

Sonderdruck aus VDI-Tagungsband Nr. 4260 (2004), S. 25 - 45
© VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 2004

Dachrahmen in Hybridbauweise

Anja Jäschke und Ulrich Dajek

Allgemeine Informationen zur Hybridtechnik

Definition Hybridtechnik

Die Bezeichnung Hybridtechnik für bestimmte technische Anwendungen kommt heutzutage vermehrt zum Tragen.

Eine Anwendungsmöglichkeit der Hybridtechnik – entstanden aus dem Patent der Bayer AG, Leverkusen – in Form eines Verbundes der beiden Werkstoffe Kunststoff und Metall ist Grundlage des vorliegenden Vortrages.

Der Begriff „Hybrid“ stammt aus dem lateinischen und kann als „zwitterig, von zweierlei Herkunft“ ins Deutsche übersetzt werden. Demnach erhebt die Hybridtechnik den Anspruch, dass verschiedene Technologien nebeneinander verwendet werden und miteinander arbeiten müssen.

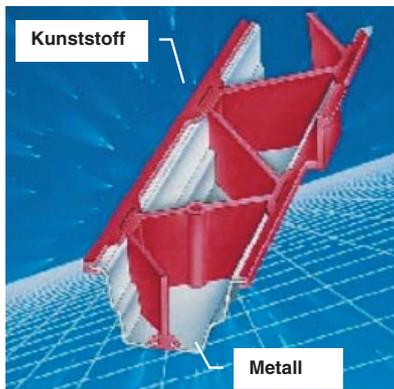


Bild 1: Hybridstruktur – Kunststoff/ Metallverbund [2]

Wie bereits erwähnt, wird in der vorliegenden Arbeit unter Hybridtechnik ein Verbund der beiden Werkstoffe Kunststoff und Metall verstanden, der durch das Spritzgießverfahren realisiert werden kann (vgl. Abb. 1). Die daraus resultierende Hybridstruktur verbindet die Vorteile beider Werkstoffe samt der zugehörigen Ver- und Bearbeitungstechnik. [1]

Die Hybridkonstruktion besteht dabei im Wesentlichen aus einer dünnwandigen Stahlblechstruktur im Verbund mit geeignet gestalteten Kunststoffbereichen (siehe auch Abb. 1), die dem Blech die erforderlichen mechanischen Eigenschaften verleihen.

Herstellung von Hybridbauteilen

Nicht nur die spezifischen Eigenschaften der eingesetzten Werkstoffe sondern auch die beiden wirtschaftlichen Verarbeitungsverfahren Metall-Tiefziehen und Spritzgießen ergänzen sich, mit dem Resultat zuverlässiger, reproduzierbarer und geringer Fertigungstoleranzen. Dies macht die Herstellung von komplexen und montagefertigen Bauteilen in wenigen Arbeitsschritten möglich.

Nach dem Einlegen und Fixieren der dünnwandigen, tiefgezogenen, gestanzten und in sich noch instabilen Blechstruktur in das Spritzgusswerkzeug wird die Kunststoffstruktur mit einem geeigneten Werkstoff im Standard-Spritzgießverfahren angespritzt (vgl. Abb. 2) [2].

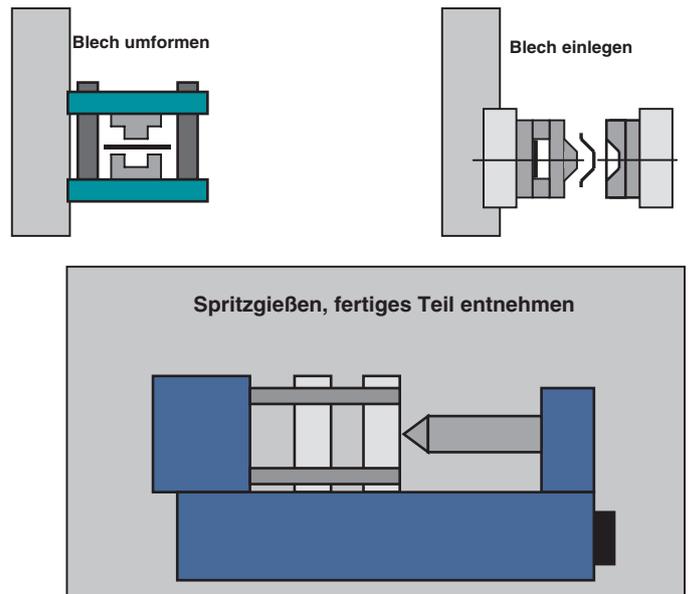


Bild 2: Prinzip der Herstellung von Hybridbauteilen [1]

Dabei dringt die Kunststoffschmelze während des Füllvorgangs durch die eingebrachten Öffnungen, Sicken und Umfangskanten des Blechs und bildet zwischen der Formnestwand des Werkzeugs und dem eingelegten Metallteil einen Nietkopf bzw. eine Klammer.

