



Diplomarbeit

Analyse der Schnittstelle zwischen Konzeptentwicklung und  
Produktion im Karosseriebau

Artur Orłowski

Betreuer TU Graz  
Univ.-Doz. Dr. Mario Hirz

Betreuer MAGNA Steyr Fahrzeugtechnik  
Dipl.-Ing. Johannes Mayr

Institut für Fahrzeugtechnik

Frank Stronach Institute – FSI

The logo for FTG, consisting of the letters 'FTG' in a bold, italicized, blue font.

Technische Universität Graz

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mir bei der Erstellung dieser Diplomarbeit geholfen haben.

Als erstes möchte ich meinem Betreuer Univ.-Doz. Dr. Mario Hirz danken. Er hat mich nicht nur fachlich mit seinem umfangreichen Wissen unterstützt, auch persönlich stand er immer mit Rat zur Seite. Weiterer Dank gilt allen Mitarbeitern und lieben Kollegen und Kolleginnen des Instituts für Fahrzeugtechnik, die stets für ein sehr angenehmes und freundliches Arbeitsklima gesorgt haben.

Ein sehr großer Dank gebührt DI Patrick Rossbacher. Trotz permanenten Zeitmangels fand er für mich immer Zeit und unterstützte mich bei zahlreichen Programmieraufgaben. Des Weiteren bedanke ich mich bei DI Hannes Mayr für seine Betreuung bei MAGNA Steyr Fahrzeugtechnik.

Schließlich sind folgende Zeilen an meine Familie und Freunde gerichtet. Diese haben zwar mit meiner Abschlussarbeit nichts zu tun, haben mich jedoch bis hierhin begleitet und verdienen besonderen Dank.

Ganz besonders möchte ich meiner Mutter und meinem Vater für ihre Unterstützung danken. Beide schufen den finanziellen Rahmen für meine Ausbildung und ermöglichten somit die Verwirklichung meiner Ziele. Weiterer Dank gilt meinen Geschwistern und Freunden, die mich wohl am stärksten geprägt und immer begleitet haben.

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig 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 .....

.....

(Unterschrift)

# Zusammenfassung

Durch die globale Marktwirtschaft und den daraus entstandenen hohen Kostendruck müssen europäische Automobilhersteller interne Prozesse flexibilisieren und rationalisieren. Speziell das Automobil wird in unserer heutigen Gesellschaft immer mehr zu einem Konsumgut. Während ein Mercedes-Benz der Baureihe SL R107/C107 Anfang der siebziger Jahre eine Bauzeit von 18 Jahren hatte [1], erfahren die heutigen Fahrzeuge Produktlebenszyklen von unter 8 Jahren. Zusätzlich zu diesem Trend sinken aus Kostengründen die Entwicklungszeiten der Fahrzeuge, sodass eine Umstrukturierung der internen Prozesse in der Produktentwicklung unumgänglich ist.

Die vorliegende Arbeit setzt sich mit dem Thema der Schnittstellenanalyse zwischen Konzeptentwicklung und Produktionsplanung auseinander. Trotz einer großen zeitlichen Differenz der beiden Gebiete in der Produktentwicklung können bereits zwischen der frühen Projektphase und der deutlich späteren Produktionsplanung wichtige Abstimmungsarbeiten erfolgen. Hierfür gibt es sowohl aus der Industrie als auch in der Literatur bewährte Methoden und Konzepte, welche in dieser Arbeit zusammengefasst und an die gegebenen Randbedingungen angepasst wurden. Des Weiteren wurden Methoden und Strategien entwickelt, um die Effizienz in der Karosserieentwicklung weiter zu steigern.

Jedoch sei darauf hingewiesen, dass diese Arbeit nicht den Anspruch auf eine vollständige Behandlung der einzelnen Bereiche innerhalb der Karosserieentwicklung erhebt. Vielmehr soll durch die aufgezeigten Methoden und Modelle ein Impuls für einen konsequenten Verbesserungsprozess geliefert werden – eine Unternehmensweite Implementierung neuer Informations- und Kommunikationssysteme ist anzustreben, jedoch im begrenzten Rahmen einer Diplomarbeit nicht möglich.

# Abstract

The present diploma thesis exposes the difficulties within very early stages in the car development between “*product design and development verification*” and “*production engineering*”. Focusing on the relationship between these two widely spread stages, several improvements can be done to benefit the development procedure in time, data quality and cost estimate.

Traditionally, the development of cars has been viewed as an organizational activity, which is the result of various activities performed by sequential stages. Due to the lack of communication between engineering and production planning, costs are very hard to estimate. Followed by an insufficient documentation, feedback assessment and corrective action could not be done upstream the development process.

Therefore the key feature is the involvement of communication and database tools with all the necessary parties involved at all stages to prevent the rework of ideas and increase the accuracy of data. Models and methods based on literature and proved techniques through the whole automotive industry are compared and linked together for better understanding to make the first steps forward in car development. In addition tools and strategies have been developed to support the improvement in automotive body in white development.

*"Der Entwicklungsprozess kann als eine Folge von Mauern betrachtet werden. Marketing entwickelt ein Produktkonzept und wirft es über die Mauer, die es von der Entwicklungsabteilung trennt. Die Entwicklungsabteilung erarbeitet ein Konzept und wirft es über die nächste Mauer zur Fertigung. Die Fertigung stellt ein Produkt her und wirft es über die dritte Mauer zum Vertrieb. Die Vertriebsmitarbeiter konfrontieren nun die Kunden mit dem Produkt und stellen fest, dass es gar nicht ihren Anforderungen entspricht. Eine Variante dieses Prozesses tritt ein, wenn die Entwicklungsabteilung die Produktidee, die ihr von der Marketingabteilung über die Mauer geworfen wurde, nicht akzeptiert und sie zurückwirft. Auf diese Weise entsteht ein Hin- und Herwerfen von Produktideen und Entwicklungskonzepten. Das gleiche Hin und Her kann auch zwischen der Entwicklungsabteilung und der Fertigung entstehen, bis der Punkt erreicht ist, wo die Mitarbeiter des Unternehmens ermüden und gar nichts mehr über die Mauern werfen".*

*I. Rand; in Saad*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Karosserie im Automobilbau</b> .....	<b>3</b>
2.1	Entstehungsgeschichte der Karosserie .....	3
2.2	Anforderungen an die Karosserie .....	5
2.3	Fahrzeugaufbau, Karosseriebauformen .....	7
2.3.1	Getrennte Bauweise - Rahmenbauweise .....	9
2.3.2	Monocoque .....	10
2.3.3	Gitterrohrrahmen .....	10
2.3.4	Mittragende Bauweise .....	11
2.3.5	Space Frame Bauweise .....	11
2.3.6	Selbsttragende Bauweise .....	14
<b>3</b>	<b>Hauptkomponenten der selbsttragenden Karosserie</b> .....	<b>18</b>
3.1	Produktionsreihenfolge Rohbau .....	19
3.1.1	Unterboden Vorne .....	19
3.1.2	Unterboden hinten .....	20
3.1.3	Aufbau .....	21
3.1.4	Seitenwand .....	22
3.1.5	Dachstruktur .....	23
3.1.6	Anbauteile .....	24
3.2	Montageprinzipien .....	24
3.2.1	Modulbauweise .....	25
3.2.2	Differentialbauweise .....	25
3.2.3	Integralbauweise .....	25
<b>4</b>	<b>Evolution der Karosseriebauweise</b> .....	<b>28</b>
4.1	Modularisierung im Rohbau .....	31
4.1.1	Baureihen .....	32
4.1.2	Baukastenprodukt bzw. modulares Produkt .....	33
4.1.3	Plattformkonzept .....	33
<b>5</b>	<b>Fügetechnik im Karosseriebau</b> .....	<b>35</b>
5.1	Umformen .....	37
5.2	Nietverbindungen .....	37
5.2.1	Durchsetzfügen .....	41
5.2.2	Ein- und Anpressen .....	42
5.3	Klebertechnik .....	43
5.4	Schweißen .....	46

<b>6</b>	<b>Produktentstehungsprozess der Karosserie .....</b>	<b>51</b>
6.1	Simultaneous Engineering .....	53
6.2.1	Strak Modell.....	59
6.2.2	Maßkonzept.....	63
6.2.3	Packaging.....	64
6.2.4	DMU – Digital Mock Up.....	64
6.2.5	Toleranzplanung/Toleranzmanagement.....	64
6.2.6	Begriffsdefinition Konzeptheft und Lastenheft .....	65
<b>7</b>	<b>Wissensmanagement in der Karosserieentwicklung.....</b>	<b>67</b>
7.1	Kernfragen zur Ableitung von strategischen Zielen im Karosseriebau .....	68
7.2	Wissen – Information – Daten - Zeichen .....	68
7.2.1	Kernprozesse des Wissensmanagements .....	69
7.3	Elemente und Methoden zur Darstellung von Wissen.....	71
<b>8</b>	<b>Neue Methoden in der Karosserieentwicklung .....</b>	<b>73</b>
8.1	Schwerpunkte der Analyse .....	75
8.2	Implementierung einer Datenbank .....	77
<b>9</b>	<b>Datenbankmodell.....</b>	<b>82</b>
9.1	Database - Datenbank .....	84
9.1.1	Aktuelle Projekte.....	85
9.1.2	Archiv.....	85
9.1.3	Produktionsanlagen .....	88
9.1.4	Hot Spots .....	88
9.2	Tools.....	90
9.2.1	Target Costing - Zielkostenrechnung .....	90
9.2.2	Wertanalyse als Werkzeug von Target Costing .....	91
9.2.3	Ähnlichkeitsrechnung.....	92
9.2.4	VISBOM (Virtual Bill Of Materials) .....	92
9.3	Zuordnung der Tools und Methoden im Entstehungsprozess .....	96
<b>10</b>	<b>Schlusswort .....</b>	<b>98</b>
<b>11</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>100</b>
<b>12</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>104</b>



# 1 Einleitung

Die Automobilindustrie ist im deutschsprachigen Raum eine der wichtigsten Branchen im Maschinenbau. Seit der ersten Fahrzeugserienfertigung Ende des 19. Jahrhunderts hat sich der gesamte Produktentstehungsprozess grundlegend verändert. Während in der Pionierzeit ein Großteil der Entwicklungsarbeit von einigen wenigen Personen getätigt wurde, sind durch die gestiegene Komplexität der Fahrzeuge strukturierte Prozesse sowie ein standardisierter Informationsfluss zwischen den Beteiligten in der gesamten Fahrzeugentwicklung erforderlich. Ein weiterer, sehr wesentlicher Aspekt für die gestiegenen Anforderungen im Produktentstehungsprozess ist der Anstieg der Modellvarianten und die daraus resultierende Wandlungsfähigkeit der Produktionslinien. Durch diese neuen Randbedingungen kam es förmlich zu einer Wissensexplosion, welche eine strikte und vor allem methodische Herangehensweise forderte. Dabei ist zu erwähnen, dass methodisches Denken durchaus ein fester Bestandteil unserer Arbeit ist. Obwohl wir es nicht bewusst wahrnehmen, wählen wir intuitiv Entwicklungswege bzw. systematische Schritte, sodass eine kontinuierliche und vor allem für den Entwickler erfassbare Umgebung entsteht. In einer Arbeitsgemeinschaft werden durch die Vielzahl der Mitwirkenden je nach Aufgabenbereich individuelle Umgebungen von Einzelnen kreiert. Deshalb ist es notwendig, für ein Kollektiv eine standardisierte Umgebung zu schaffen. Die Werkzeuge hierfür wurden bereits am Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts aufgestellt und schrittweise entwickelt. Frederick Winslow Taylor begründete den damals sehr stark kritisierten Taylorismus, der für eine systematische, prozessgesteuerte Arbeitsweise stand. Einer der wesentlichen Grundsätze im Produktentstehungsprozess war die Unterscheidung in geistige und körperliche Arbeit - das Arbeitsbüro befasste sich mit den Planung, während der Arbeiter sich nur auf die Montage konzentrierte.

Neben dieser strikten Aufteilung gab es auch die Zerlegung der Arbeit in kleinstmögliche Ablauffolgen sowie das Dokumentieren bzw. das Sammeln von Wissen aus der Produktion ins Arbeitsbüro, um eine stetige Verbesserung der Abläufe gewährleisten zu können. Als weiterer, amerikanischer Vertreter der Prozessoptimierung ist an dieser Stelle William Edwards Deming zu nennen. Vielmehr war dieser ein Pionier des Qualitätsmanagements,

jedoch trugen seine theoretischen Ansätze erheblich zum Toyota Produktionssystem (TPS) bei. Das TPS ist ein über mehrere Jahrzehnte entwickeltes Produktionsverfahren für die Großserienproduktion aus dem zahlreiche Methoden wie z. B. Kaizen, PokaYoka oder Jidoka [2] abgeleitet wurden. Viele dieser Methoden sind in der heutigen Serienfertigung nicht wegzudenken und bilden somit die Basis für eine methodische Arbeitsweise.

Die vorliegende Arbeit soll einen Überblick der wissenschaftlichen Ansätze über Teile des Produktentstehungsprozesses einer Rohbaukarosserie schaffen. Dabei werden die technischen Zusammenhänge einer Rohbaukarosserie, deren durchlaufene Entwicklung sowie derzeitig eingesetzte Technologien mit ihren Vor- und Nachteilen beleuchtet. In Hinblick auf den Produktionsschwerpunkt von selbsttragenden Karosserien in Schalenbauweise bei der MAGNA Steyr Fahrzeugtechnik wird eine allgemeine, technische Einführung des Produktionsprozesses mit deren Hauptbaugruppen in der entsprechenden Reihenfolge dargestellt. Nach der Auseinandersetzung der Grundlagen des Karosseriebaus erfolgt eine Einleitung über die einzelnen Produktentstehungsprozesse und die dabei angewandten Methoden in der Automobiltechnik.

Schließlich soll eine systematische Annäherung des Kernthemas erfolgen, welche unterstützt durch eine IST-Analyse bei MAGNA Steyr Fahrzeugtechnik auf die tatsächliche Unternehmensstruktur angepasst wird. Die für die IST-Analyse relevanten Informationen wurden im Zuge von Besprechungen aus den zugehörigen Abteilungen gesammelt. Durch die Aufbereitung der gewonnenen Informationen soll ein Überblick über die Potenziale zur Verbesserung der Prozesse geschaffen werden. Mit einer groben Auflösung der Projektschritte sollen eine Darstellung der Störgrößen und deren Ursachen folgen.

Im Zuge dieser Analyse werden abschließend mögliche Werkzeuge vorgestellt, welche durch Anpassung an die Anforderungen als sinnvoll erscheinen. Dabei werden bereits bestehende Methoden bzw. Werkzeuge aufgezeigt und hinsichtlich eines möglichen industriellen Einsatzes untersucht.

## 2 Grundlagen der Karosserie im Automobilbau

Dieses Kapitel soll eine allgemeine Übersicht über die Entstehungsgeschichte der Karosserie und über unterschiedliche Bauweisen mit ihren Vor- und Nachteilen geben. Eine Gegenüberstellung der eingesetzten Materialien sowie die unter anderem zusammenhängende Gewichtsspirale wird nur ansatzweise behandelt, da auf dieses Thema in Kapitel 3 näher eingegangen wird.

### 2.1 Entstehungsgeschichte der Karosserie



**Abb. 1** Benz Motorwagen 1868 [3]

Werkstoffe sowie deren Kombinationen sind eine Schlüsselkomponente in der Karosserieentwicklung. In den Anfängen waren die eingesetzten Materialien überwiegend vom Kutschenbau bestimmt. Als Hauptwerkstoff wurde daher hauptsächlich Holz verwendet, wobei vereinzelt für die damalige Zeit exotische Legierungen verwendet

wurden: Aluminiumblech zum Beispiel wurde bereits schon sehr früh für Motorhauben eingesetzt, die Vorderachse des Model T von Henry Ford bestand aus einem mit Vanadium legierten Stahl, der eine höhere Festigkeit als die herkömmlichen Stähle aufwies. Die ersten Ganzstahlkarosserien wurden von den Firmen Dodge Brothers Motor Vehicle Company und Pontiac Spring & Wagon Works im Jahre 1913 bzw. 1915 gebaut [4]. Jedoch erwies sich die Verarbeitung von Blechen zu den damaligen Bedingungen als schwierig und so kam es, dass sich Holz als wichtigstes Material im Karosseriebau bis in die 30er Jahre durchsetzte. Dank der Entwicklung von leistungsstärkeren Blechpressen konnten erstmals 1935 in der Massenproduktion Karosserieteile mit einer konstanten Qualität gefertigt werden. Zu erwähnen ist, dass vor dieser Serienfertigung des Opels Olympia bereits im Jahre 1922 Lancia mit dem vorgestellten Fahrzeug Lambda die erste selbsttragende Karosserie einführte [5]. Zuvor basierten die Bauformen auf der aus dem Kutschenbau übernommenen Prinzipien: Die tragenden Elemente bestanden aus zwei verwindungssteifen Längsträgern, die parallel über die gesamte Fahrzeuglänge reichten. Diese waren anfangs Holzbalken, wurden aber sehr bald durch U-Profile aus Stahl ersetzt. Darauf aufbauend wurden alle Fahrzeugkomponenten inklusive Fahrgastzelle montiert. Neben der vermehrten Anwendung von Aluminiumwerkstoffen für einzelne Motorkomponenten hielten Elastomere für den erhöhten Komfortanspruch der Insassen immer mehr Einzug. So wurden für die Motorlagerung Gummilager, für die Abdichtung von Türen und Motorhauben Gummidichtungen eingesetzt. Das durchschnittliche Automobil verwendete 1955 ca. 5 kg an Kunststoffen, zwischen 1960 und 1970 stieg dieser Anteil auf bis zu 45 kg an [4]. Schließlich gelang es der Firma Audi AG mit dem im Jahr 1994 vorgestellten Audi A8 einen neuen Meilenstein im Karosseriebau zu setzen. Mit der weltweit ersten Aluminiumkarosserie in einem Serienfahrzeug wurden neue Maßstäbe hinsichtlich Fertigung sowie Fügetechnologie im Automobilbau gesetzt.

Abschließend ist zu erwähnen, dass in Folge von hohen Fertigungskosten Faserverbundwerkstoffe nur marginal in der Serienfertigung eingesetzt werden. Im Rennsport oder bei Sportwagen der höheren Preisklasse (z.B. McLaren MP4-12, Porsche Carrera GT) wird vermehrt dieser Werkstoff eingesetzt. SGL Automotive CarbonFibers – ein Joint Venture der SGL Group und der BMW Group – hat in Moses Lake (Washington/USA) ein neues Werk zur Herstellung von Karbonfasern eröffnet. Diese sollen 2013 in den BMW i-Fahrzeugen zum Einsatz kommen, welche somit als die ersten, in Großserie gebauten Automobile mit Fahrgastzellen aus Karbonfasern gelten [6]. Am 2. März 2012 hat die BMW Group in ihrem Landshuter Komponentenwerk eine neue Fertigungsstätte für Karbonteile im Betrieb genommen. Diese Teile werden an das Werk Leipzig geliefert, wo ab 2013 der BMW i3 und i8 produziert wird [7].

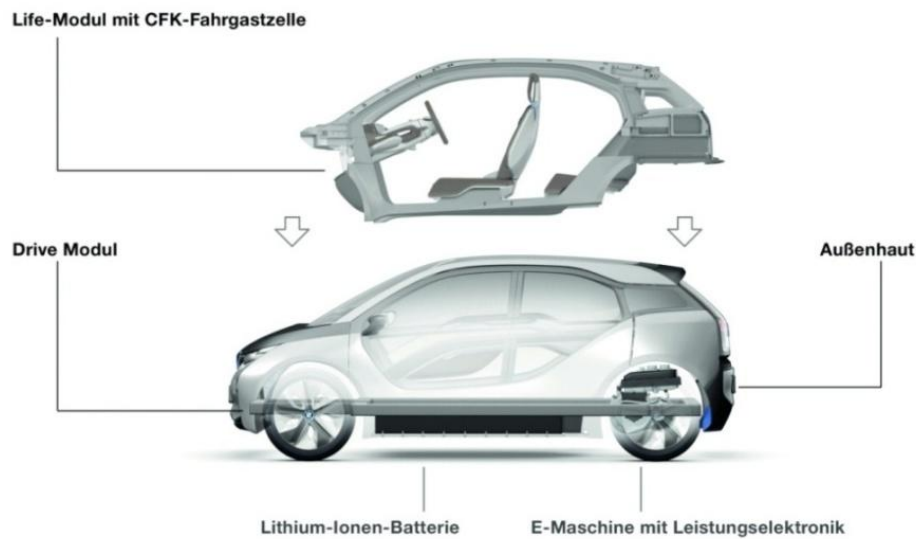


Abb. 2 Das LifeDrive Konzept des BMW i3 [8]

Abb. 2 zeigt die Struktur eines BMW i3. Diese unterscheidet sich deutlich von „traditionellen“ Karosserien in Schalenbauweise. Interessant ist, dass es bei dieser Bauform eine strikte Aufteilung zwischen Fahrgastzelle und dem Leiterraum mit Batteriepaket gibt. Eine detailliertere Beschreibung über konventionelle Karosseriebauformen folgt in Kapitel 3.

## 2.2 Anforderungen an die Karosserie

Die Karosserie ist ein wesentlicher Bestandteil des Fahrzeugs. Sie beeinflusst durch ihren Typ und das Design den Fahrzeugtyp und ist in der heutigen Zeit einer der wichtigsten Faktoren bei der Kaufentscheidung eines Kunden. Allgemein gibt es zwei Hauptgruppen: Karosserien für reinen Personentransport und auf der anderen Seite jene für Gütertransport, wie in der folgenden Abbildung dargestellt:

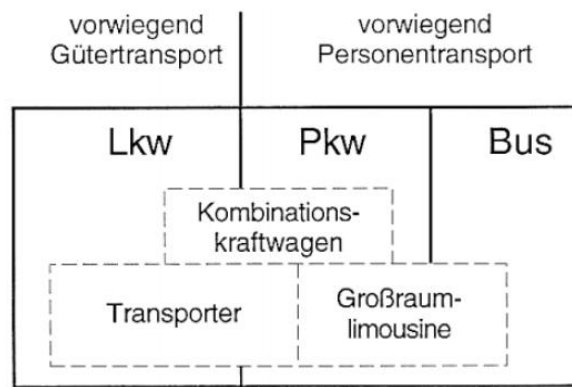


Abb. 3 Unterteilung nach Transportaufgaben [10]

Durch die zunehmende Produktpalette und die damit verbundene Modellvielfalt kommt es aber auch vermehrt zu einigen Mischungen dieser beiden Formen. Produktionsseitig gibt es bei diesen beiden Hauptgruppen zwei gegenläufige Schwerpunkte. Während bei Personenkraftwagen das Design und die Herstellungskosten im Vordergrund stehen, liegt bei den Nutzfahrzeugen der Fokus auf der Erfüllung von Betriebsanforderungen und minimalen Betriebskosten. Zusätzlich sind die Anschaffungskosten bei Nutzfahrzeugen deutlich niedriger verglichen zu den Gesamtkosten während der gesamten Lebensdauer.

Im Laufe der Zeit haben sich auch die Anforderungen an die Karosserie grundlegend verändert. Getrieben durch die strengeren Umweltauflagen in Hinblick auf Emissionen und Recycling, durch den hohen Kostendruck und durch die immer kürzeren Produktlebenszyklen der Fahrzeuge ergeben sich immer komplexere Anforderungen, die oft gegenläufig sind. Weitere Aspekte wie Raumökonomie, Crashverhalten und bestmöglicher Komfort fließen in die Auswahl von Karosseriekonzepten mit ein, obwohl sie nicht immer direkt vom Kunden wahrgenommen werden können. So ist zum Beispiel das Design ein klares und sofort sichtbares Differenzierungsmerkmal eines Fahrzeugs, während die passive Sicherheit nur indirekt vom Kunden erfahren werden kann. Verbraucherschutzverbände, wie NCAP, bieten hierzu gute Informationsquellen und helfen bei der Beurteilung von Fahrzeugkarosserien [9]. Abschließend soll in Anlehnung an H.Wallentowitz, A. Freialdenhoven und I. Olschewski [10] Abb. 4 einen groben Überblick über die Anforderungen an eine Karosserie geben:

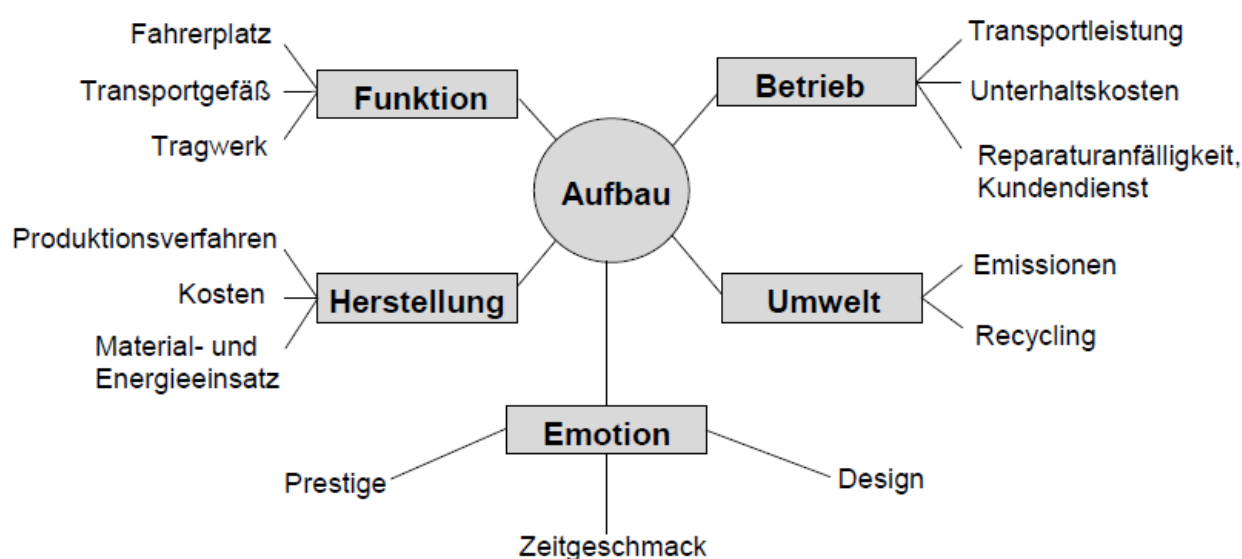


Abb. 4 Anforderungen an Kraftwagenaufbau nach [10]

### 2.3 Fahrzeugaufbau, Karosseriebauformen

In der klassischen Karosseriebauweise werden allgemein die Grundfunktionen einer Karosserie aufgeteilt in die Tragstruktur für Fahrwerk/Antrieb und in den Schutz vor Umwelteinflüssen für die Fahrzeuginsassen. „*Unter dem Fahrzeugaufbau versteht man daher die zum Fahrwerk gehörende Tragkonstruktion an dem die einzelnen Teilsätze wie Motor, Lenkung, Federung, Achsen usw. befestigt sind*“ [11]. Nach dieser Definition ist die Karosserie nur für den Schutz gegen Witterungsverhältnisse zuständig. Natürlich ist diese Definition längst überholt und veraltet. Infolge besserer und moderner Fertigungsverfahren und durch den hohen Druck der Kosten- und Gewichtsreduzierung hat sich die Fahrzeugstruktur immer mehr zu einer gesamten, tragenden Einheit weiterentwickelt. Als Beispiel ist an dieser Stelle der Einsatz von verklebten Heck- und Frontscheiben erwähnt. Diese tragen zur hohen Torsionssteifigkeit der Karosserie bei und erzielen Verbesserungen von bis zu 25% [12]. Jedoch wird nach wie vor bei besonders kleinen Stückzahlen oder speziell in der CFK-Bauweise auf eine Trennung zwischen tragenden und formgebenden Teilen gesetzt.

Im Folgenden werden die wichtigsten Bauformen in der Fahrzeugproduktion behandelt. Es gibt im Allgemeinen acht Karosseriebauformen, wobei diese sehr stark von der Produktionsstückzahl abhängen. Ab einer Stückzahl von ca. 100 000 Fahrzeugen pro Jahr überwiegen die Kostenvorteile der klassischen, selbsttragenden Stahlkarosserie gegenüber einer Space Frame Aluminium Karosserie. Diese Aussage bestätigt sich beim Vergleich der Stückzahlen zwischen der Mercedes Benz S-Klasse und dem Audi A8. Während die S-Klasse mit über 100 000 Fahrzeugen pro Jahr [13] mit einer selbsttragenden Karosserie produziert wird, wird die Space Frame Technologie beim Audi A8 eingesetzt, welcher mit einer Stückzahl von ca. 30 000 Stück pro Jahr hergestellt wird.

Die Abb. 5 soll in Anlehnung an [14] einen groben Zusammenhang zwischen den eingesetzten Materialien sowie den Stückzahlen unterschiedlicher Fahrzeugmodelle zeigen. Zusätzlich zu dieser Abbildung werden quantitativ die jeweiligen Gewichtszunahmen der vergleichenden Fahrzeuge dargestellt. Eine Gegenüberstellung von Stückkosten zu Investitionskosten pro Fahrzeug zeigt die starke Abhängigkeit dieser beiden Faktoren von der eingesetzten Technologie.

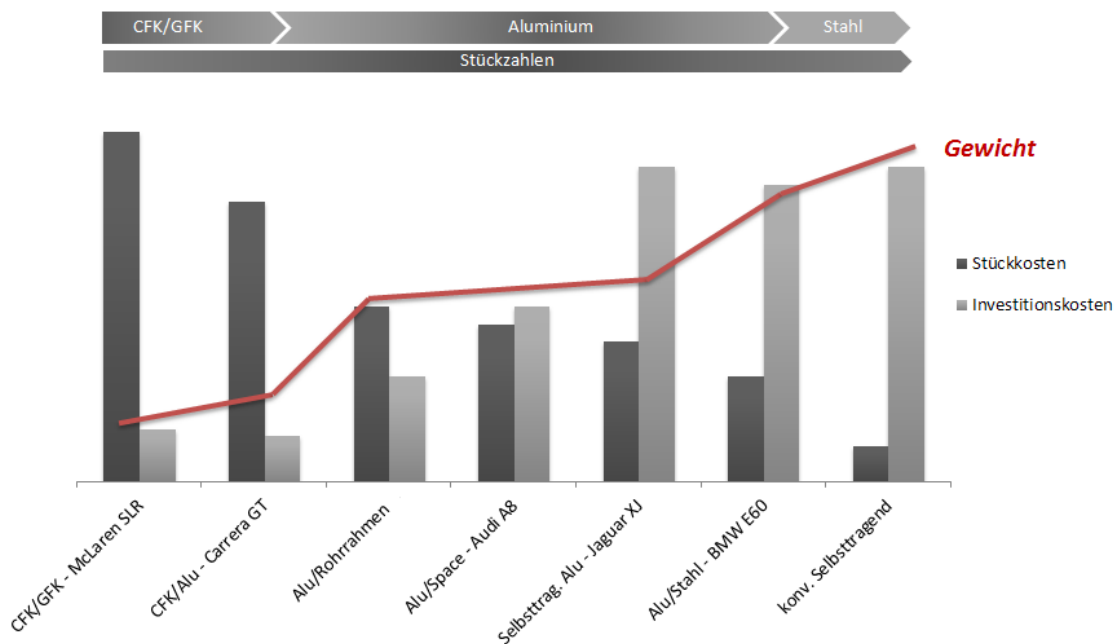


Abb. 5 Zielkonflikt von Gewicht und Kosten in Anlehnung an [14]

Wie schon anfangs erwähnt, unterscheidet man im Allgemeinen acht Karosseriebauformen. Diese werden nach der eingesetzten Bauweise unterteilt und sind in Abb. 6 dargestellt. Interessant ist, dass selbst bei dieser Unterscheidung zunehmend die Grenzen der Technologien immer mehr miteinander vermischt werden, um die Anforderungen seitens der Crashesicherheit, Gewichts- und Kostenreduzierung zu erfüllen. Multi Material Bauweise kann als eine Weiterentwicklung der Hybridbauweise angesehen werden – wie der Name schon sagt werden bei der Multi Material Bauweise bedarfsorientiert eine Vielzahl von unterschiedlichen Materialien eingesetzt. Des Weiteren fließen Erfahrungen aus der Space Frame Technologie zu einem Großteil in die Hybridbauweise ein (z.B. beim Audi TT). So bestehen bei diesem Fahrzeug 16% der Karosserie aus Aluminium Strangpressprofilen, 22% aus Aluminium Gussteilen und je 31% aus Alu- sowie Stahlblech [15].



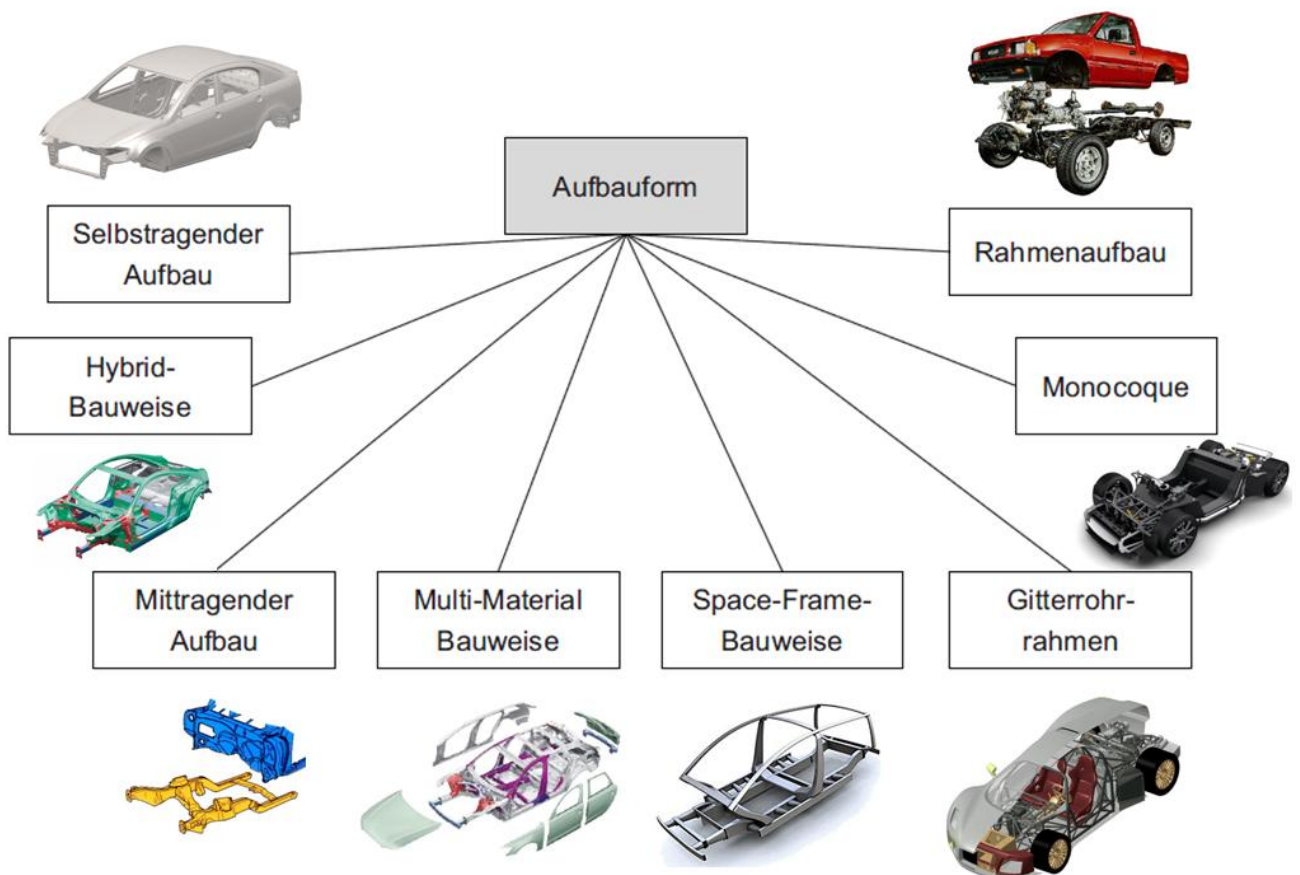
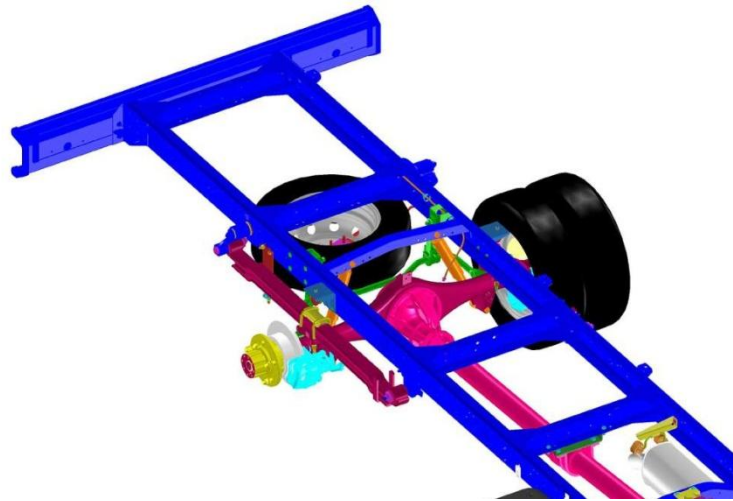


Abb. 6 Überblick der Karosseriebauweisen, verglichen mit [7], [10], [11], [16], [17], [18].

Folgend werden die heute üblichen Bauweisen für Fahrzeuge in der Serienfertigung näher beschrieben. Zur Vervollständigung wird die Bauweise Gitterrohrrahmen- und Monocoque nur kurz erwähnt, da diese für eine hohe Stückzahl nicht repräsentierbar sind und in der heutigen Automobilbranche eher die Ausnahme darstellen.

### 2.3.1 Getrennte Bauweise - Rahmenbauweise

Die Karosserie wird über Verbindungspunkte auf einem Rahmen montiert und erfährt durch diese Entkopplung weniger Kräfteinflüsse. Dieser Rahmen dient gleichzeitig als Träger von allen Fahrwerks- und Antriebskomponenten und wird überwiegend in der Nutzfahrzeugtechnik, aber auch bei schweren Geländewagen (z.B. Mercedes Benz G-Klasse) eingesetzt. Der klassische Leiterraum besteht aus zwei parallelen Längsträgern, welche mit offenen (in U-/L-Form) oder geschlossenen Profilen ausgeführt sind. Die Verbindung der beiden Längsträger wird mit Hilfe von mehreren Querträgern erzielt, die mit unterschiedlicher Verbindungstechnik durch Niete, Verschraubungen oder Schweißen verbunden sind.



**Abb. 7** Leiterraum eines Nutzfahrzeuges [19]

### 2.3.2 Monocoque

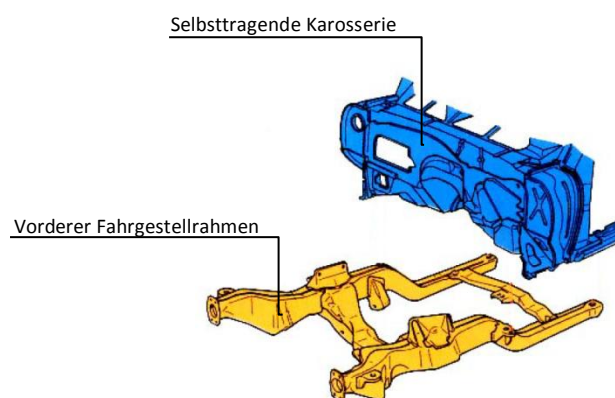
Wie der Name schon sagt, besteht das Monocoque aus einem Teil und wird aus Faserverbundwerkstoffen produziert. Überwiegend werden Monocoques in Hybridbauweise ausgeführt, d.h. die Fahrgastzelle besteht aus einem Monocoque bestehend aus Faserverbundwerkstoffen, und Vorder- sowie Hinterwagen werden in Form einer Rohrrahmenkonstruktion oder mit Aluminiumussteilen ausgeführt. Wie schon zuvor erwähnt, wird diese Bauweise nur bei geringen Stückzahlen und vor allem bei Sportwagen eingesetzt.

### 2.3.3 Gitterrohrrahmen

Der Gitterrohrrahmen ist ein Raumfachwerk und findet im heutigen Automobilbau nur sehr wenig Anwendung. Ähnlich wie bei der Rahmenbauweise übernimmt der Gitterrohrrahmen die Aufnahme von sämtlichen Bauteilen wie zum Beispiel Fahrwerk, Motor usw. Eine Karosserie aus Aluminium oder sogar Kunststoff wird aufgesetzt und trägt zur Gesamtsteifigkeit des Fahrzeuges kaum bei. Durch die Entwicklung des Monocoques kommt diese Bauweise vereinzelt nur als Hybridbauweise zum Einsatz und wird daher nicht näher ausgeführt.

### 2.3.4 Mittragende Bauweise

Diese Bauform besteht aus einer selbsttragenden Karosserie sowie einem vorderen und einem hinteren Fahrgestellrahmen. Speziell bei Fahrzeugen mit erhöhtem Komfortanspruch oder höherer Leistungsklasse wird diese Bauform oft eingesetzt. In Hinblick auf die Produktionsreihenfolge ergibt sich ähnlich wie beim Leiterraum der Vorteil der Vormontage aller Antriebs- und Fahrwerkseinheiten, die im Anschluss mit der Karosserie verbunden werden.



