
Dipl.-Ing. Karl Damschen / Dipl.-Ing. Edmund Holetzke

Karosserie

Reparatur & Lackierung
inklusive Unfallschaden-Abwicklung

7., neu bearbeitete Auflage

Inhaltsverzeichnis

Hinweis: Zu jedem Kapitel gibt es Verständnisfragen, die online auf www.vogel-fachbuch.de unter InfoClick zu finden sind. Den Zugangscode finden Sie nach dem Aufschlagen des vorderen Buchdeckels auf der rechten Seite.

Vorwort 9

Geleitwort 13

Teil I Karosserietechnik 23

1	Anforderungen an einen Pkw und Lösungsbeispiele	23
1.1	Sicherheit der Fahrzeugkarosserie	24
1.2	Karosseriegestaltung und Bionik	28
1.3	Karosseriestahl-Qualitäten	30
1.4	Fügeverfahren	33
1.5	Crashmanagement real umgesetzt	36
1.6	Expertise: Deformationsverhalten von Pkw-Strukturteilen beim Zweitcrash	41
1.7	Luftwiderstand der Fahrzeugkarosserie	56
1.8	Umweltverträglichkeit der Karosseriekonstruktion	59
1.9	Historische Karosserie-Entwicklung	61
1.9.1	Nichttragende Karosserie	61
1.9.2	Mittragende Karosserie	61
1.9.3	Selbsttragende Karosserie	62
1.9.4	Die selbsttragende Karosserie mit Crashmanagement	63
2	Konstruktion einer Karosserie	65
2.1	Computerunterstützte Konstruktion und Fertigung	65
2.2	Beanspruchung von Karosserieteilen	65
3	Produktion einer Karosserie	75
3.1	Karosserieteile-Herstellung: Pressen, Gießen und 3D-Druck	76
3.1.1	Pressen	76
3.1.2	Gießen	78
3.1.3	Druckgießverfahren	79
3.1.4	Stahlguss / Gusseisen	80
3.1.5	Innenhochdruck umformen (IHU)	81
3.1.6	Sandwich-Bauteile	84
3.1.7	Organobleche	84
3.1.8	Drucken im 3D-Verfahren	85
3.2	Zusammenbau von Blechteilen	89
3.3	Leichtbau-Technologien	91
3.3.1	Einsparpotenzial beim Karosseriegewicht	91
3.3.2	Wege zum Ziel durch ULSAB-Technologien	92

3.3.3	Besondere Leichtbau-Merkmale für Stahlkarosserien	93
3.3.4	Karosserie-Hybridbauweise: Aluminium, Magnesium, Kunststoff und Stahl in Kombination	99
3.3.5	Kontaktkorrosion unterschiedlicher Materialien	101
3.3.6	Verbindungstechniken an das Material anpassen	102
3.3.7	Extremer Materialmix	108
3.3.8	Crashmanagement am <i>Beispiel BMW 5er Limousine</i>	111
3.3.9	Gewichtsreduzierter Aluminium-Vorderbau (GRAV)	112
3.4	Lackaufbau	112
3.5	Karosserie-Abdichtung	115
4	Karosserie-Bauweisen	119
4.1	Pkw-Karosserie-Bauweisen	121
4.1.1	Die Limousine	121
4.1.2	Der Kombiwagen (Kombi-Limousine)	122
4.1.3	Das Cabriolet	123
4.1.4	Die Cabrio-Limousine	123
4.1.5	Das Coupé	124
4.1.6	Der Roadster	125
4.1.7	Die Pullman-Limousine	125
4.1.8	Das Landulet	126
4.1.9	Der Mehrzweck-Pkw (Geländewagen)	127
4.1.10	Der Spezial-Personenkraftwagen	128
4.1.11	Fahrzeugsegmente	128
4.2	Erprobung neuer Fahrzeugmodelle – „Erkönige“	129
5	Fahrzeug-Klapp- und -Schiebedächer	131
5.1	Stahlklappdächer bei Cabrios, CC (Coupé & Cabriolet)	132
5.2	Fahrzeug Stoff-Faltdächer	140
5.3	Fahrzeug-Schiebedächer	146

Teil II Unfallschaden-Instandsetzungspraxis

153

6	Kalkulation bei Unfallschäden	153
6.1	Erkennen des Gesamtschadens	156
6.1.1	Sichere Schadenerfassung Schritt für Schritt	157
6.2	Schadenkategorien	165
6.2.1	Kleinschaden	165
6.2.2	Mittlerer Schaden	165
6.2.3	Strukturschaden	165
6.3	Fahrzeugtypenspezifische Schadensbilder am Beispiel Opel Zafira-B	168
6.4	Schadenfoto-Aufnahmetechnik	170
6.4.1	Zusammenfassung Schadenaufnahme	173
6.5	Entscheidungshilfen für den Reparaturweg	180
6.6	EDV-Kalkulation	181

6.7	Schadenkalkulation mit „AudaNet / Qapter“	182
6.7.1	Letzte Prüfungen der Kalkulation vor dem Versand	192
6.7.2	Datenversand an Versicherer	193
6.8	Hagelschaden-Kalkulation	194
6.8.1	Hagel-Expert-Formel mit Daten bestücken	195
6.9	Glasschaden-Kalkulation	197
6.10	Trends bei der Schadenkalkulation	198
7	Vorbereitungen zur Karosseriereparatur und die daraus abgeleitete Werkstattpraxis	209
7.1	Vorbereitung auf die Karosseriereparatur	210
7.1.1	Vorbereitungsarbeiten und Wieder-Inbetriebnahme	212
7.1.2	Fahrzeuge mit Hochvolt-Antriebssystemen (Hybrid-/Range-Extender-/ Elektroantriebe und Brennstoffzelle)	217
7.1.3	Allgemeine Vorbereitungsarbeiten zur Unfallschaden-Instandsetzung	237
7.2	Karosserievermessung	238
7.2.1	Richtbank mit Richtwinkelsatz	239
7.2.2	Richtplatte mit Schweißlehre	240
7.2.3	Richtbank mit variablem Richtwinkelsatz	242
7.2.4	Richtbank mit mechanischem Messsystem	245
7.2.5	Richtbank mit optischem Messsystem	250
7.2.6	Richtbank mit elektronisch/mechanisch bzw. elektronisch/optisch arbeitendem Universal-Messsystem	252
7.2.7	Richtbank mit Ultraschall-Universal-Messsystem	253
7.2.8	Stechmaß	255
7.2.9	Maßangaben und -toleranzen	257
7.2.10	Zusammenfassung der Karosserievermessung	258
7.2.11	Aufbausituationen	270
7.3	Rückformen beschädigter Karosserien	283
7.3.1	Umlenken der Rückformungskraft	285
7.3.2	Großflächige Rückformung	287
7.3.3	Rückformen eines Seitenschadens	288
7.3.4	Zusammenfassung Rückformen	289
7.4	Ausbeulen von Karosserieblech	290
7.4.1	Elastizität und Formbarkeit von Karosserieblech	296
7.4.2	Ausbeulwerkzeuge und ihre Wirkung	298
7.4.3	Gegenhalter	301
7.4.4	Ausbeultechniken	305
7.4.5	Feinrichten von Karosserieblech	316
7.4.6	Verzinnen von Karosserieblech	316
7.4.7	Oberflächenbeschaffenheit nach dem Ausbeulen ohne Materialauftrag	327
7.4.8	Beispiel einer konventionell durchgeführten Ausbeularbeit	328
8	Abschnittsreparatur	331
8.1	Schnittlinienführung	338
8.1.1	Gesamt-Karosserie-Reparaturkonzept am Beispiel Opel Astra-J	345
8.2	Schutzgasschweißen	353

