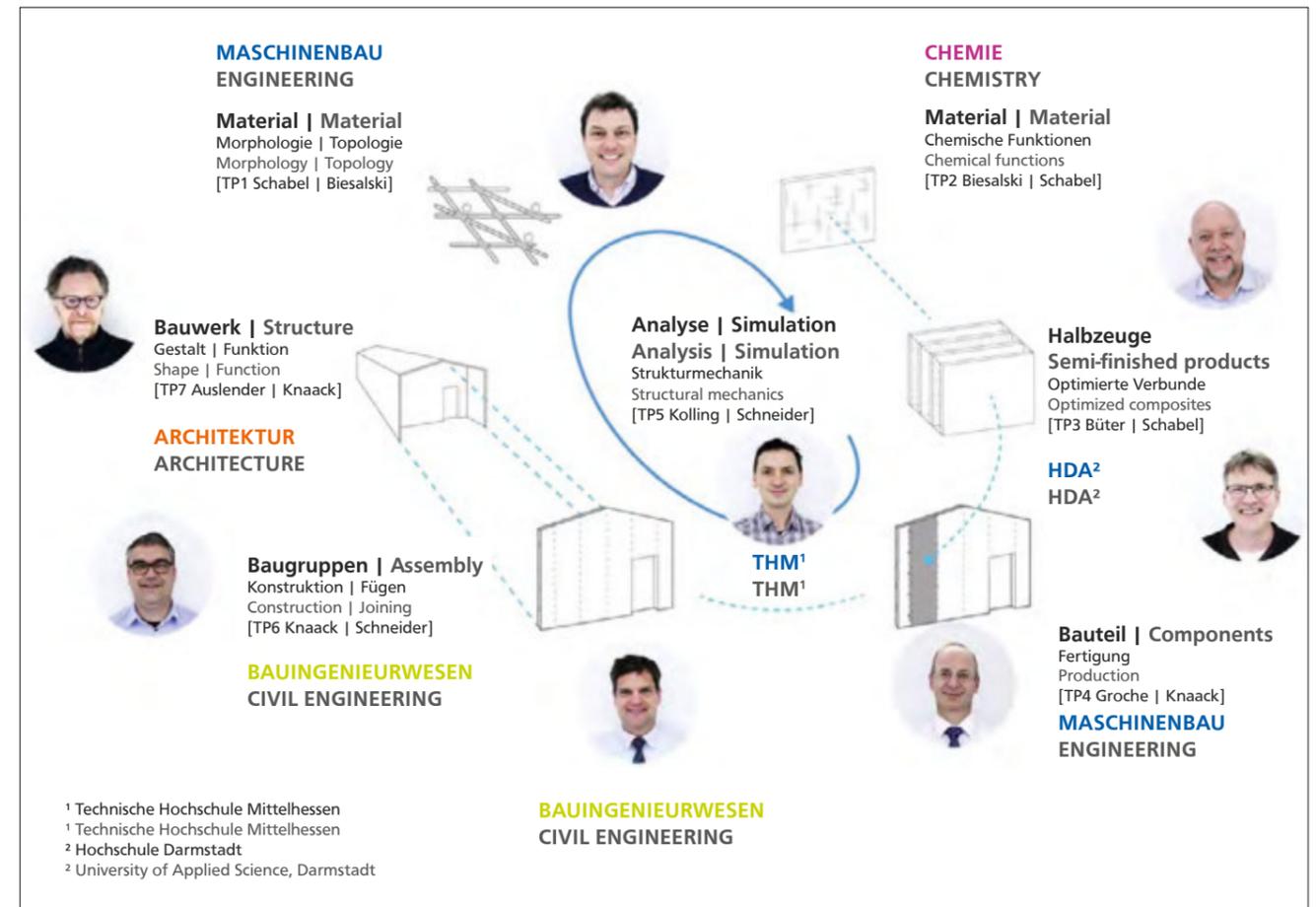


Abbildung: Konsortium im Rahmen des LOEWE-Schwerpunktprogramms BAMP!  
Figure: Consortium of the LOEWE-focus programme BAMP!

tion was integrated into a developed tool. During the four-year term of the project (start: 01.01.2017), public colloquia are scheduled regularly to present the findings and the scientific progress to a broad expert audience. Additionally, the meetings are used to discuss the results with representatives from industry and science. On November 7th 2019, the first BAMP! conference took place in Darmstadt. In the course of the one-day conference at the Georg Christoph Lichtenberg Haus, the project progress was presented alongside lectures given by representatives from industry. The highlight of the event was the demonstration and subsequent load testing of the demonstrator houses developed within the framework of a summer school.

Further information is available at: <https://www.tu-darmstadt.de/bauenmitpapier>



## SFB 805: Beherrschung von Unsicherheit in lasttragenden Systemen des Maschinenbaus

### CRC 805: Control of uncertainty in load-carrying structures in mechanical engineering



Die Forschung an dem Thema „Beherrschung von Unsicherheit in lasttragenden Systemen des Maschinenbaus“ im Rahmen des interdisziplinären Sonderforschungsbereiches (SFB) 805 geht in der dritten Förderperiode weiter. Auch dieses Jahr ist das PtU mit vier Mitarbeitern am Forschungsverbund in drei Teilprojekten beteiligt. Das Teilprojekt B4, welches von Herrn Krech bis Ende 2018 bearbeitet wurde, wird von Herrn Al-Baradoni weitergeführt.

Im Teilprojekt T6 „Zustandsbeeinflussung von Wälz-Gleitlagerungen“ mit den bekannten kombinierten Wälz-Gleitlagerungen dienen die erfassten Messdaten sowohl aus den direkt im Lager integrierten Sensoren als auch aus den hinterlegten physikalischen Modellen zur Lagerüberwachung bzw. zur aktiven Beeinflussung der Lager.

Im Rahmen des Projekts B2 „Umformen – Produktionsfamilien bei gleichbleibender Qualität“ werden Regelstrategien zur Beeinflussung der Produkteigenschaften während der Produktion am Beispiel mehrerer Umformprozesse entwickelt und optimiert. Somit ist die gleichbleibende Qualität eines jeden einzelnen Bauteils sichergestellt. Die daraus resultierenden Einzelteile weisen spezifische Bauteileigenschaften nach Kundenwunsch auf. Die während des Prozesses anfallenden Produktdaten werden durch eine in den Prozess integrierte Merkmalseinbringung für die Einzelteilerückverfolgung gekennzeichnet.

Durch die passende Prozessauslegung konnte im Rahmen des Teilprojektes B4 bereits gezeigt werden, dass sensible Funktionsmaterialien schädigungsfrei in lasttragenden Strukturen integriert werden können. Zudem konnte in diesem Jahr gezeigt werden, dass diese Strukturen während des Integrationsprozesses kalibriert werden können. Somit lässt sich die Prozesskette solcher Strukturen (Umformung, Sensorintegration und Kalibrierung) erschließen, wodurch die Prozesszeit bei der Herstellung verkürzt werden kann.

The research on the topic "Control of uncertainty in load-bearing mechanical systems" within the Interdisciplinary Collaborative Research Centre (CRC) 805 continues in the third period of the funding programme. The PtU is again involved in the research collaboration with three subprojects and four employees this year. The subproject B4, which was carried out by Mr. Krech until the end of 2018, will be continued by Mr. Al-Baradoni.

In the subproject T6 "State control of combined roller and plain bearings" with the known combined rolling and plain bearings, the acquired data from the sensors integrated on the bearing as well as from the physical models are used for monitoring the current condition of the bearings and actively influencing the bearings.

Within the subproject B2 "Forming - production families with constant quality", the development and optimization of control strategies for influencing product properties during production is carried out based on the examples of various forming processes. This ensures the quality of each individual part. The resulting individual components have customer-specific properties. The product data generated during the process is characterized by a feature input for individual part traceability integrated into the process.

The suitable process design within the scope of subproject B4 has already shown that sensitive functional materials can be integrated into load-bearing structures without being damaged. In addition, this year it was shown that during the integration process these structures can also be calibrated. In this way, the process chain of such structures (forming, sensor integration and calibration) can be accessed, which can shorten the process time for manufacturing.



Abbildung: Mitglieder des SFB 805  
Figure: Members of SFB 805



## LOEWE\*-Schwerpunktprogramm – ALLEGRO (Hochleistungskomponenten aus Aluminiumlegierungen durch ressourcenoptimierte Prozesstechnologien)

### LOEWE\*-focus programme – ALLEGRO (High-performance components made of aluminium alloys through resource-optimized process technologies)



Die aktuelle Forschung in der Produktionstechnik konzentriert sich vor allem auf die Steigerung der Ressourceneffizienz und folgt somit dem Ansatz einer grundlegenden Nachhaltigkeit von Prozessen und Produkten. An dieser Stelle greift der LOEWE\*-Schwerpunkt Allegro an. Der LOEWE\*-Schwerpunkt – Allegro (Hochleistungskomponenten aus Aluminiumlegierungen durch ressourcenoptimierte Prozesstechnologien) ist ein Forschungsverbund der TU Darmstadt, der Universität Kassel und des Fraunhofer LBF (Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit) in Darmstadt. Ziel des Gesamtverbundes ist, die Einsatzgebiete der hochfesten Aluminiumlegierung EN AW-7075 in der Industrie durch prozesssichere und effiziente Fertigungsverfahren mit integrierter Wärmebehandlung zu erweitern. Die Technologieentwicklung soll durch synergistische Zusammenführung der relevanten Technologiebausteine (Umformen, Tribologie, Fügen, Beschichten, Werkstoffcharakterisierung, Bauteileigenschaften und Lebensdauerabschätzung) beschleunigt und im angegliederten WarmAp\*\*-Projekt in die Anwendung transferiert werden.

Die Legierung EN AW-7075 zeichnet sich durch eine extrem hohe spezifische Festigkeit und eine variable Einstellbarkeit der Festigkeitseigenschaften aus. Hierdurch ist es möglich hochfeste und hochduktiler Bereiche durch eine gezielte Wärmebehandlung innerhalb eines Bauteils unterzubringen. Mögliche Anwendungsgebiete für solche Bauteile sind die B-Säule eines PKW oder funktionsoptimierte Fahrradrahmen. Die hohe Festigkeit und die begrenzte Umformbarkeit des Materials verursachen eine hohe Rückfederung nach der Umformung und damit eine erschwerte Prozessauslegung. Temperierte Gesenkbiegeversuche haben bei der Legierung EN AW-7075 einen positiven Einfluss auf die Umformbarkeit und eine reduzierte Rückfederung gezeigt.

Am PtU sollen im Allegro Projekt Rohre mit gradierten Eigenschaften hergestellt werden. In Bild 1 ist die gesamte Prozesskette dargestellt. Zu Beginn der Prozesskette erfolgt das Anstauchen der Bandkanten durch Spaltprofilieren zur Schweißnahtvorbereitung. Im nächsten Schritt wird das Blech zum Rohr geformt und anschließend zum

geschlossenen Rohr verschweißt. Darauf folgt das Warm-Kalibrieren des Rohres, wobei die endgültige Geometrie angenähert und das Material auf Lösungsglühtemperatur erhitzt wird. Im letzten Schritt folgt das Kalt-Kalibrieren des Rohres, mit gezieltem Abschrecken des Rohres zur Einstellung der gradierten mechanischen Eigenschaften und der finalen Geometrie am Endprodukt. Die Gradierung der Eigenschaften kann sowohl in Umfangs-, als auch in Längsrichtung erfolgen.

Current research in production technology focuses primarily on increasing resource efficiency and thus follows the approach of fundamental sustainability of processes and products. This is a key involvement of the LOEWE\* focal point - Allegro. The LOEWE\* focal point - Allegro (High-performance components made of aluminium alloys through resource-optimized process technologies) is a research alliance of the TU Darmstadt, the University Kassel and the Fraunhofer LBF (Institute for Structural Durability and System Reliability) in Darmstadt. The aim of the overall network is to extend the areas of application for the high-strength aluminium alloy EN AW-7075 in industry through reliable and efficient manufacturing processes with an integrated heat treatment. The technology development should be accelerated and transferred into the application in the connected WarmAp\*\*-Project by a synergistic combination of the relevant technology building blocks (forming, tribology, joining, coating, material characterization, component properties and lifetime estimation).

The alloy EN AW-7075 is characterized by excellent specific strength and variable adjustability of the strength properties. This allows high-strength and high-ductility areas to be accommodated in one component by targeted heat treatment. Possible areas of application for such components are the B-pillar of a passenger car or functionally optimised bicycle frames. The high strength and limited formability of the material cause a high springback after forming and thus a more difficult process design.

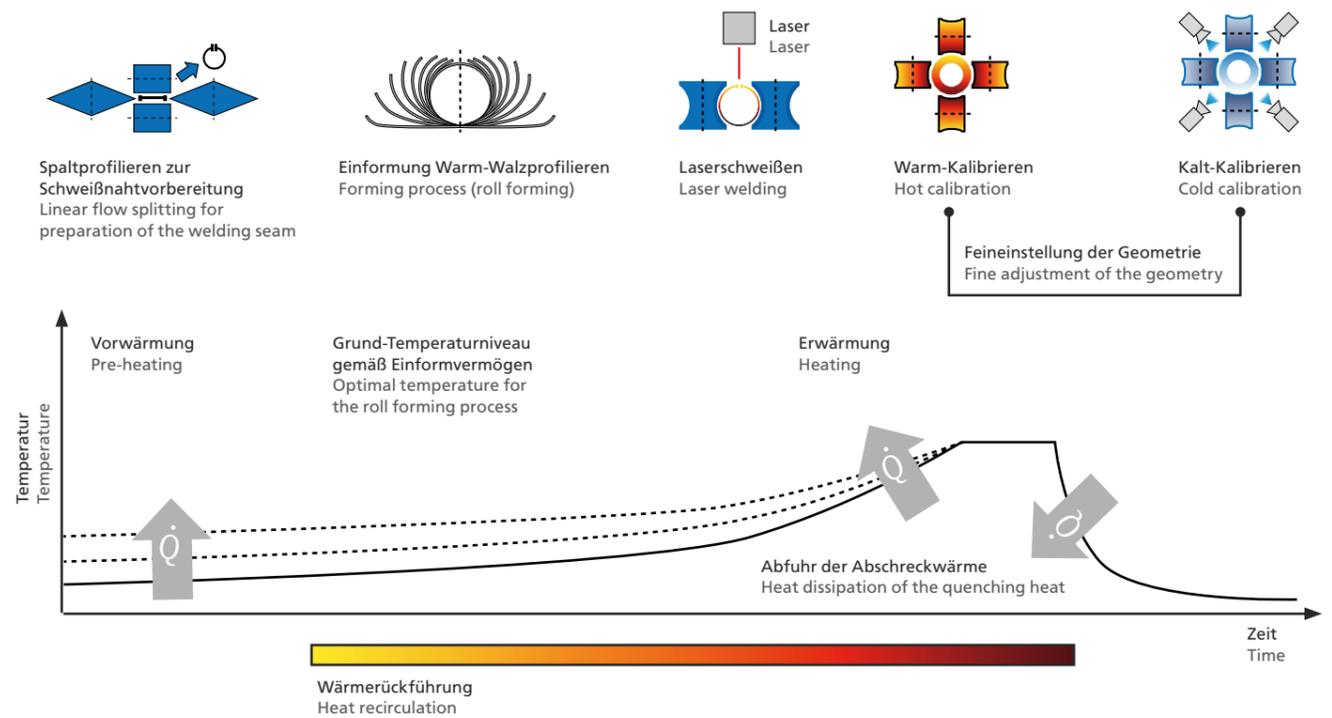


Abbildung: Prozesskette  
Figure: Process chain

Tempered V-bending tests of EN AW-7075 have shown a positive influence on formability and reduced springback.

At the PtU, tubes with tailored properties are produced in the Allegro project. Figure 1 shows the entire process chain. At the beginning of the process chain, the weld seam is prepared by upsetting the band edges by linear flow splitting. In the next step, the sheet is formed into a tube and then welded into a closed tube. This is followed by the hot calibration of the tube, where the final geometry is approximated and the material is heated to solution annealing temperature. The last step is the cold calibration of the tube, with targeted quenching of the tube to adjust the tailored mechanical properties and the final geometry of the end product. Tailored properties can be achieved in both circumferential and longitudinal direction.



Timon Suckow, M. Sc.  
+49 6151 16 231 77  
suckow@ptu.tu-darmstadt.de



\* Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Hessen

\*\* Seite 26-27

\* Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Hessen

\*\*Page 26-27

## WarmAp (Warmumformen von Aluminiumblechen für Hochleistungs-komponenten zukünftiger Mobilitätskonzepte)

### WarmAp (Hot forming of aluminium sheets for high-performance components of future mobility concepts)



Janosch Günzel, M. Sc.  
+49 6151 16 231 77  
guenzel@ptu.tu-darmstadt.de

An den auf Seite 24-25 vorgestellten LOEWE-Schwerpunkt ALLEGRO (Hochleistungskomponenten aus Aluminiumlegierungen durch ressourcenoptimierte Prozesstechnologien) setzt das angegliederte KMU-Verbundvorhaben WarmAp an.

In WarmAp selbst steht die temperaturunterstützte Umformung von hochfesten Aluminiumlegierungen für Hochleistungskomponenten zukünftiger Mobilitätskonzepte im Vordergrund. Um das Leichtbaupotential vollständig auszuschöpfen, erfolgt in WarmAp die Implementierung und Erprobung der in ALLEGRO getätigten Technologiesprünge in einem industrienahen Umfeld. Dabei stehen insbesondere die Prozessrobustheit und die Reproduzierbarkeit für eine spätere Serienfertigung im Fokus. Weiterhin wird die Entwicklung neuer Produktgruppen mit einer deutlichen Komplexitätssteigerung der umzuformenden Bauteile angestrebt.

Zur Gewährleistung der industrienahen Umsetzung ist die Besonderheit von WarmAp die duale Ausrichtung von drei Promotionsstellen mit je einer 50% Stelle am PtU und in einem der folgenden drei hessischen Unternehmen:

1. Der Fokus von Filzek TRIBOtech liegt auf der Untersuchung der auftretenden Reib- und Verschleißphänomene bei hochfestem Aluminium unter erhöhten Temperaturen. Hierzu wird eine existierende Streifenziehmaschine für Warmformungsbedingungen umgerüstet, sodass Dauerversuche unter prozessnahen tribologischen Bedingungen möglich sind.

2. Ergänzend dazu steht bei der Hörmann Automotive Gustavsburg GmbH die Prozessimplementierung und Methodenplanung im Vordergrund. Hierzu wird ein Erwärmungskonzept entwickelt, mithilfe dessen eine gezielte lokale Erwärmung zur Steigerung der Umformgrade in kritischen Bauteilbereichen erreicht wird.

3. In dem Teilprojekt der Werner Schmid GmbH geht es um die Erweiterung der Verfahrensgrenzen von mehrstufig hergestellten Bauteilen mit angepassten Dickenverteilungen. Für deren Realisierung ist der gezielte Einsatz von angepassten

Lukas Schell, M. Sc.  
+49 6151 16 231 78  
schell@ptu.tu-darmstadt.de

Erwärmungskonzepten und Wärmebehandlungszuständen erforderlich.

Sowohl bei Hörmann als auch bei Werner Schmid werden in Zusammenarbeit mit Filzek TRIBOtech ausgewählte tribologische Systeme in industriellen Umformprozessen untersucht, sodass eine Erweiterung der Formgebungsgrenzen möglich wird. Dies führt wiederum zu einer Steigerung der geometrischen Komplexität der Produkte und somit zu einer erweiterten Nutzung des Leichtbaupotentiales.

Dieses Projekt (HA-Projekt-Nr.: 548/17-30) wird im Rahmen der Innovationsförderung Hessen aus Mitteln der LOEWE – Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben, gefördert.

Weitere Informationen erhalten Sie unter:  
<https://www.uni-kassel.de/projekte/allegro>

The affiliated SME collaborative project WarmAp is based on the LOEWE focus ALLEGRO (high-performance components made of aluminium alloys using resource-optimised process technologies) presented on page 24-25.

WarmAp itself focuses on the warm and hot forming of high-strength aluminium alloys for high-performance components of future mobility concepts. In order to fully utilize the lightweight construction potential, the main objective of WarmAp is the implementation and testing of the technological leaps made in ALLEGRO in an industry-oriented environment. The focus is on process robustness and reproducibility for future series production. Furthermore, the development of new product groups with a significant increase in the complexity of the components to be formed is aimed for.

To ensure industry-oriented implementation, a special feature of WarmAp is the dual orientation of three doctoral positions, each with a 50% position at the PtU and in one of the following three Hessian companies:



Exzellente Forschung für Hessens Zukunft

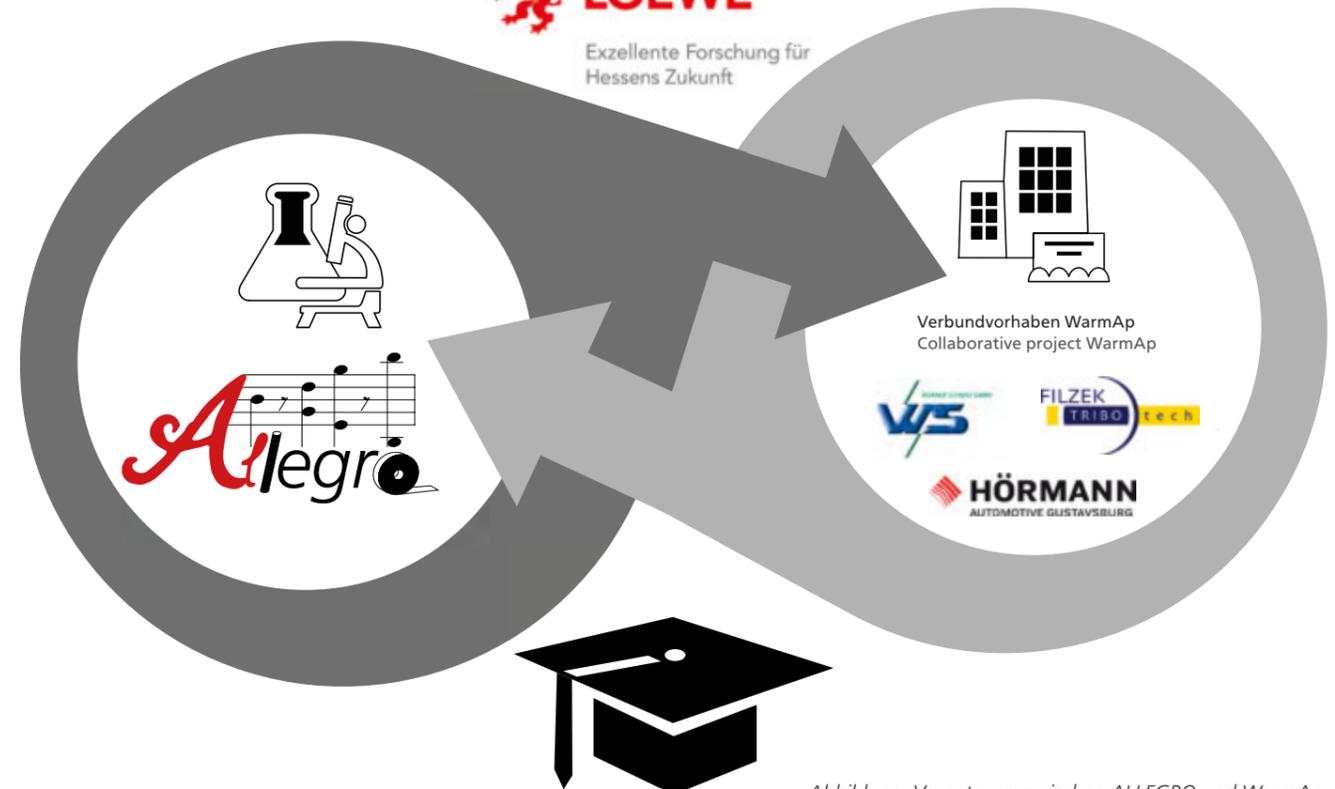


Abbildung: Vernetzung zwischen ALLEGRO und WarmAp  
Figure: Networking between ALLEGRO and WarmAp

1. The focus of Filzek TRIBOtech is on the investigation of friction and wear phenomena in high-strength aluminium at elevated temperatures. For this purpose, an existing strip drawing facility will be converted for hot forming conditions so that endurance tests under process-related tribological conditions are possible.

2. In addition, the Hörmann Automotive Gustavsburg GmbH focuses on process implementation and method planning. Therefore, a heating concept is being developed that allows a flexible local heating to increase formability in complex shaped parts.

3. The subproject of the Werner Schmid GmbH is concerned with the extension of the process limits of multi-stage production parts with adapted thickness distributions. Therefore, the use of adapted heating concepts and heat treatment conditions is necessary.

In cooperation with Filzek TRIBOtech, Hörmann and Werner Schmid investigate selected tribological systems in industrial forming processes so that the forming limits can be extended. This in turn leads to an increase in the geometric complexity of the products and thus to an increased utilization of the lightweight construction potential.

This project (HA project no. 548/17-30) is financed with funds of LOEWE – Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben (State Offensive for the Development of Scientific and Economic Excellence).

Further information is available at:  
<https://www.uni-kassel.de/projekte/allegro>



Exzellente Forschung für Hessens Zukunft



HessenAgentur

HA Hessen Agentur GmbH

## Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum Darmstadt

### SMEs 4.0 – Darmstadt Competence Centre



Christian Kubik, M. Sc.  
+49 6151 16 233 16  
kubik@ptu.tu-darmstadt.de

Die Produktion der Zukunft zeichnet sich durch immer kürzer werdende Produktlebenszyklen und eine steigende Variantenvielfalt bei hohen Anforderungen an die Produktqualität aus. Dabei ergeben sich vor allem in der Umformtechnik für kleine und mittelständische Unternehmen neue Herausforderungen. Eine Antwort auf diese veränderten Rahmenbedingungen bietet die Digitalisierung und Vernetzung der Produktion im Rahmen der Industrie 4.0. Um Unternehmen im Rhein-Main-Gebiet in diesen Fragen der Digitalisierung zu unterstützen, ist das Förderprogramm „Mittelstand-Digital – Strategien zur digitalen Transformation der Unternehmensprozesse“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und das Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum als Teil der Förderinitiative „Mittelstand 4.0 – Digitale Produktions- und Arbeitsprozesse“ (MiT 4.0) in Darmstadt ins Leben gerufen worden. Acht Partner aus Wissenschaft und Praxis bündeln ihr Know-how und ermöglichen die Unterstützung von Unternehmen.

Ziel ist es dabei insbesondere KMUs in Fragen der Digitalisierung und Vernetzung weiterzubilden sowie in konkreten Umsetzungsprojekten zu unterstützen. Dazu hat das Kompetenzzentrum geeignete thematische Handlungsstränge entwickelt, die für die Region Rhein-Main im Kontext der Digitalisierung und Vernetzung besonders relevant sind. Um den regionalen Unternehmen die Digitalisierung näher zu bringen, werden auf Basis abgeschlossener und laufender Forschungsprojekte Erstinformationen durch Fachvorträge, Workshops und Demonstratoren vermittelt. Während dieser Schulungsangebote gibt es die Möglichkeit zum Austausch über den Nutzen, die möglichen Anwendungsfelder und die Herausforderungen, bzw. den Aufwand einer konkreten Umsetzung. Durch Schulungsmaßnahmen sollen die Unternehmen für Themen rund um Industrie 4.0 sensibilisiert werden, um so die Chancen von Digitalisierung und die damit verbundenen Konzepte unternehmensindividuell umsetzen zu können.

Das PtU bietet im Kontext des MiT 4.0 bereits seit Beginn des Projektes Schulungs- und Umsetzungsprogramme zum Thema Digitalisierung und Industrie 4.0 in der Umformtechnik an. Dabei stehen

vor allem die Themen zum Einsatz von Sensorik in der umformtechnischen Produktion sowie die Erschließung neuer Geschäftsmodelle in einer digitalisierten Produktion im Vordergrund. Mit dem Beginn der zweiten Förderphase im März 2019 wird im Rahmen der nationalen KI-Strategie der Bundesregierung die Erweiterung des Kompetenzzentrums um einen KI-Transfer angestrebt. Dabei soll eine Expertise im Bereich der künstlichen Intelligenz und des Maschinellen Lernalgorithmus aufgebaut und für den Einsatz im produzierenden Gewerbe vorbereitet werden. Der Nutzen von smarten Daten als Grundlage für künstliche Intelligenz soll für Unternehmen aufgezeigt werden und bei der Optimierung der Wertschöpfungskette sowie der Interaktion von Mensch, Maschine und Produkt entscheidend unterstützen. Auch für die KI-Erweiterung des Kompetenzzentrums wird es in den kommenden Jahren Umsetzungsprojekte und Schulungen zum weiteren Ausbau der Expertise und der Unterstützung von Unternehmen in dieser Schlüsseltechnologie geben. Interessenten, die sich zu Themen der Digitalisierung sowie KI-Anwendung in der Praxis informieren wollen, sind daher jederzeit herzlich zu unseren Veranstaltungen oder unverbindlichen Fachgesprächen eingeladen.

Future production will be characterised by shortened product life cycles and an increasing number of variants with high demands on product quality. New challenges arise for SMEs, especially in forming technology. In order to answer these issues, the SMEs 4.0 – Darmstadt Competence Centre funded by the Federal Ministry of Economics and Energy (BMWi) as part of the funding initiative "Mittelstand 4.0 - Digital Production and Work Processes" (MiT 4.0) has been launched in March 2016. Eight partners from science and industry bundle their know-how and make it possible to support companies.

The aim is to especially educate SMEs in questions of digitalization and networking and to support them in concrete implementation projects. For this purpose, the Competence Center has developed suitable thematic strategies that

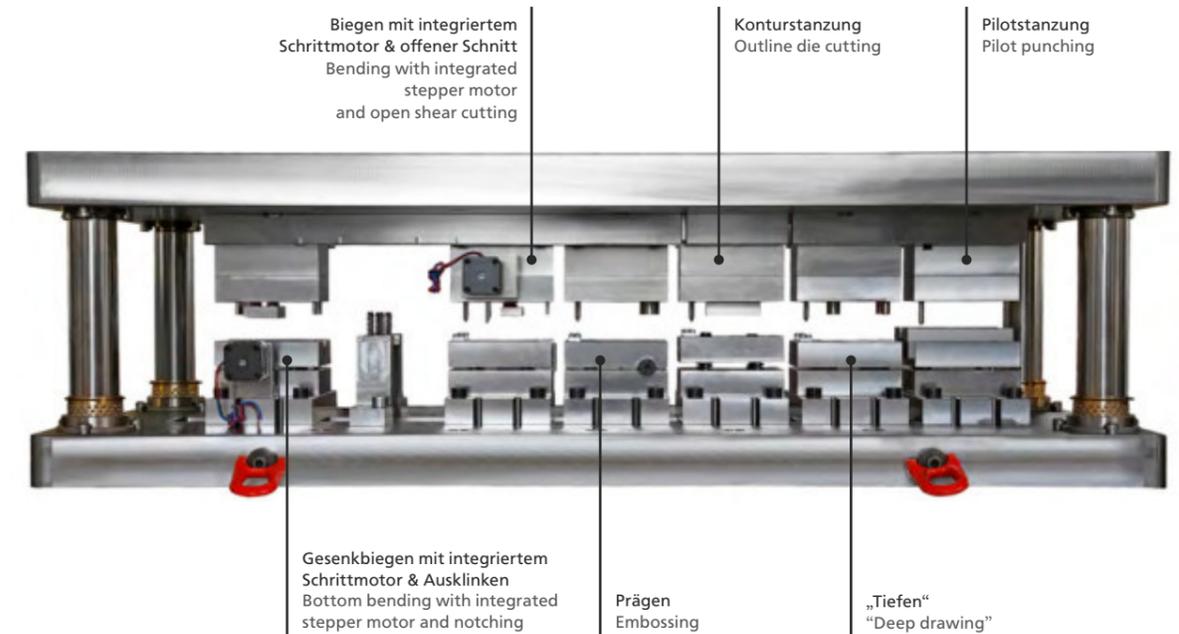


Abbildung: Prototyp eines intelligenten Folgeverbundwerkzeugs mit integrierter Aktorik und Sensorik  
Figure: Prototype of an intelligent progressive forming tool with integrated actuators and sensors

are particularly relevant for the Rhine-Main area in the context of digitalization and networking. In order to bring digitalization closer to regional companies, basic information will be provided by lectures, workshops and demonstrators on the fundamental of completed and ongoing research projects. During these training courses there will be an opportunity to exchange information on the benefits, possible fields of application and the challenges and effort involved in concrete implementation. Through training programmes, companies are to be sensitised to topics relating to industry 4.0 in order to be able to implement the opportunities offered by digitalization and the associated concepts on an individual company basis.

In the context of MiT 4.0, the PtU has offered training and implementation programmes on the topic of digitalization and industry 4.0 in forming technology since the beginning of the project. The main focus will be on the use of sensor technology in forming production and the development of new business models in digitized produc-

tion. With the start of the second funding phase in March 2019, the expansion of the competence center by an AI transfer is aimed within the framework of the national AI strategy of the Federal Government. The aim is to develop expertise in the field of artificial intelligence and machine learning as well as preparing the application in the manufacturing industry. The benefits of smart data as a basis for artificial intelligence for companies will be demonstrated and significantly supported in the optimization of the value chain, as well as the interaction of man, machine and product. In the coming years, there will also be implementation projects and training courses for the AI expansion of the competence center to further expand the expertise and support of companies in this key technology. Interested parties who would like to find out more about digitalization and AI applications in daily practice are therefore welcome to attend our events or to attend a free expert discussion.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Schwerpunktprogramm 1676  
Trockenumformung von Aluminiumlegierungen  
Priority program 1676  
Dry forming of aluminum alloys



Die starke Adhäsionsneigung zwischen Aluminiumwerkstoffen und gängigen Werkzeugwerkstoffen stellt nach wie vor eine Herausforderung in der Produktionstechnik dar. Aus diesem Grund bedarf es bei der Herstellung von Aluminiumbauteilen eines hohen Einsatzes von Schmiermedien und Ziehfolien. Wie bereits durch das Schwerpunktprogramm (SPP1676) zum Ausdruck gebracht, fordern ökonomische und geoökologische Gesichtspunkte einen Verzicht auf die verwendeten Schmiermedien zur Steigerung der Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit bei Umformprozessen.

Amorphe hydrogenisierte Kohlenstoffschichten (a-C:H, DLC) sind bekannt für ihre besonderen tribologischen Eigenschaften und sind als Werkzeugbeschichtung für zahlreiche Umformanwendungen etabliert. Zur Realisierung der Trockenumformung von Aluminiumlegierungen werden bei unserem Projektpartner am Fraunhofer IST in Braunschweig a-C:H-Werkzeugbeschichtungen weiterentwickelt. Ziel des aktuellen Projektes ist eine Verbesserung des sogenannten Einlaufverhaltens von DLC Schichten. Insbesondere bei der Trockenumformung spielt die initiale Rauheit der Schicht eine entscheidende Rolle. Diese reduziert sich in Tribometertests sukzessive, sodass ab einem bestimmten Rauheitswert kaum Verschleiß entsteht. Die Vorbehandlung der Schicht und eine Reduktion der Rauheit bereits beim Abscheiden, um einen frühzeitigen Werkzeugausfall zu verhindern, ist der wesentliche Fokus der aktuellen Projektphase.

Schwerpunkt der Forschungstätigkeit am PtU ist die Entwicklung von verschleißmindernden Oberflächen auf den Aluminiumblechen. Hierzu wurden bereits im letzten Jahr Untersuchungen zur Oberflächenstruktur des Aluminiums durchgeführt. Die Bemühungen belaufen sich daher auf eine gezielte Manipulation der Aluminiumoxidschicht mittels chemischer und anodischer Oxidation, wodurch bestimmte Phasen der Aluminiumoxidschicht forciert werden sollen. Ziel ist eine Oxidschicht mit schmierenden Eigenschaften, ohne jedoch herkömmliche Schmiermedien einzusetzen oder zu imprägnieren.

Die Ergebnisse dienen der Entwicklung neuarti-

ger, legierungsspezifischer Tribosysteme, die eine Trockenumformung von Aluminiumlegierungen ermöglichen. Diese Tribosysteme beinhalten neue Werkzeugbeschichtungen sowie optimierte Prozess- und Umgebungsparameter und werden anhand von anwendungsnahen Tiefziehversuchen qualifiziert.

The strong adhesion tendency of aluminum alloys to commercial tool materials reduces the surface quality of the components, the process reliability and the targeted tolerances. Thus, a high quantity of lubricants and drawing foils is currently needed to produce lightweight components made of aluminum. As already expressed by the Priority Programme SPP1676, there is a high demand to increase the ecological and economic efficiency of forming processes by utilizing dry forming of aluminum.

Amorphous hydrogenated carbon coatings (a-C:H, DLC) are well known for their exceptional tribological properties and established as tool coatings for numerous forming applications. In one part of this project our project partner at the Fraunhofer IST in Braunschweig is developing advanced a-C:H tool coatings to realize dry forming of aluminum alloys. The aim of the current project is to improve the so-called run-in behavior of DLC coatings. Especially during dry forming, the initial roughness of the coating plays a decisive role. This parameter gradually reduces in tribometric tests, so that hardly any wear occurs after a certain roughness value. The pre-treatment of the coating and a reduction in roughness, already during deposition in order to prevent premature tool failure, is the focus of the current project phase.

