

Kapitel 1

1 Einleitung

„Das Auto hat keine Zukunft, ich setze aufs Pferd.“

Wilhelm II. (1859 - 1941) deutscher Kaiser und König von Preußen

Im zunehmenden Kampf um Marktanteile sind die Automobilhersteller bestrebt, durch eine Modelloffensive individueller und schneller auf Kundenwünsche einzugehen. Die Folge davon ist eine stetig wachsende Anzahl von Fahrzeugvarianten. So stieg beispielsweise in Deutschland die Zahl der Fahrzeugmodelle in den letzten 20 Jahren von 140 auf 250 an; die Zahl der Varianten nahm dabei um 80% zu [SSDC+04]. Um auch weiterhin die Wettbewerbsfähigkeit sicherzustellen, werden die Automobilhersteller ihre Variantenvielfalt zukünftig noch weiter ausbauen bei gleichzeitiger Reduktion von Entwicklungszeit und -aufwand [Schl02].

Werden in diesem Zusammenhang die Neuerungen in den verschiedenen Fahrzeugklassen genauer betrachtet, so ist festzustellen, dass insbesondere die Fahrzeugfunktionen einen erheblichen Teil der Innovationen ausmachen. Angefangen bei Motor- und Getriebebesteuerung über Fahrdynamik-, und Navigationssysteme bis hin zu Komfort- und Assistenzsystemen, sind Fahrzeugfunktionen in allen Bereichen eines modernen Mittelklassefahrzeugs zu finden. Die Realisierung derartiger Funktionen erfolgt durch eine Kombination von Software und Hardware in Form von *Steuergeräten* (engl.: electronic control unit, ECU), die als *Eingebettete Systeme* fungieren. Diese sind wie folgt definiert:

Eingebettetes System/Steuergerät

Ein Eingebettetes System ist eine abgegrenzte (SW-/HW-)Einheit, die über Sensoren und Aktuatoren mit einem Gesamtsystem verbunden ist und darin Überwachungs-, Steuerungs- bzw. Regelungsaufgaben übernimmt. Ein Steuergerät ist in der Automobiltechnik die physikalische Implementierung eines eingebetteten Systems [BBK98].

Schätzungen von [Schl02, Vect04] prognostizieren, dass künftig auf die Elektronik 90 Prozent aller Innovationen im Automobil entfallen, von denen wiederum 80 Prozent durch Software und somit durch Steuergeräte realisiert werden. Das signifikante Wachstum des SW-Anteils wird auch einen Anstieg der Software-Komplexität zur Folge haben [Gres01]. Die Realisierung derartig komplexer Systeme ist mit klassischen Entwicklungsmethoden kaum noch möglich. Vielmehr ist eine durchgängige Entwicklungsmethodik basierend auf einem strukturierten Entwicklungsprozess und dem Einsatz moderner CASE Tools, unter Beachtung internationaler Normen und Standards, erforderlich. Ein derartiges Vorgehen wird im Rahmen dieser Arbeit vorgestellt.

In Abschnitt 1.1 wird auf den derzeitigen Wandel in der Automobiltechnik detailliert eingegangen. Die sich daraus neu ergebenden Anforderungen an die SW-Entwicklung werden abgeleitet und Maßnahmen zur Lösung der Problematik aufgezeigt. Anschließend werden existierende Forschungsprojekte vorgestellt, deren Ansätze zur Lösung einzelner Problemfelder beitragen, nicht aber den gesamten SW-Entwicklungsprozess begleiten. In diesem Zusammenhang wird auch das STEP-X Projekt vorgestellt, das einen ganzheitlichen Lösungsweg darstellt. Abschnitt 1.2 stellt die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit vor. Abschließend wird im Abschnitt 1.3 der Aufbau der Arbeit dargestellt.

1.1 Der Wandel im Automobilbereich und dessen Folgen für die SW-Entwicklung

Der zurzeit stattfindende Technologiewandel in der Automobiltechnik ist dadurch gekennzeichnet, dass Funktionen im Kfz-Bereich zunehmend durch Software in Form von Steuergeräten realisiert werden, anstatt wie bisher durch Elektrik, Mechanik oder Hydraulik. Die Erstellung Software-basierter Funktionen hat unter anderem den Vorteil, dass neben einer kostengünstigeren Anpassung, Erweiterung und Vervielfältigung bestehender Fahrzeugfunktionen, eine einfachere Erstellung und Validierung dieser ermöglicht wird. Des Weiteren wird durch den zunehmenden SW-Anteil die Wiederverwendung vorhandener Funktionen gefördert.

