1 Einleitung

Einer der wesentlichen Bestandteile eines Automobils ist dessen Karosserie. Durch ihr Gewicht beeinflusst sie in hohem Maße die Wirtschaftlichkeit und das Fahrverhalten eines Kraftfahrzeuges. Darüber hinaus muss sie den kundenrelevanten Anforderungen hinsichtlich ihres optischen Erscheinungsbildes und ihrer Verarbeitungsqualität gerecht werden.

Um die Freude am Fahren durch bestmögliche Fahrdynamik zu steigern, suchen Automobilhersteller permanent nach Möglichkeiten zur Gewichtsreduktion bei der Rohkarosserie, den Aggregaten und den Anbauteilen. Dem stehen jedoch Markt- und Kundenwünsche nach zusätzlichen Ausstattungsmerkmalen sowie gesetzliche Bestimmungen für verbesserte Crasheigenschaften gegenüber.

Vor diesem Hintergrund bestätigen rückläufige, spezifische Rohbaugewichte (vgl. Abb. 1-1), lediglich moderat steigende Gesamtfahrzeugmassen und nahezu konstant bleibende Rohkarosseriegewichte (vgl. Abb. 1-2) die erfolgreiche Umsetzung von Leichtbaukonzepten.

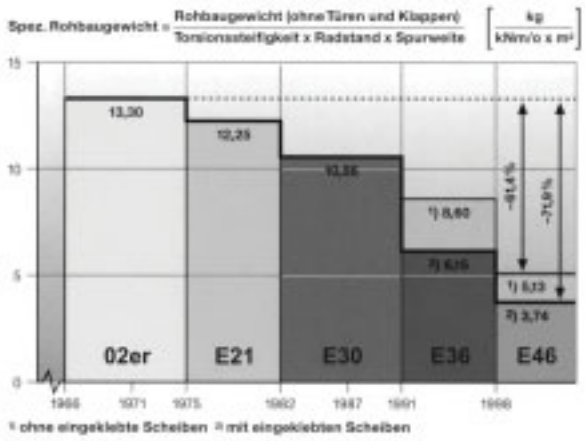

Abb. 1-1 Entwicklung des spezifischen Rohbaugewichtes am Beispiel der BMW 3er Reihe [Bra00]

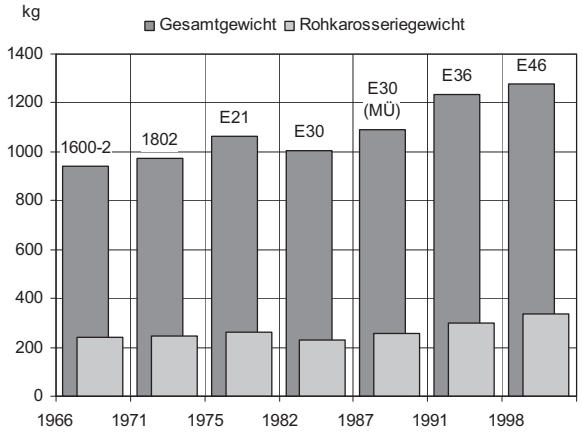

Abb. 1-2 Entwicklung Leer- und Karosseriegewicht am Beispiel der BMW 3er Reihe [nach Bra00]

Erreichbar sind die Gewichtsvorteile im Bereich der Rohkarosserie ausschließlich durch die Reduktion der Wandstärke bei Stahlteilen und durch die geringere Dichte anderer Metallwerkstoffe. So ist aktuell festzustellen, dass nach Aluminium auch Magnesium als Material für Karosseriebauteile in Frage kommt [Beh05]. Damit die Verringerung der Blechdicke und des Bauteilgewichtes nicht zu einem Verlust an Festigkeit sowie Steifigkeit führt, werden Strukturteile vermehrt aus höher- und höchstfesten Stahllegierungen hergestellt (vgl. Abb. 1-3).

