

# Werkstoffauswahl und Werkstofffreigabe in der Karosserieentwicklung

Dr.-Ing. J. Staeves

BMW AG, München

## 1. Einleitung

Hochfeste Stähle werden auf absehbare Zeit der wichtigste Werkstoff für Automobilkarosserien bleiben. Mehrphasenstähle haben in den letzten Jahren durch gute Umformbarkeit bei gleichzeitig hoher Festigkeit weiteres Potenzial für die konstruktive Gestaltung der Karosserien erschlossen. Aktuelle Stahlentwicklungen konzentrieren sich auf drei wesentliche Richtungen:

1. Weitere Steigerung der Streckgrenzen, auch weit über 1000 MPa.
2. Deutlich verbesserte Umformbarkeit in den bisher üblichen Festigkeitsklassen.
3. Neue Sorten und insbesondere Beschichtungen für warm umformbare Stähle.

Die Einführung neuer Stahlsorten ist für die Automobil- und Stahlindustrie grundsätzlich eine gemeinsame Herausforderung. In der Entwicklung eines Fahrzeugs kann ein neuer Stahl nur dann mit vertretbarem Risiko eingesetzt werden, wenn ausreichend Kenntnisse über Funktion und prozesssichere Verarbeitung bei hinreichend geringen Schwankungen der Werkstoffeigenschaften vorliegen. Diese können nur erreicht werden, indem die Stahlindustrie über einen größeren Zeitraum Produktionserfahrung anhand mehrerer Schmelzen sammelt. Ohne kalkulierbare und nennenswerte Abnahmemengen ist das jedoch unternehmerisch nicht tragbar. Die Einführung neuer Stähle erfordert deshalb eine enge Zusammenarbeit von Automobil- und Stahlindustrie mit abgestimmten Schnittstellen und Aufgaben, um die Risiken für die Stahlentwicklung auf der einen Seite und für Produktion und Funktion des Fahrzeugs auf der anderen zu minimieren. Die Effizienz dieser Zusammenarbeit entscheidet über die Wettbewerbsfähigkeit sowohl der Partner als auch des Werkstoffs Stahl.

In gemeinsamen Gremien des Verbandes der Deutschen Automobilindustrie und des Stahlinstituts VDEh werden Freigabeabläufe definiert, die erforderlichen Meilensteine und Prüfungen festlegt sowie Prüf- und Dokumentationsrichtlinien vereinbart.

Mit diesem Vortrag soll über den aktuellen Stand dieser Arbeiten berichtet werden.

Ziel des Vortrages ist darüber hinaus, die Anforderungen an die Werkstofffreigabe aus Sicht der Karosserieentwicklung näher zu beschreiben, um die Transparenz und das Verständnis für die auf beiden Seiten sehr aufwändigen Prüfungen zu erhöhen **(Folie 2)**.

## 2. Werkstoffgrobkonzept

In der Karosserieentwicklung werden die ersten Beiträge der Werkstoffexperten bereits etwa 6 Jahre vor Serienstart in der ersten Konzeptphase benötigt **(Folie 3)**.

Bei der Entscheidung über Stahl-, Aluminium- oder Mischbaukarosserie sind die wichtigsten Kriterien zwar Stückzahl, Kundenprofil und das Design, jedoch lassen sich etwa scharfe markante Konturen in Aluminium nicht darstellen. Hier bieten Tiefziehstähle eine größere Designfreiheit **(Folie 4)**.

Neue Legierungskonzepte und Fertigungsverfahren können über Eigenschaften und Kosten die Werkstoffauswahl für das Grobkonzept mit beeinflussen.

Werkstoffentwickler haben dabei aus Sicht der Gesamtfahrzeugfunktion Anforderungen aus anderen Fachgebieten, wie zum Beispiel die Integration von Antennen, mit zu berücksichtigen. In einem modernen Fahrzeug sind mehrere Antennen auf dem Dach oder in der Heckscheibe integriert. Bei einem Cabrio stehen jedoch diese Einbauorte nicht zur Verfügung. Eine Heckklappe aus Kunststoff kann hier die Antennen aufnehmen, ohne sie wie ein metallischer Werkstoff abzuschirmen (**Folie 5**).