Die Strukturen und Architekturen derartiger elektronischer Systeme haben in den letzten Jahren, bedingt durch ständig steigende Forderungen nach mehr Sicherheit, Komfort und Informationsmöglichkeiten, starke Veränderungen erfahren. Während die Kraftfahrzeug-Elektronik vor einigen Jahren von einigen wenigen Steuergeräten geprägt war, ist die Zahl der Steuergeräte in heutigen Mittelklassefahrzeugen bereits um den Faktor 2-3 auf etwa 40 Steuergeräte gestiegen [Grim03]. In einigen Premiumfahrzeugen beläuft sich die Anzahl auf ca. 70 Steuergeräte mit über 400 Einzelfunktionen [Broy01, SB05, Rapp04]. Abbildung 1.1 verdeutlicht den Anstieg der Steuergeräteanzahl in Fahrzeugen der Marke Volkswagen.

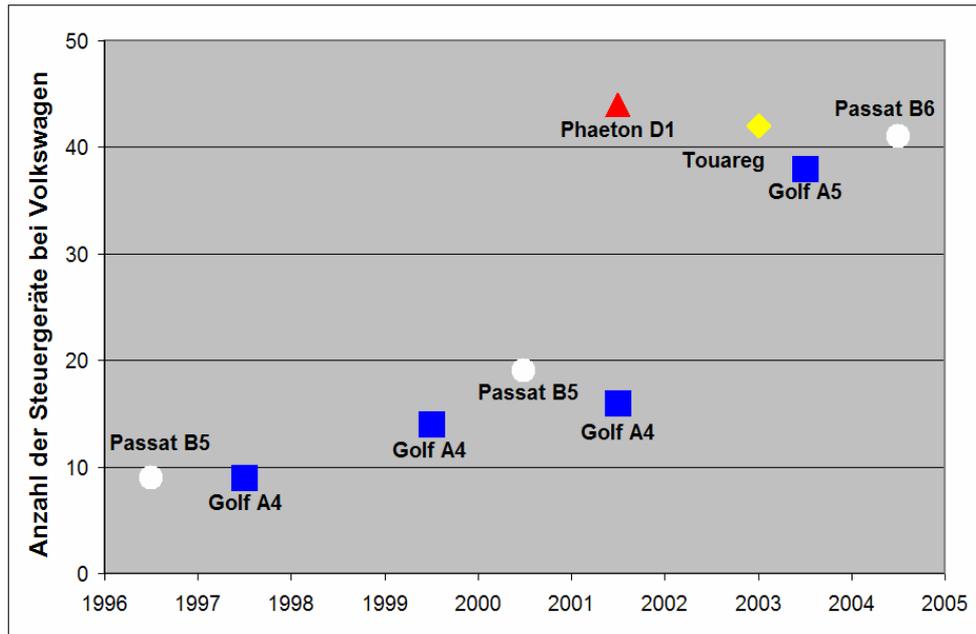


Abbildung 1-1: Anstieg der Fahrzeugsteuergeräte bei der Volkswagen AG [Scha05]

Mit dem Anstieg der Steuergeräteanzahl wurde zugleich die Verteilung der immer komplexer werdenden Funktionalität verfolgt. Während anfänglich an sich autonom arbeitende Komponenten wie Motor- und Getriebesteuerung auf die Steuergeräte verteilt wurden, ist heute eine Verteilung der einzelnen Funktionen auf einem Steuergerätenetzwerk mit verschiedenen Bussystemen, wie CAN, LIN und MOST zu beobachten. Durch die Vernetzung können einerseits redundante Funktionen reduziert werden, da dieselbe Funktion auf einem zentralen Steuergerät implementiert werden kann. Andererseits führt der Ausfall eines Steuergerätes nicht zwingend zu einem Systemausfall, da sicherheitsrelevante Funktionen durch andere Steuergeräte aufrechterhalten werden können.