The focus of research at PtU is the development of wear-reducing surfaces on the aluminum sheets. For this purpose, investigations on the surface structure of the aluminum were already carried out last year. Current effort focus on targeted manipulation of the oxide layer by means of chemical and anodic oxidation, which should favor certain phases of the aluminum oxide layer.

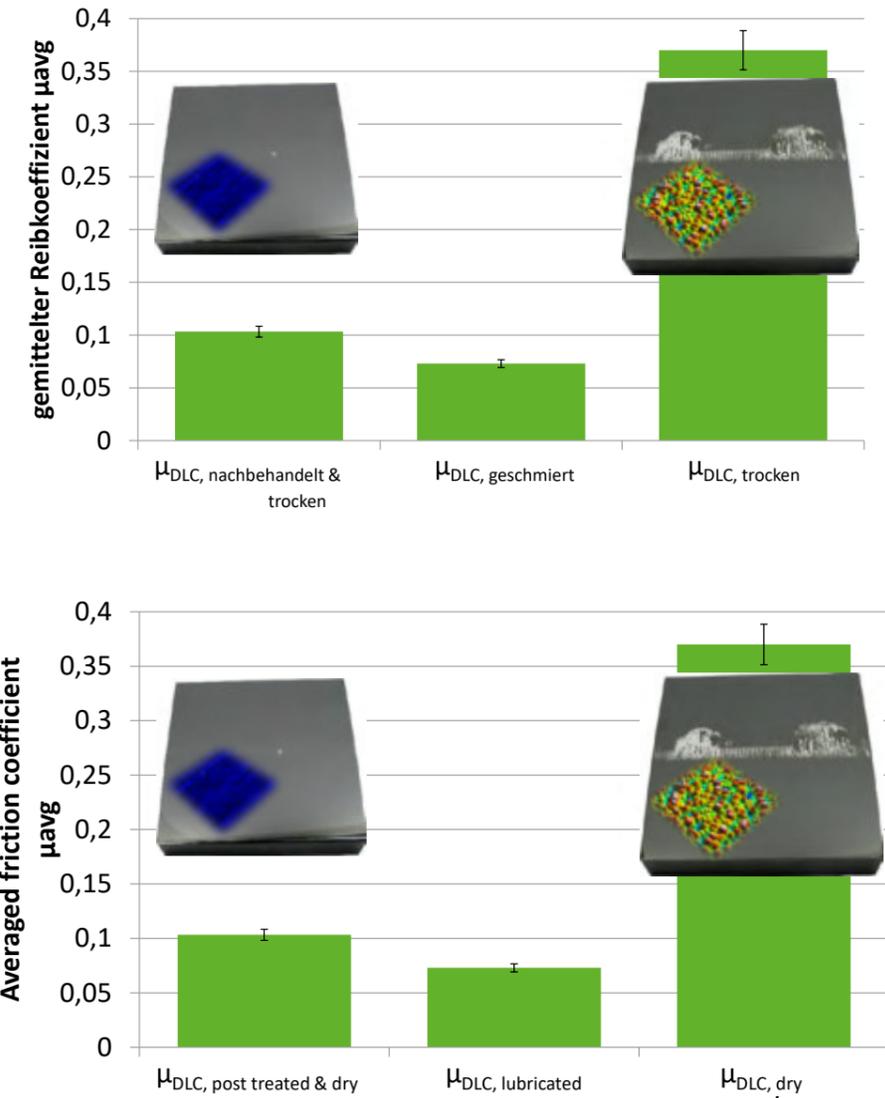


Abbildung: Reibwerte Trockenumformung im Vergleich  
Figure: Comparison of friction coefficients for dry forming

The goal is an oxide layer with lubricating properties, which spares the use of conventional lubricants or impregnation of the metal surface.

Finally, the correlations between the observed adhesion behavior and the influencing factors will allow the optimization of the tribological system concerning a real dry forming process of aluminum. These systems include newly developed tool coatings as well as optimized process and environmental parameters and will be qualified by deep drawing experiments.



## Schwerpunktprogramm 2013

### Gezielte Einstellung von Eigenspannungen während der Kaltmassivumformung

#### Priority programme 2013

#### Targeted use of forming induced residual stresses in metal components



Alessandro Franceschi, M. Sc.  
+49 6151 16 233 56  
franceschi@ptu.tu-darmstadt.de

Das Schwerpunktprogramm (SPP) 2013 ist ein nationales Programm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), das im Jahr 2017 ins Leben gerufen wurde. Im Rahmen des Programms sind 12 Projekte mit 25 Forschungsstellen beteiligt. Die Gesamtdauer des Programms beträgt sechs Jahre und ist in drei Phasen aufgeteilt. Schwerpunkt des Programms ist ein umfassender Ansatz zur Untersuchung der Entstehung von Eigenspannungen bei umformenden Fertigungsprozessen. Eigenspannungen beeinflussen das Verhalten der Bauteile, sowohl indem Ausschuss während des Fertigungsprozesses entsteht, als auch während der Lebensdauer, erheblich. Deshalb gelten Eigenspannungen heute als sehr ungünstige Eigenschaft, die sich negativ auf die Lebensdauer eines Bauteils auswirkt. Eine Tendenz ist daher, sie grundsätzlich zu vermeiden. Gleichzeitig ist jedoch nachgewiesen, dass eine gezielte und kontrollierte Erzeugung von Eigenspannungen äußerst vorteilhaft sein kann. Ziel des Schwerpunktprogramms ist es daher, die Eigenspannungen durch den Einsatz von Umformtechnologien zu regulieren, um einen positiven Einfluss auf die relevanten Eigenschaften der durch Umformprozesse hergestellten Bauteile zu erzielen.

In Zusammenarbeit mit der Staatlichen Materialprüfungsanstalt Darmstadt und dem Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde (MPA/IfW) der TU Darmstadt bearbeitet das PtU das Projekt: "Gezielte Einstellung von Eigenspannungen während der Kaltmassivumformung". Das Projekt analysiert die kontrollierte Bildung von Eigenspannungen in Edelstahl in verschiedenen Kaltumformoperationen und deren Entwicklung während einer Prozesskette. Darüber hinaus wird die Entwicklung der Eigenspannungen während zyklischer Belastung überwacht, um das Verhalten eines Bauteils während des gesamten Produktlebenszyklus zu verstehen. Die experimentelle Messung von Eigenspannungen erfolgt mittels Röntgendiffraktometrie mit einer Chromquelle. Außerdem werden Finite-Elemente-Modelle zur Vorhersage von Eigenspannungen unter besonderer Berücksichtigung des Werkstoffmodells entwickelt. Ziel ist es, zuverlässige Werkzeuge für die effektive und systematische Nutzung von Eigenspannungen zur Leistungssteigerung von mechanischen, kaltumgeformten Bauteilen zu entwickeln.

The priority programme (Schwerpunktprogramm, SPP) 2013 is a national programme funded by the German Research Foundation (Deutschen Forschungsgemeinschaft, DFG) that started in 2017. Within the programme there are 12 projects with 25 participating research institutes. The total duration time of the programme is six years, divided in three phases. The focus of the programme is a deep effort in the investigation of the formation of residual stresses related to forming manufacturing processes. Internal stresses greatly influence the performance of these components, both for the failure during the manufacturing process and during the service life. Nowadays, internal stresses are considered as a highly unfavorable characteristic, which has a negative impact on a component's life. Therefore the tendency is to avoid them. However, it is proved that a targeted and controlled influence of the residual stresses can have extremely beneficial effects. Therefore, the objective of the priority programme is to regulate and control internal stresses by utilizing forming technologies in order to achieve a positive impact on relevant characteristics of components manufactured by forming processes.

In cooperation with the State Materials Testing Institute (MPA/IfW) of TU Darmstadt, the PtU develops the project: "Targeted Manipulation of Residual Stresses during Cold Forging". The controlled formation of residual stresses in stainless steel in different cold forming operations and their targeted manipulation during a process chain are analyzed in the project. Moreover, the evolution of the residual stresses is monitored during cyclic loading, to gain a deeper understanding of the behaviour of a component during its service life. The experimental measurement of the residual stresses is performed through X-Ray diffractometry with a chromium source. Also, finite element models are developed for the prediction of the residual stresses with particular attention to the material model. The intent is to develop reliable tools for the effective and systematic use of the residual stresses for enhanced performances of cold formed mechanical components.

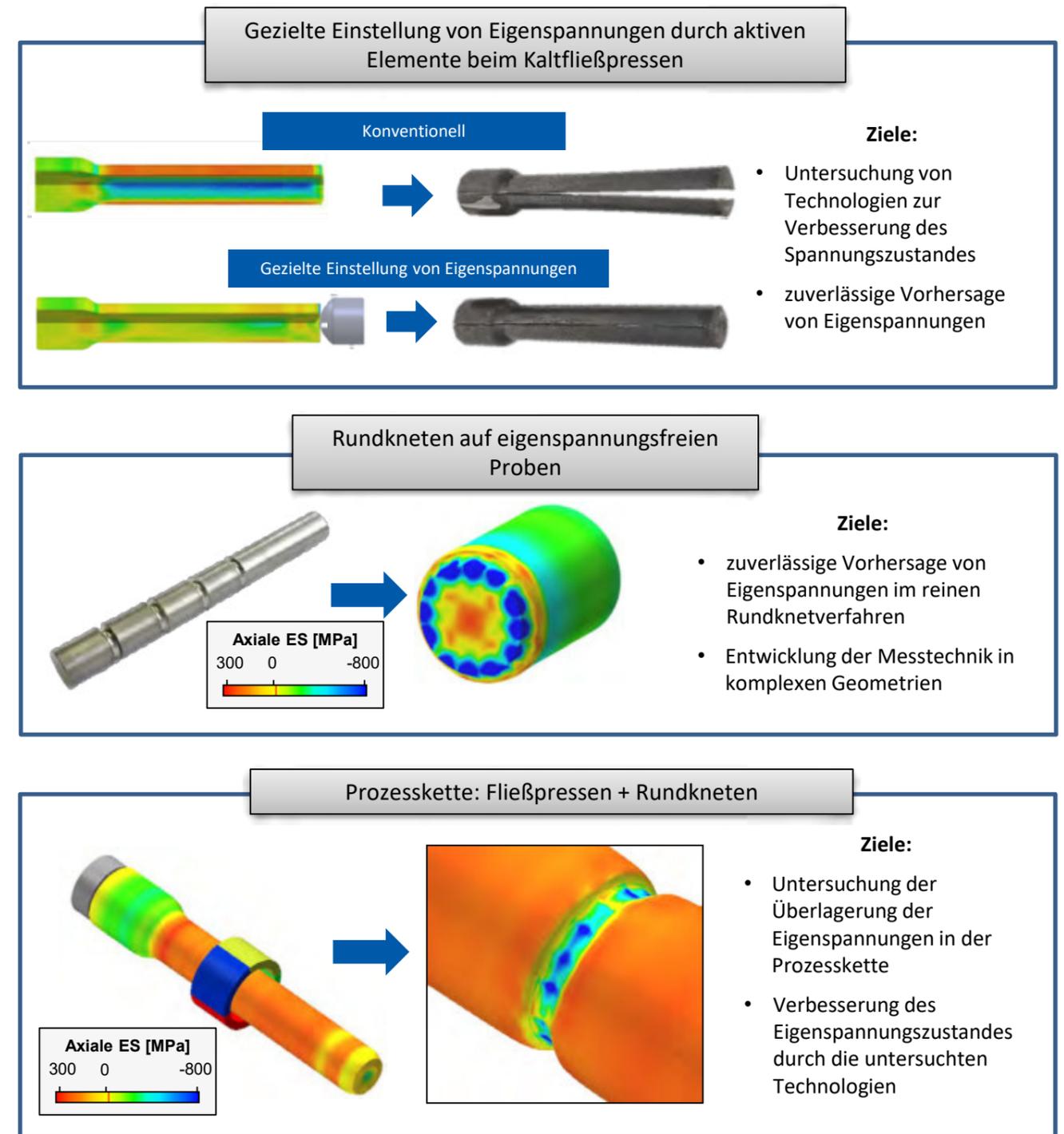


Abbildung: Experimentelle und numerische gezielte Einstellung der Eigenspannungen in einer Prozesskette  
Figure: Experimental and numerical manipulation of the residual stresses in a process chain



## Schwerpunktprogramm 1640 Fügen durch plastische Deformation

### Priority programme 1640 Joining by plastic deformation



Die moderne Fertigungstechnik fordert zunehmend eine prozesssicher herzustellende Verbindung artungleicher Werkstoffe. Treibende Kraft dahinter ist sowohl der Leichtbau im Hinblick auf Ressourceneffizienz als auch der Wunsch nach leistungsfähigeren Produkten durch die selektive Ausnutzung von Werkstoffeigenschaften.

Neuartige Fügeverfahren durch plastische Deformation können diese Anforderung erfüllen, waren bisher jedoch hinsichtlich der Verfahrensgrenzen und wirkenden Bindemechanismen noch wenig durchdrungen. Diese grundlegenden Kenntnisse sind Voraussetzung für den industriellen Einsatz. Um diese Lücke zu schließen, ist 2011 das Schwerpunktprogramm 1640 „Fügen durch plastische Deformation“ ins Leben gerufen worden. Im Rahmen dieses Schwerpunktprogrammes arbeiteten Wissenschaftler/innen aus den Forschungsrichtungen Maschinenbau, Materialwissenschaften, Chemie und Festkörperphysik zusammen daran, die neuartigen Verfahren zu untersuchen und weiter zu entwickeln.

Die erste von insgesamt drei Förderperioden, beginnend im Oktober 2012, diente der Untersuchung der Verfahrensgrundlagen. Während der zweiten Förderperiode ab 2014 stand die Reproduzierbarkeit der Fügeprozesse im Mittelpunkt. Die dritte Phase begann Anfang 2017 und endete am 05. und 06. Juni 2019 mit einem Abschlusskolloquium in Darmstadt. Das übergeordnete Thema für die dritte Förderperiode war die Übertragung der Grundlagenforschung in die industrielle Anwendung. Dazu gehören neben der Vorhersagbarkeit auch die Qualitätssicherung und die Prozessrobustheit. Weiteres Augenmerk lag auf aktuell realisierbaren und zukünftig möglichen Werkstoffkombinationen. Neben dem Austausch im akademischen Umfeld ist den Projektleitern/innen darüber hinaus der Kontakt zur Industrie ein wichtiges Anliegen. Deshalb veranstalteten sie zwei Workshops mit Industrievertretern aus Forschung und Anwendung.

Als Koordinator dankt das PtU der DFG für die Förderung und allen Forschungsstellen der Teilprojekte für die erfolgreiche Zusammenarbeit und wünscht bei den nun folgenden Forschungs- und

Kooperationsprojekten gemeinsam mit industriellen Partnern viel Erfolg.

State-of-the-art production technology increasingly demands for joints of dissimilar materials manufactured in reliable processes. The driving force was, on the one hand, lightweight construction with regard to an efficient use of resources, and on the other hand, the request for high-performing products by a selective use of the material's properties.

New joining techniques based on plastic deformation are able to fulfil these requirements but are rarely investigated and the underlying joining mechanisms were still insufficiently understood. However, this fundamental knowledge is crucial for the industrial implementation.

In order to close this gap, the priority programme 1640 “forming by plastic deformation” was initiated in 2011. Within this priority programme, scientists of the research institutions Mechanical Engineering, Materials Science, Chemistry and Solid State Physics cooperated to investigate and to advance novel joining processes.

The first of a total of three funding periods, starting in October 2012, aimed for the examination of the process principles. During the second funding period from 2014, the focus was on the reproducibility of the joining processes. The third phase began in early 2017 and ended at June 5th and 6th with a final colloquium in Darmstadt, with the overarching objective of transferring basic research into industrial applications. This includes, besides predictability, quality assurance and process robustness. Further attention was paid to material combinations that are currently feasible as well as those that will be possible in the future.

In addition to the exchange in an academic context, the project heads also attach great importance to the contact with the industry. They therefore organized two workshops with industrial representatives from research and application.

As coordinator, the PtU would like to thank the DFG for its funding and all the research centers in the subprojects for their successful cooperation, and wishes success with the research and cooperation projects that are now following in cooperation with the industry.



Foto: Teilnehmer des Abschlusskolloquiums  
Photo: Participants of the final colloquium

  
SPP 1640





## Nächste Generation von Tiefziehprozessen durch Nutzung smarter Beobachter, geschlossener Regelkreise und einer 3D-Servo-Press

### Next generation deep drawing using smart observers, closed-loop control, and 3D Servo Press



Erst seit wenigen Jahren gibt es die Möglichkeit, gemeinsame Projekte der „National Science Foundation“ (NSF) der USA und der „Deutschen Forschungsgemeinschaft“ (DFG) fördern zu lassen. Bei diesem Programm ist auch das PtU mit einem Projekt beteiligt: Gemeinsam mit der US amerikanischen University of New Hampshire (UNH) sowie der Ohio State University (OSU) wird eine Erweiterung des Prozessfensters beim Tiefziehen durch den Einsatz einer flexiblen 3D-Servo-Press untersucht. Hierbei profitieren die drei Universitäten wechselseitig von ihren Stärken. Während sich die amerikanischen Forscher mit der numerischen Simulation und der notwendigen Materialcharakterisierung beschäftigen, kann am PtU auf profunde Kenntnisse in der Pressenentwicklung und Werkzeugkonstruktion zurückgegriffen werden.

Im Rahmen der engen Zusammenarbeit der beteiligten Institute konnte im zurückliegenden Jahr ein neuartiges Tiefziehwerkzeug am PtU in Betrieb genommen und innerhalb mehrerer Iterationsschleifen verbessert werden. Das neu entwickelte Tiefziehwerkzeug nutzt die zusätzlichen Freiheitsgrade der 3D-Servo-Press. Es kann ein hemmender Einfluss auf die Faltenbildung beim

Tiefziehen festgestellt werden: So wurde eine Umformung von größeren Blechroden ohne eine ungewünschte Faltenbildung ermöglicht. Die parallel von der OSU durchgeführten numerischen Simulationen des neuartigen Tiefziehprozesses lassen weiterhin eine Abnahme der benötigten Stempelkraft erwarten, hier ist die experimentelle Bestätigung Gegenstand der aktuellen Forschung am PtU. Die Ergebnisse der intensiven Zusammenarbeit wurden auf zwei Konferenzen präsentiert und dort vom Auditorium interessiert aufgenommen.

Für die beteiligten wissenschaftlichen Mitarbeiter bot sich dieses Jahr im Rahmen zweier Austausche die Möglichkeit die Versuchsaufbauten und Maschinen des jeweils anderen Projektpartners im Detail kennen zu lernen. So besuchte Jinjin Ha (OSU) im Januar 2019 die Technische Universität Darmstadt, um sich einen besseren Eindruck der 3D-Servo-Press zu verschaffen. Alexander Breunig (PtU) konnte den an der UNH zur Verfügung stehenden Versuchsaufbau persönlich kennenlernen, und erste Erkenntnisse zur Körperschallmessung hinzugewinnen. Hierbei zeigte sich, dass persönliche Besuche, insbesondere bei komplexen Sachverhalten, unerlässlich sind.



Abbildung  
Fertiges Werkzeug,  
eingebaut in Presse

Figure  
Manufactured tool  
installed in the press

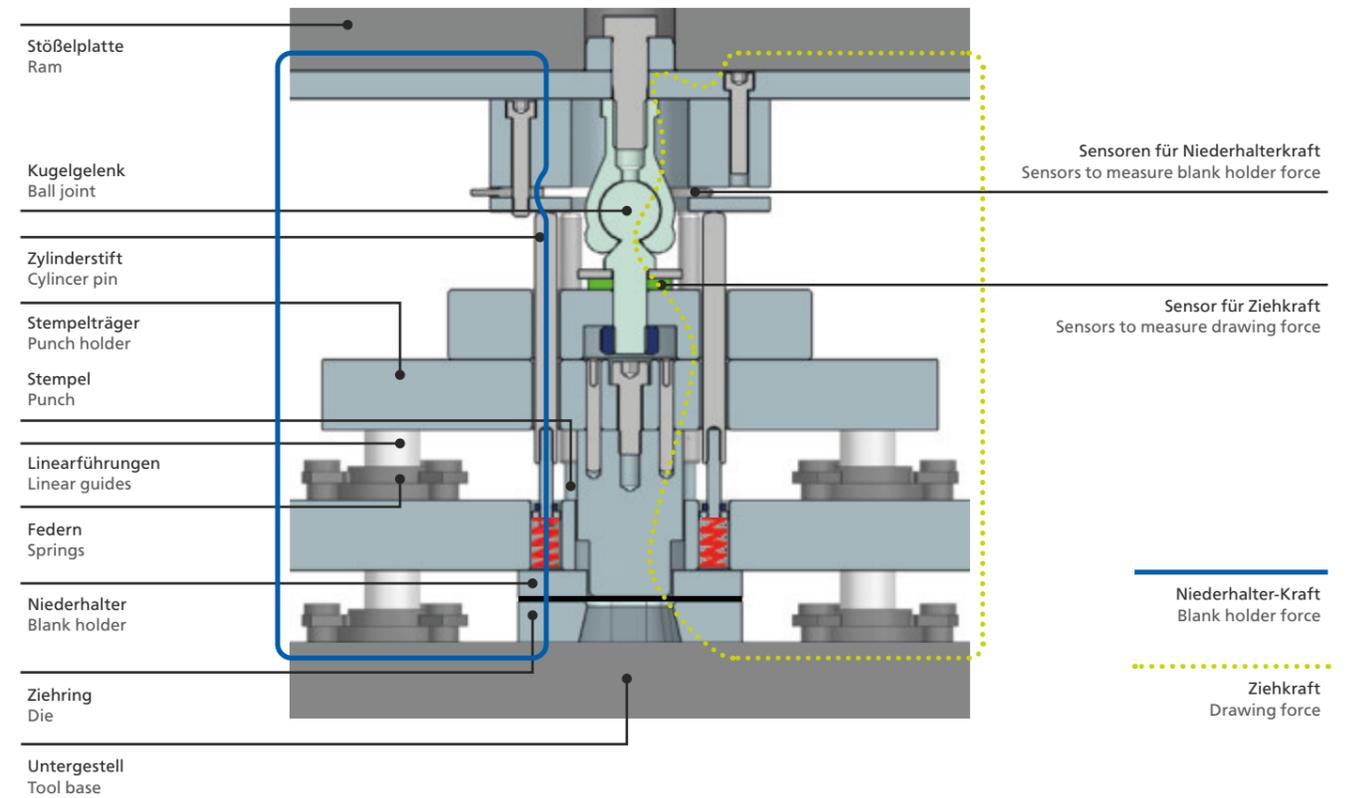


Abbildung: Funktionsprinzip eines Werkzeugs zur Anpassung der Niederhalterkraft mittels Stößelbewegung.  
Figure: Tool concept to apply local blank holder forces using the orbital ram movement.

Auch für die Studierenden der TU Darmstadt und der UNH bot sich im Rahmen einer internationalen Lehrveranstaltung die Möglichkeit erste Erfahrungen in der internationalen Projektarbeit zu sammeln.

Joint research projects between the “National Science Foundation” (NSF) and the “Deutsche Forschungsgemeinschaft” (DFG) were only made possible a couple of years ago. The PtU is also involved in this programme: Together with the American University of New Hampshire (UNH) as well as the Ohio State University (OSU), the possible enlargement of process windows for deep drawing by means of a 3D Servo Press is investigated. During this project, all participating universities benefit from the respective strengths of the other participants. While researchers at UNH and OSU characterize material properties and implement a numerical analysis, profound knowledge concerning machine and tool design is available at the PtU.

Through the close collaboration between the project partners, a novel tooling concept was commissioned and improved upon in various iterative steps. Using this new drawing tool, the additional degrees of freedom provided by the 3D Servo Press were successfully used to positively influence the

onset of wrinkling during the deep drawing process. This allowed the forming of larger blanks without unwanted wrinkling in comparison to the conventional deep drawing. Numerical simulations carried out at OSU suggest that a decreased drawing force might also be possible. This will be experimentally investigated in the following months. The results of this fruitful collaboration were presented at two conferences, where they sparked the interest of fellow scientists.

During two exchanges this year, the participating scientific staff had the opportunity to get to know the experimental set-ups and machines of the other project partner in detail. Jinjin Ha (OSU) visited the Technical University of Darmstadt in January 2019 to get a better impression of the 3D servo press, which is essential for an accurate numeric model. Alexander Breunig (PtU) had the opportunity to personally get to know the test setup for acoustic emission testing at UNH in June and discuss the first results. This showed that personal visits are indispensable, especially in complex situations.

Students from TU Darmstadt and UNH had the chance to gain firsthand experience in international projects during an international collaboration class between the two universities.

## International Cold Forging Group (ICFG) – Benchmark Test der Subgroup Lubrication

## International Cold Forging Group (ICFG) – Benchmark Test of the Subgroup Lubrication



Wilhelm Schmidt, M. Sc.  
+49 6151 16 231 88  
schmidt@ptu.tu-darmstadt.de

Weltweit existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Anlagen zur Reibungswertbestimmung. Diese Tribometer basieren auf verschiedenen Testaufbauten, was zur Folge hat, dass die daraus resultierenden Reibwerte bisher nicht vergleichbar sind. Die Subgroup Lubrication der International Cold Forging Group (ICFG) konnte jedoch zusammen mit Instituten der University of Valenciennes and Hainaut Cambrésis (Frankreich), Technical University of Denmark (Dänemark), Shizuoka University (Japan), Shanghai Jiao Tong University (China) und dem Nagoya Institute of Technology (Japan) einen Benchmark der Anlagen durchführen. Proben, Schmierstoff und Werkzeuge wurden von einem internationalen Industriekonsortium bereitgestellt. Somit konnte sichergestellt werden, dass dieselben Ausgangsparameter für alle Versuche galten. Unter Betrachtung verschiedener Prozessparameter gelang es, die Vergleichbarkeit der Tribometer nachzuweisen.

Derzeit wird die Übertragbarkeit der bereits gewonnenen Erkenntnisse auf neue, umweltfreundliche Schmierstoffsysteme überprüft. Hierbei sind neben den Instituten Schmierstoffhersteller aus Europa und Asien in das Projekt integriert. Das Institut PtU bedankt sich im Namen der ICFG Subgroup Lubrication herzlich bei allen Beteiligten.

The determination of friction values is realized by a variety of different systems worldwide. These tribometers are based on various test setups, resulting in friction values that were not previously comparable. Within the framework of the International Cold Forging Group (ICFG), the Subgroup Lubrication, together with institutes from the University of Valenciennes and Hainaut Cambrésis (France), the Technical University of Denmark (Denmark), Shizuoka University (Japan), Shanghai Jiao Tong University (China) and the Nagoya Institute of Technology (Japan), were able to carry out a benchmarking of the tribometers. Specimens, lubricants and tools were provided by an international industrial consortium. This ensured that the same initial parameters were available for all participants. By considering different process parameters, it was possible to compare the different test set-ups.

The transferability of the already attained knowledge towards new, environmentally friendly lubricant systems is currently being examined. In addition to the institutes, lubricant manufacturers from Europe and Asia are deeply integrated into the project. On behalf of ICFG Subgroup Lubrication, the Institute PtU would like to thank all partners involved.



Abbildung: Teilnehmer des Plenary Meetings 2019  
Figure: Participants of the Plenary Meeting 2019



Erst bin ich voll auf Tribologie ausgerutscht, dabei wollten sich die Walzen profilieren und in Verbundbauweise auf mich losgehen, und dann wurden mir beim Prozess Ketten angelegt.

First I slipped completely on Tribology, I saw my Flow Splitting into Smart Structures and during my Process, Chains were put on my feet.

### Abteilung Walz- und Spaltprofilieren Department of Roll Forming and Flow Splitting

44 Highlight 1: Intelligente Profilierprozesse durch Überwachung von Antriebsmomenten  
Highlight 1: Intelligent roll forming processes through monitoring of drive torques

46 Highlight 2: Flexibles Rollsticken: Herstellung offener und geschlossener Profile mit veränderlichem Querschnitt  
Highlight 2: Flexible roller beading: Manufacturing of open and closed sheet metal profiles with varying cross-sections

### Abteilung Tribologie Department of Tribology

50 Highlight 1: Auslegung von Profilwalzprozessen  
Highlight 1: Design of profile rolling processes

52 Highlight 2: RoboWeb – Robotergestützter Werkzeugbau  
Highlight 2: RoboWeb – Robot-based toolmaking

### Abteilung Prozessketten und Anlagen Department of Process Chains and Forming Units

56 Highlight 1: Entwicklung einer „top-down“ Herstellungsrouten für Nd-Fe-B Magnete  
Highlight 1: Development of a “top-down” production route for Nd-Fe-B magnets

58 Highlight 2: WarmAp – Warmumformen von Aluminiumblechen  
Highlight 2: WarmAp – Hot Forming of Aluminium Sheets

### Abteilung Funktions- und Verbundbauweise Department of Smart Structures

62 Highlight 1: Neuartige, energieeffiziente, geschlossene Dehnstoffaktoren mit hoher Kraftwirkung  
Highlight 1: Novel, energy-efficient, closed stretch material actuators with high force effect

64 Highlight 2: Kollisionsschweißen  
Highlight 2: Collision Welding

Seit mehreren Jahrzehnten zählt die Forschung auf dem Gebiet des Walzprofilierens zu den Kernkompetenzen des PtU. Heute stehen dem Institut zwei Profilerstraßen zur Verfügung, auf denen neben konventionellen Gerüsten eine Vielzahl an Eigenentwicklungen zum Einsatz kommt. Hierzu zählen Spaltprofilier- und flexible Walzprofiliergerüste sowie eine Versuchsanlage zur Herstellung höhenveränderlicher Profile und Sicken. Die Walz- und Spaltprofilierabteilung beschäftigt sich sowohl mit der Konzeption und Konstruktion solcher Anlagen als auch mit der numerischen Abbildung und Prozessauslegung.

Aktuell beschäftigt sich die Abteilung mit folgenden Schwerpunkten: Flexibilisierung, Funktionsintegration während der Umformung, Blechverzweigung sowie die Erhöhung der Prozesseffizienz durch intelligente Sensorik.

**Flexibilisierung** – Flexible Profileranlagen ermöglichen die Herstellung von lastangepassten Leichtbauprofilen mit veränderlichem Querschnitt über der Längsachse. Dies umfasst sowohl breitenveränderliche Profile, wie sie derzeit in der Automobilindustrie und im Bauwesen zum Einsatz kommen, als auch die Fertigung von Profilen mit höhenveränderlichen Querschnitten.

**Funktionsintegration** – Durch den sequentiellen Aufbau bieten Profileranlagen optimale Voraussetzungen für die Integration weiterer Fertigungsoperationen in den Umformprozess. Ein Projekt beschäftigt sich dabei mit der Integration der Wärmebehandlung hochfester Aluminiumlegierungen innerhalb des Profilerprozesses.

**Blechverzweigung** – Blechverzweigungen spielen im konstruktiven Leichtbau eine wichtige Rolle. Beispielsweise in der Luftfahrt oder dem Karosseriebau ermöglichen sie eine signifikante Steigerung der Belastbarkeit bei nahezu gleichbleibender Masse. Im Rahmen mehrerer Forschungsarbeiten wird die Erzeugung und Weiterverarbeitung von verzweigten Blechen untersucht. Hierbei sind besonders die selbst entwickelten Prozesse des Spaltprofilierens und Spaltbiegens zu nennen.

**Prozesseffizienz** – Im Rahmen der zunehmenden Digitalisierung innerhalb industrieller Fertigungsprozesse beschäftigt sich die Abteilung Walz- und Spaltprofilieren mit der Integration intelligenter Sensorik in den Walzprofilierprozess. Ziel ist die Optimierung der Antriebsmomente zur Erhöhung der Energieeffizienz.

Research in the field of roll forming has been one of the main topics at the PtU for several decades. Today, the institute is equipped with two roll forming lines with more than 30 stands. In addition to conventional roll forming, a variety of self-developed processes are investigated, such as linear flow and bend splitting, flexible roll forming and flexible roller beading. The Department of Roll Forming and Flow Splitting is concerned with the development of forming stands and the equipment, complemented by numerical investigations and the design of the process.

Current research focuses on four areas: flexibility, introducing additional functionality into the component, sheet metal bifurcations as well as an increased process efficiency through the use of intelligent sensors.

**Flexibility** – Roll formed products are largely used as structural components and therefore are subject to lightweight design. By using flexible forming stands, lightweight profiles with variable cross sections over the profile length can be produced. This includes profiles with varying width, which are currently used in the automotive and building industry as well as profiles with variable height.

**Integration of functionality** – Due to their sequential arrangement, roll forming lines offer optimal conditions for integrating other manufacturing operations. Within one project the integration of heat treatment of high strength aluminium alloys into the roll forming process is researched.

**Process efficiency** – Within the frame of the advancing digitalization within manufacturing processes the Department of Roll Forming and Flow Splitting investigates the integration of intelligent sensors into the roll forming line. The research focuses on optimizing the driving torque with the aim to increase energy efficiency.

#### Übersicht über die laufenden und im Jahr 2019 abgeschlossenen Projekte:

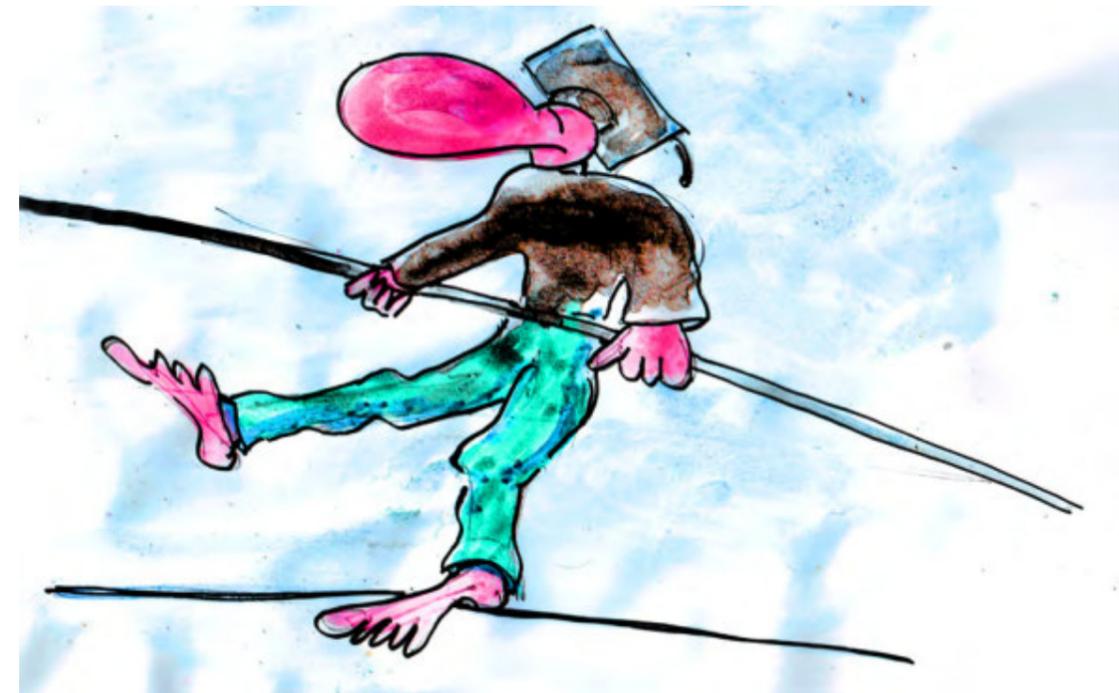
1. Intelligente Profilerprozesse durch Überwachung von Antriebsmomenten (AiF - ZIM)
  2. Flächentragwerke aus gekrümmten Sandwichelementen (AiF - Fosta)
- ALLEGRO – Hochleistungskomponenten aus Aluminiumlegierungen durch ressourcenoptimierte Prozesstechnologien (LOEWE – Hessen Agentur)

#### Overview of ongoing and completed projects in 2019:

1. Intelligent roll forming processes by monitoring driving torques (AiF - ZIM)
2. Shell structures made of curved sandwich panels (AiF - Fosta)
3. ALLEGRO – High-performance components made of aluminum alloys through resource-optimized process technologies (LOEWE – Hessen Agentur)



Tianbo Wang, M. Sc.  
+49 6151 16 23047  
wang@ptu.tu-darmstadt.de



## Intelligente Profilierprozesse durch Überwachung von Antriebsmomenten

### Intelligent roll forming processes through monitoring of drive torques



**Motivation** – In Zeiten des Klimawandels wird weltweit eine effiziente Nutzung von Energie angestrebt. Der Industriesektor ist für mehr als die Hälfte des globalen Energieverbrauchs verantwortlich. Ein großer Anteil der jährlichen Stahlproduktion wird mittels Walzprofilieren weiterverarbeitet. Zusätzlich zum Umformvorgang wird das Blech bei diesem Prozess durch den Reibschluss mit den Rollenwerkzeugen angetrieben. Da der Durchmesser der Ober- und Unterrolle in der Kontaktzone mit dem Blech variiert, weicht die Umfangsgeschwindigkeit lokal von der Blechgeschwindigkeit ab. Infolgedessen wird das Blech innerhalb des Profiliergerüsts stellenweise abgebremst.

