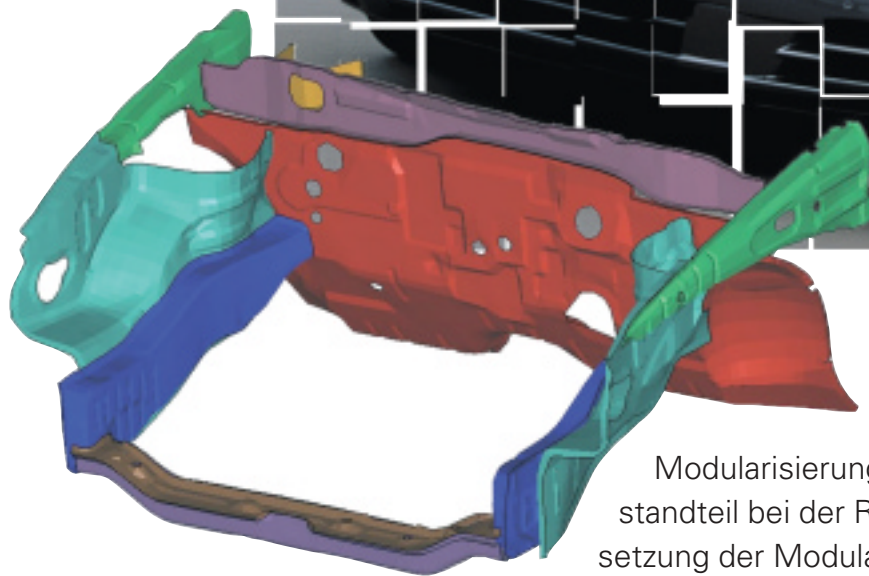
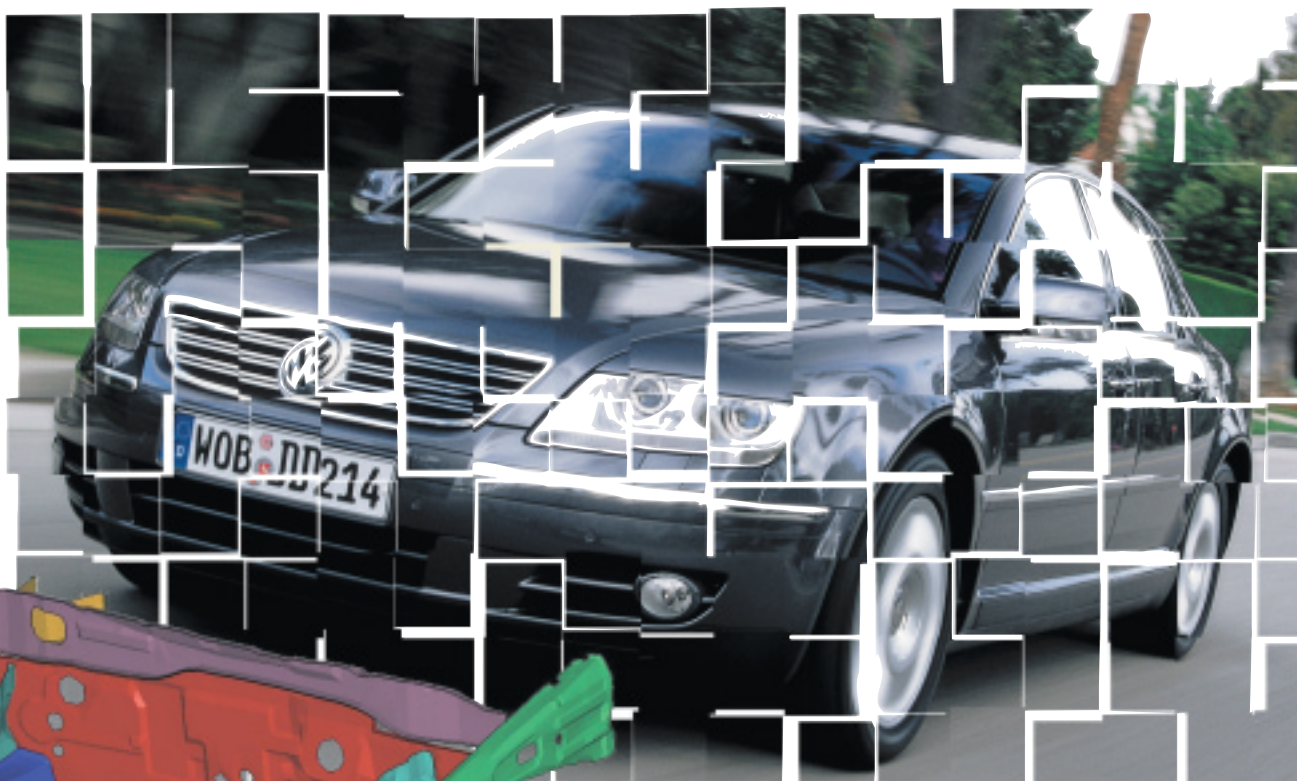


