

Varianten in der Automobilelektronikentwicklung

Herausforderungen und Lösungsansätze

Martin Becker, Matthias Weber, Thomas Wierczoch

Team Prozessmanagement
Carmeq GmbH
Carnotstr. 4
10587 Berlin

{martin.becker, matthias.weber, thomas.wierczoch}@carmeq.com

Abstract: Der Beitrag beschreibt die gegenwärtigen Probleme im Umgang mit Varianten in der Automobilelektronik und leitet daraus Anforderungen an eine Lösung ab. Danach werden die Kernelemente eines bei der Carmeq GmbH entwickelten Lösungsansatzes zum systematischen, werkzeuggestützten Variantenmanagement in der Automobilelektronik vorgestellt.

1 Herausforderungen

Martin Winterkorn (Volkswagen Vorstand):

“Die Palette wird weiter die klassischen Segmente umfassen,... Aber wenn man wachsen will, muss man intelligent weitere Fahrzeuge hinzufügen und attraktive Nischen besetzen.“

In unserer Projektarbeit haben wir zunehmend Probleme im Umgang mit Variabilität in der Automobilelektronikentwicklung festgestellt. Wachsende Produktpaletten mit verschiedenen Ausstattungsvarianten bei gleichzeitig steigendem, softwarebasiertem Funktionsumfang stellen die Entwickler in der Automobilelektronik zunehmend vor eine Vielzahl von Problemen.

In den letzten 20 Jahren hat eine erhebliche Segmentierung des Automobilmarkts stattgefunden. Grund dafür ist, dass die Kunden heute sehr viel differenziertere Wünsche an ihr Auto stellen und die Autohersteller ihre Produkte immer genauer auf diese Wünsche ihrer Zielgruppen zuschneiden. Dadurch nimmt die Zahl der Segmente innerhalb der Produktpalette zu, gleichzeitig aber werden die Segmente selbst immer kleiner. Darüber hinaus müssen sich die einzelnen Modelle klar von einander abgrenzen und von den Fahrzeugen der Mitbewerber unterscheiden. Es wird deshalb immer mehr Fahrzeuge mit immer mehr Varianten in der Ausstattung geben. Die Erschließung neuer Märkte und die dort geltenden regionalen und gesetzlichen Bedingungen führen zu einer zusätzlichen Variabilität.

Die genannten Aspekte und die stetig steigende Anzahl von in den Fahrzeugen integrierten Funktionen führen zwangsweise zu immer vielschichtigeren Systemstrukturen in den Fahrzeugen. Gleichzeitig besteht aus Kosten- und Qualitätsgründen das eigentlich gegenläufige Bestreben, in den Systemstrukturen strategisch ein steigendes Maß an Invariabilität, d.h. Verwendung von Gleichteilen, zu erreichen.

Diese Herausforderungen bezüglich Variabilität und Invariabilität stellen sich nicht nur für die Endprodukte, die Fahrzeugsteuergeräte, sondern auch für alle vorgelagerten Entwicklungsartefakte der Automobilelektronik – Lasten- und Pflichtenhefte, Architekturen, Funktionsmodelle, Implementierungsmodelle, Testmodelle etc. Es gibt zurzeit keine Methoden, um diese Herausforderungen bezüglich Variabilität und Invariabilität zufrieden stellend zu beherrschen. Die naive Übertragung von Produktlinienansätzen aus der Softwaretechnik berücksichtigt nicht in erforderlichem Maße die Besonderheiten der Automobilindustrie. Beispielsweise findet in der Automobilelektronik ein langfristiger, kontinuierlicher Rückfluss aus dem Application Engineering in das Domain Engineering statt. Aufgrund der Komplexität dieser Rückflüsse in Verbindung mit der Umsetzung strategischer Vorgaben aus dem Domain Engineering ist in der Regel eine mehrstufige Organisation der Produktlinien notwendig. Das Management solcher, im Kontext langfristiger Elektronikplattformen angelegter, mehrstufiger Produktlinien mit komplexen Rückflüssen wird heute nicht hinreichend beherrscht.