Einsparpotentiale durch Hybridtechnik

Um der Gewichtsspirale entgegenzuwirken, werden unter anderem auch tragende Metallstrukturen in der Automobilindustrie häufig aus dünnwandigen Blechprofilen gefertigt. Solche Konstruktionen weisen jedoch im Bereich der Kräfteinleitungsstellen Schwachpunkte auf, da Belastungen nicht großflächig in das Bauteil eingeleitet werden können. Mit dem Anspritzen von rippenförmigen Verstärkungen und Versteifungen aus Kunststoff können dünnwandige Stahlkonstruktionen mit wenig zusätzlichem Gewicht sehr effektiv stabilisiert werden.

Zusätzlich zu den Versteifungsrippen bietet die Hybridtechnik – ähnlich der Insert- bzw. Outsertechnik – dank des Spritzgießverfahrens die Möglichkeit, beliebige Zusatzfunktionen wie beispielsweise Befestigungselemente, Lagerstellen, Schnapphaken, Schraubverbindungen, Kabelklemmen usw. in einem Arbeitsgang zu integrieren. Dadurch ist es möglich, zeit- und kostenintensive Nachbearbeitungs- und Montageprozesse einzusparen.

Aus den oben genannten Aspekten ergeben sich für die Hybridtechnik letztlich folgende Vorteile [1]:

- Gewichtsreduzierung
- Kostensenkung
- rationelle Herstellung
- hohe Funktionsintegration
- hohe reproduzierbare Präzision
- hohe Steifigkeit
- hohe Energieabsorption
- hohe Belastbarkeit
- hohe Stabilität

Technische Voruntersuchungen

Ein Einsatz von Hybridteilen im Fahrzeugbau bedeutet aber, dass ein Hybridbauteil hinsichtlich Anforderungen an Geruch, Emission, Fogging innerhalb der Prozesskette und beim Korrosionsschutz denselben Anforderungen standhalten muss wie vergleichbare metallische Bauteile.

Um die Belastbarkeit eines Hybridprofils im Vergleich zu reinen Metallausführungen ermitteln zu können, wurde von der Firma Bayer und der Universität Erlangen ein Spritzgießwerkzeug für verrippte, dreidimensionale Hybridstrukturen (U-Hybridträger) gebaut. An diesen Versuchsträgern wurden umfangreiche technische Voruntersuchungen durchgeführt.

Fogging, Emission und Geruch

Fogging, Emission und Geruch sind Anforderungen an Werkstoffe bzw. Bauteile des Fahrzeuginnen- und Kofferraums sowie für Teile, die mit in den Fahrzeuginnenraum strömender Luft in Berührung kommen. Bei Audi gilt die Norm VW 501 80, demzufolge bei Neuentwicklungen nur Werkstoffe (hier der Kunststoff des Hybridbauteils) eingesetzt werden dürfen, die unter der in ihr festgelegten Grenzwerten bleiben [3].

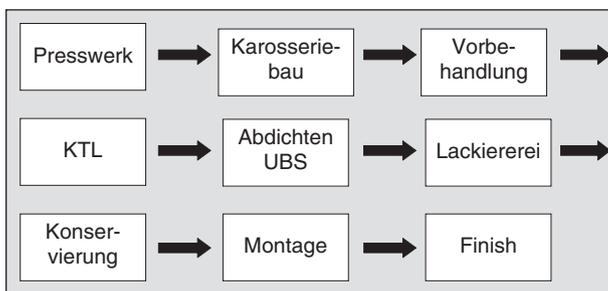
Das Verhalten bezüglich Fogging, Emission und Geruch, die vor einem Einsatz im Fahrzeuginnenraum die in den Normen und Prüfvorschriften festgelegten Werte erfüllen müssen, wurde mit den Kunststoffen (Durethan BKV 130 H2.0 und Durethan BKV 30 H2.0) durchgeführt.

