

Entwicklung eines Bewertungsschemas für Karosseriefertigungsvarianten anhand von B-Säulen Strukturen

DIPLOMARBEIT

von

Steffen Raschka



Technische Universität Graz

Institut für Werkzeugtechnik & Spanlose Produktion

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralf Kolleck

Betreuer:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralf Kolleck

Graz, November 2010

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 21. November 2010

(Unterschrift)

Englische Fassung:

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am 21 November 2010

(signature)

Danksagung

Ein besonderer Dank gebührt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing Ralf Kolleck, der mir während meiner langjährigen Tätigkeit am Institut T&F immer geholfen hat und durch seine Kontakte in die Industrie diese Arbeit erst möglich machte.

Ich möchte mich hier bei meinen Eltern, meiner Frau und natürlich meinen Kindern bedanken, die viel Geduld mit mir hatten.

Außerdem möchte ich allen Freunden, Kollegen und meinen Betreuern am Institut T&F danken, ohne deren Hilfe diese Arbeit nicht entstanden wäre.

Kurzfassung

In dieser Arbeit werden, mit dem Ziel der späteren Übertragung auf andere Bauteile, Fertigungsverfahren für die Baugruppe B-Säule qualitativ und quantitativ analysiert. Diese Baugruppe spiegelt alle wichtigen Eigenschaften von Karosseriebauteilen im Allgemeinen wieder und daher sind alle mit diesem Bauteil gewonnenen Erkenntnisse leicht auf andere Baugruppen in der Fahrzeugkarosserie übertragbar. Im Rahmen der Arbeit entstand aus der rein qualitativen Bewertung eine quantitative Bewertung von B-Säulen Konzepten mit Hilfe eines Rechenwerkzeugs. Daraufhin wurden in dieser Arbeit einige für die Bauteilkosten relevanten Einflussfaktoren bestimmt, analysiert, gewichtet und anschließend verschiedene Fertigungsverfahren auf ihre spezifischen Kosten hin mit diesen Werten untersucht. Es wurden verschiedene Vergleichsrechnungen durchgeführt, um die Eignung der Berechnung anhand unterschiedlicher Herstellungsverfahren zu bewerten. Die Ergebnisse werden mit dem Referenzbauteil der B-Säule des Passat 3C4 verglichen und bewertet.

Abstract

As no common model for the evaluation of different production methods for automotive body parts existed, this study aims to develop such a model. For this purpose the Passat 3C4 B-pillar was chosen as a reference and was analyzed. Because a B-pillar possesses all common features of other automotive body parts, the results of this analysis can be transferred easily onto other components. Aim of this study is to determine, to analyze and to weigh those factors which influence the total costs of a component. Subsequently several production methods are analyzed using these parameters. Several comparing calculations are made to assess the adequacy of the calculation model for different production methods. After being compared to the Passat 3C4 B-Pillar these results will be evaluated.

Inhaltsverzeichnis

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	II
DANKSAGUNG.....	III
KURZFASSUNG	IV
ABSTRACT.....	V
1 AUSGANGSITUATION.....	8
2 ZIELSTELLUNG.....	10
3 METHODEN UND LÖSUNGSWEG	12
4 STAND DER TECHNIK	15
4.1 TECHNOLOGIEN BEI VOLKSWAGEN	19
4.1.1 Werkstoffe für B-Säulen	20
4.2 TECHNOLOGIEN BEI WETTBEWERBERN	24
4.2.1 Gebrauchseigenschaften	24
5 ANALYSE BESTEHENDER KAROSSERIEN	26
5.1 AKTUELLE KAROSSERIEKONZEPTE	26
5.2 AKTUELLE B-SÄULENKONZEPTE	28
6 VERGLEICH DER FERTIGUNGSVERFAHREN VON VOLKSWAGEN MIT DER KONKURRENZ	31
6.1 EINGESETZTE FERTIGUNGSVERFAHREN BEI VW	31
6.1.1 Umformen.....	33
6.1.2 Schneiden	35
6.2 FÜGEVERFAHREN BEI VOLKSWAGEN.....	36
6.2.1 Laserlöten CMT	37
6.2.2 Laserschweißen.....	38
6.2.3 Widerstandpunktschweißen (WIP)	39
6.2.4 Schutzgasschweißen	41
6.2.5 Kleben	41
6.2.6 Hybridfügen.....	42
6.2.7 Stanznieten	43
6.2.8 Durchsetzfügen (Clinchen).....	44
6.2.9 Löten.....	45
6.3 HERSTELLUNGSVERFAHREN FÜR HALBZEUGE BEI VOLKSWAGEN	45
6.3.1 Platinen	45
6.3.2 Tailored Rolling (TRB).....	45
6.3.3 Tailored Welding (TWB)	48
6.4 INNOVATIVE FERTIGUNGSVERFAHREN DER WETTBEWERBER	50
6.4.1 Tailored Tubing.....	50
6.4.2 Patchworking	51

6.4.3	<i>Herstellung von Profilstrukturen</i>	54
6.4.4	<i>Einsatz von Kunst- oder Verbundstoffstrukturen</i>	55
6.4.5	<i>Feingießen</i>	56
6.4.6	<i>Einsätzen von Leichtmetallschaumkörpern</i>	57
6.4.7	<i>Laserbiegen</i>	58
6.4.8	<i>Reibührschweißen (FSW)</i>	59
6.5	ZUSAMMENFASSUNG DER FERTIGUNGSVERFAHREN.....	61
7	ERMITTLUNG UND AUSWERTUNG DER WIRTSCHAFTLICHEN EINFLUSSFAKTOREN UND DEREN KOMPLEXER WECHSELWIRKUNGEN	62
8	ENTWICKLUNG DES BERECHNUNGSWERKZEUGS	66
8.1	NÖTIGE EINGABEPARAMETER.....	66
8.2	EINSCHRÄNKUNG DER EINGABEPARAMETER.....	69
8.2.1	<i>Fügekosten</i>	69
8.2.2	<i>Halbzeugkosten</i>	70
8.2.3	<i>Werkzeugkosten</i>	71
8.2.4	<i>Gewicht</i>	72
8.2.5	<i>Energieverbrauch</i>	73
8.2.6	<i>Crashsicherheit</i>	74
8.2.7	<i>Werkstoffkosten</i>	74
8.2.8	<i>Investitionen</i>	76
8.2.9	<i>Taktzeiten</i>	77
8.2.10	<i>Umweltaspekte</i>	77
8.2.11	<i>Korrekturfaktor</i>	78
8.3	ENTWICKLUNG DER BERECHNUNGALGORITHMEN.....	79
8.3.1	<i>Umformkosten</i>	81
8.3.2	<i>Verschnittkosten</i>	82
8.3.3	<i>Fügekosten</i>	82
8.3.4	<i>Werkzeugkosten</i>	83
8.3.5	<i>Halbzeugkosten</i>	83
8.4	BERECHNUNGEN VON FERTIGUNGSVARIANTEN.....	84
8.4.1	<i>Einschalig XIP, + Verstärkung MSW</i>	86
8.4.2	<i>Variante 1-Schalig klassisch MSW</i>	87
8.4.3	<i>Variante Zwei-Schalig klassisch MSW</i>	88
8.4.4	<i>Patch + Verstärkung DOCOL</i>	89
8.4.5	<i>Mit Strukturschaum klassisch</i>	90
9	BERECHNUNGSERGEBNISSE	92
10	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	94
11	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	98
12	LITERATURVERZEICHNIS	100

1 Ausgangssituation

In der Automobilindustrie gibt es viele verschiedene Verfahren zur Herstellung von Karosseriebauteilen. Abhängig von den Schwerpunkten, die die Unternehmen setzen, werden unterschiedliche Produktionsverfahren, Werkstoffe, Fügeverfahren gewählt. Selbst innerhalb einzelner Konzerne gibt es, abhängig von der Fahrzeugplattform, ganz unterschiedliche Herstellungsverfahren. Wird viel Wert auf die Kosten gelegt, wie es zum Beispiel bei Großserienfahrzeugen im unteren Preissegment wichtig ist, werden ganz andere Karosseriekonzepte als zum Beispiel für Kleinserien von hochpreisigen Sportwagen gewählt.

Bisher gibt es im Volkswagenkonzern kein eindeutiges objektives Schema zur Kombination von wirtschaftlicher und technischer Bewertung eines Herstellprozesses für Karosseriebauteile in der Kleinserienfertigung. Von einer Kleinserienfertigung wird bei Volkswagen bei einem Produktionsvolumen von nicht mehr als 50.000 Fahrzeuge/a gesprochen. Für die Großserie liegen bereits umfangreiche Erkenntnisse im Volkswagenkonzern vor.

Volkswagen ist traditionell ein Großserienhersteller. Am Anfang der Konzerngeschichte hat Volkswagen lediglich ein einziges Produkt erzeugt, den Volkswagen Käfer, weshalb in diesem Bereich großes Erfahrungswissen vorliegt. Die Kleinserienfertigung zählt nicht zu den Kernkompetenzen von Volkswagen.

Die Auswahl und Bewertung von Karosseriekonzepten wird bei Volkswagen durch die Großserie bestimmt. Im Anschluss daran werden die Herstellungsverfahren gewählt. Erst wenn das Karosseriekonzept gewählt ist, kann über das Fertigungsverfahren nachgedacht werden.

Die Auswahl der Fertigungsverfahren für das gewählte Karosseriekonzept hängt stark von der Meinung der Konstrukteure und der Firmenphilosophie in diesem Bereich ab. Im Bereich des Karosseriebaus arbeiten viele verschiedene Fachrichtungen zusammen. An der Entstehung der

Karosserie sind Designer, Fahrzeugsicherheitsexperten, verschiedene Simulationsabteilungen, Werkstoffwissenschaftler, die Anlagenbeschaffung, Umformtechniker, Fügetechniker, Lackexperten und Betriebswirte beteiligt. Jede dieser einzelnen Abteilungen hat ihr spezifisches Fachwissen im Bereich des Karosseriebaus, das nicht unbedingt in voller Gänze mit den angrenzenden Abteilungen geteilt wird. Eine klare, eindeutige und sachliche Analyse des Herstellungsprozesses von einzelnen Karosseriebauteilen fand bisher nicht abteilungsübergreifend statt. Es wurde bisher anhand von Schätzungen und nach einer Art Kuppelkalkulation gearbeitet, um die Herstellungsprozesse für Karosseriebauteile zu bewerten. Eine echte Prozesskostenrechnung für Karosseriebauteile und Karosseriebaugruppen fand nicht statt. Die Daten, die für eine vollständige Berechnung nötig sind, wurden noch nicht über den gesamten Herstellungsprozess erhoben. Es scheiterte oft an der sehr komplexen Ausgangssituation. Allein im Bereich der direkt an der Wertschöpfung beteiligten Abteilungen gab es keine einheitlichen Daten.

Dies aus dem Grund, dass Karosseriebauteile in unterschiedlichsten Standorten auf der Welt und auf teilweise sehr unterschiedlichen Anlagen und unter unterschiedlichen Ausgangsbedingungen gefertigt werden. Außerdem ist der Automatisierungsgrad nicht in jedem Standort gleich. Die Kosten für manuelle Tätigkeiten unterscheiden sich ebenfalls. Die Halbzeugkosten sind auch nicht überall gleich und es gibt noch viele weitere abweichende Einflusskriterien. Diese sehr komplexe Situation war Ausgangspunkt zur Erstellung eines standortunabhängigen, kombiniert technisch-wirtschaftlichen Bewertungsschemas für Karosseriebauteile am Beispiel der B-Säule.

2 Zielstellung

Ziel dieser Arbeit ist es anhand der B-Säule, als von Volkswagen ausgewählter Baugruppe der Karosserie, die Entwicklung einer Methodik zum wirtschaftlichen Vergleich von Herstellungsverfahren für Karosseriebauteile zu schaffen. Ziel ist es einen Überblick über unterschiedliche Herstellungsvarianten für Kleinserienbauteile zu schaffen und die Kostentreiber zu bestimmen. Die B-Säule des Passat 3C4 soll als repräsentatives Referenzkarosseriebauteil dienen und soll mit den zu untersuchenden Varianten verglichen werden. Dazu sollen schematisch verschiedene Herstellungskonzepte für B-Säulen qualitativ untersucht und bewertet werden. Es soll eine objektive wirtschaftliche Bewertung ausgewählter, an der Herstellung eines Karosseriebauteils beteiligter, Abteilungen und Teilprozesse möglich sein.

Die qualitativen Eigenschaften von in der Arbeit untersuchten B-Säulen-Konzepten sollen für die Serienfertigung vergleichbar mit dem Referenzbauteil des Passat 3C4 gemacht werden. Dadurch soll das Informationsdefizit im Bereich der Kleinserienfertigung, das entspricht bei Volkswagen ca. 50.000 Fahrzeugen/anno, ausgeglichen und eine Basis für die Berechnung weniger bekannter Herstellungsverfahren gelegt werden. Eine globale quantitative Bewertung der Kosten, also unter Einbeziehung aller Herstellungs- und Folgekosten, ist das Ziel dieser Arbeit. Diese Diplomarbeit soll die Grenzen der einzelnen Herstellungsverfahren aufzeigen und in Frage stellen. Eine vollständige Betrachtung der Bauteilkosten und Herstellungsverfahren wird für Werkzeugkonstrukteure, Werkstoffentwickler und Umformtechniker möglich sein. Das Ermitteln von Synergieeffekten zwischen den einzelnen Bereichen ist ein weiteres Ziel dieser Arbeit. Dazu sollen die Anforderungen der Teilbereiche ermittelt, verglichen und ausgewertet werden. Diese Diplomarbeit soll dem Bauteil-Konstrukteur und allen an der Herstellung beteiligter Personen im Anschluss als objektive, nachvollziehbare Entscheidungshilfe für B-Säulen-

Konzepte und, in weiterer Folge, für andere Bauteilgruppen dienen.

3 Methoden und Lösungsweg

In dieser Arbeit werden, mit Hilfe von Literaturrecherche und Interviews Anforderungen an die B-Säule, Werkstoffe für Halbzeuge und Fertigungsverfahren für B-Säulen nach dem Stand der Technik im allgemeinen und im speziellen bei Volkswagen bestimmt. Es wird eine ausführliche Literaturrecherche zum Stand der Technik mit Hilfe von Interviews mit an der Entstehung einer B-Säule beteiligten Personen im Volkswagenkonzern und Experten aus Fremdfirmen durchgeführt werden. Es werden Experten aus Zulieferfirmen wie MUBEA, Bilstein-Kaltband, ThyssenKrupp, DOW-Automotive, Cymat, befragt (siehe Abbildung 1).

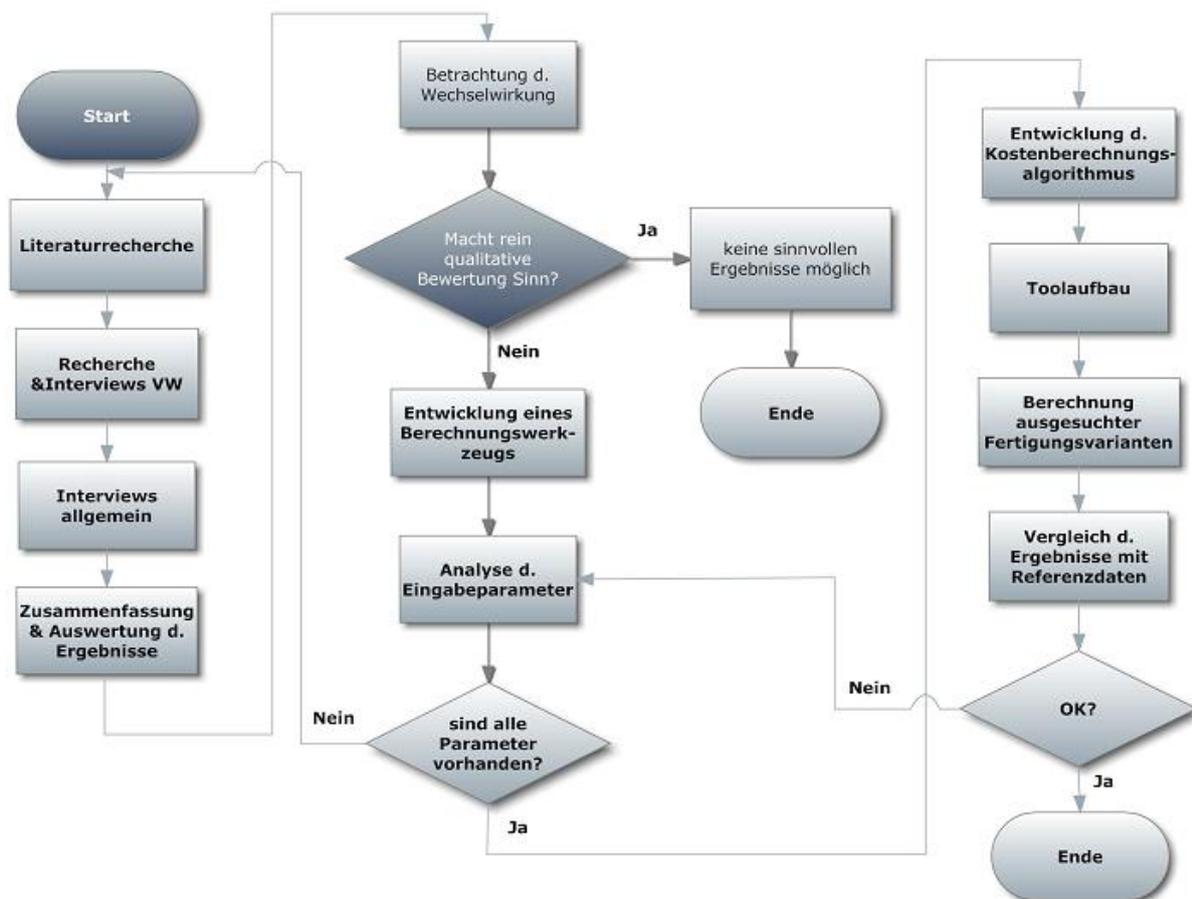


Abbildung 1 Flussdiagramm DA

Die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Produkt und Prozess soll der Kernansatz dieser Arbeit sein. Im Laufe der Arbeit soll keine rein qualitative Bewertung von Her-

stellungsvarianten und ihrer Wechselwirkungen untereinander für B-Säulen durchgeführt werden, da dieses nicht zum Ziel führt. Deshalb soll ein Berechnungswerkzeug auf Basis einer Tabellenkalkulation entwickelt werden, um damit auch quantitative Vergleiche von Herstellvarianten durchführen zu können.

Die Eingabeparameter in das Berechnungswerkzeug sollen verschiedene Kosteneinflussfaktoren, wie zum Beispiel Werkstoffkosten, Fügekosten und Werkzeugkosten, sein. Diese werden auf Basis von Expertenbefragung und Analysen von Referenzprozessen ermittelt. Der Ausgabeparameter des Berechnungswerkzeugs soll ein relativer Kostenfaktor zur quantitativen Bewertung der Herstellungsprozesse sein. Alle rein qualitativ vorliegenden Einflussfaktoren auf die Eingabeparameter sollen mit Hilfe von Nutzwertanalysen in quantitative Kostenfaktoren übersetzt werden. Die berechneten Kosten werden im Anschluss mit Hilfe von Volkswagenerfahrungswissen verifiziert. Im Anschluss daran werden weitere B-Säulen aus unterschiedlichen Karosserietypen volkswagenintern mit dem Berechnungswerkzeug bewertet und mit dem Referenzbauteil verglichen. Zum Abschluss der Arbeit soll ein Ausblick über sinnvoll anschließende Arbeiten gegeben werden. Weiter sollen noch genauer zu analysierende Einflussfaktoren aufgelistet werden, welche im Rahmen dieser Arbeit nur relativ ungenau ermittelt werden können und daher nur als Platzhalter fungieren werden.

Um einen objektiven Vergleich der alternativen Herstellungsverfahren mit dem Referenzbauteil und auch ihrer Kosten durchführen zu können, müssen die Bewertungskriterien quantifiziert werden. Dazu bietet sich eine Nutzwertanalyse an. Mit Hilfe der Nutzwertanalyse ist es möglich qualitative Kriterien in quantitative zu übersetzen. Durch die große Anzahl an gegenseitigen Beeinflussungen und die sich daraus ergebenden Zielkonflikte werden die Kosten als entscheidendes Kriterium zur Beurteilung definiert. In die Nutzwertanalyse fließen Erfüllungsgrade wie

Nutzwertanalyse

gut, mittel und schlecht ein. Die Erfüllungsgrade werden in Zahlen, zum Beispiel 1 für gut und 10 für schlecht, übersetzt. Im zweiten Schritt wird die Gewichtung ermittelt. Diese Gewichtung dient als Multiplikator für den Erfüllungsgrad. Das Produkt aus Erfüllungsgrad und Gewichtung ergibt eine Punktzahl, die im Anschluss objektiv mit den Punktzahlen von Alternativen verglichen werden kann.

Des Weiteren bietet sich das Verfahren der Minimalwertberechnung an. Ist es gelungen einen quantitativen Vergleich zu erreichen, werden die Minimalmalwerte für die jeweiligen Varianten aus den verschiedenen Werten für die einzelnen Kriterien ermittelt. Dazu ist es notwendig eine Kostenfunktion in Abhängigkeit von zum Beispiel den gewünschten Gebrauchseigenschaften zu bestimmen. Ziel ist es eine alternative Herstellungsvariante zu finden, die die optimalen Gebrauchseigenschaften mit einem geringen Preis verbindet. Hierzu wurden verschiedene Alternativen mit Hilfe einer Tabellenkalkulation berechnet. Die Minimalwertberechnung basiert auf einer doppelten Ableitung einer quadratischen Funktion. Der ermittelte Minimalwert für die Kosten lässt zum Beispiel eine Aussage über die optimalen Gebrauchseigenschaften bei bestimmten Kosten zu.

Minimalwertanalyse

4 Stand der Technik

Im folgenden Kapitel wird dargestellt wie sich der Stand der Technik hinsichtlich Gebrauchseigenschaften, Werkstoffen, eingesetzter Halbzeuge, Fertigungsverfahren, Fügeverfahren und Karosseriekonzepten für B-Säulen (siehe Abbildung 2) bei Volkswagen und bei den Wettbewerbern im allgemeinen darstellt.



Abbildung 2 Karosseriestrukturbauteile im Passat 3C4
[1]

Als wichtiges Strukturbauteil hat der B-Säulenbereich verschiedene Aufgaben in der Karosserie. Die B-Säule hat Funktionsflächen, in denen Scharniere und Schlossbolzen angeflanscht werden müssen. Es müssen zum Beispiel Türdichtungen bei der Konstruktion berücksichtigt werden und es dürfen im eingebauten Zustand keine Windgeräusche auftreten. Die B-Säule dient als Befestigung für Teile des Sicherheitsgurtes, als Einbauraum für Elektronikbauteile und viele weitere, für die Funktion eines Automobils wichtige Eigenschaften. [2] [3]

In einer potentiellen Crashesituation übernimmt das Bauteil eine wichtige Aufgabe im Zusammenspiel mit anderen Strukturbauteilen, um den Überlebensraum für die Insassen zu erhalten. Während eines Unfalles nimmt die B-Säule

die entstehenden Kräfte je nach Einleitungspunkt der Kraft auf und leitet sie in die Struktur der Karosserie weiter oder verformt sich plastisch. Dies gilt sowohl bei einem Frontalaufprall, einem Heckaufprall, einem Dachaufprall und ganz besonders im Falle eines Seitencrashes. [4] [2]

Bei der Konstruktion einer B-Säule müssen also verschiedenste Anforderungen realisiert werden, die sich teilweise widersprechen. Da nicht alle Anforderungen zu einhundert Prozent berücksichtigt werden können, sind immer technisch und wirtschaftlich sinnvolle Kompromisse gefordert.

Um die Crasheignung von Karosseriebauteilen bewerten zu können, erfolgen verschiedene Überprüfungen und Bewertungen. Baugruppen werden zuerst virtuell am Rechner gecrasht, anschließend in verschiedenen realen Komponententests und zum Schluss auch im Zusammenbau als komplettes Fahrzeug. Ziel ist es die realen Anforderungen, die im wirklichen Unfallgeschehen auftreten, zu simulieren und nachzubilden. Die gewonnenen Ergebnisse fließen wieder zurück in die eventuellen neueren Konstruktionen ein. Diese Iterationsschleifen werden je nach Komplexität der Baugruppen und Anforderungen unterschiedlich oft durchlaufen.

Ein Beispiel für eine solche Anforderung an eine Karosseriestruktur stellt der so genannte IIHS-Test (Insurance Institute for Highway Safety) nach, der in den USA vorgeschrieben ist und in ähnlicher Form in Europa eingeführt werden soll. Dieser Test wurde eingeführt, um dem wachsenden Anteil von SUVs (Sports Utility Vehicle) auf dem amerikanischen Markt und ihren anderen Fahrzeuggeometrien Rechnung zu tragen. Der Krafteinleitungspunkt ist bei einem Unfall mit einem SUV höher als bei einem klassischen PKW, da der Stoßfänger höher angebracht ist. Das Ergebnis eines solchen Crashes wird in Abbildung 3 Crashergebnis nach Seitenaufprall mit einer Barriere mit hohem Angriffspunkt, gezeigt. [1] [5]



Abbildung 3 Crashtestergebnis nach Seitenaufprall mit einer Barriere mit hohem Angriffspunkt [5]

Die Versuchsanordnung ist abweichend zum EuroNCAP, da (amerikanische) SUVs üblicherweise einen höher angeordneten Stoßfänger haben und somit im Falle eines Seitencrashes die PKW Karosserie nicht im Schweller, sondern im unteren B-Säulen-Drittel angreift (siehe Abbildung 4). Das führt dazu, dass die B-Säule sehr stark belastet wird und die entstehenden Kräfte nicht in vollem Umfang an umgebende Strukturen abgeleitet werden können. Vielmehr muss die B-Säule selber Teile der Energie absorbieren können. [5]

Abweichende Versuchsanordnung beim IIHS

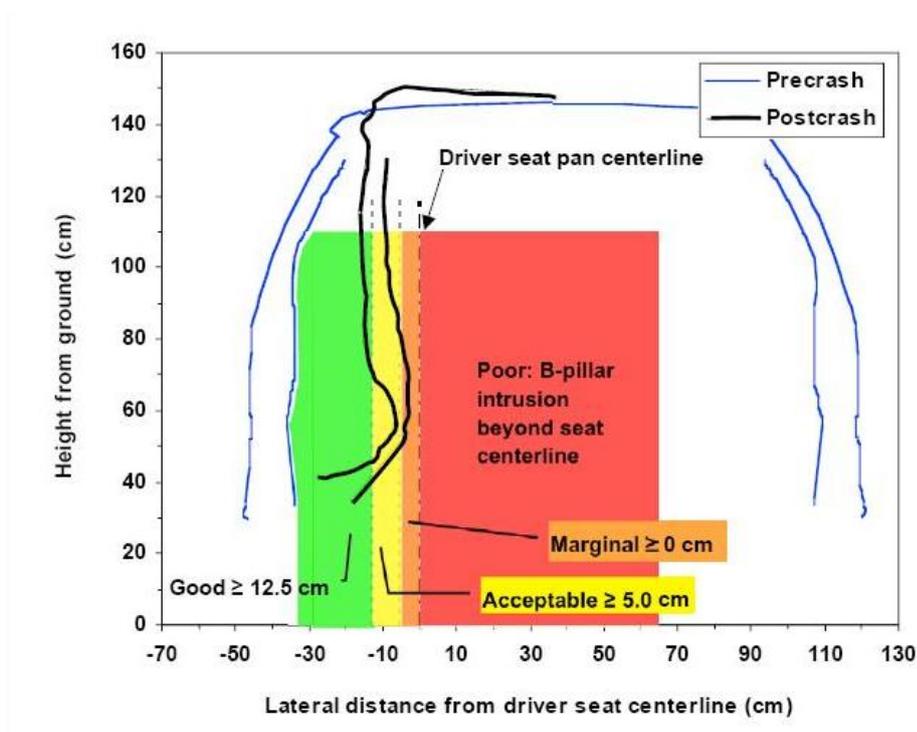


Abbildung 4 IIHS Anforderung [5]

Durch den hohen Angriffspunkt wird die B-Säule im Bereich oberhalb des Schwellers getroffen, wodurch der Schwellerbereich als Deformationsraum größtenteils ausfällt. Das SUV belastet die B-Säule schwerer und führt deshalb zu sehr großen Problemen. Es muss verhindert werden, dass die B-Säule bis über die gedachte Mittellinie des angrenzenden Sitzes eingedrückt wird. Die geforderte maximale Intrusion wird in Abbildung 4 gezeigt. Durch den hohen Berührungspunkt fällt die Bodenstruktur weitestgehend als Absorptionsraum aus. Die B-Säule wird wesentlich stärker als beim EuroNCAP (European New Car Assessment Program) belastet. [5] [6]

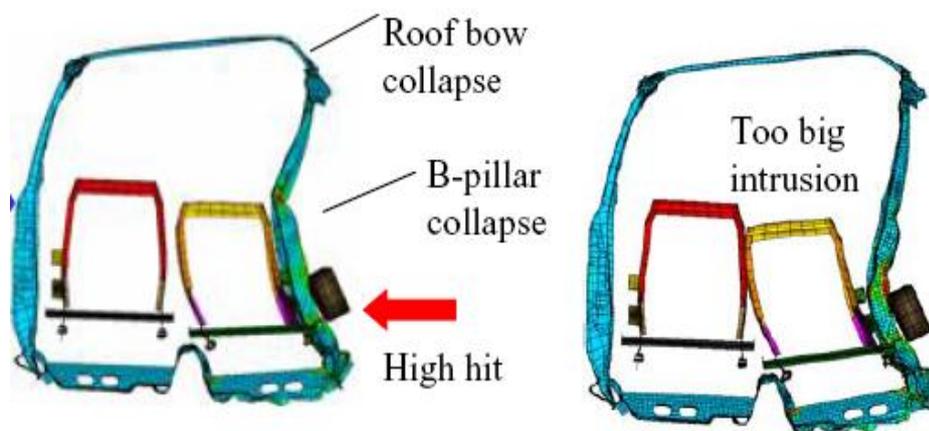


Abbildung 5 Anforderung an B-Säule [7]

Zwischen dem Insassen und der B-Säule ist aufgrund der äußeren Geometrie eines PKWs nur ein geringer Abstand vorsehbar, wie in Abbildung 5 zu sehen ist. Diese sehr kleine Knautschzone ermöglicht im Crash nur eine sehr geringe zu akzeptierende Deformation, um nicht den Überlebensraum zu gefährden. Daher hat der B-Säulenbereich die wesentliche Aufgabe die kinetische Energie an angrenzende Bereiche, wie den Dachrahmen oder den Schweller, weiterzuleiten, weil es im Bereich der B-Säule selber nur wenig plastischen Verformungsraum gibt. Bei der Analyse der Anforderungen an die B-Säule zeigt sich recht gut das Spannungsfeld in dem sich Karosseriekonstrukteure bewegen. Es sind teilweise sehr kom-

plexe, sich widersprechende Anforderungen zu erfüllen und das unter Berücksichtigung von Kosten- und Umweltaspekten.