Die Heterogenität der Produktlandschaft ist aber nur ein Aspekt, der die Herausforderung durch Komplexität in der Automobilbranche ausmacht. Die komplexen Organisationsstrukturen in großen Automobilkonzernen führen zu langen Entscheidungsprozessen und die Auswirkungen der Entscheidungen auf die gesamte Wertschöpfungskette bleiben häufig undurchschaubar.

2 Anforderungen an eine Lösung

Die wichtigste Anforderung an einen Lösungsansatz zur Bewältigung der genannten Herausforderungen besteht in der Bereitstellung einer Modellierungstechnik, die es ermöglicht, sämtliche Strukturen und Entscheidungen, die Auswirkungen auf die Systemvariabilität haben, über die gesamte Produktlebensdauer, d.h. von Fahrzeugsteckbrief bis zum Auslaufen des Werkstattservice, explizit zu beschreiben. So entsteht eine einheitliche Basis zum Management laufender sowie zum Aufsetzen für zukünftige Entwicklungsprojekte. Außerdem sollte diese Modellierung als Grundlage für (teil-)automatisierte Verfolgung von Auswirkungen von Änderungsentscheidungen geeignet sein. Zusätzlich wird auf Basis der Modellierungstechnik eine Methodik und entsprechende Werkzeugunterstützung zum Management der Variabilität benötigt. Schließlich muss diese Methodik auf die vielfältigen und sehr unterschiedlich ausgeprägten Prozessschritte in der Automobilelektronik anpassbar sein.

3 Lösungsansatz: systematisches, werkzeuggestütztes Variantenmanagement

Die oben genannten Herausforderungen müssen auf vielen Ebenen angegangen werden. Mittel- und langfristig spielt dabei die Standardisierung im Bereich Elektroniksoftware, die in der Automobilindustrie derzeit durch die AUTOSAR Initiative vorangetrieben wird, eine sehr wichtige Rolle ([AS]). Die zentrale Herausforderung sehen wir jedoch im methodischen Bereich. Das Business Team Prozessmanagement der Carmeq hat deshalb auf Basis langjähriger Projekterfahrungen einen methodischen Ansatz zum systematischen Management von Varianten in der Automobilelektronik entwickelt und prototypisch evaluiert. Der Ansatz ist durch folgende Grundelemente gekennzeichnet

- ⇒ Die Modellierung der „internen“ Variabilität der Entwicklungsartefakte durch spezifische, auf die jeweiligen Artefakte optimierte Mechanismen. Damit können spezifische Gegebenheiten von Anforderungs-, Entwurfs- oder Testnotationen sowie der dafür eingesetzten Tools optimal berücksichtigt werden.
- ⇒ Die einheitliche Modellierung der „externen“ Variabilität der Entwicklungsartefakte, d.h. der verschiedenen Möglichkeiten der (stufenweisen) Konfiguration dieser Artefakte sowie der dabei zu beachtenden Abhängigkeiten durch Featuremodelle ([Ka90]).
- ⇒ Die Modellierung von strategischen Konfigurationsentscheidungen für Entwicklungsartefakte durch Product-Sets ([RW05]). Damit wird ein strategisches Modell zur systematischen Dokumentation strategischer Entscheidungen im Unternehmen definiert. Dieses strategische Modell dient als einheitlicher Ausgangspunkt für alle Entwicklungsprojekte innerhalb eines Unternehmens.
- ⇒ Die Modellierung von Konfigurationsentscheidungen innerhalb eines Entwicklungsprojektes auf Basis des strategischen Modells. Auf dem strategischen Modell aufsetzende Entwicklungsprojekte übernehmen initial die im strategischen Modell getroffenen Entwicklungsentscheidungen. Im strategischen Modell offen gebliebene Entscheidungen müssen im Entwicklungsprojekt getroffen und übernommene strategische Entscheidungen müssen im Kontext des Entwicklungsprojekts überprüft werden.
- ⇒ Die Modellierung und das Management von mehrstufig organisierten Produktlinien mit komplexen Rückflüssen vom Domain Engineering in das Application Engineering durch das Multi-Level Konzept ([RW07]).

