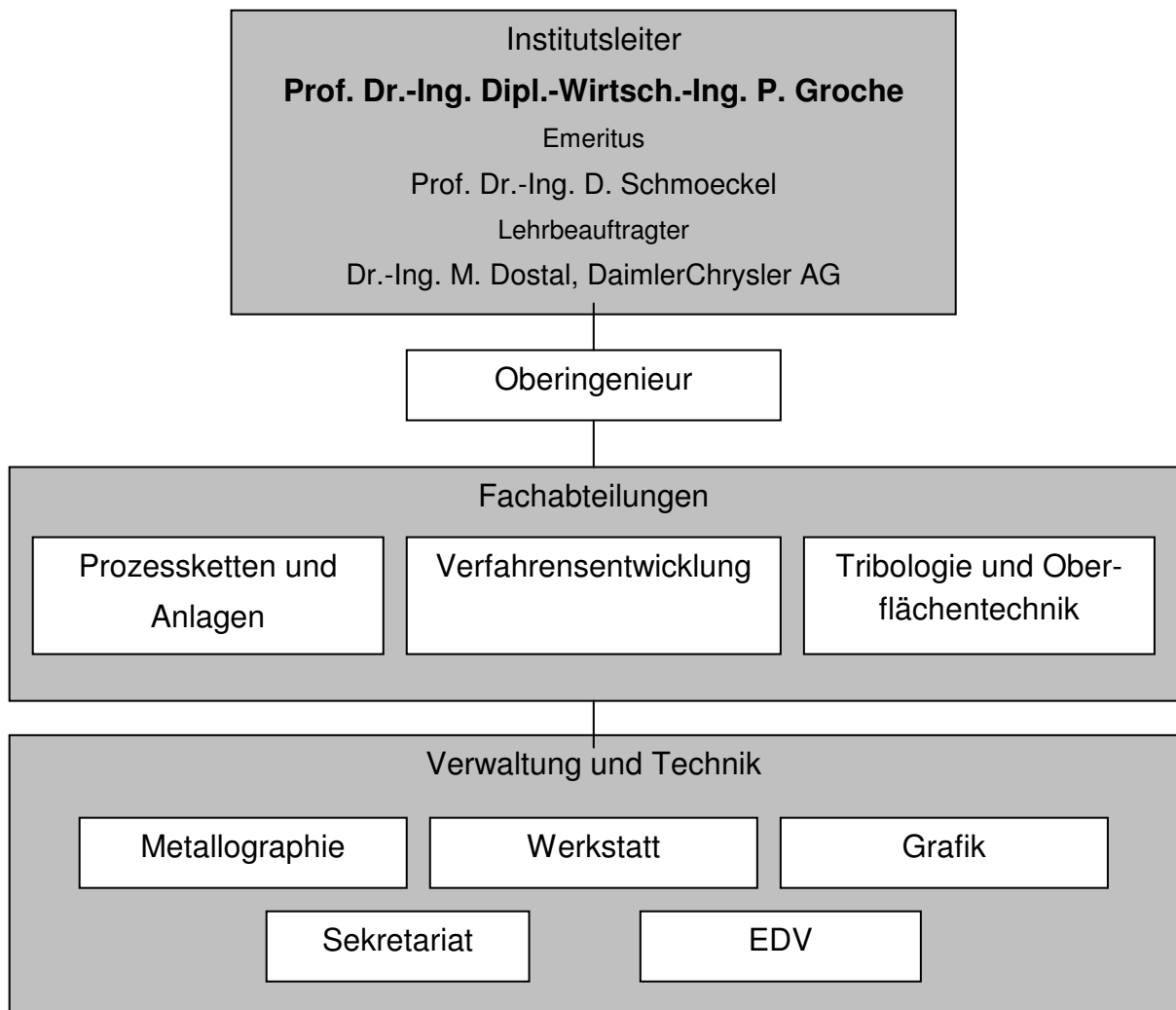


## **INHALT**

<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	16
<b>3</b>	<b>ABGESCHLOSSENE ARBEITEN</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>HABILITATIONEN UND DISSERTATIONEN</b>	<b>22</b>
3.1.1	<i>Habilitationen</i>	22
3.1.2	<i>Dissertationen</i>	22
<b>3.2</b>	<b>STUDIEN UND DIPLOMARBEITEN</b>	<b>22</b>
3.2.1	<i>Studienarbeiten</i>	22
3.2.2	<i>Diplomarbeiten</i>	23
<b>4</b>	<b>VERÖFFENTLICHUNGEN UND VORTRÄGE</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>VERANSTALTUNGEN</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>STUDENTENZAHLEN</b>	<b>29</b>

# 1 Institutsprofil

## 1.1 Organisationsstruktur



## 1.2 Personalstruktur

Professoren und Lehrbeauftragte:	3
Wissenschaftliche Mitarbeiter/innen:	25
Mitarbeiter in Verwaltung und Technik:	9
Studentische Hilfskräfte:	30

## 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.

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

Umformtechnische Betriebe wie Stanzereien oder Walzprofilierbetriebe sind einem hohen Produktions- und Innovationsdruck ausgesetzt. Aufgrund eingeschränkter Ressourcen bei solchen KMUs gelingt es selten, die eigenen Prozesse selbständig objektiv zu untersuchen, zu bewerten und Verbesserungspotenzial zu erkennen.