8.3	MIG-Löten bei der Karosserie-Instandsetzung	356
8.4	Widerstands-Punktschweißen	365
8.5	Kurzzeichen für Schweißverfahren und Verbindungsarten	375
8.6	Fügesymbole bei der Karosserie-Instandsetzung	376
8.7	Hartlöten (Symbol: )	377
8.8	Korrosionsschutz	381
9	Alternative Karosseriebau-Werkstoffe und deren Instandsetzung	387
9.1	Höherfestes Karosserieblech	389
9.1.1	Reparieren von höherfestem Karosserieblech	390
9.1.2	Ausbeulen von höherfestem Karosserieblech	391
9.1.3	Rückformen von höherfestem Karosserieblech	394
9.1.4	Indirekter Einfluss von höherfestem Karosserieblech auf die Reparatur	395
9.1.5	Verschleiß von Schweißpunktfräsern beim Bearbeiten von höher- und höchstfestem Karosserieblech	396
9.1.6	Zusammenfassung Höherfestes Karosserieblech	397
9.2	Aluminiumlegiertes Karosserieblech	399
9.2.1	Wichtige Grundlagen über Aluminium-Karosseriebleche	400
9.2.2	Ausbeulen und Oberflächenbearbeitung von aluminiumlegierten Karosserieteilen	401
9.2.3	Rückformen von aluminiumlegierten Karosserieteilen	404
9.2.4	Schweißarbeiten an aluminiumlegierten Karosserien	405
9.2.5	Risskontrolle nach Schweißarbeiten, Rückformungen und Ausbeularbeiten	412
9.2.6	Unterschiedliche Reparaturvorschriften für Pkw-Karosserien aus Aluminium	413
9.3	Verzinktes Karosserieblech	430
9.4	Kunststoffe an der Karosserie-Außenhaut	434
9.4.1	Fachbegriffe in der Kunststofftechnik	435
9.4.2	Grundlagen der Kunststofftechnik	437
9.4.3	Identifizierung von Kunststoffen	439
9.4.4	Reparatur mit 2-Komponenten-Materialien	440
9.4.5	Kunststoffreparatur durch Schweißen	444
9.4.6	Handlaminierverfahren mit Harzen und Gewebematten, GFK	448
9.4.7	Qualitätsprüfung von reparierten und lackierten Kunststoffen	452
9.4.8	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Neuteil oder Reparatur?	457
9.5	Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe im Karosseriebau, CFK	458
9.5.1	CFK bei Lamborghini	462
9.5.2	CFK bei der Pkw-Unfallschaden-Instandsetzung	463
9.5.3	Highlight: Selbstheilendes CFK-Karosseriebauteil des Lamborghini Terzo Millennio	467
9.5.4	Karosserie-Instandsetzung am BMW i3 mit CFK-Bauteilen	468
9.5.5	Kunststoff und Umwelt	474

10	Unfallschaden-Reparatur an Beispielen	477
10.1	Besonderheiten bei der Instandsetzung von Seitenschäden – Beispiel Ford Sierra Kombi	477
10.2	Kalt- statt Warmfügen – Beispiel BMW 5er-Serie	481
10.3	Seiten-/Heckschaden-Instandsetzung – Beispiel Toyota Prius	486
11	Die Reparaturlackierung bei der Karosserie-Instandsetzung	491
11.1	Die Werkslackierung	494
11.2	Reparaturlackierungen	495
11.2.1	Begriffsbestimmungen bei der Reparaturlackierung	497
11.2.2	Neulackierung als Reparaturlackierung	497
11.2.3	Zeitwertlackierung	497
11.2.4	Verkaufs- oder Gebrauchtwagenlackierung	497
11.2.5	Beispritzen / Beilackieren	498
11.2.6	Spot Repair (Punkt-Reparaturlackierung)	498
11.3	Untersuchen und Beurteilen des Untergrundes	506
11.3.1	Farbton-Überprüfung	507
11.4	Reparaturlackierung Pkw	512
11.4.1	Oberflächen-Vorbehandlung	512
11.4.2	Spachtelarbeiten	513
11.4.3	Aufbringen von Vormaterialien	514
11.4.4	Decklackierung	517
11.4.5	Zusammenfassung „Reparaturlackierung auf metallischem Untergrund“	521
11.4.6	Eigenschaften von Reparaturlacken bezüglich Umwelt und Nachhaltigkeit	521
11.4.7	Schadensbilder an lackierten Flächen mit metallischem Untergrund	525
11.4.8	Aktuelle Hinweise zur Fahrzeug-Reparaturlackierung	528
11.4.9	Besonderheit: Lackschäden im Frühling durch die Autowaschanlage	533
11.5	Kunststofflackierung	534
11.5.1	Vorbereitung des Kunststoffteils	534
11.5.2	Statische „Entladung“ des Kunststoffes	535
11.5.3	Auftragen von Haftvermittler / Füller oder Haftfüller	536
11.5.4	Auftragen des Decklackes	537
11.5.5	Reparatur von Scheinwerfer-Schutzscheiben aus Polycarbonat, PC	538
11.5.6	Spot-Repair-Lackierung mit Aerosoldosen	545
11.6	Werkstattausstattung für die Reparaturlackierung	554
11.6.1	Druckluftanlage	555
11.6.2	Spritzpistolen	556
11.6.3	Atemschutzmaßnahmen	558
11.7	Betriebsgröße, -fluss und -ausstattung in einem Karosserie- und Lackbetrieb	559
11.7.1	Basis: Anzahl Durchgänge pro Tag	559
11.7.2	Fünf Umsetzungskonzepte für die Pkw-Reparaturlackierung	559
11.7.3	Lackiererei-Varianten in der Übersicht	560
11.7.4	Energiesparende Lackieranlagen	560
11.7.5	Universalarbeitsplätze zur Fahrzeuglackier-Vorbereitung	562

11.7.6	Multifunktions-Arbeitsplätze – höchste Effizienzsteigerung	564
11.7.7	Lackierkabinen mit Portalrocknern	566
11.7.8	Spot-Repair-Anlagen für den Kleinschaden	566
12	Beispielhafte Arbeitsprozessoptimierungen – Auswahl	571
12.1	Systematische Pkw-Unfallschaden-Erfassung	571
12.1.1	Schadenaufnahme mit Hilfe der Fahrzeughersteller- Instandsetzungsvorgaben am Beispiel Opel Insignia	575
12.1.2	Weitere grundsätzliche Hinweise zur Schadensfeststellung	578
12.1.3	Schadenerfassung und Anwendung der betrieblichen Verwaltungssoftware (Dealer-Managementsystem, DMS)	580
12.2	EDV-Schadenkalkulation am Beispiel DAT	581
12.3	Unterwiesener für Hybrid-/Wasserstoff-/Elektroantriebe	589
12.4	Karosserie-Außenausbeulen (lackierfrei oder großflächig)	592
12.5	Karosserie-Richtbank-Instandsetzung / Elektronische Karosserievermessung	595
12.6	Kombinierte Fügetechniken und -geräte (Kleben, Nieten, Schweißen)	597
12.7	Karosserie-Klebetchniken und -Dichtnähte	600
12.8	Karosserie-Instandsetzung BMW 7er (CFK, Aluminium und Stahl)	602
12.9	Schleif- und Spachtelarbeiten zur Lackiervorbereitung und zum Lackier-Finish	604
12.9.1	Arbeitszeit des Schleifens bei einem Lackierauftrag	606
12.9.2	Spot-Lackierung	607
12.10	Reparaturlackierung und Lackier-Finish	609
12.10.1	Basisfarben mit optimiertem Deckvermögen	610
12.10.2	Schnell trocknende Klarlacke	611
12.10.3	Lackier-Finish	611
12.11	Fehlerspeicher-Auslese / Fehlerdiagnose	616
12.12	Licht und ADAS-Kalibrierung / Fahrwerksdiagnose	618

Teil III Spezial-Reparaturmethoden

627

13	Austrennen und Einkleben von Autoscheiben	627
13.1	Grundlagen über eingeklebte Autoscheiben	627
13.1.1	Die Windschutzscheibe aus Verbundsicherheitsglas	627
13.2	Trennung der Klebeverbindung durch eingelegten Heizdraht	638
13.3	Trennung durch einfache Draht-Zieh-Methode	638
13.4	Trennung durch Draht-Zieh-Methode mit Aufspulvorrichtung	640
13.5	Trennung mit Schneidefaden, der bereits im Kleber liegt	643
13.6	Trennung durch mechanisches Kaltschneideverfahren	644
13.7	Trennung durch Thermoschneideverfahren	646
13.8	Einbau einer zu verklebenden Autoscheibe	647
13.9	Übungsvorschläge	649
13.10	Fahrzeughersteller-Hinweise zur Scheibenerneuerung	650
14	Reparatur von Verbundglasscheiben	653
14.1	Schadstellen-Definition	653
14.2	Gesetzliche Voraussetzungen für die Reparatur	655