3.1 Modellierung der „internen“ Variabilität mit artefaktspezifischen Techniken

In der Welt der Entwicklungsartefakte gibt es leider eine Reihe von Schwierigkeiten bei der Einführung von Mechanismen zur Darstellung von Variabilität:

- ⇒ Aufgrund der Heterogenität der Entwicklungsartefakte, beispielsweise aufgrund der Verwendung sehr unterschiedlicher Spezifikationstechniken in der Automobilelektronik, erscheint es fast unmöglich einen gemeinsamen Mechanismus zur Beschreibung von Variabilität einzuführen, der in allen Entwicklungsartefakten reibungslos funktioniert.
- ⇒ Darüber hinaus dominieren in vielen Anwendungsbereichen in der heutigen Praxis kommerzielle Werkzeuge mit proprietären Spezifikationstechniken. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt bieten diese Werkzeuge keine umfassende Lösung zur Behandlung von Variabilität an. Daher müssen aktuelle Entwicklungsprojekte im Rahmen der Anpassungsmöglichkeiten dieser Werkzeuge pragmatische Lösungen finden. Leider führt dies zu einer Vielzahl verschiedener Darstellungen von Variabilität, selbst für den Fall das nur genau ein Artefakt und genau ein Werkzeug betrachtet werden.

Um dies etwas besser zu verdeutlichen betrachten wir die Phasen der textuellen Spezifikation sowie der modellbasierten Entwicklung von Steuergerätesoftware. In diesen Phasen kommen häufig Werkzeuge wie Requirements Management Werkzeuge wie Doors und Simulationswerkzeuge wie ML/SL/SF zum Einsatz ([Doors], [ML]). Da beispielsweise das Werkzeug ML/SL/SF keine explizite Darstellung von Variationspunkten unterstützt, werden in der Praxis häufig Workarounds benutzt:

- ⇒ Ein Ansatz ist die Erstellung eines Modells in dem alle Varianten parallel modelliert werden und durch „An- bzw. Abschalten“ von Blöcken konfiguriert werden. Der Hauptnachteil bei diesem Ansatz ist die Tatsache, dass so ein „Gesamtmodell“ als solches kein sinnvolles System darstellt und daher schwierig zu verstehen und weiterzuentwickeln ist.
- ⇒ Ein anderer Ansatz ist etwa die „kreative“ Verwendung eines existierenden Konzepts, z.B. das Konzept konfigurierbarer Teilsysteme, um zumindest einige einfache Fälle von Variabilität beschreiben zu können.

Eine ähnliche Situation findet sich heute im Bereich des Requirements Management: verbreitete Werkzeuge bieten keine Konzepte zur expliziten Modellierung von Variabilität. Daher sind eine Reihe unterschiedlicher pragmatischer Lösungen und entsprechende Werkzeuganpassungen im Gebrauch ([So06]).

Aufgrund dieser Betrachtungen schlagen wir vor, im Bereich der „internen“ Variabilität von Artefakten wie folgt vorzugehen:

- ⇒ Da jedes Artefakt seine eigenen Charakteristika und pragmatischen Einschränkungen hat, müssen verschiedene Variabilitätsmechanismen unterstützt werden.
- ⇒ Um die Vielfalt der pragmatisch gewachsenen Variabilitätsmechanismen eines Artefakts zu beherrschen, muss für jedes Artefakt eine eindeutige und standardisierte Darstellung definiert werden, auf die alle existierenden Mechanismen abgebildet werden können. Dies bedeutet nicht, dass der Endanwender zwingend mit dieser Standarddarstellung arbeiten muss, sie dient lediglich als eine interne „Zwischensprache“.
- ⇒ Diese Standarddarstellung dient dann als Basis zur Verknüpfung der Variabilität verschiedener Artefakte. Dies wird im Folgenden beschrieben.

3.2 Modellierung der „externen“ (Konfigurations-)Variabilität mit Feature-Modellen

Von außen betrachtet möchte man im Rahmen der Produktlinienentwicklung ein oder mehrere „variable“ Entwicklungsartefakte, in denen Variationspunkte beschrieben sind, möglichst flexibel „konfigurieren“ können, d.h. einige der Variationspunkte auflösen und dabei jeweils eine der möglichen Varianten wählen. Die Konfigurationsabhängigkeiten können bei einem solchen Vorgehen schnell komplex und unübersichtlich werden. Daher hat sich in diesen Bereich eine spezielle Technik hierfür etabliert, die Featuremodellierung.