4.1 Technologien bei Volkswagen

Zur Erfüllung der gestellten Anforderungen gibt es verschiedene Konstruktionsansätze und Philosophien. Innerhalb des Volkswagenkonzerns werden vorwiegend Baugruppen aus Schalen eingebaut. Die Verwendung einer Schalenbauweise mit eingesetzten Versteifungsrohren, bzw. der Einbau von Versteifungsblechen hat den Zweck, nur die höchstbelastete Bereiche der B-Säule zu versteifen und so Gewicht zu reduzieren. Diese Versteifungen werden teilweise eingeklebt, geschweißt bzw. auch nur eingelegt.

Konstruktion einer B-Säule mit verschiedenen Anforderungen

In derzeitigen VW-Fahrzeugen werden unter anderem B-Säulen-Verstärkungen aus 22MnB5 eingesetzt. Diese werden pressgehärtet, mit Lasern beschnitten und anschließend mit den restlichen Bauteilen der B-Säule verschweißt.

B-Säulenverstärkung bei VW aus pressgehärteten 22MnB5

[1]

Üblicherweise besteht der Aufbau einer B-Säulenbaugruppe aus mindestens drei Einzelbauteilen, der B-Säulen-Verstärkung, der äußeren Schale und der inneren Schale. Die äußere Schale ist ein Sichtteil, deshalb muss sie eine Class-A-Oberflächenqualität aufweisen. Die äußere Schale befindet sich bei geöffneter Tür im Sichtfeld des Kunden und ist deshalb leicht für den Kunden bewertbar.

Üblicher Aufbau einer B-Säule aus drei Bauteilen

[8]

Der Aufbau eines Karosseriebauteils aus einzelnen Schalen ist in Abbildung 6 anhand einer A-Säule dargestellt. Die einzelnen Bauteilfestigkeiten sind unterschiedlich farbig dargestellt. Die hoch- und höchstfesten Bauteile sind rot, grün und blau eingefärbt.

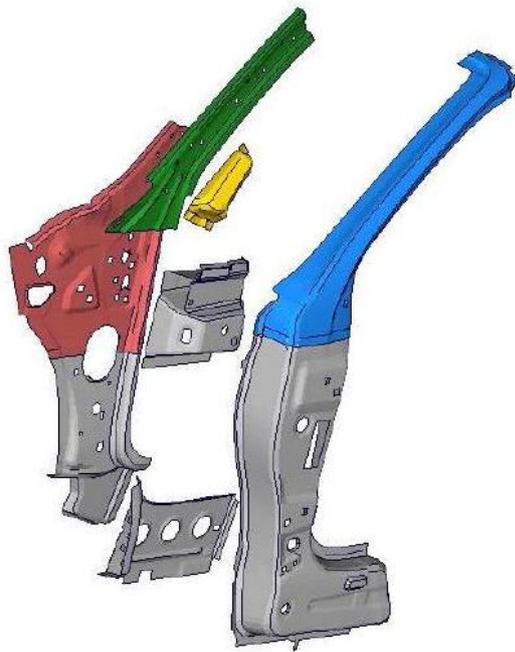


Abbildung 6 Schalenbauweise am Beispiel einer A-Säule
[9]

Diese Grundaufbauweise einer B-Säulenbaugruppe wird oftmals, wegen der zusätzlichen Anforderungen höhere Craschanforderungen zu erfüllen, mit zusätzlichen Einsätzen, Rohren und Blechen versteift, die dann die Bauteilanzahl bis zu zehn Bauteile erhöhen kann. Ein Beispiel dafür sind Fahrzeuge, die in die USA exportiert oder dort gefertigt werden. Um die höheren in den USA geforderten Anforderungen erfüllen zu können, werden Fahrzeuge, die für einen Export nach Nordamerika bestimmt sind, mit zusätzlichen Versteifungselementen in dem Angriffsbereich der nordamerikanischen Crashtestbarriere ausgestattet. Diese dienen der lokalen Versteifung der B-Säule, um die in Nordamerika geforderten Crashtestergebnisse erreichen zu können. [1] [10]

USA-Ausführung weist höhere Bauteilanzahl auf

4.1.1 Werkstoffe für B-Säulen

Die Auswahl eines geeigneten Werkstoffes für die Herstellung einer B-Säule richtet sich, wie vorher gezeigt, nach verschiedenen Anforderungen: der Umformbarkeit, der Festigkeit, dem Materialpreis, den Fügeigenschaften, der

Auswahlkriterien

Prozessfähigkeit, der Verfügbarkeit, den Korrosionseigenschaften, der Lackierbarkeit und neuerdings auch dem Primärenergiebedarf für die Erzeugung des Werkstoffes. Für die B-Säulenverstärkung werden heute entweder presshärtbare Stähle, wie 22MnB5, oder hochfeste Güten, wie TRIP 900 und MSW 1200 verwendet. [10] [11]

Wichtig für die Auswahl des Werkstoffes sind eine hohe Streckgrenze und eine gute Verarbeitbarkeit des Werkstoffes. Eine hohe Streckgrenze gewährleistet eine minimale Intrusion der B-Säule und bietet somit ausreichenden Schutz des Insassen bei einem Seitencrash. Die Zugfestigkeit ist dabei nicht das wichtigste Auswahlkriterium für einen B-Säulen-Verstärkungswerkstoff, vielmehr ist die Verarbeitbarkeit des Werkstoffes zu einer vorgegebenen Bauteilgeometrie unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ein wesentliches Kriterium. [8]

Streckgrenze

Ob und welcher Werkstoff für die Fertigung einer B-Säule eingesetzt wird, hängt stark von seiner Serientauglichkeit ab. Es muss möglich sein mit diesem Werkstoff eine stabile Produktion zu ermöglichen. [2]

Serientauglichkeit ist entscheidend

WKS	Außen	Innen	Verstärkung	Deckblech	A ₈₀
MSW 1200	DC06	(X)	X	DC06	6
TRIP 900		X	X		12
DP800 DP1000		XX			10
22MnB5		o	o		<5
XIP 1000		X (+WB)			<50
DOCOL 1000		X			10
CPW 1000			X		10

Abbildung 7 Werkstoffe für B-Säule x = geeignet, xx = sehr gut geeignet, o = Stand der Technik

Die in Abbildung 7 aufgezeigten Werkstoffe kommen laut VW-Aussage für die Herstellung einer B-Säule potenziell in Frage, wobei einige Werkstoffkombinationen sich schon im Serieneinsatz befinden und als Referenz aufgelistet werden. Die B-Säulen-Verstärkung und der Innenteil der B-Säule müssen, um die geforderten Gebrauchseigenschaften einzuhalten, aus hoch- bzw. höchstfesten Stählen gefertigt werden. [1]

*Potenzielle und im
einsatzbefindliche Werk-
stoffe einer B-
Säulengruppe*

In der Abbildung 7 bedeutet ein einfaches X geeignet und ein doppeltes X gut bis sehr gut geeignet für die jeweilige Anwendung. Die Abkürzung WB bedeutet Wärmebehandlung und bezieht sich auf eine eventuell sinnvolle Wärmebehandlung. Neuere Untersuchungen von Volkswagen haben bereits ergeben, dass die anfangs angedachte Wärmebehandlung von XIP nicht sinnvoll ist. Die Werkstoffeigenschaften werden durch eine Wärmebehandlung negativ beeinflusst.

Erläuterungen Abb. 6

Das O bedeutet Referenzwerkstoff. Ein Bauteil aus CPW 800 ist in Abbildung 8 gezeigt. Es lässt sich leicht die sehr komplexe und anspruchsvolle Geometrie des Bauteils erkennen. Eine wichtige Anforderung an den Werkstoff ist also eine gute Umformbarkeit, um auch schwierige Geometrien realisieren zu können.



Abbildung 8 B-Säulen-Verstärkung aus CP-W-800 [12]

Für die Auswahl des geeigneten Blechwerkstoffes sind außerdem die Streckgrenzen, die Bruchdehnungen und auch die Zugfestigkeiten wichtig. In Abbildung 9 sind typische Blechwerkstoffe aufgeführt. Die modernen XIP-Stähle liegen oberhalb der so genannten „Stahlbanane“, das heißt sie haben bei hohen möglichen Bruchdehnungen auch hohe bis sehr hohe Zugfestigkeiten.

Die gewünschten Werkstoffeigenschaften werden vom Stahlhersteller durch unterschiedliche Verfahren eingestellt. Dazu können bestimmte Legierungen eingestellt werden oder auch gezielte Wärmebehandlungen durchgeführt werden. Der Anteil von hoch- und höchstfesten Werkstoffen ist in den letzten Jahren ständig gestiegen, weil mit diesen Werkstoffen bei annähernd identischer Dichte wesentlich steifere Strukturen erzeugt werden können. [13]

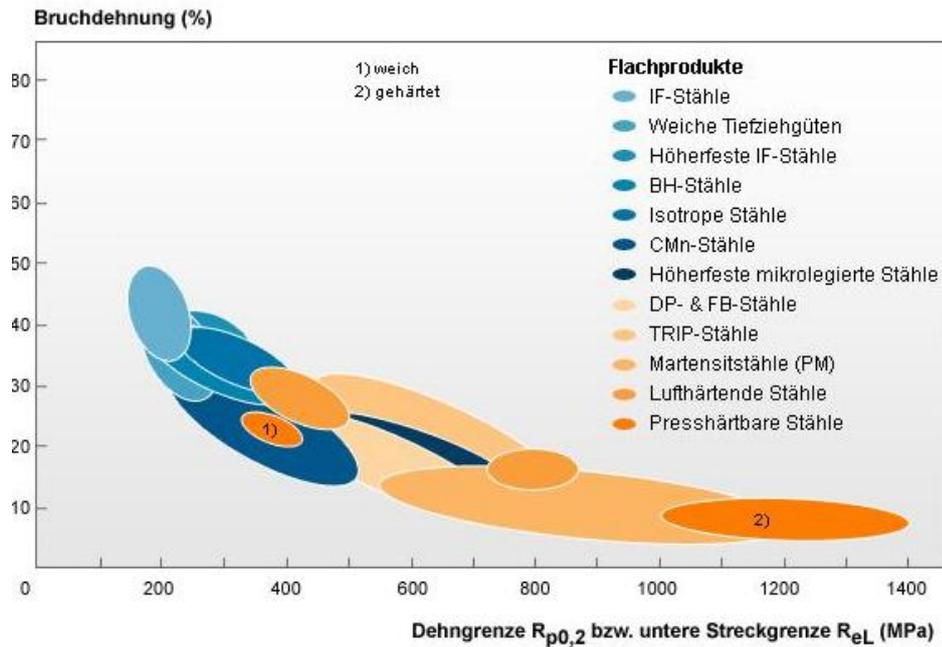


Abbildung 9 Mechanische Eigenschaften von Werkstoffen [14]

4.2 Technologien bei Wettbewerbern

4.2.1 Gebrauchseigenschaften

Bei der Auslegung einer B-Säule ist darauf zu achten, dass die B-Säule in dem oberen Zweidrittelbereich nicht knicken darf, da ansonsten kein ausreichender Schutz der Insassen, insbesondere des Kopfbereiches, gewährleistet werden kann. Auch ein Einsatz von Airbags ist dann nicht mehr möglich, da die Zeit zwischen Aufprall des gegnerischen Fahrzeuges bis zum Aufprall des Kopfbereiches nicht ausreichen würde, um einen Airbag zu aktivieren. Nur im unteren Drittel des B-Säulenbereiches kann eine bestimmte Deformation zugelassen werden, was sich gut in Abbildung 10 erkennen lässt. Die Karosserie ist in unterschiedliche Deformationszonen eingeteilt, daraus resultiert die Bauteilauslegung. [15]

Knicken im oberen Zweidrittelbereich unzulässig

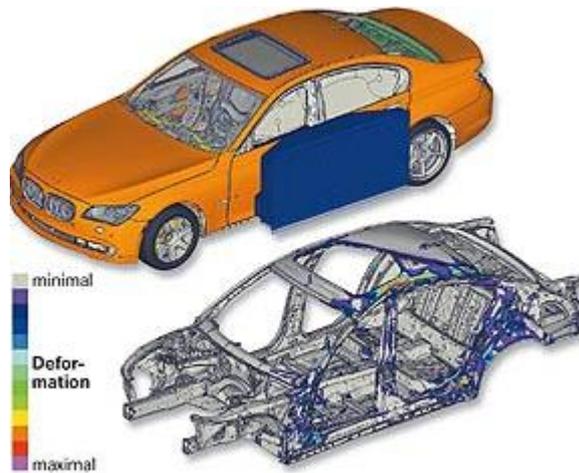


Abbildung 10 Deformation Im Seitencrash [15]

Die hohen Anforderungen aus Sicht eines Seitencrashes führen dazu, dass eine B-Säule hinsichtlich sehr guter Knickfestigkeit und Crashperformance konstruiert werden muss. Außerdem muss das vorgegebene Design bei der Konstruktion berücksichtigt werden, d.h. sie muss auch optischen und ästhetischen Anforderungen gerecht werden. Der B-Säulenbereich wird vom Kunden direkt wahrgenommen und vermittelt auch das Gefühl, dass die Karosserie stabil und sicher ist. [16] [4]

Welche Aufgaben hat der B-Säulenbereich?

5 Analyse bestehender Karosserien

Um einen Überblick über aktuell tatsächlich bestehende Fertigungstechnologien und Konzepte für B-Säulen zu bekommen, wurden verschiedene Fahrzeuge aus unterschiedlichen Marktsegmenten und von unterschiedlichen Herstellern untersucht. Es wurden die eingesetzten Werkstoffe, beziehungsweise Werkstoffklassen und die eingesetzten Halbzeuge mit Hilfe der in der Literaturrecherche gewonnenen Erkenntnisse beurteilt.

5.1 Aktuelle Karosseriekonzepte

Für die Analyse von alternativen B-Säulen-Konzepten wurden verschiedene ausgewählte Karosserien, die in ihrer Bauweise, den eingesetzten Werkstoffen, den Konstruktionen und ihres Alters dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, untersucht. In Abbildung 11 ist das Ergebnis der Untersuchung in Hinblick auf das B-Säulenkonzept, die eingesetzten Werkstoffe, Halbzeuge und angewendeten Umformtechnologien dargestellt.

Fahrzeug	B-Säulenkonzept	Werkstoff / Zugfestigkeit	Halbzeug	Umformung
Acura RDX	Schale	HSS 780		kalt
Acura TL	Schale			warm
Audi A5 Coupe	Schale	22MnB5	TWB	warm
Audi A8	Guss	Aural 2		
Audi Q5	Schale	>1600MPa	partiell wärmeb.	warm
BMW 5er	Schale	Bor		warm
BMW X5	Schale	>1300MPa	TRB	warm
Buick Enclave	Schale	DP 980		kalt
Chevrolet Malibu	Schale	DP 980		kalt
Dodge Caliber	Schale		TRB	warm
Fiat Punto	Schale	DP, TRIP		kalt
Ford F150	Schale		TWB	warm
Ford Fiesta	Schale	>1500MPa		warm
Ford Fusion	Schale		TWB	warm
Ford Taurus	Schale			warm
Honda Accord	Schale	> 590MPa	TWB	kalt
Lada 2116	Schale	400-500MPa		kalt
maybach	Schale+Rohre	UHSS		
Mazda 2	Schale	UHSS	TWB	kalt
Mercedes SLS	Schale	Aluprofil		Strangpress
Nissan Fuga	Schale	>1350	TWB	warm
Nissan Micra	Schale	780DP		kalt
Opel Astra	Schale	1200-1400MPa		warm
Opel Corsa	Schale	>1000MPa		warm
Porsche Cayenne	Schale	600-700MPa		kalt
Renault Laguna	Schale	Bor	TWB	warm
Skoda Roomster	Schale	>950MPa		warm
Subaru Forester	Schale+Stab	Bor		warm
Volvo C30	Schale	UHSS	TWB	warm
Volvo XC60	Schale	UHSS		warm
Volvo XC90	Schale	UHSS >1100 MPa		warm

Abbildung 11 B-Säulenkonzepte

Es lassen sich, wie in Abbildung 11 zu sehen ist, eindeutig bestimmte Trends bei der Konzeptwahl erkennen. Es werden im Wesentlichen hoch- und höchstfeste Werkstoffe eingesetzt. Es gibt im Großserieneinsatz im Wesentlichen nur ein Konzept für B-Säulen: das ist die Schalenbauweise. Die meisten Fahrzeuge haben in der B-Säule vorwiegend tiefgezogene Bauteile. Nur wenige der untersuchten Fahrzeuge, wie zum Beispiel der Maybach und der Subaru Forester, haben noch zusätzliche Verstärkungselemente, wie hochfeste Stangen und Rohre, eingebaut. Nur der Mercedes SLS als sehr hochpreisiges Auto mit sehr kleiner Stückzahl und der Audi A8, ebenfalls ein hochpreisiges Fahrzeug, haben alternative B-Säulenkonzepte. Der Mercedes SLS hat eine B-Säulenverstärkung aus einem Strangpressbauteil und der Audi A8 eine gegossene B-Säule. Der Ein-

satz von B-Säulen in Schalenbauweise wird auch in Zukunft nach vielfacher Expertenaussage gleich bleiben. Der Trend bei der Werkstoffwahl geht in Richtung Einsatz von höchstfesten Werkstoffen. Das lässt sich sehr gut am Vergleich der aktuellen B-Säulen mit den B-Säulen in den Vorgängerfahrzeugen erkennen. Dort steigen die eingesetzten Festigkeiten an. Immer häufiger werden warmumgeformte Werkstoffe eingesetzt. Der Anteil der Warmumformung ist in den letzten Jahren weiter gestiegen. Als Halbzeuge für die B-Säulen kommen im Wesentlichen Platinen mit homogener Dicke und Festigkeit, TWB, TRB und Tailored Tempered (partiell wärmebehandelt) Platinen zum Einsatz. [17][18][19][20][21][22][23][24][25][26][27]

5.2 aktuelle B-Säulenkonzepte

Die Analyse der aktuellen B-Säulen-Konzepte zeigt, dass der Trend in Richtung Leichtbau und Kostenreduktion geht, bei gleichzeitig hoher passiver Sicherheit. Der Leichtbau wird von den gesetzlichen Vorgaben, zum Beispiel denen der Europäischen Union, getrieben. Im Jahre 2012 sollen 65% aller von einem OEM hergestellten Fahrzeuge einen maximalen CO₂-Ausstoß von 130g/km erreichen, ansonsten drohen Strafzahlungen. Die Kostenreduktion wird aus wirtschaftlichen Zwängen getrieben. Eine gute Übersicht über die angestrebte Balance zwischen Kosten, Gewicht und passiver Sicherheit und die daraus resultierenden Konzepte wird in Abbildung 12 gezeigt. [28]

Analyseergebnisse

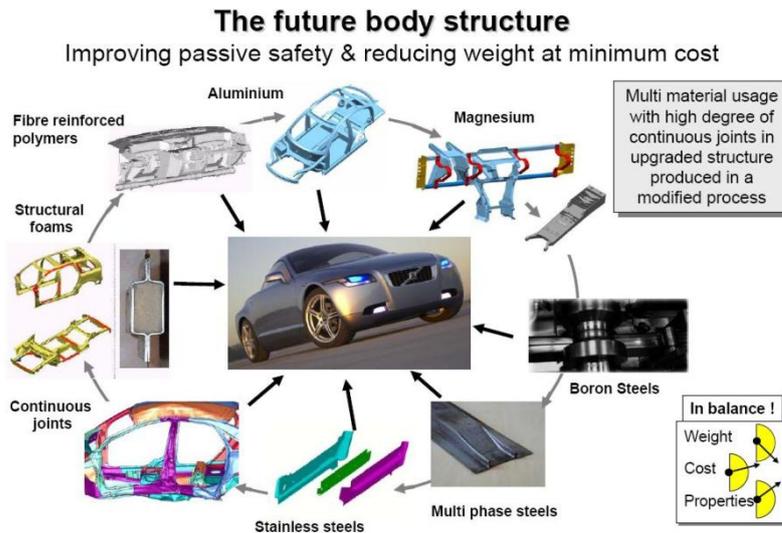


Abbildung 12 Ziele der Karosserientwicklung [29]

„In Zukunft und auf lange Sicht werden nur Leichtbaukonzepte zum Einsatz kommen, welche bei Kriterien wie Kosten, Gewicht und Funktion die besten Gesamteigenschaften aufweisen.“ [30]

Für B-Säulen in der Kleinserie, die den Konzepten Gewicht und Funktion bei gleichzeitig hoher passiver Sicherheit folgen, kommen die Warm- und die Kaltumformung mit hohen Bauteilfestigkeiten in Frage. Durch hohe Bauteilfestigkeiten kann die Blechdicke reduziert werden, was zu einer Gewichtsreduktion im Fahrzeug führt. Da die Taktzeiten im Warmumformen hoch sind, sind die Bauteile teuer und eignen sich deshalb nicht für extrem preiswerte Karosserien. Das Verfahren eignet sich sehr gut zur Herstellung komplexer Geometrien. Mit Hilfe der Warmumformung lassen sich unterschiedlichste Designentwürfe realisieren. Als Halbzeuge für Leichtbaukarosserien kommen auch hochpreisige Halbzeuge wie TRB, TWB oder Kohlefaserbauteile in die Auswahl.

Gewicht, Funktion, Sicherheit

Für B-Säulen in der Kleinserie, bei denen großer Wert auf einen geringen Bauteilpreis gelegt wird, kommt aktuell unter Berücksichtigung von zum Beispiel Design oder Prozesssicherheit nur die Kaltumformung in Frage. Die Bauteile werden aus Stählen mit mittel hohen Festigkeiten hergestellt. Das ermöglicht den Einsatz von preiswerten Um-

Kleinserienkonzept

formwerkzeugen auf alten Pressenkonzepten. Der Bauteilbeschnitt gestaltet sich ebenfalls einfach und lässt sich preiswert realisieren.

Bei Volkswagen liegen im Bereich der Großserienkonzepte, Umformung, Fügen und angrenzender Bereiche umfangreiche Erfahrungswerte vor. Studien zu verschiedenen alternativen Herstellungsverfahren wurden im Vorfeld durchgeführt. Im Moment hat sich die Warmumformung von B-Säulen-Verstärkungen für die Großserie durchgesetzt. Diese Technologie wird auf Grund des sehr guten Verhältnisses zwischen dem Gewicht des Bauteiles und der Festigkeit des Bauteiles als ideal geeignet angesehen. Bauteile aus Gusskörpern, Strangpressprofilen, Kunststoffen und anderen Technologien wurden bisher nicht als serienreif eingestuft und / oder als wirtschaftlich sinnvoll beurteilt. Ziel dieser Strategie ist es qualitativ hochwertige Bauteile zu wirtschaftlich sinnvollen Konditionen zu erzeugen. Diese Philosophie wurde auch bei der Beurteilung von alternativen Herstellungsverfahren berücksichtigt. [10]

Großserienkonzept

6 Vergleich der Fertigungsverfahren von Volkswagen mit der Konkurrenz

Bei Volkswagen werden aufgrund der Tatsache, dass VW ein Großserienhersteller ist, nicht alle für die Fertigung von B-Säulen möglichen Technologien eingesetzt. Es wird bei Volkswagen sehr großer Wert auf eine stabile Produktion gelegt, weshalb nur etablierte Fertigungsverfahren zum Einsatz kommen. Neue innovative Technologien werden zwar getestet, aber nicht direkt in die Serie übernommen. Die Tatsache, dass nicht alle Technologien in die Serienproduktion übernommen werden, hat auch Kostengründe. Nicht jedes Fertigungsverfahren oder Bauteilkonzept erfüllt die Preisvorgaben des Konzerns. [10]

Da aus verschiedenen Gründen nicht alle Fertigungsverfahren zum Einsatz kommen, ist es wichtig alle möglichen, irgendwann einmal in Frage kommenden Fertigungsverfahren zu betrachten und das Bewertungsschema für B-Säulen offen und flexibel zu gestalten, um so auch unbekannte Fertigungsverfahren vergleichbar zu machen.

In den folgenden Abschnitten wird in bei Volkswagen eingesetzte und bei Volkswagen nicht eingesetzte Fertigungsverfahren unterschieden. Aktuelle Entwicklungen können diese Einteilung auch ändern. Zum Zeitpunkt der Arbeitserstellung zeigte sich die im folgenden Bereich dargestellte Einteilung.

6.1 Eingesetzte Fertigungsverfahren bei VW

Heute wird bei VW-Fahrzeugen u.a. das Presshärten borlegierter Stähle zur Erzeugung von B-Säulen-Verstärkungen eingesetzt. Dieses Verfahren wird im Vergleich zur Kaltumformung höchstfester Werkstoffe als eher langsam und teuer bewertet, ermöglicht jedoch die Fertigung komplexer Geometrien mit vergleichsweise höchsten Festigkeiten. Die Warmumformung ist langsam im Vergleich zur Kaltumformung. Der Prozess ist langsam, da er aus verschiedenen Teilprozessen wie Erwärmung, Umformung mit

*Presshärten borlegierter
Stähle*

Abkühlung und einem anschließenden, aufwändigen Beschneidprozess besteht. Die Kaltumformung hingegen ist eine klassische Umformung in verschiedenen Stufen mit einem anschließendem Hartbeschneid.

Ein weiteres, wesentliches Kriterium ist die Verarbeitung der Werkstoffe (Schneiden und Umformen) unter Serienbedingungen, die neben einer hohen Wirtschaftlichkeit auch eine hohe Prozesssicherheit aufweisen muss. Bei dem anschließenden ZSB müssen unterschiedlichste Werkstoffkombinationen (z.B. pressgehärtete Borstähle mit kaltumgeformten CP-W-Stählen) prozesssicher ffügbar sein. Daher müssen die für den ZSB vorbereiteten Bauteile die definierten Form- und Maßgenauigkeiten einhalten. Der Aufsprung und die Torsion des Bauteiles dürfen ein bestimmtes Maß nicht überschreiten, damit sich das Bauteil noch einbauen lässt.