14.3	Reparaturverfahren	655
------	--------------------------	-----

15 Wirtschaftliche Instandsetzung von durchgerosteten

Karosseripartien	663
15.1 Rostschaden-Instandsetzung	663
15.2 Gefährliche Karosserieverstärkungen	666
15.3 Schweißen und Nieten von Reparaturblechen	667
15.4 Einkleben von Reparaturblechen	671
15.5 Reparaturabnahmekriterien nach § 29 StVZO	677

16 Smart Repair

16.1 Kühlerpin-Erneuerung reduziert Instandsetzungskosten	681
16.2 Instandsetzung von Scheinwerfergehäusen	682
16.3 Kabelsatz-Instandsetzung	683
16.4 Lederreparatur	685
16.5 Felgenaufbereitung mit System	686
16.6 Hagelschaden-Instandsetzung – lackierfrei	697
16.6.1 Wärmetechnische Methode durch induktives Erwärmen	698
16.6.2 Das Hebelsystem (lackierfreies Ausbeulen)	699
16.6.3 Lackierfreies Außenausbeulen mit aufzuklebendem Zugstempel	708
16.6.4 MAGLOC-Verfahren	710

Teil IV Markt und Betriebsorganisation

17 Karosserie-Instandsetzung und Lackierung – Markt und Trends

17.1 Historie	714
17.1.1 Regularien	716
17.1.2 Geschäftsprozesse / Schadenmanagement	719
17.1.3 Technik	724
17.2 Der K&L-Instandsetzungsmarkt – Ein Modell	726
17.3 Der Markt in Zahlen	732
17.3.1 Fahrzeugbestand, Unfallzahlen und Schadenraten	742
17.3.2 Anzahl und Umfang von Schäden aus der Kraftfahrtversicherung	746
17.3.3 Struktur und Umfang von K&L-Schadeninstandsetzungen	749
17.3.4 Das K&L-Instandsetzungsmarktvolumen für Personenkraftwagen – Eine Abschätzung	752
17.3.5 Hauptakteure in der Unfallschadenbranche und deren Strukturen	754
17.3.6 Planung und Auslastung von K&L-Betrieben – Beispiele	756
17.4 Entwicklungen in der Fahrzeugtechnik	759
17.5 Unfallschaden-Management	770
17.5.1 Unfallschaden-Management – Ein Überblick	771
17.5.2 Verschiedene Ansätze des Unfallschaden-Managements	772
17.5.3 Kfz-Unfallschaden-Abwicklung in der Praxis	778
17.5.4 Unfallschaden-Steuerung – Aktuelle Trends und Ausblick	782
17.6 eCall – Technik, Akteure und Kritik	785
17.7 Fazit und Ausblick	787

18	Optimierter Arbeitsprozessfluss und richtige Betriebsgröße sichern die profitable Unfallschaden-Instandsetzung	789
18.1	Instandsetzungsprozess und Mitarbeiterkapazitäten	789
18.2	Tätigkeitsbeschreibungen als Grundlage für Arbeitsprozess-Darstellungen	795
18.3	Unfallschaden-Kategorien	796
18.4	Lackiererei	801
18.4.1	Lackiererei-Varianten in der Übersicht	804
18.5	Karosserie-Arbeitsplätze	808
18.5.1	Hat die Richtwinkelbank ausgedient?	808
18.5.2	Karosseriekonstruktionen bestimmen die Arbeitshilfsmittel	810
18.5.3	Neue Karosserie-Baumaterialien	811
18.5.4	Der optimierte Karosserie-Arbeitsplatz	812
18.5.5	Werkstattauslegung	818
18.5.6	Zusammenfassung Werkstatteinrichtung	819
18.5.7	Instandsetzungsgeräte und -werkzeuge	822
18.5.8	Investitionsgrundlagen	825
18.5.9	Umsetzung des optimierten Karosserie-Arbeitsplatzes	828
18.5.10	Der Karosserie-Kompaktarbeitsplatz	831
18.6	Zeitverschwendungen beim kompletten Unfall-Instandsetzungsprozess erkennen und abbauen	836
18.6.1	Beispiele für Zeitverschwendungen und deren Abstellmaßnahmen	838
19	Profi(t)center Karosserie- und Lack-Instandsetzung	841
19.1	EDV-Einsatz	841
19.2	Gebäudeanforderungen	844
19.3	Personal	845
19.4	Karosseriemarketing	845
19.5	Gebrauchtteile-Verwendung	854
19.6	Altauto-Verordnung	855
19.7	Konkrete Betriebsplanung	855
19.7.1	12 Planungsschritte bis zum eigenen Karosserie- und Lackierbetrieb	855
19.8	Betriebsergebnisse	878
19.8.1	Grenzkosten-Stundenverrechnungssatz	878
19.8.2	Key Performance Indicators (Schlüsselzahlen)	883
20	Der Unfallschaden-Manager – Kfz-Unfallschaden-Management (USM) als europaweiter Qualifizierungsansatz	887
20.1	Ausgangssituation	887
20.2	Herausforderung	888
20.3	Basis des EU-Projektes „Unfallschaden-Manager, USM“	888

20.4	Universität Bremen startet nach Pilotphase das EU-Projekt „USM“	889
20.5	Leonardo da Vinci – Innovationstransfer	890
20.6	Abschlusskongress USM-Projekt	891
Stichwortverzeichnis	901

Teil I

Karosserietechnik

1 Anforderungen an einen Pkw und Lösungsbeispiele

Lernziele

- Gegenläufige Anforderungen an den Pkw-Karosseriebau aufzählen
- Das konstruktive Karosserie-Crashmanagement beschreiben
- Karosseriestahl-Qualitäten aufzählen und deren Eigenschaften erläutern
- Fügeverfahren für aktuelle Karosseriestahl-Qualitäten darstellen
- Konstruktive Möglichkeiten nennen, um Aufprallenergien innerhalb einer Pkw-Karosserie gezielt abzubauen
- Begriff „Knautschzonen“ in der Karosserie erläutern
- Auswirkungen eines Folge-Unfalls auf die Bauteilfestigkeit nach einer bereits durchgeführten Reparatur im selben Karosseriebereich schildern
- Unterschied zwischen Luftwiderstand und c_w -Wert erklären
- Einfluss der Karosserie auf die Umweltverträglichkeit des Fahrzeugs beschreiben
- Bauformen der nichttragenden, mittragenden und selbsttragenden Karosserie darstellen

Lerninhalte

- Karosseriebau-Anforderungen
- Karosserie-Crashmanagement
- Karosseriestahl-Qualitäten
- Karosseriestahl-Fügeverfahren
- Abbau von Aufprallenergien durch konstruktive Maßnahmen
- Wirkung von „Knautschzonen“
- Zweitschaden-Auswirkung
- Definition des c_w -Wertes
- Karosserie und Umweltverträglichkeit
- Karosserie-Bauformen (Grundprinzipien)

Steigen wir in das Kapitel gleich mit einer Formel ein, welche die kinetische Energie E_{kin} in einem Körper mit der Masse m , der sich mit der Geschwindigkeit v bewegt, wiedergibt:

$$\left[E_{\text{kin}} = \frac{m}{2} \times v^2 \right], \text{ Kinetische Energie} = 1/2 \text{ Masse mal Bewegungsgeschwindigkeit zum Quadrat}$$

Die Energie hängt also vom Quadrat der Geschwindigkeit ab. Doppelte Geschwindigkeit bedeutet vierfache Energie! So besitzt ein Fahrzeug mit der Masse 1000 kg, das sich mit 50 km/h bewegt, die gleiche kinetische Energie wie ein Felsbrocken von etwa 193 000 kg, der sich mit 3,6 km/h (= 1 m/s) bewegt. Daher ist verständlich, dass bei hohen Geschwindigkeiten und in anderen Gefahrensituationen das Auto den Insassen ein Höchstmaß an **Sicherheit** bieten soll. Eine weitere Anforderung an moderne Karosserien ist ein geringer **Luftwiderstand** d.h. ein geringer c_w -Wert, der v.a. bei höheren Geschwindigkeiten maßgeblich den **Verbrauch** reduziert, sei es bei klassischen Verbrennungsmotoren, sei es in besonderem Maße bei batterieelektrischen Fahrzeugen (im Vergleich zu flüssigen Kraftstoffen ist die Energiedichte von Batterien viel geringer).