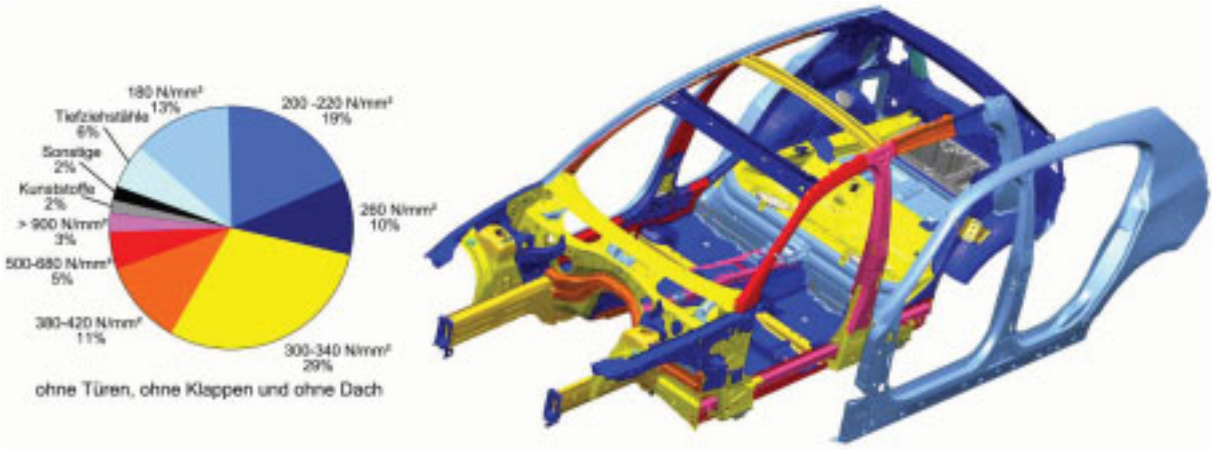

Abb. 1-3 Gewichtsanteile verschiedener Werkstoffgüten, Rohkarosserie BMW 1er [Lüd04]

Den zum Teil eingeschränkten Umformeigenschaften dieser alternativen Werkstoffvarianten stehen die Forderungen nach Reduktion der Anzahl an Arbeitsfolgen sowie der Qualitätsverbesserung der Baugruppen bzw. der gesamten Rohkarosserie in engen Toleranzbereichen gegenüber [Ele01].

Die daraus resultierende Erhöhung der Bauteilkomplexität wird durch die hohen Designansprüche an neue Karosseriebauteile zusätzlich gesteigert [HS00]. Modernes, sportliches Fahrzeugdesign zeichnet sich durch markante Charakterlinien (vgl. Abb. 1-4 und Abb. 1-5) mit sehr kleinen und umformtechnisch anspruchsvoll darzustellenden Radien aus. Es befriedigt damit Markt- und Kundenbedürfnisse nach einer Differenzierung vom Wettbewerb.

Abb. 1-4 BMW Z4 Coupe

Abb. 1-5 BMW 3er Coupe

Des Weiteren führen die ständig wachsende Anzahl von Fahrzeugfunktionen und die damit einhergehenden notwendigen Aggregate seitens des Packaging zu immer komplexeren Strukturteilgeometrien.

Insgesamt lässt sich aus den geschilderten Entwicklungstrends eine dauerhaft zunehmende und weiterhin ansteigende Komplexität in der Blechumformung ableiten, welche die Automobilindustrie einem hohen Innovationsdruck aussetzt.

Zur Erfüllung der gestellten Ansprüche sind stabile und sicher beherrschte Produktionsprozesse erforderlich. In der Praxis ist jedoch zu beobachten, dass aufgrund unzureichender Kenntnisse über das umformtechnische Verhalten der neuen Blechwerkstoffe die bislang manuelle, erfahrungsbasierte Prozessführung an ihre Grenzen stößt.

Im Gegensatz zum Karosseriebau, der in den zurückliegenden 20 Jahren mit Hilfe von Industrierobotern nahezu vollständig automatisiert wurde, sind in Großserienpresswerken der Automobilindustrie nach wie vor erfahrene Fertigungsfachleute zur Korrektur des Umformprozesses bei veränderten Einfluss- und Störgrößen erforderlich. Allerdings ist unklar, inwieweit bestehende Erfahrungsschätze des Fachpersonals auf die neuen Entwicklungstrends (Werkstoffgüten) übertragbar sind, weshalb verstärkt nach neuen Möglichkeiten zur Stabilisierung des Umformprozesses gesucht wird.