*Prozesssicherheit und
Wirtschaftlichkeit*

Hinsichtlich der Prozesssicherheit bei den eingesetzten Fügeverfahren muss das Verhältnis „995/1000“ eingehalten werden. Das bedeutet, dass 995 von 1000 Fügeverbindungen ohne Fehlstellen gefertigt werden müssen, erst dann wird das Fügeverfahren und die damit erzeugte Bauteilgruppe als prozesssicher bewertet. [2]

Zusätzliche Nacharbeitsplätze parallel zur Fügelinie sind erforderlich, um die Verbindungen, die nicht direkt freigegeben wurden, nacharbeiten zu können. Da durch Nacharbeit zusätzliche Kosten entstehen, sollte diese vermieden werden.

Nacharbeitsplätze

Ein möglichst stabiler Fertigungsprozess hat zum Ziel so wenig fehlerhafte Bauteile wie möglich zu produzieren. Das bedeutet, dass sehr neue und innovative Technologien nicht unbedingt vorteilhaft sind, was bei der Auswahl von geeigneten Fertigungsverfahren bei Volkswagen beachtet wurde. Moderne Technologien müssen klare Vorteile gegenüber klassischen Umformverfahren bieten, um als besser oder geeignet beurteilt zu werden. Eine stabile Produktion, in der kaum Fehlerkompensation notwendig ist und wodurch kaum eine Verschwendung von Ressourcen auf-

tritt, gilt in der Bewertung als anzustrebendes Ziel. Hierzu ist davon auszugehen, dass Erfahrungswissen als wichtiges Kriterium zu werten ist. Gelingt es klassische Technologien zu nutzen, die auch offen für Innovationen sind, wäre das vom Standpunkt der Stabilität her ideal.

Hinsichtlich des Einsatzes von Fügeverfahren wird als weiteres Kriterium auf Reparaturlösungen fokussiert, um gewährleisten zu können, dass das Fahrzeug in der Fachwerkstatt, z.B. nach einem Unfall, in einer Werkstatt instand gesetzt werden kann. Beim aktuellen Passat CC wird, wie in Abbildung 13 dargestellt, eine Kombination von Punkt- und Laserschweißen im Bereich des Türeinstiegflansches verwendet. [31]

Reparaturlösung für die Werkstatt

Fügetechnik

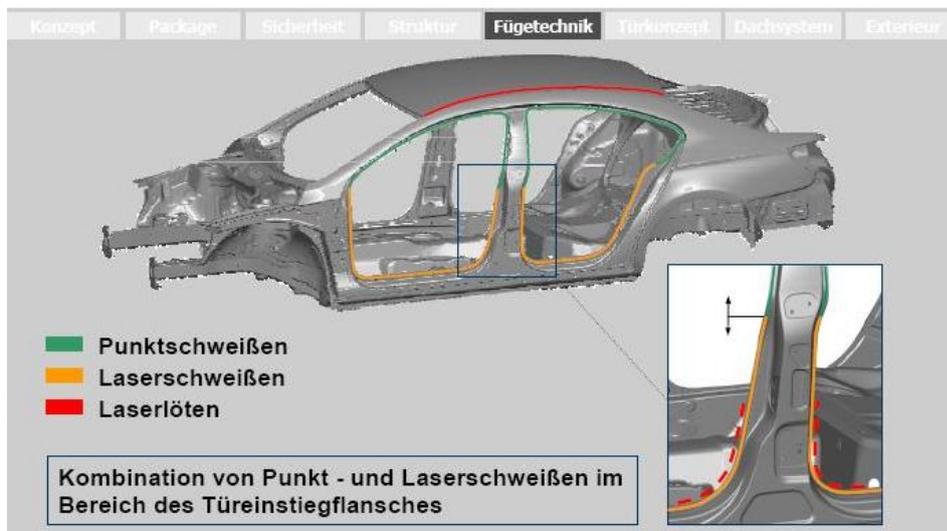


Abbildung 13 Fügeumfang Passat CC [32]

Zur Herstellung von Karosserie-Strukturbauteilen kommen verschiedene Umformverfahren mit unterschiedlich aufwändigen, anschließenden Beschneidvorgängen der Halbzeuge und Fügeverfahren zum Einsatz.

6.1.1 Umformen

Zur Fertigung „höchstfester“ Bauteile haben sich heute im Wesentlichen drei Blechumformverfahren in der Serienfertigung etabliert. Hierbei handelt es sich um die Kaltumfor-

Zwei Verfahren in Serienanwendung

mung höchstfester Werkstoffe und das Presshärten von borlegierten Stählen, die den weitaus größten Anteil einnehmen. Weiterhin kommt auch für spezielle Anwendungen das Innenhochdruckumformen zum Einsatz.

Die Auswahl des Verfahrens ist von der Bauteilkomplexität und den Teilkosten abhängig. Die Kaltumformung eignet sich für die Herstellung von weniger komplexen Bauteilen mit geringeren Stückkosten. Das Erweitern der Verfahrensgrenzen der Kaltumformung ist das Ziel heutiger Forschungsprojekte am Institut Tools & Forming. Es sollen die Grenzen der Kaltumformung in Richtung oder zu komplexesten Bauteilen verschoben werden.

Auswahl des Verfahrens abhängig von Bauteilkomplexität und Bauteilkosten

Die Warmumformung eignet sich für die Herstellung komplexester Geometrien, da das Blech bis über AC3-Temperatur (Umwandlungstemperatur- Austenitisierung) erwärmt wird. Das Bauteil wird anschließend mit einer Abkühlgeschwindigkeit im geschlossenen Umformwerkzeug abgekühlt und es wird ein Martensitgefüge erzielt.

Presshärten borlegierter Stähle

So können komplexeste Bauteile mit einem Festigkeitsniveau von bis zu 1500MPa gefertigt werden. Der Einsatz von Werkzeugen, die Bereiche mit unterschiedlich hoher Abkühlgeschwindigkeit haben, ermöglicht Bauteile mit unterschiedlichen Festigkeiten. Dadurch können die Wünsche der Karosseriekonstrukteure nach solchen unterschiedlichen Festigkeiten ohne den Einsatz von Zusatzblechen Rechnung getragen werden. Nachteile der Warmumformung sind die noch recht hohen Anlagenkosten und die Inkompatibilität mit bestehenden Anlagen.

Bauteile mit höchsten Festigkeiten

Die Warmumformung wird in zwei Varianten, das direkte und indirekte Presshärten, unterteilt. Beim indirekten Presshärten werden Halbzeuge verwendet, die schon fast die endgültige Bauteilgeometrie aufweisen. Diese Geometrien werden zunächst in einem Kaltumformprozess gefertigt. Durch das Presshärten der fast fertig gestellten Geometrien kann der Verschleiß der Warmformwerkzeuge auf Grund fehlender Relativbewegung reduziert werden. Das

Zwei Varianten des Presshärtens

Verfahren wird außerdem bei Audi und der Voest für die Umformung zinkbeschichteter Bleche verwendet.

Die Entscheidung für ein Umformverfahren hängt stark von der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Verfahren ab. Da die Sicherheit eines Fahrzeuges immer wichtiger wird und die Verfahren durch Innovation und Entwicklung ihre Einsatzbereiche erweitern, ist ein erneutes Überdenken notwendig. Die klassischen Grenzen, die durch Preiskalkulationen gesetzt werden, sind durch Kombination der Verfahren und neue Konstruktionskonzepte neu zu betrachten. Ob ein Karosserie-Bauteil mit der Warm- oder Kaltumformung gefertigt wird, hängt heute davon ab, ob primär Kostensparnis oder Gewichtsreduktion angestrebt wird. Die Kaltumformung eignet sich aus heutiger Sicht vor allem für eine kostengünstige Herstellung. Dabei darf aber nicht übersehen werden, dass mit zunehmender Komplexität des Bauteils nur mehr Werkstoffe mit niedrigeren Ausgangsfestigkeiten eingesetzt werden können, was meist mit einer erhöhten Blechdicke einhergeht. Aufgrund dieser unterschiedlichen Ansätze eignet sich die integrierte Produktentwicklung sehr gut dazu diese zu überprüfen und Synergieeffekte zu nutzen. Dadurch kann es passieren, dass bisherige Beurteilungen neu überdacht werden müssen.

Welches Verfahren für welches Bauteil?

6.1.2 Schneiden

Nach der eigentlichen Umformung des „höchstfesten“ Bauteils ist es meist erforderlich einen Außenbeschnitt durchzuführen und Lochungen in das Bauteil einzubringen. Durch das vorliegende hohe Festigkeitsniveau kommt es bei dem Hartbeschnitt, ähnlich wie bei dem kaltumformbaren von hochfestem martensitischem Stahl, zu Problemen hinsichtlich Standzeit der Werkzeuge, Störanfälligkeit des Prozesses und hohe Kosten, die durch den erhöhten Aufwand hinsichtlich Werkzeuginstandhaltung verursacht werden. [33]

Beschnitt von „höchstfesten Bauteilen“

Hartbeschnitt oder Lasereinsatz

Der Beschnitt von hoch- und höchstfesten Stählen ist unter Berücksichtigung der weiter wachsenden Anteile dieser Stahlgüten in Karosserien und dem Wunsch Kosten zu reduzieren ein wichtiger Bereich, den es zu untersuchen gilt. Hoch- und höchstfeste Stähle benötigen andere Schneidkonzepte, damit das Werkzeug das Blech schneidet und nicht umgekehrt. Noch heute ist der Einsatz von Hartbeschnittwerkzeugen Stand der Technik, wobei diese Werkzeuge natürlich den neuen Herausforderungen angepasst werden. [34]

Während des Schneidvorganges kommt es zu großen mechanischen und chemischen Beanspruchungen, die auf das Schneidwerkzeug einwirken. Die Reaktionen zwischen Werkzeug und Werkstück werden von der Reibungswärme, dem Schmierstoff und dem Umgebungsmedium beeinflusst. Dadurch kommt es im Bereich des Beschnittwerkzeugs zu Verschleiß. Der Verschleiß wird größer, je härter der zu schneidende Werkstoff ist. Die Kosten für Instandhaltung und Werkzeugwechsel steigen abhängig von der steigenden zu schneidenden Festigkeit.

Optimierung von geometrischen Größen und Werkstoffeinfluss

Beim Beschnitt eines hochfesten Stahles, wie z.B. MSW 1200, kommt es zu hohem Verschleiß an der Schneide des Schneidstempels durch abrasiven Verschleiß. Dadurch entsteht bereits nach geringen Standzeiten des Schneidwerkzeuges ein größerer Schneidradius, der wiederum zur Gratbildung an den zu beschneidenden Blechen führt. Um die Gratbildung zu vermeiden, muss das Werkzeug regelmäßig nachgeschliffen bzw. in letzter Konsequenz ausgetauscht werden. Das Nachschleifen bzw. Austauschen des Schneidwerkzeuges ist sehr zeit- und kostenintensiv.[35]

Werkzeugverschleiß

6.2 Fügeverfahren bei Volkswagen

Die Auswahl eines Fügeverfahrens richtet sich nach verschiedenen Anforderungen. Das Fügeverfahren muss für den zu fügenden Werkstoff, für die zu fügende Geometrie, für die vorgegebene Festigkeit und die angestrebte Taktzeit geeignet sein. Das Kostentarget und die Betriebsfes-

Auswahl von Fügeverfahren

tigkeit der Verbindung bestimmen zusätzlich die Auswahl des Fügeverfahrens. Es muss eine stabile Produktion ermöglichen und muss 995/1000 i.O. Verbindungen in der laufenden Produktion ermöglichen. Qualitätssicherungsmaßnahmen und Nacharbeitungsmöglichkeiten müssen im Idealfall vorhanden sein. [2]

6.2.1 Laserlöten CMT

Das Laserlöten „Cold Metal Transfer“ eignet sich sehr gut zur Verbindung hochfester Bauteile. Durch die scharf abgetrennte Wärmeeinflusszone und die dadurch niedrigen Temperaturen in den angrenzenden Bereichen, gibt es nur einen kleinen Wärmeeintrag in das zu fügende Bauteil, dadurch bleibt die Bauteilfestigkeit erhalten. Das Verfahren basiert auf der Kurzlichtbogentechnologie. Der Schmelzdraht wird dabei stetig vor- und zurückgezogen, um die Tropfenablösung, wie in Abbildung 14 gezeigt, zu erleichtern. Das Laserlöten befindet sich bei Volkswagen im Serieneinsatz. [2]

Laserlöten „Cold Metal Transfer“

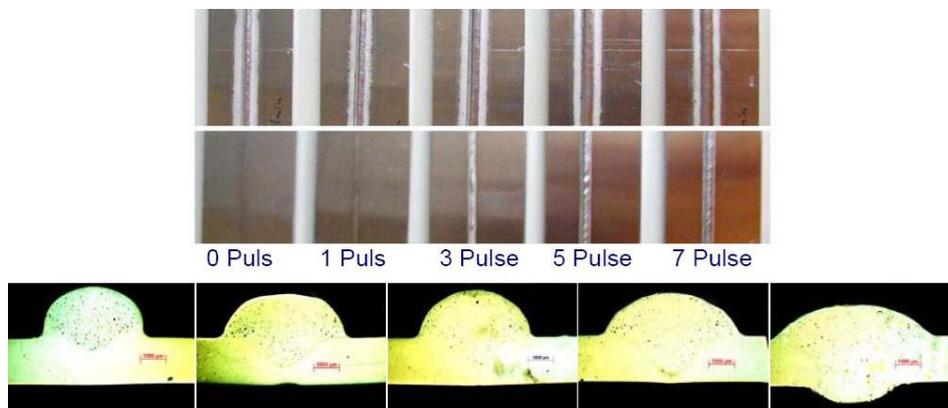


Abbildung 14 Verbindung mittels CMT [36]

Vorteile des Verfahrens sind eine kleine Wärmeeinflusszone und eine hohe Oberflächenqualität der Naht. Daher ist das Verfahren auch für Verbindungen im Sichtbereich des Kunden, wie zum Beispiel am Übergang der Seitenwand zum Dach, geeignet. Nachteile sind die langsamen Prozesszeiten und der hohe Einsatz von Fügestoffen.

6.2.2 Laserschweißen

Beim Laserschweißen unterscheidet man verschiedene Laserstrahlquellen. Es gibt Festkörper-, Halbleiter- und auch Gaslaser. Gebräuchlich sind die CO₂ und die YAG-Laser.

Der entstehende Laserstrahl wird entweder mit Hilfe von Spiegeln oder Glasleitern zur Schweißstelle geführt. Durch die eingebrachte Energie aus dem Laser schmilzt das zu fügende Material. Dadurch entsteht eine metallische Verbindung der Werkstoffe. Da der Laserstrahl auch mehrere Bleche durchschweißen kann, ist er auch für die Verbindung von mehr als zwei Blechen gleichzeitig und das Fügen von unterschiedlichen Werkstoffen geeignet (Abbildung 15). Um die Naht vor Versprödung zu schützen, werden Schutzgase eingesetzt, die die Umgebungsatmosphäre von der Naht fernhalten.

Prinzip des Laserschweißens

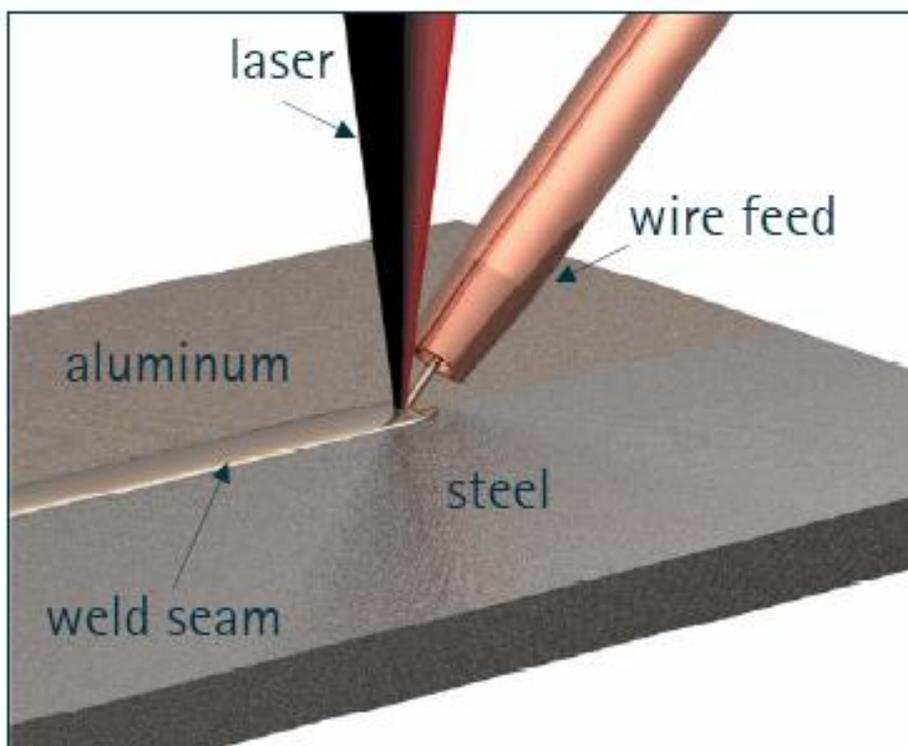


Abbildung 15 Laserschweißen von Stahl und Aluminium
[37]

Da der Laserstrahl sich frei bewegen lässt, sind auch belastungsangepasste Nahtformen möglich. Das bedeutet, dass nicht nur Kreise, sondern auch Rauten, Linien, Sterne,

Unterschiedlichste Nahtformen sind möglich

Wellen usw. als Schweißnahtform geschweißt werden können, die je nach Belastungsrichtung angepasst werden können (Abbildung 16).

Ein Problem stellt die fehlende Fixierung der Bauteile während des Fügens dar. Dazu gibt es unterschiedliche Ansätze dieses Problem zu lösen. In den Versuchen wurden zusätzliche Spannmittel eingesetzt, um die Bauteile während des Fügens zu fixieren. Die Versuchsreihen führten zu positiven Ergebnissen. Der Einsatz zusätzlicher Spannmittel reduziert den wirtschaftlichen Vorteil, da zusätzlich Kosten für die Bauteilaufnahmen entstehen. [2]

Das Laserschweißen eignet sich auch für Profile und andere komplexeste Geometrien, da nur eine einseitige Zugänglichkeit des zu fügenden Bereiches beim Laserschweißen notwendig ist. Je nach Belastung der Bauteile werden unterschiedliche Nahtformen gewählt, wie in Abbildung 16 gezeigt.

Laserschweißen für Profile / Blechformteil

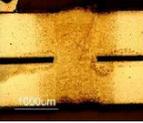
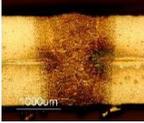
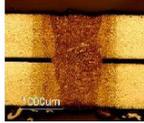
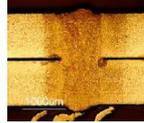
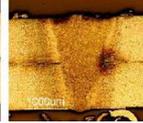
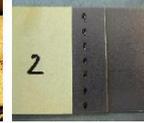
Einfluß der Nahtform auf die Zugfestigkeit beim Laserstrahlschweißen					
Lasernaht 20 mm quer zur Zugrichtung	Lasernaht 20 mm 90° längs zur Zugrichtung	Lasernaht Welle r = 5 quer zur Zugrichtung	Lasernaht Kreis r = 5 Beginn/Ende seitlich	Lasernaht C-Form r = 5 Bereich offen seitlich	Stepps 3mm Versatz 5 mm quer zur Zugrichtung
Laserleistung: 2,8 kW Geschwindigkeit: 3 m/min Zugfestigkeit: 300 N/mm ² Höchstzugkraft: 10 kN Nahtfläche: 30 mm ²	Laserleistung: 2,8 kW Geschwindigkeit: 3 m/min Zugfestigkeit: 320 N/mm ² Höchstzugkraft: 10,8 kN Nahtfläche: 33 mm ²	Laserleistung: 2,8 kW Geschwindigkeit: 3 m/min Zugfestigkeit: 300 N/mm ² Höchstzugkraft: 16 kN Nahtfläche: 50 mm ²	Laserleistung: 2,8 kW Geschwindigkeit: 3 m/min Zugfestigkeit: 300 N/mm ² Höchstzugkraft: 15 kN Nahtfläche: 50,4 mm ²	Laserleistung: 2,8 kW Geschwindigkeit: 3 m/min Zugfestigkeit: 330 N/mm ² Höchstzugkraft: 12 kN Nahtfläche: 36,8 mm ²	Laserleistung: 5 kW Geschwindigkeit: 7,5 m/min Zugfestigkeit: 250 N/mm ² Höchstzugkraft: 0,54 kN Nahtfläche: 21 mm ²
					
					

Abbildung 16 Lasernahtform und ihre Festigkeiten [38]

6.2.3 Widerstandspunktschweißen (WIP)

Das Widerstandspunktschweißen (WIP) ist ein Fügeverfahren, bei dem sich überlappende Bleche mit Hilfe des elektrischen Stromes und unter Druck der Schweißzange gefügt

Prinzip des Widerstandspunktschweißens

werden. Dazu werden mit Wasser gekühlte Elektroden verwendet, die einen geringeren spezifischen Widerstand als die zu fügenden Bleche haben. Diese Schweißzange (siehe Abbildung 17) drückt die zu fügenden Bleche zusammen, anschließend wird ein hoher elektrischer Strom durch das Blech geleitet. Da der elektrische Widerstand der Bleche größer ist als der Widerstand der Elektroden, bildet sich an der Stelle des größten Widerstandes, also am Übergang von einem Blech zum anderen, ein sich erwärmender Bereich. [39]

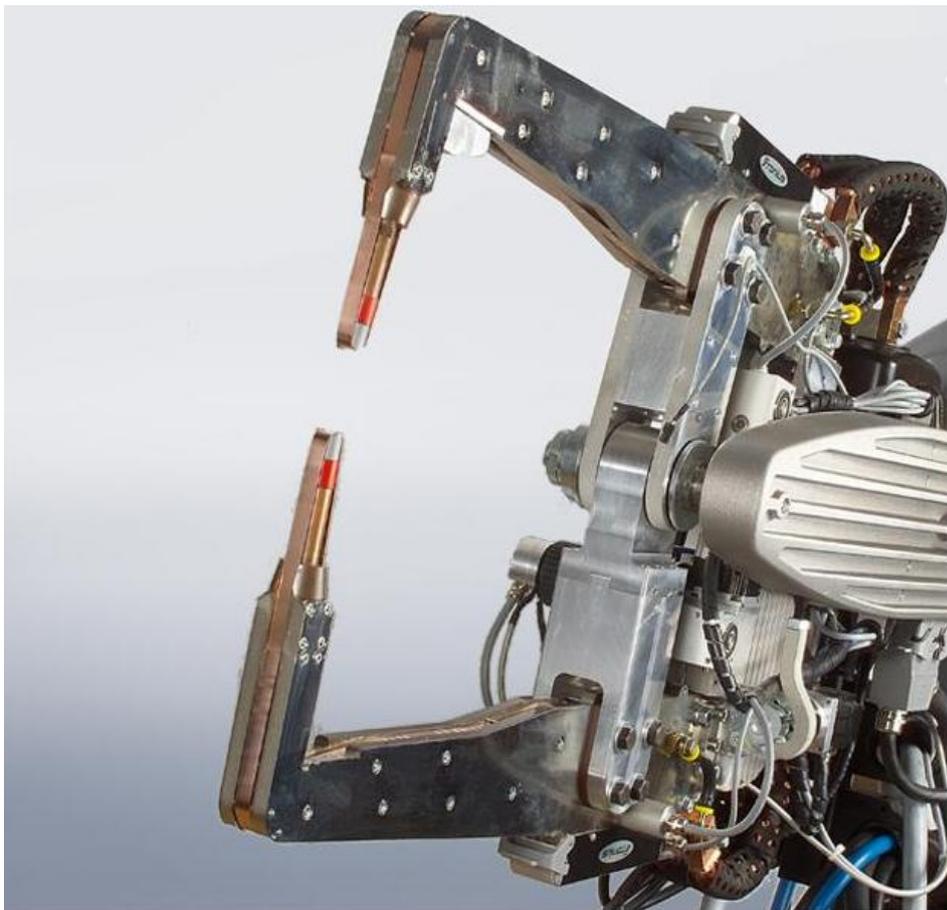


Abbildung 17 Schweißzange [39]

In diesem Bereich schmelzen die Bleche lokal auf und es bildet sich unter dem Druck der Schweißzangen die so genannte Schweißlinse aus. Das WIP ist ein Fügeverfahren ohne Zusatzwerkstoff.

Moderne Schweißstromsteuerung und Schweißzangen ermöglichen auch das Schweißen hoch- und höchstfester

Pulsierender Schweißstrom

Güten. Es ist auch für die Kombination von verschiedensten metallischen Werkstoffen geeignet, z.B. Stahl mit Aluminium. Unerwünschte Härtesteigerungen im Bereich des Schweißpunktes werden durch gezielte Anpassung des Schweißstromes und durch mehrmaliges Impulserwärmen vermieden. Weiterhin kann gezielte Wärmebehandlung am Schweißpunkt realisiert werden, die die lokale Versprödung reduziert. Der anfallende Wartungsaufwand ist bei diesem Fügeverfahren relativ gering und der Prozess sehr stabil. [2]

6.2.4 Schutzgasschweißen

Das klassische Schutzgasschweißen, zu dem verschiedene Verfahren wie MIG (Metall-Inert-Gas), MAG (Metall-Aktiv-Gas), WIG (Wolfram-Inert-Gas) gehören, ist schon lange erprobt und wird im Karosseriebau eingesetzt. Es bietet Vorteile bei der Verbindung von Bauteilen, die in hochbeanspruchten Bereichen liegen. Es kann manuell, sowie auch automatisiert durchgeführt werden. Ein hoher Einsatz von Zusatzwerkstoff und lange Fügezeiten sind Nachteile dieser Verfahren. Die ausgeprägte Wärmeeinflusszone und die damit verbundene Versprödung sind Nachteile dieses Verfahrens. [2]

MIG/MAG

6.2.5 Kleben

Kleben ist ein Fügeverfahren, das auf den Adhäsionskräften zwischen Klebstoff und zu fügendem Werkstoff basiert. Der Klebstoff befindet sich zwischen den zu fügenden Elementen. Kleben bietet verschiedene Vorteile:

Vorteile

- Fügen unterschiedlicher Werkstoffe ist leicht möglich,
- Gewichtsneutrale Erhöhung der Bauteilsteifigkeit,
- Schall- und Schwingungsdämpfung,
- Dichtwirkung gegen Gase und Flüssigkeiten,
- Korrosionsschutz gegen Spalt- und Kontaktkorrosion,
- Verzugarmes Fügen, da nur sehr kleiner Wärmeeintrag,

- Flächige Krafteinleitung, keine Spannungsspitzen.

Heutige Klebstoffe können für unterschiedlichste Anwendungen und Bedürfnisse eingesetzt werden. Die Forschungsarbeiten in diesem Bereich sind sehr weit fortgeschritten und die Technologie uneingeschränkt serienreif. Der Auftrag des Klebers erfolgt meist automatisiert, um eine definierte Klebstoffmenge beim Auftrag sicherzustellen. Die Auswahl des Klebstoffes ist abhängig von den Anforderungen an die Verbindung und den zu fügenden Werkstoff. [40]

6.2.6 Hybridfügen

Das Hybridfügen stellt eine Kombination aus verschiedenen Fügetechniken dar, wie beispielhaft anhand einer Klebe-Nietverbindung in Abbildung 18 dargestellt. Bestimmte Kombinationen sind technisch sinnvoll und möglich.

Kombination verschiedener Fügetechniken

Eine Kombination von z.B. Kleben mit Laserschweißen ist nur möglich, wenn die Lasernaht nicht durchgängig ist, damit die entstehenden Gase entweichen können. Hierzu gibt es unterschiedliche Untersuchungen und Erfahrungen. Diese Verfahren eignen sich auch für höchstfeste Werkstoffe. [2]

Kombination von Kleben und Laserschweißen



Abbildung 18 Hybridverfahren [41]

6.2.7 Stanznieten



Abbildung 19 Stanznietverbindung [42]

Das Stanznieten (siehe Abbildung 19 und Abbildung 20) ist ein mechanisches Fügen, bei dem die zu verbindenden Teile ohne Vorlöcher miteinander verbunden werden. Die Stanznietzange führt den Halbhohlriet zu, der das obere Blech durchstößt und die untere Blechlage zu einem Schließkopf verformt. Charakteristisch beim Stanznieten ist, dass das untere Blech zwar verformt, aber nicht vollständig durchtrennt wird.