Ziel des Projektes ist es, mit Hilfe des Benchmarkingansatzes die gesamte Prozesskette in Stanz- und Profilierbetrieben 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.

Nach dem zugrunde liegenden Konzept wird die Gesamtprozesskette in einzelne Prozesse zerlegt, die getrennt voneinander untersucht werden. Hierzu werden die Abläufe bei den teilnehmenden Betrieben vor Ort durch das Benchmarking-Team dokumentiert. Aufgrund dieser Daten wird die Referenz-Prozesskette erstellt, die sich aus den Idealzuständen der einzelnen Prozesse zusammensetzt. Die Beurteilung der Betriebe erfolgt im Vergleich zur Referenz-Prozesskette – Abweichungen werden anhand einer zehnstufigen Skala dargestellt. Diese Abweichungen entsprechen dem Verbesserungspotenzial, das für jeden Teilprozess gegenüber dem Idealzustand besteht.

Ergänzt wird diese qualitative Beurteilung durch die Auswertung von Kennzahlen aus den Bereichen Personal, Qualitätssicherung, Werkzeugbau, Produktionsprozess sowie Kosten- und Ertragsstruktur. Diese Kennzahlen werden von den Benchmarking-Teilnehmern anhand eines Fragebogens erfasst und vom PtU ausgewertet. Alle Teilnehmer erhalten einen spezifischen Bericht, der neben der Beschreibung des Idealzustandes der gesamten Prozesskette die aktuelle Leistungsfähigkeit des jeweiligen Betriebs im Vergleich zur Referenzprozesskette und zum Teilnehmerfeld umfasst. Selbstverständlich werden alle Daten soweit anonymisiert, dass kein Teilnehmer Rückschlüsse auf betriebsinterne Informationen eines anderen Teilnehmers ziehen kann.

Mittlerweile wurden durch das Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) an der TU Darmstadt in Zusammenarbeit mit mehr als 20 Unternehmen der Stanz- und Profiliertechnik Benchmarking-Projekte durchgeführt. Auf dem bewährten

Konzept basierend soll das Projekt in einem erweiterten Teilnehmerkreis fortgesetzt werden.

*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 Rohrhälfte 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 Halbzügen 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 Halbzügen beim IHU kann durch die geometrischen und mechanischen Eigenschaften des Halbzuges 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 Halbzüge. Kaltverfestigungen und Wanddickenunterschiede beeinflussen maßgeblich das Aufweitverhalten der Rohrhälfte.

*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 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 (Veleva, 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 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 (Türk, M.)*

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 und Untersuchung des Einflusses von Verspannkräften auf die dynamischen Eigenschaften von Systemen mit Profilschienenführungen (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 ü-



bertragbare 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.

Über die Bestimmung der für Simulationen relevanten Parameter erfolgen zur Zeit Untersuchungen zur Ermittlung von Einflussmöglichkeiten auf das Schwingungsverhalten. Die Untersuchungsergebnisse dienen der Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen in denen Profilschienenführungen verwendet werden. Eine wesentliche Rolle spielt bei den Untersuchungen die Betrachtung von Vor- und Verspannkräften an den Profilschienenführungen.

## 2.2 Verfahrensentwicklung

*Fluidbasiertes flexibles Fügen hohlförmiger Rahmenstrukturen: „HYDROFRAME“  
(Elsenheimer, D.; Vogler, F.)*

Rahmenstrukturen aus hohlförmigen Bauteilen besitzen eine hohe Steifigkeit bei niedrigem Gewicht. Die Strukturen werden in aufwendigen Prozessen, meist durch Schweißen hergestellt. Die lange Prozesskette ist dabei ein Kostenfaktor. Die Möglichkeit, Formen und Fügen in einem Schritt zu bewerkstelligen, erlaubt den Verzicht auf Transport, Endenbearbeitung und Positionieren vor dem Fügen.

Durch das prozessintegrierte winklige Fügen von hohlförmigen Bauteilen in einem IHU Prozess können Knoten in einer sehr kurzen Prozesskette hergestellt werden. Die durch IHU realisierbare Formensprache ermöglicht es, neue Knotengeometrien zu verwirklichen. Die Knoten bestehen aus rohrförmigen Halbzeugen, unterschieden in Basis- und Fügebauteile. Die Umformung des Basisbauteils erfolgt in einem IHU Prozess. Dabei bildet sich ein Dom aus, der sich in das Fügebauteil einformt. Es kommt zu einer Überlappung der Bauteile, wodurch nach einer Rückfederung der Bauteile nach der Formgebung ein Pressverband entsteht.

