

Kombination der SCS[®]-Technologie mit dem Maschinenfalzen zur Herstellung von markanten Fahrzeugaußenhautbauteilen mit erhöhter Beulfestigkeit

Dipl.-Ing. Severin Hönle⁽¹⁾, Dipl.-Ing. Apostolos Papaioanu⁽¹⁾, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Mathias Liewald MBA⁽¹⁾

(1) Institut für Umformtechnik, Universität Stuttgart, Holzgartenstr. 17, 70174 Stuttgart, Germany

Kurzfassung

Die Anforderungen an die Fertigung von modernen PKW-Karosserien sind in Folge der zunehmenden Kundenansprüche an die wahrnehmbare Verarbeitungsqualität im Exterieur und Interieur des Fahrzeugs sowie durch die strikten, legislativen Vorgaben in den Bezug auf Crashesicherheit und Kraftstoffverbrauch in den letzten Jahren stark angestiegen. Neben den ausschließlich technischen Gesichtspunkten der Fahrzeugentwicklung wie Crashesicherheit und Korrosionsbeständigkeit sind auch die wirtschaftlichen Aspekte der Fertigung und die Wahrnehmung charakteristischer Designmerkmale des Fahrzeuges durch den Kunden für die Fahrzeughersteller von großem Interesse. Die Problematik besteht hierbei in den oft unterschiedlichen Anforderungen an den Herstellprozess hinsichtlich Wirtschaftlichkeit der Fahrzeugproduktion auf der einen Seite und der Qualität des fertigen Außenhautbauteils, z.B. der sichtbare Spaltverlauf zwischen zwei Komponenten der Fahrzeugaußenhaut, auf der anderen Seite. In diesem Beitrag wird die Synthese beider Anforderungen untersucht. Hierzu wurde zunächst der konventionelle Herstellprozess einer PKW-Türe, bestehend aus der Formgebung des Außenteils durch Tiefziehen und dem anschließenden Zusammenbau von Innen- und Außenteil durch Falzen, betrachtet. Der konventionelle Tiefziehvorgang wurde anschließend mit Hilfe der FEM-Simulation durch einen speziellen, neuartigen Streckzieh-Formgebungsprozess substituiert und die erzielte Qualität der resultierenden Bauteile quantifiziert. Zur Quantifizierung der Bauteilqualität wurde der Radius der Falzschleife betrachtet. Die Untersuchung zeigt auf, dass durch den Einsatz eines Streckzieh-Formgebungsprozesses eine Erhöhung der Beulfestigkeit erzielt wird. Gleichzeitig erlaubt diese neuartige Prozesskette die vergleichsweise einfache Steigerung der durch den Kunden wahrgenommenen Qualität der Anbauteile durch die Reduzierung des Falzradius. Somit zeigt dieser Beitrag, dass die Synthese der ökonomischen und qualitativen Anforderungen an Karosserieanbauteile durch den Einsatz des neuartigen Streckziehverfahrens (SCS[®]) erreicht wird.

Einleitung

Der Produktwettbewerb im globalen Automobilmarkt ist heute durch die Vielzahl der verfügbaren Fahrzeugmarken, -modelle und -derivate geprägt. Während in den vergangenen Jahrzehnten die technischen Ausstattungsmerkmale ein wirksames Instrument zur Markendifferenzierung innerhalb eines Fahrzeugsegments und somit auch ein Kaufkriterium für den Kunden darstellten, sind die technischen Unterschiede heutiger Fahrzeuge für den Kunden nicht mehr eindeutig wiedererkennbar. Vielmehr findet die Kaufentscheidung des Kunden heute verstärkt auf einer emotionalen Ebene statt. Neben dem Markenimage, welches durch Werbung und Öffentlichkeitsarbeit geprägt wird, steht dabei das Fahrzeugdesign im Fokus der Fahrzeughersteller. Die Wahrnehmung des Fahrzeugkomforts und der Fahrzeugsicherheit wird von der funktionalen Gestaltung des Innenraums bestimmt. Das Design des Fahrzeugexterieurs vermittelt durch die klare Formensprache der Designlinien und -kanten den Charakter des Fahrzeugs (Sportlichkeit, Eleganz, Avantgardismus,...). Zu den wesentlichen Designmerkmalen der Außenhaut zählen neben Radien, Strukturen und Flächenübergängen dabei auch die Bauteilberandungen und die Spalte zwischen zwei angrenzenden Außenhautteilen, da diese ebenfalls zur Strukturierung der Fahrzeugproportion beitragen.