Bewertung von Modularisierungsstrategien

für unterschiedliche Fahrzeugkonzepte am Beispiel des Vorderwagens



Modularisierungsstrategien sind heute ein wichtiger Bestandteil bei der Realisierung von Kraftfahrzeugen. Die Zielsetzung der Modularisierung des Fahrzeuges liegt dabei unter anderem in der Senkung der Kosten sowie in einer Verkürzung der Entwicklungszeit. Der vorliegende Artikel beschreibt die Methodik und die Ergebnisse, die die Volkswagen AG und die Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fka) im Rahmen eines Projektes zur exemplarischen Bewertung von Modularisierungskonzepten im Karosseriebau gemeinsam erarbeitet haben.

1 Einleitung

Die Wünsche der Endkunden nach zunehmend differenzierteren und individuell gestalteten Automobilen führen bei den OEM seit Jahren zu einer stetig steigenden Anzahl an Fahrzeugvarianten. Eine der bedeutenden Herausforderungen für die Zukunft stellt in dieser Hinsicht die Modularisierung der Rohkarosserie, beziehungsweise des gesamten Fahrzeuges dar, mit der die Erfüllung der vielfältigen Fahrzeuganforderungen in effizienter Weise angestrebt wird. Es bestehen hierbei Möglichkeiten, in der Entwicklung bereits erprobte Baugruppen zu nutzen und in der Serienfertigung Skaleneffekte zu erreichen. Zur erfolgreichen Modularisierung eines definierten Derivatportfolios ist dabei die Festlegung der Modulumfangs in einer frühen Phase der Fahrzeugentwicklung anzustreben. Zusätzlich müssen die dadurch induzierten Auswirkungen hinsichtlich Materialauswahl, Bauweise und Füge Technologien ermittelt werden.

2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Zielsetzungen des Projektes lagen in der Entwicklung und Bewertung von Modularisierungsstrategien. Dabei lässt sich der Aufgabenumfang anhand der folgenden Aspekte zusammenfassen:

- Entwicklung von Modulen unter Berücksichtigung der Rohkarosserie- und der Gesamtfahrzeuganforderungen
- Bewertung modularer Karosseriekonzepte unterschiedlicher Fahrzeuge zur Realisierung von Derivaten mit geringem F&E- und Fertigungsaufwand
- Fokussierung auf frontgetriebene und daraus abgeleitete Allrad-Fahrzeuge im europäischen Markt
- Nutzung resultierender Möglichkeiten zur kurzfristigen Realisierung von Nischenfahrzeugen mit Modulen bestehender „Fahrzeugfamilien“.

Die Vorgehensweise der Untersuchung gliederte sich in die vier Phasen Ermittlung der Kundenanforderungen, Derivatbewertung, Entwicklung modularer Konzepte und die Bewertung der Modulkonzepte. Die einzelnen Inhalte und Ergebnisse dieser Projektphasen werden im Weiteren dargestellt.

2.1 Ermittlung der Kundenanforderung

Innerhalb dieses Arbeitspunktes lag die Zielsetzung in der Identifizierung aktueller und zukünftiger Kundenanforderungen sowie der Ableitung von Anforderungen ausgewählter Fahrzeugderivate.

Um den Kausalzusammenhang zwischen Kundenanforderungen und technischen Lösungskonzepten der Karosseriegestaltung herzustellen, wurde eine Priorisierung der Anforderungen und eine Übersicht dieser Randbedingungen in technischen Lösungsmöglichkeiten unter Anwendung von „Quality Function Deployment“ (QFD) durchgeführt.

Eine Auswahl der karosserielevanten Anforderungen wurde hinsichtlich ihrer Bedeutung gewichtet. Anschließend erfolgte eine Relevanzbewertung der technischen Umsetzungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Erfüllung der einzelnen Kundenanforderungen. Als Ergebnis lag somit der Bedeutungsgrad der unterschiedlichen technischen Umsetzungsmöglichkeiten vor, die unter anderem folgende ausgewählte Kernaspekte beinhalten:

Flexibilität der Fahrzeugentwicklung durch Anwendung von Modulkonzepten:

- Module zur Realisierung vielfältiger Fahrzeugderivate
- Materialeinsatz und Verwendung einheitlicher Bauweisen
- Verwendung von Fertigungs- und Fügeverfahren.

Sicherheitstechnische und umweltspezifische Vorgaben:

- hohes Energieabsorptionsvermögen der Karosserie und steife Fahrgastzelle
- betriebsfeste Auslegung der Bauteile
- Erfüllung geltender Recyclingvorgaben.

