

---

# DFAM

Deutsche Forschungsgesellschaft für  
Automatisierung und Mikroelektronik e.V.

---

Forschungsbericht

Nr. 35/2019

**ABSCHLUSSBERICHT**

---

**V&VArtemis**

**Variabilität und Versionierung bei der  
anforderungsbasierten Testfallentwicklung  
und -auswahl für mechatronische Systeme**

---

© 2019 DFAM – Frankfurt am Main

Das Urheberrecht an diesem Bericht mit sämtlichen Beilagen verbleibt der DFAM.  
Ohne schriftliche Genehmigung der DFAM darf der Bericht weder kopiert noch vervielfältigt werden.

Die DFAM übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter.

# Kennwort: V&VArtemis

Vorhaben Nr. 19090 N/1

---

## Variabilität und Versionierung bei der anforderungsbasierten Testfallentwicklung und -auswahl für mechatronische Systeme (V&VArtemis)

---

### Abschlussbericht

#### Kurzfassung:

Hersteller mechatronischer Produkte müssen heute aufgrund flexiblerer Produktionsanlagen im Rahmen von Industrie 4.0 in der Lage sein, ihr Angebot immer stärker an individuelle Kundenwünsche anzupassen. Dies führt dazu, dass die in den Produktionsanlagen enthaltenen Komponenten ebenfalls flexibler einsetzbar sein müssen. Durch diese Flexibilität entsteht bei den Komponentenherstellern eine deutlich größere Varianten- und Versionsvielfalt ihrer Produkte, die immer komplexer werdende Maßnahmen der Qualitätssicherung nach sich zieht. Durch die steigende Variantenvielfalt und der daraus resultierenden Unübersichtlichkeit darüber, welche Testfälle zu welchen Varianten bereits ausgeführt wurden, entsteht die Gefahr, dass bereits evaluierte Testfälle wiederholt oder gar kritische Testfälle vergessen werden.

Das Ziel von V&VArtemis ist, den Tester durch geeignete Methoden und Werkzeuge derart zu unterstützen, dass dieser trotz der hohen Zahl an Varianten und Versionen (V&V) sowie der daraus resultierenden Komplexität den Überblick über Änderungen, deren Auswirkungen sowie den aktuellen Testfortschritt zur Sicherung der Qualität behält.

Die Ergebnisse des Projekts V&VArtemis sind Konzepte, wie vorhandene V&V im mechatronischen Bereich verwaltet und zur Reduktion des Testaufwands eingesetzt werden können. Im Projekt wird das Testwissen zu vorhandenen V&V genutzt, um für neue V&V gezielt die für die Absicherung der Produktqualität notwendigen Testfälle basierend auf den aufgetretenen Änderungen auszuwählen. Die automatische Verwaltung von V&V sowie die Testfallselektion unterstützen den Tester dabei, relevante Testfälle zu identifizieren und so die vorhandenen Testressourcen möglichst sinnvoll zu nutzen. Der Ansatz zur Verknüpfung von Wissen aus Anforderungs-, Test- und Variantenmanagement zeigt Möglichkeiten, durch durchgängige Datenhaltung Inkonsistenzen zwischen geänderten Anforderungen und Testfällen zu verringern. Durch den Aufbau einer Modulbibliothek für Varianten und durch die Synergie mit Konzepten aus der Feature-Modellierung können die erarbeiteten Konzepte eingesetzt werden, um den Testaufwand für neue Produktvarianten und -versionen zu verkürzen.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist erreicht worden.

---

Berichtsumfang:	86 S., 55 Abb., 6 Tab., 50 Lit.
Beginn der Arbeiten:	01.04.2016
Ende der Arbeiten:	31.03.2019
Zuschussgeber:	BMW/IGF-Nr. 19090 N/1
Forschungsstelle:	Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme (AIS), Technische Universität München Leiterin: Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser
Bearbeiter und Verfasser:	Kathrin Land, M.Sc. (AIS) Mario Weiß (AIS) Sebastian Ulewicz (AIS)
Vorsitzender des Projektbegleitenden Ausschusses:	Dr. Andreas Gallasch (Software Factory GmbH)
Vorsitzender wiss. Beirat:	Thomas Pilz (Pilz GmbH & Co. KG)

Das IGF-Vorhaben (19090 N/1) der Deutschen Forschungsgesellschaft für Automatisierung und Mikroelektronik e.V. (DFAM) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