Durch die Möglichkeit, Steuergeräte zu vernetzen und somit Funktionen auf das gesamte Fahrzeug zu verteilen, entstanden neuartige Fahrzeugfunktionen, wie z. B. Komfort- und Assistenzsysteme¹, die in den vergangenen Jahren die wesentlichen Treiber für den starken Anstieg der Steuergeräteanzahl waren.

Die hohe Anzahl der Steuergeräte sowie der Vernetzungsgrad zwischen den einzelnen Funktionen lässt die Komplexität der eingebetteten Systeme erahnen. Traditionelle Vorgehensweisen und Methoden reichen kaum aus, um die Komplexität der SW-Systeme zu beherrschen. Die Folge war die Vergabe der SW-Entwicklung an die Zulieferer, womit der Anspruch auf Innovationen in der Funktionsentwicklung stark zurückging. Heute beträgt der Zuliefereranteil zwischen 70% und 100% [BBK98]. Um zukünftig wettbewerbsdifferenzierende Merkmale erlangen zu können, ist sowohl ein Umstieg auf neue Technologien als auch ein Know-how-Transfer in Richtung Automobilhersteller notwendig.

¹ Bekannte Assistenzsysteme sind beispielsweise *Anti Blockier System*, *Dynamische Stabilitätskontrolle*, *Elektronische Stabilitätsprogramm* und *Abstandsregeltempomaten*.

1.1.1 Anforderungen an die künftige SW-Entwicklung

Zur Beherrschung der SW-Komplexität ist es erforderlich, zunächst die Schwachstellen herkömmlicher Entwicklungsprozesse zu identifizieren und diese daraufhin durch moderne Methoden und Werkzeuge zu beseitigen. In den Arbeiten von [BBK98, BBEF+98, Gres01, SchI02, SPHP02, Rau02] werden unterschiedliche Problemfelder traditioneller SW-Entwicklungsprozesse im Automobilbereich identifiziert. Einige der sich dabei ergebenden Anforderungen an die zukünftige SW-Entwicklung sind nachfolgend aufgelistet:

Einheitliche Vorgehensweise bei der SW-Entwicklung

Die Erstellung der Fahrzeugfunktionen findet gewöhnlich in Zusammenarbeit mit den Zulieferern statt. Dabei werden die Fahrzeugfunktionen in Form von Steuergeräten entsprechend den Anforderungen der Automobilhersteller (engl.: Original Equipment Manufacturer, OEM) ausgeliefert. Anschließend verläuft die Abnahme und Integration der Steuergeräte durch den Auftraggeber. Aufgrund der nicht vorhandenen standardisierten Vorgehensweise zur Erstellung von Steuergeräte-Software, sind die Lieferanten an ihren jeweiligen firmeninternen Entwicklungsprozess gebunden [BBK98]. Die daraus resultierende Problematik spiegelt sich z. B. dadurch wieder, dass für den Austausch von Lasten- und Pflichtenheften sowie von Artefakten² keine zentrale Datenablage mit geeigneten Werkzeugen existiert. Ein Datenaustausch auf Grundlage von Word™-Dokumenten ist im Gegensatz zu einem datenbankorientierten Ansatz eher von Nachteil, da spezielle Funktionen eines Anforderungsmanagement-Tools, wie z. B. Nachverfolgbarkeit, Zugriffskontrolle, Versions- und Änderungsmanagement, durch ein Textverarbeitungsprogramm nicht abgedeckt sind. In [HHM03] wird auf diese Probleme näher eingegangen. Des Weiteren stellt das Fehlen eines standardisierten Austauschformats sowie einheitlicher Werkzeug-schnittstellen zwischen OEMs und Zulieferern eine große Herausforderung dar [WM99].

Eine industrieweit einheitliche Vorgehensweise mit entsprechend standardisierten Formaten und Schnittstellen würde eine arbeitsteilige SW-Entwicklung zwischen Herstellern und Zulieferern verbessern [LBB+01].

Verbesserung der Lastenhefte

In der Arbeit von [Spre96] ergab die Analyse vorhandener Entwicklungsprozesse im Automobilbereich, dass der Fehleranteil bereits in frühen Phasen beträchtlich ist. Diese Problematik ist typisch für den heutigen Entwicklungsablauf. Die Ursache liegt vor allem in der mangelnden Qualität der Lastenhefte, die das zu entwickelnde System nur unzureichend beschreiben.