Bild 1.1

Gegenläufige Anforderungen an Pkw-Karosserien

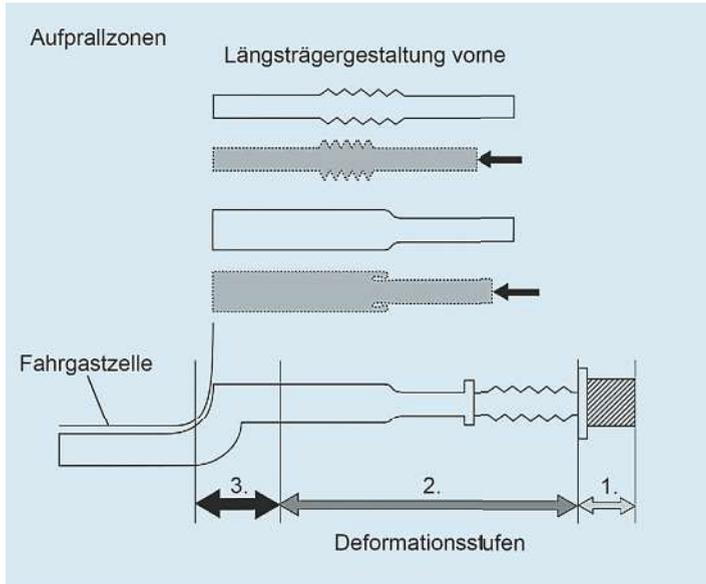


1.1 Sicherheit der Fahrzeugkarosserie

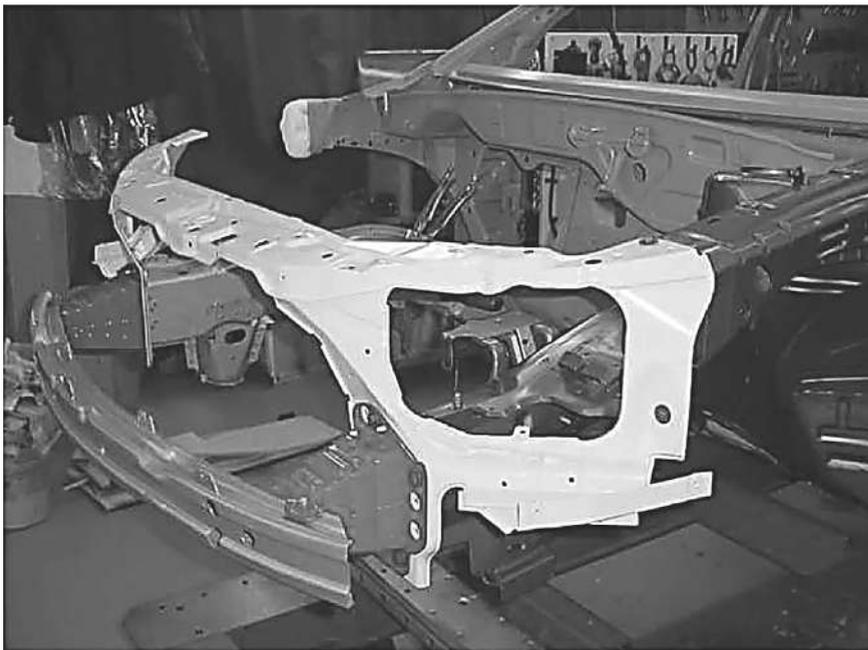
Jeder Fahrer eines Pkws oder sein Mitfahrer muss damit rechnen, dass er auch ohne eigenes Verschulden in einen Unfall verwickelt wird. Zur eigenen Sicherheit wäre es vorteilhaft, sich mit einem gepanzerten, schweren Fahrzeug fortzubewegen. Doch das würde jedes Fahrzeug langsamer und umweltbelastender machen.

Karosserie-Anforderungen

Die Fahrzeughersteller werden bei der Karosseriekonstruktion immer stärker gefordert. Sie müssen u.a. die eigentlich gegenläufigen Ziele von Leichtbau und Sicherheit immer besser miteinander kombinieren, um sowohl die Sicherheit der Fahrzeuginsassen und

**Bild 1.2**

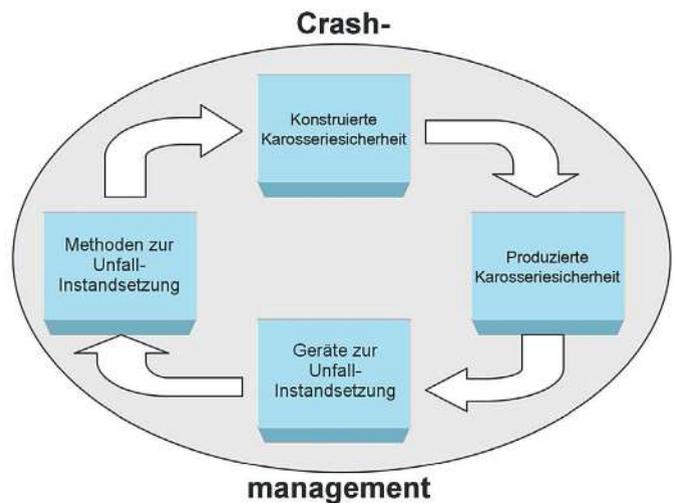
Gestaltung der Längsträger vorne und deren Verformungswege bei einer Stahlkarosserie

**Bild 1.3**

Geschraubte Frontpartie des Opel Vectra C mit Crashboxen und geschlossenem Aluminiumprofil der Stoßstange. Bei einseitigen Anstößen erfolgt durch die außermittige Befestigung der Stoßstange an der Crashbox keine bzw. kaum eine Verformung der Gegenseite. [Quelle: Opel Automobile GmbH]

Fußgängerschutz als auch CO₂-Emissionen (Abgaswerte) und Fahrleistungen im höchstmöglichen Umfang zu berücksichtigen. Darüber hinaus wartet schon die nächste Zusatzanforderung: Crashkompatibilität (Chancengleichheit der Fahrzeuginsassen – bezogen auf die Sicherheit, wenn unterschiedlich schwere und große Fahrzeuge miteinander kollidieren). Die fünf Sterne des Euro-NCAP-Crashtests (*European New Car Assessment Programs = Europäische Neufahrzeug-Bewertungsprogramme*) wurden bislang hauptsächlich für den Schutz der Insassen des gecrashten Fahrzeugs vergeben. Es wurde jedoch beschlossen, dass in Zukunft auch die weitgehende Unversehrtheit des Unfallgegners zu berücksichtigen ist. Schließlich soll der Smart-Fahrer eine Überlebenschance haben, wenn er von einem ca. 2 Tonnen schweren Pkw der Oberklasse gerammt wird.

Bild 1.4
Elemente eines
Crashmanagements



Crashmanagement-Grundlagen

Eines der übergeordneten Resultate der Karosserie-Entwicklung ist das gezielt konstruierte „Crashmanagement“ (Verformungsmanagement), das bei einem Unfall drei Anforderungen erfüllen soll (Bild 1.4):

- optimaler Schutz für die Fahrzeuginsassen,
- niedrige Instandsetzungskosten,
- gleiches Verhalten der Karosserie bei einem erneuten Crash nach einer Instandsetzung.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, erfolgt bei modernen Karosserien der Abbau der Unfallenergie in drei hintereinander angeordneten Karosseriezonen – sowohl von der Front als auch vom Heck des Pkws aus betrachtet:

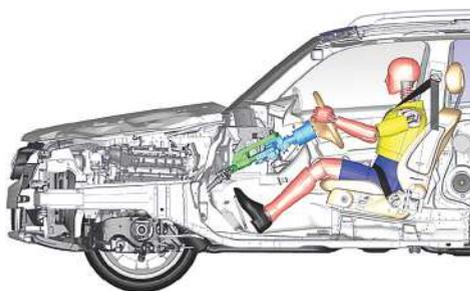
1. Stoßstange mit dahinter liegender Crashbox (Aufpralltopf),
2. Längsträger mit Deformationspartie im Anschluss an die Crashbox,
3. Fahrgastzelle.