Feature-Modelle beschreiben abstrakte Eigenschaften von technischen Systemen sowie deren Beziehungen untereinander. Entgegen klassischen Definitionen des Begriffs Feature verstehen wir in diesem Zusammenhang unter einem Feature nicht nur benutzerwahrnehmbare Eigenschaften, sondern auch interne technische Funktionen und Eigenschaften. Bei jedem Automobilhersteller gibt es neben den vom Kunden konfigurierbaren Eigenschaften eines Automobils mehrere tausend solche Features, die bestimmten internen Funktionen und Eigenschaften entsprechen. Heutzutage sind diese Features selbst z.T. bereits gut dokumentiert. Dagegen werden die Beziehungen zwischen diesen zahlreichen Features nur sehr selten festgehalten. Dieses Defizit erschwert Entscheidungen und führt bspw. dazu, dass Entscheidungen mehrfach getroffen werden.

3.3 Modellierung von strategischen Konfigurationsentscheidungen

In der Praxis besteht die Konfiguration von Artefakten (z.B. im Falle eines neuen Elektronikbaukastens für eine bestimmte Menge von Baureihenprojekten, das Aufsetzen von Funktionslisten und die Festlegung für welche Fahrzeugmengen welche Funktionen umzusetzen sind) häufig aus einer Vielzahl von Einzelentscheidungen, in die z.B. vertriebsstrategische Überlegungen, rechtliche Gegebenheiten bzw. erwartete Entwicklungen, sowie funktionale Abhängigkeiten und Übernahmestrategien einfließen. Es ist offensichtlich, dass Mechanismen notwendig sind, diese Konfigurationsentscheidungen feingranular beschreiben zu können, um jederzeit nachvollziehen zu können, aus welchem Grund (bzw. aus welcher Verbindung von Gründen) eine bestimmte Funktion für eine bestimmte Menge von Fahrzeugen innerhalb des Baukastens ausgewählt wird.

Um dies zu erreichen, muss neben dem Featuremodell zunächst ein Modell der Fahrzeuge des Baukastens erstellt werden. Dieses Modell wird im folgenden Produktlinienmodell genannt. Die Basis für das Produktlinienmodell eines Herstellers bilden klassifizierbare Eigenschaften der Produkte (z.B. Fahrzeugklasse, Markt, Ausstattungsvariante, etc.) und die möglichen Ausprägungen dieser Eigenschaften. Ein spezifisches Produktlinienmodell ergibt sich für einen Hersteller aus den gültigen Kombinationen der Ausprägungen der Eigenschaften. Eine Kombination dieser Ausprägungen wird als Product-Set bezeichnet. Ein Product-Set bildet eine Teilmenge innerhalb des Produktangebots. Das Product-Set {Markt=USA} umfasst zum Beispiel alle Fahrzeuge für den US-amerikanischen Markt. Dabei werden sowohl aktuelle als auch zukünftige Produkte erfasst.

Das *Strategische Modell* entsteht durch die Verknüpfung von Elementen des Feature-Modells mit Product-Sets aus dem Produktlinienmodell. Dabei stellt jede dieser Verknüpfungen eine strategische (Konfigurations-)Entscheidung dar. Die strategische Entscheidung „keine Sprachbedienung in den Fahrzeugen der Ausstattungsvariante Low“ wird z.B. durch eine Relation zwischen einem Feature Sprachbedienung im Feature-Modell und dem Product Set {Ausstattungsvariante=Low} abgebildet.

Die Gesamtheit aller dokumentierten strategischen Entscheidungen bildet das Strategische Modell eines Unternehmens. Dieses Strategische Modell dient als Basis für alle konkreten Entwicklungsprojekte. Weitere durch das Featuremodell geforderte Entscheidungen, die innerhalb des Strategischen Modells offen gelassen wurden, müssen durch das jeweilige Entwicklungsprojekt getroffen werden.