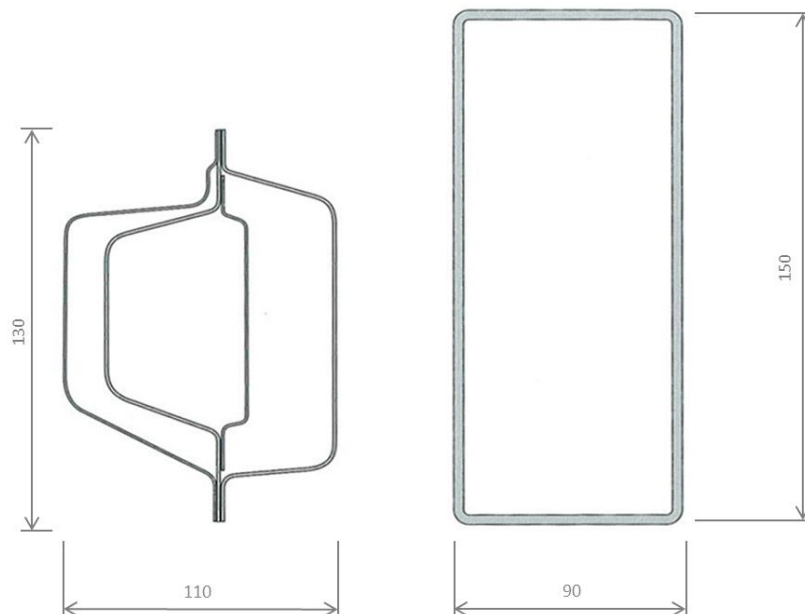
**Abb. 8** Mittragender Fahrgestellrahmen [11]

### 2.3.5 Space Frame Bauweise

Aufgrund der erhöhten Variabilität durch Halbzeuge weist der Werkstoff Aluminium deutliche Vorteile gegenüber konventionellen Stahlkarosserien auf. Strangpressprofile und Aluminium Gussteile können bedarfsgerecht in der Konstruktion eingesetzt werden und helfen, das Fahrzeuggewicht deutlich zu senken. Diese Vorteile nutzt die Space-Frame Technologie aus. Sie erzielt gegenüber herkömmlichen Stahlkarosserien eine Gewichtsersparnis von bis zu 40% [20]. In Skelettbauweise wird eine fachwerkähnliche Struktur geschaffen, welche durch flächenschließende Bleche ergänzt wird. Druckgussteile dienen dabei als Knotenpunkte und übernehmen durch integrale Bauweise mehrere Funktionen: Lokal wirken diese steifigkeitserhöhend und können durch gezielte Einleitung große Kräfte aufnehmen.

### 2.3.5.1 Gegenüberstellung von Stahl und Aluminium

Der Werkstoff Aluminium beschränkte sich bis in die 90er Jahre nur auf sog. „Hang on“-Teile. Diese Teile sind z.B. Motorhaube, Kofferraumdeckel, Türen usw. Bei einer Aluminiumkarosserie in Spaceframe Bauweise kommen neben der Außenhaut aus Aluminium Strangpressprofile und Gussknoten aus Aluminiumguss zum Einsatz [21]. Der wesentliche Nachteil von Aluminium ist der Elastizitätsmodul, welcher etwa ein Drittel des Stahls beträgt. Um die gleiche Biegesteifigkeit von Aluminiumkarosserien zu erzielen, muss die Konstruktion mit größeren Querschnittsflächen versehen werden. Dies resultiert in einer größeren Geometriegestaltung und einer Erhöhung der Wandstärke um den Faktor 1,44 [21]. Ein weiterer Vorteil bei Aluminiumkonstruktionen ist die Verarbeitung. Umformtechniken wie Walzen, Schmieden, Gießen sind verglichen zu Stahl deutlich einfacher. Durch die Anpassung von Wandstärken wird speziell in den Knotenpunkten der Karosserie eine geometrische und funktionale Integration der Bauteile gewährleistet. Mögliche Ausführungsvarianten eines Karosseriebauteils sollen anhand eines Längsträgers aus dem Vorderwagen dargestellt werden. Es wird für das gleiche Bauteil jeweils der Werkstoff Aluminium und Stahl (z.B. 22MnB5) verwendet. Die in Abb. 9 dargestellten Längsträger (siehe dazu auch Abb. 11 und Abb. 17) des Vorderwagens zeigen die konstruktive Anpassung des Trägers unter Verwendung dieser beiden Materialien.



**Abb. 9** Vergleich von Trägern in Stahl-Schalenbauweise (links) und Aluminium Space Frame Technologie (rechts) [22]

Ein möglicher Werkstoff für den Längsträger des Vorderwagens ist in der Schalenbauweise z.B. die Stahlsorte 22MnB5. Die guten Festigkeitseigenschaften werden besonders durch den hohen Anteil an Bor erreicht, weshalb diese Stahlsorte in der Umgangssprache auch „borlegierter Stahl“ heißt. Durch das günstige Kaltumformverhalten lassen sich komplexe Formen herstellen, ein anschließendes Härten wirkt Festigkeitserhöhend und kann Zugfestigkeiten von bis zu 1650 N/mm<sup>2</sup> erzielen [23]. Ebenso eignet sich dieser Stahl zum Warmumformhärten – ein zunehmender Trend in der Automobilbranche, welcher die Anforderungen an Leichtbau und sehr gutes Crashverhalten erfüllt. Aufgrund der oben genannten Eigenschaften findet sich 22MnB5 in vielen Fahrzeugstrukturen wieder, welche überwiegend sicherheitsrelevante und tragende Bauteile betreffen: A- und B- Säulenverstärkung, Seitenaufprallschutz, allg. Rahmenteile, Querträger usw. [23].

Ein in Aluminium gefertigter Träger wird durch größere Querschnitte, die somit das Trägheitsmoment um die Biegeachse erhöhen, verwindungssteifer bei gleichzeitig weniger Gewicht. Speziell mehrwandige Blechteile werden somit durch Strangpressprofile wirksam ersetzt und weisen durch die Bauteilreduktion weniger Verbindungstechnik auf. Dieser Entfall an Verbindungstechnik bietet zusätzlich Vorteile bei crashrelevanten Strukturen: Durch die Strangpressbarkeit können unterschiedliche Profilformen hergestellt werden, die ohne jegliche Verbindungstechnik realisiert werden. Dies hat zur Folge, dass Schwachstellen in der Verbindungzone gar nicht auftreten. So ist z.B. ein Aufreißen der Verbindungspunkte oder einer Schweißnaht in Längsrichtung gar nicht möglich was die Energieaufnahmefähigkeit des Trägers erhöht. Mögliche Aluminiumwerkstoffe im Fahrzeugbau sind z.B. Al Mg 4,5 Mn oder AW-Al Mg 4,5 Mn 0,7 [24].

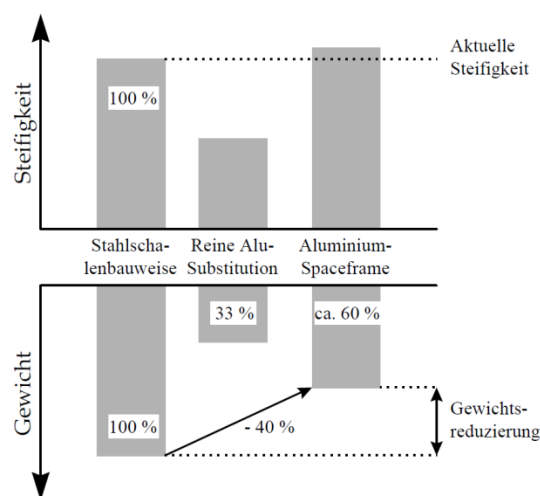


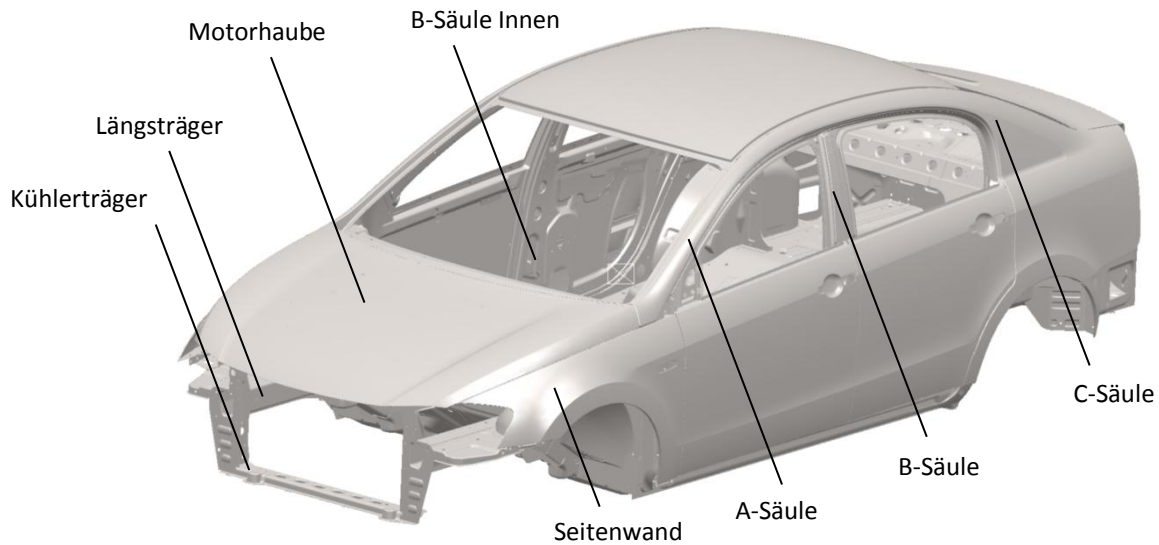
Abb. 10 Gegenüberstellung von Masse und Steifigkeiten beim Einsatz von Stahl und Aluminium [21]

In Abb. 10 ist eine Gegenüberstellung der Werkstoffe Stahl und Aluminium in Hinblick auf Steifigkeit und Gewicht dargestellt. Durch reine Substitution von Stahl durch Aluminium würde sich eine Gewichtsersparnis von etwa 65% ergeben. Dabei sinkt jedoch die Steifigkeit der Karosserie um mehr als 50%. Durch eine werkstoffgerechte Konstruktion (z.B. Spaceframe Technologie) kann das Fahrzeuggewicht tatsächlich um etwa 40% reduziert werden. Dank dieser intelligenten Bauweise kann die Steifigkeit gegenüber herkömmlichen Stahlkarosserien sogar erhöht.

### 2.3.6 Selbsttragende Bauweise

Die selbsttragende Karosserie ist in der heutigen Automobilfertigung die am häufigsten eingesetzte Bauweise. Die dabei eingesetzte Bodengruppe gilt als tragendes Element und wird durch trägerähnliche Blechprofile unterhalb der Bodenplatte verstärkt. Durch Umformen von Stahlblechplatten werden unter Einsatz von unterschiedlichen Legierungen und Wandstärken die Strukturelemente gefertigt. Die dabei entstandenen Blechteile werden mit einer geeigneten Füge-technologie so geschlossen, dass bei möglichst großen Querschnitten eine tragende und biegesteife Struktur entsteht. Die A-, B- und C- Säule sowie deren Innenbleche und Schweller müssen oben und unten geschlossen sein, um keinen Schall in den Innenraum zu leiten [12].

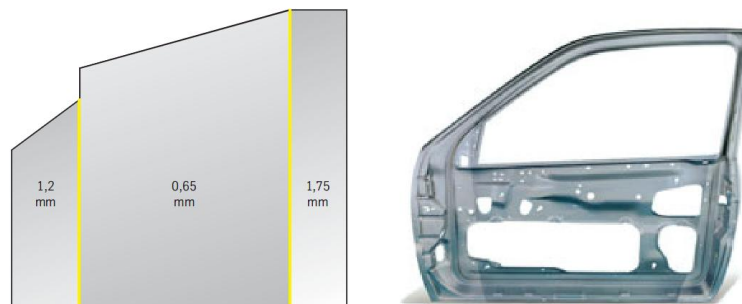
Aber auch Längsträger und andere Profile sollen mit möglichst wenig Öffnungen und Löchern versehen sein, um eine bessere Akustik gewährleisten zu können. Die äußeren Verkleidungsteile der Karosserie unterliegen einer Vielzahl von unterschiedlichen gesetzlichen Vorschriften. Damit soll überwiegend das Verletzungsrisiko von Fußgängern und Radfahrern durch hervorstehende Bauteile und scharfe Kanten verhindert werden. So sind zum Beispiel vorstehende Bauteile bei der äußeren Verkleidung mit einem Mindestradius von 2,5 mm zu versehen [12]. Im Allgemeinen liegt der durchschnittliche Anteil an umgeformten Blechen im Rohbau bei etwa 95%, wobei dieser durch integrale Bauweise immer kleiner wird. Bezogen auf die klassische Karosseriefertigung mit hohen Stückzahlen liegt bei der Verwendung von Tailored Blanks das größte Potenzial in der Teile-, Kosten- und Gewichtsreduzierung.



**Abb. 11** Beispiel einer selbsttragende Karosserie

## 2.3.6.1 Tailored Blanks:

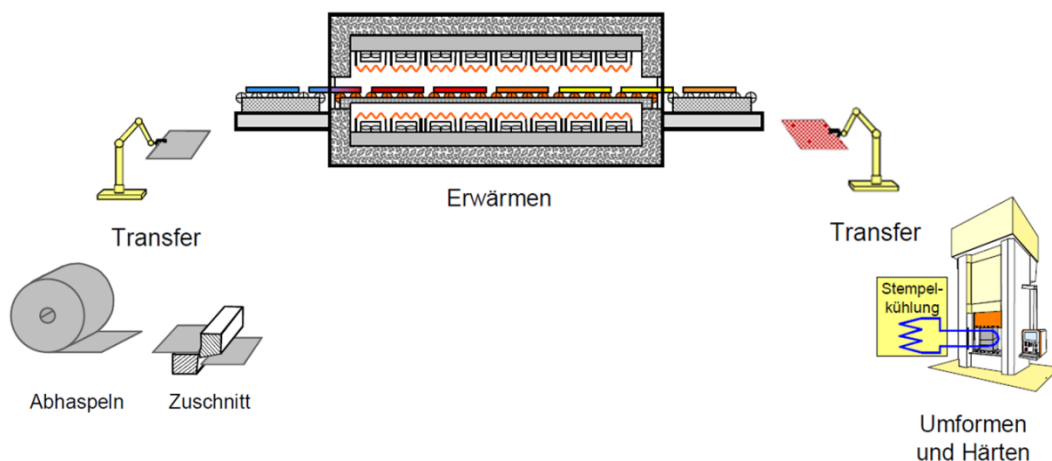
Tailored Blanks ist eine von ThyssenKrupp Stahl entwickelte Technologie mit Hilfe derer Halbzeuge für die Karosseriefertigung hergestellt werden. Bleche mit unterschiedlichen Werkstoffgüten und Blechstärken werden vor dem Tiefziehprozess durch Kleben, Schweißen oder Nieten zu einer Platine zusammengefügt und ermöglichen somit eine lokale Anpassung des Bauteils an die gegebene Belastung. Dadurch entfallen zusätzliche Bauteile, die sonst zur Verstärkung der kritischen Strukturen notwendig wären. Verschiedene Blechstärken resultieren aus mehrmaligem Walzen einzelner Blechbereiche. In Abb. 25 ist das Türinnenblech als eine Ausführungsvariante mit Tailored Blanks dargestellt. Vorder- sowie Hinterteil der Seitentür sind tragende Strukturen und werden daher stärker ausgeführt als das Innenblech in der Mitte, welches ohnehin zusätzlich mit einem Seitenaufprallträger verstärkt wird. Diese Bauweise ermöglicht lokal eine Anpassung der Wandstärken und bringt daher Gewichtsvorteile mit sich.



**Abb. 12** Türinnenblech aus lasergeschweißten Platinen [25]

### 2.3.6.2 Warmumformung-Presshärten

Im Kapitel 2.3.5.1 wurde der Vergütungsstahl 22MnB5 für den Einsatz tragender und crashrelevanter Bauteile in der Karosserie erwähnt. Dieser Werkstoff gehört zu der Gruppe der Mehrphasenstähle und ermöglicht in Kombination mit dem Warmumformprozess bzw. Presshärten hochfeste und komplexe Blechformen. Durch die erhöhte Festigkeit der Blechkomponenten können folglich diese mit dünneren Blechstärken dimensioniert werden und tragen somit wesentlich zur Gewichtsreduzierung von Stahlkarosserien bei. Anders als bei kaltverformten Blechen kommt es beim Presshärten zu keiner nennenswerten Rückfederung der verformten Bleche, wodurch eine Teilefertigung mit einer hohen Präzision möglich ist. Zum besseren Verständnis soll folgend in Abb. 13 der Prozessablauf des Presshärtens mit den wichtigsten Schritten dargestellt werden:



**Abb. 13** Herstellungsverfahren Presshärten [26]

Das Presshärten ist eine Kombination aus Umformen mit einer simultanen Wärmebehandlung. Im ersten Schritt werden die Platinen zugeschnitten und in einem Ofen konduktiv oder induktiv erwärmt [26]. Das bei Raumtemperatur vorhandene, ferritische Gefüge des Stahls wird durch Überschreiten der Härtetemperatur bei etwa 950°C und nach einer Haltezeit von etwa drei bis acht Minuten in Austenit umgewandelt. Anschließend wird die Platine aus dem Ofen genommen und zur Umformpresse transportiert. Auf dem Transportweg zwischen Ofen und Presse erfährt die Platine einen Temperaturverlust, welcher stark von der Blechdicke sowie von der Transportdauer in der freien Umgebungsluft abhängig ist (Verlustrate bei einer Blechdicke von 1,5mm sind rund 20°C/s – minimale Transportzeiten bei optimierter Anlage mit Roboterarm betragen etwa 3,5 Sekunden) [27]. Zu erwähnen ist, dass dieser Zwischentransport das gesamte Fertigungsverfahren sehr stark beeinflusst: In der Regel erfährt Stahl bei einer



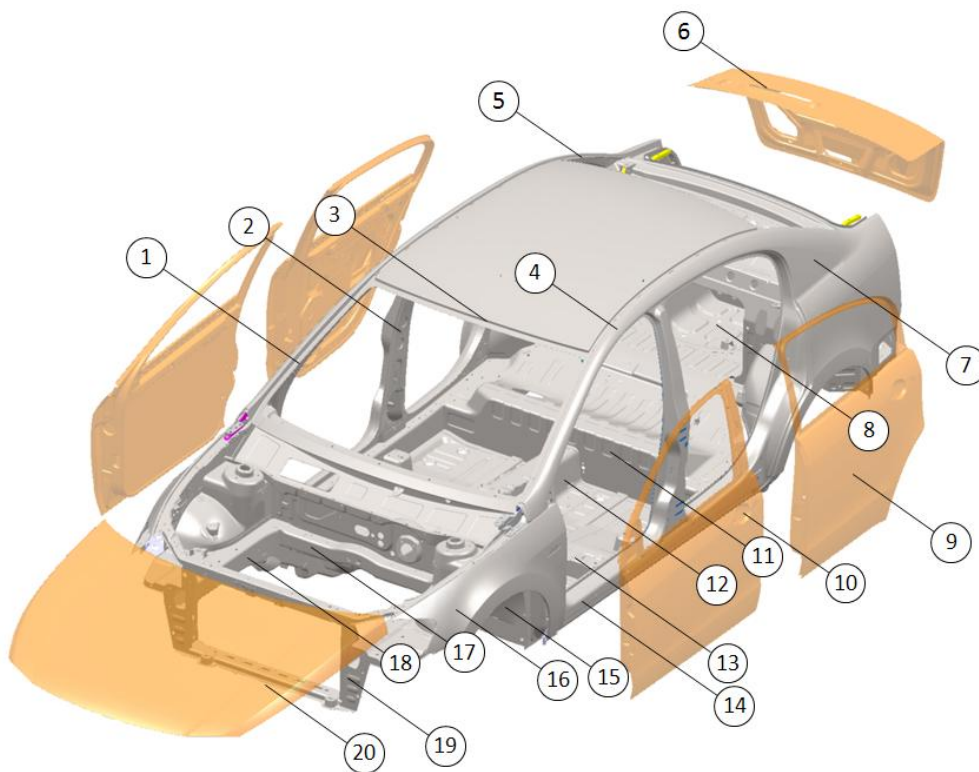
Härtetemperatur von 800°C eine Umwandlung von Ferrit ins Austenit. Aufgrund der längeren Transportzeit zwischen Ofen und Presswerkzeug kommt es zu einem Temperaturverlust von etwa 150°C, was eine deutliche Unterschreitung der Härtetemperatur zur Folge hätte. Daher werden die Blechplatinen auf die schon anfangs erwähnten 950°C erwärmt, um diesen Verlust kompensieren zu können. Zusätzlich muss beim Transport zwischen Ofen und Umformwerkzeug besondere Achtung auf die Verzunderung der Platinen gelegt werden. Werden diese ohne Beschichtung ausgeführt, so muss der Transport zwischen Ofen und Presswerkzeug in einer Schutzatmosphäre erfolgen. Die Entstehung von Zunder kann jedoch durch die deutlich kostengünstigere, feueraluminierte Al-Si-Beschichtung unterbunden werden [27].

Die beiden letzten Prozessschritte beim Presshärten sind das Umformen mit anschließendem Härten. Durch das Schließen des Werkzeuges kommt es zum Umformen des Blechstücks. Der wesentliche Vorteil der erwärmten Platinen ist die Reduktion der Fließspannung und folglich die Erhöhung des Formänderungsvermögens. Somit können in diesem Zustand sehr komplexe Geometrien in nur einem Arbeitsgang gepresst werden. Im geschlossenen Werkzeug wird nun das verformte Blechstück gehärtet. Das austenitische Gefüge soll nun durch Überschreiten der kritischen Abkühlgeschwindigkeit in Martensit umgewandelt werden. Ist dieser Vorgang abgeschlossen, besitzt das fertige Werkstück eine Temperatur von etwa 190°C. Die Dauer des Aushärtens beeinflusst sehr stark die Gesamtprozesszeit und ist von der Auslegung der Presswerkzeuge abhängig. Dabei muss beim Werkzeugdesign ein Kompromiss aus langer Lebensdauer und für die optimale Kühlung eine gute, thermische Leitfähigkeit des Werkzeugmaterials gefunden werden. Die in der Industrie eingesetzten Werkzeuge besitzen eine Abkühlrate von etwa 100°C/s [27] und verkürzen daher bedeutend die Taktzeiten des gesamten Fertigungsverfahrens.

Abschließend ist zu sagen, dass das Warmumformverfahren bzw. das Presshärten sich in Zukunft nicht nur auf Karosseriebauteile beschränken wird. Durch die hohe Festigkeit sowie Genauigkeit der Bauteile können viele Anwendungsbereiche aus dem Fahrzeugbau erschlossen werden. Ein wesentliches Ziel wird gerade in der Senkung von Fertigungskosten und der damit verbundenen Taktzeiten gesehen. Ein weiterer, sehr wichtiger Entwicklungspunkt ist das Presshärten von Halbzeugen. Speziell bei crashrelevanten Bauteilen werden unterschiedliche Anforderungen an die Bauteile gestellt. So soll zum Beispiel die B-Säule im unteren Bereich weich und energieabsorbierend sein, während der obere Bereich sehr steif sein soll. Der Einsatz von Tailored Blanks in Kombination mit Presshärten kann diese Anforderungen erfüllen und wird in Hinblick auf Serienbedingungen untersucht.

### 3 Hauptkomponenten der selbsttragenden Karosserie

Im folgenden Kaptitel werden allgemein die wichtigsten Komponenten einer selbsttragenden Fahrzeugstruktur aufgezeigt. Dabei erfolgt die Darstellung der Hauptbaugruppen in Kombination mit der tatsächlichen Reihenfolge bei der Montage. Unabhängig vom Hersteller variiert diese nur marginal und hat sich in der Karosserieproduktion über die letzten Jahrzehnte am besten bewährt. Abb. 14 zeigt die wichtigsten Komponenten der einer typischen PKW Karosserie:



- |                        |                                 |                       |
|------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 1. A-Säule             | 8. Heckboden und Ersatzmulde    | 15. Radeinbau         |
| 2. B-Säule             | 9. Seitentür hinten             | 16. Seitenwand vorne  |
| 3. Dachrahmen vorne    | 10. Seitentür vorne             | 17. Motorquerträger   |
| 4. Dachrahmen seitlich | 11. Querträger unter Fondsitze  | 18. Längsträger vorne |
| 5. Dachrahmen hinten   | 12. Tunnel                      | 19. Kühlerträger      |
| 6. Heckklappe          | 13. Querträger unter Fahrersitz | 20. Motorhaube        |
| 7. C-Säule             | 14. Seitenschweller             |                       |

**Abb. 14** Hauptkomponenten einer PKW-Karosserie

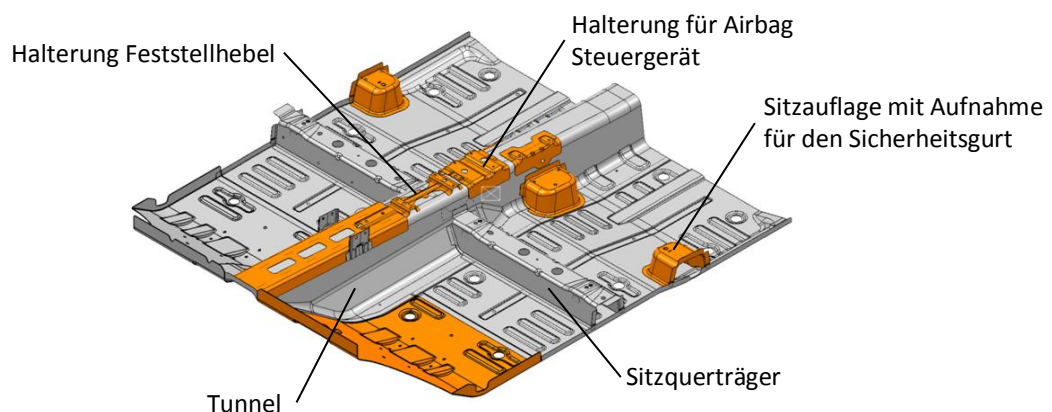
Die selbsttragende Karosserie besteht aus einer Vielzahl von umgeformten Blechen und wird in der heutigen Serienfertigung neben einem kleinen Anteil von Kleb- und Nietverbindungen überwiegend im Widerstandspunktschweißverfahren zusammengefügt. Je nach Fahrzeugtype ergeben sich im Durchschnitt ca. 5000 Schweißpunkte auf 120 bis 200 m Flanschlänge. Die überlappenden Flanscbreiten betragen 10 bis 18 mm. Sämtliche Klappen und Anbauteile, wie Türen, Motorhaube und Kotflügel werden an der Karosserie verschraubt.

### 3.1 Produktionsreihenfolge Rohbau

Folgend wird die Produktionsreihenfolge in Anlehnung an [20] mit ihren Hauptgruppen beschrieben. Die dabei verwendeten Abbildungen wurden zur besseren Übersicht teilweise farblich dargestellt, um einzelne Bauteile hervorheben zu können.

#### 3.1.1 Unterboden Vorne

Die tragende Struktur des Unterbodens bildet den Tunnel und die beiden Sitzquerträger. Der Tunnel spielt bei der Frontalkollision eine zentrale Rolle und ist daher im vorderen Bereich mit einem maximalen Querschnitt versehen. Dieser wird schließlich nach den beiden Sitzquerträgern aus Platzgründen im Fond schmaler. Zusätzlich verhindert diese Konstruktionsweise durch die trapezförmige Form ein Durchbiegen des Bodens und verstärkt die Torsionssteifigkeit des Unterbodens. Auf der Tunneloberseite sind in der Nähe des Feststellhebels zusätzlich Halterungen für das Airbag Steuergerät angebracht. Die Sitzquerträger mit den dahinter liegenden Sitzauflagen wirken Steifigkeitserhöhend und garantieren eine feste Verbindung der Vordersitze. Die Sitzauflage nimmt in vielen Fällen zusätzlich das Schloss des Sicherheitsgurtes auf.



**Abb. 15** Beispiel für einen PKW-Unterboden

## 3.1.2 Unterboden hinten

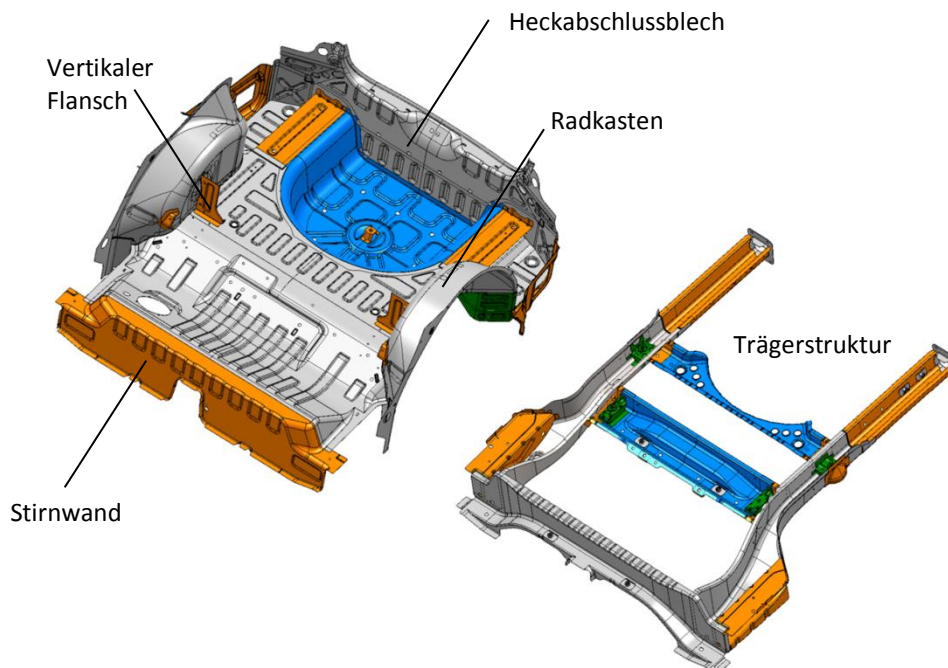


Abb. 16 Beispiel für einen Unterboden hinten

Der hintere Unterboden ist durch das Fahrwerk besonderen Belastungen ausgesetzt und wird daher auf der Unterseite mit einer trägerähnlichen Struktur verstärkt. Diese dient zur Aufnahme des Fahrwerks und wirkt bei einem Heckaufprall durch die definierte Knautschzone der beiden Träger energieabsorbierend. Der vordere Querträger des Rahmens sowie die Stirnwand des Unterbodens bilden eine Einheit und verhindern während des normalen Fahrbetriebes die Durchbiegung des Bodens im Bereich der Sitze. Über einen vertikalen Flansch des Unterbodens sind die Radkästen montiert und schaffen im Falle eines Heckaufpralls einen zusätzlichen Lastpfad. Das Heckabschlussblech dient als Träger von Dichtungen, Heckscheinwerfer sowie als Schlossaufnahme für den Heckdeckel. Zunehmend wird das Heckabschlussblech immer niedriger gestaltet, da diese Konstruktion eine niedrigere Beladungskante darstellt und somit dem Kunden die Beladung erleichtert. Der im hinteren Unterboden integrierte Stoßfänger muss ähnlich wie beim vorderen Stoßfänger bestimmten gesetzlichen Vorschriften entsprechen. So ist für eine günstige Versicherungseinstufung oft ein austauschbares Pralldämpfersystem vorgesehen.

## 3.1.3 Aufbau

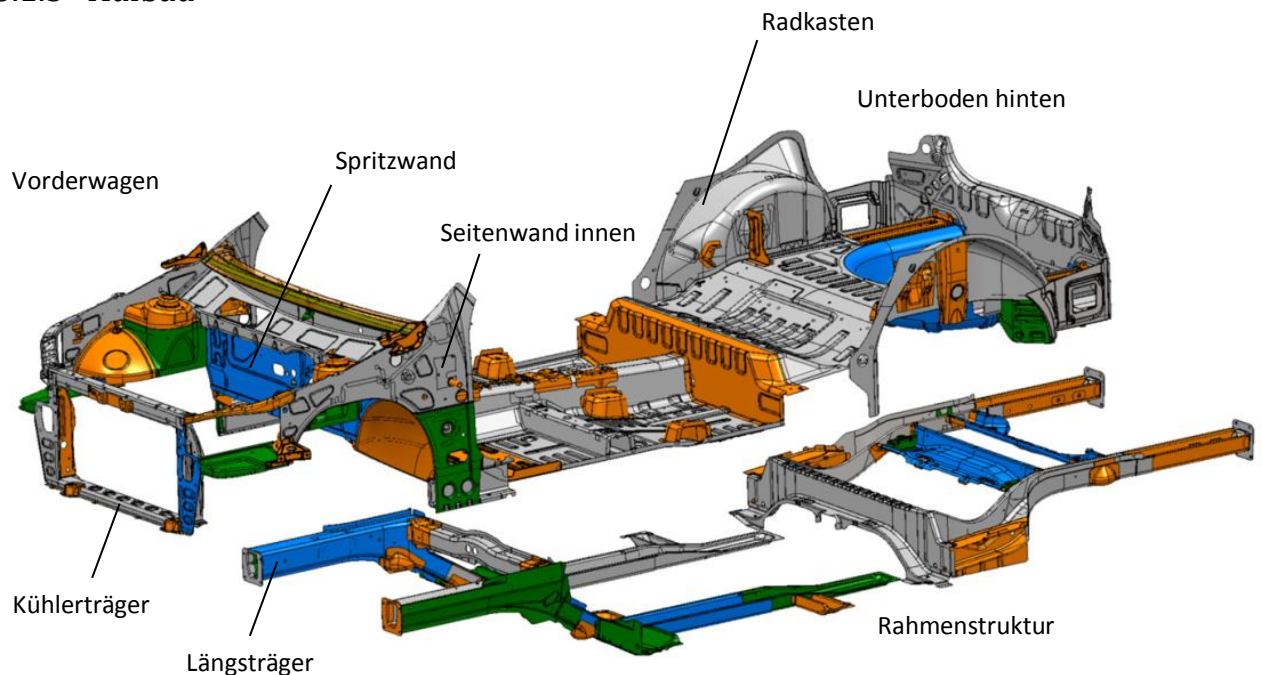


Abb. 17 Aufbau mit separierter Trägerstruktur

Nach der Montage von Unterboden vorne, Unterboden hinten inklusive hinterer Radkästen folgt der Zusammenbau des Vorderwagens. Die Darstellung des separierten Rahmens in Abb. 17 dient zur Veranschaulichung. Dieser ist bereits in dieser Phase des Rohbaus vollkommen im Aufbau integriert. Die innere Seitenwand ist mit dem mehrteiligen Radeinbau inklusive Federbeindom verbunden und soll so ausgeführt werden, dass im Falle eines Frontalaufpralls gezielt Kräfte in die A-Säule eingeleitet werden. Die Stirnwand und die Schließplatte trennen mit der Verlängerung des vorderen Unterbodens die Fahrgastzelle vom Motorraum und dienen unter anderem als Aggregatträger für zum Beispiel Bremskraftverstärker oder Batterie. In Hinblick auf Geräusch- und Schwingungskomfort kommt diesen beiden Bauteilen besondere Bedeutung zu – durch Verstreben soll eine Membranähnliche Konstruktion vermieden werden, sodass ein Schwingen dieser planen Flächen unterbunden wird. In Zukunft soll zusätzlich durch den Einsatz von Körperschalldämpfenden Verbundwerkstoffen ein besserer Geräuschkomfort erzielt werden können.

Abschließend ist zur Abb. 17 eine Bemerkung anzuhängen. Die in Kapitel 2.3 strikte Unterteilung der Karosseriebauformen zwischen selbsttragender und getrennter Bauweise findet im modernen Automobilbau sehr wohl Anwendung, relativiert sich jedoch anhand dieser Abbildung. Die zu Trägern umgeformten und verschweißten Profile bilden einen Rahmen, welcher vollständig und unlösbar in der gesamten Karosserie

integriert ist. Im Falle eines Frontalcrash wird neben den definierten Kraftpfaden des Vorderwagens zusätzlich über die vorderen Längsträger ein beträchtlicher Anteil der Aufprallenergie durch den gesamten Rahmen bis in die hintere Fahrzeugstruktur weitergeleitet.

### 3.1.4 Seitenwand

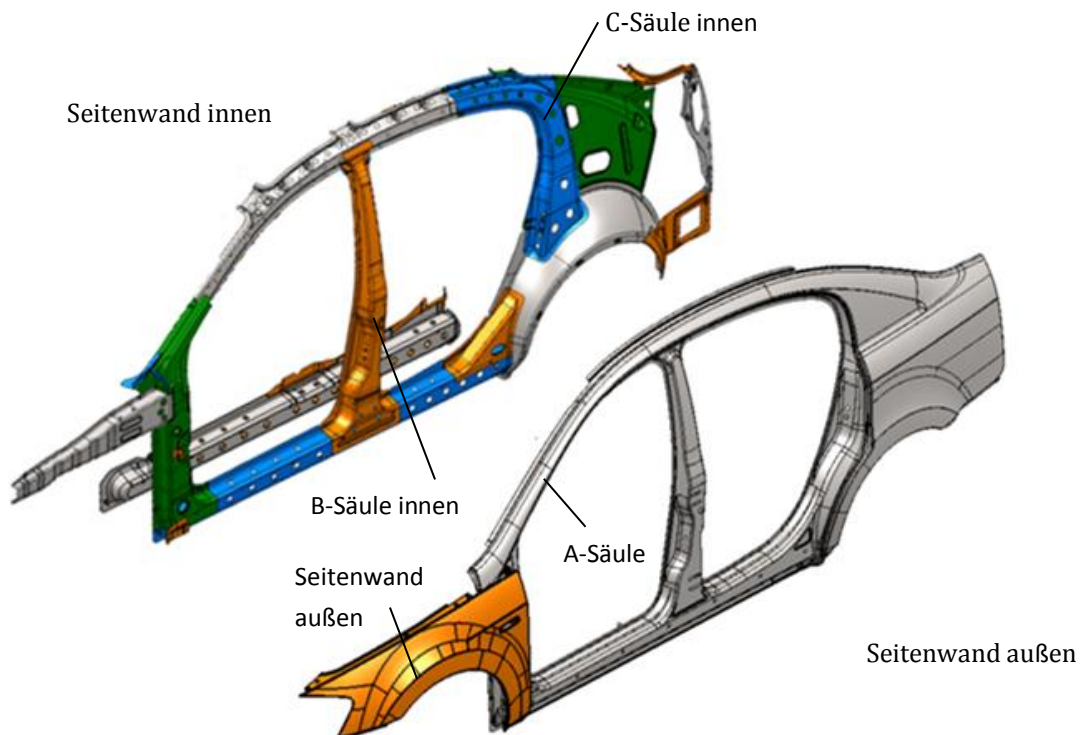
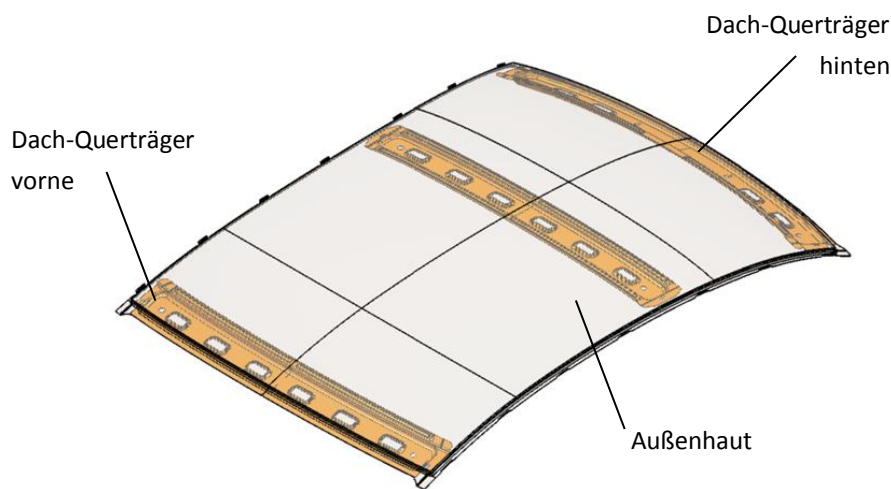


Abb. 18 Beispiel einer PKW-Seitenwand

Die Seitenwand ist mehrschalig aufgebaut und besteht aus der Außenhaut, die aufgrund ihrer Form oft *Brille* genannt wird. Die innere Seitenwand wird durch Kombination von unterschiedlichen Bauteilen mit verschiedenen Werkstoffen und Wanddicken jeweils der lokalen Belastung angepasst. So ist zum Beispiel die B-Säule mit Hilfe der Tailored Blanks Technologie an die Steifigkeitsanforderungen optimiert. Im Falle eines Seitencrash soll im Knotenpunkt zwischen Seitenlängsträger und B-Säule gezielt Aufprallenergie abgebaut werden, während im oberen Bereich der B-Säule aus Gewichtsgründen dünnere und vor allem kostengünstigere Bleche eingesetzt werden. Die Gestaltung der A-Säule und des vorderen Dachquerträgers erfordert in Hinblick auf Fußgängerschutz in Zukunft besondere Beachtung: Bei Fahrzeugen mit kürzeren Motorhauben liegt die Kopfaufprallzone im Bereich der Frontscheibe, der A-Säule sowie des vorderen Dachquerträgers. Während die Frontscheibe beim Aufprall des Kopfes dämpfend wirkt, kommt es bei den steifen Fahrzeugstrukturen zu einer vergleichsweise geringen

Energieabsorption. Eine weiche und nachgiebige A-Säule steht aber im Zielkonflikt mit dem Insassenschutz, da diese bei Überschlägen und Frontalkollisionen einen wesentlichen Teil zum Insassenschutz beiträgt. Eine mögliche Lösung bietet die schwedische Firma *Autoliv*, welche die Säulenstruktur beibehält und durch ein Airbagsystem (PPA – Pedestrian Protection Airbag) den Fußgänger vor einem Aufprall auf die harten Fahrzeugstrukturen im Frontscheibenbereich schützt [28]. Als weiteres Beispiel ist an dieser Stelle der Renault Espace zu nennen. Dieser bietet durch die Überlappung der A-Säule mit der Frontscheibe und zusätzliche, dämpfende Pufferstücke eine deutlich weichere Struktur für Fußgänger bei gleichbleibender Steifigkeit der A-Säule [29].