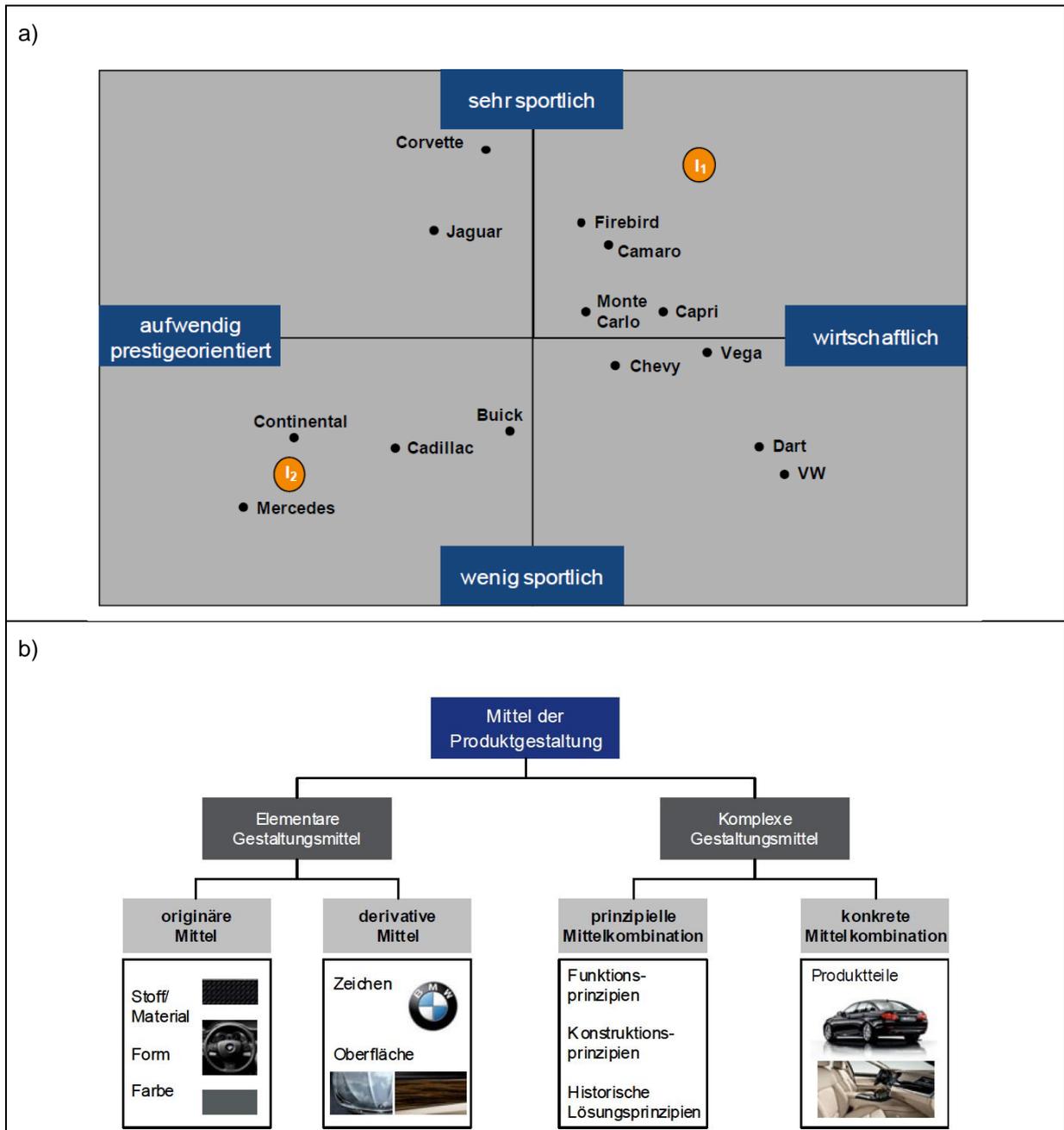


Abbildung 1: a) Zweidimensionales Modell zur Positionierung von Fahrzeugmarken nach [01] in [02]
 b) Mittel zur Produktgestaltung bezogen auf das Design von Fahrzeugen nach [03] in [02]

Die Wahrnehmung der Fahrzeugproportionen wird maßgeblich von den Spalten zwischen den einzelnen Karosserieanbauteilen wie Türen und Klappen geprägt. Aus diesem Grund ist auf einen harmonisch wirkenden Verlauf der Karosseriespalte mit einem entsprechenden Radienverlauf zu achten. Dabei stehen die Gleichmäßigkeit des Spalts, d.h. ein konstantes Spaltmaß, sowie ein geringer Bauteilversatz und auch die Ausführung der Bauteilumrandung im Vordergrund der kontinuierlichen Qualitätssicherung und Produktoptimierung. Diese geometrischen Merkmale werden im Rahmen der Qualitätssicherung im Automobilwerk erfasst und tragen wesentlich zur Fahrzeugbewertung bei. Generell werden kleine Spaltmaße mit hoher technischer Qualität und hoher Prozesskompetenz assoziiert. Ebenso gelten kleine Falzradien als optisch ansprechend. Die minimale Größe der Falzradien wird durch die ertragbare Dehnung auf der Außenfaser der Falzschlaufe begrenzt, bei der noch keine kritische Oberflächenschädigung (z.B. Anrisse) entsteht. Des Weiteren sind die Bauteileigenschaften aus den vorhergehenden Fertigungsschritten wie Tiefziehen und Abstellen wesentliche fertigungstechnische Randbedingungen des Falzprozesses.

Neben den emotionalen Kriterien der Kaufentscheidung sind jedoch auch die technischen Ansprüche der Kunden, z.B. Kraftstoffverbrauch und Sicherheitssysteme zu betrachten. Ebenso ist die Wertentwicklung des Fahrzeugs, die Alltagstauglichkeit und das Widerstandsvermögen gegen Umwelteinwirkungen und somit mögliche Reparaturkosten auf Grund von Hagel- oder Steinschlag, zu berücksichtigen. Ein anschauliches Beispiel dieser Umwelteinflüsse ist der Hagel- bzw. der Steinschlag. Diese äußeren, mechanischen Belastungen stellen hohe Anforderungen an die Bauteileigenschaften der Fahrzeugaußenhaut.

Die Außenhautbeplankungen von Fahrzeugkarosserien werden heutzutage hauptsächlich durch Tiefziehen hergestellt. Abhängig vom eingesetzten Werkstoff und dem Grad der Werkstoffverfestigung infolge der zahlreichen Umformprozesse während der Herstellung des Einzelteils resultieren unterschiedliche mechanische Eigenschaften der Bauteile hinsichtlich deren Beulfestigkeit und Beulsteifigkeit. Der Dehnungsbetrag in der Bauteilfläche, der mittels des konventionellen Tiefziehens erreicht wird und somit die Beulfestigkeit des Bauteils charakterisiert, kann durch die gezielte Erhöhung der Blechhalterkraft sowie den Einsatz von Ziehsicken gesteigert werden. Die Anwendung dieser Maßnahmen ist jedoch durch den engen Arbeitsbereich beim Tiefziehen, in dem weder Falten noch Reißen entstehen, stark eingeschränkt. Ein weiterer Ansatz, erhöhte Dehnungen in flachen Bauteilen zu realisieren, ist die Kombination von Streck- und Tiefziehverfahren innerhalb einer einzigen Umformstufe. Am Institut für Umformtechnik (IFU) der Universität Stuttgart wurde auf Basis dieser Verfahrenskombination eine neuartige Technologie entwickelt, die unter dem Namen SCS® (Short-Cycle-Stretch-Forming) bekannt ist. Die SCS®-Technologie ermöglicht durch vergleichsweise einfache Werkzeugtechnik eine wirtschaftliche Kombination des ebenen Reckens der Platine mit einem nachfolgenden Tiefziehvorgang in nur einem Pressenhub. Dieses Verfahren bietet somit die Möglichkeit die mechanische Widerstandsfähigkeit des Bauteils zu erhöhen.