3.4 Die Modellierung von Konfigurationsentscheidungen in Entwicklungsprojekten

Ein Entwicklungsprojekt übernimmt initial die Konfigurationsentscheidungen aus dem Strategischen Modell, welche für dieses konkrete Entwicklungsprojekt relevant sind. Die Relevanz von Entscheidungen für ein Entwicklungsprojekt ergibt sich aus den für das Entwicklungsprojekt gegenüber dem Produktlinienmodell festgeschriebenen Ausprägungen der Produkteigenschaften. So wird z.B. für ein Fahrzeugprojekt, welches ein Fahrzeug für die USA entwickeln soll die Produkteigenschaft {Markt=USA} festgelegt. Damit sind Entscheidungen des strategischen Modells, welche sich beispielsweise auf den europäischen Markt beschränken ({Markt=EU}) für dieses Entwicklungsprojekt nicht relevant.

Auf der Basis der aus dem Strategischen Modell übernommenen Konfigurationsentscheidungen müssen während des Entwicklungsprojekts sowohl diese übernommenen Entscheidungen im Kontext des aktuellen Entwicklungsprojekts überprüft als auch weitere durch das Featuremodell geforderte Entscheidungen, die innerhalb des Strategischen Modells offen gelassen wurden, getroffen. Wird eine aus dem Strategischen Modell übernommene Entscheidung im Entwicklungsprojekt anders entschieden, so muss dies begründet werden. Durch diesen Ansatz wird eine durchgängige Transparenz in den Entwicklungsentscheidungen von den strategischen Ebene bis hin zu konkreten Projektentscheidungen sichergestellt.

Entwicklungsprojekte können grundsätzlich auf verschiedenen Ebenen aufgesetzt werden. So gibt es Entwicklungsprojekte, welche ein gesamtes Fahrzeug als Entwicklungsgegenstand haben als auch Entwicklungsprojekte, deren Ziel die Entwicklung einer einzelnen Komponente (z.B. Radio) umfassen.

3.5 Die Modellierung von mehrstufig organisierten Produktlinien mit dem Multi-Level Konzept

Die bisher beschriebenen Mechanismen basieren alle auf der Annahme einer „idealen“ produktlinienorientierten Entwicklung, d.h. spezifische Produkte entstehen durch nichts anderes als die bloße Konfiguration von variablen Artefakten des Domain Engineering. In der Praxis ist diese Situation jedoch eher die Ausnahme als die Regel: üblicherweise entstehen durch die Konfiguration lediglich die Ausgangsartefakte von spezifischen Produktentwicklungen. Im Laufe eines konkreten Entwicklungsprojektes werden dann diese Ausgangsartefakte projektspezifisch modifiziert. Beispielsweise ist zu erwarten, dass bei bestimmten Funktionen eines neu aufgesetzten Baureihenbaukastens im Rahmen der Kostendiskussionen mit dem Zulieferer Erweiterungen bzw. Reduktionen zum strategischen Referenzbaukasten vorgenommen werden. Manche dieser Änderungen (z.B. bestimmte funktionale Erweiterungen) können explizit erwünscht sein, andere hingegen sind explizit unerwünscht (z.B. nicht abwärtskompatible Änderungen an der Signalschnittstelle), da dadurch strategische Ziele gefährdet werden.

Es ist von entscheidender Bedeutung, diese Art von Bewertungen von Abweichungen spezifizieren zu können, sowie sicherzustellen dass bei solchen „Nachbearbeitungen“ des konfigurierten Artefakts die Beziehungen zum Ursprungsartefakt nicht verloren gehen. Um dies zu unterstützen verwenden wir das Multi-Level Konzept ([RW07]). Mit dieser Technik können mehrstufig organisierte Produktlinien unterstützt werden. Im wesentlichen definiert das Multi-Level Konzept die Beziehungen zwischen Referenzartefakten, bspw. einer Referenzbibliothek von Funktionsspezifikationen und referenzierenden Artefakten, bspw. den Funktionsspezifikationen eines aus der Referenzbibliothek abgeleiteten Elektronikbaukastens für eine bestimmte Menge von Fahrzeugprojekten. Für jede Funktion aus der Referenzbibliothek kann festgelegt werden, ob und an welchen Stellen welche Arten von Abweichungen (bspw. zusätzliche Ein-/ Ausgabesignale, oder zusätzliche Teilfunktionen) erlaubt sind. Damit kann jederzeit analysiert werden, welche Abweichungen vorhanden sind und welche davon erlaubt bzw. unerlaubt sind.