An Hochschulen und Forschungsinstituten sind diesbezüglich Entwicklungen im Bereich der Werkzeug- sowie Anlagentechnik zu verzeichnen, welche eine objektive, gezielte und vor allem lokale Beeinflussung des Umformprozesses ermöglichen. Zusätzlich zu den elastischen Werkzeugkonzepten, den Gegenzuganlagen und der Vielpunktziehtechnik wurde eine Vielzahl von Parametern hinsichtlich ihrer Eignung zur Prozessüberwachung analysiert. Ferner bestätigen die Ergebnisse der Forschungsaktivitäten das Potential einer Vollautomatisierung bzw. Regelung des Umformprozesses bei kontinuierlicher Erfassung eines charakteristischen, aussagekräftigen Prozessparameters und der Möglichkeit, den Tiefziehvorgang örtlich gezielt zu beeinflussen.

Allerdings überzeugte keines der vorgestellten Sensorkonzepte durch die notwendige Einfachheit, Kompaktheit und vor allem Robustheit, so dass in Großserienpresswerken bislang auf zusätzliche Informationen über den Prozesszustand bezogen auf sein Gutteilfenster verzichtet werden muss. Gleichermaßen finden neue Werkzeugkonzepte ebenfalls keine Anwendung in der Serienproduktion, da bei ihrer Entwicklung das in der Automobilindustrie aus technischen und wirtschaftlichen Vorteilen vorrangig eingesetzte Prinzip des einfachwirkenden Tiefziehens vernachlässigt wurde. Außerdem sind hohe Anschaffungskosten und lange wirtschaftliche sowie technische Nutzungsdauern der bestehenden, einfachwirkenden Presswerkstrukturen maßgeblich dafür verantwortlich, warum bislang kein Ersatz durch neue, funktionserweiternde Vielpunktziehanlagen stattgefunden hat.

Ausgehend von diesen gegebenen Rahmenbedingungen besteht das Ziel der vorliegenden Arbeit darin, einen Ansatz zu finden, durch den Innovationen dennoch Einzug in Großserienpresswerke der Automobilindustrie halten können. Der Fokus liegt dabei auf dem Umformwerkzeug selbst. Denn es muss im Gegensatz zur Pressenanlage mit jedem Modellwechsel (ca. alle sieben Jahre) erneuert werden.

Aus diesem Grund ist die Untersuchung eines Werkzeugkonzeptes mit integrierter Sensorik und Aktorik Gegenstand dieses Beitrages. Mit Hilfe der Messaufnehmer (Sensoren) findet eine Prozessüberwachung bei gleichzeitiger Beurteilung des Prozesszustandes anhand des erfassten Parameters statt und die Aktuatoren dienen der gezielten, lokalen Reaktion auf die detektierte Prozessschwankung.

Grundlegende Prämisse bei der Entwicklung dieses Werkzeugkonzeptes ist jedoch der Einsatz bestehender Presswerksstrukturen, speziell der Anlagen und Maschinentechnik ohne zusätzliche Modifikationen. Lassen sich die Potentiale einer gezielten Prozessüberwachung und -beeinflussung auf diese Weise mit serienreifem Niveau erschließen, können die Anlaufzeit/Einarbeitsphase neuer Ziehwerkzeuge drastisch verkürzt, Ausschussproduktion und Stillstandszeiten sowie der Qualitätsaufwand während der Serienproduktion stark reduziert werden.