**Zielsetzung** – Der Kern des Forschungsvorhabens ist eine Energieeffizienzsteigerung durch Eliminierung von abbremsenden Drehmomenten. Um den Energiebedarf zu analysieren, ist eine sensorische Überwachung des Profilierprozesses notwendig (Abb. 1). Abbremsende Rollen(-segmente) sollen detektiert und Maßnahmen zur Optimierung erforscht werden. Die Ergebnisse sollen softwaretechnisch in die Anlagensteuerung implementiert werden, um aktuelle Prozesszustände in Echtzeit darzustellen und vorhandenes Optimierungspotential aufzuzeigen.

**Lösungsweg** – Für die In-line-Überwachung der Drehmomente wird mit dem Projektpartner eine Profieranlage entwickelt, welche mit sensorischen Antriebswellen ausgestattet ist. Neben der Auskuppelung vollständiger Profiliergerüste werden lokale Maßnahmen wie drehbare Rollen-segmente, Änderungen der Walzspaltzustellung, gezielter Schmiermittelauftrag, Aufrauung oder Einglättung von Rollensegmenten sowie Anpassungen der Übersetzung untersucht. Der Aufbau eines numerischen Simulationsmodells ermöglicht sowohl die Analyse unterschiedlicher Rollen-geometrien als auch eine gezielte Beeinflussung des tribologischen Systems.

**Danksagung** – Für die Unterstützung im Rahmen des Projekts dankt das PtU der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) sowie dem Projektpartner DREISTERN GmbH & Co. KG.

**Motivation** – In times of climate change, efficient use of energy is a global objective. The industrial sector accounts for more than half of the energy consumption worldwide. A large part of the annual steel production is processed by roll forming. In this process, the sheet metal is conveyed through the forming line by frictional contact with the roller tools. Since the diameter of the upper and lower rollers varies in the contact zone with the sheet, the peripheral speed differs locally from the sheet speed. As a result, the sheet is decelerated locally within the forming stand.

**Objective** – The research project focuses on increasing energy efficiency by eliminating decelerating torques. In order to analyze the energy demand, a sensory monitoring of the profiling process is necessary (Fig. 1). The obtained data will be used to investigate optimization methods. An implementation of the results into the control system is planned to display real-time process states as well as identified optimization potential.

**Approach** – In cooperation with the project partner, an intelligent roll forming line will be developed. Each shaft will be equipped with a sensor for an inline monitoring of drive torques. In addition to uncoupling complete roll forming stands, local measures such as rotating roll segments, modifications of forming gaps, controlled lubricant application, roughening or smoothing of certain roll segments and gear ratio adjustments are investigated. Building a numerical simulation model allows the investigation of different roll geometries as well as a systematic adjustment of the tribological system.

**Acknowledgement** – The PtU would like to thank the “Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen ‘Otto von Guericke’ e.V. (AiF)” and the project partner DREISTERN GmbH & Co. KG. for their support.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

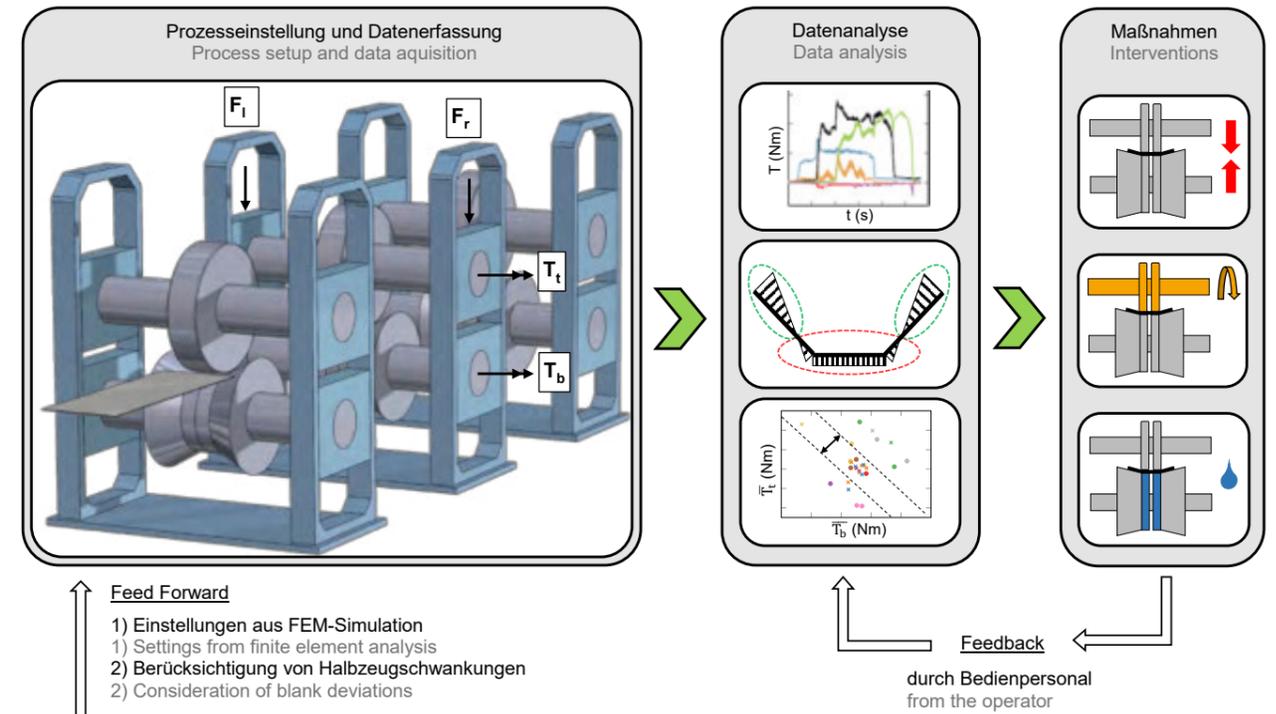


Abbildung 1: Konzept zur Energieeffizienzsteigerung beim Walzprofilieren mittels Prozessüberwachung  
Figure 1: Concept for increasing energy efficiency during roll forming through process monitoring

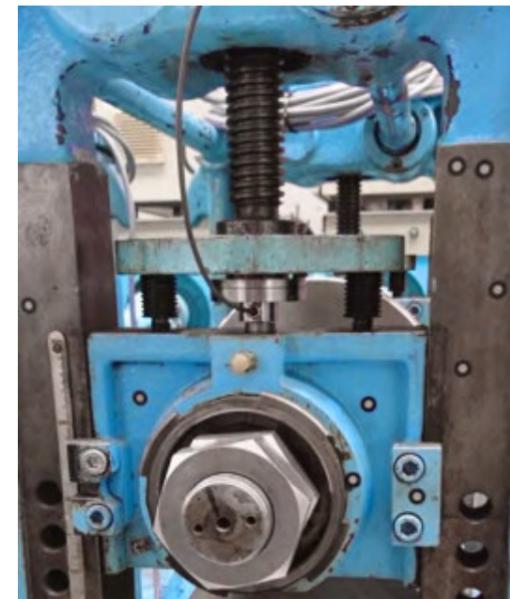


Abbildung 2: Beidseitige Kraftmessung von  $F_l$  und  $F_r$  im Profiliergerüst  
Figure 2: Force measurement of  $F_l$  and  $F_r$  on both sides of the roll forming stand



Abbildung 3: Lokale Drehmomentmessung von  $T_t$  und  $T_b$  mit sensorischen Passfedern  
Figure 3: Local torque measurement of  $T_t$  and  $T_b$  using sensory feather keys

## Flexibles Rollsicken: Herstellung offener und geschlossener Profile mit veränderlichem Querschnitt

### Manufacturing of open and closed sheet metal profiles with varying cross-sections



Tianbo Wang, M. Sc.  
+49 6151 16 23047  
wang@ptu.tu-darmstadt.de

**Motivation** – Stetig abnehmende Produktlebenszyklen bei gleichzeitig steigendem ökologischem Bewusstsein in der industriellen Produktion motivieren den Trend zur Industrie 4.0. Mit dem Wandel von der konventionellen Massenproduktion hin zur seriellen Maßanfertigung gehen neue technologische Problemstellungen einher. Eine Herausforderung stellt die Herstellung verschiedener Produktvarianten an einer Fertigungsanlage bei möglichst kurzen Rüstzeiten dar. Dies lässt sich durch die Entwicklung und den Einsatz flexibler Fertigungsverfahren umsetzen. Gleichzeitig ermöglichen flexible Fertigungstechnologien eine effiziente Materialausnutzung durch Realisierung belastungsangepasster Bauteile.

**Zielsetzung** – Aktuelle Forschungsprojekte des PtU beschäftigen sich mit der Entwicklung eines Prozesses zur inkrementellen Fertigung von belastungsangepassten Profilen mit höhenveränderlichem Querschnitt. Darüber hinaus kann das Verfahren genutzt werden, um flexible Sicken einzubringen, die als Materialspeicher in nachgeschalteten Umformprozessen dienen. Durch das Einbringen der Sicken in Folgeprozessen können die Prozessgrenzen durch das zusätzliche Material lokal erweitert werden. Beim Innenhochdruckumformen können dadurch Rohre mit veränderlichem Querschnitt und gleichbleibender Wandstärke realisiert werden.

**Lösungsweg** – Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurde das Verfahren „Flexibles Rollsicken“ und eine Versuchsanlage entwickelt. Dadurch lassen sich höhenveränderliche Profile und Sicken umformtechnisch herstellen. Anhand numerischer und experimenteller Untersuchungen wurde ein tiefgehendes Prozessverständnis erarbeitet und vorliegende Spannungs- und Dehnungszustände sowie die Grenzen des Verfahrens untersucht. Im nächsten Schritt wird der Fokus auf die Nutzung flexibler Sicken in Folgeprozessen gelegt. Für die Herstellung geschlossener Profile mit veränderlichem Querschnitt durch die dargestellte Prozesskette werden das Formänderungsvermögen und die Versagensgrenzen numerisch und experimentell untersucht.

**Danksagung** – Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Unterstützung und Förderung dieses Projekts.

**Motivation** – Steadily decreasing product life cycles and simultaneously increasing ecological awareness in industrial production are motivating the trend of Industry 4.0. The change from conventional mass production to mass customization involves new technological challenges. One challenge is the production of different product variants on one manufacturing system with short set-up times. This can be achieved through the development and use of flexible manufacturing processes. At the same time, flexible production technologies enable efficient material utilization by realizing load-adapted components.

**Objective** – Current research at PtU is concerned with the development of a process for the incremental production of load-adapted profiles with height-variable cross-sections. In addition, the method can be used to produce flexible beads, which serve as material buffers in downstream forming processes. By leveling the beads in subsequent processes, the process limits can be locally expanded due to the additional material. For example in hydroforming, tubes with variable cross-sections can be realized while maintaining constant wall thickness.

**Approach** – As part of the research, the process "flexible roller beading" and a test facility were developed. Thus, height-adjustable profiles and beads can be produced. On the basis of numerical and experimental investigations, a profound understanding of the process was developed and existing states of stress and strain as well as the limits of the process were investigated. In the next step, the focus will be on the use of flexible beads in subsequent processes. For the production of closed profiles with variable cross-section through the shown process chain, the deformability and the failure limits are examined numerically and experimentally.

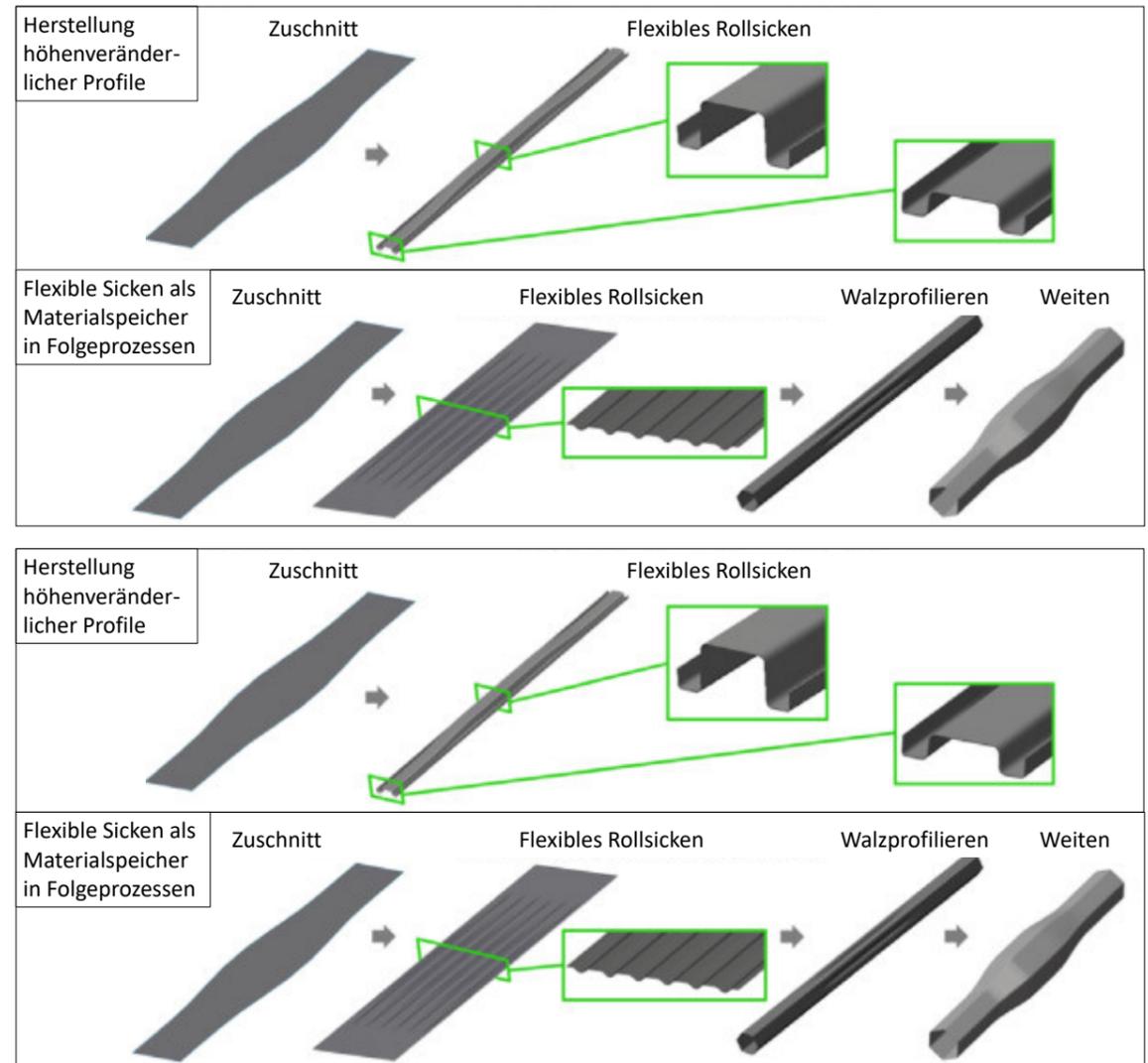


Abbildung: Prozessketten zur Herstellung offener und geschlossener Profile mit variablem Querschnitt  
Figure: Process chains for the manufacturing of open and closed profiles with variable cross-sections



**Acknowledgement** – We would like to thank the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) for supporting and funding this project.



Foto: Profil mit höhenveränderlichem Querschnittverlauf  
Photo: Sheet metal profile with height-varying cross-sections

**Bedeutung der Tribologie** – Die Untersuchung der Tribologie in Blech- und Massivumformprozessen, mit den Teilgebieten Reibung, Schmierung und Verschleiß, ist ein fester Bestandteil der Forschung und Entwicklung am PtU. Dabei stehen sowohl Grundlagenuntersuchungen als auch die Übertragung der hierbei gewonnenen Erkenntnisse auf anwendungsbezogene Fragestellungen im Vordergrund. Zu den betrachteten Umformverfahren gehören unter anderem das Tief- und Streckziehen sowie unterschiedliche Verfahren der Kaltmassivumformung.

**Optimierungsmaßnahmen tribologischer Systeme** – Für eine tribologische Prozessoptimierung ist es wesentlich, möglichst optimale Lastverhältnisse in der Kontaktzone zwischen Werkstück und Werkzeug einzustellen. 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. Das verbesserte Verständnis der Wirkzusammenhänge erlaubt so zum Beispiel die Substitution konventioneller, umweltschädlicher Schmiermittelsysteme durch neuartige Einschichtschmierstoffsysteme.

Insbesondere den Oberflächen von Werkzeug und Werkstück kommt im Rahmen dieser Untersuchungen eine große Bedeutung zu. So dienen die Oberflächen der finalen Bauteile einerseits zur Erfüllung spezifischer funktionaler Eigenschaften, zum anderen beeinflussen sie die wirkenden Reibungsmechanismen in der Umformzone. Zur gezielten Auslegung und Fertigung geeigneter Halb- und Werkzeuoberflächen bedarf es wiederum des Verständnisses der relevanten Wirkmechanismen in der Kontaktzone.

Die hergestellten Wirkzusammenhänge lassen sich in Reib- und Verschleißmodellen beschreiben, die neben der analytischen Beschreibung des Reibungs- und Verschleißverhaltens auch einen wertvollen Beitrag zur Steigerung der Vorhersagegüte der numerischen Simulation liefern können.

**Untersuchungsmethoden** – Die grundlegende empirische Untersuchung tribologischer Gegebenheiten der jeweiligen Umformprozesse erfordert die Abbildung der entsprechenden tribologischen Beanspruchungsprofile in Modellversuchen. Die Versuchsanordnungen am PtU weisen hierbei zum einen die erforderliche messtechnische Zugänglichkeit der Kontaktzone auf und zum anderen erlauben die Versuchsstände das definierte Einstellen einzelner tribologischer Größen. Beispiele für diese Tribometer zur Ermittlung der Reibungs- und Verschleißverhältnisse stellen der Streifenziehversuch für Prozesse der Blechumformung

sowie die Gleitstauchanlage für Prozesse der Massivumformung dar. Zusätzlich zu diesen experimentellen Untersuchungsmethoden findet die Finite-Elemente-Methode Anwendung, die eine Analyse der in der Umformzone vorliegenden Beanspruchungszustände bei definierten Umgebungsgrößen erlaubt.

**Importance of tribology** – Investigation of tribology in sheet and bulk metal forming, with its subsections of friction, lubrication, and wear, are an inherent part of research and development at the PtU. Fundamental investigations within this field of research as well as transfer of the hereby gained knowledge towards applied industrial challenges comprise the main activities. The examined forming processes include stretch- and deep drawing as well as different cold forming processes.

**Optimization measures for tribological systems** – To perform an efficient tribological process optimization, the contact loads need to be favorably adjusted. A prerequisite for this is the basic comprehension of interactions regarding friction and wear within the contact zone. Based on this understanding, measures to reduce friction and wear can be determined. These measurements encompass the entire tribological system, ranging from the semi-finished part to the lubricant as well as the tool. The improved understanding thereby allows, for example, the substitution of complex conventional multilayer lubricants through innovative single layer lubricants.

The surfaces of the tool and work piece are of particular importance in the field of forming tribology. On the one hand, these surfaces serve to uphold certain product functionalities, and on the other hand, these surfaces influence the frictional properties during forming. A systematic design and manufacturing of tool and work piece surfaces requires knowledge concerning the relevant interactions within the contact zone.

Finally, the detected dependencies and interactions can be described with the help of friction and wear models. Next to being used for analytic description of the evolution of wear and friction, these models provide a valuable basis for a precise numerical simulation.

**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 accessibility to measurement systems as well as the possibility to selectively adjust the tribological loads under laboratory conditions. Examples for the measurement of friction and wear are the strip drawing test for sheet metal forming applications

and the sliding compression test for cold forming operations. Finite element analysis is also used in addition to empirical research. This allows, for example, for an individual analysis of the influence of the tribological loads in the forming zone.

#### Übersicht über die laufenden und im Jahr 2019 abgeschlossenen Projekte:

1. Optimierung der Werkzeugnutzung in der Blechumformung (DFG, abgeschlossen in 2019) Verschleißuntersuchung und -vorhersage beim oszillierenden Verzahnungsdrücken (DFG, abgeschlossen in 2018)
2. Weiterentwicklung einer Reinigungs- und Beschichtungseinheit für die umweltfreundliche Verarbeitung von Halbzeugen und Ermittlung der Praxistauglichkeit bei der zinkphosphatfreien Kaltmassivumformung (DBU)
3. Net-Shape Verzahnungen aus hochfesten Stählen durch oszillierende Umformung (AiF)
4. WarmAp - Warmumformen von Aluminiumblechen für Hochleistungs-komponenten zukünftiger Mobilitätskonzepte (Hessen Agentur) WarmAp – Warmumformen von Aluminiumblechen für Hochleistungs-komponenten zukünftiger Mobilitätskonzepte (LOEWE – Hessen Agentur)
5. Tribologische Systeme für die Kaltmassivumformung rostfreier Stähle (AiF)
6. Funktionalisierung von a-C:H-Werkzeugbeschichtungen und Homogenisierung der Aluminiumpassivschicht für die schmiermittelfreie Aluminiumumformung (DFG – SPP 1676)
7. Gezielte Einstellung von Eigenspannungen während der Kaltmassivumformung (DFG – SPP 2013)
8. Oberflächenveränderung bei der Karosserieteilherstellung EfoS (Hessen Agentur)
9. Robotergestützter Werkzeugbau für modellgetreue Oberflächen (AiF)
10. Auslegung von Profilmalzprozessen (AiF, Start September 2019)

#### Overview of ongoing and completed projects in 2019:

1. Optimization of tool use in sheet metal forming (DFG, completed in 2019) Wear investigation and prediction in gear forming processes with oscillating ram movement (DFG, completed in 2018)
2. Development of an inline, zinc-phosphate free lubrication process for environmentally friendly lubrication of bar stock and investigation of the suitability for industrial use (DBU)
3. Net-shape gears made of high-strength steels by oscillating forming (AiF) Optimized tool utilization in sheet metal forming (DFG)
4. WarmAp – Hot forming of aluminum sheets for high performance components of future mobility concepts (LOEWE – Hessen Agentur)
5. Tribological systems for cold massive forming of stainless steels (AiF)
6. Functionalising of a-C:H tool coatings and homogenization of the aluminum passive layer for the dry forming of aluminum (DFG – SPP 1676)
7. Targeted manipulation of residual stresses during cold forging (DFG – SPP 2013)
8. EfoS: Surface changes in the production of car body parts (Hessen Agentur)
9. Robot Assisted Tool Making (AiF)
10. Design of profile rolling processes (AiF, start in September 2019)



Felix Flegler, M. Sc.  
+49 6151 16 233 12  
flegler@ptu.tu-darmstadt.de

## Auslegung von Profilwalzprozessen

### Design of profile rolling processes



Stefan Volz, M. Sc.

Wilhelm Schmidt, M. Sc.

+49 6151 16 231 88

✉ wilhelm.schmidt@ptu.tu-darmstadt.de

**Motivation** – Die fortschreitende Digitalisierung durchwirkt auch im Maschinenbau immer mehr Bereiche der Wertschöpfung. In der Kaltmassivumformung birgt dabei besonders die Nutzung der Finite-Elemente-Methode (FEM) im Auslegungsprozess ein hohes Potential aufgrund der häufig komplexen Prozessketten sowie hohen Werkzeugkosten. Während für viele Prozesse der Kaltmassivumformung die Nutzung der FEM im Auslegungs-

prozess bereits zum Stand der Technik gehört, beschränkt sich die FEM-Simulation des Profilwalzens aufgrund der äußerst herausfordernden Reib- und Kontaktmodellierung lediglich auf Machbarkeitsstudien und findet aktuell keine umfassende Anwendung im industriellen Umfeld. Die Entwicklung eines verifizierten und validierten Simulationsmodells im Rahmen des abgeschlossenen Forschungsprojekts IGF 18395 N stellt einen ersten großen Schritt zur Nutzung der FE-Methode in der Auslegung von Profilwalzprozessen dar, auf welchen im Projekt IGF 20722N aufgebaut werden kann.

**Zielsetzung** – Ziel des Projekts ist eine Verbesserung des Profilwalzprozesses hinsichtlich der Ausbringung und des Werkzeugverschleißes auf Basis numerisch gewonnener Daten. Neben der Werkzeugoptimierung bereits bestehender Profilwalzprozesse wird langfristig eine Erweiterung des Produktspektrums sowie eine Verwendung der FEM-Simulation im Auslegungsprozess selbst angestrebt.

**Lösungsweg** – Zu Beginn des Projekts werden mittels der FEM-Simulation die konstruktiven Optimierungsmöglichkeiten der Walzbacken identifiziert. Dabei wird aufgrund des erheblichen Einflusses des tribologischen Systems auf den Erfolg des Profilwalzprozesses besonderes Augenmerk auf die tribologischen Lasten gelegt. Auf Basis der so gewonnenen Erkenntnisse werden optimierte Walzbacken ausgewählt, gefertigt und deren Performance im industriellen Umfeld in Kooperation mit Projektpartnern untersucht. Die adaptierten Werkzeuge werden zusätzlich mithilfe hochauflö-

sender Abdrücke konfokalmikroskopisch auf deren Verschleißverhalten untersucht. Die Kombination der gewonnenen Erkenntnisse bildet die Basis für die angestrebte Walzwerkzeugoptimierung hinsichtlich Ausbringung und Verschleiß. Das langfristige Ziel der Erweiterung des Produktspektrums des Profilwalzens sowie der Etablierung der Nutzung der FEM-Simulation in der Prozessauslegung wird durch eine weiterführende Verbesserung der Reibmodellierung verfolgt. Aufgrund der starken Inhomogenität der tribologischen Lasten über der Kontaktfläche wird mithilfe von Subroutinen ein erweitertes Reibmodell in die Simulation implementiert. Die dafür notwendigen Reibkoeffizienten werden mithilfe des am PtU entwickelten Gleitstauchversuchs ermittelt.

**Danksagung** – Das PtU dankt der AiF, der German Cold Forging Group (GCFG) sowie den beteiligten Firmen für die Unterstützung bei der Durchführung des IGF Projektes Nummer 20722 N.

**Motivation** – The advancing digitalization also affects more and more areas of value added in mechanical engineering. In cold forging, especially the use of the finite element method (FEM) in the design process holds a high potential due to the often complex process chains and high tool costs. While for many processes of cold forging the use of the FEM in the design process is already state of the art, the FEM simulation of profile rolling is limited to feasibility studies. Due to the extremely challenging friction and contact modelling, it currently has no comprehensive application in the industrial environment. The development of a verified and validated simulation model within the framework of the completed research project IGF 18395 N represents a first major step towards the use of the FEM in the design of profile rolling processes, which can be increased in the project IGF 20722N.

**Objective** – The aim of the project is to improve the profile rolling process with regard to output and tool wear based on numerically obtained data. In addition to the tool optimization of already existing profile rolling processes, an extension of

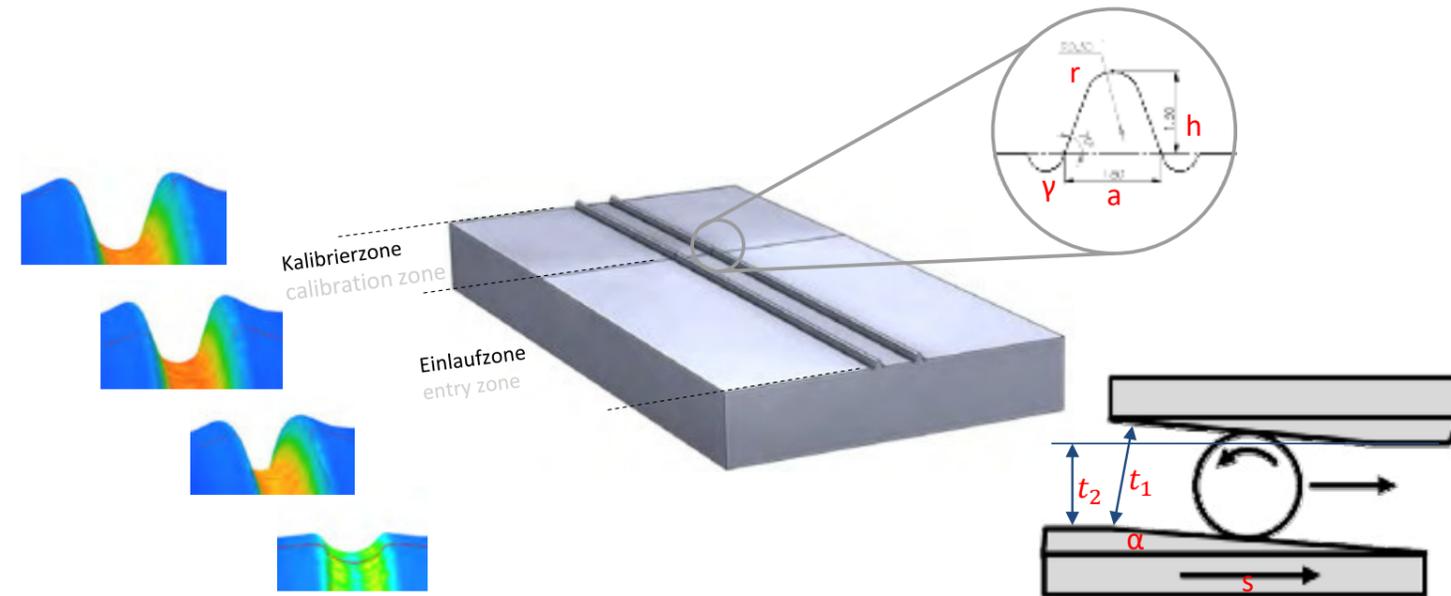


Abbildung: Geometrieparameter der Flachwalzbacken mit Detailansicht der Nutgeometrie und Verlauf der Nutaufbildung entlang der Umformung  
Figure: Geometry parameters of the flat-rolling dies with detailed view of the groove geometry and progression of the groove formation along the forming process

the product range as well as the use of the FEM simulation in the design process itself is aimed at in the long term.

**Solution** – At the beginning of the project, the FEM simulation will be used to identify the design optimization possibilities of the dies. Due to the considerable influence of the tribological system on the success of the profile rolling process, special attention will be paid to the tribological loads. Based on this knowledge, optimized dies are selected, manufactured and investigated concerning their performance in the industrial environment in cooperation with industrial project partners. In addition, the adapted tools are examined by confocal microscopy for their wear behavior using high-resolution polymer imprints.

The combination of the knowledge gained forms the basis for the targeted rolling tool optimization regarding output and tool wear. The long-term goal of expanding the product spectrum of profile rolling and establishing the use of FEM simulation in process design will be pursued by further improving the friction modelling. Due to the strong inhomogeneity of the tribological loads over the contact surface, a more advanced friction model is implemented in the simulation with the help of subroutines. The friction coefficients required for this are determined with the help of the sliding compression test developed at the PtU.

**Acknowledgment** – The PtU would like to thank the AiF, the German Cold Forging Group (GCFG) and the participating companies for their support in implementing the IGF project no. 20722 N.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



## RoboWeb – Robotergestützter Werkzeugbau

### RoboWeb – Robot-based toolmaking



Peter Sticht, M. Sc.  
 +49 6151 16 231 79  
 sticht@ptu.tu-darmstadt.de

**Motivation** – In Zeiten hochautomatisierter Prozesse in der industriellen Fertigung werden immer höhere Anforderungen an die Wiederholgenauigkeit und Sicherheit einzelner Prozessschritte gestellt. Es gibt derzeit jedoch noch einige Ausnahmen, bei denen ein hoher Grad an Automatisierung aus Sicht der Unternehmen noch keine signifikante Verbesserung gegenüber der derzeitigen Situation bietet. Einer dieser Bereiche ist der Werkzeugbau zur Herstellung von Umformwerkzeugen in der in Deutschland als besonders wichtig geltenden blechverarbeitenden Automobil- und Zulieferindustrie. Besonders bei der Fertigung von Umformwerkzeugen für die Außenhaut stehen der Automatisierung hohe Anforderungen an die Qualität der Bauteile entgegen, da die Prozesse und Verfahren zum Erreichen der angestrebten Güte bislang nur durch aufwändige manuelle Nacharbeit der Oberflächen erreichbar sind. Durch roboterbasiertes Spanen mit maschinellem Oberflächenhämmern zum Finish der Oberfläche kann die Prozesskette automatisiert und optimiert werden. Beiden technologischen Möglichkeiten stehen bislang Vorbehalte seitens der Anwender entgegen, die beispielsweise in der erreichbaren Genauigkeit der Robotersysteme in der Fräsbearbeitung begründet sind.

**Zielsetzung** – Ziel des Projekts ist die Realisierung und Bewertung einer automatisierten Prozessket-

te zur Herstellung von Umformwerkzeugen in der Blechumformung unter Zuhilfenahme von Industrierobotern mittels der Kombination von robotergestützter Zerspanung und robotergestütztem, maschinellen Oberflächenhämmern und eines automatisierten Tryout-Prozesses. Hierfür ist der Abgleich der simulierten mit den realen Bauteilgeometrien unerlässlich und Werkzeuge sowie Produkte müssen digitalisiert werden (Bild 1). Dies ermöglicht es erstmals den Prozess der Werkzeugherstellung ganzheitlich zu betrachten und somit Daten auch für spätere Reparaturen und Revisionen bzw. Geometrieänderungen bereitzustellen.

**Lösungsweg** – Zu Projektbeginn gilt es zunächst den aktuell in der Industrie der Blechumformung geltenden Anforderungen an die Werkzeuge und die Einflussfaktoren auf die Bauteilgüte in prozessabbildenden Simulationen zu identifizieren. Hierzu werden in die Simulationswerkzeuge bewusst „Fehler“ wie Geometrieabweichungen, Welligkeiten und Rauheiten eingebracht und die resultierende Produktgeometrie analysiert. Die erstmalige vollumfängliche Abbildung der Prozesskette zur Herstellung von Umformwerkzeugen vom Rohteil bis zum Produktionsprozess ist durch die Kooperation der Institute PTW und PtU möglich. In Bild 2 wird verdeutlicht, wie die Zusammenarbeit der beiden Institute im vorgestellten Projekt struk-

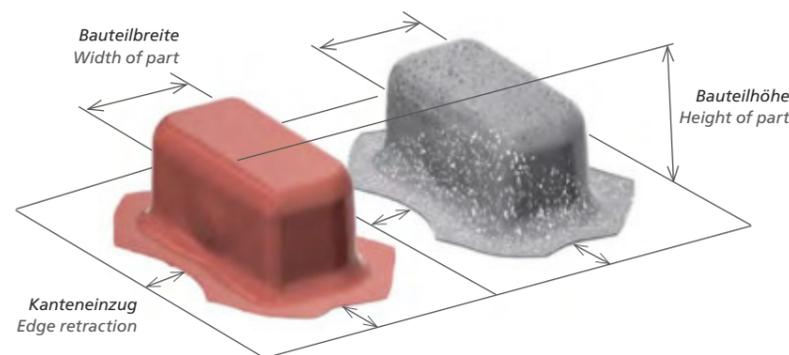


Abbildung: Vergleich zwischen simuliertem (links) und digitalisiertem Realbauteil (rechts)  
 Figure: Digital comparison of simulated (left) and 3D-measured real part (right)

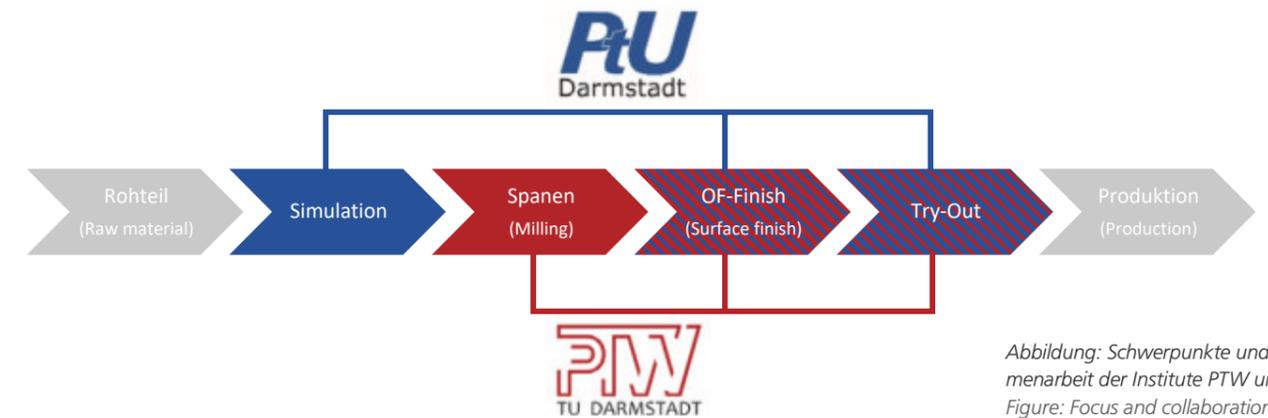


Abbildung: Schwerpunkte und Zusammenarbeit der Institute PTW und PtU  
 Figure: Focus and collaboration of the institutes PTW and PtU

turiert ist. Im weiteren Verlauf des Projekts wird durch iteratives Vorgehen die Oberflächenfein-gestalt nach der spanenden Bearbeitung und der Oberflächennachbehandlung charakterisiert und optimiert. Aufgrund des nachfolgenden, mittels digitaler Bildverarbeitung automatisierten Tryouts steht am Ende des Prozesses ein Werkzeug, bei dem jeder Fertigungsschritt nachvollziehbar ist. Abschluss des Projekts bildet die Anwendung der Erkenntnisse auf ein Realwerkzeug der beteiligten Industriepartner.