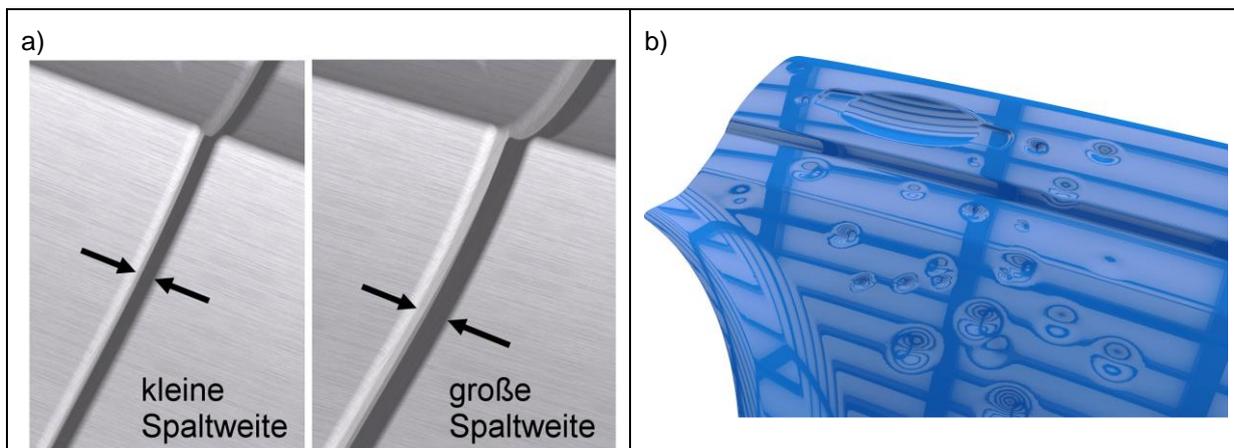


Abbildung 2: a) Karosseriespalt auf der Außenhaut mit kleiner bzw. großer Spaltweite
b) Fotorealistische Darstellung einer Fahrzeugtür mit Beulen infolge starker mechanischer Umwelteinwirkung in Form von Hagel

Problemstellung

Die praktische Umsetzbarkeit der SCS®-Technologie zum kombinierten Recken und Tiefziehen wurde bereits in [04] anhand einer Türaußenhautbeplankung aufgezeigt. Die hierfür entwickelte seriennahe Türgeometrie, siehe Abbildung 3a), weist alle wesentlichen Designmerkmale einer modernen Fahrzeugtüre auf. In der zweiten Entwicklungsstufe des Werkzeugs wurde durch die Anpassung der Rückhaltewirkung des Werkzeugs die Herstellung von reißen- und faltenfreien Bauteilen ermöglicht. Gleichzeitig wurde gezeigt, dass sich durch Optimierung des Platinenzuschnitts die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens im Vergleich zur ersten Entwicklungsstufe um ca. 1,6 % erhöhen lässt, ohne dass dabei die Bauteileigenschaften negativ beeinflusst werden [04]. Die praktische Umsetzbarkeit der SCS®-Technologie in der heutigen Serienproduktion sowie die erzielbare Verbesserung der mechanischen Bauteileigenschaften sind somit erwiesen.

In vorangegangenen Untersuchungen zum Falzen von Aluminiumplatten konnten mit Hilfe eines vereinfachten Versuchsaufbaus die Einflussparameter auf die Prozesssicherheit des Maschinenfalzens ermittelt werden. Dabei wurden moderne Aluminiumblechwerkstoffe und Falzanlagenparameter untersucht [05]. In den Arbeiten von Livatyali et al. [06, 07] wurde der Einfluss von zahlreichen Werkzeugparametern auf die erzielbare Qualität der Falzverbindung untersucht. Die Abhängigkeit der Schlaufenqualität von der Vorbeanspruchung des Blechwerkstoffs, welche aus den Prozessschritten Tiefziehen und Abstellen resultiert, wurde nicht untersucht.

Das Ziel der hier vorliegenden Arbeit bestand in der Kombination der SCS[®]-Technik mit dem Maschinenfalzen im Hinblick auf die Herstellung von Anbauteilen mit erhöhter Widerstandsfähigkeit gegen Umwelteinwirkung und erhöhter Markanz der Falzschlaufe. Diese gesteigerte Anmutung der Falzschlaufe soll durch die Herstellung kleinerer Falzradien infolge der vergleichbar großen Dehnungsbeträge im abgestellten Bauteilflansch des Außenhautbauteils erfolgen. Der Nachweis der verbesserten Anmutung von Designmerkmalen einer Außenhautkomponente erfolgt im Rahmen einer simulativen Studie. Im Folgenden wird die Modellierung der FEM-Prozesskette zum Falzen von SCS[®] - geformten Außenhautbeplankungen aus Stahl erläutert sowie die Qualität der damit hergestellten Falzschlaufe mit der eines konventionellen Fertigungsprozesses (Tiefziehen) verglichen.

Stand der Technik

SCS[®] – Technologie

Das Prinzip des SCS[®]-Verfahrens basiert auf einem zweiteilig ausgeführten Werkzeug, bei dem konvexe Formelemente während der Umformung ineinandergreifen und die Platine durch Biege- und Reibungsvorgänge eben vorrecken. Dieser Effekt wurde in [08] erstmals mit Hilfe eines vereinfachten Modells für Ziehsicken untersucht. Das Prinzip der Kombination von Streck- und Tiefziehen konnte bereits für zwei typische Vertreter der Fahrzeugaußenhautblechwerkstoffe aus Aluminium und Stahl nachgewiesen werden. Die dabei gemessene Vorreckung betrug ca. 4 % für AA6016 und ca. 9 % für DC04 [09, 10]. Auf diesen Ergebnissen aufbauend wurde ein größeres Versuchswerkzeug zur Herstellung einer Türaußenhaut konstruiert und angefertigt. Bei der Auslegung der Formelemente des Werkzeugs wurde die möglichst zuverlässige Kombination aus Biegeradius an den Formelementen und Ziehspalt unter Berücksichtigung der Nennblechdicke des Blechwerkstoffs ausgewählt [11].