## Inhaltsverzeichnis

1	Management Report .....	1
2	Einleitung .....	4
2.1	Problemstellung / Motivation .....	4
2.2	Projektziele .....	6
2.3	Konsortium .....	7
2.4	Projektplan .....	8
2.4.1	Arbeitspakete .....	9
3	Begriffsklärung .....	12
4	Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels .....	13
4.1	Analyse der Anforderungen und Randbedingungen .....	13
4.1.1	Etablierte Vorgehensweisen im Umgang mit Varianten .....	14
4.1.2	Identifizierte Anforderungen an die zu konzipierende Methode .....	19
4.1.3	Identifizierte Randbedingungen für die zu konzipierende Methode .....	20
4.2	Methodik für das Varianten- und Versionsmanagement beim Anforderungs-/Testfall-Codesign .....	21
4.2.1	Modellierung von Varianten und Versionen für aPS .....	21
4.3	Generierung und Auswahl von Testfällen für Varianten und Versionen .....	29
4.3.1	Testfallgenerierung mit Artemis-Methodik .....	29
4.3.2	Selektion von Testfällen .....	31
4.3.3	Priorisierung von Testfällen .....	32
4.3.4	Modulbibliothek .....	33
4.3.5	Mögliche Inkonsistenzen bei der werkzeunterstützten Verwaltung von Varianten und Versionen .....	34
4.4	Konzeption und Implementierung des Prototyps .....	38
4.4.1	Aufbau der prototypischen Werkzeugunterstützung .....	38
4.4.2	Beschreibung der Werkzeugfunktionen .....	39
4.4.3	Umsetzung der Vermeidung von Inkonsistenzen im Prototyp .....	43
4.4.4	Realisierung des Prototyps .....	49
4.5	Evaluation und Wissenstransfer .....	54
4.5.1	Institutseigener Labordemonstrator zur Evaluation der gesamten Methodik ...	54
4.5.2	Evaluation der Konzepte am Anwendungsfall industrieller Greifer .....	60
4.5.3	Prototypische Umsetzung in PTC Integrity Toolchain .....	62
4.5.4	Feature-basierte Testfallselektion und Priorisierung .....	64
4.5.5	Weitere Maßnahmen zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft .....	67
4.6	Evaluation der Projektergebnisse .....	69
4.6.1	Ableitung und Auswahl von Testfällen durch effiziente Modellierung bzw. Notation von Varianten und Versionen (V&V) .....	69
4.6.2	Konsistenzprüfung .....	72

4.6.3	Minimierung der Anzahl der Tests für die Validierung der geänderten Anforderung .....	72
4.6.4	Modulbibliothek, die Wiederverwendung ermöglicht und auf mechatronische Produktentwicklung zugeschnitten ist.....	72
4.6.5	Effiziente Weitergabe der erstellten Testfälle an Testwerkzeuge zur (semi-) automatischen Testausführung .....	72
4.6.6	Abschließende Bewertung der Projektergebnisse .....	72
5	Zusammenfassung, voraussichtlicher Nutzen, Verwertung und Ausblick .....	75
6	Anhang .....	77
6.1	Literaturverzeichnis.....	77
6.2	Abkürzungsverzeichnis .....	80
6.3	Tabellenverzeichnis .....	80
6.4	Abbildungsverzeichnis .....	81

## 1 Management Report

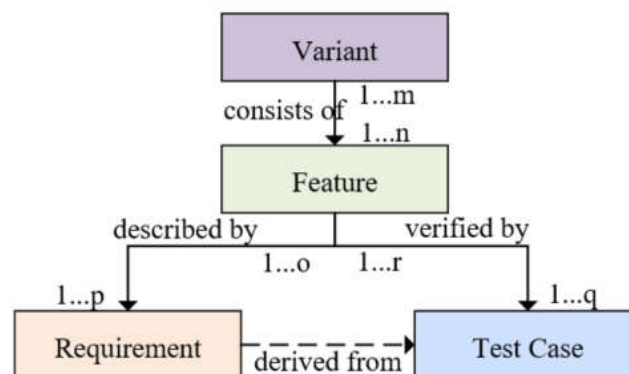
In the project „Variability and Versioning during requirements-based test case generation and selection for mechatronic systems” (V&VArtemis), a method was developed that reduces the test effort required to verify changes by mapping requirement and test management to variants and versions. The method was developed to meet current industry quality assurance challenges in mechatronic product development.

The requirements for the project were raised in discussions and interviews together with eight companies in the field of mechatronic product development and services. The list of identified requirements shows that there is still a considerable need for action when dealing with variants and versions of automated production systems and their components, especially with regard to quality assurance.