Prinzip des Stanznietens

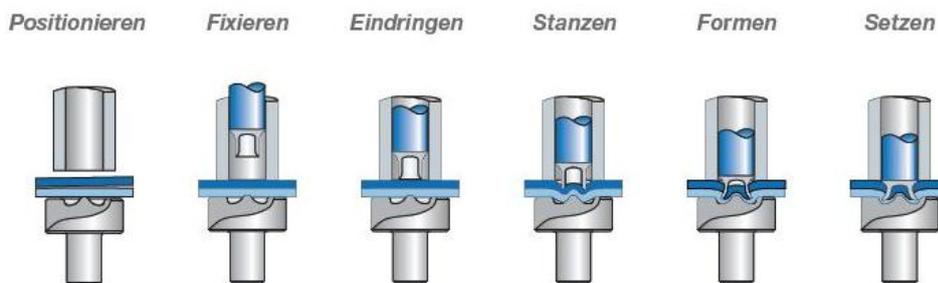


Abbildung 20 Prinzip des Stanznietens [42]

Eine Anwendung erfolgt vor allem zum Fügen von stark

Anwendung

zinkbeschichteten Stahlblechen, sowie zum Fügen von Aluminium-Legierungen; die Kräfte beim Nieten reichen von 30 bis 50kN.

6.2.8 Durchsetzfügen (Clinchen)

Beim Durchsetzfügen (Clinchen) wird eine unlösbare Verbindung zwischen zwei oder mehreren Blechen ohne Hilfsfügeteile (wie etwa Schrauben, Nieten, Klebstoff) unmittelbar aus dem Werkstoff der zu verbindenden Bleche hergestellt.

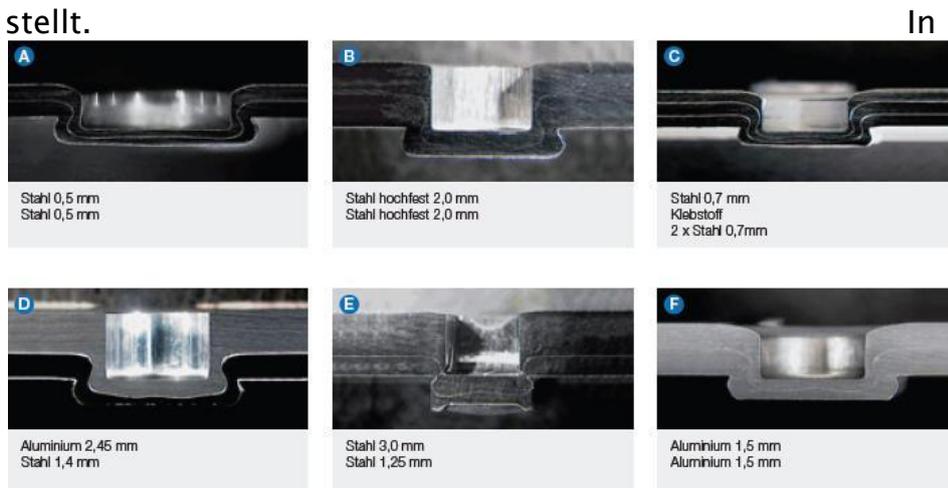


Abbildung 21 werden verschiedene Werkstoffkombinationen gezeigt. Ähnlich wie beim Stanznieten können Bleche und Profile unterschiedlicher Dicke, sowie verschiedenste Materialien gefügt werden. [43]

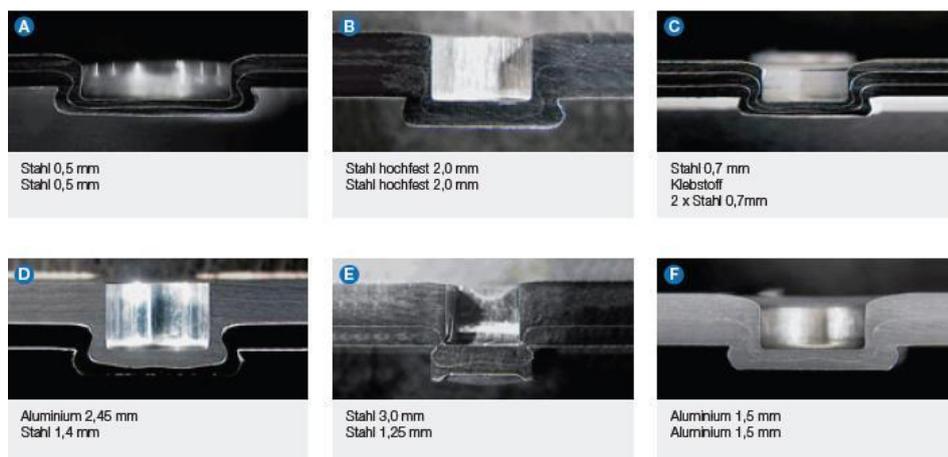


Abbildung 21 geclinchte Verbindungen [42]

Die Verbindung der Bleche erfolgt durch einen lokalen Umformvorgang mittels einer speziellen Stempel- und Matrizenkombination. Unter dynamischer Beanspruchung weisen Clinchelemente ein deutlich besseres Tragverhalten als

Clinchen= lokaler Umformvorgang zwischen Stempel und Matrize

z.B. Widerstandsschweißpunkte auf, da das Clinchen seine Dauerfestigkeit bei höheren Kraftamplituden erreicht.

Die Clinchtechnik stellt an die Oberflächen der Blechwerkstoffe nur geringe Anforderungen. So können sowohl unbeschichtete, als auch verzinkte, lackierte, kunststoffbeschichtete Bleche ohne Vor- oder Nachbehandlung geclincht werden. Auch eine mögliche Beölung der Blechoberfläche wirkt sich auf das Clinchen nicht aus. Das Clinchen ist ein Verfahren mit besonders geringen Fertigungskosten. Da kein Wärmeeintrag stattfindet, werden Verzüge und Gefügeveränderungen in den Bauteilen vermieden. [44]

Keine besonderen Anforderungen hinsichtlich Oberflächenqualität

6.2.9 Löten

Zum Aufbringen von Patches eignet sich der Einsatz von Lötfolien. Diese Folien werden zwischen die Bauteile gelegt und dann mit Hilfe eines Ofens oder einer anderen Wärmequelle aufgeschmolzen. Es ist bei dieser Art der Verbindung darauf zu achten, dass das Lot nicht zu dick ist, damit eine genügend feste Verbindung erzeugt wird. Lötverbindungen dieser Art sind sehr fest und eignen sich deshalb gut für sicherheitsrelevante Bauteile, wie B-Säulen. [1]

Aufbringen von Patches

6.3 Herstellungsverfahren für Halbzeuge bei Volkswagen

6.3.1 Platinen

Für den Hauptteil der Bauteile in Volkswagenkarosserien kommen Platinen, die direkt vom Band geschnitten werden, zum Einsatz. Diese Vorgehensweise entspricht seit Jahren dem Stand der Technik.

6.3.2 Tailored Rolling (TRB)

Tailored Rolled Blanks sind Bleche, die aus flexibel gewalzten Bändern erzeugt werden. Dazu werden kontinuierlich vom Coil ablaufende Bänder mit variierenden Dicken gewalzt. Eine B-Säule des Dodge-Caliber mit über die Länge unterschiedlichen Dicken ist in Abbildung 22 dargestellt. So werden harmonische Übergänge zwischen Bereichen

Tailored Rolled Blanks (TRB)

unterschiedlicher Dicke möglich. Die Fasern werden nicht zerschnitten, sondern gehen harmonisch in den Bereich anderer Dicke über. Das führt zu einem harmonischen Spannungsübergang und zu einer einheitlichen Oberfläche. Es gibt an den Übergängen keine Kerbwirkung und keine Gefügeveränderung. [45]

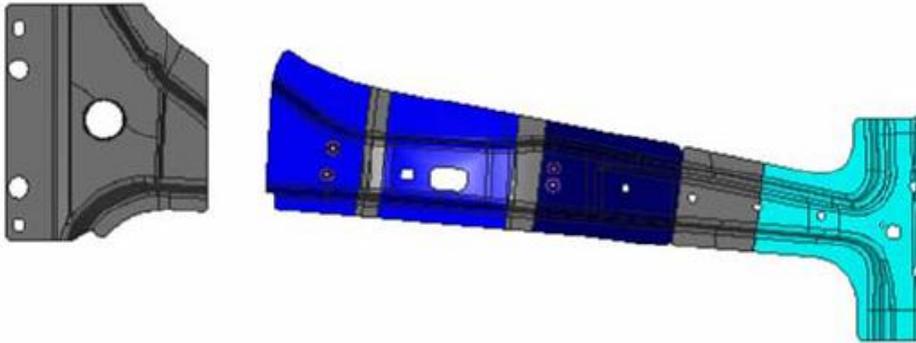


Abbildung 22 B-Säule-Dodge-Caliber [46]

Die Umformeigenschaften eines TRB sind vergleichbar mit den Umformeigenschaften eines konventionell gewalzten Bleches. TRB eignen sich sehr gut für Bauteile mit über der Länge unterschiedlichen Dicken und Festigkeitsanforderungen, da immer längs zur Walzrichtung eine Dickenänderung möglich ist.

*Umformeigenschaften
eines TRB vergleichbar
mit konventionell ge-
walztem Blech*

Das Verfahren des flexiblen Walzens (siehe Abbildung 23) bietet sich für alle metallischen Werkstoffe. Umfangreiche Erfahrungen liegen für den Serieneinsatz dieser Technologie vor. Für eine B-Säule, die über ihre Länge unterschiedliche Eigenschaften haben soll, eignet sich das Verfahren sehr gut, wenn es gelingt, genügend feste Werkstoffe zu verarbeiten.

*Serienerfahrung mit
Tailored Rolled Blanks*

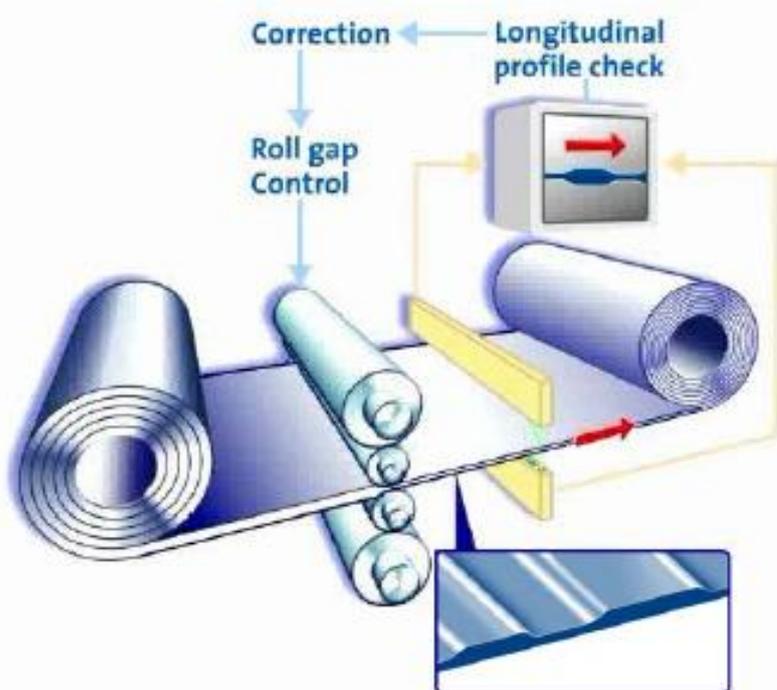


Abbildung 23 Flexibles Walzen von TRB [47]

Eine Wärmebehandlung des Bauteiles, sowie der Platine ist ohne Probleme möglich, wenn eine sichere Positionierung im Werkzeug erreicht wird. Dazu werden Positionierhilfen, wie Stifte oder Anschläge, in Serie eingesetzt. [1]

Wärmebehandlung

Ebenfalls ist es möglich Halbzeuge, die für das Presshärten borlegierter Stähle vorgesehen sind, aus TRB herzustellen. Die üblichen Umformverfahren, wie Streck- und Tiefziehen, sind, wie unterschiedliche Serienanwendungen zeigen, bei TRB möglich. Die unterschiedliche Dicke der Bauteile über die Länge ist gut in Abbildung 24 zu sehen.

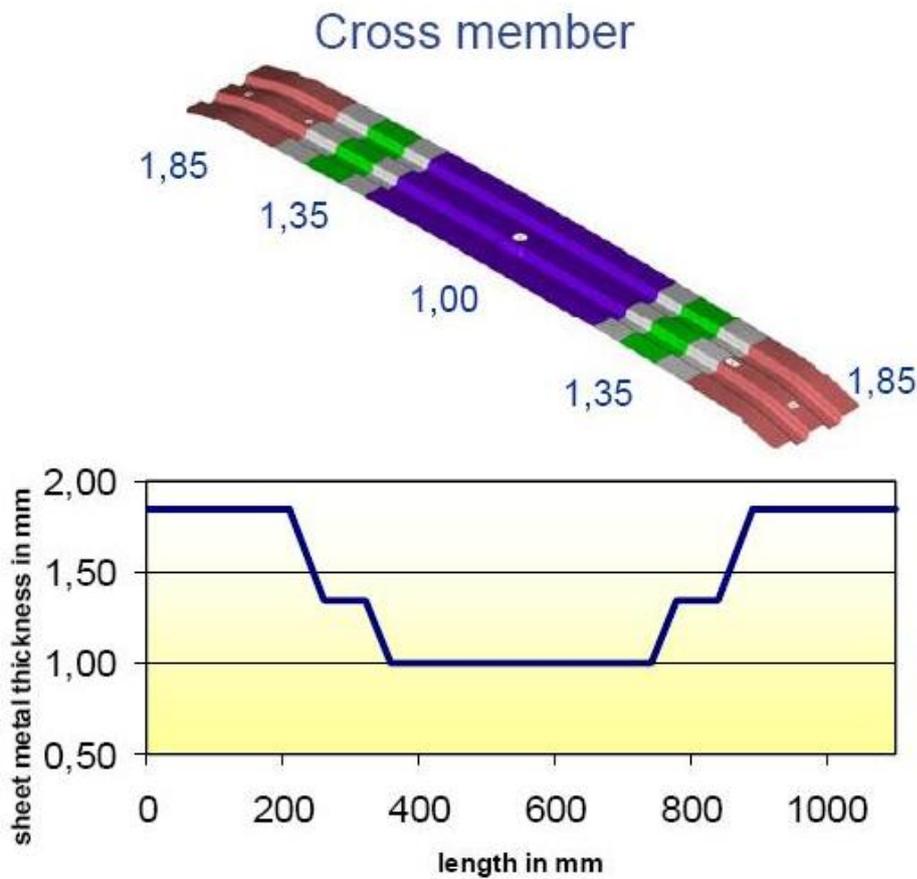


Abbildung 24 Tailored Rolled Blank [47]

Der Nachteil von Tailored Rolled Blanks liegt unter anderem darin, dass es nur exklusiv von einem Hersteller bezogen werden kann, da ein Patent besteht. Ein weiterer Nachteil ist der große anfallende Verschnitt aufgrund der Dickenänderung nur in Walzrichtung. Deshalb kann das Bauteil nicht quer oder schräg zur Walzrichtung positioniert werden.

Nachteile von Tailored Blanks

6.3.3 Tailored Welding (TWB)

Tailored Welded Blanks (TWB) sind Bleche die aus Einzelblechen bestehen, die durch Laserschweißverfahren zu Platinen verbunden und anschließend umgeformt werden können. TWB lassen sich aus allen metallischen Werkstoffen erzeugen, die miteinander verschweißbar sind. Hier gibt es unterschiedliche Arten die einzelnen Bleche miteinander zu verschweißen. [10]

Tailored Welded Blanks: Erzeugung und Verarbeitung

Am geläufigsten ist das Stumpfschweißen, bei dem die Ble-

Stumpfschweißen für TRB

che ohne Fuge nebeneinander positioniert und dann verschweißt werden. Dieses Verfahren erfordert genügend genaue Schnittkanten, da nur eine geringe Fuge gefüllt werden kann und ohne Schweißzusatzwerkstoff gearbeitet wird. In Abbildung 25 ist ein Beispiel für ein solches Bauteil gezeigt. [2]

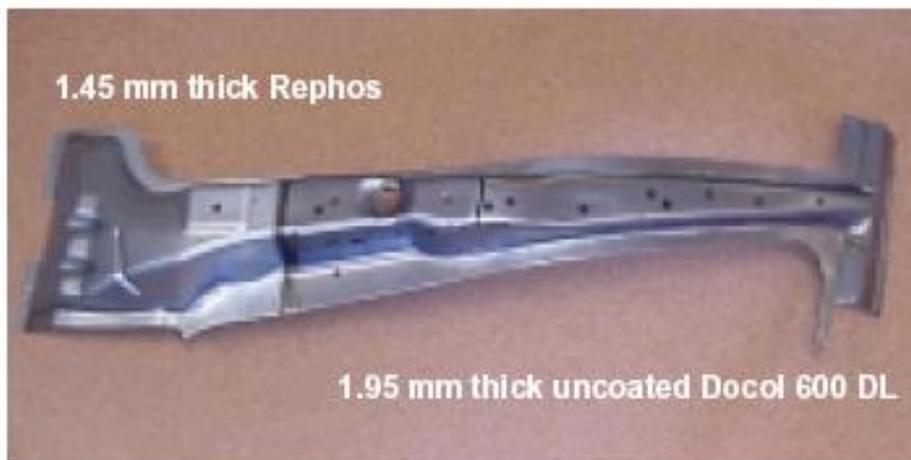


Abbildung 25 B-Säule aus TWB (Volvo) [48]

Ein Nachteil der TWB sind die erforderlichen Schweißvorbehandlungen und -fügungen. Neben zusätzlichem Einsatz von Anlagen und Produktionszeit entstehen höhere Halbzeugkosten, die gerade bei „engineered-Blanks“ deutlich höhere Kosten der Bauteile verursachen. [8]

Nachteile TWB

Die Schweißnaht stellt eine lokale Schwächung der Struktur dar und muss konstruktiv berücksichtigt werden. Es ist wichtig die Schweißnaht nicht in hochbelastete Bereiche zu legen.

Lokale Schwächung im Schweißnahtbereich

Vorteile sind die Möglichkeit komplexe Geometrien zu fertigen und die mögliche Verbindung unterschiedlichster Werkstoffe. In Abbildung 26 ist eine B-Säule als Kombination aus verschiedenen Werkstoffen gezeigt.

Vorteile der TWB



Abbildung 26 Tailored Blanks zur Kalt- und Warmumformung [49]

6.4 Innovative Fertigungsverfahren der Wettbewerber

Für die Herstellung von Halbzeugen und der ganzen Baugruppe B-Säule werden bei Konkurrenzunternehmen unterschiedliche Verfahren eingesetzt, die in den folgenden Abschnitten aufgelistet werden.

6.4.1 Tailored Tubing

Tailored-Tubes sind aus Tailored-Blanks gefertigte Halbzeuge, aus denen mittels Innenhochdruckumformung Karosseriebauteile gefertigt werden. In Abbildung 27 sind zusätzlich zu Tailored Strips und Tailored Blanks auch Tailored Tubes zu sehen. In Abbildung 28 sind zwei unterschiedliche Formen von Tailored Tubes zu erkennen. [45]

Prinzip und Aufbau von Tailored Tubes

Unterschieden werden zwei Arten der Herstellung:

- Verschweißen einzelner Rohrabschnitte,
- Einformen eines Tailored Blanks zur Rohr- und Längsrohrnahtschweißung.

Das geschlossene Hohlprofil zeichnet sich im Vergleich zur konventionellen Schalenbauweise durch eine höhere Torsionssteifigkeit aus, wobei gleichzeitig die Blechdicke, Bauteilanzahl und die Flanschflächen verringert werden können, was im Hinblick auf Leichtbau Vorteile bietet. In den Studien ULSAB und ULSAB- AVC, sowie im Thyssen Krupp NSB wurde der erfolgreiche und kostengünstige Einsatz

Vorteile für den Karosseriebau

von Tailored-Tubes als Referenz bereits nachgewiesen. Im VW Touareg und Porsche Cayenne wurden die Längsträger aus Tailored Welded Tubes gefertigt. [50]



Abbildung 27 Tailored Blanks, Tailored Strips und Tailored Tubes [50]



Abbildung 28 Tailored Tubes [51]

6.4.2 Patchworking

Patchwork-Blanks sind Platinen, die in bestimmten Bereichen im ebenen Zustand durch Formstücke gedoppelt wer-

Prinzip der Patchwork-Blanks

den, dadurch werden diese Bereiche im umgeformten Bauteil verstärkt (siehe Abbildung 29).

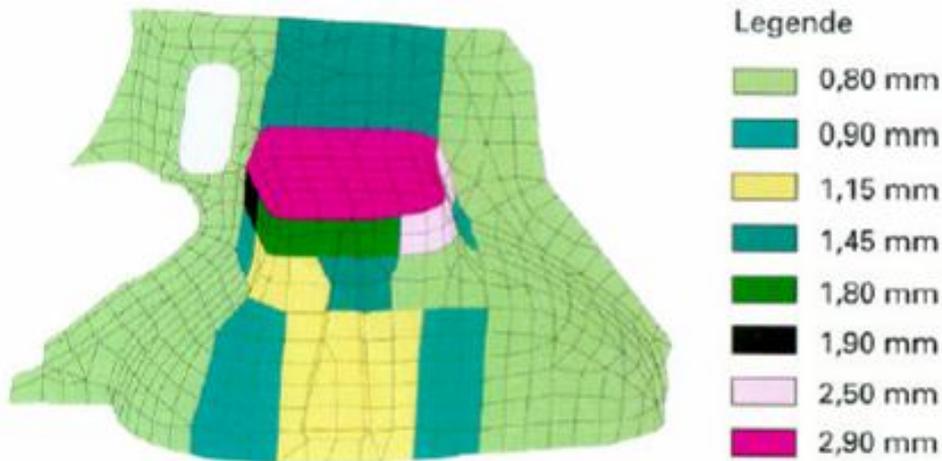


Abbildung 29 Patchwork- Technik [PP]

Der Umformprozess kann mit nur einem einzigen Werkzeug erfolgen, wobei auf eine Anpassung des Ziehspaltes an die höhere Blechstärke zu achten ist. Fügeverfahren zur Erzeugung von Patchwork-Blanks sind das Punkt- und das Laserschweißen, sowie das Kleben. [1]

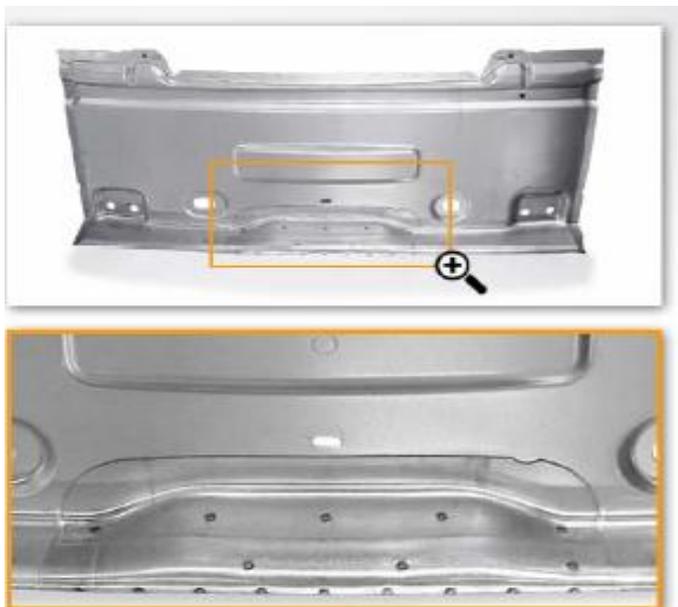


Abbildung 30 Patchwork im VW Touran: punktgeschweißtes Abschlusssteil [52]

Patchwork Blanks werden in der Karosserie unter anderem zur Verstärkung von Seitenteilen, Abschlussteilen (Abbildung 30) und zur Innenversteifung von B-Säulen (Abbildung 31) verwendet.

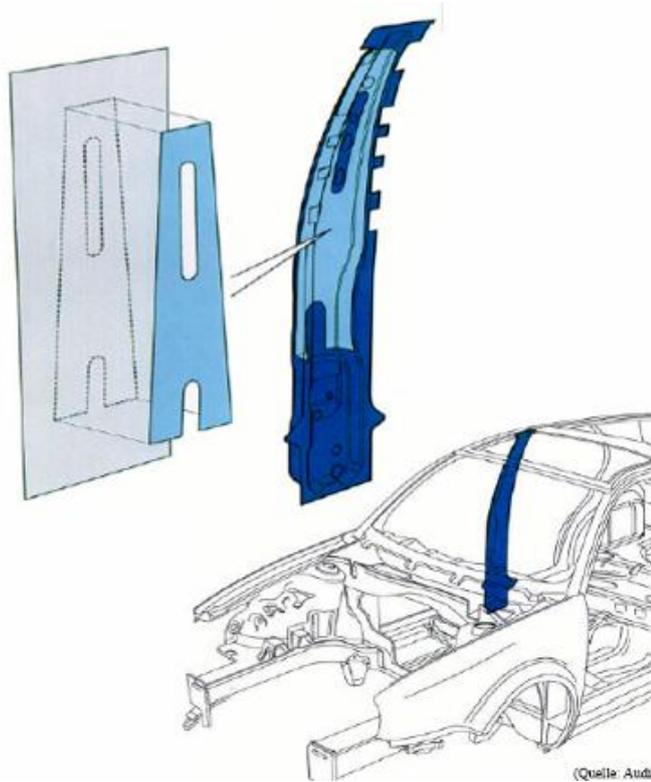


Abbildung 31 Patchwork Blanks im Audi A4: B- Säule mit Innenversteifung [53]

Auch Hybridfügetechniken sind möglich, am üblichsten ist das Kleben in Verbindung mit dem Laserschweißen. Die entstehenden Gase können leicht entweichen, da die Seiten um die Fügestelle offen sind. Dadurch entstehen keine ungewollten Gasblasen oder Risse an der Fügestelle.

Hybridfügen

Vorteile sind, dass die Verstärkung und das zu verstärkende Bauteil zur selben Zeit in einem Arbeitsgang umgeformt werden können. Dadurch entfällt das spätere aufwendige Einlegen und Fügen der beiden Teile, wie im Referenzbauteil. Diese Technik ermöglicht auch den Einsatz unterschiedlicher Werkstoffe in einem Bauteil. Auch die Kombination von Kunststoffen oder Verbundstoffen mit metallischen Werkstoffen ist möglich. [2]

Nur ein Umformvorgang nötig

Die Kosten für Patches sind abhängig von der Größe des Patches, der Menge an aufgewendeten Lotes, der Komplexität des Beschnitts und den Zusatzkosten. Die Kosten können relativ zu einer „gewöhnlichen“ Platine angegeben werden.

6.4.3 Herstellung von Profilstrukturen

Vorgefertigte belastungsoptimierte Profile (Abbildung 32), die hohl oder auch teilweise massiv sein können, können auch zur Realisierung von B-Säulen-Strukturen genutzt werden. Diese Profile können Strangpress- oder Gussprofile sein, die in die gewünschte Form gebogen werden und dann z.B. durch Gussknoten aus Leichtmetall an die restliche Struktur angebunden werden, ähnlich einer Spaceframe Struktur. Diese Profile werden aus Leichtmetall, bzw. auch aus höherfesten Güten hergestellt und können auch nur als Versteifungs- oder Verstärkungsteile für Schalenbauweisen verwendet werden.

Belastungsoptimierte Bauteile

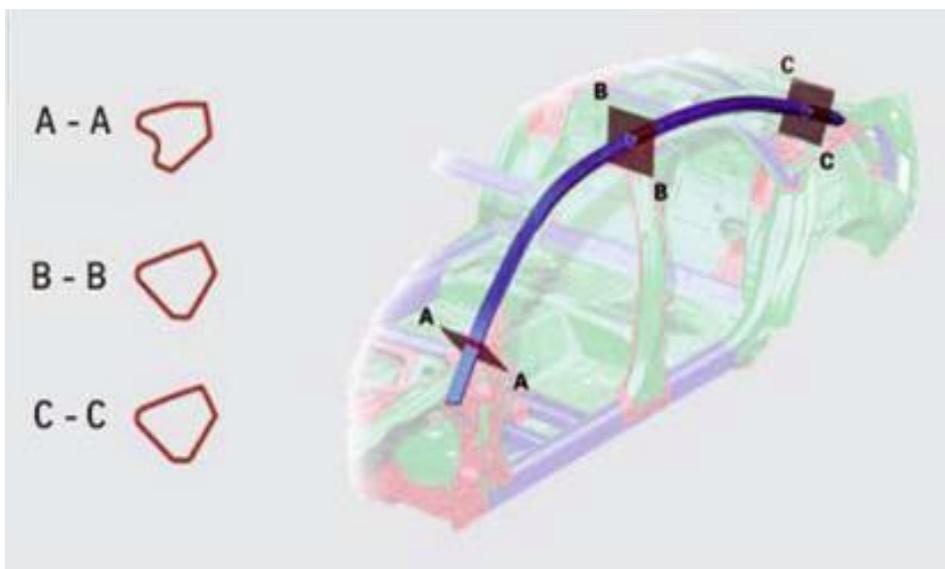


Abbildung 32 Dachrahmen in Strangprofilbauweise [54]

Die Kosten für Profilstrukturen sind stark abhängig vom gewählten Halbzeug und der gewählten Fertigungstechnologie. Die Kosten lassen sich aber gut mit einem Vergleichsfaktor zum klassischen Rohr relativieren und dadurch berechnen.