Die Formgebung der Türaußenhaut mit Hilfe des SCS[®]-Verfahrens lässt sich in prinzipiell zwei Prozessschritte unterteilen. Im ersten Prozessschritt wird die Platine infolge von Biege- und Reibungsvorgängen innerhalb der Formelemente des Werkzeugs eben vorgereckt. Der Betrag der Vorreckung hängt im Wesentlichen von ihrer Größe und der gewählten Geometrie der Formelemente ab. Im zweiten Prozessschritt wird die vorgereckte Platine durch die mittig angeordneten Werkzeugelemente im selben Pressenhub tiefgezogen. Die zur Formgebung im zweiten Prozessschritt notwendige Rückhaltekraft der Platine wird in Hauptformrichtung durch die Formelemente aufgebracht und in Nebenformrichtung durch zusätzliche, quer angeordnete Formelemente. Für den gesamten Prozess werden demnach kein Blechhalter und auch kein Ziehkissen der Tiefziehpresse benötigt. Der Streckziehvorgang zur Vorreckung der Platine wird somit im selben Hub realisiert wie der Tiefziehvorgang zur Formgebung, die einzelnen Prozessschritte erfolgen jedoch zeitlich versetzt [12]. Das oben genannte Versuchswerkzeug ist in Abbildung 3b) dargestellt.

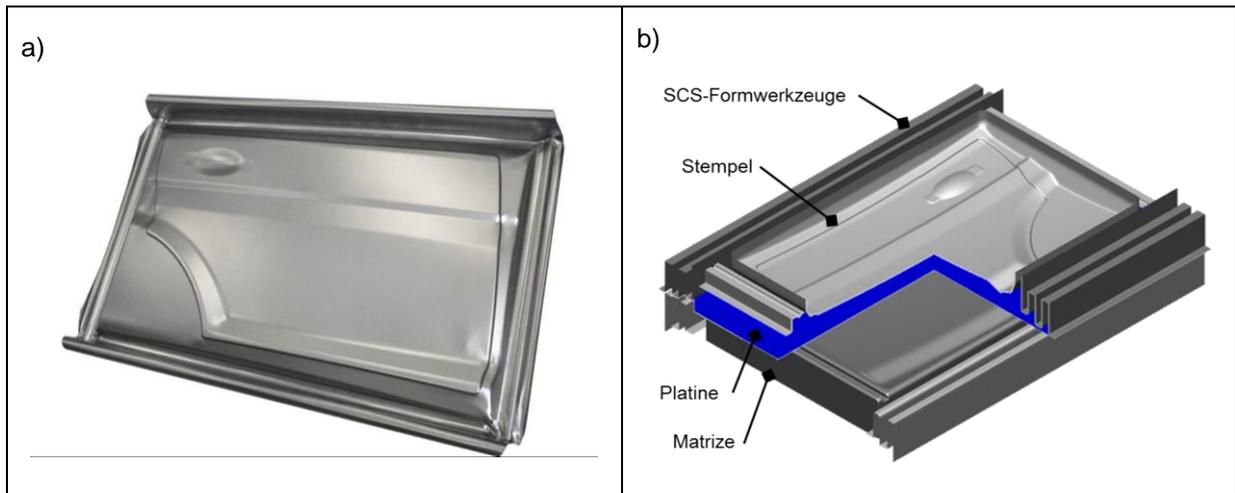


Abbildung 3: a) Mit Hilfe des SCS[®]-Verfahrens hergestellte Türäußenhautbeplankung aus Stahl (DC04)
 b) Versuchswerkzeug zur Herstellung von Türäußenhautbeplankungen mit Hilfe der SCS[®]-Technik

Maschinenfalzen

Das Falzen gehört zu den in DIN 8593 definierten Fügeverfahren durch Umformen. Im PKW-Karosseriebau wird das Falzen zur Verbindung einer Außenhautbeplankung mit einem bauteilverstärkenden Strukturteil eingesetzt [13]. Das Maschinenfalzen lässt sich in drei Einzelschritte unterteilen. Im ersten Prozessschritt wird das zumeist um 90° abgestellte Außenhautblech in die Falzvorrichtung eingebracht und das Strukturbauteil in das Außenhautblech eingelegt. Dieser Vorgang wird als Schachteln bezeichnet. Im zweiten Schritt wird der abgestellte Flansch durch die horizontale Relativbewegung der Vorfalzbacke weiter umgebogen, hierbei wird vom Vorfalzen gesprochen [14]. Die hierbei erzielten Restschließwinkel zwischen 30° und 60° werden während der Planung der Falzmethode unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Anzahl an Vorfalzvorgängen festgelegt. Im abschließenden Fertigfalzen wird das Außenblech durch die Bewegung der Fertigfalzbacke vollständig umgebogen, so dass es auf dem Flansch des Innenteils aufliegt. Durch den entstehenden Formschluss sowie den im Flanschbereich applizierten Klebstoff werden Außen- und Innenblech fest miteinander verbunden. Der Falzvorgang ist in Abbildung 4 nach [15] dargestellt.

