

# TUM

INSTITUT FÜR INFORMATIK

Entwicklung eines Leitfadens für das  
Requirements Engineering softwareintensiver  
Eingebetteter Systeme

Peter Braun, Manfred Broy, Frank Houdek, Matthias  
Kirchmayr, Mark Müller, Birgit Penzenstadler, Klaus Pohl,  
Thorsten Weyer (Hrsg.)



TUM-I0934

Dezember 09

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

TUM-INFO-12-I0934-0/1.-FI

Alle Rechte vorbehalten

Nachdruck auch auszugsweise verboten

©2009

Druck:            Institut für Informatik der  
                  Technischen Universität München

# Entwicklung eines Leitfadens für das modellbasierte Requirements-Engineering softwareintensiver Eingebetteter Systeme

Zusammenfassender inhaltlicher Abschlussbericht zum  
BMBF-Verbundprojekt „REMsES“

Peter Braun  
Manfred Broy  
Frank Houdek  
Matthias Kirchmayr  
Mark Müller  
Birgit Penzenstadler  
Klaus Pohl  
Thorsten Weyer  
(Hrsg.)

**REMsES-Konsortium:**

Universität Duisburg-Essen  
Software Systems Engineering  
Prof. Dr. Klaus Pohl  
(Projektleitung)

Daimler AG, Ulm  
Dr. Matthias Kirchmayr

Robert Bosch GmbH, Schwieberdingen  
Dr. Mark Müller

Technische Universität München  
Software & Systems Engineering  
Prof. Dr. Manfred Broy

Validas AG, München  
Dr. Peter Braun

**Kontakt:**

Universität Duisburg-Essen  
Software Systems Engineering  
Schützenbahn 70

45112 Essen

Tel.: +49 201 183 4651

Fax: +49 201 183 4699

Email: [info@remses.org](mailto:info@remses.org)

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01ISF06D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

## Vorwort

Gerade in den letzten Jahren haben die Funktionsvielfalt und die Komplexität der einzelnen Funktionen bei Eingebetteten Systemen außerordentlich zugenommen. Moderne Kraftfahrzeuge verfügen über mehr als 3000 softwaregesteuerte Funktionen. Diese leiten sich aus immer umfangreicher werdenden Spezifikationen ab. So umfasst ein typisches Spezifikationsdokument eines modernen Kombiinstruments mittlerweile mehr als 20.000 Anforderungen. Eine systematische und zielgerichtete Erfassung, Strukturierung, Dokumentation und Verwaltung dieser Anforderungen ist daher von entscheidender Bedeutung. Während derzeit oftmals noch zu beobachten ist, dass einzelne „lokale Helden“ mit reichem Erfahrungswissen Projekterfolge ermöglichen, ist zu erwarten, dass die derzeit eingesetzten ad-hoc Ansätze zur Spezifikation von Anforderungen an ihre Grenzen stoßen.

Aufgrund der großen und weiter wachsenden Bedeutung Eingebetteter Systeme für die deutsche Automobilindustrie ist die Beherrschung der Requirements-Engineering und -Management-Prozesse eine immer wichtigere Fähigkeit, die zunehmend den wirtschaftlichen Erfolg bestimmen wird. Dies gilt umso mehr aufgrund der stark arbeitsteiligen Entwicklung mit vielen kleinen und mittleren Zulieferern. Nur mit geeigneten Techniken und Methoden werden in Zukunft die Komplexität von Systemen und Systemverbänden beherrschbar bleiben.

In diesem Spannungsfeld wurde im Rahmen der Förderinitiative „Software Engineering 2006“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) das Verbundprojekt „REMsES“ im August 2006 mit einer Laufzeit von drei Jahren gestartet. Als Partner haben sich die Technische Universität München, die Universität Duisburg-Essen, die Daimler AG, die Robert Bosch GmbH und die Validas AG mit dem Ziel zusammengeschlossen, einen Praxisleitfaden für das modellbasierte Requirements-Engineering softwareintensiver Eingebetteter Systeme (REMsES) zu entwickeln. Betreut wurde das Vorhaben durch den Projektträger Softwaresysteme im Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrttechnik.

Der vorliegende Abschlussbericht fasst die wichtigsten inhaltlichen Ergebnisse des Forschungsprojekts zusammen. Besonders hervorzuheben ist hierbei der erarbeitete Leitfaden, der auf den folgenden Prinzipien basiert:

- Einsatz von Abstraktionsebenen und Dekomposition in der Systembetrachtung
- Unterscheidung von Kontext, Anforderungen und Architekturentwurf
- Durchgehende Modellbasierung
- Artefaktgetriebenes Vorgehen

Der entwickelte Leitfaden wurde anhand von Beispielen werkzeuggestützt dokumentiert und unter anderem durch Fachexperten bewertet und in Fallstudien und Experimenten evaluiert.

Die im Leitfaden dokumentierten Methoden und Techniken können Ihnen insbesondere helfen, die Qualität Ihrer Spezifikationen zu verbessern, die Komplexität zu bewältigen und Ihre Spezifikationsprozesse besser zu strukturieren.

*Siehe hierzu auch zusammenfassende Posterpräsentation in Abschnitt 8.1*

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>AP-1: Ermittlung der Anforderung an den Leitfaden</b> .....                 | <b>3</b>  |
| 2.1      | Analyse des Stand-der-Praxis zu Projektbeginn .....                            | 4         |
| 2.2      | Analyse des Stand-der-Wissenschaft zu Projektbeginn .....                      | 5         |
| 2.3      | Ermittlung der Anforderungen an den REMsES-Leitfaden .....                     | 6         |
| <b>3</b> | <b>AP-2: Erarbeitung der Grobstruktur des Produktmodells</b> .....             | <b>7</b>  |
| <b>4</b> | <b>AP-3: Ausarbeitung des Leitfadens auf den drei Abstraktionsstufen</b> ..... | <b>11</b> |
| 4.1      | Thema I: Durchgängige Verfeinerung von Zielen .....                            | 12        |
| 4.2      | Thema II: Kontextbetrachtung und Kontextverfeinerung .....                     | 12        |
| 4.3      | Thema III: Entwicklung und Verfeinerung von Zielen und Szenarien.....          | 13        |
| 4.4      | Thema IV: Ableitung lösungsorientierter Anforderungen .....                    | 14        |
| 4.5      | Thema V: Abhängigkeitssicht auf der Gesamtsystemebene.....                     | 14        |
| 4.6      | Thema VI: Transition von Gesamtsystem auf Subsystem .....                      | 15        |
| 4.7      | Thema VII: Artefaktqualitätsgetriebene Vorgehensplanung .....                  | 15        |
| 4.8      | Thema VIII: Modellierung von Qualitätsanforderungen.....                       | 16        |
| 4.9      | Der REMsES Leitfaden.....  | 16        |
| <b>5</b> | <b>AP-4: Evaluation des REMsES-Leitfadens</b> .....                            | <b>19</b> |
| 5.1      | Validierungsprozess.....   | 19        |
| 5.2      | Empirische Ergebnisse .....  | 21        |
| 5.3      | Threats to validity .....  | 25        |
| <b>6</b> | <b>AP-6: Erstellung von Illustratoren</b> .....                                | <b>27</b> |
| 6.1      | Dynamische Scheibentönung (DST) .....  | 27        |
| 6.2      | Radio-Frequenz-Warnsystem (RFW).....   | 28        |
| 6.3      | Neuspezifikation RFW anhand des REMsES-Leitfadens.....                         | 29        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>7</b>  | <b>AP-7: Entwicklung spezifischer Erweiterungen des Leitfadens .....</b> | <b>31</b> |
| 7.1       | AP-7.1: Verbesserung der Auftraggeber/Auftragnehmer-Beziehungen.....     | 31        |
| 7.2       | AP-7.2: Erweiterung für die Produktlinienentwicklung.....                | 33        |
| 7.3       | AP-7.3:Entwicklung eines REMsES-Werkzeuges.....                          | 37        |
| <b>8</b>  | <b>Posterpräsentation .....</b>  | <b>41</b> |
| 8.1       | „Herausforderungen des REMsES-Projektes“ .....                           | 42        |
| 8.2       | „Bestandteile des REMsES-Leitfadens“ .....                               | 43        |
| 8.3       | „Kontextanalyse und Kontextverfeinerung“ .....                           | 44        |
| 8.4       | „Ableitung von lösungsorientierten Anforderungen“ .....                  | 45        |
| 8.5       | „Ziel- und szenariobasiertes Requirements Engineering“ .....             | 46        |
| 8.6       | „Erkennung von Feature Interactions auf Nutzungsebene“ .....             | 47        |
| 8.7       | „Transition von Gesamtsystem auf Subsystem“ .....                        | 48        |
| <b>9</b>  | <b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>                                | <b>49</b> |
| <b>10</b> | <b>Veröffentlichungen des REMsES-Projekts .....</b>                      | <b>51</b> |

# Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: Schematische Darstellung der Kern- und Umfeldprozesse.....       | 7  |
| Abbildung 2: Die neun Artefaktklassen des REMsES-Artefaktmodells .....        | 9  |
| Abbildung 3: Beispiel einer Abbildungsbeschriftung .....                      | 17 |
| Abbildung 4: Validierungsstrategie .....                                      | 19 |
| Abbildung 5: Verständlichkeit von REMsES-Elementen im Median.....             | 22 |
| Abbildung 6: Qualitäts-Kennzahl der einzelnen Spezifikationen .....           | 22 |
| Abbildung 7: Im Experiment gefundene Interaktionen.....                       | 23 |
| Abbildung 8: Gesamtaufwände der Teams .....                                   | 24 |
| Abbildung 9: Aufwände der Teams pro Phase .....                               | 24 |
| Abbildung 10: Auszug aus dem Artefakt „Datenmodell“ am Beispiel .....         | 29 |
| Abbildung 11: Kompatibilität als Voraussetzung für Integrierbarkeit .....     | 32 |
| Abbildung 12: Notationselemente für Variabilitätsmodelle im REMsES-Ansatz ... | 34 |
| Abbildung 13: Beispiel für Variabilitätsmodelle im REMsES-Ansatz.....         | 35 |
| Abbildung 14: Beispielhafte Beziehungen zu REMsES-Artefakten.....             | 35 |
| Abbildung 15: Ausschnitt der Variabilitätsmodells „DST“ .....                 | 36 |
| Abbildung 16: Variable Spezifikation von Szenarien im REMsES-Ansatz.....      | 36 |
| Abbildung 17: Das REMsES-Werkzeug.....  | 37 |



# 1 Einleitung

Ziel des REMsES-Projektes war die Entwicklung eines praxiserprobten Leitfadens für das modellbasierte Requirements Engineering und Management softwareintensiver Eingebetteter Systeme. Die Arbeiten innerhalb des REMsES-Projektes waren dabei in insgesamt zehn Arbeitspakete unterteilt:

- *AP-1: „Erhebung von Anforderungen an den Leitfaden“*: Szenariobasierte Analyse und Entwicklung der wesentlichen Anforderungen an den REMsES-Leitfaden (siehe Kapitel 2).
- *AP-2: „Erarbeitung der Grobstruktur des Produktmodells“*: Ausarbeitung der Grobstruktur des Produktmodells (REMsES-Artefaktmodell) und Beschreibung der Schnittstellen zu Umfeldprozessen des Requirements Engineering und Management (siehe Kapitel 3).
- *AP-3: „ Ausarbeitung des Leitfadens“*: Ausarbeitung des detaillierten REMsES-Leitfadens entlang der drei Systemebenen „Gesamtsystem“ (AP-3.1), „Funktionsgruppen“ (AP-3.2) und Hardware/Software (AP-3.3) (siehe Kapitel 4)
- *AP-4: „Validierung des Leitfadens“*: Evaluation des ausgearbeiteten REMsES-Leitfadens auf den drei Systemebenen „Gesamtsystem“ (AP-4.1), „Funktionsgruppen“ (AP4.2) und Hardware/Software (AP-4.3) (siehe Kapitel 5)
- *AP-5: „Konsolidierung und Verbesserung des Leitfadens“*: Analyse der Evaluationsergebnisse und Verbesserung des REMsES-Leitfadens auf Grundlage der Evaluationsergebnisse.
- *AP-6: „Erstellung von Illustratoren“*: Erstellung von Illustratoren für die Anwendung des REMsES-Leitfadens anhand ausgewählter praxisnaher Systeme (siehe Kapitel 6.)
- *AP-7: „Anwendung des Leitfadens auf spezifische Fragestellungen“*: Erweiterung des REMsES-Leitfadens um Ergänzungen für spezifische Fragestellungen aus der Praxis. Anwendung des REMsES-Leitfadens auf die

„Auftraggeber-/Auftragnehmer-Beziehung“ (AP-7.1), die Produktlinienentwicklung (AP-7.2) sowie auf „Werkzeuge im REM“

- *AP-8: „Integration und finale Konsolidierung und Verbesserung“*: Analyse finaler Evaluationsergebnisse des REMsES-Leitfadens und Durchführung von Maßnahmen zur Konsolidierung, Integration und Verbesserung der REMsES-Arbeitsergebnisse.
- *AP-9: „Verbreitung der Ergebnisse“*: Projektbegleitende Verbreitung der erarbeiteten REMsES-Ergebnisse in der Forschung, Entwicklung sowie der betrieblichen Praxis.
- *AP-10: „Projektmanagement“*: Projektbegleitende Durchführung von Maßnahmen zur Projektkontrolle und Projektsteuerung, darauf ausgerichtet, die Zielsetzung des REMsES-Projektes zu erfüllen.

Die Arbeitspakete im REMsES-Projekt können in drei Klassen eingeordnet werden:

- *Inhaltliche Arbeitspakete*: Hierzu zählen diejenigen Arbeitspakete, die auf die Ausarbeitung der REMsES-Inhalte abzielen (d.h. auf den REMsES-Leitfaden und dessen Erweiterungen). Hierzu zählen die Arbeitspakete AP-1, AP-2, AP-3, AP-4, AP-6 und AP-7.
- *Arbeitspakete zur Verbesserung und Konsolidierung*: Hierzu zählen diejenigen Arbeitspakete, die auf die stetigen Integration und Konsolidierung der inhaltlichen Arbeitspakete abzielen. Hierzu zählten die Arbeitspakete AP-5 und AP-8.
- *Administrative Arbeitspakete*: Hierzu zählen diejenigen Arbeitspakete die auf die Verbreitung der Ergebnisse und das Projektmanagement des REMsES-Projektes abzielen. Hierzu zählten die Arbeitspakete AP-9 und AP-10.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der inhaltlichen Arbeitspakete im REMsES-Projekt zusammenfassend dargestellt.

## 2 AP-1: Ermittlung der Anforderung an den Leitfaden

Nadine Bramsiepe  
Günter Halmans  
Ernst Sikora  
Universität Duisburg-Essen

Eva Geisberger  
Johannes Grünbauer  
Technische Universität München

Eduard Metzker  
Daimler AG

Der vorliegende Abschnitt fasst die Ergebnisse des Arbeitspaketes AP-1 im REMsES-Projekt zusammen. Zielsetzung dieses Arbeitspakets war es, die wesentlichen Anforderungen an den zu entwickelnden REMsES-Leitfaden zu identifizieren. Zu diesem Zwecke wurde zunächst eine Befragung von Unternehmen aus unterschiedlichen Anwendungsgebieten durchgeführt, um die individuellen Vorstellungen und Ansprüche in Bezug auf den zu entwickelnden Leitfaden ermitteln. Anschließend wurde im Rahmen der systematischen Analyse überprüft, inwieweit Ansätze im Stand-der-Wissenschaft ausgewählten Anforderungen der befragten Industriepartner genügen bzw. inwieweit im Stand-der-Wissenschaft Lücken bezüglich ausgewählter Anforderungen bestehen. Ausgehend von dieser Analyse wurden dann die für die weiteren Arbeiten im REMsES-Projekt für zentral erachteten Themenkomplexe identifiziert.

Die Identifikation der im REMsES-Projekt zu bearbeitenden Themenkomplexe führte zu einer Positionierung des REMsES-Projekts in der gegenwärtigen „Forschungslandschaft“, indem das REMsES-Vorhaben von ähnlichen Forschungsvorhaben abgegrenzt und Synergien mit anderen Forschungsprojekten aufgezeigt wurden. Zum Abschluss des Arbeitspaketes wurden die Anforderungen und Ziele der einzelnen Beteiligten konsoli-

diert und die wesentlichen konsolidierten Anforderungen an den zu erarbeitenden Leitfaden formuliert.

Die wesentlichen Ergebnisse von AP-1, d.h. die Rahmenbedingungen und Ergebnisse der Industriebefragung, die Analyse des Stand-der-Wissenschaft und die konsolidierten Ziele und Anforderungen an den REMsES-Leitfaden sind in [REMsES 2006] dokumentiert.

## **2.1 Analyse des Stand-der-Praxis zu Projektbeginn**

Zur Analyse der Ausgangssituation im Requirements-Engineering in der Praxis wurde zu Beginn des Arbeitspaketes AP-1 eine Ist-Analyse in Form einer Befragung zum Thema „Wie wird Requirements-Engineering und -Management in Unternehmen praktiziert?“ durchgeführt. Im Rahmen dieser Umfrage wurden 13 Vertreter von Unternehmen befragt. Die Befragten waren seinerzeit zum überwiegenden Teil als Entwickler bzw. Projektmanager eingesetzt. Die Befragung basierte auf einem Fragenkatalog zur Ermittlung des aktuellen Stands der Praxis (Ist-Analyse) sowie einem anderen Fragenkatalog, durch den die Wünsche und Erwartungen der Befragten im Hinblick auf den zu erstellenden Leitfaden ermittelt werden sollten (Soll-Analyse).

Im Rahmen der Analyse des Stand-der-Praxis zu Projektbeginn wurde mit Hilfe der Umfrage für jede betrachtete Aktivität im Requirements-Engineering (z.B. Dokumentation von Anforderungen) ermittelt, wie diese zu Projektbeginn durchgeführt wurde und welche Ansprüche an einen Leitfaden in Bezug auf diese Aktivität bestehen. Für jede betrachtete Aktivität wurden die typischerweise beteiligten Rollen identifiziert, der Zweck der Aktivität in Requirements-Engineering-Prozessen näher beschrieben, sowie etablierte „best practices“ genannt. Schließlich wurden für jede der Aktivitäten typische Problemen und gewünschte Verbesserungen erfragt und dokumentiert.