- Crashzone für niedrige Geschwindigkeiten (bis ca. 15 km/h)
- Crashzone für hohe Geschwindigkeiten
- Fahrgastzelle als ultra-hochfester Überlebensraum

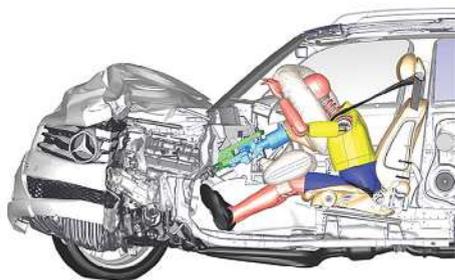
Bild 1.5a

Das Karosserie-Crashmanagement sorgt bei einem Unfall in drei Geschwindigkeits-Belastungsklassen für optimale Insassensicherheit und kostengünstige Instandsetzungsmöglichkeiten.

**Bild 1.5b**

Wenn die Karosserie richtig ausgelegt ist, bleibt auch nach einem Unfall noch genügend Überlebensraum für die Insassen.

[Quelle: Daimler AG]



Während der Fahrt

Angespannte Insassenhaltung
(der Fahrer betätigt die Bremse)

Der Zeitpunkt des
Aufpralls

Bild 1.5c Die erweiterte Methode für virtuelle Crashtest-Dummys heißt THUMS (Total Human Model for Safety). Hierbei werden sowohl Veränderungen in der Haltung der Insassen unter Berücksichtigung der Muskelzustände vor der Kollision simuliert (Grafiken 1 + 2) und Verletzungen an Knochen und inneren Organen zum Zeitpunkt der Kollision analysiert (Grafik 3).

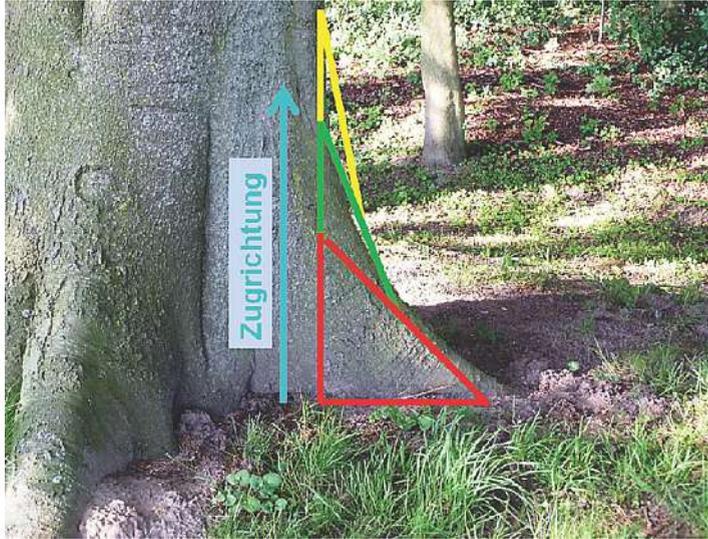
[Quelle: Toyota]

1.2 Karosseriegestaltung und Bionik

Die Natur als Vorbild für technische Lösungen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Eine spezielle Forschungsrichtung untersucht natürliche Konstruktionen und Abläufe, um daraus Ergebnisse für technische Anforderungen abzuleiten. Der Begriff dazu heißt „Bionik“, der aus den beiden Wörtern *Biologie* und *Technik* zusammengesetzt ist. Für den Pkw-Karosseriebau ist hier ein vielversprechender Ansatz gegeben, um für die vielen widersprüchlichen Anforderungen (s. vorher) optimale Antworten zu finden.

Bild 1.6

Vorbild Natur zum Abbau von Spannungskonzentrationen an Bauteil-Übergängen: die Kerbe in Form von Zugdreiecken, deren Winkel sich fortlaufend halbieren, am Beispiel von Baumwurzeln. [Quelle: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institut für Materialforschung II, 76021 Karlsruhe, C. Mattheck, I. Tesari; Grafik: KD]



Mit Hilfe der Kerbgestaltung kann einerseits die Gefahr gemindert werden, dass ein Bauteil versagt. Andererseits können durchdacht eingebrachte Kerbformen das Bauteil zum „gewünschten Versagen“ bringen, wenn sich eingeleitete Unfallkräfte durch eine gezielte Verformung des Bauteils abbauen sollen.

Das Stabilisieren von Blechoberflächen wird üblicherweise durch Walzen oder Prägen von Sicken in Maschinen erzeugt. Die Natur stabilisiert Oberflächen durch „Wölbstruk-

Bild 1.7

Längsträgergestaltung mit Richtungsänderungs-Übergängen „lang“ und „kurz“. Die Formgebungen haben entsprechende Einflüsse auf den Abbau der Deformationskräfte.





Bild 1.8a Die Blattstruktur als Vorbild für die Gestaltung einer Fahrzeugkarosserie. Die angepasste Gitterausführung ermöglicht geeignete Festigkeitsbereiche für z.B. den Fußgängerschutz. Außerdem kann die Außenhaut aus unterschiedlichen Materialien bestehen, wie die Bespannung mit einem textilen Material am Concept Car „Light Cocoon“ von EDAG zeigt.
[Quelle: EDAG]



Bild 1.8b Eine nach bionischem Vorbild umgesetzte Motorhaube bei Volvo

turieren“ in Selbstorganisation (F. MIRTSCH). Bei einem für diese Erscheinung erklärenden Experiment wird ein dünnes Blech zu einem Zylinder geformt und mit einer Drahtwendel von innen versteift. Dann wird der Zylinder von außen unter Druck gesetzt. Sobald dieser groß genug ist, springt das Blech durch eine natürliche „Selbstorganisation“ in einen stabilen verformten Gleichgewichtszustand. Es entstehen gleichmäßige rechteckige Einbeulungen in Umfangsrichtung. In Längsrichtung gibt die Stützwendel den Abstand der Einbeulungen vor, wobei die Einbeulungen jeweils um eine halbe Kantenlänge versetzt sind (wie ein Verbund-Mauerwerk). Je nach Gestaltung der Stützwendel können auch wabenförmige Einbeulungen entstehen.

Der Karosserie-Konstrukteur hat zusätzlich zur Festigkeit viele weitere Einzelaufgaben zu erfüllen, bevor das Crashmanagement vollständig funktioniert. Die wichtigsten dabei sind:

- Dauerhaltbarkeit der Karosserie (optimierter Materialeinsatz und Fügetechnik),
- Gewichtsreduzierung (Verbrauchs- und Abgasminderung, gute Beschleunigung des Fahrzeugs),
- gezielte Karosserieverformung bei einem Crash (Opferteile und Lastverteilung),
- Fußgängerschutz (gepolsterte und schnell nachgebende Frontbereiche),
- Instandsetzungstechnik (konkrete Vorgaben, damit auch nach einem erneuten Unfall das Crashmanagement wie vorgesehen wirkt),
- Kosten-Nutzen-Verhältnis (das Crashmanagement darf die Produktionskosten nicht bzw. nicht zu sehr erhöhen).

Bild 1.9

Erhöhter Widerstand von Rohrprofilen durch Oberflächen-Einbeulungen bei äußerer Krafteinwirkung (natürliche Selbstorganisation des belasteten Rohrprofils)

[Quelle: Technoseum, Mannheim]

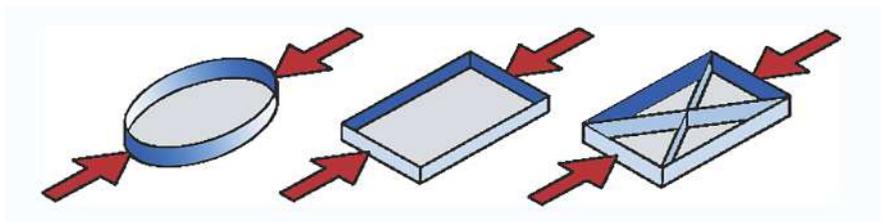
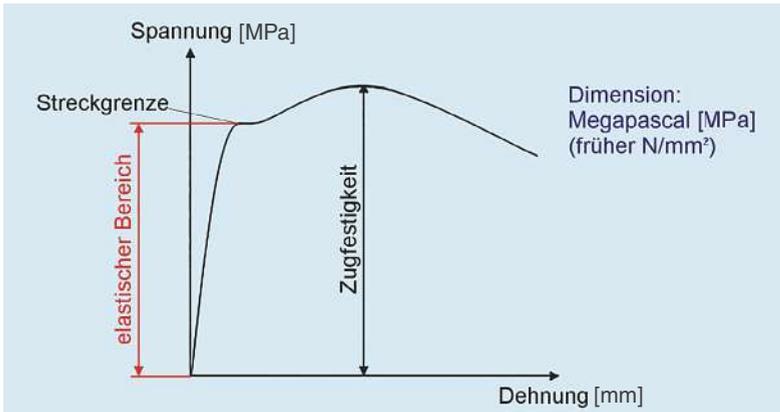


