



□ Dr. Stephan Weißleder

[E-Mail: [stephan.weissleder@first.fraunhofer.de](mailto:stephan.weissleder@first.fraunhofer.de)]

arbeitet beim Fraunhofer-Institut FOKUS als Forschungsleiter für den Bereich Test und treibt in diesem und verwandten Bereichen den Austausch zwischen Industrie und Forschung voran. Er ist Autor zahlreicher begutachteter Veröffentlichungen und Organisator von akademischen und industriellen Workshops. Dr. Weißleder ist außerdem Mitglied im German Testing Board.

## Modellbasiertes Testen für Varianten

### Automatisierte Qualitätssicherung meets Variantenmanagement

Das Testen ist eines der am häufigsten eingesetzten Mittel zur Qualitätssicherung aller Arten von Systemen. Steigender Funktionsumfang, Vernetzung oder Variantenvielfalt lassen die Kosten für die Qualitätssicherung heutzutage jedoch rasant steigen. Testautomatisierung durch modellbasierte Testgenerierungstechniken ist ein wirkungsvolles Mittel, um hohe Testqualität bei vergleichsweise niedrigen Testkosten sicherzustellen. Dieser Artikel zeigt, wie fortschrittliche Testtechnologien wie das modellbasierte Testen für die Qualitätssicherung variantenreicher Systeme verwendet werden können.

#### Qualitätssicherung: Komplexitätstreiber und Automatisierung

Qualität ist das wichtigste Attribut heutiger Systeme: Über Qualität lassen sich Produkte differenzieren. Über Qualität bindet man Kunden. Qualität entscheidet über die Zulassung sicherheitsrelevanter Systeme. Die Sicherung dieser Qualität kann viele Formen haben. Eine der am weitesten verbreiteten Formen ist das Testen. Beim Testen liegt der Fokus in den meisten Fällen auf der gezielten und stichprobenhaften Ausführung von Systemen und dem Vergleich des erwarteten mit dem beobachteten Verhalten. Mit steigender Überdeckung der relevanten Systemaspekte durch das Testen nimmt das Vertrauen in das entwickelte Produkt zu – die wahrgenommene Qualität steht auf einem sicheren Fundament.

Die Durchführung adäquater Teststrategien bedarf heutzutage aber auch eines stetig steigenden Aufwands. Ausschlaggebend dafür sind Faktoren wie z. B. zunehmende Komplexität. Diese wirkt sich auf das Testen auf verschiedenen Teststufen aus. Insbesondere der Integrationstest wird umso aufwändiger, je mehr Komponenten in das System integriert sind und je flexibler

die Integration der Komponenten ist. Die Automatisierung der Testprozesse, z. B. beim Testdesign, ist das Mittel der Wahl, um diese Komplexität angemessen zu bewältigen. Unter Zuhilfenahme von Modellen als Testbasis lassen sich mit dem modellbasierten Testen Testfälle automatisch ableiten. In [Wei11] gehen wir darauf ein und betrachten außerdem den Return on Investment des modellbasierten Testens.

Ein wesentlicher Trend und Komplexitätstreiber ist die individuelle Anpassbarkeit der Endprodukte an die Wünsche des Kunden. Eine der Vorreiterbranchen ist hierbei sicherlich die Automobilindustrie, bei der man allein von den Stückzahlen her schließen kann, dass die überwiegende Menge an Fahrzeugvarianten nicht mehr als einmal auf deutschen Straßen fährt. Dieser Trend hält in weiteren Domänen Einzug und unterstreicht die Relevanz des Variantenreichtums für die Qualitätssicherung.

In diesem Artikel beschreiben wir, wie automatische Testdesigntechniken wie das modellbasierte Testen für die Qualitätssicherung variantenreicher Systeme eingesetzt werden können. Zunächst werden wir verschiedene Arten der Modellierung für Systeme vorstellen. Im Anschluss daran zei-

gen wir, wie Produktlinien effizient modellbasiert getestet werden können und wie sich Redundanzen zwischen Tests für verschiedene Varianten vermeiden lassen können. Alle Erläuterungen werden mit einem kleinen Beispiel aus dem Automobilbereich untermauert.