### 3.1.5 Dachstruktur



**Abb. 19** Konventionelle Dachstruktur eines PKW

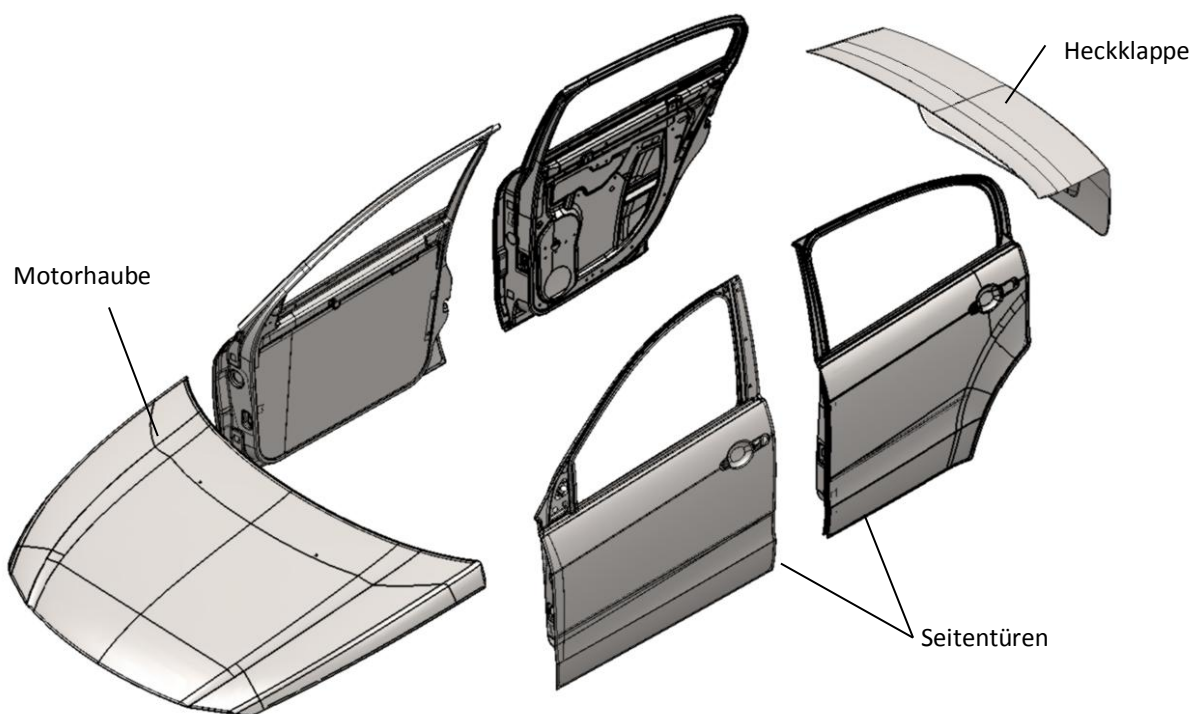
Das letzte Bauteil im Produktionsprozess des Rohbaus ist das Dachmodul. Durch die Querträger erhält das Dach die notwendige Verwindungssteifigkeit. Der vordere und hintere Dachquerträger dient gleichzeitig als Aufnahme für die Front- und Heckscheibe. Die Dachstruktur erfährt in der Mode des Automobils einen zunehmenden Wandel. Die Integration von Solarzellen oder von Panoramadächern verändert nur marginal die Grundstruktur des Daches, jedoch wird anstelle von dünnem und leichtem Blech erheblich mehr Gewicht durch Verglasungen in das Fahrzeug eingebaut. Aufgrund der Hebelwirkung spielt das Gewicht des Daches für die Fahrdynamik eine große Rolle und wird daher oft mit leichten Materialien wie z.B. Faserverbundwerkstoff (BMW M3 E92) oder Kunststoff (SMART forfour) ausgeführt.

### 3.1.6 Anbauteile

Als Anbauteile bezeichnet man alle an der Karosserie montierten Teile, die nicht verschweißt sind. Dies sind somit Klappen wie Türen, Motorhaube, Heckklappe aber auch Stoßfänger, Spoiler und Zierleisten. In der Produktionsreihenfolge laufen sämtliche Klappen, die bei der Montage des Fahrzeuges hinderlich sein können, parallel zum montierenden Fahrzeug und werden als Letztes an diesem befestigt. Anschließend werden mit Hilfe von Puffern die Spaltmaße eingestellt. Um die Zahl der montierenden Anbauteile zu reduzieren, wird vermehrt auf eine Modularisierung gesetzt: Die Anbauteile werden als Kompletmodule an das Fließband geliefert und reduzieren damit die Durchlaufzeit eines Fahrzeuges in der Produktion.

### 3.2 Montageprinzipien

Unabhängig von der Montage des Rohbaus gibt es eine allgemeine Unterscheidung der Montageprinzipien und die daraus abgeleiteten Konstruktionsmethoden, auf die in diesem Zusammenhang in Anlehnung an [4] eingegangen wird: Modulbauweise, Differentialbauweise und Integralbauweise.



**Abb. 20** Anbauteile einer PKW Karosserie



### 3.2.1 Modulbauweise

Ein Modul ist ein Subsystem einer übergeordneten Systemarchitektur, dessen interne Beziehung sehr viel stärker ausgeprägt ist als die Beziehungen zu anderen Subsystemen. Auf der Ebene des Gesamtfahrzeugs führt eine Integration und optimale Verkettung der (Teil-) Funktionen zur Modulbauweise [4]. Man unterscheidet nach dieser Definition in funktionsbezogene, prozessbezogene und strukturbezogene Module: Z.B. Funktionsmodul – Klimamodul, Prozessmodul (z.B. bezogen auf die Montage) – Armaturenbrett, Strukturmodul – Unterboden vorne.

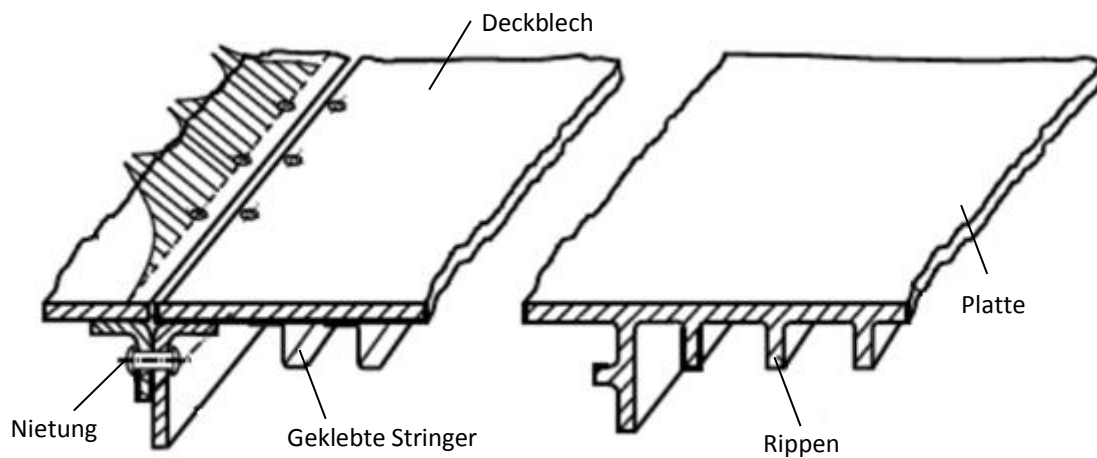
### 3.2.2 Differentialbauweise

Bei der Differentialbauweise werden die zu montierenden Komponenten und Halbzeuge in der richtigen Reihenfolge nacheinander montiert. Dabei kann die Wahl der Werkstoffe individuell angepasst werden – ein späteres Austauschen der Einzelkomponenten ist durch diese Bauweise gewährleistet, jedoch werden die Anzahl der zu fügenden Bauteile und das angehäuften Verbindungsgewicht durch Überlappung und Fügeelemente deutlich erhöht. Weiterhin weist die Differentialbauweise gute Fail-safe-Qualitäten (dynamisches Sicherheitsverhalten) auf, da die vorhandenen Löcher und Querschnittsübergänge als Rissfallen oder Rissbremsen wirken. Probleme können jedoch die Kerbwirkung und gegebenenfalls das Korrosionsverhalten aufwerfen [30]. Als Beispiel kann bei der Differentialbauweise die Seitentür gesehen werden. Mit all den Einzelbauteilen wie Fenster, Fensterrahmen, Türdichtungen, Innentürblech, usw. stellt es die typische Differentialbauweise dar.

### 3.2.3 Integralbauweise

Die Integralbauweise ist eine weitere Stufe der modularen Bauweise und führt alle Komponenten sowie deren Funktionen zu einem Bauteil zusammen – dies ist auch als Konzept der Einstückigkeit bekannt. Als besonderen Vorteil ist die Reduzierung der Bauteilzahl zu nennen, gefolgt von der daraus resultierenden Gewichtssenkung durch Entfall der Materialüberlappung sowie der Verbindungstechnik. Nachteilig ist der erhöhte Einsatz von gleichen Materialien, die hohe Werkzeug- und Werkstoffkosten verursachen (z.B. Armaturenbretthalterung aus Magnesium verursacht durch die einteilige Form große Gusswerkzeuge). Im Gegensatz zur Differentialbauweise ist eine partielle Reparatur nicht möglich. Weiterhin gibt es keine guten Fail-safe-Eigenschaften, da diese homogenen Strukturen relativ wenig Widerstand bei der Rissausbreitung leisten.

An dieser Stelle ist auch der Hinweis der Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge erwähnt: Demnach sollen im Jahr 2015 bis zu 95% des Fahrzeuggewichts recycelt werden [31]. Somit kann die integrale Konstruktionsmethode die Demontage eines Fahrzeugs erleichtern, hat aber im Umkehrschluss den Nachteil, dass bei nicht wiederverwendbaren Werkstoffen sehr schnell die Grenzen der Richtlinien überschritten werden. Als Beispiel für eine integrale Bauweise können im Fahrzeug jene Teile gesehen werden, die mehrfache Funktionen erfüllen: Durch das Einkleben der Frontscheibe hat man zum einen Schutz vor äußeren Witterungsverhältnissen und zum anderen wirkt dies steifigkeitserhöhend in Hinblick auf Torsion der gesamten Karosserie.



**Abb. 21** Differentialbauweise (links) vs. Integralbauweise (rechts) [30]

Abschließend soll Abb. 22 eine mögliche Reihenfolge in der Rohbaufertigung zeigen. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass aufgrund unterschiedlicher Werkstoffe und den damit verbundenen Fügeverfahren diese Prozesse immer mehr von der traditionellen Montage abweichen. So wird zum Beispiel die vordere Stoßstange inklusive Scheinwerfer, Kühlrippen etc. als Fertigmodul an das Band geliefert und nur mit wenigen Schrauben an der Karosseriestruktur befestigt. Durch den Einsatz von Kleben im Karosseriebau muss zusätzlich die Zeit zum Aushärten des Klebers berücksichtigt werden, um keine Verschiebungen der Fügepartner bei weiteren Montagevorgängen zu verursachen. Abschließend ist in Abb. 22 eine mögliche Fügefolge in der Rohbaufertigung dargestellt.

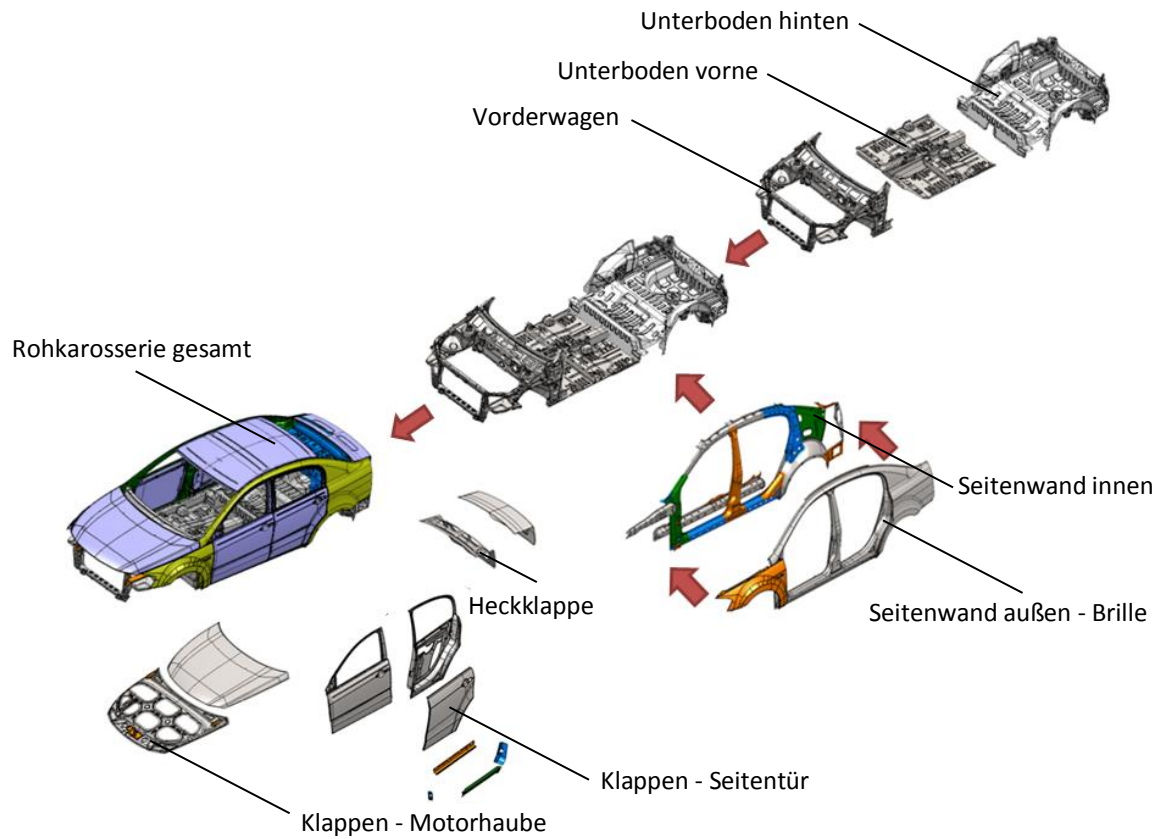


Abb. 22 Mögliche Fügefolge einer PKW-Karosserie

Zur Vervollständigung soll abschließend in Abb. 23 ein schematischer Aufbau einer Mehrschichtlackierung im Rohbau dargestellt werden.

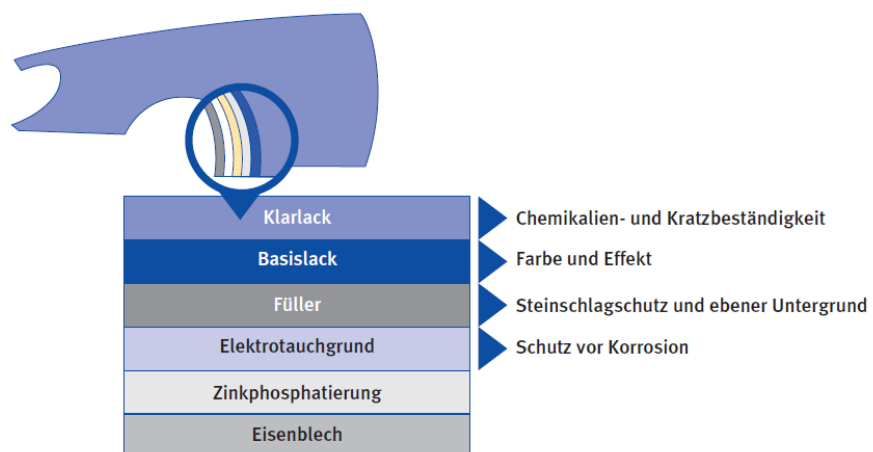


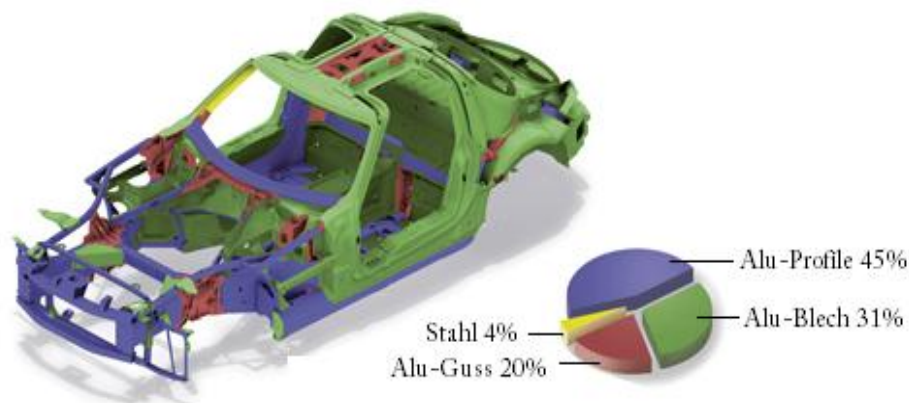
Abb. 23 Mehrschichtlackierung [32]

## 4 Evolution der Karosseriebauweise

Wie schon in Kapitel 2.1 erwähnt, waren die ersten Karosserien Pferdekutschen, die mit einer Motorisierung versehen waren. Im Laufe der zunehmenden Motorleistung und aus Gewichtsgründen modifizierte man allmählich diesen Aufbau. Durch verschiedene Einflüsse verschoben sich auch die Kundenansprüche. So kam es, dass die Karosserie zu einem Unterscheidungsmerkmal wurde, wobei die Technik auf die traditionelle, getrennte Bauweise (Vergleiche dazu Kapitel 2.3.1 *Getrennte Bauweise - Rahmenbauweise*) weiterhin aufbaute.

In der frühen Automobilfertigung war es üblich, dass das Fahrgestell mit dem Antriebsstrang von einem Hersteller zur Verfügung gestellt wurde und unterschiedliche Karosseriebauer individuelle Karosserien auf diese Plattform aufsetzten. Im Jahre 1922 entstand schließlich die erste, teilweise selbsttragende Karosserie. Diese Bauweise spielt bis zur heutigen Zeit eine dominierende Rolle in der Fahrzeugproduktion. Zusätzlich durch den gestiegenen Kostendruck entstanden moderne Plattformen, die vor allem durch Verwendung von gleichen, nicht Designprägenden Teilen erhebliche Kostenvorteile brachten.

Im Laufe der Zeit wurden zahlreiche Materialien auf ihren möglichen Einsatz getestet, übernommen und schlichtweg wieder verworfen. Parallel zu der systematischen Weiterentwicklung des Zusammenbaus gibt es in der Werkstoffentwicklung verstärkt das Bestreben, durch Kombination unterschiedlicher Materialien die Kosten und das Gewicht zu reduzieren. Im Allgemeinen wird jedoch nach wie vor überwiegend Stahl eingesetzt. Einige Ausnahmen davon bilden Aluminiumkarosserien in der Oberklasse, wie der Audi A8 oder der Jaguar XJ. Aber auch vereinzelt finden Vollaluminiumkarosserien im unteren Fahrzeugsegment Anwendung: Der in 1999 eingeführte Audi A2, welcher aufgrund mäßigen Erfolgs wieder eingestellt wurde. Vermehrt spielen auch Kunststoffe im Exterieur eine wichtige Rolle. So werden beim BMW E90 Coupé nicht nur die Stoßstangen, sondern auch die vordere Seitenwand in Kunststoff ausgeführt. Anhand dieser Beispiele kann man bereits erkennen, dass die traditionelle „Stahlkarosserie“ in den heutigen Anwendungsfällen aus vielen unterschiedlichen, für den jeweiligen Gebrauch individuellen Materialien besteht.



**Abb. 24** SLS AMG Karosserie als Beispiel Hybrid Bauweise [90]

Der Einsatz von unterschiedlichen Materialien wird auch als Multimaterial Design bezeichnet. Der tatsächliche Einsatz von Multimaterial Design bei neuen Fahrzeugmodellen ist stark abhängig von Stückzahlen und den damit verbundenen Herstellkosten.

Bedingt durch die niedrigen Stückzahlen und den daraus resultierenden, hohen Investitionskosten für Presswerkzeuge setzt die Karosserie des Mercedes Benz SLS AMG auf eine Kombination aus Aluminium-Gussbauteilen und –Profilen. Gussbauteile eignen sich hervorragend für die Übertragung von besonders hohen Kräften in der Peripherie zwischen Karosserie, Fahrwerk und Antriebsstrang. Zusätzlich bieten diese durch die mögliche Variabilität der Wandstärken eine ideale Anpassung der Steifigkeiten. Weniger beanspruchte, lokale Bauteile können im Umkehrschluss mit dünneren Wandstärken dimensioniert werden und schaffen bestmögliche Kraftflussverteilungen.

Durch den Einsatz von Aluminium Profilen werden die Werkzeugkosten konsequent reduziert und gleichzeitig auch die strengen Vorgaben zur Reduzierung der Gewichtsspirale erfüllt. Für sicherheitskritische Bauteile werden nach wie vor vereinzelt Stahlblechelemente verwendet. Der Einsatz von hochlegierten Stählen in der A-Säule trägt zur Festigkeitserhöhung dieses Bauteils bei. Dadurch wird die Richtlinie nach FMVSS 216 (Federal Motor Vehicle Safety Standard) [33] erfüllt, welche für die Zulassung des amerikanischen Marktes vorgeschrieben ist. Die FMVSS 216 beschreibt die maximal erlaubte Deformation der vorderen Dachstruktur und ist bei Unfällen mit Überschlägen ein wichtiges Kriterium für den Insassenschutz.

Auch wenn das Multi Material Design auf den ersten Blick viele Vorteile mit sich bringt, so darf man den erhöhten Entwicklungsaufwand hinsichtlich Verbindungstechnik, Korrosion, Recycling usw. nicht unterschätzen. Speziell in der Verbindungstechnik kommt es bei der

Paarung von unterschiedlichen Werkstoffen zu einer kontinuierlichen Zunahme mechanischer Verbindungen, während thermische Verbindungstechniken, die vor allem in der Produktion kostengünstiger sind, immer weiter in den Hintergrund treten. Hierfür wurde zum Teil eine noch junge Technologie der Firma *Fronius International GmbH* eingeführt: das CMT- Handschweißverfahren. Insgesamt werden für den Sportwagen 197 Blechteile, 146 Profile und 16 Gussteile mit 70 Meter CMT-Naht, 975 Stanznieten, 581 Fließblochschauben sowie 130 Meter Klebenahnt eingesetzt [34].

Die Evolution der Karosserieentwicklung und die daraus abgeleiteten, möglichen Trends sind in groben Schritten in der Abb. 25 dargestellt. Überwiegend ist der Trend zur Schalenbauweise für die Massenproduktion festzustellen. Bedingt durch das Fahrzeugsegment und deren Stückzahlen werden oft unterschiedliche Werkstoffe eingesetzt. In Zukunft kann man generell einen Trend in Richtung Multimaterial Design feststellen. Dabei wird die Kombination aus Tailored Blanks und warmumgeformten Blechteilen eine entscheidende Rolle spielen.

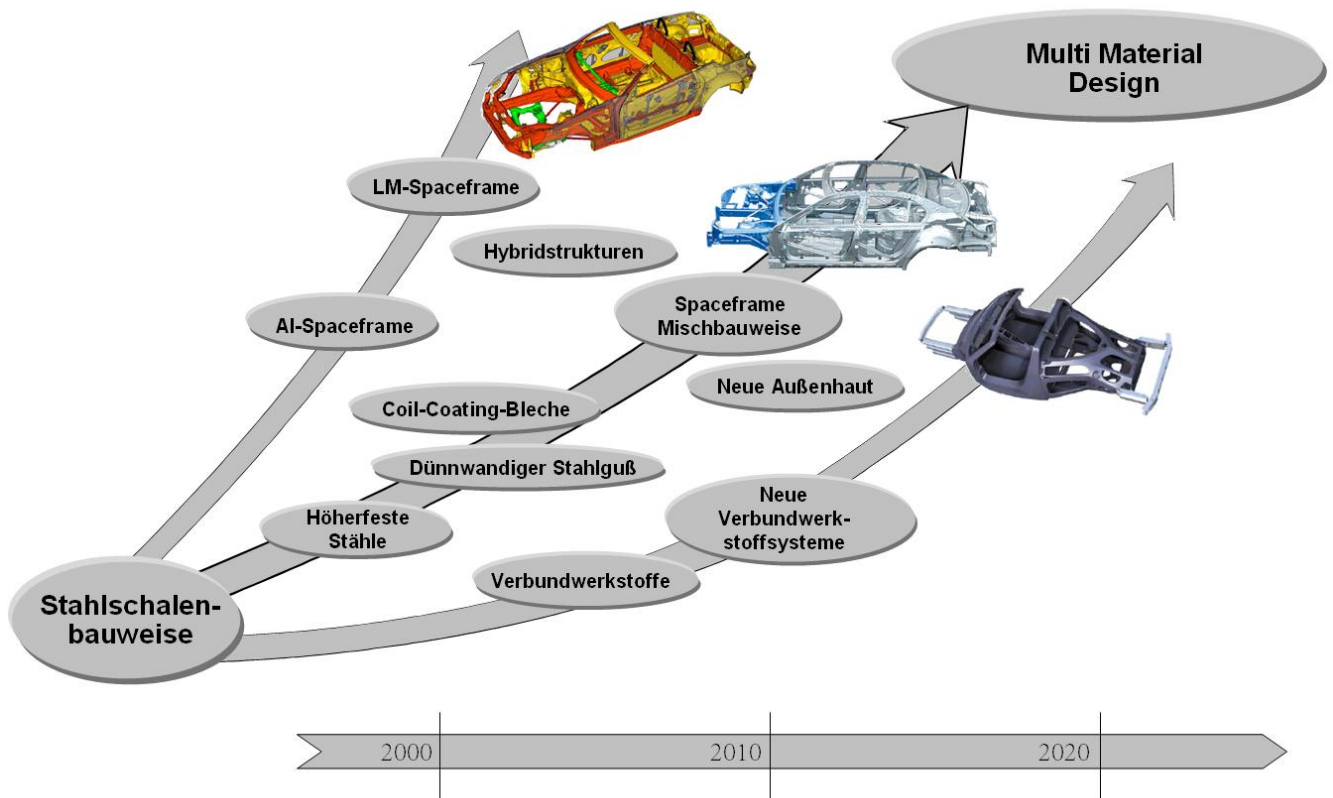


Abb. 25 Karosseriebauweisen und deren Trends in Anlehnung an [4]

### 4.1 Modularisierung im Rohbau

Aufgrund der Globalisierung und den daraus folgenden internationalen Märkten sind die Automobilhersteller mit einer immer höheren Produktvielfalt und -komplexität konfrontiert. Durch regionale Unterschiede und variierende Zulassungsvorschriften müssen für neue Absatzmärkte die Fahrzeugmodelle angepasst werden. In bestehenden Märkten, in denen es bereits zu einer Sättigung der Nachfrage gekommen ist, gilt es durch Individualisierung bzw. Differenzierung von Fahrzeugen entscheidende Marktanteile zu gewinnen. Selbst kleine Marktsegmente werden mit Nischenmodellen abgedeckt, um den anspruchsvolleren Kundenwünschen für ein „individuelles Fahrzeug“ begegnen zu können. Als Beispiel ist an dieser Stelle die Modelloffensive von Volkswagen angeführt (siehe dazu Abb. 26). Während in den 80er Jahren 6 unterschiedliche Modellvarianten angeboten wurden (bezogen auf PKWs), waren im Jahre 2009 19 Modelle im Angebot. Der Markt hat sich von einem Verkäufer- zu einem Käufermarkt gewandelt mit einem rückgängigen Absatz von Volumenmodellen und kleineren Produktionsmengen [35].

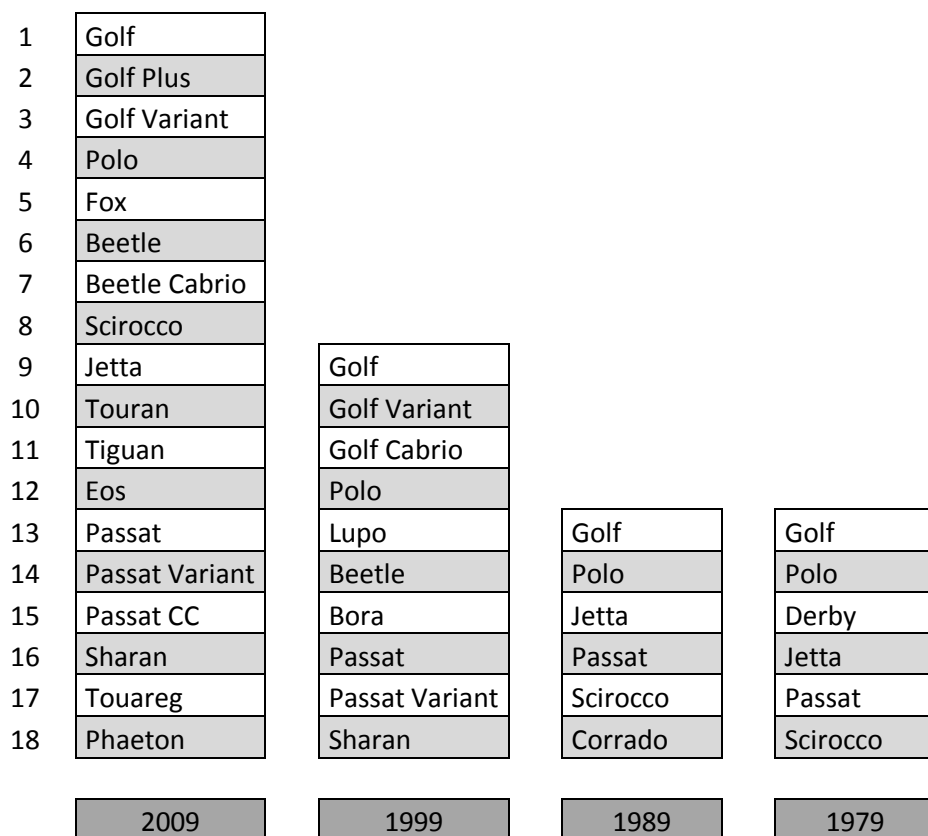


Abb. 26 PKW Modellpalette von Volkswagen in Anlehnung an [36]

Zusätzlich zur erhöhten Modellvielfalt hat sich in den vergangenen Jahren die Entwicklungszeit eines Fahrzeuges drastisch reduziert. Der durchschnittliche Lebenszyklus eines Fahrzeugmodells beträgt 7 bis 8 Jahre, wobei etwa nach 4 Jahren ein Facelift bzw. eine größere Modellpflege ansteht.

Die oben genannten Randbedingungen stellen große Herausforderungen an die Fahrzeugentwicklung. Gestiegene Variantenvielfalt resultiert in erhöhten Kosten entlang der Wertschöpfungskette - diesen kann man mit einer variantengerechten Produktentwicklung entgegenwirken. Dabei ist eine systematische Strukturierung des Fahrzeuges bzw. die Betrachtung verschiedener Systemebenen erforderlich. Daraus ergibt sich die Produktstruktur, welche nach DIN199 folgendermaßen definiert ist:

Die Produktstruktur ist ein produktdarstellendes Modell, das die Gesamtheit der nach bestimmten Gesichtspunkten (z.B. Fertigung, Montage, Funktion, Disposition, Kalkulation) festgelegten Beziehungen zwischen Baugruppen und Einzelteilen eines Produktes beschreibt [37].

Somit ist die Produktstrukturierung ein ideales Werkzeug für die Entwicklung von Gleichteilen, Plattformen, Modulen und Baureihen [36]. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Produktstrukturierung die Aufgabe hat, die Variabilität eines Produktes effektiv im Unternehmen umzusetzen, sodass eine typenübergreifende Synergie entsteht, ohne dabei das Alleinstellungsmerkmal eines Produktes zu gefährden. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Darstellung von Produktstrukturen idealerweise mit Hilfe von graphischen Darstellungsformen erfolgen soll. Gegenüber strukturierten Stücklisten lassen sich diese zwar elektronisch schlechter verarbeiten, jedoch werden damit hierarchische Beziehungen besser sichtbar. Mit Hilfe der Produktstruktur können Produktkonzepte erarbeitet werden, welche nachfolgend näher beschrieben werden.

### 4.1.1 Baureihen

Unter einer Baureihe versteht man technische Gebilde (Maschinen, Baugruppen oder Einzelteile), die dieselbe Funktion

mit der gleichen Lösung  
in mehreren Größenstufen  
bei möglichst gleicher Fertigung

in einem weiten Anwendungsbereich erfüllen [38].



### 4.1.2 Baukastenprodukt bzw. modulares Produkt

Unter einem Baukasten versteht man Maschinen, Baugruppen und Einzelteile, die als Bausteine mit oft unterschiedlichen Lösungen durch Kombination verschiedene Gesamtfunktionen erfüllen. Dieses Prinzip wird auch bei modularen Produkten verfolgt, die oft als Synonym zu Baukastensystemen verwendet werden [38]. In Abb. 27 sind mögliche Arten der Modularität aufgezeigt.

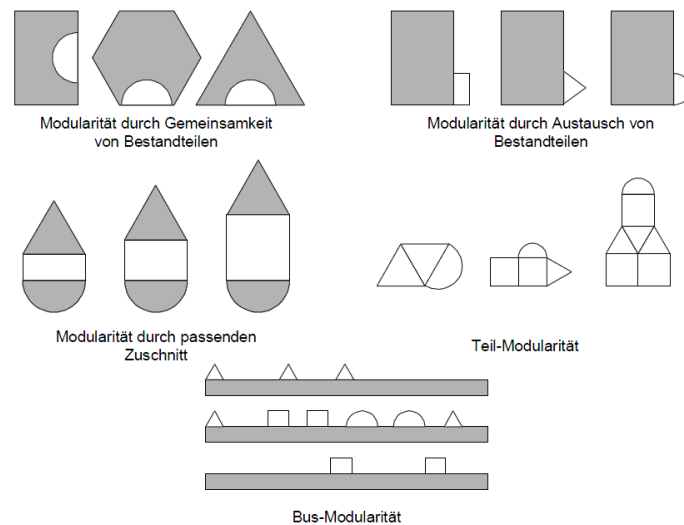


Abb. 27 Arten der Modularität [39]

### 4.1.3 Plattformkonzept

Das Plattformkonzept ist eine strategische Ausrichtung der Produktfamilie. Dabei wird versucht, längerfristig Gleichteile über mehrere Typen oder sogar Generationen eines Produktes einzusetzen, um somit die Entwicklungszeit zu kürzen sowie die Rentabilität einzelner Bauteile zu erhöhen. Gegenüber der Gleichteilstrategie ist der Horizont der Plattformstrategie nicht nur zeitlich ein größerer, vielmehr ergeben sich in der Entwicklung höhere Aufwendungen für die Ausrichtung der gesamten Produktfamilie.

Somit kann daraus geschlossen werden, dass die Verwendung von Gleichteilen, Plattformen und Modulen hohe Kosten in der Produktentwicklung verursacht. Diese können nur durch eine hohe Stückzahl bzw. durch die mehrfache Verwendung der Bauteile/Module kompensiert werden. Ein weiterer Nachteil ergibt sich durch die Überdimensionierung der Bauteile. Durch die mehrfache Verwendung muss ein wesentlich breiteres Spektrum an Lastkollektiven abgedeckt werden, was z.B. bei Fahrzeugen mit unterschiedlichen Motorisierungen in manchen Fällen zu einer

Überdimensionierung der Bauteile führt. Eines der sensibelsten Themen bei Produktfamilien ist die vom Kunden wahrgenommene Differenzierung. Im Angloamerikanischen Sprachraum hat sich speziell in der Automobilbranche für dieses fehlende Unterscheidungsmerkmale der Ausdruck *Badge Engineering* etabliert. Übersetzt bedeutet Badge Plakette oder Markenemblem und soll auf den negativen Umstand hinweisen, dass außer dem Anbringen unterschiedlicher Plaketten am Fahrzeug nichts verändert wurde.

Als jüngstes Beispiel für eine Plattformfamilie ist abschließend der Modulare Querbaukasten -kurz MQB- der Volkswagen AG zu erwähnen. Wie in Abb. 28 dargestellt, ermöglicht diese Plattform eine variable Fahrzeugarchitektur, bei denen Abmessungen wie Spurweite, Radstand, Radgröße sowie Sitzposition [40] an das Modell des Fahrzeuges angepasst werden können. Der Abstand der Pedalerie zur vorderen Radmitte ist konstant und ermöglicht in Kombination mit der einheitlichen Einbaulage der Diesel- und Benzinmotoren einen genormten Vorderwagen. Durch den abgestimmten Vorderwagen können Getriebevarianten erheblich reduziert werden, da unabhängig von Motorleistung und Verbrennungsart das Aggregat immer gleich eingebaut ist. Aus dieser Standardisierung verspricht sich VW Stückkosteneinsparungen in Höhe von etwa 20%. Fahrzeuge wie der Golf VII, Audi A3, die kommende Generation des Passats sowie fast alle Modelle von Seat und Skoda sollen auf diese Plattform aufbauen [41]. Abzuwarten ist, ob es bei der MQB Plattform tatsächlich zu einer Kosteneinsparung kommen wird. Die vorher genannten Synergien in der Produktion erfordern einen höheren Abstimmungsaufwand als bei der Entwicklung einzelner, unabhängiger Fahrzeugmodelle. Zusätzlich ergibt sich durch die starke Standardisierung der Bauteile weniger Flexibilität bei der Entwicklung von neuen Konzepten und ein erhöhtes Risiko bei der Markteinführung. Der millionenfache Einsatz von gleichen Komponenten kann bei einer fehlerhaften Konstruktion Fahrzeuge über mehrere Marken oder Fahrzeugmodelle treffen. Daher werden an das Qualitätsmanagement große Anforderungen gestellt, um eine sichere Einführung der Plattformstrategie gewährleisten zu können.



**Abb. 28** Modularer Querbaukasten von VW [40]

## 5 Fügetechnik im Karosseriebau

Durch den gestiegenen Einsatz von unterschiedlichen Werkstoffen in der Karosserieentwicklung stiegen zugleich die Anforderungen an die Verbindungstechnik. Speziell beim Einsatz unterschiedlicher Werkstoffe sind neue Fügetechnologien notwendig. Man unterscheidet allgemein zwischen thermischen, mechanischen und hybriden Verbindungstechniken. Besonders der Einsatz von Niet- und Klebeverbindungen hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Die Auswahlkriterien einer Fügetechnik hängen natürlich nicht nur vom Werkstoff der zu fügenden Teile ab, weitere Auswahlkriterien sind von dem Einsatzfall sowie von der Fertigung mit ihren Randbedingungen abhängig. Daher kann in Anlehnung an [42] im Anforderungsprofil der Fügetechnik zwischen zwei Hauptgruppen unterschieden werden.

Die erste Hauptgruppe fokussiert den Einsatz der Verbindung mit seinen Randbedingungen:

- Wirkende Kräfte
- Wirkende Schwingungen
- Häufigkeit der Demontage und Remontage
- Geforderte Zusatzeigenschaften wie Dichtigkeit, thermische Isolation usw.