6.4.4 Einsatz von Kunst- oder Verbundstoffstrukturen

Zur Herstellung von B-Säulen eignen sich verschiedene Technologien, die den Einsatz von Verbund- und Kunststoffen als Basis haben.

Verbundstoffe

Verschiedene Techniken, wie der Einsatz von CFK als Verstärkung von Metallstrukturen, oder auch der Aufbau einer B-Säule aus reinem CFK, haben sich im Flugzeugbau oder Rennsport schon bewährt und ermöglichen eine signifikante Erhöhung des E-Moduls des Bauteils und es können dünne Strukturen verwendet werden. Es gibt auch Konstruktionen bei denen Schalen aus Metall mit Kunststoff hinterspritzt werden, zusätzlich können auch in Sonderfällen Fasermatten eingelegt werden. [55]

Einsatz von CFK

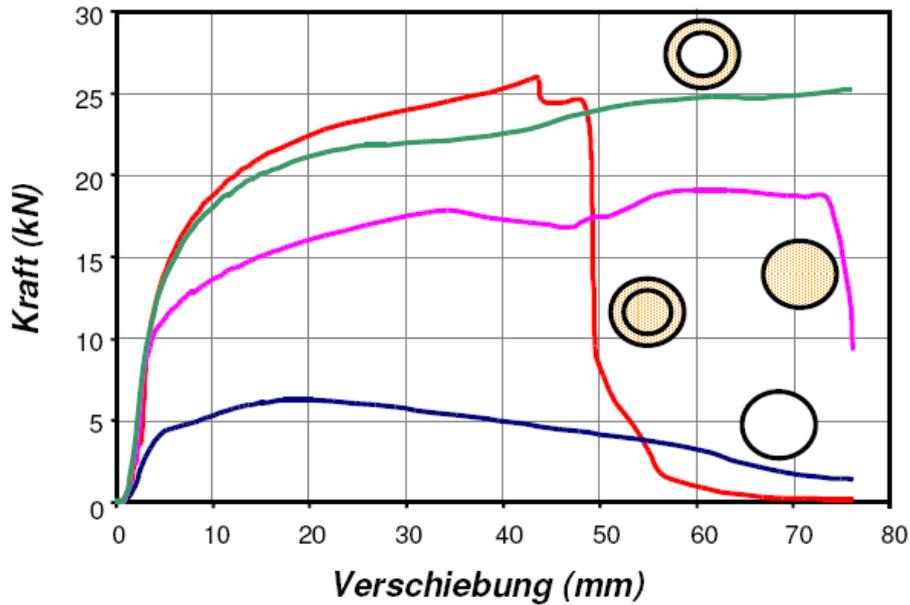
Das Befüllen von Hohlprofilen mit Kunststoffen ist auch schon für B-Säulen zum Einsatz gekommen. Wichtig beim Befüllen von Hohlkörpern mit Kunststoff ist, dass dieser möglichst inkompressibel ist, damit im Falle eines Crashes keine Nachgiebigkeit auftritt. Gasblasen im Kunststoff müssen soweit als möglich vermieden werden. Je größer die Dichte der Schaumkörper ist, desto größer muss die aufgebrachte Kraft zum Komprimieren sein.

Befüllen von Hohlprofilen

Solche Strukturschäume können leicht während der Montage eingebracht werden und da sie schnell fest werden und nicht fließen, eignen sie sich auch als Verstärkung für vertikale Strukturbauteile.

Das Energieaufnahmevermögen von mit Schaum gefüllten Strukturen ist wesentlich besser, als bei nicht gefüllten Strukturen, siehe Abbildung 33, da sie ein Knicken der Struktur verzögern. Dadurch werden die mechanischen Eigenschaften der umgebenden Strukturen besser ausgenutzt. [56]

Besseres Energieaufnahmevermögen



04/12/2006

Dow Confidential

Abbildung 33 Ergebnisse eines Eindrückversuches, Vergleich unterschiedlicher Strukturen [57]

Ein Einsatz solcher Schäume ist sinnvoll, wenn dadurch Verstärkungen aus Stahl substituiert werden können. Es werden bereits Schäume in verschiedenen Serienfahrzeugen eingesetzt (Cadillac CTS, Chevy SSR). Bei einer verwendeten Menge von bis zu zwei Litern erscheint der Einsatz sinnvoll. Oft werden verschiedene Vorteile der Schäume gleichzeitig genutzt. Strukturschäume sind genauso wie Akkustikschäume in der Lage Schall zu absorbieren. Durch den Einsatz von Schäumen wird eine Struktur, die Schall- und Aufprallenergien absorbieren kann, erzeugt. Die Kosten für Strukturschäume lassen sich leicht pro Volumen- oder Gewichtseinheit angeben. [56]

Schaum als sinnvolle Verstärkung

6.4.5 Feingießen

B-Säulen aus Stahlfeinguss wurden in verschiedenen Studien untersucht. Weiterführende Überlegungen tendieren zum Einsatz von Stahlfeingussbauteilen für weitere hochfeste Strukturbauteile und stellen potenzielle Konkurrenten für Blechformteile dar [58].

Stahlfeinguss

Auch das Eingießen von Leichtmetallen in Rohren oder Schalen (siehe Abbildung 34) ist möglich. Solche „gefüllten Strukturen“ haben gute Steifigkeitseigenschaften, können im Falle eines Crashes hohe Energiemengen absorbieren und verbessern das Schwingungsverhalten der Gesamtkarosserie. Solche Strukturen bieten bei gleich bleibendem Gewicht verbesserte Gebrauchseigenschaften. Nachteile sind, wie Erfahrungen bei Volkswagen gezeigt haben, die hohen Kosten durch lange Taktzeiten und hohen Maschineneinsatz. [59]

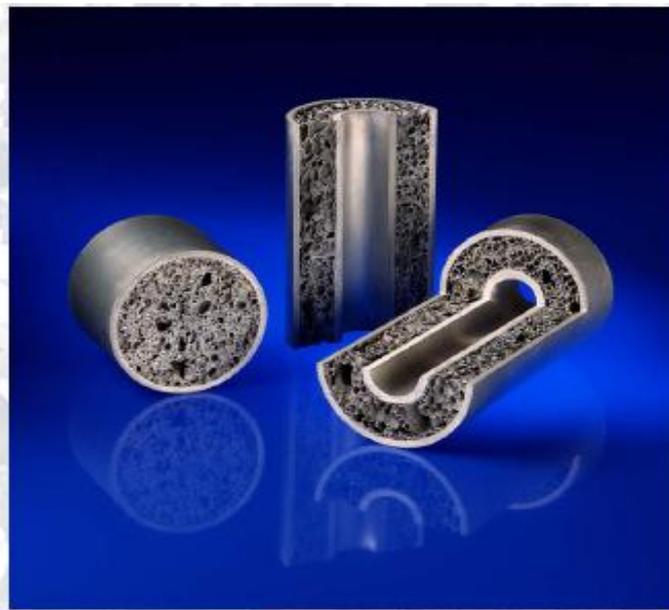


Abbildung 34 Gussgefüllte Strukturen [56]

6.4.6 Einsätzen von Leichtmetallschaumkörpern

Einsätze aus Leichtmetallschaum werden getrennt von den Schalen erzeugt und erst im Rohbau mit Hilfe eines Klebstoffes in die Schalen eingesetzt, auch das einfache Einlegen des Schaumeinsatzes kann verwendet werden. In Abbildung 35 lässt sich erkennen wie ein Leichtmetallschaumkörper mit Hilfe eines Klebstoffes in eine Schale eingeklebt wurde. Die obere Schale wurde mit Hilfe Von WSP gefügt.

Leichtmetallschaum

Untersuchungen haben ergeben, dass eine Kostenreduktion bei gleichen Gebrauchseigenschaften in Bezug auf eine klassische Schalenbauweise möglich ist. Die Einsparung

Kostenreduzierung möglich

von Verstärkungsblechen und geringere Fügekosten führen zu diesem Ergebnis. [56]



Abbildung 35 Schaumkörper in B-Säule [56]

Für das Fügen von Schaumstrukturen können Fügetechniken verwendet werden, wie sie aus der Holzverarbeitung bekannt sind. Da Holz eine ähnliche Struktur wie Schaum aufweist, eignen sich die für Holz entwickelten Schrauben und Verbindungselemente sehr gut. Auch das Kleben ist sehr gut möglich. [60]

Der Einbau erfolgt heute üblicherweise nach der Kathodischen Tauchlackierung (KTL), obwohl Tests bereits ergeben haben, dass ein Einbau vor der KTL ebenfalls möglich ist. Der Schaum schützt bei richtigem Einbau die Struktur vor eindringender Feuchtigkeit und dadurch vor Korrosion, eine besondere Vorbehandlung scheint nicht notwendig zu sein. [1]

KTL

6.4.7 Laserbiegen

Der Einsatz von ultrahöchstfesten Stählen für Strukturen mit komplexester Bauteilgeometrie scheitert oftmals an den Problemen, die beim Umformen auftreten. Höchstfeste Stähle haben geringere Bruchdehnungen von nur wenigen

Laserbiegen: Gefügeumwandlung

Prozenten, weshalb kleine Radien und Übergänge ein hohes Risiko von Rissbildung beinhalten können. [61]

Mit Hilfe von Laser können kritische Bereiche erwärmt und dann anschließend mit verringertem Risiko der Rissbildung umgeformt werden (Abbildung 36). Das Erwärmen und die anschließende langsame Abkühlung führen zu einer Gefügewandlung. Der Werkstoff wird „aufgeweicht“, was zu einer lokalen Schwächung des Bauteiles führt. Daher ist es Aufgabe der Konstruktion diese Stellen zu berücksichtigen, damit die Gebrauchseigenschaften des Bauteiles ermöglicht werden. So lassen sich z.B. auch ultrahochfeste Stähle, wie MSW-1200, zu sehr komplexen Bauteilen umformen.

Mit Laser kritische Bereiche erwärmen

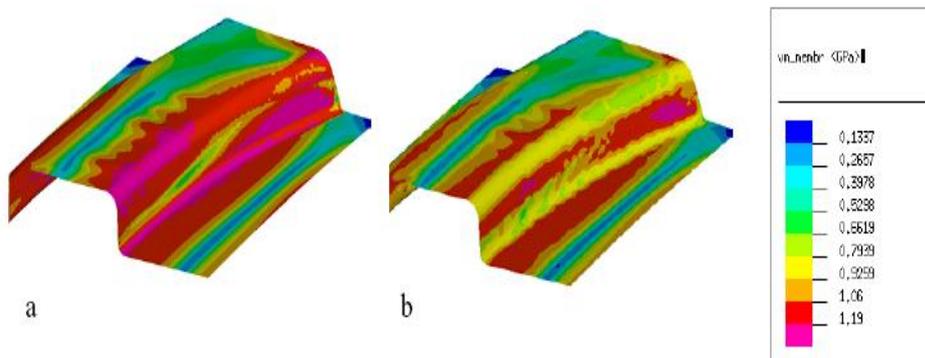


Abbildung 36 Umformbereich lasererwärmt [62]

6.4.8 Reibrührschweißen (FSW)

Das Friction-Stir-Welding (Reibrührschweißen) ist eine Technologie, die ihren Ursprung in der Luft- und Raumfahrt hat. Dazu wird ein temperaturbeständiger Stift in Drehung versetzt. Dieser Stift wird dann mit einer hohen Kraft in den zu fügenden Bereich gedrückt. Durch die Reibwärme werden die Werkstoffe erwärmt und mit dem Stift verrührt, ein Aufschmelzen des Werkstoffes erfolgt hierbei nicht (Abbildung 37).

Beispiel einer Fügetechnik FSW

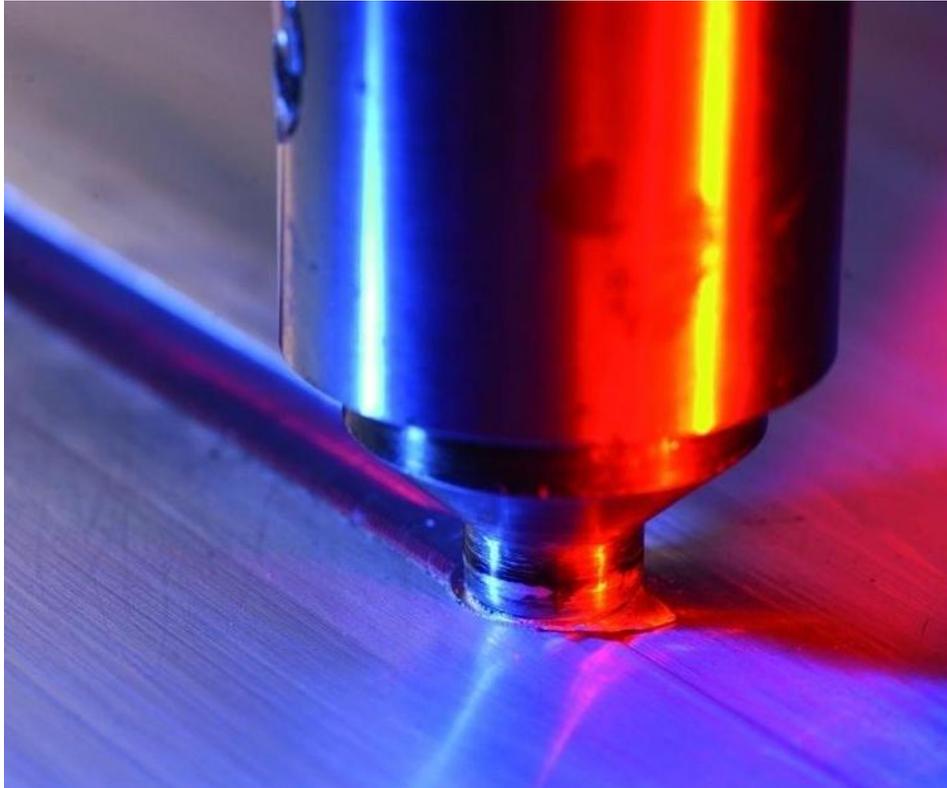


Abbildung 37 Reibrührschweißen [63]

Da unterhalb der Schmelztemperatur gefügt wird, gibt es nur geringfügige Gefügeveränderungen. Dieses Verfahren eignet sich für Leichtmetalle wie Magnesium oder Aluminium. [2]

Fügen unterhalb der Schmelztemperatur

Ob sich dieses Verfahren auch zur Verbindung von höchstfesten Stahllegierungen eignet, wird derzeit untersucht. Vorteile sind der geringe Wärmeeintrag und die Vermeidung der Gefügeumwandlung. Aktuelle Studien gehen bei der Verarbeitung von hochfesten Stählen, die nur wenige Meter betragen, von Standzeiten der Werkzeuge aus. Die Kosten für ein Werkzeug betragen heute knapp 2.000€. Da mit einem Werkzeugsatz heute nur wenige „Füge-Meter“ realisiert werden können, ist dieses derzeit nicht wirtschaftlich für die Verarbeitung von Stahl einsetzbar. Bei der Verarbeitung von Aluminium und anderen Leichtmetallen sieht es gegenteilig aus, dort ist ein Einsatz des FSW sehr gut möglich, gerade wenn es auf gute Oberflächenqualität im Bereich der Fügezone ankommt. [2]

Auch für höchstfeste Güten geeignet??

6.5 Zusammenfassung der Fertigungsverfahren

Für die Herstellung von B-Säulen eignet sich eine große Anzahl an unterschiedlichen Halbzeugen, Werkstoffen, Umformverfahren, Fügeverfahren und Fertigungsverfahren. Die Entscheidung welche Fertigungsverfahren für die Produktion gewählt werden, hängt stark von den Erfahrungswerten im Unternehmen und dem Erfahrungswissen mit den Technologien ab. Eine rein qualitative Aussage über die Eignung bestimmter Fertigungsverfahren lässt sich nur gesondert von den angrenzenden Fertigungsschritten treffen. Wenn man eine gesamte Baugruppe betrachtet, macht eine rein qualitative Aussage über die Eignung keinen Sinn oder lässt sich nicht treffen. Die gegenseitigen Beeinflussungen zwischen den Teilfertigungsschritten sind zu komplex dafür.

Unterschiedliche Fertigungsverfahren möglich

7 Ermittlung und Auswertung der wirtschaftlichen Einflussfaktoren und deren komplexer Wechselwirkungen

Bei der Entscheidungsfindung, welche Fertigungsvarianten für die Herstellung von B-Säulenvarianten berechnet werden sollen, wurden die in der Analyse von bestehenden B-Säulenkonzepten gewonnenen Erkenntnisse zugrunde gelegt. Es zeigte sich im Lauf der Analyse, dass es eine Vielzahl von Randbedingungen gibt, die das Bauteilkonzept und die daraus resultierenden Fertigungsvarianten beeinflussen. Da es keinen eindeutig qualitativ besten Weg zur Konzeptionierung von B-Säulen gibt, wurden verschiedene gedankliche Abläufe durchgespielt, die die entscheidenden Unterschiede genau darstellen. Es werden Abläufe, die sich entlang einer optimalen Crashperformance orientieren, durchdacht. Außerdem wird auf der einen Seite die Herstellbarkeit in den Vordergrund gestellt und in anderen Überlegungen die Kosten. Bei allen zur Untersuchung gewählten Varianten wurden genau definierte Randbedingungen, die erfüllt werden müssen, zusammen mit Volkswagen definiert. Durch diese strukturierte Darstellung der Entscheidungsfindung anhand bestehender Konzepte können die Zielkonflikte zwischen den einzelnen Anforderungen herausgearbeitet und dargestellt werden.

Entscheidung über zu untersuchende Fertigungsvarianten

Die Randbedingungen, die bei der Beurteilung von alternativen Fertigungsverfahren nach Rücksprache mit Volkswagen berücksichtigt wurden, sind:

- die Konstruktion der anschließenden Bauteile, wie Dach und Schweller;
- Integration in bestehende Fahrzeuge soll möglich sein;
- Plattformstrategie soll möglich sein;
- Investitionen sollen gering sein;
- Bauteilkosten sollen gering sein;
- Crashperformance soll ausreichend gut sein;

- Vermeidung einer Einweg-Strategie und dadurch Flexibilität der Integration neuer Trends und Werkstoffe;
- Eine Qualitätssicherung muss unbedingt möglich sein;
- Reparaturstrategien müssen vorliegen und durchführbar sein;
- Das Gewicht der Bauteile muss niedrig sein und darf nicht höher als beim Referenzbauteil sein;
- Das Bauteil muss serientauglich sein.

In Abbildung 38 ist schematisch eine Auswahl an Randbedingungen aufgezeigt: Crash, Konstruktion, Design und Kosten. Diese Randbedingungen bestimmen direkt das Bauteilkonzept.

In weiterer Folge bestimmt das Konzept beispielhaft den gewählten Halbzeugwerkstoff und die Auswahl des Umformwerkzeugs. Der Halbzeugwerkstoff beeinflusst direkt die Auswahl der zu wählenden Fügeverfahren. Dadurch werden die Bauteilvarianten bestimmt, für die im Anschluss die Kosten bestimmt werden können.

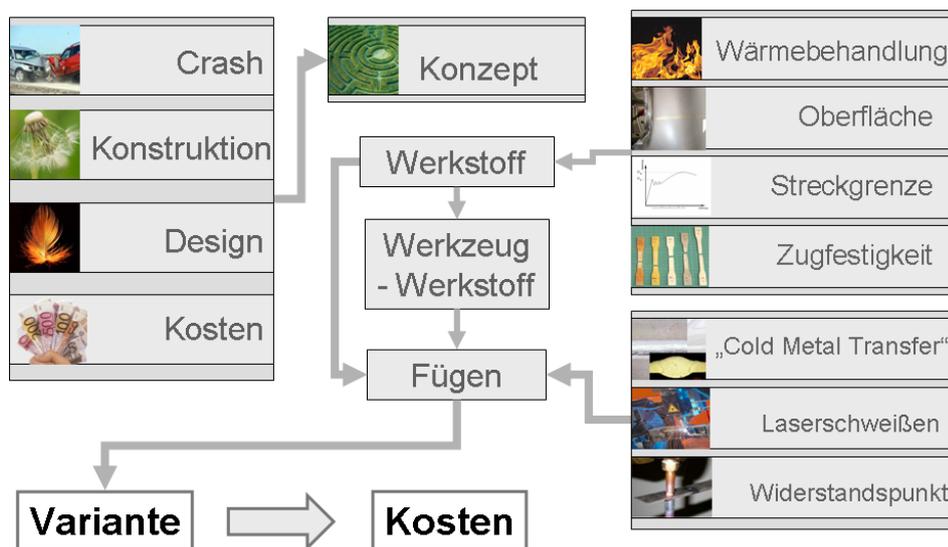


Abbildung 38 Randbedingungen

Mit Hilfe einer chronologischen Analyse lassen sich kaum sinnvolle Schlüsse über die Kosten oder die Güte einer Fertigungsvariante ziehen. Es ist vielmehr so, dass sich die

Chronologische Beurteilung des Produktion macht keinen Sinn

Fertigungsschritte gegenseitig beeinflussen, wie in Abbildung 39 gezeigt. Beispielhaft beeinflusst die Auswahl des gewählten Halbzeuges die Werkstoffkosten. Die Fügeoperationen bestimmen die Wahl des Zusammenbaus (ZB). Der ZB bestimmt die Ausführung der Flanschgeometrie am Bauteil und darüber wird wiederum das Gewicht des Bauteils bestimmt. Das Gewicht beeinflusst im Anschluss wieder die Halbzeugwahl.

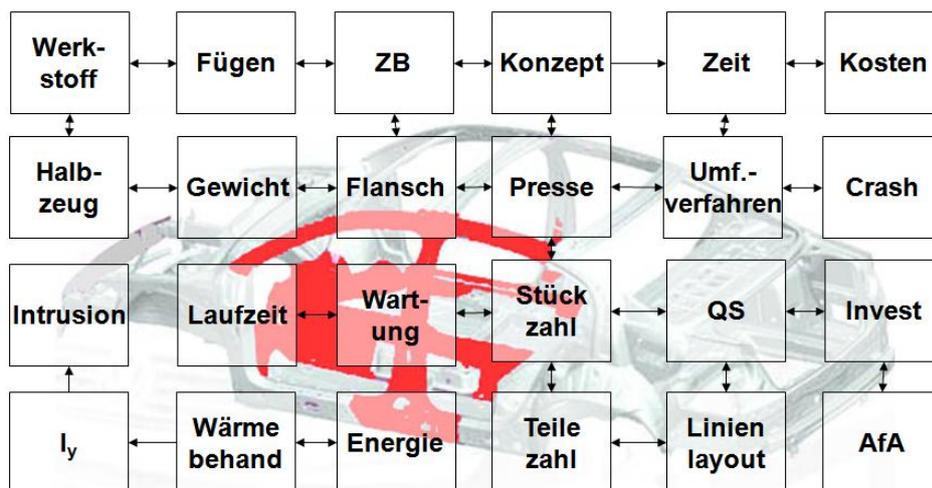


Abbildung 39 Auswahl an gegenseitigen Beeinflussungen in der Variantenfertigung

Aufgrund der vielen gegenseitigen Beeinflussungen in der Variantenfertigung ist es zwingend notwendig zur Beurteilung alternativer Herstellungsverfahren vor der Untersuchung einen logischen Ablauf zu definieren. Es muss von vornherein feststehen, welche Kriterien bei der Entscheidung Priorität besitzen und welche weniger wichtig sind. Es werden KO-Kriterien definiert und Kriterien die man als optional und weniger wichtig bewerten kann. Weniger wichtig ist zum Beispiel die Form des Flansches an einer B-Säule. Der Flansch ist eine reine Designfrage, er beeinflusst zwar auch die Größe der Einstiegsöffnung, aber nur minimal. Daher darf er eher geändert werden als zum Beispiel die Crashperformancevorgabe. Die Crashperformance ist ein KO-Kriterium, wird sie nicht erreicht, darf das Bauteil nicht eingebaut werden. Diese kurze Betrachtung zeigt schon recht gut das Spannungsfeld in dem sich die Auto-

Definition von Kriterien

mobilkonzerne bewegen. Es gibt eine große Anzahl an Zielkonflikten. Zur Vereinfachung der Beurteilung der Herstellungsvarianten wurde das Konzept der integrierten Produktentwicklung herangezogen, das auf nur drei Säulen ruht: dem Werkstoff, dem Fertigungsverfahren und der Konstruktion. Die gegenseitigen Beeinflussungen wurden in der Studie berücksichtigt.

Die Kosteneinflussfaktoren eines potentiellen alternativen Herstellungsverfahrens sind ein wichtiges Bewertungskriterium. Damit ein Herstellungsverfahren als geeignet beurteilt wird, muss es sich im Vergleich zu herkömmlichen Herstellungsverfahren als wirtschaftlich und im Vergleich zu dem Herstellungsverfahren des Referenzbauteils als vorteilhaft zeigen.

Kostenbewertungswerkzeug

8 Entwicklung des Berechnungswerkzeugs

Aufgrund der Komplexität der Bewertung von B-Säulenvarianten war es nicht sinnvoll eine rein qualitative Bewertung durchzuführen. Es wurde deshalb eine quantitative Bewertung mit Hilfe eines Berechnungswerkzeugs auf Basis einer Tabellenkalkulation entwickelt. Für die Bewertung in einem Berechnungswerkzeug sind verschiedene Kosteneinflussfaktoren als Eingabeparameter nötig. Mit Hilfe dieses Werkzeugs lassen sich die teils nur qualitativ vorliegenden Vor- und Nachteile in Kosten überführen. Mit Hilfe der Kosten lassen sich leicht Aussagen über die Eignung einer Baugruppe treffen.

Komplexität macht quantitative Bewertung nötig

Bei der Betrachtung der Kosten war die Trennung in leistungsmengeninduzierte und leistungsmengenneutrale Kosten nicht möglich, da die Daten von Volkswagen entweder nicht vorlagen oder nicht für die hier vorliegende Arbeit frei gegeben wurden. Es war dadurch keine reine Prozesskostenrechnung möglich, deshalb wurden die für die Bauteilvariantenherstellung nötigen Schritte einzeln untersucht und auf Basis des Referenzprozesses wurden Multiplikatoren gebildet. Die Kosten des Referenzprozesses multipliziert mit dem Variantenmultiplikator ergeben die Kosten für einen einzelnen Kosteneinflussfaktor. Werden die Kosten für die einzelnen Fertigungsschritte addiert, erhält man die gesamten Bauteilkosten.

Klassische Kostenrechnung war nicht möglich

Um unterschiedliche Alternativen kostenmäßig vergleichbar zu machen, wurde das Berechnungswerkzeug eingeführt.

8.1 Nötige Eingabeparameter

Als Eingabeparameter in das Berechnungswerkzeug wurden die entstehenden Kosten gewählt. Als Kosten kommen nicht nur die unmittelbaren Kosten für Werkzeuge, Anlagen, Investitionen in Betracht, sondern es müssen vielmehr auch Werkstoffkosten, Fügekosten, Energiekosten, Entwicklungskosten und andere entstehende Faktoren berücksichtigt werden. Dazu wurde der Produktionsablauf

Kosten als objektives Bewertungskriterium

zur Erzeugung einer B-Säulenbaugruppe analysiert und beleuchtet.

Auf die Kosten eines Bauteils wirken verschiedene Faktoren, die quantitativ ermittelt werden müssen, ein. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten. Eine Möglichkeit zur Bestimmung von Bauteilkosten wurde von der Tailored Steel Product Alliance auf ihrer Homepage veröffentlicht, wie in Abbildung 40 für verschiedene Bauteile zu sehen ist. Die Kosten der Bauteile setzen sich aus Blanking, Welding, Stamping und Materialkosten zusammen. [64]

Tailored Blanked Stampings										
Part	Vehicle	Blanking		Welding		Stamping		Material		Total
		Cost/Part	%	Cost/Part	%	Cost/Part	%	Cost/Part	%	Cost/Part
Door Inner - LWB - R/L	DOOR LWB	\$0,63	3%	\$3,43	15%	\$3,94	17%	\$15,25	66%	\$23,25
Rail Control 1 - R	RAIL BASE	\$0,31	4%	\$0,39	5%	\$3,56	48%	\$3,16	43%	\$7,42
Rail Control 1 - L	RAIL BASE	\$0,31	4%	\$0,39	5%	\$3,56	48%	\$3,16	43%	\$7,42

Abbildung 40 Tailored Blanks Kosten

Diese Kosten alleine reichen noch nicht aus. Es müssen zusätzlich die auf diese vier Kostengruppen wirkenden Kosteneinflussfaktoren analysiert und bestimmt werden. Dazu wurden verschiedene Kosteneinflusskriterien analysiert und benannt. Außerdem gibt es Kosten, die nicht quantitativ vorliegen, sondern vielmehr nur rein qualitative Werte sind.