#### Modelle für Testableitung und Varianten

Das modellbasierte Testen besteht darin, aus einem anforderungsnahen Modell Testfälle abzuleiten. Da dieser Prozess bei Verwendung entsprechender Testwerkzeuge automatisiert durchgeführt werden kann, spricht man in diesem Zusammenhang auch von der „Automation des Testdesigns“. Typische Modelle für das modellbasierte Testen sind Verhaltensmodelle wie z. B. Aktivitätsdiagramme oder Zustandsmaschinen. **Abbildung 1** zeigt eine Zustandsmaschine, die einen Aspekt des Verhaltens von Fahrzeugen darstellt. In der Abbildung wird auf abstrakter Ebene das Verhalten des Fahrzeugs in Abhängigkeit von der Zündschlüsselstellung, der Wahl des Gangs für manuelle Gangschaltung bzw. der Wahl des Fahrmodus für Automatikgetriebe sowie der Betätigung von Gas und Bremse dargestellt.

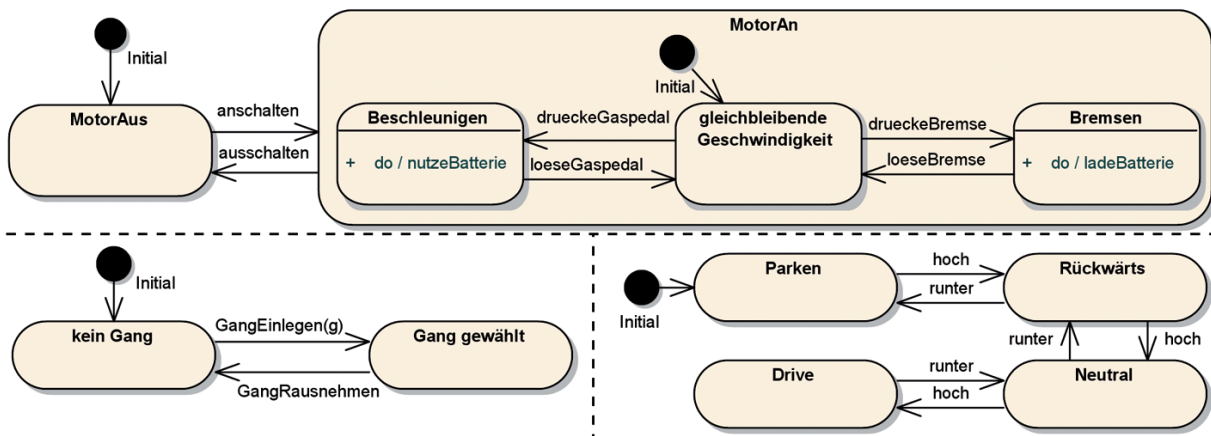


Abb. 1: 150 %-Modell: Zustandsmaschine für Fahrzeuge.

Dieses Testmodell stellt nicht alle Verhaltensweisen des Fahrzeugs dar und geht auch nicht auf unerlaubtes Verhalten ein, ermöglicht aber das Testen grundlegender Fahrzeugeigenschaften.

Für die Handhabung der Varianz von Systemen wurden ebenfalls Modelle entwickelt: Mit sogenannten Feature-Modellen werden Verantwortliche für solche Systeme in die Lage versetzt, einen Überblick über die Features der Produkte und deren Abhängigkeiten zu gewinnen. **Abbildung 2** zeigt ein kleines Feature-Modell für Fahrzeuge, mit dem sich Fahrzeuge im Hinblick auf Getriebe und Antrieb konfigurieren lassen. Das Modell zeigt, dass die Features „Manuell“ und „Automatik“ alternativ sind. Die Features, die die Antriebsarten „Benzin“, „Diesel“ und „Elektro“ beschreiben, lassen sich kombinieren. Die einzige Ausnahme ist, dass Benzin und Diesel nicht miteinander kombiniert werden können.