2 Stand der Technik

2.1 Produktionsprozess von Karosseriebauteilen

Die Produktion von Automobilkarosserien beginnt mit der Anlieferung von Coils. Diese ca. 20 Tonnen schweren, zu Rollen aufgewickelten Blechbänder werden anschließend in einer Coilanlage gerichtet und zu Platinen (Tafeln) geschnitten. Dabei sind Formplatinen mit komplexeren Konturen und einfache zweidimensionale Geometrien zu unterscheiden. Die zu Stapeln kommissionierten ebenen Blechzuschnitte kommen als nächstes in den Platinenlader der Umformmaschine. So genannte Feeder legen die Blechtafel in das geöffnete Werkzeug ein und mit dem darauf folgenden Pressenhub entsteht daraus ein Ziehteil. Noch bis zu fünf weitere Arbeitsfolgen (Schneiden, Lochen, Abkanten, Nachschlagen bzw. Kalibrieren) sind erforderlich, um ein verbaubares Karosseriebauteil herzustellen.

Zur Umformung werden demnach eine Presse, das Werkzeug und der passende Werkstoff benötigt. Bei der Pressenanlage handelt es sich in der Regel um eine Universalmaschine, die lediglich den Antrieb und die Kraft liefert. Formgebend und damit bauteilspezifisch ist das Umformwerkzeug, welches in die Presse eingebaut das Blech zu einem Ziehteil formt. Dabei beeinflusst eine Vielzahl von Parametern das Ergebnis des Umformvorganges [Gra85].

2.1.1 Einflussgrößen

In der Literatur gilt der eingesetzte Werkstoff mit seinen mechanischen Kennwerten dabei zumeist als wichtigster Einflussfaktor [Gri99, Str94]. Die Materialeigenschaften, ausgedrückt durch Streckgrenze, Zugfestigkeit, Verfestigungsexponent und Anisotropie, bestimmen die Umformbarkeit hinsichtlich maximalem Umformgrad, Abstreckung und elastischem Rückfederungsverhalten. Schwankungen dieser Parameter, welche aus den Gieß- und Walzprozessen im Stahl- bzw. Aluminiumwerk resultieren, beeinträchtigen die Prozessstabilität in hohem Maße [Str94]. Ebenfalls starken Einfluss auf das Umformergebnis haben die geometrischen Abmessungen der Blechplatine. Ihre Beschnittkontur wird im Rahmen der Serienproduktion zwar nur selten geändert (vgl. Kapitel 5.4.2.4), jedoch unterliegt die Platinendicke stärkeren Schwankungen.

Neben dem eingesetzten Werkstoff stellt auch das Umformwerkzeug einen entscheidenden Parameter bezüglich des Umformergebnisses dar [Gri99, Str94]. Speziell die Abstimmung der Wirkflächen und die Genauigkeit des Werkzeuges bestimmen die Qualität des Ziehteils. Sowohl die Steifigkeit als auch der Kraftfluss im Werkzeug resultieren aus dessen Konstruktion. Der Fertigungsmittelkonstrukteur legt über die Anzahl der Krafteinleitungsstellen, die gewählte Verrippungsstrategie und den

Werkzeugwerkstoff die Beanspruchung des Werkzeuges fest [Tho93, Str94]. Bisher galt dabei, je steifer ein Umformwerkzeug und seine Führungen sind, desto besser ist dessen Genauigkeitsverhalten. Neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass der gezielte Einsatz der Werkzeugelastizität, bei Bedarf in Kombination mit so genannten Vielpunktziehanlagen, vorteilhaft sein kann [Tho93, Str94, Hoh98, Ele01, Häu02, usw.].

Dritter wesentlicher Einflussfaktor auf das Ergebnis des Umformprozesses ist die Pressenanlage. Speziell das Spiel in Führungen und Elastizitäten im Maschinengestell sowie dem Pressentisch führen zu Prozessschwankungen und beeinflussen die Reproduzierbarkeit des Umformergebnisses [Pah93]. Des Weiteren ist der Bewegungsablauf von der Maschinenbauart abhängig. So gibt das Gelenkgetriebe mechanischer Pressen bei konstanter Hubzahl die Stößelgeschwindigkeit zu jedem Zeitpunkt der Umformbewegung vor. Dagegen kann sie bei hydraulischen Pressen frei über dem Stößelweg eingestellt werden [DS93]. Im tribologischen System Blech – Schmierstoff – Werkzeug hängt insbesondere die Reibzahl (μ) von dieser Bewegungsgeschwindigkeit ab, was speziell bei mechanischen Pressen bezüglich Output (hohe Hubzahl) und fehlerfreiem Ziehteil durch langsamere Umformung zu Zielkonflikten führen kann.