## 2.2 Analyse des Stand-der-Wissenschaft zu Projektbeginn

Im Anschluss an die Erhebung des Stand-der-Praxis und dessen Analyse wurde der „Stand der Wissenschaft“ in relevanten Forschungsbereichen im Detail aufgearbeitet. Zu Beginn wurden die zentralen für relevant erachteten Technischen Terme aus dem Requirements Engineering sowie angrenzender Disziplinen identifiziert und deren Begriffsbedeutung für das Projekt in einer initialen Version eines REMsES-Glossars festgelegt. Die weiteren Arbeiten im REMsES-Projekt über den Projektverlauf gründeten sich dabei auf der Begriffsbedeutung der im REMsES-Glossar festgelegten Technischen Terme. Im Zuge der Aufarbeitung des Stand-der-Wissenschaft und der Definition wesentlicher Technischer Terme wurden dabei besonders aktuelle Forschungsergebnisse des Requirements-Engineering und -Management für Eingebettete Systeme der Automotiv-Domäne berücksichtigt, die beispielhaft für die Forschung auf diesem Gebiet bei der Entwicklung Eingebetteter Systeme stehen. Auf Basis des Befragungsergebnisse und der Analyse des Stand-der-Wissenschaft hatten sich dabei einige zentrale Merkmale des REMsES-Leitfadens herauskristallisiert:

- *Feingranulare methodische Unterstützung:* Zur Unterstützung der im Rahmen des REMsES-Leitfadens geforderten methodischen Anleitung sollte auf grundlegende Konzepte des Method-Engineering zurückgegriffen werden, die die Grundlage für eine „standardisierten“ Dokumentation der methodischen Anleitung im REMsES-Leitfaden darstellen sollten.
- *Fokussierung auf Artefakte:* Im Mittelpunkt der Definition des REMsES-Leitfadens sollten die im Rahmen von Requirements Engineering-Prozessen zu entwickelnden Arbeitsergebnisse (Artefakte) stehen, deren Struktur und Abhängigkeiten in einem Artefaktmodell definiert werden sollten.
- *Unterscheidung dreier Systemebenen:* Zur Komplexitätsbeherrschung in Requirements-Engineering-Prozessen softwareintensiver Eingebetteter Systeme sollten verschiedene Systemebenen entlang der logischen und physikalischen Dekomposition des Gesamtsystems in

Funktionsgruppen bzw. in Hardwarebausteine und Softwarebausteine unterschieden werden.

Diese drei zentralen Konzepte des REMsES-Leitfadens sollten dabei derart integriert sein, dass die Systemebenen ein wesentliches Strukturierungsmerkmal des Artefaktmodells darstellen und die methodische Anleitung jeweils spezifisch für einzelne Artefakttypen ausgearbeitet wird.

## **2.3 Ermittlung der Anforderungen an den REMsES-Leitfaden**

Auf Grundlage der Analyse des Stand-der-Praxis und der Analyse des Stand-der-Wissenschaft zu Projektbeginn wurden Anforderungen an den REMsES-Leitfaden formuliert, die in fünf grobe Klassen untergliedert werden konnten. Die entsprechenden – nicht vollständig disjunkten – Klassen von Anforderungen an den REMsES-Leitfaden waren (vgl. [REMsES 2006]):

- Anforderungen mit Bezug auf die Verbesserung der Qualität
- Anforderungen mit Bezug auf die Prozessunterstützung
- Anforderungen mit Bezug auf notwendige Artefakte
- Anforderung mit Bezug auf die Vereinheitlichung von Begriffen
- Anforderung mit Bezug auf ein Leitfadensystem

### 3 AP-2: Erarbeitung der Grobstruktur des Produktmodells

Eduard Metzker  
Daimler AG

Eva Geisberger  
Technische Universität München

Thorsten Weyer  
Universität Duisburg-Essen

Als Grundlage für die weiteren Arbeiten im REMsES-Projekt wurde ein grobes Vorgehensmodell für das Requirements-Engineering und -Management (REM) sowie ein zugehöriges Umfeldmodell erarbeitet. Das Vorgehensmodell des REMsES-Leitfadens besteht aus zwei Detaillierungsstufen. Die erste Stufe beschreibt ein Top-Level-Vorgehensmodell, welches den Requirements-Engineering Prozess in eine Menge von Prozessbereichen strukturiert. In der zweiten Detaillierungsstufe werden die einzelnen Prozessbereiche in Prozessschritte ausdetailliert (vgl. Abbildung 1). Das Umfeldmodell beschreibt für das REM relevante Umfeldprozesse und definiert die Schnittstellen zum REMsES Kernprozess.

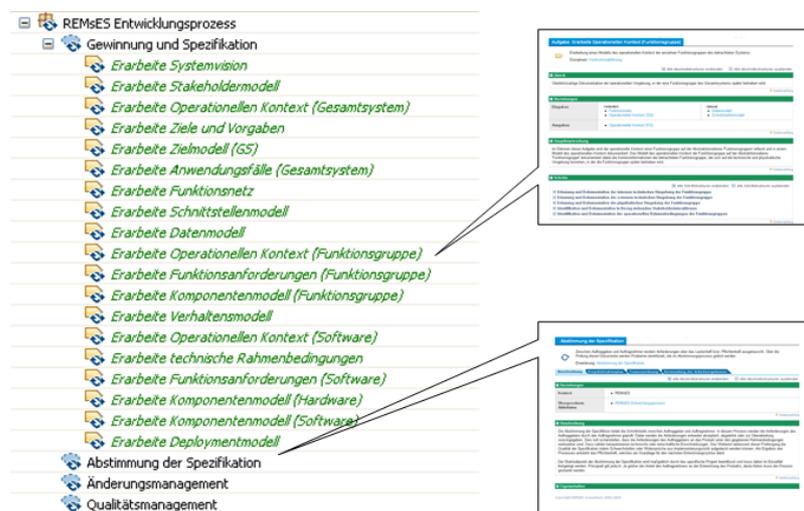
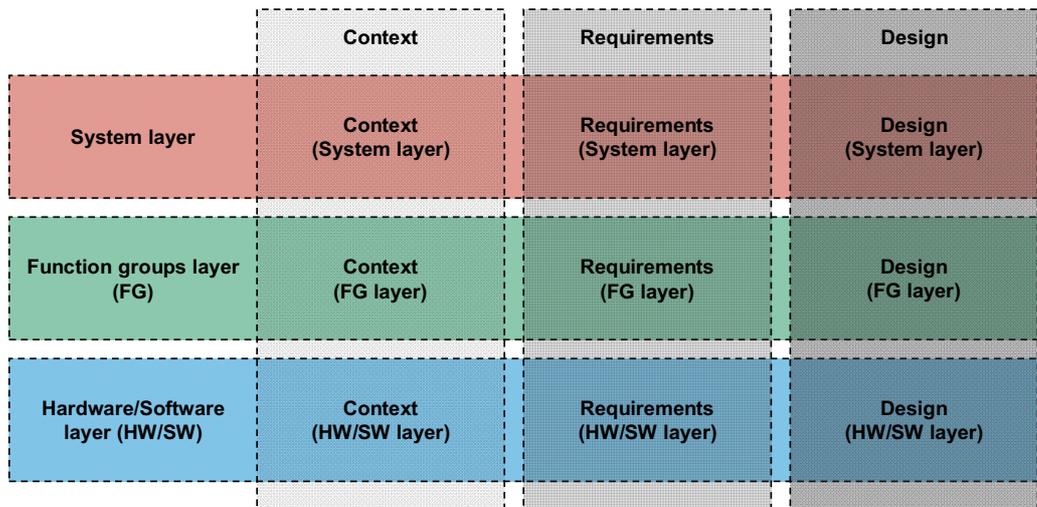


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Kern- und Umfeldprozesse

Im Folgenden wird eine kurze Beschreibung des REMsES-Kernprozesses sowie der Umfeldprozesse gegeben. Details können dem REMsES-Leitfaden beziehungsweise den Deliverables D-2.1 und D-5.2.1 entnommen werden.

- *Gewinnung und Spezifikation*: Die Gewinnung beschäftigt sich mit der Erhebung von Anforderungen, bspw. durch die Befragung von Nutzern oder durch Analyse von Altsystemen. Bei der Spezifikation werden die identifizierten und mit dem Management abgestimmten Features des Produkts ausgearbeitet und darauf basierend Anforderungen für logische Teilsysteme abgeleitet.
- *Abstimmung Spezifikation*: Zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer werden Anforderungen über das Lastenheft bzw. Pflichtenheft ausgetauscht. Über die Prüfung dieser Dokumente werden Probleme identifiziert, die im Abstimmungsprozess gelöst werden.
- *Änderungsmanagement*: Das Änderungsmanagement stellt sicher dass Änderungen an Artefakten nachprüfbar durchgeführt werden. Dazu werden Impact Analysen durchgeführt und die Änderungsgründe festgehalten.
- *Qualitätsmanagement*: Mittels Qualitätsmanagement wird sichergestellt, dass die Spezifikationen den geforderten Qualitätsansprüchen genügen. Dazu wird auch die Qualität des Spezifikationsprozesses selbst sichergestellt.

Der zweite wesentliche Bestandteil des Arbeitspakets „Erarbeitung der Grobstruktur des Produktmodells“ ist die Definition eines Artefaktmodells, welches durch seine Abbildung auf Abstraktionsebenen die Komplexität in der Anforderungsanalyse und auf der Modellierungsebene reduziert (siehe auch Deliverable D-2.2). Die Ebenen Gesamtsystem, Funktionsgruppen und Hardware/Software erlauben dabei eine schrittweise Verfeinerung der Anforderungen. Neben den eigentlichen Anforderungen an das geplante System müssen im Requirements-Engineering auch Kontext- und Entwurfsartefakte berücksichtigt werden. Durch die Strukturierung der Artefakte nach Kontext, Anforderungen und Entwurf entsteht eine 3x3-Matrix, die das Grundkonzept von REMsES darstellt (vgl. Abbildung 2).



