

# konzeptfahrzeug

## entwicklung am beispiel eines Modell T-nachfolgers

DIPL.-ING. SVEN FAßBENDER; DIPL.-ING. MICHA LESEMANN; DIPL.-ING. LEIF ICKERT  
Geschäftsbereich Karosserie des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University



**Dipl.-Ing. Sven Faßbender**

ist seit 2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Geschäftsbereich Karosserie des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University.



**Dipl.-Ing. Micha Lesemann**

ist seit 2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University und dort seit 2008 Teamleiter Dynamische Simulation im Geschäftsbereich Karosserie.

» Das legendäre Ford Modell T ist bis heute eines der erfolgreichsten, meistverkauften und vielseitigsten Modelle der Automobilgeschichte. Diese Vielfalt war einer der Kernaspekte der Ford Modell T Challenge, die die Ford Motor Company 2008 aus Anlass des 100. Jubiläums der „Tin Lizzy“ ausgeschrieben hat. Die Wettbewerbsvorgaben bestanden darin, in nur drei Monaten ein Modell T für das Jahr 2015 zu entwickeln, das einfach, robust, leicht und ansprechend ist. Neben diesen impliziten Faktoren galt es explizit, mindestens zwei Passagieren Platz zu bieten, eine Reichweite von 200 km sicherzustellen sowie einen Verkaufspreis von 7000 USD nicht zu überschreiten. Das Institut für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen University (ika) konnte die Jury von Ford mit seinem Beitrag überzeugen und sich im Wettbewerb mit weltweit fünf ausgewählten Universitäten durchsetzen. Im Folgenden werden die Hauptmerkmale des modernen Modells T vorgestellt und die prinzipielle Vorgehensweise bei der kurzzeitigen Entwicklung dieses Konzeptes dargelegt.

**Vorgehensweise:** Zur Erstellung des Konzeptfahrzeugs wurde ein wissenschaftlicher Ansatz gewählt, der sich am industriellen Entwicklungsprozess orientiert (**Bild 1**). Aufbauend auf den Wettbewerbsvorgaben wurden die Anforderungen an das Fahrzeug analysiert. Dazu zählten eine genaue Betrachtung der Erfolgsfaktoren des „Vorgängers“, des historischen Modells T, und die Untersuchung, inwiefern sich diese auf ein modernes Fahrzeug übertragen lassen. Durch

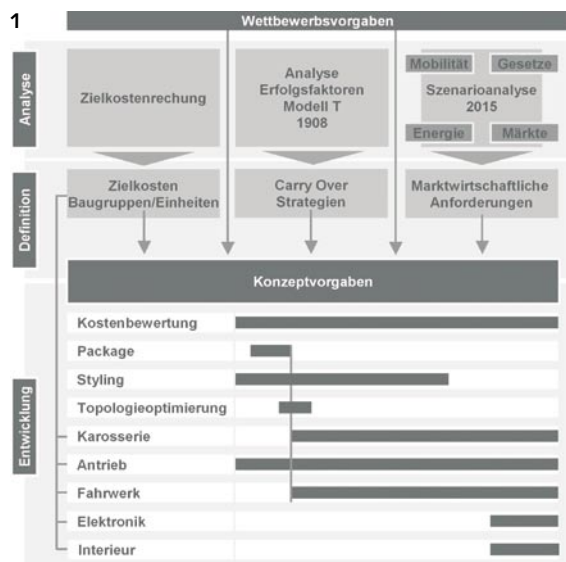
die Szenarioanalyse wurden weitere Randbedingungen und marktwirtschaftliche Anforderungen der relevanten Märkte ermittelt. Haupttreiber der Entwicklung war jedoch der sehr ambitionierte Basisverkaufspreis. Dieser musste durch eine Zielkostenrechnung in Kostenvorgaben für die einzelnen Fahrzeugbaugruppen überführt werden.

Die Anforderungen aus der Analysephase wurden in der Definitionsphase als Konzeptvorgaben zusammengefasst. Darauf aufbauend konnte die eigentliche Konzeptentwicklung erfolgen, die durch stark parallelisierte Prozesse und ein permanentes Kostencontrolling gekennzeichnet war. Vor allem das Parallelisieren von Komponentenentwicklung und Styling, ein traditionell vorgehalteter Prozess, brachte hier Zeitvorteile.