Eine intern bei Volkswagen angewandte Berechnung der Kosten für Bauteile zur Ermöglichung einer Make-or-Buy Entscheidung wird in Abbildung 41 gezeigt. Im Hintergrund gibt es zu diesem Formular eine ausführliche interne Datenbank. Kritikpunkte zu diesem Verfahren sind die im Detaillierungsgrad zu feinen Eingabeparameter. Es gibt zu viele Eingabeparameter, die teilweise nur mit sehr großem Aufwand ermittelt werden können. Es lassen sich nur schlecht Aussagen über die Güte der zu Grunde liegenden Daten machen, da diese nicht für den technisch geprägten Anwender direkt nachvollziehbar sind.

Kaufentscheidung mit Hilfe Make or Buy

MAKE - OR BUY - ENTSCHEIDUNGEN

- Kostenvergleich in EUR/Teil -

Vorhaben/Bewertungsumfang:		Teile p. a.:	
Teile-Nr.:	Vorgangs-Nr.:	Kostenstand (Jahr):	SOP:
CSC-Nr.:		Laufzeit (Jahre):	

A. Fertigungszeiten	Angebot	
Kreditzeit (Min./Teil)	VW	
Verbrauchte Zeit (Min./Teil)	0,0000	
	0,0000	
	0,0000	

B. Eigenfertigung		
-Fertigungsmaterial	0,00	
-Materialnebenkosten	0,00	
-Direkte Personalkosten	0,00	
= Einzelkosten	0,00	
-Einkaufsgemeinkosten	—	
-Indirekte Personalkosten	0,00	
-Sachgemeinkosten	0,00	
-Interne Leistungsverrechnung	0,00	
-Umlage	0,00	
-Investitionsgemeinkosten (Bestand)	0,00	
= Ausgabewirksame Kosten	0,00	
-AfA Umlage/ ILV	0,00	
-AfA Grundstücke/Gebäude/baul. Einrichtungen	0,00	
-AfA Maschinen/maschinelle Anlagen	0,00	
-AfA Spezialbetriebsmittel	0,00	
-AfA Spezialbetriebsmittel bei Vorlieferanten	0,00	
-AfA Transport- und Fördermittel	0,00	
-AfA Infrastruktur	0,00	

Interne Logistik:
davon FPK (Min./Teil):
davon FGK (Min./Teil):

Bemerkungen:

Abbildung 41 Auszug aus MAKE-OR-BUY von Volkswagen [1]

Make-or-Buy Rechnungen lassen lediglich eine Aussage darüber zu, ob das Bauteil selbst produziert werden oder gekauft werden soll. Über die Qualität bestimmter Fertigungsverfahren lassen sie keine Aussage zu, da nur Kosten betrachtet werden. Je nach Auslastung einer Unternehmung kann diese Entscheidung unterschiedlich ausfallen. Sie ermöglichen nur eine Entweder-oder-Entscheidung und lassen keine weiteren Aussagen zu.

„...sie geben lediglich eine Entweder-oder-Entscheidung. Zukünftige Ansätze zur Entscheidungsunterstützung einer Make-or-Buy-Entscheidung bei Innovationen sollten daher in der Lage sein, einen Mix aus unterschiedlichen Organisationsformen als Handlungsempfehlung auszusprechen.“ [65]

Kritik an Make or Buy

Diese Betrachtung ist für die in dieser Arbeit angestrebte Entscheidungsfindung nicht ausreichend. Deshalb sind für eine Betrachtung von Wechselwirkungen und gegenseitigen Beeinflussungen im Fertigungsprozess andere Betrachtungen notwendig. Die Vielzahl an Einflussparametern auf die

Beurteilung von Fertigungsvarianten lässt sich nicht alleine mit der Make-or-Buy Entscheidung erfassen.

8.2 Einschränkung der Eingabeparameter

Aufgrund der Vielzahl an Einflussfaktoren auf die Gütebewertung musste aus Gründen der Übersichtlichkeit eine Auswahl an Einflussfaktoren wie Werkstoffen, Fertigungsverfahren, Fügetechnologien usw. vorgenommen werden. Die Systemgrenzen der Betrachtungen wurden um den technischen Prozess der Fertigung gelegt. Alle betriebswirtschaftlichen Einflussfaktoren finden sich lediglich in den in der Arbeit verwendeten Kostensätzen wieder. Aufgrund der nur indirekten Vergleichbarkeit mancher Teilschritte in der Fertigung wurde zusätzlich ein Korrekturfaktor entwickelt, der die Crashgüte mancher Bauteilkonzepte vergleichbar macht. Für die Beurteilung von unterschiedlichen Fertigungsvarianten wurden Einflussfaktoren betrachtet, die in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

8.2.1 Fügekosten

Die Fügekosten hängen u.a. von der eingesetzten Technologie, der Fügezeit und der Anzahl der Fügeoperationen ab. Die nötigen Nacharbeits-, Nachbehandlungsumfänge, die Kosten für Maschinen und Anlagen und der Einsatz für Personal müssen zusätzlich berücksichtigt werden. Weiterhin müssen auch die Kosten für Qualitätssicherungsmaßnahmen und die benötigte Anzahl dieser Überprüfungen eingerechnet werden. Mit steigender Lasernahtlänge oder steigender Anzahl an Schweißpunkten bzw. gehäuftem Einsatz von Klebstoffen usw. steigen die Fügekosten proportional an. Zur Berechnung einer Fügeverbindung wird jede alternative Herstellung gesondert beurteilt, dazu werden Vergleichswerte heran gezogen, so z.B. pro Widerstandsschweißpunkt z.B. 2 Cent, pro Clinchverbindung z.B. 1,55*Kosten des WSP.

Proportionalität

Bei einer mehrteiligen Konstruktion (aus mehreren Einzelbauteilen) sind somit höhere Kosten zu berücksichtigen als

Mehrteilige Lösung vs. Bauteilintegration

bei einer Baugruppe, die nur aus wenigen Einzelteilen besteht. Durch die Auswahl des richtigen Fügeverfahrens und der Nutzung der bereits gesammelten Erfahrungen, lässt sich das Risiko einer Stabilitätsminderung der Produktion sehr stark reduzieren. Dadurch sind auch gefügte Konstruktionen nicht zwangsläufig „voll integrierten“ Lösungen unterlegen.

8.2.2 Halbzeugkosten

Die Kosten für Halbzeuge hängen stark von der Verfügbarkeit und der Reife der Technologie ab. Gerade bei innovativen Halbzeugen besteht das Risiko einen zu hohen Preis für die Halbzeuge zahlen zu müssen, da die Kosten nicht transparent sind und intern nur geringe Erfahrungen vorliegen. Ein fixer Zuliefererring erfordert langfristige Verträge um stabil und zuverlässig zu funktionieren. Aufgrund dessen ist es sinnvoll bereits bestehende Erfahrungen zu nutzen und klassische Halbzeuge weiterhin als wichtige Option zu betrachten.

*Kosten für „innovative“
Halbzeuge meist nur mit
geringer Transparenz*

In der Arbeit wurden „klassische“ Tiefziehgüten, neue Blechwerkstoffe, sowie Tailored Welded Blanks berücksichtigt. Auch Einsätze aus Schäumen, metallische sowie Kunststoffe, wurden hierbei betrachtet.

*„Klassische“ Tiefziehgü-
ten, neue Werkstoffe ...*

Die Kosten für die Halbzeuge lassen sich durch Umrechnungsfaktoren in Bezug auf „klassische“ Tiefziehgüten berechnen. Ein „Tailored-Welded-Blank“ (TWB) wurde z.B. in der Bauteilkostenrechnung als zwei Bleche, mit unterschiedlicher Dicke und eventuell unterschiedlichen Werkstoffen, verbunden mit einer Lasernaht, berechnet. Bei „Tailored-Rolled-Blanks“ (TRB) wurde der vom Zulieferer genannte Multiplikationsfaktor berücksichtigt. Ein TRB kostet also um den Faktor X mehr als ein klassisches Blech aus demselben Werkstoff. Schaumkörper werden entsprechend ihrer jeweiligen Kosten pro Liter bzw. Kilogramm berechnet. Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass eine solche Kalkulation immer von gleichen Randbedingungen ausgeht.

*Berücksichtigung von
TRB und TWB durch
Multiplikationsfaktor*

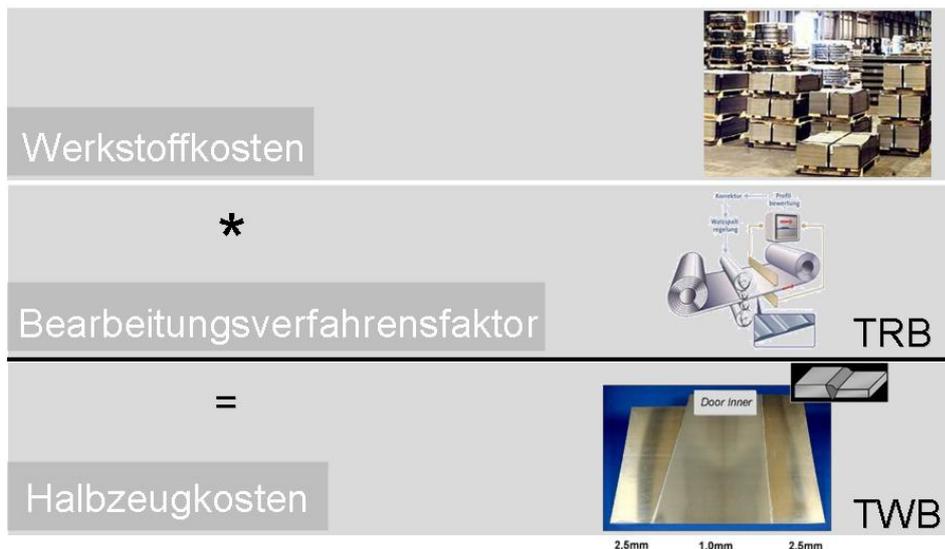


Abbildung 42 Halbzeugkostenberechnung

8.2.3 Werkzeugkosten

Die Kosten für Umform- und Schneidwerkzeuge sind stark abhängig von der eingesetzten Technologie und von dem Festigkeitsniveau des zu verarbeitenden Halbzeuges. Ein Warmumformwerkzeug ist auf Grund der integrierten Kühlkanäle und der Ausführung aus Edelstahl teurer als ein Kaltformwerkzeug. Beim Warmumformen wird bei dem direkten Presshärten nur ein Werkzeug benötigt. Bei der Kalkulation der Werkzeugkosten wurden verschiedenste Faktoren berücksichtigt. Sind z.B. laut Methodenplan bei der Kaltumformung fünf Schritte notwendig um ein Bauteil zu erzeugen, wurden fünf Werkzeuge kalkuliert. Die Kostenanteile für Instandhaltung wurden genau wie die Werkzeugwerkstoffkosten in die Werkzeugkosten umgerechnet. Aus diesen Gesamtkosten wurden dann, mit Hilfe einer geplanten Gesamtproduktion von Bauteilen, die einzelnen Werkzeugkosten pro Bauteil berechnet.

Kosten der Technologien

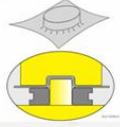
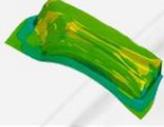
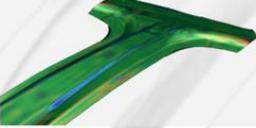
Größe des Bauteiles	Werkzeugkosten	Ziehverhältnis β
		
Nachformung		Teileumfang Stückzahl
		
Bauteilhöhe => Ziehtiefe	Oberfläche	Länge des Beschnitts => Komplexität der Messer
		

Abbildung 43 Werkzeugkosten

Die Werkzeugkosten für ein Umformwerkzeug werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst, wie in Abbildung 43 gezeigt. Wobei die Werkzeugwerkstoffwahl in den Gesamtpreis nur zu ca. 15% einfließt. Als wichtigere kostenbestimmende Kriterien sind die Auslegung des Werkzeugs und die angestrebte Standzahl zu nennen. Mit Hilfe von Kalkulationswerkzeugen wie dem Autoform Cost Calculator, die schon teilweise in die Umformsimulation integriert sind, können die Werkzeugkosten annähernd genau berechnet werden. [66]

8.2.4 Gewicht

Da neue strengere Abgasnormen die Hersteller von Automobilen dazu zwingen den Verbrauch der Flotte zu senken, nimmt das Gewicht des Bauteiles einen zunehmenden Stellenwert ein. Hier wird nach dem gezielten „kritischen“ Leichtbau gefragt. Die Menge an Werkstoff, die für das Bauteil notwendig ist, ist auch von Bedeutung, solange Werkstoffe pro Gewichtseinheit abgerechnet werden. Aus diesem Grund kann das Gewicht eines Bauteiles direkt in einen Kostenfaktor umgerechnet werden.

„kritischer“ Leichtbau

Da die B-Säule bis zum Dach reicht und die Kosten für gezielte Gewichtseinsparung von unten nach oben bei einer Karosserie überproportional steigen, ist es wichtig Bauteile,

die im oberen Fahrzeugbereich liegen, in „Leichtbauweise“ auszuführen. Eine „schwere“ B-Säule muss an einer anderen Stelle der Karosserie gewichtsmäßig wieder ausgeglichen werden, was dann dort zu höheren Kosten führt. Deshalb soll eine möglichst „leichte“ B-Säule angestrebt werden, um den individuellen Verbrauch der Fahrzeuge zu minimieren. Ein geringes Gewicht darf nicht durch geringere Sicherheit und schlechtere Crasheigenschaften erreicht werden. Diese Zielkonflikte wurden berücksichtigt, wobei der erzielte Preis als Entscheidungskriterium genommen wurde. [67]

8.2.5 Energieverbrauch

Je nach Herstellungsverfahren wird unterschiedlich viel Energie benötigt. Energie ist notwendig, um zum Beispiel die Umformkraft aufzubringen, die Bauteile zu erwärmen oder abzukühlen, und für den Transfer der Bauteile. Benötigt wird „Energie“ auch für das Fügen der Einzelteile zur Baugruppe B-Säule, sowie für den Einbau in die Karosserie. Im Hinblick auf steigende Energiepreise und in Zukunft noch stärkere Preissteigerungsraten ist eine Konstruktion auch unter dem Gesichtspunkt des Energieverbrauches zu betrachten und zu bewerten. Der Energieverbrauch für die Herstellung des Bauteiles stellt also einen direkten Kostenfaktor dar und ist nicht zu vernachlässigen. Das heißt, dass das Bauteil umso teurer wird, je mehr Energie zu seiner Erzeugung notwendig ist. In der Bauteilkostenrechnung wurde der Energiebedarf für die Erzeugung eines Bauteiles berücksichtigt. Es wurde der Verbrauch bei der Umformung und beim Fügen durch einen fixen Kostenfaktor angesetzt.

Ein möglichst geringer Energieverbrauch wurde als Auswahlkriterium für eine Variante gewählt. Die Verwendung von Produktionsverfahren, die viel Energie brauchen, macht wirtschaftlich nur Sinn, wenn dadurch an anderer Stelle, z.B. beim Verbrauch des Fahrzeuges, umgelegt auf die zu erwartende Nutzungsdauer des Fahrzeuges, Energie gespart wird. Das bedeutet, dass Herstellungsvarianten die unverhältnismäßig viel Energie brauchen, als nicht sinnvoll

Bauteilauslegung auch nach Energiegesichtspunkten

Auswahlkriterium: geringer Energieverbrauch

erachtet wurden. Eine Kompensation des Energieverbrauches während der Herstellung muss gegeben sein.

8.2.6 Crashesicherheit

Die Beurteilung der Crashesicherheit war nicht Teil dieser Studie. Es wurden lediglich Abschätzungen der Crashperformance und Vergleiche mit dem Referenzbauteil durchgeführt. Eine ausführliche Beurteilung des Crashverhaltens der untersuchten Varianten könnte Teil eines Anschlussprojektes sein.

Abschätzung der Crashperformance

Da die Sicherheit der Karosserie beim Aufprall und die Beurteilung dieser Eigenschaften in Versuchen, z.B. durch Automobilclubs, ein wichtiges Marketing- und Verkaufsargument sind, ist ein gutes Ergebnis bei solchen Tests sehr wichtig. Die Kosten, die durch eine schlechte Beurteilung bei Bewertungen in den Medien dem Automobilhersteller entstehen, lassen sich nicht genau quantifizieren, da sie nicht publiziert werden. Sie dürften aber sehr hoch sein. Der Versuch solche Daten zu ermitteln war bisher nicht erfolgreich. [1]

Sicherheit als Verkaufsargument

8.2.7 Werkstoffkosten

Eine Vorauswahl von zu untersuchenden Werkstoffen wurde mit Hilfe von Literatur und dem Nutzen von gesammeltem Erfahrungswissen bei Volkswagen durchgeführt, wie in Abbildung 7 gezeigt. Die Analyse ergab, dass Stähle, Aluminium, Kunststoffe und auch Gusswerkstoffe die gestellten Forderungen erfüllen. Es wurden im Rahmen der Recherche verschiedene Anforderungen an ein Serienbauteil klar, die bei der Auswahl von Fertigungsvarianten berücksichtigt wurden.

Welche Werkstoffe kommen in Frage??

Als wichtigste Kriterien für die Auswahl eines geeigneten Werkstoffs erwiesen sich die Kosten und die Verarbeitbarkeit. In Abbildung 44 werden die nach der Analyse übrig gebliebenen, zu untersuchenden Werkstoffgruppen gezeigt.

*Kriterium bei der Auswahl des Werkstoffs:
Kosten und Verarbeitbarkeit*

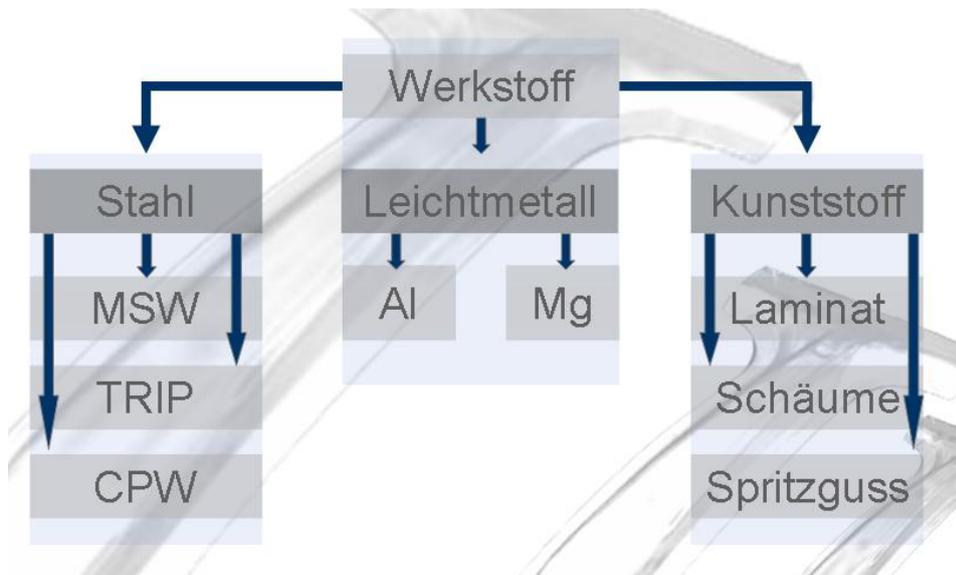


Abbildung 44 Werkstoffwahl

Die Kosten entsprechen den von Volkswagen genannten Einkaufspreisen. Die berücksichtigten Werkstoffkosten, das sind die Einkaufspreise zu denen der Werkstoff bezogen wird, hängen von verschiedenen Faktoren ab. Der Preis wird durch die gewünschten Toleranzen, die Oberflächen-güte und Faktoren wie Verfügbarkeit, Marktlage, Herstellungsverfahren und die ausgehandelten Lieferverträgen mit den Werkstoffherzeugern beeinflusst.

Sollen neuere innovative Werkstoffe, wie z.B. die XIP-Stähle eingesetzt werden, so muss mit höheren Preisen kalkuliert werden, derzeit wird hier ein Preis von 1500 €/to. angegeben. Weiterhin beeinflusst auch die gewünschte Festigkeit den Werkstoffpreis, so kostet beispielsweise ein DP1000 knapp ein Drittel mehr als ein DP800.

Festigkeit und Legierungselemente beeinflussen Werkstoffpreis

Die Berücksichtigung der Lieferbedingungen spielt auch eine wichtige Rolle. (Ultra) höchstfeste Stahlgüten werden auf Grund der hohen notwendigen Walzkräfte und der dadurch bedingten Durchbiegung der Walzen nur in geringeren Breiten erzeugt. Kann dadurch kein Coil mit ausreichender Breite für das zu fertigende Bauteil bezogen werden, so führt dies beim Platinenzuschnitt zu einem hohen Materialabfallanteil, da die Platinen schräg aus dem Coil erzeugt werden müssen. Das Coil kann somit nicht optimal

Lieferbare Breite des Coils

ausgenutzt werden, dieser hohe Verschnitt geht direkt in den Bauteilpreis ein.

Ist ein Blech nur in großen Dicken lieferbar, wird das Bauteil auch teurer. Bei MSW1200 liegt die minimale lieferbare Dicke im Moment bei 1,5 mm, deshalb ist es nicht möglich dünnere, leichtere Bauteile aus diesem Werkstoff zu erzeugen. Das Walzen von höchstfesten Blechen wird durch die dafür nötige Walzkraft begrenzt. Das bedeutet, dass es technisch schwierig und aufwendig ist höchstfeste Bleche in verringerten Blechdicken zu produzieren.

Blechdicke und Preis

8.2.8 Investitionen

Die Investitionen, die notwendig sind, um ein Bauteil bzw. eine Baugruppe zu erzeugen, haben einen direkten Einfluss auf die Bauteilkosten. Es ist daher eine Minimierung der Investitionen sinnvoll.

Minimierung von Investkosten

Um dieses Ziel zu erreichen, macht eine Nutzung bestehender Anlagen und Ressourcen Sinn. Die Nutzung von Pressen, die nur zum Teil ausgelastet sind, würde die relativen Kosten von allen auf dieser Anlage produzierten Bauteilen senken. Freie Kapazitäten könnten ausgenutzt werden. Eine Strategie dieser Art reduziert das Risiko und ermöglicht auch die Vergabe der Aufträge an interne Presswerke und wirkt so den Auslagerungstendenzen entgegen. Die bereits gesammelten Erfahrungen mit der Schalenbauweise lassen eine genaue und strenge Kostenrechnung zu. Die Kosten sind transparent und das Bauteil kann zu günstigem Preis bezogen werden.

Auslastung bestehender Kapazitäten

Aus diesem Grund wurde in der Arbeit nach Wegen gesucht, um die Neuinvestitionen so gering wie möglich zu halten. Der Einsatz von bereits bestehender Technologie und die Nutzung von bereits gesammeltem Erfahrungswissen war Ziel der Untersuchung. Eine Strategie, die die Verringerung des Kapitalrisikos zum Ziel hatte, war Grundlage der Studie. Es wurde angestrebt das Risiko durch nicht ausreichende Verkäufe bzw. Erlöse so gering wie möglich zu halten.

Geringste Neuinvestitionen

8.2.9 Taktzeiten

Die erzielbare Taktzeit ist abhängig von der Komplexität der Baugruppe und den verwendeten Technologien. Über die gesamte Produktion eines Fahrzeuges soll eine einheitliche Taktzeit erreicht werden, um unnötige Puffer oder Stillstände zu vermeiden. Falls bei der Erzeugung der B-Säule viel Zeit benötigt wird, muss diese an anderer Stelle im Produktionsablauf kompensiert werden. Deshalb ist es sinnvoll Fertigungsabläufe in Baugruppen zusammen zu fassen. In dieser Hinsicht ist die Referenz, das warmumgeformte Bauteil, einer „konventionellen“ Schalenbauweise wieder überlegen, da weniger Fertigungsschritte notwendig sind. Bei der Auswahl von Varianten wurden geringe Taktzeiten als vorteilhaft erachtet.

Geringe Pufferung & Stillstände

Ein Kriterium war die Integration in bestehende Produktionsabläufe und die Reduzierung von Fertigungszeit. Eine Möglichkeit könnte die Integration von Fügen in die Umformung sein. Eine Patchwork Strategie, bei der die Einlage gleichzeitig mit der Schale umgeformt und eventuell sogar gefügt wird, wurde betrachtet. Auch die Integration von Fügeprozessen in Abläufe in der Lackiererei durch spezielle Kunststoffe scheint eine sinnvolle Alternative zu sein und wurde betrachtet.

Integration von neuen Konzepten in bestehende Produktionsabläufe

8.2.10 Umweltaspekte

Die notwendige Menge an Energie und Verbrauchsstoffen, die ein Prozess erfordert, bestimmt unmittelbar die Wirtschaftlichkeit eines Verfahrens. Es ist bei der Warmumformung die große Menge an Heizenergie zu betrachten, die notwendig ist, um das Blech zu erwärmen. Außerdem gibt es bei der Warmumformung einen großen Bedarf an Kühlmedium. Zum Kühlen wird hauptsächlich Wasser verwendet, welches während des Kühlens evtl. mit Schmierstoffen kontaminiert wird, dieses muss dann im Anschluss aufwendig entsorgt werden. Auch der Bedarf an Primärwasser zum Kühlen ist nicht zu vernachlässigen. [68]

Wirtschaftlichkeit & Umweltaspekte

Die bei der Warmumformung entstehenden Zunderrückstände und dadurch entstehende Stäube müssen aufgenommen und auch regelmäßig entsorgt werden. Dadurch entstehen zusätzliche Kosten. Diese Kosten können mit Hilfe eines Vergleichsfaktors die Gesamtkosten verändern. Da die Recherche dieser Kosten im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich war, wird sie in der Kalkulation noch nicht berücksichtigt. Es könnte Teil einer weiteren Studie oder der Datenbankerstellung sein. Diese zusätzlichen Kosten dürfen bei der Kostenrechnung und den Vergleichen nicht vergessen werden.

*Beseitigung von Zunder-
rückständen beim Press-
härten*

8.2.11 Korrekturfaktor

Um den Vergleich der Kosten von „Kalt“ und „Warm“ hergestellten B-Säulen zu ermöglichen, müssen die unterschiedlichen Crasheigenschaften vergleichbar gemacht werden. Um die schlechtere Crashperformance von „klassisch“ kalt gezogenen Bauteilen, bedingt durch die geringere Festigkeit, die realisiert werden kann, gegenüber die bessere Crashperformance von warmumgeformten Bauteilen kostenmäßig vergleichbar zu machen, wird ein Korrekturfaktor, genannt „Crashfaktor“, eingeführt. Dieser soll die geringeren Kosten der kaltumgeformten Variante, je nach Defizit, im Crash anheben. Die für die folgenden Berechnungen angenommenen Werte sind rein fiktiv und haben keinen Anspruch auf Richtigkeit. Die Werte sollen nur das Prinzip des Crashfaktors erklären. Die Daten müssen später aus Crashtests oder ähnlichen Bewertungsmethoden entnommen werden. Genaue Daten lagen zum Zeitpunkt der Arbeit nicht vor.

*Einführung eines „Crash-
faktors“ zur Korrektur*

Hat ein „klassisch“ hergestelltes Bauteil gleiche oder sogar bessere Crasheigenschaften als das Referenzbauteil Passat 3C4, wird der Crashfaktor zu Eins gesetzt. Das Referenzbauteil wurde warm umgeformt und dient als Referenzwert 1. Ist die Crashperformance bei der kalt hergestellten B-Säule schlechter, wird der Crashfaktor größer Eins gesetzt. Mit diesem Faktor werden die ermittelten Herstellungskosten multipliziert und dadurch angehoben. Ziel ist es mit

diesem empirisch ermittelten Wert die anfallenden Kosten für Versteifungen der angrenzenden Strukturen oder andere Optimierungen dem kaltumgeformten Bauteil zuzuschlagen. Es soll dadurch ein objektiver und realistischer Kostenvergleich in Bezug auf warmumgeformte Bauteile ermöglicht werden. Dazu wird ein durchschnittlicher Korrekturfaktor mit Hilfe einer Crashgütebeurteilung bestimmt, wie in Abbildung 45 für ein Bauteil beispielhaft gezeigt wird.