- 1) Derivation and selection of test cases through efficient modelling and notation of variants and versions (V&V)
- 2) Consistency check between selected variants, their requirements and test cases through verification mechanisms
- 3) Consistency check for versioning at requirements and test case level to other model elements through verification mechanisms
- 4) Minimization of the number of tests for validation of the modified requirement
- 5) Module library that enables reuse and is tailored to mechatronic product development
- 6) Efficient transfer of created test cases to test tools for (semi-)automated test execution

The management of variants and versions for automated production systems (aPS) is still a challenge and hardly used in today’s industry [VON18]. Hence, for the efficient modelling and notation of variants and versions for test case selection, several modelling approaches were investigated. Together with the project committee, the usage and enhancement of feature models was decided. Feature models are dominating in software product line engineering [BRN+13] due to their advantages in easily understandable notations, formal configuration check methods and clear view on product line and feature dependencies. Due to the visualisation of interdependencies between features within a feature model, effects based on a change of features are easy to track.

In order to meet the projects objectives, the classic feature modelling approach was enhanced with requirements and test cases (Fig. 1). Also, each element got a version number to manage versioning. Upon a change in a feature or requirement, corresponding test cases can be selected purposefully.



**Fig. 1: Feature model enhanced by requirement and test case [LFSV19]**

The number of necessary test cases for testing is reduced as only changed features or features affected by these changes are selected. Due to the interdependence of the requirement parameters, a further reduction to representative test cases was feasible. The test case re-

duction was demonstrated within the project for the institute's own laboratory demonstrator, the Pick and Place Unit (PPU) [VLFF14]), and evaluated by the project committee as very useful regarding the limited time for testing.

According to the projects objectives, variant and version management should be based on a module library that manages individual mechatronic features and enables reuse. In the feature modelling approach, components and functions of mechatronic systems are represented as features regardless of their domain. Abstraction or modularization in features is therefore well suited for mechatronic product development. Therefore, a common database was used as module library in the V&VArtemis project. The database stores all features including their requirements and test cases. Features can be reused as required in different product variants and versions.

In order to show the developed concepts and to ease the introduction into industry, a prototypical tool named VVTest4Mechatronic was developed (Fig. 2). VVTest4Mechatronic includes the variant, version, requirement and test management as well as the automatic test case selection and the prioritisation approach. It also integrates the expanded automatic test case generation of the Artemis project [Arte14].