Bild 1.10 *Beispiel, wie durch einfache Gestaltungsunterschiede die Festigkeit von Karosserie-Bauteilen erhöht werden kann. Hinzu kommen die Möglichkeiten durch den Einsatz unterschiedlicher Materialien und/oder Stahlblechqualitäten.*

1.3 Karosseriestahl-Qualitäten

Bei der Fülle der Anforderungen an eine Pkw-Karosserie kommt der „Stahlblechqualität“ eine immer größer werdende Bedeutung zu. Die eingesetzten Karosseriestähle werden mittlerweile auf den speziellen Belastungsfall des Bauteils hin gefertigt. Die Festigkeitsqualifizierung der Stahlbleche erfolgt in normal-, hoch-, höherfest und ultra-hochfest. Als vergleichbarer Festigkeitswert wird die Streckgrenze herangezogen. Das ist die Belastungsgrenze des Stahls, bis zu der eine alleinige elastische Verformung stattfindet. Sobald der Stahl entlastet wird, „federt“ er nahezu vollständig in seine Ursprungsform zurück (allenfalls 0,1% bleibende Dehnung).

**Bild 1.11**

Spannungs-Dehnungs-Diagramm für Stahl: Die Streckgrenze ist der Wert für den Konstrukteur, bis zu der das Bauteil belastet werden kann

Die Auswahl an hoch-, höher- und ultra-hochfesten Stahlqualitäten wird immer differenzierter (siehe Tabelle 1.1).

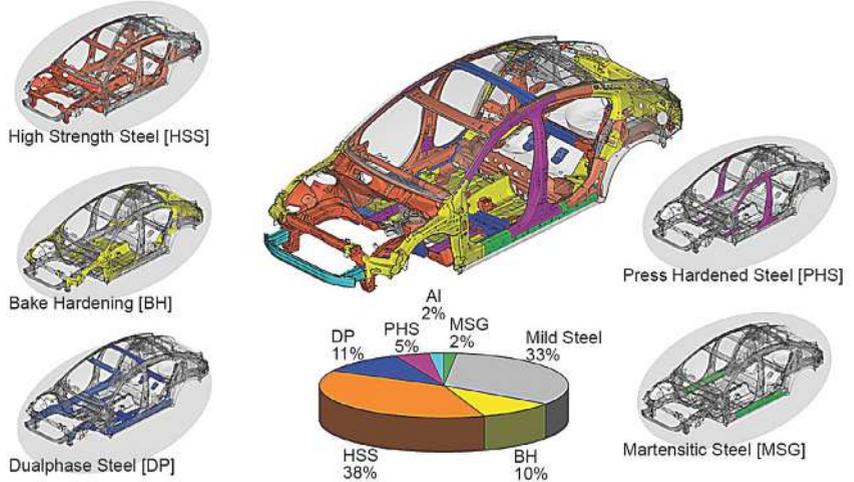
Dies geschieht durch gezielt ausgelegte Rezepturen bei der Stahlherstellung und die darauf abgestimmten hochkomplexen Umform-Verfahren für die Produktion des Bauteils. Eine große Rolle spielt dabei die Wärme-Einbringung während des Pressvorgangs. Beim sogenannten **Warmumformen** gelangt die Blechplatte (Blechtafel) zum Vorformen in eine Presse. Danach gelangt das Teil in einen Ofen und wird aufgeheizt. Anschließend wird das erhitzte und vorgeformte Blechteil der Fertigpresse zugeführt. Dort erfolgt die

Tabelle 1.1

Bezeichnung	Kurzzeichen	Streckgrenze (MPa)
„Normaler“ Karosseriestahl, z.B.	St-14	ca. 120–140
H igh S trength S teel (Hochfestigkeitsstahl)	HSS	ca. 190–350
D ualphasen-Stähle	DP	ca. 300–350
T Ransformation I nduced P lasticity (Umwandlung bewirkt Umformbarkeit). Beim Umformprozess dieser Stähle erfolgt eine Steigerung der Festigkeit durch Gefüge-Umwandlung (Restaustenit wird zu Martensit)	TRIP	ca. 400–850
T Winning I nduced P lasticity, (Zwillingsbildung bewirkt Umformbarkeit). Dieser Stahl vereint zwei eigentlich widersprüchliche Eigenschaften in sich: hohe Festigkeit und hohe Dehnung	TWIP	ca. 400–850
B ake H ardening Steel, durch „Backen“ gehärteter Stahl	BH	ca. 190–320
P ress H ardened S teel, im Presswerkzeug warm ausgehärtete Stähle mit Mangan- und Borzusätzen – PHS wird auch Bor- bzw. englisch Boron-Stahl genannt – Stahlhersteller geben ihren Stählen auch Handelsnamen wie BTR oder USIBOR	PHS	1000–1200

Bild 1.12

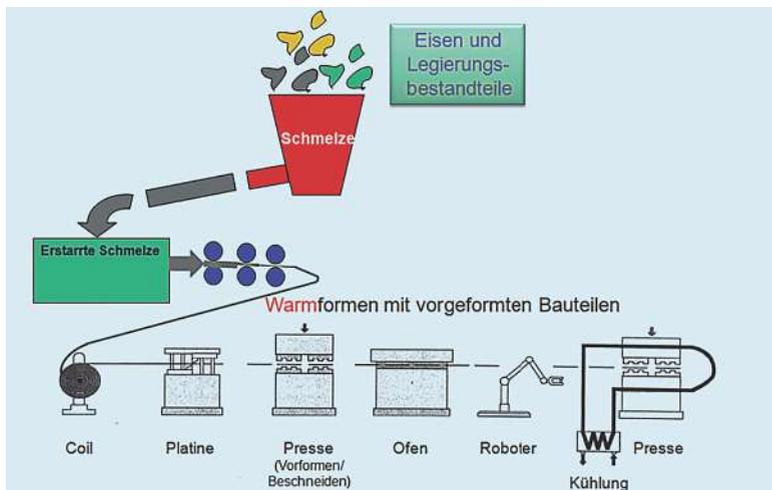
An welchen Karosserieteilen die unterschiedlichen Stahlqualitäten eingesetzt werden, zeigt die Übersicht des Opel Insignia. [Quelle: Opel Automobile GmbH]

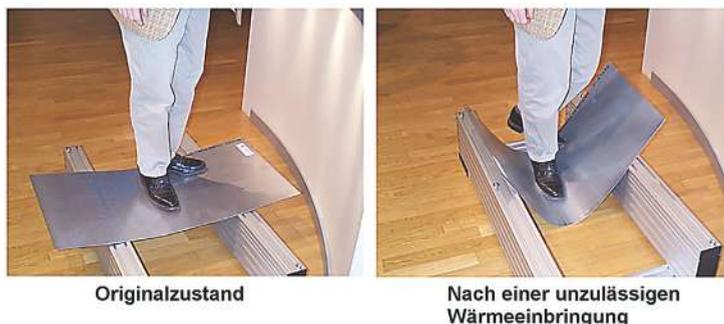


finale Umformung und noch in der Presse wird das fertig geformte Teil abgekühlt. Durch das Vorformen und Erwärmen der Blechplatte können lange Tiefziehwege erreicht werden. Damit das Pressteil eine höhere Festigkeit erreicht, wird das umgeformte Teil noch in der Presse abgekühlt. Dieser genau aufeinander getaktete Ablauf des Warmumformens lässt erahnen, dass durch eine weitere Warmbehandlung des Karosserieteils die vorhandene Festigkeit unkontrolliert verschwinden würde – z.B. durch das Anwärmen eines unfallbeschädigten Karosserieteils mit Hilfe einer Gasflamme oder eines Induktionsstabs, um das Rückformen besser vornehmen zu können. Ein Praxisversuch beweist den Einfluss des nachträglichen Erwärms eines warmumgeformten Bleches.