Die Modellierungsarten für Verhalten und Varianz von Systemen können miteinander gekoppelt werden (vgl. [Wei09]). Wenn man es genau nimmt, erhalten Feature-Modelle ihren eigentlichen Inhalt erst durch die Kopplung mit anderen Artefakten wie z. B. Anforderungen oder Modellen. So können die Features des Feature-Modells mit einzelnen Elementen der Zustandsmaschine verknüpft werden. In unserem Beispiel ist das Feature „Manuell“ mit der linken unteren Region und das Feature „Automatik“ mit der rechten unteren Region der Zustandsmaschine verlinkt. Das Feature „Elektro“ ist mit den Aktivitäten „ladeBatterie“ und „nutzeBatterie“ in den Zuständen „Bremsen“ und „Beschleunigen“ verknüpft. Diese mit einem Feature verknüpften Elemente der

Zustandsmaschine würden für eine Produktvariante nur dann existieren, wenn die entsprechende Variante das Feature enthält. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass nicht alle Modellelemente der Zustandsmaschine für eine Variante gültig sein müssen. In diesem Zusammenhang spricht man auch von 150 %-Modellen (vgl. [Grö08]). **Abbildung 1** zeigt ein solches 150 %-Modell: Es enthält mehr Modellelemente als in einer Variante möglich sind.

Im Folgenden zeigen wir, wie die beschriebenen Modelle variantenreicher Systeme für die automatische Testableitung genutzt werden können. Dazu gehen wir auf zwei Szenarien ein: Die Qualitätssicherung ganzer Produktlinien und die Qualitätssicherung einzelner Produktvarianten.

**Modellbasiertes Testen von Produktlinien**

Bei der Verbindung von Feature-Modellen mit dem modellbasierten Testen aus

Verhaltensmodellen stellt sich zunächst die Frage, an welcher Stelle die Kopplung stattfinden kann. Da sich für Testableitung und Varianzbeschreibung die Nutzung von Modellen durchgesetzt hat, sind diese auch die intuitive Schnittstelle für das modellbasierte Testen von Produktlinien. Wie im vorigen Abschnitt dargestellt, geschieht das üblicherweise unter Verwendung von 150 %-Modellen, die das Verhalten für die Menge aller Varianten beschreiben. Die einzelnen Features der genutzten Feature-Modelle werden mit den Modellelementen des 150 %-Modells verknüpft, sodass die Auswahl einer Produktvariante auf Ebene des Feature-Modells die Auswahl der zu dieser Variante gehörigen Menge an Modellelementen bzw. ein entsprechendes 100 %-Modell impliziert. Dieses 100 %-Modell kann von gängigen Feature-Modellierungswerkzeugen separat gespeichert werden. Zu einer Variante unseres Beispiels, die ein Automatikgetriebe aber keinen Elektroantrieb und damit auch keine Ener-

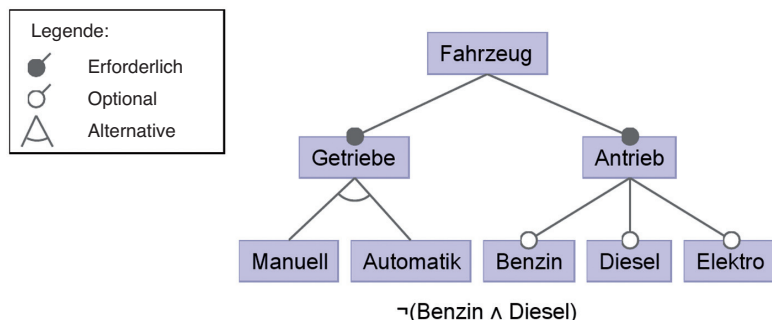


Abb. 2: Feature-Modell für Fahrzeuge.