**Szenarioanalyse:** Die Erfolgsfaktoren des historischen Modells T sind offenkundig. Zu ihnen zählen u. a. der niedrige Preis, die neuartigen Fertigungstechniken, das Ansprechen großer Kundengruppen, die Vielfältigkeit bzw. Umrüstbarkeit, die Reparaturfreundlichkeit sowie letztlich die lange Modellaufzeit. Auch der heute wieder aktuelle Trend zur Mischbauweise wurde schon damals konsequent verfolgt. Für ein erfolgreiches, modernes Konzept mussten die alten Erfolgsfaktoren mit den dominierenden Anforderungen an ein Fahrzeug für 2015 kombiniert werden.

In einer Szenarioanalyse wurden wesentliche Randbedingungen für das Jahr 2015 identifiziert. Hierbei wurden gesellschaftliche, wirtschaftliche und technologische Trendstudien (u. a. [1], [2]) betrachtet und mit eigenen Erkenntnissen ergänzt. Die wichtigsten Einflussfaktoren ergeben sich dabei aus Mobilitätsbedarf, gesetzlichen Vorgaben, Energieverfügbarkeit und Marktsituationen.

Das Bedürfnis nach Mobilität nimmt weltweit immer mehr zu. Da öffentliche Verkehrsmittel diesen Bedarf nur teilweise abdecken können, wird vor allem in den Schwellenländern der Fahrzeugmarkt wachsen. Trotz des Trends zu sogenannten Megastädten wird aber gerade auf diesem Markt ein Großteil der Bevölkerung weiterhin auf dem Land leben. Das moderne Modell T sollte daher, wie sein Vorgänger, im Stadt- und Landverkehr einsetzbar sein. Analog zur individuellen Mobilität fordern die Kunden zunehmend automobiler Individualität. Der Zielkonflikt bei der Individualisierung des Massenproduktes Automobil könnte mit Open-Source-Lösungen überwunden werden.



1 Ablaufdiagramm der Konzeptentwicklung

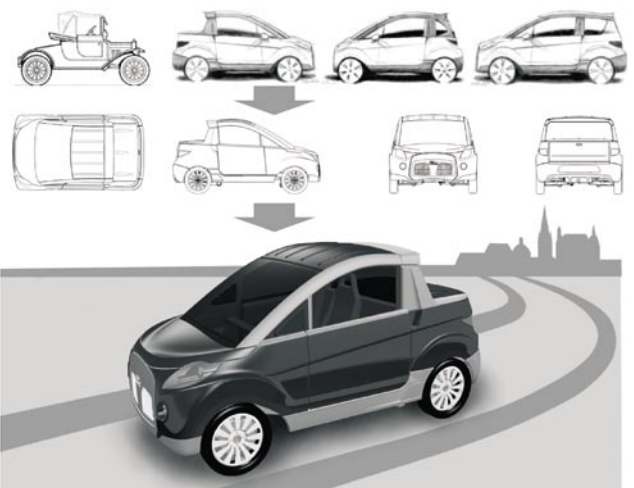
Auch die Altersstruktur der potenziellen Kunden ist wichtig. Einer zunehmenden Überalterung der Bevölkerung soll das Fahrzeugkonzept u.a. durch optimierte Ergonomie mittels hoher Sitzposition gerecht werden. Eine zentrale Frage bei der Szenarioanalyse waren die im Jahr 2015 verfügbaren Energiequellen und die entsprechenden Antriebssysteme. Die Analysen zeigten hier, dass trotz aktueller Bemühungen um Hybrid- und Elektrofahrzeuge der Verbrennungsmotor weiterhin die dominierende Rolle einnehmen wird. Dabei spielen Faktoren wie Energieinfrastruktur eine ebenso wichtige Rolle wie die hohen Kosten für elektrische Energiespeicher. Alternative Antriebskonzepte werden jedoch an Bedeutung gewinnen und in einigen Märkten aufgrund gesetzlicher Bestimmungen (Städtemaut oder CO<sub>2</sub>-Steuern) und Anforderungen ökologisch bewusster Kunden erforderlich sein.

