

# EMV-Prozesse und Tools für eine baureihenübergreifende Elektronikentwicklung

Dr.-Ing. M. Richter, Audi AG, Ingolstadt  
Dr.-Ing. S. Frei, Audi AG, Ingolstadt  
Dipl.-Ing. C. Lippert, Audi AG, Ingolstadt

## Kurzfassung

Moderne Fahrzeuge weisen einen stetig steigenden Elektronikanteil auf. Zusätzlich nimmt die Zahl der Fahrzeugbaureihen zu. Um unter diesen Randbedingungen den hohen Qualitätsanforderungen zu genügen und Kostenvorteile auszunutzen, müssen verstärkt Elektronikkomponenten baureihenübergreifend eingesetzt werden. Dies bedeutet, dass die EMV-Komponentenentwicklung möglichst baureihenunabhängig erfolgen muss. Für den EMV-Prozess beim OEM hat dies zur Folge, dass die EMV-Konzeptentwicklung der Antennen, des Bordnetzes und der Steuergeräte-Platzierung ein noch stärkeres Gewicht bekommt. Zur systematischen Konzeptbeeinflussung wurde ein Expertensystem entwickelt. Dieses System erlaubt zusammen mit der Simulation eine erste Beurteilung am virtuellen Prototypen. Weitere Tools sind der elektronische Qualifikationsbericht und die Lieferantenbewertung.

## 1 Einleitung

Die Komponenten werden zeitgleich von einer Vielzahl von Zulieferern entwickelt, parallel zum Fahrzeug mit dem Bordnetz als Koppelweg für Störungen, der Komponentenplatzierung und den Antennensystemen. In der Vergangenheit haben Komponenten-Zulieferer und Fahrzeughersteller versucht, mit Hilfe von Erfahrungswerten die variierenden Randbedingungen im Fahrzeug zu prognostizieren. Eine verlässliche Vorhersage wird allerdings immer schwieriger, da in modernen Fahrzeugen die Komplexität durch einen stetig wachsenden Elektronikanteil steigt. Aus Sicht des Fahrzeugherstellers kommt hinzu, dass der Trend zur Individualisierung in der Gesellschaft zu einer Derivatisierung der Fahrzeuge führt. Es besteht die Notwendigkeit, in gleicher Zeit eine höhere Anzahl von Fahrzeugbaureihen zu entwickeln. Eine Beschleunigung der Entwicklung ist zwingend. Schlüsselfelder sind neue Strategien, ausgereifte Prozesse, leistungsfähige Tools und motivierte Mitarbeiter.

## 2 Strategie

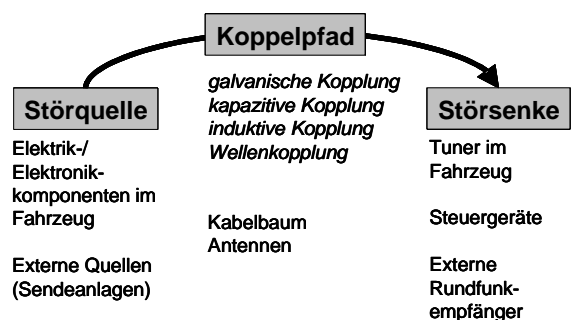
### 2.1 Grundgedanke

Aus der Derivatisierung der Fahrzeugbaureihen resultiert die Forderung an die Elektronikentwicklung, eine höhere Komplexität in einer geringeren Entwicklungszeit zu erreichen. Die Herausforderung ist nur lösbar, indem man über neue Strategien, Prozesse und Tools nachdenkt. Die in diesem Abschnitt vorgestellte neue Strategie hat wiederum einen entscheidenden Einfluss

auf die Prozesse und Tools.

Nur eine strenge Modularisierung der Elektronikkomponenten, also die Verwendung gleicher Bauteile für verschiedene Fahrzeugderivate, ist zielführend. Dieses Vorgehen steht im Widerspruch mit der bisher praktizierten Vorgehensweise in der EMV-Entwicklung. Da es bisher immer fahrzeugspezifische Elektronikkomponenten gab, konnten für jede Baureihe individuelle EMV-Maßnahmen definiert werden. Dies ist jedoch bei einem fahrzeugübergreifenden Einsatz der Elektronik nicht mehr möglich.