**Abbildung 2: Die neun Artefaktklassen des REMsES-Artefaktmodells**

Kontextartefakte beschreiben den Teil der realen Welt, der die Anforderungen an das System und damit auch das System selbst beeinflusst. Hierzu zählen beispielsweise Gesetze oder Normen. Der Systemkontext ist somit auch Ursprung von Zielen und Vorgaben.

Die zweite Kategorie von Artefakten beinhaltet die Anforderungsartefakte, d.h. die dokumentierten funktionalen und Qualitätsanforderungen an das geplante System. Anforderungsartefakte beinhalten darüber hinaus Entwurfsvorgaben oder Constraints, welche beim Entwurf der Systemarchitektur berücksichtigt werden müssen.

Entwurfsartefakte dokumentieren Informationen über die Architektur des zu entwickelnden Systems, d.h. sie spezifizieren logische oder technische Strukturen, z. B. in Form von Komponenten und deren Nutzungsbeziehungen.

Auf Basis der in AP2 definierten Grobstruktur wurde im AP3 das detaillierte Artefaktmodell mit dem zugehörigen Leitfaden entwickelt, wie im folgenden Kapitel vorgestellt.



## 4 AP-3: Ausarbeitung des Leitfadens auf den drei Abstraktionsstufen

Johannes Grünbauer  
Klaus Lochmann  
Birgit Penzenstadler  
Wassiou Sitou  
Technische Universität München

Nadine Bramsiepe  
Günter Halmans  
Ernst Sikora  
Thorsten Weyer  
Universität Duisburg-Essen

Die Arbeiten im Arbeitspaket 3 basieren auf den in Arbeitspaket 2 entwickelten Strukturierungsprinzipien nach den Abstraktionsebenen Gesamtsystem, Funktionsgruppe und Hardware/Software und in jeder Abstraktionsebene nach Kontext, Anforderung und Entwurf.

Für die Ausarbeitung des Leitfadens auf den drei Abstraktionsebenen wird das in Arbeitspaket 2 entwickelte, grobe Artefaktmodell weiter detailliert. Darüber hinaus werden Modellierungstechniken beschrieben, die zur Dokumentation der detaillierten Artefakte verwendet werden können. Teil der Untersuchung in Bezug auf die einsetzbaren Modellierungstechniken ist zudem eine Analyse des Stands der Wissenschaft, um vorhandene Modellierungstechniken auf ihre Einsetzbarkeit für die Dokumentation der definierten Artefakte zu prüfen. Ein weiterer Bestandteil ist die Beschreibung von einzelnen Methodenfragmenten zur Bearbeitung der im Artefaktmodell definierten Artefakte. Diese Methodenfragmente dienen als Grundlage für den Leitfaden in Form einer Beschreibung von Praktiken.

Die Arbeiten wurden thematisch aufgeteilt, um die Komplexität der einzelnen für einen Leitfaden relevanten Bereiche beherrschbar zu machen. Es

wurden Aspekte aus den unterschiedlichen Bereichen Kontext, Anforderung und Entwurf adressiert und detailliert bearbeitet, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

## **4.1 Thema I: Durchgängige Verfeinerung von Zielen**

*Siehe hierzu auch zusammenfassende Posterpräsentation in Abschnitt 8.3*

Ziel der Bearbeitung dieses Themas ist die Entwicklung einer Systematik sowie einer Methodik zur Strukturierung, Klassifizierung und Verfeinerung von Zielen, wie sie in den frühen Phasen des Requirements-Engineering betrachtet werden. Ergebnis der Systematik ist die Unterscheidung von Zielen in Qualitätsziele und operationelle Ziele. Darüber hinaus werden noch Rahmenbedingungen betrachtet, welche primär dazu dienen, die Ziele einzuschränken.

Zur Modellierung von Zielen wird ein Metamodell aufgeführt, womit die Strukturierung, die Klassifizierung und die Verfeinerung von Zielen modelliert werden kann. Die Beschreibung von Methodenfragmente bildet schließlich die Grundlage für eine Anleitung zur Zielstrukturierung, -klassifizierung und -verfeinerung.

## **4.2 Thema II: Kontextbetrachtung und Kontextverfeinerung**

*Siehe hierzu auch zusammenfassende Posterpräsentation in Abschnitt 8.3*

Um die Komplexität des Kontexts eines softwareintensiven eingebetteten Systems beherrschbar zu machen, werden in dem Thema drei Kontextsichten eingeführt, die jeweils durch ein Informationsmodell konkretisiert werden. Jedes dieser Informationsmodelle definiert die in dieser Sicht relevanten Informationen sowie die Beziehungen zwischen diesen Informationen. Die Informationsmodelle sind Basis für die Konstruktion von Kontextdiagrammen, welche Informationen über den Kontext eines zu entwickelnden Systems in jeweils einer Kontextsicht modellieren.

Zu den Kontextdiagrammen in den drei Kontextsichten werden weitere Artefakttypen zur Konkretisierung der Kontextinformationen in den drei Kontextsichten vorgeschlagen. Für jeden Typ von Kontextinformationen werden konkrete Dokumentations- bzw. Modellierungstechniken vorgestellt, die sich zur Dokumentation von Kontextinformationen des jeweiligen Artefakttyps eignen. Eine methodische Anleitung und damit eine Grundlage für den Leitfaden bilden die Beschreibung von Methodenfragmente, die zur Bearbeitung der unterschiedlichen Kontextinformationen notwendig sind. Die Methodenfragmente basieren auf dem detaillierten Artefaktmodell (im Bereich Kontext).

### **4.3 Thema III: Entwicklung und Verfeinerung von Zielen und Szenarien**

*Siehe hierzu auch zusammenfassende Posterpräsentation in Abschnitt 8.5*

In diesem Themengebiet werden grundlegende Artefakte und Methodenfragmente zur Unterstützung eines ziel- und szenariobasierten Requirements-Engineering eingebetteter softwareintensiver Systeme erarbeitet. Die beschriebenen Artefakte sind in der Artefaktklasse „Anforderungen“ auf der Gesamtsystemebene der in Abbildung 3 (s. Seite 17) dargestellten Strukturierung anzusiedeln. Im Rahmen der Bearbeitung des Themas werden drei Artefaktklassen definiert. Systemziele beschreiben die gewünschten funktionalen und qualitativen Eigenschaften des geplanten Systems. System-Anwendungsfälle zeigen typische Nutzungsmustern des geplanten (Gesamt-)Systems durch dessen Nutzer, d.h. Personen und nutzende Systeme auf. Modellbasierte Systemszenarien präzisieren schließlich die Spezifikation von Interaktionen zwischen dem System und Entitäten der Systemumgebung wie z.B. Nutzern, externen Systemen oder Mess- und Stellgrößen. Die Informationsbestandteile der einzelnen Artefakte werden basierend auf Konzepten der UML-Klassenmodellierung im Detail definiert.

Weiterhin werden Methodenfragmente skizziert, die die Erarbeitung der Artefakte methodisch anleiten. Ein Beispiel für eine solche Aktivität bildet die Ableitung von Systemzielen. Diese Aktivität dient der Ableitung von

Systemzielen aus bereits bekannten Geschäftszielen und Stakeholder-Zielen.

## **4.4 Thema IV: Ableitung lösungsorientierter Anforderungen**

*Siehe hierzu auch zusammenfassende Posterpräsentation in Abschnitt 8.4*

Im Rahmen der Forschungsfragestellung „Ableitung von lösungsorientierten Anforderungen aus Systemzielen, Systemszenarien, Kontext und Architektur auf der Gesamtsystemebene“ werden drei Arten von lösungsorientierten Anforderungen unterschieden: daten-, funktions- und verhaltensorientierte Anforderungsartefakte. In den Arbeiten zu diesem Thema wird das Artefaktmodell um diese drei Arten von Artefakten erweitert. Die Dokumentation von lösungsorientierten Anforderungsartefakten wird anhand des Systems „dynamische Scheibentönung“ beispielhaft gezeigt und beschrieben. Zu dem Thema werden Ansätze und Methodenfragmente erarbeitet, um aus Systemzielen, Systemszenarien, Kontext- und Entwurfsartefakten lösungsorientierte Anforderungsartefakte abzuleiten.

## **4.5 Thema V: Abhängigkeitssicht auf der Gesamtsystemebene**

*Siehe hierzu auch zusammenfassende Posterpräsentation in Abschnitt 8.6*

Dieses Thema adressiert eine Methode zur Formalisierung und Verifikation von Anforderungen, wie sie in einem typischen Lastenheft beschrieben werden. Kern des in diesem Thema erarbeiteten Ansatzes ist die Bildung einer neuen Sicht auf das System. In dieser Sicht werden die Beziehungen zwischen den Systemfunktionen und Zuständen, wie sie der Nutzer wahrnimmt, modelliert. Ziel ist es, mögliche Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Zuständen zu verdeutlichen und auf Basis eines formalen Kalküls über Nutzungsbeziehungen zu überprüfen. Durch diese neue Sicht auf ein System ist es möglich, unerwünschte Feature-Interaction bereits im Requirements-Engineering erkennen und auflösen zu können.

Ein weiteres Ergebnis in diesem Themengebiet liegt in der Beschreibung von Methodenfragmente zur Anwendung der entwickelten Modellierungstechnik. Die Identifikation der Nutzungsfunktionen und der Zustände ist ein Beispiel einer solchen Aktivität. Zustände können sowohl Zustände des Systems selbst sein oder Zustände der Umgebung, die auf das System Einfluss nehmen können.