**Danksagung** – Das PtU dankt der EFB sowie dem Partnerinstitut PTW und den beteiligten Firmen für die Unterstützung bei der Durchführung des Projektes.

**Motivation** – In times of highly automated processes and work steps in industrial production, ever higher demands are put onto the accuracy and reliability of individual process steps. However, there are still a few exceptions where a high degree of automation does not offer a significant improvement over the current situation from the industry perspective. One of these areas is the toolmaking for the manufacturing of forming tools in the automotive and supplier industries, which are regarded as particularly important in Germany. Especially in the production of forming tools for skin parts, automation is opposed by high demands on the quality of the tools, since the processes and procedures to achieve the desired quality can only be achieved by extensive manual reworking of the surfaces. The process chain can be automated and optimized by robot-based machining with machine hammer peening to finish the surface. Both technological possibilities have so far been hindered by reservations on the part of users, which are based, for example, on the achievable accuracy of robot systems in milling.

**Objective** – The aim of the project is the realization and evaluation of an automated process chain for the production of forming tools in sheet metal forming with the aid of industrial robots by combining robot-supported machining and robot-sup-

ported machine hammer peening and an automated tryout process. For this reason, the comparison of the simulated with the real component geometries is indispensable and tools and products must be digitized (Figure 1). For the first time, this makes it possible to take a holistic view of the tool manufacturing process and thus provide data for subsequent repairs and revisions or geometry changes.

**Solution** – At the beginning of the project, the current requirements of the sheet metal forming industry for the tools and the influencing factors on the component quality have to be identified in numerical process simulations. For this purpose, "errors" such as geometrical deviations, waviness and roughness are deliberately introduced into the simulation tools and the resulting product geometry is analyzed. The first complete mapping of the process chain for the manufacture of forming tools from the blank to the production process is possible through the interaction of the institutes PTW and PtU. Figure 2 illustrates how the cooperation between the two institutes is structured in the presented project. In the further course of the project, the surface quality after machining and surface posttreatment will be characterized and optimized by an iterative procedure. Due to the subsequent tryout process automated by digital image processing, tools should be available that can be integrated into the production process without any incomprehensible manufacturing steps. The project concludes with the application of the findings to a real tool of the industrial partners involved.

**Acknowledgment** – The PtU would like to thank the EFB, the partner institute PTW and the participating companies for their support in implementing the project.



Die Schwerpunkte der Abteilung Prozessketten und Anlagen liegen in der Entwicklung, Digitalisierung und Regelung von neuartigen Umformprozessen und -anlagen sowie deren wirtschaftlichen und technischen Optimierung.

**Digitalisierung** – Die Digitalisierung eröffnet neue Horizonte für die Automatisierung durch erweiterte Steuerungsansätze und spannt ein interdisziplinäres Handlungsfeld auf. Innovative Entwicklungen basieren auf der Integration von Sensoren zur Überwachung sowie von Aktoren zur Beeinflussung der Umformprozesse. Hierdurch gewonnene Daten können mithilfe von Prozess- und Anlagen-Know-How interpretiert werden und dienen der Überwachung der Produktion. In diesem Zusammenhang bilden sie auch die Basis für die Echtzeit-Vernetzung einzelner Produktionssysteme und die Generierung von cyberphysischen Systemen. Dies ermöglicht zum einen, aus den Produktionsdaten zu lernen und Optimierungsmöglichkeiten schneller zu identifizieren. Zum anderen entstehen neue serviceorientierte Geschäftsmodelle, welche auf die Vereinfachung der Wertschöpfungskette, Optimierung des Ressourceneinsatzes und Prognosen wie dem Maschinen- oder Werkzeugzustand abzielen.

Ein Forschungsschwerpunkt hierzu sind automatisierte Umformprozesse, welche in Form von Regelkreisen selbständig und in Echtzeit auf die aktuelle Produktqualität reagieren und langfristig lernen, diese auch unter Prozessschwankungen unter Kontrolle zu behalten. Oft ist bereits eine spezifische Produkteigenschaft entscheidend. Dabei ist die große Herausforderung, dass viele Produkteigenschaften erst nach mechanischer und thermischer Relaxation messbar sind. Daher werden modellbasierte Regler in Kombination mit lernenden Steuerungen eingesetzt, um Schwankungen in der Produktion zu erkennen, zu kompensieren und damit die Produktqualität sicherzustellen.

**Entwicklung neuer Maschinenkonzepte und Prozesse** – Aufgrund absatz- sowie beschaffungsmarktseitiger Schwankungen sind flexible Produktionssysteme gefordert, welche eine rasche Adaption von Anlagen und Prozessen ermöglichen. Aktuelle Entwicklungen zielen auf Systeme ab, die sich beispielsweise an Materialschwankungen oder veränderliche Produkteigenschaften und -mengen anpassen können. Wegweisende Entwicklungen wurden am PtU durch die Einführung der 3D-Servo-Pressen mit einer frei programmierbaren 3D-Bewegung des Stößels erbracht, welche durch den Einsatz kombinierter Wälz-Gleitlager eine hochpräzise Bewegung durchführen kann. Eine Maschinenregelung ermöglicht zudem eine präzise Regelung der Stößelbewegung sowie die

Reaktion auf schwankende Bauteileigenschaften während der Umformung. Ein weiterer Schwerpunkt in diesem Bereich liegt in der Entwicklung einer Prozesskette zur Herstellung von zum einen ultra-feinkörniger und zum anderen seltenerdfreier magnetischer Proben in einem kontinuierlichen Prozess. Dabei wird beispielsweise ein nanokristalliner Vorkörper mit hoher Koerzitivfeldstärke erzeugt und nachgelagert eine Textur im Material realisiert.

The department of Process Chains and Forming Units focuses on the development, digitization and control of innovative forming processes and machines as well as their economic and technical optimization.

**Digitization** – Digitalization opens up new horizons for automation through extended control approaches and covers an interdisciplinary field of action. Innovative developments base on the integration of sensors for monitoring and actuators for influencing the forming processes. Data acquired in this way can be interpreted with the aid of process and plant know-how and serve to monitor the production. In this context, they also form the basis for real-time integration of individual production systems and the generation of cyberphysical systems. On the one hand, this enables learning from production data and faster identifying optimization opportunities. On the other hand, new service-oriented business models are being developed. They aim to reduce the complexity of the value chain, optimize the resource usage and predict the condition of machines or tools.

One research focus is on automated forming processes, which react independently and in real-time to the actual product quality by means of closed-loop control systems and learn in the long term. Often one specific product property is decisive. The great challenge is that many product properties can only be measured after mechanical and thermal relaxation. Model-based controllers are therefore used in combination with learning controllers to detect and compensate for fluctuations in production and thus ensure product quality.

**Development of new machine concepts** – Due to fluctuations in the sales and the procurement market, the demand for flexible production systems has risen remarkably. Current developments aim at systems which are able to adapt to material fluctuations or varying product properties and quantities. A pioneering achievement has been obtained at PtU by the development of the 3D Servo Press which allows a free programmable 3D movement of the ram which can perform a high-precision

motion by using combined roller-plain bearings. A closed-loop machine control also enables precise control of the ram motion and reaction to varying part properties during forming. Another focus in this area is the design of a process chain for the production of ultra-fine grain and rare earth-free magnetic samples in a continuous process. For example, a nanocrystalline preform with high coercive field strength is produced and a texture is subsequently realized in the material.

**Übersicht über die laufenden und im Jahr 2019 abgeschlossenen Projekte:**

1. Umformen – Produktionsfamilien bei gleich bleibender Qualität, SFB 805 – Beherrschung von Unsicherheit in lasttragenden Systemen des Maschinenbaus, Teilprojekte B2 (DFG)
2. LOEWE-Schwerpunkt RESPONSE (Ressourcenschonende Permanentmagnete durch optimierte Nutzung seltener Erden) Teilprojekt: Neue Syntheseverfahren top-down (abgeschlossen in 2018)
3. Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum Darmstadt (BMWi)
4. Zustandsbeeinflussung von Wälz-Gleitlagerungen, SFB 805 – Beherrschung von Unsicherheit in lasttragenden Systemen des Maschinenbaus, Transferprojekt T6 (DFG)
5. BMBF Verbundprojekt IdentiTI zu nanostrukturierte Titanlegierungen mit unterschiedlichen E-Moduli für ein innovatives Dentalimplantat
6. Nächste Generation von Tiefziehprozessen durch Nutzung smarterer Beobachter, geschlossener Regelkreise und einer 3D-Servo-Pressen (DFG)
7. WarmAp – Warmumformen von Aluminiumblechen für Hochleistungskomponenten zukünftiger Mobilitätskonzepte (Hessen)
8. KonPro – Konturvermessung beim Profilbiegen (Hessen)

**Overview of ongoing and completed projects in 2019:**

1. Forming – Production families at equal quality, DFG Collaborative Research Centre SFB 805 – Control of uncertainty in load-carrying mechanical systems, subprojects B2 (DFG)
2. LOEWE-Focus RESPONSE (Resource-saving Permanent Magnets by Optimized Use of Rare Earth) Subproject: New synthesizing process top-down (completed in 2018)
3. SMEs 4.0 – Darmstadt Competence Centre (BMWi)
4. State control of combined roller and plain bearings, DFG Collaborative Research Centre SFB 805 – Control of uncertainty in load-carrying mechanical systems, transfer project T6 (DFG)
5. BMBF collaborative project IdentiTI on nanostructured titanium alloys with different moduli of elasticity for an innovative dental implant
6. Next Generation Deep Drawing Using Smart Observers, Closed-Loop Control, and 3D-Servo-Press (DFG)
7. WarmAp - Hot forming of aluminium sheets for high-performance components of future mobility concept (Hessen)
8. KonPro - Contour measurement during profile bending (Hessen)



Christian Kubik, M. Sc.  
+49 6151 16 231 44  
kubik@ptu.tu-darmstadt.de

## Entwicklung einer „top-down“ Herstellungsrouten für Nd-Fe-B Magnete

### Development of a “top-down” production route for Nd-Fe-B magnets



Fansun Chi, M. Sc.  
 +49 6151 16 233 57  
 chi@ptu.tu-darmstadt.de

**Motivation** – Permanentmagnetische Materialien spielen eine immer wichtiger werdende Rolle bei Technologien im Bereich der Energiegewinnung, der Mobilität, sowie in der Automatisierung und der Unterhaltungsindustrie. Die Produktion von Permanentmagneten hat im letzten Jahrzehnt einen starken Aufschwung erfahren. Durch die fortschreitende Automatisierung sowie dem Wechsel von Verbrennungsmotoren hin zur Elektromobilität ist der Bedarf an Permanentmagneten stark angestiegen.

Aufgrund ihrer hohen magnetischen Energiedichte gehören Neodym-Eisen-Bor (Nd Fe B) Legierungen zu den wichtigsten Permanentmagnetmaterialien. Jedoch sind jene Legierungen erst permanentmagnetisch, wenn sie eine bestimmte Mikrostruktur (z.B. möglichst kleine Körner und magnetische Textur) aufweisen. Die konventionelle Herstellung erfolgt heutzutage über ein pulvermetallurgisches Verfahren durch Sintern, welches ein aufwendiges Herstellungsverfahren und deshalb mit hohen Kosten innerhalb der Wertschöpfung verbunden ist.

**Zielsetzung** – Im Teilprojekt „Neue top-down Syntheseverfahren“ des LOEWE RESPONSE Projektes an der TU Darmstadt wurde eine Umformprozessroute von den Fachgebieten PtU, Physikalische Metallkunde (PhM) und Funktionale Materialien (FM) ausgehend von gegossenen Nd-Fe-B Legierungen erarbeitet und patentiert. Die bisherigen Ergebnisse haben das hohe Potential dieser Prozessroute aufgezeigt, indem eine signifikante magnetische Härtung (Steigerung der Remanenz und Koerzitivität) erreicht werden konnte.

Das zu entwickelnde Herstellungsverfahren für Permanentmagneten bietet gegenüber dem konventionellen Sinterverfahren vielseitige Vorteile, wie z.B. eine geringere Anzahl von Fertigungsschritten, eine höhere Effizienz sowie einen niedrigeren Energieverbrauch. In diesem Pioneer-Fund-Projekt bleiben PtU, PhM und FM weiter in Zusammenarbeit, um den Prozess für eine weitere Umsetzung in eine industrielle Produktion zu validieren. Wenn die erreichten magnetischen Eigenschaften mit denen kommerzieller Sintermagnete vergleichbar sind, kann das bisherige Sinterverfahren für Permanentmagneten in einigen Bereichen durch den kontinuierlichen

top-down Ansatz ersetzt werden.

**Lösungsweg** – Im Rahmen dieses Pioneer-Fund-Projekts werden mehrere Ansätze zur Weiterentwicklung des Prozesses und des Materials verwendet. Das PtU wird die Prozessparameter mittels einer Parameterstudie optimieren. Des Weiteren soll der Prozess mit Regelungstechnik aufgerüstet werden, um die Reproduzierbarkeit des Prozesses zu erhöhen.

**Danksagung** – Das vorgestellte Forschungsprojekt wird von der TU Darmstadt sowie dem ENTEGA NATURpur Institut GmbH finanziert.

**Motivation** – Permanent magnetic materials play an increasingly important role for technologies in the fields of energy generation, mobility, as well as in automation and the entertainment industry. The production of permanent magnets has taken a strong upturn in the last decade and the demand for magnets has increased dramatically due to increasing automation, as well as the change from combustion engines to electromobility.

Due to their high magnetic energy density, neodymium-iron-boron (Nd-Fe-B) alloys are among the most important permanent magnet materials. However, this alloy is permanent-magnetic only if it has a specific microstructure (e.g. as small as possible grain-size and magnetic texture). The conventional Nd-Fe-B magnet production nowadays takes place via a powder metallurgical route through sintering, which is a complex manufacturing process and associated with high costs in the value chain.

**Objective** – In the project "New top-down synthesis methods" of the LOEWE RESPONSE project at the TU Darmstadt, a forming process route was developed and patented by the departments PtU, Physical Metallurgy (PhM) and Functional Materials (FM) starting from Nd-Fe-B castings. The previous results have demonstrated the high potential of this process route by achieving significant magnetic hardening (increase in remanence and coercivity).

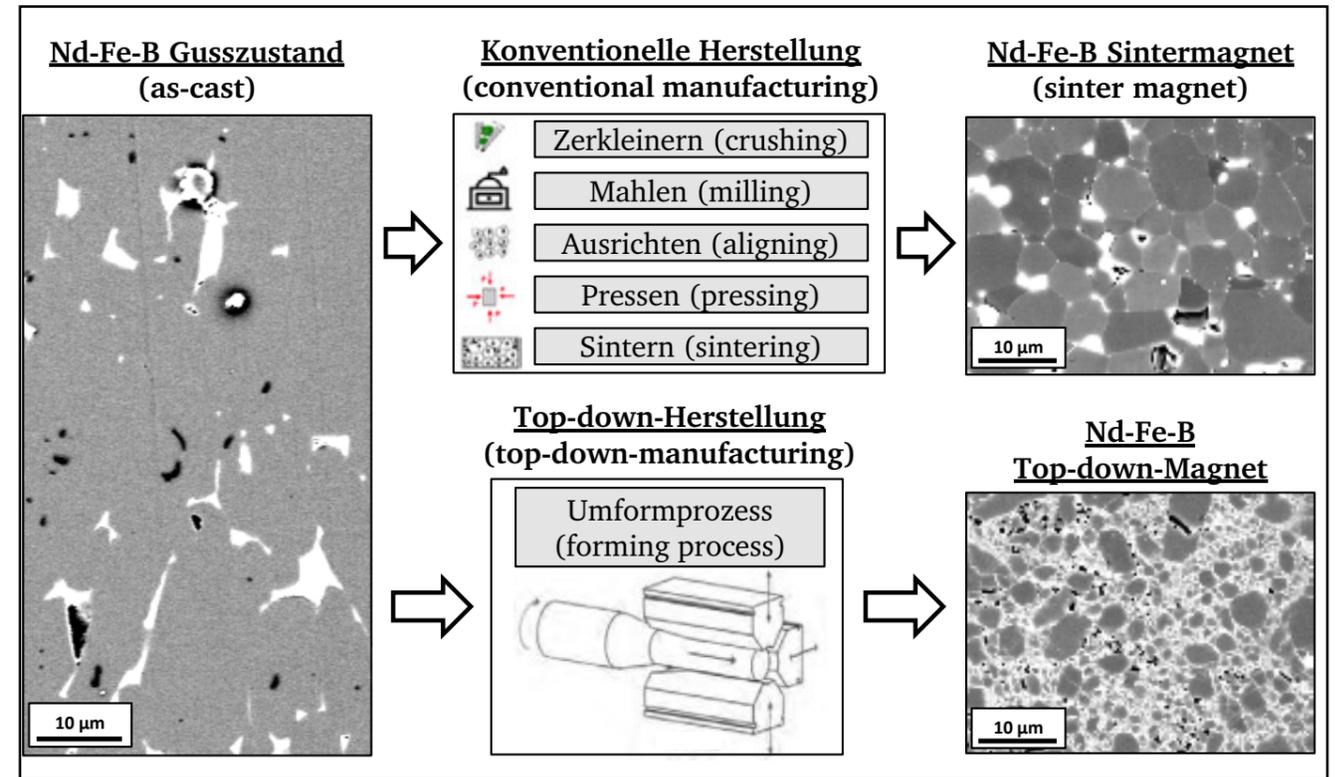


Abbildung: Vergleich der Herstellungsrouten mit deren Prozessschritten und Mikrostrukturen. Oben: Konventioneller pulvermetallurgischer Prozess; Unten: Neues top-down Verfahren mittels Umformprozess  
 Figure: Comparison of manufacturing routes with its process steps and microstructures. Top: conventional powder metallurgical process; Below: new top-down route through forming process.

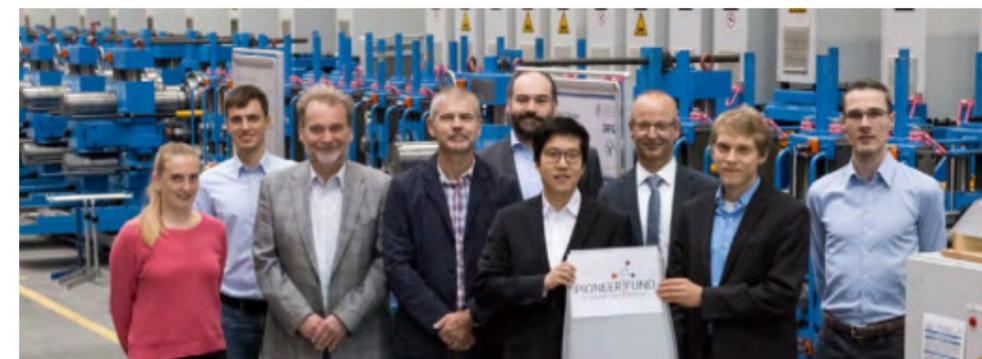


Foto: Projekt Kick-Off 2018  
 Photo: Project Kick-Off 2018

This manufacturing process for permanent magnets offers varied advantages compared to the conventional sintering process, such as a lower number of manufacturing steps, higher efficiency as well as lower energy consumption. In this Pioneer-Fund-project, PtU, PhM and FM will keep working together to validate the process for implementation in industrial production. If the achieved magnetic properties are comparable to those of commercial sintered magnets, the state-of-the-art sintering process for permanent magnets can be replaced in some areas, by the continuous top-down approach.

**Approach** – In the framework of the Pioneer-Fund-project, various approaches are applied to improve the process and the material. The PtU will optimize the process parameters by means of a parameter study. In addition, control technology will be developed to increase the reproducibility of the process.

**Acknowledgment** – The proposed research project is funded by TU Darmstadt and ENTEGA NATURpur Institut GmbH.



## WarmAp – Warmumformen von Aluminiumblechen für Hochleistungskomponenten zukünftiger Mobilitätskonzepte

### WarmAp – Hot Forming of Aluminium Sheets for high-performance Components of future Mobility Concepts



Janosch Günzel, M. Sc.  
+49 6151 16 231 77  
guenzel@ptu.tu-darmstadt.de



Erik Sellner, M. Sc.  
+49 6151 16 231 78  
sellner@ptu.tu-darmstadt.de

Das Forschungsprojekt ist Teil des KMU-Verbundvorhabens WarmAp (Seite 26) innerhalb des LOEWE-Schwerpunkts ALLEGRO (Seite 24) und wird mit dualen Promotionsstellen bei den Firmen Werner Schmid und Hörmann Automotive Gustavsburg bearbeitet.

**Motivation** – Die hochfesten Aluminiumlegierungen EN AW-6082 und -7075 bieten immenses Leichtbaupotenzial. Jedoch sind sie bei Raumtemperatur nur begrenzt umformbar, sodass temperaturunterstützte Prozessrouten für eine optimale Werkstoffausnutzung bei komplexen Geometrien erforderlich sind.

**Zielsetzung** – Die Ziele des Projektes sind die Entwicklung industrietauglicher Online- und Offline-Messvorrichtungen zur Erfassung der Kontur gebogener Profile und darauf aufbauend die Realisierung eines geregelten Drei-Rollen-Profilbiegeprozesses. Durch die Automatisierung und Digitalisierung der Konturmessung sollen zum einen die Nebenzeiten reduziert und zum anderen eine durchgängige Qualitätskontrolle ermöglicht werden.

**Lösungsweg** – Dazu wurden zunächst Demonstratorgeometrien und Erwärmungsstrategien definiert, welche mittels numerischer Formgebungssimulationen unter Temperaturberücksichtigung ausgelegt wurden. Anschließend werden die entsprechenden Versuchswerkzeuge realisiert und ein umfangreiches Prozessverständnis anhand von Versuchsreihen aufgebaut.

**Danksagung** – Dieses Projekt (HA-Projekt-Nr.: 548/17-30) wird im Rahmen von Hessen Modellprojekte aus Mitteln der LOEWE – Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben gefördert. Außerdem gilt unser Dank den in WarmAp beteiligten Unternehmen, insbesondere der Werner Schmid GmbH und der Hörmann Automotive Gustavsburg GmbH, sowie allen Beteiligten von ALLEGRO für die gute Zusammenarbeit.

The research project is part of the “KMU-collaborative project” WarmAp (page 26) within the LOEWE focus ALLEGRO (page 24) and is carried out with dual PhD positions at the companies Werner Schmid and Hörmann Automotive Gustavsburg.

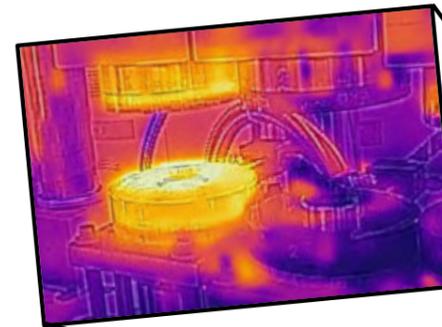
**Motivation** – The high-strength aluminium alloys EN AW-6082 and -7075 offer immense lightweight potential. However, at room temperature they can only be formed to a limited extent, so that temperature-supported process routes are required for optimum material utilisation with complex geometries.

**Objective** – Increasing product complexity as well as method and function integration require a thorough understanding of the process in order to successfully use temperature sensitive alloys. In the case of Hörmann Automotive Gustavsburg, the aim is to use local plate heating to increase the degree of forming in critical component areas. Werner Schmid, on the other hand, focuses on identifying a suitable process route for the manufacture of multi-stage components with adapted wall thicknesses.

**Approach** – First, demonstrator geometries and heating strategies were defined, which were designed by means of numerical forming simulations under consideration of temperature. Subsequently, the corresponding test tools will be realized and a comprehensive understanding of the process will be developed on the basis of test series.

**Funding** – This project (HA project no. 548/17-30) is financed with funds of LOEWE – Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben (State Offensive for the Development of Scientific and Economic Excellence). We would also like to thank the companies involved in WarmAp, in particular the Werner Schmid GmbH and the Hörmann Automotive Gustavsburg GmbH, as well as all ALLEGRO participants for the good cooperation.

Wärmebild der 1. Stufe  
Thermal image of stage 1



Demonstratorgeometrie  
Demonstrator geometry

Mehrstufiges Umformwerkzeug mit temperierten Aktivteilen  
Multi-stage forming tool with tempered active parts



Abbildung 1 : Mehrstufiges Umformwerkzeug mit temperierten Aktivteilen und geplante Demonstratorgeometrie  
Figure 1 : Multi-stage forming tool with tempered active parts and planned demonstrator geometry

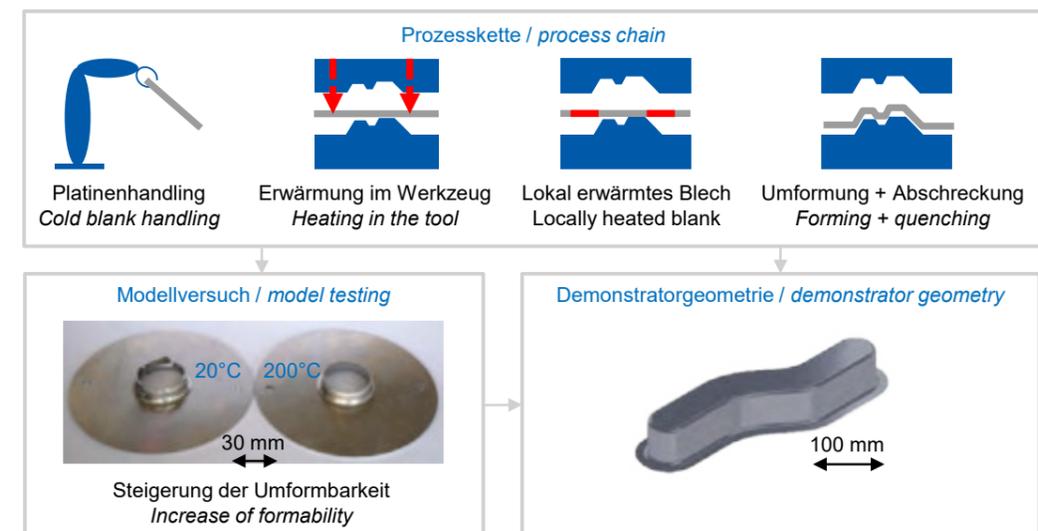


Abbildung 2 : Prozesskette zur Umformung mit lokaler Platinenerwärmung, Modellversuch und Demonstratorgeometrie  
Figure 2 : Process chain for forming with local blank heating, model testing and demonstrator geometry



Zur Erfüllung der wachsenden Anforderungen an neuartige Produkte nehmen Leichtbau, Ressourcenschonung und Funktionsintegration eine zentrale Rolle ein. Die gezielte Kombination einzelner Werkstoffe zu Verbunden, deren spezifische mechanische Eigenschaften die einzelner Materialien deutlich übertreffen, ist für diese Zielsetzungen besonders geeignet. Die Abteilung Funktions- und Verbundbauweise des PtU widmet sich in diesem Zusammenhang vornehmlich der Untersuchung umform- und fertigungstechnischer Grundlagen bei der Erzeugung und Verarbeitung von Verbund- und multifunktionalen Bauteilen. Vor dem Hintergrund eines nachhaltigen Materialeinsatzes wird zudem das Umformverhalten von Papierwerkstoffen bei der dreidimensionalen Formgebung intensiv untersucht.

**Herstellung und Verarbeitung von Verbundbauteilen** – Der Einsatz von Verbundkomponenten liefert einen entscheidenden Anteil zur Gewichtsreduzierung im Transportwesen. Die Kombination von Materialien mit grundlegend unterschiedlichen Eigenschaften stellt jedoch neue Herausforderungen an die Fertigungstechnik. So sind bestehende Konzepte anzupassen oder gänzlich neu zu entwickeln. Am PtU wird diesbezüglich im Projekt „Kragenziehen von Sandwichblechen“ der Prozess des Kragenziehens an die Anforderungen bei der Verarbeitung von Sandwichblechen untersucht und angepasst.

**Herstellung von multifunktionalen Bauteilen** – Die Untersuchungen zur Herstellung multifunktionaler Bauteile befassen sich unter anderem mit der umformtechnischen Integration von Sensorik und Aktorik in Strukturelemente. Derart gefertigte Bauteile ermöglichen es, die Belastungen der Struktur kontinuierlich zu erfassen und bei Überlasten Gegenmaßnahmen einzuleiten. Überdies können bereits während der Fertigung Sensorsignale aufgezeichnet werden, die für die Überwachung der Fertigungsprozesse genutzt werden können.

**Stoffschlüssiges Fügen durch Umformung** – Verfolgt man das Ziel von Multimaterialbauteilen weiter, so bietet das Fügen durch Umformen die Möglichkeit, zwei Prozessschritte zu vereinen. Am PtU wird dies zum einen durch einen selbstentwickelten Prüfstand zur Untersuchung des Kollisionsschweißens umgesetzt. Zum anderen können durch Fließpressen Werkstoffe, in Folge der hohen plastischen Deformation, stoffschlüssig gefügt werden. Beide Verfahren ermöglichen es, sowohl artgleiche als auch artungleiche Materialien wie Stahl und Aluminium, die sich mittels thermischer Fügeverfahren nur bedingt verbinden lassen, zu fügen.

**Aktoren auf Dehnstoffbasis** – Beim Phasenübergang zwischen der festen und der flüssigen Phase erhöht sich das Volumen von Paraffin. In abgeschlossenen Gehäusen kann hierdurch hoher Druck erzeugt werden. Im Rahmen intensiver Forschung werden Grundlagen für die Herstellung günstiger Aktoren auf Basis dieses Prinzips gesucht.

**Vorspannung und Umformung verzweigter Blechstrukturen** – Ein beliebtes Mittel im konstruktiven Leichtbau zur Versteifung flächiger Strukturen sind Stringer oder Stege. Die Herstellung von räumlich gekrümmten Stegblechen birgt dabei einige Herausforderungen. Nachdem in den vergangenen Jahren die grundsätzliche Machbarkeit der Umformung von Stegblechen nachgewiesen wurde, befasst sich ein Projekt mit der Optimierung durch Vorspannung mittels faserverstärkter Kunststoffe und ein weiteres entwickelt eine industrietaugliche Prozesskette.

Lightweight construction, conservation of resources and functional integration play a central role in satisfying the growing demands of innovative products. The targeted combination of individual materials to form composites whose specific mechanical properties clearly exceed those of the individual materials, is particularly suitable for fulfilling these goals. In this context, the department of smart structures is primarily dedicated to the investigation of forming and manufacturing fundamentals in the production and processing of composite and multifunctional components. In addition, the forming behavior of paper materials in three-dimensional forming is intensively investigated to ensure the effective use of materials.

**Manufacture and processing of composite materials** – The use of composite materials has contributed significantly to the weight reduction in transportation. The combination of materials with fundamentally different mechanical properties leads to new challenges in production engineering. Subsequently, existing concepts have to be adapted or new processes have to be developed. In this context, the collar forming of sandwich panels (steel – polymer – steel) is investigated.

**Manufacture of multifunctional components** – Investigations on the manufacturing of multifunctional parts include the integration of sensors and actuators by rotary swaging into structural elements. These components enable a continuous structure monitoring and the possibility to initiate countermeasures in case of an overload. Furthermore, the manufacturing process can be monitored and controlled by evaluating sensor signals in real time.

**Joining by forming** – Joining by forming enables the combination of the manufacturing process of compounds with the subsequent molding process. Therefore, a test rig for the investigation of the fundamentals of collision welding was developed at PtU. Furthermore, compounds are joined due to high plastic deformations by cold extrusion. Both processes enable the joining of similar materials and of dissimilar materials like steel and aluminum. The phenomenological basics, which lead to a resilient joint by cold pressure welding or collision joining, are in scope of the department's research.

**Actuators based on phase change material** – During the phase change between the solid and the liquid phase, the volume of paraffin wax increases. This can generate high pressure in sealed housings. In intensive research, the basic principles for the manufacture of low-cost actuators based on this principle are sought.

**Pre-stressing and forming of branched sheet metal structures** – Stringers are a popular means of stiffening flat structures in lightweight construction. The production of spatially curved stringer sheets poses a number of challenges. After the basic feasibility of forming stringer sheets has been proven in recent years, one project is concerned with the optimization by pre-stressing using fiber-reinforced plastics and another is developing an industrial process chain.

#### Übersicht über die laufenden und im Jahr 2019 abgeschlossenen Projekte:

1. Untersuchung und gezielte Verstärkung des stoffschlüssigen Fügens durch Verfahren der Kaltmassivumformung (DFG – SPP 1640, Teilprojekt A3) - abgeschlossen.
2. Untersuchung der Bildungsmechanismen der Fügezone beim Kollisionsschweißen (DFG – SPP 1640, Teilprojekt A5) - abgeschlossen
3. Integration von Funktionsmaterialien (DFG – SFB 805, Teilprojekt B4)
4. Vorgespannte, hybride Stegblechstrukturen (DFG) - abgeschlossen
5. Fertigung dreidimensional geformter Komponenten auf Papierbasis (LOEWE-Schwerpunkt BAMP! (Bauen mit Papier))
6. Kragenziehen von Sandwichblechen (AiF – EFB) - abgeschlossen

7. Auslegungsmethoden für neuartige, energieeffiziente, geschlossene Dehnstoffaktoren mit hoher Kraftwirkung (DFG)
8. Stegblechumformung für den Karosseriebau (DFG – SFB 666, Teilprojekt T7)

#### Overview of ongoing and completed projects in 2019:

1. Investigation and enhancement on bonding by cold bulk metal forming processes (DFG – SPP 1640, subproject A3)
2. Investigation of the formation mechanisms of the bonding zone in collision welding (DFG – SPP 1640, subproject A5)
3. Integration of function materials (DFG – SFB 805, subproject B4)
4. Prestressed, hybrid stringered sheets (DFG) - completed
5. Manufacturing of three-dimensional shaped paper-based components (LOEWE – Research Cluster – BAMP! (Building with Paperboard))
6. Hole-Flanging of Sandwich Sheets (AiF – EFB) - completed Manufacturing of three-dimensional shaped paper-based components (LOEWE – Research Cluster – BAMP! (Construction with Paper))
7. Design methods for novel, energy-efficient, closed phase change actuators with high action of force (DFG)
8. Stringer sheet forming for car body construction (DFG – CRC 666 – subproject T7)



Wilhelm Schmidt, M. Sc.  
+49 6151 16 231 88  
wilhelm.schmidt@ptu.tu-darmstadt.de

## Neuartige, energieeffiziente, geschlossene Dehnstoffaktoren mit hoher Kraftwirkung

Novel, energy-efficient, closed stretch material actuators with high force effect



Thiemo Germann, M. Sc.

+49 6151 16 231 86

germann@ptu.tu-darmstadt.de

**Motivation** – In der Industrie 4.0 sind geregelte, d.h. automatisierbare und robuste, Herstellungsprozesse notwendig. Neben stochastischen, hochfrequenten Beeinflussungen sind auch niederfrequente Anlageigenschaften, z.B. thermische Ausdehnungen oder Verschleiß, zu regeln. Hierfür sind hohe Stellkräfte bei vergleichsweise geringen Stellwegen und Reaktionsgeschwindigkeiten erforderlich. Eine nicht-manuelle, industrielle Lösung fehlt bisher.

**Zielsetzung und Vorgehensweise** – Ziel des Projektes ist die wirtschaftliche Herstellung von Aktoren für die motivierte Anwendung. Hierfür werden Aktoren auf Dehnstoffbasis entwickelt. Diese transformieren den Volumenzuwachs des Dehnstoffs in eine gerichtete Bewegung oder Kraft. Ziel des Projektes ist die Qualifizierung steifer Paraffinaktoren mit hohen Stellkräften. Dies beinhaltet die Entwicklung eines kombinierten umformend-fügenden Herstellungsverfahrens, sowie Auslegungsmethoden für die Aktorgestaltung. Der Gestaltungsansatz sieht Dehnstoffaktoren vor, deren Gehäuse den Paraffinkern vollständig umschließt (Abbildung 1). Beim Phasenwechsel fest-flüssig unterliegt Paraffin einem Volumenzuwachs von mindestens 15 Prozent. Aufgrund der geringen Kompressibilität von Paraffin führt die hohe Volumenausdehnung im geschlossenen Gehäuse zu einem hohen Innendruck. Dieser wird für die reversible Auslenkung des Aktorgehäuses genutzt.

Im Rahmen des Projekts sollen Grundlagen für eine neue Produktarchitektur von Aktoren mit hoher realisierbarer Stellkraft geschaffen werden. Im Fokus der ersten Phase steht die Funktionsverifikation des Aktorprinzips.