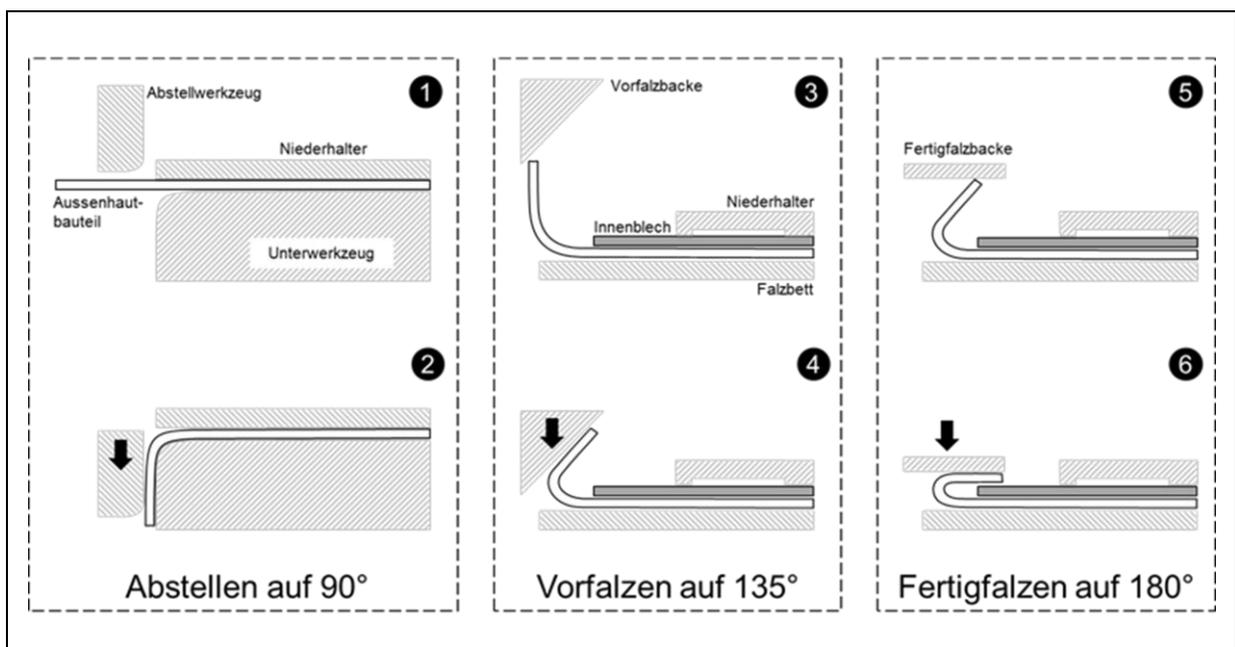


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Maschinenfalzprozesses nach [15]

Simulative Untersuchung zur Steigerung der Anmutung von Falzschlaufen durch die Kombination von SCS[®]-Technik mit dem Maschinenfalzen

Das Ziel dieser Arbeit ist die Qualifizierung der neuartigen Prozesskette zur Herstellung von Karosserieanbauteilen mit Hilfe der SCS[®]-Technik im Hinblick auf die erreichbare Anmutung der Bauteilumrandung der zusammengebauten Komponente. Diese durch den Kunden wahrnehmbare Bauteilqualität wird im Rahmen dieser simulativen Studie durch den sichtbaren Falzradius beschrieben. Im Rahmen dieser Studie wurde die Herstellung eines Karosserieanbauteils aus Stahl untersucht. Für das Außenblech wurde eine Stahllegierung (DC04), Nennblechdicke 0,8 mm, verwendet. Die Blechdicke des Innenteils beträgt 1,0 mm.

Hierzu wurde zunächst die konventionelle Prozesskette zur Herstellung von Karosserieanbauteilen, bestehend aus Tiefziehen, Abstellen, Vor- und Fertigfalzen simulativ untersucht (Prozesskette 1). Die Ergebnisse dieser Untersuchung dienen im späteren Vergleich der Fertigungsverfahren als Referenz. In einem zweiten Schritt ist das Tiefziehen des Außenteils durch den neuartigen SCS[®]-Formgebungsprozess substituiert worden, siehe Abbildung 5. Der anschließende Falzvorgang entspricht der konventionellen Prozessfolge (Prozesskette 2).

Der nachfolgende Vergleich der erzielten Falzradien am Ende der jeweiligen Prozesskette, zeigt aufgrund der identischen Vorgänge beim Abstellen, Vor- und Fertigfalzen, die Vor- bzw. Nachteile der eingesetzten Verfahren auf.

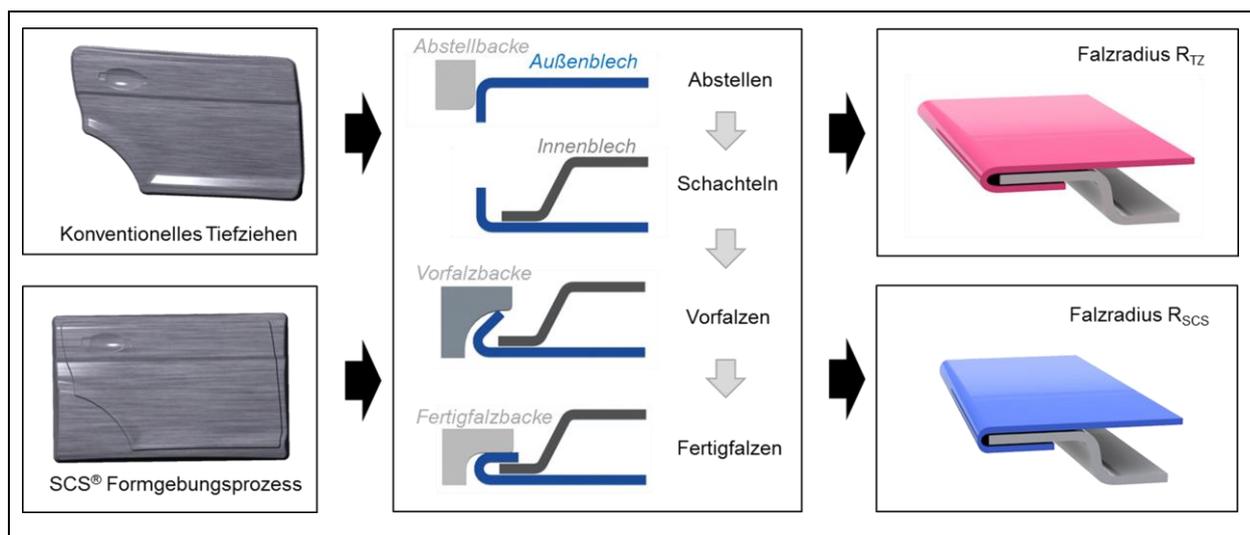


Abbildung 5: Prozessfolge in der Simulation der konventionellen Prozesskette und der SCS[®]-Prozesskette zur Herstellung eines Karosserieanbauteils

Prozesskette 1: Konventionelles Tiefziehen des Außenhautbauteils

Die Untersuchung des Tiefziehens in der konventionellen Prozesskette wurde mit Hilfe der Software AutoForm R3.1 durchgeführt. Das Außenblech wurde in der sog. Hut-Lage gezogen. Die Ziehtiefe betrug circa 45 mm. Die Bewertung des Tiefziehvorgangs mit Hilfe der für DC04 bereitgestellten Standard FLC (Forming Limit Curve) zeigt kein Überschreiten der Werkstoffgrenzwerte. Das Ergebnis der Simulation der konventionellen Prozessfolge ist in Abbildung 6 links dargestellt. Im nachfolgenden Falzprozess werden nur noch ausgewählte Bereiche der Tür (Bereiche A, B, C) weiter untersucht. Der prognostizierte Dehnungsbetrag und die momentane Blechdicke in diesen Bereichen werden für die nachfolgende Simulation des Falzens weiterverwendet.