Bild 1.13

Schematische Darstellung des Warmumformens von Karosserie-Presseteilen [Quelle: thyssenkrupp, Grafik: KD]



**Bild 1.14**

Eine warmumgeformte Blechtafel ist hochfest und hat eine große Elastizität. Nach einer zusätzlichen Erwärmung mit anschließender Abkühlung hat sich die Festigkeit des Stahlbleches deutlich verringert.

1.4 Fügeverfahren

In etlichen Fällen dürfen die Karosserieteile aufgrund ihrer besonderen Stahlblechqualitäten nur noch mit speziellen Fügeverfahren verbunden werden, da andernfalls ihre Materialeigenschaften sofort zerstört würden. Mit diesem Hintergrundwissen ist zu verstehen, weshalb die Instandsetzungsvorgaben der Fahrzeughersteller immer konkreter werden und korrekt einzuhalten sind. Dazu gehört z.B. der Einsatz folgender Geräte und Zusatzmaterialien:

- MIG-Lötgeräte mit einstellbaren Programmen für die jeweiligen Fügestellen,
- MIG-Lötdrähte in festgelegter Qualität und bestimmtem Durchmesser (vorgegebene Ersatzteilnummer),
- Qualität des Schutzgases,
- Prozess-geregelte Widerstandspunkt-Schweißgeräte zur Einhaltung vorgegebener Schweißparameter mit Qualitätsprüfung der durchgeführten Schweißung,

Table 1.2 Die gängigsten Fügeverfahren bei einer Pkw-Karosserie-Instandsetzung im Überblick. Üblicherweise werden die Bezeichnungen aus der englischen Sprache abgeleitet.

Kurzzeichen/Fügesymbole	Bezeichnungen	Bezeichnungen (engl.)
RP	Widerstands-Punktschweißen	Resistance Spot Welding
SG	Schutzgasschweißen	Gas Shielded Arc Welding
MSG	Metall-Schutzgasschweißen	Gas Metal Arc Welding
MAG-S	MIG-/MAG-Schweißen (Schweißzusatzwerkstoff = Stahlbasis)	MIG/MAG Welding
MIG-L	MIG-Schutzgas-Lötverfahren (Löt-Zusatzwerkstoff = Kupferbasis)	MIG-Brazing
SMA	Strukturkleben Metall	Structural-Metal-Adhesive
RIV	Nieten (wasserdichte Stahlniete)	Riveting
HEM	Bördeln	Hemming
DR	Bohren	Drill

2 Konstruktion einer Karosserie

Lernziele

- Die Begriffe CAD, CAE und CAM in Bezug auf die Karosseriekonstruktion und -produktion erläutern und ihre genaue Bezeichnung nennen
- Möglichkeiten einer Computersimulation zur Bestimmung von Karosserie-Belastungsstellen beschreiben

Lerninhalte

- Definition CAD, CAE und CAM
- Computersimulation Crashtest

Die zum Teil gegenläufigen Anforderungen an eine Karosserie, wie Leichtbau, Sicherheit und Reparaturfreundlichkeit, machen Hochtechnologien erforderlich – beginnend bei der Konstruktion über die Materialbestimmung bis zur Produktion der Karosserie. Daher sind auch die Detailoptimierungen, z.B. eingeklebte Scheiben, höherfeste Karosseriebleche und eingeklebte Formhimmel, erklärbar. Allerdings hat es oft den Anschein, dass gerade die Reparaturfreundlichkeit bei den Anforderungen etwas vernachlässigt wird. So sind eingeschweißte Kotflügel alles andere als schnell zu ersetzen. Im Gegensatz dazu gibt es Karosserien mit bereits integrierter Reparaturkonstruktion, bei denen zwischen Seitenwand und C-Säule im Außenhautbereich gar keine Verbindung besteht (z.B. Audi 100). Hier bleibt bei einem Heckaufprall der Schadenbereich auf die Zone unterhalb der C-Säule begrenzt. Das Austrennen sowie Einsetzen der neuen Seitenwand erfolgen in diesem Karosserie-Abschnitt problemlos. Leider entfallen aber derartige Lösungen, die eine Kombination aus Produktion und Servicefreundlichkeit darstellen, oft schon beim direkten Nachfolgemodell. Dann hat die Karosseriekonstruktion festgestellt, dass ohne integrierte Servicelösung die Stückkosten pro Karosserie geringer sind.

2.1 Computerunterstützte Konstruktion und Fertigung

Der Arbeitsplatz des Konstrukteurs ist von der Digitalisierung beherrscht. Mit Hilfe verschiedener Konstruktionsprogramme wird eine Karosserie berechnet, gezeichnet und geändert. Dieser Aufwand ist nicht nur wegen der zu optimierenden Anforderungen nötig. Er wird auch von der immer perfekter werdenden Fertigung verlangt. Der Einsatz von Schweißrobotern setzt Maßtoleranzen im $1/10$ -mm-Bereich voraus. Der EDV-Sprachgebrauch hat für diese Anwendungen drei Begriffe festgelegt: CAD – **Computer Aided Design** (computerunterstütztes Konstruieren), CAE – **Computer Aided Engineering** (computergestützte Bauteile-Simulation) und CAM – **Computer Aided Manufacturing** (computerunterstützte Fertigung).

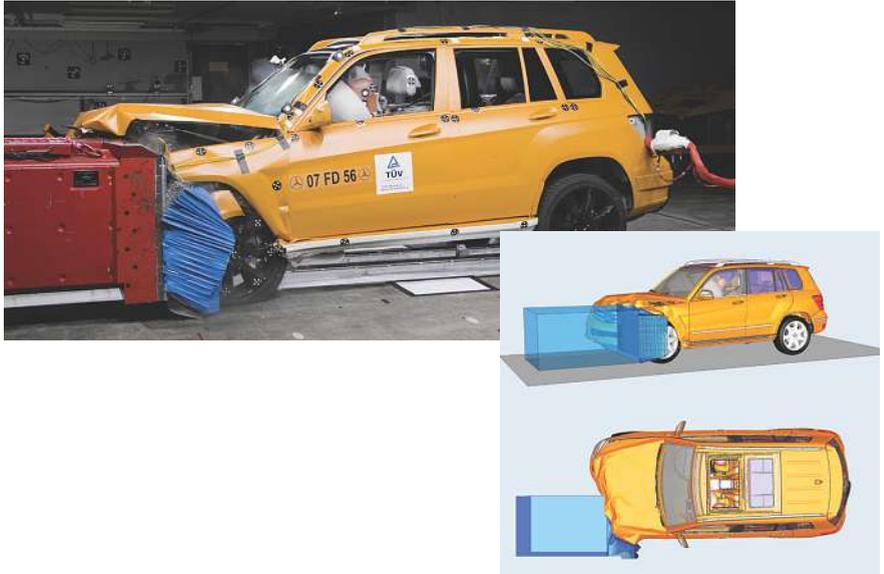
2.2 Beanspruchung von Karosserieteilen

Ein neuer Pkw-Typ hat bereits viele Belastungsprüfungen hinter sich gebracht, bevor die Karosserie überhaupt gebaut wird. Wie ist das möglich? Auf dem Bildschirm können alle Bewegungsabläufe einer Karosserie im Fahrbetrieb simuliert werden. Für moderne

Bild 2.1

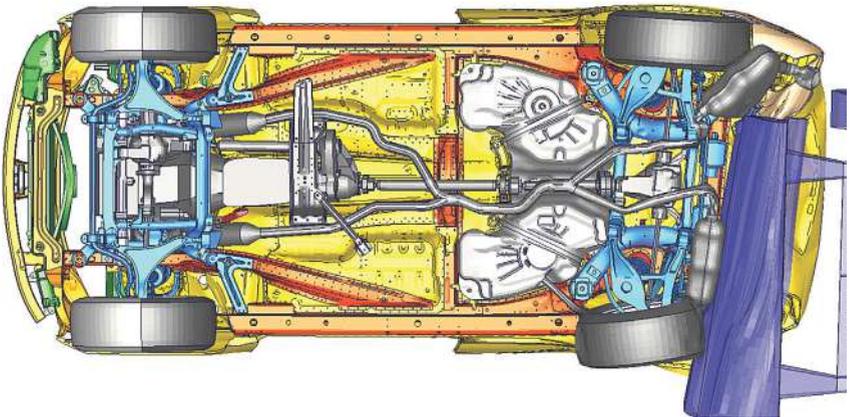
Die 3D-Crashsimulation ist unentbehrlich für eine gezielte Konstruktion, sie reduziert die Zahl der realen Crash-Tests deutlich, da bereits am Computer die Crashesicherheit der fertigen Karosserie optimiert werden kann.

