

---

# Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen

Jahresbericht 2008



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

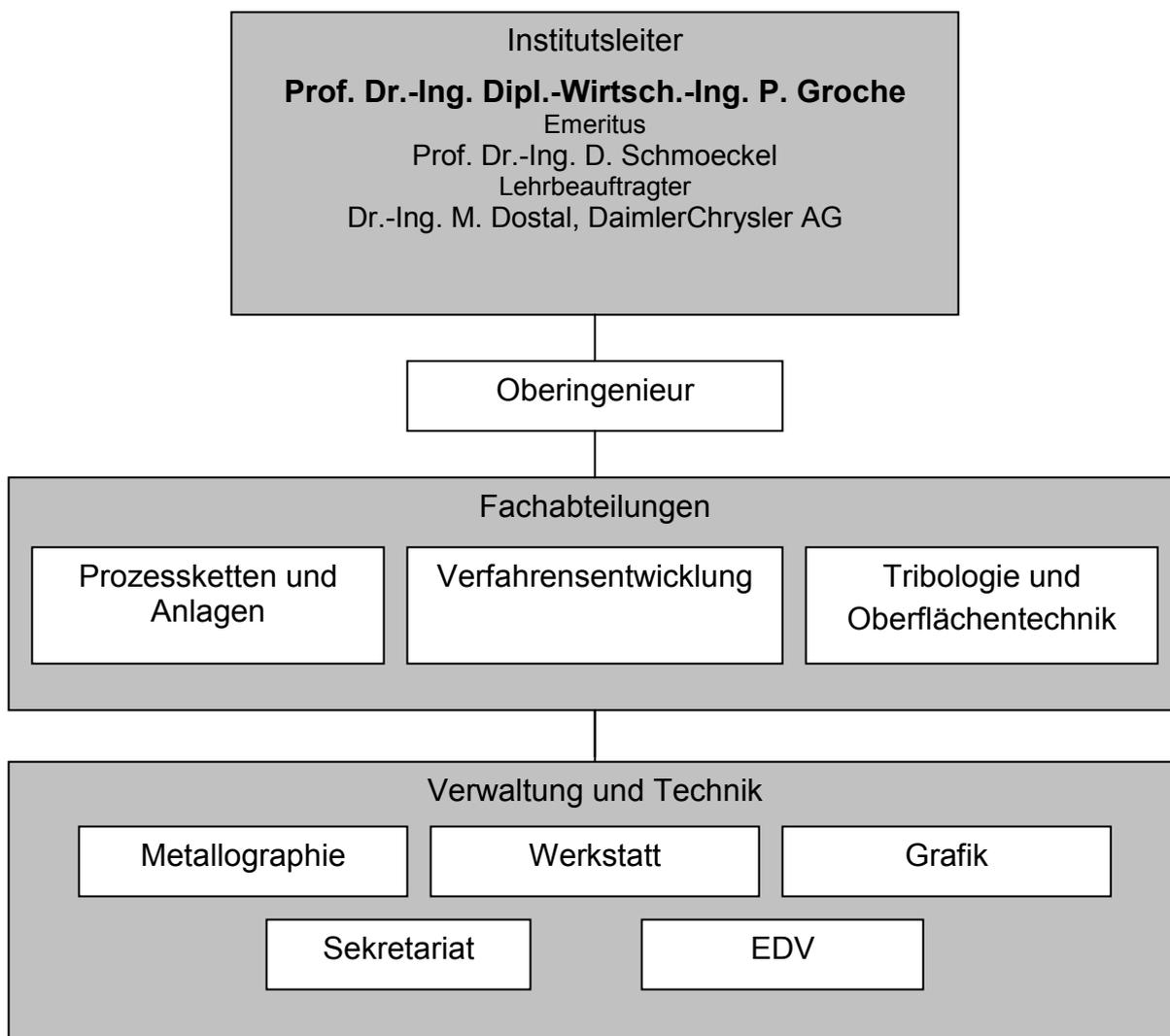
**FTU**  
Darmstadt

## Inhaltsverzeichnis

1.	Institutsprofil	03
1.1.	Organisationsstruktur	03
1.2.	Personalstruktur	03
2.	Laufende Forschungsarbeiten	04
2.1.	Prozessketten und Anlagen	04
2.2.	Verfahrensentwicklung	08
2.3.	Tribologie und Oberflächentechnik	14
3.	Abgeschlossene Arbeiten	21
3.1.	Habilitationen und Dissertationen	21
3.1.1.	Habilitationen	21
3.1.2.	Dissertationen	21
3.2.	Studien und Diplomarbeiten	21
3.2.1.	Studienarbeiten	21
3.2.2.	Diplomarbeiten	22
4.	Veröffentlichungen und Vorträge	25
5.	Veranstaltungen	28
6.	Studentenzahlen	28

# 1 Institutsprofil

## 1.1 Organisationsstruktur



## 1.2 Personalstruktur

Professoren und Lehrbeauftragte:	03
Wissenschaftliche Mitarbeiter/innen:	25
Mitarbeiter in Verwaltung und Technik:	10
Studentische Hilfskräfte:	45

## 2 Laufende Forschungsarbeiten

### 2.1 Prozessketten und Anlagen

» [An innovative manufacture process concept for a flexible and cost effective production of the vehicle body in white: Profile Forming \(Berner, S.\)](#)

Die europäische Automobilindustrie ist einer der weltweit größten und einflussreichsten Industriezweige. Um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu bewahren und auf den steigenden Druck von Markt und Politik reagieren zu können, ist sie gezwungen:

- Produktionskosten zu senken
- Entwicklungszeiten zu kürzen
- Individuelle Kundenwünsche zu befriedigen
- Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen zu reduzieren.

Zusätzlich zu diesen Herausforderungen besteht das Bestreben, die Lieferzeiten deutlich zu reduzieren. Dies hat unter anderem zur Konsequenz, dass die produzierende Zulieferindustrie gezwungen wird, kostengünstige und flexibel auf Kundenwünsche einstellbare Verfahren zu entwickeln.

PROFORM ist ein europäisches Forschungsprojekt, in dem Automobilhersteller, Zulieferer, Werkzeug- und Anlagenbauer zusammen mit Universitäten und Forschungsinstituten neue Fertigungskonzepte für Karosserie- und Strukturbauteile entwickeln, die den genannten Anforderungen gerecht werden. Das Konzept basiert auf der Verknüpfung von drei aufstrebenden Fertigungsverfahren

- Walzprofilieren
- Laserumformen
- und elektromagnetisches Umformen

in einer Fertigungslinie. Innerhalb des Projektes werden die drei Umformverfahren untersucht und

durch die Verwendung von multifunktionalen Materialien und Nano- und Mikrotechnologien optimiert.

Am PtU wird im Rahmen dieses Projektes das flexible Walzprofilieren betrachtet. Mittels dieses am PtU Darmstadt entwickelten Verfahrens ist es möglich, Profilbauteile mit über der Längsachse veränderlichen Querschnitten durch Walzprofilieren herzustellen. Zur Untersuchung des Verfahrens wird in diesem Rahmen eine Anlage bestehend aus mehreren flexiblen Walzprofiliergerüsten aufgebaut. Augenmerk wird auf die Verknüpfung der einzelnen Umformstufen und die geometrische Erweiterung von flexibel profilierten Bauteilen gelegt. Durch den Aufbau der gesamten Prozesskette des flexiblen Walzprofilierens können Einflussfaktoren von Prozess, Anlage und Halbzeug auf das gefertigte Werkstück betrachtet und analysiert werden. Ziel ist es, hieraus den Gesamtprozess weiterzuentwickeln und zu optimieren, um so steigenden Anforderungen an die Profilqualität gerecht zu werden.

» [Untersuchung zur wirtschaftlichen Herstellung von Profilen im Fahrzeugbau \(Götz, P.\)](#)

Bei der Entwicklung von profilierten Blechbauteilen sind einerseits ständig steigende Ansprüche der Kunden an die Geometrie der Profile zu berücksichtigen. Andererseits ist bspw. im Automobilbereich ein Trend in Richtung Diversifizierung von Produkten zu beobachten, was zu einer erhöhten Variantenvielfalt bei Bauteilen sowie kleineren Auftrags-/ Losgrößen führt. Infolgedessen muss in enger Zu-

sammenarbeit zwischen Entwickler und Anwender erreicht werden, dass durch eine günstige Auslegung der Profile wie auch der Werkzeuge mit geringem Rüstaufwand häufige Produktwechsel wirtschaftlich darstellbar sind.

Ziel des Projekts ist es, aufzuzeigen, unter welchen Randbedingungen eine wirtschaftliche Fertigung von Stahlprofilen möglich ist. Hierzu wird ein Stückkostenvergleich auf Vollkostenbasis gegenüber der Fertigung des Bauteils als Tiefziehteil vorgenommen. Es sollen hierbei die gesamte Profilierprozesskette inklusive Peripheriegeräte sowie die Gestaltung der Rollensätze betrachtet werden.

Schwerpunkte der Untersuchung bilden folgende Aspekte:

- Anlagenkonzepte: Unterschiedliche Anlagenkonzepte werden auf ihre Eignung für die Herstellung von Stahlprofilen im Automobilbereich untersucht. Die Eignung der Anlagen wird im Hinblick auf Flexibilität, Rüstaufwand, Produktionsleistung und Investitions- sowie Betriebskosten bewertet.
- Peripheriegeräte: Neben den Profilieranlagen werden Zusatzmodule wie Stanzeinheiten oder Laseranlagen in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen. Es werden Kriterien für den wirtschaftlichen Einsatz dieser Module unter Berücksichtigung Stückzahlen, der Bauteilgeometrie sowie der -eigenschaften erarbeitet.
- Werkzeugkonzepte: Die Bewertung der unterschiedlichen Werkzeugkonzepte berücksichtigt sowohl die Losgrößen, das Produktspektrum als auch die Materialeigenschaften.