Die zweite Hauptgruppe setzt den Fokus auf die Fertigung bzw. Montage der Verbindung:

- Zugänglichkeit der Verbindung
- Erforderliche Werkzeuge
- Fertigungsaufwand wie z.B. Vorfertigung der Löcher
- Durchlaufzeiten
- Notwendige Vorrichtungen wie z.B. Hilfsrahmen bei Klebeverbindungen

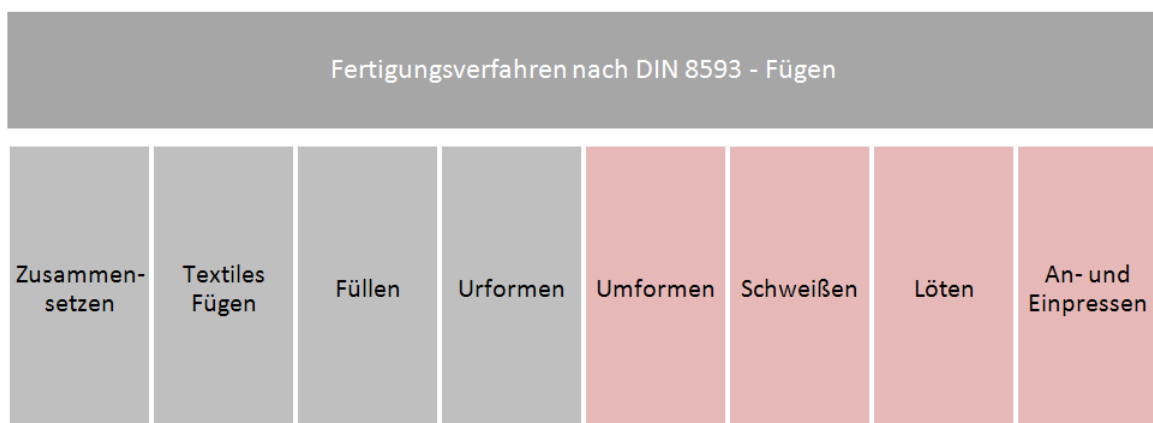
Bezogen auf die unterschiedlichen Werkstoffe ergeben sich noch weitere Randbedingungen bzw. Probleme, die auf jeden Fall die Wahl der Verbindung beeinflussen: So ist zum Beispiel das Vollstanznieten beim Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen nur bedingt geeignet. Für diese Verbindung müssen die Fasern getrennt werden. Dies hat zur Folge, dass der Kraftfluss unterbrochen wird und im Bereich der

Verbindung nur bedingt Kräfte aufgenommen werden können. Zusätzlich ergeben sich auch Probleme in der Korrosion zwischen Fasern und Nietverbindung.

Anhand dieses Beispiels kann man schnell erkennen, dass die Fügetechnik ein komplexes Thema ist. Folgend soll daher nur allgemein auf dieses Thema eingegangen werden, um die vorhandenen Methoden im Karosseriebau zu beleuchten. Es werden somit die wichtigsten Verfahren dargestellt mit dem Hinweis, dass aufgrund der hohen Dynamik immer mehr Mischformen zum Einsatz kommen, die in dieser Arbeit nicht behandelt werden können. Allgemein wird in der Fügetechnologie unterschieden zwischen:

- ❖ Lösbare Verbindung wie z.B. Schrauben
- ❖ Begrenzt lösbare Verbindungen wie z.B. Stifte
- ❖ Unlösbare Verbindungen wie z.B. Schweißen, Nieten

Unterteilt man die Verbindungstechnik nach den Fertigungsverfahren aus der DIN 8593, so ergeben sich neun Hauptgruppen, welche in Abb. 29 dargestellt sind. Die rot markierten Fügegruppen sind für den Karosseriebau von besonderer Bedeutung und werden daher näher behandelt. Zu erwähnen ist, dass verstärkt in den letzten Jahren mechanische Fügeverfahren immer mehr an Bedeutung gewonnen haben. Bedingt durch den hohen Materialmix, welcher nur mit Hilfe neuer Fügemethoden möglich ist, ergeben sich bei mechanischen Fügeverfahren zusätzlich erhebliche Kosten- und Gewichtsvorteile gegenüber traditionellen, thermischen Verbindungen. Die anfangs erwähnte hybride Verbindungstechnik verbindet die Vorteile zweier Verbindungstechniken und bietet speziell im Crash-Bereich der Fahrzeugstruktur ideale Lösungen: In Kombination mit Kleben und Clinchen hat man zum einen Kosten- und Gewichtsvorteile durch Clinchen, zum anderen nützt man die Vorteile des Klebers und erzielt damit höhere Steifigkeiten sowie Scherspannungen der Verbindung.



**Abb. 29** Fügegruppen in Anlehnung an DIN 8593

## 5.1 Umformen

Unter „Fügen durch Umformen“ finden sich größtenteils die nicht lösbaren Verbindungstypen [43]. Diese sind im Allgemeinen alle Verbindungselemente, die durch einen Umformprozess eine Verbindung zwischen zwei oder mehreren Bauteilen gewährleisten. So gehören zu den Vertretern dieser Verbindungsart Niete. Es gibt jedoch auch Mischformen zwischen lösbaren und unlösbaren Verbindungen, wie zum Beispiel Stanznietbolzen und Stanznietmutter. Diese können sowohl Schraub- als auch Nietverbindungen zugeordnet werden:

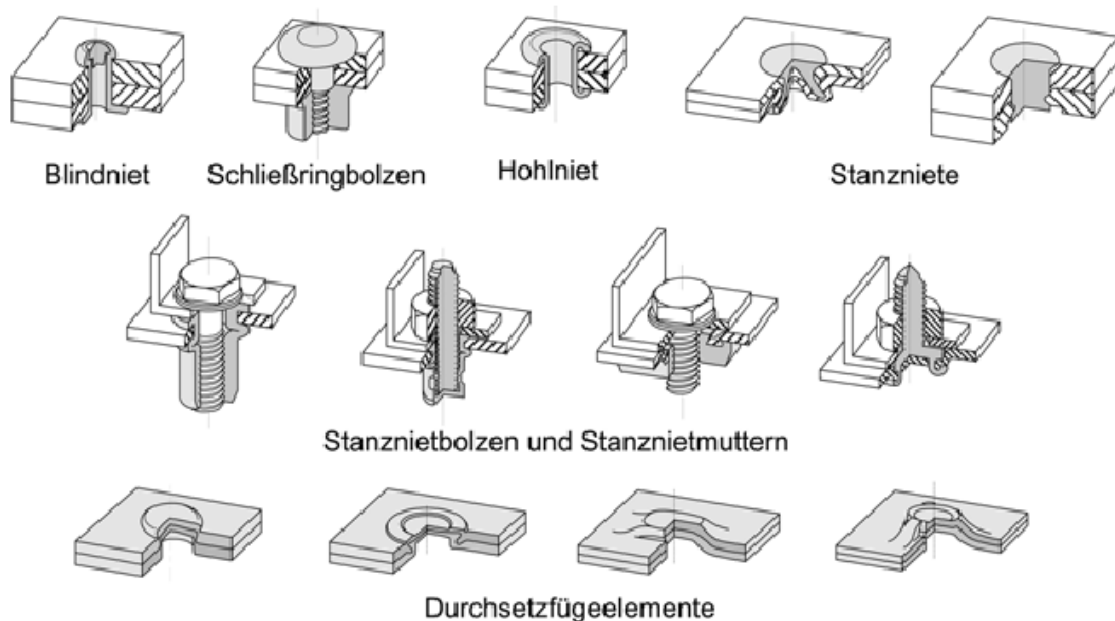


Abb. 30 Anwendungsbeispiele für Fügen durch Umformen [43]

## 5.2 Nietverbindungen

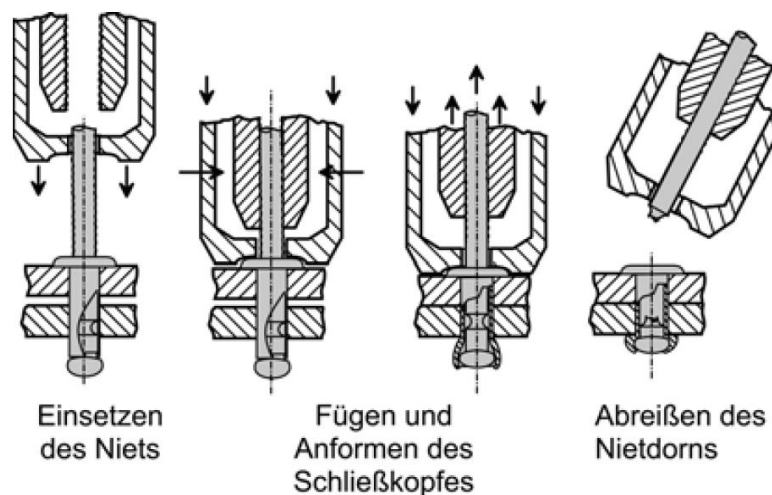
Das Nieten gehört zu den ältesten Fügeverfahren in der Metallverarbeitung. In den 50er Jahren wurde das Nieten durch kostengünstigeres Schutzgasschweißen oder durch das Widerstandspunktschweißen verdrängt [43]. Dank der weiterentwickelten Automatisierung von Nietprozessen gewann diese Technologie zunehmend wieder an Bedeutung. Die am häufigsten eingesetzten Fügeformen sind nach [43] Vollniet, Blindniet, Schließringbolzen und Stanzniet.

❖ Vollniete

Die Vollniete ist eine formschlüssige Verbindung und entsteht durch axiale Umformung des Nietschafts und die daraus resultierende Entstehung des Schließkopfes. Dabei wird das Nietloch vollständig ausgefüllt, als Nachteil kann bei der Montage die beidseitige Zugänglichkeit und die Vorbearbeitung des Loches gesehen werden. Zu beachten ist, dass im Karosseriebau überwiegend Nieten aus Aluminium eingesetzt werden. Aufgrund der Potenzialdifferenz zwischen Fügelement und zu fügenden Materialien sollen deshalb möglichst gleiche Legierungen verwendet werden.

❖ Blindniet

Es gibt unterschiedliche Ausführungsvarianten des Blindnietes: Sie können ein- oder mehrteilig ausgeführt sein und haben gegenüber dem Vollniet den großen Vorteil, dass bei der Montage die Zugänglichkeit nur von einer Seite gewährleistet sein muss. Beim Fügen dringt über einen Dorn der Schließkopf in die Niethülse ein und bestimmt somit die Formgebung. An einer Sollbruchstelle im Dorn erfolgt der Abriss des Dorns. In Abb. 31 ist der gesamte Fügevorgang eines Blindnietes nach [43] dargestellt:



**Abb. 31** Fügevorgang eines Blindnietes [43]

❖ Schließringbolzen

Diese Gruppe wird für hochbeanspruchte Verbindungen eingesetzt. Ähnlich wie beim Blindniet besteht der Schließringbolzen aus einem Schaft und einem Nietkopf, wobei hier zusätzlich ein Schließring auf der gegenüberliegenden Seite zum Einsatz kommt. Durch die passgenaue Nietbohrung handelt es sich bei diesem Fügeverfahren um eine kraft- und formschlüssige Verbindung. Nachteilig bei der Montage ist die beidseitige Zugänglichkeit der Nietverbindung, da der Schließring auf der gegenüberliegenden Seite auf den Dorn aufgesetzt werden muss. Der Arbeitsablauf eines Schließringbolzens der Firma Huckbolt® ist in Abb. 32 dargestellt.

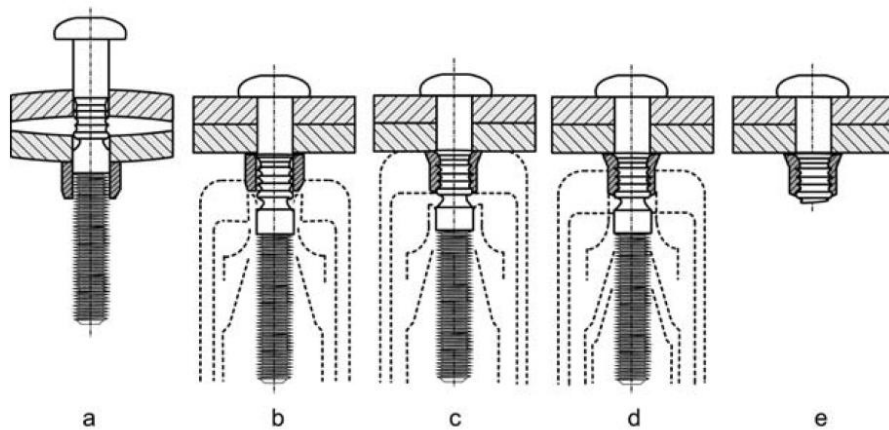


Abb. 32 Fügefolge eines Schließringbolzens [43]

❖ Stanzniet

Wesentlicher Vorteil des Stanznietes ist der Entfall der Vorlochoperation. Somit erfolgt Stanzen und Befestigen in einem Arbeitsvorgang. Die am häufigsten eingesetzten Arten sind Halbhohl Niet (in Abb. 30 dargestellt) und Vollniet. Halbhohl Nieten besitzen den Vorteil, eine Dichte Verbindung zwischen zwei Blechen realisieren zu können, da kein Durchstanzen des unteren Materials erfolgt. Dies ist besonders für hybride Verbindungen vorteilhaft, da z.B. bei einer Kombination aus Kleben und Stanznieten durch den dichten Flansch keine Klebmasse entweichen kann. So wird z.B. die Heckklappe des neuen Audi TT in Kombination mit Stanznieten und Klebstoffen zusammengefügt.

Ein wesentlicher Nachteil des Halbhohl Nieten gegenüber dem Vollniet ergibt sich in seinen Grenzen der möglichen Verformung: Beim Vollstanzniet kommt es zu keiner

Verformung wie beim Halbhohlriet, sondern es kommt zu einer Durchtrennung beider Bleche mit einer anschließenden Einformung der gefügten Bleche in den festen Niet. Somit stößt der Halbhohlriet bei höheren Blech-Zugfestigkeiten an seine Grenzen und kann bedingt durch festere Bleche durchdringen und seine bestimmte Form einnehmen. Zusätzlich können beim Vollstanzriet bis zu 4 Blechlagen (gegenüber drei beim Halbhohlstanznieten) gefügt werden [44].

Als Nietwerkstoff werden überwiegend Stahlnieten eingesetzt [43]. Speziell bei den Ganzaluminiumkarosserien kommen Stanznieten vermehrt zum Einsatz und ersetzen dabei das Widerstandspunktschweißen. Anders als in Abb. 31 wird beim Einsatz unterschiedlicher Blechdicken die Fügerichtung „dünn in dick“ empfohlen, da ein dünnes Blech auf der Unterseite ein höheres Risiko des Durchbrechens besitzt (in Anlehnung an [45]).

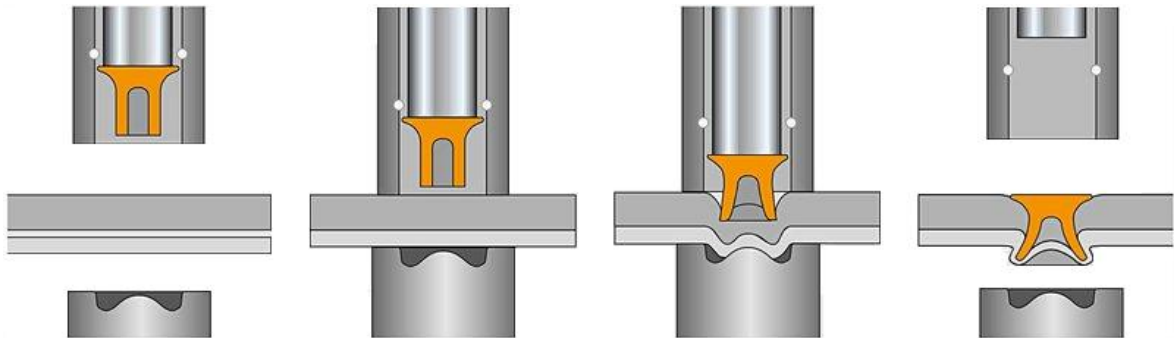


Abb. 33 Montagevorgang eines Stanznietes [46]

Abschließend sind folgend die wichtigsten Vorteile des Stanznietens nach [47] zusammengefasst:

- Verbinden von artverschiedenen und beschichteten Werkstoffen
- Verbinden von Blechen verschiedener Dicken und Festigkeiten
- kein Wärmeverzug
- hochfeste und optisch prüfbare Verbindung
- kein Vorbohren oder Vorstanzen von Löchern und
- kein Zentrieren über Nietlöcher
- schnelle automatisierte Verarbeitung möglich
- geringer Aufwand für Arbeitssicherheit
- keine Arbeitsplatz- und Umweltbelastungen



### 5.2.1 Durchsetzfügen

Durchsetzfügen ist ein Kaltumformungsverfahren und wird überwiegend bei dünnwandigen Blechen angewendet. Dabei werden übereinander liegende Bleche ohne Einsatz von Hilfsfügeteilen in eine Matrize durch einen Stempel gedrückt. Dank der Formgebung bzw. Ausformung von Stempel und Matrize kommt es innerhalb der Matrize zu einem Fließen des Werkstoffes in die Breite, sodass beide Bleche eine formschlüssige Verbindung bilden. Der Fertigungsverfahren kann ein- oder mehrstufig, mit und ohne Schneidanteil erfolgen [48]. Jedoch wird in der Massenfertigung überwiegend das einstufige Verfahren eingesetzt, weil das mehrstufige Durchsetzfügen mehr Einstellaufwand erfordert. Da es beim Durchsetzfügen keine einheitliche Norm und auch keine einheitliche Bezeichnung gibt, werden für die in der Industrie eingesetzten Fügeverfahren jeweils die Firmenbezeichnungen verwendet:

Durchsetzfügen	
Mit Schneidanteil	Ohne Schneidanteil
„CLINCH“ – System	„TOX“- System
„S-“ & „H-Druckfüge“-System	„O-Druckfüge“ –System
„LANCE-N-LOC“-System	„TOG-L-LOC“-System
„STITCH“-System	„RIVET“-System

Abb. 34 Marktgängige Systeme nach [48]

Allgemeine Voraussetzung für das Durchsetzfügen ist die plastische Verformbarkeit der Werkstoffe. In der industriellen Fertigung werden mit Hilfe dieses Verfahrens überwiegend unterschiedliche Materialien zusammengefügt: Stahl mit Aluminium oder allgemein Nichteisenmetalle. Als Nachteil ergibt sich beim Durchsetzfügen die erforderliche, beidseitige Zugänglichkeit der Fügestelle. Unterschiedliche Oberflächenbeschichtungen werden vor dem Fügeprozess nicht entfernt, in vielen Fällen kommt es durch die plastische Verformung zu partiellen Beschädigungen. Ein allgemeiner Verfahrensablauf eines einstufigen Durchsetzfügens ohne Schneidanteil ist in Abb. 35 dargestellt.

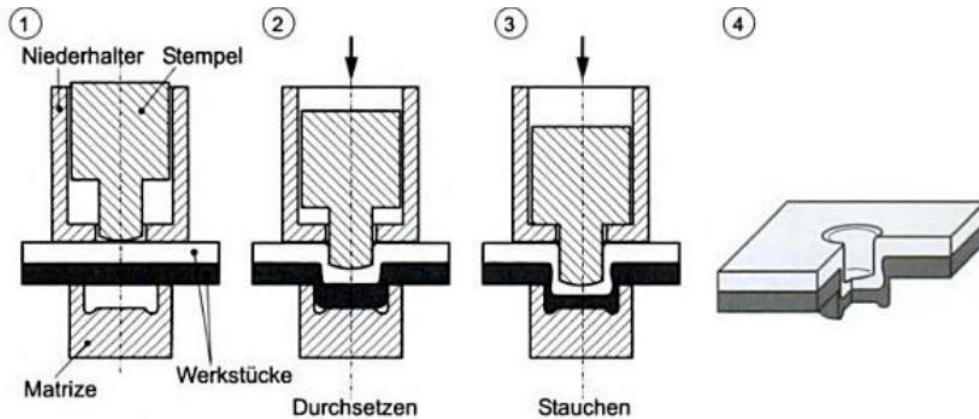


Abb. 35 Verfahrensablauf vom einstufigen Durchsetzfügen ohne Schneidanteil [47]

Abschließend sind folgend die wichtigsten Vorteile des Durchsetzfügens in Anlehnung an [49] zusammengefasst:

- Blechverbindung ohne Zusatzwerkstoff
- Gesamblechdicken von 0,3 mm bis 12 mm
- keine Verschmutzung und Nacharbeit
- lange Werkzeuglebensdauer
- ausgezeichnete Prozessüberwachbarkeit
- keine Oberflächenbeschädigung
- außer elektrischem Strom oder Druckluft keine weiteren Energieträger notwendig
- zerstörungsfreie Qualitätssicherung möglich
- kein Entstehen giftiger Gase oder Dämpfe

### 5.2.2 Ein- und Anpressen

Das Ein- und Anpressen ist eine Sammelbezeichnung für die Verfahren, bei denen beim Fügen die Fügeteile sowie etwaige Hilfsfügeteile im Wesentlichen nur elastisch verformt werden und ungewolltes Lösen durch Kraftschluss verhindert wird [50]. Unter Einpressen versteht man das Ineinanderschieben eines Innen- und Außenteils, wobei zwischen diesen ein Übermaß besteht. Ein Beispiel für diese Verbindungsart ist das Verstiften. Unter Anpressen werden jene Verbindungsverfahren eingesetzt, welche mit Hilfe von Schrauben, Klemmen, Klammern realisiert werden. Im Karosseriebau werden speziell im Aluminiumleichtbau Schraubenverbindung verstärkt eingesetzt und sollen daher mit diesem Fokus näher behandelt werden.

Speziell bei Aluminiumkarosserien werden Aluminiumschrauben, beschichtete oder rostfreie Stahlschrauben verwendet. Aufgrund der dünnen Blechstärken müssen bei diesen Verbindungen oft Hilfsmittel, wie Beilagscheiben oder Federmuttern verwendet werden. Im Karosserieleichtbau hat sich aus Kostengründen sowie aus Gründen kurzer Prozessdauer bei den Schraubenarten die Fließlochschaube (Flow-Drill-Schrauben - FDS) etabliert. Speziell bei Anbindungsteilen mit Alu-Strangpressprofilen und Aluminiumdruckgussteilen stellt die Fließlochschaube eine kostengünstige und vor allem bewährte Lösung dar. Der Montageprozess einer Fließlochschaube ist in Abb. 36 dargestellt: Durch eine hohe Drehzahl und zusätzliches Aufbringen einer Normalkraft wird das Grundmaterial erwärmt und anschließend von der Schraube durchdrungen (Fließlochformen). Es wird im Grundmaterial eine zylindrische Form gebildet, in der anschließend im Abschnitt 4 das Gewinde vorgeschnitten wird. Im fünften und sechsten Schritt erfolgt das Anziehen der Schraube. Laut einem Fließlochschaubenhersteller *Klingel GmbH* werden bei diesem Fügeverfahren Drehzahlen von bis zu 5000 Umdrehungen pro Minute bei einer Normalkraft von 1500 N erreicht [51].

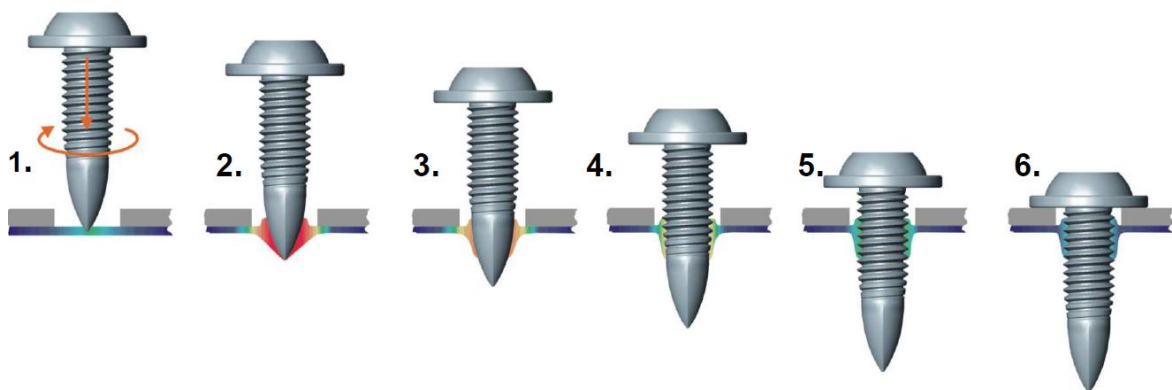


Abb. 36 Montageprozess einer Fließlochschaube [51]

### 5.3 Klebetechnik

Definition von Kleben nach DIN 8593-8:

Kleben ist das Fügen unter Verwendung eines Klebstoffs, d.h. eines nicht metallischen Werkstoffs, der Füge Teile durch Flächenhaftung und innere Festigkeit (Adhäsion und Kohäsion) verbinden kann.

### ❖ Kohäsion

Die Kohäsion definiert die Festigkeit des Klebstoffes und bestimmt somit den Zusammenhalt beider Klebepartner. Bei einer Klebeverbindung zweier metallischer Verbindungspartner stellt die Klebschicht den schwächsten Werkstoff dar und begrenzt die Verbindung. Somit bezieht sich eine Aussage über die Kohäsion nur auf die Werkstoffeigenschaften in der Klebschicht, welche wiederum von zahlreichen Faktoren abhängig ist: Temperatur, UV-Einstrahlung, Luftfeuchtigkeit (in Anlehnung an [52]). In der Kohäsionszone laut Abb. 37 liegt der Kleber in seinem Ausgangszustand vor.

### ❖ Adhäsion

Die Adhäsion beschreibt die Eigenschaften in der Grenzschicht zwischen Fügepart und Klebstoff. Es gibt unterschiedliche Mechanismen, die in der Grenzschicht für ein Haften des Klebstoffes sorgen:

Mechanische Adhäsion – mech. Verklammerung:

Bei sehr rauen Flächen des Fügeparts kann sich der Kleber „verkeilen“ und bildet teils eine formschlüssige Verbindung.

Adhäsion durch Diffusion:

Durch die poröse Struktur der Oberfläche kann der Kleber die Fügepartner durchdringen und bildet somit eine wurzelhafte Verankerung der Klebepartner.

Echte Bindung – chemische Bindung:

Das Klebemittel reagiert mit der Oberfläche des Fügeparts und stellt somit eine direkte Verbindung zwischen den Atomen und Molekülen dar.

Adsorptionskleben:

Zwischen den Flächen der zu fügenden Bauteile entsteht eine sehr stark anziehende Kraft, welche das Zusammenkleben gewährleistet. Voraussetzung dafür sind sehr glatte Oberflächen der Fügepartner.

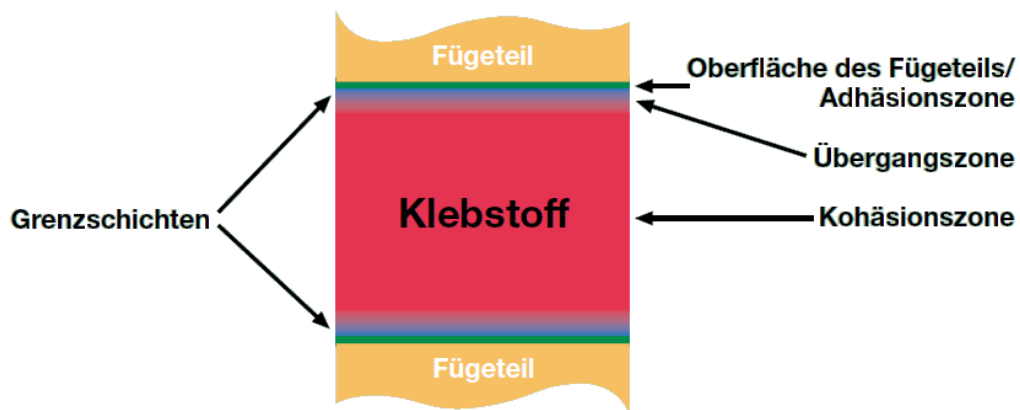


Abb. 37 Querschnitt einer Klebung [53]

Zusammenfassend beruht die Kohäsionskraft auf Bindungskräften zwischen zwei gleichen Phasen, die Adhäsionskraft beschreibt die Bindungskräfte zwischen zwei unterschiedlichen Phasen.

Im Allgemeinen wird Kleben im Rohbau überwiegend in Kombination mit einem zweiten Fügeverfahren eingesetzt. Diese Hybridfügetechnik vereint Vorteile einzelner Verfahren in Hinblick auf die fertigungstechnische Umsetzung des Klebeprozesses. Durch den Einsatz von Klebstoffen wird der Klebefilm das Hauptfügeverfahren, der Kombinationspartner wirkt in der Montage als Fixierhilfe und verstärkt zusätzlich diese Verbindung. Die zuvor in Kapitel 5.2 und 5.2.1 erwähnten Fügeverfahren eignen sich hervorragend als Kombinationspartner, da es bei diesen Verbindungen zu fast keinem Wärmeeintrag an der Fügestelle kommt. Prinzipiell ist zu sagen, dass die Qualität einer Klebeverbindung immer von der Vorbehandlung bzw. von der Beschaffenheit der Oberfläche vor dem Kleben abhängt. Des Weiteren lassen sich Werkstoffe mit einer hohen Oberflächenenergie sehr gut verkleben. D.h. die Oberflächenenergie ist ein Maßstab für den Zusammenhalt der chemischen Bindung. Ist diese leicht aufzubrechen, wird ein Verkleben solcher Werkstoffe schwierig. Aluminium und Stahl eignen sich daher sehr gut zum Verkleben. Eine Verbindung dieser beiden Stoffe durch Kleben hat auch zusätzlich den Vorteil, dass das Klebematerial isolierend wirkt und es deshalb zu keiner Korrosion zwischen Aluminium und Stahl kommt. Abschließend ist zu sagen, dass Voraussetzung für eine richtige Klebeverbindung immer eine gut vorbereitete Oberfläche ist. Als praktischen Test für die Beurteilung einer Klebefläche kann Wasser genommen werden: Verteilt sich das Wasser regelmäßig auf der Fläche, so ist auch eine gute Klebung möglich. Zu erwähnen ist auch, dass für das Fügeverfahren Kleben ein geschultes Personal notwendig

ist. Wie bei allen anderen Fügeverfahren ist Erfahrung und die Einhaltung von Vorschriften und Regeln sehr wichtig.

Folgend sollen die wichtigsten Vor- und Nachteile gegenübergestellt werden:

Vorteile	Nachteile
Verbindung unterschiedlicher Werkstoffe	Geringe Belastbarkeit
Für dünne Bauteile geeignet	„Kriechen“ von Klebstoff
Homogene Spannungsverteilung	Umweltbelastung im Montageprozess
Schwingungsdämpfend im Fügebereich	Niedrige Temperaturfestigkeit
Keine Wärmeeinbringung	Kein zerstörungsfreies Prüfverfahren
Isolierende und dichtende Verbindung	Oberflächenvorbehandlung
Hybride Fügetechnik möglich	Lange Aushärtzeiten

## 5.4 Schweißen

Schweißen ist das unlösbare Vereinigen von Grundstoffen oder das Beschichten eines Grundwerkstoffes (Auftragschweißen) unter Anwendung von Wärme oder von Druck oder von beidem, mit oder ohne Schweißzusätze [48]. Das schweißtechnische Dreieck spiegelt die drei wichtigsten Einflussgrößen bei diesem Fügeprozess wider: Werkstoff, Konstruktion und Fertigung. Sind diese drei Faktoren nicht aufeinander abgestimmt, so ist die Schweißbarkeit des Bauteils nicht gewährleistet (in Anlehnung an [54]). Durch den Schweißvorgang sollen idealerweise die gleichen Werkstoffeigenschaften in der Schweißnaht entstehen, wie jene der zusammengefügt Grundwerkstoffe. In Hinblick auf Dauerfestigkeit stellt die Schweißnaht jedoch nach wie vor eine Schwachstelle dar und liegt mit ihren Werten unter jenen des Grundwerkstoffes. Zu beachten ist ganz besonders die Änderung der Werkstoffeigenschaften beim Wärmeeintrag: Frühzeitige Alterung, Versprödung, Rissbildung und Verzug der Bauteile sind wesentliche Faktoren, welche die Verbindung und die Schweißarbeit wesentlich beeinflussen. In Hinblick auf die Anwendung der Schweißverfahren im Karosseriebau spielt der Bauteilverzug eine entscheidende Rolle: Durch die unterschiedliche Wärmeeinbringung kommt es zu einem Verzug der Karosserie. Daher spielt die Reihenfolge, in welcher die einzelnen Bauteile nacheinander aufgeschweißt werden, eine wichtige Rolle und ist maßgebend für die Toleranzen im Karosseriebau.

Zum Überblick sollen folgend die wichtigsten Schweißverfahren im Rohbau dargestellt werden:

### ❖ Widerstandsschweißen

Widerstandsschweißen ist eine Untergruppe von Pressschweißen und lässt sich nach der Schweißnahtart in mehrere Untergruppen aufteilen. Dabei ist das Punktschweißen (Spot Welding) in der Schalenbauweise eine der wichtigsten Fügeverfahren. Im Allgemeinen wird beim Widerstandsschweißen die zum Fügen erforderliche Wärme über den Widerstand des Stromflusses zwischen den Elektroden und dem dazwischen liegenden Werkstoff erzeugt. Dieses Verfahren zeichnet sich durch die geringe Stromspannung und eine hohe Stromdichte aus. Durch das Klemmen der beiden Bauteile mit den Schweißzangen wird ein Druck ausgeübt, die zu fügenden Bauteile werden durch die Entstehung einer schmelzflüssigen Zone miteinander verschweißt. In Abb. 38 ist auf der linken Seite das Prinzip des Widerstandspunktschweißverfahrens dargestellt. Über zwei Elektroden wird eine geringe Spannung mit einer hohen Stromdichte angelegt und erwärmt dadurch die Verbindungsstelle (Schweißlinse). Der mechanische Druck fügt die Teile zusammen.

### ❖ Buckelschweißen

Das Buckelschweißen ist sehr eng mit dem Widerstandspunktschweißen verwandt. Der Schweißstrom wird hier über großflächige oder Mehrfachelektroden zugeführt. Das Schweißverfahren unterscheidet sich überwiegend in der Formgebung der Fügestelle. Im Gegensatz zum Punktschweißen ist mindestens einer der beiden Fügepartner geometrisch so ausgestellt, dass der Kontakt auf einer Erhebung, dem sogenannten Buckel, entsteht.

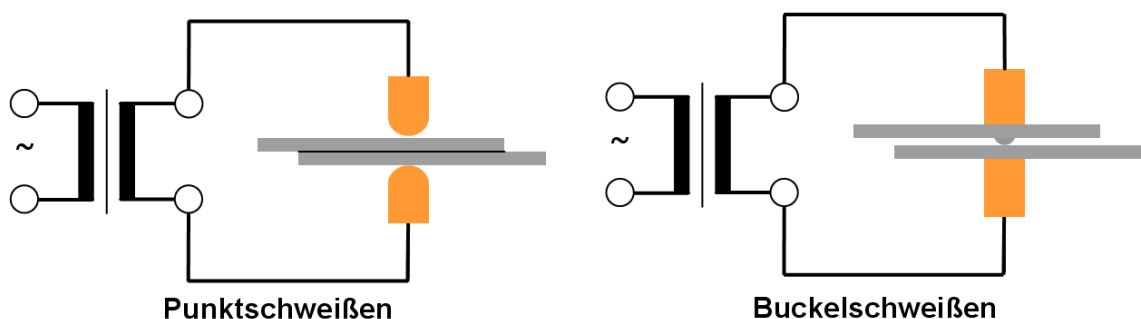


Abb. 38 Vergleich Punktschweißen und Buckelschweißen [55]

Beim Schweißen werden die Schweißbuckel zum Schmelzen gebracht und durch die mechanische Druckkraft zusammengedrückt. Nach dem Fügeprozess kühlt die Schweißlinse ab und hinterlässt einen Spalt zwischen den beiden Fügepartnern. Verglichen mit dem Punktschweißverfahren ergeben sich mit dieser Verbindungstechnik kürzere Schweißzeiten (wenige Millisekunden) bei gleichzeitig multiplen Schweißstellen. Nachteilig sind hingegen der erhöhte Energiebedarf infolge höherer Schweißströme, höhere Elektrodenkräfte und ein größerer Kühlbedarf der Elektroden gegenüber dem Punktschweißverfahren.

Im Vergleich zu herkömmlichen Schweißverfahren ergeben sich beim Widerstandspunktschweißen, also beim Punkt- und Buckelschweißen, folgende Vorteile:

- Kein Einsatz von Zusatzstoffen
- Geringere Wärmeeinbringung in Strukturelemente, somit weniger Verzug
- Keine Nachbearbeitung der Fügestellen notwendig
- Hoher Automatisierungsgrad
- Kürzere Prozesszeiten

### ❖ Reibschweißen

Das Reibschweißen gehört zu den Pressschweißverfahren und wird allgemein in Vibrationsschweißen und Rotationsschweißen unterteilt (in Anlehnung an [56]). Diese Unterteilung ergibt sich aus der Relativbewegung der zu fügenden Bauteile zueinander. Im Rohbau wird eine Abwandlung des Rotationsschweißens eingesetzt, wobei hier die rotatorische Bewegung nur vom Werkzeug ausgeführt wird. Durch den Wärmeeintrag des rotierenden Stiftes aufgrund der Reibung kommt es zur Plastifizierung des Werkstoffes beider Fügebauteile und zum anschließenden Verbinden dieser beim Abkühlen. Der wesentliche Vorteil vom Reibschweißen gegenüber anderen Schweißverfahren ist der relativ geringere Wärmeeintrag in den Grundwerkstoff, ein Überschreiten der Soliduslinie wird nie erreicht, was deshalb keine wesentliche Änderung der Werkstoffeigenschaften verursacht. Laut Herstellerangaben von der Firma *HARMS+WENDE* benötigt man beim Fügen von zwei Blechen mit einer Gesamttiefe von 1 mm etwa eine Sekunde [57].

Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens ist die hohe Prozesssicherheit und die hohe Qualität der Verbindung, da durch das plastische Fügen keine Spritzer entstehen und daher eine Nachbearbeitung nicht notwendig ist.



Ohne Zusatzelemente lassen sich ebene Überlappverbindungen erzielen, ein prinzipielles Mehrlagenschweißen ist möglich, verlängert jedoch bei steigenden Blechstärken die Prozesszeit. Die Festigkeit der Verbindung wird durch den Durchmesser des Stiftes und somit über den Durchmesser der Fügestelle definiert. In Hinblick auf Montagezugänglichkeit ist die Bauart des Reibpunktschweißens mit dem Widerstandspunktschweißens mit der C-Zange vergleichbar.

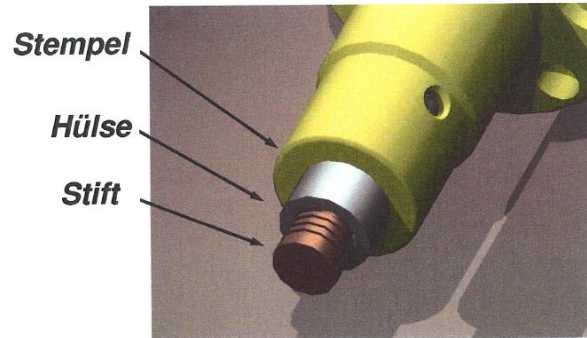


Abb. 39 Schweißwerkzeug der Firma HARMS+WENDE [57]

### ❖ Laserschweißen (Laser Welding)

Beim Laserschweißen erfolgt die Wärmezufuhr über eine optische Einrichtung. Dabei wird lokal die Schweißstelle über einen Laserstrahl auf Schmelztemperatur gebracht. Laserschweißen kann unter Schutzgas, Vakuum oder normaler Atmosphäre erfolgen. Ein großer Vorteil dieser Technologie ist die flexible Führung des Laserstrahls. Daher wird dieses Verfahren auch oft für Bauteile mit einer komplexen, dreidimensionalen Fügestelle eingesetzt. Aufgrund der punktförmigen Wärmeeinbringung kommt es beim Schweißvorgang zu keinem Verzug der Bauteile. Laserschweißanlagen verursachen in der Anschaffung sowie im Betrieb hohe Kosten und sind folglich erst bei hohen Stückzahlen sowie großen Bauteilen, bei denen durch die hohe Vorschubgeschwindigkeit der Vorteil des Laserschweißens zur Geltung kommt, wirtschaftlich.

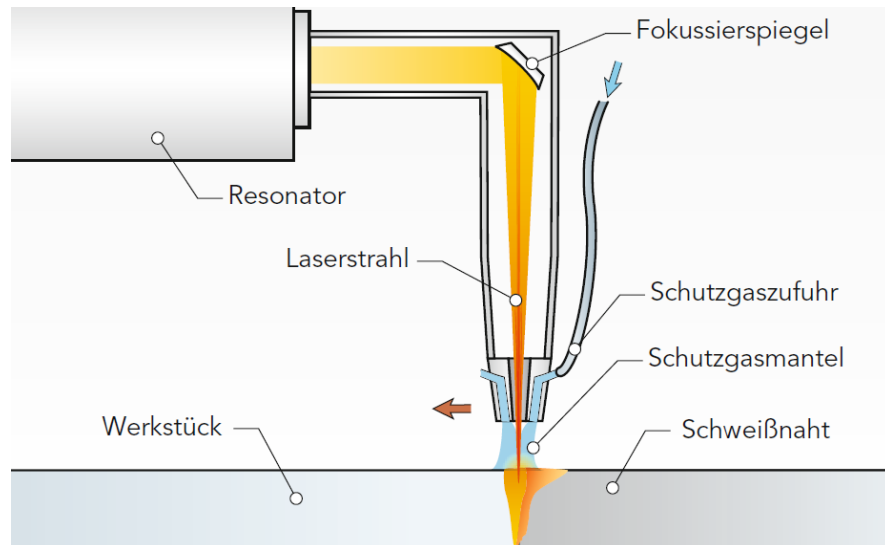


Abb. 40 Laserstrahlschweißen mit Schutzgas [56]

Abschließend soll die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Fügeverfahren miteinander in Anlehnung an [56] verglichen werden. Als Basis für die Verbindung werden als Fügepartner zwei dünne, metallische Bleche herangezogen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass diese wirtschaftliche Gegenüberstellung keine zusätzlichen Nebenfunktionen der Verbindung berücksichtigt. So ist zum Beispiel beim Fügeverfahren Kleben zusätzlich die Funktion der Dichtung und Isolierung oft ausschlaggebend für den Einsatz dieser Verbindungstechnik. Verglichen zu anderen Verbindungsarten müssten zusätzliche Maßnahmen für das Erfüllen dieser Kriterien getroffen werden.