Betrachtet man das allgemeine Koppelmodell der EMV bestehend aus Störquelle, Koppelpfad und Störsenke (**Bild 1**), bietet es sich zunächst an, die Modularität über strengere EMV-Komponentengrenzwerte zu gewährleisten. Das bedeutet, dass die Variationen des Koppelpfades (= anderes Fahrzeug) im Falle der Störfestigkeit mit härteren Vorgaben für die Störsenke und bei der Störaussendung mit strengeren Kriterien bei der Störquelle kompensiert werden. Allerdings würde eine solche Vorgehensweise zu erheblichen höheren Kosten bei den Elektronikkomponenten führen.



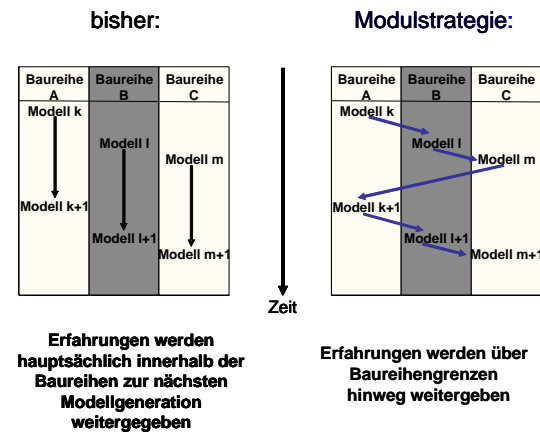
**Bild 1** Allgemeines Koppelmodell der EMV

Deshalb muss man das Hauptaugenmerk zunächst auf den Koppelpfad legen. Die Komponenten sollen in allen Fahrzeugen, in denen sie einsetzen, aus EMV-Sicht vergleichbare Umgebungsbedingungen vorfinden. In der Praxis werden diese durch das Packaging, die Verkabelung, das Antennenkonzept und die Karosserie bestimmt. Um nun Vergleichbarkeit zwischen den Fahrzeugen zu erreichen, dürfen die Verkabelung und das Packaging nicht baureihenspezifisch entwickelt werden. Stattdessen müssen neue Projekte auf dem direkten zeitlichen, bereits EMV-bewährten Vorgänger basieren (Bild 2).

## 2.2 konkrete Maßnahmen

Für das Packaging, also dem Verbauplatz aller Elektronik im Fahrzeug, wurden verschiedene Bereiche definiert (Bild 3), in denen die Komponenten bei jedem Fahrzeugprojekt, in dem sie eingesetzt werden, platziert sein müssen. Abweichungen führen zu einem erhöhten EMV-Risiko. Komponentenspezifische Abhilfemaßnahmen können notwendig sein. Für die Verkabelung werden identische Grundtopologien des Kabelbaums bei jedem Fahrzeug gefordert. Dies schließt die Verlegewege, die Bündelzuordnung sowie die Übernahme von Leitungstypen (Verdrillung, Schirmung, ...) ein.