Für die Bewertung eines Karosseriegrobkonzeptes ist die Risikoabschätzung der Werkstoffexperten zu Funktionalität, Verfügbarkeit und prozesssicherer Verarbeitbarkeit neuer Werkstoffe ein wichtiger Beitrag. Aus dieser Risikoabschätzung lassen sich die notwendigen Maßnahmen ableiten, um spätestens zum Beginn der Serienentwicklung eine gesicherte Entscheidung über den Einsatz eines Werkstoffs treffen zu können. Die offene Diskussion über potenzielle Risiken zwischen den Werkstoffexperten von Stahl- und Automobilherstellern ist Voraussetzung für die Einleitung rechtzeitiger Maßnahmen zu deren Minimierung (**Folie 6**).

### 3. Werkstoffkonzept

Zur Detaillierung des Konzepts ab etwa 5 Jahren vor Serie müssen die Werkstoffe und Herstellungsverfahren der wichtigsten Bauteile festgelegt (**Folie 7**) und die Lastpfade in der numerischen Simulation überprüft werden (**Folie 8**). Voraussetzung dafür ist die Verfügbarkeit möglichst genauer Simulationsdaten wie Fließkurven, Fließortkurven, zyklischer Kennwerte, Grenzformänderungsdiagramme und Daten aus Hochgeschwindigkeitsversuchen. Für Stähle sollten diese Daten vom Stahlhersteller bereitgestellt und an die Automobilhersteller sowie deren Zulieferer übergeben werden. Würde jeder Automobilhersteller oder Zulieferer die Daten selbst ermitteln, wäre der Aufwand unnötig hoch und die Ergebnisse wären nur eingeschränkt vergleichbar. Um eine geeignete Prüfmethode und ein von allen nutzbares Datenformat zu entwickeln, wurde eine Prüf- und Dokumentationsrichtlinie Stahl (PuD-S) erarbeitet, die demnächst in Form eines Stahleisenprüfblattes veröffentlicht wird. Für Aluminiumblech existiert eine vergleichbare PuD. Die Arbeiten an einer PuD-F zur Vereinheitlichung der Prüfmethoden im Bereich der Fügechnik sind bereits weit fortgeschritten. Neben den Prüfbedingungen wird dabei festgelegt, welche Prüfungen sinnvollerweise beim Stahlhersteller (übertragbare Grundsatzversuche zur Machbarkeit) und welche beim Automobilhersteller (Prozesssicherheit unter Serienbedingungen) durchgeführt werden sollten. Um den Konstrukteur bei der Werkstoffauswahl zu unterstützen, werden Kriterien für eine erste Vorauswahl des Werkstoffs definiert (**Folie 9**). Dabei hat sich herausgestellt, dass die Streckgrenze das erste und mit Abstand wichtigste Kriterium ist. Für die neuen Mehrphasenstähle hat sich die Normung leider dahin entwickelt, dass die Bezeichnung nicht wie bei den bisherigen hochfesten Stählen nach der Streckgrenze sondern nach der Zugfestigkeit erfolgt. Für den Konstrukteur ist damit das wichtigste Auswahlkriterium nicht mehr auf den ersten Blick ersichtlich. Darüber hinaus entsteht unnötige Verwirrung, da manche Stähle nach der Streckgrenze, andere nach der Zugfestigkeit bezeichnet werden. Hier besteht Handlungsbedarf bei zukünftigen Überarbeitungen der Normen.

Neben der Auswahl des richtigen Werkstoffs aus Sicht der Funktionalität ist für das Werkstoffkonzept die Fertigung zu berücksichtigen. Manche Besonderheit neuer Stähle wie die Rissempfindlichkeit an Schnittkanten oder die ausgeprägte Abhängigkeit der Umformbarkeit vom Dehnungspfad kann nur durch aufwändige Versuche in Serienwerkzeugen rechtzeitig erkannt werden. Die Auswahl in **Folie 10**

zeigt Bauteile aus Mehrphasenstählen, die während der Konzeptphasen des BMW 1er und 3er in Serienwerkzeugen gefertigt wurden.