Crashperformance	Beurteilung		
	sehr gut	gut	mittel
Multiplikationsfaktor	1	1,1	1,2
JA=1; NEIN=0	1	0	0
48,01442857	1	0	0

Abbildung 45 Crashfaktorbestimmung

Mit Hilfe dieses Korrekturfaktors lassen sich auch die Ergebnisse verschiedener Automobilvergleichstests erfassen.

Es wäre notwendig diesen Einflussfaktor durch eine weitergehende Untersuchung zu präzisieren, um den Wert genauer zu beleuchten. Dazu müssten mehr Daten erhoben und beurteilt werden. Dieser Faktor stellt ein wichtiges Bindeglied zwischen Konstruktion und Crash dar. Im Rahmen der integrierten Produktentwicklung kann dadurch eine Variante leichter und genauer beurteilt werden.

*Detaillierte Betrachtung
wichtig*

Der Crashfaktor ist nur ein Kostenfaktor, der am Ende der Kostenbetrachtung die Kosten von bestimmten Bauteilvarianten vergleichbar macht.

8.3 Entwicklung der Berechnungsalgorithmen

Es gelten für alle berechneten Varianten die gleichen Stammdaten, zum Beispiel die Kosten für das Umformen, das Fügen, den Werkstoff und weitere benötigte Ressourcen pro Bauteil. Diese Kostensätze waren Basis aller späteren Berechnungen. Durch diese Vereinheitlichung unter Berücksichtigung realer Veränderungen, durch z.B. verän-

*Einheitliche Stammdaten
sind notwendig*

derliche angestrebte Stückzahlen, wird ein objektiver Vergleich der Varianten ermöglicht. Es gibt bei dieser Art der Vergleichsrechnung einheitliche Kostensätze für die Umformung von beispielhaft 60 Cent pro Hub auf einer Transferpresse 10.000 kN – 20.000 kN, Schritt 900mm. Ein Schweißpunkt erzeugt durch Widerstandspunktschweißen kostet z.B. 2 Cent. Diese Vereinheitlichung ermöglicht das klare Herausarbeiten der Kostenunterschiede abhängig von der Herstellung. Mit Hilfe der Berechnung wird deutlich wie und wo sich die berechneten Varianten unterscheiden, ohne viel zu komplexe Kostensätze, Abschreibungen und Investitionsrechnungen berücksichtigen zu müssen. Auch das Umlegen von Kosten, die den Kostenstellen nicht direkt anfallen, durch prozentuale Aufteilung auf Teilprozesse, entfällt.

Durch dieses System der Kostenberechnung werden dem Produktionsschritt genau die Kosten zugeteilt, die er verursacht. Das Instrument der Bauteilkostenrechnung eignet sich sehr gut um konkrete Vergleiche anstellen zu können, da es schnell und einfach ist und einheitliche, verursachergerechte Kosten berücksichtigt werden können.

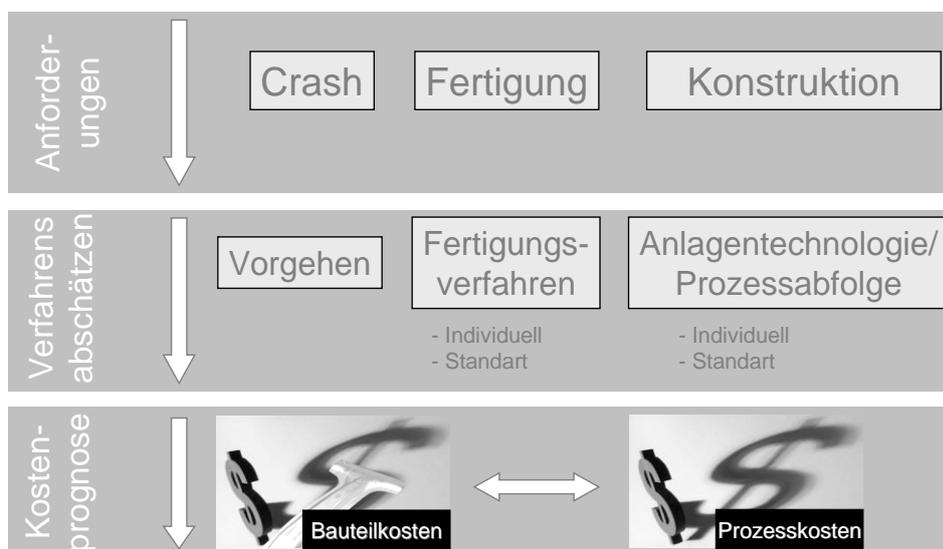


Abbildung 46 Kostenanalyse

Jede Variante hat in der Studie einen fix zugeordneten Methodenplan und einen klar definierten Produktionsablauf.

Methodenplan ist fix zugeordnet

Dieser wurde entsprechend der Anforderungen an das Bauteil, der Erfahrungen mit Referenzbauteilen und der Analyse von verschiedenen B-Säulenvarianten und des wirtschaftlich sinnvollsten Weges definiert. Daraus ergeben sich Kosten, die speziell dieser Variante zugeordnet werden können. Die Kostentreiber lassen sich leicht erkennen und gegebenenfalls noch gesondert betrachten. In Abbildung 47 wird die Oberfläche des Berechnungswerkzeugs gezeigt.

The screenshot shows the 'Kalkulationstool' interface with several tables and callouts. The main table at the top lists cost components: Umformung [€], WKS [€], Füge-Op [€], Verschnitt [€], Halbzeug [€], Werkzeug [€], Gewicht [kg], Crash, Beschrift, and Summe [€]. The 'Summe' cell is highlighted with a red circle and an arrow pointing to a callout labeled 'Summe'. Below this, there are sections for 'Umformung (Verfahren 1)', 'Füge-Op (Verfahren 1)', 'Werkstoffe', 'Werkzeuge', and 'Halbzeuge'. Red callouts with arrows point to specific areas: 'Fügeverfahren' points to the 'Füge-Op' table; 'Pressenwahl' points to the 'Werkstoffe' table; 'Angestrebte Stückzahl' points to the 'Werkstoffe' table; 'Werkzeugkosten' points to the 'Werkzeuge' table; 'Halbzeuge' points to the 'Halbzeuge' table; and 'Werkstoff' points to the 'Werkstoffe' table. The bottom of the screen shows the user 'R. Kolleck / S. Raschka', the location 'Wolfsburg, 2006-12-06', and the title 'Abschlusspräsentation'.

Abbildung 47 Kalkulationstoolansicht

In Abbildung 47 sind die Einstellungen für eine untersuchte Variante beispielhaft gezeigt. Es gibt unter anderem Eingaben für angestrebte Stückzahlen eines Bauteils, Werkzeugkosten, Menge des Verschnitts, eine Auswahl von Werkzeugen, die Wahl des Fügeverfahren und eine Werkstoffwahl.

8.3.1 Umformkosten

Die Umformkosten sind ein Produkt aus den Kostensätzen für einen Hub auf einer Presse und der Anzahl der benötigten Hübe (siehe Abbildung 48). In die Kostensätze fließen verschiedene Kosten, wie zum Beispiel Energieverbräu-

Umformkosten abhängig von Presse

che, Wartungskosten, Abschreibungen und Instandhaltungskosten, ein. Die Ausgaben sind Kosten in Eurocent.

Umformung (Verfahren 1)		
Anlage	Hubzahl	Kosten [cent]
Transferpressen 6.000 kN - 9.000 kN Schritt 600mm	0	0
Transferpressen 10.000 kN - 20.000 kN Schritt 900mm	0	0
Großteiltransferpressen 25.000 kN Schritt 1200mm	0	0
Großteiltransferpressen 32.000 kN - 38.000 kN Schritt 2000mm	2	320
Summe Verfahren1		320

Abbildung 48 Umformkosten

8.3.2 Verschnittkosten

Die Verschnittkosten sind Kosten, die von den Bauteilkosten abgezogen werden müssen, da für den anfallenden Schrott ein Verkaufserlös erzielt werden kann. Der Verkaufserlös ist das Produkt aus den Schrottpreisen und der anfallenden Menge in Kilo (siehe Abbildung 49). Der Schrottpreis ist je nach Schrottreinheit sehr unterschiedlich. Der Schrottpreis wird in sehr kurzen Abständen geändert und sollte demnach regelmäßig aktualisiert werden.

*Verschnitt „reduziert“
Kosten*

Verschnitt (Verfahren1)		
Gewicht [kG]	Schrottpreis [€/t]	Verkaufswert [€]
0,7	209	0,1463

Abbildung 49 Verschnittkosten

8.3.3 Fügekosten

Die Fügekosten sind ein Produkt aus der Anzahl oder Länge oder Menge einer Fügeverbindung und den jeweiligen Kosten für die entsprechende Einheit (Abbildung 50). Die Kostensätze für Fügeverbindungen werden in starkem Maße durch die sogenannte Fügezeit bestimmt. Je nach Kosten für manuelle Tätigkeiten ist die Zeit, die für die Ausführung einer Fügeverbindung benötigt wird, ein großer Kostentreiber. Die Kostensätze repräsentieren alle laut Volkswagen relevanten Kosten.

Fügekosten als Kostensätze

Füge-Op (Verfahren 1)		
Verfahren	Anzahl/Länge/Menge[St,mm,kG]	Kosten [cent]
WSP [St]	20	40
Laser [mm]	1	0,2
Kleben [kG]	12	24000
Reibrühr [mm]	10	20000
Clinchen [St]	5	20005,5
Schaum [kG]	6	3000
Summe Verfahren1		67045,7

Abbildung 50 Berechnung Fügekosten

8.3.4 Werkzeugkosten

Die Werkzeugkosten sind ein Produkt aus den Kosten für die Werkzeuge, wie sie zum Beispiel mit einer Berechnungssoftware berechnet wurden, oder den Kosten aus Erfahrungswissen, der Anzahl der für das Bauteil davon benötigten Werkzeuge und der Nutzung des Werkzeugs. Die Nutzung 100% gibt an, dass ausschließlich ein Bauteil auf diesem Werkzeug produziert werden kann. Sind zum Beispiel die Einlegeteile für die linken und rechten B-Säulen des Fahrzeugs identisch, können beide auf einem Werkzeug gepresst werden. Das würde einer Nutzung von 50% entsprechen. Als Ausgabe werden die Werkzeugkosten als Summe in Euro angegeben, wie in Abbildung 51 zu sehen ist.

Werkzeugkostenberechnung

Werkzeuge			
Kosten [€]	Anzahl	Nutzung [%]	Summe [€]
750000	2	100	1500000
500000	1	100	500000
300000	1	50	150000
150000	3	50	225000
Summe			2375000

Abbildung 51 Werkzeugkosten

8.3.5 Halbzeugkosten

Die Halbzeugkosten sind ein Produkt aus dem Gewicht der Platine und dem Werkstoffpreis. Zusätzlich muss noch angegeben werden, ob die Platine vom Standardband kommt oder als TRB vorliegt. Das Gewicht der Platinen setzt sich aus der Dicke der Bänder und der Platinenfläche, multipliziert mit der Dichte zusammen. Am Ende wird eine Summe

Verschiedene Halbzeuge berechenbar

für die entstehenden Halbzeugkosten ausgegeben, wie in Abbildung 52 und Abbildung 53 zu sehen ist.

Werkstoff			
Werkstoffart	>Preis[€/t]	Dicke	Fläche (Platine) [mm ²]
22MnB5	600	2	450000
CPW 800	750	1,5	1000
Docol1000	1000	1,3	120
TRIP 900	650	1	600
DP 800	700	2	750
DP 1000	950	2	1000
CPW 1000	600	0,5	5000
X-IP 1000	1500	1	6000
MSW 1200	650	1,2	800
Summen			

Abbildung 52 Werkstoffkosten 1

v1			
>Gewicht [kG]	TRB	Band	Summe Halbzeug [€]
6,57	0	1	3,942
0,01095	0	0	0
0,0011388	1	0	0,0022776
0,00438	0	0	0
0,01095	0	0	0
0,0146	0	1	0,01387
0,01825	0	0	0
0,0438	1	0	0,1314
0,007008	0	0	0
6,6810768			4,0895476

Abbildung 53 Werkstoffkosten 2

8.4 Berechnungen von Fertigungsvarianten

Mit Hilfe der durchführbaren Berechnung in der Tabellenkalkulation lassen sich verschiedene teilweise auch sehr komplexe Kostenfaktoren berücksichtigen. Die für die Bauteilkosten relevanten Einflussfaktoren, die bei jeder berechneten Variante verwendet wurden, waren, wie schon vorher gezeigt:

- Umformkosten,
- Werkstoffkosten,
- Werkstoffverbrauch,
- Art des Halbzeuges,

- Fügekosten,
- angestrebte Gesamtproduktionsstückzahl,
- Verschnitt,
- Methodenplan,
- Energieverbrauch,
- Stabilität des Verfahrens,
- Nacharbeitshäufigkeit,
- Angestrebte Produktlaufzeit,
- Angestrebte Stückzahl,
- Art des verwendeten Werkzeuges,
- Werkzeugkosten,
- Instandhaltungskosten,

Die Kalkulation ist sehr flexibel und ermöglicht die Einbeziehung der immer aktuellen Kosten. Auch können innovative Techniken wie Schaumausspritzungen oder Kunststoffeinlagen einfach berücksichtigt werden.

Die vorher genannten Vorteile der Prozess- oder auch Bauteilkostenrechnung lassen diese hohe Flexibilität zu und ermöglichen auf neue Trends schnell zu reagieren. Erst nachdem durch diese Rechnung eine Variante bestimmt wurde, werden ausführliche Kostenrechnungen zur Fertigungsplanung erstellt, die für erste Strukturanalysen keinen Sinn machen. Die angewendete Art der Bauteilkostenrechnung unterscheidet sich vom Prinzip her nur unwesentlich von der bei Volkswagen benutzten „Make or Buy“-Rechnung, wobei das Ziel der Bauteilkostenrechnung darin besteht, Varianten zu beurteilen und nicht zu entscheiden, ob eine Zulieferung sinnvoll ist.

Durch Prozess- und Bauteilkostenrechnung zu hoher Flexibilität auch bei neuen Verfahren & Werkstoffen

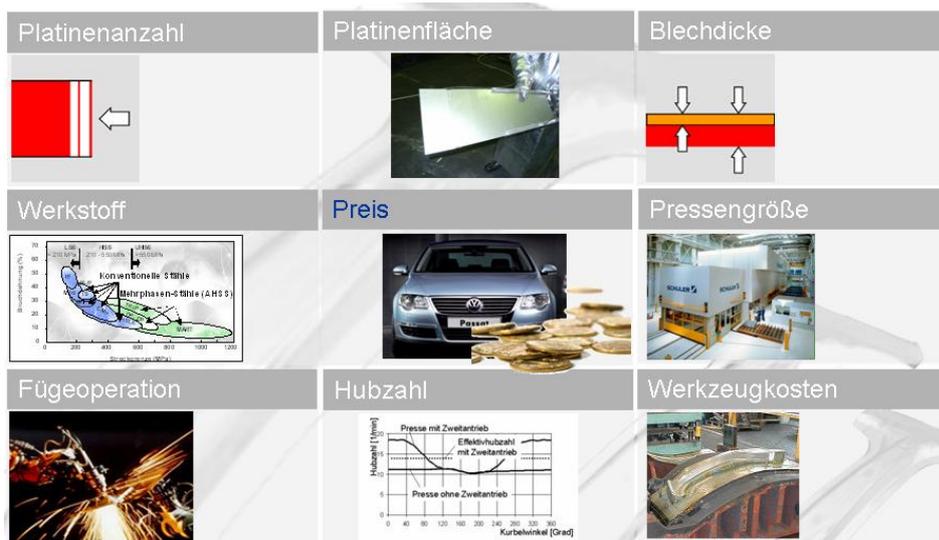


Abbildung 54 Preiskalkulation

Für die Berechnung von Alternativen mussten unterschiedliche B-Säulen Varianten ausgewählt werden.

Im VW-Konzern liegt bereits umfangreiches Erfahrungswissen im Bereich der Großserienfertigung und dem Einsatz der Warmumformung vor. Deshalb wurden als interessante Varianten klassisch kalt umgeformte Varianten für den Kleinserieneinsatz untersucht. In diesem Bereich lagen noch nicht viele Erfahrungen vor.

Im Rahmen der Evaluierung des Berechnungswerkzeugs wurden dann verschiedene B-Säulen Varianten berechnet und mit im Volkswagenkonzern vorliegenden Daten verglichen. In den folgenden Kapiteln werden verschiedene Varianten erläutert.

8.4.1 Einschligig XIP, + Verstärkung MSW

Die untersuchte Variante „einschligig XIP, +Verstärkung MSW“, bedeutet, dass die B-Säulen Verstärkung aus XIP besteht und die Verstärkung aus MSW 1200. Die Bauteile werden kalt umgeformt, daher die Bezeichnung klassisch. Beide Platinen werden vor dem gemeinsamen Umformen geclincht und in einem Werkzeug umgeformt. Anschließend werden die Bauteile wieder voneinander getrennt und die Verstärkung wird mit Klebstoff fixiert. Durch die Verstärkung wird eine „dünnere“, nur lokal wirksame Verstär-

XIP + MSW1200

kung im oberen zwei Drittelbereich erzielt. Die Außen- und Innenteile der B-Säule werden mit Schweißpunkten angefügt.

Gewicht [kG]	Summe 1 [€]	Crash-Faktor	Gesamtsumme [€]
7.446	54,25 €	1	54,25
Werkzeuge			
Kosten [€]	Anzahl	Nutzung [%]	Summe [€]
750000	7	100	5250000
500000	0	100	0
300000	0	50	0
150000	0	50	0
Summe			5250000

Abbildung 55 Auszug aus Bauteilkostenrechnung

Die Eingaben für die Kostenberechnung waren:

- Transferpressen 10.000 kN – 20.000 kN Schritt 900mm a 2 Hüben;
- Großteiltransferpressen 25.000 kN Schritt 1200mm a 5 Hüben;
- Verschnitt 0,5kG;
- Platinengröße XIP 450.000mm²;
- Platinengröße MSW 60.000mm²;
- Anzahl minimal pro Jahr 45.000 Bauteile;
- Anzahl maximal pro Jahr 60.000 Bauteile;
- WSP 20 Punkte;
- Kleber 0,2kG;
- Anzahl der Werkzeuge 7 a 750.000 Euro mit 100% Nutzung;
- Crashperformance sehr gut.

Die Berechnung führt zu Bauteilkosten von 54,25€, wie in Abbildung 55 auszugsweise zu sehen ist.

8.4.2 Variante 1–Schalig klassisch MSW

Die Variante „einschalig klassisch MSW“ besteht aus einer Verstärkung, gefertigt aus MSW1200 mit 2 mm Blechstärke. Die Verstärkung wird kaltgezogen und nicht wärmebe-

MSW1200

gespritzt wird, ähnlich wie in Abbildung 59 dargestellt, um ein Knicken in diesem Bereich zu verhindern. Die hier berechnete Variante besteht nur aus zwei Schalen plus Schaum. [57]



Abbildung 59 Einbringen von Strukturschaum in den Schwellerbereich [57]

Mit Hilfe dieses Schaumkörpers wurde ein zusätzliches Versteifungsblech im oberen Drittel eingespart.

- Transferpressen 10.000 kN – 20.000 kN Schritt 900mm a 2 Hüben;
- Verschnitt 0,7kG;
- Platinengröße MSW 650.000mm²;
- Anzahl minimal pro Jahr 45.000 Bauteile;
- Anzahl maximal pro Jahr 60.000 Bauteile;
- WSP 8 Punkte;
- Anzahl der Werkzeuge 1 a 75.000 Euro mit 100% Nutzung;
- Crashperformance sehr gut.

Die Berechnung führt zu Bauteilkosten von 14,52€.

9 Berechnungsergebnisse

Die Ergebnisse der fünf berechneten Varianten:

- 2-schalig klassisch DP1000 + Verstärkung MSW,
- 2-schalig klassisch DP800 + Verstärkung MSW,
- Patch + Verstärkung DOCOL,
- 1-schalig klassisch MSW1200,
- 1-schalig klassisch XIP + Verstärkung MSW,

sind im Vergleich zueinander in Abbildung 60 dargestellt.

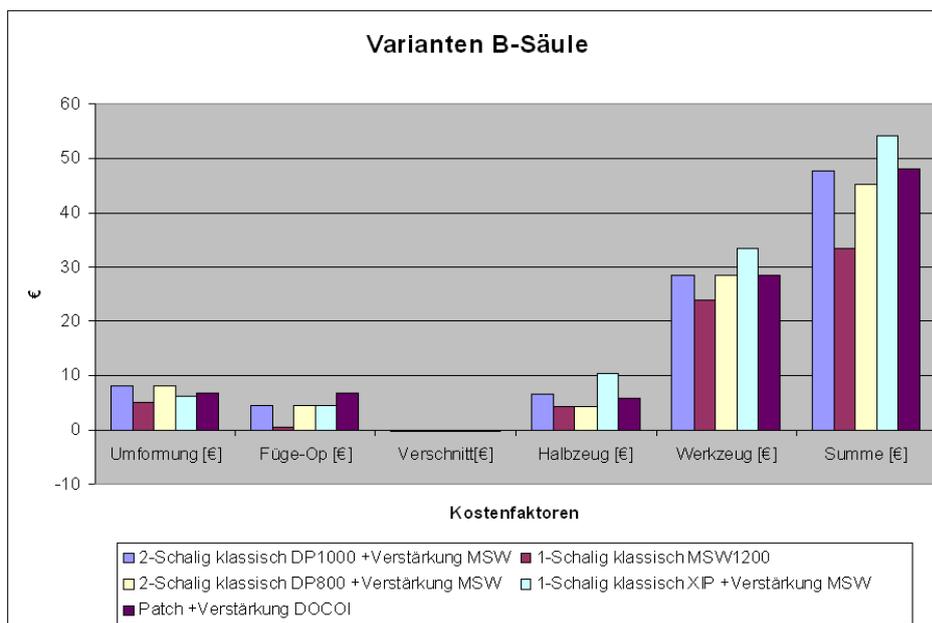


Abbildung 60 Kostenvergleich B-Säulen Varianten

Die Gesamtkosten setzen sich aus Umformkosten, Fügekosten, Verschnittkosten, Halbzeugkosten und Werkzeugkosten zusammen. Die Summe für Kleinserienbauteile lag zwischen ca. 32€ und 55€. Es zeigt sich also, dass die Kosten stark vom gewählten Bauteilkonzept und der daraus resultierenden Fertigungstechnologie abhängen.

Als Kostentreiber stellen sich bei Kleinserien von maximal 50.000#/a eindeutig die Werkzeugkosten heraus, siehe Abbildung 60. Die Bauteilkosten sind im Bereich bis 50.000#/a am geringsten, wenn Werkzeuge gewählt werden deren Standzahl ca. 50.000# entspricht und am höchsten, wenn Werkzeuge gewählt werden deren Stand-

Werkzeugkosten als Kostentreiber

zahl ca. 1.000.000# entspricht. Werkzeuge mit einer Standzahl von ca. 1 Mio. Stück sind in der Umformtechnik heute Stand der Technik für die Großserie. Bei alternativen Werkzeugtechnologien liegen die Kosten im Bereich der untersuchten zu fertigenden Stückzahl unter denen der Großserienwerkzeuge, wie in Abbildung 61 zu erkennen ist.

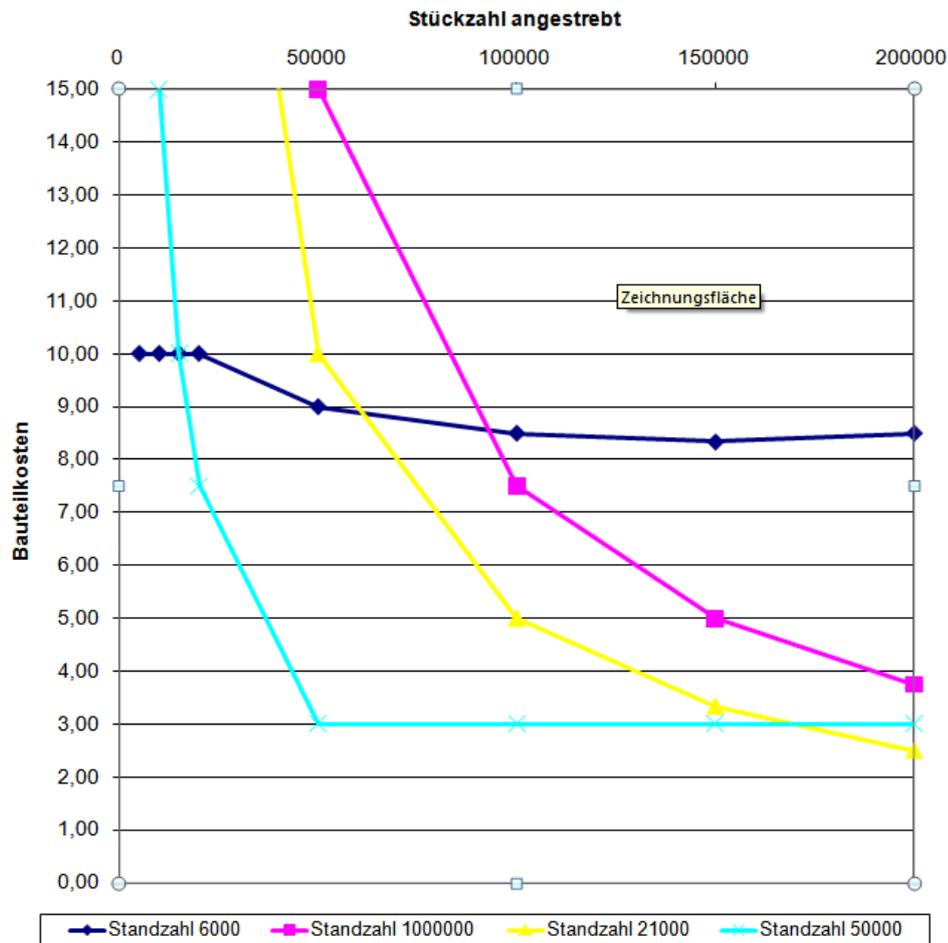


Abbildung 61 Bauteilkostenentwicklung abhängig von angestrebter Stückzahl und Standzeit des Werkzeugs

Mit Hilfe von Kostendaten, die für bereits gefertigte B-Säulen bei Volkswagen vorliegen, wurden die Ergebnisse der Berechnung validiert. Es zeigte sich, dass die Ergebnisse qualitativ den realen Daten entsprechen. Die Daten für den Passat 3C4 liegen Volkswagen vor und waren die Grundlage der Bewertung. Die Bewertungen fanden bei Volkswagen intern statt und wurden nicht dokumentiert.

Berechnungsergebnisse

10 Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Analyse bestehender B-Säulen wurde gezeigt, dass es aktuell im Wesentlichen drei Treiber für B-Säulen-Konzepte gibt, die Sicherheit, den Leichtbau und den Preis.

Die Herstellungsvarianten und die Methodenpläne müssen sich nach den gewählten Konzepten und den bestimmenden Treibern richten. Die Arbeit schafft die Möglichkeit mit Hilfe eines Berechnungswerkzeugs eine offene und flexible Datenverwaltung zu nutzen, um verschiedene Herstellungsvarianten bewerten zu können. Ziel war es Daten aus verschiedenen, bisher gefertigten Bauteilen zu sammeln und das Erfahrungswissen, das verschiedene Mitarbeiter gewonnen hatten, als Entscheidungshilfe für spätere Konstruktionen nutzbar zu machen. Dazu wurden Varianten hinsichtlich ihrer spezifischen Unterschiede und ihrer Gemeinsamkeiten analysiert und daraus Berechnungsdaten generiert. Das Ziel wurde erreicht und es zeigte sich, dass mit Hilfe einer standardisierten Berechnung sehr unterschiedliche Konzepte objektiv vergleichbar gemacht wurden.

Die Varianten wurden mit Hilfe identischer Datensätze analysiert und Unterschiede wurden quantitativ und qualitativ sichtbar gemacht. Als Kostentreiber ließen sich klar, bei den hier berechneten Kleinserien, dh. ca. 50000 Fahrzeuge/a, die Werkzeugkosten identifizieren. Die Umformkosten und die Werkstoffkosten waren mit Abstand kleiner.

Mit Hilfe eines Korrekturfaktors, der die Crashperformance eines Bauteils berücksichtigt, konnte auch die nicht direkt in Kosten umrechenbare Größe der Crashgüte quantitativ vergleichbar gemacht werden. Dieses Verfahren eignet sich, um auch auf den ersten Blick nicht direkt einheitlich berechenbare Kriterien beurteilen zu können.