² Unter Artefakten werden alle Ergebnisse einer SW-Entwicklung verstanden.

Typische Mängel in diesem Zusammenhang sind:

- **Unvollständigkeit:** Fehlen wichtiger Informationen oder ungenügende Darstellung der Informationen
- **Inkonsistenz:** mangelnde Beschreibung von Beziehungen und Querverweisen
- **Mehrdeutigkeit:** missverständlich beschriebene Informationen
- **Redundanz:** gleicher Informationsinhalt mehrfach vorkommend
- **Überspezifikation:** falsche, irrelevante oder undurchführbare Anforderungen
- **Informationsvermischung:** keine Trennung zwischen funktionalen Anforderungen und bauteilspezifischen Informationen

Derartige Schwächen in den Anforderungsspezifikationen haben zur Folge, dass es häufig zu Unstimmigkeiten zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern kommt. Die ausgelieferten Steuergeräte entsprechen oftmals nicht den Wünschen, wodurch ständige Nachbesserungen notwendig sind. Ebenso bieten die Lastenhefte beim abschließenden Abnahmetest seitens der Automobilhersteller keine Möglichkeit, eine direkte Zuweisung der Testfälle auf die vorhandenen Anforderungen vorzunehmen. Da die Lastenheftqualität nicht befriedigend ist, eignen sich die bestehenden Lastenhefte nur begrenzt als Vertragsgrundlage [Spre96].

Ziel muss es daher sein, die Lastenhefte so zu verbessern, dass die Zulieferer präzise Anforderungen erhalten, in denen das gewünschte Funktionsverhalten genau und vollständig spezifiziert ist.

Einsatz modellbasierter Techniken

Die Entwicklung eingebetteter Systeme in der Automobiltechnik wird bisher im Wesentlichen durch informelle Techniken unterstützt. Das bedeutet, dass die Lastenhefte hauptsächlich in textueller Form vorliegen und die anschließende Umsetzung in Quellcode manuell erfolgt. Ein derartiges Vorgehen, ausschließlich natürlichsprachliche Beschreibungsmittel zur Formulierung der Anforderungen zu verwenden, bringt verschiedene Nachteile mit sich. So ist beispielsweise in vielen Fällen eine Vermischung unterschiedlicher Sichten (z. B. Struktur, Kommunikation, Verhalten) auf das zu entwickelnde System gegeben, so dass bestimmte Aspekte nicht separiert werden können. Ebenso ist eine Abstrahierung bzw. Detaillierung der Systembeschreibung nur unter enormen Aufwand möglich. Darüber hinaus ist der Zusammenhang vieler komplexer Anforderungen auf der rein textuellen Ebene nur schwer zu überschauen. Außerdem lassen sich die Eigenschaften der auf diese Weise entwickelten Software nur schwer validieren und verifizieren.

Zur Lösung der Schwierigkeiten bieten sich formale Techniken zwar an, jedoch ist der Einsatz dieser stark theoretisch geprägten Techniken in der Praxis durch den beträchtlich hohen Einarbeitungsaufwand relativ gering. Vielmehr muss die Möglichkeit bestehen, die textuellen Anforderungen durch grafische Modelle zu präzisieren, um sowohl eine Erhöhung der Lesbarkeit und des Verständnisses zu erzielen, als auch eine ausführbare Spe-

zifikation zu erstellen und somit eine frühzeitige Testbarkeit zu erreichen. Unter dem Begriff Modell wird folgendes verstanden:

Modell

Ein Modell ist eine Abstraktion eines Systems mit der Zielsetzung, das Nachdenken über ein System zu vereinfachen, indem irrelevante Details ausgelassen werden [BD00].

Durchgängige werkzeuggestützte Entwurfsmethodik

Einen besonderen Stellenwert zur Beherrschung der hohen SW-Komplexität haben Werkzeuge. So unterstützen die verschiedenen CASE Tools bereits heute die meisten Aktivitäten eines Entwicklungsprozesses, angefangen beim Anforderungsmanagement über Modellierung und automatische Codegenerierung bis hin zum Testen.