Für die Punkte Emission und Geruch konnte mit Durethan BKV 130 keine Freigabe erfüllt werden. Verantwortlich für die schlechtere Bewertung des Geruchs bei Durethan BKV 130 kann den Ergebnissen zu Folge die Kautschukkomponente gezeichnet werden.

Mit dem Ergebnis der oben beschriebenen Prüfung beschränkte sich die Werkstoffauswahl für Hybridrohbauteile auf den Werkstoff Durethan BKV 30, der fortan für alle Untersuchungen herangezogen wurde.

Prozessbedingte Anforderungen

Im folgenden werden aus den Stationen der Prozesskette der Fahrzeugfertigung die prozessbedingten Anforderungen an Hybridbauteile abgeleitet.



Für das Hybridbauteil bedeutet dies, dass der Kunststoff KTL-verträglich sein muss, d.h. dass sich keine Bestandteile herauslösen dürfen (siehe oben). Des Weiteren muss er sein Eigenschaftsprofil auch nach dem KTL-Bad sowie der hohen Temperaturbeanspruchung bewahren.



Bild 4: Benetzungstörung (Krater unter dem Mikroskop [1])

Lackiererei

Es dürfen vom Kunststoff keine unerwünschten Störpotentiale (wie zum Beispiel Krater oder Benetzungsfehlstellen) ausgehen. Solbige entstehen, wenn Stoffe auf Grund ihrer Oberflächenspannung die ausreichende Benetzung der Oberfläche durch den Lack verhindern. Für derartige Lackfehler, wie in Abb. 4 dargestellt, sind vor allem Fette, Öle, Trennmittel sowie Silikone verantwortlich, die unter Umständen aus dem Kunststoff kontaminieren können. Für das Hybridbauteil bedeutet dies, dass der Kunststoff Lackverträglich sein muss, d.h. dass sich keine Bestandteile herauslösen dürfen (siehe oben).

Zusammenfassung der Ergebnisse:

In Zusammenarbeit mit der Firma Bayer – Werkstoffhersteller, Patentinhaber und Wissensträger für Hybridtechnik – konnte für das Material Durethan BKV 30 H2.0 gegenüber den eingesetzten Medien die Beständigkeit (keine Verunreinigung der Bäder) und Erhalt der Eigenschaften des Kunststoffs nach Prozessdurchlauf nachgewiesen werden.

Korrosionsverhalten

Eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz der Hybridtechnik im Karosseriebau ist die Erfüllung der bei Audi geforderten Ansprüche bezüglich Korrosion. Das Auto wird hierfür in diverse „Korrosionsbereiche“ – unter anderem in *Trocken* (korrosiv gering belastet), *Feucht* (korrosiv leicht belastet) und *Nassbereich* (korrosiv höher belastet) eingeteilt. Für die jeweiligen Bereiche werden unterschiedlich hohe Ansprüche an das Korrosionsverhalten gestellt, so dass aber in Summe eine zwölfjährige Garantie gegen Karosseriedurchrostung gegeben werden kann. Unter *passivem Korrosionsschutz* wird das Aufbringen einer Schicht aus einem schützenden Material verstanden, das den Angriff durch korrodierende Medien verhindert. Dabei können die Schichtdicken von 10^{-3} bis zu mehreren mm reichen. Bei Audi wird die gesamte Karosserie (also alle Metallbauteile) mit einer KTL-Grundierung (Kataphoresetauchlack) vor Korrosion geschützt [1].

Korrosion von Hybridbauteilen

Im Rahmen der Voruntersuchungen wurde ermittelt, ob ein Bauteil mit Hybridstruktur denselben Anforderungen gerecht wird wie vergleichbare metallische Bauteile. Bezüglich Korrosion ist festzustellen, ob die im Vorfeld der Überlegungen ausgemachten „kritischen“ Bereiche (Stellen auf denen der Kunststoff auf dem Metall „aufliegt“, Abb. 5) den Anforderungen gerecht werden kann.

