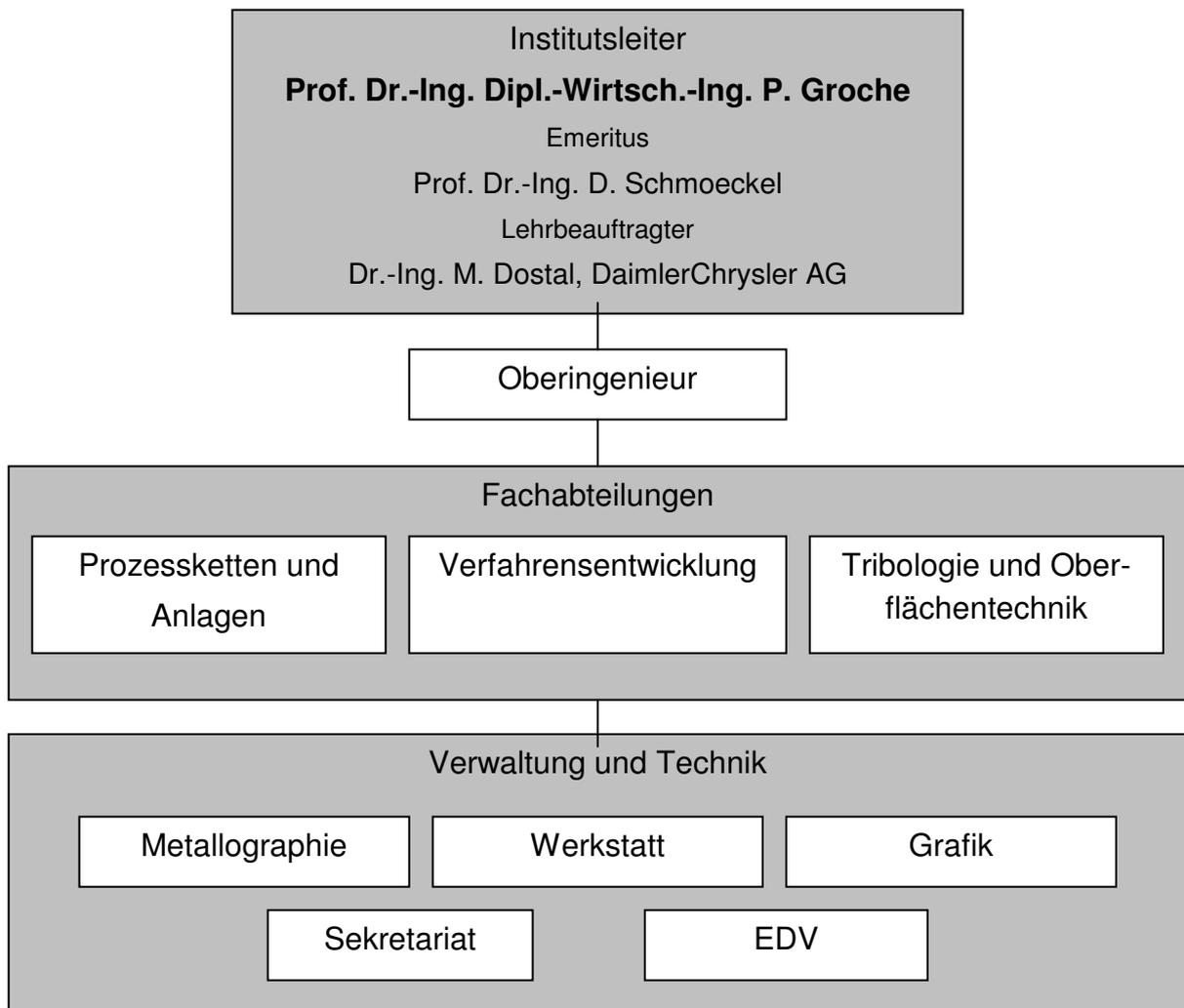


## **INHALT**

<b>1</b>	<b>INSTITUTSPROFIL</b>	<b>2</b>
1.1	ORGANISATIONSSTRUKTUR	2
1.2	PERSONALSTRUKTUR	2
<b>2</b>	<b>LAUFENDE FORSCHUNGSARBEITEN</b>	<b>3</b>
2.1	PROZESSKETTEN UND ANLAGEN	3
2.2	VERFAHRESENTWICKLUNG	9
2.3	TRIBOLOGIE UND OBERFLÄCHENTECHNIK	14
<b>3</b>	<b>ABGESCHLOSSENE ARBEITEN</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>HABILITATIONEN UND DISSERTATIONEN</b>	<b>17</b>
3.1.1	<i>Habilitationen</i>	17
3.1.2	<i>Dissertationen</i>	17
<b>3.2</b>	<b>STUDIEN UND DIPLOMARBEITEN</b>	<b>17</b>
3.2.1	<i>Studienarbeiten</i>	17
3.2.2	<i>Diplomarbeiten</i>	18
<b>4</b>	<b>VERÖFFENTLICHUNGEN UND VORTRÄGE</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>VERANSTALTUNGEN</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>STUDENTENZAHLEN</b>	<b>23</b>

# 1 Institutsprofil

## 1.1 Organisationsstruktur



## 1.2 Personalstruktur

Professoren und Lehrbeauftragte:	3
Wissenschaftliche Mitarbeiter/innen:	22
Mitarbeiter in Verwaltung und Technik:	9
Studentische Hilfskräfte:	30

## 2 Laufende Forschungsarbeiten

### 2.1 Prozessketten und Anlagen

*Prozessketten-Benchmarking in Betrieben der Umformtechnik (Götz, P.)*

Das Stanzen ist ein Prozess, der verschiedene Umformprozesse in sich vereint und bei der Produktion einer Vielzahl von Produkten eingesetzt wird. Aufgrund des ständig hohen Produktions- und Innovationsdruckes auf die Stanzunternehmen bleibt wenig Spielraum, die eigenen Prozesse objektiv zu untersuchen, zu bewerten und Verbesserungspotenzial zu erkennen.