- Profilierte Bauteile: Die Wirtschaftlichkeit der profiliertechnischen Fertigung eines Bauteils wird anhand von Einflussfaktoren wie bspw. der Losgröße, der Profiliergeschwindigkeit, der Materialausnutzung oder des Rüstaufwands untersucht. Als Vergleichsmaßstab wird z. B. die Herstellung durch Tiefziehen herangezogen.

» [Herstellung von Rohren mit flexiblem Wanddickenverlauf durch Walzprofilieren von bandprofilgewalztem Vormaterial \(Mirtsch, M.\)](#)

Walzprofilierte Hohlprofile, wie z.B. Rohre aus Stahl haben sich in der Vergangenheit in unterschiedlichen Branchen aufgrund der großen Formenvielfalt und des kostengünstigen Herstellungsprozesses etabliert. Studien im Bereich der Verkehrsmittelindustrie belegen, dass in Zukunft Rollprofile voraussichtlich eine weiter zunehmende Bedeutung erlangen werden. Bisher wird für das Walzprofilieren üblicherweise Bandmaterial gleichmäßiger Dicke verwendet. Durch die Verwendung von Vormaterial mit über dem Querschnitt veränderlichen Dicken erschließen sich neue Konstruktions- und Einsatzmöglichkeiten der Stahlwerkstoffe für den effizienten Leichtbau. Notwendige Halbzeuge, so genannte Tailor Rolled Strips, können am Institut für Bildsame Formgebung (IBF) der RWTH Aachen mit dem Verfahren Bandprofilwalzen hergestellt werden. Diese zeichnen sich durch ein über die Breite definiertes Dickenprofil aus.

Das von der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA) geförderte Forschungsvorhaben wird in Zusammenarbeit des Instituts für Produktionstechnik und Umformmaschinen und des Insti-

tuts für Bildsame Formgebung (RWTH Aachen) und mehreren Industriepartnern durchgeführt.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens konnte die Machbarkeit zur Herstellung von Rohren mit ungleichen Wanddicken über dem Querschnitt durch Walzprofilieren von bandprofilgewalztem Vormaterial nachgewiesen werden. Durch Berstversuche wurde die Eignung der Rohre mit einem über der Breite definierten Dickenprofil für die Innenhochdruck-Umformung analysiert. Die Untersuchungen ergaben, dass diese Rohre nach einer Wärmebehandlung in etwa gleich große Aufweitungen aufweisen, wie sie bei Rohren mit einer gefrästen Rille zur Erzeugung des über die Breite definierten Dickenprofils erzielbar sind.

» SFB 666 – Herstellung verzweigter Bauteile durch integrierte Umform-, Zerspan- und Fügeoperationen (Ludwig, Ch.)

Verzweigte Bauteile in Form von Mehrkammerprofilen werden in vielfältigen Bereichen der Technik als Leichtbauelemente eingesetzt. Gegenwärtig werden diese überwiegend durch Strangpressen aus Aluminiumlegierungen hergestellt. Für Stahlwerkstoffe hingegen ist dieses Verfahren nicht wirtschaftlich. Darüber hinaus sind Mehrkammerprofile walzprofilieretechnisch nur durch aufwändige und gewichtserhöhende Materialdopplungen herstellbar. Somit fehlen derzeit innovative Maschinenkonzepte zur Herstellung dieser Profile aus Stahl.

Das neuartige Umformverfahren Spaltprofilieren ermöglicht die Fertigung verzweigter Profile in integraler Bauweise. Die Integration dieses Verfahrens mit

weiteren umformenden und fügenden Prozessen sowie Zerspanungsoperationen am Blech in eine Walzprofilieranlage, ist ein Ansatz, um die kontinuierliche Fertigung von Mehrkammerprofilen aus Stahl zu ermöglichen. Die Verkettung dieser Prozesse ist derzeit nicht Stand der Technik, weshalb eine genaue Untersuchung dieser Prozesskette erforderlich ist. Von besonderem Interesse sind dabei die Wechselwirkungen der Prozesse untereinander sowie die variierenden Prozessketten.

Ziel dieses Projekts ist es, Ein- oder Mehrkammerprofile aus Stahl, durch Integration aller beteiligten Prozesse, auf einer rekonfigurierbaren Anlage in Komplettbearbeitung herzustellen. Dabei ermöglicht eine Variation der Abfolge der Einzelprozesse die Herstellung unterschiedlicher Profiltypen auf ein und derselben Anlage. Zur Ermittlung der optimalen Prozessketten werden Methoden, in Abstimmung auf die jeweils geplante Zielgeometrie, entwickelt.

Im ersten Schritt sind die Analyse aller Einzelprozesse und deren Wechselwirkungen untereinander sowie die Darstellung möglicher Prozessabfolgen und die Interaktion der Einzelprozesse in Modellen notwendig. Daraufhin erfolgt die Entwicklung einer mathematischen Formulierung des Materialflusses unter Berücksichtigung der vorhandenen Prozesse. Daraus erfolgt die Ableitung von Empfehlungen von Prozessreihenfolgen in Abhängigkeit der späteren Profileigenschaften sowie die Entwicklung eines Anlagenkonzepts mit anschließender Herstellung von Profilprototypen.

» SFB 666 – Rechnerunterstützte Bauteiloptimierung durch numerische Prozesskettenanalyse (Rullmann, F.)

Die Herstellung verzweigter Blechbauteile ohne Dopplungen ist dank des neuen Verfahrens Spaltprofilieren möglich. Durch den Einsatz dieses Verfahrens in einer Prozesskette zur Herstellung von Mehrkammer-Profilen können somit anspruchsvolle Bauteile belastungsgerecht gefertigt werden.

Während der Herstellung eines komplexen Profils entstehen prozessbedingte Eigenschaftsgradienten wie z. B. lokale Verfestigungen, so dass die Annahme eines homogenen Werkstoffs im fertigen Teil nicht mehr gültig ist. Eine zuverlässige Betriebsfestigkeitsanalyse ist somit nur unter Berücksichtigung dieser Veränderungen möglich.

Die Bewertung und Optimierung verzweigter Blechbauteile hinsichtlich der Wechselwirkungen des Herstellprozesses und der Gebrauchseigenschaften kann wirtschaftlich nur durch numerische Prozessketten-simulationen erfolgen. Ziel ist es daher, die gesamte Prozesskette vom ebenen Blech bis zum eingeformten Bauteil durchgängig zu simulieren, um die Beeinflussung des Herstellprozesses auf die Betriebsfestigkeit zu berücksichtigen. Im ersten Arbeitsschritt werden alle einzelnen Teilprozesse der gesamten Prozesskette in Simulationen abgebildet und auf relevante Einflussparameter untersucht. Die Ergebnisse einer Umformstufe werden als Eingangsparameter für die Simulation der nachfolgenden Stufe verwendet. Anschließend wird anhand der ganzheitlichen Prozesskettensimulation eine Prozessoptimierung hinsichtlich der Bauteileigenschaften durchgeführt.

Die numerische Analyse der gesamten Prozesskette

ermöglicht somit schnell, zuverlässig und mit geringerem Kostenaufwand die Vorhersage der Produkteigenschaften unter Berücksichtigung des Herstellprozesses. Des Weiteren können systematisch und effektiv Parametervariationen zur Erlangung umfassenderer Informationen durchgeführt werden.

» Vorformgeometrien für das Innenhochdruck-Umformen (IHU) durch flexibles Walzprofilieren (Vogler, F.)

Die erreichbaren Querschnittsunterschiede von hohlförmigen Bauteilen durch Innenhochdruck-Umformen sind begrenzt. Insbesondere beim Einsatz höherfester Stahlgüten sowie Aluminium sind die Geometriespektren begrenzt, wenn auf aufwendige Zusatzoperationen wie Glühen verzichtet werden soll. Das flexible Walzprofilieren bietet eine neue Möglichkeit zur Halbzeugherstellung. Durch die Verwendung querschnittsangepasster Halbzeuge ergeben sich für das IHU neue Möglichkeiten, Bauteile mit stark unterschiedlichen Querschnittsverhältnissen wirtschaftlicher herzustellen.

Es finden experimentelle Untersuchungen zur Einformung durch Rollprofilieren und zum Schließen der Profile durch Schweißen statt. Eine große Herausforderungen stellt das Schließen der Profile dar, da durch das flexible Profilieren erhebliche Formänderungen in den Flanschen der Profile eingebracht werden. Mit den gefertigten Hohlkörpern werden anschließend Untersuchungen zum Biegen sowie zum Innenhochdruck-Umformen durchgeführt. Nach der Durchführung von Berstversuchen zur Halbzeugcharakterisierung werden Ausformversuche in einem IHU-Werkzeug bewerkstelligt.

## 2.2 Verfahrensentwicklung

### » Effiziente Algorithmen zur Simulation von inkrementellen Umformverfahren (Abrass, A.)

Derzeit verfügbare FE-Programmsysteme eignen sich nur bedingt zur Modellierung inkrementeller Umformverfahren. Auch wenn ein Prozess numerisch abgebildet werden kann, ist die Simulation meist derart zeitintensiv, dass Parameterstudien zur Auslegung eines neuartigen Prozesses für den industriellen Einsatz zu langwierig sind. Inkrementelle Verfahren erzeugen durch den partiellen Eingriff der Werkzeuge eine lokale Umformung, während weite Bereiche des Werkstücks unbeeinflusst bleiben. Simulationen inkrementeller Umformprozesse können diese Ähnlichkeit der einzelnen Umformschritte bisher nicht nutzen.