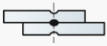





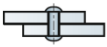






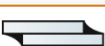


Kostenfaktor	Fügeart	Kostenfaktor	Fügeart
1,0	 Punktschweißen (unlegierter und nicht rostender Stahl)	3,7	 Gewindeschneiden
1,3	 Buckelschweißen (unlegierter und nicht rostender Stahl)	3,7	 Hartlöten in Schutzgasdurchlauf (unlegierter und nicht rostender Stahl)
1,7	 Kleben (2-Komponentenkleber)	3,9	 Setzmutter /
2,6	 Halbrundniet DIN 660	4,1	 Blechdurchzug DIN 7952 (unlegierter und nicht rostender Stahl)
2,9	 Punktschweißen (Aluminium)	4,3	 Schutzgaslichtbogenschweißen von Hand 1-seitig (Aluminium)
2,9	 Metall-Lichtbogenschweißen 1-seitig (unlegierter und nicht rostender Stahl)	4,4	 Schweißmutter DIN 929 (unlegierter und nicht rostender Stahl)
3,4	 Senkniet DIN 661 (Aluminium)	4,4	 Metall-Lichtbogenschweißen von Hand 2-seitig (unleg. und nicht rostender Stahl)
3,5	 Senkniet DIN 661 (unlegierter und nicht rostender Stahl)	6,9	 Hartlöten Flamme (unlegierter und nicht rostender Stahl)

Abb. 41 Kostenvergleich unterschiedlicher Fügeverfahren nach [56]

## 6 Produktentstehungsprozess der Karosserie

Der Produktentstehungsprozess ist ein Teil des Produktlebenszyklus [58]. Das ideale Ergebnis eines Produktentstehungsprozesses ist das materielle oder immaterielle Produkt samt allen dazugehörigen Informationen bzw. Dokumentationen wie zum Beispiel Produktbeschreibung, CAD Modelle und Prozessdokumentation. Die klassische Sichtweise einer Produktentstehung erfolgt dabei sequentiell und ist in mehreren Schritten aufgebaut, welche von der Generierung der Produktidee bis hin zur Produktion reichen. Zwischen den einzelnen Blöcken gibt es Iterationsschleifen - bei Nichterfüllen der Zielvorgaben werden diese notwendig und wirken sich nachteilig auf die Entwicklungszeit aus. Diese sequentielle Systematik wird auch als *Over The Wall*- Methode bezeichnet, da nach Beendigung eines Teilprozesses das Resultat bzw. die Entwicklungsstufe von der nachgelegenen Abteilung ohne optimierte Abstimmung übernommen wird. Der Informationsfluss geht nur in eine Richtung, die am Projekt involvierten Parteien optimieren ihren Bereich ohne Rücksicht auf nachgelegene Prozesse.



Abb. 42 Produktentstehungsprozess mit „traditionellem“ Projekttablauf [59]

Der in Abb. 42 dargestellte Produktentstehungszyklus bezieht sich dabei auf die VDI 2221 und wurde um die letzte Prozesskette Produktion verkürzt. Es gibt in der Wissenschaft und in der Industrie keine eindeutige Definition des Produktentstehungsprozesses beziehungsweise werden diese Prozessketten unterschiedlich abgegrenzt. Wie schon am Anfang dieses Kapitels erwähnt, ist der Produktentstehungsprozess ein Teil des Produktlebenszyklus. Dieser beginnt bei der ersten Ideensammlung über das Produkt und läuft bis hin zum Recycling. Zur Vollständigkeit wird in Abb. 43 ein Überblick über die einzelnen Prozessketten geben.

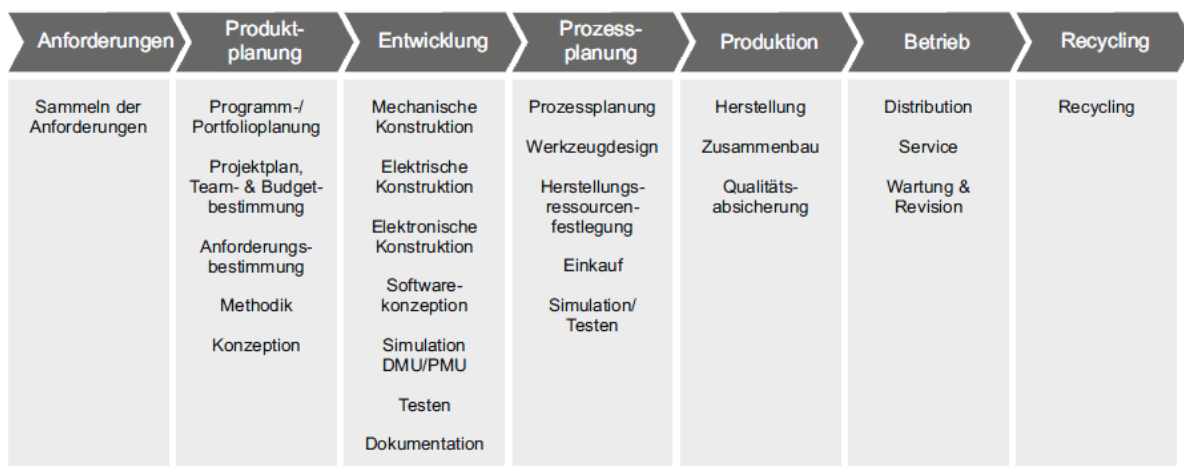


Abb. 43 Phasen des Produktentstehungszyklus nach [58]

Durchläuft ein Produkt alle einzelnen Phasen des Produktentstehungsprozesses virtuell, so entsteht parallel zur Prozesskette ein digitales Mastermodell. Das Mastermodell kann man als digitalen Prototypen sehen, der durch die Zusammenführung sämtlicher, relevanter Informationen ein globales CAD Modell mit zusätzlichen Informationen wie z.B. Werkstoff, Gewicht oder Lieferant darstellt. Mit fortlaufendem Projekt steigt auch der Detaillierungsgrad, durch Setzen von Meilensteinen sollen unterschiedliche Fahrzeugbereiche auf denselben Entwicklungsstand synchronisiert werden. Das Mastermodell ist in der heutigen Automobilbranche ein sehr häufig eingesetztes Werkzeug und unterstützt dabei die virtuelle Produktentwicklung.

Wie man anhand der Abb. 43 sehen kann, erfolgt die Entwicklung der Produktionsprozesse zu einem viel späteren Zeitpunkt als die Entwicklung des Produktes selbst. In diesem Fall spricht man auch von einer produktorientierten Entwicklung. Speziell für die Produktionsplanung wirkt sich der Fokus auf das Produkt sehr nachteilig aus, da auf Belange der Produktion wenig Rücksicht genommen wird. Durch modernere Entwicklungsmethoden wie z.B. Simultaneous Engineering wird versucht, den Fokus in der Entwicklung in Richtung Produktion zu legen. Somit werden gerade in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses verschiedene Konzepte auf ihre Produzierbarkeit überprüft.

Im Gegensatz zur „Over the Wall“-Methode verlaufen beim Simultaneous Engineering alle Entwicklungsschritte mit einer leichten, zeitlichen Versetzung, parallel. Durch diese Vorgehensweise kommt es zusätzlich zu einem besseren Abgleich zwischen den einzelnen Prozessketten.

Folgend ist durch die Gegenüberstellung von sequentieller Entwicklungsmethodik und Simultaneous Engineering (SE) in Abb. 45 der wesentliche Vorteil der verkürzten Entwicklungszeit, also die Zeitspanne von der ersten Idee bis hin zur Markteinführung (engl. „time-to-market“), dargestellt. Aufgrund der großen Verbreitung von Simultaneous Engineering soll dieses Thema in einem eigenen Kapitel behandelt werden.

Ergänzend sei in diesem Zusammenhang der Fachausdruck „Concurrent Engineering“ erwähnt. Der Unterschied zwischen SE und Concurrent Engineering (CE) wird vor allem darin gesehen, dass SE bewusst auf die Parallelisierung von Produkt- und Produktionsentwicklung abzielt, während CE im Schwerpunkt eine optimale Produkterstellung durch interdisziplinäre Zusammenarbeit im Team anstrebt [60]. Jedoch stehen im deutschsprachigen Raum diese beiden Ausdrücke für dieselbe Organisationsstrategie und werden in dieser Arbeit auch als solches behandelt.

### 6.1 Simultaneous Engineering

Simultaneous Engineering (SE) verfolgt das Ziel, die Produkt- und Prozessgestaltung unter Zeit-, Kosten- und Qualitätsaspekten zu optimieren. SE ist somit eine Organisationsstrategie, die durch die parallele und zeitgleiche Planung des entstehenden Produktes und der Produktionsmittel eine frühzeitige Festlegung der wesentlichen Produktionskomponenten ermöglicht (in Anlehnung an [61]).

Der Grund für die Entstehung von SE ist der zunehmend hohe Kostendruck in der globalen Marktwirtschaft. Eine kürzere Entwicklungszeit wird heute als ein entscheidender Wettbewerbsvorteil gesehen. Durch die immer komplexer werdenden Teilsysteme eines Fahrzeugs stieg die durchschnittliche Entwicklungszeit. Verstärkt durch die kürzer werdenden Lebenszyklen in der heutigen Automobilbranche läuft ein Unternehmen Gefahr, ihr Produkt verspätet am Markt einzuführen. Dieser gegenläufige Trend in der Fahrzeugentwicklung wird auch als „time trap“ bezeichnet. Mit sequentiellen Prozessketten konnte somit diesem Trend wenig entgegen gesteuert werden. Zusätzlich zur zeitlichen Trägheit bestand auch gleichzeitig das Problem der Kommunikation zwischen den Abteilungen. So kam es, dass bei der sequentiellen Vorgehensweise jede am Projekt beteiligte Partei immer stets das Optimum für ihren eigenen Teilbereich anstrebte. Dabei wurden die Ziele anderer Bereiche bzw. Abteilungen nicht berücksichtigt oder bedingt durch die Organisationsstrategie einfach nicht bekannt.

Ein weiterer Nachteil der sequentiellen Vorgehensweise gegenüber SE ist der Informationsfluss, der in Kombination mit dem engen Abteilungsdenken nur in eine Richtung verläuft. Somit werden entstehende Probleme, auf die wesentlich früher Rücksicht genommen werden könnte, gar nicht kommuniziert, da entgegen der Entwicklungsrichtung kein Feedback laufen kann. Je später diese Fehler auftreten, desto höher sind die Änderungskosten, da jede Iterationsschleife zu einem zeitlichen Verzug des Projektes und zu mehr Änderungsaufwand in der Entwicklung führt.

Eine Beziehung zwischen Projektfortschritt und den daraus entstehenden Kosten in Hinblick auf Änderungen sowie Opportunitätskosten ist in Abb. 44 vereinfacht dargestellt. Durch die Parallelisierung der einzelnen Prozesse kommt es gleichzeitig auch zu einer Vorverlagerung der nachstehenden Tätigkeiten. Dies wirkt sich besonders positiv auf die Beeinflussung der Kosten aus, da speziell in der frühen Phase bis zu 70% der Kosten eines Produktes definiert werden. Zusätzlich sinkt mit steigendem Projektfortschritt die Flexibilität für Änderungen, daraus resultiert ein immer größer werdender Aufwand für Änderungen und folglich wiederum ein Anstieg an Änderungskosten.

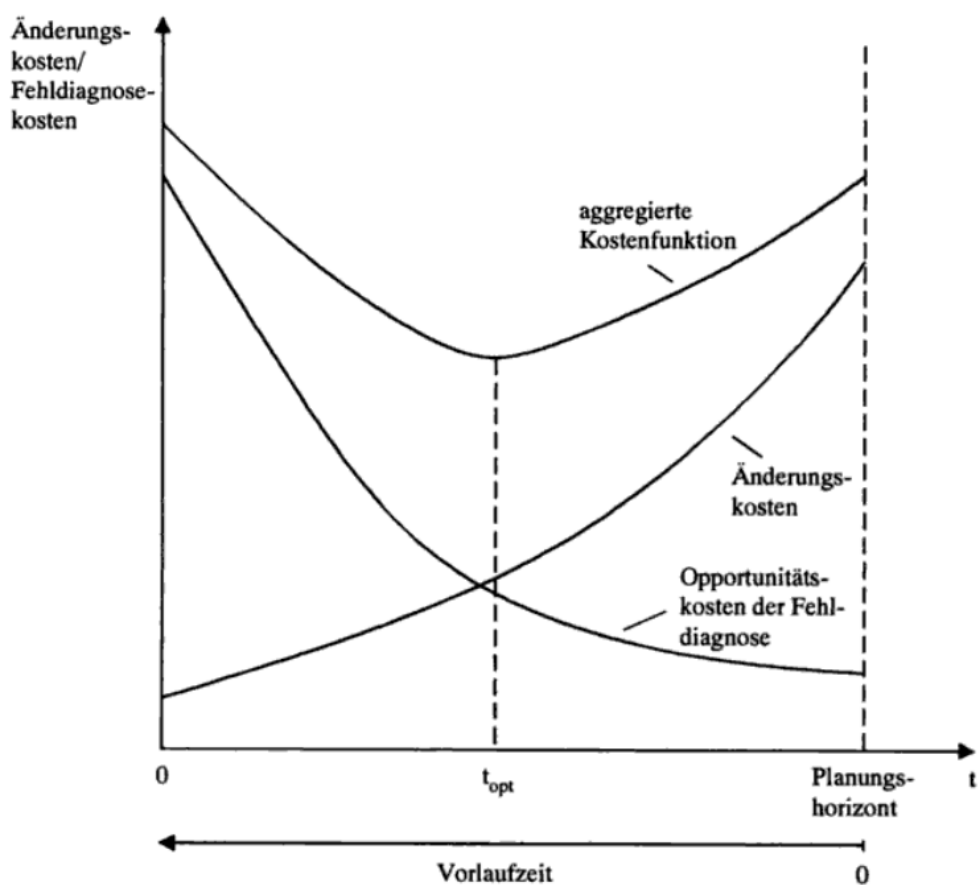


Abb. 44 Änderungskosten vs. Opportunitätskosten [62]

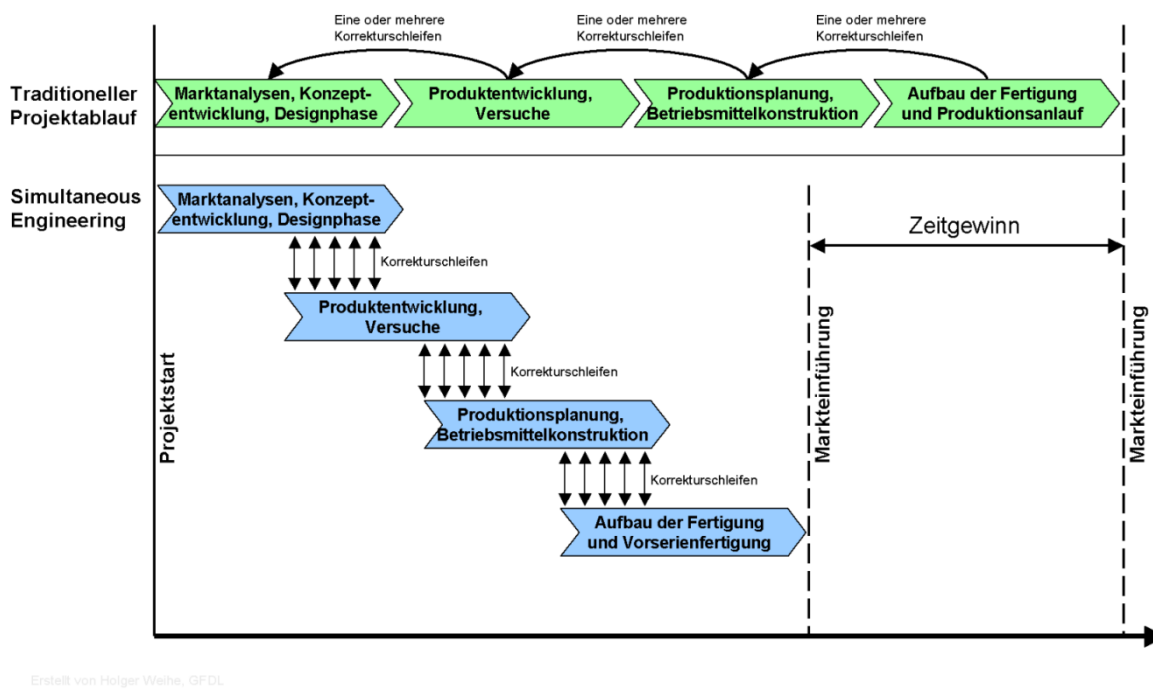
Aus Abb. 44 könnte man sehr schnell den Rückschluss ziehen, dass ein frühzeitiges Handeln immer zu bevorzugen sei. Bei näherer Betrachtung und unter Rücksichtnahme der Planungstheorie in Anlehnung an [62] werden zwei Grundsätze unterschieden, welche gegenläufig sind:

❖ Konzept der präventiven Intervention

Mit fortlaufendem Projektstand nehmen die Aktionsparameter ab und werden somit zu immer schwieriger variierbare Parametern. Der Entwicklungsingenieur muss sich immer mehr an das Produkt bzw. an die unveränderlichen Randbedingungen anpassen. Deshalb ist eine frühere Intervention zu bevorzugen.

❖ Konzept der Zeitaufschiebung

Dieser Grundsatz besagt, dass die Opportunitätskosten eines fehlerhaften Konzeptes oder einer fehlerhaften Entwicklung umso geringer sind, je später man Handlungen setzt, da in einer späteren Projektphase eine viel kleinere Streuung bzw. Ungenauigkeit der Daten über das Produkt herrscht. In diesem Fall ist ein späterer Eingriff in die Prozessketten zu bevorzugen.



Erstellt von Holger Weihe, GFDL

**Abb. 45** Gegenüberstellung Sequentielles vs. Simultaneous Engineering [59]

Wie man anhand von Abb. 45 erkennen kann, ist bei der Anwendung von SE die Zeit von der ersten Produktidee bis hin zur Markteinführung wesentlich kürzer als die von sequentiellen Projektabläufen. In der Regel sollte diese Methode zu Kosteneinsparungen im gesamten Entwicklungsprozess führen. Jedoch muss an dieser Stelle vermerkt werden, dass eine Verkürzung des Entwicklungsprozesses nicht automatisch in Kosteneinsparungen resultiert. Der Mehraufwand für die engen Iterationsstufen muss mitberücksichtigt werden, da dieser zusätzliche Kosten verursacht.

Durch zahlreiche Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass viele Probleme in der Produktentwicklung verhaltensbasiert waren und nicht auf Sachprobleme beruhten. Durch das Einführen von SE Teams, bestehend aus Experten aus den involvierten Bereichen, konnte man daher die Schwierigkeiten in der Kommunikation zwischen den Abteilungen beseitigen. Dank der stärkeren Abstimmung zwischen den Abteilungen konnte zusätzlich die Produktqualität verbessert werden. Durch die enge Kommunikation zwischen den Abteilungen ergeben sich folglich ein erhöhter Informationsaustausch sowie die dazugehörige, erforderliche Dokumentation. Somit beschränkt sich SE nicht nur auf das parallealisieren der Entwicklungsprozesse innerhalb einer Organisation. Vielmehr wird für die effektive Umsetzung nach [63] auf drei methodische Lösungsansätze verwiesen: Integration, Parallelisierung und Zusammenführen von Kompetenzen. Die Beziehung zwischen diesen drei Säulen des SE ist in Abb. 46 dargestellt.



Abb. 46 Operative Lösungsansätze des SE [63]



In Verbindung mit den angewandten Methoden des Simultaneous Engineering wird auch oft in der Praxis das Schlagwort Frontloading verwendet. Dabei handelt es sich um die erstere Interpretation der Abb. 44, wonach eine präventive Interaktion in der Entwicklung zu bevorzugen sei. Unter dem Begriff Frontloading wird die Berücksichtigung von Entwicklungs- und Produktionsaspekten eines Produktes durch den Einsatz von Methoden, Prozessen und IT-Lösungen der virtuellen Produktentwicklung in der frühen Phase des Produktlebenszyklus verstanden [64].

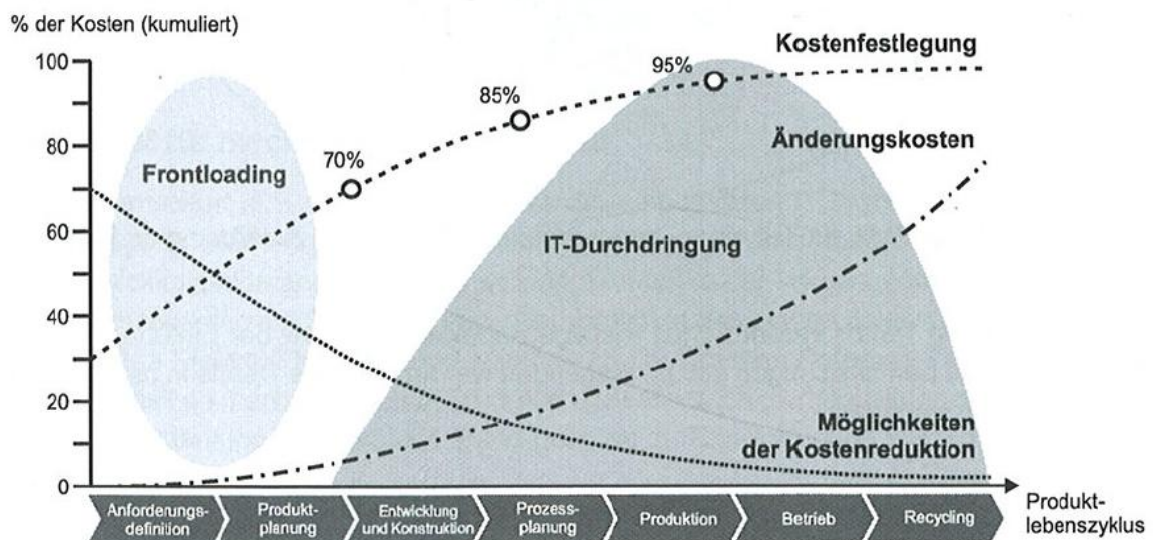


Abb. 47 Vergleich von Kostenreduktion, Kostenfestlegung und Änderungskosten [64]

Ein großer Vorteil von Frontloading ist die hohe Aussagekraft der technischen Eigenschaften, Funktionen, Betriebsverhalten sowie Kosten in der frühen Entwicklungsphase. Durch gegenseitige Abstimmung der Abteilungen können Fehler frühzeitig sichtbar und somit korrigierbar gemacht werden. Ein wesentlicher Nachteil dieser Methode ist der Mehraufwand bzw. der erhöhte Ressourcenaufwand, der anfänglich anfällt.

Es soll im Anschluss eine allgemeine Betrachtung des Themas Produktentwicklung in der Automobilbranche durchgeführt werden. Dabei richtet sich das Thema nicht nur auf den Rohbau, vielmehr wird die Entwicklung des Gesamtfahrzeuges gesehen, da es für jeden Bereich in der Fahrzeugentwicklung ähnliche Prozessschritte gibt.

## 6.2 Produktentwicklung in der Automobilbranche

Die Produktentwicklung beinhaltet alle Tätigkeiten, die sich direkt auf die Gestaltung des Produktes als solches sowie seine Eigenschaften beziehen [65]. Als Teil von diesem Prozess kann zum Beispiel die Konstruktion oder die Auslegung auf die Dauerfestigkeit gesehen werden.

In der Fahrzeugentwicklung wird allgemein zwischen Karosserie, Antriebsstrang, Fahrwerk und Elektronik unterschieden. Bei dieser Unterteilung werden in allen Bereichen die Baugruppen parallel entwickelt, wobei auf der Antriebsseite Motor und Getriebe oft über mehrere Fahrzeuggenerationen aber auch in unterschiedlichen Derivaten verwendet werden. Die durchschnittliche Entwicklungsdauer eines gesamten Fahrzeugs beträgt etwa 30 Monate [66], Spitzenreiter bei den kürzesten Entwicklungszeiten ist Toyota mit 26 Monaten. Jedoch wird aufgrund der großen Qualitätsmängel und Rückrufaktionen in den letzten beiden Jahren bei Toyota eine längere Entwicklungszeit angestrebt [67]. Zum Vergleich lag der Durchschnitt in der Fahrzeugentwicklung bei deutschen Automobilherstellern in den 90er Jahren bei etwa 60 Monaten [66].

Bei der Gestaltung der Entwicklungsprozesse hat sich bei den Automobilherstellern eine allgemeine Ablauffolge entwickelt, die aus unterschiedlichen Phasen und Meilensteinen besteht. Hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass diese Entwicklungsmethodik alle relevanten Entwicklungsprozesse beinhaltet, jedoch können diese in ihrer Reihenfolge und Länge je nach Unternehmensstruktur oder -politik variieren. In

Abb. 50 sind die wichtigsten Prozessketten in der Automobilentwicklung dargestellt. Ähnlich zu dieser Ablauffolge hat sich bei den OEMs folgende hierarchische Struktur bewährt:

Ein OEM produziert eine Vielzahl von unterschiedlichen Fahrzeugmodellen. Jedes Fahrzeugmodell ist im Unternehmen als eine eigene Organisationsstruktur dargestellt. Die strikte Abgrenzung zu anderen Modellen wird auch als Baureihe bezeichnet. Die oberste hierarchische Ebene in der Baureihe wird vom Baureihenleiter eingenommen, welcher für das Erfüllen aller formulierten Ziele im Lastenheft verantwortlich ist. Der Baureihenleiter wird auch oft als strategischer Projektleiter bezeichnet, da die Ziele einer Baureihe oft über mehrere Jahre verlaufen und damit in der Planung einen strategischen Charakter besitzen. Dem Baureihenleiter sind Projektleiter aus den jeweiligen Fachbereichen unterstellt, also somit die vorher genannten Funktionsgruppen wie Karosserie, Antrieb, Elektronik usw. Unterhalb dieser Ebene befinden sich die technischen Fachbereiche, die

in der jeweiligen Funktionsgruppe aus einzelnen Bauteilverantwortlichen zu Teams zusammengefasst werden.

In dieser vertikalen Unternehmensstruktur gibt es fachübergreifende Abteilungen, die eine Stabfunktion besitzen und auch als Schnittstelle zwischen den einzelnen Funktionsgruppen agieren.

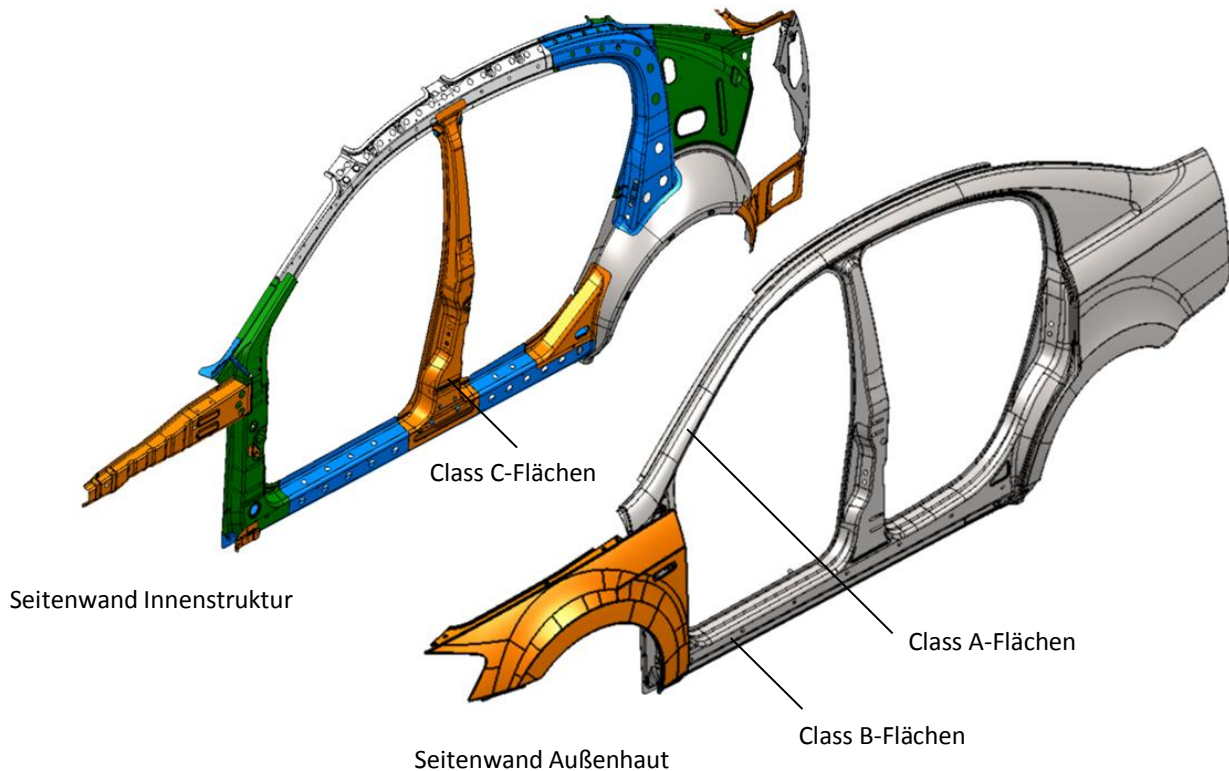
In der frühen Phase der Fahrzeugentwicklung werden die strategischen Ziele sowie eine Terminalschiene für das Fahrzeugprojekt definiert. Hier wird durch Analysen des Marktes eine Produktidee für das Unternehmen abgeleitet. Dies wird dann auf die technologische Machbarkeit geprüft, zu der auch parallel die Produktidee auf ihren wirtschaftlichen Erfolg bzw. auf den finanziellen Projektumfang überprüft wird. Der erste Meilenstein beinhaltet eine Absicherung des Konzeptheftes. In diesem werden die groben Ziele und die dabei involvierten Abteilungen festgehalten. Im Anschluss wird die Designabteilung in die Konzeptphase involviert. Aus Formskizzen, auch Renderings genannt, entstehen die ersten Designvarianten, die vom Vorstand bewertet werden. In Abstimmung mit den Abteilungen bezüglich Packaging und gesetzlichen Vorschriften erstellt die Designabteilung den vorläufigen Außenhautplan und das dazugehörige 1:4 Vormodell aus Ton [12].

Der Ton, der für den Modellbau bestens geeignet ist, wird auch Clay genannt und bietet bestmögliche Nachbearbeitungsmöglichkeiten durch das Auf- oder Abschaben des Tons am Modell. Abschließend wird das Modell mit einer lackierbaren Folie bespannt und nach Freigabe mit einer 3D Messmaschine abgetastet. Mit diesen Daten erstellt man das erste Strak Modell, mit dessen Hilfe man eine Seitenansicht der Karosserie im Maßstab 1:1 erstellt.

### 6.2.1 Strak Modell

Das Straken kommt ursprünglich aus dem Schiffbau und war ein Hilfsmittel zur Darstellung des Schiffskörpers. Mit Hilfe von biegsamen Holzleisten (Straklatten) und Gewichten (Strakgewichten) konnte man die Spanten und Umrisse eines Bootes in der Ebene durch Verschieben der Gewichte darstellen, um mit einem Bleistift die Linie ziehen zu können. Die natürliche Biegung der Holzleiste wurde je nach Stellung der Gewichte in eine Krümmung gezwungen. Dieses Prinzip der Kurvendarstellung wurde in der Automobilindustrie von CAD Werkzeugen übernommen. Mit Hilfe von Linien und Knotenpunkten wird ein Skelett des Entwurfs erstellt. Aus dem entstandenen Kurvennetz wird anschließend ein Flächenmodell generiert. Dabei werden anfangs möglichst große

Teilflächen an das Netz angepasst und komplexe Geometrien durch Verschneidungen mehrerer Teilflächen erstellt. Stilistisch relevante Oberflächen des Exterieurs und Interieurs werden „Class A-Flächen“ genannt [68].

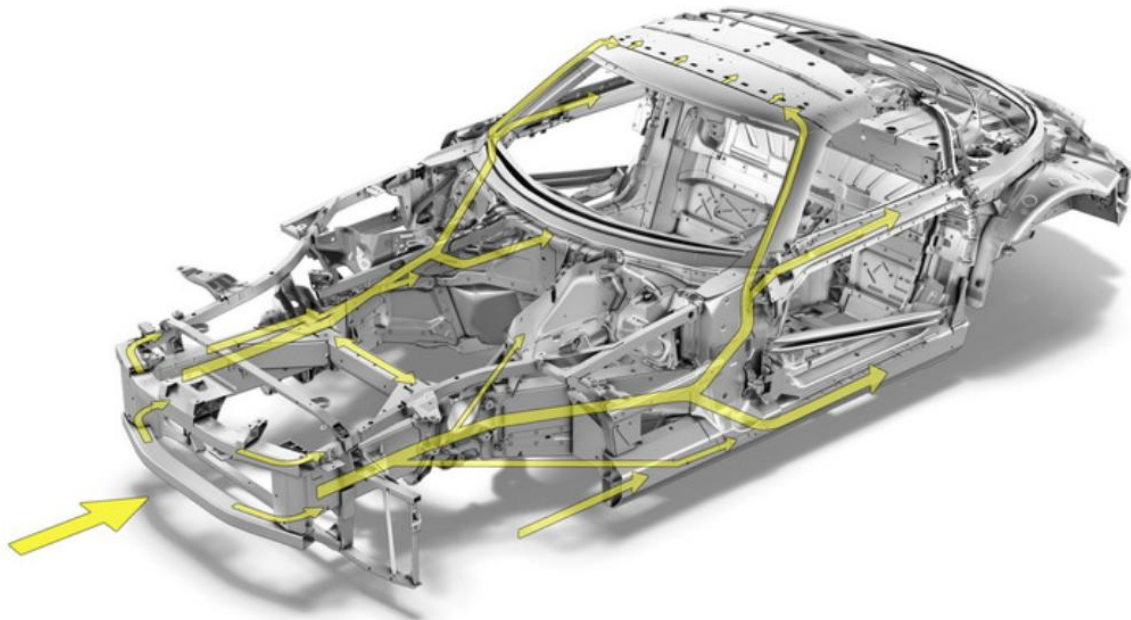


**Abb. 48** Unterscheidung zwischen Class A-,B-,C-Flächen am Beispiel einer Seitenwand

Diese sind für den Kunden auf den ersten Blick sichtbar und erfordern besondere Sorgfalt. Nicht sichtbare Flächen, wie zum Beispiel der Türschweller, welcher ohnehin von einer eigenen Verkleidung abgedeckt werden, erfordert weniger Rücksicht in Hinblick auf Oberflächenbeschaffenheit und werden daher als „Class B-Flächen“ bezeichnet. Diese Flächen sind im Normalfall für den Kunden nicht sichtbar und spielen bei der Gestaltfindung der Karosserie eine untergeordnete Rolle. „Class C-Flächen“, auch Ankonstruktionsflächen genannt, sind am fertigen Fahrzeug für den Kunden nicht sichtbare Flächen und bedürfen deshalb keiner besonderen Beachtung in Hinblick auf Design oder Oberflächenbeschaffenheit (z.B. Strukturbauteile der Seiteninnenwand). Obwohl Class C-Flächen auf den ersten Blick für den Kunden eine untergeordnete Rolle spielen, beeinflussen sie bei sicherheitsrelevanten Fahrzeugstrukturen sehr stark die Formgebung der Class A- und B-Flächen. So bedeutet eine Änderung von crashrelevanten Strukturteilen in den meisten Fällen eine Änderung/Modifikation von sichtbaren A- oder B-Flächen. Im umgekehrten Sinne ergeben sich durch die Abänderung von Designflächen

für den Konstrukteur eine Änderung der inneren Flächen. Diese Korrelation bedarf im Entwicklungsprozess aufwendiger Iterationsschleifen und erstreckt sich auf zahlreiche Bauteile, die im Falle eines Crashes am Kraftpfad in der Karosserie beteiligt sind.

Abb. 49 zeigt ein Beispiel der Kraftpfade sowie die davon betroffenen Bauteile anhand einer Karosserie des Mercedes Benz SLS AMG. Das wohl am sensibelste Bauteil, bei welchem die Korrelation zwischen Class-A und –C Flächen am stärksten vorhanden ist, ist die Class A-Säule. Im Falle eines Überschlags nimmt diese große Kräfte auf und muss daher besonders stabil ausgeführt sein. Bei Designänderungen, welche die A-Säule betreffen, korreliert daher die Gestaltung von Class A- sehr stark mit Class C-Flächen. Dies resultiert in größeren Abstimmungsarbeiten zwischen Design und Engineering und verursacht in der Entwicklung verstärkt Iterationsschleifen.



**Abb. 49** Krafteinleitung beim Frontalaufprall [69]

Abschließend ist festzuhalten, dass das Strak-Modell ein wichtiges Kommunikationsmittel zwischen der Styling-Abteilung und der Konstruktion ist. Mit Hilfe des Strak-Modells nähert sich der Konstrukteur an die Außen- und Innenkontur des Fahrzeugs an und versucht dabei, alle Vorschriften, Gesetze, Vorgaben aus der Ergonomie, Packaging usw. an das gegebene Design zu applizieren. Der Stylist gibt dabei die Vorgaben über das Strak-Modell an, ohne dabei selbst detaillierte Zeichnungen erstellen zu müssen.

Mit Hilfe des Strak-Modells erstellt man nun eine orthogonale Darstellung der Seitenansicht. Diese wird mit Hilfe von Tapes (Klebebänder) erzeugt. Durch das Aufkleben und Variieren der Klebebandbreite ergeben sich kontraststarke Bilder, die somit einen

ersten Eindruck der Karosserie vermitteln. Anschließend dient diese Darstellung für die Grundlage des 1:1 Modells. Dieses Modell besteht aus mehreren vorgefrästen Flächen, die nicht der genauen Außenhaut des Fahrzeugs entsprechen und auf einem Trägerrahmen aufgebaut sind. Auf diese Flächen wird Clay aufgetragen und bearbeitet, um somit die endgültige Form der Außenhaut zu erhalten. Ähnlich wie beim 1:4 Modell wird die fertige Außenhaut mit einer Folie beklebt und lackiert, um eine möglichst realistische Außenhaut zu bekommen.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass diese Vorgehensweise in Anlehnung an J. Grabner und R. Nothhaft - siehe dazu Literaturquelle [12]- ausgearbeitet wurde. Die allgemeine Vorgehensweise sowie die Reihenfolge der Prozesse zur Designfindung sind vom Hersteller abhängig. Aus Kostengründen und durch die fortgeschrittenen Möglichkeiten der digitalen Werkzeuge werden in der frühen Phase verstärkt Modelle virtuell abgebildet und können simultan mit unterschiedlichsten Varianten verglichen werden. Dadurch sinkt der Kosten- und Zeitaufwand erheblich, bei gleichzeitig gesteigener Genauigkeit der Modellbildung.

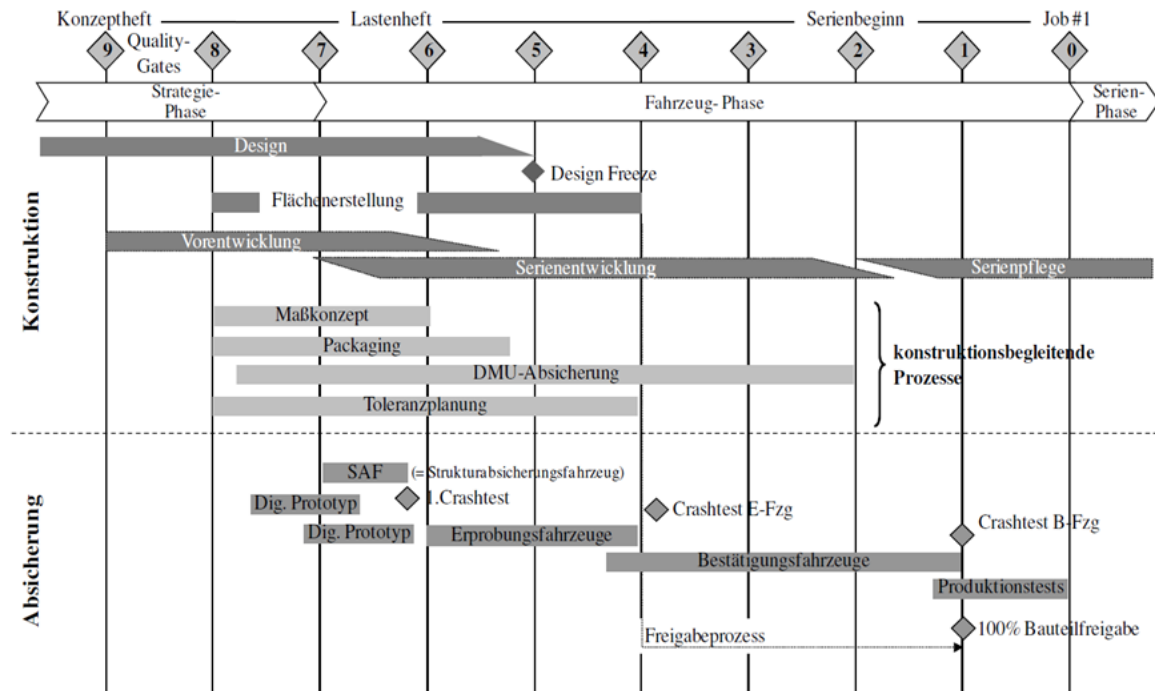


Abb. 50 Prozessketten in der Automobilentwicklung in Anlehnung an [70]

Mit zunehmendem Projektfortschritt werden immer mehr Inhalte des Fahrzeugkonzeptes festgelegt. Dabei werden unterschiedliche Varianten aus dem Konzeptheft auf ihre Funktionalität, auf ihre Vor- und Nachteile und vor allem auf den Innovationsgrad hin

untersucht. Als Innovation wird in der Automobilbranche „kundenwertige Neuheit mit Markterfolg“ definiert (in Anlehnung an [12]).