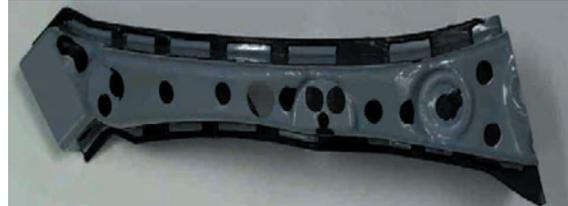


Bild 5: Beschreibung der kritischen Stellen für die Korrosion von Hybridteilen [1]

Es wurden im Rahmen dieser Arbeit Korrosionsprüfungen nach den Audi-internen Prüfvorschriften *INKA* und *P-VW 1210* vorgenommen.

Auf Grund der Vorüberlegungen wurden für die Korrosionsprüfungen neben Versuchsteilen aus verzinktem Serienblech (Güte St07 Z) auch mit Granocoat beschichtete Bleche (Güte DC05) eingesetzt. Die Teile wurden mit dem Erlanger Träger der Version 1 ($\varnothing 32$ mm) gefertigt, um eine gute Durchflutung im KTL-Tauchbad und somit eine vollständige KTL-Beschichtung der Metalloberfläche zu erreichen (vgl. Abb. 6).



Bild 6: Versuchsteile aus verzinktem Blech (links) bzw. mit Granocoat

Um die Versuchsteile gemäß ihrem künftigen Einsatzgebiet zu behandeln, wurden sie in einer Karosserie angebracht und nach den Prozessen Vorbehandlung (reinigen, phosphatieren) und KTL-Grundierung wieder aus der Prozesskette entnommen. Mit den KTL-beschichteten Hybridteilen (siehe Abb. 6) konnten die nachfolgend beschriebenen Korrosionsprüfungen durchgeführt werden.

P-VW 1210

Die Prüfung ist eine Kombination aus:

- Salzsprühnebelprüfung nach DIN 50 021 SS mit 4 Stunden Dauer
- Abkühlphase bei Raumtemperatur mit 4 Stunden Dauer
- Feucht-Wärme-Lagerung bei 40° C und 98% relativer Luftfeuchtigkeit mit 16 Stunden Dauer.

Ein Prüfzyklus entspricht demnach einem Tag. An den Wochenenden erfolgt die Lagerung bei 18 bis 28° C und 40 bis 60 % relativer Luftfeuchtigkeit.

Die Dauer der Prüfung wurde auf 30 Zyklen (6 Wochen) festgelegt [4].

INKA - Test

Die Abkürzung INKA steht für **IN**golstädter **K**orrosions- und **A**lterungstest, der sowohl am Gesamtfahrzeug als auch für Kleinteile durchgeführt wird. Der INKA-Test ist ein zeitgeraffter Test über 5 Monate, um eine 12-Jahres-Belastung im Feld zu simulieren.

Ab den Hybridbauteilen wurde folgender Test für Kleinteile durchgeführt (ein Durchlauf entspricht einem Zyklus) [5]:

- Konstantfeuchte bei $T = 50^\circ\text{C}$ und 98 bis 100% relativer Feuchte mit 29,25 Stunden Dauer
- Konstantkälte bei $T = -5^\circ\text{C}$ und 3,5 Stunden Dauer (Feuchte ungeregelt)
- Salzsprühnebel bei $T = 35^\circ\text{C}$ und 100% relativer Feuchte und 3,5 Stunden Dauer
- Ruhephasen bei Raumtemperatur (bedingt durch Kammerwechsel)

Ergebnis und Diskussion

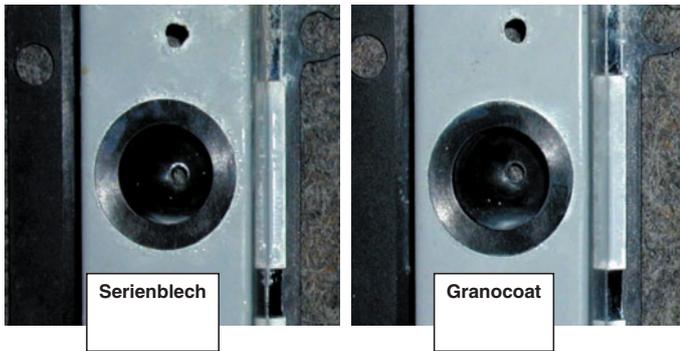


Bild 7: Erlanger Träger nach Korrosionstest [1]

Hybridbauteile mit Serienblech aus verzinktem Stahl (St 07 Z) zeigten im Vergleich zu denen aus Granocoat bei beiden Korrosionstests auf der Oberseite – vor allem im Bereich der Kunststoffanbindungen – bereits wesentlich weiter fortgeschrittene Korrosion (mehr und stärker ausgeprägte Unterwanderung → Korrosionsbläschen, vgl. Abb. 7).