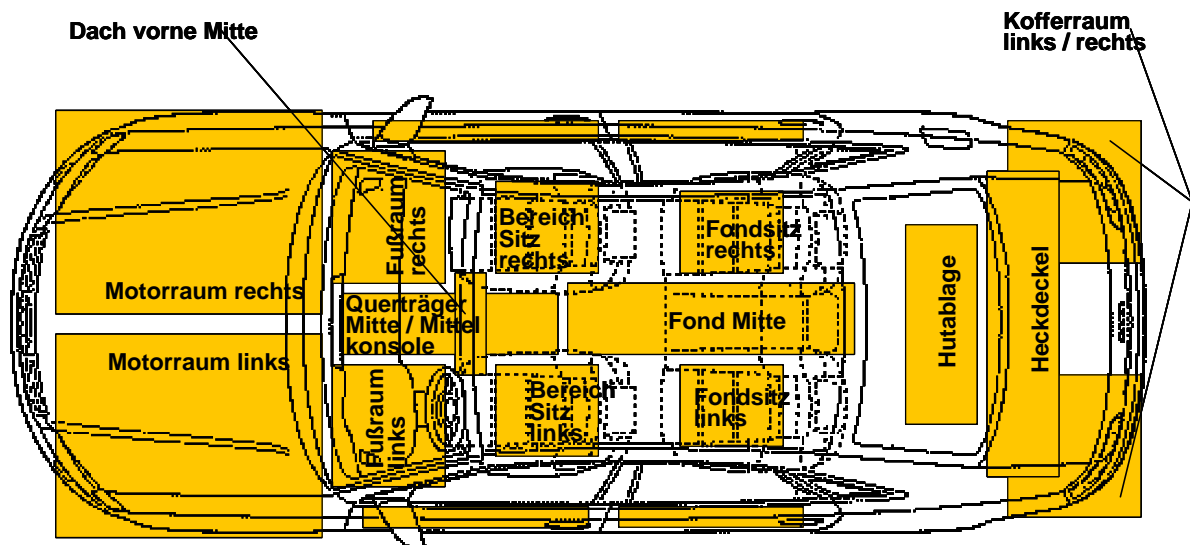
Ein weiteres Handlungsfeld sind die Antennen. Dort ist ein Standardantennenkonzept pro Fahrzeugklasse anzustreben. Limousinen und Coupés als auch Kombis und SUVs sollen jeweils ein identisches Antennenkonzept aufweisen. Desweiteren sind einheitliche Frequenzbänder für alle Fahrzeuge anzustreben, wobei zumindest beim Ersteininsatz der Maximalumfang abgeprüft werden muss. Außerdem hängt das EMV-Verhalten noch von den Abmaßen und dem Material der Karosserie ab. Auf diese Faktoren ist der Einfluss



**Bild 2** Erfahrungswartung im Entwicklungsprozess

eher begrenzt, weswegen sie größtenteils nur als Risikoindikatoren eingesetzt werden können.

Die Wirksamkeit der oben aufgeführten Forderungen und Maßnahmen ist dadurch eingeschränkt, dass absolut identische Umgebungsbedingungen aufgrund der unterschiedlichen Karosserieformen und Dimensionen der Fahrzeuge nicht erreichbar sind. Dieses Risiko muss durch kompromisslose Anwendung der Komponentenverfahren beim Ersteininsatz abgesichert werden. Die Forderungen an die Verkabelung, das Packaging und die Antenne müssen in der frühen Konzeptphase umgesetzt werden. Da zu diesem Zeitpunkt noch keine Prototypen verfügbar sind, muss man verstärkt auf die Simulation am virtuellen Prototypen zurückgreifen werden. Entsprechende Tools wurden entwickelt und sind in den Prozess eingebunden worden. Parallel dazu wurde die oben erwähnte stärkere Konzentration auf die Komponentenqualifikation in den EMV-Prozess verankert.