Beobachtung genereller Markttendenzen:

- Nachfrage nach energiesparenden Fahrzeugen
- Otto- und Dieselmotoren als weiterhin bedeutende Antriebssysteme
- zunehmender Einsatz von Hybridfahrzeugen, langfristig Verwendung von Brennstoffzellenfahrzeugen.

Hierbei ist festzustellen, dass der Umfang der unterschiedlichen Fahrzeuganforderungen in starkem Maße durch die Anzahl der im Rahmen der Modularisierung zu berücksichtigenden Derivate bestimmt wird. Aufgrund der sehr vielfältigen Kunden- und Herstelleranforderungen sowie der legislativen Vorgaben liegt somit die wesentliche Herausforderung der Fahrzeuggestaltung darin, diese Anforderungsvielfalt mit einem möglichst optimalen Kompromiss zu erfüllen.

2.2 Derivatbewertung

Im weiteren Projektverlauf wurden die Derivate hinsichtlich der spezifischen Modulanforderungen untersucht. Dazu wurde ein Portfolio mit 37 unterschiedlichen Derivattypen erstellt, das die bedeutendsten Fahrzeugtypen des derzeitigen Automobilmarktes beinhaltet. Diese Fahrzeuge wurden in

Die Autoren



Dr.-Ing. Thomas Krusche ist in der Konzernforschung der Volkswagen AG verantwortlich für das Thema Karosserie.



Dipl.-Ing. Jörg Leyers ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Teamleiter der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen im Themenfeld Strategie- und Prozessentwicklung.



Dipl.-Ing. Torsten Oehmke ist Mitarbeiter im Forschungsfeld Fahrzeugkonzepte innerhalb der Konzernforschung der Volkswagen AG.



Dr.-Ing. Thorsten Parr ist ehemaliger Mitarbeiter der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen.

vier Fahrzeugklassen aufgeteilt: Subkompaktklasse/Kleinwagen, Kompaktklasse, obere Mittel-/Mittelklasse und Luxus-/Oberklasse. Anhand verschiedener Bewertungskriterien (zum Beispiel Fahrzeugart, Außenabmaße, Radstand, Fahrzeuggesamtgewicht, Sitzigkeit, Stückzahlen oder Bauweisen) wurden die Fahrzeuge miteinander verglichen.

Auf Basis der identifizierten Derivate wurde daraufhin als Ausgangsbasis für die Ermittlung der Modulkonzepte eine Aufteilung der Fahrzeugkarosserie in 41 Bauteile beziehungsweise Baugruppen vorgenommen. Dabei verteilen sich die Bauteile auf die Fahrzeugbereiche Frontstruktur, Fahrgastzelle, Heckstruktur und Türen/Klappen. Darüber hinaus erfolgte eine Aufteilung dieser Bereiche in einzelne Bauteile und Baugruppen (zum Beispiel Stoßfänger-Querträger, Crashboxen und Radhaus). Diese Karosseriebauteile wurden hinsichtlich ihres Gleichteilepotenzials zur Anwendung in unterschiedlichen Fahrzeugderivaten untersucht.

Die Gleichteilumfänge der Bauteile bilden hierbei einen Indikator für das Modularisierungspotenzial. Das heißt je höher die Anzahl der Derivate ist, in denen ein Bauteil gleichzeitig für mehrere Fahrzeuge als Gleichteil genutzt werden kann, desto höher ist das Potenzial, dass sich dieses Bauteil als Bestandteil eines Moduls eignet.

2.3 Entwicklung modularer Konzepte

Aufbauend auf der Derivatbewertung beinhaltet die nächste Projektphase eine Analyse des Nutzwertes einzelner Modulkonzepte. Innerhalb dieser Analyse wurde anhand der vorliegenden Ergebnisse der Gleichteileanalyse eine Bewertung unter-

schiedlicher Schnittmöglichkeiten der Fahrzeugkarosserie als Ausgangsbasis zur Identifizierung und Konzeptbildung erster Fahrzeugmodule durchgeführt. In einem mehrstufigen iterativen Prozess wurde unter Berücksichtigung der technischen Anforderungen an die Karosserie ermittelt, welche Karosseriebauteile für eine Modula-