Weder nach 30 noch nach 60 Zyklen wurden die Grenzen für die Unterwanderung an den Ritzen überschritten. An den korrosionsgefährdeten Stellen (im Bereich der Durchspritzpunkte) konnte kein Auftreten von Blasenbildung oder Unterwanderung festgestellt werden (vgl. auch Abb. 7), so dass auch das Korrosionsverhalten als positiv beurteilt werden kann.

Die mit Serienblech gefertigten Hybridbauteile wurden für den Einbauort Dachrahmen (Trockenbereich → „korrosiv gering belastet“) von der zuständigen Korrosionsabteilung als „freigabefähig“ bewertet. Die Freigabe selbst erfolgt immer am Fahrzeug [1].

Bauteilspezifische Anforderungen

Werkstoffspezifische Anforderungen

Bei Durethan BKV (wie bei allen Polyamiden) ist zu beachten, dass die Eigenschaften von der *Kristallinität* sowie durch den *Wassergehalt* (hat Auswirkung auf die Kräfte zwischen den Ketten) bestimmt werden.

Um den Einfluss des Wassergehalts in der Praxis zu berücksichtigen, werden Polyamid-6-Formteile vielfach dem Prozess der *Konditionierung* unterzogen, d.h. die Teile werden vor ihrem Einsatz auf den Feuchtegehalt gebracht, der in der eingesetzten Umgebung zu erwarten ist [1].

Um die Auswirkung der unterschiedlichen Umgebungseinflüsse auf die Eigenschaften von Durethan BKV 30 H 2.0 und damit das Hybridbauteil zu prüfen wurden bei der Firma Bayer diverse Falltests durchgeführt.

Wie in Bild zu sehen ist wirken sich die Eigenschaftsänderungen von Durethan auch im Hybridteil gravierend aus und sind bei einer Bauteilauslegung zu berücksichtigen.

Die Beschreibung der Durchführung und der Ergebnisse der unterschiedlichen Falltestserien würde den Rahmen dieses Vortrages sprengen.

Für die Hybridbauteile bestehen auf jeden Fall Einflüsse durch Blechwandstärke, Stahlqualität und Umgebungseinflüsse wie Temperatur und Feuchtigkeit, die bei der Bauteilauslegung berücksichtigt werden müssen.

Fallversuche – Profil oben offen

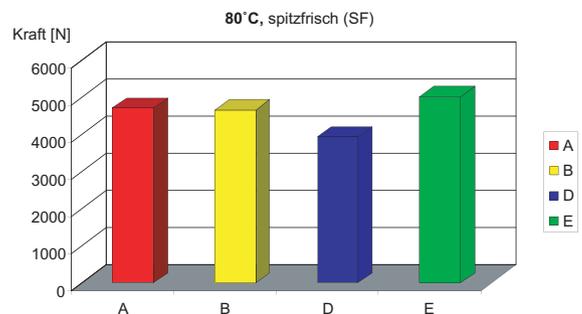
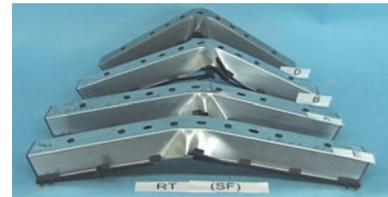
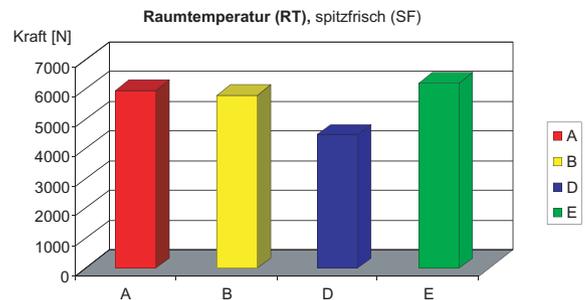


Bild 8: Ergebnisse nach Fallversuchen am Erlanger Träger [6]

Bauteilbeschreibung

Der Dachrahmen verbindet die beiden Seitenteile der Rohkarosserie und bildet das Auflager für die Frontscheibe (vgl. Abb. 9).