Eines der wichtigsten Ziele in der Konzeptphase ist das Generieren von neuen, gereiften Innovationen, auf die in der Serienentwicklung zurückgegriffen werden kann. Anhand Abb. 50 kann man deutlich sehen, dass parallel zur Designfindung die Vorentwicklung verläuft. Diese überprüft bestehende Konzepte sowie Innovationen auf die technische Machbarkeit bzw. Umsetzbarkeit. Als Ergebnis dieses parallelen Prozesses soll nicht nur die Machbarkeit untersucht werden, vielmehr sollen auch die möglichen Kosten sowie der tatsächliche Umfang der Entwicklungsarbeit eingeschätzt werden.

Ein weiterer, parallel angelegter Prozess in der Strategiephase ist die Flächenerstellung. In Kapitel 6.2.1 wurde bereits darauf eingegangen, es sei jedoch ergänzend anzumerken, dass auch bei der Flächenkonstruktion Konzepte auf ihre Serientauglichkeit von der Vorentwicklung überprüft werden.

Die Phase der Serienentwicklung ist ein fließender Übergang zwischen Vorentwicklung, Design und Flächenerstellung und wird in unterschiedliche Stufen eingeteilt, welche wiederum von Hersteller zu Hersteller variieren können. Während der Serienentwicklung wird eine Reihe von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Entwicklungsständen produziert, abgestimmt und vom Vorstand bzw. vom verantwortlichen Gremium bewertet. Diese Bewertung erfolgt in regelmäßigen Abständen und stellt auch gleichzeitig ein internes Kontrollsystem dar. Beim Design Freeze werden schließlich alle Entwicklungsstände „eingefroren“, d.h. der Entwicklungsingenieur darf Hardware-Komponenten nicht mehr modifizieren, da für diese bereits die Werkzeugfreigabe erfolgt ist.

In Abb. 50 sieht man eine Unterteilung der Prozesse in Absicherung und Konstruktion. Konstruktionsbegleitende Prozesse sind Maßkonzept, Packaging, DMU- Absicherung und Toleranzplanung. Folgend soll auf diese kurz eingegangen werden:

### 6.2.2 Maßkonzept

Das Maßkonzept ist eine erste, geometrische Beschreibung des Fahrzeugs und ist im Entwicklungsprozess von zentraler Bedeutung [71]. Abhängig vom Fahrzeugkonzept werden erste, geometrische Vorgaben erstellt und mit allen angrenzenden Abteilungen abgestimmt. Gesetzliche Vorschriften, Ergonomie sowie die Abstimmung mit dem Packaging sind die wesentlichen Einflussfaktoren eines Maßkonzeptes. Die festgelegten Abmessungen werden anschließend im Lastenheft festgehalten und dienen als Richtmaß für die einzelnen Abteilungen.

### 6.2.3 Packaging

Beim Packaging werden alle „luftbeanschlagten“ Teile als Funktionseinheiten betrachtet und auf ihren erforderlichen Bauraum, auf eine optimale Raumausnutzung sowie auf die Montierbarkeit untersucht. Zu dieser Untersuchung gehören auch Schläuche, Kabeln, Halterungen aber auch Bauteile, welche im Laufe der normalen Fahrzeuglebensdauer ausgetauscht werden (z.B. Glühbirnen, Filter etc.) [72]. Das Packaging hat eine übergeordnete Funktion und erfordert eine enge Kommunikation zwischen den Fachabteilungen (Bauteilverantwortlichen) und der Gesamtfahrzeugkonstruktion. Prinzipiell gilt, dass einzelne Bauteile für die Serienfertigung nicht freigegeben werden, solange diese keine Packagingfreigabe erhalten haben. Eine wichtige Rolle beim Packaging spielt auch die Montagesimulation. Durch diese werden zum einem sehr früh unterschiedliche Montagevarianten ausgearbeitet, zum anderen lassen sich auch im CAD Montagevideos erstellen, welche speziell bei der Umstellung der Produktion auf ein neues Produkt für Schulungszwecke verwendet werden können.

### 6.2.4 DMU – Digital Mock Up

Das Digital Mock Up ist die realitätsnahe Computersimulation eines Produktes. Es enthält sämtliche erforderliche Funktionalitäten, die für die Unterstützung von Entwicklung, Herstellung und Service benötigt werden. Das Digital Mock Up dient als Grundlage für die Produkt- und Prozessentwicklung und unterstützt die Kommunikation und die Entscheidungen vom ersten Entwurf über die Instandhaltung bis hin zum Produktrecycling [72]. Das wesentliche Ziel des DMU ist die frühzeitige Absicherung des gesamten Fahrzeuges sowie die Darstellung des fertigen Produktes, um dieses frühzeitig bewerten zu können. Mit einem hohen Reifegrad der Bauteile sollen wichtige Information aus der Teilekonstruktion sowie aus dem Packaging zusammenlaufen und auf ihre Kohärenz überprüft werden.

### 6.2.5 Toleranzplanung/Toleranzmanagement

Allgemein vereint die Toleranz die produktbezogenen Anforderungen mit prozessbedingten Streuungen und definiert daraus die „Grenzen für zulässige und unzulässige Abweichungen“ [73]. Das Toleranzmanagement umfasst den Prozess und die Methoden, dass funktional relevante Maße (Ästhetik, Funktion, technische Eigenschaften, Montage) auch unter der Wirkung von Toleranzeinflüssen realisiert werden können [74]. Dabei soll das Toleranzmanagement den Entwicklungsingenieur unterstützen, alle wichtigen Toleranzen für die Funktionserfüllung des Bauteils zu erfassen und mit den



involvierten Partnern (Lieferanten, Produktionsplanung etc.) abzugleichen. Dabei ist die Wahrscheinlichkeitsrechnung ein wichtiges Instrument für die Ermittlung der notwendigen Toleranzen. Diese werden in drei Hauptgruppen unterteilt und werden wiederum von drei unterschiedlichen Faktoren beeinflusst (siehe dazu

Abb. 51). Mit Hilfe der Toleranzkettenrechnung versucht man die Beziehungen zwischen Einzeltoleranzen, deren Streuung und dem gesamten Schließmaß aufzustellen. Das Schließmaß ist eine Hilfsgröße und beschreibt die Höhe einer einzuhaltenden Größe wie z.B. das Fugenmaß.

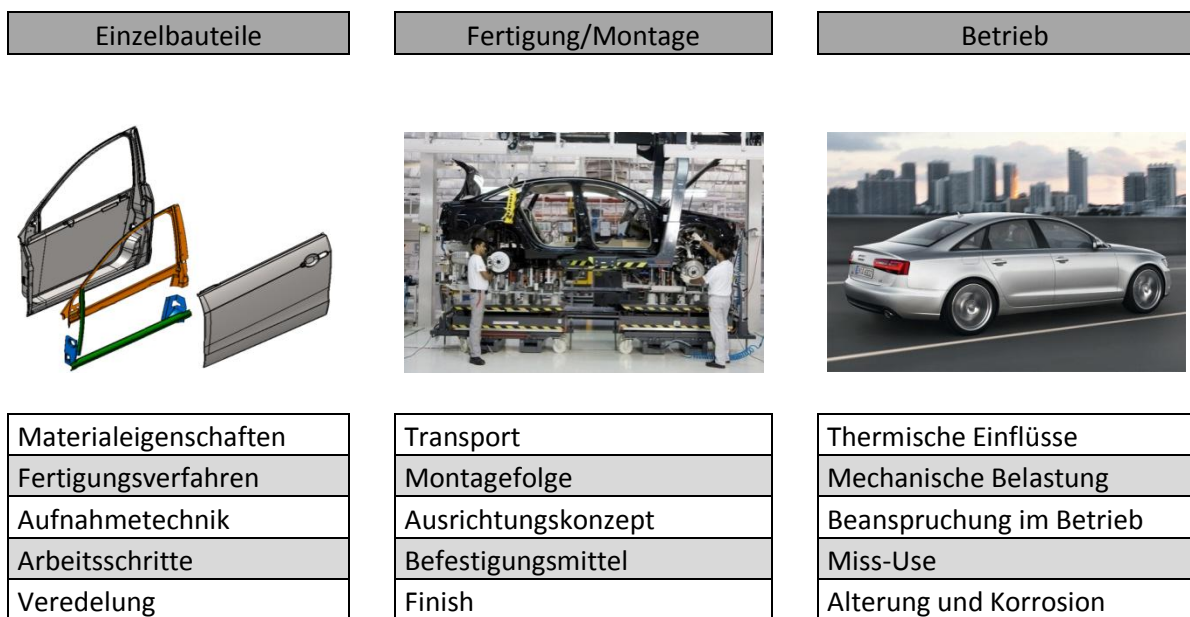


Abb. 51 Entstehung von Abweichungen in Anlehnung an [74], [75], [76]

Abschließend soll für das Kapitel *Produktentwicklung in der Automobilbranche* die Begriffserklärung Lastenheft und Konzeptheft erfolgen. Durch die thematische Abgrenzung der Diplomarbeit werden die Prozessschritte Serienpflege, Absicherung der Erprobungsfahrzeuge, Bestätigungsfahrzeuge usw. (nach Abb. 50) nicht näher behandelt.

### 6.2.6 Begriffsdefinition Konzeptheft und Lastenheft

Folgend soll der Unterschied zwischen Konzeptheft und Lastenheft beschrieben werden. Die wichtigsten Merkmale dieser beiden Dokumentationsformen sind ihre zeitliche Zuordnung in der Projektphase sowie die Verwendungsgruppe:

### ❖ Konzeptheft

In der frühen Konzeptphase werden für die gestellten Anforderungen eines Fahrzeugkonzeptes unterschiedliche Varianten ausgearbeitet und verglichen. Dabei werden diese auf ihre Machbarkeit überprüft und zu immer konkreteren Lösungsvarianten ausgearbeitet. Die verschiedenen Lösungsprinzipien und die daraus entstehenden Konzepte werden im Konzeptheft gesammelt und dienen der gesammelten Darstellung und ausführlichen Beschreibung aller Lösungsalternativen. Ziel des Konzeptheftes ist es, die für eine Bewertung und anschließende Auswahl benötigten Informationen über die Lösungsalternativen bereitzustellen [77].

### ❖ Lastenheft

Ein Lastenheft bzw. Zielkatalog beschreibt alle Anforderungen und Randbedingungen an ein Produkt aus der Sicht des Anwenders. Das heißt, dass alle definierten Eigenschaften überprüfbar und messbar sein müssen. Das Lastenheft bildet somit ein schriftliches Protokoll des Produktes selbst und dient als Vertragsdokument zwischen OEM und Zulieferer. Laut [12] werden u. a. folgende Punkte definiert im Lastenheft dokumentiert:

- Strukturbeschreibung
- Schnittstellenbeschreibung
- Betriebs- und Umgebungsbedingungen
- Anforderungen für Inbetriebnahme und Einsatz
- Inbetriebnahme
- Probe- und Testbetrieb
- Anforderung an die Projektabwicklung
- Projektorganisation
- Projektdurchführung
- Garantien
- Wirtschaftliche Daten
- Recycling nach Nutzungsablauf

## 7 Wissensmanagement in der Karosserieentwicklung

Das Kernthema der Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Optimierung der Schnittstellen zwischen Konzeptphase und Produktion im Rohbau. Im Zuge der Ist-Analyse für die Diplomarbeit hat sich herausgestellt, dass das Thema Wissensmanagement für die Dokumentation und Verarbeitung von Informationen aus den einzelnen Projektschritten unumgänglich ist. Durch die theoretische Auseinandersetzung des Themas Wissensmanagement und Kalkulationsverfahren sollen bestehende Konzepte bzw. Ansätze aus der Literatur dargestellt werden, um mögliche Anwendungen in der Industrie gewährleisten zu können.

In den letzten Jahrzehnten haben sich die europäischen Standorte in der Fahrzeugindustrie immer mehr von einer arbeits- zu einer wissens- und technologieintensiven Unternehmensform entwickelt. Know-how als Produktionsfaktor spielt somit eine wichtige Rolle und beschränkt sich nicht nur auf die technische Entwicklung, sondern auch auf die organisatorische Infrastruktur und die damit verbundenen Prozessen selbst. Wissensmanagement als wichtiger Bestandteil in der Produktentwicklung gewinnt immer mehr an Relevanz und ist ein entscheidender Faktor für den Erhalt des Wettbewerbsvorteils.

Jedoch stellt sich der Aufbau eines einheitlichen Systems für ein effektives Verarbeiten und Zugänglichmachen des erworbenen Wissens als sehr schwierig heraus. Traditionelle Speichermethoden werden durch die zunehmende Komplexität der Produkte, durch die steigende Zahl der Entwicklungspartner und durch den Einsatz neuer Technologien immer schwieriger. Immer kürzer werdende Produktlebenszyklen, Individualisierung von Kundenbedürfnissen und die Entstehung von neuen Geschäftsfeldern fordern vom Unternehmen, schneller und besser zu werden. Hierzu müssen alle Wissensressourcen im Unternehmen mobilisiert werden [78]. Um diese Wissensressourcen optimal nutzen zu können, bedarf es einer strukturierten Vorgehensweise innerhalb des Unternehmens.

Gerade am Anfang ist die Definition von Projektzielen und eine mögliche Vergleichbarkeit der Ergebnisse innerhalb einer Organisation vor und nach der Einführung von neuen

Systemen erforderlich. Mögliche Fragestellungen sollen bei der Ableitung von Zielen helfen und werden in Anlehnung an [79] im folgenden Kapitel zusammengefasst.

### 7.1 Kernfragen zur Ableitung von strategischen Zielen im Karosseriebau

- ❖ Was ist das strategische Ziel bei der Einführung von neuen Entwicklungsprozessen und Datenbanken im Karosseriebau?
- ❖ Welche Größen müssen aus der Entwicklung erfasst werden, um eine Bewertung über eingeführte Prozesse durchführen zu können?
- ❖ Wie übernehmen Personen die Verantwortung für die Planung und Einführung von Datenbanken und Entwicklungsabläufen?
- ❖ Wie können komplexe Prozesse und Abläufe für den Entwicklungsingenieur dargestellt werden?
- ❖ Wie kann Investitionssicherheit gewährleistet werden?

Da diese Fragestellungen sehr stark mit der Einführung von Wissensmanagement korrelieren, soll allgemein ein Verständnis für die Begriffe sowie für Werkzeuge des Wissensmanagements kurz dargestellt werden.

### 7.2 Wissen – Information – Daten - Zeichen

Zeichen werden definiert durch Normen. Diese können sein: Ziffern, Zahlen, Buchstaben, Satzzeichen, Sonderzeichen. Die Abfolge mehrerer Zeichen ergibt Daten. Der Besitz von Daten impliziert aber nicht automatisch einen Wert. Zum Beispiel kann eine Reihe von Daten in einer unbekannt Fremdsprache für den Leser/Anwender völlig wertlos sein. Zum Gewinn einer Information müssen diese Daten interpretierbar werden. Durch Interpretieren und in Bezug bringen der Daten können diese verarbeitet werden und bilden somit Informationen. Durch das Verarbeiten, Festhalten und Vernetzen von Informationen wird Wissen generiert und stellt somit das Endprodukt dar. Im Gegensatz zu Informationen ist Wissen personenabhängig und lässt daher Interpretationsspielraum zu. Abschließend kann eine Definition in Anlehnung aus den Werken von K. North [78] und G. Probst/ S. Raub/K. Romhardt [80] festgehalten werden:

Wissen ist die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Personen zur Lösung von Problemen einsetzen.

Dies umfasst sowohl theoretische Erkenntnisse als auch praktische Alltagsregeln und Handlungsanweisungen. Wissen stützt sich auf Daten und Informationen, ist im Gegensatz zu diesen jedoch immer an Personen gebunden. Wissen entsteht als individueller Prozess in einem spezifischen Kontext und manifestiert sich in Handlungen.

### 7.2.1 Kernprozesse des Wissensmanagements

Der Begriff Wissensmanagement ist ein wesentlicher Bestandteil der Thematik beim Mobilisieren aller Ressourcen. Dabei hat sich für die Definition des Begriffs Wissensmanagement in der Fachliteratur keine einheitliche Form etabliert. Es gibt unterschiedliche Theorien und Definitionen, auf die nicht näher eingegangen wird. Jedoch werden hier kurz die wichtigsten Punkte nach G. Probst [80] zusammengefasst. Sie bilden die wichtigsten Ziele und Aufgaben des Wissensmanagements.

#### ❖ Wissenstransparenz bzw. Wissensidentifikation

Internes und externes Wissen soll aufgearbeitet werden, sodass eine klare Übersicht und Transparenz geschaffen wird. Mögliche Schwierigkeiten ergeben sich durch Dezentralisierung (z.B. großes Zulieferernetzwerk, Fluktuation). Dabei soll darauf geachtet werden, dass „wertloses“ Wissen aussortiert wird und „wertvolles“ Wissen in einer für die Mitarbeiter zugänglichen Form gespeichert wird.

#### ❖ Wissensnutzung

Wissensnutzung ist die praktische Anwendung von vorhandenem Wissen. Unterstützt durch optimierten Wissenstransfer können Methoden, Werkzeuge und Know-how in neue Projekte einfließen. Eine individuelle Anpassung des Wissensumfangs an die jeweilige Schnittstelle erleichtert die Anwendung und reduziert den Zeitaufwand bei der Anwendung.

#### ❖ Wissensbewahrung

Das unternehmerische Gedächtnis bildet ein abstraktes Zentrum an gesammeltem Wissen. Know-how wird abgespeichert und kann später wieder abgerufen werden. Selektion, Speicherung und Aktualisierung bilden die Hauptschritte und werden durch Anreizsysteme für Mitarbeiter realisiert.

### ❖ Wissensverteilung bzw. Wissenstransfer

Schaffen von optimalen Bedingungen zur Nutzung von Wissen. Somit soll der Austausch lokaler Wissensquellen sowohl intern als auch extern verbessert werden. Standardisierte Prozesse, Festhalten von Best-Practice Methoden sind wertvolle Werkzeuge zum optimalen Wissenstransfer

### ❖ Wissensentwicklung

Sicherstellung von Wissen in oder außerhalb des Unternehmens mit bestmöglichem Wirkungsgrad (z.B. Vergleich von Eigen- oder Fremdentwicklung). Das Pflegen von bestehendem Wissen, Anpassen an Anwendungen stellt einen ergänzenden Baustein zum Wissenserwerb dar. Voraussetzung dafür ist eine enge Kommunikation zwischen den einzelnen Abteilungen und eine hohe Integration mit externen Entwicklungspartnern. Jedoch steigt auch die Gefahr, interne, sensible Bereiche anderen Partnern offen zu legen.

### ❖ Wissenserwerb

Beschaffung von erforderlichem Wissen für Produkte und Prozesse. Diese teilen sich auf in interne und externe Quellen. Als Wissensbeschaffung aus internen Quellen versteht man allgemein den Zuwachs von Wissen aus Projekten, Versuchen, Produktentwicklungen. Externen Quellen können sein: neu aufgenommene Mitarbeiter, Kooperationen mit anderen Unternehmen gleicher Sparte zur Nutzung von Synergien, enge Zusammenarbeit mit Lieferanten, Analyse von Konkurrenzprodukten als Referenz.

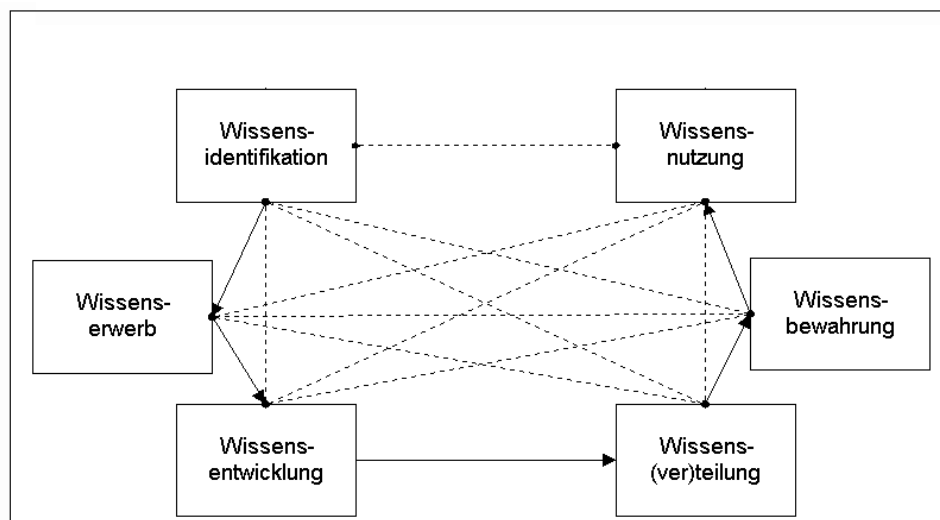


Abb. 52 Kernprozesse des Wissensmanagements [80]

### 7.3 Elemente und Methoden zur Darstellung von Wissen

Es lässt sich keine allgemeine Form der Wissensdarstellung aufzeigen. Vielmehr muss diese individuell an das Unternehmen angepasst werden. Zusätzlich ergibt sich bei diesem Thema die Schwierigkeit, den Informationsfluss zu standardisieren und bestmöglich für jeden Mitarbeiter zugänglich zu machen. In der Literatur gibt es über die Wissensdarstellung unterschiedliche Ansätze und Theorien. Eine zielführende Methode zur strukturierten Darstellung von Informationen sind Wissenslandkarten. Diese sind Werkzeuge des Wissensmanagements und erleichtert die Aufnahme bzw. Abfrage von Informationen innerhalb einer Organisation, wengleich darauf hinzuweisen ist, dass Wissenslandkarten kein Speicher von Wissen sind –sie sind lediglich „Reiseführer“, welche auf gespeicherte Informationen referenzieren und die Transparenz innerhalb einer Organisation erhöhen. Nach Preissler, Roehl und Seemann sind Wissenslandkarten definiert wie folgend:

*Wissenslandkarten sind Darstellungen des abgelegten Wissens in einer Firma im Text- oder Bildformat. Sie geben Orientierung und ermöglichen es, im Erfahrungswissen der Firma zu "navigieren". In einem strukturierten Gruppenprozess werden Erfahrungen, Erkenntnisse und Fragen der Organisation zu einem spezifischen Thema in einer Wissenslandkarte zusammengefasst, die das Wissen aller Beteiligten repräsentiert [81].*

Als einfachstes Beispiel für eine Wissenslandkarte kann eine organisatorische Darstellung der Mitarbeiter innerhalb eines Unternehmens gesehen werden. Mit der hierarchischen Struktur sowie der Angabe von dazugehörigen Abteilungen können Bauteilverantwortliche, Team- und Abteilungsleiter ermittelt werden, welche ressourcengerecht einem Projekt zugeteilt werden können. Diese Mitarbeiter, die als Wissensträger fungieren, bilden im Unternehmen oft ein informelles Expertennetzwerk, welches mit Hilfe von Wissenslandkarten transparent gemacht werden kann. Bei der Form von Wissenslandkarten kann man sich unterschiedlichsten Methoden behelfen. Diese können allgemein in Papierform in der Abteilung aufliegen oder einfach über das Intranet verfügbar sein.

Eine mögliche Darstellung von Wissensträgern bzw. von Mitarbeitern mit ihren Kompetenzen ist in Abb. 53 dargestellt. Dies ist ein Beispiel, wie man Kompetenzen bzw. Verantwortlichkeiten innerhalb eines Unternehmens darstellt.

Name (Abteilung)	Hr. Weiss (EK1)	Hr. Braun (EK2)	Hr. Rot (EK3)	...	...	...
Klappen	X					
Bodenplatte			X			
Vorderwagen	X					
Seitenwand		X				
Tunnel						
Schweißtechnik			X			
Kleben		X				
....						
...						

**Abb. 53** Beispielhafte Darstellung von Kompetenzen

Allgemein ist das Referenzieren auf Wissensträger (Mitarbeiter) innerhalb einer Organisation ein sehr wichtiges Instrument. Primär erfolgt die Kommunikation im Unternehmen verbal in Form von Meetings, Konferenzen oder Telekommunikationsmittel. Abhängig vom Unternehmen sowie von der Projektgröße erfolgen zwischen 50 und 95% aller Wissensweitergaben rein verbal, zwischen 2 und 30% aller Kommunikation erfolgen in Papierform sowie 3 bis 20% auf elektronischem Wege wie z.B. E-Mail und Intranet [82].



## 8 Neue Methoden in der Karosserieentwicklung

Allgemein soll in diesem Kapitel eine theoretische Aufbereitung des Themas „Neue Methoden in der Karosserieentwicklung“ aufgezeigt werden, um im Anschluss die daraus gewonnenen Erkenntnisse auf aktuelle Problemstellungen innerhalb der Industrie anwenden zu können.

Die Einführung von standardisierten Prozessen und Entwicklungsmethoden verursacht nach wie vor große Probleme in vorhandenen Unternehmensstrukturen. In Anlehnung an K. Ehrlenspiel [60] sollen die wichtigsten Punkte genannt werden. Um genau zu sein, referenziert K. Ehrlenspiel auf die Einführung der Konstruktionsmethodik – jedoch kann man durchaus eine Verallgemeinerung der methodischen Vorgehensweise für die Produktentwicklung daraus ableiten.

### ❖ Langsame oder abgewandelte Übernahme der Methoden auf Folgeprojekte

Bedingt durch die Individualität der einzelnen Projekte ist eine produktneutrale Übernahme der Prozesse nur schwer in der Praxis umsetzbar. Verstärkt durch die Situation als Zulieferer und den damit verbundenen unterschiedlichen OEMs (Original Equipment Manufacturer) als Kunden kann nicht immer auf einem vorgehenden Derivat aufgebaut werden. Hinzu kommt, dass in der Automobilbranche als Zulieferfirma im wahrsten Sinne des Wortes der Kunde „König“ ist. Das heißt, dass oft versucht wird, die Prozesse oder Standards des Kunden anzunehmen, um definierte Schnittstellen außerhalb der Organisation zum OEM erfüllen zu können.

### ❖ Vergleich von Methoden und deren Wirkungsgrad

Die Wirksamkeit einer neuen Methode für z.B. Zeiteinsparung in der frühen Entwicklungsphase durch besseren Informationsfluss, lässt sich quantitativ nur sehr schwer nachweisen. Daher werden gerade in diesen Bereichen nur Änderungen vorgenommen, wenn die Führungsetage diese als effektiv erachtet. Vielmehr sollte die gedanklich erzeugte Qualität von Ablaufprozessen und Entwicklungsabfolgen im Vordergrund stehen.

### ❖ Zeitdruck

Der SOP eines Produktes ist für ein Zulieferunternehmen ein feststehender Termin. Wird dieser nicht eingehalten, so drohen dem Unternehmen erhebliche Pönale. Aus Zeitmangel können daher oft attraktive Methoden gar nicht erprobt werden. Bevorzugt werden daher einfache, leicht erlernbare Methoden die schnell und wirkungsvoll auf ihren Nutzen untersucht werden können.

### ❖ Sachliche Methodik

In vielen Fällen konzentrierte man sich bei der Problemlösung auf das Produkt, eine menschliche oder organisatorische Analyse wird vernachlässigt. Dabei nimmt die zwischenmenschliche Kommunikation sowie das Arbeitsklima eine wesentliche Rolle in Hinblick auf die Produktqualität und Entwicklungsdauer ein. Speziell als Zulieferunternehmen ist man einem ständigen Wechsel von Projektpartnern ausgesetzt, durch gegenseitige Abstimmung am Projektbeginn kommt es oftmals zu einer Verzögerung des Projektfortgangs.

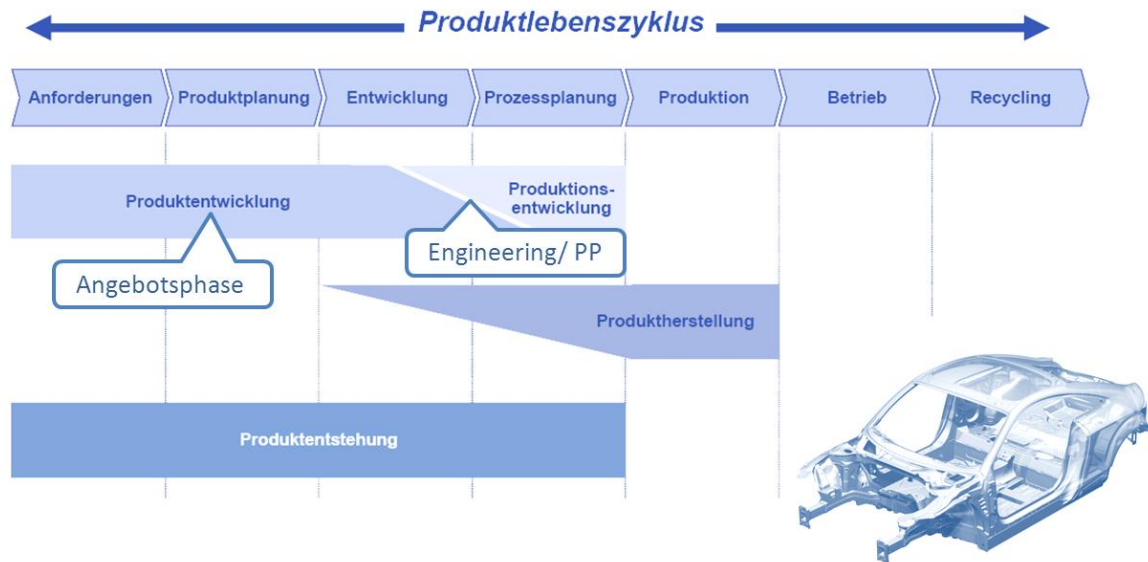
### ❖ Kostenschätzung

Speziell in der frühen Phase des Projektes ist die Streuung der geschätzten Kosten sehr hoch. Dies wird dadurch verursacht, da zum einem für die Darlegung der Kosten sehr wenig Zeit besteht und zum anderen der Kunde selbst als OEM gerade in der frühen Phase nur mäßige Angaben über den tatsächlichen Umfang des Projektes angibt. Hinzukommen kommt der hohe Zeitdruck, der eine genaue Analyse der tatsächlichen Kosten zusätzlich erschwert. Aufgrund des Umfangs und der vorhandenen Verbesserungspotenziale folgt daher ein eigenes Kapitel über verwendete Kostenschätzungsmethoden in der Industrie.

### ❖ Fehlende Kommunikation zwischen Produktionsplanung und Konzeptphase

Die im vorhergehenden Kapitel erwähnte, grobe Kostenschätzung kann als Resultat einer fehlenden bzw. mangelnden Kommunikation gesehen werden. Im Zuge der Bestandsaufnahme hat sich gezeigt, dass viele Informationen am Anfang eines Projektes nur mündlich weitergegeben werden. Das heißt, dass es in Hinblick auf Projektstand und tatsächlich geplante Fahrzeugkonzepte (z.B. technische Lösungsvorschläge für Rohbau, eingesetzte Fügetechnologie usw.) keine einheitliche oder genormte Datenbank gibt.

## 8.1 Schwerpunkte der Analyse



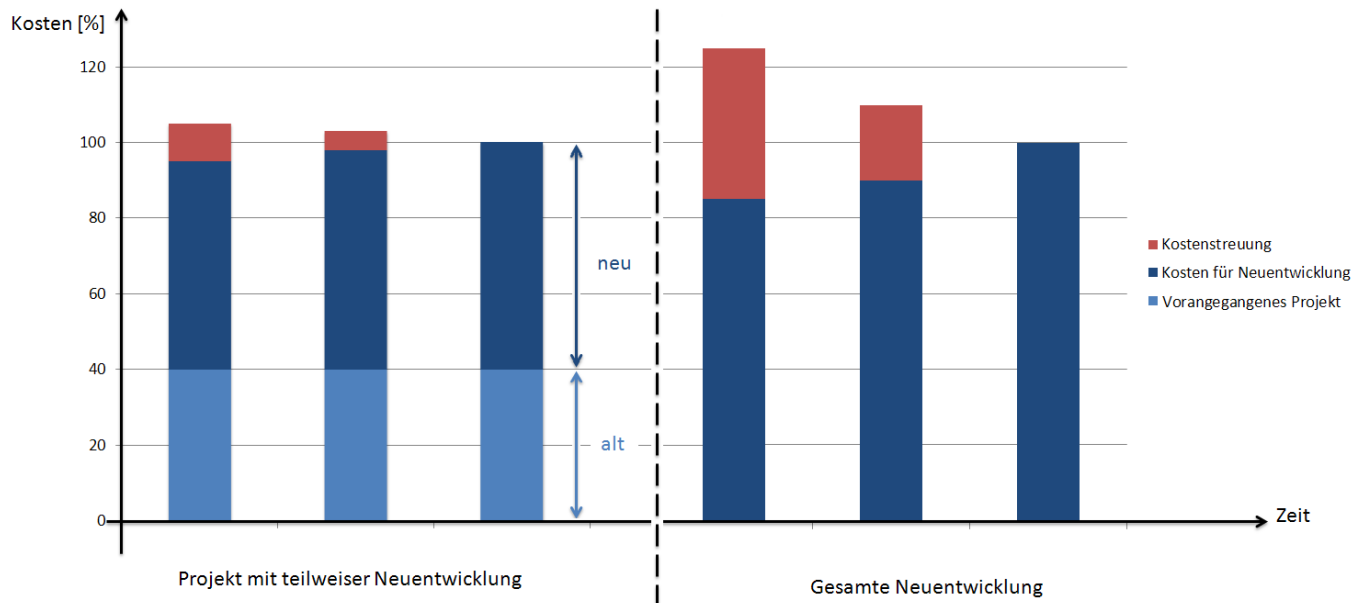
**Abb. 54** Schwerpunkte: Angebotsphase sowie Schnittstelle Produktentwicklung/Produktionsentwicklung (in Anlehnung an [83], [84])

Die oben genannten Punkte sollen sich im Produktlebenszyklus auf die Angebotsphase sowie auf die Schnittstelle zwischen Engineering und Produktionsplanung beschränken. In Abb. 54 kann man sehr gut erkennen, dass diese beiden Prozessschritte in Hinblick auf die zeitliche Zuordnung im Entwicklungsprozess einen breiten Bogen aufspannen. Trotz dieser zeitlichen Trennung der beiden Themen bestehen sehr viele Zusammenhänge und Synergien, die genutzt werden können, um bereits in der frühen Phase der Produktentwicklung kosteneinsparende Systeme und Methoden einzuführen.

Einer der ersten Schritte am Projektbeginn ist die Angebotslegung. Wesentliche Hauptgründe für eine Fremdfertigung der Fahrzeuge durch einen Zulieferer variieren von Kunde zu Kunde, jedoch beschränken sich diese überwiegend auf:

- ❖ Kapazitätsprobleme in der eigenen Fertigungsstraße
- ❖ exotische Fahrzeugmodelle, die in der eigenen Fertigungsstraße des OEMs nicht produzierbar sind
- ❖ Kostenvorteile bei Fremdfertigung gegenüber Eigenfertigung
- ❖ Entwicklungskompetenzen des Zulieferers

In der frühen Angebotsphase werden mögliche Fertigungsszenarien für den Kunden dargestellt und verhandelt. Dabei ergeben sich bei der Kostenschätzung seitens des Zulieferers einige Risiken, die auf mangelnde Informationen aus der Produktionsplanung basieren können. Diese „Unschärfe“ sinkt mit abnehmender Produktneuheit, da der Anteil an neuen Bauteilen sinkt und folglich die prozentuelle Ungenauigkeit auf eine kleinere Menge reduziert wird.



**Abb. 55** Genauigkeit der Kostenschätzung basierend auf vorhergegangenen Projekten (in Anlehnung an [85])

Durch die frühe Ermittlung der Ähnlichkeiten der Bauteile kann im Rohbau auf bestehende Daten zugegriffen werden. Dank der detaillierten Informationen lässt sich die Streuung der Kostenschätzung auf neue Teile reduzieren.

Wichtig bei dieser Kostenschätzung ist das Aufbereiten von Informationen aus den Fachbereichen. Durch SE-Teams wird eine technische Unterstützung in der Angebotslegungsphase gewährleistet. In Hinblick auf die Kostenschätzung werden bereits bestehende Projekte verarbeitet und in einer Datenbank dokumentiert. Wichtig dabei ist stets eine Visualisierung der Teile, da bei einer tabellarischen Darstellung sehr schnell die Übersicht des Projektes und der einzelnen Bauteile verloren gehen kann.

Mögliche Vorschläge für die Gestaltung dieser Datenbank sollen folgend dargestellt werden. Die dabei genannten Daten bzw. Zahlen sollen hierbei als Beispiel dienen und repräsentieren keine tatsächlichen Daten aus der Industrie.

## 8.2 Implementierung einer Datenbank

Das Einführen einer Datenbank ist komplex und kann nur erfolgreich durchgeführt werden, wenn sie Akzeptanz innerhalb der Organisation findet. Allen Mitarbeitern sollten die Vorteile einer Datenbank bewusst sein – nur so können wertvolle Informationen aus den Fachbereichen gesammelt werden. Mit dem Aufbau einer Datenbank sollen Aufwendungen für die Beschaffung und Übermittlung von Informationen durch strukturierte und genormte Kanäle unter Zuhilfenahme von Visualisierungsmethoden erheblich reduziert werden. Zusätzlich soll durch die verbesserte Kommunikation mehr Transparenz innerhalb des Unternehmens geschaffen werden, sodass räumliche Grenzen zwischen den Abteilungen überwunden werden.

Das Implementieren von Datenbanken ist ein sehr umfangreiches Thema und wird im Rahmen dieser Arbeit nur in dem Ausmaß behandelt, inwieweit es für die Bearbeitung der in der Diplomarbeit festgelegten Aufgabenstellung notwendig ist. Untenstehend sind die wichtigsten Meilensteine, die bei solchen Projekten als Orientierung dienen können, aufgelistet. Des Weiteren soll in diesem Kapitel eine Methode vorgestellt werden, die ursprünglich aus dem Wissensmanagement kommt und eigens für die Einführung von Datenbanken angepasst wurde. Die wichtigsten Meilensteine sind:

- ❖ Identifikation der wissensintensiven Prozesse:  
Ermittlung von Prozessen mit einer hohen Abfrage sowie Generierung von Wissen
- ❖ Identifikation der prozessnotwendigen Wissensressourcen:  
Ermittlung und Zuteilung von Wissen für notwendige Prozesse
- ❖ Kodifizierung der Wissensressourcen:  
Definieren von Schlüsselwörtern sowie Strukturieren von Wissen für eine bessere und schnellere Verfügbarkeit
- ❖ Integration des kodifizierten Wissens in ein visuelles, interaktives Bild:  
Schematische Darstellung von Wissen mit Hilfe von Tabellen, Organigrammen etc.
- ❖ Aktualisierung der Wissenslandkarte:  
Pflegen von bestehenden Informationen sowie Aufnahme von neuen Informationen/neuem Wissen

Wie schon zuvor erwähnt, bietet das Wissensmanagement zahlreiche Methoden und Werkzeuge für das Implementieren von Informationen innerhalb einer Organisation. Daraus ergeben sich einige wertvolle Methoden, welche für das Einführen einer Datenbank verwendet werden können.

Als eine dieser Methode kann die K2BE® Roadmap-Methode [79] gesehen werden. Diese hilft dabei, komplexe Zusammenhänge bei der Einführung zu strukturieren und berücksichtigt das organisatorische Umfeld des Unternehmens. Wie schon zuvor erwähnt, wurde diese Methode als Referenz herangezogen und soll nun dabei helfen, wichtige Zwischenschritte für die Einführung einer Datenbank abzuleiten. Dabei werden 5 Phasen unterschieden (vergleiche dazu Abb. 56):

### ❖ Kick-Off

Das Kick-Off Meeting ist gekennzeichnet durch die Freigabe des Projektes durch die Führungsebene. Diese übernimmt die Verantwortung für die Einführung der Datenbank. Es ist vielmehr ein formeller Schritt, bei dem alle teilnehmenden Parteien auf das Thema sensibilisiert werden.

Zwischen den fünf Hauptphasen werden Kontrollpunkte – Points of Clearance eingeführt. Diese dienen zur Kontrolle der einzelnen Prozessschritte und gleichzeitig als Ausblick für die weitere Vorgehensweise. Die Entscheidungsträger bekommen somit einen Überblick über das Projekt und können auch den Umfang der Arbeit gut abschätzen. Dadurch wird verhindert, dass Projekte in einer Phase beendet werden, in der bereits viel Zeit und Ressourcen investiert wurden. Die PoC-Punkte reflektieren somit den Reifegrad des Projektes. Beim Nichterreichen von Zielvorgaben kann im Prozess immer die nächste Schleife verwendet werden, um das Thema im letzten Gremium zu eskalieren.