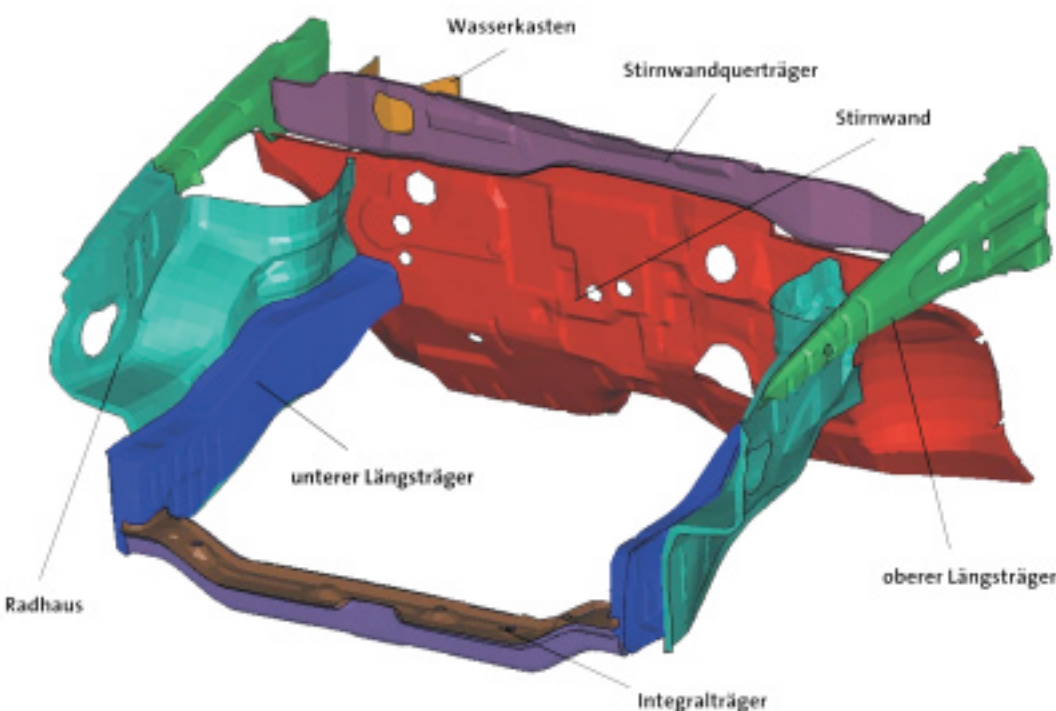
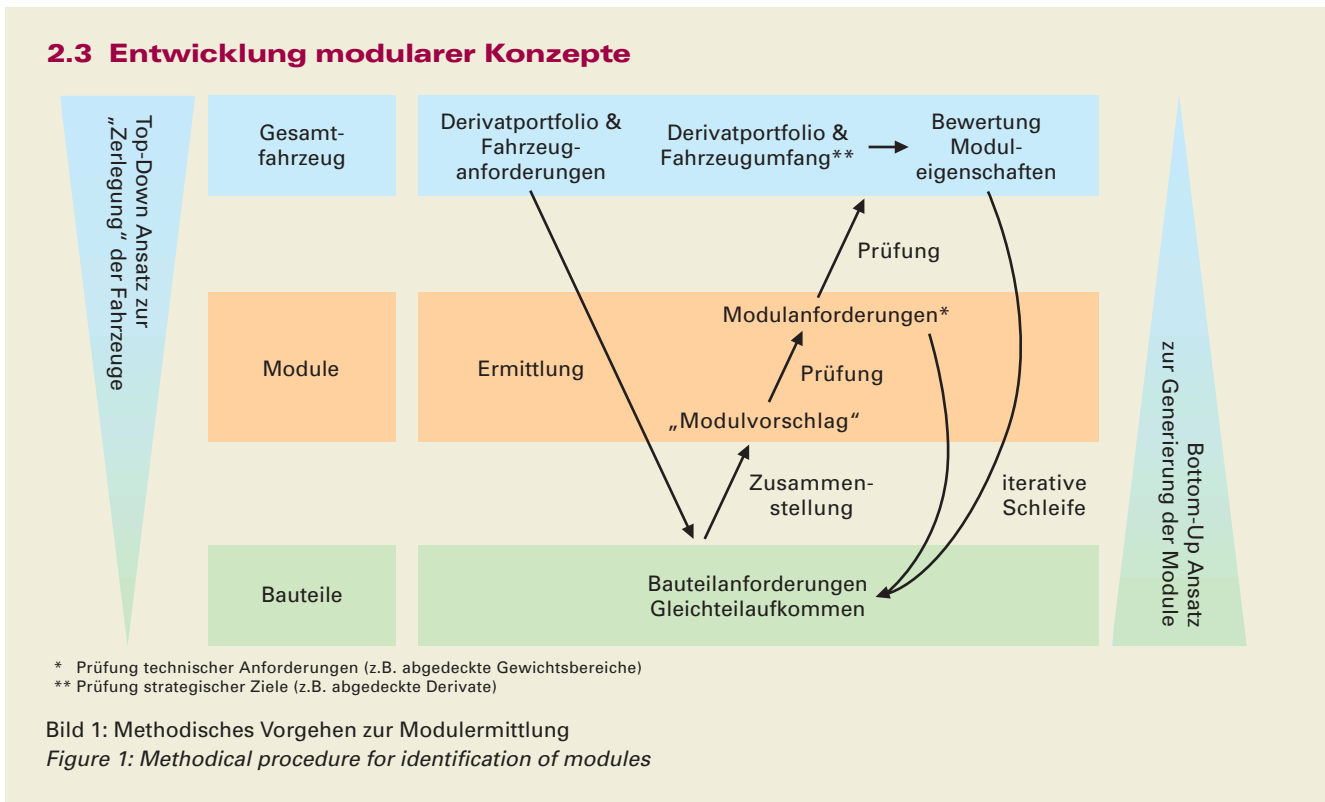