## **4.6 Thema VI: Transition von Gesamtsystem auf Subsystem**

*Siehe hierzu auch zusammenfassende Posterpräsentation in Abschnitt 8.7*

Im Rahmen dieses Themengebiets werden zum einen die Kriterien untersucht, die die Dekomposition oder Partitionierung des Gesamtsystems beeinflussen, und zum anderen eine adäquate Modellierung und Dokumentation der Subsystemgrenzen untersucht, so dass eine Subsystemspezifikation alle nötige Information zur Weitergabe, externen Entwicklung oder Wiederverwendung enthält. Die Dekompositionskriterien werden in Form eines Referenzkataloges angegeben, der als Checkliste und als Basis für eine Best-Practise-Sammlung dienen soll. Die Dokumentation der Subsystemgrenzen erfolgt anhand eines Templates.

## **4.7 Thema VII: Artefaktqualitätsgetriebene Vorgehensplanung**

Dieses Thema beschäftigt sich mit der Artefaktqualität für die in REMsES definierten Artefaktmodelle. Dazu werden verschiedene Ansätze zur Artefaktqualität diskutiert: Der transzendente, der produktorientierte, der benutzerorientierte, der fertigungsorientierte und der wertorientierte Ansatz. Darauf aufbauend wird ein übergreifender Qualitätsbegriff definiert und ein Vorgehen zur Ableitung von überprüfbaren Qualitätsmerkmalen aus allgemeinen Qualitätsaspekten skizziert. Das entwickelte Konzept ordnet den Artefakten Reifegraden zu und definiert für jede Methode des Methodenbaukastens die geforderten Reifegrade der Eingangsartefakte.

## 4.8 Thema VIII: Modellierung von Qualitätsanforderungen

In diesem Themengebiet wird gezeigt, wie Qualitätsanforderungen modelliert werden können. Eine Analyse eines gegebenen Lastenhefts hinsichtlich spezifizierter Qualitätsanforderungen dient als Basis für eine beispielhafte REMsES-Modellierung in Form von Zielen und Use-Cases ohne QA-Betrachtung. Diese Art der Modellierung wird erweitert um eine Methode des IESE zur Use-Case basierten Modellierung von Qualitätsanforderungen. Sie bildet einen Ergänzungsvorschlag für Use-Case-Modellierung in REMsES und es wird aufgezeigt, wie die IESE-Methode in REMsES integriert werden könnte.

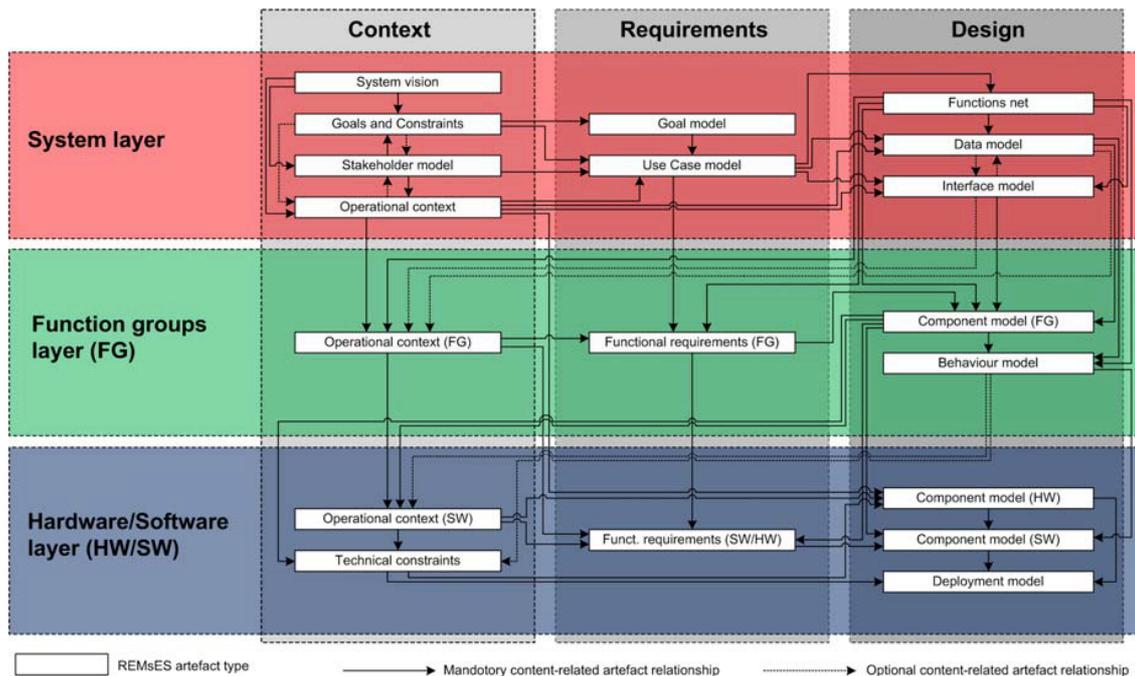
Die Bearbeitung der einzelnen Themen diene als Grundlage für die Entwicklung des Leitfadens.

## 4.9 Der REMsES Leitfaden

*Siehe hierzu auch zusammenfassende Posterpräsentation in Abschnitt 8.2*

Das konsolidierte Artefaktmodell bildet das zentrale Kernelement des Leitfadens. Das Artefaktmodell ist in Abbildung 3 zu sehen. Die dargestellten Beziehungen kennzeichnen inhaltliche Abhängigkeiten. Im Leitfaden wird beschrieben, wie die Artefakte nacheinander erstellt werden und welche Artefakte dabei jeweils die Grundlage für den nächsten Schritt bilden.

Die Struktur des Leitfadens mit der Übersichtsnavigation bestehend aus den 9 Artefaktklassen ist in Abbildung 2 (s. Seite 9) zu sehen. Als Einstieg werden die Strukturierungskonzepte des Artefaktmodells eingeführt, sowie die sechs Modellierungstechniken Kontextmodellierung, Zielmodellierung, Szenariomodellierung, Funktionsmodellierung, Architekturmodellierung und Verhaltensmodellierung vorgestellt.



**Abbildung 3: Beispiel einer Abbildungsbeschriftung**

Danach kann sich der Anwender anhand der Struktur des Artefaktmodells oder anhand des REMsES Entwicklungsprozesses Stück für Stück bei der Erstellung einer Spezifikation aus den Bausteinen der einzelnen Artefakte anleiten lassen. Dabei gibt es zu jedem Artefakt eine strukturierte Beschreibung von Inhalt, Zweck, möglichen Notationen, Voraussetzungen, weiterer Verwendung und minimalen Anforderungen an das Artefakt. Dies wird ergänzt um ein Beispiel aus dem illustrierenden Fahrerassistenzsystem Radiofrequenz-Warnsystem sowie gegebenenfalls direkt im Leitfaden hinterlegte Templates. Der Leitfaden ist unter [www.remses.org](http://www.remses.org) frei erhältlich.



## 5 AP-4: Evaluation des REMsES-Leitfadens

Franz Grzeschniok

Mark Müller

Igor Menzel

Robert Bosch GmbH

Jörg Leuser

Daimler AG

Um den umfangreichen Inhalten des REMsES Leitfadens gerecht zu werden wurde eine mehrstufige Validierungsstrategie gewählt. Zunächst wurde der REMsES-Leitfaden von verschiedenen Domänen- und Prozess-Experten mehrfach gelesen. Dann wurde er in mehreren empirischen Studien evaluiert. Dieses Kapitel stellt die wesentlichen Ergebnisse der Validierung des REMsES-Leitfadens dar.

### 5.1 Validierungsprozess

Der Validierungsprozess basiert auf systematischen Reviews durch Requirements-Engineering-Experten und Entwicklern der Industriepartner und auf Anwendung ausgewählter Teile des Leitfadens in Experimenten und Fallstudien.

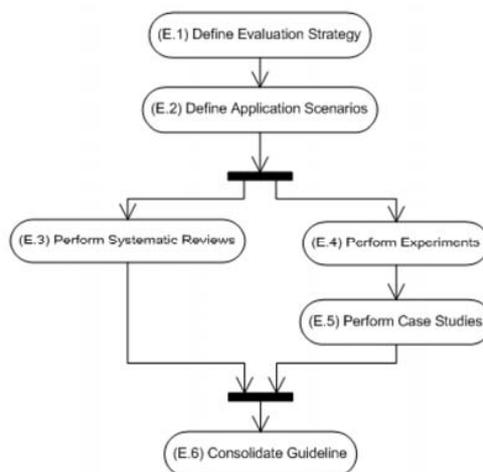


Abbildung 4: Validierungsstrategie

Wie in Abbildung 4 ersichtlich besteht die Validierungsstrategie aus sechs Schritten. Zunächst wurde die *Validierungsstrategie* definiert (E.1). Danach wurden *Nutzungsszenarien* für ausgewählte Teile des Leitfadens definiert (E.2). Um die Brauchbarkeit der REMsES-Methode zeigen zu können stellten die Industriepartner Spezifikationen für verschiedene Automotive-Systeme bereit: den Radio-Frequenz-Warner (RFW), ein erweitertes Kombi-Instrument und eine Türschließenanlage.

