

FDI	Fehlererkennung und Diagnose (engl. fault detection and identification)
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (engl. failure mode and effect analysis)
G	Nutzsignalgüte
GPS	Satellitenortungssystem (engl. global positioning system)
K	Konfiguration, siehe Tabelle 6.4 (Seite 81)
KF	Kennfeld (dreidimensional)
KL	Kennlinie (zweidimensional)
KNN	Künstliches neuronales Netz
Lidar	Übertragung des Radarprinzips auf den Frequenzbereich des Lichts (engl. light detection and ranging)
MLP	Mehrschichten-Perzeptron (engl. multi-layer perceptron)
N	Nutzsignal
Radar	Funkortung und -entfernungsmessung (engl. radio detection and ranging)
rms	Quadratischer Mittelwert (engl. root mean square)
S	Nutzsignalstatus bzw. Schnittstellenkonzept, siehe Abschnitt 6.1.1 (Seite 70)
SAAM	Analysemethode für Softwarearchitekturen (engl. software architecture analysis method)
SALM	Statische, abschnittsweise lineare Modellierung (engl. static piecewise linear model)
SIL	Sicherheitseinstufung (engl. safety integrity level)
SISO	Systeme mit genau einer Ein- und einer Ausgangsgröße (engl. single input, single output)
Var.	Variante(n)
ZSDA	Zentrale Signaldatenaufbereitung

1 Einleitung

1.1 Bedeutung der Fahrwerkselektronik im Automobilbereich

Das Profil einer Automobilmarke ist für Fahrzeughersteller ein elementares Mittel, um gezielt Käuferschichten anzusprechen. Es wird vor allem durch die *Gestaltung des Fahrzeugs (engl. design)*, die Vermarktung sowie fortschrittliche Technologien beeinflusst. Die das Markenprofil prägenden Eigenschaften bzw. Komponenten des Fahrzeugs stellen darüber hinaus ein Mittel dar, sich von Wettbewerbern zu differenzieren. Das trifft vor allem auf Kernwettbewerber desselben Marktsegments zu. Eine Einteilung ausgewählter Marken bezüglich der differenzierenden Eigenschaften Volumen/Premium, Preis/Qualität und Komfort/Sport ist in **Bild 1.1a** dargestellt.

Durch immer kürzer werdende Marktdurchdringungszeiten neuer Technologien über alle Fahrzeugklassen hinweg reduziert sich der Zeitraum der Exklusivität, und die Fahrzeughersteller laufen Gefahr, ihre Profile aufzuweichen [MF02]. Für den Hersteller werden insbesondere neue Entwicklungen und Funktionen relevant, die vom Kunden wahrgenommen werden und seine Bedürfnisse und Erwartungen an die Marke widerspiegeln. Markenprägende Eigenschaften müssen vom Automobilhersteller identifiziert und in eigener Wertschöpfung vorangetrieben werden. Andere Module, die keine markenspezifische Ausprägung erlauben, werden zunehmend an Systemlieferanten übergeben. Eine Prognose für die Entwicklung der Eigenleistung, aufgeschlüsselt nach Marken bis zum Jahr 2015, zeigt **Bild 1.2**. Während die Eigenleistung im Volumensegment nahezu ausnahmslos zurückgehen wird, bauen die Premiummarken die eigene Wertschöpfung deutlich aus, um dem Kundenanspruch über innovative, wettbewerbswirksame Produkte nachzukommen.