Ziel dieses Forschungsprojektes ist die Entwicklung effizienter Algorithmen zur Beschleunigung der Simulation von inkrementellen Umformverfahren.

Am Beispiel des Drück- und Ringwalzens von Stirnradverzahnungen werden Simulationsmodelle entwickelt, die das Potenzial von neuen Lösungsalgorithmen aufzeigen sollen. Inkrementelle Umformverfahren zeichnen sich insbesondere durch die vielfache Wiederholung ähnlicher Schritte aus. Die vorhandenen Ähnlichkeiten werden genutzt, um die Rechenzeit deutlich zu reduzieren.

Zur Implementierung der neuen Ansätze dient das FE-Programmpaket PEP/LARSTRAN, das sich insbesondere durch seine Modifizierbarkeit auszeichnet. Die Verifikation der Simulationsergebnisse erfolgt mit der kommerziellen Software MARC. Neben ver-

schiedenen numerischen Kriterien wird der iterative Lösungsprozess untersucht. Durch die Ähnlichkeit der Prozessschritte können verbesserte Startwerte für den Algorithmus angegeben werden, so dass dieser schneller konvergiert.

Mit den neu implementierten Methoden kann eine Reduktion der Berechnungsdauer auf nahezu die Hälfte ohne Änderung der Modelleigenschaften erreicht werden. Dies ermöglicht es, in Zukunft auch komplexe dreidimensionale Probleme der inkrementellen Umformtechnik zu betrachten.

### » Entwicklung neuartiger Leichtbau-Rollprofile aus flexibel gewalzten höher- und höchstfesten Mehrphasenstählen (Tailor Rolled Blanks) für den Automobil- und Transportsektor (Beiter, P.)

Um den kontinuierlich steigenden Anforderungen an Sicherheit und Umweltverträglichkeit zukünftiger Fahrzeuge Rechnung zu tragen und zusätzlich dem Trend der stetigen Gewichtszunahme von einem Fahrzeugmodell zu seinem Nachfolger entgegen zu wirken, werden im Automotive- und Transportsektor seit einigen Jahren verstärkt Leichtbaustrategien im Karosserie- und Strukturbereich gesucht und erforscht. Vor allem eine belastungsoptimierte, d.h. variable Wanddickenverteilung innerhalb der strukturbildenden Bauteile verspricht hier ein großes Einsparpotential.

Ziel des Forschungsvorhabens HI-PAT ist daher die Entwicklung einer hoch integrierten Profilbaukastenfamilie für den Automotive- und Transportsektor

aus höher- und höchstfesten Mehrphasenstählen mit belastungsangepassten Blechdickenverläufen. Dazu sollen erstmalig sog. Tailor Rolled Blanks (d.h. Bleche mit einem variablen Dickenverlauf in Walzrichtung) durch Walzprofilieren zu stabförmigen Strukturbauteilen umgeformt werden.

Nach der Fertigung eines Prototypenwerkzeuges werden Grundlagenuntersuchungen zum Profilieren von TRBs im Reversierbetrieb durchgeführt. Von besonderem Interesse sind hierbei die Maßhaltigkeit und die resultierenden Bauteileigenschaften der erzeugten Profile.

» [Untersuchung des Werkstoffverhaltens bei der Warm-Innenhochdruck-Umformung](#)  
(Elsenheimer, D.)

Die Umformtechnik stößt bei Verwendung von Leichtbaumaterialien wie z. B. Aluminiumlegierungen oder hochfesten Stählen häufig an Grenzen, da diese Materialien frühzeitig durch Reißen versagen bzw. hohe Prozesskräfte erfordern. Diesem Problem wird neuerdings auch in der Blechumformung durch eine Materialerwärmung begegnet. Auch auf dem Gebiet der Innenhochdruck-Umformung wird derzeit an Lösungen gearbeitet, die eine Umformung im so genannten warmen Temperaturbereich ermöglichen. Hierzu kommt Gas als Druckmedium zum Einsatz. Für numerische Simulationen fehlen zuverlässige Daten zur Beschreibung des Fließverhaltens der rohrförmigen Halbzeuge aus den genannten Materialien im warmen Temperaturbereich. Die Verwendung von Fließdaten aus einachsigen Zugversuchen ist für die Innenhochdruckumformung nicht ausreichend.

Ziel des Vorhabens ist es, eine zuverlässige Prüfmethodik zur Ermittlung von Fließdaten für die Innenhochdruck-Umformung im warmen Temperaturbereich zu entwickeln.

Es wurde eine Prüftechnologie entwickelt und realisiert, mittels der es möglich ist, Rohrfließkurven bei konstanter Temperatur und konstanter Umformgeschwindigkeit zu ermitteln. Die Funktionalität des Verfahrens wurde umfangreich nachgewiesen. Mittels geeigneter Approximationsansätze ist es möglich, Analytische Zusammenhänge aufzustellen, welche das Verhalten eines Werkstoffes in Abhängigkeit von Temperatur, Umformgrad und Umformgeschwindigkeit mit hoher Genauigkeit beschreiben. Solche Ansätze fließen in thermomechanisch gekoppelte FE-Simulationen von Warm-IHU-Prozessen ein.

» [Entwicklung eines segmenthydroelastischen Niederhaltersystems für Tiefziehprozesse](#)  
(Ertugrul, M.)

Während des konventionellen Tiefziehens von nicht rotationssymmetrischen Bauteilen entstehen im Flanschumfang unterschiedliche Formänderungszustände, die dazu führen, dass die Blechdicke in den besonders beanspruchten Flanschbereichen zunimmt. Dies führt zu lokal überhöhten Flächenpressungen. Eine inhomogene Verteilung der Flächenpressung führt zu einer Steigerung der zum Flanscheinzug erforderlichen Kräfte. Dadurch wird das Nachfließen des Bleches erschwert, wodurch Bauteilreißer entstehen können. Besonders in den langen Ziehteilflanschzonen sind die Kontaktnormalspannungen deutlich geringer als in den Eckbereichen, so dass hier Ziehteilfehler in Form von Ein-

fallstellen und Falten 1. Art entstehen können. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines segmenthydroelastischen Niederhaltersystems für das Tiefziehen. Grundidee ist dabei das Einarbeiten von Drucktaschen in den Niederhalter, so dass an den Stellen der Taschen eine Metallmembran als Niederhalterfläche entsteht. Die Taschen sollen in den Bereichen positioniert werden, in denen die größten Blechaufdickungen während des Tiefziehens mit starrem Niederhalter auftreten. Durch die Segmentierung wird ein Niederhalter realisiert, der sich in den Bereichen mit geringer Aufdickung starr und in Bereichen mit erheblicher Aufdickung elastisch verhält.

Zur Auslegung der Druckkanäle im Ziehring wird zunächst die Blechdickenverteilung im Flanschbereich bestimmt. Basierend hierauf werden die erforderlichen Kompensationswege in den segmenthydroelastischen Bereichen berechnet. Die Werkzeugbelastungen beim Tiefziehen werden mit Hilfe der FE-Simulation analysiert und hinsichtlich einer homogenen Flächenpressungsverteilung optimiert. Durch Parametervariationen wird eine optimale Prozessführungsstrategie für Kanaldrücke ermittelt. Darauf aufbauend wird ein Werkzeug konstruiert und im Versuchsfeld des IFUM Hannover erprobt.

#### » Herstellung von UFG Werkstoffen durch Rundkneten (Görtan, O.)

Durch große plastische Deformation (SPD) erzeugte ultrafeinkörnige (UFG) Werkstoffe weisen vielversprechende Eigenschaften auf, wie z.B. eine Kombination aus hoher Festigkeit und Duktilität, die sie für

viele technische Anwendungen interessant machen. Trotz des breiten möglichen Anwendungsspektrums ist ihre kommerzielle Nutzung bislang sehr begrenzt. Die Ursache hierfür liegt vor allem in dem hohen Fertigungsaufwand für UFG Werkstoffe. Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Optimierung eines neuen SPD Prozesses zur kontinuierlichen Herstellung von UFG Werkstoffen auf Basis eines modifizierten Rundknetverfahrens. Neben der Herstellung von UFG Werkstoffen werden als grundlegende als grundlegende Optimierungsansätze die Verbesserung der resultierenden Werkstoffeigenschaften und die Steigerung der Effizienz des Verfahrens verfolgt.

Es wird zunächst geeignete Werkzeuge für SPD Verfahren entwickelt. Nach der konservativen Auslegung eines ersten Werkzeugsatzes werden im Laufe des Projektes gewonnene Erkenntnisse in eine optimierte zweite Werkzeuggeometrie einfließen, mit welcher Materialstrukturen erstellt und das Potenzial des Verfahrens besser genutzt werden sollen. Während der Entwicklung der Werkzeugsätze und Optimierung des Prozesses werden FEM eingesetzt. Mit Hilfe der FE-Simulationen werden die Eiformanalyse im Werkstück und die Erforschung unterschiedlicher Werkzeugkonzepten durchgeführt.