Im Schritt *systematische Reviews* (E.3) ist eine Prozess-Gap Analyse enthalten: Entwickler und Prozesseigner verschiedener Geschäftsbereiche haben in Workshops den REMsES-Leitfaden eine Review unterzogen und mit ihren definierten und gelebten Prozessen verglichen und dabei geprüft, wie die REMsES-Methoden in die bestehenden Prozesse eingebracht werden könnten, und ob Defizite der miteinander verglichenen Prozesses einer Integration der REMsES-Methoden entgegenstehen. Die Industriepartner begleiteten die Arbeit der REMsES-Methodenautoren mit kontinuierlichen Reviews (alle 3 bis 6 Monate) und machten Verbesserungsvorschläge auf deren Basis der Leitfaden *konsolidiert* wurde (E.6).

In *zwei Experimenten* untersuchten die Industriepartner Anwendungen ausgewählter Methoden aus dem Leitfaden (E.4).

Am ersten Experiment haben 12 Studenten der Universität Ulm teilgenommen [Leuser et al. 2009]. Als Material bearbeiteten die Teilnehmer eine Türschließenanlage „MachZu“ und eine Lichtsteuerung „Lumiere“. Primäres Ziel war, die Eignung des Leitfadens für die Automotive-Domäne zu zeigen. Dabei wurde REMsES mit einem State-of-the-Practice (SotP) Prozess verglichen. Die Teilnehmer bildeten sechs Teams. Vier davon benutzten den REMsES-Leitfaden, die anderen beiden Teams arbeiteten gemäß SotP.

Am zweiten Experiment haben 11 Studenten der Universität Kaiserslautern teilgenommen [Menzel et al. 2009]. Sie erarbeiteten in zwei Gruppen eine Spezifikation einer Türschließenanlage. Ziel des Experiments war, die Methode Ziel- und Szenario-Modellierung (Use-Cases) mit dem traditionellen funktionalen Ansatz zu vergleichen.

Basierend auf den Erfahrungen mit den Experimenten wurden zwei länger laufende *Fallstudien* mit Studenten an der Hochschule Esslingen durchgeführt. Ziel der Fallstudien war zu untersuchen, wie Entwicklungsprojekte von systematischer Ziel- und Szenario-Modellierung profitieren können (E.5). Die Studien betrachten ein ganzes Entwicklungsprojekt mit einem vollständigen Produktlebenszyklus. Die Teilnehmer hatten die Arbeitsaufgabe, eine Kundenspezifikation einer Türschließenanlage zu verstehen, die Systemanforderungen zu spezifizieren, das System in der Programmiersprache C zu implementieren, es auf dem Steuergerät in Betrieb zu nehmen und schließlich den Systemtest durchzuführen. In der ersten Studie bildeten die Studenten 6 Teams à 5 bis 6 Mitgliedern. 3 Teams nahmen zu Beginn des Projekts an einem Training der Ziel- und Szenario-Methode zur Spezifikation von Systemanforderungen teil. Die anderen 3 Teams spezifizierten die Systemanforderungen mit der ihnen geläufigen Vorgehensweise (ad-hoc Prozess). Alle Teams berichteten über ihren Aufwand (Arbeitszeiten) je Prozessphase. Eine weitere Kennzahl ist die Zahl der bestandenen Systemtestfälle bei Projektabschluss. Im Verlauf der Studie wurden die Teilnehmer über ihre Meinung zu den jeweils eingesetzten Spezifikationsmethoden befragt. Die zweite Fallstudie war eine Replikation der ersten. Dieses Mal nahmen 55 Studenten teil und bildeten 10 Teams.

Die Experimente und Fallstudien lieferten Rückmeldungen zur *Konsolidierung des Leitfadens* (E.6). Darüber hinaus wurden die empirischen Ergebnisse hinsichtlich der Benutzbarkeit des REMsES-Leitfadens analysiert.

## 5.2 Empirische Ergebnisse

Die aggregierten Ergebnisse der empirischen Validierungen weisen darauf hin, dass mit REMsES-Methoden die Qualität von Spezifikationen verbessert werden kann, und dies ist sogar ohne zusätzlichen Aufwand möglich.

Das erste Experiment an der Universität Ulm [Leuser et al. 2009] brachte zwei Hauptergebnisse:

Erstens ist der Leitfaden geeignet für die gestellten Arbeitsaufgaben und ihren Kontext. Die Teilnehmer am Experiment haben die Verständlichkeit

der Methoden- und Artefaktbeschreibungen des Leitfadens in Umfragen durchwegs positiv beurteilt (siehe Abbildung 5). Auf den 4-stufigen Skalen zu den Fragen „Wie verständlich war ...“ bewerteten sie die einzelnen Beschreibungen überwiegend mit einem Median von 3 („gut verständlich“). Daraus lässt sich ableiten, dass die REMsES-Prozess-Schritte gut durch die Erstellung der Artefakte führen.

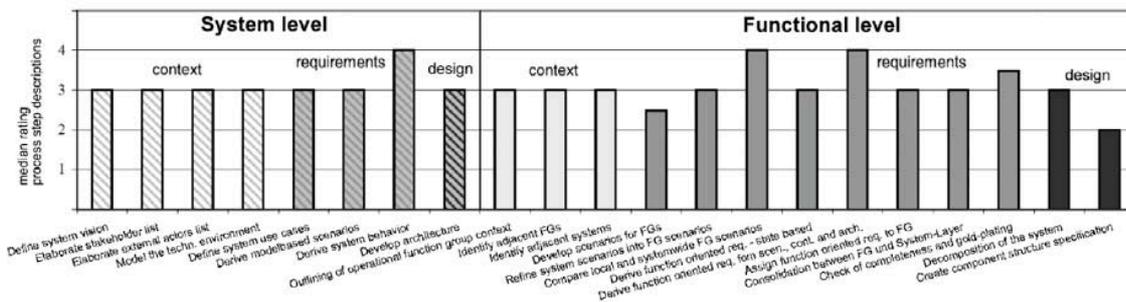


Abbildung 5: Verständlichkeit von REMsES-Elementen im Median

Das zweite Hauptergebnis ist, dass REMsES die Qualität der Spezifikation signifikant verbessert hat. Die Qualität der Spezifikation wurde an Hand einer Checkliste mit Kategorien wie Korrektheit und Vollständigkeit bewertet. Abbildung 6 zeigt für jedes der sechs Teams die mit ihrer Spezifikation erreichte Qualitäts-Kennzahl (Qualitäts-Score). Ein Mann-Whitney-U-Test bestätigt auf 10% Niveau eine höhere Qualität für Spezifikationen gemäß REMsES im Vergleich zu den Spezifikationen gemäß SotP.

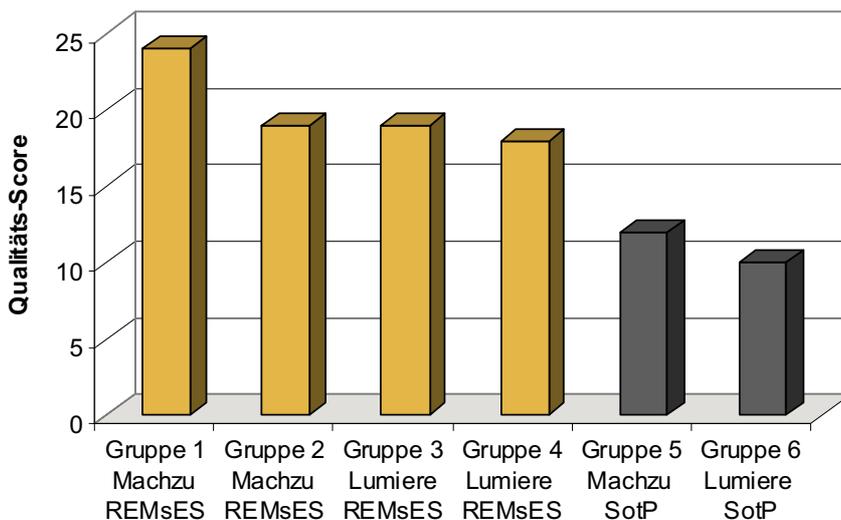
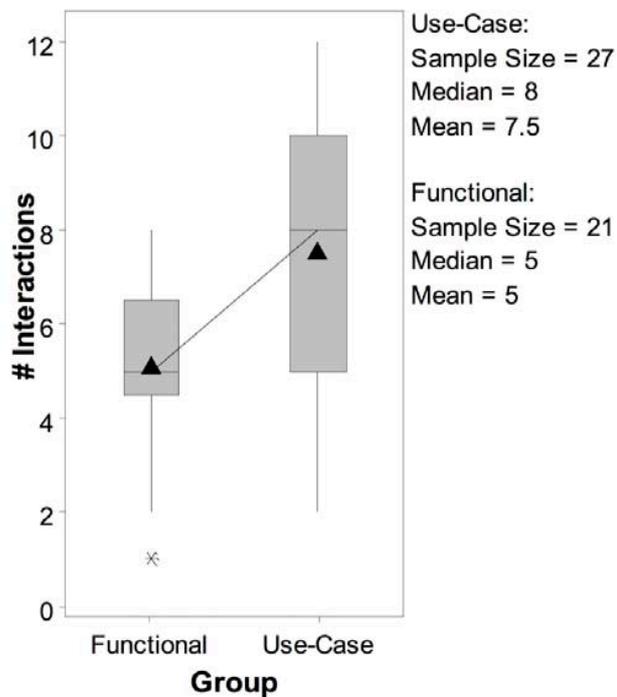


Abbildung 6: Qualitäts-Kennzahl der einzelnen Spezifikationen

Das zweite Experiment [Menzel et al. 2009] zeigte, dass ein Use-Case basierter Ansatz – wie Ziel-/Szenario-Modellierung – mehr (der im realen System tatsächlich stattfindenden) Interaktionen findet (Abbildung 7):



**Abbildung 7: Im Experiment gefundene Interaktionen**

Die Grafik zeigt Boxplots der Anzahl der spezifizierten Interaktionen zwischen Komponenten. (Jede spezifizierte Funktion bzw. jeder spezifizierte Use-Case liefert einen Datenpunkt.) Mit dem Use-Case-Ansatz haben die Teams im Mittel 3 Interaktionen mehr gefunden als die Teams mit dem funktionalen Ansatz.