Ziel des Projektes ist es, mit Hilfe von Prozessanalysen und Benchmarking-Studien die gesamte Prozesskette in Stanzbetrieben zu analysieren und objektiv zu bewerten. Dies soll den beteiligten Unternehmen ermöglichen, ein detailliertes Bild der eigenen Leistungsfähigkeit zu erhalten und die eigene Prozesskette nachhaltig zu verbessern.

Es werden Ist-Analysen der Stanzprozesse anhand allgemeingültiger Kennzahlen durchgeführt. Die ermittelten Ergebnisse werden den von Experten festgelegten Idealwerten gegenübergestellt, so dass daraus ein Verbesserungspotential abgeleitet werden kann. Bei der Durchführung von Benchmarking-Studien werden zusätzlich die Ergebnisse der bei weiteren Stanzunternehmen durchgeführten Analysen in den Vergleich einbezogen. Daraus lässt sich neben dem Verbesserungspotenzial gegenüber den Idealwerten auch ein Verbesserungspotenzial gegenüber anderen Unternehmen der gleichen Branche ablesen.

Nach der Erstellung des Konzeptes wurden die Analysen in den teilnehmenden Stanzbetrieben vor Ort durchgeführt und diese vergleichbar gemacht. Die sich hieraus ergebenden Leistungsprofile der Unternehmen wurden graphisch dargestellt, so dass sich direkt ein Vergleich innerhalb dieser Branche ergibt. Die Ergebnisse wurden den Teilnehmern präsentiert sowie in einem Abschlussbericht übergeben. Die Abschlussberichte enthalten die Ergebnisse in schriftlicher und graphischer Form und sind individuell erstellt, um die Anonymität der Teilnehmer zu gewährleisten.

Aufgrund der positiven Rückmeldungen der Teilnehmer verbunden mit dem Wunsch, ein solches Benchmarking regelmäßig durchzuführen, werden solche Projekte auch zukünftig angeboten. Derzeit befindet sich ein Benchmarking mit Profilibetrieben in der Abschlussphase. Zukünftige Projekte stehen weiteren Teilnehmern offen.

*Analyse unterschiedlicher Herstellungsverfahren längsnahtgeschweißter Rohre mit Optimierung für das Innenhochdruck-Umformen; Hydrotest (v. Breitenbach, G.)*

Walzprofilierte, längsnahtgeschweißte Rohre bieten im Vergleich zu nahtlos gezogenen Rohren wirtschaftliche Vorteile. Das Verhalten von durch Walzprofilieren hergestellten Rohren in Bezug auf das IHU hängt wesentlich von der Rohreinformstrategie ab. Die Eigenschaften des flachen Spaltbandes werden bei der Rohreinformung maßgeblich verändert. Diese beeinflussen das Verhalten des Rohrhalfzeugs bei der Ausformung durch Innendruck sowie die erreichbare Prozesssicherheit im IHU-Prozess.

Ziel ist es, den Rohreinformprozess walzprofiliertes, längsnahtgeschweißter Rohre in Hinblick auf nachfolgende IHU-Prozesse zu optimieren. Hierzu sollen relevante Parameter einzelner Rohreinformstrategien sowie deren Einfluss auf die resultierenden Rohreigenschaften bestimmt werden. Weiterhin ist vorgesehen, eine zuverlässige Methodik zur Beurteilung der Eignung von rohrförmigen Halbzeugen für das IHU zur Verfügung zu stellen.

Mehrere reale Einformgeometrien längsnahtgeschweißter Rohre werden mit Hilfe numerischer Methoden untersucht. Veränderungen der Eigenschaften des Spaltbandes bei der Rohrherstellung, wie z.B. Wanddickenunterschiede und Kaltverfestigungsverteilungen, sind somit hinsichtlich ihrer Ursachen und Auswirkungen analysierbar. In experimentellen Untersuchungen werden sowohl die geometrischen Eigenschaften (z.B. Wanddickenverteilung über den Rohrumfang) als auch die mechanischen Eigenschaften (z.B. Aufweitverhalten im Rohrberstversuch) der entsprechenden Rohre bestimmt. Die so gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen Rückschlüsse auf die Zusammenhänge zwischen Rohreigenschaften und den Prozessparametern der Rohrherstellung.

Das Verhalten von rohrförmigen Halbzeugen beim IHU kann durch die geometrischen und mechanischen Eigenschaften des Halbzeuges charakterisiert werden. Durchgeführte experimentelle Untersuchungen zeigen, dass die Wanddickenverteilung einen maßgeblichen Einfluss auf die Dehnungsverteilung bei der freien Aufweitung des Rohres im Berstversuch hat. Simulationen und ergänzende Härtemessungen geben Aufschluss über Kaltverfestigungsverteilungen und ihre Auswirkung auf das Aufweitverhalten der rohrförmigen Halbzeuge. Kaltverfestigungen und Wanddickenunterschiede beeinflussen maßgeblich das Aufweitverhalten der Rohrhalfzeuge.