#### » SFB 666 – Grundlagen des Spaltbiegens (Ringler, J.)

Integrale Blechprofile mit höherer Verzweigungsordnung können in der heutigen industriellen Anwendung nur eingeschränkt gefertigt werden. Die Verzweigungen werden hauptsächlich durch Materialdoppelungen hergestellt. Oftmals sind auch zusätz-

liche Fügeoperationen notwendig. Die so gefertigten Bauteile sind daher häufig sowohl technisch als auch wirtschaftlich optimierungsbedürftig. Einige dieser Einschränkungen können durch den Einsatz des Spaltprofilierverfahrens umgangen werden. Da beim Spaltprofilieren das Blech von der Blechkante aus gespalten wird, ist eine Flanschausformung an beliebigen Stellen der Blechoberfläche nicht möglich. Mit Hilfe des neuartigen Umformverfahrens Spaltbiegen hingegen können mehrfach verzweigte Blechprofile bei verbesserter Materialausnutzung ohne zusätzliche Fügeoperationen gefertigt werden. Als Halbzeug wird hierbei ein Blech verwendet, das abgewinkelt ist. Von der Biegekante ausgehend wird anschließend mit Hilfe einer Spaltwalze ein Flansch ausgeformt.

Durch die Kombination der beiden Verfahren Spaltbiegen und Spaltprofilieren kann an einem Blech eine nahezu beliebige Anzahl Flansche aufgestellt werden. Prinzipbedingte Einschränkungen bezüglich des Ortes der Flanschausbildung bestehen bei diesem Verfahren nicht. Potentielle Anwendungsfelder für diese Technologie sind in der Herstellung von offenen und geschlossenen Trägerprofilen sowie Rohrsystemen zu finden. Durch senkrecht zur Blechebene angeordnete Hilfswalzen werden den wirkenden Spannungen Druckspannungen überlagert und somit Rissbildungen im Werkstück vermieden. Der beschriebene Vorgang wird mit dem Begriff Spaltbiegen bezeichnet. Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 666 werden in diesem Teilprojekt die Grundlagen des Spaltbiegens ermittelt um das Verfahren später in die kontinuierliche Fertigung verzweigter Bauteile integrieren zu können.

» SFB 666 – Spaltprofilieren von Blechplatten (Schmitt, W.; Vucic, D.)

Profile mit verzweigten Querschnitten werden in der Technik in großem Umfang realisiert und angewendet. Als weit verbreitete Beispiele können T- bzw. H-Profile dienen, die sowohl im Bereich des Bauwesens als auch im Automobil- und Apparatebau als Strukturelemente eingesetzt werden. Durch erhöhte Anforderungen in Bezug auf Maßgenauigkeit, Oberflächengüte und Werkstoffeigenschaften ist weiterhin die Nachfrage nach Kaltprofilen stetig steigend.

Stand der Technik bei der Herstellung integral verzweigter Kaltprofile aus Blech sind Walzprofilier- und Gesenkbiegeverfahren. Die Herstellung von eng tolerierten Bauteilen gelingt hierdurch aus Blechplatten bzw. Coils. Die Realisierung ausreichender Bauteilsteifigkeiten erfordert oftmals zusätzliche Fügeoperationen, wobei gleichzeitig partielle Materialdopplungen integriert werden. Hierbei entstehen technische Problemfelder durch Steifigkeitssprünge und Eigenspannungen im Bereich der Fugestellen. Weitere Probleme offenbaren die Prozesssicherheit und Qualitätskontrolle der Fügeverfahren, so dass in der Serienproduktion oftmals nicht die gewünschte Produktivität erreicht wird.

Weitere Möglichkeiten zur Integralbauweise der beschriebenen Profile ergeben sich durch das Spaltprofilieren von Blechplatten bzw. -coils. Der Grundgedanke dieses Verfahrens ist, die Umformung des Werkstücks durch ein Auseinanderfließen des Werkstoffs, folglich durch einen reinen Umformvorgang, zu realisieren. Dies steht im Gegensatz zu den konventionellen Spaltverfahren, bei denen die Rissbildung gewollt herbeigeführt wird. Das Auseinander-

fließen des Werkstoffs wird durch stumpfwinklige Spaltwalzen bewirkt. Zusätzlich werden senkrecht zur Blechebene am Werkstück Hilfswalzen angeordnet, welche dem Spannungszustand in der Umformzone Druckspannungen überlagern. Dadurch wird eine Rissbildung vermieden bzw. das Formänderungsvermögen des Werkstoffs erhöht. Weiterhin wird eine Erhöhung der statischen Betriebsfestigkeit des zu fertigenden Bauteils durch Kaltverfestigung in der Umformzone erreicht.

Die technische Umsetzung des Verfahrens in der Serienproduktion kann auf Walzprofilieranlagen realisiert werden. Hierbei werden ortsfeste Spaltprofiliergerüste in Serie angeordnet, so dass durch mehrere diskrete Umformschritte die gewünschte Endgeometrie erreicht wird.

Das prozesssichere Erreichen großer Spalttiefen in einer kontinuierlichen Fertigungslinie und die Analyse und Optimierung der walzprofilier-technischen Weiterverarbeitung von Spaltprofilen stehen im Vordergrund. Das Erhöhen der Verzweigungsordnung der durch Spaltprofilieren herstellbaren Geometrien soll darüber hinaus neue Konstruktionskonzepte für Profile aus Blech ermöglichen.

#### » SFB 666 – Beherrschen von Toleranzfeldern beim Spaltprofilieren (Taplick, Ch.)

Das neue Massivumformverfahren Spaltprofilieren ermöglicht das Fertigen von verzweigten Profilen in integraler Bauweise. Die grundsätzliche Machbarkeit des kontinuierlichen Spalt- und Walzprofilierens konnte im Rahmen des an der TU-Darmstadt eingerichteten Sonderforschungsbereiches (SFB) 666 gezeigt werden. Untersuchungen ergaben, dass ver-

zweigte Profile aus Blech definierten Flanschlängen realisierbar sind. Für eine wirtschaftliche Nutzung der erarbeiteten Technologien fehlen bisher noch weiterführende Erkenntnisse über die erreichbaren Toleranzen unter industriellen Bedingungen.

Ziele dieses Transferprojektes sind die Analyse erforderlicher Genauigkeiten für potenzielle, durch Spaltprofilieren industriell realisierbare Produktklassen und das Ableiten von Maßnahmen für das Erreichen dieser Toleranzfelder in kontinuierlichen Spalt- und Walzprofilierprozessen. Anhand zweier Produktbeispielen sind die fertigmöglichen Toleranzen zu dokumentieren. Bei Abweichungen zu den zulässigen Toleranzen der ausgewählten Produkte sind Maßnahmen zur Eingrenzung des Toleranzfeldes abzuleiten und umzusetzen. Hierzu ist eine Weiterverarbeitung des Steges und der in den vorangegangenen Projektschritten erzeugten Flansche erforderlich. Aufgrund der Vielzahl an Einstellmöglichkeiten einer Spaltprofilieranlage sind eine Vereinfachung der Einrichtarbeiten und die Untersuchung des Einflusses von Störgrößen, wie z.B. die Fehljustage eines Rollenwerkzeuges, weitere Ziele des Transferprojektes.

Im ersten Arbeitsschritt wird eine Analyse von Produktanforderungen vorgenommen und die Zielgeometrie der Prototypen definiert. Darauf folgt die Prozesskettenauslegung und -gestaltung zur Herstellung der Demonstratoren. In einem anschließenden Schritt erfolgt die Auslegung und Konstruktion der Werkzeuge für die Einzelprozesse. Parallel hierzu wird eine numerische Sensitivitätsanalyse der einzelnen Prozessschritte vorgenommen. Im Folgenden werden die erreichbaren Toleranzfelder experimentell untersucht. Maßnahmen zur Eingrenzung der ge-

fundenen Toleranzfelder werden im weiteren Verlauf des Projektes erstellt. Die erarbeiteten Maßnahmen werden abschließend zur Entwicklung geeigneter Rüststrategien zur Beherrschung der Toleranzfelder eines Spalt- und Walzprofilierprozesses genutzt.

» Auslegungsalgorithmen für „flexible“ Walzprofilierprozesse (Storbeck, M.)

Die Anforderungen an profilierte Bauteile steigen hinsichtlich der Erhöhung der Steifigkeit und der Reduzierung von Gewicht. Einen Ansatz, diesem Trend gerecht zu werden, bietet das am PtU entwickelte flexible Walzprofilieren zur Herstellung von Profilen mit veränderlichen, an die Belastung angepassten Querschnitten. Derzeit fehlt es jedoch an einer durchgängigen Beschreibung der Verfahrensgrenzen. Die Zielsetzung dieses Forschungsvorhabens besteht darin, die wissenschaftlichen Grundlagen für die Auslegung des flexiblen Walzprofilierens weiter herauszuarbeiten. Durch die Weiterentwicklung analytischer Berechnungsmodelle soll sich die Herstellbarkeit unterschiedlicher Profilgeometrien effizient überprüfen lassen. Des Weiteren werden eine Erweiterung der Verfahrensgrenzen und eine Steigerung der Prozesssicherheit angestrebt. Mithilfe der FE-Simulation lassen sich verfahrenskritische Bereiche analysieren bzw. der Einfluss unterschiedlicher Bauteil- und Prozessparameter auf das Profiliererergebnis ermitteln. Für experimentelle Untersuchungen kommt das am PtU vorhandene Werkzeugsystem zum flexiblen Profilieren zum Einsatz. Als Modellgeometrie für den Abgleich zwischen den numerischen und experimentellen Ergebnissen dient ein in Längsrichtung breitenveränderliches U-Profil.