Basisverkaufspreis 7000 \$			
Herstellungskosten 4930 \$		Zusatzkosten 2070 \$	
Montage	890 \$	Logistik	420 \$
Karosserie	980 \$	Marketing	560 \$
Fahrwerk	800 \$	Gemeinkosten	420 \$
Antrieb	880 \$	Garantierücklage	250 \$
Interieur	750 \$	Marge	420 \$
Elektronik	630 \$		

Tabelle 1

**Konzeptvorgaben:** Ein zentraler Punkt bei der Entwicklung des Fahrzeugkonzepts war der niedrige Verkaufspreis. Dass dieser Preis erreicht werden kann, zeigten bereits verschiedene Studien zum Thema Low-Cost-Fahrzeuge [3, 7, 8, 9, 10]. Übereinstimmend bedarf es demnach vor allem Anpassungen bei der Produktion, im Vertrieb und bei der Bauteilgestaltung. Dazu zählt die schlanke Produktion von kleineren Stückzahlen vor Ort bei geringen Investitionen und höherer manueller Arbeit. Standardisierte, firmenübergreifende Low-Cost-Komponenten (Industry Modules), die in Niedriglohnländern gefertigt werden, werden dabei zur Nutzung von Skaleneffekten verwendet. Die globale Fahrzeugstruktur wird auf Basisfunktionalitäten bei geringer Komplexität der Bauteile ausgelegt. Eine Modularisierung des Fahrzeugs ermöglicht weitere Skaleneffekte und eine Folgenutzung geeigneter Bauteile. Durch diese Carry-over-Strategie werden F&E-Kosten weiter gesenkt. Einen erheblichen Anteil an der niedrigen Kostenstruktur haben ferner Logistik und Vertrieb. Der Vertrieb erfolgt über ein reduziertes Händlernetz oder direkt per Inter-

Länge	3220 mm
Breite	1810 mm
Höhe	1590 mm
Radstand	2110 mm
Spur	1624 mm
Passagiere	3 (in einer Reihe)
Leistung	30 – 40 kW
Verbrauch Verbrenner	3,52 – 4,17 l/100 km
Verbrauch elektrisch	11 kWh/100 km
Höchstgeschwindigkeit	120 km/h
Gewicht	800 kg (+ Batterie)
Antriebsposition	Heckmotor
Vorderachse	McPherson
Hinterachse	Schräglener
Reifen	175/65 R14
Bremsen (v / h)	Scheibe / Trommel



net. Übliche Positionen beim Marketing und den Margen werden darüber hinaus gekürzt.

Die beschriebenen Einflüsse wurden bereits bei der Kostenaufstellung in der frühen Konzeptphase des modernen Modells T berücksichtigt. Nach dem Prinzip der Zielkostenrechnung wurden zunächst Zielkosten für die Fahrzeughauptkomponenten Karosserie, Fahrwerk, Antrieb, Interieur und Elektronik ermittelt (**Tabelle 1**). Die prozentuale Kostenverteilung basiert auf einem typischen Fahrzeug der Kompaktklasse [3]. Die Kostenbeträge wurden auf Basis des vorgegebenen Verkaufspreises von der prozentualen Kostenverteilung abgeleitet.

Bei den technischen Konzeptvorgaben erfolgte zunächst die Festlegung der Hauptabmessungen. Der Trend zu immer kleineren Fahrzeugen ist offensichtlich. Dieser begründet sich nicht zuletzt aus durchschnittlich 1,4 Insassen pro Fahrt [4]. Gleichzeitig muss das Fahrzeugkonzept aber den hohen Innenraum- und Beladungsbedürfnissen der aufstrebenden Märkte gerecht werden. Der Kompromiss aus Kompaktheit und Raumangebot wurde schließlich in einem kurzen, aber breiten Fahrzeug mit großer Bodenfreiheit und aufrechter Sitzposition für die Passagiere gefunden.

Die Fahrzeugbreite ermöglicht es, drei Personen nebeneinander Platz zu bieten. Hierbei sitzt der Fahrer in der Mitte, leicht nach vorne versetzt, um Rechts- und Linkslenkervarianten zu vermeiden. Modularität, Skalierbarkeit und Individualisierbarkeit kennzeichnen das Fahrzeugkonzept. Dies beginnt bei den Derivaten (**Bild 2**), die sich auf der skalierbaren Basisstruktur aufbauen lassen, und erstreckt sich über die austauschbare Beplankung bis hin zum Antriebskonzept.