**Ergebnisse** – Das Aktorkonzept konnte erfolgreich mittels Tiefziehen und Laserschweißen (Abbildung 2) umgesetzt werden, ebenfalls sind Untersuchungen zur Bestimmung und Erweiterung des Prozessfensters abgeschlossen. Die detaillierte Charakterisierung des Paraffins ermöglichte zudem den Aufbau eines realistischen Simulationsmodells des Aktors.

**Danksagung** – Das Forschungsprojekt wird im Rahmen des SFB 805 durch die Deutsche For-

schungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

**Motivation** – In industry 4.0, controlled, i.e. automatable and robust, manufacturing processes are necessary. In addition to stochastic, high-frequency influences, low-frequency plant characteristics, e.g. thermal expansion or wear, need to be controlled. This requires high actuating forces with comparatively low travel and reaction rates. An automated industrial solution, industrial solution is still required.

**Objectives and procedure** – The purpose of the project is the economical production of actuators for the applications above explained. For this purpose, actuators based on phase change materials will be developed. These transform the increase in volume of the wax into a directional motion or force. The project aims to qualify stiff paraffin actuators with high achievable actuating forces, thus developing design methods and a combined forming and joining production.

The design approach includes expansion actuators whose housings completely enclose the paraffin core (Figure 1). During the phase change from solid to liquid, paraffin wax is subject to a volume increase of at least 15 percent. Due to the low compressibility of paraffin, a high volume expansion in the closed housing leads to a high internal pressure. This is used for the reversible deflection of the actuator housing.

During this project, the foundations for a new product architecture of actuators with a high realizable actuating force are to be created. The focus of the first phase is the functional verification of the actuator principle.

**Results** – The actuator concept was successfully implemented by means of deep drawing and laser welding (Figure 2). Investigations to determine and extend the process window have been completed. The detailed characterization of the paraffin wax enabled the construction of a realistic simulation model.

**Acknowledgement** – The German Research Foundation (DFG) funds the research project.



Abbildung 1: Fertigungskette der Aktor – von dem Schneiden der Platinen zum fertigen Dehnstoffaktor  
Figure 1: Production chain of the actuator - from the cutting of the blanks to the finished phase change material actuator

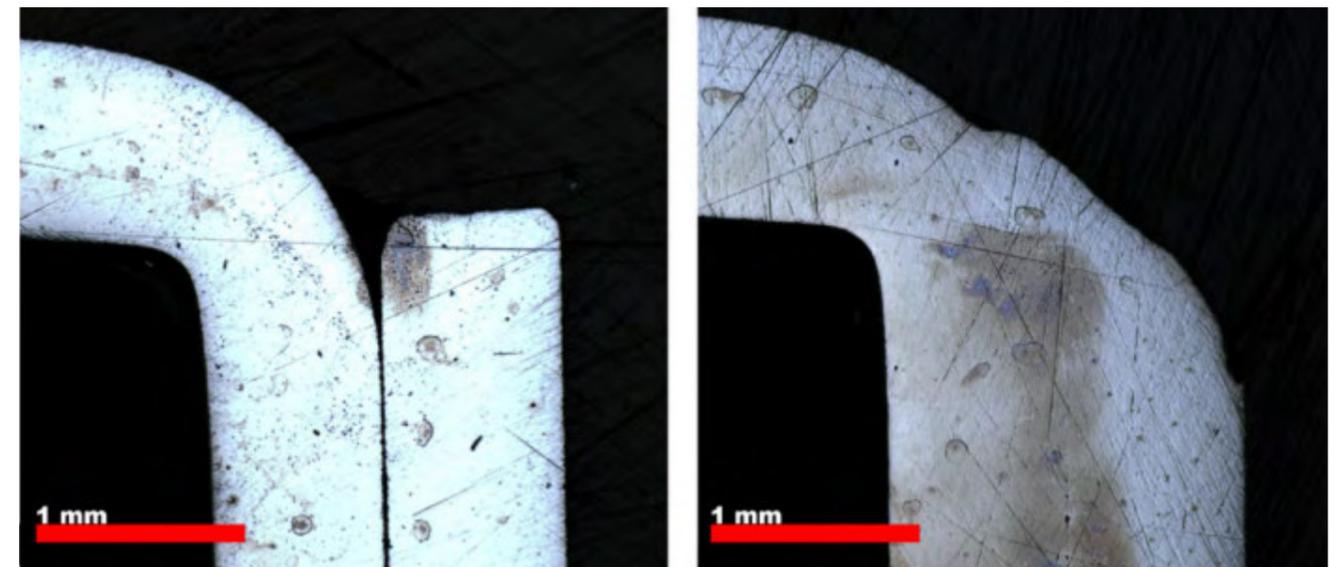


Abbildung 2: Untersuchung der Laserschweißnaht im metallographischen Schnittbild im Ausgangszustand (links) und nach dem Fügeprozess (rechts) [Spies19]  
Figure 2: Examination of the laser weld seam in the metallographic sectional view in the initial state (left) and after the joining process (right) [Spies19]

## Kollisionsschweißen

### Collision Welding



Benedikt Niessen, M. Sc.  
 +49 6151 16 233 57  
 niessen@ptu.tu-darmstadt.de

Zum stoffschlüssigen Fügen artungleicher Metalle eignen sich die Verfahren Sprengschweißen und elektromagnetisches Pulsschweißen in besonderer Weise, da hohe Festigkeiten erreicht werden können. Nachteilig ist, dass, bedingt durch die begrenzte Zugänglichkeit und die hohen Prozessgeschwindigkeiten, die grundlegenden Vorgänge in der Fügezone nicht hinreichend untersucht worden sind. Genau diese Vorgänge sind jedoch von großem Interesse, um Fugestellen gezielt auslegen zu können. Bislang ist der eigentliche Prozess eine Black Box, zu der lediglich Eingangs- (beispielsweise Werkstoffeigenschaften) und Ausgangsgrößen (beispielsweise Verbindungsfestigkeit) bekannt sind, nicht aber die verknüpfenden Mechanismen. Als direkte Folge müssen Verbindungen in der Anwendung mehr oder weniger aufwändig empirisch ausgelegt werden, wodurch Potentiale ungenutzt bleiben.

Das Ziel dieses Vorhabens war daher, über eine zielgerichtete Parametervariation zusammen mit zeitlich und örtlich hoch aufgelösten Untersuchungsmethoden, auch in situ, diese Lücke zu füllen. Dabei wurden Hypothesen zugrunde gelegt und überprüft. Hauptgegenstand der Untersuchungen war ein spezieller Versuchsstand am PtU, der genau definierte, konstante Prozessparameter und eine gute Beobachtbarkeit kombiniert. Zusammen mit fein aufgelösten Hochgeschwindigkeitsaufnahmen konnten hier neue Erkenntnisse gewonnen werden.

Das Vorgehen im Projekt sah vor, Probenwerkstoff, Oberflächen und Umgebungsmedium gezielt einzustellen und die Auswirkungen zu studieren. Die experimentellen Arbeiten werden unterstützt durch die numerische Simulation, die einen tieferen Einblick in den Prozess liefert.

Das Projekt wurde in Kooperation mit anderen Forschergruppen im Schwerpunktprogramm 1640 durchgeführt, um die experimentellen und analytischen Möglichkeiten auszuschöpfen. Das PtU dankt der DFG für die Förderung und den Teilprojektpartnern für die Zusammenarbeit.

Explosive welding and electromagnetic pulse welding are particularly suitable processes for the metallurgical joining of dissimilar metals, since high strengths can be achieved. However, due to the limited accessibility and the high process speeds, the substantial phenomena in the joining zone have not been sufficiently investigated. Exactly these phenomena are of great interest to specifically design joints. So far, the actual process is a black box for which only input (e.g. material properties) and output variables (e.g. joint strength) are known, but not the linking mechanisms. As a direct consequence, joints in the application must be costly designed more or less empirically, whereby potentials remain unused.

The aim of this project was therefore to fill this gap by means of a targeted parameter variation together with temporally and locally highly resolved investigation methods, also in situ. Hypotheses were used as a basis and tested. The main subject of the investigations was a special test rig at the PtU, which combines precisely defined, constant process parameters and good observability. Together with finely resolved high-speed imaging, the sample material, surface and ambient medium can be adjusted and to study the effects. The experimental work is supported by numerical simulation, which provides a deeper insight into the process. The project was carried out in cooperation with other research groups in the Priority Programme 1640 in order to exploit the experimental and analytical potential. The PtU thanks the DFG for its funding and the subproject partners for their cooperation.

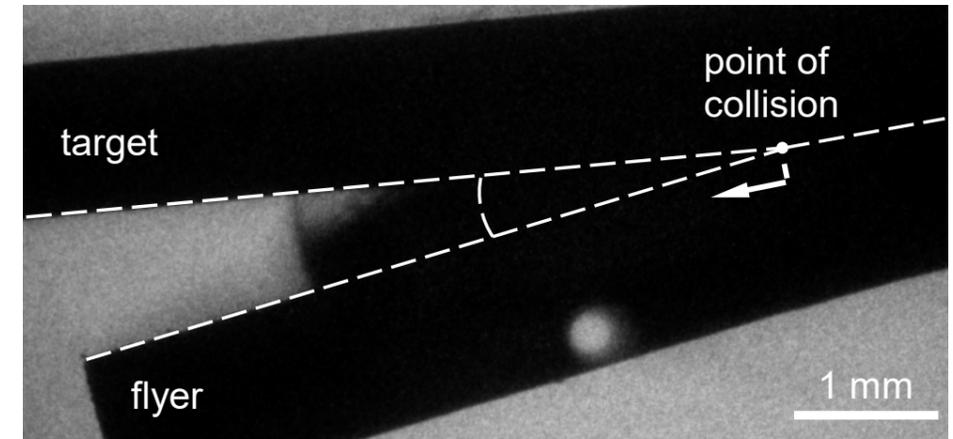


Abbildung: Kollisionsschweiß-Vorgang  
 Figure: Collision Welding

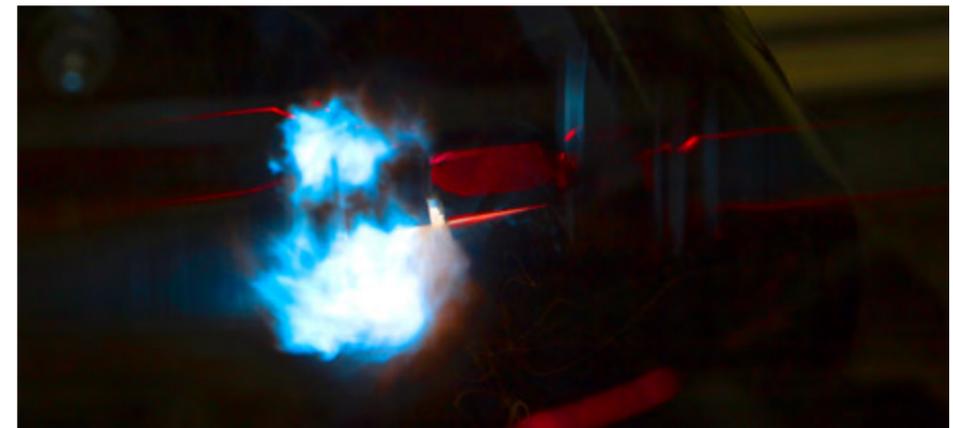


Abbildung: Prozessleuchten beim Kollisionsschweißen  
 Figure: Process glare at collision welding

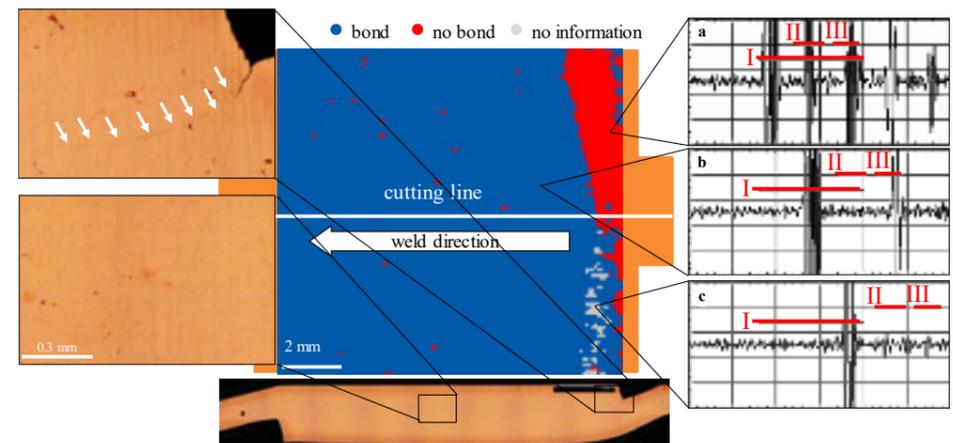


Abbildung: Ultraschall-Untersuchung kollisionsgeschweißter Proben  
 Figure: Ultrasonic examination of collision welded samples



*Abgeschlossene Dissertationen*  
*Completed dissertations*



- 68 Individualisierte Formgebung papierbasierter Halbzeuge  
Individualized forming of paper-based semi-finished products
- 69 Die Tribologie von Profilwalzprozessen und deren numerische Abbildung  
The tribology of profile rolling processes and their numerical representation
- 70 Methodik zur Konzeption entscheidungsunterstützender Assistenzsysteme am Beispiel des Walzprofilierens  
Methodology for the design of decision-supporting assistance systems at the example of roll forming
- 71 Gestaltungsrichtlinien für geschlossene Paraffinaktoren zur gezielten Beeinflussung von Systemen hoher Steifigkeit  
Design guidelines for closed paraffin actuators for targeted influencing of systems with high rigidity
- 72 Der nicht-lineare Weg zum flexiblen Spaltbiegen  
The non-linear path to flexible bend splitting
- 73 Ursachen, Beeinflussung, Auswirkungen sowie Quantifizierung der Temperaturentwicklung in der Fügezone beim Kollisionsschweißen  
Causes, influence, effects and quantification of temperature development in the joining zone during collision welding
- 74 Untersuchung des Einflusses dehnungsinduzierter Oberflächenevolution in der Blechumformung  
Investigation of the influence of strain-induced surface evolution in sheet metal forming

*Individualisierte Formgebung papierbasierter Halbzeuge*  
*Individualized forming of paper-based semi-finished products*



Dr.-Ing. Philipp Stein

Durch das gesellschaftliche und politische Umdenken in Hinblick auf Ressourcenschonung und Umweltfreundlichkeit steigt die Forderung nach ökologischen Alternativen zu klassischen Metall- und Kunststoffbauteilen. Die Verwendung von Papier als Werkstoff stellt eine solche Alternative dar.

Die Dissertation von Herrn Dr. Stein befasst sich mit der Umformung von einlagigem Papier, mehrlagigen Schichtverbunden und Aluminium-Papier Sandwichverbunden. Als Umformprozess wird das Single Point Incremental Forming (SPIF) zur Herstellung individualisierter Bauteile untersucht. Dabei stellen vor allem die Einflussmöglichkeiten zur Erweiterung der Umformgrenzen einen elementaren Teil der Arbeit dar. Hier ist insbesondere die Beeinflussung der charakteristischen Umformigenschaften über die Anpassung des relativen Feuchtegehaltes des Halbzeugs zu nennen. Prozessseitig ergibt die Verwendung von Gegenhalterkonzepten zur Aufbringung eines Gegendruckes beim SPIF eine Erweiterung der Umformbarkeit.

Due to the social and political rethinking with regard to resource conservation and environmental friendliness, the demand for ecological alternatives to classic metal and plastic components is increasing. The use of paper as a material represents such an alternative.

Dr. Stein's dissertation deals with the forming of single-layer paper, multi-layer paper composites and aluminium-paper sandwich composites. As a forming process Single Point Incremental Forming (SPIF) for the production of individualized components is investigated. In particular, the possibilities of influencing the extension of the forming limits represent an elementary part of the work. The influence on the characteristic forming properties by adjusting the relative moisture content of the semi-finished product is of particular importance here. On the process side, the use of counterholder concepts for the application of a counterpressure during SPIF results in an extension of the formability.

*Die Tribologie von Profilwalzprozessen und deren numerische Abbildung*  
*The tribology of profile rolling processes and their numerical representation*



Dr.-Ing. Philipp Kramer

Die moderne Umformtechnik zeichnet sich durch hohe Produktivität sowie Materialausnutzung, aber auch durch einen hohen Kapitalbedarf für Investitionen in Anlagen und Werkzeuge. Dadurch rücken Fragestellungen nach der digitalen Abbildung von Produktionsprozessen zur frühzeitigen Fehlererkennung und -behebung in den Vordergrund. Im Mittelpunkt der Dissertation steht die tribologische Charakterisierung und numerische Auslegung von Profilwalzprozessen. Diese Prozesse zeichnen sich durch hohe Stückzahlen, und aufgrund mehrerer aufeinander aufbauender Prozessschritte, durch besonders hohe qualitative und ökonomische Anforderungen aus. Die Ergebnisse dieser Dissertation können dazu genutzt werden, die Prozesskette zur Herstellung von kaltmassiv umgeformten Verbindungselementen gänzlich numerisch abzubilden.

Modern forming technology is characterized by high productivity and material utilization, but also by high investment requirements for systems and tools. As a result, questions regarding the digital representation of production processes for the early detection and elimination of errors come to the fore. The dissertation focuses on the tribological characterization and numerical design of profile rolling processes. These processes are characterized by high quantities and, due to several process steps building on each other, by particularly high qualitative and economic requirements. The results of this dissertation can be used to completely represent the process chain for the production of cold-formed fasteners by numerical methods.

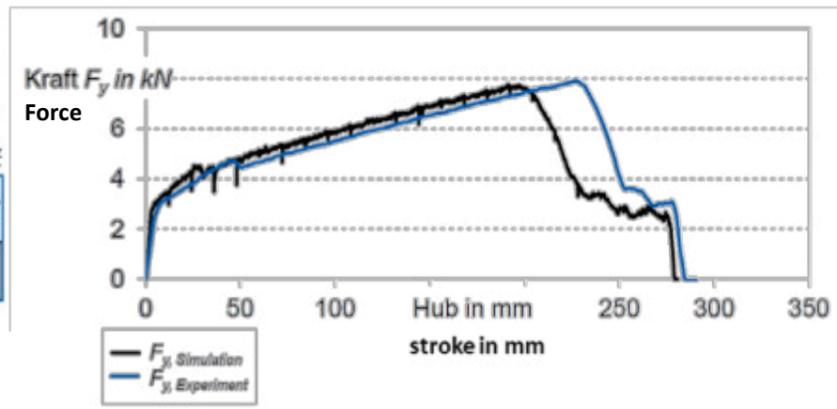
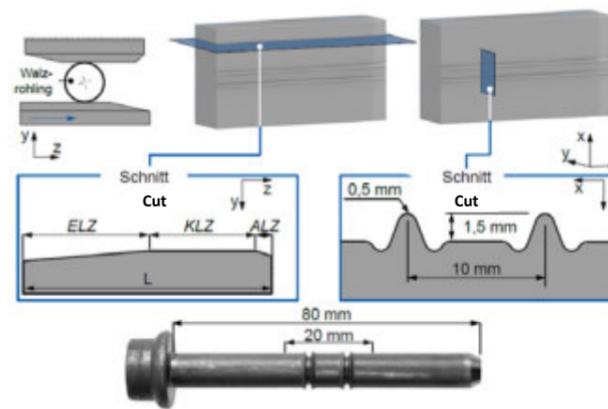
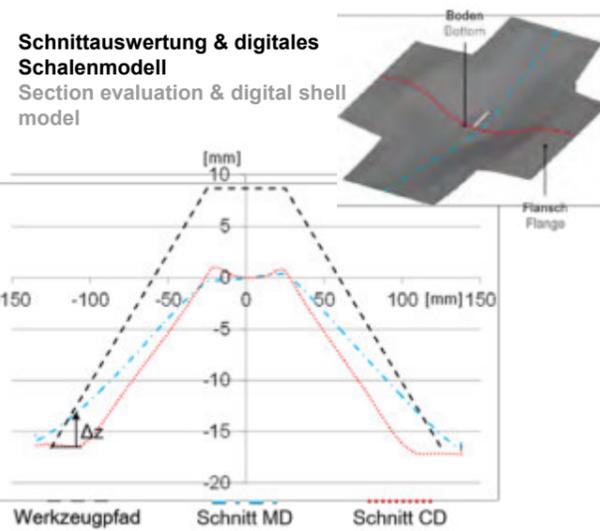
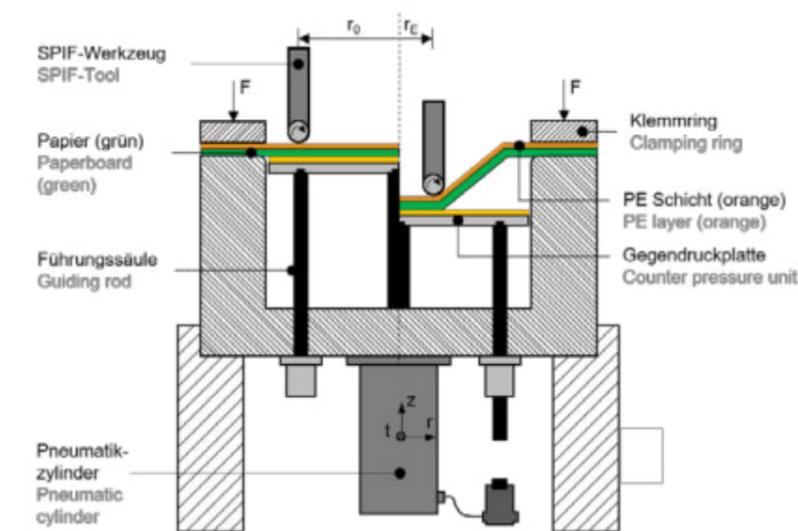


Abbildung: Inkrementelle Umformanlage zur Herstellung von 3D Papierbauteilen  
 Figure: Incremental forming line for the production of 3D paper components

Abbildung: Tribologie Profilwalzen  
 Figure: Tribology profile rolling

## Methodik zur Konzeption entscheidungsunterstützender Assistenzsysteme am Beispiel des Walzprofilierens

Methodology for the design of decision-supporting assistance systems at the example of roll forming



Dr.-Ing. Tilman Traub

Im Zeitalter von Industrie 4.0 wird bei der Entwicklung von Fertigungssystemen eine intelligente Vernetzung von Fertigungsprozessen vorgesehen, um die Produktivität zu erhöhen und gleichzeitig Beschäftigte zu entlasten.

Diese Dissertation befasst sich mit der Gestaltung von Assistenzsystemen zur Unterstützung der Entscheidungsfindung von Anlagenbedienenden, wobei die Auswahl geeigneter Messgrößen und die Identifikation von Korrelationen beim Walzprofilieren im Mittelpunkt stehen. Unter Verwendung industrieller sowie eigenentwickelter Sensoren (Abb. 1) wird die Diagnose von Störungsursachen zur Ermittlung geeigneter Gegenmaßnahmen ermöglicht.

Die Validierung erfolgt an zwei Beispielen des Walzprofilierens. Zum einen sorgt eine Fehlstellungsdetektion der Anlagengerüste für die Gewährleistung der Produktqualität und zum anderen werden mit einer Drehmomentanalyse energetisch ineffiziente Anlageneinstellungen erkannt.

In the age of industry 4.0, the development of manufacturing systems includes the intelligent networking of manufacturing processes in order to increase productivity and reduce the workload of employees at the same time.

This dissertation investigates the design of assistance systems supporting operators in decision making, focusing on the selection of suitable measurement parameters and the identification of correlations in roll forming. The use of industrial as well as self-developed sensors (Fig. 1) enables the diagnosis of malfunctions allowing the determination of suitable countermeasures.

The validation is based on two examples of roll forming. On the one hand, a malposition detection of the forming stands ensures product quality and on the other hand, a torque analysis is used to identify energetically inefficient process settings.

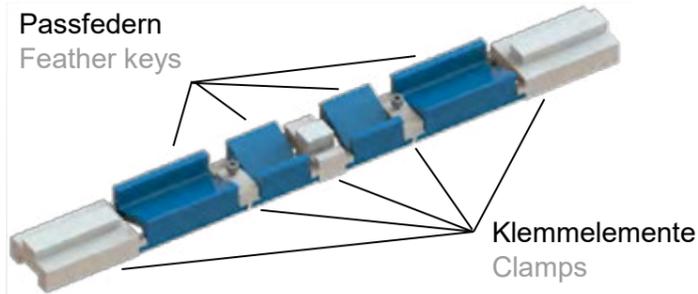
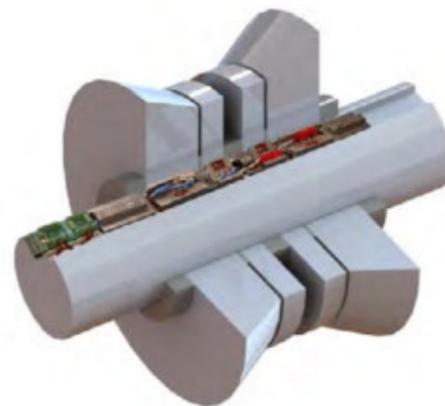


Abbildung: Anordnung und Einbau von am PtU entwickelten Sensorischen Passfedern zur Drehmomentmessung  
Figure: Arrangement and installation of sensorial feather keys developed at the PtU for torque measurement



## Gestaltungsrichtlinien für geschlossene Paraffinaktoren zur gezielten Beeinflussung von Systemen hoher Steifigkeit

Design guidelines for closed paraffin actuators for targeted influencing of systems with high rigidity

Für die Industrie 4.0 sind geregelte, d.h. automatisierbare und robuste, Herstellungsprozesse notwendig. Neben stochastischen, hochfrequenten Beeinflussungen sind auch niederfrequente Anlageigenschaften zu regeln. Hierfür sind moderate Reaktionszeit im Minutenbereich, ein geringer Hub ( $< 1 \text{ mm}$ ) aber hohe Kräfte ( $> 10 \text{ kN}$ ) notwendig.

Herr Dr.-Ing. Mann hat ein effizientes Aktorkonzept basierend auf dem Dehnstoff (phase change material, PCM) Paraffin entwickelt, das den Volumenzuwachs von ca. 15 % beim Übergang von fest auf flüssig gerichtet in eine Stellkraft umsetzt. Die Auslegung, der Fertigungsprozess sowie die Charakterisierung werden dargestellt und Gestaltungsrichtlinien abgeleitet. Zudem wird eine Kreisringform und die Integration eines selbsthemmenden Keilgetriebes umgesetzt. Anhand aktiver und passiver Anwendungsfälle (Walzgerüste bzw. vorgespannte Schraubenverbindungen) wird das Einsatzspektrum aufgezeigt.

For industry 4.0, controlled, i.e. automatable and robust, manufacturing processes are necessary. In addition to stochastic, high-frequency influences, low-frequency plant characteristics also need to be controlled. This requires a moderate reaction time in the minute range, a small stroke ( $< 1 \text{ mm}$ ) but high forces ( $> 10 \text{ kN}$ ). Dr.-Ing. Mann has developed an efficient actuator concept based on the phase change material paraffin, which converts the volume increase of approx. 15 % at the solid-liquid transition into a positioning force. Beside the presentation of design, manufacturing process and characterization, guidelines for configuration are developed. In addition, a circular ring shape actuator and the integration of a self-locking wedge gear are implemented. The range of applications is shown by means of active and passive applications (roll stands and pre-tensioned bolt connections).



Dr.-Ing. Arne Mann

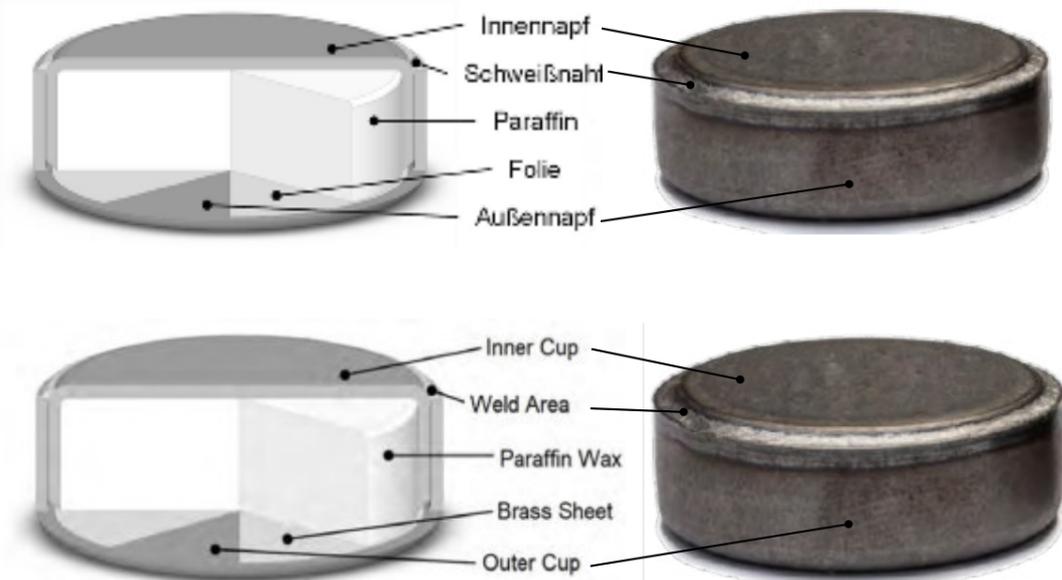


Abbildung: Schematische Darstellung des Aktorgehäuses (links); gefertigter Prototyp (rechts)  
Figure: Schematic diagram of the actuator housing (left); manufactured prototype (right)

## Der nicht-lineare Weg zum flexiblen Spaltbiegen

### The non-linear path to flexible bend splitting



Dr.-Ing. Manuel Neuwirth

Während mit dem flexiblen Spaltprofilieren Leichtbauprofile mit variablen Querschnittsverläufen und verzweigten Bandkanten herstellbar sind, erlaubt das lineare Spaltbiegen die integrale Verzweigung einer linear verlaufenden Biegekante an beliebigen Stellen auf der Blechebene. Die Erweiterung des Spaltbiegens auf nicht-lineare Verzweigungsverläufe steht im Fokus der durchgeführten Untersuchungen.

Für die Weiterentwicklung des einseitig flexiblen Spaltprofilierens auf das beidseitig flexible Spaltbiegen werden die Anforderungen sowie die Optimierungspotentiale des Prozesses ermittelt und in einer Umformanlage umgesetzt. Die entwickelten Werkzeugsysteme ermöglichen es, Platinen mit vorgebogenen Schenkeln entlang einer nicht-linearen Verzweigungslinie umzuformen und somit den Nachweis der fertigungstechnischen Realisierbarkeit des flexiblen Spaltbiegens im beidseitigen Prozess zu erbringen.

While the process of flexible flow splitting can be used to produce lightweight profiles with variable cross sections and branched band edges, linear bend splitting allows for the integral branching of a linear bending edge at any point on the sheet plane. The extension of linear bend splitting to non-linear branching processes is in the focus of the investigations carried out.

For the further development of one-sided flexible flow splitting to double-sided flexible bend splitting, the requirements as well as the optimization potentials of the process are determined and implemented in a suitable tooling system. The developed tooling systems make it possible to form pre-bent blanks along a non-linear branching line and thus provide proof of the feasibility of flexible bend splitting in a two-sided process.

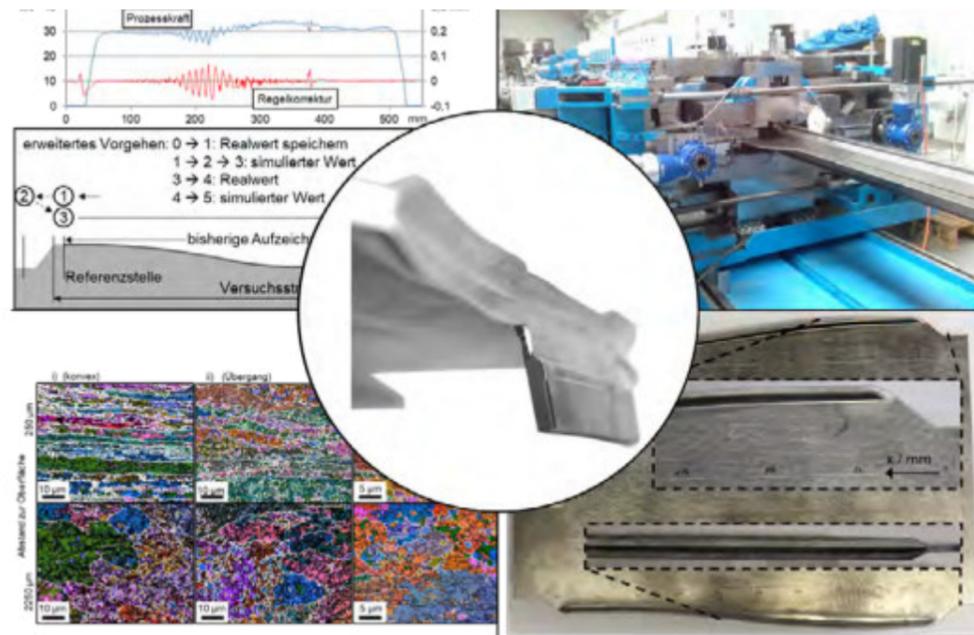


Abbildung: Entwicklung von Prozess und Anlagentechnik zur Fertigung und Untersuchung von nicht-linearen Spaltbiegebauteilen  
Figure: Development of the process and machine technology for the production and investigation of non-linear bend splitting profiles

## Ursachen, Beeinflussung, Auswirkungen sowie Quantifizierung der Temperaturentwicklung in der Fügezone beim Kollisionsschweißen

### Causes, influence, effects and quantification of temperature development in the joining zone during collision welding



Dr.-Ing. Christian Pabst

Das Kernthema der Arbeit ist die Temperaturentwicklung in der Fügezone beim Kollisionsschweißen. Insbesondere der örtliche und zeitliche Temperaturverlauf in der Fügezone ist bisher kaum bekannt.

Anhand experimenteller Untersuchungen mit Hilfe des eigens entwickelten Versuchsstands wird der Fügeprozess hinsichtlich der Wärmeentwicklung genauer untersucht. Es zeigt sich dabei, dass in der Fügezone kurzzeitig Temperaturen bis über 1000 °C auftreten, womit sich das stängelförmige Gefüge in der Fügezone als Erstarrungsgefüge erklären lässt. Das Entstehen einer Verbindung zwischen den beiden Fügepartnern ist energetisch nachweisbar. Darüber hinaus beeinflusst die Reaktivität des Umgebungsmediums (z.B. Sauerstoff der Luft) durch die exotherme Reaktion mit dem Probenwerkstoff als zusätzliche Energiequelle die Temperatur der Fügezone und damit der gesamten Probe. Dies zeigt sich auch in der Ausdehnung des Erstarrungsgefüges in der Fügezone. Das charakteristische Prozessleuchten wird mit diesen Befunden ebenfalls erklärbar: Es entsteht hauptsächlich durch die plastische Deformation in der Fügezone sowie durch ausgestoßenes und verbrennendes Grundmaterial.

The core topic of the work is the temperature development in the joining zone during collision welding. In particular, the local and temporal temperature development in the joining zone is so far hardly known.

The joining process is examined more closely on the basis of experimental investigations carried out on the test rig developed in-house. It is shown that temperatures of more than 1000 °C occur for a short time in the joining zone, which explains the stem-shaped structure in the joining zone as a solidification structure. The formation of a joint between the two joining sheets can be proven energetically. In addition, the reactivity of the ambient medium (e.g. oxygen of the air) influences the temperature of the joining zone and thus of the entire sample through the exothermic reaction with the sample material as an additional energy source. This is also reflected in the expansion of the solidification structure in the joining zone. The characteristic process lighting can also be explained by these findings: It is mainly caused by plastic deformation in the joining zone and by ejected and burning base material.