Prozesskette 2: Herstellung des Außenhautbauteils mit Hilfe der neuartigen SCS®-Technik

Für die Simulation des SCS®-Formgebungsprozesses wurde die Softwarelösung Pam-Stamp 2G v2012.1 der Engineering System International GmbH (ESI GmbH) verwendet. Dieses Softwarepaket wurde in vorangegangenen Untersuchungen am Institut für Umformtechnik (IFU) bereits erfolgreich für dieses Anwendungsgebiet validiert. Der Formgebungsprozess wird, ebenso wie das Tiefziehen, mit der Annahme steifer Werkzeuge und mit Hilfe von Schalenelementen simuliert. Die Ziehtiefe des Bauteils beträgt ebenfalls 45 mm. Die Ergebnisse der Simulation, hier die Verteilung der plastischen Dehnung, sind in Abbildung 6 rechts dargestellt. Die Bewertung des Simulationsergebnisses mit Hilfe der FLC zeigt, dass kein Werkstoffversagen zu erwarten ist.

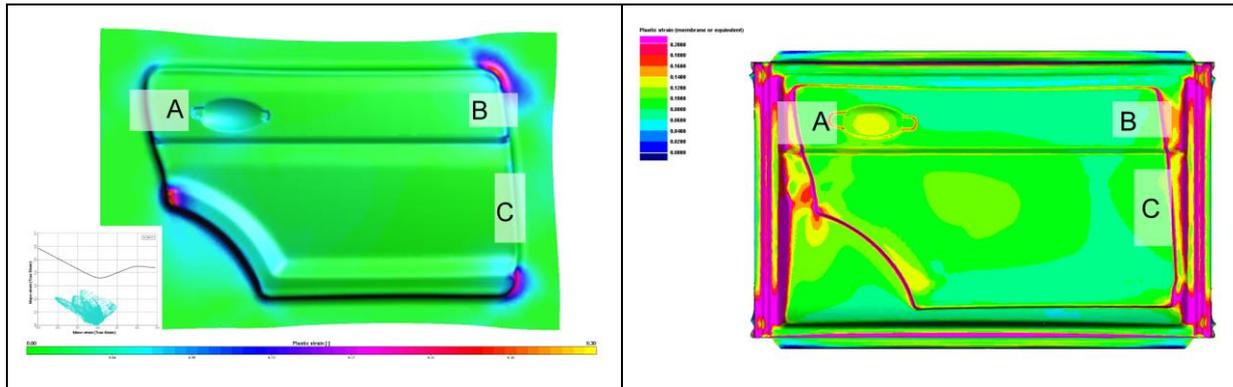


Abbildung 6: Ergebnisse der Simulation des Tiefziehens (links) und des SCS®-Formgebungsprozesses (rechts) für ein Karosserieblechteil (Türe) mit identischer Ziehtiefe für DC04 der Nennblechdicke 0,8 mm

Vergleich der Herstellung des Außenbauteils in Prozesskette 1 und Prozesskette 2

Vor der Simulation des Falzens werden die Ergebnisse der Einzelteilherstellung mit einander verglichen. Hierzu werden die Bauteilbereiche A bis C betrachtet. Die plastischen Dehnungsbeträge (φ_{TZ} , φ_{SCS}) in diesen Bereichen, welche nach dem Beschnitt den Bauteilflansch bilden, werden in Tabelle 1 genannt. Der Vergleich zeigt, dass in den untersuchten Bauteilbereichen der konventionellen und der neuartigen SCS®-Prozesskette unterschiedliche Dehnungsbeträge vorhergesagt werden. In allen Bauteilbereichen werden dabei mit dem SCS®-Verfahren sichtbar höhere Dehnungsbeträge erreicht ($\varphi_{TZ} < \varphi_{SCS}$). Die ermittelten Dehnungsbeträge in den zu untersuchenden Bauteilbereichen A bis C der Fahrzeugtür unterscheiden sich innerhalb der Resultate der jeweiligen Prozesskette nur marginal. Für die anschließende Falzsimulation wird daher nur der Mittelwert (MW) nach dem Tiefziehen bzw. nach dem SCS®-Formgebungsprozess betrachtet.

Tabelle 1: Dehnungsbeträge in der Simulation des Tiefziehens bzw. der SCS®-Formgebung in den untersuchten Bauteilbereichen A bis C sowie deren Mittelwert (MW).

Bauteilbereich	A	B	C	MW
Plastischer Dehnungsbetrag nach dem Tiefziehen (φ_{TZ})	0,018	0,020	0,013	0,017
Plastischer Dehnungsbetrag nach der SCS®-Formgebung (φ_{SCS})	0,095	0,091	0,090	0,092

Aufbau der Falzsimulation für Prozesskette 1 und Prozesskette 2

Die Simulation des Abstellvorgangs des geraden Bauteilabschnitts wird für beide Prozessketten mit identischen Rahmenbedingungen durchgeführt. Der Abstellradius am Stempel beträgt $R_{ab} = 1,5$ mm, der Abstellschlitz beträgt 1,10 mm. Beim Vor- und Fertigfalzen werden ebenfalls identische Parameter gewählt. Während des Vorfalzens wird der abgestellte Bauteilflansch bis zu einem Restschließwinkel von 40° umgebogen. Hierfür wird eine um 45° geneigte, ebene Vorfalzbacke verwendet. Das

abschließende Fertigfalzen erfolgt mit einer ebenen Fertigfalzbacke, die den Flansch bis zum Erreichen des Nennpackmaßes weiterbiegt.

Die Modellierung beider Umformoperationen erfolgte unter der Annahme starrer Werkzeuge. Für die Modellierung des Außenblechs wurden Belytschko-Schalenelemente verwendet, welche bereits in [16] für den Einsatz in der Falzsimulation validiert wurden. Zur möglichst exakten Vorhersage der Schlaufengeometrie wurde eine Elementkantenlänge von 0,1 mm gewählt, somit wird der zu erwartende Falzradius numerisch stabil durch circa 15 Elemente beschrieben. Für die Kontaktbedingungen zwischen den Werkzeugen und dem Bauteil während des Abstellvorgangs sowie des Vor- und Fertigfalzens werden typische Kenngrößen gewählt. Die Nennblechdicke des als starren Körper modellierten Innenblechs beträgt 1,0 mm.