Durch die Multi-Level Technik sind also Abweichungen vom Strategischen Modell in Entwicklungsprojekten möglich, werden aber erst durch die gezeigte Herangehensweise transparent.

Darüberhinaus bietet die Multi-Level Technik die Basis um kontrolliert und rechnergestützt Änderungen in beide Richtungen, d.h. vom Referenzmodell zu den Projektmodellen und umgekehrt, zu übernehmen ([Ne08]). Der letztere Fall, d.h. der Rückfluss vom Application Engineering in das Domain Engineering, tritt in der Praxis regelmäßig auf, da die referenzierenden Artefakte im Rahmen der Entwicklungsprojekte, z.B. im Rahmen der aufwendigen Entwicklungsreviews mit den Projektzulieferern, an manchen Stellen eine sehr hohe technische Qualität erreichen, die man natürlich für Folgeprojekte nutzen will. Auch werden bestimmte, z.B. aus Kostendruck resultierende, projektspezifische Lösungsideen, häufig als Referenzlösung für neue Projekte übernommen.

3.6 Zusammenfassung der Methodik

Durch diese Methodik des Anforderungs-/Variantenmanagement wird ein explizites Aufzeigen komplexer Variabilitätsstrukturen und Zusammenhänge möglich und es wird ein bewusster Entscheidungsprozess bezüglich des Aufbaus und der Pflege von mehrstufig organisierten Produktlinien gefordert und gefördert. Aufgrund der Komplexität der zu dokumentierenden Strukturen ist eine entsprechende Werkzeugunterstützung unerlässlich.

4 Werkzeugunterstützung

Eine prototypische Umsetzung des vorgestellten Ansatzes im Bereich Anforderungsmanagement hat die Carmeq GmbH gemeinsam mit der TU Berlin durch Erweiterungen des Anforderungsmanagementwerkzeugs DOORS sowie durch einen Eclipse-basierten Featureeditor realisiert. Durch den vorgestellten methodischen Ansatz

und die prototypische Werkzeugumsetzung ist jetzt die Darstellung komplexer Variabilitätsstrukturen möglich und mehrstufige Produktlinien im Bereich Anforderungsspezifikationen können explizit dokumentiert und verwaltet werden.

Außerdem ermöglicht die Werkzeugunterstützung aus einer gemeinsamen Basisspezifikation stufenweise Spezifikationen zu generieren die genau auf den gewünschten Ausprägungsgrad hin angepasst sind (z.B. als Basis einer neu entwickelten Elektronik-Plattform, einer neu entwickelten Steuergeräte-Familie, oder einer spezifischen Baureihenentwicklung). Nach der Konfiguration können mit Hilfe des Multi-Level Konzepts die Informationsflüsse zur Ausgangsspezifikation beidseitig verwaltet werden.

5 Literaturverzeichnis

- [AS] <http://www.autosar.org>
- [Doors] <http://www.telelogic.com>
- [ML] <http://www.mathworks.com/>
- [Ka90] Kang, K. C. et al.: "Feature Oriented Domain Analysis (FODA) – Feasibility Study". Technical Report, CMU/SEI-90-TR-21, 1990.
- [So06] Sokenou, M.: Produktlinienorientiertes Anforderungsmanagement im Automobilbereich – Evaluierung und Erweiterung bestehender Konzepte, Diplomarbeit TU-Berlin, 2006.
- [Ne08] Neitsch, L.: Multi-Level Modellsynchronisation für die Entwicklung komplexer Produktfamilien softwarebasierter Systeme, Masterarbeit HPI Potsdam, 2008, to appear.
- [RW05] Reiser, M-O.; Weber, M.: Using Product Sets to Define Complex Product Decisions, in: J. Henk Obbink, Klaus Pohl (Eds.): Proceedings of the 9th International Conference on Software Product Lines (SPLC 2005). Lecture Notes in Computer Science 3714, Springer 2005, pp. 21-32.
- [RW07] Reiser, M-O.; Weber, M.: Multi-Level Features Trees -- A pragmatic approach to managing highly complex product families, RE Journal, vol. 12, no. 2, pp. 57-75, 2007.