Bild 2: Darstellung des Vorderwagenmoduls
 Figure 2: Illustration of a front end module

risierung ausgewählt werden können. Zur Bestimmung der unterschiedlichen Karosseriemodule wurde eine Vorgehensweise angewendet, die sowohl die Vorgaben des Gesamtfahrzeugs, als auch die funktionalen Anforderungen der einzelnen, in den Modulen enthaltenen Bauteile berücksichtigt, **Bild 1**.

Ausgehend von den Fahrzeuganforderungen des betrachteten Derivatportfolios wurden die im Rahmen der Gleichteilanalyse untersuchten Karosseriekomponenten zu ersten „Modulvorschlägen“ zusammengefasst. Nach einer mehrstufigen Überprüfung der relevanten Modulanforderungen (zum Beispiel Gewichtsbereiche der Derivate, Packageangaben und Fahrzeugabmaße), durch die sich die Anzahl der im weiteren untersuchten Module reduzierte, konnten letztlich die Eigenschaften der verbleibenden Module bewertet werden.

Der Erfolg der Modularisierung hängt dabei im Wesentlichen von der Auswahl und den Anforderungen der einzelnen Modulschnittebenen ab, wodurch neben dem Bauteilumfang und der Größe auch die prinzipiell einsetzbaren Fügeverfahren beeinflusst werden. Bedeutende Anforderungen stellen dabei die funktionalen karosserie- und die prozessspezifischen Fertigungsanforderungen sowie die wirtschaftlichen Zielvorgaben dar.

Betrachtet man die Anzahl der Derivate, die je Karosseriebauteil über einen entsprechend hohen Gleichteileanteil bei gleichzeitig geringer Anzahl an Bauteilvarianten verfügen, so ist festzustellen, dass insbesondere der Vorderwagen und Teilbereiche der Fahrgastzelle ein hohes, jedoch der Heckbereich eher ein geringes Modularisierungspotenzial aufweisen. Das Dach sowie die Klappen und Anbauteile lassen sich dagegen über mehrere Derivate nur sehr schlecht modularisieren.

Aufgrund seiner guten Modularisierbarkeit wird der Vorderwagen im Weiteren näher betrachtet. Die Modularisierung ist in Abhängigkeit des zu wählenden Bauteilumfangs und des sich dabei wandelnden Abdeckungsgrades der Derivate prinzipiell auf vielfältige Weise möglich.

Das Modul in **Bild 2** weist unter den identifizierten Randbedingungen das höchste Modularisierungspotenzial der Schnittebenenbewertung auf. Die Schnittebenen des Moduls zum Frontend und zur A-Säule ermöglichen hierbei im Hinblick auf den Frontalcrash eine funktional abgeschlossene Struktur. Abgesehen von den Crashboxen, dem Frontend und dem Stoßfänger-Querträger sind alle crashrelevanten Bauteile in diesem Modul vertreten. Es handelt sich dabei überwiegend um tragende Teile des Vorderwagens, die eine geschlossene

2.3 Entwicklung modularer Konzepte

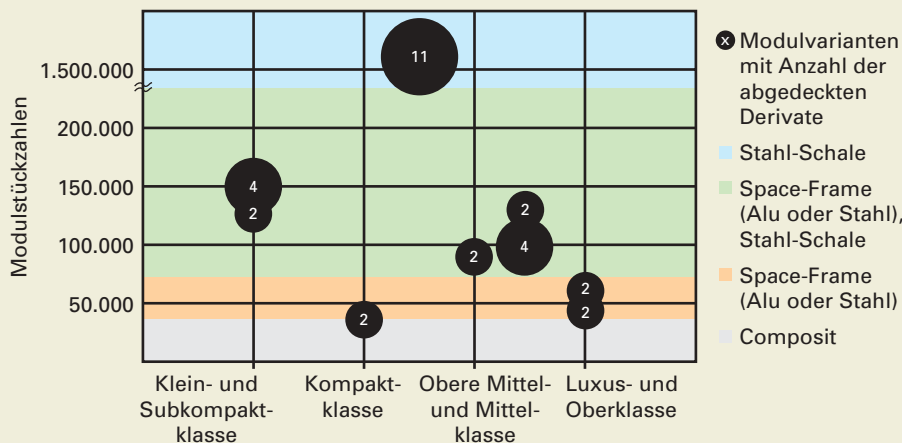


Bild 3: Bewertung im Vorderwagenbereich der Module
Figure 3: Evaluation of modules in the front structure

Rahmenstruktur vom Integralträger bis hin zur A-Säule bilden.