Die Auslegung und Bewertung durch IHF hergestellter Knotenelemente basiert auf experimentellen und numerischen Untersuchungen sowie Festigkeitsprüfungen. Untersuchungen erfolgen mit Stahl- und Aluminiumwerkstoffen, wobei Versuche zur Prozessintegration von Kleben und Löten zur Erhöhung der Verbindungsfestigkeiten vorgesehen sind. Festigkeitsuntersuchungen dienen der Ermittlung von Kennfeldern für Knotengeometrien und Materialien.

In Versuchen konnten erstmals gleichzeitig mehrere Knoten an einem Bauteil erzeugt werden. Die Proben, in diesem Fall aus Aluminium, wiesen durch ihre aufwendige Form ein weiteres Merkmal auf, welches durch geeignete Prozessteuerung er-

folgreich abgebildet werden konnte. Grundlagenuntersuchungen mit Bauteilen aus Stahl zeigen die grundsätzliche Integrierbarkeit von Kleb- und Lötvorgängen in den Fügeprozess auf. Neben der weiteren Untersuchung von Knotengeometrien liegt hierin ein Schwerpunkt der aktuellen Tätigkeiten.

*Lebensdauerorientierte Festigkeitsauslegung von Umformwerkzeugen zur Innenhochdruck-Umformung (Elsenheimer, D.)*

IHU-Werkzeuge stellen geometrisch im Allgemeinen komplexe Systeme dar, die während ihrer Nutzung einer hohen Anzahl von Belastungszyklen ausgesetzt sind. Um einen fehlerfreien Betrieb der Werkzeuge gewährleisten zu können, ist eine dauerhafte Auslegung zwingend erforderlich. Dazu wird im Werkzeugbau entweder auf Erfahrungswissen oder auf allgemeingültige Auslegungsrichtlinien für Maschinenelemente (z. B. FKM-Richtlinie) zurückgegriffen. Angepasste Auslegungsrichtlinien zur Lebensdauervorhersage von IHU-Werkzeugen unter Berücksichtigung der speziellen Belange wie Werkzeuggeometrie, -werkstoff, Oberflächenzustände und Belastungskollektive liegen nicht vor. Aus diesem Grund besteht bei solchen Werkzeugen einerseits die Gefahr von Produktionsausfällen durch Werkzeugversagen (z. B. Gravurbruch) oder andererseits von Überdimensionierung und dadurch unnötiger Größe, hohem Gewicht und hohen Kosten.

Gesamtziel des Forschungsvorhabens ist eine systematisierte, anwenderorientierte Auslegungsstrategie bezüglich der Lebensdauer von Werkzeugen für die Innenhochdruck-Umformung.

Nach einer Recherche zu aktuell verwendeten Auslegungsmethoden in fertigen Betrieben wird ein repräsentatives IHU-Gesenk in seiner Gesamtheit von Gesenken und Gesenkträgern mittels numerischer Simulation eines Prozesshubes auf seinen Spannungszustand analysiert. Basierend auf dem ermittelten Spannungszustand am stärksten beanspruchten Ort erfolgt die Konstruktion und Realisierung von zwei Probengeometrien, die bei vereinfachten geometrischen Verhältnissen den Spannungszustand des realen Gesenkes unter Innendruck abbilden. Eine Geometrie wird unter Innendruck, die andere unter reiner Biegebelastung auf Ihre Lebensdauer untersucht. Die Verbindung zwischen beiden Versuchsreihen erfolgt über eine Vergleichsspannungshypothese.

Ziel der Versuchsreihen unter Verwendung verschiedener gängiger Werkzeugwerkstoffe sind einerseits die Erarbeitung eines Prüfkonzeptes, welches die Verhältnisse bei der IHU realitätsgetreu abbildet sowie andererseits die Anpassung der so genannten „FKM-Richtlinie“ auf die ermittelten Verhältnisse bei der IHU.

*Erhöhung der Prozesssicherheit durch Regelung beim Innenhochdruck-Umformen unverschweißter Bleche (Ertugrul, M.)*

Das Innenhochdruck-Umformen (IHU) von Blechen 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. Bei nicht-rotationssymmetrischen Bauteilgeometrien kommt es zu einer inhomogenen Verteilung der Blechdicken im Flanschbereich. 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 somit nahe der Dichtgrenze.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer neuartigen Prozessregelstrategie zur Erhöhung der Prozesssicherheit und der Realisierung einer dichtlinien-nahen Belastungskurve. Hierzu ist ein Sensorsystem erforderlich, das entstehende Undichtigkeiten erkennen und dem Regelkreis als Messgröße zurückführen kann. Auf Basis der Undichtigkeitserkennung wird die Möglichkeit eröffnet, den IHU-Prozess automatisiert im Bereich des optimalen Materialflusses zu halten.