Jede Marke muss im Zuge dieser Herausforderungen eine individuelle Wertschöpfungsstrategie entwickeln. Die Entwicklung für markenprägende Innovationen erfolgt zur Steigerung der

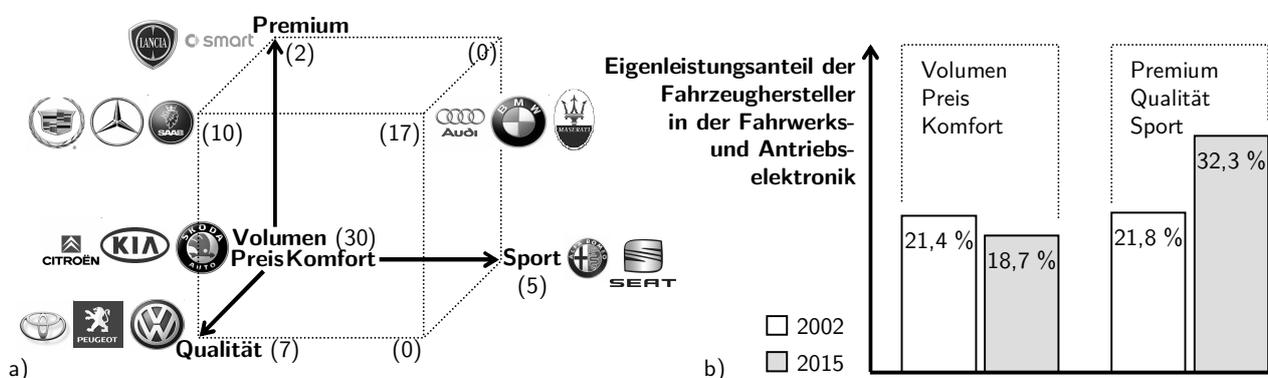


Bild 1.1: a) Einteilung ausgewählter Automobilhersteller in Marktsegmente mit der Anzahl der Marken pro Segment sowie b) Eigenleistungsanteil in der Fahrwerks- und Antriebselektronik gegensätzlicher Marktsegmente [MF02]

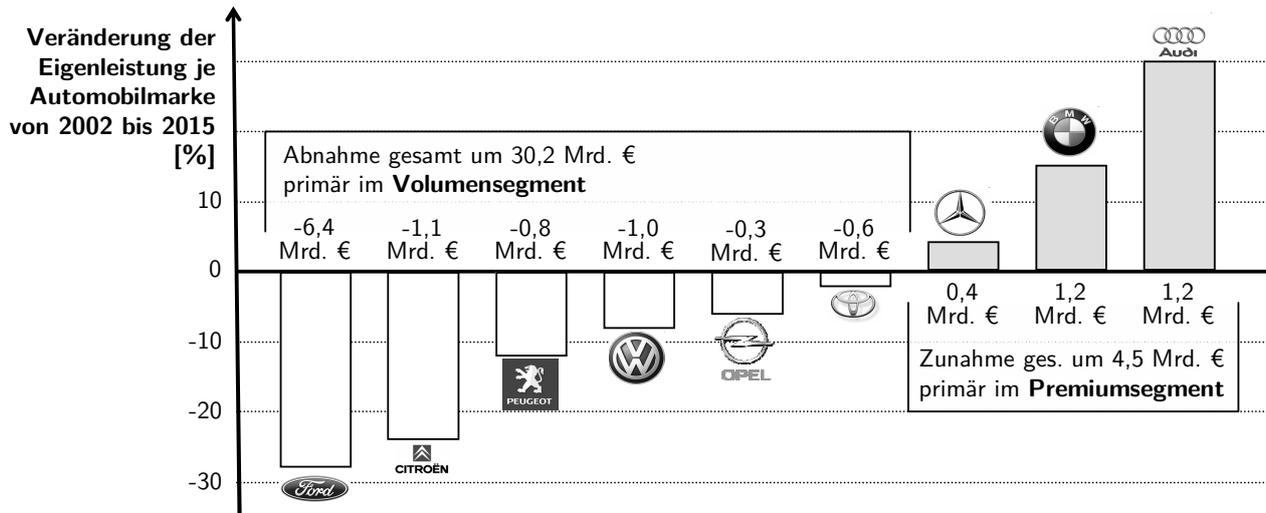


Bild 1.2: Entwicklung der Eigenleistung ausgewählter Automobilmarken zwischen 2002 und 2015 [MF02]