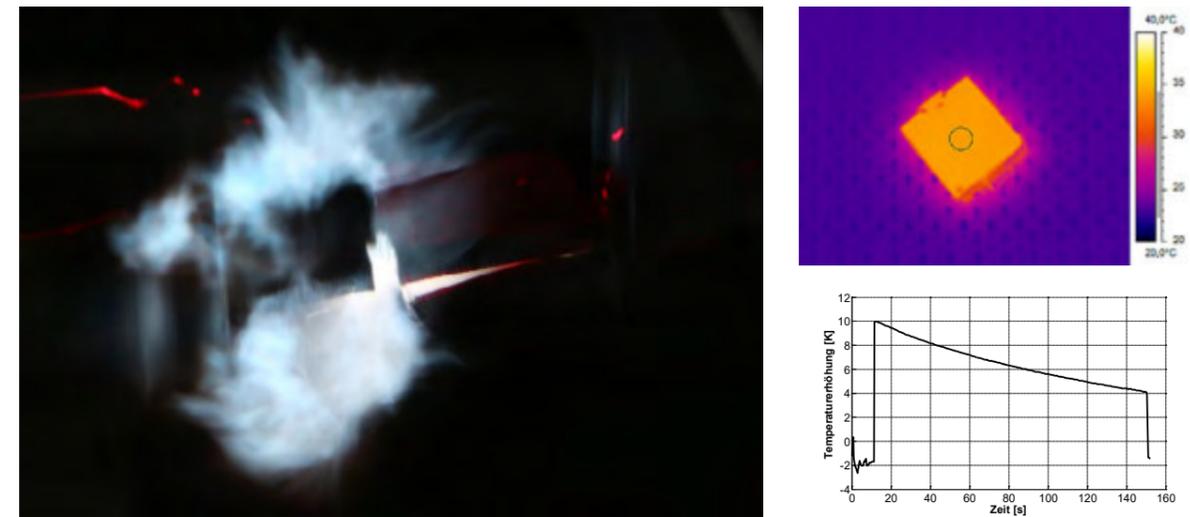


Abbildung: Partikelaustritt und Prozessleuchten während des Fügevorgangs (links); Temperaturmessung einer gefügten Probe (rechts)  
Figure: Particle ejection and process radiance during the joining process (left); temperature measurement of a joined sample (right)

## Untersuchung des Einflusses dehnungsinduzierter Oberflächenevolution in der Blechumformung

### Investigation of the influence of strain-induced surface evolution in sheet metal forming



Dr.-Ing. Viktor Recklin

Im Laufe der Umformung finden auf der Oberfläche des Bauteils verschiedene dehnungs- und kontaktinduzierte Oberflächenwandlungen statt. Während Bereiche im Flansch kontaktgebundene Umformung erfahren und dadurch zunehmend einglätten, findet durch fehlende Kontaktüberlagerung eine Aufrauung der Oberfläche im Bereich freier Umformung statt. Die sich einstellenden Oberflächen haben daher unterschiedliche Einflussgebiete. Während Bereiche, in denen Werkzeugkontakt vorliegt, vor allem für die Umformung (bzw. speziell den Reibungskoeffizienten im Flansch) relevant sind, ist die sich einstellende Oberfläche in Bereichen freier Umformung für nachgelagerte Prozesse wie z.B. Lackieren und Kleben von Bedeutung.

Im Rahmen dieser Dissertation wird eine Kombination aus experimentellen und numerischen Methoden genutzt, um den Einfluss dehnungsinduzierter Oberflächenevolution in der Blechumformung zu qualifizieren.

During the forming process the surface of the component undergoes various strain- and contact-induced surface changes. While areas in the flange endure contact-bound forming and thus increasingly smoothen, a roughening of the surface takes place in the area of free forming due to a lack of contact superposition. The resulting surfaces therefore have different areas of influence. While areas in which tool contact is present are particularly relevant for the forming process (or in particular for the coefficient of friction in the flange region), the resulting surface in areas of free forming is relevant for postprocessing such as painting and bonding.

This dissertation uses a combination of experimental and numerical methods to qualify the influence of strain-induced surface evolution in sheet metal forming.

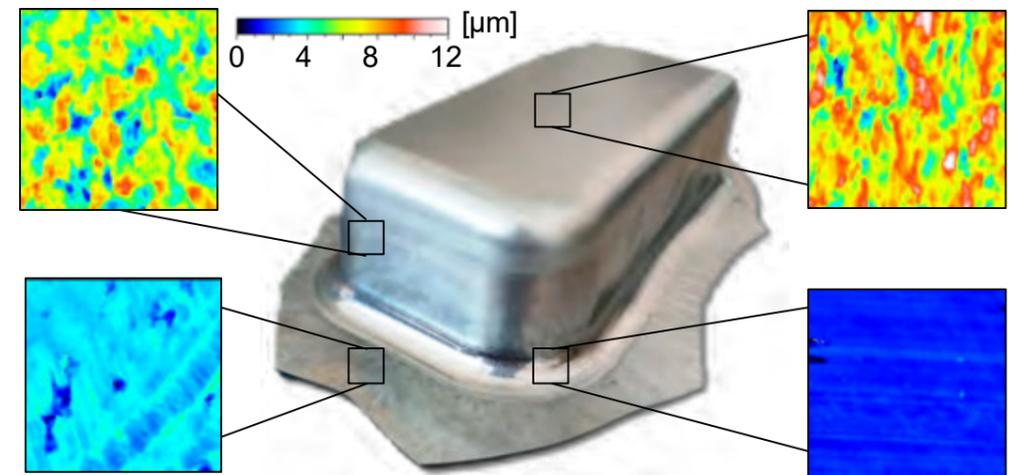


Abbildung: Variation der Oberflächentopographie eines exemplarischen Modellbauteils  
Figure: Variation of the surface topography of an exemplary model component

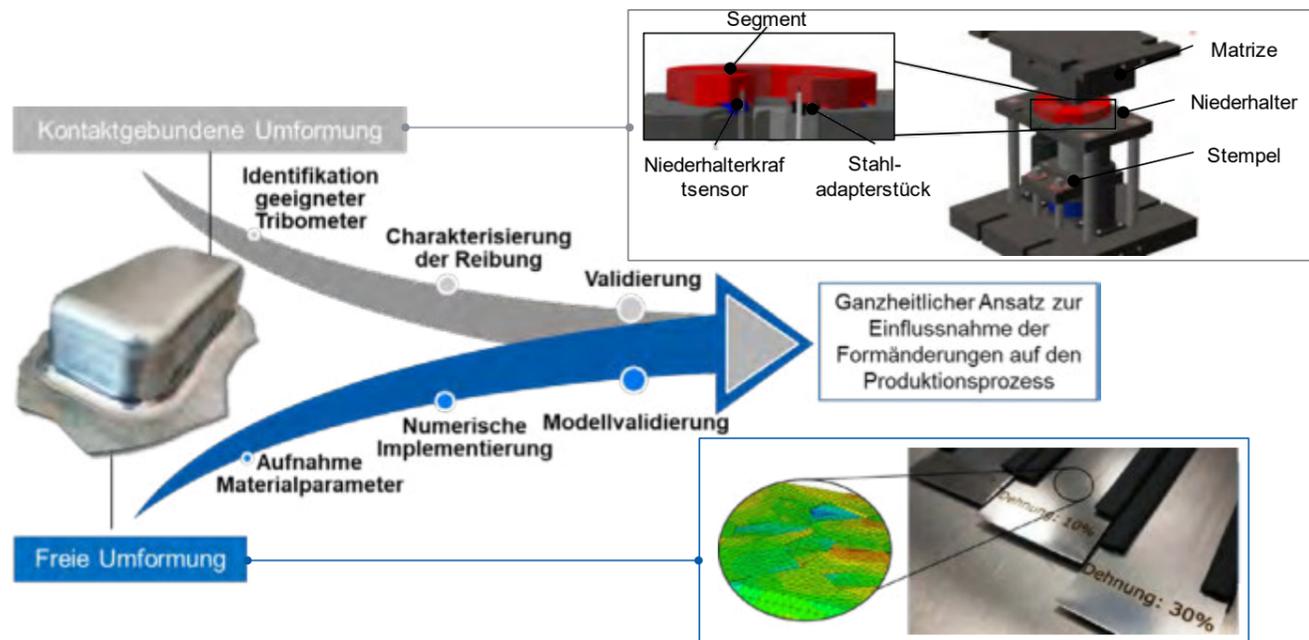


Abbildung: Vorgehensbeschreibung bei der Berücksichtigung der Oberflächenevolution  
Figure: Procedure for the consideration of surface evolution



Abbildung: Einfluss freier Dehnung auf die Oberflächenevolution  
Figure: Influence of straining on the surface evolution



## Vorträge | Presentations

**D. Griesel, H. Husmann, P. Groche**  
*Der Umformtechnik ein neues Gewand geben – Leichtbau mit Schlips und Kragen*  
39. EFB-Kolloquium Blechverarbeitung, 2.-3. April 2019, Bad Boll, Deutschland

**F. Hoppe, M. Knoll, B. Götz, M. Schäffner, P. Groche**  
*Reducing Uncertainty in Shunt Damping by Model-Predictive Stiffness Control in a Single Point Incremental Forming Process*  
3rd International Conference on Uncertainty in Mechanical Engineering, ICUME, 15.-16. November 2018, Darmstadt, Deutschland

**F. Hoppe, C. Pihan, P. Groche**  
*Closed-loop control of eccentric presses based on inverse kinematic models*  
18th International Conference on Sheet Metal SheMet, 15.-17. April 2019, Leuven, Belgien

**F. Hoppe, J. Hohmann, M. Knoll, C. Kubik, P. Groche**  
*Feature-based Supervision of Shear Cutting Processes on the Basis of Force Measurements: Evaluation of Feature Engineering and Feature Extraction*  
47th North American Manufacturing Research Conference NAMRC, 10.-14. Juni 2019, Erie, PA USA

**F. Hoppe, C. Kubik, P. Groche**  
*Digital Forming Technology: How artificial intelligence complements engineering methods in an automated production*  
EMO-Hannover, EMO, 16.-21. September, Hannover, Deutschland

**A. Breunig, F. Hoppe, P. Groche**  
*Localized Blank-Holder Pressure Control in Cup Drawing through Tilting of the Ram*  
NUMIFORM 2019: The 13th International Conference on Numerical Methods in Industrial Forming Processes NUMIFORM, 23. Juni 2019 – 27. Juni 2019, Portsmouth, NH, USA

**A. Breunig, F. Flegler, P. Groche, T. Abraham, G. Bräuer**  
*Extrem glatt: wie glatte Oberflächen trocken und grenzgeschmierte Umformung von Aluminium ermöglichen*  
WGP - Jahreskongress Produktion im Grenzbe- reich. 30.09. – 02.10.2019, Hamburg, Deutschland

**P. Sticht, J. Hohmann, P. Groche**  
*Surface texture optimization of stamping tools by machine hammer peening*  
7th Workshop Machine Hammer Peening, 7. WMHP, 12.-13. November 2018, Aachen, Deutschland

**P. Sticht, A. Kleemann, P. Groche**  
*Homogenization of printed strain gauge resistance by using machine hammer peening and laser heat treatment*  
8. WGP-Jahreskongress, WGP, 19.-20. November 2018, Aachen, Deutschland

**P. Sticht, F. Flegler, P. Groche**  
*Beeinflussung der Oberflächenfeingestalt mittels maschinellem Oberflächenhämmern*  
ECOROLL Research Partnership Days 2019, 15.-16. Mai 2019, Celle, Deutschland

**P. Sticht, J. Hohmann, P. Groche**  
*Effects of machine hammer peened surface textures on the tribological behavior of stamping tools*  
International Conference on Advanced Surface Enhancement  
INCASE, 10.-12. September 2019, Singapur, Singapur

**P. Sticht, P. Groche**  
*Einfluss der Hammerkopfgeometrie bei Bearbeitung höherfester Werkstoffe mittels MOH*  
8th Workshop Machine Hammer Peening, 8. WMHP, 22.-23. Oktober 2019, Karlsruhe, Deutschland

**W. Franke, P. Groche**

*Extended Formability of Paperboard by Pre-Compression in Hydro-Based Deep-Drawing*  
International Paper Physics Conference at Paper-Con 2019, IPPC, 05.-08. Mai 2019, Indianapolis, IN, USA

**M. Becker, P. Groche**

*Towards Nonstop Availability in Roll Forming through Digitalization*  
WGP - Jahreskongress 2019, WGP, 30.09. – 02.10.2019, Hamburg, Deutschland

**J. Sinz, B. Niessen, P. Groche**

*Combined Roller and Plain Bearings for Forming Machines: Design Methodology and Validation*  
WGP - Jahreskongress 2018, WGP, 19.11. - 20.11.2018, Aachen, Deutschland

**J. Sinz, P. Groche**

*Effekte der Größenskalierung auf die Funktionsfähigkeit kombinierter Wälz-Gleitlager*  
13. VDI-Fachtagung Gleit- und Wälzlagerungen: Gestaltung - Berechnung - Einsatz, 05.06. - 06.06.2019, Schweinfurt, Deutschland

**J. Sinz, M. Knoll, P. Groche**

*Operational effects on the stiffness of combined roller and plain bearings*  
8th Manufacturing Engineering Society International Conference, 8. MESIC 19.06 - 21.06.2019, Madrid, Spanien

**Y. Wu, P. Groche**

*Influence of tool material on the wear development in strip drawing tests with high strength steels*  
International Tribology Conference Sendai 2019 ITC Sendai 2019, 17.09 - 21.09.2019, Sendai, Japan

**F. Flegler, P. Groche**

*Trockenumformung von Aluminium*  
Technischer Arbeitskreis „Schmierung vs. Reinheit“ des Industrieverband Blechumformung, IBU 28.05.2019, Darmstadt, Deutschland

**P. Groche, N. Al-Baradoni**

*Werkstoffverbunde 4.0 – Chancen und Anwendungen*  
Metallurgie-Kolloquium 2019, 26.-27. September 2019, Clausthal, Deutschland

**B. Niessen, P. Groche**

*Weld Interface Characteristics of Copper in Collision Welding*  
22nd International Conference on Material Forming, ESAFORM 2019, 8-10 May 2019, Vitoria-Gasteiz, Spanien

**T. Kessler, T. Traub, P. Groche**

*Perspektiven der Automatisierung von Biegeprozessen*  
33. Aachener Stahlkolloquium Umformtechnik, 33. ASK, 28.-29 März, Aachen, Deutschland

**T. Kessler, D. Huttel, P. Groche**

*Massensensorik als Wegbereiter für Industrie 4.0 beim Profilbiegen*  
Konferenz Mittelstand 4.0, KonM4.0, 20-21. Februar 2019, Darmstadt, Deutschland

**M. Moneke, P. Groche, S. Grimm, J. Lange,**

**J. Reising, S. Schäfer**  
*Profiliertechnologie für frei geformte Gebäudehüllen in Stahl-Sandwichbauweise*  
33. Aachener Stahlkolloquium Umformtechnik 33. ASK 28.-29 März, Aachen, Deutschland

**M. Moneke, P. Groche**

*Gestaltungsempfehlungen zum maßhaltigen Walzprofilieren unter Berücksichtigung der prozessbedingten Eigenspannungen*  
11. Fachtagung Walzprofilieren Darmstadt, 11. Wapro, 26.09.2019, Darmstadt, Deutschland

**T. Traub, C. Müller, P. Groche**

*The perspective of sensor integration and automated decision making in roll forming*  
22. ESAFORM Conference, 8.-10 Mai 2019, Vitoria Gasteiz, Spanien

**W. Volk, P. Groche, A. Brosius**

*Models and modelling for process limits in metal forming*  
69th CIRP General Assembly in Birmingham, UK, 18-24 August 2019

**P. Groche, B. Niessen, C. Pabst**

*Untersuchung der Bildungsmechanismen der Fügezone beim Kollisionsschweißen*  
Abschlusskolloquium des Scherpunktprogramms 1640 – Fügen durch plastische Deformation, 5./6. Juni 2019, Darmstadt, Deutschland

**C. Gerlitzky, S. Marthe, I. Westermann,**  
**P. Groche**

*The influence of silicon in EN AW 6082 alloys on the bond strength in cold pressure welding*  
22nd International Conference on Material Forming, ESAFORM 2019, 8-10 May 2019, Vitoria-Gasteiz, Spanien

**C. Gerlitzky, P. Groche**

*Wie belastbar sind durch Fließpressen kaltpressgeschweißte Hybridverbunde?*  
34. Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, 27- 28. Februar 2019, Düsseldorf, Deutschland

**C. Gerlitzky, P. Groche**

*Untersuchung und gezielte Verstärkung des stoffschlüssigen Fügens durch Verfahren der Kaltmassivumformung*  
Abschlusskolloquium SPP 1640, 5.-6. Juni 2019 Darmstadt, Deutschland

**C. Gerlitzky**

*Fließpressen kaltpressgeschweißter Hybridverbindungen*  
DEFORM Anwendertreffen, 16.05.2019, München, Deutschland

**C. Gerlitzky, J. Suhr, P. Groche**

*Cryogenic Brushing as Surface Preparation Technology for Cold Extrusion Welded Bonds*  
Plasticity 2019, January 3-9, 2019, Panama City, Panama



## Veröffentlichungen | Publications

- D. Griesel, H. Husmann, P. Groche**  
*Der Umformtechnik ein neues Gewand geben – Leichtbau mit Schlips und Kragen*  
Tagungsband des 39. EFB-Kolloquiums Blechverarbeitung, 2019
- P. Groche, D. Griesel**  
*Kragenziehen von Sandwichblechen*  
EFB-Forschungsbericht  
Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. (EFB), 2019
- F. Hoppe, C. Pihan, P. Groche**  
*Closed-loop control of eccentric presses based on inverse kinematic models*  
Procedia Manufacturing 29, 04/2019  
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.132>, S. 240-247, Elsevier
- F. Hoppe, J. Hohmann, M. Knoll, C. Kubik, P. Groche**  
*Feature-based Supervision of Shear Cutting Processes on the Basis of Force Measurements: Evaluation of Feature Engineering and Feature Extraction*  
Procedia Manufacturing 34, 07/2019, 10.1016/j.promfg.2019.06.164, S. 847-856, Elsevier
- F. Hoppe, M. Knoll, B. Götz, M. Schäffner, P. Groche**  
*Reducing Uncertainty in Shunt Damping by Model-Predictive Stiffness Control in a Single Point Incremental Forming Process*  
Applied Mechanics and Materials, 885, 11/2018, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.885.35>, S. 35-47, Scientific.Net
- L. Jogerst, M. Knoll, F. Hoppe, J. Wendt, P. Groche**  
*Autonomous Manufacturing Processes under Legal Uncertainty*  
Applied Mechanics and Materials 885, 11/2018  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.885.227>, S. 227-239, Scientific.Net
- W. Franke, P. Groche**  
*Extended Formability of Paperboard by Pre-Compression in Hydro-Based Deep-Drawing*  
TAPPI Proceedings of the International Paper Physics Conference, 2019, TAPPI
- P. Stein, W. Franke, M. von Elling, P. Groche**  
*Forming Behaviour of Paperboard in Single Incremental Forming*  
BioResources, 14, 01/2019, 10.15376/biores.14.1.1731-1764, S. 1731-1764, Bioresources
- T. Suckow, J. Günzel, L. Schell, E. Sellner, J. Dagneu, P. Groche**  
*Temperatureinfluss in der Aluminium-Blechumformung*  
wt-online, 10/2019, Springer-VDI-Verlag GmbH
- H. Hoche, A. Balser, M. Oechsner, A. Franceschi, P. Groche**  
*Verbesserung des Eigenspannungszustands beim Kaltfließpressen durch den aktiven Einsatz eines gesteuerten Gegenstempels*  
Material Science and Engineering Technology 50, 2019, 0049-8688; 0933-5137, S. 669-681, Wiley
- A. Franceschi, M. Kaffenberger, H. Hoche, M. Oechsner, P. Groche**  
*Observations on the stability of the residual stresses after cold forming and unidirectional loading*  
Production Engineering, 01/2019, 11740-018-00871-2, Springer Verlag
- P. Groche, B. Niessen, C. Pabst**  
*Process boundaries of collision welding at low energies*  
Material Science and Engineering Technology 8, 2019, S. 940-948, Wiley
- B. Niessen, P. Groche**  
*Weld interface characteristics of copper in collision welding*  
Proceedings of the 22nd International ESAFORM Conference on Material Forming: ESAFORM 2019, 50018, AIP Publishing
- F. Chi, L. Wießner, T. Gröb, E. Bruder, S. Sawatzki, K. Löwe, J. Gassmann, C. Müller, K. Durst, O. Gutfleisch, P. Groche**  
*Towards manufacturing of Nd-Fe-B magnets by continuous rotary swaging of cast alloy*  
Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 490, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.165405>, 165405, Elsevier
- A. Breunig, F. Hoppe, P. Groche**  
*Localized Blank-Holder Pressure Control in Cup Drawing through Tilting of the Ram*  
Proceeding of NUMIFORM 2019: The 13th International Conference on Numerical Methods in Industrial Forming Processes, 2019, 978-0-87339-769-8
- H. Jinjin, A. Breunig, J. Fones, F. Hoppe, Y. P. Korkolis, B. L. Kinsey**  
*AA1100-O cylindrical cup-drawing using 3D servo-press*
- M. Becker, P. Groche**  
*Towards Nonstop Availability in Roll Forming through Digitalization*  
Production at the leading edge of technology - Proceedings of the 9th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), 2019, DOI 10.1007/978-3-662-60417-5. S. 219-228, Springer Verlag
- M. Heckmann, S. Köhler, S. Biffar, P. Groche**  
*Stegblechumformung für den Karosseriebau: Prozesskette und Industrialisierung*  
Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 114, 09/2019, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
- P. Groche, M. Storbeck, T. Wang**  
*Continuous forming of height-variable profiles by flexible roller beading*  
International Journal of Advanced Manufacturing Technology 103, 04/2019, DOI 10.1007/s00170-019-03670-w, 2649-2663, Springer-Verlag
- T. Wang, P. Groche**  
*Sheet Metal Profiles with Variable Height: Numerical Analyses on Flexible Roller Beading*  
Journal of Manufacturing and Materials Processing, Special Issue: "Analysis and Modeling of Sheet Metal Forming Processes", 02/2019  
<https://doi.org/10.3390/jmmp3010019>, MDPI
- J. Sinz, B. Niessen, P. Groche**  
*Combined Roller and Plain Bearings for Forming Machines: Design Methodology and Validation*  
Advances in Production Research: Proceedings of the 8th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), 11/2018, 978-3-030-03450-4, S. 126-135, Springer
- J. Sinz, P. Groche**  
*Effekte der Größenskalierung auf die Funktionsfähigkeit kombinierter Wälz-Gleitlager* 13.  
VDI-Fachtagung Gleit- und Wälzlagerungen 2019, VDI-Berichte 2348, 06/2019, 978-3-18-092348-2, S. 55-64, VDI Verlag
- J. Sinz, M. Knoll, P. Groche**  
*Operational effects on the stiffness of combined roller and plain bearings*  
Procedia Manufacturing of the 8th Manufacturing Engineering Society International Conference, 06/2019, Elsevier
- W. Schmidt, G. Korpala, N. Missal, U. Prahl, P. Groche**  
*Cold Forging of Hard Materials: Opportunities and Tribological Challenges*  
Proceedings of the 52nd ICFG Plenary Meeting 09/2019, S. 270-277
- P. Groche, M. Christiany, Y. Wu**  
*Load-dependent wear in sheet metal forming*  
Wear, Volumes 422-423, 03/2019, S. 252-260, Elsevier
- P. Groche, Y. Wu**  
*Inline observation of tool wear in deep drawing with thermoelectric and optical measurements*  
CIRP Annals, Volume 68, Issue 1, 2019, S. 567-570, Elsevier

**Y. Wu, P. Groche**

*Influence of tool material on the wear development in strip drawing tests with high strength steels*  
Proceedings of International Tribology Conference Sendai 2019, 09/2019

**P. Sticht, A. Kleemann, P. Groche**

*Homogenization of printed strain gauge resistance by using machine hammer peening and laser heat treatment*  
8. WGP-Jahreskongress WGP, 19.-20. November 2018, 10.1007/978-3-030-03451-1\_48, S. 487-499, Researchgate

**P. Sticht, J. Hohmann, P. Groche**

*Effects of machine hammer peened surface textures on the tribological behavior of stamping tools*  
International Conference on Advanced Surface Enhancement, INCASE, 10.-12. September 2019, 978-981-15-0054-1, S. 108-120, Springer Verlag

**F. Flegler, P. Groche, T. Abraham, G. Bräuer**  
*Extremely smooth: how smooth surfaces enable dry and boundary lubricated forming of aluminum*

Tagungsband des WGP Jahreskongress 2019 2019, Springer Verlag

**F. Flegler, S. Neuhäuser, P. Groche**

*Influence of sheet metal texture on the adhesive wear and friction behaviour of EN AW-5083 aluminum under dry and starved lubrication*  
Tribology International, 141, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.105956>, S. 105956, Elsevier

**M. Moneke, P. Groche, S. Grimm, J. Lange, J. Reising, S. Schäfer**

*Profiliertechnologie für frei geformte Gebäudehüllen in Stahl-Sandwichbauweise*  
Tagungsband 33. ASK Umformtechnik, März 19, 978-3-95886-271-5, 157-167, Verlagshaus Mainz GmbH

**T. Kessler, T. Traub, P. Groche**

*Perspektiven der Automatisierung von Biegeprozessen*  
Tagungsband 33. ASK Umformtechnik, Mr19, 978-3-95886-271-5, 67-76, Verlagshaus Mainz GmbH

**T. Traub, C. Müller, P. Groche**

*The perspective of sensor integration and automated decision making in roll forming*  
Tagungsband AIP Conference Proceedings. Vol. 2113. No. 1. AIP Publishing, 2019

**T. Traub, B. Güngör, P. Groche**

*Measures towards roll forming at the physical limit of energy consumption*  
The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 104.5-8, (2019): 2233-2245

**F. Hoppe, T. Gally, P. Groche**

*Identification of Model Uncertainty via Optimal Design of Experiments applied to a Mechanical Press*  
Preprint, arXiv:1910.08408, 2019

**A. Franceschi, P. Groche, H. Hoche**

*Enhancement of the residual stresses of cold full forward extruded parts by application of an active counter punch*  
Materials Science & Engineering Technology 17 June 2019  
<https://doi.org/10.1002/mawe.201900050>

**W. Volk, P. Groche, A. Brosius**

*Models and modelling for process limits in metal forming*  
Elsevier, CIRP Annals, Volume 68, Issue 2, 2019, Pages 775-798, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.05.007>

**C. Gerlitzky, P. Groche, A. Erbe**

*Atomic level bonding mechanism in steel/aluminum joints produced by cold pressure welding*  
Elsevier, Materialia Volume 7, September 2019, 100396, <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2019.100396>

**A. Mann, C. M. Bürgel, P. Groche**

*A Modeling Strategy for Predicting the Properties of Paraffin Wax Actuators*  
Actuators 2018, 7(4), 81; <https://doi.org/10.3390/act7040081>

**P. Kramer, P. Groche**

*Friction measurement under consideration of contact conditions and type of lubricant in bulk metal forming*  
Lubricants, 2019, 7(2), <https://doi.org/10.3390/lubricants7020012>

**C. Gerlitzky, M. Rohwerder, P. Groche**

*Which properties must a surface have to be suitable for cold pressure welding?*  
AIP Conference Proceedings, Volume 2113, Issue 1, id.050019, 10.1063/1.5112583

**C. Gerlitzky, I. Westermann, P. Groche**

*The influence of silicon in EN AW 6082 alloys on the bond strength in cold pressure welding*  
AIP Conference Proceedings 2113, 050020 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5112584>

**P. Groche, B. Niessen, C. Pabst**

*Process boundaries of collision welding at low energies*  
Materials Science & Engineering Technology 07 August 2019  
<https://doi.org/10.1002/mawe.201900027>

**C. Gerlitzky, C. Kuhn, P. Groche**

*3D cold pressure welded components – From the bonding mechanisms to the production of high strength joints*  
Materials Science & Engineering Technology 25 July 2019  
<https://doi.org/10.1002/mawe.201900101>

11/2018–11/2019



Which pencil should I use? 2B or not 2B?



## Lehrveranstaltungen

### Courses

Das Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen bietet Studierenden des Maschinenbaus, des Wirtschaftsingenieurwesens, der Mechatronik und des Computational Engineerings Lehrveranstaltungen aus dem Bereich der Produktionstechnik an. Bereits im ersten Semester erlernen sie die Grundlagen der Produktionstechnik in der Basisvorlesung „Technologie der Fertigungsverfahren“. Neben der Vermittlung des theoretischen Wissens ist die Förderung des Verständnisses für praxisbezogene Aspekte der Produktionsprozesse integraler Bestandteil der Veranstaltung, unter anderem durch zahlreiche Fertigungsbeispiele, Bauteildemonstratoren und Fallstudien mit realen Problemstellungen aus der Industrie. Im weiteren Verlauf des Studiums kann das so erworbene fertigungstechnische Basiswissen durch eine Vielzahl weiterer Vorlesungen vertieft werden. Hierzu zählt die Vorlesung „Laser in der Fertigung“, in der die Grundlagen und Anwendungsgebiete der lasertechnischen Materialbearbeitung dargestellt werden. Des Weiteren werden in den Vorlesungsreihen „Umformtechnik I + II“ sowie „Maschinen der Umformtechnik I + II“ die Grundlagen der Plastomechanik, Tribologie, verschiedenste Umformtechnologien und die dafür erforderlichen Maschinen sowie Fertigungs- und Handhabungsvorrichtungen vertiefend behandelt. Erweitert wird das Lehrangebot durch die Vorlesungen „Prozessketten in der Automobilindustrie I + II“ und „Fertigungsgerechte Maschinenkonstruktion I + II“, die durch externe Dozenten gehalten werden und einen praxisorientierten Einblick in die jeweiligen Themen geben. Neben dem umfangreichen Vorlesungsangebot finden zudem die Tutorien „Umformtechnik“, „Stahl fliegt“ und „Steuerung und Regelung von Umformmaschinen“ statt. In den zahlreich angebotenen Advanced Design Projects und Advanced Research Projects wird es den Studierenden ermöglicht, im Team an Fragestellungen aus Forschung und Praxis zu arbeiten. Zudem bietet das Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen jederzeit eine Vielzahl an Bachelor- oder Masterarbeiten zu aktuellen Themen an.

The Institute for Production Engineering and Forming Machines offers courses in the field of production engineering to students of mechanical engineering, business administration/industrial engineering, mechatronics and computational engineering. Already in the first semester, they learn the fundamentals of production engineering in the basic lecture "Production Technology". In addition to teaching theoretical knowledge, the course also promotes an understanding of practice-related aspects of production processes, including numerous manufacturing examples, demonstrators and case studies featuring real world problems. This basic knowledge in manufacturing technology can be enhanced through a large number of advanced courses. These include the lecture "Laser in Manufacturing", in which the basics and application areas of laser material processing are presented. Furthermore, in the lecture series "Forming Technologies I + II" the basics of plastomechanics, tribology and various forming technologies are covered. The course "Forming Machines I + II" deals with the necessary machines as well as manufacturing and handling devices in detail. The range of classes is completed by the lectures "Process Chains in the Automotive Industry I + II" and "Machine Design I + II", which are held by external lecturers and provide a practice-oriented insight into the respective topics. In addition to the extensive range of lectures, the tutorials "Metal Forming", "Airborne Steel" and "Control of Forming Machines" are held. In the numerous Advanced Design Projects and Advanced Research Projects offered, students are able to work in a team on questions from research and practice. In addition, the Institute for Production Engineering and Forming Machines offers a large number of bachelor's and master's theses on current topics at any time.

	Titel Title	Inhalte Topics	Durchführung Held by
Vorlesungen Lectures	Technologie der Fertigungsverfahren Production Technology	Randbedingungen und Ziele der Fertigungstechnik Grundlagen und Verfahren des Urformens und Umformens Beispiele aus der Fertigung Boundary conditions and aims of the production technology Fundamentals and processes of primary shaping and forming technologies Examples from real life production	Prof. P. Groche
	Laser in der Fertigung Laser in Manufacturing	Grundlagen der Lasertechnik, Lasertypen, Materialbearbeitung mit Laser, Rapid Prototyping und Lasersicherheit Basics of laser technology, material processing by means of Lasers, rapid prototyping and laser safety	Prof. P. Groche
	Umformtechnik I + II Metal Forming I + II	Technische und wirtschaftliche Grundlagen, Metallkunde, Plastomechanik und Tribologie, Verfahren der Blech- und Massivumformung Technical and economical basics, metallurgy, plastomechanics and tribology, processes of sheet and bulk metal forming	Prof. P. Groche
	Maschinen der Umformtechnik I + II Forming Machines I + II	Bauarten von Maschinen: Kenngrößen, Baugruppen, Steuerungen Forming machines: parameters, components, controls	Prof. P. Groche
	Prozessketten in der Automobilindustrie I + II Process Chains in the Automotive Industry I + II	Automobilindustrie und Nutzfahrzeuge, Pilot- und Vorserienfertigung, Produktionshochlauf und Markteinführung Automotive and utility vehicle industry, pilot production and market introduction	Dr.-Ing. H. Steindorf, Daimler AG
	Fertigungsgerechte Maschinenkonstruktion I + II Machine Design I + II	Vertiefung bereits bekannter Konstruktionsprinzipien, Auslegen und Detaillieren von Einzelteilen und Baugruppen in Übungen Deepening of existing design principles, Design and dimensioning of individual parts and assemblies in practice sessions	Prof. M. Scheitza
Tutorien Tutorials	Tutorium „Stahl fliegt“ Tutorial „Stahl fliegt“	Konstruktion und Fertigung eines flugfähigen Objekts aus Stahlwerkstoffen (Studierendenwettbewerb „Stahl fliegt“) Design and construction of a flying object only made from steel products (student competition „Stahl fliegt“)	Prof. P. Groche und MitarbeiterInnen Prof. P. Groche and staff
	Tutorium Umformtechnik Tutorial Forming Technologies	Bearbeitung einer Aufgabenstellung aus der Ingenieurspraxis mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode sowie die Einarbeitung in das FE-Software Paket Abaqus 6.14 Real-life-task from practice: Application of the Finite Elements Analysis as well as the familiarization with the FE-software package Abaqus 6.14	Prof. P. Groche und MitarbeiterInnen Prof. P. Groche and staff
	Tutorium Steuerung und Regelung von Umformmaschinen Tutorial Control of Forming Machines	Erlernen von Prinzipien der Steuerung und Regelung von Umformmaschinen und Bearbeitung einer Aufgabenstellung der Ingenieurspraxis Learning principles of control systems of forming machines and processing a Real-life-task from practice	Prof. P. Groche und MitarbeiterInnen Prof. P. Groche and staff
Sonstige Other	Umformtechnische Kolloquien Forming Colloquia	Vorstellung von Bachelor- und Masterarbeiten Presentation of Bachelor- and Master theses	Prof. P. Groche und MitarbeiterInnen Prof. P. Groche and staff
	Advanced Design Project und Advanced Research Project Advanced Design Project and Advanced Research Project	Bearbeitung einer komplexen Aufgabenstellung aus der Ingenieurspraxis in Teamarbeit Real-life-task from practice: complex engineering task in team work	Prof. P. Groche und MitarbeiterInnen Prof. P. Groche and staff
	Exkursionen Excursions	Besichtigungen und Führungen durch Betriebe im Bereich Umformtechnik Field trips and guided tours through companies in the field of metal forming	Prof. P. Groche, Dr.-Ing. H. Steindorf, Daimler AG

Kursbegleitende Fallstudien zur Vorlesung „Technologie der Fertigungsverfahren“  
Case studies as part of the lecture “Production Technology”

Die Vorlesung „Technologie der Fertigungsverfahren“ wird im ersten Semester des Bachelorstudiums angeboten und vermittelt den Studierenden zum Einstieg in das Studium einen umfassenden Überblick und das grundlegende Verständnis für Produktionsprozesse. Vorlesungsbegleitend wird den Studierenden die Möglichkeit geboten, ihr erlerntes Wissen im Rahmen von Fallstudien mit realen Problemstellungen aus der Industrie einzusetzen.

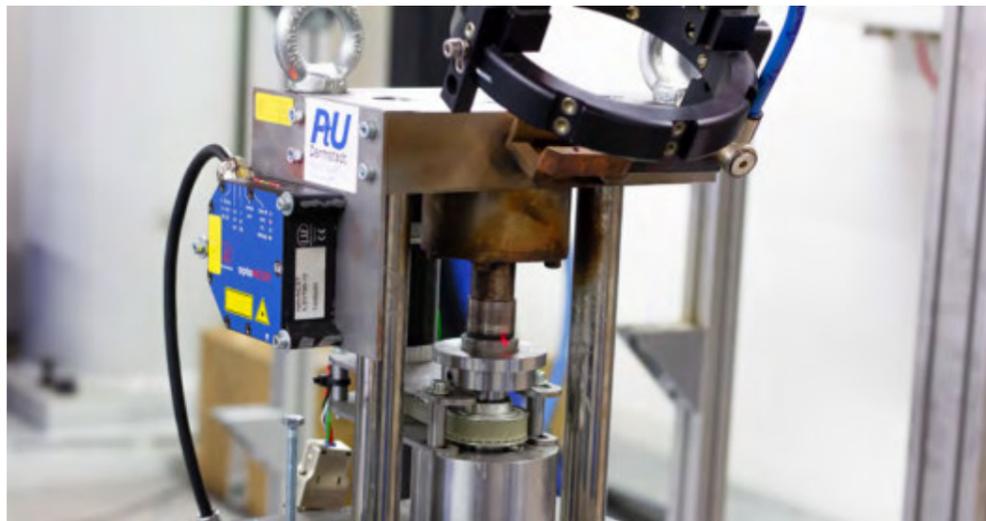
Die insgesamt sechs Fallstudien werden in Kooperation mit verschiedenen Partnerunternehmen in Form von Kleinprojekten zu den Themengebieten „Fabrikplanung“, „Gießen“, „Pulvermetallurgie“, „Umformtechnik“ und „Kaltmassivumformung“ angeboten.

Die eingesendeten Lösungskonzepte werden bewertet und die Gewinner jeder Fallstudie erhalten die Gelegenheit an einer Exkursion zum entsprechenden Partnerunternehmen teilzunehmen.

The lecture “Production Technology” as part of the first semester course schedule of the bachelor programme imparts a broad overview and basic understanding of production processes to the students. During the lecture the students are also offered the opportunity to apply their acquired knowledge by participating in case studies with real problems from the industry.