Die Funktion der optischen Undichtigkeitserfassung und eine darauf basierende Regelung des Umformprozesses konnte erfolgreich nachgewiesen werden. Das System zeichnet sich gegenüber einer manuellen Regelung dadurch aus, dass der Prozess automatisiert im optimalen Bereich der Belastungskurve gehalten wird. Die Blechdickenabnahmen in kritischen Bauteilbereichen lassen sich damit deutlich reduzieren bzw. die Prozesssicherheit erhöhen.

*Warmumformung von Leichtbauwerkstoffen (Klöpsch, C.)*

Eines der Hauptziele der Automobilhersteller bei der Entwicklung neuer Fahrzeuge ist, das Fahrzeuggewicht abzusenken 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 wird in diesem Projekt die Stabilität des Halbwarm-Tiefziehprozesses unter industriellen Randbedingungen, d.h. bei instationären Temperaturfeldern im Werkstück und realitätsnahen Ziehgeschwindigkeiten, untersucht. 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 zeigt sich, 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 von Stirnradverzahnungen sowie einer Variante des Rundknetens werden Simulationsmodelle entwickelt, die das Potential von neuen Lösungsalgorithmen aufzeigen. Eine effiziente simulationsgestützte Prozessoptimierung dient der weiteren Verbesserung dieser und vergleichbarer Verfahren der inkrementellen Massivumformung. Hierfür werden vollständig parametrisierte Modelle der Prozesse 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 genäherte Lösungen angegeben werden, so dass die Simulation deutlich schneller möglich ist.

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 walzprofiliertechnischen 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 nachgewiesen werden. Die grundlegenden Einflussparameter und ihre Zusammenhänge gilt es jedoch noch zu untersuchen. Weiterhin fehlen für dieses Umformverfahren bisher fundierte Grundlagenuntersuchungen zu den Auslegungsmethoden. Aktuell ist mit Hilfe von FE-Simulationen und anschließenden Versuchen jede neue Profilgeometrie separat aufwändig zu validieren.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die grundlegenden Einflussparameter des Verfahrens zu ermitteln und Berechnungsmodelle für das flexible Walzprofilieren zu entwickeln, um damit eine schnelle und einfache Auslegung neuer Profiltypen zu ermöglichen.

Basis der Berechnungen sind analytische Modelle der elementaren Plastizitätstheorie. Notwendige vereinfachende Annahmen werden hinsichtlich ihres Einflusses und der Zulässigkeit überprüft. Als Hilfsmittel kommen Finite-Elemente-Simulationen, experimentellen Untersuchungen unter Verwendung des Versuchswerkzeugs und anschließender optischer Vermessung der Bauteile als auch analytische Ansätze artverwandter Verfahren zum Einsatz. Damit sind grundlegende Phänomene wie auch typische Spannungs- und Dehnungsverläufe zu untersuchen und zu quantifizieren. Diese Informationen dienen darüber hinaus als Datenbasis für die zu entwickelnden Berechnungsmodelle. Betrachtet werden dabei neben geometrischen Variablen auch die relevanten bauteilseitigen Werkstoffparameter als auch die werkzeugseitigen Prozessparameter.

Zusammengeführt sind daraus Methoden zur Auslegung eines fehlerfrei herstellbaren flexiblen Profils zu erstellen. Das Ableiten eines Prozessfensters bzw. von Gestaltungsempfehlungen für die betrachteten Parameter wird durch die Berechnungsmodelle erleichtert. 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 der Maßgenauigkeiten gelegt. Insbesondere beim Einsatz höher- und höchstfester Stähle muss mit erheblichen Chargenschwankungen gerechnet werden, die sich deutlich hinsichtlich der geometrischen Genauigkeit der Profile bemerkbar machen. Während des Einformprozesses ist die Auswirkung von Rückfederungsef-

fekten zwischen den einzelnen Biegestufen nicht quantifizierbar, lediglich nach Austritt des Profilstrangs zeigt sich das Ergebnis am Endprodukt. Die im Folgenden einzuleitenden Korrekturmaßnahmen, z. B. das Nacharbeiten und Auswechseln einzelner Rollenwerkzeuge, sind aufwendig und zeitintensiv.

Ziel des Projektes 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.

Die Vorgehensweise ist wie folgt gegliedert:

- 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
- Experimentelle Untersuchungen
- Ergebnistransfer in Partnerunternehmen.