Dieses Beispiel aus der Umformtechnik macht deutlich, dass die Aufwände für die Prozessertüchtigung beim Automobilhersteller erheblich sind. Trotzdem muss in dieser Phase damit gerechnet werden, dass ein entwickeltes Stahlkonzept noch geändert oder als nicht zielführend gestoppt werden muss. Dieses Risiko ist bei der Entwicklung zu berücksichtigen. Die bisherigen Ergebnisse können unbrauchbar oder zumindest nur eingeschränkt übertragbar sein, gegebenenfalls muss die bisherige Konstruktion grundlegend überarbeitet werden.

Um die Risikobewertung mit den Ergebnissen aus den Bauteilversuchen dieser Phase zu aktualisieren, werden zusätzlich Angaben über die voraussichtlich verfügbaren Coilbreiten und Blechdicken sowie Angaben zu den voraussichtlich zu erwartenden Chargenschwankungen der mechanischen Kennwerte benötigt (**Folie 11**).

#### 4. Werkstofffreigabe

In der nächsten Prozessphase werden für die Werkstofffreigabe etwa 3 Jahre vor Serie verbindliche Angaben zu den Chargenschwankungen benötigt. Um sinnvolle Toleranzen festzuschreiben, muss der Stahlhersteller ermitteln, welche Minimal- und Maximalwerte mit vertretbarem Aufwand einhaltbar sind. Beim Automobilhersteller muss anhand realer Bauteile ermittelt werden, welche Bauteile mit diesen Toleranzen ausreichend maßhaltig herstellbar sind. Je geringer die Chargenschwankungen sind, desto größer ist das damit herstellbare Bauteilspektrum. **Folie 12** zeigt in einem Serienmessprotokoll die Maßhaltigkeit eines Punktes eines Bauteils mit dem bisherigen Serienwerkstoff und je 2 Chargen eines Mehrphasenstahls von 2 Lieferanten. Der Aufsprung ist bei den Mehrphasenstählen deutlich erhöht, die Schwankungen des Aufsprungs liegen aber wie gefordert innerhalb eines Millimeters. Es besteht folglich die Möglichkeit, den Aufsprung durch Einarbeit des Werkzeugs zu kompensieren.

Ein weiteres Kriterium für die Werkstofffreigabe ist die Überprüfung der Serienanlagen. Neben beispielsweise der Beurteilung der Pressenkräfte, die über Simulation unterstützt werden kann, treten im Versuch immer wieder nicht vorhersehbare Herausforderungen auf. **Folie 13** zeigt einen frühen Versuch, einen TRIP-Stahl auf einer Seriencoilanlage zu schneiden. Die Kräfte waren ausreichend, aber Steifigkeit und Verschleißzustand der Führungen des Schneidwerkzeugs waren nur für die bisherigen Serienwerkstoffe geeignet. In **Folie 14** sind beispielhaft weitere Fragen aufgeführt, die während der Einführung neuer Stähle beantwortet werden müssen.

Die Freigabe von Werkstoffen kann in eine bauteilunabhängige und eine bauteilabhängige Freigabe unterschieden werden (**Folie 15**). Mit der bauteilunabhängigen Freigabe wird geprüft, ob eine eindeutige Spezifikation mit Änderungsdienst vorliegt (z. B. in Form einer Norm oder einer Firmenspezifikation), ob das Material gesetzlichen Anforderungen wie der Altautorichtlinie entspricht und ob das für Konstruktion und Fertigung erforderliche know how verfügbar ist (**Folie 16**). Mit der bauteilabhängigen Werkstofffreigabe wird überprüft, ob der Werkstoff in dem jeweiligen Bauteil seine Funktion erfüllen kann und ob er für die vorliegenden Anforderungen ausreichend spezifiziert ist. Insbesondere bei Gussbauteilen sind häufig über die Norm hinausgehende Werkstoffspezifikationen erforderlich. Bei Bedarf wird entschieden, ob neben dem normgerechten Werkstoffeintrag eine weitergehende Qualitäts- oder Prozessvorschrift erforderlich ist, zum Beispiel zur Spezifikation der Wärmebehandlung oder der Porosität.