Aus den Resultaten lassen sich die Randbedingungen für die Berechnungsmodelle ableiten. Mittels numerischer Berechnungen und experimenteller Untersuchungen ist es gelungen, grundlegende Zusammenhänge zum flexiblen Profilieren zu generieren. Dabei ist der Einfluss sowohl geometrischer als auch werkstofflicher Parameter deutlich geworden. Als versagenskritischer Bereich wurde der Druckbereich des Profilschenkels identifiziert, in dem Faltenbildung auftreten kann. Auf Basis dieser Untersuchungen konnte ein One-Step-Modell aufgestellt werden, mit dessen Hilfe die Machbarkeitsüberprüfung einer Bauteilgeometrie schneller erfolgen kann.

» Einfluss von Faserverlauf und Gefüge auf die Schwingfestigkeit warmmassivumgeformter ausscheidungshärtender, ferritischperlitischer Stähle (Türk, M.)

Für kostengünstige AFP-Stähle, die immer weitere Verbreitung erlangen, soll die Schwingfestigkeit unter besonderer Berücksichtigung der Umformgeschichte (Faserverlauf im Gefüge) untersucht und numerisch abgebildet werden. Deren Wettbewerbsfähigkeit soll durch einen zutreffenden Bemessungsprozess, der die gesamte Umformgeschichte eines Bauteils berücksichtigt, gesteigert werden. Der Einfluss von zeiligen Schwefelverbindungen und Phosphoreinschlüssen auf die Schwingfestigkeit soll bewertet und in die Richtlinie des Forschungskuratorium Maschinenbau »Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Bauteile im Maschinenbau« aufgenommen werden. Im Rahmen dieses Projekts soll der Faserverlauf selbst das Material charakterisieren und nicht nur eine Hilfsgröße darstellen. Hierzu soll eine Methode

zur Vorhersage des Faserverlaufes erarbeitet werden. Mit einer quantitativen Beschreibung der zeitlichen Schwefelverbindungen und Phosphoreinschlüsse soll es möglich sein, Gebrauchseigenschaften von Bauteilen prospektiv bewerten zu können um so zusätzliche Einsparpotenziale (Leichtbau) bzw. Festigkeits- und Lebensdauererhöhungen, basierend auf lokalen Bemessungskonzepten, zu identifizieren.

### 2.3 Tribologie und Oberflächentechnik

» Entwicklung eines Reibmodells zur Beschreibung der tribologischen Verhältnisse in der Kaltmassivumformung bei strukturierten Halbzeugoberflächen (Stahlmann, J)

Umfangreiche Prozesssimulationen in der Umformtechnik kristallisieren sich mehr und mehr als Faktor für erfolgreiche Werkzeug- und Prozessplanung in Unternehmen der Kaltmassivumformung heraus. Der steigende Kostendruck verlangt nach schnellen, aussagekräftigen Simulationen, die die Anzahl an Realversuchen minimieren und somit Prozessauslegungen an kritischen Stellen im Produktionsprozess vereinfachen.

Zudem besteht Bedarf an alternativen Schmierstoffsystemen, die es in Zukunft ermöglichen sollen, gebräuchliche Tribosysteme zu ergänzen. Die heute erfolgreich eingesetzten Bonderverfahren zeichnen sich neben ihren guten Schmierungseigenschaften unter hohen Drücken durch schlechte Umweltverträglichkeit sowie hohen Reinigungsaufwand vor nachfolgenden Bearbeitungsschritten aus.

Moderne FE-Systeme bieten für die Massivumformung weit entwickelte Modellierungs- und Berech-

nungsalgorithmen. Den komplexen Vorgängen im Tribosystem wird aufgrund der einfachen Reibmodelle nur unzureichend Rechnung getragen.

Die Effekte der lokal auftretenden, starken Oberflächenveränderungen durch Einebnung und Reibung, die während der Kaltmassivumformung auftreten, können diese Modelle nicht abbilden. Eine lokale Vernetzung der Werkstückoberfläche mit hinreichend engen Elementstrukturen könnte die Auswirkungen der Strukturierungen am Werkstück erfassen. Jedoch sprengen die dafür notwendigen Rechenoperationen bei weitem die aktuellen Rechnerleistungen.

Im Rahmen eines DFG-Projektes wird ein halbempirisches Reibmodell entwickelt, das den aktuellen Anforderungen aus der Kaltmassivumformung gerecht wird. Neue Ansätze, wie die Reduktion von Prozesskräften durch gezielte Oberflächenstrukturierung zur Ausbildung von hydrostatischen und dynamischen Schmierstofftaschen werden integriert. Dieses Reibmodell kann in FE-Entwicklungsumgebungen implementiert werden. Während der Entwicklungsphase soll das Reibmodell in der Software MSC-Superform getestet werden.

Das zu entwickelnde Reibmodell basiert auf physikalischen Grundlagen, erfasst alle wesentlichen Einflussparameter, die Auswirkungen auf das tribologische System haben, und soll ohne Ermittlung spezieller Kenngrößen auf andere tribologische Systeme übertragbar sein.

Basierend auf der Entwicklung von Reibmodellen für unstrukturierte Probenflächen wird ein Modell für strukturierte Probenoberflächen entwickelt. Für die Ermittlung der Reibwerte unter verschiedenen Prozesszuständen wird die institutseigene Gleit-

stauchanlage angepasst und erweitert. Hierfür wird die Probe auf der Mantelfläche liegend gestaucht und unter Aufrechterhaltung der Stauchkraft über die Reibplatte gezogen.

Die gezielte Einstellbarkeit von Oberflächenvergrößerung, Kontaktnormalspannung, Reibweg, Relativgeschwindigkeit und Temperatur gewährleistet die Abbildung industrieller Umformparameter in dem hier angewandten Laborversuch.

Die Verifikation der Ergebnisse erfolgt am Beispiel eines dreistufigen Vollvorwärtsfließpressprozesses.

#### » Analyse und Beeinflussung des Wärmehaushaltes in der Blechumformung (Engels, M.)

Sowohl in der Umformung von Aluminium als auch hochfesten Stahlblechen wird während des Prozesses Wärme frei. Diese führt einerseits zu Aluminiumadhäsion an den Umformwerkzeugen und andererseits zu deutlich erhöhten Prozesstemperaturen und Schmierfilmeinbrüchen bei der Stahlumformung. Zudem weisen die umgeformten Werkstücke sehr hohe Temperaturen auf, was die Handhabung in der betrieblichen Praxis erschwert. In der Stahlumformung sind daher aktiv gekühlte Werkzeuge verbreitet. Bisher unbekannt sind allerdings die Einflüsse tribologischer Systemkomponenten auf thermodynamische Vorgänge und Wechselwirkungen zwischen Umformung, Reibung und Wärmeübertragung sowie -leitung.

Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, ein grundlegendes Verständnis für die Mechanismen der Wärmeentstehung und -ausbreitung in der Blechumformung zu entwickeln. Im Fokus steht dabei, die Haupteinflussparameter zu identifizieren. Über die

Entwicklung einer Kennwertformulierung soll die Charakterisierung tribologischer Systeme hinsichtlich ihrer thermischen Wirksamkeit in der Blechumformung ermöglicht werden. Schließlich ist die Erarbeitung von Handlungsrichtlinien zur Ableitung praxistauglicher Kühlkonzepte angestrebt.

Zunächst sollen die Wärmeströme aus Reibung, Umformung und kombinierten Lastfällen isoliert experimentell und numerisch untersucht werden. Essentiell dabei ist die Kennwertformulierung sowie die Entwicklung von Handlungsstrategien zur thermischen Optimierung. Darauf basierend können schließlich Kühlkonzepte entwickelt und auch am Realwerkzeug verifiziert werden.

#### » Optimierung des Abrieb- und Verschleißverhaltens von Werkzeugoberflächen durch mechanische Randschichtverfestigung (Engels, M.)

In der blechverarbeitenden Industrie kommen verstärkt beidseitig verzinkte Stahlbleche zur Steigerung der Qualität des Langzeit-Korrosionsschutzes zum Einsatz. Gleichzeitig gibt es die Tendenz höher- und höchstfeste Stahlbleche insbesondere für Strukturteile einzusetzen.

Für die wirtschaftlich günstige Umformung kommen häufig Werkzeuge aus globularem Grauguss (GGG70) zum Einsatz. Während des Umformvorganges kann es zu Abrieb der Zinkschicht in den Presswerkzeugen kommen. Eine verminderte Bauteilqualität und verunreinigte, zu Oberflächenfehlern führende Werkzeuge, sind die Folge. Der Einsatz höherfester Stahlbleche kann durch erhöhten Verschleiß zu einer Verringerung der Standzeit der Werkzeuge führen.

Ziel des Projektes ist die Optimierung der Werkzeugoberflächen durch mechanische Oberflächenverfestigung, um so eine Reduktion des Abriebphänomens und des Verschleißes zu erreichen. Die untersuchten Varianten Festwalzen und Festklopfen zeigten in durchgeführten Voruntersuchungen einiges Potential: So ist das Einbringen von Druckeigenspannungen, eine signifikante Absenkung der Rautiefe und oberflächennahe Steigerung der Härte erreichbar, ohne dass eine Wärmebehandlung erfolgen muss. Beide Verfahren können im Formenbau unmittelbar im Anschluss an die letzte Fräsoperation in einer Aufspannung vorgenommen werden.

An Parameterstudien der beiden eingesetzten Verfahren zur mechanischen Oberflächenverfestigung konnte gezeigt werden, dass für unterschiedliche Guss- und Stahlwerkstoffe ausgehend von einer gefrästen Oberfläche eine sehr deutliche Einglättung um bis zu 80% auf Ra-Werte um  $0,25\mu\text{m}$  möglich ist. Gleichzeitig steigt dabei die Randschichthärte um bis zu 30% an.