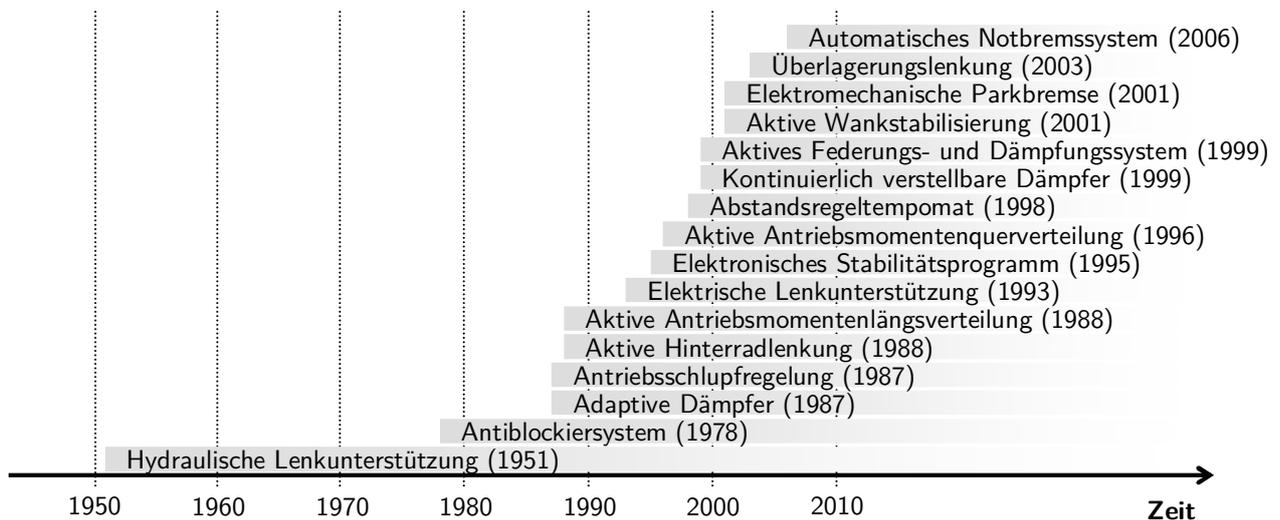


Bild 1.3: Markteinführung von Fahrwerkregel- und Fahrerassistenzsystemen [BS07, HE07, RB06]

Exklusivität vor allem *intern* (engl. *in-house*). Zu den Kernumfängen der Wertschöpfung im Premiumsegments wird insbesondere der Fahrwerks- und Antriebselektronikbereich zählen, wie die Prognose für die markenreichsten Segmente nach [MF02] in **Bild 1.1b** veranschaulicht. In [DB07] wird der Trend bestätigt und die Bereiche Elektrik und Elektronik als wichtigste Treiber für Innovationen im Automobilssektor ausgewiesen. Des Weiteren werden die Verschiebung von Einzel- hin zu Systeminnovationen sowie Effizienz als zentrale Innovationsthemen an Bedeutung gewinnen. Die daraus erwachsenden Herausforderungen werden in der Mehrfachnutzung einzelner Systeme und ihrer Integration ins Fahrzeug liegen. Einen entscheidenden Beitrag an dieser Entwicklung wird die Vernetzung der Fahrwerkregelssysteme haben aufgrund ihres Potenzials zur Markendifferenzierung.