[Quelle: Daimler AG]

**Bild 2.2**

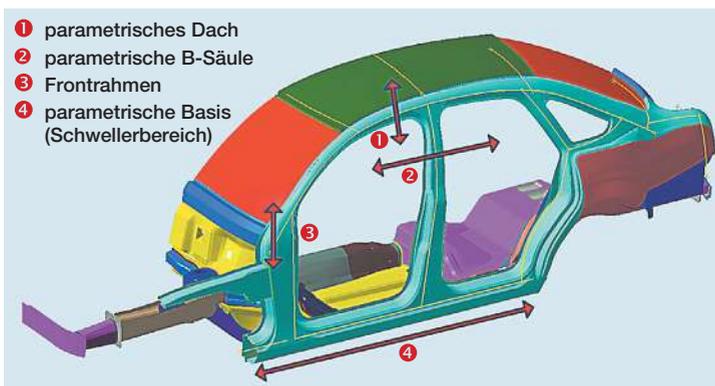
Mit Crashsimulationen können Konstrukteure Bauteile gezielt berechnen und optimieren.

[Quelle: Daimler AG]

**Bild 2.3**

Virtuelle Berechnung und Konstruktion mit Hilfe der Bauteile-Simulation in der Frühphase einer Pkw-Karosserie-Entwicklung mit Hochleistungs-CAE – Computer Aided Engineering

[Quelle: TECOSIM GmbH]



Karosserien gilt: Es gibt keine untergeordneten Bauteile mehr, sondern nur noch stark und weniger stark beanspruchte Karosseriepartien. Das gilt zumindest für Karosserien, bei denen nur noch Hauben und Türen angeschraubt sind und die übrigen Fügestellen zu den „unlösbaren“ Verbindungen zählen. Dabei stellen die verschraubten Türen auf keinen Fall untergeordnete Bauteile dar. Mit sehr aufwendigen Konstruktionen werden sie für den größtmöglichen Schutz der Fahrgäste im Fall einer Seitenkollision ausgelegt.



Bild 2.4

Türverstärkung durch eine Diagonalstrebe aus höherfestem profilierten Stahlblech

[Quelle: thyssenkrupp]

Den Insassenschutz verbessern die Hersteller generell durch konstruktive Maßnahmen weiter. Die Mindestanforderungen, die ein Fahrzeug erfüllen muss, das in Deutschland auf den Markt kommt, sind in der ECE-Richtlinie 94 festgelegt (Bild 2.6). Zusätzlich bewertet das Euro-NCAP-Konsortium (**E**uropean **N**ew **C**ar **A**ssessment **P**rogramme – Europäisches Neuwagen-Bewertungsprogramm) die Sicherheit von neu auf den Markt gekommenen Fahrzeugen. Dafür führt es unter anderem verschiedene Crashtests durch – die wesentlich anspruchsvoller sind als der ECE-Test – und bewertet die Fahrzeuge mit maximal 5 Sternen. Die Anzahl der Sterne hat folgende Bedeutung:

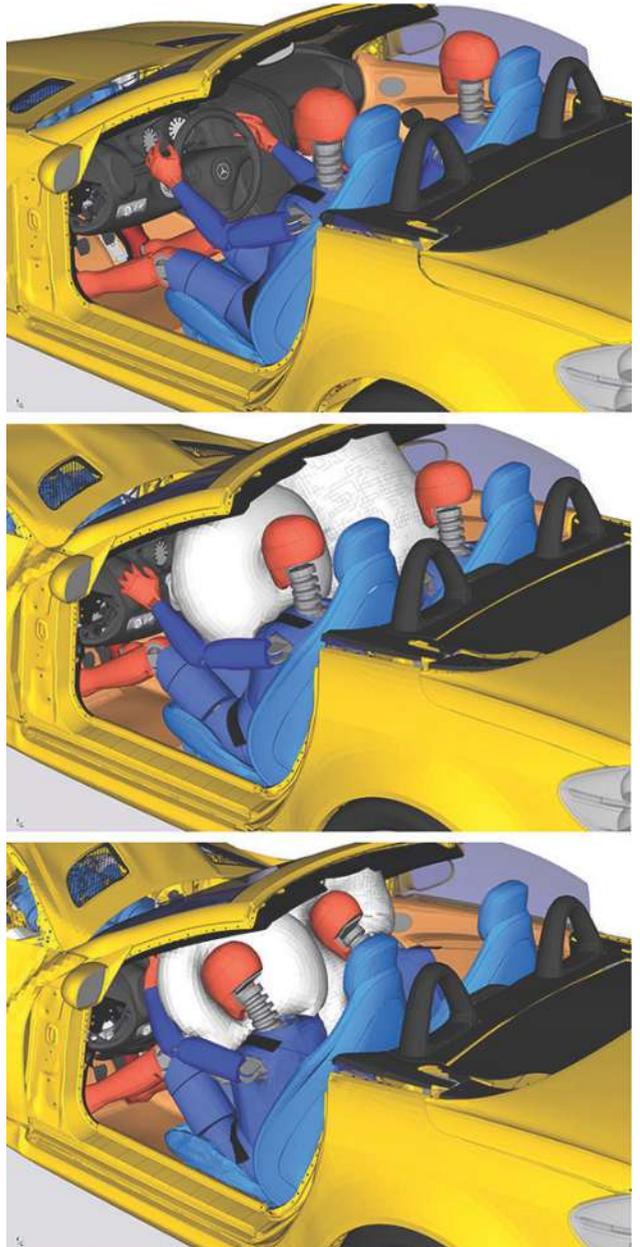
- 5-Sterne-Sicherheit: gute Gesamtnoten für Aufprallschutz, umfassende Ausstattung mit praxismgerechter Unfallvermeidungstechnologie;
- 4-Sterne-Sicherheit: gute Gesamtnoten für Aufprallschutz, zusätzliche Unfallvermeidungstechnologie kann vorhanden sein;
- 3-Sterne-Sicherheit: durchschnittlicher bis guter Insassenschutz, aber keine Unfallvermeidungstechnologie;
- 2-Sterne-Sicherheit: nominaler Aufprallschutz, aber keine Unfallvermeidungstechnologie;
- 1-Stern-Sicherheit: geringer Aufprallschutz.

Zunächst ging es bei den Tests allein um die Bewertung des Insassenschutzes während eines Fahrzeugunfalls. Etwas später wurde der Prüfumfang durch den Fußgängerschutz ergänzt. Ab 2020 ist nun auch die „Crashkompatibilität in die 5-Sterne-Bewertung eingeflossen. Gemeint ist damit die weitgehende Unversehrtheit des jeweils schwächeren Unfallgegners bei der Kollision mit anderen Fahrzeugen.

Aber auch die Versicherer arbeiten an Erweiterungen ihrer Standard-Crashtests. So wurde festgestellt, dass die typische Frontcrash-Anordnung mit einem Fahrzeug, das im rechten Winkel auf ein Hindernis trifft, nicht der Realität entspricht. Deshalb beschlossen die Versicherer, ab 2005 die Schrägstellung des Fahrzeugs um 10° zur Längsachse als Anstoßwinkel für den Frontcrash festzulegen.

Bild 2.5

Simulierter Crashtest
mit Airbag-Funktion
[Quelle: Daimler AG]



In diesem Zusammenhang sind auch die Weiterentwicklungen bezogen auf die Airbag-Funktion zu sehen. Wie schnell und zeitlich genau abgestimmt auf die Einleitung der Deformationskräfte die Airbag-Auslösung erfolgen muss, ist in der Bildfolge 2.7 zu sehen. Vom Aufblasen des Airbags bis zum Eintauchen des Kopfes darf es nur 120 ms dauern (einen Augenwimpernschlag lang).