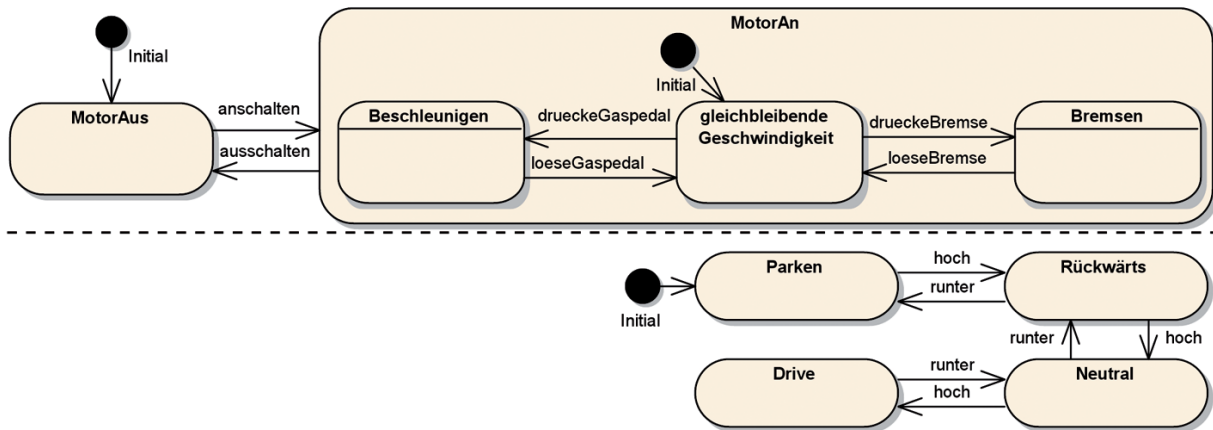


Abb. 3: 100 %-Modell eines Fahrzeugs mit Automatikgetriebe und ohne Elektroantrieb.

gierückgewinnung beim Bremsen einschließt, würde das zugehörige 100 %-Modell dann so aussehen wie in **Abbildung 3**: Die zuvor angesprochene untere linke Region sowie die Aktivitäten „ladeBatterie“ und „nutzeBatterie“ sind hier nicht vorhanden.

Auf Basis dieses 100 %-Modells lassen sich nun mit gängigen modellbasierten Testgeneratoren automatisch Testfälle zu der ausgewählten Produktvariante erzeugen. **Abbildung 4** stellt diesen Prozess anschaulich dar. Weitere Informationen und allgemeine Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zum modellbasierten Testen finden Sie z. B. in [Wei11].

Bei der Nutzung dieses Prozesses und einer entsprechenden vollautomatisierten Werkzeugkette wird deutlich, wie Testfälle zu einer Produktvariante auf Basis eines Feature-Modells und eines verknüpften 150 %-Modells erzeugt werden können. Die nächste Erweiterung dieses Prozesses ist, dass nicht nur einzelne Produktvarianten getestet werden, sondern alle Varianten einer Produktlinie. Dazu bedarf

es eines Werkzeugs, das Feature-Modelle vollautomatisiert analysieren und weiterhin die Menge aller zugehörigen Produktvarianten erzeugen kann. Für jede dieser Produktvarianten ließe sich dann automatisiert eine Menge von individuell zugeschnittenen Testfällen erzeugen (vgl. [Wei08]). Für eingesetzte Produktlinien, die tausende oder mehr Produktvarianten beschreiben, stößt dieses Vorgehen offensichtlich an eine Komplexitätsgrenze, die mit den verfügbaren Ressourcen für die Qualitätssicherung nicht überwunden werden kann. An dieser Stelle kann man sich bewährter Mittel der Qualitätssicherung bedienen: Überdeckungskriterien, die als Heuristiken schon zur Qualitätsmessung von Testsuiten oder zur Testgenerierung genutzt werden, lassen sich auf Feature-Modelle anwenden (vgl. [Ost11]). Damit ist es möglich, eine repräsentative Menge an Varianten zu einer Produktlinie zu erzeugen. Mit den Elementen dieser Menge wird der ursprünglich vorgeschlagene Prozess durchgeführt. Der Aufwand ist in Abhängigkeit vom gewählten Überdeckungskriterium wesentlich kleiner als die vollständige Prüfung aller Varianten.