*SFB 666 – Herstellung verzweigter Bauteile durch integrierte Umform-, Zerspan- und Fügeoperationen (Walter, M.)*

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 walzprofilierlich 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 (Mihova, D.)*

Die Herstellung verzweigter Blechbauteile ohne Dopplungen ist dank des neuen Verfahrens Spaltprofilieren möglich. Durch den Einsatz dieses Verfahrens in einer Pro-

zesskette 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 Prozesskettensimulationen 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.

#### *Linearmotor angetriebene Umformpressen (Schultheis, V.)*

In den Bereichen Elektrotechnik und Feinwerktechnik ist ein zunehmender Bedarf an präzisen Miniatur-Blechformteilen und Baugruppen zu verzeichnen. Die wirtschaftlichsten Verfahren zur Herstellung dieser Massenartikel sind Umformverfahren (Schneiden, Biegen, Prägen, Tiefen, Tiefziehen) kombiniert mit Fügeoperationen.

Konventionelle mechanische und hydraulische Pressen sind für die Produktion von Mikrobauteilen hinsichtlich der Presskräfte überdimensioniert. Zudem ergeben sich durch die geringe Flexibilität lange Rüst- und Einstellzeiten. Außerdem müssen alle Umformoperationen mit dem gleichen Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf gefahren werden. Dies widerspricht einer optimalen Prozessauslegung und führt zu erhöhtem Werkzeugverschleiß.

Aufgrund dieser Ausgangssituation wird ein neues Maschinen- und Antriebskonzept zur Herstellung von Mikrobauteilen entwickelt. Ziel ist es, einen auf unterschiedlichste Umform- und Bearbeitungsvorgänge flexibel anpassbaren Pressenantrieb zu realisieren.

Die Lösung sind hochpräzise Umformeinheiten mit Direktantrieb des Pressenstößels durch Linearmotoren. Die unterschiedlichen Umformoperationen werden auf mehrere modulare Umformeinheiten verteilt.

Die kleinen und kompakten Umformeinheiten können zu einer kompletten Fertigungslinie kombiniert werden. Dabei werden die Umformeinheiten direkt aneinander geflanscht, so dass eine kompakte Modulmaschine entsteht. Durch die Linearmotortechnik können beliebige und an den jeweiligen Prozess angepasste Geschwindigkeits-Weg- und Kraft-Weg-Verläufe des Pressenstößels gefahren werden.

#### *Einfluss des dynamischen Übertragungsverhaltens von Stößelführungen auf die Arbeitsgenauigkeit von Umformpressen (Hofmann, T.)*

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird der Einfluss des Übertragungsverhaltens der Stößelführung einer Schnellläuferpresse auf das Genauigkeitsverhalten analysiert. Ziel ist die Bereitstellung eines Mehrkörpersimulationsmodells, das neben Maschinenparametern wie der Masse, der Hubzahl und der Pressenbelastung zusätzlich den Einfluss veränderlicher Lagersteifigkeiten und -dämpfungen berücksichtigt. Ebenso soll die vertikale Ausdehnung und die Anordnung der Führungselemente in das Modell einbezogen werden.

Da das größte Potential für die Beeinflussung der Maschinendynamik in der Entwurfsphase liegt, ist es von entscheidendem Vorteil, dem Konstrukteur schon zu diesem Zeitpunkt ein Hilfsmittel zur Hand zu geben, das eine Abschätzung des dynamischen Verhaltens zulässt. Wenn die Auswirkungen der konstruktiven Festlegungen erst an einem Prototypen festgestellt werden können, ist es häufig zu spät für die möglicherweise erforderlichen konstruktiven Korrekturen.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens tragen damit dazu bei

- die Kosten für spätere Umkonstruktionen zu minimieren,
- den Nutzungsgrad zu steigern und
- die Teilequalität zu erhöhen.

Darüber hinaus sichert die Adaptivität des zu erstellenden Simulationsmodells die Anpassung an verschiedene Analysen und Pressenvarianten, wodurch modular übertragbare Mehrkörpersimulationsmodelle generiert werden können. Die Ergebnisse werden auf die Produkte vieler Pressenhersteller übertragbar sein. Damit kann

die Anwendung der gewonnenen Methodik ausgeweitet und zur frühzeitigen Optimierung verschiedener Führungs- bzw. Pressenvarianten verwendet werden.

*Modellgestützte Analyse von Pressmaschinen auf Grundlage experimentell verifizierter Parameter (Hofmann, T.)*

Forschungsziel des Vorhabens ist es, einen Beitrag zur Verbesserung des Genauigkeits- und Verschleißverhaltens sowie zur Steigerung der Produktivität von Pressmaschinen zu leisten. Dies gelingt maschinenseitig nur mit der Verbesserung der Maschineneigenschaften beispielsweise durch Optimierung von variablen Pressenparametern, der Werkzeuggestaltung sowie der konstruktiven Pressengestaltung. Dazu ist jedoch vertieftes Wissen über die komplexen dynamischen Wechselwirkungen im System „Pressmaschine, Werkzeug und Prozess“ notwendig, welches den Einsatz modellgestützter Analysemethoden unentbehrlich macht. Im Projekt soll deshalb den Forderungen aus der Praxis nach Simulationsmethoden mit verbesserter Aussagefähigkeit, mehr Anwenderfreundlichkeit sowie nach unterstützenden Methoden zur Modellverifikation nachgegangen werden. Projektziel ist somit die Entwicklung eines praxistauglichen Analyse-Werkzeuges auf der Basis vorhandener Modellgrundlagen, welches diesen Anforderungen gerecht wird. In den Schwerpunkten des Vorhabens werden folgende Forschungsergebnisse angestrebt:

- Zur Baugruppenauslegung von Überlastsicherung, Gestell und Pressenaufstellung liegen konkrete Fragestellungen aus verschiedenen Industriebetrieben vor. Verallgemeinerte transparente Referenzmodelle für die wesentlichen Pressenbaugruppen zur Unterstützung der Anwendung der Modellstrukturen in der Praxis.
- Zusammenfassung der Referenzmodelle sowie der notwendigen Vorgehensweisen bei der Modellbildung in einem Methoden-Katalog.

Es werden Referenzmodelle für ausgewählte Pressmaschinen angestrebt, die es dem Anwender ermöglichen, das dynamische Verhalten seiner Presse durch Parametereingabe abzubilden. Ziel ist es, einen Methoden-Katalog zur Verifizierung der Referenzmodelle sowie des Gesamtmodells auf der Grundlage experimentell ermittelter Parameter zu erarbeiten. Dieser Katalog unterliegt dem Anspruch, dass er sowohl für die Begleitung des Pressenbaus beim Hersteller als auch für die Kontrolle der Maschinen während des Einsatzes im Presswerk geeignet sein muss, d.h. es werden geeignete experimentelle Analysemethoden erarbeitet, mit denen die zur Modellabstimmung notwendigen Größen ermittelt werden können.

## 2.2 Verfahrensentwicklung

### *Erhöhung der Prozesssicherheit bei der Hochdruck-Blechumformung (Ertugrul, M.)*

Das Innenhochdruck-Umformen von Blechen (IHU) ohne zusätzliche Dichtelemente ist ein wirkmedienbasiertes Umformverfahren zur Fertigung von hohlförmigen Bauteilen. Die Abdichtung und der Materialfluss sind dabei im Wesentlichen von den während der Umformung eingestellten Niederhalterkräften abhängig. Zu hohe Schließkräfte bewirken erhöhte Streckziehanteile und frühzeitige Materialeinschnürungen in kritischen Bauteilbereichen. Sind hingegen die Zuhalterkräfte zu niedrig, äußert sich dies in Form von Faltenbildungen durch Materialanhäufung oder Undichtigkeiten des verwendeten Werkzeugsystems.

Eine optimale Belastungskurve aus Wirkmediendruck und Pressenschließkraft verläuft nahe der Dichtgrenze. Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer neuartigen Regelungsstrategie zum Erhöhen der Prozesssicherheit beim IHU von Blechen. Dazu wird zunächst eine Prozessregelungsstrategie erarbeitet, die den Umformprozess nahe an der Dichtgrenze hält und somit den Zielkonflikt zwischen Bauteilversagen u. Werkzeugundichtigkeit entschärft. Die entwickelte Prozessregelung soll es ermöglichen, auf Basis der Undichtigkeitsintensität, den Umformprozess im Bereich des optimalen Materialflusses zu halten.

Entstehende Undichtigkeiten werden durch ein Kamerasystem erkannt und als Prozessgröße dem Regelkreis zurückgeführt. Auf Basis der Undichtigkeitserkennung wird die Möglichkeit eröffnet, den IHU-Prozess automatisiert im Bereich des optimalen Materialflusses durchzuführen.

In Versuchen konnte die Funktionsweise der optischen Undichtigkeitserfassung und eine darauf basierende Regelung des Umformprozesses erfolgreich nachgewiesen werden. Das System zeichnet sich dadurch aus, dass der Prozess automatisiert im optimalen Bereich der Belastungskurve gehalten werden kann.

### *Warmumformung von Leichtbauwerkstoffen (Klöpsch, C.)*

Eines der Hauptziele der Automobilhersteller bei der Entwicklung neuer Fahrzeuge ist, das Fahrzeuggewicht abzusenkten oder trotz Zusatzausstattung nicht anwachsen zu lassen. Dies erfordert den Einsatz von Leichtbauwerkstoffen und –maßnahmen. Dazu werden vermehrt Aluminiumlegierungen, höherfeste und höchstfeste Stähle eingesetzt. Damit entwickelt sich der reine Stahlkarosseriebau zunehmend zu einem Multimaterial-Design. Da sich jedoch viele dieser Werkstoffe schlechter umformen lassen als konventionelle Tiefziehstähle, sind die konstruktiven Gestaltungsmöglichkeiten beim Einsatz dieser Werkstoffe eingeschränkt. Eine Umformung bei höheren

Temperaturen kann diese umformtechnischen Nachteile mindern oder kompensieren.

Ziel ist einerseits die Gewinnung von Materialkennwerten ausgewählter Werkstoffe bei höheren Temperaturen. Andererseits soll in diesem Projekt die Stabilität des Halbwarm-Tiefziehprozesses unter industriellen Randbedingungen, d.h. bei instationären Temperaturfeldern im Werkstück und realitätsnahen Ziehgeschwindigkeiten, untersucht werden. Schließlich werden in Hinblick auf eine industrielle Umsetzung auch die benötigten Erwärmungs-, Prozess- und Handlingkonzepte entwickelt.

Zunächst werden Grundlagenuntersuchungen zur Tribologie im halbwarmen Temperaturbereich in Form von Streifenziehversuchen durchgeführt. Anschließend erfolgt die Ermittlung relevanter Werkstoffkenngrößen wie zum Beispiel der Fließkurven in Abhängigkeit von der Umformgeschwindigkeit und der Werkstücktemperatur. Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse der Grundlagenuntersuchungen durch Ziehversuche an einer Modellgeometrie überprüft (Napfversuche). Die Erkenntnisse der Modellversuche werden abschließend auf eine komplexe Realbauteilgeometrie übertragen und verifiziert.

Es ist zu erwarten, dass durch eine gezielt eingestellte Temperaturverteilung im Blech eine deutliche Steigerung der Verfahrensgrenze erreicht werden kann. Durch geeignete Wahl der Prozessparameter kann das Grenzziehverhältnis  $\beta_{\max}$  deutlich erhöht oder bei konstantem Ziehverhältnis die erforderliche Ziehkraft reduziert werden.

#### *Effiziente Algorithmen zur Simulation von inkrementellen Umformverfahren (Fritsche, D.)*

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 sehr lokale Umformung, während weite Bereiche des Werkstücks unbeeinflusst bleiben. Simulationen inkrementeller Umformprozesse können die Ähnlichkeit der einzelnen Umformschritte bisher nicht nutzen. Hier liegt ein großes Potenzial zur Verkürzung der Rechenzeit.

Am Beispiel von Drück- und Ringwalzprozessen sowie dem Rundkneten werden Simulationsmodelle entwickelt, die das Potential von neuen Lösungsalgorithmen aufzeigen. Derartige Umformverfahren zeichnen sich gegenüber spanabhebenden Ver-

fahren insbesondere durch ihre Wirtschaftlichkeit aus. Dazu ist jedoch eine effiziente simulationsgestützte Prozessoptimierung erforderlich. Insbesondere der Einfluss von Werkzeuggeometrie und Prozessparametern entscheidet über den Erfolg des Verfahrens. Hierfür werden vollständig parametrisierte Modelle des Prozesses entwickelt, anhand derer sich die Auswirkungen verschiedener experimenteller und numerischer Konfigurationen studieren lassen.

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 SUPERFORM.

Neben verschiedenen 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.

Die gefundenen Lösungen werden im Versuch realisiert und die Bauteile experimentell untersucht. Schließlich werden die Ergebnisse mit der Simulation verglichen.

#### *SFB 666 – Spaltprofilieren von Blechplatinen (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 Blechplatinen 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 Fügstellen. 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 Blechplatinen 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 Auseinanderfließen des Werkstoffs wird durch stumpfwinkliger 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 – 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 zusätzliche 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 wirksamen 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.

*Auslegungsalgorithmen für „flexible“ Walzprofilierprozesse (Zettler, A.)*

Mit Hilfe des „flexiblen Walzprofilierens“ ist es möglich, Profile mit veränderlichem Querschnitt in einem kontinuierlichen Prozess herzustellen. Die Machbarkeit konnte für verschiedene Profiltypen im Rahmen von Projekten gezeigt werden. Jedoch fehlen für dieses junge Umformverfahren bisher fundierte Grundlagenuntersuchungen zu den Auslegungsmethoden. Aktuell muss mit Hilfe von FE-Simulationen und anschließenden Versuchen jede neue Profilgeometrie separat aufwändig validiert werden.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, Berechnungsmodelle für das flexible Walzprofilieren zu entwickeln, die eine schnelle Auslegung neuer Profiltypen ermöglichen.

Basis der Berechnungen sind analytische Modelle der elementaren Plastizitätstheorie. Notwendige vereinfachende Annahmen werden hinsichtlich ihres Einflusses und der Zulässigkeit überprüft. Mit Hilfe von FE-Simulationen wird eine Datenbasis für die zu entwickelnden Berechnungsmodelle generiert. Betrachtet werden dabei neben geometrischen Variablen die relevanten Parameter unterschiedlicher Stahl- und Aluminiumwerkstoffe. Anschließende experimentelle Untersuchungen dienen der Verifikation der Simulationsreihe. Das Ableiten eines Prozessfensters für die betrachteten Parameter wird durch erstellten die Berechnungsmodelle erleichtert.

Weiterhin ist der Einfluss praktisch relevanter Prozessgrößen, wie z. B. die Biege- winkelschrittweite, numerisch wie auch in Versuchen zu quantifizieren. Die erarbeiteten Grundlagen sollen vom Ansatz her auf andere CNC-Umformprozesse übertragbar sein.

*Erhöhung der Profilgenauigkeit bei höher- und höchstfesten Stählen (Henkelmann, M.)*

Bei walzprofilierten Bauteilen wird besonderer Wert auf die Erfüllung der Vorschriften hinsichtlich Maßgenauigkeiten gelegt. Insbesondere beim Einsatz höher- und höchstfester Stähle muss mit großen Chargenschwankungen gerechnet werden, die sich deutlich hinsichtlich der geometrischen Genauigkeit der Profile bemerkbar machen. Während des Einformprozesses ist die Auswirkung von Rückfederungseffekten zwischen den einzelnen Biegestufen nicht quantifizierbar, lediglich nach Austritt des Profilstrangs zeigt sich das Ergebnis am Endprodukt. Die im Folgenden einzuleiten-

den Korrekturmaßnahmen z.B. das Nacharbeiten und Auswechseln einzelner Rollenwerkzeuge, sind aufwendig und zeitintensiv.

Ziel des Projekts ist das Gewährleisten einer kontinuierlich hohen Maßhaltigkeit der Bauteile beim Walzprofilieren höher- und höchstfester Stähle, die auch bei auftretenden Schwankungen von Blechdicken und Werkstoffeigenschaften eingehalten wird.

Für dieses Forschungsvorhaben ist eine Laufzeit von 36 Monaten vorgesehen, gegliedert in:

- Untersuchung von Versuchsmaterialien hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften und des Rückfederungsverhaltens
- Auslegung, Konstruktion und Fertigung der Rollenwerkzeuge zur Einförmigkeit der Referenzgeometrie
- Entwicklung und Konstruktion eines „Kalibriergerüsts“
- Auslegung und Umsetzung eines Regelkreises
- Aufbau der gesamten Versuchsstrecke
- Experimentellen Untersuchungen
- Ergebnistransfer in Partnerunternehmen.

Für die Profilquerschnittserfassung kommen CCD-Kameras zum Einsatz. Diese nehmen den Verlauf der Biegekante und der Bandkante gleichzeitig auf. Der Messbereich liegt zwischen den Kanten. Mit Hilfe der Profilschenkelhöhe lässt sich die Rückfederung errechnen. Diese Kenngröße wird dann mit den Ergebnissen aus der Simulation und den experimentellen Untersuchungen im Regelkreis verglichen. Die hieraus ermittelten Korrekturkennwerte werden dem „Intelligenten Gerüst“ weitergeleitet und somit ein Profil, das die Toleranzen erfüllt, hergestellt.

## 2.3 Tribologie und Oberflächentechnik

### *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 zink-phosphatschichtfreien 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.

*Definierte Oberflächenfeingestalt von Rohren und Profilen für das Innenhochdruck-Umformen (Schwerdt, D.)*

Die tribologischen Bedingungen in der Umformzone haben beim Innenhochdruck-Umformen (IHU) entscheidenden Einfluss auf die Umformbedingungen und damit auf das Umformergebnis. In der Umformtechnik strebt man bei gewollter Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug einen hydrostatischen bzw. hydrodynamischen Reibungszustand an. Zur Optimierung des Schmierzustandes hat sich im Bereich der Blechumformung die Texturierung der Halbzeuge bewährt (z. B. MF, EDT oder PRETEX). Einzelne Erfahrungen aus der Praxis versprechen auch für das IHU verbesserte Umformbedingungen durch Oberflächenstrukturierung (z. B. mittels Stahlkiesstrahlen). Allerdings existieren keine systematischen Untersuchungen, auf deren Basis eine optimale Oberflächentopografie beschrieben werden kann.

Aufbauend auf den Erfahrungen in der Blechumformung soll eine optimierte Oberflächentextur für das IHU entwickelt werden. Eine direkte Übertragbarkeit der Erkenntnisse aus der Blechumformung ist nicht möglich, da beim IHU ca. 10 bis 15 mal höhere Kontaktnormalspannungen auftreten.

Im ersten Schritt erfolgt das Einbringen definierter Strukturen in die Halbzeugoberflächen. Hierzu werden Walzen eingesetzt, deren Oberflächen die Negativform der zu erzeugenden Topografie aufweisen. Zur systematischen Untersuchung werden die Texturen hinsichtlich Topografiestruktur (grob, mittel und fein) und Topografiertiefe variiert. Im tribologischen Modellversuch sowie im Realbauteilversuch erfolgt die Be-

wertung des Reib- und Umformverhaltens der texturierten Halbzeuge, wobei die Eigenschaften über geeignete 3D-Oberflächenkenngrößen charakterisiert werden. Einen wesentlichen Aspekt stellt hierbei die Veränderung der Oberfläche während der Umformung dar.

Die angestrebten Forschungsergebnisse führen zu einer Beurteilung verschiedener Topografiestrukturen und -tiefen von Rohren bzw. Profilen für das IHU im Hinblick auf das Umformverhalten. Je nach Anwendungsfall, der durch den verwendeten Werkstoff sowie die herrschenden Kontaktnormalspannungen charakterisiert wird, können optimierte Oberflächentopografien beschrieben werden. Die Umsetzung verspricht ein erweitertes Produktspektrum, eine höhere Prozessstabilität und Bauteilqualität.

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

Durch moderne Drückverfahren können rotationssymmetrische 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. Basierend auf den so gewonnenen Erkenntnissen soll eine Möglichkeit geschaffen werden, Drückprozesse geometrisch zu skalieren. Zudem soll die Oberflächengüte 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**

*Jöckel, M.*

Grundlagen des Spaltprofilierens von Blechplatten

*Kappes, B.*

Über den Nachweis tribologischer Effekte mit Hilfe von Modellversuchen im Bereich der umweltfreundlichen Kaltmassivumformung

*Metz, C.*

Aktiv-elastische Werkzeugsysteme zum Tiefziehen mit Innenhochdruck

*Steinheimer, R.*

Prozesssicherheit beim Innenhochdruck-Umformen

### **3.2 Studien und Diplomarbeiten**

#### **3.2.1 Studienarbeiten**

*Berner, Sebastian*

Entwicklung eines Berechnungsmodells zur Ermittlung der Verfahrensgrenzen des flexiblen Walzprofilierens unter Einsatz der Finite-Elemente-Methode und analytischen Ansätzen