Das Abrieb- und Verschleißverhalten oberflächenverfestigter Ziehwerkzeuge wurde experimentell auf der kombinierten Streifenziehmaschine untersucht. Tendenziell konnte im Rahmen der Messgenauigkeit eine nur leichte Verbesserung des Abriebverhaltens von Zink festgestellt werden. Die mittels mechanischer Oberflächenverfestigung erreichten Härtesteigerungen reichen alleine jedoch nicht aus, um einen wirksamen Schutz gegen Abrasivverschleiß zu bieten. Allerdings zeigte sich in weiteren Parameterstudien, dass es noch ein deutliches Potential in Bezug auf die Einglättung gibt. Sowohl das Festklopfen als auch das Festwalzen sind geeignete Verfahren, um manuelle Polierprozesse im Werkzeug- und Formen-

bau teilweise ersetzen zu können. Da die Bearbeitung unmittelbar nach dem Fräsen in einer Aufspannung erfolgt, kann sich über den Zeit- und Personalgewinn ein großes Einsparungspotential erschließen.

» Einfluss einer Kühlung auf die tribologischen Verhältnisse beim Umformen von Aluminiumblechen (Elsen, A.)

Die Adhäsionsneigung von Aluminiumblechen führt beim Umformen zu Werkzeugverschleiß in Form von Aufschweißungen, wodurch die Prozessstabilität sowie die resultierende Bauteilgüte beeinträchtigt werden. Die Orte der Verschleißinitiierung entsprechen dabei den Orten größter mechanischer und thermischer Beanspruchung. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, das Potenzial sowohl einer lokalen als auch einer globalen Temperaturabsenkung in der Kontaktzone beim Umformen von Aluminiumlegierungen zu ermitteln. Der zu untersuchende Temperaturbereich liegt dabei unterhalb der Raumtemperatur. Die gewonnenen Erkenntnisse über die in diesem Bereich wirkenden metallkundlichen und tribologischen Mechanismen sollen zur Entwicklung einer Methode beitragen, mit der die Entstehung des Adhäsionsverschleißes durch gezielte, lokale Herabsetzung der Temperaturen an verschleißkritischen Stellen verhindert werden kann.

» Generierung lokaler, hydrostatischer Druckschmierungszustände beim Tiefziehen (Klöpsch, C.)

Der Realisierung von Blechbauteilen mit Tiefziehverfahren sind durch die erreichbaren Ziehverhältnisse

Grenzen gesetzt. Zur Erweiterung dieser Formgebungsgrenzen bedient man sich verschiedener Sonderverfahren, wie zum Beispiel dem hydromechanischen Tiefziehen. Durch das Ziehen über einen Flüssigkeitswulst tritt hierbei eine Minimierung der Reibkraft am Ziehring auf, wodurch eine erhebliche Steigerung des Grenzziehverhältnisses gegenüber dem konventionellen Tiefziehen möglich ist.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, sich von dem hohen apparativen Aufwand, welches das hydromechanische Tiefziehen mit sich bringt, zu lösen und ein Verfahren zu entwickeln, um den Effekt des Ziehens über ein Flüssigkeitspolster auch für das konventionelle Tiefziehen zu nutzen. Über einen lokal in den Ziehring eingebrachten Schmierstofffilm soll ein Druckpolster aufgebaut werden, das zu einer vollständigen Trennung von Blech und Werkzeug führt. Die Reibungsminderung am Ziehring führt damit zu einer Reduktion der zu übertragenden Kräfte. Da die durch den Werkstoff übertragbare Kraft unverändert bleibt, lassen sich im Vergleich zur konventionellen Prozessführung größere Ziehverhältnisse realisieren. Neben einer Erweiterung der Formgebungsgrenzen sind auch Vorteile bezüglich des Werkzeugverschleißes zu erwarten.

Zur Auslegung der Druckkanäle im Ziehring werden zunächst die Werkzeugbelastungen beim Tiefziehen mit Hilfe der FE-Simulation analysiert und wesentliche Einflussgrößen identifiziert. Darauf aufbauend wird ein Werkzeugkonzept entwickelt und in einen Modellprüfstand zum Tiefziehen implementiert, welcher es ermöglicht, im Kontaktbereich Ziehring-Blech einen Schmierstofffilm unter hydrostatischem

Druck einzubringen. Durch Parametervariationen werden die Verfahrensgrenzen identifiziert sowie Prozessführungsstrategien und Gestaltungsrichtlinien entwickelt.

» [Integration von Werkstoffermüdungseffekten in die Verschleißsimulation von Umformwerkzeugen \(Möller, N.\)](#)

Der Trend zum Leichtbau führt zu einer Substitution von herkömmlichen Werkstoffen durch immer festere Werkstoffe. Dies hat zur Folge, dass die Werkzeuge schneller verschleifen und somit erhöhte Kosten durch verringerte Werkzeugstandzeiten, aufwendige Nacharbeiten und längere Stillstandzeiten verursacht werden. Häufig wird erst nach dem Auftreten von Verschleiß der Schmierzustand optimiert und Werkzeugbeschichtungen eingesetzt.

Durch die Integration von Werkzeuermüdungseffekten in die Verschleißsimulation soll es möglich werden, Umformwerkzeuge bereits in der Entwicklungsphase verschleißgerecht auszulegen und so hohe Kosten durch nachträgliche Werkzeugoptimierung zu vermeiden.

Um die Einflüsse der verschiedenen Parameter, wie Reibgeschwindigkeit, Flächenpressung, Belastungsunterbrechungen und Temperatur auf den Werkzeugverschleiß zu untersuchen, werden sie in Streifenziehversuchen, mit denen sich Presswerkbedingungen modellhaft sehr gut abbilden lassen, gezielt verändert, wobei die Verschleißarbeit konstant gehalten wird. Der auftretende Verschleiß wird quantifiziert und hinsichtlich der wirkenden Verschleißmechanismen eingeordnet. Der Einfluss der

einzelnen Parameter auf Art und Menge des Verschleißes wird beschrieben.

Anschließend wird die Verschleißsoftware REDSY in Zusammenarbeit mit dem utg (Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen) in München durch Integration des Verschleißmodells erweitert. Eine Validierung der Ergebnisse anhand realer Prozesse schließt das Projekt ab.

» Mikromechanische Simulation von Grenz- und Mischreibungphänomenen in der Blechumformung (Ludwig, M.; Müller, C.)

In der Blechumformung treten große Flächen von Werkzeug und Werkstück miteinander in Kontakt, die sich während des Umformvorgangs relativ zueinander bewegen.

Die Abbildung makroskopischer Reibvorgänge in FEM-Modellen ist in guter Näherung mit empirischen Modellen bereits gelungen. Die Berechnung lokaler Reibschubspannungen mit Hilfe dieser Gesetze ist bei Umformprozessen aber bislang nicht möglich.

Hydrostatisch und hydrodynamisch wirkende Schmierstofftaschen bilden sich im Laufe der Umformung auf der Oberfläche aus und beeinflussen so die tribologischen Verhältnisse. Die Beschreibung der Wechselwirkung zwischen unterschiedlichen Oberflächenstrukturen und Schmierstoffen ist bislang nur unzureichend möglich.

Zur Gewinnung detaillierter Kenntnisse bezüglich der Beeinflussung der Spannungszustände im Werkstück durch die Schmierstoffdrücke erfolgt daher eine Modellierung der Vorgänge mit Hilfe numerischer Methoden.

Die Verifizierung und Validierung der Modelle erfolgt durch experimentelle Untersuchungen in Streifenzieh- sowie Innenhochdruckumform-Anlagen. Hierbei ermöglichen transparente Werkzeuge und ein in die Prüfstände integriertes optisches Messmikroskop lokal die Erfassung von Oberflächenwandlung und Schmierstoffverhalten während der Prozesse.

» Sensorgestützte Werkstoffauslegung und Schichtentwicklung für die Umformtechnik (Ludwig, M.; Damavandi, K.)

Die auf Werkzeugoberflächen auftretenden thermischen und mechanischen Belastungen sind bisher messtechnisch nur sehr schwer zu erfassen. Für die Auslegung der Werkzeuge und Maschinen ist ihre Kenntnis aber von entscheidender Bedeutung. Besonders bei der systematischen Auslegung der Werkzeugwerkstoffe und der Weiterentwicklung von Werkzeugbeschichtungen besteht ein großer Bedarf, die tatsächlich auf der Werkzeugoberfläche auftretenden Belastungen zu kennen.

Gerade Werkzeuge in der Metallumformung unterliegen erheblichen mechanischen und thermischen Belastungen, die immer häufiger die Belastungsgrenzen der heute eingesetzten Werkzeugwerkstoffe und Beschichtungen übersteigen. Das Projekt verfolgt daher das Ziel, die auf der Werkzeugoberfläche auftretenden Belastungen besser zugänglich zu machen und in die Auslegung der Werkzeugwerkstoffe und die Entwicklung von Beschichtungen einfließen zu lassen. Durch Kombination neuartiger, in die Werkzeugoberfläche integrierter Dünnschichtsensoren mit maßgeschneiderten Beschichtungen wird

es möglich, bisher nicht zugängliche Belastungsmessungen lokal auf der Werkzeuoberfläche durchzuführen. Damit können z.B. erstmals Temperatur, Druck und Verschleiß online während des Umformprozesses orts- und zeitaufgelöst gemessen werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse erlauben einen Abgleich von FEM-Simulationen mit den realen Verhältnissen auf der Werkzeuoberfläche und die Zuordnung von Verschleißerscheinungen zu einzelnen Belastungsgrößen. Darauf aufbauend erfolgt eine zielgerichtete Weiterentwicklung einzelner für die Umformtechnik relevanter Schichtsysteme.