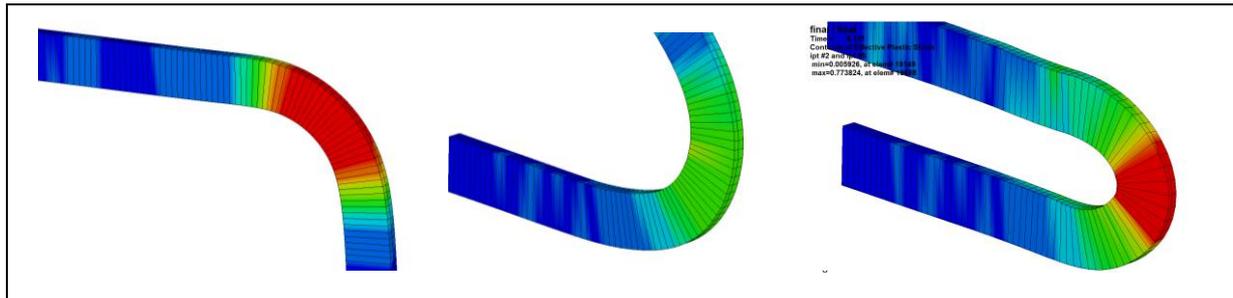


Abbildung 7: Zweidimensionale Modellierung der Falzschleufe in den Prozessschritten Abstellen, Vor- und Fertigfalzen

Ergebnisse der Falzsimulation für Prozesskette 1 und Prozesskette 2

Die für den Kunden wahrnehmbare Qualität der Falzschleufe wird durch die Größe des erzielten Radius an der Falzschleufe bestimmt. Zur Bestimmung dieses Radius wird eine virtuelle Schnittebene, deren Normalenvektor dem Umriss des Bauteils folgt, erzeugt. Ausgehend von diesem Schnitt wird zunächst die Außenkontur der Falzschleufe, sowie der am fertigen Fahrzeug sichtbare Bereich der Falzschleufe bestimmt. Der Radius dieses Bereiches wird im Anschluss, durch die Beschreibung der Außenkontur durch einen Best-Fit-Kreis, messtechnisch bestimmt. Die resultierenden Bauteilschnitte sowie die daraus bestimmten Falzradien im später sichtbaren Bereich der Falzschleufe R_{TZ} und R_{SCS} sind in Abbildung 8a) dargestellt.

Der Vergleich der gemessenen Radien zeigt, dass der erhöhte Dehnungsbetrag im Bauteilflansch der SCS[®]-Türe eine sichtbare Reduzierung des fertig ausgeformten Schlaufenradius bewirkt. Dies ist gleichbedeutend mit einer höheren Schlaufenqualität. Die Verbesserung gegenüber dem konventionellen Fertigungsprozess beträgt 0,1 mm bzw. 6,1 %.

Die Ergebnisse der Radienmessung werden durch die fotorealistische Darstellung der beiden Falzschleufen gestützt. Die Verbesserung der Schlaufenqualität lässt sich darin direkt erkennen. Der kleinere Schlaufenradius der SCS[®]-Türe führt zu einer Verschiebung der Lichtkante des Schlaufenradius, welche der Kunde als Beginn der Bauteilumrandungszone wahrnimmt, in Richtung des Bauteilumrisses, Abbildung 8b). Diese Reduzierung des sichtbaren Schlaufenbereichs, ohne Verlust der globalen Maßhaltigkeit (Umriss) des Bauteils, wird vom Betrachter als höhere Ausführungsqualität des gesamten Anbauteils wahrgenommen.

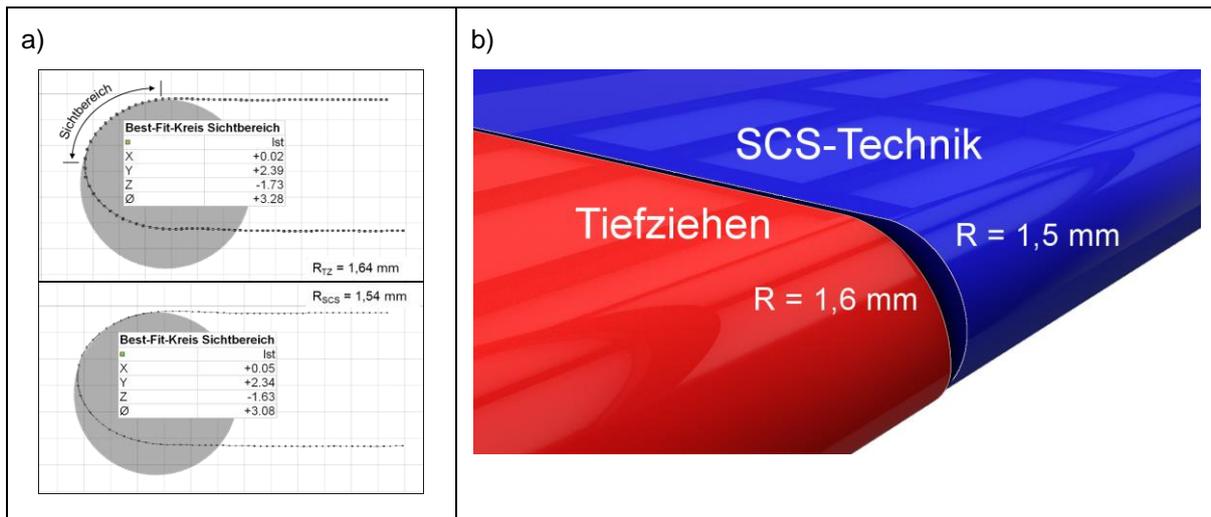


Abbildung 8: a) Gemessene Falzradien mit Hilfe des Best-Fit-Kreises im Sichtbereich der Falzschlaufe
 b) Für den Betrachter wahrnehmbare Verringerung des Schlaufenradius durch die SCS®-Formgebung (Vergrößerte Darstellung)