Die Eigenschaften des Moduls werden im Wesentlichen durch die Schnittkanten bestimmt. So legen die Schnittstellen zur Stirnwand und zum Querträger die Fahrzeugbreite fest. Die vordere Schnittstelle an der Crashbox ermöglicht durch eine wartungsfreundliche Verbindung der Bauteile

erfordern eine Auslegung des Vorderwagens über ein relativ breites Gewichtsspektrum (1100 bis 1700 kg). Die Fahrzeuge, die über die weiteren Module abgedeckt werden, befinden sich jeweils in ähnlichen Gewichtsklassen und können demnach vergleichsweise einfach ausgelegt werden. Eine Vormontage der Module mit Antriebsaggregaten ist dabei prinzipiell möglich (zum Beispiel Motor, Antriebsstrangkomponenten).

Für dieses Vorderwagenmodul eignen sich überwiegend Stahl-Lösungen mit konventionellen Fügeverfahren (zum Beispiel Punkt- oder Laserschweißen). Multimaterialien oder gegebenenfalls Aluminium können Alternativen in der Luxus-/Oberklasse darstellen. Hinsichtlich der Realisierung unterschiedlicher Bauweisen ist lediglich ein bedingter Einfluss auf bestehende Konzepte, das heißt Stahl-Schalenbauweise vorhanden. Für den Einsatz in der Luxus-/Oberklasse bieten sich Space-Frame-Konzepte oder Leiterrahmen bei Fahrzeugen für den Geländeeinsatz an.

Anzeige



dagegen eine leichte Anbindung der Crashbox und des Frontends.

Mit dieser Bauteilzusammensetzung des Moduls können prinzipiell 11 der insgesamt 37 ausgewählten Derivate abgedeckt werden (zum Beispiel Limousine, Kurzheck, Coupé, Kombi). Wie **Bild 3** zeigt, werden hier Fahrzeuge der Kompakt- und oberen Mittelklasse realisiert. Darüber hinaus gibt es weitere Module mit gleichem Bauteilumfang, die allerdings weitaus geringere Stückzahlen und Abdeckungsgrade aufweisen.

Die Gewichte der Fahrzeuge, die über dieses „Massenmodul“ abgedeckt werden,

2.4 Bewertung der Modulkonzepte

Die ermittelten Module wurden anschließend hinsichtlich ihres Erfüllungsgrades der im Vorfeld identifizierten Anforderungen untersucht und bewertet. Es liegen somit die resultierenden Ergebnisse für die Modularisierung des Gesamtfahrzeugs vor, **Bild 4**.

Dabei sind die Machbarkeit der Module, die Gewichtseinsparungspotenziale, die Fügeverfahren, der Abdeckungsgrad sowie

2.4 Bewertung der Modulkonzepte

Machbarkeit:

+ Modulkonzepte in Mono-Materialbauweise sehr gut realisierbar	- Herausforderungen bei Multimaterialkonzepten und Füge-techniken
--	---

Potentiale zur Gewichtseinsparung:

+ Anstieg des Fahrzeuggewichts durch Multimaterialbauweise aufhaltbar	- nachhaltige Senkung des Fahrzeuggewichts wahrscheinlich nur durch Bauweisenwechsel möglich
---	--

Fügetechniken:

+ Fügetechniken für unterschiedlichste Materialkombinationen vorhanden	- Wirtschaftlichkeit der Verfahren bei verschiedenen Stückzahlen erforderlich
--	---

Abdeckungsgrad der Derivate: (firmenspez. Portfolio entscheidend für Bewertung)

+ Kompakt & Mittelklasse größtes Modularisierungspotenzial	- Ober- und Subkompaktklasse vergleichsweise geringe Modularisierungspotenziale
--	---

Änderungsbedarf von Strukturbaueisen:

+ hohe Stückzahlen: keine Änderungen	- niedrige Stückzahlen: Abwägung von Multi- und Mono-Materialkonzepten
+ Multi-Materialbauweise innerhalb einer Fahrzeugfamilie möglich	

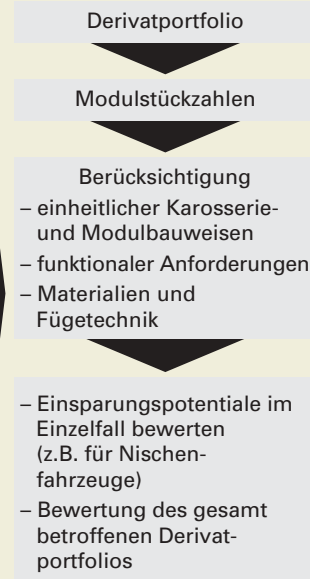


Bild 4: Zusammenfassende Modulkonzeptbewertung
Figure 4: Comprising module concept evaluation

der Änderungsbedarf der Strukturbaueisen aufgrund des Einsatzes der Module Bewertungskriterien.