The six case studies are offered in cooperation with various partner companies in the form of small projects on the topics “factory planning”, “casting”, “powder metallurgy”, “forming technology” and “cold massive forming”.

The submitted solution concepts will be evaluated and the winners of each case study will have the opportunity to participate in an excursion to the respective partner company.



1. Fallstudie: Fabrikplanung  
1<sup>st</sup> case study: Fabric planning

**Partnerunternehmen: Hörmann Automotive Gustavsburg GmbH**

In der ersten Fallstudie beschäftigten sich die Studierenden mit der wertstromoptimierten Neugestaltung eines Produktionsbereichs. Die Thematik wurde am Beispiel der Prozesskette zur Fertigung von Rohrquerträgern bearbeitet. Die Komplexität der Aufgabe bestand neben den baulichen Randbedingungen in den zu realisierenden Varianten und der achtstufigen Prozesskette. Somit konnten die Studierenden die Vorlesungsinhalte an einem industriellen Prozess anwenden.

Unser herzlicher Dank gilt der Firma Hörmann Automotive Gustavsburg GmbH für die hervorragende Zusammenarbeit im Rahmen der Fallstudie.

**Partner company: Hörmann Automotive Gustavsburg GmbH**

In the first case study, the students focused on the value stream-optimised redesign of a production area. The topic was analysed using the example of the process chain for the production of pipe cross-beams. The complexity of the task consisted of the structural boundary conditions, the variants to be realised and the process chain with up to eight stations. Thus, the students were able to apply the lecture contents to an industrial process.

Our sincere thanks go to Hörmann Automotive Gustavsburg GmbH for the excellent cooperation in the case study.



## 2. Fallstudie: Gusskonstruktion

2<sup>nd</sup> case study: Cast Construction



**Partnerunternehmen:**  
Römheld & Moelle GmbH

In der zweiten Fallstudie beschäftigten sich die Studierenden mit der fertigungs- und belastungsgerechten Konstruktion von Gussteilen. Am Beispiel eines Maschinenbetts für eine Fräsmaschine, in das bewusst einige Details eingebracht wurden, welche die Fertigung erschweren oder gar unmöglich machen würden, konnten die Studierenden die in der Vorlesung behandelten Gestaltungsrichtlinien realitätsnah anwenden. Zudem stand die Entscheidung über einen möglichen Gusswerkstoff und eine vorteilhafte Fertigungsverfahrensvariante an.

Unser herzlicher Dank gilt der Firma Römheld & Moelle GmbH für die bereits seit vielen Jahren bestehende Zusammenarbeit im Rahmen der Fallstudien, die unseren Studierenden immer wieder spannende Einblicke in die Gießereitechnik ermöglicht.

**Partner company:**  
Römheld & Moelle GmbH

In the second case study, the students were concerned with the design of castings suitable for production and application requirements. Using the example of a machine bed for a milling machine, in which some details were deliberately integrated that would complicate or even prevent production, the students were able to apply the design guidelines discussed in the lecture in a hands-on task. In addition, they had to decide on a possible casting material and an advantageous manufacturing process.

Our sincere thanks go to Römheld & Moelle GmbH for the many years of cooperation with us on the case studies, which have always enabled our students to gain exciting insights into foundry technology.



**Römheld & Moelle**

## 3. Fallstudie: Qualitätssicherung beim Gießen

3<sup>rd</sup> case study: Quality Assurance in Metal Casting



**Partnerunternehmen:**  
KONCAST GmbH

Im Rahmen der dritten Fallstudie beschäftigten sich die Studierenden mit der Qualitätssicherung beim Gießen. Dies wurde am Beispiel eines in Kleinserie gefertigten Aluminiumgussbauteils durchgeführt. Die Studierenden konnten dabei sowohl die in der Vorlesung erworbenen Kenntnisse über Gusswerkstoffe, sowie die Qualitätssicherung an einem konkreten Bauteil anwenden. Weiterhin bekamen die Studierenden einen interessanten Einblick in die Besonderheiten des Gießens von Aluminium

Wir möchten uns herzlich bei der Firma KONCAST GmbH für die Zusammenarbeit und das Ermöglichen der Fallstudie bedanken.

**Partner company:**  
KONCAST GmbH

During the third case study, the students dealt with quality assurance in metal casting, more specifically during the casting of aluminium alloys. The case study dealt with the small batch production of an aluminium cast part. The students applied their theoretical knowledge of both, casting alloys as well as quality assurance to a close to reality component, with a special focus on the characteristic properties and challenges of aluminium alloys.

We would like to thank KONCAST GmbH for their support in preparing and executing of this case study!



4. Fallstudie: Wirtschaftlichkeit in der Pulvermetallurgie  
 4<sup>th</sup> case study: Economic efficiency in powder metallurgy



Quelle: Schunk Sintermetalltechnik GmbH

**Partnerunternehmen:**  
 Schunk Sintermetalltechnik GmbH

Die Aufgabenstellung der vierten Fallstudie betrachtet den Vergleich zwischen selektivem Lasersintern und konventionellem Einzachsintern aus wirtschaftlichem Blickwinkel am Beispiel eines leichtbauoptimierten Zahnrades. Hierfür war zunächst die Konzeption einer abgeleiteten sintergerechten Bauteilgestaltung erforderlich. Die Bewertungen und der Vergleich der Fertigungsverfahren erfolgten durch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand einer Stückkostenrechnung.

Wir bedanken uns bei der Schunk GmbH für die erneute Zusammenarbeit und das Ermöglichen der diesjährigen Fallstudie.

**Partner company:**  
 Schunk Sintermetalltechnik GmbH

The task of the fourth case study was the comparison of selective laser sintering to conventional single axis sintering from an economic point of view, using the example of a lightweight optimized gear wheel. This initially required the design of a derived sintering-compatible component geometry. The evaluations and the comparison of the manufacturing processes were carried out by means of a profitability analysis based on a unit cost calculation.

We would like to thank the Schunk GmbH for the repeated cooperation and support of this year's case study.



5. Fallstudie: Messergebnisse in der Umformtechnik  
 5<sup>th</sup> case study: Measuring Results in Forming Technology



DER FORTSCHRITT BEGINNT BEIM WERKSTOFF

**Partnerunternehmen:**  
 Vacuumschmelze GmbH

In Fallstudie 5 beschäftigten sich die Studierenden mit der messtechnischen Erfassung von werkstoff- und bauteilspezifischen Kennwerten. Dazu wurden die bei der Vacuumschmelze eingesetzten magnetischen Legierungen im Hinblick auf ihre mechanischen Eigenschaften anhand realer Messdaten aus Spannungs-Dehnungs-Diagrammen untersucht. Im weiteren Verlauf sollten die Studierenden konstruktive Maßnahmen an einer Zug-Druck Prüfmaschine zur Überprüfung der Verbindungsfestigkeit stanzpaketierter Statorbauteile aus den magnetischen Legierungen der Vacuumschmelze erarbeiten.

Unser herzlicher Dank gilt der Firma Vacuumschmelze GmbH in Hanau für die hervorragende Zusammenarbeit im Rahmen der Fallstudien.

**Partner company:**  
 Vacuumschmelze GmbH

In case study 5, the students focused on the measurement of material- and component-specific properties. For this purpose, the magnetic alloy used at Vacuumschmelze was analysed with regard to its mechanical characteristics on the basis of real measurement data from stress-strain diagrams. In the further course, the students had to develop constructive design concepts on a strain-compression testing machine to check the connecting strength of punch-packed stator components made of Vacuumschmelze's magnetic alloys.

Our sincere thanks go to Vacuumschmelze GmbH in Hanau for the excellent cooperation in the case studies.

## 6. Fallstudie: Dimensionierung in der Massivumformung

6<sup>th</sup> case study: Dimensioning in massive forming



**Partnerunternehmen:**  
KAMAX Holding GmbH & Co. KG

Die sechste Fallstudie hat die Studierenden mit einer Problemstellung zur Dimensionierung in der Massivumformung herausgefordert.

Bei der Herstellung von Schrauben für die Automobilindustrie ist die beanspruchungsgerechte Auslegung entscheidend. In diesem Zusammenhang wurde den Studierenden die Verantwortung bei der Dimensionierung sicherheitsrelevanter Bauteile bewusstgemacht.

Weiterhin hat die Studie das Gewichteinsparpotential bei Verwendung leichtbauoptimierter Werkstoffe betrachtet.

Wir bedanken uns bei der „KAMAX Holding GmbH & Co. KG“ für die Zusammenarbeit und das Ermöglichen dieser Fallstudie.

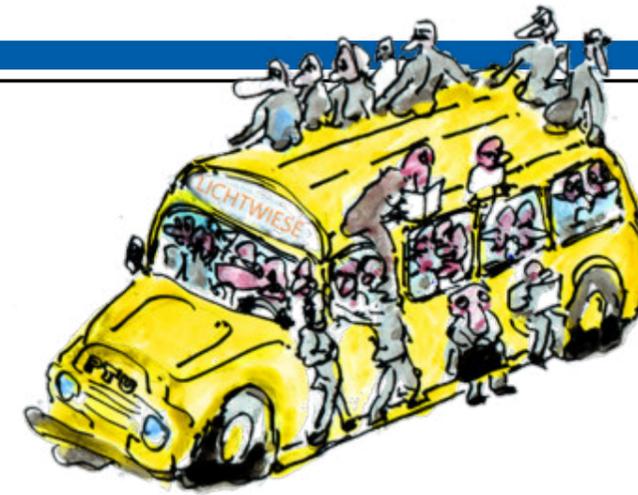
**Partner company:**  
KAMAX Holding GmbH & Co. KG

The sixth case study challenged the students with a problem of dimensioning in massive forming.

For the production of screws used in the automotive industry, the appropriate design for the stresses involved is crucial. In this context, the students were made aware of the responsibility in dimensioning safety-relevant components.

Furthermore, the study considered the weight reduction potential of lightweight materials.

We would like to thank "KAMAX Holding GmbH & Co. KG" for their cooperation and support of this year's case study.



Studierendenzahlen

Student numbers

TU Darmstadt

Bachelor MPE	1289
Master MPE	1103
Master PST	11

*Bachelor  
Mechanical and Process Engineering (MPE)*

Gesamt	1289
Weiblich	160
Im 1. Fachsemester (gesamt)	208

*Master  
Mechanical and Process Engineering (MPE)*

Gesamt	1103
Weiblich	150
Im 1. Fachsemester (gesamt)	149

*Master  
Paper Science and Technology (PST)*

Gesamt	11
Weiblich	3
Im 1. Fachsemester (gesamt)	1

TU Darmstadt

Bachelor MPE	1289
Master MPE	1103
Master PST	11

*Bachelor  
Mechanical and Process Engineering (MPE)*

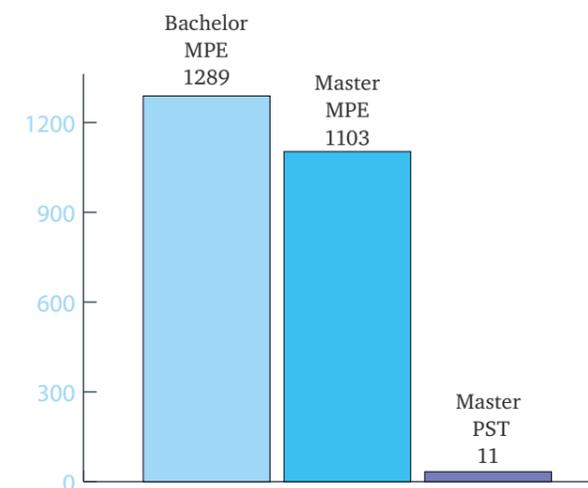
Total	1289
Female	160
First Semester (total)	208

*Master  
Mechanical and Process Engineering (MPE)*

Total	1103
Female	150
First Semester (total)	149

*Master  
Paper Science and Technology (PST)*

Total	11
Female	3
First Semester (total)	1



Studierendenzahlen zum Wintersemester 2019  
laut Hochschulstatistik, Stand 11/2019

Student numbers winter semester 2019  
according to university statistics, status 11/2019

## Bachelorarbeiten | Bachelor theses

### Baroianu, Rares-Cristian

Untersuchung der Eignung des W-Temper-Prozesses bei der mehrstufigen Umformung von hochfestem Aluminium  
Betreuer: Janosch Günzel, M.Sc.

### Dhanju, Andreas

Untersuchung des Temperatureinflusses auf das Grenzverhältnis von hochfesten Aluminiumlegierungen  
Betreuer: Janosch Günzel, M.Sc.

### Fakrouche, Nassim

Experimentelle Untersuchung der Fügezonenausbildung beim Kollisionsschweißen  
Betreuer: Benedikt Niessen, M.Sc.

### Spies, Daniel

Optimierung des Laserschweißprozesses zur Performancesteigerung von Dehnstoffaktoren  
Betreuer: Peter Sticht, M.Sc.  
Thiemo Germann, M.Sc.

### Gao, Shang

Numerische Untersuchung eines Rundknetprozesses zur Herstellung von plattierten Stabverbundwerkstoffen  
Betreuer: Fansun Chi, M.Sc.

### Guo, Yutong

Untersuchung und Anpassung des Aufheizverhaltens von einem Leistungsregler der induktiven Erwärmungsanlage  
Betreuer: Fansun Chi, M.Sc.

### Sutharsan, Kumaran

Experimentelle Prozessfensterermittlung des Kollisionsschweißens von Aluminium und Kupfer  
Betreuer: Benedikt Niessen, M.Sc.

### Xiao, Shuolin

Optimierung eines Verschleißmodells in der Blechumformung durch numerische Simulation  
Betreuer: Yutian Wu, M.Sc.

### Wu, Disheng

Analyse der Einflussfaktoren auf die Verschleißdetektion mittels Strommessung  
Betreuer: Yutian Wu, M. Sc.

### Haidary, Wahid

Skalierungsgrenzen kombinierter Walz-Gleitlager  
Betreuer: Julian Sinz, M.Sc.

### Gluns, Johanna Bettina

Thermische Auslegung eines Warm-Walzprofilierprozesses zur Einstellung gradiertester Festigkeitseigenschaften von Rohren  
Betreuer: Timon Suckow, M.Sc.

### Berg, Tim Oliver

Auslegung einer Messdynamik zur Detektion von Rissen auf Aluminiumblechen  
Betreuer: Felix Flegler, M.Sc.

### Niemöckl, Joshua

Simulative Untersuchung der prozessbeeinflussenden Parameter und Prozessgrenzen beim Stanzlochwalzen anhand eines FE-Modells  
Betreuer: Maximilian Knoll, M.Sc.

### El-Jaouhari, Yassin

Experimentelle Untersuchung der Kontaktbedingungen beim Kaltpressschweißen mittels Gleitstauchversuchen  
Betreuer: Christiane Gerlitzky, M.Sc.  
Patrick Volke, M.Sc.

### Söndgen, Michael Paul Horst

Entwicklung einer optischen Online-Messvorrichtung zur Erfassung der Kontur von gebogenen Profilen  
Betreuer: Thomas Kessler, M. Sc.

### Wolni, Lana

Optimierung des Vorspannpotentials mittels Hochdruck-Blechumformung gespannter Hybridstrukturen  
Betreuer: Henning Husmann, M.Sc.

### Kirchhoff, Hanns August

Flexible Zusatzoperationen beim Walzprofilieren durch den Einsatz von Industrierobotern  
Betreuer: Alexander Baron, M.Sc.

### Reinsch, Johannes

Optimierung und Validierung eines Prüfstandes zur Untersuchung der Haftreibung in der Massivumformung  
Betreuer: Wilhelm Schmidt, M.Sc.

### Öczubukcu, Tahir

Numerische Untersuchung und Weiterentwicklung eines Regelungskonzepts für Drei-Rollen-Profilbiegeprozesse  
Betreuer: Thomas Kessler, M.Sc.

### Khuat, Anh Tung

Parameteridentifikation der 3D-Servo-Pressen  
Betreuer: Florian Hoppe, M.Sc.

### Dagnew, Jonathan

Konstruktion eines U-O-Biegewerkzeugs und Marchbarkeitsanalyse zum Verschweißen von Aluminiumblechen und-rohren (EN AW 7075)  
Betreuer: Timon Suckow, M.Sc.

### Nitschke, Felix

Entwurf eines Erwärmungskonzepts für die Warmumformung von Aluminium an einem Reib- und Verschleißprüfstand  
Betreuer: Viktor Recklin, M.Sc.

### Ye, Hongyi

Entwicklung einer Biegevorrichtung zum Krümmen flexibel walzprofilierter Bauteile  
Betreuer: Thomas Kessler, M.Sc.

### Khawar, Mobaris Usman

Maßgeschneiderte Oberflächen von Aluminiumwerkstoffen für verbessertes Verschleißverhalten bei der Trockenumformung  
Betreuer: Felix Flegler vorm. Kretz, M.Sc.

### Eiermann, Jonas

Industrie 4.0 in der Praxis: Steigerung der Energieeffizienz und Reduktion des Verschleißes von industriellen Profilierprozessen  
Betreuer: Tilman Traub, M.Sc.

### Schrimpf, Malte

Inbetriebnahme eines Prüfstandes für Vollumlauf- und Schwenkversuche von kombinierten Wälz-Gleitlagern  
Betreuer: Julian Sinz, M.Sc.

### Gutsfeld, Selina

Bestimmung des Umformverhaltens papierbasierter Schichtverbunde bei der inkrementellen Umformung  
Betreuer: Philipp Stein, M. Sc.

### Zararsiz, Oguzhan

Numerische Analyse der Eigenspannungen beim Voll-Vorwärtsfließpressen  
Betreuer: Alessandro Franceschi, M.Sc.

### Haag, Marius

Auswahl und Vergleich von Algorithmen zum maschinellen Lernen zur Unterstützung bei der Entscheidungsfähigkeit beim Walzprofilieren  
Betreuer: Tilman Traub, M.Sc.

### Mantel, Franziska Gabriele

Umformung hochfester Bleche - Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit auf die Verschleißentwicklung  
Betreuer: Yutian Wu, M.Sc.

### Webersinn, Maximilian Herbert Manfred

Untersuchung des Einflusses geometrischer Gehäuseparameter eines kreisförmigen Dehnstoffaktors auf das Aktorverhalten  
Betreuer: Arne Mann, M.Sc.

### Gabele, Sebastian Michael

Optimierung eines Werkzeugs zur Verschleißuntersuchung in der Massivumformung  
Betreuer: Wilhelm Schmidt, M.Sc.

### Lin, Gaoyuan

Modellierung der mikrostrukturellen Entwicklung eines Materials während des Thixoformings  
Betreuer: Fansun Chi, M.Sc.

### Alsheimer, Jonah

Untersuchung des Herstellungsprozesses zur zielgerichteten Einstellung des Kraft-Weg-Verhaltens eines geschlossenen Dehnstoffgehäuses  
Betreuer: Arne Mann, M.Sc.

## Masterarbeiten | Master theses

### Kluy, Lukas

Entwicklung einer Gegendruckeinheit für den kontinuierlichen Equal-Channel-Angular-Swaging Prozess auf einer Schnellläuferpresse  
Betreuer: Fansun Chi, M.Sc.

### Yörür, Cihan

Untersuchung von Auslegungsstrategien für flexible walzprofilierte Strukturbauteile im Automobilbau  
Betreuer: Matthias Moneke, M.Sc.

### Winter, Sven

Entwicklung und Validierung einer Testumgebung zur Bilderfassung und -verarbeitung bei optischer Verformungsmessung  
Betreuer: Nassr Al-Baradoni, M.Sc.

### Kuru, Mustafa Mert

Numerische und experimentelle Untersuchung zur Bestimmung der Kontakttemperatur in der Blechumformung  
Betreuer: Yutian Wu, M.Sc.

### Kämmer, Stefan

Entwicklung eines Prüfstandes zur Validierung eines Messkonzeptes zur optischen Erfassung des Dehnungsfelds  
Betreuer: Nassr Al-Baradoni, M.Sc.

### Spindler, Sören

Analyse und Bewertung der Auswirkungen von Maßabweichungen einer Pressen-Antriebswelle auf die Genauigkeit der Presse  
Betreuer: Janosch Günzel M.Sc.  
Julian Sinz, M.Sc.

### Erz, Christian

Analyse von Einflussparametern im Serienumformprozess und dessen Auswirkungen auf den Blechkanteneinzug  
Betreuer: Felix Flegler, M.Sc.

### Yu, Jingyang

Auslegen und Konstruktion einer Schweißvorrichtung für den Inline-Schweißprozess zur Herstellung hochfester Aluminiumrohre  
Betreuer: Timon Suckow, M.Sc.

### Schösser, Florian

Systemorientierte Weiterentwicklung von Produktionsstandards unter Einbeziehung eines betriebswirtschaftlichen Zielsystems und Abbildung im Anforderungsmanagement  
Betreuer: Peter Sticht, M.Sc.

### Corbean, Daniel

Optimierung der zeitlichen Energieeinbringung beim Abtragen von Metallen mit ultrakurzen Laserpulsen hinsichtlich der thermischen Bauteilbelastung  
Betreuer: Stefan Köhler, M.Sc.

### Becker, Marco

Auswahl von Methoden zur Erfassung und Auswertung von Drehmomentsignalen beim Walzprofilieren und deren Bewertung im Hinblick auf eine Prozessdiagnose  
Betreuer: Matthias Moneke, M.Sc.

### Dhaliwal, Tajinder

Modellierung und Regelung einer mechanischen Presse mithilfe von Methoden des maschinellen Lernens  
Betreuer: Florian Hoppe, M.Sc.

### Biffar, Simon

Entwicklung eines industrietauglichen numerischen Modells mit Schalenelementen zur Beschreibung des Umformverhaltens von Stegblechen  
Betreuer: Stefan Köhler, M.Sc.

### Khanmohammadi, Abbas

Aufbau eines räumlichen Modells zur Abbildung realer Gefügestrukturen  
Betreuer: Viktor Recklin, M.Sc.

### Gotta, Christian

Untersuchungen zur plastischen Deformation der Fügezone beim Kollisionsschweißen  
Betreuer: Benedikt Niessen, M.Sc.

### Helmling, Jörg

Untersuchung von Veränderungen der Bauteilgeometrie durch das Schlussglühen  
Betreuer: Fansun Chi, M.Sc.

### Schatz, Tillmann

Analyse von Zusammenhängen für Condition Monitoring System in der Blechumformung durch Sensorkombinatorik  
Betreuer: Johannes Hohlmann, M.Sc.

### Kubik, Christian

Sensitivitätsanalyse eines Scherschneidprozesses mit schwankenden Halbzeug- und Stempelparametern  
Betreuer: Johannes Hohlmann, M.Sc.

### Zhu, Jiayi

Umformung hochfester Bleche - Einfluss der Werkzeughärte auf die Verschleißentwicklung  
Betreuer: Viktor Recklin, M.Sc.

### Dillmann, Joel

Numerische Untersuchung des Einflusses realer Korngrößenverteilungen auf die dehnungsinduzierte Oberflächenevolution  
Betreuer: Viktor Recklin, M.Sc.

### Schröder, Julius

Entwicklung eines Werkzeugs für einen Walzprofilierprozess zur Herstellung längsnahtgeschweißter Rohre aus Aluminium  
Betreuer: Timon Suckow, M.Sc.

### Klyn, Christian

Entwicklung eines verbesserten FE-Modells zur Dehnungsbestimmung eines bestehenden Kraftsensors mit anschließender Untersuchung des Einflusses von Temperaturgradienten in der Sensorumgebung  
Betreuer: Martin Krech, M.Sc.

### Obach, Paul

Untersuchung von mittels maschinell Oberflächenhämmern eingebrachten Mikro- und Nanostrukturen im Werkzeugbau der Blech- und Massivumformung  
Betreuer: Peter Sticht, M.Sc.

### Germann, Thiemo

Auslegung und Umsetzung eines kreisringförmigen Dehnstoffaktors  
Betreuer: Arne Mann, M.Sc.

### Volz, Stefan Jonas

Numerische Untersuchung des Einflusses parametrischer Walzbackengeometrien auf Zielgeometrie und die Eigenspannung des Bauteils beim Profilwalzen  
Betreuer: Alessandro Franceschi, M.Sc.; Wilhelm Schmidt, M.Sc.

### Uzar, Kazim

Einfluss der Temperatur auf die Eigenspannungen von kaltfließgepressten Bauteilen und Untersuchung von Temperaturregelungsstrategien zu dessen Manipulation  
Betreuer: Alessandro Franceschi, M.Sc.

10/2018–10/2019



*Institutsleben  
Life at the Institute*

Podiumsdiskussion bei der 11. Fachtagung Walzprofilieren  
Panel discussion at the 11<sup>th</sup> Conference on Roll Forming

## Neue Mitarbeiter

### New staff

Im Jahr 2019 konnten wir am Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen insgesamt fünf neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter begrüßen.

Zukünftig wird die Abteilung „Prozessketten und Anlagen“ durch Herrn M. Sc. Daniel Martin, Herrn M. Sc. Lukas Kluy und Herrn M. Sc. Christian Kubik unterstützt.

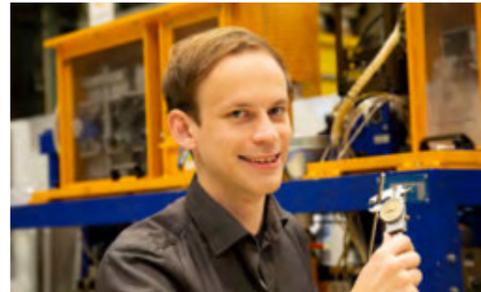
Die Abteilung „Walz- und Spaltprofilieren“ erhält tatkräftige Unterstützung durch Herrn M. Sc. Marco Becker.

Herr M. Sc. Simon Biffar wird fortan die Abteilung „Funktions- und Verbundbauweisen“ verstärken.

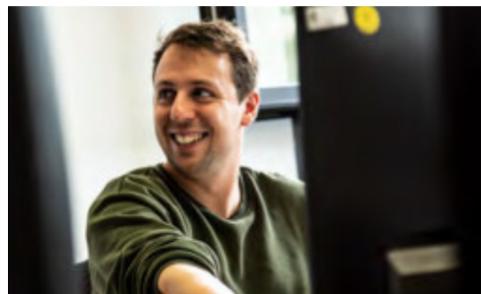
Allen neuen Kolleginnen und Kollegen wünschen wir einen guten Start und viel Erfolg am PtU!



Daniel Martin, M. Sc.



Lukas Kluy, M. Sc.



Christian Kubik, M. Sc.



Marco Becker, M. Sc.



Simon Biffar, M. Sc.

In 2019, we welcomed a total of five new employees to the Institute for Production Engineering and Forming Machines.

Mr. M. Sc. Daniel Martin, Mr. M. Sc. Lukas Kluy and Mr. M. Sc. Christian Kubik now assist the department "Process Chains and Forming Units".

The department "Roll Forming and Flow Splitting" is actively supported by Mr. M. Sc. Marco Becker.

Mr. M. Sc. Simon Biffar joined the department "Functional and composite construction".

We wish a good start and a lot of success at the PtU to all our new colleagues!

## Professor Groche feiert sein 20-jähriges Jubiläum am PtU

### Professor Groche celebrates his 20-year anniversary at the PtU

Im Jahre 1999 übernahm Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche die Leitung des Instituts für Produktionstechnik und Umformmaschinen und gilt seitdem als Autorität auf dem Gebiet der Umformtechnik.

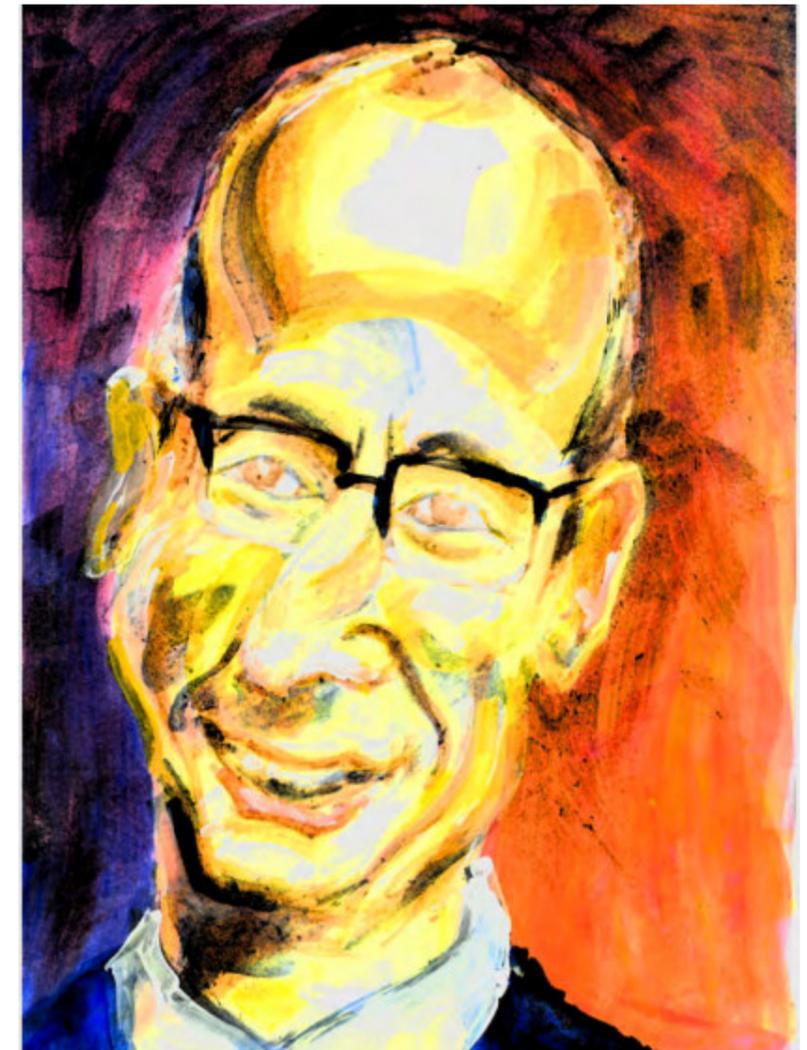
Unter seiner Leitung konnte das PtU kontinuierlich neue Mitarbeiter gewinnen und wuchs zum Treiber für Spitzenforschung und innovative Projekte heran. Ob das Verfahren Spaltprofilieren oder die eigens entwickelte 3D-Servo-Presse, die seit 2019 am Institut steht – hinter den erfolgreichen Projekten am PtU stehen üblicherweise ambitionierte Visionen von Professor Groche.

Zwar fehlen noch 5 Jahre bis zum ersten offiziellen Jubiläum der TU, wir möchten diesen Meilenstein dennoch nutzen um Danke zu sagen. Danke für 20 Jahre Zusammenarbeit! Danke für 20 Jahre herausragende Betreuung! Und Danke für 20 Jahre Ansporn, doch noch den einen Schritt weiter zu gehen.

In the year 1999, Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche became the head of the Institute for Production Technology and Forming Machines and is known to be an authority in the field of forming technology ever since.

Under his leadership, the PtU grew continuously and became a driver for cutting-edge research and innovative projects. Whether it is the flow-splitting process or the 3D servo press that has been developed in-house and is now being installed at the PtU - Professor Groche's ambitious visions are behind every successful project at the PtU.

Although there are still 5 years to go until the first official anniversary of the TU, we would still like to use this opportunity to say thank you. Thank you for 20 years of working together! Thank you for 20 years of outstanding supervision! And thank you for 20 years of motivation to take that extra step.



## Mehrtechnologiemaschine 3D-Servo-Press

Multi-technology machine 3D servo press



Foto: Hochzeit 3D-Servo-Press  
Photo: Wedding 3D servo press

Mit Beginn des Sonderforschungsbereichs 805 (SFB805) im Jahr 2009 startete am PtU die Entwicklung und Konstruktion der 3D-Servo-Press.

Die 3D-Servo-Press stellt mit ihren drei Stößelfreiheitsgraden eine Mehrtechnologie-Maschine dar, die neue und innovative Produktionstechniken und die Umsetzung neuer Ideen in der Umformtechnik ermöglicht.

In der zweiten Förderperiode des SFB 805 erfolgte die Fertigstellung der Getriebekästen, die das Herzstück der 3D-Servo-Press darstellen. Mit der darauf folgenden Montage des Oberteils im Jahr 2017 wurde ein weiterer großer Schritt in Richtung Fertigstellung erzielt.

Die Fertigung und Montage des Unterteils in 2018 sowie die anschließende Aufstellung am PtU im Mai 2019 waren prägend für das Institut. Die anstehende Inbetriebnahme der 3D-Servo-Press im vierten Quartal 2019 ebnet den Weg zu innovativen neuen Prozessen und neuen Forschungsvorhaben.

With the start of the Collaborative Research Centre 805 (SFB 805) in 2009, the development and design of the 3D servo press started at PtU.

With its three degrees of freedom in ram movement, the 3D servo press represents a multi-technology forming machine that advances new and innovative production techniques and ideas in forming technology.

In the second funding period of the SFB 805, the gearboxes, which represent the heart of the 3D servo press, were assembled. With the subsequent assembly of the upper part in 2017, a further major step was made towards completion.

The production and mounting of the lower part in 2018 as well as the subsequent installation at the PtU in May 2019 was highly significant for the institute. The imminent commissioning of the 3D servo press in the fourth quarter of 2019 will pave the way for innovative new processes and new research projects.

## 11. Fachtagung Walzprofilieren (WAPRO Tagung)

11<sup>th</sup> Conference on Roll Forming



Foto: Teilnehmer der Tagung  
Photo: Participants at the Conference

Die 11. Fachtagung Walzprofilieren des Instituts für Produktionstechnik und Umformmaschinen fand am 25. und 26. September am Standort Lichtwiese der TU Darmstadt statt.

Gemäß dem Leitthema „Trends und Zukunft des Profilierens“ boten ausgewählte Referenten aus Industrie und Forschung in ihren Vorträgen Einblicke in aktuelle Schlüsselfragen der Flexibilisierung, Assistenzsysteme und des Machine Learning sowie die Verarbeitung hochfester Werkstoffe.

Im Rahmen einer Podiumsdiskussion wurde das Thema „Intelligente Prozesse vs. Facharbeiterexpertise“ mit Industrievertretern aus Produktion und Entwicklung behandelt. Darüber hinaus wurde in einer repräsentativen Umfrage über die Angemessenheit des Begriffs „Walzprofilieren“ und die Notwendigkeit einer Definitionsänderung in der DIN-Norm abgestimmt. Die Abendveranstaltung bot bei einem gemütlichen Beisammensein die Gelegenheit zur Besichtigung des PtU-Versuchsfelds sowie zur Kontaktpflege und zum Meinungsaustausch mit Kolleginnen und Kollegen der Walzprofilierbranche.

The 11th Conference on Roll Forming of the Institute for Production Technology and Forming Machines took place on 25 and 26 September at the campus Lichtwiese of the TU Darmstadt.

Under the guiding theme “Trends and future of roll forming”, selected expert speakers gave insights into the key issues of flexibilization, assistance systems and machine learning as well as the processing of high-strength materials.

In a panel discussion, representatives from industrial production and development debated the topic “Smart processes vs. specialist workers expertise”. In addition, a survey was conducted on the adequacy of the German term “Walzprofilieren” and the necessity to change the definition in the DIN norm.

The relaxed get-together during the evening event offered the opportunity to visit the PtU trial field and to discuss technological innovations or to socialize with colleagues from the roll forming sector.

## Exkursionen im Rahmen der Vorlesungen Prozessketten in der Automobilindustrie I und II

Excursions within the scope of the lectures "Process Chains in Automotive Industry I and II"



Teilnehmende der Exkursion im Sommersemester auf dem Sauberg  
Participants of the excursion this summer term at the Sauberg

Seit einigen Jahren bietet das PtU in Zusammenarbeit mit der Daimler AG die Vorlesung „Prozessketten in der Automobilindustrie“ an, die von Herrn Dr.-Ing. Steindorf gehalten wird. Im Wintersemester wird vornehmlich die Gestaltung von Produktentwicklungsprozessen behandelt, während im Sommersemester darauf aufbauend die komplexere Entwicklung von Produktionsprozessen vermittelt wird. Zur Vertiefung der Vorlesungsinhalte bietet Daimler in jedem Semester eine Exkursion an, die einen Einblick in die industrielle Praxis gestattet.

Im Wintersemester war das Exkursionsziel das Werk in Würth, wo die Studierenden Einblicke in die Montage von Lastkraftwagen sowie die Fahrzeugerprobung auf Schlechtwegen erhielten. Hier konnten sie sich während einer Testfahrt in einem herkömmlichen Reisebus über Rüttelstrecken und durch Steilkurven ein genaues Bild von den Belastungen machen, die bei der Erprobung auf Fahrer und Fahrzeuge wirken.

Im Sommersemester führte die Exkursion die Studierenden in das Presswerk in Kuppenheim, welches vor wenigen Jahren entsprechend dem derzeitigen Stand der Technik auf der grünen Wiese entstanden ist. Nach einer spannenden Führung und anschließender Stärkung bei einem ausgiebigen Mittagessen mit Führungskräften ging es zur zweiten Station der Exkursion. Auf dem Lastwagen-Erprobungsgelände „Sauberg“ in Gaggenau konnten sich die Studierenden in einer Vorführung vom Leistungsvermögen aktueller Lastwagenmodelle in extremem Gelände überzeugen.