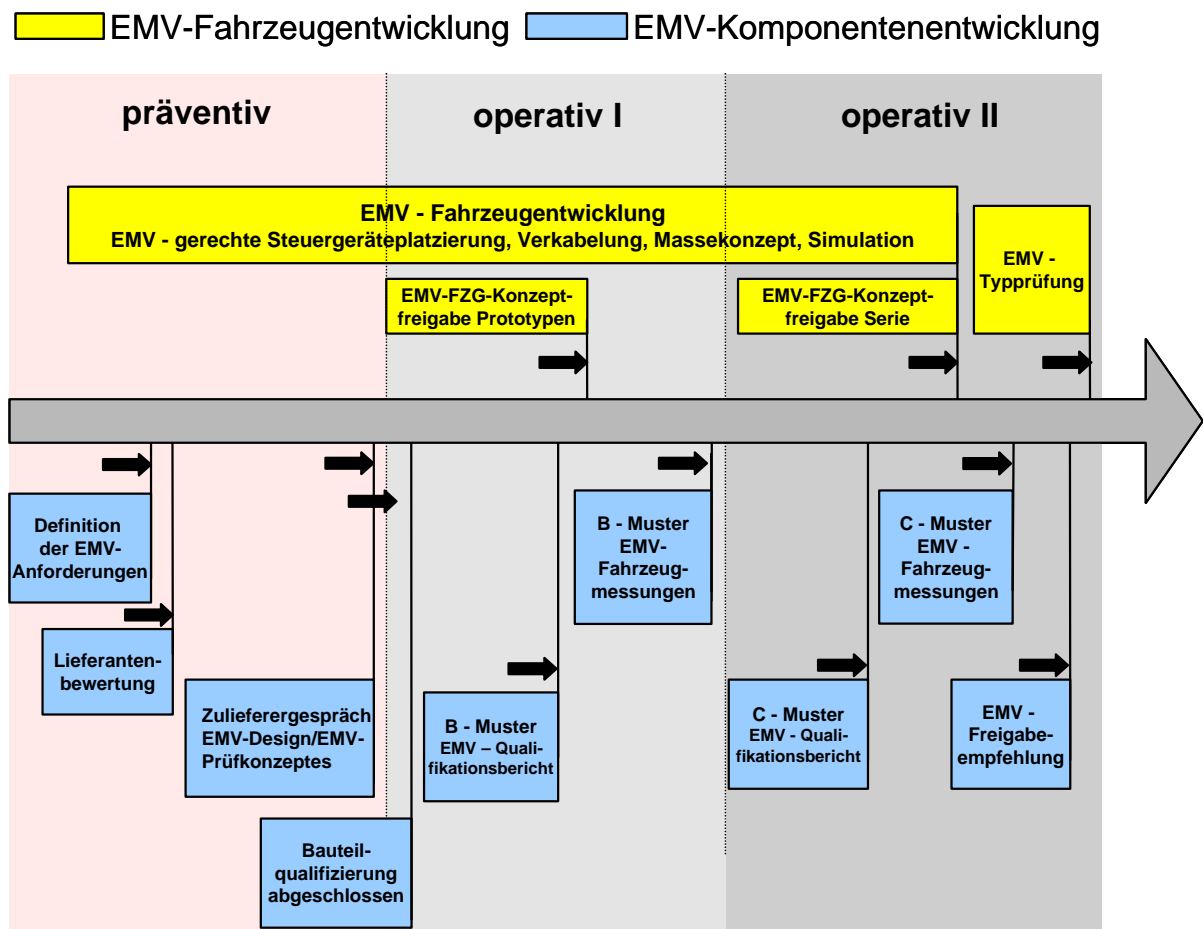
**Bild 3** Bereiche für die Platzierung der Elektronikkomponenten bei Fahrzeugfolgeprojekten

### 3 Prozess

#### 3.1 Komponentenebene

Das **Bild 4** zeigt den Prozess bis zur EMV-Freigabe während einer Fahrzeugentwicklung bei der AUDI AG an. Dieser Prozess wird unterteilt in einen Fahrzeug- und einen Komponentenprozess. Zu Beginn müssen für alle neuen Elektroniksysteme EMV-Anforderungen auf Komponenten- und Fahrzeugebene durch den Fahrzeughersteller definiert werden. Man nutzt die Erfahrungen aus früheren Projekten bezüglich Messverfahren und Prüfaufbauten. Nach Vergabe des jeweiligen Umfangs an einen Zulieferer sind gegenseitige Absprachen bezüglich EMV-Prüfplanung und vorgesehenem EMV-Konzept erforderlich.

Die Ergebnisse des EMV-Verhaltens einer Komponente bei der Labormessung des Zulieferers werden in einem EMV-Qualifikationsbericht dokumentiert. Diese Resultate müssen vor einer Fahrzeugmessung zur Verfügung stehen, um den Erfolg einer Fahrzeugmessung zu prognostizieren und um die weiteren Optimierungsmaßnahmen zu definieren. Jede Modifikation einer Komponente bedingt die erneute Dokumentation der Ergebnisse der Labormessung. Um die Effizienz bei der Dokumentation und Auswertung zu steigern, wird zukünftig ein elektronischer Qualifikationsbericht zum Einsatz kommen. Details zu diesem Tool werden im Kapitel 4 bzw. im Beitrag [1] dieser Veranstaltung vorgestellt. Insgesamt werden für eine Komponente eine Vorabmessung mit Prototypen in der B-Muster-Phase und eine Freigabemessung mit seriennahen Fahrzeugen und C-Muster-Komponenten vorgesehen.



**Bild 4** EMV-Prozess eines Fahrzeugherstellers

## 3.2 Fahrzeugebene

Parallel werden EMV-Design-Anforderungen an die Verkabelung im jeweiligen Bordnetzlastenheft festgeschrieben. Die Verkabelungs-, Masse- und Antennenkonzepte sowie das Packaging eines neuen Fahrzeugs werden bezüglich der EMV-Gesichtspunkte mit Hilfe eines EMV-Expertensystems bewertet und beeinflusst. Dieses Tool wird im Kapitel 4 kurz vorgestellt. Das Konzept wird mit einer EMV-Konzeptfreigabe bestätigt.

Während der Fahrzeugmessphasen werden zusätzlich zur Komponentenoptimierung auch Verbesserungsmaßnahmen bezüglich EMV im Fahrzeug umgesetzt. Der EMV-Ablauf endet mit der Typprüfung und der EMV-Freigabe des Gesamtfahrzeugs sowie der einzelnen neuen Elektronikkomponenten. Da sich das EMV-Verhalten von Komponenten, die aus existierenden Fahrzeugen übernommen wurden, im neuen Fahrzeug ändern kann, berücksichtigt die EMV-Gesamtfahrzeugfreigabe auch diese Inhalte.

## 3.3 Projektunabhängige Maßnahmen

Unabhängig von einem Fahrzeugprojekt wird eine systematische Halbleiterqualifikation angestrebt. Bei CAN- und LIN-Transceivern gibt es abgestimmte EMV-Verfahren, die fahrzeugherstellerspezifisch bewertet werden. Die Qualifizierung für Flexray-Transceiver befindet sich in der Abstimmung. Für Mikroprozessoren sind solche Festlegungen ebenfalls erforderlich.

Außerdem wird ein EMV-Lieferantenbewertungssystem projektbegleitend eingesetzt, das sowohl die EMV-Fähigkeit als auch die EMV-Leistung eines Lieferanten beurteilt. Die Kriterien werden in Kapitel 4 näher erläutert.

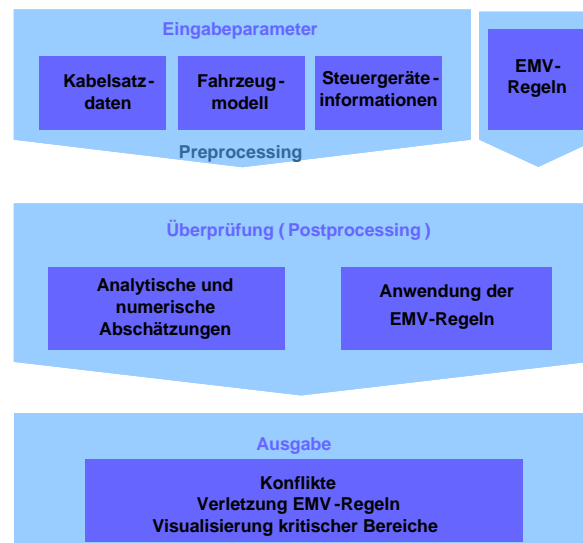
Um die Kundensicht bezüglich Empfangsbeeinflussung noch stärker zu berücksichtigen, soll bei der AUDI AG zusätzlich das Signal-Rausch-Verhältnis auf der HF- und NF-Ebene zur Empfangsfreigabebewertung herangezogen werden. Messverfahren und Freigabekriterien befinden sich in Entwicklung.

# 4 Tools

## 4.1 EMV-Expertensystem

Für die Visualisierung und Bewertung der 3D-Verkabelungsdaten (STEP-AP212-Datenformat) wurde ein EMV-Expertensystem entwickelt (s. **Bild 5**). Dieses Tool ermöglicht es, mit vom Benutzer definierbaren Regeln die Verkabelungsdaten zu ü-

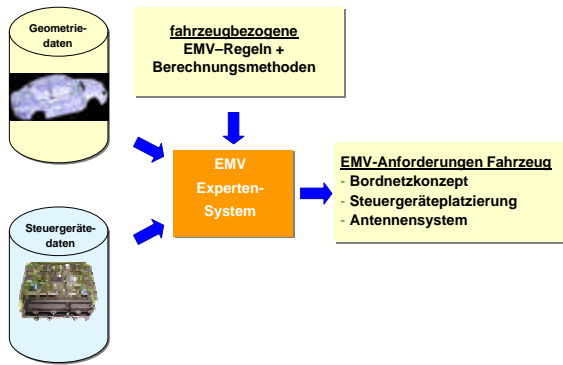
berprüfen und zu visualisieren. Grundlage sind frühzeitig verfügbare 3D-Verkabelungsdaten, die neben der Lage im Raum auch Informationen über die Verschaltung beinhalten.



**Bild 5** Aufbau des EMV-Expertensystems

### 4.1.1 EMV-Regeln

EMV-Regeln zur Überprüfung der Verkabelungsdaten können Abfragen sein, ob gewisse Kabelparameter passend gesetzt sind. Als Beispiel sei die Überprüfung aufgeführt, dass CAN-Leitungen verdreht sein müssen. Die Schwierigkeit bei dieser ersten Blick einfachen Regel ist es nun, allen Kabeln im Leitungssatz Funktionen bzw. Signale zuzuordnen. Bei den genannten CAN-Leitungen und z.B. auch bei Masse- und Plusversorgungsleitungen ist die Identifizierung der Leitung aufgrund der Nomenklatur der einzelnen Leitungen möglich. Schwieriger wird es bei Sensor- und Aktuatorleitungen. Hier ist es notwendig, dass zu jeder Elektronikkomponente – gemäß einer Lastenheftforderung – vom Zulieferer eine sogenannte Pin-Tabelle ausgefüllt wird, die Informationen über die zu erwartenden (worst case) Signale auf den Pins enthält. Dazu gehören neben Strom- und Spannungsgradienten z.B. auch Informationen zu den jeweiligen elektrischen Abschlüssen oder Puls-Pausenverhältnissen bei PWM-Signalen. Diese Informationen sollen später auch im elektronischen Qualifikationsbericht enthalten sein.



**Bild 6** Schnittstellen des EMV-Expertensystems

Im eingesetzten EMV-Expertensystem werden diese Pin-Informationen mit den 3D-Verkabelungsdaten verknüpft, so dass Daten über die Signalformen auf den Leitungen vorliegen (s. **Bild 6**). Im nächsten Schritt wird man nun mit Hilfe von Regeln „kritische“ Leitungen herausfiltern. Kriterien können die Abstände zu den Scheibenantennen oder die Strom- und Spannungsgradienten auf den Leitungen sein. Generell lassen sich die realisierbaren Regeln, die nicht zwangsläufig aus dem Gebiet der EMV kommen müssen, in folgende Gruppen einteilen:

1. Abfrage von Parametern der Elemente (Steuergeräte, Leitungen, Pins, Halterungen, ...) also z.B. Verdrillungen oder Schirmungen von Leitungen, Gehäusematerialien, Zugehörigkeit zu Risikogruppen wie Tunern, Antennenverstärkern, Airbagleitungen, etc.,
2. Geometrische Abhängigkeiten, also z.B. Abstände der Elemente untereinander, Längen bestimmter Pfade, parallele Leitungsführungen,
3. Berechnungen, wie z.B. Preprozessing und Übergabe der Daten an Berechnungsprogramme mit anschließender Ergebnisausgabe und evtl. Auswertung der Resultate.

#### 4.1.2 Auswertung der Ergebnisse

Nach Anwendung der EMV-Regeln auf das Fahrzeugprojekt erhält der Benutzer als Ergebnis eine Liste von Elementen, die gegen diese Regeln verstoßen. Jetzt müssen aus diesen Warnungen Entscheidungen für das Fahrzeugprojekt abgeleitet werden. Ein EMV-Experte würde bei Fragestellungen, die keine augenscheinliche Aussage ermöglichen, zunächst die Signifikanz der verletzten Regel einschätzen. Anschließend würde er die Peripherie des betroffenen Elements genauer untersuchen und mit Hilfe seines Erfahrungsschatzes eine Entscheidung treffen. Ist eine solche nicht möglich, würde er weitere Untersuchungen in Form von Messungen oder Simulationen durchführen.

Ein analoges Vorgehen wird derzeit in das EMV-Expertensystem implementiert. Den Regeln wird

eine Priorität zugeordnet. Anschließend wird bewertet wie viele Regeln welcher Gewichtung von einem bestimmten Element verletzt werden. Mit diesem Wissen erfolgt dann eine Ja- oder Nein-Entscheidung. Fragestellungen, die in den Übergangsbereich fallen, können direkt an ein EMV-Simulationstool weitergeleitet werden. Der Anwendung des EMV-Expertensystems widmet sich detaillierter der Beitrag [2] dieser Veranstaltung.

Wenn Verkabelungs-, Karosserie- und Komponenteninformationen vorhanden sind, ist mit diesem Tool eine vollwertige virtuelle Fahrzeuguntersuchung möglich.

## 4.2 Lieferantenbewertung

Die besondere Bedeutung des Komponentenprozesses beim Einsatz von Baukästen wurde bereits hervorgehoben. Deswegen liegt es im Interesse des OEMs, möglichst Lieferanten zu nominieren, die über EMV-Kompetenz verfügen. Um diese beurteilen zu können, werden im VW-Konzern in Zukunft Lieferantenbewertungen auch aus EMV-Sicht durchgeführt. Dazu wurden Schlüsselkriterien definiert, die sich gemäß den Qualitätsrichtlinien des Konzerns aufgliedern in prinzipielle Qualitätsfähigkeit auf der einen und in früheren Projekten tatsächlich gezeigte Qualitätsleistung auf der anderen Seite.

Zu erstgenannter Gruppe gehören z.B. die Überprüfungen, ob EMV-Experten angestellt, EMV-Labore vorhanden oder EMV-Schulungen für Layouter vorgesehen sind. Weiterhin wird überprüft, ob der Lieferant in Normungsgremien oder Arbeitskreisen aktiv mitarbeitet, seine Unterlieferanten bezüglich EMV-Qualität und -Leistung kontrolliert bzw. Kontakte zu externen Dienstleistern pflegt. Die tatsächlich gezeigte Qualitätsleistung wird an Kriterien wie Qualität der Qualifikationsberichte oder sonstiger Projektdokumentationen und Qualität in Serie bei bisherigen Projekten festgestellt.

Aus den Einzelbewertungen ergibt sich dann eine Gesamteinschätzung des EMV-Know-Hows des Lieferanten, die dann in die Nominierungsentscheidung mit einfließt.

## 4.3 Elektronischer Qualifikationsbericht

An einem elektronischen Qualifikationsbericht, der eine bessere Dokumentation der Komponentenqualifikation sowie eine einfache Anbindung an die Simulationstools sicherstellen soll, wird momentan gearbeitet. Dabei sind insbesondere die auf den verschiedenen Leitungen bzw. auf den Leitungsbündel des Bordnetzes zu erwartenden Signale von Interesse. Ohne diese Informationen ist eine Bewertung

des Bordnetzes und seines Einflusses auf das EMV-Verhalten nur sehr eingeschränkt möglich.

Da diese Daten sehr frühzeitig in den einzelnen Projekten vom Komponentenzulieferer benötigt werden, ist eine einfache und schnelle Kommunikation zum OEM notwendig. Der elektronische Qualifikationsbericht ist als Tool zu verstehen, der diesen Informationsaustausch deutlich verbessert. Damit ist sowohl dem OEM als auch den Zulieferern gedient, denn beide erhalten zu einem früheren Projektstand Aussagen zu notwendigen EMV-Maßnahmen. Weitere Details sind [1] zu entnehmen.

## 5 Fazit

Für eine baureihenübergreifende Elektronikentwicklung ist eine baureihenunabhängige EMV-Komponentenentwicklung notwendig. Dieser Beitrag erläutert die bei der AUDI AG dafür installierten Prozesse und die dazugehörigen Tools. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung dieser Werkzeuge wird ihre Effizienz weiter steigen. Somit verschiebt sich der Schwerpunkt der EMV-Entwicklung endgültig in die Konzeptphase, was neben der einhergehenden Kostenersparnissen eine Voraussetzung für die Bewältigung der zunehmenden Derivatisierung der Baureihen ist.

## Literatur

- [1] Frei, S.; Lippert, C.; Aidam, M.; Stubicar, K.: Ein Datenaustauschformat für EMV-Untersuchungsergebnisse von Elektronikkomponenten. Ingolstadt: GMM-Fachtagung 2005
- [2] Rinkleff, T.; Frei, S.; Jobava, R.; Lippert, C.; Schleicher, D.: Anwendung eines Expertensystems zur Sicherstellung einer EMV-gerechten Leitungsverlegung im Kraftfahrzeug. Ingolstadt: GMM-Fachtagung 2005