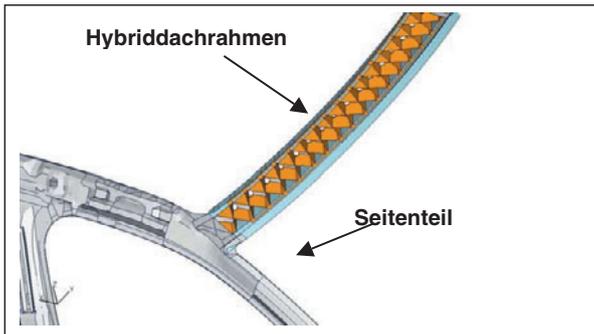


Bild 9: Einbauort des Dachrahmens [1]

Der Dachrahmen besteht aus zwei Stahlblechen, die miteinander verschweißt das in Abb. 10 links dargestellte Profil bilden (zweischaliger Blechaufbau). Mit Hilfe der Hybridtechnik kann das zur Verstärkung (Beulen, Knicken) des Dachrahmens nötige Blech durch eine eingespritzte Kunststoffrippenstruktur ersetzt werden (siehe Abb. 10 rechts).

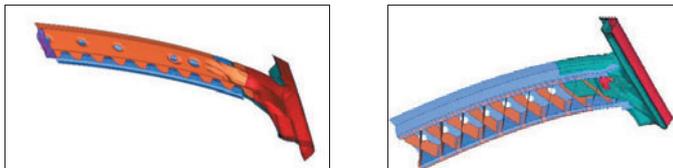


Bild 10: Dachrahmen mit zweischaligem Blechaufbau (links), bzw. in Hybridbauweise (rechts) [1]

Karosseriesteifigkeit

Im Berechnungsmodell für den Audi A4 wurde der 2-schalige Dachrahmen durch einen Hybriddachrahmen ersetzt und die entsprechende Berechnung der Karosseriesteifigkeit erneut durchgeführt. Die Lösung Hybriddachrahmen wurde im Vergleich zur konventionellen Lösung als gleichwertig bewertet.

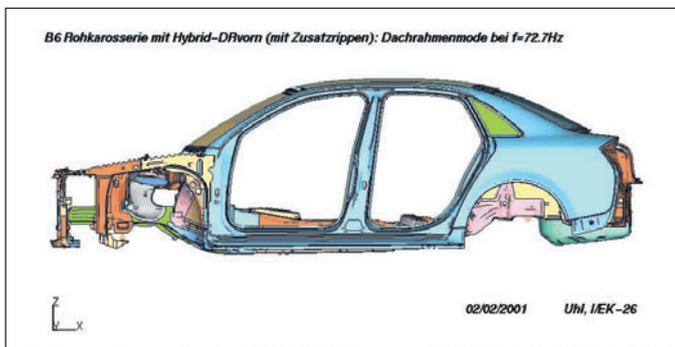


Bild 11: Berechnung der Karosseriesteifigkeit [7]

Dacheindrückung



Bild 12: Versuch Dacheindrückung [7]

Der quasistatische Dacheindrückversuch entsprechend dem US-Gesetz FMVSS 216 dient neben weiteren Versuchsanordnungen dem Nachweis der Dachstabilität. Dabei wird eine Stahlplatte schräg in die Dachstruktur gefahren. Die Dachstruktur muss dabei eine bestimmte Mindestwiderstandskraft aufweisen. Darüber hinaus bestehen bei Audi zu diesem Versuch weitere Anforderungen bezüglich der Mindestenergieaufnahme und dem Deformationsverhalten.



Bild 13: Ergebnisse Lastfall Dacheindrückung [7]

Ebenso wie bei der Karosseriesteifigkeit wurde mit dem Berechnungsmodell für die Dacheindrückung verfahren. Auch hier ergab sich kein K.O. Kriterium für eine Serienentwicklung des Dachrahmens [7].

Gewichts- und Kostenvergleich

Vorrangiges Ziel eines eventuellen Einsatzes der Hybridtechnik im Rohbau ist eine Gewichtsreduktion. Hierfür notwendige Maßnahmen müssen jedoch immer wirtschaftlich vertretbar sein. Aus diesem Grund sollte zu Beginn einer geplanten Entwicklung immer eine theoretische Grobbewertung der Gewichte und der Kosten durchgeführt werden.