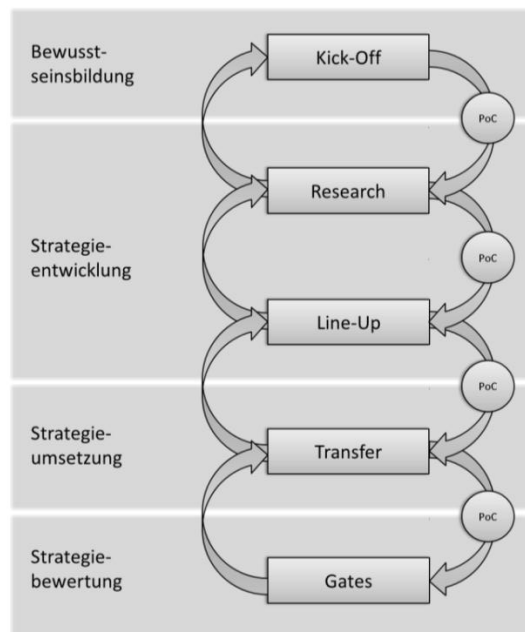


Abb. 56 Roadmap in Anlehnung an [79]

❖ Research

In dieser Phase soll der Umfang des Projektes geklärt werden. Es werden organisatorische, technologische und personelle Einflussfaktoren ermittelt und dokumentiert. Führende Personen aus den einzelnen Unternehmensbereichen müssen in dieser Phase aktiv mitwirken. Durch eine Ist-Analyse werden die Handlungsfelder ermittelt. Mit Hilfe eines Prozessmodelles soll das Organisations-, Dokumentations- und Ressourcenmodell abgebildet werden (siehe dazu Abb. 57).

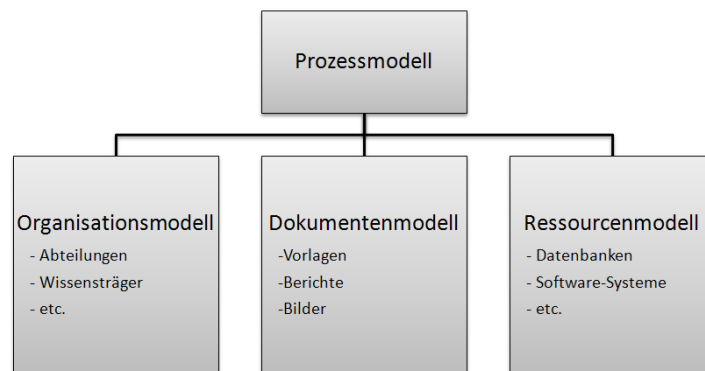


Abb. 57 Prozessmodell in Anlehnung an [79]

❖ Line-up

Aufbauend auf die strategischen Ziele sollen nun einzelne Teilziele abgeleitet werden. Es werden Projekte mit einer Zeitschiene definiert, mit Hilfe von Priorisierungen sowie einem Kosten-Nutzen Portfolio sollen sowohl kurz- als auch langfristige Verbesserungspotenziale erkannt und miteinander verglichen werden. Projekte werden also in dieser Phase auf ihre Sinnhaftigkeit und Umsetzung überprüft. Durch den Vergleich wird Transparenz geschaffen, durch die sachliche Gegenüberstellung werden persönliche und abteilungspolitische Faktoren neutralisiert. Wichtig sind die Verknüpfung aller Informationen sowie die Ausarbeitung möglicher Darstellungsformen für die Datenbank.

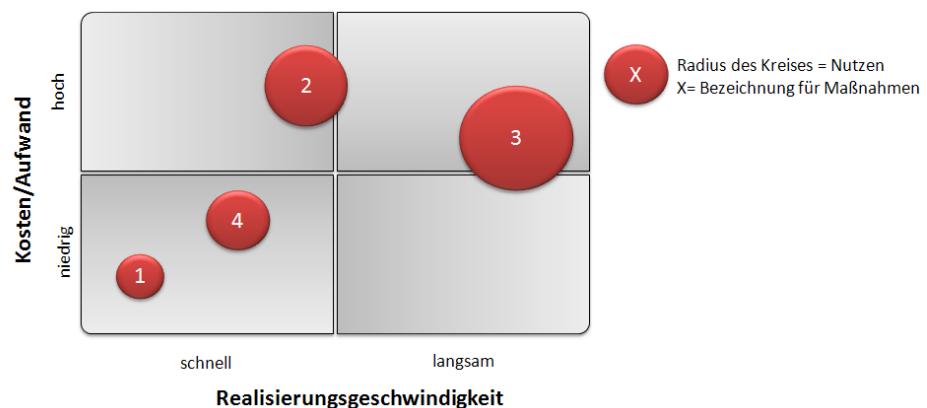


Abb. 58 Gegenüberstellung Kosten-Nutzen nach [79]

### ❖ Transfer

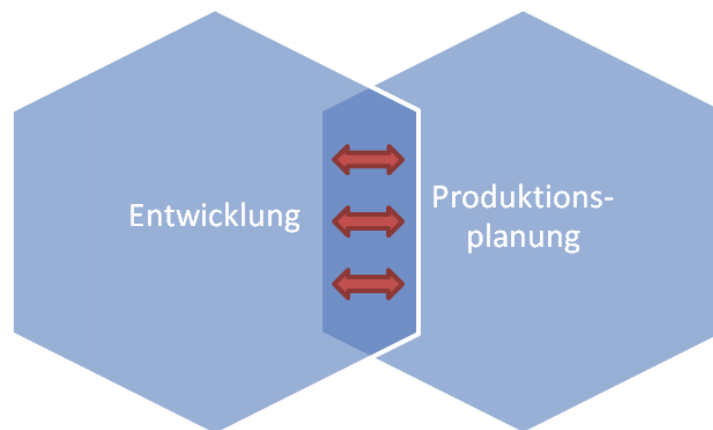
In dieser Phase werden alle definierten Ziele umgesetzt. Es ist eine der kritischsten Punkte im gesamten Projekt, da für die Umsetzung der Vorschläge und Ziele große Ressourcen benötigt werden. Speziell bei der Umsetzung von Datenbanken wird in dieser Phase die Akzeptanz der Mitarbeiter sichtbar.

### ❖ Gates

Schließlich sollen die umgesetzten Projekte bewertet werden. Dabei werden alle Verbesserungen, die durch die Einführung der Datenbank erzielt wurden, gesammelt und bewertet. Dies kann in Form von Fragebögen oder Interviews durchgeführt werden. Grundsätzlich ist es sehr schwierig, Datenbanken oder die Dokumentation von Daten mit einer sinnvollen Einheit zu bewerten. Jedoch können zur Bewertung auch vorhergegangene Projekte verglichen werden. Die Durchlaufzeit zum Beispiel für die Angebotslegung kann als eine sinnvolle Bewertungsgröße herangezogen werden.

Bei der Implementierung einer Datenbank sollte schematisch nach Kapitel 8.2 vorgegangen werden. Neben den definierten Prozessschritten ist das Sammeln von Informationen in Form von Interviews mit den Mitarbeitern oder durch Teilnahme an Besprechungen in den jeweiligen Fachbereichen sehr wichtig. So können wertvolle Schlüsselgrößen ermittelt werden. Zusätzlich steigt durch den persönlichen Kontakt mit den Mitarbeitern das Vertrauen in das Projekt, viele sensible Themen können so direkt aus erster Quelle gesammelt werden. Eine weitere Methode zur Informationsgewinnung ist die Verteilung von Fragebögen. Diese Methode erfolgt wesentlich schneller als z.B. das Durchführen von Interviews, jedoch können somit weniger Informationen ausgetauscht werden. Bei der Identifikation von prozessnotwendigen Wissensressourcen dient die Schnittmenge der gewonnenen Informationen zwischen den Abteilungen als wichtige Größe für die Definition der Schnittstellen (vergleiche dazu Abb. 59).

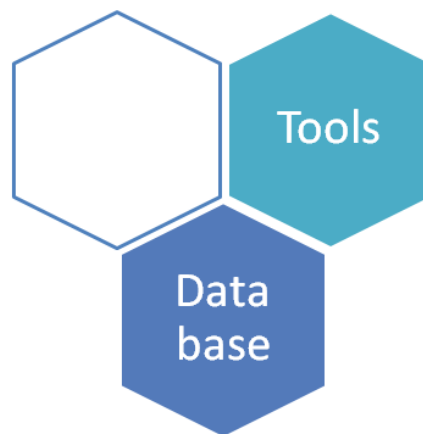




**Abb. 59** Definieren der Schnittstelle

Sensible Bereiche werden somit nicht an unberechtigte Gruppen bzw. User weitergegeben und reduzieren zusätzlich den Datenumfang zwischen den Abteilungen. Das Definieren von Schnittstelleninformationen kann auch für Suchfunktionen behilflich sein. So ist durch die Vergabe von Keywords, welche den einzelnen Themen zugeordnet sind, eine schnelle Suche gewährleistet. Als Beispiel für jene Schnittmenge an Informationen aus der Entwicklung und Produktion kann die Schweißtechnik gesehen werden. Durch eine Angabe von verfügbaren Schweißzangen kann bereits in der Entwicklung Rücksicht auf spätere Fertigungsprozesse genommen werden. So werden Bauteile an bestehende Anlagen angepasst – Neuinvestitionen für Schweißzangen können somit deutlich reduziert werden.

## 9 Datenbankmodell



**Abb. 60** Grundbausteine des Datenbankmodells

Das in dieser Arbeit vorgestellte Datenbankmodell besteht aus zwei Grundbausteinen, welche alle vorhandenen Prozesse in der frühen Phase eines Projektes abdecken. Die Grundbausteine Tools und Database sollen im Anschluss näher erklärt werden. Das in Abb. 60 vorgestellte Modell soll als ein Gedankenmodell zum Strukturieren und Aufbauen einer einheitlichen Datenbank dienen. Als Platzhalter für etwaige Schnittstellen oder Erweiterungen ist das leere Modul dargestellt.

Der modulare Aufbau dieser Datenbank ermöglicht eine einfache Anpassung an die Geschäftsbereiche und hat darüber hinaus den wesentlichen Vorteil, das Modell mit zusätzlichen Modulen in beliebiger Ebene zu erweitern. Für die Umsetzung der Datenbank gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, jedoch erweist sich die Nutzung bereits vorhandener Plattformen als einfach und kostengünstig. Daher ist eine Implementierung des Programmes in das Intranet des Unternehmens zu empfehlen. Mögliche Programme dafür werden in einer Vielzahl von unterschiedlichen Softwarehäusern angeboten und können bei der Umsetzung dieser Datenbank helfen. Als Beispiel ist hier z.B. die Customer Knowledge Database von IBM zu nennen [86].

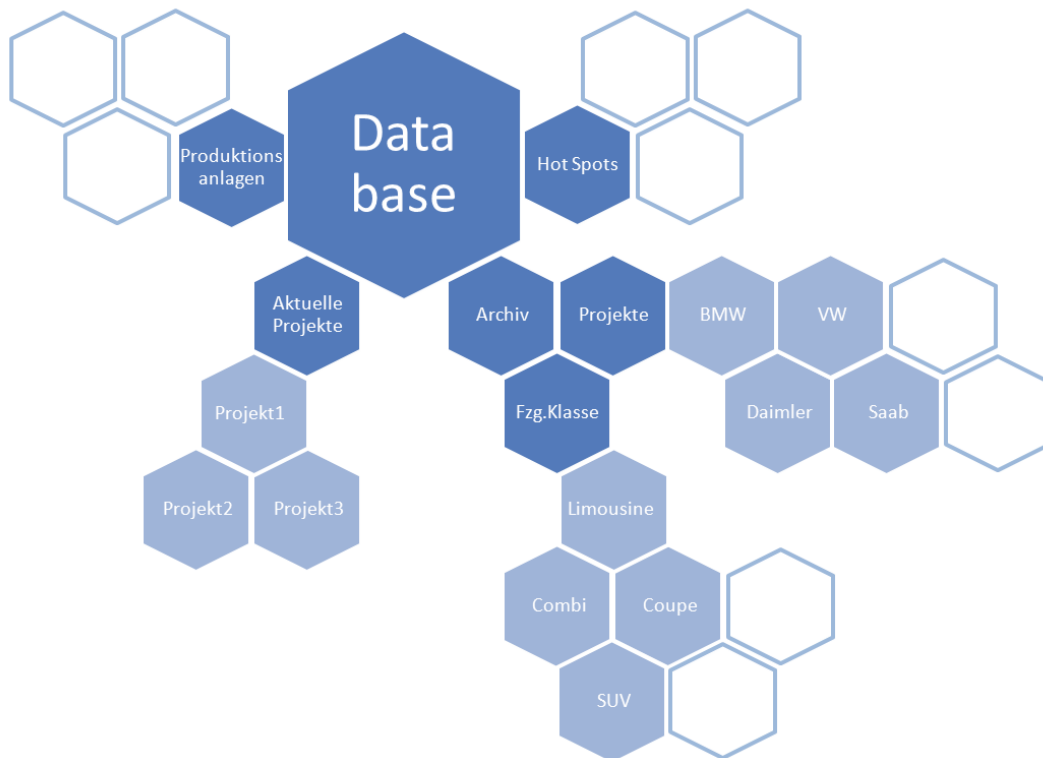
Durch die zuvor erwähnte Modularisierung kann die Intranetplattform auch für externe Entwicklungsgruppen oder Zulieferer angepasst bzw. zugänglich gemacht werden. Basierend auf der Browsertechnologie können Informationen und bereits vorhandene Datenbanken wie z.B. Abteilungen mit den dazugehörigem Personal verlinkt werden. Als Subsysteme werden in der vorliegenden Arbeit ausschließlich MS-Office Anwendungen verwendet. Somit ist eine Verwendung der Daten ohne Einarbeitungsaufwand der Mitarbeiter möglich. Anfallende CAD-Daten werden zur Visualisierung in der Datenbank in Form von Screenshots abgelegt und referenzieren durch eine zusätzliche Angabe auf die tatsächlichen CAD-Daten.

Anhand von Interviews sowie durch die Teilnahme an Besprechungen wurden einige wichtige Verbesserungspotenziale ermittelt, welche für den Aufbau einer Datenbank sehr behilflich sind. Diese sollen kurz erklärt werden:

- ❖ Durch den hohen Zeitdruck in der frühen Projektphase werden oft unterschiedliche Varianten des Projektes für den Kunden dargestellt. In Hinblick auf die Aktualität der Daten und den tatsächlichen Projektstand gibt es keine standardisierte Form der Dokumentation.
- ❖ Oft gehen in den Schnittstellen wichtige Informationen verloren, da abteilungsübergreifend unterschiedliche Datenmedien verwendet werden.
- ❖ Die Darstellung von Informationen zu Toleranzen, Referenzsystemen, Spann- und Fixierkonzepte, Fügefolgen sowie Fügetechnik werden nur auf Abteilungen fokussiert, in denen sie selbst generiert werden. Bauteilübergreifende Informationen sind in vielen Fällen für andere Abteilungen nicht sichtbar oder zugänglich.
- ❖ Tatsächlich eingesetzte Baustände werden aufgrund von fehlenden Richtlinien in der Produktion nicht dokumentiert. Dadurch verbleibt dieses Wissen nur in der Produktion – der Informationsfluss entgegen der Entwicklungsrichtung zum Engineering kann dadurch nicht fließen.
- ❖ In jedem Teilprozess werden unterschiedliche Vorlagen und Daten zur Bearbeitung der Aufgaben in den einzelnen Abteilungen verwendet. Es gibt keine einheitlichen Vorlagen oder Modelle, welche besser auf eine abteilungsübergreifende Kommunikation ausgerichtet sind.
- ❖ Die Wiederverwendung von bereits vorhandenen Daten ist nur erschwert möglich. Dies ist auf eine mangelhafte Kategorisierung sowie Strukturierung zurück zu führen.

## 9.1 Database - Datenbank

Die nun beschriebenen Verbesserungspotenziale fließen in die Gestaltung der Datenbank ein. Die in Kapitel 9 dargestellten Grundbausteine Tools und Database sollen dabei den Anfang für ein flexibles Kommunikationswerkzeug bilden.



**Abb. 61** Archivierung vorhandener Daten aus früheren Projekten

Das Modul „Database“ bzw. Datenbank soll eine einheitliche Form der Archivierung von laufenden und bereits abgeschlossenen Projekten darstellen. Durch eine standardisierte Darstellung können Informationen zu Kostenschätzungen und tatsächlich angefallenen Kosten am Projektende verglichen werden.

### 9.1.1 Aktuelle Projekte

Eines der größten Verbesserungspotenziale zwischen der frühen Konzeptphase und Produktionsplanung ist die schriftliche bzw. digitale Dokumentation der Besprechungen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. Bedingt durch den hohen Zeitdruck erfolgen wichtige Informationen oft auf verbalem Wege, weshalb nicht direkt teilnehmende Parteien an Verhandlungsgesprächen nur unvollständige Informationen über die tatsächlichen Angebotsumfänge bekommen. Mögliche Darstellungsformen für Dokumentationen bieten sich zum Beispiel durch eine Microsoft Word Datei an. Hier können durch ein standardisiertes Protokoll die wichtigsten Informationen festgehalten werden. Eine weitere, sinnvolle Ergänzung zu diesem Protokoll ist das Aufzeichnen der Downloads. Dadurch kann zurückverfolgt werden, in welchen Abteilungen diese Protokolle benötigt werden, um diese bei einer Änderung des Projektes verständigen zu können. Somit erhalten alle Abteilungen immer ein Update über neue Auftragsänderungen.

### 9.1.2 Archiv

Über das Modul Archiv wird auf bereits abgeschlossene Projekte zugegriffen. Diese unterteilen sich in Fahrzeugklassen und Auftraggeber, für die bereits Projekte durchgeführt wurden. Diese Aufteilung der Projekte nach Hersteller und Fahrzeugklassen soll auch dazu dienen, die Wiederverwendbarkeit von OEM-spezifischen Daten für zukünftige Projekte zu gewährleisten. Aus Geheimhaltungsgründen müssen jedoch die sensiblen Daten gegenüber Projekten mit anderen Herstellern abgegrenzt oder zumindest in einer neutralen Form zugänglich gemacht werden.

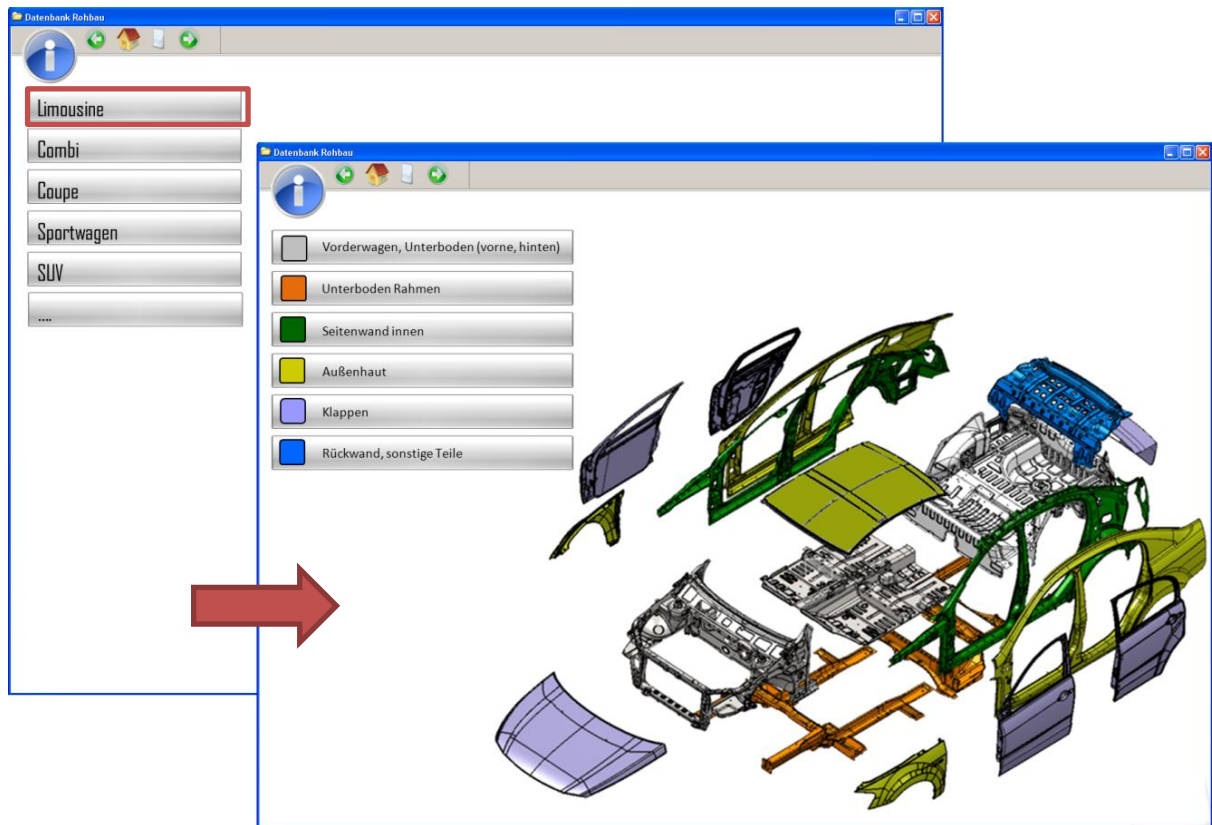
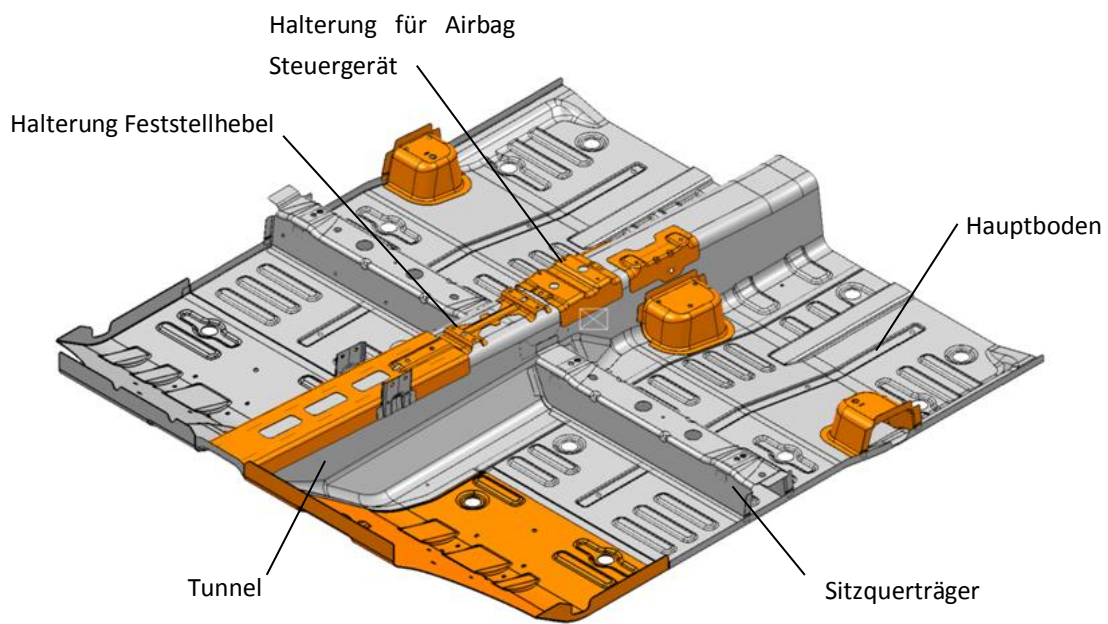


Abb. 62 Darstellung eines möglichen Datenmodells

Über diese Submodule kann man auf Explosionszeichnungen von bereits bestehenden Fahrzeugen zugreifen, welche beispielhaft in Abb. 62 dargestellt sind. Prinzipiell unterscheiden sich in der Schalenbauweise die Fahrzeughersteller nur relativ wenig voneinander. Deshalb kann eine Aufteilung der Fahrzeuge in Hauptbaugruppen nach ein und demselben Schema erfolgen: Vorderwagen, Unterboden vorne, Unterboden hinten, Seitenwand innen, Außenhaut, Klappen, Rückwand und sonstige Teile. Bei einer gewählten Fahrzeugklasse und einer anschließenden Baugruppe können in der dritten Ebene die einzelnen Komponenten der Baugruppe dargestellt werden. Das in Abb. 63 dargestellte Beispiel eines Unterbodens soll die Darstellungsform möglicher Baugruppen zeigen. Die Nummerierung der Bauteile sollte grundsätzlich einer Systematik folgen. Bei einer späteren Auflistung der Teile in Form einer Excel-Liste können diese erheblich leichter den jeweiligen Baugruppen zugeordnet werden.



**Abb. 63** Beispiel einer detaillierte Ansicht einer Baugruppe

In Bezug auf die dargestellte Baugruppe in Abb. 63 kann man nun in der Datenbank sowohl grafische als auch technische Informationen über Größe, Bauteilmenge, Material usw. festhalten. So besteht die Baugruppe Unterbau etwa aus 20 Einzelteilen, welche in der Regel durch Widerstandspunktschweißen miteinander verbunden werden. Alternative Fügeverfahren wären in diesem Fall Kleben oder Laserschweißen. Es werden etwa 160 Verbindungselemente (Schweißpunkte) gesetzt [64]. Diese Informationen können in Form von Excel-Listen zusätzlich dargestellt werden und geben bereits im Vorfeld Informationen über technische Details dieser Baugruppe. Ein weiterer Ansatz zur Verbesserung der Prozesse zwischen Konzeptphase und Produktionsplanung ist eine produktionsgerechte Darstellung der Stücklisten. Während der Konstrukteur eine funktionelle Sicht in der Gestaltung von Baugruppen verfolgt, fließen in der Produktionstechnik mehrere Faktoren für die Aufteilung der Baugruppen mit ein: Fügefolge, Produktionslinie, Logistik, Spannkonzeppte und vieles mehr. Somit entsteht mit zunehmendem Projektfortschritt parallel zur ursprünglichen Teilstückliste eine Fertigungsstückliste, die bedingt durch die Anforderungen aus der Produktion einen anderen Fokus setzt. Somit könnte mit Hilfe dieser Datenbank eine produktionsbasierte Struktur vorgegeben werden, die spätere Nachbesserungen in der Produktionsplanung reduziert.

### 9.1.3 Produktionsanlagen

In diesem Modul werden Informationen aller für den Rohbau relevanten Produktionsanlagen wie Spannvorrichtungen, Schweißzangen, Nietzangen, Fördervorrichtungen etc. dokumentiert. Hier sollen wichtige Prozess- und Ressource-Informationen für Neukonstruktionen hinterlegt werden, welche eine produktionsgerechte Rohbauentwicklung unterstützen. Das heißt, dass Neubauteile nicht die Fertigungsanlagen bestimmen, sondern aufgrund bereits bestehender Fertigungseinrichtungen Bauteile an gegebene Randbedingungen angepasst werden. In der Industrie wird diese Arbeitsweise „Design for Re-Tooling“ genannt.

Ein weiterer Vorteil für die elektronische Darstellung von Produktionsanlagen liegt in der Produktionsabsicherung. Generell wird im Produktentstehungsprozess ein möglichst früher Absicherungstermin angestrebt, um eine möglichst genaue Aussage über die Prozessfähigkeit oder sogar über die Produzierbarkeit eines Bauteils urteilen zu können. Durch die Abbildung von sogenannten Schweißzangen-Dummies im CAD können die Entwickler auf diese Modelle zugreifen und mögliche Kollisionen beim Fügeprozess Punktschweißen frühzeitig erkennen. Prinzipiell werden diese Werkzeuge bereits großflächig von der Produktionsplanung verwendet. Jedoch besteht hier das Bestreben, diese Überprüfungen unmittelbar nach Konstruktionsbeginn einzuführen, da Iterationsschleifen innerhalb einer Abteilung deutlich kleiner sind als abteilungsübergreifend.

### 9.1.4 Hot Spots

Mit diesem Modul sollen kritische Prozessphasen aus vorhergegangenen Projekten dokumentiert werden. Dabei sollen mögliche Schnittstellenprobleme aufgezeigt und mit Hilfe von Verlinkungen in der bestehenden Datenbank mit anderen Modulen in Beziehung gebracht werden. So sollen zum Beispiel bei der Darstellung einer Baugruppe aus dem Datenbankarchiv mögliche Schwierigkeiten in Form von Notizen aus den zuständigen Fachbereichen erscheinen. Der Benutzer wird darauf hingewiesen, dass es zu diesem Bauteil kritische Punkte gegeben hat und kann sich gegebenenfalls die Protokolle für die Lösung der Probleme aus der Datenbank downloaden. Durch die Angabe des Autors bzw. Bauteilverantwortlichen, welcher im vorhergegangenen Projekt für die Lösung des Problems verantwortlich war, kann man persönlich Kontakt aufnehmen und fördert zusätzlich die abteilungsübergreifende Kommunikation.



Eine mögliche Darstellungsform dieser Maske soll Abb. 64 zeigen. Diese Dokumentenform soll vorzugsweise tabellarisch aufgebaut sein, weshalb auch die Nutzung von Microsoft Excel dafür sehr geeignet ist. Bei der Erstellung von Kommentaren bzw. Dokumentationen zu kritischen Bauteilen muss der User anfangs die Baugruppe, Bauteile und einen Betreff angeben. Dies ermöglicht eine rasche Suche der Bauteile und erleichtert das Navigieren in der Tabelle. Die Ampelsymbole sollen dabei eine grobe Schätzung über die entstandenen Probleme machen. Eine gelbe Bewertung bedeutet, dass das Problem nur leichte Auswirkungen auf die Umsetzung in der Produktion gehabt hat, hingegen führt eine rotgelbe Ampel zu Verzögerungen in der Entwicklung. Eine rote Ampel sollte wenn möglich nicht vergeben werden, da dies eine Verzögerung des SOP bedeutet. Schließlich symbolisiert eine grüne Ampel lediglich eine Bemerkung vom Bauteilverantwortlichen. Dies hat keinerlei Auswirkungen auf die Produktentwicklungszeit.




	Nr.	Baugruppe	Bauteil	Betreff
				
	9	Unterboden_vorne	Vordersitz_Halterung_Innen	Fügetechnik
				Flanscbreite für Fügestelle nicht ausreichend. Bitte auf 15 mm vergrößern. (Hr. Hubert/PP)
	2	Unterboden_vorne	Vordersitz_Halterung_Innen	Zugänglichkeit
				Schweißzangenzugänglichkeit bei vorhergehenden Projekt kritisch. Investitionskosten für neue Schweißzangen XX T€.Bei Verkürzung von Bauteil Nr. 10 neue Schweißzange nicht notwendig! (Hr. Berger/PX)

Abb. 64 Beispiel zur Darstellung von Hot Spots

## 9.2 Tools

Dieses Modul des Datenbankmodells fokussiert auf Anwendungen im Bereich Kostenschätzung, Kostenkontrolle sowie die Aufbereitung von externen Daten, welche in Form von Stücklisten zur Angebotslegung verwendet werden.

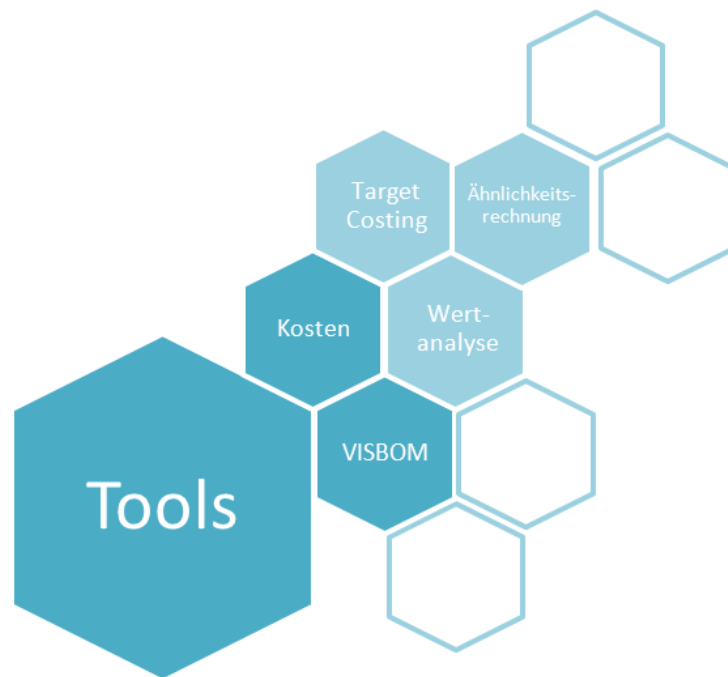


Abb. 65 Datenbankmodul Tools

### 9.2.1 Target Costing - Zielkostenrechnung

Das Target Costing oder Zielkostenmanagement stellt ein strategisch ausgerichtetes Controllingsystem dar und gehört zu den Kostenmanagementsystemen [87]. Im Gegensatz zu traditionellen Kostenschätzungsarten richtet sich bei Target Costing die Produktentwicklung nach dem vom Markt akzeptierten Preis. Das heißt, dass die Entwicklung im Unternehmen einen Kostenrahmen bekommt, der nicht überschritten werden darf. Daher wird die klassische Fragestellung „wie viel ein Produkt kostet“ durch die Frage „was darf das Produkt kosten“ ersetzt (in Anlehnung an [87]).

Werden die Kosten für die zu entwickelnde Karosserie bestimmt, gilt es, diese im Verlauf der Entwicklung permanent zu kontrollieren. Dabei ist eine Splittung des gesamten Rohbaus in kleinere Baugruppen vom Vorteil. Die so ermittelten Teilkosten lassen sich genauer ermitteln und der relative Gesamtfehler der Karosserie ist immer kleiner als die

relativen Fehler der Unterbaugruppen. Große Module müssen auch genauer geschätzt bzw. kalkuliert werden als kleinere, da die absoluten Abweichungen mit steigendem Kostenanteil größer werden. Wichtig bei dieser Methode ist eine regelmäßige Dokumentation der Kosten. Bei kritischen Projektumfängen können so bereits im Vorfeld etwaige Probleme sensibilisiert werden. Eine mögliche Darstellungsform ist in Abb. 66 zu sehen. In Form einer Excel Tabelle fließen alle entstandenen Kosten in regelmäßigen Zeitabständen zusammen und zeigen während eines Projektes bereits vorhandene Tendenzen zum Überschreiten der Zielvorgaben (in Rot dargestellt).

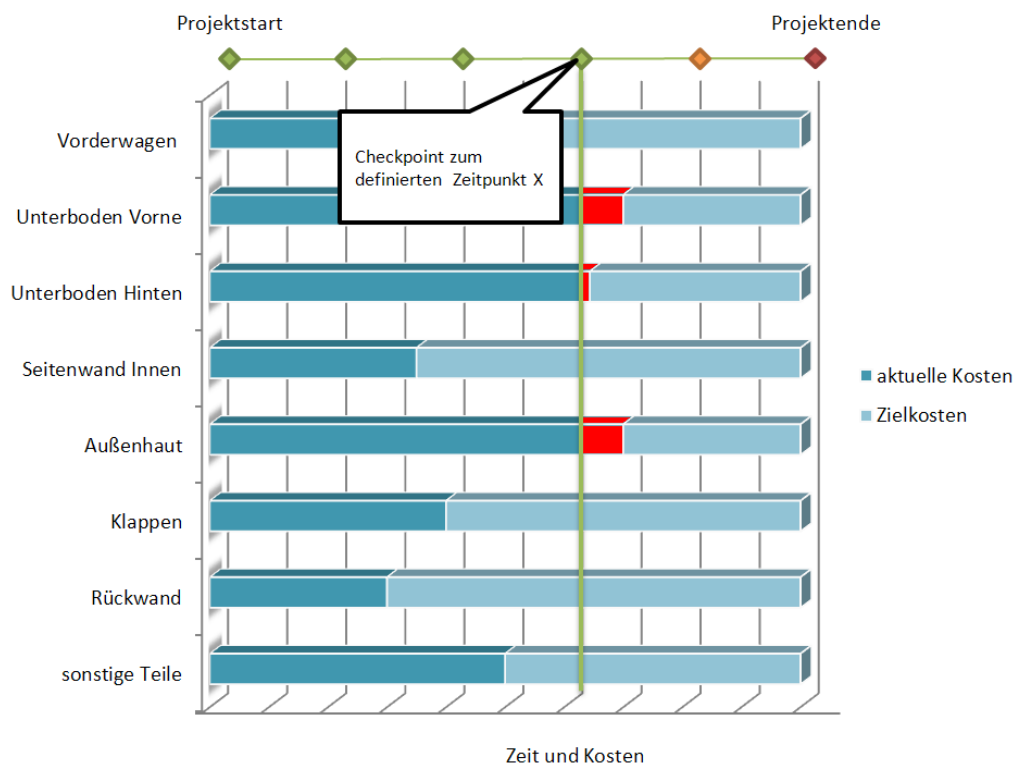


Abb. 66 Beispiel für Darstellungsform von Zielkosten

### 9.2.2 Wertanalyse als Werkzeug von Target Costing

Die Wertanalyse beschränkte sich ursprünglich auf bereits entwickelte Produkte und sollte dabei helfen, diese kostengünstiger ohne Minderung der Qualität oder Produktsubstanz herzustellen. In Verbindung mit Target Costing kann die Wertanalyse bereits in der frühen Entwicklung eingesetzt werden und bekommt somit einen präventiven Charakter in der Kostenentstehung. Im deutschsprachigen Raum wird dabei irrtümlich von Value Engineering gesprochen, obwohl das die englische Übersetzung des Begriffes Wertanalyse ist. Die Hauptaufgabe ist somit die Kostensenkung, wobei hierbei nicht auf die Beschaffenheit des Produktes fokussiert wird, vielmehr steht die gewünschte Funktion im Vordergrund, unabhängig davon, wie diese realisiert wird. Beim

Überschreiten von „Target Costs“, also beim Nichterreichen von Zielkostenvorgaben, können mit Hilfe der Wertanalyse mögliche Potenziale zur Kosteneinsparung aufgezeigt werden.

### 9.2.3 Ähnlichkeitsrechnung

Ähnlichkeitsrechnungen können ein wertvolles Werkzeug zur schnellen Kostenschätzung sein. Gerade im Rohbau können Einzelteile durch ihre ähnliche Beschaffenheit in Hinblick auf Material, Blechstärke und Fertigung miteinander verglichen werden. Als Referenzgrößen können zum Beispiel das Gewicht oder die groben Abmessungen des fertigen Bauteils herangezogen werden. Diese Art der Kostenschätzung basiert auf empirisch ermittelten Werten und sollte nur für sehr ähnliche Produkte verwendet werden.

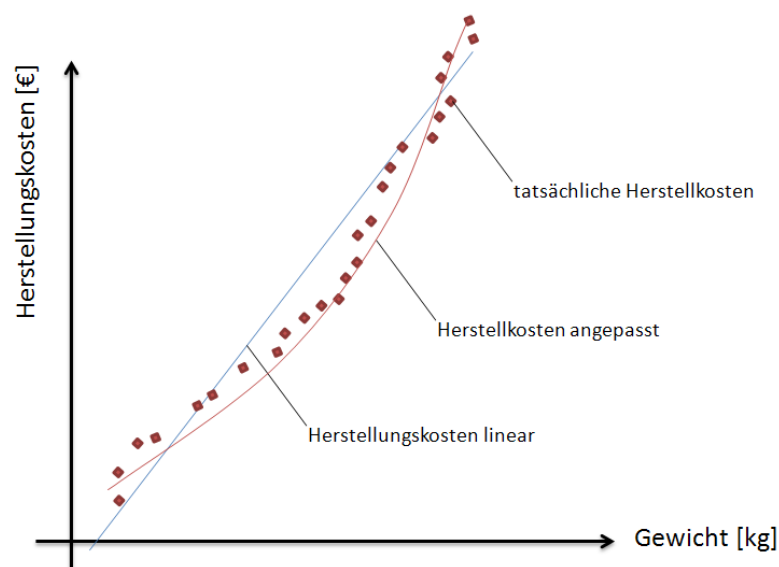


Abb. 67 Zusammenhang zw. Herstellkosten und Gewicht

### 9.2.4 VISBOM (Virtual Bill Of Materials)

Die VISBOM stellt ein makrobasiertes Werkzeug zur Bearbeitung von Stücklisten dar, welche in Form von Excel Tabellen vorliegen. Stücklisten bilden zu Beginn eines Projektes eine wichtige Kommunikationsmöglichkeit zwischen den Abteilungen und werden oft als Referenz für die angebotenen Projektumfänge herangezogen. Eines der großen Probleme zwischen OEM und Zulieferfirma ist jedoch die Abstimmung bzw. das Fehlen an standardisierten Schnittstellen. Durch die Vielzahl an unterschiedlichen OEMs muss die Konzeptphase der Zulieferfirma viel mehr an den Kunden angepasst werden, d.h. der OEM versucht, die Zulieferfirma in seine eigenen Normkanäle zu „pressen“. Dies resultiert

in unterschiedlichen Dateiformaten, Strukturen oder Zuteilungen der Einzelbauteile zu Fahrzeuggruppen. Daher werden am Anfang des Projektes viele Ressourcen zum Sortieren und Verarbeiten der eingegangenen Stücklisten verwendet.