Momentan ist die Identifikation der Abhängigkeiten von Überdeckungskriterien auf den unterschiedlichen Modellen noch Forschungsgebiet. Wesentliche Fragen sind hier beispielsweise, ob es vorteilhafter ist, starke Überdeckungskriterien auf Feature-Modellebene mit schwachen Überdeckungskriterien auf 100 %-Modellebene zu kombinieren oder den umgekehrten Weg zu gehen. Weiterhin könnte auch die Überdeckung auf dem 150 %-Modell gemessen

und zu einzelnen Testfällen dann die zugehörigen Features als Einflussgröße an Konfigurationspunkten im Modell bestimmt werden. Hierzu wäre allerdings die Durchgängigkeit und Konsistenz der Systembeschreibungen auf allen Abstraktionsebenen eine wichtige und nicht immer erfüllte Voraussetzung.

### Qualitätssicherung für wenige Produktvarianten

Im vorhergehenden Abschnitt haben wir gezeigt, wie Feature-Modelle zur Darstellung von variantenreichen Systemen mit 150 %-Modellen zur Darstellung von Systemverhalten gekoppelt werden können, um Testfälle für alle oder eine repräsentative Auswahl von Produktvarianten automatisch ableiten zu können. Nicht immer steht jedoch das automatische Testen ganzer Produktlinien im Vordergrund der Betrachtung. Gerade in Domänen und Unternehmen mit einer eher geringen Anzahl an Produktvarianten ist das zentrale Anliegen vielmehr die Frage nach der Aufwandsreduzierung im Test für eine geringe und fest vorgegebene Zahl an Produktvarianten.

Hintergrund ist, dass Produktlinien in unterschiedlichster Art und Weise entstehen. Häufig ist es so, dass in der ursprünglichen Entwicklung noch gar keine Produktlinie geplant war und dass sich die einzelnen Varianten schleichend durch unterschiedliche Wünsche dauerhafter Kunden etablieren. In diesen Fällen ist die Anzahl der Varianten oft überschaubar. Der Fokus in der Effizienzsteigerung der Qualitätssicherung liegt hier auch oft nicht

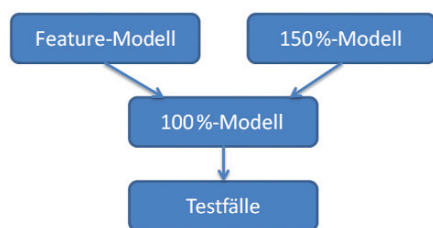


Abb. 4: Prozess für das modellbasierte Testen einzelner Produktvarianten.

auf dem Testen einer repräsentativen Anzahl von Varianten, sondern darauf, Synergien zwischen den einzelnen Testläufen zu entwickeln bzw. Redundanzen zwischen Testfällen für unterschiedliche Varianten zu identifizieren. Die zentrale Frage an dieser Stelle lautet also: Was muss für Variante B nicht mehr getestet werden, weil es bereits für Variante A getestet wurde? In unserem Beispiel kann man sich vorstellen, dass man zwei Produktvarianten testen möchte, die Benziner sind und über ein Automatikgetriebe verfügen. Der einzige Unterschied zwischen den Varianten A und B ist der in B eingebaute Elektroantrieb.