Im Zuge dieser Arbeit wurde eine solche Analyse für das Modell des Audi A4 durchgeführt. Dabei wurde einerseits die derzeitige Serientechnik und andererseits (vergleichend) die (beschriebene) Hybridtechnik bewertet. Die Kosten und Gewichte für die Analyse der Serientechnik konnten vom aktuellen Modell B6 übernommen werden. Für Kosten und Gewichte werden relative Vergleiche dargestellt, wobei sich der Wert 100 % immer auf die derzeitige Serientechnik bezieht [8].

Vergleich des Gewichts

Aus Abb. 14 geht hervor, dass für den Dachrahmen mit Hilfe der Hybridtechnik Gewicht von 30% gegenüber der heutigen Serie eingespart werden kann.

Im Hybridteil entspricht die „Verstärkung“ durch Kunststoffrippen der unteren Blechschale des Serienteiles. Für die Hybridtechnik bedeutet „Blechschale“ jenes Bauteil, in welches die Kunststoffverstärkung eingespritzt wird. Die Konstruktion (Form, Werkstoff, Wandstärke) und damit das Gewicht wurde dabei auf die eingesetzte Technik angepasst (z.B. dünnere Blechschale).

Der Wert „Verstärkung“ bedeutet in der Serie beim Dachrahmen das „Oberteil“ des zweischaligen Aufbaus, „Blechschale“ entspricht dem „Unterteil“.

Vergleich des Gewichts zwischen Serien- und Hybridbauweise (Gewicht Serie entspricht 100 %)

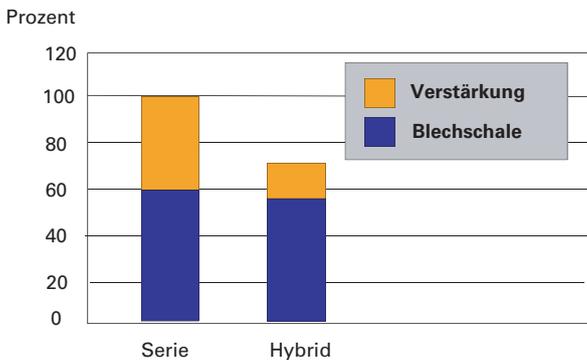


Bild 14: Gewichtvergleich Dachrahmen vorn [8]

Vergleich der Kosten

Der Teilepreis für die jeweils betrachtete Technik setzt sich aus den Kostenblöcken „Blechschale“ (Kosten für das jeweils benötigte Blechteil), „Verstärkung“ (Kosten für die jeweilige Verstärkung) und „Invest“ zusammen (Abb. 14). Für den Kostenblock „Invest“ wurden die benötigten Investitionskosten (Deltabetrachtung) – beispielsweise für Werkzeuge, Anlagen, Logistik – zusammengefasst und – mit Hilfe der Stückzahl pro Laufzeit (1,5 Mio.) – auf ein Teil umgelegt.

Kostenvergleich zwischen den Bauweisen Serie und Hybrid bezogen auf eine Stückzahl über Laufzeit von 1,5 Mio. (Kosten Serie entspricht 100 %)

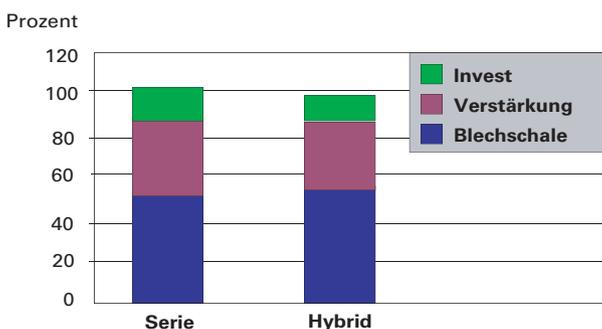


Bild 15: Kostenvergleich Dachrahmen vorn [8]

Zusammenfassung der Ergebnisse

Mit dem durch Hybridtechnik gefertigten Dachrahmen kann auf Grund der Eliminierung der Blechoberschale durch die Kunststoffverstärkung eine in der Größenordnung um 30 % liegende Gewichtsminimierung pro Teil und Fahrzeug erreicht werden (Abb. 14). In Bezug auf Kosten kann nach dieser ersten Grobbewertung von gleichbleibenden Teilepreisen ausgegangen werden (siehe Abb. 15). Summa summarum erscheint eine Umsetzung des Dachrahmens in Hybridtechnik – auf Grund der hohen Gewichtseinsparung – äußerst sinnvoll [8].