Die Entwicklung eines eigenen „Leichtbaufaktors“ war nicht nötig, da die Kosten für Leichtbau-B-Säulen sich leicht mit Hilfe des in der Arbeit entwickelten Berechnungswerkzeugs berechnen und im Anschluss vergleichen lassen. Das Ge-

wicht eines Bauteils und der gewählte Werkstoff, sowie alle folgenden Operationen können mit dem Berechnungswerkzeug berechnet werden. So lässt sich der abstrakte Begriff des Leichtbaus in Kosten übersetzen.

Da die Bauteilkosten stark von den gestellten Anforderungen an das Bauteil und den daraus resultierenden Konzepten abhängen, wurden verschiedene in Frage kommende B-Säulenvarianten berechnet. Die resultierenden Kosten hängen, wie in der Arbeit gezeigt, stark vom gewählten B-Säulenkonzept ab, daher ist die Auswahl der richtigen Fertigungsstrategie entscheidend. Vorteile in Bezug auf geringe Kosten bieten zum einen Werkzeuge, die qualitativ sehr hochwertig sind, und zum anderen Werkzeuge, die nur für geringe Stückzahlen ausgelegt und kostengünstiger sind. Die Vorteile der teureren Werkzeuge (mit höherer Standzeit) bestehen darin, dass die gewünschte Stückzahl an Bauteilen ohne umfangreiche Instandhaltung erzeugt werden kann und der Prozess sehr stabil läuft.

Bauteilkosten stark abhängig von gewählter Werkzeugtechnologie

Kostengünstige Werkzeuglösungen, die nicht für große Bauteilstückzahlen ausgelegt sind, bieten hingegen Vorteile, wenn das Risiko von geringen Verkäufen minimiert werden soll. Es ist zu Produktionsstart und in der Vorlaufphase nicht viel Kapital notwendig. Dadurch wird weniger Kapital fix gebunden und steht für andere Zwecke zur Verfügung. Diese Werkzeuge können, da sie regelmäßig ausgetauscht werden, schnell an neue Entwicklungen angepasst werden. Dadurch lassen sich leicht Modifikationen und Optimierungen in bereits laufenden Serien umsetzen, ohne dass Werkzeugpotential ungenutzt bleibt.

Die notwendigen Stückzahlen um den Break Even zu erreichen, sind gering. Die Produktlebenszyklen können sehr kurz gehalten werden. Die Produktion ist sehr flexibel. Bei kleinen bis mittleren Stückzahlen macht eine aufwändige, teurere Werkzeugtechnologie nur wenig Sinn und sollte besser durch einfachere, billigere Werkzeugsätze ersetzt werden.

Break Even lässt sich bei geringen Stückzahlen bereits erreichen

Bei kostengünstigen Werkzeugen, die eine geringe Standzeit aufweisen, bleiben die Kosten über die gesamte produzierte Stückzahl pro Bauteil relativ konstant. Dadurch ist eine klare Kostenrechnung auch mit sehr kurzfristigem Horizont möglich. Wenn genaue Daten über die Standzeiten von Umformwerkzeugen vorhanden sind und es klare Kriterien für das Erneuern von Werkzeugen gibt, lassen sich gut die entstehenden Kosten auch für andere Werkzeugtechnologien kalkulieren. Für dieses Thema sind noch genauere Untersuchungen erforderlich, die sich mit dem Verschleiß von Umformwerkzeugen und ihrer Berechnung beschäftigen.

Kostengünstige Werkzeuge

Die Erfahrungen vieler Experten im Bereich der Umformtechnik zeigen, dass Umformwerkzeuge oftmals die mögliche maximale Laufzeit gar nicht erreichen und stattdessen vorher ausgesondert werden müssen. Jedoch konnte in der Arbeit aufgezeigt werden, dass es viele sinnvolle alternative Herstellungsverfahren für B-Säulen gibt und in jedem Einzelfall entschieden werden muss, welches Herstellungsverfahren und resultierend daraus welche Werkzeugtechnologie für das jeweilige Bauteil am sinnvollsten ist.

Standzeit oft zu hoch!

In weiteren Arbeiten sollte die in dieser Arbeit vorgestellte Art der Bewertung von Herstellungsvarianten für B-Säulen auf andere Karosseriebauteile ausgeweitet werden. Weiter sollten die ermittelten Kostenfaktoren auch bei anderen OEM's verifiziert werden. Die Kosteneinflussfaktoren sollten in einer ausführlichen Datenbank für verschiedene Bauteilgruppen hinterlegt werden. Der Crashfaktor sollte in Versuchen genau ermittelt werden. Die Stahlpreise und Schrottpreise sollten den vom Nutzer ausgehandelten Konditionen angepasst werden. Die Kosten für alternative Fügeverfahren sollten ermittelt und in das Berechnungswerkzeug eingepflegt werden.

Ausblick

Als Ziel weiterer Arbeiten kann die Erstellung eines ausführlichen Konstruktionskatalogs genannt werden. Mit Hilfe dieses Kataloges, der als Computerprogramm vorliegen könnte, würden die Konstruktion, Simulation und Umform-

technik, nach der Idee der integrierten Produktentwicklung, enger zusammengefasst werden. Dadurch werden kürzere und billigere Entwicklungen ermöglicht.

11 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1 FLUSSDIAGRAMM DA	12
ABBILDUNG 2 KAROSSIERESTRUKTURBAUTEILE IM PASSAT 3C4 [1]	15
ABBILDUNG 3 CRASHERGEBNIS NACH SEITENAUFPRALL MIT EINER BARRIERE MIT HOHEM ANGRIFFSPUNKT [5].....	17
ABBILDUNG 4 IIHS ANFORDERUNG [5]	17
ABBILDUNG 5 ANFORDERUNG AN B-SÄULE [7]	18
ABBILDUNG 6 SCHALENBÄUWEISE AM BEISPIEL EINER A-SÄULE [9].....	20
ABBILDUNG 7 WERKSTOFFE FÜR B-SÄULE X = GEEIGNET, XX = SEHR GUT GEEIGNET, O = STAND DER TECHNIK.....	21
ABBILDUNG 8 B-SÄULEN-VERSTÄRKUNG AUS CP-W-800 [12].....	23
ABBILDUNG 9 MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN VON WERKSTOFFEN [14].....	24
ABBILDUNG 10 DEFORMATION IM SEITENCRAH [15]	25
ABBILDUNG 11 B-SÄULENKONZEPTE	27
ABBILDUNG 12 ZIELE DER KAROSSIERENTWICKLUNG [29]	29
ABBILDUNG 13 FÜGEUMFANG PASSAT CC [32].....	33
ABBILDUNG 14 VERBINDUNG MITTELS CMT [36]	37
ABBILDUNG 15 LASERSCHWEIßEN VON STAHL UND ALUMINIUM [37]	38
ABBILDUNG 16 LASERNAHTFORM UND IHRE FESTIGKEITEN [38].....	39
ABBILDUNG 17 SCHWEIßZANGE [39].....	40
ABBILDUNG 18 HYBRIDVERFAHREN [41]	42
ABBILDUNG 19 STANZNIETVERBINDUNG [42]	43
ABBILDUNG 20 PRINZIP DES STANZNIETENS [42]	43
ABBILDUNG 21 GECLINCHTE VERBINDUNGEN [42]	44
ABBILDUNG 22 B-SÄULE-DODGE-CALIBER [46].....	46
ABBILDUNG 23 FLEXIBLES WALZEN VON TRB [47].....	47
ABBILDUNG 24 TAILORED ROLLED BLANK [47]	48
ABBILDUNG 25 B-SÄULE AUS TWB (VOLVO) [48]	49
ABBILDUNG 26 TAILORED BLANKS ZUR KALT- UND WARMUMFORMUNG [49].....	50
ABBILDUNG 27 TAILORED BLANKS, TAILORED STRIPS UND TAILORED TUBES [50]	51
ABBILDUNG 28 TAILORED TUBES [51].....	51
ABBILDUNG 29 PATCHWORK- TECHNIK [PP]	52
ABBILDUNG 30 PATCHWORK IM VW TOURAN: PUNKTGESCHWEIßTES ABSCHLUSSTEIL [52]	52
ABBILDUNG 31 PATCHWORK BLANKS IM AUDI A4: B- SÄULE MIT INNENVERSTEIFUNG [53]	53
ABBILDUNG 32 DACHRAHMEN IN STRANGPROFILBAUWEISE [54].....	54
ABBILDUNG 33 ERGEBNISSE EINES EINDRÜCKVERSUCHES, VERGLEICH UNTERSCHIEDLICHER STRUKTUREN [57].....	56
ABBILDUNG 34 GUSSGEFÜLLTE STRUKTUREN [56].....	57
ABBILDUNG 35 SCHAUMKÖRPER IN B-SÄULE [56]	58
ABBILDUNG 36 UMFORMBEREICH LASERERWÄRMT [62]	59
ABBILDUNG 37 REIBRÜHRSCHEIßEN [63].....	60
ABBILDUNG 38 RANDBEDINGUNGEN	63
ABBILDUNG 39 AUSWAHL AN GEGENSEITIGEN BEEINFLUSSUNGEN IN DER VARIANTENFERTIGUNG	64
ABBILDUNG 40 TAILORED BLANKS KOSTEN	67
ABBILDUNG 41 AUSZUG AUS MAKE-OR-BUY VON VOLKSWAGEN [1]	68
ABBILDUNG 42 HALBZEUGKOSTENBERECHNUNG	71
ABBILDUNG 43 WERKZEUGKOSTEN	72
ABBILDUNG 44 WERKSTOFFWAHL.....	75
ABBILDUNG 45 CRASHFAKTORBESTIMMUNG	79
ABBILDUNG 46 KOSTENANALYSE	80
ABBILDUNG 47 KALKULATIONSTOOLANSICHT.....	81
ABBILDUNG 48 UMFORMKOSTEN	82

ABBILDUNG 49 VERSCHNITTKOSTEN	82
ABBILDUNG 50 BERECHNUNG FÜGEKOSTEN	83
ABBILDUNG 51 WERKZEUGKOSTEN	83
ABBILDUNG 52 WERKSTOFFKOSTEN 1.....	84
ABBILDUNG 53 WERKSTOFFKOSTEN 2.....	84
ABBILDUNG 54 PREISKALKULATION.....	86
ABBILDUNG 55 AUSZUG AUS BAUTEILKOSTENRECHNUNG	87
ABBILDUNG 56 KOSTEN 1-SCHALIG MSW	88
ABBILDUNG 57 2-SCHALIG +MSW.....	89
ABBILDUNG 58 PATCH + VERSTÄRKUNG MSW	90
ABBILDUNG 59 EINBRINGEN VON STRUKTURSCHAUM IN DEN SCHWELLERBEREICH [57]	91
ABBILDUNG 60 KOSTENVERGLEICH B-SÄULEN VARIANTEN	92
ABBILDUNG 61 BAUTEILKOSTENENTWICKLUNG ABHÄNGIG VON ANGESTREBTER STÜCKZAHL UND STANDZEIT DES WERKZEUGS.....	93

12 Literaturverzeichnis

- [1]. **Weinz, Carsten.** [Befragte Person] Steffen Raschka. Wolfsburg, 21. März 2006.
- [2]. **Franz, Thomas.** *Informationen über Fügetechnik bei Volkswagen.* [Befragte Person] Steffen Raschka. Wolfsburg, 27. März 2006.
- [3]. *Die Karosserie des neuen Astra Cabrio und deren Implementierung einer Cabriokarosserie in eine vorhandene Rohbaufertigungslinie.* **K.P., Eckhardt. und Wawers, Uwe.** Hamburg : vieweg technology forum, 2006. Karosseriebautage Hamburg 2006. S. 3–23.
- [4]. *Karosserieauslegung im Spannungsfeld zwischen Funktion und Design.* **Herr, M. und Schmerberg, R.** Hamburg : vieweg technology forum, 2006. Karosseriebautage Hamburg 2006. S. 84–105.
- [5]. **IIHS.** IIHS.org. [Online] 30. September 2010. http://www.iihs.org/ratings/protocols/pdf/iihs_side_impact_guide.pdf.
- [6]. *Das Seitenschutzsystem im Porsche Carrera Cabriolet.* **Müller, Frank.** Hamburg : vieweg Technology forum, 2006. Karosseriebautage Hamburg 2006. S. 223–234.
- [7]. **Bernquist, Jonas.** www.autosteel.com. [Online] 14. April 2006. www.autosteel.com.
- [8]. **Glatzer, Dr.** *Was sind aktuelle Werkstofftrends bei Volkswagen.* [Befragte Person] Steffen Raschka. Wolfsburg, 29. März 2006.
- [9]. **Oehmke, Bernd und Engelhardt, Andreas.** ATZOnline. [Online] 7. Oktober 2010. <http://www.atzonline.de/Artikel/3/6035/Das-Karosseriekonzept-des-Volkswagen-Eos.html>.
- [10]. **Trenkenschu, Ulrich.** *Verarbeitung von höchstfesten Stählen.* [Befragte Person] Steffen Raschka. Wolfsburg, 29. März 2006.

- [11]. *Touareg und Cayenne – Ein Gemeinschaftsprojekt der Häuser Porsche und Volkswagen geht in die zweite Runde.* **Jahn, Rüdiger.** Hamburg : ATZlive, 2010. Karosseriebautage Hamburg 2010. S. 52.
- [12]. **ThyssenKrupp Stahl.** Complexphasen-Stähle CP-W und CP-K, Für gewichtssparende Herstellung hochfester. crashrelevanter Bau- und Verstärkungsteile. *Produktinformation Complexphasenstähle.* September 2008.
- [13]. **Krech, Dieter.** *Werkstoffeigenschaften.* [Befragte Person] Steffen Raschka. 15. Oktober 2009.
- [14]. **Preller, Frank.** Stahl.Karosserie-netzwerk.info. [Online] 17. Juli 2010. <http://www.stahl.karosserie-netzwerk.info/>.
- [15]. *Der neue BMW 7er.* **Speth, Bernhard, et al.** 2008, ATZ.
- [16]. **Gesellschaft für Technische Überwachung mbH.** www.ofts.de. [Online] 11. November 2007. <http://www.oftsv.de/downloads/aktive-passive-Sicherheit-TN-Unterlagen.pdf>.
- [17]. *The new DaimlerChrysler C-Class Car Body.* **Ast, G. und Oberle, M.** Bad Nauheim/Frankfurt : tci – Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2007. EuroCarBody. S. 287–320.
- [18]. *The body in white of the new Volkswagen Passat B6.* **Cordes, R., Germann, V. und Tunger, R.** Bad Nauheim/Frankfurt : tci – Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2005. EuroCarBody.
- [19]. *The new Punto, The "Grande Punto".* **Fuganti, A., Torelli, A. und Aimò, G.** Bad Nauheim/Frankfurt : tci – Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2005. EuroCarBody.
- [20]. *The new Honda Accord.* **M., Sasaki und Ichinomiya, H.** Bad Nauheim/Frankfurt : tci – Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2007. EuroCarBody. S. 405–429.

- [21]. *The new Opel Corsa Body*. Manns, K.-P. und Zielke, St. Bad Nauheim/Frankfurt : tci – Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2006. EuroCarBody. S. 127–156.
- [22]. *The new NISSAN Crossover Qashqai Car Body*. Michiura, Y., Moss, D. und Pollock, T. Bad Nauheim/Frankfurt : tci – Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2007. EuroCarBody 2007. S. 55–78.
- [23]. *The new Volvo C30*. Ottosson, J. und Munter, Th. Bad Nauheim/Frankfurt : tci – Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2006. EuroCarBody. S. 13–22.
- [24]. *The new Skoda Roomster*. Simon, P. und Senkyr, P. Bad Nauheim/Frankfurt : tci – Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2006. EuroCarBody. S. 65–85.
- [25]. *New 500: B.I.W. Design*. Torelli, A. und M., Tagliani. Bad Nauheim/Frankfurt : tci – Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2007. EuroCarBody. S. 361–397.
- [26]. *The new Lada 2116 Sedan Car Body*. Shemelev, E.N., Galkin, E.A. und Zhuchkova, M. Bad Nauheim/Frankfurt : tci – Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2007. EuroCarBody. S. 217–231.
- [27]. Elsevier Public Safety and Hosted Bloggers in partnership with Go Forward Media. <http://boronextrication.com/>. [Online] 23. Oktober 2010. <http://boronextrication.com/>.
- [28]. European Commission Climate Action. Europe.eu. [Online] 01. 09 2010. http://ec.europa.eu/clima/policies/vehicules/index_en.htm.
- [29]. Fredin, Kaj. *Future materials for body structure applications*. Sunne, Schweden : u, 09. Februar 2005.
- [30]. *Karosserieleichtbau als Baustein einer CO₂-Reduzierungsstrategie*. Goede, Martin. Aachen : s.n., 2007. 16. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik . S. 1–17.

[31]. *Harte Zeiten*. Steinbock, Gregor. 2006, ColorNews, S. 6–11.

[32]. *Der neue Passat CC – Sportliche Ästhetik und optimierter Leichtbau*. Hahn, Andreas, Zwinscher, Michael und Gebauer, Hans–Gerhard. Hamburg : vieweg technology forum, 2008.

[33]. Kolleck, Ralf und Raschka, Steffen. *Abschlussbericht zum Projekt Ermittlung der Standzeiten von K340, K890, K390 und HWS (Rovalma) beim Schneiden von MSW–1200 (1,5mm)*. Graz : s.n., 2006.

[34]. *Neuere Entwicklungen in der Warmumformung borlegierter Stähle – Anlagen/Werkzeuge für Umformung und Schneiden*. Kolleck, R., et al. Fellbach : s.n., 2006. Internationale Konferenz Neuere Entwicklungen in der Blechumformung . S. 159 – 170.

[35]. *Neuere Entwicklungen und Trends beim Schneiden von hoch– und höchstfesten Blechen*. Kolleck, R., et al. Chemnitz : s.n., 2006. International Conference on Accuracy in Forming Technology (ICAFT) in Verbindung mit der 13. Sächsische Fachtagung Umformtechnik (SFU). S. 201–209.

[36]. Bruckner, Jürgen. Graepel.de. [Online] 1. Oktober 2010.

http://www.graepel.de/fileadmin/download/pdf/InForm/2006/CMT-Prozess_FH.pdf.

[37]. *Neuere Entwicklungen beim thermischen Fügen von Mischverbindungen für die Fahrzeugindustrie*. Thomy, C., Walther, R. und Vollertsen, F. Bad Nauheim : s.n., 2008. 11. Deutsche und 8. Europäische Automobilkonferenz „FÜGEN IM AUTOMOBILBAU“.

[38]. Rippl, Peter. Bias.de. *Einsatz von Industrieroboter und Faserlaser zum Laserstrahllöten, –schweißen und –schneiden*. Bremen, Deutschland : s.n., 24. Mai 2005.

- [39]. **Fronius**. Fronius. [Online] 25. September 2010. http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_international/hs.xsl/79_9183_DEU_HTML.htm.
- [40]. **Brede, Marcus**. IFAM. [Online] 17. September 2010. <http://www.ifam.fraunhofer.de/index.php?seite=/2804/werkstoffe/>.
- [41]. **Budde, Lothar**. Jahres-Mitgliederversammlung des FDS. *Technische Innovationen und Trends in der Füge-technik Alternativen und/oder Ergänzungen zum Schrauben*. München : s.n., 15. Mai 2003.
- [42]. **Böllhoff**. Böllhoff.com. [Online] 18. Juni 2010. [http://www2.boellhoff.com/web/centres.nsf/Files/RIVSET_D_6701/\\$FILE/RIVSET_D_6701.pdf](http://www2.boellhoff.com/web/centres.nsf/Files/RIVSET_D_6701/$FILE/RIVSET_D_6701.pdf).
- [43]. *Fügen hochfester Bleche im Automobilbau*. **Füssel, Uwe**. Hamburg : ATZlive, 2010. Karosseriebautage Hamburg 2010. S. 201–224.
- [44]. **Eckold**. Eckold-Clinchen, Die zukunftsorientierte Verbindungstechnik. St. Andreasberg, Deutschland : s.n., 6. Juli 2006.
- [45]. **Pohl, Stefan**. *Einsatz von TRB im Automobil*. [Befragte Person] Steffen Raschka. 03. Juli 2006.
- [46]. **Macek, Bryan**. IIHS.org. [Online] 21. April 2009. www.autosteel.com.
- [47]. **Rehse, Michael**. IIHS.org. [Online] 30. Mai 2006. www.autosteel.com.
- [48]. *CHARACTERIZATION OF TOOL WEAR IN STAMPING OF*. **Sandberg, Odd, Bustad, Per-Ake und Carlsson, Björn**. Olofström, Sweden : s.n., 2004. Recent Advances in Manufacture & Use of Tools & Dies and Stamping of Steel Sheets. S. 127–146.
- [49]. **Mei, Frank und Skilliter, Mike**. Advanced High Strength Steel Applications using Tailored Products. *tailoredsteelproducts.org*. [Online] 7. 10 2010. <http://www.tailoredsteelproducts.org/AM/Template.cfm?S>

action=Home&CONTENTID=28670&TEMPLATE=/CM/ContentDisplay.cfm.

[50]. **Beenken, Heiko.** *ThyssenKrupp techforum.* s.l. : TKS, 2003.

[51]. *Tailored Tubes für den Body Frame Steel.* **Patberg, Lothar und Kneiphoff, Uwe.** 10/2002, ATZ, S. 928–933.

[52]. **Dohr, Christian.** Tailored-Blanks.com. [Online] 8. Oktober 2010. http://www.tailored-blanks.com/uploads/media/tailored_products.pdf.

[53]. **Neugebauer, Reimund und Menzel, Sandra.** Fraunhofer.de. [Online] 26. September 2010. http://pub-125.bi.fraunhofer.de/Images/infoblatt_patchen_tcm125-103142.pdf.

[54]. *Produkt- und Prozess-Engineering im Fokus des Leichtbaus.* **Hoher, Ullrich, Hage, Michael und Keller, Thomas.** 2004, ThyssenKrupp techforum, S. 38–43.

[55]. techcenter.lanxess.com. [Online] 20. September 2010. http://techcenter.lanxess.com/scp/emea/de/docguard/TI_2006-024_DE_Case_Hybrid-Frontend_Ford_Focus.pdf?docId=63411.

[56]. **Maddever, Wayne.** Structural Reinforcement. 4. Mai 2006.

[57]. Insassensicherheit und Aufprallschutz. s.l. : Dow Automotive Presse, 21. Mai 2006.

[58]. **Hillebrecht, Martin, et al.** <http://www.leichtbau-technologie.de/>. [Online] 15. August 2010. <http://www.leichtbau-technologie.de/karosserie/artikel-leichtbau-durch-kluge-materialauswahl-und-bauweise.html>.

[59]. **Laag, Rainhard.** *Metallische Schäume – Werkstoffe mit Zukunft.* München : MAN Forum, 2000.

[60]. **Hirschmann, Markus.** *Herstellung und Eigenschaften von spritzgegossenen Magnesium-Integralschäumen.*

Erlangen : Friedrich–Alexander–Universität Erlangen–Nürnberg, 2007.

[61]. **Vollertsen, F., et al.** *State of the art in micro forming and investigations into micro deep drawing*. Bremen : Journal of Materials Processing Technology, 2004.

[62]. *Local laser heat treatment of ultra high strength steels to improve formability*. **Vitr, Gilbert, et al.** Rom, Italien : s.n., 2005. Super–High Strength Steels. Proceedings : 1st International Conference.

[63]. **Meyer, Axel und Schilling, Christoph.** maschinenmarkt vogel.de. [Online] 29. September 2010. <http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/produktion/verbindungstechnik/articles/95210/>.

[64]. **American Iron and Steel Institute.** Tailored Steel Product Alliance. [Online] 29. September 2010. http://www.tailoredsteelproducts.org//AM/Template.cfm?Section=TSPA_Home.

[65]. **Müller, Jürgen und Bölke, Stefan.** *epic.hpi.uni-potsdam.de*. [Online] 10. September 2010. http://epic.hpi.uni-potsdam.de/pub/Home/JuergenMueller/Make_or_Buy_Entscheidungen_bei_Innovationen.pdf.

[66]. **Autoform.** Autoform. [Online] 12. Oktober 2010. www.autoform.com/news_events/pdf.../MM36_AF.pdf.

[67]. *Karosseriekonzepte und Karosseriewerkstoffe im Wandel*. **Lüdke, Bruno und Pfestorf, Markus.** Berlin : Technik & Kommunikation Verlag, 2006. World Automotive Steel Proceedings. S. 1–33.

[68]. **Wirtschaftsministerium BW.** Umweltschutz–BW. [Online] 12. Juni 2010. <http://www.umweltschutz-bw.de/?lvl=2452>.

[69]. **Tunger, Reiner.** AMS Europe manufacturing Conference. *Innovationen in der Serienfertigung bei Volkswagen Sachsen*. Leipzig, Deutschland : s.n., 03–05. April 2006.

- [70]. **Schumacher, Bernd und Zwick, Axel.** *ThyssenKrupp Techforum*. s.l. : ThyssenKrupp, 2003.
- [71]. **TKS.** *ZE-Mg Zink-Magnesium Oberflächen*. Duisburg : TKS, 2003.
- [72]. *The new Land Rover Freelander 2 Car Body.* **White, M. und Black, S.** Bad Nauheim/Frankfurt : tci-Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2007. Euro Car Body 2007. S. 29-50.
- [73]. *The new OPEL Anantara Car Body.* **Pinn, Chr.** Bad Nauheim/Frankfurt : tci - Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2007. EuroCarBody. S. 83-122.
- [74]. *The new Renault Laguna III Var Body.* **Carbit, J. und Ernault, H.** Bad Nauheim/Frankfurt : tci - Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2007. EuroCarBody 2007. S. 127-158.
- [75]. *The new Audi A5 Car Body.* **Wilde, H.D. und Wunsch, Dr.M.** Bad Nauheim/Frankfurt : tci - Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2007. EuroCarBody2007. S. 191-209.
- [76]. *The new Ford Mondeo Car Body.* **Müller, Th. W., Hover, J. und Wurdack, J.** Bad Nauheim/Frankfurt : tci - Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2007. EuroCarBody. S. 327-354.
- [77]. *The new Citroen C4 Picasso.* **Patois, Chr. und Caulliez, G.** Bad Nauheim/Frankfurt : tci - Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2006. EuroCarBody. S. 261-293.
- [78]. *Die Karosserie des Audi Q7 .* **Danzl, M. und Koglin, Dr.K.** Bad Nauheim/Frankfurt : tci - Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2005. EuroCarBody.
- [79]. *Der neue BMW 3er.* **Ahlers, M. und Elvert, J.** Bad Nauheim/Frankfurt : tci - Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2005. EuroCarBody.
- [80]. *Prius - Hybrid Synergy Drive.* **Matsuyama, N. und Morimatsu, Sh.** Bad Nauheim/Frankfurt : tci - Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2005. EuroCarBody.

- [81]. *Nissan Fuga*. Ogiue, H. und Urakami, K. Bad Nauheim/Frankfurt : tci – Technik & Kommunikation Verlags GmbH, 2005. EuroCarBody.
- [82]. **AISI**. www.Autosteel.org. [Online] 24. September 2010.
<http://www.autosteel.org/AM/Template.cfm?Section=ULSA B1&CONTENTID=33431&TEMPLATE=/CM/ContentDisplay.cfm>.
- [83]. **Osburg, Bernhard, et al.** Sicherer und wirtschaftlicher Karosserieleichtbau mit Stahl. *ATZ*. April 2004, S. 190–199.
- [84]. **Porsche**. A sound foundation: the bodyshell of the Porsche Cayenne. *Porsche Engineering Magazine*. Januar 2003, S. 5–12.
- [85]. **Kolleck, R., et al.** *Service life optimization in the context of cutting high-strength and highest-strength sheet steels*. Porto : International Deep Drawing Research Group, 2006.
- [86]. **Wolf, N. und Petring, D.** *ZE-Mg Bleche: Überlappschweißen mit Nullspalt*. Aachen : ILT Fraunhofer, 2007.
- [87]. **Krenkel, Walter**. *Verbundwerkstoffe*. Bayreuth : Wiley-VCH, 2009, S. 29–35.
- [88]. **Patberg, Lothar**. *PCT/EP2002/008512* Deutschland, 2002.
- [89]. *technische Fortschritte vergrößern IHU-Potenzial*. **Freytag, Peter**. 2006, *BlechinForm*, S. 100–103.
- [90]. **Vallant, R.** Thermische Zyklen beim Schweißen t8–5 Zeit. *tugraz.at*. [Online] 12. Juni 2006.
https://online.tugraz.at/tug_online/voe_main2.getvolltext?pCurrPk=27718.