Das Package, die Fahrzeugarchitektur sowie die Struktur des modernen Modells T sehen konzeptionell die einfache Realisierbarkeit eines Hybridantriebs, eines Plug-in-Hybridantriebs und eines reinen Elektroantriebs vor. Die Basis stellt jedoch ein Ottomotor. Die Positionierung der jeweiligen Energiewandler im Heck begünstigt zusammen mit einer Schräglenerachse ein effizientes Package und eine gute Zugänglichkeit



Dipl.-Ing. Leif Ickert

ist seit 2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Geschäftsbereich Karosserie des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University.

Tabelle 1: Zielkostendefinition in USD

2 Technische Daten, Derivate und Design des modernen Modells T

des Antriebs, die wiederum dessen Modularisierbarkeit vereinfacht. Durch den Heckantrieb entstehen zudem im Vorderwagen große Packefreiheiten, die ein Höchstmaß an passiver Sicherheit ermöglichen.

Da die tägliche Fahrleistung bei den elektrifizierten Antrieben einen signifikanten Einfluss auf die Betriebskosten und die Effizienz des Fahrzeugs hat, wird das Batteriesystem ebenfalls modular angeboten. So kann der Kunde die Batteriegröße an seine persönlichen Bedürfnisse anpassen. Für die Dimensionierung und die Auswertung des Energieverbrauchs wurde eine hauseigene Modellbibliothek für Längsdynamiksimulationen unter Matlab/Simulink eingesetzt. Es ergab sich je nach Fahrzyklus und Antriebsvariante eine Bedarfsspitzenleistung von 17 bis 28 kW, so dass ein 30-kW-Ottomotor beziehungsweise ein 40-kW-Hybridantrieb gewählt wurden.

gaben erfolgte die parallele Erarbeitung der einzelnen Fahrzeughauptkomponenten.

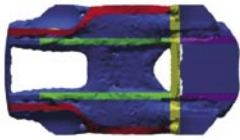

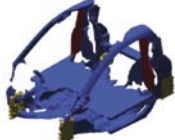







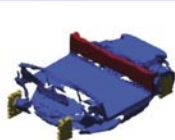





Zum Projektende wurde das Gesamtkonzept einer Kostenbewertung auf Basis von Ähnlichkeitsbetrachtungen unterzogen. Ausgehend von vergleichbaren Komponenten mit bekannten Kostenstrukturen wurden die Kosten der Fahrzeugkomponenten des modernen Modells T durch geeignete Kennwerte wie Abmaße, Gewicht, Leistung oder Energieinhalt skaliert [3], [5]. Während bei Standardkomponenten heutige Marktpreise angenommen wurden, waren vor allem für die Komponenten des elektrischen Antriebs Prognosen zur zukünftigen Preisentwicklung unter der Voraussetzung einer Großserienfertigung erforderlich [6]. Für das Basisfahrzeug der Variante Pick-up mit konventionellem Verbrennungsmotor konnte so ein Preis von 6780 USD ermittelt werden. Mit steigender Elektrifizierung erhöht sich

auch der Preis. So kostet der Hybrid 7440 USD, der Plug-in-Hybrid 9050 USD bei 15 km elektrischer Reichweite bzw. 10400 USD bei 56 km elektrischer Reichweite. Das Elektrofahrzeug wurde mit 9590 USD bei 75 km elektrischer Reichweite bzw. 14150 USD bei 140 km elektrischer Reichweite kalkuliert.

Neben den zuvor genannten Kostenreduktionsmethoden ermöglichen weitere konstruktive Maßnahmen den geringen Basisverkaufspreis. Dies sind u. a. die Vermeidung von Rechts- und Linkslenkervariante, der Wegfall gewisser Komfortfunktionen bei konzeptioneller Kompen-

sation, der Einsatz von Standardwerkzeugen, der Verzicht auf einstellbare Beifahrersitze, der Einsatz planer Verglasung sowie die Anwendung von Modul- und Gleichteilstrategien. Zudem wurde wie beim historischen Modell T eine sehr lange Produktionsdauer vorgesehen. Durch ein regelmäßig überarbeitetes Design von Beplanung, Beleuchtung und Interieur sowie Technologie-Updates soll das Modell T dennoch modern bleiben und Kaufanreize bieten.