Eine Reduzierung des Fahrzeuggewichts ist unter anderem durch den Einsatz von Multimaterialbauweisen möglich. Die Herausforderungen der Modularisierung liegen dabei jedoch insbesondere in der Anwendung dieser Multimaterialkonzepte und der erforderlichen Füge-techniken. Eine bedeutende Rolle spielen hier die Aspekte, die auf die Wirtschaftlichkeit der Bauweisen und Füge-technologien in Abhängigkeit der Stückzahlen zurückzuführen sind. Bei hohen Stückzahlen ergibt sich dabei nur ein sehr geringer Spielraum für alternative Strukturbaueisen (zum Beispiel Space-Frames). Hier kommen nach wie vor überwiegend Stahl-Schalen-Bauweisen zum Einsatz. Multi-Materialbauweisen lassen sich ebenfalls innerhalb einzelner Fahrzeugfamilien realisieren (zum Beispiel Luxusklasse). Es ist dabei jedoch insbesondere in Abhängigkeit der Stückzahl abzuwägen, ob Mono- oder Multi-Materialkonzepte des Gesamtfahrzeugs, das heißt Module mit unterschiedlichen Bauweisen und Materialien, zur Anwendung kommen.

Einsparungspotenziale der Modularisierung lassen sich lediglich im Einzelfall bewerten. Zum einen muss die Analyse von Synergieeffekten für ein im Vorfeld definiertes Derivatportfolio erfolgen, zum an-

3 Zusammenfassung

Klein- und Subkompaktklasse	Vorderwagen	Dach	Boden	Heck
Anzahl Derivate	7	7	7	7
Anzahl abgedeckte Derivate	6	2	4	0
Prozentsatz durch Modul abgedeckter Derivate	88%	29%	57%	0%
Verhältnis der abgedeckten Derivate zu Anzahl Derivate (der Subkompaktklasse)				
Kompaktklasse	Vorderwagen	Dach	Boden	Heck
Anzahl Derivate	8	8	6	8
Anzahl abgedeckte Derivate	7	3	5	3
Prozentsatz durch Modul abgedeckter Derivate	88%	38%	63%	38%
Verhältnis der abgedeckten Derivate zu Anzahl Derivate (der Kompaktklasse)				

Bild 5: Zusammenfassende Ergebnisdarstellung der Modularisierungskonzepte I
Figure 5: Comprising result presentation of modularisation concepts I

deren müssen dabei aber auch Auswirkungen auf weitere davon betroffene Derivate berücksichtigt werden. Somit ist hier ein Prozess zu durchlaufen, der eine gesamtgesellschaftliche Betrachtung eines spezifisch definierten Derivatportfolios einschließt. Hierauf basierende Module müssen hinsichtlich ihrer Möglichkeiten zur Gestaltung einer einheitlichen Karosserie- und Modulbauweise untersucht werden. Darüber hinaus sind der Erfüllungsgrad der funktionalen Anforderungen sowie die wirtschaftlichen Auswirkungen des Einsatzes von bestimmten Materialien und Füge-techniken genauer zu hinterfragen.

Die Erfüllung der vielfältigen Kunden-, Markt- und Herstelleranforderungen kann somit nur durch einen Zielkompromiss erreicht werden. Hierbei sind zum einen die gewünschten Fahrzeugfunktionalitäten bereitzustellen, zum anderen wirtschaftliche und legislative Vorgaben in die Betrachtung mit einzubeziehen.

In Anbetracht der vielfältigen Fahrzeuganforderungen (zum Beispiel Fahrzeugklassen, Aufbauformen oder Stückzahlen) nimmt das zu untersuchende Derivatportfolio einen starken Einfluss auf die Entwicklung von modularen Konzepten. Eine erfolgreiche Modularisierung einzelner Karosseriebereiche ist nur dann möglich, wenn zugleich alle technischen Anforderungen der zu modularisierenden Derivate (zum Beispiel Fahrzeugabmaße, Radstand oder Fahrzeugesamtgewicht) frühzeitig in die Analysen mit einfließen.

3 Zusammenfassung

Nach der Entwicklung und Bewertung der unterschiedlichen Karosseriemodule kann festgehalten werden, dass eine vollständige Modularisierung des gesamten Portfolios (37 Derivate) nicht möglich ist. In Abhängigkeit der zu untersuchenden Derivate und Fahrzeugklassen ist jedoch für ausgewählte Teilbereiche der Karosserie Modularisierungspotenzial vorhanden, **Bild 5, Bild 6**.