Das Hauptproblem bei der werkzeuggestützten Entwicklung von Steuergeräte-Software ist nicht etwa der Funktionsumfang der CASE-Tools, sondern die nicht vorhandene Integration zwischen den Werkzeugen. Durch das Fehlen standardisierter Schnittstellen und einheitlicher Datenformate kann ein durchgängiger werkzeuggesteuerter Entwicklungsprozess nur schwer erzielt werden. Ein weiteres Problem sind die in vielen Fällen fehlenden Vorgaben für den Werkzeugeinsatz in den Unternehmen. Stattdessen sind verschiedene Werkzeuge in unterschiedlichen Abteilungen im Einsatz, die miteinander nicht kompatibel sind bzw. über die geforderte Funktionalität nicht verfügen. Beispielsweise werden immer noch bei vielen Automobilherstellern gängige Textverarbeitungsprogramme für das Requirements-Engineering und -management verwendet.

Sieht man einmal von der Inkompatibilität ab, so liegt das Problem nicht allein in der Kopplung existierender Werkzeuge. Vielmehr muss zunächst die Methodik vertieft werden, um eine integrierte Werkzeugkette zu definieren, die den Steuergeräte-Entwicklungsprozess realisiert [BBK98]. Dabei ist der Begriff Methodik wie folgt definiert:

Methodik/Methode

Der Begriff Methodik beschreibt ein planmäßiges Vorgehen unter Einfluss mehrerer Methoden und entsprechender Hilfsmittel. Unter einer Methode wird eine planmäßig angewandte, begründete Vorgehensweise zur Erreichung von festgelegten Zielen verstanden [Balz01].

Frühzeitige Fehlererkennung

In den gegenwärtig existierenden Entwicklungsprozessen für Steuergeräte-Software ist die Forderung nach Korrektheit und Zuverlässigkeit noch nicht ausreichend berücksichtigt. Beispielsweise werden die Testvorgänge im Normalfall erst am Ende der SW-Entwicklung

durchgeführt, so dass Spezifikations- und Entwurfsfehler erst in der Implementierungs- oder Integrationsphase aufgedeckt werden können. Da im Allgemeinen der Kostenaufwand für notwendige Iterationsschleifen exponentiell mit dem Zeitpunkt der Fehlererkennung steigt, besteht die dringende Notwendigkeit, die spezifizierten Anforderungen bereits zu einem frühen Zeitpunkt der SW-Entwicklung zu überprüfen. Dies ist unter anderem durch Simulation des Verhaltens möglich, sofern ausführbare Spezifikationen vorliegen.

Ein weiteres Problem liegt in der Form der erbrachten Ergebnisse seitens der Zulieferer. Die Fahrzeugfunktionen werden in Form von Steuergeräten an die Automobilhersteller geliefert. Das anschließende Testen dieser Fahrzeugfunktionen kann dann nur durch einen Black-Box-Test erfolgen.

1.1.2 Maßnahmen zur Lösung der Problematik

Die im vorherigen Abschnitt genannten Anforderungen an die zukünftige SW-Entwicklung können im Wesentlichen durch einen strukturierten und optimierten Entwicklungsprozess unter Verwendung von geeigneten Entwurfsmethoden, Techniken, Werkzeugen und Standards erfüllt werden.

Da die Probleme bei der SW-Entwicklung im Automobilbereich vor allem in den frühen Entwicklungsphasen durch unzureichende Lastenhefte entstehen, müssen insbesondere rechnergestützte Systemspezifikationen stärker in den künftigen Entwicklungsprozess einbezogen werden. Dadurch wird die Qualität der Spezifikationsdokumente verbessert. Dies führt wiederum zu einer Reduktion der Folgefehler.

Unter rechnergestützter Systemspezifikation ist folgendes zu verstehen:

Rechnergestützte Systemspezifikation

Die rechnergestützte Systemspezifikation umfasst Methoden, Beschreibungsmittel und Werkzeuge zur Entwicklung einer vollständigen und konsistenten Spezifikation des Zielsystems. Sie unterstützt die Anforderungsermittlung und ihre Aufbereitung zur Realisierung in Hardware und Software [Bort94].

Aus der obigen Definition ist ersichtlich, dass zur Realisierung einer qualitativ hochwertigen Systemspezifikation ein massiver Einsatz moderner CASE Tools notwendig ist, um beispielsweise die funktionalen Anforderungen frühzeitig modellieren und (halb-)automatisch validieren zu können.