**Karosserie und Fahrzeugarchitektur:** Als Beispiel für die Entwicklung der Fahrzeugkomponenten wird hier nur auf die Karosseriestruktur und die Fahrzeugarchitektur eingegangen. Bei der Karosserie musste dem Zielkonflikt zwischen geringen Kosten und Leichtbau besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, weil beide Anforderungen

Topologieoptimierung	CAD-Umsetzung	Topologieoptimierung	CAD-Umsetzung
			
			
			
			

3 Topologieoptimierung und CAD-Umsetzung

Durch die zunehmende Elektrifizierung des Antriebsstrangs erhöhen sich die Kosten für das System, jedoch können die Betriebskosten und der Schadstoffausstoß gesenkt werden. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen variieren unter Annahme einer spezifischen CO<sub>2</sub>-Emission der Elektrostromproduktion von 500 g/kWh zwischen 54 und 100 g/km für die verschiedenen Antriebe.

Neben den technischen Konzeptvorgaben galt es, Vorgaben für das Design des modernen Modells T zu definieren. Ein vollständiger Retrostilansatz, wie etwa beim Mini Cooper, erschien für das 100 Jahre alte Modell T technologisch, wirtschaftlich und designzeitgeistlich kaum realisierbar. Die Idee war daher, einige markante Stilelemente des Vorbilds auf das neue Modell T zu übertragen und mit moderner Designsprache zu verbinden. Nach der Definition der Konzeptvor-

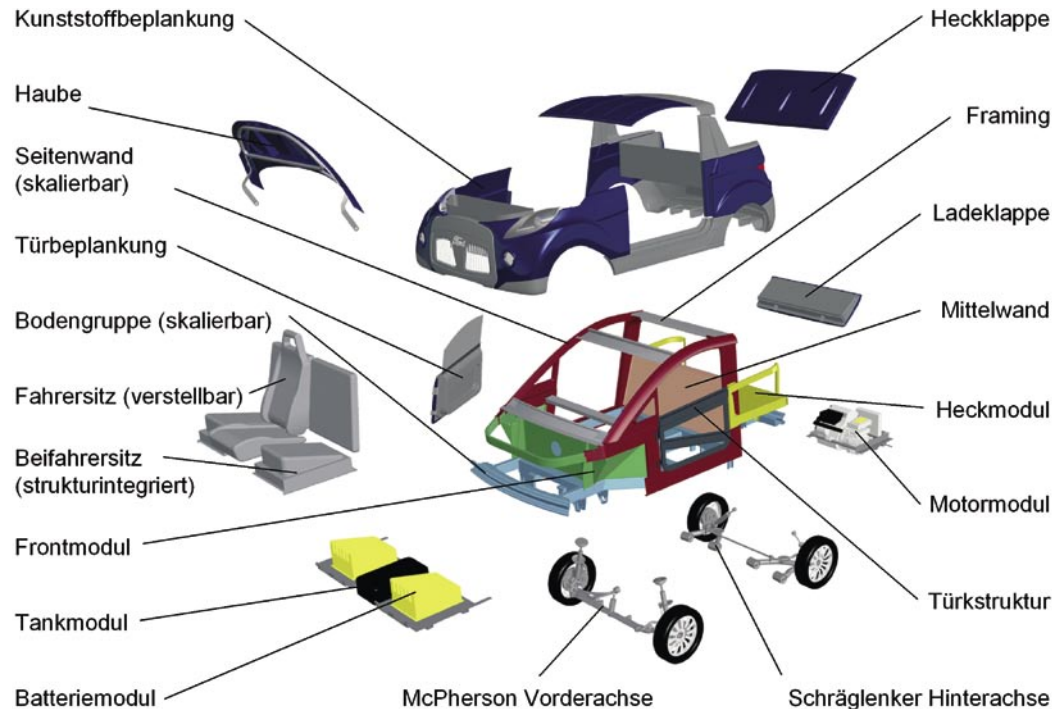
erklärte Wettbewerbsziele darstellten. Zudem wurde eine gemeinsame Plattform angestrebt, die in einem bestmöglichen Kompromiss die Anforderungen konventioneller und elektrifizierter Antriebe vereinigt. Zugleich sollte die Karosserie zwecks Derivatevielfalt in der Länge skalierbar sein. Der Vergleich verschiedener Karosseriebauformen zeigte, dass die Gesamtheit dieser Anforderungen durch eine Mischbauweise aus Profilen und Schalen, beplankt mit Kunststoffaußenteilen, am besten erfüllt wird.