#### » Ökologisch optimierte Kaltmassivumformung (Köhler, M.)

Aufgrund der hohen tribologischen Beanspruchungen kommen in der Kaltmassivumformung hochleistungsfähige Schmierstoffsysteme zum Einsatz, die in der Regel auf einer Zinkphosphatschicht aufbauen. Das Aufbringen und Entfernen der Phosphatschichten ist mit hohem Energieaufwand und erheblichen Umweltbelastungen durch verunreinigte Abwässer verbunden.

Ziel der Forschungsaktivitäten ist die Realisierung einer zinkphosphatschichtfreien Kaltmassivumformung. Da die Optimierung einer einzelnen Komponente im tribologischen System nicht ausreicht, um eine umweltfreundlichere Fertigung in einem industriellen Umfeld prozesssicher und ökonomisch vertretbar zu realisieren, wird ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt. Dieser überträgt die Trenn- und Trägerschichtfunktion der Zinkphosphatschicht auf einzelne Komponenten des tribologischen Systems. Dabei ist die Trennschichtfunktion hauptsächlich von den

Werkzeugbeschichtungen und die Trägerschichtfunktion von alternativen Drahtbeschichtungen oder Drahtoberflächentexturen zu übernehmen.

Die Untersuchungen konzentrieren sich auf den Umformprozess Verjüngen von niedrig legierten Stahlwerkstoffen im Bereich der Fertigung vom Draht. In experimentellen Laborversuchen kommt der praxisnahe Verjüngversuch zum Einsatz. Der Fokus liegt hierbei auf der Untersuchung geeigneter Werkzeugbeschichtungen, optimierter Werkstückoberflächen sowie ökologisch unbedenklicher Schmierstoffe. Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen werden abschließend in Praxisversuchen verifiziert.

#### » Größeneinflüsse beim Drücken von optischen Bauteilen (Schäfer, R.)

Durch moderne Drückverfahren können rotations-symmetrische Bauteile mit nahezu beliebiger Mantellinie in kleinen bis mittleren Serien kostengünstig hergestellt werden. Für diese Bauteile bestehen neben Anforderungen an die makroskopische Gestalt vielfach auch Produktspezifikationen hinsichtlich der zu erreichenden Oberflächeneigenschaften. Die Realisierung der geforderten Oberflächengüte basiert in der industriell eingesetzten Drücktechnik auch heute noch vorwiegend auf Erfahrungswerten. Die Abhängigkeiten der Oberflächeneigenschaften gedrückter Bauteile von den geometrischen Abmessungen, den Materialeigenschaften sowie den Prozessparametern sind bisher nur ansatzweise erforscht.

Die Analyse der Zusammenhänge zwischen der Oberflächenausbildung gedrückter Bauteile und den Prozessparametern soll zunächst zu einem tieferen Verständnis des Drückprozesses beitragen. Basie-

---

rend auf den so gewonnenen Erkenntnissen soll eine Möglichkeit geschaffen werden, Drückprozesse geometrisch zu skalieren. Zudem soll die Oberflächen-güte des skalierten Bauteils frei einstellbar sein.

Zunächst erfolgt die Ermittlung geeigneter Oberflächenkenngrößen. Durch gezielte Variation der Prozessparameter in experimentellen und numerischen Untersuchungen werden die Zusammenhänge zwischen den spezifischen Größen des Drückprozesses sowie der mikroskopischen Oberflächenfeingestalt untersucht. Die Bildung der Ähnlichkeitsgesetze erfolgt anschließend auf Basis der den Drückprozess signifikant beeinflussenden Parameter.

## 3 Abgeschlossene Arbeiten

### 3.1 Habilitationen und Dissertationen

#### 3.1.1 Habilitationen

- keine -

#### 3.1.2 Dissertationen

» Henkelmann, Michael

Entwicklung einer innovativen Kalibrierstrecke zur Erhöhung der Profilgenauigkeit bei der Verarbeitung von höher- und höchstfesten Stählen

» Hofmann, Thomas

Identifikation von Einflussfaktoren auf das Schwingungsverhalten von Profilschienenführungen als Stößelführung von Umformpressen

» Schäfer, Ralph

Kontaktgebundene Oberflächenwandlung polykristalliner Blechoberflächen

### 3.2 Studien und Diplomarbeiten

#### 3.2.1 Studienarbeiten

» Steitz, Manuel

Einfluss von geätzten und gelaserten Halbzeugstrukturierungen auf die tribologischen Verhältnisse im zweistufigen Verjüngversuch

» Xie, Weibo

Experimentelle Untersuchungen zum Tiefziehen mit hydrostatischer Druckschmierung

» Özel, Mahmut

Numerische Abbildung der Regelung der wirkmedienbasierten Blechumformung

» Fischer, Sturmius und Nagel, Manuel

Inbetriebnahme eines Fließpressprüfstandes und Durchführung von Umformversuchen

» Einsele, Markus

Konzept zur Optimierung eines Stanzbetriebs

» Wohletz, Simon

Herstellung kontinuierlich verzweigter Profile durch Spaltprofilieren

» Carranza Lopéz, Luis Carlos

Numerische Berechnung der Rollenverschiebung beim Spaltprofilieren

» Müller, Andreas

Beanspruchungsanalyse von Tiefziehprozessen und tribologische Prozessoptimierung durch die Umsetzung hydrostatischer Druckschmierzustände mittels FE-Simulation

» Rosenberger, Jan

Experimentelle Untersuchungen von Werkzeugbeschichtungen mit integrierter Dünnschichtsensorik

» Geser, Thomas

Entwicklung eines Analysekonzepts für das Prozessketten-Benchmarking in kleinen und mittleren Unternehmen

» Müller, Christoph

Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss makroskopischer Halbzeugstrukturierungen beim Verjüngen und Inbetriebnahme eines neuen Verjüngprüfstands

» Müller, Christian

Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss von gestrahlten und beschichteten Halbzeugoberflächen auf die tribologischen Verhältnisse beim Verjüngen

» Calmano, Stefan

Planung, Realisierung und Inbetriebnahme eines Prüfstandes zur Materialkennwertbestimmung für die Innenhochdruck-Umformung (IHU) bei hohen Temperaturen

» Taplick, Christoph

Untersuchung des Umformverhaltens der Aluminiumlegierung EN-AW 6060 bei der Warm-Innenhochdruck-Umformung

» Bäcker, Frederic

Analyse des Werkzeuggeometrieinflusses auf Faltenbildung und Wanddickenverteilung beim Drücken

» Verastegui, Angel

Herstellung und Weiterverarbeitung kontinuierlich verzweigter Profile

» Ortwein, Mark

Entwicklung, Konzeption und Konstruktion von Profiliergerüsten zur Fertigung von Profilbauteilen mit entlang der Längsachse veränderlichen Querschnitten

» Bravo, Juan Carlos

Konstruktion einer automatischen Ablängeinrichtung für einen tribologischen Prüfstand

### 3.2.2 Diplomarbeiten

» Zhang, Zhi

Konstruktion eines Werkzeugträgers für das Innenhochdruck-Umformen

» Tasnimi, Farshid

Finite-Elemente-Simulation der Warm-Innenhochdruck-Umformung

» Herold, Jens

Experimentelle und numerische Analyse des Fertigungsprozesses Spaltbiegen

» Johannigmann, Ulrich

Numerische Ermittlung der Faserorientierung und Faserkonzentration in Rundknetbauteilen aus ausscheidungshärtenden, ferritisch-perlitischen Stählen

» Weber, Jan

Sensitivität tribologischer Parameter auf Tiefziehverfahren und experimentelle Validierung am Modellprüfstand

- » Avemann, Jörg  
Auslegung einer Strategie für das Innenhochdruck-  
Umformen von flexiblen Walzprofilen
- » Preuß, Jorin  
Analyse und Optimierung der Fertigungssteuerung  
am Beispiel einer Grobblech-Pressenstraße
- » Yildirim, Ferit  
Numerische Analyse des Spaltprofilierprozesses
- » Weil, Christoph  
Hochfrequenz-Induktionsschweißen von Rohren
- » Fragonikolakis, Alexandros  
Herstellung von Verbundstrukturen mit unter-  
schiedlichen Werkstoffen auf Basis von  
Aluminiumträgerstrukturen durch Drück- und  
Drückwalzprozesse
- » Demir, Söner  
Erstellung eines Handling- und Verpackungskon-  
zepts für vereinzelte Stanz-Biegeteile
- » Orio, Florian  
Optimierung der Probenoberfläche in der  
Kaltmassivumformung unter tribologischen und  
fertigungstechnischen Gesichtspunkten
- » Staab, Alexander  
Untersuchung der kontaktgebundenen Oberflächen-  
wandlung metallischer Werkstoffe
- » Görtan, Mehmet Okan  
Walzprofilieren verzweigter Profile
- » Kaya, Ensar  
Entwicklung, Konstruktion und  
Erprobung einer Werkzeugbaureihe für tribologi-  
sche Untersuchungen
- » Schorr, Emanuel  
Untersuchung zur wirtschaftlichen Fertigung von  
KFZ-Strukturbauteilen mittels Walzprofilieren
- » Schneider, Georg  
Prozesskettenuntersuchungen für die Fertigung von  
LKW-Längsträgern
- » Ludwig, Manuel  
Gekoppelte Fluid-Struktur Simulationen zur  
Analyse des Schmierstoffverhaltens während  
Umformoperationen
- » Gu, Weiming  
Entwicklung eines Werkzeugkonzeptes zur  
Überlagerung eines hydrostatischen Druckes in der  
Matrizenrundung bei Tiefziehprozessen
- » Li, Kean  
Kennzahlen und ihre Zusammenhänge zur  
Bewertung der Leistungsfähigkeit kleiner und mitt-  
lerer Unternehmen
- » Bott, Thomas  
Experimentelle Bestimmung von Steifigkeits- und  
Dämpfungsparametern an Profilschienen-  
führungen in Querrichtung unter Berücksichtigung  
von Zwangskräften