Für die Profilquerschnittserfassung kommt ein Lasertriangulationssystem zum Einsatz. Das Bestimmen des aktuellen Biegewinkels erfolgt durch die Berechnung der Steigung der projizierten Laserlinie mit Hilfe von Regressionsgeraden. Durch eine gezielte Projektion der Laserlinie auf Profilschenkel und -steg kann eine mögliche Verdrehung der Bauteile beim Verlassen der Profilieranlage berücksichtigt werden. Die resultierenden Kenngrößen werden dann mit den Ergebnissen aus der Simulation und den experimentellen Untersuchungen verglichen. Die hieraus ermittelten Korrekturkennwerte werden dem „Intelligenten Gerüst“ in einem kontinuierlichen Regelkreis weitergeleitet und somit ein Profil hergestellt, das die Toleranzen erfüllt.

## 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 Phosphat-



schichten 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.

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

Moderne FE-Systeme bieten für die Massivumformung weit entwickelte Modellierungs- und Berechnungsalgorithmen. 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 des 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 Gleitstauchanlage angepasst und erweitert. Hierfür wird die Probe auf der Mantelfläche liegend gestaucht und unter Aufrechterhaltung der Stauchkraft über die Reibplatte gezogen.

*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 Druckeigenstressungen, 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 Fräsoption in einer Aufspannung vorgenommen werden.

Zunächst sollen in Parameterstudien an bearbeiteten Probekörpern geeignete Verfahrensparameter - Kombinationen des Festwalzens und Festklopfens durch Untersuchung von Härtezunahme, Rauigkeitsreduktion, Oberflächentopographie und weiteren metallografischen Analysen festgelegt werden.

Das Abrieb- und Verschleißverhalten oberflächenverfestigter Ziehwerkzeuge wird experimentell auf der kombinierten Streifenziehvorrichtung untersucht. Von besonderem Interesse ist dabei, ob Werkzeuge aus GGG70 durch Anwendung der genannten

Verfahren optimierbar sind und inwieweit die Ergebnisse auch auf andere Werkzeug- und Werkstück-Materialien übertragbar sind.

*Sensorgestützte Werkstoffauslegung und Schichtentwicklung für die Umformtechnik (Nitzsche, G.)*

Eine beanspruchungsgerechte Auslegung von Werkzeugwerkstoffen und Werkzeugbeschichtungen gewährleistet eine Verschleißminimierung, wodurch sich die Lebensdauer der Werkzeuge und damit die Wirtschaftlichkeit der Umformprozesse deutlich verbessern lassen. Allerdings sind die heute verwendeten Werkstoffe und Beschichtungen den auftretenden Belastungen nicht gewachsen. Dies ist auf den Trend zur Verarbeitung hoch- und höchstfester Stähle, die zunehmende Bauteilkomplexität, die verstärkte Bedeutung stark adhäsiver Werkstoffe sowie erhöhte Anforderungen an Maßgenauigkeit und Oberflächengüte zurückzuführen. Weiterhin fehlen genaue Kenntnisse über die in der Umformzone vorliegenden mechanischen und thermischen Beanspruchungen.

Aus der dargestellten Problemstellung ergeben sich folgende Teilziele, die zu einer optimierten Auslegung des tribologischen Systems für Prozesse der Blech-, Halb- und Warmmassivumformung führen sollen:

- Identifizierung geeigneter Werkstoff-Beschichtungskombinationen in Abhängigkeit der tribologischen Beanspruchungen für Werkzeuge der Blech- und Massivumformung
- Experimentelle Ermittlung der Beanspruchbarkeit der Dünnschichtsensorik hinsichtlich der im Realprozess vorliegenden mechanischen und thermischen Belastungen
- Experimentelle Analyse der Kontaktnormalspannungs- und Temperaturverteilung in praxisnahen Modellversuchen mittels Dünnschichtsensorik
- Verifizierte Finite-Elemente-Modelle zur Ermittlung der lokalen Werkzeugbeanspruchung und Verifikation der Berechnungsergebnisse mittels Dünnschichtsensorik
- Erkennen des Zusammenhangs zwischen den örtlich und zeitlich aufgelösten Temperaturen in der Kontaktzone und dem resultierenden Werkzeugverschleiß

In Kooperation mit Anwendern und Werkzeugbeschichtern erfolgen die Entwicklung und Optimierung geeigneter Werkzeugwerkstoff- und Werkzeugbeschichtungskombinationen. Hierzu werden Verschleißuntersuchungen an tribologischen Modellprüfständen durchgeführt. Begleitet werden die Experimente durch numerische Beanspruchungsanalysen, die mit Hilfe von Dünnschichtsensoren verifiziert werden.

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

Die tribologischen Bedingungen in der Umformzone werden beim Innenhochdruck Umformen (IHU) maßgeblich von den Topografien der beiden Kontaktpartner beeinflusst und haben somit ausschlaggebenden Einfluss auf das Umformergebnis.

Die Blechoberfläche muss ausreichend Schmierstoff in die Umformzone transportieren und gleichzeitig genügend Schmierstoff zurückhalten, um die Ausbildung hydrostatischer und hydrodynamischer Schmierungseffekte zu ermöglichen. Zur Optimierung des Schmierungszustandes 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 bisher keine systematischen Untersuchungen, auf deren Basis eine optimale Oberflächentopografie beschrieben werden könnte.