Es ist hervorzuheben, dass im Vorderwagen- und Bodenbereich das höchste Modularisierungspotenzial besteht. Fahrzeuge der Kompakt- und Mittelklasse bieten sich für den Einsatz von Modulen in diesen Bereichen an. Im Dachbereich besteht in diesen Fahrzeugklassen in bedingtem Maße ebenfalls Modularisierungspotenzial. Fahrzeuge der Subkompakt- und Kleinwagenklasse beinhalten hier ebenfalls Möglichkeiten zur Modularisierung. Derivate der Luxus- und Oberklasse bilden gerade aufgrund ihrer spezifischen Gestaltung sehr individuelle Fahrzeuge, die sich, abgesehen von Supersportwagen, nur in Teilbereichen der Karos-

serie, wie zum Beispiel Vorderwagen und Boden, für eine Modularisierung eignen.

Die zukünftigen Herausforderungen der Modularisierung liegen in der Anwendung von Multimaterialkonzepten, das heißt der Anwendung unterschiedlicher Werkstoffe innerhalb einer Karosseriestruktur. Neben der Realisierung der funktionalen und wirtschaftlichen Anforderungen spielt hier ebenfalls die Auswahl anforderungsgerechter Füge-technologien eine sehr bedeutende Rolle. Hier sollte neben der Leistungsfähigkeit der Verbindungstechnik zur Erfüllung technischer Anforderungen auch deren Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden. Für eine Abschätzung der Einsparungspotenziale durch Modularisierung ist unter anderem eine fahrzeugspezifische Kostenanalyse notwendig. Diese sollte die Ermittlung und einen Vergleich der mit der Modularisierung einzelner Derivate verbundenen Kosten mit den Kostenkalkulationen einzelner Fahrzeuge des bestehenden Portfolios beinhalten.

Trotz der zahlreichen Herausforderungen, die die Modularisierung eines Derivatportfolios beinhaltet und die zu bewerkstelligen sind, kann festgehalten werden, dass die Modularisierung einen möglichen Schritt darstellt, Fahrzeuge zukünftig in noch rationaler Form, das heißt mit reduzierten Kosten und mit verkürzten Entwicklungszeiten, zu realisieren. ■

3 Zusammenfassung

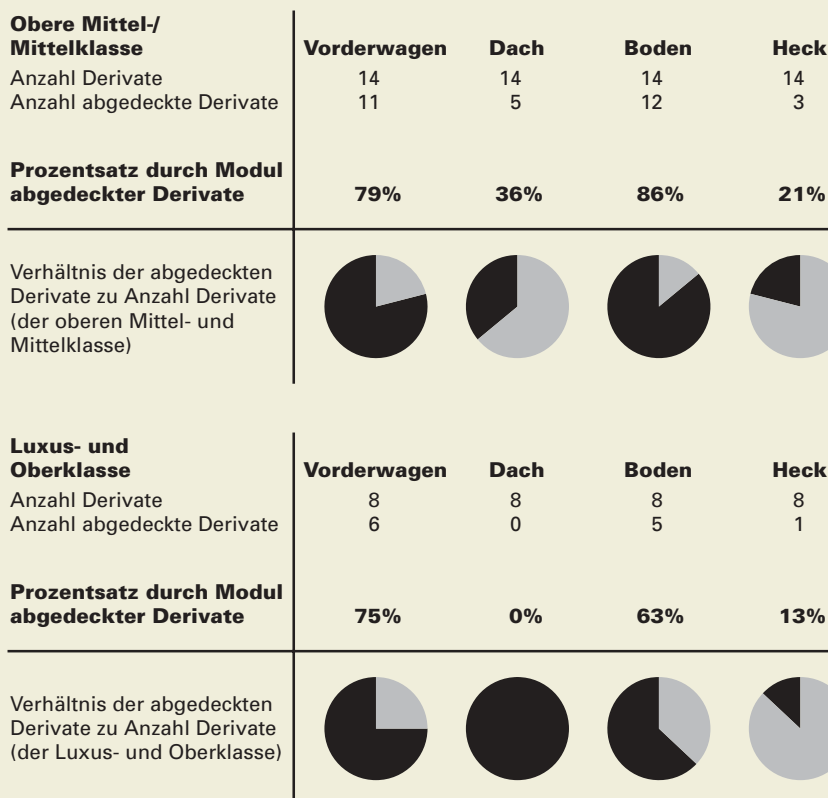


Bild 6: Zusammenfassende Ergebnisdarstellung der Modularisierungskonzepte II
Figure 6: Comprising result presentation of modularisation concepts II

For an English version of this article, see **ATZ worldwide**. For information on subscriptions, just call us or send an email or fax.



ATZ Vieweg Verlag Postfach 1546 D-65173 Wiesbaden
Hotline 06 11/76 76-151 Fax 06 11/76 76-423
email: vieweg_service@gvw-fachverlage.de