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde die Prozesskette zur Herstellung von Karosserieanbauteilen aus Stahl im Hinblick auf die Qualität der Falzschlaufe am zusammengebauten Fertigteile der Fahrzeugaußenhaut simulativ untersucht. Hierbei wurde sowohl die konventionelle Prozesskette, in welcher das Außenhautteil durch Tiefziehen hergestellt wurde, als auch eine neuartige, modifizierte Prozessfolge, mit integrierter SCS®-Formgebung, betrachtet. Der Abstellprozess und das Falzen, bestehend aus Vor- und Fertigfalzen, wurden in beiden untersuchten Prozessfolgen mit der identischen Falzmethode durchgeführt. Anhand der Simulationsergebnisse des Tiefziehens bzw. des SCS®-Prozesses wurde die plastische Dehnung im Randbereich des Bauteils, dem späteren Bauteilflansch bestimmt. Die Resultate zeigen, dass im SCS®-Formgebungsprozess höhere Dehnungsbeträge erreicht werden.

Ausgehend von diesen Werten wurde das Falzen eines geraden Bauteilabschnitts mit den für die jeweilige Prozessfolge typischen plastischen Dehnungsbeträgen des Außenhautteils aufgebaut. Der Vergleich der fertig umgeformten Falzschlaufen zeigt, dass die erzeugten Radien an der Falzschlaufe maßgeblich vom Herstellprozess des Außenteils bestimmt werden. So führt die erhöhte plastische Dehnung im Außenteil, die durch die SCS®-Formgebung erzeugt wird, zu einem geringeren Falzradius. Die Verbesserung gegenüber der konventionellen Prozessführung beträgt circa 6 %.

Diese Untersuchung zeigt somit, dass zwischen der Steigerung der mechanischen Widerstandsfähigkeit des Außenhautteils durch die SCS®-Formgebung und der Steigerung der für den Kunden sichtbaren Bauteilqualität ein symbiotischer Zusammenhang besteht. Die Erhöhung der Beulfestigkeit durch den erhöhten Dehnungsbetrag bei Einsatz der SCS®-Technik hat auch die Reduzierung des Falzschlaufenradius am fertigen Bauteil und somit die Erhöhung der Bauteilqualität zur Folge. Das SCS®-Verfahren bietet somit das Potential, Bauteile mit erhöhten Anforderungen an die Qualität der Bauteilumrandung und an die mechanischen Eigenschaften kostengünstig herzustellen.

Literaturverzeichnis

- [01] Wind, Y.: Product policy: Concepts, Methods, and Strategy; Addison Wesley; 1982; ISBN: 978-0201083439.
- [02] Esch, F.-R.: Strategie und Technik des Automobilmarketing; Springer Gabler Verlag; 2013; ISBN: 978-3834933911.
- [03] Koppelman, U.: Produktmarketing: Entscheidungsgrundlagen für Produktmanager; 6. Auflage; Springer Verlag; 2013; ISBN: 978-3540671473.
- [04] Papaioanu, A. ; Liewald, M.: Weiterentwicklung eines SCS Streck- und Tiefziehwerkzeuges zur Herstellung von Türäußenhautteilen. UTFscience; Meisenbach GmbH Verlag; Heft I/2010; Bamberg, 2010.
- [05] Hönle, S.; Liewald, M.: Beitrag zur Bewertung der Biegebeanspruchung beim Falzen von Aluminiumblechwerkstoffen. UTFscience; Meisenbach GmbH Verlag; Heft II/2013; Bamberg, 2013.
- [06] Livatyali, H.; Laxhuber, T.; Altan, T.: Experimental investigation of forming defect in flat surface-convex edge hemming. Journal of Materials Processing Technology; Volume 146 Issue 1; 2004.
- [07] Livatyali, H.; Müderrisoglu, A; Ahmetoglu, M. A.; Akgerman, N.; Kinzel, G. L.; Altan, T.: Improvement of hem quality by optimizing flanging and pre-hemming operations using computer aided die design. Journal of Materials Processing Technology; Volume 98 Issue 1, 2000.
- [08] Vlahovic, D.; Liewald, M.: Development of New Stretch-Forming Technologies for Car Body Outer Skin Panels. Proceedings of the 8th Stuttgart International Symposium "Automotive and Engine Technology"; Stuttgart; Germany; 2008.
- [09] Papaioanu, A.; Liewald, M.: Study on SCS Process by Variation of Geometrical and Tribological Parameters of Forming Die. IDDRG Conference; Bilbao; Spain; 2011.
- [10] Papaioanu, A.; Schleich, R.; Liewald, M.: Improved Tool development Process for novel SCS Technology for Aluminium Sheet Metal. 7th European LS-DYNA Conference; Salzburg; Austria; 2009.
- [11] Papaioanu, A.; Liewald, M.: Influence of Process Parameter Variation on SCS Process. 4th ICMEN Conference; Thessaloniki; Greece; 2011.
- [12] Papaioanu, A.; Liewald, M.: SCS - Innovativer Herstellungsprozess für Außenhautteile. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Carl Hanser Verlag GmbH & Co.KG; München; 2011.
- [13] Hönle, S.; Liewald, M.: Prozesssichere Gestaltung von Maschinenfalzprozessen unter Berücksichtigung der Werkstoffbeanspruchung von Karosseriekomponenten aus Blech. 20. Sächsische Fachtagung Umformtechnik Dresden; Tagungsband; Dresden 27.-28. Nov. 2013.
- [14] Le Maout; N., Thullier, S.; Manach, P. Y.: Classical and Roll-hemming Process of Pre-strained Metallic Sheets. Experimental Mechanics; Volume 50 Issue 7; 2010; Seite 1087-1097; doi:10.1007/s11340-009-9297-7.
- [15] Liewald, M.; Hönle, S.; Sindel, M.: Untersuchung des Kraft- und Energiebedarfs beim Falzen von Aluminiumblechwerkstoffen. UTFscience; Meisenbach GmbH Verlag; Heft IV/2013; Bamberg, 2013.
- [16] Debuire, F.; Zwilling, V.: Experimental and Numerical Approaches of Hemming: Application on Steel and Aluminum 6016; SAE Technical Paper 2002-01-2084; 2002; doi:10.4271/2002-01-2084.