Während der Ist-Analyse hat sich gezeigt, dass entlang der Produktionsplanung und Konzeptphase folgende Verbesserungspotenziale transparent geworden sind:

- ❖ Die Stückliste enthält viele Teile aus den unterschiedlichen Bereichen des Fahrzeuges. Das heißt, dass Baugruppen wie zum Beispiel Fahrwerk, Motor usw. dargestellt werden und für die jeweiligen Abteilungen im Rohbau manuell aussortiert werden müssen.
- ❖ Stücklisten entsprechen einer externen Norm mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Viele Angaben bzw. Spalten werden von nachstehenden Abteilungen nicht verwendet, erschweren aber die Übersicht.
- ❖ Die Kodierung der Baugruppen erfolgt über Nummern und Buchstaben. Es ist nicht auf dem ersten Blick ersichtlich, nach welchem Schema die Fahrzeugstruktur gegliedert ist. Dies erschwert zusätzlich das manuelle Sortieren der Baugruppen.
- ❖ Allgemein sind stücklistenbasierende Daten für die Mitarbeiter schwieriger lesbar. So sind zum Beispiel COP-Teile (Carry Over Parts) in der Stückliste vermerkt, die grafische Darstellung mit unterschiedlichen Farben an einer Musterkarosserie ist seitens der Produktionsplanung zu bevorzugen.

Diese Punkte fließen nun bei der Gestaltung des Verarbeitungsprogrammes mit ein und werden mit Hilfe von Makros in Excel umgesetzt. Einer der wesentlichen Gründe für die VBA-basierte Programmierung ist die Möglichkeit der Anpassung durch die Verfügbarkeit des Source-Codes. So können etwaige Funktionen für einzelne Abteilungen individuell angepasst werden. Folgend sollen nun die Funktionen des Programmes erklärt werden. Die Bedienung des Programmes ist sehr intuitiv aufgebaut und bedarf keiner genaueren Betriebsanleitung. Treten dennoch zu einzelnen Zwischenschritten Fragen auf, so können über das Tutorial im Hauptmenü die einzelnen Funktionen und deren Befehle nachgeschlagen werden.

Die Verwendung von VISBOM setzt das Vorhandensein einer excelbasierten Stückliste voraus. Wesentliche Hauptfunktionen des Programmes sind das Sortieren von baugruppenspezifischen Positionen in der Gesamtfahrzeugstückliste sowie das Anpassen der abteilungsrelevanten Informationen. So kann unabhängig von der Formatierung, Nummerierung, Zeilen- sowie Spaltenzahl jeweils eine angepasste Stückliste generiert werden, ohne dabei das Original zu verändern. Durch die Angabe des Erstellungsdatums

der modifizierten Datei kann immer die Version bestimmt werden, um eine Vergleichbarkeit der Dateien gewährleisten zu können.

Ein zweites Modul für das Modifizieren der originalen Stückliste ist das Aussortieren bzw. Filtern von überflüssigen Informationen. Wie schon zuvor erwähnt, werden herstellerepezifische Angaben in vielen Spalten der Stückliste festgehalten, welche in der frühen Konzeptphase nicht notwendig sind. Beim Aufrufen der Suchfunktion von VISBOM werden automatisch alle Spaltenbezeichnungen eingelesen, um diese komprimiert in einem Fenster übersichtlich darstellen zu können. Dabei werden nur die Bezeichnungen aus dem Spaltenkopf aufgezeigt. Diese können nun durch den Benutzer gewählt werden und übernehmen automatisch alle Inhalte der Spalten. Zusätzlich zu dieser Filterfunktion können auch Spalten mit einer eigenen Bezeichnung generiert werden.

Im Anschluss stehen dem Benutzer unterschiedliche Dateiformate zur Auswahl. So kann die neu generierte Stückliste in Excel, PDF oder sogar in PowerPoint abgespeichert werden.

### ❖ **Erweiterungsmöglichkeiten von VISBOM**

Ein wesentliches Bestreben seitens der Produktion ist das Zusammenführen von Stücklisten mit generierten Fahrzeugvorlagen. Das heißt, dass bereits vorhandene Bauteile aus einer Datenbank mit neuen Stücklisten verknüpft werden und somit eine grafische Darstellung der zu entwickelnden Karosserie ermöglicht wird. Dabei spielt die Genauigkeit des Designs keine entscheidende Rolle. Wichtig ist die Erfassung von groben Fahrzeug-, Modul- und Bauteilabmessungen sowie weiteren produktionsrelevanten Informationen, wenn diese seitens des OEMs in der frühen Konzeptphase nicht zur Verfügung gestellt werden. Eine vereinfachte Darstellung in Form von PowerPoint oder PDF beschleunigt die Kommunikation zwischen den Abteilungen und hilft dabei, die Unschärfe bei der Kostenschätzung zu reduzieren (siehe dazu Abb. 68).

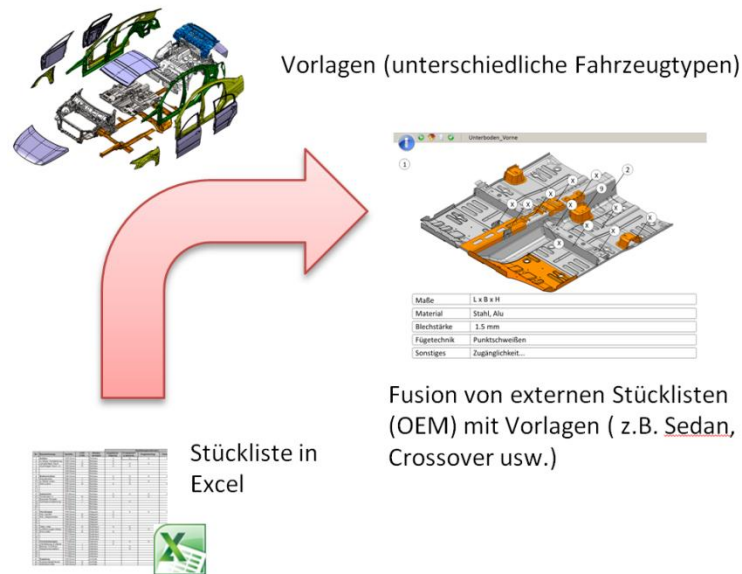


Abb. 68 Zusammenführung von Stückliste und Fahrzeugvorlagen

Eine weitere Möglichkeit zum Generieren von Stücklisten ist das direkte Herauslesen von CAD-Daten. Durch die Produktstruktur im Stammbaum können bei bereits vorhandenen CAD-Bauteilen schnell Stücklisten ohne manuelle Bearbeitung abgeleitet werden. Eine zusätzliche Ableitung der tatsächlichen Bauteile in Form von automatisierten Screenshots ermöglicht eine erneute Darstellung von Bauteilen und Baugruppen. Diese Methode wurde im Zuge der Diplomarbeit nicht ausgearbeitet und ist nur ergänzend erwähnt.

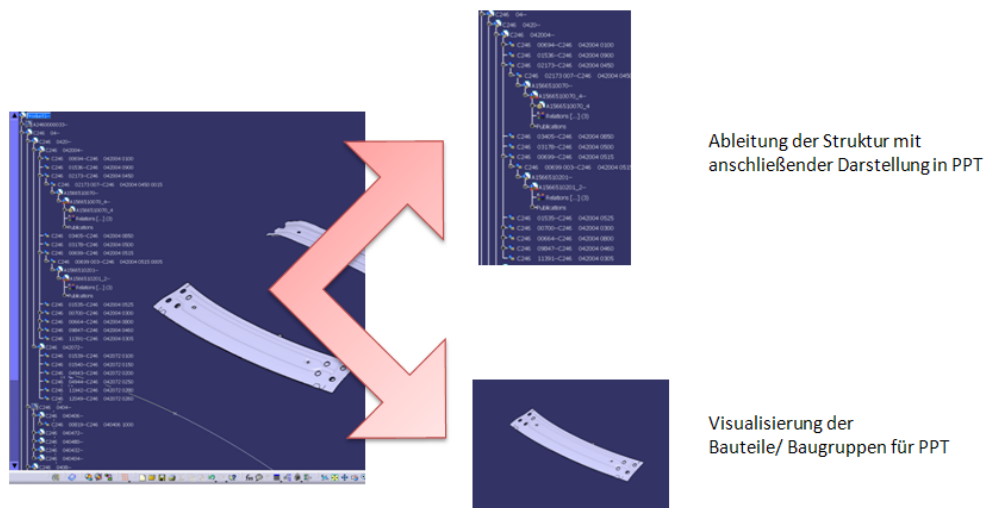


Abb. 69 Mögliche Methode zur Ableitung von Stücklisten

### 9.3 Zuordnung der Tools und Methoden im Entstehungsprozess

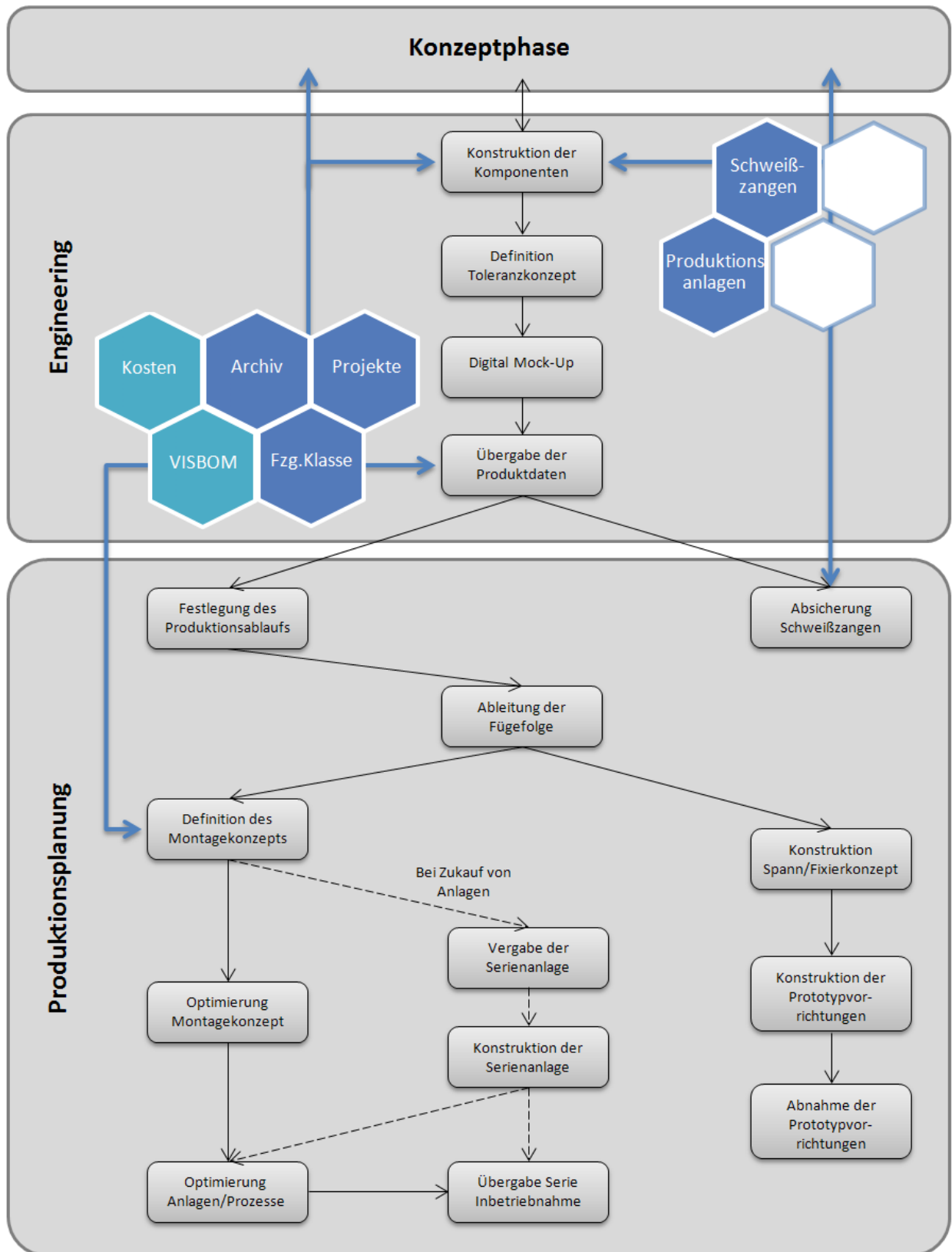


Abb. 70 Anwendung von Methoden und Tools in der Produktentstehungsphase in Anlehnung an [70]



Die in Abb. 70 dargestellten Prozessketten sollen mögliche Einsatzbereiche der vorgestellten Methoden und Werkzeuge darstellen. Zur Vereinfachung wird hier die Konzeptphase ohne detaillierte Prozesse abgebildet und beinhaltet die Phase der Angebotslegung. Durch den Einsatz von SE Teams zwischen Engineering und Konzeptphase kann diese Schnittstelle sehr wohl als bidirektional gesehen werden. Im Fokus liegt nun die Verlinkung von Produktionsplanung, Engineering sowie Konzeptphase. Durch eine genaue Dokumentation aus vorhergegangenen Projekten kann nun über die Datenbank auf detaillierte Informationen über Kosten aus anderen Fahrzeugprojekten zugegriffen werden. Des Weiteren kann über den Anlagenbestand (z.B. Schweißzangen, Roboter) eine genauere Aussage über die Serienanlage gemacht werden. Mit Hilfe des VISBOM-Tools werden die am Angebot beteiligten Abteilungen ohne manuelle und aufwendige Aufbereitung von bereits vorhandenen Stücklisten mit Informationen über Bauteile und Projektumfänge versorgt. Eine grobe Zuordnung der Bauteile nach dem Montagekonzept soll bereits das Engineering in der frühen Phase auf die Produktionsreihenfolge sensibilisieren und für eine produktionsgerechte Entwicklung sorgen. Somit können bei der Übergabe von Produktdaten viele Iterationsschleifen vermieden werden. Schließlich sollen alle abgeschlossenen Projekte in der Datenbank abgespeichert werden und für Folgeprojekte gepflegt und zugänglich gemacht werden.

## 10 Schlusswort

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Aufzeigen von Verbesserungspotenzialen in der frühen Phase der Karosserieentwicklung. Dabei soll speziell in der Angebotslegung die Streuung der geschätzten Kosten durch eine Verbesserung des Informationsflusses zwischen Produktionsplanung, Engineering und Konzeptphase reduziert werden. Die große Herausforderung dieser Zielsetzung ist das Abstimmen und Standardisieren von Daten, sodass eine einheitliche und vor allem auf den Nachfrager angepasste Informationsversorgung gewährleistet ist.

Im Zuge der Diplomarbeit hat sich gezeigt, dass gerade in der frühen Phase sehr wenige Informationen über die zu entwickelnde Karosserie bestehen. Viele Angaben aus der Produktion basieren auf Schätzungen und Erfahrungswerten aus der Vergangenheit und weisen daher eine große Unschärfe auf. Durch den hohen Zeitdruck ist auch eine einheitliche Dokumentation des Projektstandes schwierig – viele Informationen und Anfragen passieren mündlich oder über E-Mail und sind daher für nicht direkt beteiligte Personen/ Interessensgruppen erschwert zugänglich.

Daher soll das in dieser Arbeit vorgestellte Datenbankmodell eine Anleitung bzw. einen möglichen Ansatz für die Gestaltung und Verbesserung von Informationsflüssen darstellen. Diese werden dokumentiert und fließen in beide Richtungen, also von der frühen Konzeptphase in Richtung Produktionsplanung und gegen die Entwicklungsrichtung, von der Produktionsplanung über das Engineering in die Konzeptphase.

Mit Hilfe der Datenbank sollen alle wesentlichen Funktionen bzw. Prozesse in der Entwicklung unterstützt werden. Somit werden bereits abgeschlossene Projekte nach sinnvollen Schlüsselgrößen gespeichert und für alle Mitarbeiter, die am neuen Projekt beteiligt sind, über das Intranet zugänglich gemacht. Des Weiteren sollen Kontrollinstrumente für die Projekte eingeführt werden. Diese können in Form von typischen Projektmanagementzielen formuliert sein: Regelmäßige Kontrolle von Kosten, Qualität und Terminen. Durch das makrobasierte Tool VISBOM soll schließlich bereits in den ersten Schritten eines Projektes bzw. in der Angebotslegung die Kommunikation

zwischen Konzeptphase, Engineering und Produktionsplanung verbessert werden. Durch die schnelle Aufbereitung von Informationen in Form von Stücklisten werden die einzelnen Abteilungen nur mit Informationen versorgt, die sie auch tatsächlich brauchen. Durch die Erstellung von generischen Fahrzeugen zur Visualisierung soll der Umgang mit noch nicht vorhandenen Teilen des neuen Fahrzeugs erleichtert werden.

Abschließend ist festzuhalten, dass die Verbesserung von internen Prozessen einer Zulieferfirma ein sehr komplexes und umfangreiches Thema ist. Dieses kann man mit einer Diplomarbeit nur ansatzweise aufzeigen. Verbesserungen bedürfen oft einer großen Umstellung der Unternehmenspolitik. Die kritischen Faktoren waren und sind nach wie vor der hohe Zeitdruck in der frühen Angebotslegung sowie die unscharfe Angabe der Konzepte und Umfänge der Fahrzeugprojekte. Dies resultiert in Pragmatismen entlang des Entwicklungsprozesses und lässt wenig Spielraum für Überlegungen neuer Ablaufprozesse.

Als Ergebnis dieser Arbeit kann zusammenfassend festgehalten werden, dass vorhandene Methoden aus der Literatur bedingt für die Rolle einer Zulieferfirma angewendet werden können, da durch die Vielzahl und Variabilität der Kunden bzw. OEMs die externen Schnittstellen immer neu definiert werden müssen. Hier ist es wichtig, vergangene Projekte so gut wie möglich zu dokumentieren, damit eine herstellerepezifische Wissensbasis aufgebaut werden kann. Erste Ansätze für universale Werkzeuge zeigen die in dieser Arbeit vorgestellten Makros zur Stücklistenverarbeitung, sodass ein erheblicher Anteil an manueller Arbeit für die Aufbereitung von Informationen reduziert werden kann.

# 11 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Benz Motorwagen 1868 [3] .....	3
Abb. 2 Das LifeDrive Konzept des BMW i3 [8] .....	5
Abb. 3 Unterteilung nach Transportaufgaben [10] .....	5
Abb. 4 Anforderungen an Kraftwagenaufbau nach [10].....	6
Abb. 5 Zielkonflikt von Gewicht und Kosten in Anlehnung an [14].....	8
Abb. 6 Überblick der Karosseriebauweisen, verglichen mit [7], [10], [11], [16], [17], [18]...9	
Abb. 7 Leiterrahmen eines Nutzfahrzeuges [19].....	10
Abb. 8 Mittragender Fahrgestellrahmen [11] .....	11
Abb. 9 Vergleich von Trägern in Stahl-Schalenbauweise (links) und Aluminium Space Frame Technologie (rechts) [22] .....	12
Abb. 10 Gegenüberstellung von Masse und Steifigkeiten beim Einsatz von Stahl und Aluminium [21] .....	13
Abb. 11 Beispiel einer selbsttragende Karosserie .....	15
Abb. 12 Türinnenblech aus lasergeschweißten Platinen [25] .....	15
Abb. 13 Herstellungsverfahren Presshärten [26] .....	16
Abb. 14 Hauptkomponenten einer PKW-Karosserie .....	18
Abb. 15 Beispiel für einen PKW-Unterboden .....	19

Abb. 16 Beispiel für einen Unterboden hinten .....	20
Abb. 17 Aufbau mit separierter Trägerstruktur .....	21
Abb. 18 Beispiel einer PKW-Seitenwand.....	22
Abb. 19 Konventionelle Dachstruktur eines PKW .....	23
Abb. 20 Anbauteile einer PKW Karosserie .....	24
Abb. 21 Differentialbauweise (links) vs. Integralbauweise (rechts) [30].....	26
Abb. 22 Mögliche Fügefolge einer PKW-Karosserie .....	27
Abb. 23 Mehrschichtlackierung [32].....	27
Abb. 24 SLS AMG Karosserie als Beispiel Hybrid Bauweise [94] .....	29
Abb. 25 Karosseriebauweisen und deren Trends in Anlehnung an [4] .....	30
Abb. 26 PKW Modellpalette von Volkswagen in Anlehnung an [36] .....	31
Abb. 27 Arten der Modularität [39].....	33
Abb. 28 Modularer Querbaukasten von VW [40].....	34
Abb. 29 Fügegruppen in Anlehnung an DIN 8593 .....	36
Abb. 30 Anwendungsbeispiele für Fügen durch Umformen [43] .....	37
Abb. 31 Fügevorgang eines Blindniets [43].....	38
Abb. 32 Fügefolge eines Schließringbolzens [43] .....	39
Abb. 33 Montagevorgang eines Stanzniets [46].....	40
Abb. 34 Marktgängige Systeme nach [48] .....	41
Abb. 35 Verfahrensablauf vom einstufigen Durchsetzfügen ohne Schneidanteil [47] .....	42
Abb. 36 Montageprozess einer Fließlochschraube [51] .....	43
Abb. 37 Querschnitt einer Klebung [53] .....	45

Abb. 38 Vergleich Punktschweißen und Buckelschweißen [55] .....	47
Abb. 39 Schweißwerkzeug der Firma HARMS+WENDE [57] .....	49
Abb. 40 Laserstrahlschweißen mit Schutzgas [56] .....	50
Abb. 41 Kostenvergleich unterschiedlicher Fügeverfahren nach [56] .....	50
Abb. 42 Produktentstehungsprozess mit „traditionellem“ Projektablauf [59] .....	51
Abb. 43 Phasen des Produktentstehungszyklus nach [58] .....	52
Abb. 44 Änderungskosten vs. Opportunitätskosten [62] .....	54
Abb. 45 Gegenüberstellung Sequentielles vs. Simultaneous Engineering [59] .....	55
Abb. 46 Operative Lösungsansätze des SE [63] .....	56
Abb. 47 Vergleich von Kostenreduktion, Kostenfestlegung und Änderungskosten [64] ....	57
Abb. 48 Unterscheidung zwischen Class A-,B-,C-Flächen am Beispiel einer Seitenwand ...	60
Abb. 49 Krafteinleitung beim Frontalaufprall [69] .....	61
Abb. 50 Prozessketten in der Automobilentwicklung in Anlehnung an [70] .....	62
Abb. 51 Entstehung von Abweichungen in Anlehnung an [74], [75], [76] .....	65
Abb. 52 Kernprozesse des Wissensmanagements [80] .....	70
Abb. 53 Beispielhafte Darstellung von Kompetenzen .....	72
Abb. 54 Schwerpunkte: Angebotsphase sowie Schnittstelle .....	
Produktentwicklung/Produktionsentwicklung (in Anlehnung an [83], [84]) .....	75
Abb. 55 Genauigkeit der Kostenschätzung basierend auf vorhergegangenen Projekten (in Anlehnung an [85]) .....	76
Abb. 56 Roadmap in Anlehnung an [79] .....	78
Abb. 57 Prozessmodell in Anlehnung an [79] .....	79

Abb. 58 Gegenüberstellung Kosten-Nutzen nach [79] .....	79
Abb. 59 Definieren der Schnittstelle.....	81
Abb. 60 Grundbausteine des Datenbankmodells.....	82
Abb. 61 Archivierung vorhandener Daten aus früheren Projekten .....	84
Abb. 62 Darstellung eines möglichen Datenmodells.....	86
Abb. 63 Beispiel einer detaillierte Ansicht einer Baugruppe [65] .....	87
Abb. 64 Beispiel zur Darstellung von Hot Spots .....	89
Abb. 65 Datenbankmodul Tools .....	90
Abb. 66 Beispiel für Darstellungsform von Zielkosten.....	91
Abb. 67 Zusammenhang zw. Herstellkosten und Gewicht .....	92
Abb. 68 Zusammenführung von Stückliste und Fahrzeugvorlagen.....	95
Abb. 69 Mögliche Methode zur Ableitung von Stücklisten.....	95
Abb. 70 Anwendung von Methoden und Tools in der Produktentstehungsphase in Anlehnung an [70].....	96

## 12 Literaturverzeichnis

- [1] „AutoBild Klassik,“ [Online]. Available: <http://www.autobild.de/klassik/artikel/mercedes-benz-300-sl-1215358.html>. [Zugriff am 18 05 2012].
- [2] „Essays For Students,“ [Online]. Available: <http://essaysforstudent.com/essay/Toyota-Production-System/80038.html>. [Zugriff am 22 02 2012].
- [3] „Daimler Global Media Site,“ Daimler AG, [Online]. Available: <http://media.daimler.com/dcmmedia/0-921-614318-49-859883-1-0-0-0-1-0-614318-0-3842-0-0-0-0.html?TS=1329486108669>. [Zugriff am 18 01 2012].
- [4] V. Schindler und I. Sievers, Forschung für das Auto von Morgen, Springer Verlag, 2008, ISBN 978-3-540-74150-3.
- [5] Torsten de Montigny, „Die Geschichte der Firma Lancia,“ [Online]. Available: <http://www.lancia-historie.de/technik.html>. [Zugriff am 17 01 2012].
- [6] M. Ebner, „BMW Group Pressclub Österreich,“ BMW Group, 02 09 2011. [Online]. Available: [https://www.press.bmwgroup.com/pressclub/p/at/pressDetail.html?outputChannelId=18&id=T0120135DE&left\\_menu\\_item=node\\_\\_2200](https://www.press.bmwgroup.com/pressclub/p/at/pressDetail.html?outputChannelId=18&id=T0120135DE&left_menu_item=node__2200). [Zugriff am 16 01 2012].
- [7] U. Knorra, „lightweight-design,“ [Online]. Available: <http://www.lightweight-design.de/index.php;do=show/site=lwd/sid=9564027714f59ea973fea4098790076/alloc=135/id=15484>. [Zugriff am 09 03 2012].
- [8] „Hi!tech,“ [Online]. Available: <http://www.hi-tech-online.com/ausgabe-311/hilife/das-modulare-auto.html>. [Zugriff am 05 03 2012].
- [9] „EURO NCAP,“ [Online]. Available: <http://de.euroncap.com/de/home.aspx>. [Zugriff am 10 04 2012].



- [10] H. Wallentowitz et al, Strategien in der Automobilindustrie, Vieweg+Teubner, 2009, ISBN 978-3-8348-0725-0.
- [11] R. Gscheidle, Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, Europa-Lehrmittel, 1999, Druck 54321.
- [12] J. Grabner und R. Nothhaft, Konstruieren von PKW Karosserien, Springer, 2006, ISBN-10 3-540-23884-0.
- [13] „Manager Magazin,“ [Online]. Available: <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/artikel/0,2828,348027,00.html>. [Zugriff am 09 03 2012].
- [14] A. Bührig-Polaczek und T. Röth, „Hybride Leichtbaustrukturen in Stahlblech-Leichtmetall-Verbundguss,“ in *15. Europäische Automobil-Leichtbaukonferenz*, Bad Nauheim, 2006.
- [15] H. Timm, „Leichtbau Technologie,“ [Online]. Available: <http://www.leichtbau-technologie.de/karosserie/artikel-leichtbau-als-kernkompetenz.html>. [Zugriff am 09 03 2012].
- [16] W. Hannibal, „Fachhochschule Südwestfalen,“ [Online]. Available: [http://www4.fh-swf.de/media/downloads/fbm/download\\_6/hannibal/automobilaufbaukarosserie/Vorlesung\\_05\\_Rahmenbauweise.pdf](http://www4.fh-swf.de/media/downloads/fbm/download_6/hannibal/automobilaufbaukarosserie/Vorlesung_05_Rahmenbauweise.pdf). [Zugriff am 09 03 2012].
- [17] „Andrew Beard's Blog,“ [Online]. Available: <http://andrewbeard.wordpress.com/>. [Zugriff am 09 03 2012].
- [18] „Conceptcarz - from concept to production,“ [Online]. Available: <http://www.conceptcarz.com/z19552/Gumpert-Tornante.aspx>. [Zugriff am 09 03 2012].
- [19] „Motor-talk.de,“ [Online]. Available: <http://www.motor-talk.de/news/weltpremiere-fuer-neue-plattform-t1162361.html>. [Zugriff am 06 03 2012].
- [20] H. Braess und U. Seiffert, Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, Vieweg, 2000, ISBN 3-528-03114-X.
- [21] E. Pfaffmann, „Internationale Technologie-Kooperation: Die Entwicklung der Spaceframe-Karosserie aus Aluminium des Audi Modells A8,“ Stuttgart, 2000, ISSN 1433-531X.
- [22] S. Macey und G. Wardle, „H-Point The Fundamentals Of Car Design & Packaging,“ 2008, ISBN 978-1-933492-37-7.
- [23] „Salzgitter AG,“ [Online]. Available: <http://www.salzgitter-flachstahl.de/de/News/Archiv/2006/22MnB5/>. [Zugriff am 10 04 2012].

- [24] „Schreier Metall,“ [Online]. Available: <http://www.schreier-metall.de/index.html>. [Zugriff am 11 04 2012].
- [25] „Tailored Blanks - Optimierte Bauteile aus Stahlblech,“ ThyssenKrupp Tailored Blanks GmbH, 2004.
- [26] C. Schäffner, „Warmblechumformung - Modifizierte Prozessrouten und Potenziale,“ Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH (SZMF), 2010.
- [27] „Industrieforum,“ [Online]. Available: <http://www.industrieforum.net/de/if/online/presshaerten-im-trend/>. [Zugriff am 11 04 2012].
- [28] „Autoliv,“ [Online]. Available: <http://www.autoliv.com/wps/wcm/connect/autoliv/Home/Media/New%20Products/Pedestrian%20Protection>. [Zugriff am 09 04 2012].
- [29] H. Steffan, *Vehicle Safety II*, Technische Universität Graz, Vorlesung 333.041, WS 2011.
- [30] B. Klein, *Leichtbau-Konstruktion*, Vieweg+Teubner, 2009, ISBN 978-3-8348-0701-4.
- [31] „Wirtschaftskammer Österreich,“ [Online]. Available: [http://portal.wko.at/wk/format\\_detail.wk?angid=1&stid=466849&dstid=0&titel=Altfahrzeuge%2C%20%C3%9Cbersicht](http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?angid=1&stid=466849&dstid=0&titel=Altfahrzeuge%2C%20%C3%9Cbersicht). [Zugriff am 08 03 2012].
- [32] „Fonds der Chemischen Industrie,“ [Online]. Available: [http://fonds.vci.de/template\\_downloads/tmp\\_fonds.vci.de/67870TextKle.pdf?DokNr=67870&p=111](http://fonds.vci.de/template_downloads/tmp_fonds.vci.de/67870TextKle.pdf?DokNr=67870&p=111). [Zugriff am 02 04 2012].
- [33] „U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION,“ [Online]. Available: <http://www.nhtsa.gov/cars/rules/import/fmvss/index.html>. [Zugriff am 09 04 2012].
- [34] S. Schlott, „ATZ Online,“ 09 02 2012. [Online]. Available: <http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/13254/Leichtbau-treibt-Schweissinnovationen.html>. [Zugriff am 22 02 2012].
- [35] C. Legner et al, „iPoint,“ [Online]. Available: <http://www.ipoint-systems.com/startseite/>. [Zugriff am 05 04 2012].
- [36] L.O. Gusig und A. Kruse, *Fahrzeugentwicklung im Automobilbau*, Hanser, 2010, ISBN 978-3-446-41968-1.
- [37] J. Gausemeier et al, *Vernetzte Produktentwicklung*, Carl Hanser Verlag, 2006, ISBN 978-3-446-22725-5.
- [38] G. Pahl und W. Beitz, *Konstruktionslehre - Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung*, Springer, 2004, ISBN 3-540-22048-8.
- [39] P. Henseler, *Die Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrix als Beitrag für eine differenzierte Betrachtung von Konfigurierungsproblemen*, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2003, Diss. ETH Nr. 15272.

- [40] „Volkswagen AG,“ [Online]. Available: [http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info\\_center/de/themes/2012/02/MQB.html](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/de/themes/2012/02/MQB.html). [Zugriff am 17 04 2012].
- [41] „Manager Magazin Online,“ [Online]. Available: <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/industrie/0,2828,828075,00.html>. [Zugriff am 17 04 2012].
- [42] W. Steinhilper und B. Sauer, Konstruktionselemente des Maschinenbaus I, Springer, 2011, ISBN 978-3-642-24300-4.
- [43] F. Ostermann, Anwendungstechnologie Aluminium, Springer, 2007, ISBN 978-3-540-71196-4.
- [44] „Industrieanzeiger,“ [Online]. Available: [http://www.industrieanzeiger.de/home/-/article/12503/31704028/CFK--und-Blechf%C3%BCgen-mit-Speed/art\\_co\\_INSTANCE\\_0000/maximized/](http://www.industrieanzeiger.de/home/-/article/12503/31704028/CFK--und-Blechf%C3%BCgen-mit-Speed/art_co_INSTANCE_0000/maximized/). [Zugriff am 31 03 2012].
- [45] M. Bangel, Analyse des Einflusses organischer Beschichtungen auf Fügeelementausbildung und Verbindungseigenschaften stanzgenieteter Aluminiumbleche, Shaker, 2003, ISBN-10 3832219072.
- [46] „Titgemeyer,“ [Online]. Available: <http://www.titgemeyer.de/produkte-im-fokus/tifas-sr-stanznietsystem/uebersicht.html>. [Zugriff am 31 03 2012].
- [47] R. Kolleck, Umformverfahren und Fügetechnik, Institute Tools & Forming, Skriptum, Technische Universität Graz, 2011.
- [48] H.J. Fahrenwaldt und V. Schuler, Praxiswissen Schweißtechnik, Vieweg+Teubner, 2009, ISBN 978-3-8348-0382-5.
- [49] „TOX Pressotechnik,“ [Online]. Available: <http://www.tox-de.com/de/anwendungen/clinchen-durchsetzfuegen.html>. [Zugriff am 02 04 2012].

- [50] J.L.Moro, Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail - Band 3 Umsetzung, Springer, 2009, ISBN 978-3-540-85913-0.
- [51] „FANUC Robotics Europe,“ [Online]. Available: [http://www.fanucrobotics.at/de/Countries/FRAT/News/~media/FRDE/Files/2011\\_04\\_14\\_FANUC\\_Fliesslochschauben.ashx](http://www.fanucrobotics.at/de/Countries/FRAT/News/~media/FRDE/Files/2011_04_14_FANUC_Fliesslochschauben.ashx). [Zugriff am 02 04 2012].
- [52] „chemie.uni-muenchen.de,“ [Online]. Available: <http://www.chemie.uni-muenchen.de/didaktik/assets/images/lehrer/materialien/naturundtechnik/kleben/kohaesion.pdf>. [Zugriff am 02 04 2012].
- [53] „Fonds der chemischen Industrie,“ [Online]. Available: [http://fonds.vci.de/template\\_downloads/tmp\\_fonds.vci.de/67870TextKle.pdf?DokNr=67870&p=111](http://fonds.vci.de/template_downloads/tmp_fonds.vci.de/67870TextKle.pdf?DokNr=67870&p=111). [Zugriff am 21 04 2012].
- [54] H.J. Fahrenwaldt und V.Schuler, Praxiswissen Schweißtechnik, Vieweg Teubner, 2009, ISBN 978-3-8348-0382-5.
- [55] „Schlatter Group,“ [Online]. Available: <http://www.schlattergroup.com/de>. [Zugriff am 02 04 2012].
- [56] S. Peters et al, Handbuch für technisches Produktdesign, Springer, 2012, ISBN 978-3-642-02641-6.
- [57] „HARMS+WENDE,“ [Online]. Available: <http://www.harms-wende.de/>. [Zugriff am 04 04 2012].
- [58] M. Eigner und R. Stelzer, Product Lifecycle Management, Springer, 2008, ISBN 978-3-540-44373-5.
- [59] „WIKIPEDIA,“ [Online]. Available: [http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Simultaneous\\_Engineering.png](http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Simultaneous_Engineering.png). [Zugriff am 27 04 2012].
- [60] K. Ehrlenspiel, Integrierte Produktentwicklung, Carl Hanser, 2009, ISBN 978-3-446-42013-7.
- [61] S. Klabunde, Wissensmanagement in der Integrierten Produkt- Und Prozessgestaltung, DUV, 2002, ISBN 3-8244-9108-7.
- [62] H. Corsten und H. Corsten, Projektmanagement, Oldenbourg, 2000, ISBN 3-486-25252-6.
- [63] W. Eversheim, T. Pfeifer und M. Weck, 100 Jahre Produktionstechnik, Springer, 2006, ISBN-10 3-540-33315-0.
- [64] M.Bitzer, Entwicklung einer Methode zur prozessorientierten Planung und Optimierung von Product Lifedcycle Management Lösungen, Technische Universität Kaiserslautern, 2008, ISBN 978-3-941438-00-2.

- [65] H. Burr, Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung & Produktionsplanung im Karosseriebau, 2008, ISBN 978-3-930429-73-8.
- [66] „NetZeitung,“ [Online]. Available: <http://www.netzeitung.de/autoundtechnik/335525.html>. [Zugriff am 26 03 2012].
- [67] „Auto Motor und Sport,“ [Online]. Available: <http://www.auto-motor-und-sport.de/news/toyota-verlaengert-entwicklungszeit-766825.html>. [Zugriff am 26 03 2012].
- [68] P. Bonitz, Freiformflächen in der rechnerunterstützten Karosseriekonstruktion und im Industriedesign, Springer, 2009, ISBN 978-3-540-79439-4.
- [69] „CARICOS,“ [Online]. Available: [http://www.caricos.com/cars/m/mercedes-benz/2012\\_mercedes-benz\\_sls\\_amg\\_roadster/1024x768/113.html](http://www.caricos.com/cars/m/mercedes-benz/2012_mercedes-benz_sls_amg_roadster/1024x768/113.html). [Zugriff am 27 04 2012].
- [70] H. Burr, Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau, Universität des Saarlandes 2000, 2008, ISBN 978-3-930429-73-8.
- [71] R. Raabe, „Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design,“ [Online]. Available: [http://www.imk.uni-stuttgart.de/lehre/studentische\\_arbeiten/?id=484](http://www.imk.uni-stuttgart.de/lehre/studentische_arbeiten/?id=484). [Zugriff am 14 04 2012].
- [72] A. Katzenbach et al, „Digital Mock-Up in der PKW-Entwicklung,“ Daimler-Benz AG, 1997.
- [73] R. Leuschel, „Toleranzmanagement,“ [Online]. Available: <http://www.toleranzmanagement.de/index.html>. [Zugriff am 15 04 2012].
- [74] M. Schwaiger, „Toleranzen - Toleranzmanagement,“ Magna Steyr Fahrzeugtechnik, 2009.
- [75] „Audi Mediaservice,“ [Online]. Available: <https://www.audi-mediaservices.com/publish/ms/content/de/public/fotos/2010/01/08/AU100003.standard.gid-oeffentlichkeit.html>. [Zugriff am 15 04 2012].
- [76] „Allradnews,“ [Online]. Available: [http://www.gelaendewagen.at/artikel11/audi\\_a6\\_2011\\_004.php](http://www.gelaendewagen.at/artikel11/audi_a6_2011_004.php). [Zugriff am 15 04 2012].
- [77] W. Lauer, Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen, Technische Universität München, 2010.

- [78] K. North, *Wissensorientierte Unternehmensführung*, Gabler, 2011, ISBN 978-3-8349-2538-1.
- [79] A. Mittelman, *Werkzeugkasten Wissensmanagement*, Books on Demand GmbH, 2011, ISBN 978-3-8423-7087-6.
- [80] J.B. Probst et al, *Wissen managen*, Gabler, 2010, ISBN 978-3-8349 -1903-8.
- [81] H. Preissler et al, „Haken, Helm und Seil,“ [Online]. Available: <http://www.enbiz.de/wmk/papers/public/HakenHelmSeil/hakenhelmseil.5.html#pgfId=1004785>. [Zugriff am 15 04 2012].
- [82] F. Ott, *Wissenslandkarten als Instrument des kollektiven Wissensmanagements*, Wirtschaftsuniversität Wien, 2003.
- [83] M. Eigner, *Virtuelle Produktentwicklung*, Technische Universität Kaiserslautern, 2010.
- [84] „Motornews.at,“ [Online]. Available: [http://www.motornews.at/cms/front\\_content.php?idcatart=1233](http://www.motornews.at/cms/front_content.php?idcatart=1233). [Zugriff am 19 04 2012].
- [85] U. Lindemann und M. Mörtl, „Kostenmanagement in der Produktentwicklung, TU München,“ 2011.
- [86] „IBM,“ [Online]. Available: <http://www-935.ibm.com/services/de/de/business-services/customer-knowledge-database-c-k-d.html>. [Zugriff am 08 05 2012].
- [87] C. Schulte-Henke, *Kundenorientiertes Target Costing und Zuliefererintegration für komplexe Produkte*, Gabler, 2007, ISBN 978-3-8349-0882-7.
- [88] „Automuseum Stuttgart,“ [Online]. Available: <http://blog.mercedes-benz-passion.com/2009/11/sls-amg-karosserie-leichtbau-fur-ein-hochstmas-anfahrdynamik-und-sportwagen-funktionalitat/>. [Zugriff am 18 05 2012].
- [89] G. Scherrer, *Kostenrechnung*, Gustav Fischer, 1999, ISBN: 978-3-825-21160-8.
- [90] F.J. Schumann, *Methoden und Werkzeuge zur Integration der kundengerechten Wertgestaltung in die Konzeptphase des Produktentwicklungsprozesses*, Technische Universität Chemnitz.