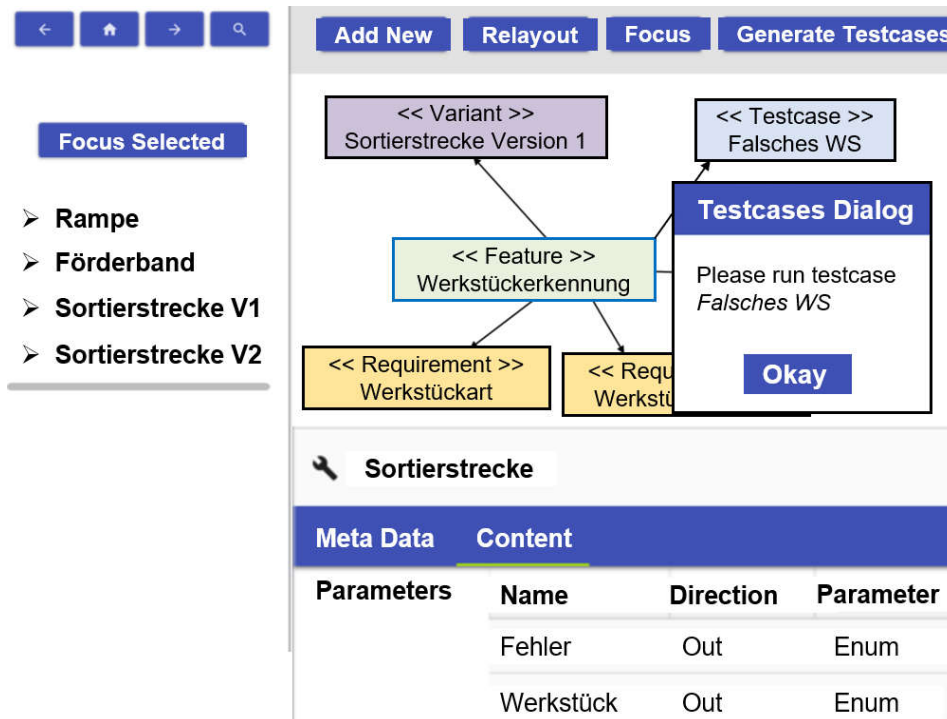


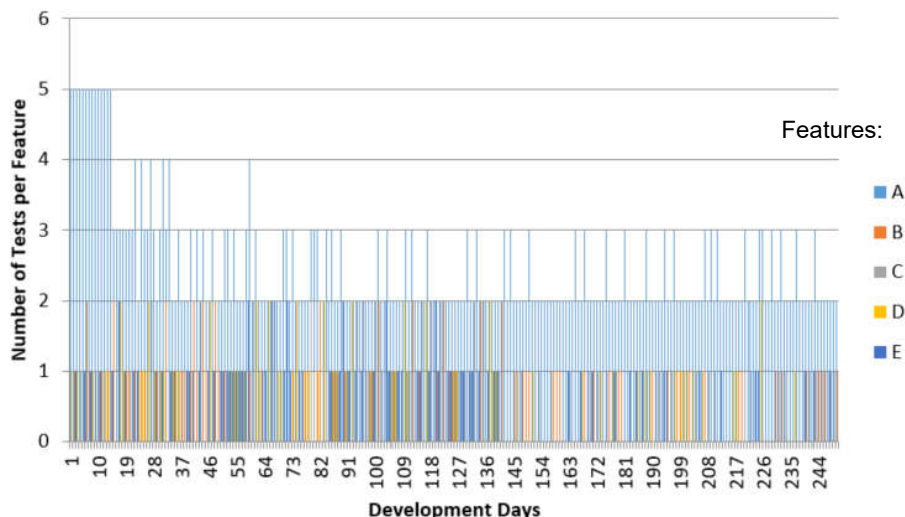
Fig. 2: Prototypical Tool VVTest4Mechatronic

In addition to the implementation in a self-developed prototype, the variant and version management concept was implemented prototypically in an industrially applied tool. Therefore, a combination of the modeling standard SysML and the variability model OVM was used. For this purpose, a toolchain was built from existing PTC Integrity tools [PTC19]. The use of an established tool promises higher acceptance in the industry as well as an implementation and further development of the V&VArtemis concepts beyond the project.

In order to evaluate the applicability of the approach in industry, several evaluations were conducted on industrial use cases. Those evaluations showed the adaptability of the developed methods in existing corporate structures. The approach to central test case selection based on changes to variants and versions managed in an excel table further showed the adaptability of the concepts to other variant and version management approaches used in industry. The methods developed were partly implemented in the companies of the project committee and will be used beyond the project.



The test case selection and prioritisation was evaluated with two companies. The algorithm for test case prioritisation was therefore adapted to the specific needs of the companies. The automatic test case prioritisation showed a considerable saving of time, which the tester normally needs through manual prioritisation. The project committee assessed the result of the test case prioritisation (see Fig. 3) as comprehensible and useful to support the tester in routine tasks.



**Fig. 3: Results of test case selection and prioritisation for a changed feature [LFSV19]**

The project committee discussed and evaluated the overall V&VArtemis project results as well as the prototypical implementation on the lab demonstrator PPU. The partners rated the theoretical benefit as comparatively high whereas the practical applicability was classified as medium. This is due to the fact that the concepts and methods were shown and evaluated conceptually and on the basis of a prototype implementation, but the prototype VVTest4Mechatronic is not generally industrially applicable. However, parts of the concepts such as the change-based test case selection and prioritisation (Fig. 3) were successfully implemented in the companies and show that the transferability of the theoretically developed concepts to industrial examples is given and can be profitable. Especially the traceability due to the modelling approach and the change based test case selection were well rated. The evaluation of the prototypical adaption of the concepts developed in V&VArtemis to industrial use cases shows significantly reduced development and personnel costs, which have a positive influence on the competitiveness of SMEs.

The tracking of changes that occurred in a requirement due to test case selection could be implemented. However, it turned out during the project that there was another important challenge in testing: The tracking of changes to the test cases and the resulting adaptation of the requirements. If a test case is changed during testing, this means that the associated requirements as well as their other test cases must be revised or refined. This challenge was not considered in the project and will be the subject to future research.

**Volltext:**

Der Volltext des Abschlussberichts kann auf Anfrage hin herausgegeben werden. Bitte richten Sie Ihre Anfrage an:

**Deutsche Forschungsgesellschaft für Automatisierung  
und Mikroelektronik e.V. (DFAM)**

Lyoner Straße 18  
60528 Frankfurt

T +49 69 6603 1681

F +49 69 6603 2682

[info@dfam.de](mailto:info@dfam.de)

[www.dfam.de](http://www.dfam.de)

# DFAM

Deutsche Forschungsgesellschaft für  
Automatisierung und Mikroelektronik e.V.



FÖRDERGEBER

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen

KOOPERATIONEN

Forschungskuratorium Maschinenbau  
Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau