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 im Vergleich zur konventionellen Blechumformung ca. 10- bis 15-fach 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 Oberflächen-Topografie aufweisen. Zur systematischen Untersuchung werden die Texturen hinsichtlich Topografiestruktur und -tiefe variiert. Im tribologischen Modellversuch sowie im Realbauteil-Versuch erfolgt die Bewertung des Reib- und Umformverhaltens der texturierten Halbzeuge; die Oberflächeneigenschaften werden über geeignete 3D Kenngrößen charakterisiert. 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. Für jeden Anwendungsfall, der durch den verwendeten Werkstoff sowie die vorherrschenden Kontaktnormalspannungen charakterisiert wird, können optimierte Oberflächentopografien beschrieben werden. Die Umsetzung verspricht ein erweitertes Produktspektrum, eine höhere Prozessstabilität und gesteigerte Bauteilqualität.

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

Durch moderne Druckverfahren 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 Drucktechnik 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 Druckprozesses beitragen. Basierend auf den so gewonnenen Erkenntnissen soll eine Möglichkeit geschaffen werden, Druckprozesse 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 Druckprozesses sowie der mikroskopischen Oberflächenfeingestalt untersucht. Die Bildung der Ähnlichkeitsgesetze erfolgt anschließend auf Basis der den Druckprozess signifikant beeinflussenden Parameter.

## **3 Abgeschlossene Arbeiten**

### **3.1 Habilitationen und Dissertationen**

#### **3.1.1 Habilitationen**

- keine -

#### **3.1.2 Dissertationen**

*Dörr, J.*

Halbwarm-Innenhochdruck-Umformung von Leichtmetallrohren

*Rathmann, T.*

Entwicklung eines Technologieprozessors zur Untersuchung des Kaltrundknetens mit Hilfe der Finite Elemente Analyse

### **3.2 Studien und Diplomarbeiten**

#### **3.2.1 Studienarbeiten**

*Avemann, Jörg*

Auslegung und wirtschaftliche Analyse einer Anlage zum Innenhochdruck-Fügen bei Raumtemperatur für klein- und mittelständische Unternehmen (KMU)

*Bedarff, Thomas*

Mathematisch simulative Abbildung des Lenkersystems einer Servo-Pressen in Mat-Lab/Simulink

*Beiter, Philip*

Entwicklung, Konzeption und Konstruktion eines "Kalibriergerüsts" zur Kompensation von auftretenden Rückfederungseffekten beim Walzprofilieren von höher- und höchstfesten Stählen

*Dieterich, Frank*

Aufbau einer Kanaldruckregelung für das Innenhochdruck-Umformen von Blechen mit aktiv-elastischen Werkzeugen

*Korff, Dennis*

Implementierung und Inbetriebnahme eines optischen Formänderungsanalyse-Systems in einen Versuchsstand zur Blechkennwertermittlung

*Lambie, Benjamin*

Finite Elemente Simulation des oszillierenden Biegens

*Müller, Jochen*

Experimentelle Untersuchung des oszillierenden Biegens

*Pächer, Volker*

Konzeption und Konstruktion eines Werkzeugsystems für das Spaltbiegen

*Schneider, Georg*

Durchführung experimenteller Untersuchungen zum flexiblen Walzprofilieren unter Einsatz moderner Messtechniken zur Validierung eines analytischen Berechnungsmodells

*Stehle, Nicolas*

Erstellen eines Tutoriums zum Erlernen der Finite-Elemente-Methode

*Vorbeck, Sascha*

Machbarkeitsanalyse zur Herstellung eines Waschtisches mittels Tiefziehen durch Innenhochdruck unter Anwendung eines aktiv-elastischen Werkzeugsystems

*Zhao, Zhun*

Simulation und Optimierung des dynamischen Verhaltens wälzgelagerter Pressenstößel auf Basis von Zustandsraummodellen

### **3.2.2 Diplomarbeiten**

*Berner, Sebastian*

Numerische Untersuchungen neuartiger Werkzeugsysteme für die Weiterverarbeitung von Spaltprofilen

*Brinckmann, Felix*

Analytische und experimentelle Lebensdauervorhersage von Werkzeugen zur Innenhochdruck-Umformung und Anpassung von Richtlinien zur Werkzeugauslegung

*Culha, Timur Kahan*

Entwicklung und experimentelle Erprobung einer Prozessregelung für die Innenhochdruck-Umformung von Blechen

*Geib, Thomas*

Modifikation und Anpassung eines Lasertriangulationsmesssystems für die Winkelmessung an Gesenkbiegepressen zur Messung von Profilquerschnitten beim Walzprofilieren

*Haar, Tilmann*

Integrale Blechprodukte mit verzweigten Strukturen - Systematisches Erfassen von Produktfeldern und deren Eigenschaften