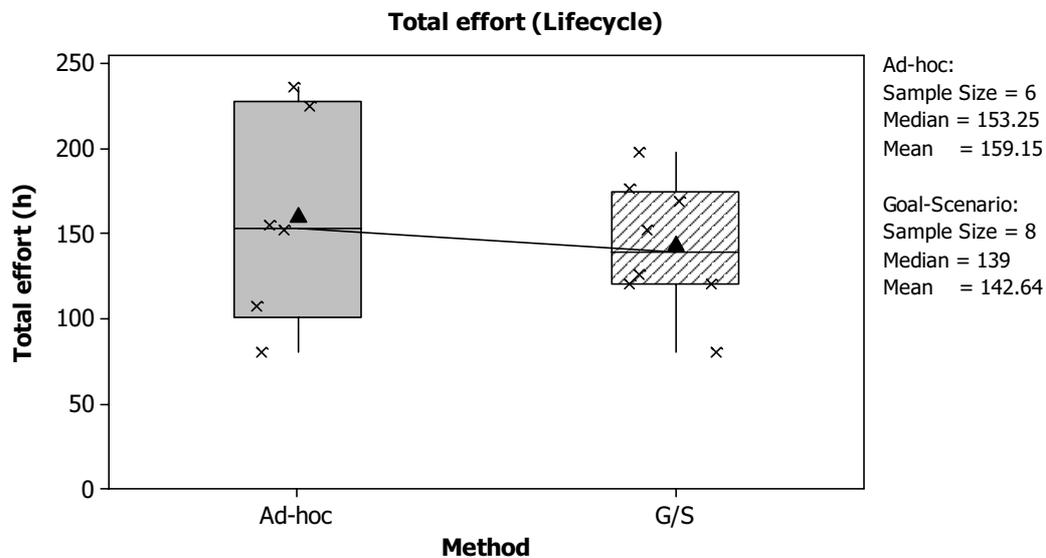


Abbildung 8: Gesamtaufwände der Teams

In den Fallstudien wurde die Auswirkung auf ein ganzes Projekt bewertet. In den an der Hochschule Esslingen durchgeführten Fallstudien wurde der Aufwand gemessen mit dem Ergebnis, dass der Einsatz der Ziel- und Szenario-Methode den gesamten Aufwand im Projekt nicht signifikant erhöht hat. Auffällig war aber, dass die Gesamtaufwände der Ad-hoc-Teams stärker streuen als die Gesamtaufwände der Ziel- und Szenario-Teams (Abbildung 8).

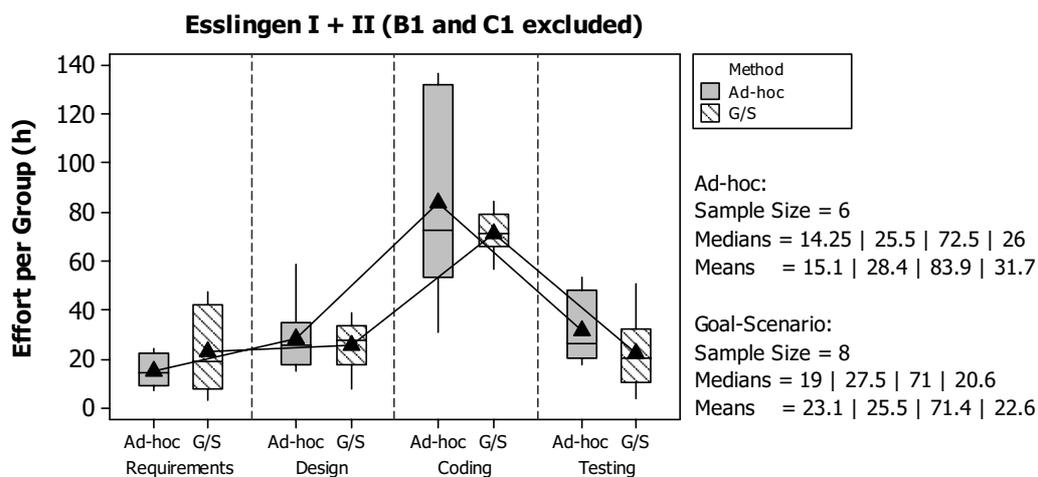


Abbildung 9: Aufwände der Teams pro Phase

Der Effekt kann auf die Varianz der Aufwände in der Codierphase zurückgeführt werden (Abbildung 9). Zwar sind die Unterschiede in den Aufwandszahlen nicht statistisch signifikant, doch wir nehmen an, dass die Ziel- und Szenario-Methode kosteneffektiv angewandt werden kann.

Die Produktqualität an Hand der Kennzahl *bestandene Systemtestfälle* wurde nur in der zweiten Esslinger Fallstudie überprüft. Die zehn an der Studie beteiligten Teams haben 4 Systeme à 2-3 Steuergeräte entwickelt. Die Systeme haben den Großteil der Testfälle bestanden. Die 4 Datenpunkte liefern aber keinen Anhaltspunkt für einen Effekt der Ziel- und Szenario-Methode auf die im Systemtest feststellbare Qualität.

### **5.3 Threats to validity**

Studenten sind im Allgemeinen keine repräsentativen Vertreter für professionelle Entwickler. Daher glauben wir nicht, dass absolute Zahlenwerte aus den Analysen verallgemeinerbar sind. Die Zahl der Fallstudien und Experimente und die Zahl der erhobenen Datenpunkte sind zu gering um statistisch signifikante Folgerungen über Entwicklungsaufwände und Produktqualität abzuleiten. Doch es gibt Indizien für die Annahme, dass der richtige Einsatz der REMsES-Methoden positive Auswirkungen hat. Im Vergleich zu Automotive Systemen aus der Industrie sind die in den Studien behandelten Systeme und Arbeitsaufgaben klein bis mittelgroß. Daher glauben wir, dass unsere empirischen Studien Trends zeigen, und weitere empirische Evidenz erforderlich ist um die Ergebnisse auf die Entwicklung komplexer Systeme realistischer Größe zu verallgemeinern.



## 6 AP-6: Erstellung von Illustratoren

Matthias Kirchmayr  
Eduard Metzker  
Jörg Leuser  
Daimler AG

Im Rahmen des Arbeitspakets „Erstellung von Illustratoren“ wurden zwei realitätsnahe, jedoch fiktive Systeme („Dynamische Scheibentönung (DST)“ und „Radio-Frequenz-Warnsystem (RFW)“) nach dem Stand der Praxis entwickelt und auf Basis der VDA-Struktur Komponentenlastenheft<sup>1</sup> dokumentiert. Anhand dieser beiden Spezifikationen wurden Probleme aus den unterschiedlichen Bereichen der betrachteten Domäne „bilderbuchartig“ beschrieben. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden im REM-ES-Leitfaden umgesetzt und Lösungen bereitgestellt. Im Folgenden werden die beiden Illustratoren kurz beschrieben. Für das System RFW wurde zusätzlich eine CANoe Simulation erstellt, wodurch sichergestellt wurde, dass die Spezifikation alle relevanten Informationen für eine Implementierung enthält.

### 6.1 Dynamische Scheibentönung (DST)

Primäres Ziel des Systems ist die Reduktion des Unfallrisikos aufgrund ungünstiger Lichtverhältnisse: das System der dynamischen Scheibentönung verbessert die Sicht des Fahrers, indem während der Fahrt durch die Tönung der Scheiben einer Blendung durch die Sonne entgegengewirkt wird. Gleichzeitig dient das System der optimalen Sicht im Falle einer Verbesserung der Lichtverhältnisse (geringere Blendung, geringere Lichtintensität), indem die Scheiben des Fahrzeugs entfärbt werden und sich dadurch das Sichtfenster für den Fahrer vergrößert (dies trifft besonders für die Sei-

---

<sup>1</sup> VDA-Struktur Komponentenlastenheft, Modul II: Komponentenlastenheft Mechanik- und E/E-Komponenten, Version 1.3

tenscheiben hinten und die Heckscheibe zu). Der Fahrer hat somit dank der dynamischen Scheibentönung während der Fahrt bei allen Lichtverhältnissen eine optimale Sicht. Da die Tönung und Entfärbung der Scheiben automatisch abläuft, kann sich der Fahrer zu jedem Zeitpunkt zu 100% auf die Verkehrssituation konzentrieren. Dadurch sinkt das Unfallrisiko.

Ein weiteres Feature und somit sekundäres Ziel stellt die Wärmereduktion innerhalb des geparkten Fahrzeugs dar: durch die Tönung der Scheiben des geparkten Fahrzeugs wird die Wärmeentwicklung im Fahrzeuginnenraum reduziert. Gleichzeitig schützt die Tönung der Scheiben den Fahrzeuginnenraum vor neugierigen Blicken und fungiert somit zusätzlich zur Wärmereduktion auch als Diebstahlschutz.