Neben der Verbesserung der Anforderungsdokumente ist ein hohes Maß an Wiederverwendbarkeit von existierenden SW-Komponenten, wie sie gerade durch die Vererbung in der Objektorientierung unterstützt wird, notwendig. Wiederverwendbarkeit bedeutet dabei, dass bestehende SW-Komponenten, die in einem bestimmten Kontext bereits eingesetzt wurden, in einem neuen Bereich ebenfalls verwendet werden können. Darüber hinaus ermöglicht die Vererbung die Variantenbildung von SW-Komponenten. Ziel der Varianten-

bildung ist es, aufbauend auf bestehenden SW-Komponenten neue SW-Funktionen zu definieren, wobei einige Details geändert oder ergänzt werden. Aus diesen Gründen hat der Einsatz von objektorientierten Methoden und Techniken einen großen Vorteil bei der Erstellung komplexer SW-Strukturen.

Eine weitere Maßnahme zur Lösung der Problematik ist die Verwendung eines standardisierten und zugleich flexiblen Vorgehensmodells, mit dem die Aktivitäten und die Art der Ergebnisse größtenteils feststehen aber an spezifische Gegebenheiten angepasst werden können. Ein derartiges Vorgehensmodell ist beispielsweise das V-Modell [DW00], das in Deutschland einen sehr breiten Anwenderkreis aufweist und in der Automobilindustrie eine immer größere Bedeutung erlangt.

Die genannten Maßnahmen zur Lösung der Problematik sind bekannte und erprobte Ansätze aus dem Bereich Systems Engineering [Spre96] und bilden daher den Ansatz vieler Arbeiten im Bereich der Software- und Systementwicklung im Automobilumfeld. Die hier vorgestellte modellbasierte Entwurfsmethodik basiert ebenfalls auf diesen Konzepten, differenziert sich jedoch an vielen Stellen von anderen Arbeiten, um beispielsweise bislang nicht beantwortete Problemstellungen aufzugreifen. Der Mehrwert und die Unterschiede zwischen der hier vorgestellten Entwurfsmethodik und einigen bekannteren Arbeiten mit ähnlichem Forschungsschwerpunkt werden im folgenden Abschnitt erläutert und machen zugleich die Notwendigkeit für einen neuen Ansatz in der Entwicklung von Software im Automobilbereich deutlich.

1.1.3 Existierende Forschungsprojekte

Die Automobilindustrie hat erkannt, dass zur Lösung der Problematik moderne werkzeuggestützte Entwicklungsmethoden notwendig sind. Aus diesem Grund entstanden in den letzten Jahren viele derartige Methoden unabhängig voneinander, die in bestehende Entwicklungsprozesse integriert wurden. Einige Arbeiten auf diesem Gebiet werden in [Müll99b, BBK98] vorgestellt und miteinander verglichen. Dabei ist festzustellen, dass die meisten dort untersuchten Methoden, wie *CARTRONIC*, *BMW-ROOM*, *KorSys* und *BASEMENT*, nur einen bestimmten Teilbereich des Entwicklungsprozesses abdecken.

Zur Beherrschung der Komplexität ist jedoch eine ganzheitliche Betrachtung des Entwicklungsprozesses erforderlich. Denn gerade die nicht vorhandenen methodischen und werkzeugtechnischen Schnittstellen zwischen den Entwicklungsphasen verursachen einen Bruch in dem gesamten Vorgehen und führen somit nur zu suboptimalen Resultaten. Nach [BBK98] sind durchgängige Ansätze kaum vorhanden, da sie nur schwer zu realisieren sind. Ein durchgängiger Ansatz zur Entwicklung von Steuergeräte-Software wurde in dem Projekt *Strukturierter Entwicklungsprozess für Anwendungen im Automobilbereich* (STEP-X) realisiert. Dabei wurde die im weiteren Verlauf dieser Arbeit vorgestellte Entwurfsmethodik in STEP-X integriert und so auf Realisierbarkeit und Effizienz überprüft.

Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über das STEP-X Projekt gegeben. Des Weiteren werden andere Arbeiten mit ähnlichem Forschungsschwerpunkt aufgezeigt.