*Hock, Matthias*

Experimentelle Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Temperatur und Adhäsionsverschleiß beim Tiefziehen von Aluminiumblechen

*Mihova, Desislava*

Durchgängige Simulation von Spaltprofilierprozessen

*Schmidt, Halvar*

Ganzheitliche virtuelle Darstellung der umformtechnischen Fertigung von Blechprofilen und deren betriebsfester Auslegung mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode

*Stahlmann, Jörg*

Einrichten und Optimieren einer CAD/CAM-Schnittstelle eines 7-Achs-Laserschneidzentrums

*Schenk, Karsten*

Konzeption und Konstruktion einer Trennvorrichtung für gewickelte Metallschläuche

*Türk, Markus*

Fräsbearbeitung eines umformtechnischen Werkzeuges und Erarbeitung eines Kennfeldes zum fluidbasierten Fügen von Knotenstrukturen am Beispiel eines Fahrrad-Steuerrohrs aus Aluminium

*Walter, Martin*

Prozesskettenmodellierung für die Fertigung von Mehrkammerprofilen durch integrierte Zerspan-, Umform- und Fügeoperationen

*Zhang, Hongyu*

Erweiterung der Mess- und Regeltechnik eines tribologischen Prüfstandes



## 4 Veröffentlichungen und Vorträge

*Groche, P.; Stahlmann, J.: Tribologische Kennwerte für die Umformtechnik.*

In: Neugebauer, R.: Tagungsband zur 13. Sächsische Fachtagung Umformtechnik (SFU). Verlag Wissenschaftliche Scripten Zwickau: IWU, 11/2006, 36, S. 347-356.

*Groche, P.; Zettler, A.: Analytic One-Step-Model for the Design of Flexible Roll Formed Parts.*

In: Production Engineering Research and Development. Annals of the WGP. Hannover: 10/2006, Vol. XIII/2, S. 149-152.

*Groche, P.; Götz, P.: Prozessketten-Benchmarking.*

In: In: wt Werkstattstechnik online. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, 10/2006, S. 705-709.

*Groche, P.; Götz, P.: Improvement of Manufacturing Processes by Process Chain Benchmarking.*

In: In: Production Engineering Research and Development. Annals of the WGP. Hannover: 10/2006, Vol. XIII/2, S. 187-190.

*Groche, P.; Köhler, M.; Stahlmann, J.; Avemann, J.; Martin, S.; Schwarz, O.: Strukturierte Drahtoberflächen beim Verjüngen - Optimierung der tribologischen Verhältnisse durch Laseroberflächenstrukturierung des Halbzeugs .*

In: wt Werkstattstechnik online. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, 10/2006, S. 751-757.

*Groche, P.; Walter, M.; Ringler, J.; Munirathnam, M.: Flexible Prozessketten für Mehrkammerprofile aus Blech.*

In: wt Werkstattstechnik online. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, 10/2006, 733-739.

*Groche, P.; Elsenheimer, D.; Vogler, F.; Türk, M.: HydroFrame - Innovatives Herstellungsverfahren für Fahrradrahmen.*

In: wt Werkstattstechnik online. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, 10/2006, 10/2006, S. 715 - 720.

*Groche, P.; Ertugrul, M.; Metz, C.: Aktiv-elastisches Werkzeugsystem zum Dichten und zur Materialflusskontrolle beim Innenhochdruck-Umformen von unverschweißten Blechen.*

Im Rahmen des DFG-SPP 1098 "Wirkmedienbasierte Fertigungstechniken zur Blechumformung"; Shaker Verlag 2006, Aachen, S. 247-256; ISBN 3-8322-5457-9

*Groche, P.; Ertugrul, M.: Erhöhung der Prozesssicherheit beim IHU von unver-  
schweißten Blechen durch Regelung.*

Im Rahmen des DFG-SPP 1098 "Wirkmedienbasierte Fertigungstechniken zur  
Blechumformung"; Shaker Verlag 2006, Aachen, S. 247-256; ISBN 3-8322-5457-9

*Groche, P.; Nitzsche, G.: Influence of temperature on the initiation of adhesive wear  
with respect to deep drawing of aluminum-alloys.*

In: AMPT Advances in Materials and Processing Technologies. Las Vegas, Nevada:  
Ohio University, 08/2006.

*Groche, P.; Vucic, D.: Multi-chambered Profiles Made from High-Strength Sheets.*

In: Annals of the WGP: Production Engineering Vol. XIII/1. Hannover: 05/2006, ISBN  
3-9807670-8-6, S. 67-70.

*Groche, P.; Fritsche, D.: Application and Modelling of Flow Forming Manufacturing  
Processes for Internally Geared Wheels.*

In: International Journal of Machine Tools and Manufacture, Bd. 46, Nr. 11, Elsevier,  
04/2006, S. 1261-1265

*Groche, P.; Ringler, J.: Method for Inventory Analysis of Metal Forming Processes.*

In: Production Engineering, Annals of the WGP, Vol. XIII/1. Hannover: WGP e.V.,  
04/2006, ISBN 3-9807670-8-6, S. 113-116.