Bewertung für den Produktionsbereich

Nach einer Bewertung in Zusammenarbeit mit den Audi-Fachabteilungen wäre beim Audi A4 eine Gewichtseinsparung von 300g je Fahrzeug bei Kostenneutralität möglich.

Weiterhin können im Produktionsbereich durch die Umstellung auf eine einschalige Bauteilauslegung 130 m² Fläche sowie 500 T € Investitionen eingespart werden.

Durch Integration von RPS Punkten im Kunststoff ist eine Toleranzreduzierung möglich.

Die Potentiale für die Montage wurden dabei noch nicht berücksichtigt (Integration Sonnenblendenlager, Kabelbefestigung usw.).

In dem Karosseriebau sind keine umfangreichen Änderungen nötig, da Hybridteile herkömmlich behandelt und als Schweißgruppe ausgeführt werden können [8].

Umsetzung und Randbedingungen im neuen A6

Nachdem der theoretische Nachweis für alle kritischen Punkte erbracht wurde, war der Audi A6 vom Terminplan das nächste Fahrzeug, an dem die Umsetzung des Dachrahmens in Hybridbauweise sinnvoll erschien.

Folgende Randbedingungen konnten eingehalten werden:

- Investition Versuchswerkzeug für Baustufe A
- Erprobung im Fahrzeug in den ersten Prototypenfahrzeugen mit seriennahen Bauteilen
- Absicherungslösung 2-schalige Blechbauweise ausgereift und kurzfristig umsetzbar
- Einbeziehung der SE-Gruppe enge Zusammenarbeit mit Rohstoffhersteller, Konstruktion und Werkzeugbauer – alle in einem Boot
- Werkzeuge für Baustufe B und Serie aus einer Hand
- Einfließen aller Änderungen und Seriengegebenheiten in die Bauteilentwicklung

In der ersten Baustufe für den neuen Audi A6 wurden seriennahe Hybriddachrahmen eingebaut und erprobt. Nach positiven Erprobungsergebnis und einer nachgewiesenen Kostenneutralität sowie einer Gewichtseinsparung von 500g je

Fahrzeug wurde von der SE-Gruppe der Einsatz in Baustufe 2 und Serie entschieden.

Bild 16 und Bild 17 stellen den aktuellen Konstruktionsstand dar.

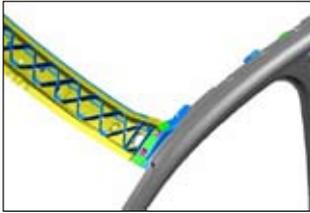


Bild 16: Draufsicht

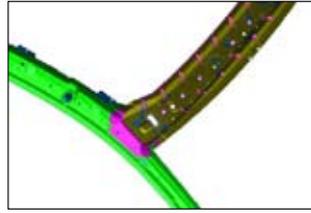


Bild 17: Ansicht von unten

Literatur

- [1] Stromberger, J.: Einsatz der Hybridtechnik im Rohbau. Diplomarbeit. FH Rosenheim 2002
- [2] Malek, T.; Koch, B.: Hybrid – Technologie (Kunststoff-Metall-Verbund für Strukturbauteile). Ingolstadt 2001 (Präsentationsfolien)
- [3] VW 501 80: Bauteile des Fahrzeuginnenraums. Audi AG, Ingolstadt 1996
- [4] Prüfspezifikation VW 1210: Korrosionsprüfung. Audi AG, Ingolstadt 1981
- [5] INKA: Ingolstädter Korrosions- und Alterungs-Test. Audi Ag Ingolstadt
- [6] Interner Bericht: Dachrahmen in Hybridbauweise. Audi AG, Abteilung I/PG-613, Ingolstadt 2001
- [7] interne Präsentation: Dachrahmen in Hybridbauweise. Audi AG Abteilung I/EK-26, Ingolstadt 2001
- [8] Interner Bericht: Kosten- und Gewichtsvergleich potentieller Bauteile in Hybridtechnik. Audi AG, Abteilung I/PG-613, Ingolstadt 2002

Sonderdruck aus VDI-Tagungsband Nr. 4260 (2004), Seite 25 – 45.

© VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 2004

LANXESS Deutschland GmbH
Semi-Crystalline Products
Product & Application Development
Gebäude B 207
D-51369 Leverkusen
Telefon: 0214 / 30-81538
Telefax: 0214 / 30-53536