Für die Gastfreundschaft und Mühen dieser umfangreichen Exkursionen möchten wir uns bei der Daimler AG, insbesondere bei Herrn Dr.-Ing. Steindorf, herzlich bedanken.

For several years the PtU has been collaborating with the Daimler AG to offer the lecture "Process Chains in the Automotive Industry", held by Dr.-Ing. Steindorf. In the winter semester the lecture is focused on the design of product development processes, while in the summer semester the complementary development of production processes is taught. In addition, each semester Daimler offers an excursion that provides an insight into industrial practice and allows students to deepen their knowledge.

In the winter semester, the excursion destination was the plant in Würth, where the students gained insights into the assembly of trucks as well as bad road testing of vehicles. During an extensive test drive in an ordinary travel bus over vibrating tracks and through steep bends, the students were able to get an accurate impression of the demands placed on drivers and vehicles during the tests.

In the summer semester, the excursion was held in the pressing plant in Kuppenheim, which was built a few years ago on a greenfield site using state-of-the-art technology. After an inspiring tour followed by lunch with leading staff members, it was time for the second stop of the excursion. At the "Sauberg" truck test site in Gaggenau, a demonstration gave the students the opportunity to witness the performance of current truck models in extreme terrain. The PtU thanks the Daimler AG and especially Dr.-Ing. Steindorf for their hospitality and efforts.

## Stahl fliegt! 2019

Steel flies! 2019



Gruppenfoto »Stahl fliegt! 2019«, JK-Film/Kretschmer  
Group photo "Steel flies! 2019", JK-Film/Kretschmer

Beim studentischen Wettbewerb »Stahl fliegt« am 25. und 26. Juni 2019 in Düsseldorf traten Studierende in 14 Teams von fünf deutschen und einer ägyptischen Universität an, um eine möglichst lange Flugzeit und Flugweite mit ausschließlich aus Stahl bestehenden Flugmodellen zu erzielen.

Austragungsort war Halle 6 der Messe Düsseldorf, in der die Flieger aus etwa 11 Metern Höhe gestartet wurden. Im Wettbewerb konnte Team „Darmstadt 3“ mit einem Gleitschirmkonzept souverän den 1. Platz erobern. Bei einer Flugweite von 30 Metern und Flugzeit von 7,5 Sekunden wurde der Gleiter zusätzlich mit dem Innovationspreis ausgezeichnet. Mit einem gelöteten Segelfliegerkonzept hat Team „Darmstadt 1“ den 3. Platz der Gesamtwertung erreicht.

Der Wettbewerb wird vom Institut für Bildsame Formgebung (ibf) in Aachen organisiert und von der FOSTA (Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V.) finanziell unterstützt.

At the student competition "Steel flies!" on 25 and 26 June 2019 in Düsseldorf, students competed in 14 teams from five German and one Egyptian university to achieve the highest flight time and range with flight models made exclusively of steel.

The venue was Hall 6 of Messe Düsseldorf, where the planes took off from a height of around 11 meters. In the competition, Team "Darmstadt 3" won the first place with a paraglider concept. With the flight distance of 30 meters and a flight time of 7.5 seconds, the paraglider was also awarded with the Innovation Prize. With a soldered sailplane concept, Team "Darmstadt 1" reached the 3rd place in the overall ranking.

The competition is organized by the Institut für Bildsame Formgebung (ibf) in Aachen and financially supported by FOSTA (Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V.).

## Betriebsausflug

### Staff excursion

Am 19. September starteten die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des PtU mit dem Bus in Richtung Heuchelheim. Das erste Ziel des diesjährigen Betriebsausflugs war die Firma Schunk Sintermetalltechnik. Nach einer kurzen Vorstellung des Unternehmens durch Hr. Dr. Baumgärtner wurde ein interessanter Einblick in die Produktion von Sintermetallteilen für unterschiedlichste Einsatzzwecke gegeben. Nach einem ausgedehnten Mittagessen in der hervorragenden Unternehmenskantine wurde der zweite Teil des Tages im Besucherbergwerk Grube Fortuna in Solms-Oberbiel verbracht. Das ehemalige Eisenerzbergwerk war bis 1983 in Betrieb und entsprechende Ausstellungen konnten individuell besucht werden. Im Rahmen einer Grubentour fuhren Kleingruppen in einem Förderkorb durch den Maschinenschacht auf die 150-Meter-Sohle. Nach einer Fahrt mit der Grubenbahn gab eine Führung durch die sogenannten Abräume mit Live-Maschinenvorführung einen lebendigen Einblick in den Bergbau der Region. Zum Aufwärmen nach der unter Tage Erfahrung stand Kaffee und Kuchen bereit.

On 19th September, the PtU staff started by bus in the direction of Heuchelheim. The first destination of this year's company excursion was Schunk Sintermetals. After a short introduction of the company by Dr. Baumgärtner, an interesting insight into the production of sintered metal parts for various purposes was given. After an extensive lunch in the excellent company canteen, the second part of the day was spent in the visitor mine Grube Fortuna in Solms-Oberbiel. The former iron ore mine was in operation until 1983 and corresponding exhibitions could be visited individually. As part of a mine tour, small groups drove in a pit cage through the machine shaft to the 150-metre level. After a ride on the mine railway, a guided tour through the so-called mine clearance areas with live machine demonstrations gave a lively insight into mining in the region. Coffee and cake were available for warming up after the underground experience.



Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des PtU im Besucherbergwerk Grube Fortuna  
Employees of PtU in the visitor mine Grube Fortuna

## WGP Netzwerktreffen (Fussballturnier)

### WGP networking (football tournament)



Gruppenfoto WGP-Fußballturnier  
Group photo WGP football tournament

Beim jährlichen Fußballturnier im Rahmen des Netzwerktreffens der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP) bestritt das PtU gemeinsam mit dem Partnerinstitut PTW den sportlichen Vergleich gegen 20 weitere Mitgliedsinstitute. Am diesjährigen Austragungsort Chemnitz erreichte die Mannschaft am Ende den 11. Platz. Wie im letzten Jahr war die Gruppe mit dem späteren Turniersieger (LPS Bochum) und dem Zweitplatzierten (WZL Aachen) stark besetzt. Dennoch gab das PtU/PTW in aufreibenden Abwehrschlachten ein gutes Bild ab. So kassierte das Team in sieben Spielen nur zwei Gegentore und verlor nur das Spiel gegen die TU Kaiserslautern. Aufgrund der vielen Unentschieden schied unsere Mannschaft dennoch in der Gruppenphase aus. Auch in diesem Jahr wurde die WGP Netzwerkveranstaltung zum Netzwerken und zum „Blick über den Tellerrand“ genutzt, sodass wir uns auf weitere tolle WGP Veranstaltungen in den kommenden Jahren freuen.

At the WGP's (German Academic Society for Production Engineering) annual football tournament, this year held in Chemnitz, the PtU and its cooperating partner institute PTW competed against 20 member institutions of the German Academic Society for Production Engineering. At the end of the tournament, we achieved the 11th place. As last year, the group was very strong since it included the later tournament winner (LPS Bochum) and the second placed (WZL Aachen). Nevertheless the PtU/PTW showed a good performance in exhausting defensive battles. In seven games, the team conceded only two goals and lost only one match against the TU Kaiserslautern. Due to the many draws, we were still out in the group stage. Again, the WGP network event was used for networking and to "see the bigger picture" this year. We are looking forward to further great WGP events in the coming years.

Sommerfest  
Summer party



Fotos: Sommerfest  
Photos: Summer party



Wie jedes Jahr veranstaltete das PtU auch 2019 ein Sommerfest für Mitarbeitende, Studierende und Ehemalige des Instituts. Unter dem Motto „Triathlon“ wurde ein Wettkampf mit drei eigens entwickelten Spielen ausgetragen. Teamgeist und Geschicklichkeit waren dabei die Schlüssel zum Erfolg. Die Auswertung erfolgte mithilfe ausgeklügelter Messsysteme, die im Vorfeld eigens für das Sommerfest programmiert und in die Spiele implementiert wurden.

Für das leibliche Wohl der weit mehr als 100 Anwesenden war natürlich ebenfalls gesorgt: Bei reichhaltigem Essens- und Getränkebuffet wurde bis in die frühen Morgenstunden gefeiert. Für Studierende und Mitarbeitende ist das jährliche Sommerfest eine gute Möglichkeit, um miteinander ins Gespräch zu kommen. In lockerer Stimmung werden dabei unter anderem die Grundsteine für Abschlussarbeiten oder den ein oder anderen HiWi Job gelegt.

As every year, the PtU organized a summer party for employees, students and alumni of the institute in 2019. Themed with "Triathlon", a competition with three specially developed games was held. Team spirit and cleverness were the keys to success. The evaluation was carried out with the help of sophisticated measuring systems, which were programmed specially for the summer party and implemented in the games.

Of course, the physical well-being of the more than 100 attendees was also taken care of: With the guests enjoying a rich food and drink buffet the party lasted into the early morning hours. For students and employees, the annual summer party is a good opportunity to get into conversation with each other. In a relaxed atmosphere, the cornerstones for Bachelor's and Master's theses or some student assistant jobs are laid.

Ultramarathon  
Ultramarathon



Fotos: „PtUltra“-Team  
Photos: „PtUltra“ team

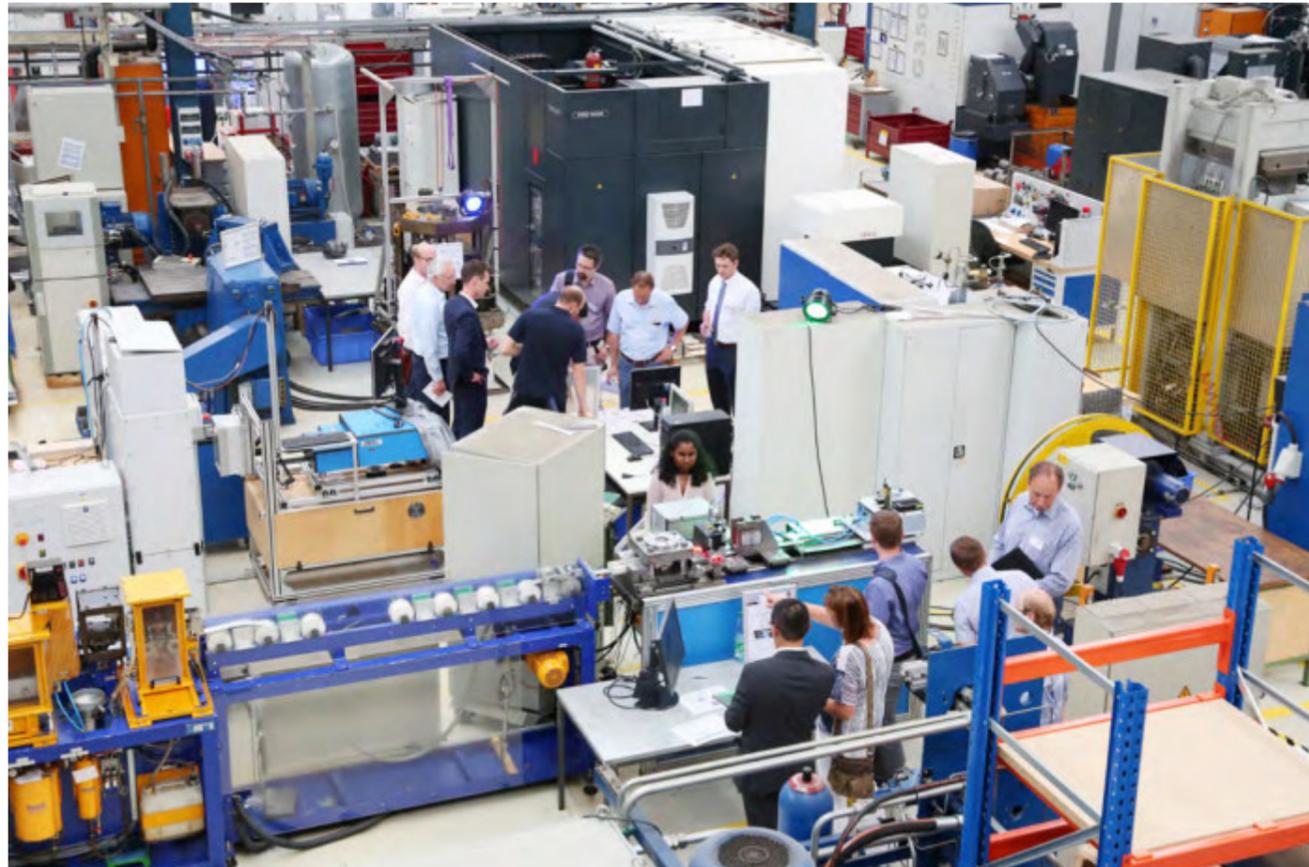
Auch in diesem Jahr fand im Rahmen des TU Meet & Move Sportfestes der Ultramarathon statt, bei dem sich Teams aus bis zu 20 Personen die Gesamtdistanz einer Marathonstrecke teilen. Auch das PtU stellte erneut einen Kader aus Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie Studierenden, der erfolgreich die Podestplatzierung der vergangenen Jahre verteidigte. Die „PtUltras“ erzielten erneut den dritten Platz unter 35 teilnehmenden Teams.

Im Anschluss an die sportliche Betätigung wurde bei einem kleinen Grillfest auf den Erfolg angestoßen und der Abend gemeinsam ausgeklungen. Als Ziel für den Ultramarathon 2019 gilt es nun den gefestigten dritten Platz zu übertreffen.

Every summer the ultramarathon takes place as part of the TU Meet & Move sports festival. The teams, consisting of up to 20 persons, accomplish the total distance of a marathon together. The PtU participated again this year with a mixed team of employees and students. As last year, the "PtUltras" climbed the podium and successfully defended the third place.

Afterwards, the sporting success was celebrated with a barbecue at the institute. New tactics and training plans have already been exchanged in order to reach for the top again next year.

Ausblick: Forum „Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung“  
 Outlook: Forum „Tribological developments in sheet metal forming“



Versuchsfeldbegehung Forum 2018  
 Test field inspection Forum 2018



Am 13. und 14. Mai 2020 richtet das Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) der Technischen Universität Darmstadt zum elften 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:

<http://www.triboforum.ptu-darmstadt.de/>

On May 13 and 14, 2020, the Institute for Production Engineering and Forming Machines (PtU) will organize the 11<sup>th</sup> forum "Tribological developments in sheet metal forming" which will take place in Darmstadt.

Selected lectures from the field of tribology, tool-making 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 panel.

Detailed information will be available on the following website:

<http://www.triboforum.ptu-darmstadt.de/>

Ausblick – BMBF KMU Innovation IdentiTI  
 Outlook – BMBF KMU Innovation IdentiTI

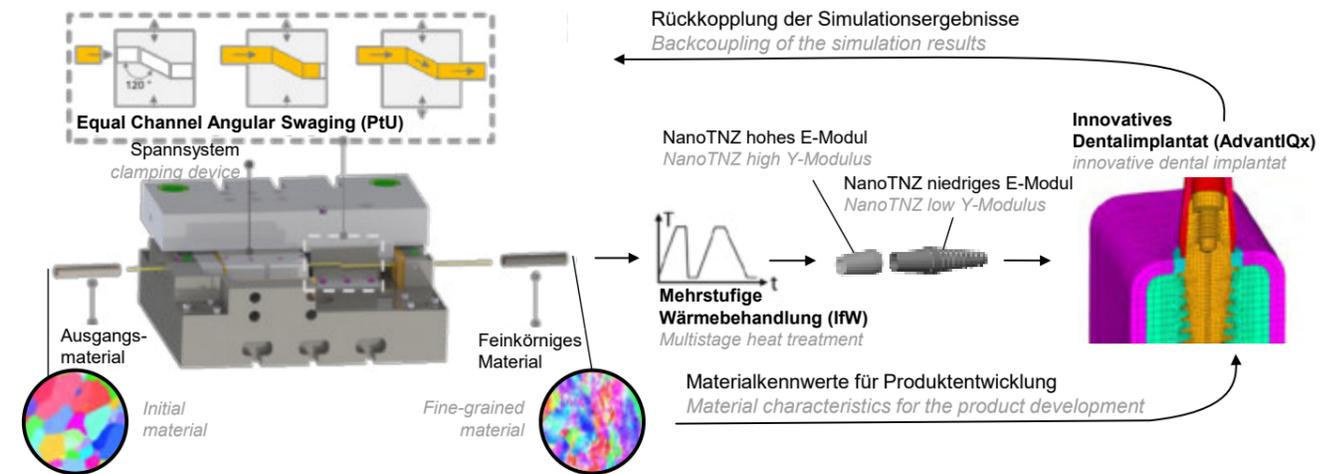


Abbildung: Vorgehen in der Entwicklung des neuartigen innovativen Implantatsystems  
 Figure: Development procedure for the new innovative implant system

Der von den Firmen AdvantiQx, Schweizer Feintechnik, dem Institut für Werkstoffkunde (IfW) an der TU Braunschweig und dem PtU erstellte Forschungsantrag im Rahmen der Ausschreibung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung Fördermaßnahme, KMU-innovativ wurde zum Projektstart im August 2019 bewilligt.

In diesem Projekt arbeiten industrielle und universitäre Projektpartner aus sehr interdisziplinären Bereichen (Implantologie, spanende Fertigung, Materialwissenschaft und Umformtechnik) zusammen, um ein neues innovatives Dentalimplantatsystem zu entwickeln.

Schwerpunkt des PtU liegt in der Entwicklung der industriellen Herstellung einer nanostrukturierter Titanlegierung (NanoTNZ). Dieses Material mit feinkörnigem Gefüge bietet zahlreichen Vorteile in der Anwendung, wie beispielweise gute Biokompatibilität, Korrosionsbeständigkeit und die Einstellbarkeit des Elastizitätsmoduls.

The research proposal provided by the companies AdvantiQx, Schweizer Feintechnik, the Institut für Werkstoffkunde (IfW) at the TU Braunschweig and PtU in the funding programme KMU-innovativ, granted by the Federal Ministry for Education and Research, was approved for the project start in August 2019.

In this project, industrial and university project partners from very interdisciplinary fields (implantology, machining, materials science and metal forming) work together to develop a new innovative dental implant system.

The focus of the PtU is to provide the development of the industrial production of a nanostructured titanium alloy (NanoTNZ). This fine-grained material offers numerous advantages such as good biocompatibility, corrosion resistance and adjustability of the Young's Modulus.



Ausblick: AiF-FOSTA - Profilrichten durch partielles Auswalzen beim Walzprofilieren

Outlook: AiF-FOSTA - Profile straightening by partial rolling in roll forming

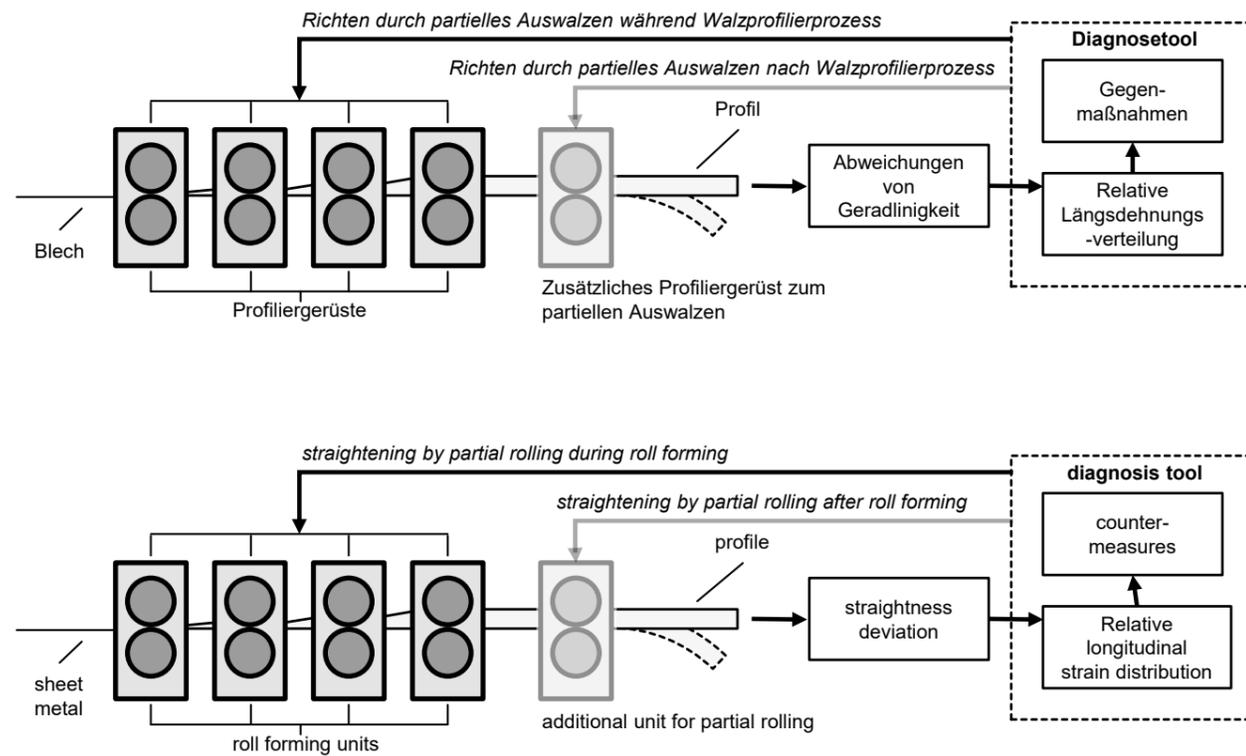


Abbildung: Prozesskette und Messtechnik zum Richten durch partielles Auswalzen  
Figure: Process chain and measurement technology for straightening by partial rolling

Das Richten von hergestellten Profilen stellt oftmals einen notwendigen Folgeschritt beim Walzprofilieren dar.

In Anbetracht der zunehmenden Produktdiversifikation und der damit verbundenen steigenden Zahl an Umrüstvorgängen steigen die Anforderungen an Flexibilität. Ziel des AiF-FOSTA-Projekts ist der Aufbau eines zuverlässigen und effizienten Verfahrens zum Richten von Profilen beim Walzprofilieren.

Unter der Arbeitshypothese, dass die Längsdehnungsverteilung ausschlaggebend für Abweichungen der Profilgeradlinigkeit ist, werden auftretende Krümmungen durch gezieltes Einstellen der Längsdehnungsverteilung eliminiert.

Der erforderliche Längsdehnungszustand wird durch partielles Auswalzen des Profilquerschnitts eingebracht. Das Vorhaben sieht hierbei sowohl eine Untersuchung durch numerische Simulationen als auch durch Realversuche vor.

The straightening of manufactured profiles often is a necessary step in roll forming.

Considering the increasing product diversification and the associated growing number of profile changes, flexibility is becoming more important. The objective of the AiF-FOSTA project is to create a reliable and efficient method for straightening profiles during roll forming.

Based on the working hypothesis that the longitudinal strain distribution is responsible for deviations of the profile straightness, occurring curvatures are eliminated by deliberate adjustment of the longitudinal strain distribution.

The required longitudinal strain state is introduced by partial rolling of the profile cross-section. The project intends investigations by numerical simulations and real experiments.

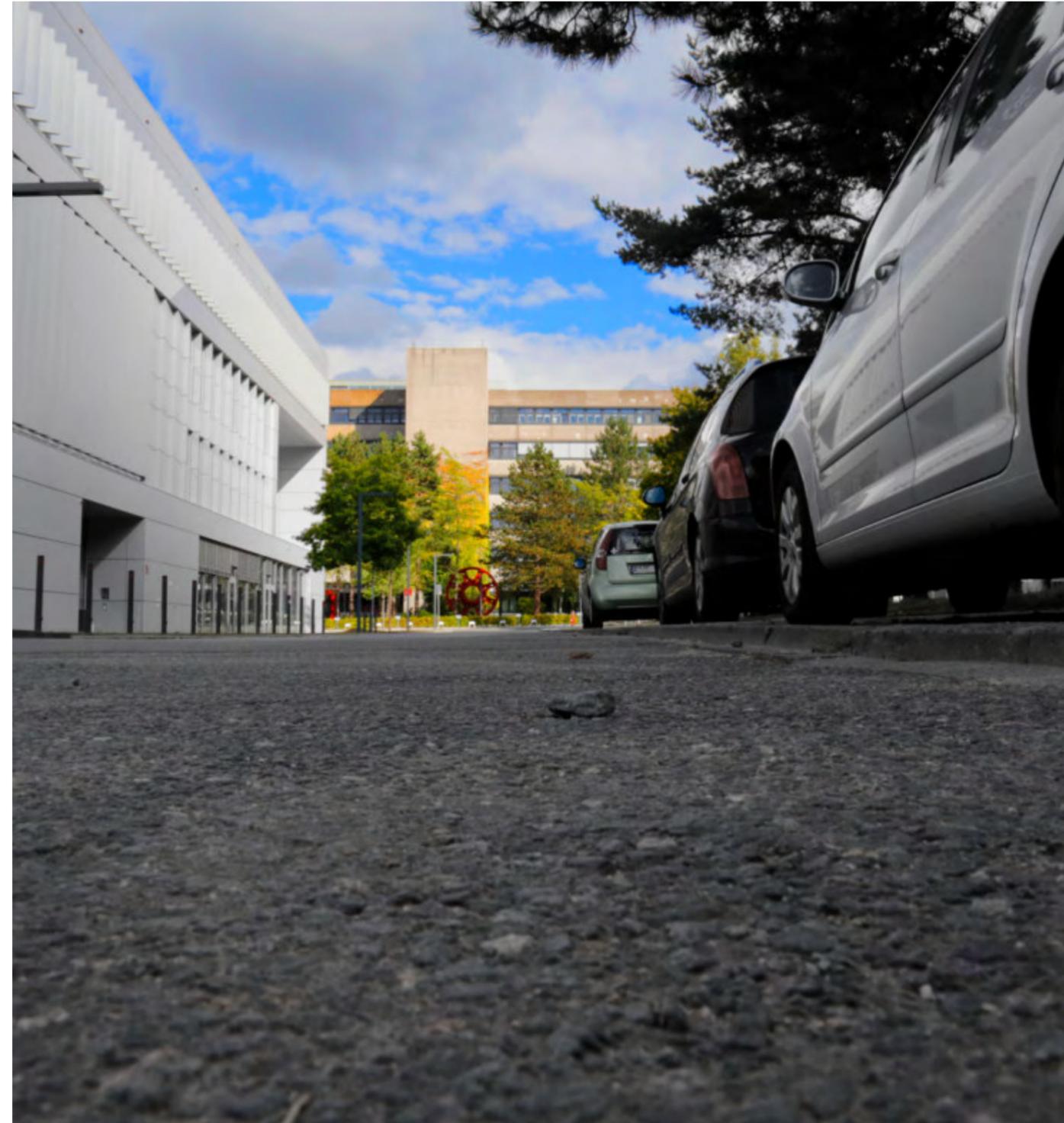


Foto: Sicht auf PtU-Haupteingang am Zahnrad  
Photo: View of PtU main entrance at the cogwheel

# Anfahrt

## Directions

### 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.



### 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.

### 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.



### 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”.

### 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 Maschinenbaugeschäftes.



### 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.

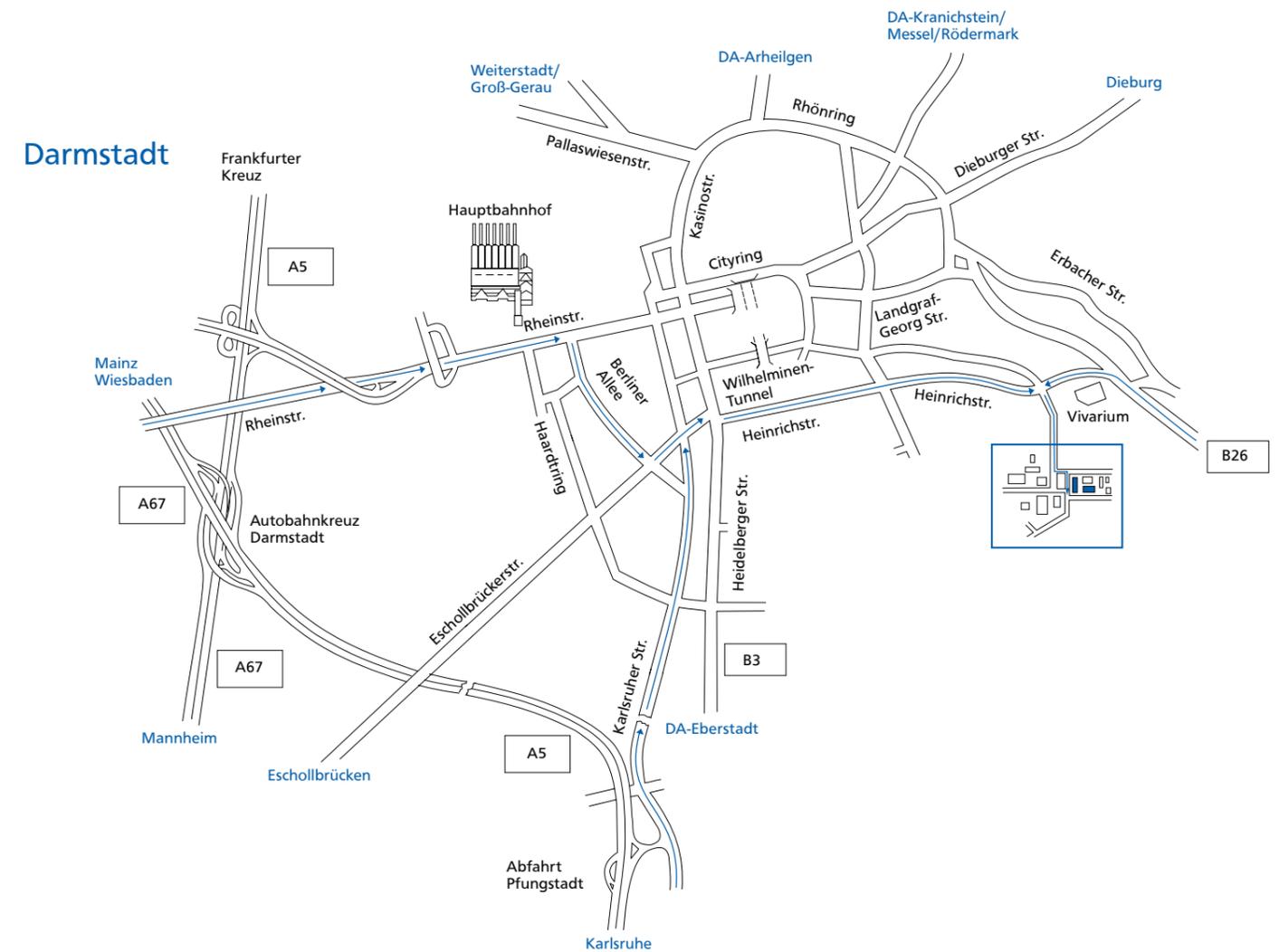
### Ab Darmstadt Hauptbahnhof

Buslinie K oder KU bis zur Endstation TU-Lichtwiese. Die gesamte Fahrtzeit beträgt etwa 30 Minuten, die Busse fahren im Takt von ca. 15 Minuten. Gegenüber der Bushaltestelle befindet sich das neue „Hörsaal- und Medienzentrums Lichtwiese“. Das Gebäude auf der anderen Seite des Neubaus ist das Maschinenbaugeschäft, 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



### 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.



---

*Notizen*  
*Notes*

*Notizen*  
*Notes*

# *Impressum*

## *Imprint*

### **Herausgeber | Publisher**

Technische Universität Darmstadt  
Institut für Produktionstechnik  
und Umformmaschinen  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
Peter Groche

Otto-Berndt-Straße 2  
64287 Darmstadt

Telefon +49 61 51 16 231 43  
Telefax +49 61 51 16 231 42  
E-Mail [info@ptu.tu-darmstadt.de](mailto:info@ptu.tu-darmstadt.de)  
Web [www.ptu.tu-darmstadt.de](http://www.ptu.tu-darmstadt.de)

### **Redaktion | Editor**

Julian Mushövel, M. Sc.,  
das Sekretariat und alle weiteren  
wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen  
und Mitarbeiter des PtU  
Julian Mushövel, M. Sc.,  
the administration and all other  
scientific assistants of PtU

### **Gestaltung | Layout**

Erwin Henkes

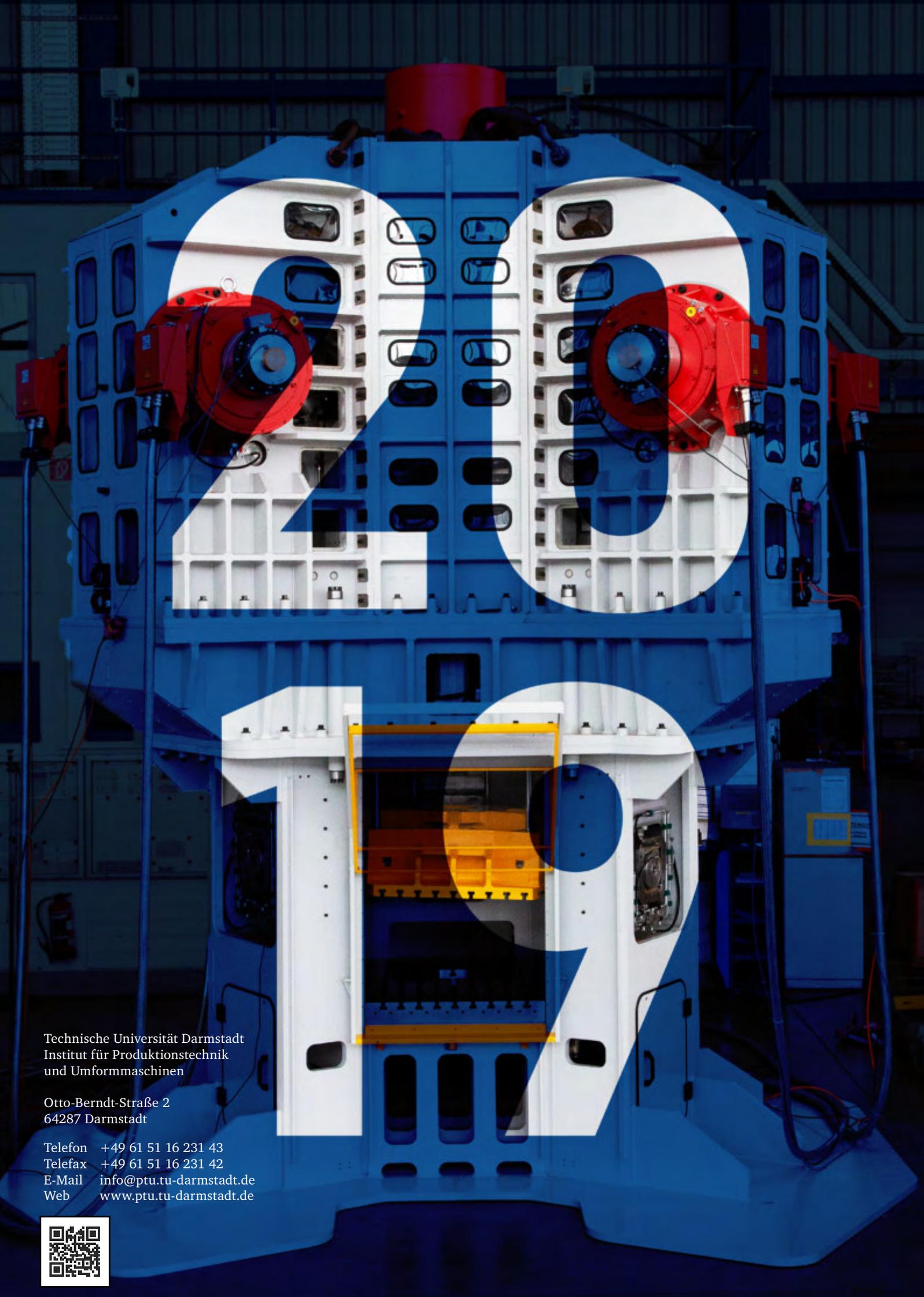
### **Druck | Print**

typographics GmbH  
Röntgenstraße 27a  
64291 Darmstadt  
[www.27a.de](http://www.27a.de)

<b>Auflage</b>	400 Stück
<b>Schriften</b>	Charter, Frontpage, Stafford
<b>Farbe</b>	1b [100c 60m]
<b>Total print run</b>	400 copies
<b>Fonts</b>	Charter, Frontpage, Stafford
<b>Colour</b>	1b [100c 60m]

© PtU Darmstadt 2019 — Nachdruck, auch auszugsweise,  
nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des Instituts.  
© PtU Darmstadt 2019 — Reproduction, even in extracts,  
only after written permission from the institute.





Technische Universität Darmstadt  
Institut für Produktionstechnik  
und Umformmaschinen

Otto-Berndt-Straße 2  
64287 Darmstadt

Telefon +49 61 51 16 231 43  
Telefax +49 61 51 16 231 42  
E-Mail [info@ptu.tu-darmstadt.de](mailto:info@ptu.tu-darmstadt.de)  
Web [www.ptu.tu-darmstadt.de](http://www.ptu.tu-darmstadt.de)