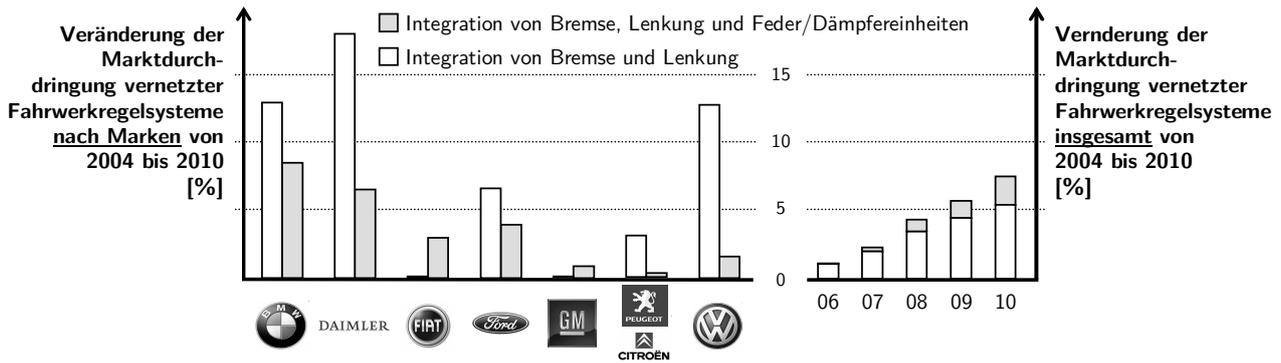


Bild 1.4: Veränderung der Marktdurchdringung vernetzter Fahrwerkregelsysteme [Fro04]

1.2 Situationsanalyse und Zielsetzung der Arbeit

In den vergangenen Jahren ist eine starke Zunahme von mechatronischen Systemen im Fahrzeug zu beobachten [SR02]. Dieser Trend ist insbesondere für den Fahrwerksbereich kennzeichnend, wie **Bild 1.3** zu entnehmen ist. Beispielhaft seien elektromechanische Servo- und Überlagerungslenkungen, variable Antriebsmomentenverteilungen und geregelte Feder- und Dämpfereinheiten genannt. Durch die direkte Beeinflussung der Fahrzeugdynamik sind diese Systeme in den meisten Fällen sicherheitsrelevant, da es im Fehlerfall zu kritischen Fahrzuständen kommen kann. Eine maßgebliche Fehlerquelle stellen die über Sensoren ermittelten Eingangsgrößen der mechatronischen Systeme dar, die sich über funktionale Logik auf die Aktorik auswirken. Einen elementaren Beitrag für ein sicheres Gesamtsystem stellt folglich die Überwachung der genutzten Sensorsignale dar.

Die für die Absicherung der Sensorsignale verantwortliche Komponente wird als Signaldatenaufbereitung oder Signalplausibilisierung bezeichnet. Ihre Kernaufgaben sind:

- ▷ die Erhöhung der Signalgenauigkeit durch die Ermittlung von Sensorungenauigkeiten wie Nullpunktfehlern (engl. offset),
- ▷ die Überwachung der genutzten Sensorsignale auf Fehler und
- ▷ die Bereitstellung von Schätzgrößen wie der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit.

Eine Signaldatenaufbereitung ist für jedes Fahrwerkregelsystem notwendig. Der umgesetzte Funktionsumfang variiert vor allem mit der zur Verfügung stehenden Sensorik sowie der Sicherheitsrelevanz des die Sensorsignale nutzenden Regelsystems. Sie macht für sicherheitsrelevante Fahrwerkregelsysteme mit einem Anteil von ca. 76 % am Gesamtsystem ein Vielfaches im Vergleich zum Regler (ca. 8 %) aus [Sch04].

Die steigende Zahl der Fahrwerkregelsysteme bietet die Möglichkeit, Entwicklungsumfänge unterschiedlicher Projekte in Bezug auf eine Signaldatenaufbereitung zu bündeln. Anstatt für jedes Regelsystem eigenständig eine Signaldatenaufbereitung zu entwickeln, ist eine universelle Komponente denkbar, die wiederverwendbar ist und deren Anpassung an unterschiedliche Zielsysteme vorgehalten wird. Neben der mittelfristigen Kosteneinsparung hätte die Konzentration der Entwicklungsanstrengungen einen positiven Effekt auf die Produktqualität.