*Breining, Robert*

Konstruktion einer Wanddickenmesseinrichtung mit integrierter Rundheitserkennung zum Vermessen von rohrförmigen Halbzeugen

*Hörber, Liza*

Strategien zur Reduzierung von Rückfederungseffekten und der minimalen Biegegradienten beim Walzprofilieren von höher- und höchstfesten Stählen

*Kunz, Alexander*

Inbetriebnahme eines 7-achs Nd:YAG Laserschneidzentrums und Durchführung erster Schneidversuche

*Mihova, Desislava*

Finite Elemente Simulation des Drückprozesses

*Mohr, Stefan; Lang, Thomas*

Entwicklung und Umsetzung einer Roboter gestützten Handlingeinheit von Blechronen

*Naunheim, Karsten*

Konstruktion und Fertigung eines Innenhochdruck-Umformwerkzeuges zur Herstellung von Prototypen eines Geländersegmentes

*Stephenson, Dominic*

Materialflussgerechte Fabrikplanung im Rahmen eines Modernisierungsprojektes

### **3.2.2 Diplomarbeiten**

*Chen, Bin*

Optimierung einer Methode zur Erweiterung der Formgebungsgrenzen beim Tiefziehen

*Hack, Christoph*

Entwicklung eines thermo-mechanisch gekoppelten, numerischen Simulationsmodells für das Tiefziehen einer Modellgeometrie bei erhöhten Prozesstemperaturen

*López, Sergi Esteve*

Untersuchungen zur dynamischen Biegegewchselfestigkeit fluidbasiert gefügter Knoten

*Raatz, Heike*

Untersuchung des Fließspaltens rotationssymmetrischer Näpfe an deren Bodenkannte

*Scherer, Florian*

Machbarkeitsanalyse zum fluidbasierten Fügen von Rahmenstrukturen aus Aluminium

*Schopf, Christian*

Entwicklung und Implementierung eines Kühlkonzeptes zur Einstellung tiefer Temperaturen in der Umformzone des Streifenziehversuchs

*Vogler, Falko*

Fluidbasiertes Fügen eines PKW-Hinterachsträgers aus Aluminium bei erhöhten Temperaturen

## **4 Veröffentlichungen und Vorträge**

*Groche, P.; Metz, C.; Ertugrul, M.: Material Flow Control and Optimization using Active-Elastic Tools for High-Pressure Forming of Non Rotationally-Symmetric Sheet Metal Parts.*

In: Steel Research International, Vol. 76, Special Issue on Sheet Metal Hydroforming. 12/2005, pp. 883-889.

*Groche, P.; Ertugrul, M.; Metz, C.: Increase of Process Stability of Sheet Metal Hydroforming due to Feed Back Control.*

In: Special Issue on Sheet Metal Hydroforming: In: Steel Research International, Vol. 76. 12/2005, pp. 879-883.

*Groche, P.; Fritsche, D.: Effiziente Simulation inkrementeller Umformverfahren.*

In: 3. Fachtagung Inkrementelle Umformtechnik (FInU). Darmstadt: PtU Darmstadt, 11/2005.

*Groche, P.; Ertugrul, M.; Metz, C.: Optical Detection of Leakages during Sheet Metal Hydroforming.*

In: In Production Engineering, Annals of the WGP, Vol. XII/2. Braunschweig: 10/2005, pp. 73-76.

*Groche, P.; Schäfer, R.: Größeneinflüsse beim Drücken im Hinblick auf Bauteilgeometrie- und Oberflächenausbildung.*

In: F. Vollertsen: Prozessskalierung. Bremen: BIAS Verlag, 10/2005, Strahltechnik Band 27, S. 61-70.

*Groche, P., Vucic, D., Jöckel, M.: Herstellung einteilig verzweigter Blechstrukturen.*

In: wt Werkstattstechnik. www.werkstattstechnik.de: VDI Springer, 10/2005, Ausgabe 10-2005, Seite 753ff.

*Groche, P.; v. Breitenbach, G.: Einfluss der Rohrherstellung auf den Innenhochdruck-Umformprozess.*

In: Mathias Liewald: Hydroumformung von Rohren, Strangpressprofilen und Blechen; Band 4. Frankfurt: Institut für Umformtechnik, Universität Stuttgart; MAT INFO Werkstoff-Informationsgesellschaft mbM, 10/2005, S. 233-255.

*Groche, P.; Nitzsche, G.; Callies, T.: Mechanisms in abrasive behavior of hot-dip zinc coatings on deep drawing steel sheets.*

In: Production Engineering Research and Development. Hannover: WGP, 10/2005, Vol. XII Issue 2, S. 61-64.

*Groche, P.; Hofmann, T.: A New Method to Determine the Dynamic Properties of Profiled Guideways and Guide Slide Bearings.*

In: Production Engineering Research and Development. Hannover: WGP, 10/2005, Volume XII Issue 2, S. 187-190.

*Groche, P.; Schäfer, R.: Analysis of geometrical tolerances and surface roughness of the spinning process with regard to size effects.*

In: Bariani, P. F.: Advanced Technology of Plasticity 2005; Proceedings of the 8th International Conferency of Plasticity Verona. Padova: Edizioni Progetto Padova, 10/2005, 599-600.

*Groche, P.; Fritsche, D.: Inkrementelle Massivumformung - Eine Technologie vor dem Comeback?*

In: wt-online. [www.svdi-verlag.de/wt](http://www.svdi-verlag.de/wt): 10/2005.

*Groche, P.: Future Trends in Cold Rolling Technologies.*

In: 11th International Cold Forming Congress. Chester: University of Nottingham, 10/2005.

*Groche, P.; Fritsche, D.: Efficient Algorithms for the Simulation of Incremental Bulk Metal Forming.*

In: P. F. Bariani: 8th ICTP 2005. Edizioni Progetto Padova, 10/2005.

*Groche, P.; Nitzsche, G.; Kappes, B.: Wege zur phosphatschichtfreien Kaltmassivumformung.*

In: Siegert, K.; Liewald, M.: Neuere Entwicklungen in der Massivumformung. Frankfurt: MAT INFO Werkstoff-Informationsgesellschaft, 06/2005, S. 245-263.

*Groche, P.; Peter, A.; Schäfer, R.: Modelling of Tube Hydroforming Processes with Adaptive Friction Coefficients.*

In: Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP):: Annals of the German Academic Society for Production Engineering. Braunschweig: 05/2005, XII/1, 81-85.

*Groche, P.; Schultheis, V.: Systementwicklung eines modularen Maschinenkonzepts unter Verwendung von Linearmotorpressen.*

In: Abschlussbericht Verbundprojekt Stanzrapid: Schlüsselkomponenten zur Herstellung von Mikro-Präzisionsbauteilen. Bamberg: Verlag Meisenbach GmbH, 05/2005, ISBN-Nr. 3-87525-214-4, S. 56-69.

*Groche, P.; Metz, C.: Active Material Flow Control during High-Pressure Sheet Metal Forming.*

In: Advanced Materials Research Vols. 6-8. www.scientific.net: Trans Tech Publication, Switzerland, 05/2005, pp. 377-384.

*Groche, P.; Nitzsche, G.: Erweiterung der Formgebungsgrenzen beim konventionellen Tiefziehen durch Generierung lokaler, hydrostatischer Druckschmierungszustände am Ziehring.*

In: Kopp, R.: Abschlussbericht zum DFG-Schwerpunktprogramm 1074: Erweiterung der Formgebungsgrenzen bei Umformprozessen. Aachen: Verlagshaus Mainz GmbH Aachen, 05/2005, S. 184-191.

*Groche, P.; Schultheis, V.; Schneider, R.: New Production Perspectives through Direct Drive Systems.*

In: Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP): Annals of the German Academic Society for Production Engineering. Braunschweig: 05/2005, Vol. XII/1, S. 97-100.

*Groche, P.; Klöpsch, C.; Huber, R.: Erweiterung der Verfahrensgrenzen beim hydromechanischen Tiefziehen von Aluminiumknetlegierungen durch thermische Unterstützung.*

In: Kopp, R.: Abschlussbericht zum DFG-Schwerpunktprogramm 1074: Erweiterung der Formgebungsgrenzen bei Umformprozessen. Verlagshaus Mainz GmbH Aachen: Institut für Bildsame Formgebung, RWTH Aachen; DFG - Deutsche Forschungsgemeinschaft, 05/2005, ISBN: 3-86130-416-3, S. 95-102.

*Groche, P.; Metz, C.: Active Material Flow Control during High-Pressure Sheet Metal Forming.*

In: Geiger, M.; Duflou, J.; Kals, H. J. J.; Shirvani, B.; Singh, U. P.: 11th Conference on Sheet Metal. Erlangen-Nuremberg: Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, 04/2005, ISBN 0-87849-972-5, pp. 377-384.

*Groche, P.; Nitzsche, G.: Maßnahmen zur Reduzierung des Adhäsionsverschleißes beim Umformen von Aluminiumblechen.*

In: UTF Science. Bamberg: Meisenbach, 03/2005, 1.

*Metz, C.; Groche, P.; Ertuğrul, M.: ACTEC – Ein neues Werkzeugsystem für die wirkmedienbasierte Blechumformung.*

In: 11. Forum Innenhochdruck-Umformen. Darmstadt: 02/2005.

*Groche, P.; Ringler, J.; Fritsche, D.: Material Processing.*

In: E. Abele, R. Anderl, H. Birkhofer: Environmentally-Friendly Product Development, Methods and Tools. Springer-London: Springer-London, 01/2005, ISBN: 1-85233-903-9, S.35-50.

## **5 Veranstaltungen**

11. Fachtagung Innenhochdruck-Umformen, 09./10. Februar 2005

5. Forum Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung, 05./06. Oktober 2005

3. Fachtagung Inkrementelle Umformtechnik, 23./24. November 2005

## 6 Studentenzahlen

TU Darmstadt gesamt: 18.386

Studierendenzahlen WS 2005/2006

lt. Hochschulstatistik

Diplom Maschinenbau

gesamt: 1.789

davon: • Anfänger 0  
• weiblich 126

Bachelor Mechanical and Process Engineering (MPE)

Gesamt\*: 892

davon: • Anfänger 299  
• weiblich 54

Master Mechanical and Process Engineering (MPE)

gesamt: 65

davon: • Anfänger 14  
• weiblich 4

Bachelor Computational Mechanical and Process Engineering (CMPE)

gesamt: 11

davon: • Anfänger 0  
• weiblich 1

Master Computational Mechanical and Process Engineering (CMPE)

gesamt: 12

davon: • Anfänger 5  
• weiblich 3

Master Paper Science and Technology

gesamt: 5

davon: • Anfänger 2  
• weiblich 1

\*) beinhaltet Doppelseinschreibungen