Ein zentraler Punkt an dieser Stelle ist der Nachweis der Rückwirkungsfreiheit: Kann man sicherstellen, dass Verhalten oder Veränderungen in einer Komponente X keinen Einfluss auf eine Komponente Y haben? Wenn diese Frage positiv beantwortet werden kann, muss der Zusammenhang zwischen X und Y nicht getestet werden. Für Features in einzelnen Varianten, die z. B. den Entertainment-Bereich betreffen, lässt sich auf der gewählten Abstraktionsebene die Rückwirkungsfreiheit zur Art des Antriebs vermuten. Wie die Zustandsmaschine in **Abbildung 1** jedoch zeigt, existieren über die Aktionen „ladeBatterie“ und „nutzeBatterie“ Zusammenhänge von der Antriebsart zu einem optional gewählten Elektroantrieb. Zur Feststellung der Rückwirkungsfreiheit lassen sich verschiedene Verfahren einsetzen: Zum Beispiel könnte eine Kopplung von Feature-Modellen und Abhängigkeitsgraphen auf Code-Ebene entsprechende Abhängigkeiten zwischen Features analysieren und anzeigen lassen. Der Abhängigkeitsgraph kann z. B. durch statische Analyse der Code-Basis erzeugt werden. Die Kopplung von Feature-Modell und

Abhängigkeitsgraph kann ganz ähnlich wie bei der oben dargestellten Kopplung von Feature-Modellen und 150 %-Modellen geschehen. Auch hier geht es lediglich um die Auszeichnung der Code-Abschnitte, die bei der Auswahl eines Features aktiviert werden.

Abschließend betrachten wir die Teststufen (vgl. [GTB12]), auf denen der Einsatz der vorgeschlagenen Technik sinnvoll ist: Der Komponententest ist sicherlich soweit unbeeinflusst, wie die einzelnen den Features zugeordneten Bereiche einzelnen Komponenten entsprechen – bereits getestete und durch die Variantenwahl in sich nicht veränderte Komponenten müssen nicht erneut getestet werden. Der Integrationstest ist wesentlich stärker beeinflusst. Die identifizierten Abhängigkeiten zeigen genau auf, welche Beziehungen zwischen Komponenten in einer neuen Produktversion einem erneuten Test zu unter-

ziehen sind. Der Systemtest hingegen ist von den Komponenten eher unabhängig. An dieser Stelle empfiehlt sich eine Analyse der Systemanforderungen mit Blick auf das Feature-Modell.

### Zusammenfassung

In diesem Artikel haben wir verschiedene Möglichkeiten gezeigt, wie die Qualitätssicherung für variantenreiche Systeme unter Zuhilfenahme expliziter Variantenmodellierung verbessert werden kann. Wir haben sowohl das vollautomatische Testen ganzer Produktlinien als auch die Reduzierung von redundanten Tests dargestellt. Beide Verfahren lassen sich gewinnbringend kombinieren. Mit einer solchen Kombination ließe sich eine repräsentative Menge an Produktvarianten vollautomatisch testen. Die Redundanzen zwischen den Varianten würden jedoch nicht erneut getestet. ■

### Referenzen

- [Grö08] Grönninger, H., Krahn, H., Pinkernell, C. & Rumpe, B. (2008). Modeling Variants of Automotive Systems using Views. Modellierung'08. Berlin, Germany.
- [GTB12] GTB. (2012). German Testing Board – Lehrpläne, siehe <http://www.german-testing-board.info/de/lehrplaene.shtm>.
- [Ost11] Oster, S., Zorcic, I., Markert, F., & Lochau, M. (2011). MoSo-PoLiTe - Tool Support for Pairwise and Model-Based Software Product Line Testing. 5th International Workshop on Variability Modelling of Software-Intensive Systems. Namur, Belgium.
- [Wei08] Weißleder, S., Sokenou, D. & Schlingloff, H. (2008). Reusing State Machines for Automatic Test Generation in Product Lines. Model-Based Testing in Practice (MoTiP). Berlin, Germany.
- [Wei09] Weißleder, S. (2009). Test Models and Coverage Criteria for Automatic Model-Based Test Generation with UML State Machines. Berlin: PhD Thesis. Berlin, Germany.
- [Wei11] Weißleder, S., Güldali, B., Mlynarski, M., Törsel, A.-M., Faragó, D., Prester, F. (2011). Trend Qualitätsmanagement: Modellbasiertes Testen: Hype oder Realität? OBJEKTSpektrum.