Zuletzt stellen auch die eingesetzte Schmierstoffart und -menge relevante Einflussparameter dar. Im Anlieferungszustand verfügen die Blechbänder über eine walzwerkseitig aufgetragene Grundbeölung, die hauptsächlich dem Transport- und Korrosionsschutz dient [Gra85]. Hierbei handelt es sich in der Regel um hochviskose Trockenschmierstoffe, die auch im Coil (aufgerolltes Blechband) auf der Fläche bleiben und nicht im Aufstandspunkt zusammenlaufen. Durch den Transport und die Lagerung der Coils sowie der Platinenstapel vor der Verarbeitung kann es dennoch zu Inhomogenitäten im Beölungsgrad aufeinander folgender Bleche kommen. Diese wirken sich neuerdings immer stärker aus, da aktuelle Produktionstrends den Einsatz von Zusatzschmierstoffen, wenn möglich, vermeiden (Kostenreduktion, Waschvermeidung). Außerdem besteht bei Verwendung hochviskoser Ziehfette die Gefahr, dass sie nicht in die eigentliche Umformzone gelangen und bei höheren Geschwindigkeiten der Schmierfilm abreißt [Gra85, Str94]. Ein daraus resultierender Anstieg der Reibkräfte zwischen Halbzeug und Werkzeug führt zu Aufschweißungen und erhöhtem Werkzeugverschleiß [Gra85, Mei05].

Der Mensch mit seiner Qualifikation und Kompetenz sowie die peripheren Rahmenbedingungen (Zuschnittgenauigkeit, Einlegeposition, Richtzustand des Bleches, usw.) werden zwar ebenfalls als Einflussgrößen auf den Produktionsprozess angesehen, jedoch misst man ihnen keine große Bedeutung zu. Tab. 2-1 fasst die prozessbeeinflussenden Faktoren noch einmal systematisch zusammen.

Werkstoff	Werkzeug	Maschine	Schmierung	Mensch
Eigenschaften	**Abstimmung**	**Genauigkeit**	**Medium**	**Qualifikation**
Festigkeit	Blechhaltertragbild	Steifigkeit	Art	Ausbildung
Verfestigungsverhalten	Distanzierung	Führungsspiel	Viskosität	Erfahrung
Anisotropie	Ziehstäbe	Pinolentragbild	Produkt	
Elastizität				
Duktilität	**Wirkflächen**	**Bauart**	**Menge**	**Kompetenz**
	Geometrie	Ziehapparat	Mediumdruck	Erfahrung
	Rauheit	Leistung / Arbeitsvermögen	Abquetschdruck	Verantwortung
	Beschichtung	Anzahl der Wirkungen		
Abmessungen	**Genauigkeit**	**Parametereinstellungen**		**Organisation**
Geometrie	Steifigkeit	Presskraft		Methoden
Dicke	Führungsspiel	Blechhaltekraft bzw.		Kommunikation
	Verschleiß	Ziehkissendruck		Flexibilität
		Geschwindigkeiten		
Oberfläche	**Bauart**			**Anforderungen**
Topographie	einfach bzw.			Kosten
Textur	mehrfach wirkend			Termine
Rauheit	Komplexität			Qualität
	Methode			

Tab. 2-1 Einflussgrößen

2.1.2 Versagensarten

Bei nicht ausreichender Robustheit gegenüber den Schwankungen der zuvor beschriebenen Einflussgrößen ist der Fertigungsprozess nur schwer zu beherrschen. Durch diese mangelnde Reproduzierbarkeit kommt es immer wieder zu Fehlern bei der Umformung von Karosseriebauteilen. Falten, Einschnürungen, Risse, Maßabweichungen und Oberflächenfehler sind die häufigsten Versagensarten, welche im Verlauf des Umformprozesses auftreten können [Str94]. Eine Systematik der Qualitätsmängel stellt Abb. 2-1 dar.