*Amborn, P.; Kipry, K.; Groche, P.; Elsenheimer, D.: Heiße Innovation genau zur  
rechten Zeit.*

In: @blechnet.com. Burscheid: Techcare Medien & Marketing, 04/2006, 2/2006, S.  
55 - 57.

*Götz, P.; Köhler, M.: Benchmarking "Produktionsprozesskette Stanz- und Umform-  
technik".*

In: Technologieseminar Dortmund. Dortmund: GSU Schulungsgesellschaft für Stanz-  
und Umformtechnik, 04/2006.

*Groche, P.; Köhler, M.: Development and Application of Functional Surfaces.*

In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of  
Engineering Manufacture, Vol. 220. 04/2006, 1, 19-26.

*Groche, P.; Vucic, D.: Spaltprofile aus höherfestem Stahl- Profile einer neuen Generation.*

In: 6. Stahlsymposium. Düsseldorf: Forschungsvereinigung Stahlanwendung eV, 04/2006.

*Groche, P.; Nitzsche, G.: Reduction of friction in deep drawing of aluminium alloys by generating local hydrostatic-pressure lubrication.*

In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 220. 04/2006, 1, 43-48.

*Groche, P.; Zettler, A.; Berner, S.: Development of a one-step-model for the design of flexible roll-formed parts.*

In: ESAFORM 2006. Glasgow, United Kingdom: Proceedings of the 9th International Esaform Conference on Material Forming, University of Strathclyde, 04/2006.

*Groche, P.; Ringler, J.; Wäldele, M.: Neue Leichtbaukonzepte durch Verzweigte Blechbauweisen.*

In: Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V.: EFB Kolloquium 2006 - Fellbach. EFB: EFB, 03/2006, Tagungsband T26, S. 211 ff.

*Tibari, K.; Vogler, F.: Fluidbasiertes Fügen hohlförmiger Rahmenstrukturen.*

In: Groche, P.: 9. Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt (UKD). Bamberg: Verlag Meisenbach, 02/2006, ISBN 3-87525-229-2, 133-150.

*Zaboklicki, A.; Fritsche, D.: Aktuelle Entwicklungen beim Drückwalzen.*

In: Groche, P.: 9. Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt, 16./17. Feb. 2006. Bamberg: Verlag Meisenbach, 02/2006, S. 59-65.

*Groche, P.; Vucic, D.; Ringler, J.: Spaltprofilieren - Verzweigte Strukturen aus Blech.*

In: Groche, P.: 9. Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt (UKD). Bamberg: Verlag Meisenbach, 02/2006, ISBN 3-87525-229-2, S. 193-204.

*Amborn, P.; Kipry, K.; Groche, P.; Elsenheimer, D.: HEATforming als Weiterentwicklung des IHU an der Schwelle zur Massivumformung.*

In: Groche, P.: 9. Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt, 16./17. Feb. 2006. Bamberg: Verlag Meisenbach, 02/2006, S. 89-103.

*Groche, P.; Zettler, A.: Flexibles Profilieren für Leicht"BAU"anwendungen.*

In: Präsident der TU Darmstadt: Thema Forschung. Monsheim: Verlag für Marketing und Kommunikation, 01/2006, 1/2006, S. 4 - 7.

*Groche, P.; Steinheimer, R.; v. Breitenbach, G.: Erweiterung eines Halbzeugprüfverfahrens für das Innenhochdruck-Umformen.*

In: Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. im Stahlzentrum: Forschung für die Praxis P 530. Düsseldorf: Verlag und Vertriebsgesellschaft mbH, 01/2006, P 530.

## **5 Veranstaltungen**

9. Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt (UKD), 16./17. Februar 2006

## 6 Studentenzahlen

TU Darmstadt gesamt: 16.314

Studierendenzahlen WS 2005/2006

lt. Hochschulstatistik

Diplom Maschinenbau

gesamt:		1.519
davon:	• Anfänger	0
	• weiblich	109

Bachelor Mechanical and Process Engineering (MPE)

Gesamt*:		1.144
davon:	• Anfänger	337
	• weiblich	77

Master Mechanical and Process Engineering (MPE)

gesamt:		66
davon:	• Anfänger	26
	• weiblich	8

Bachelor Computational Mechanical and Process Engineering (CMPE)

gesamt:		7
davon:	• Anfänger	0
	• weiblich	0

Master Computational Mechanical and Process Engineering (CMPE)

gesamt:		11
davon:	• Anfänger	2
	• weiblich	4

Master Paper Science and Technology

gesamt:		3
davon:	• Anfänger	0
	• weiblich	1

\*) beinhaltet Doppelseinschreibungen