---

» Schmitt, Wolfram

Laserschweißen von Mehrkammerprofilen aus  
spaltprofilierten Halbzeugen

» Engel, Christoph

Untersuchung von Möglichkeiten zur Optimierung  
der Maschinengestellstruktur einer Plattenpresse  
zur Herstellung von kreisrunden Werkstücken

» Abrass, Ahmad

Numerische Analyse des Fertigungsprozesses  
Spaltbiegen

» Nguyen, Le Loi

Entwicklung einer neuartigen Linearwälführung  
unter Verwendung spaltprofilierter  
Blechbauteile und experimentelle Untersuchung  
ihres Steifigkeits- und Dämpfungsverhaltens  
mit Hilfe strukturdynamischer Methoden

» Thiessen, Jan

Beanspruchungsanalyse eines Tiefziehprozesses  
einer rechteckförmigen Modellgeometrie mittels  
FE-Simulation

## 4 Veröffentlichungen und Vorträge

- » Groche, P.; Beiter, P.; Henkelmann, M.: Prediction and inline compensation of springback in roll forming of high and ultra-high strength steels .  
In: Production Engineering – Research and Development, Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP), Volume 2, Number 1. .  
Heidelberg: Springer Verlag: 12/2008, S. 401-407.
- » Groche, P.; Klöpsch, C.: Sheet Metal Forming Processes At Elevated Temperatures.  
In: Journal of Advanced Manufacturing Systems (JAMS), Vol: 7 Issue: 2, 12/2008, Page 307 – 311
- » Groche, P.; Vucic, D.; Görtan, O.; Schmitt, W.: Herstellen und Weiterverarbeiten verzweigter Profile.  
In: Tagungsband, 2. Zwischenkolloquium SFB 666.  
Bamberg: Meisenbach Verlag, 11/2008, S. 51-62.
- » Groche, P.; Abele, E.; Ludwig, C.; Schmitt, W.; Stein, S.: Herstellung verzweigter Profile  
In: Tagungsband 2. Zwischenkolloquium SFB 666 .  
Bamberg: Meisenbachverlag, 11/2008, S.79-88.
- » Groche, P.; Hanselka, H.; Bruder, T.; Landersheim, V.; Rullmann, F.: Numerische Analyse des Fertigungsprozesses Spaltbiegen und der Schwingfestigkeit unter Berücksichtigung der Einflüsse aus dem Fertigungsprozess.  
In: Tagungsband 2. Zwischenkolloquium SFB 666 .  
Bamberg: Meisenbachverlag, 11/2008, S.73-78.
- » Groche, P.; Vucic, D.; Görtan, O.; Schmitt, W.: Herstellen und Weiterverarbeiten verzweigter Profile.  
In: Tagungsband, 2. Zwischenkolloquium SFB 666.  
Bamberg: Meisenbach Verlag, 11/2008, S. 51-62.
- » Groche, P.: Was sind die Lehren aus den Turbulenzen an den Rohstoffmärkten? .  
In: Springer-VDI-Verlag: wt Werkstattstechnik online.  
Düsseldorf: 10/2008, S. 769.
- » Groche, P.; Ludwig, C.; Vucic, D.: Herstellen und Weiterverarbeiten verzweigter Profile.  
In: wt Werkstattstechnik online.  
Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag,  
10/2008, S. 775-780.
- » Groche, P.; Ludwig, Ch.; Vucic, D.; Ringler, J.: Branched Semi-Finished Products for a New Class of Multi-Chambered Profiles.  
In: ICTP 2008, Korea, 2008
- » Groche, P.; Ertugrul, M.: Innenhochdruck-Umformung von verzweigten Flächentragwerken.  
In: wt Werkstattstechnik online.  
Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, 10/2008,  
S. 781-786.
- » Groche, P.; Elsenheimer, D.; Taplick, C.: Warm-Innenhochdruck-Umformung von Aluminiumrohren.  
In: wt Werkstattstechnik online.  
Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, 10/2008, 10-2008,  
Seite 775-780.
- » Groche, P.; Elsenheimer, D.; Kaiser, B.; Berger, C.: Lebensdauerorientierte Auslegung von Werkzeugen für die Innenhochdruck-Umformung.  
In: wt Werkstattstechnik online.  
Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, 10/2008, 10-2008,  
Seite 770-774.

- » Groche, P.; Götz, P.: Integrated Manufacturing on Roll Forming Lines.  
In: 9th International Conference on Technology of Plasticity (ICTP) 2008.  
Gyeongju, Korea: Korean Society for Technology of Plasticity, 09/2008.
- » Groche, P.; Elsen, A.; Nitzsche, G.: Influence of Temperature on the Initiation of Adhesive Wear in Deep Drawing of Aluminum Sheets.  
In: International Conference on Technology of Plasticity (ICTP) 2008.  
Gyeongju, Korea: Korean Society for Technology of Plasticity, 09/2008.
- » Elsenheimer, D.; Vogler, F.; Demmler, A.; Gley, F.: Rahmen aus einer Form.  
In: Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.: Tagungsband Große Schweißtechnische Tagung 2008.  
Düsseldorf: DVS Media, 09/2008, DVS-Berichte Band 250, S. 346-349.
- » Groche, P.: Severe plastic deformation (SPD) processes for metals.  
In: CIRP Annals – Manufacturing Technology. Manchester: ELSEVIER, 08/2008, S. 716-735.  
Groche, P.; Müller, C.; Bohm, T.; Bruder, E.: UFG-Microstructures by Linear Flow Splitting.  
In: Materials Science Forum.  
Trans Tech Publications, Switzerland: 06/2008, S. 584-586.
- » Groche, P.; Henkelmann, M.; Götz, P.; Berner, S.: Cold rolled profiles for vehicle construction.  
In: Gronostajski: Archives of Civil and Mechanical Engineering.  
Wrocław: Committee of Civil and Mechanical Engineering of Polish Academy of Sciences, 06/2008, Vol. VIII, No. 2, S. 31-38.
- » Groche, P.; Nitzsche, G.; Elsen, A.: Adhesive wear in deep drawing of aluminum sheets.  
In: CIRP Annals – Manufacturing Technology. 06/2008, Volume 57, Issue 1, 295-298.
- » Groche, P.; Ertugrul, M.: Process Control at the Sealing Line during Sheet Metal Hydroforming.  
In: Production Engineering – Research and Development, Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP), Volume 2, Number 1. Heidelberg: Springer Verlag, 04/2008, S. 3-8.
- » Groche, P.; Mirtsch, M.: Wann ist ein Rohr ein Rohr?  
In: Pawelski, O.; Steinhoff, K.: »Der Pawelski« Festschrift zum 75. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. Oskar Pawelski .  
Bad Harzburg: GRIPS media GmbH, 04/2008, S. 351-361.
- » Groche, P.; Beiter, P.; Henkelmann, M.: Innovative Walzprofilierlinie zur Verbesserung der Maßhaltigkeit hochfester Bauteile.  
In: Ingenieurspiegel.  
Bingen: Public Verlagsgesellschaft und Anzeigenagentur GmbH, 03/2008, 16-19.

---

» Groche, P.; Kaya, S.; Altan, T.; Klöpsch, C.: Determination of the flow stress of magnesium AZ31-O sheet at elevated temperatures using the hydraulic bulge test.

In: International Journal of Machine Tools & Manufacture 48.

03/2008, 550-557.

» Groche, P.; Köhler, M.: Nutzen und Herausforderungen „fließender Prozesse“ in der Kaltmassivumformung.

In: 23. Jahrestreffen der Kaltmassivumformer.

Düsseldorf: VDI, 01/2008.

» Groche, P.; Elsen, A.; Neugebauer, R.; Kurka, P.: Definierte Oberflächenfeingestalt von Rohren und Profilen für das Innenhochdruck-Umformen (IHU).

In: EFB-Forschungsbericht Nr. 277;

ISBN 978-3-86776-311-0; 01/2008.

## 5 Veranstaltungen

EFB-Arbeitskreissitzung, 10.-12.06.2008  
6. Fachtagung Walzprofilieren,  
12.-13.November 2008  
2. Zwischenkolloquium SFB 666,  
12.-13.November 2008

## 6 Studentenzahlen

TU Darmstadt gesamt:	18.013
Studierendenzahlen WS 2007/2008	
lt. Hochschulstatistik	
Diplom Maschinenbau	
gesamt:	848
davon: • Anfänger	0
• weiblich	53
Bachelor Mechanical and Process Engineering (MPE)	
gesamt:	1264
davon: • Anfänger	437
• weiblich	120
Master Mechanical and Process Engineering (MPE)	
gesamt:	98
davon: • Anfänger	47
• weiblich	14
Bachelor Computational Mechanical and Process Engineering (CMPE)	
gesamt:	1
davon: • Anfänger	0
• weiblich	0
Master Computational Mechanical and Process Engineering (CMPE)	
gesamt:	7
davon: • Anfänger	0
• weiblich	1
Master Paper Science and Technology	
gesamt:	5
davon: • Anfänger	0
• weiblich	2