Bei der kostengünstigen Struktur aus Stahl setzte das Team auf Struktur- und Fertigungsleichtbau, während bei der Beplankung allein durch das Material Leichtbaupotenziale erschlossen wurden. Das Prinzip des Strukturleichtbaus ist es, eine möglichst belastungsgerechte Träger-topologie und -form zu wählen. Das Material soll nur entlang der Lastpfade angeordnet werden. Hierzu wurde die Topologieoptimierung eingesetzt. Ausgangspunkt dazu war der für die Karosserie zur Verfügung stehende Bauraum. Dieser wurde vernetzt und mit den statischen Lastfällen Torsion und Biegung sowie mit quasistatischen Ersatzlastfällen für Front-, Seiten- und Heckcrash beaufschlagt. Nach Berechnung und Ausblenden der für diese Lastfälle hinsichtlich Steifigkeit weniger relevanten, finiten Elemente des Bauraums wurden die Lastpfade sichtbar. Diese galt es im Anschluss zu interpretieren und mit Hilfe des CAD in herstell- und fügbare Bauteile umzusetzen (**Bild 3**).

Als Ergebnis der Topologieoptimierung enthält das CAD-Modell einen in den Schweller übergehenden Längsträger, einen sehr steifen hinteren Querträger, der gleichzeitig die Funktion der Rückenlehne für die Beifahrer übernimmt, eine Sandwichbodenstruktur und Bodenlängsträger. Zudem wurde sichergestellt, dass im Bereich vor dem hinteren Querträger alle Bauteile parallel und gerade verlaufen, sodass die Karosserie an dieser Stelle sowie an den Überhängen längenskalierbar ist (**Bild 4**). Bei den Türen und Klappen, die ebenfalls profilintensiv ausgeführt sind, wurden Scharniere in die Tragstruktur integriert. ◀◀

#### Literatur:

[1] Stigson, B.: Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability. Conches: World Business Council for Sustainable Development, 2004



[2] Sticher, G.; Rizoulis, D.: Das nachhaltige Automobilunternehmen – oder das Comeback des Elektroautos. In: Fahrzeug- und Motorentechnik. 17. Aachener Kolloquium, 6.–8. Oktober 2008. Aachen: fka, Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen, 2008

[3] Kellershof, E.; Doerr, M.; Leyers, J.; Wohlecker, R.: Das 5000 € Auto: Eroberung eines neuen Fahrzeug- und Kundensegments. In: Fahrzeug- und Motorentechnik. 14. Aachener Kolloquium, 4.–6. Oktober 2005. Aachen: fka, Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen, 2005

[4] Halbritter, G.; Fleischer, T.; Paschen, H.: Optionen zur Entlastung des Verkehrsnetzes und zur Verlagerung von Straßenverkehr auf umweltfreundlichere Verkehrsträger. In: Bechmann, G. (Hrsg.): Praxisfelder der Technikfolgenforschung. Frankfurt am Main: Campus 1996, S. 267–295

[5] Osburg, B.; Patberg, L.; Grünekle, A.; Flöth, T.; Große-Gehling, M.; Mebus, H.; Paton, A.: NSB®-NewSteelBody: Technische Dokumentation. Duisburg: ThyssenKrupp Printmedia GmbH, 2003

[6] Vergels, F.: Sustainable Batteries. Electric Vehicle Symposium 21, Monaco, 2005

[7] Bernhart, W.; Kalmbach, R.: Low-Cost Car Creation. In: automotive inSIGHTS (2008) Nr. 1, S. 6–9

[8] Mayer, S.; Rattey, F.; Pleines, R.: Mega-Markt für Ultra-Low-Cost. In Schwellenländern wächst die Nachfrage nach Niedrigpreis-Autos [online]. Düsseldorf: A. T. Kearny GmbH, 2007. Internet: [http://www.atkearney.de/content/veroeffentlichungen/executivebriefs\\_detail.php/id/50063/practice/automotive](http://www.atkearney.de/content/veroeffentlichungen/executivebriefs_detail.php/id/50063/practice/automotive) [Zugriff: 2009-07-24, 09:36 MESZ]

[9] van Acker, W.; Kalmbach, R.; Uludag, E.; Zheng, V.; Kawahara, E.; Dressler, N.: The early bird catches the worm. München: Roland Berger Strategy Consultants GmbH, 2006

[10] Meiners, J.: Low-Cost-Cars. In: Automobil Industrie (2007), Nr. 6, S. 26–35

#### 4 Fahrzeugarchitektur und Komponenten