## 5. Serienentwicklung

Mit der Freigabe des Werkstoffs sollte im Idealfall die Werkstoffentwicklung abgeschlossen sein. In der anschließenden Serienentwicklung sollten die Prüfstandsläufe und Prototypen nur zur Bestätigung der mit Hilfe der Simulation entwickelten Konstruktion dienen (**Folie 17**). Grund dafür ist, dass die Planung und Beschaffung der Fertigungsanlagen beginnt und dass in dieser Phase Werkstoffänderungen mit erheblichem Aufwand verbunden sein können. Bei unvermeidlichen Werkstoffänderungen, zum Beispiel aufgrund unzureichender Testergebnisse, müssen die Auswirkungen auf die Fertigung sorgfältig bewertet werden.

Die während der Serienentwicklung identifizierten Änderungsbedarfe können aber auch eine Chance für neue Werkstoffe sein, wenn die Eigenschaften eines neuen Werkstoffs zur Lösung führen. Bei Einführung neuer Stähle kurz vor Serienstart kann zur Risikominimierung ein erhöhter Prüfaufwand in der Fertigung vereinbart werden und es bietet sich die Chance, mit diesem Werkstoff bei kleiner Stückzahl Produktionserfahrung zu sammeln.

Mit Sicherheit ist nicht jeder in Realität auftretende Fall berücksichtigbar (**Folie 18**), aber **Folie 19** zeigt, dass auch zu diesem relativ späten Zeitpunkt das eine oder andere gravierende und durch effizientere Zusammenarbeit vermeidbare Werkstoffproblem auftritt.

Mit der Zeichnungskontrolle wird bis spätestens zum Start der Serienfertigung der Werkstoffeintrag auf der Zeichnung überprüft und auf Basis der Ergebnisse aus Bauteil- und Fahrzeugprüfung sowie der vom Stahlhersteller aktualisierten Werkstoffinformationen bestätigt (**Folie 20**).

Mit Serienstart besteht die Möglichkeit, die gewonnene Produktionserfahrung in die Optimierung der Prozesse und weitere Einschränkung der Toleranzen umzusetzen (**Folie 21**). Während auf Basis der bisher geringen produzierten Tonnagen eher große Toleranzen akzeptiert werden mussten und einige Bauteile aus Gründen der Maßhaltigkeit nicht darstellbar waren, kann nun bei Zusicherung geringerer Toleranzen für nachfolgende Fahrzeugprojekte ein größeres Bauteilspektrum erschlossen werden (**Folie 22**).

**Folie 23** fasst die für den Fahrzeugentwicklungsprozess erforderlichen Werkstoffinformationen zusammen und ordnet sie den Prozessschritten zu. Zu den Materiallieferungen ist klar vereinbart, welche Materialdaten in welchem Datenformat mitgeliefert werden. Da für den Automobilhersteller damit transparent wird, in welcher Entwicklungsphase sich der Stahl befindet und auf welcher Basis die Werkstoffinformationen ermittelt wurden, kann das Risiko beurteilt und mit entsprechenden Maßnahmen abgesichert werden.

Dem Stahlhersteller bietet sich mit diesem Ablauf die Möglichkeit, neue Stahlsorten schneller und zielgerichteter in Serie zu bringen (**Folie 24**).

*An dieser Stelle möchte ich mich bei den Kollegen in den gemeinsamen Ausschüssen und Arbeitskreisen von VDA und Stahlinstitut VDEh für die konstruktive und offene Zusammenarbeit bedanken und wünsche uns für die Zukunft entsprechend schnelle Werkstofffreigaben.*