Der neben der Zentralisierung vorherrschende Trend zur Vernetzung von Fahrwerkregelsystemen wird durch die Prognose in **Bild 1.4** für unterschiedliche Integrationsstufen verdeutlicht. Mit der Vernetzung wird der Ansatz verfolgt, das Zusammenwirken der verteilten Regelsysteme auf Basis systemübergreifender Informationen bezüglich Funktionalität, Sicherheit und

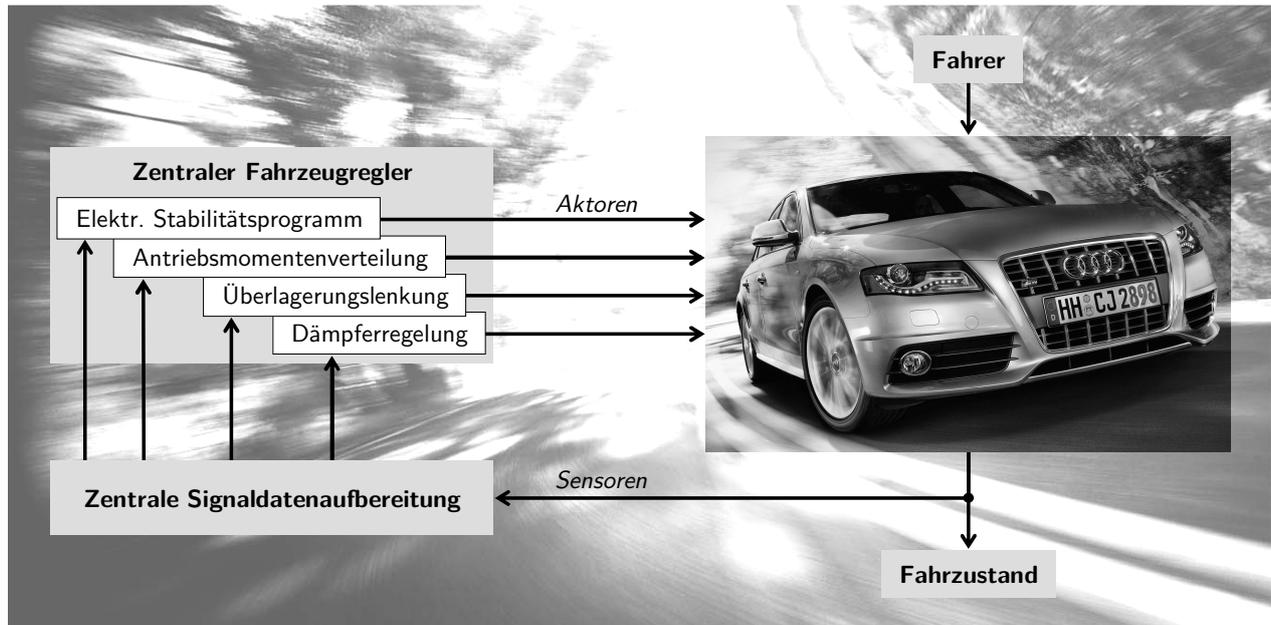


Bild 1.5: Vereinfachte Darstellung eines Fahrwerkregelkreises mit zentraler Signaldatenaufbereitung, angelehnt an [AS09]

Verfügbarkeit zu optimieren und herstellereinspezifisch zu nutzen. Kern des Konzepts ist die Zentralisierung der Wirkungskette der Sensoren über eine zentrale Signaldatenaufbereitung (ZSDA) und Fahrzustandserkennung bis hin zu einem übergeordneten Fahrzeugregler, siehe **Bild 1.5**. Auf diese Weise sollen mittelfristig Kosten in der Entwicklung und für redundante Bauteile eingespart werden [Fro04]. Eine ZSDA ist aufgrund ihrer Stellung am Anfang der Wirkungskette die Voraussetzung für alle darauf aufbauenden, zentralisierten Komponenten.

Neue Herausforderungen für eine ZSDA sind darüber hinaus die Erweiterbarkeit des Systems um zusätzliche Sensoren, darauf aufbauende neue Funktionen sowie die Berücksichtigung zusätzlicher Regler. Um jedes Regelsystem bestmöglich mit plausibilisierten Signalen zu versorgen, gleichzeitig aber in Abhängigkeit eingeschränkter Signalgüten bzw. gefundener Fehler die Verfügbarkeit zu maximieren, dürfen nur Regler aktiviert bleiben, denen der aktuelle Systemzustand als Regelgrundlage ausreicht. Grundlage ist die Bereitstellung von definierten Schnittstellen- und Bewertungsgrößen zwischen ZSDA und Reglern.

Die Vernetzung der Fahrwerkregelsysteme führt des Weiteren zu veränderten Anforderungen an die Architektur, begründet vor allem durch die variable Struktur des Gesamtsystems, die sich mit der Konfiguration jedes einzelnen Fahrzeugs ändern kann. Für eine Komponente werden nicht wie gewöhnlich nur Varianten bezüglich der Parametrierung existieren, sondern auch Varianten bezüglich des Funktionsumfangs. Die resultierenden, unterschiedlichen Softwareumfänge verlangen nach Steuergeräten mit skalierbarer Leistung bzw. nach einer Aufteilung einzelner Softwareteile auf unterschiedliche Steuergeräte [HSF⁺04]. Es muss sichergestellt werden, dass die in einem Fahrzeug eingesetzten Softwareteile miteinander harmonieren und jegliches Gefährdungspotenzial für die Fahrzeuginsassen und die Umgebung ausgeschlossen ist.

Mit dem Entwurf einer ZSDA soll in dieser Arbeit der grundlegende Schritt in Richtung eines vernetzten Gesamtsystems unternommen werden. Als primäre Ziele ergeben sich:

- ▷ Erhebung funktionaler sowie nicht-funktionaler Anforderungen an eine ZSDA basierend auf der Analyse bestehender Ansätze im Bereich der Signaldatenaufbereitung unter



Bild 1.6: Vorgehensweise und Gliederung der Arbeit

besonderer Berücksichtigung der Softwarearchitektur.

- ▷ Systementwurf einer ZSDA durch die Realisierung einer geeigneten Softwarearchitektur, die das Gerüst der funktionalen Implementierung bildet. Ein Schwerpunkt des Entwurfs liegt auf dem skalierbaren und wiederverwendbaren Funktionsumfang.
- ▷ Definition einer universellen Schnittstelle zwischen einer ZSDA und den Fahrwerkregelsystemen, die standardisiert und unabhängig vom signalnutzenden Regler und in Abhängigkeit von reglerindividuellen Anforderungen an die Signale die plausibilisierten Größen bereitstellt.
- ▷ Analyse der Übertragbarkeit von Ansätzen aus dem Bereich der künstlichen neuronalen Netze (KNN) auf sicherheitsrelevante Systeme.

1.3 Vorgehensweise und Gliederung der Arbeit

Die Vorgehensweise und die daran angelehnte Gliederung orientieren sich an den gesteckten Zielen dieser Arbeit. Dieser *Einleitung* folgen drei Kapitel, die sich mit den Grundlagen der behandelten Thematik und dem aktuellen Stand der Technik auseinandersetzen, siehe **Bild 1.6**. Das zweite Kapitel *Regelungstechnik im Fahrwerksbereich* grenzt das Fahrwerk als Anwendungsgebiet der zu entwerfenden Signaldatenaufbereitung ab. Der Einflussbereich von Fahrwerkregelsystemen wird aufgezeigt und die grundlegenden Möglichkeiten der Beschreibung der Fahrzeugbewegung dargestellt. Abschließend werden das Potenzial und die Herausforderungen der vernetzten Fahrwerkregelsysteme und insbesondere einer zentralen Signaldatenaufbereitung zur Bereitstellung einer einheitlichen Signalbasis herausgestellt. Das Kapitel, wie auch alle folgenden, endet mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse.

Das dritte Kapitel *Signaldatenaufbereitungen für Fahrwerkregelsysteme* widmet sich der funk-