## **6.2 Radio-Frequenz-Warnsystem (RFW)**

Unter Verwendung der RFID-Technologie soll das Radio-Frequenz-Warnsystem mit RFID-Sender ausgestattete Hinweise (z.B. Verkehrsschilder) erkennen. Wird ein Hinweis erkannt zeigt das System den Hinweis im Display an und/oder spielt bei hoher Dringlichkeit einen Warnton ab. Weiterhin fungiert das System wie ein zweites Gedächtnis. Warnhinweise werden länger angezeigt als entsprechende Warnschilder im Blickfeld des Betrachters sind. Sollte z.B. der Hinweis auf eine Geschwindigkeitsbeschränkung versäumt werden, so kann die Beschränkung noch für einige Sekunden bzw. Kilometer im Display angezeigt werden. Falls man schneller fährt als erlaubt und nach einigen Sekunden die Geschwindigkeit nicht verringert hat, ertönt ein akustisches Signal. Ist ein Geschwindigkeitsregler installiert und aktiviert so kann dieser auch die Fahrzeuggeschwindigkeit an die geltende Beschränkung anpassen. Das System soll aber auch wie ein Filter wirken, indem nur die relevanten Informationen angezeigt werden. So gelten beispielsweise manche Einschränkungen nur für LKW und können somit von einem PKW ignoriert werden.

## 6.3 Neuspezifikation RFW anhand des REMsES-Leitfadens

Um ein durchgängiges Beispiel für die Artefakte des REMsES-Leitfadens bereitstellen zu können, wurde die Spezifikation des RFW nach den Methoden des REMsES-Leitfadens überarbeitet. Hierdurch konnte die Beschreibung der Artefakte veranschaulicht und dadurch die Anwendbarkeit des Leitfadens insgesamt verbessert werden (vgl. Abbildung 10). Die Notwendigkeit eines durchgängigen Beispiels wird auch durch diverse Validierungsschritte, wie beispielsweise dem Experiment an der Universität Ulm (vgl. Zwischenberichte 1. und 2. Halbjahr 2008) deutlich. Aufgrund der Durchgängigkeit des Beispielsystems können zusätzlich auch die Beziehungen der Artefakte zueinander in den Beispielen dargestellt werden.

**Artefakt: Datenmodell**

Das Datenmodell beschreibt alle Eingaben für das System sowie alle Ausgaben des Systems und die zentralen Datenelemente im System. Dies umfasst sowohl die dargestellten Datentypen als auch deren Repräsentation (Bedeutung).

Arten von Arbeitsergebnissen: [Arbeitsergebnisse auf Gesamtsystemebene](#), [Entwurf](#)

Alle Abschnittstrukturen

**Zweck**

Die Datensicht auf Gesamtsystem ermöglicht einen einfachen Überblick über alle Daten, die vorliegen und was sie repräsentieren.

**Beziehungen**

**Aufgaben**

Eingabe für:

- [Erarbeite Komponentenmodell \(Funktionsgruppe\)](#)
- [Erarbeite Verhaltensmodell](#)
- [Erarbeite Operationellen Kontext \(Funktionsgruppe\)](#)
- [Erarbeite Schnittstellenmodell](#)

**Beschreibung**

**Abbildungen**

**Beispiele**

- [Datenmodell](#)

Seitenanfang

Abbildung 10: Auszug aus dem Artefakt „Datenmodell“ am Beispiel

Zudem konnten durch die Neuspezifikation auch Verbesserungspotentiale für den Leitfaden aufgezeigt werden. Somit stellt die Bereitstellung von Illustratoren auch einen Beitrag zur Validierung des Leitfadens dar (vgl. Deliverable D-4.1).



## 7 AP-7: Entwicklung spezifischer Erweiterungen des Leitfadens

Markus Bechter  
Peter Braun  
Jan Philipps  
Validas AG, München

Birgit Penzenstadler  
Technischer Universität München

Nadine Bramsiepe  
Kim Lauenroth  
Thorsten Weyer  
Universität Duisburg-Essen

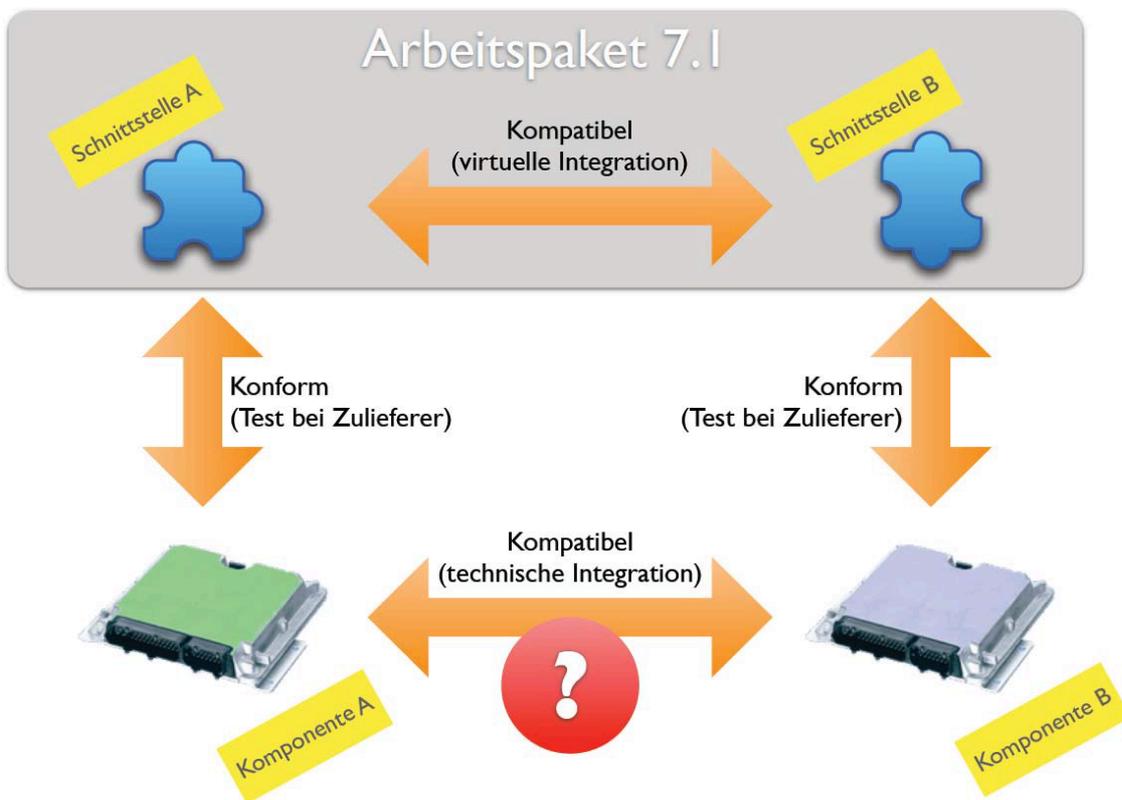
Im Arbeitspaket 7 werden verschiedene Aspekte betrachtet, die sich auf die Anwendbarkeit des Leitfadens beziehen. So wird das Themenfeld Auftraggeber/Auftragnehmer-Beziehung im Hinblick auf eine mögliche Erweiterung und Anwendung des Leitfadens erschlossen. Darüber hinaus sind Erweiterungen für die Produktlinienentwicklung ein Thema. Für den Einsatz des Leitfadens ist zudem eine adäquate Werkzeugunterstützung notwendig. Daher beinhaltet Arbeitspaket 7 auch ein Konzept und einen Prototyp eines möglichen Werkzeugs.

### 7.1 AP-7.1: Verbesserung der Auftraggeber/Auftragnehmer-Beziehungen

Heutige Eingebettete Systeme sind in den meisten Fällen verteilter Natur. Das bedeutet dass die Softwarefunktionen nicht nur auf einem eingebetteten System integriert, sondern auf mehrere Hardwareplattformen verteilt sind. Diese werden dann von verschiedenen Zulieferern entwickelt. Der Hauptauftraggeber (z.B. ein Fahrzeughersteller) steht vor der Problematik,

die Komponenten verschiedener Hersteller zu einem funktionierenden Gesamtsystem integrieren zu müssen.

Die Kommunikation zwischen dem Auftraggeber und dem Auftragnehmer erfolgt in diesem Prozess durch Austausch verschiedener Entwicklungsartefakte. Deren Konsistenz ist für eine spätere Integration maßgebend (siehe auch Abbildung 11). Im Rahmen von AP7.1 wurden verschiedene Ansätze untersucht, um welche Informationen die relevanten Artefakte erweitert werden müssen, um die Integrierbarkeit der Komponenten sicherzustellen und wie die Konsistenz dieser Artefakte überprüft werden kann.



**Abbildung 11: Kompatibilität als Voraussetzung für Integrierbarkeit**

Dabei bestand das Hauptaugenmerk darin, aus der Wissenschaft bekannte Konzepte in das Artefaktmodell zu integrieren und so anzupassen, dass sie auch im industriellen Alltag anwendbar sind.

Der erarbeitete und in [REMsES 2009a] dokumentierte Lösungsansatz besteht darin, das Kommunikationsverhalten eines eingebetteten Systems möglichst abstrakt auf Basis vorhandener Systemzustände zu beschreiben.

Konkret wird modelliert welche Signale von einer Komponente in einem festgelegten Zustand des Gesamtsystems gesendet werden und welche Signale die Komponente erwartet. Im Rahmen einer formalen Überprüfung wird schließlich festgestellt, ob für jedes erwartete Signal auch eine Komponente existiert, welche dieses Signal aussendet.

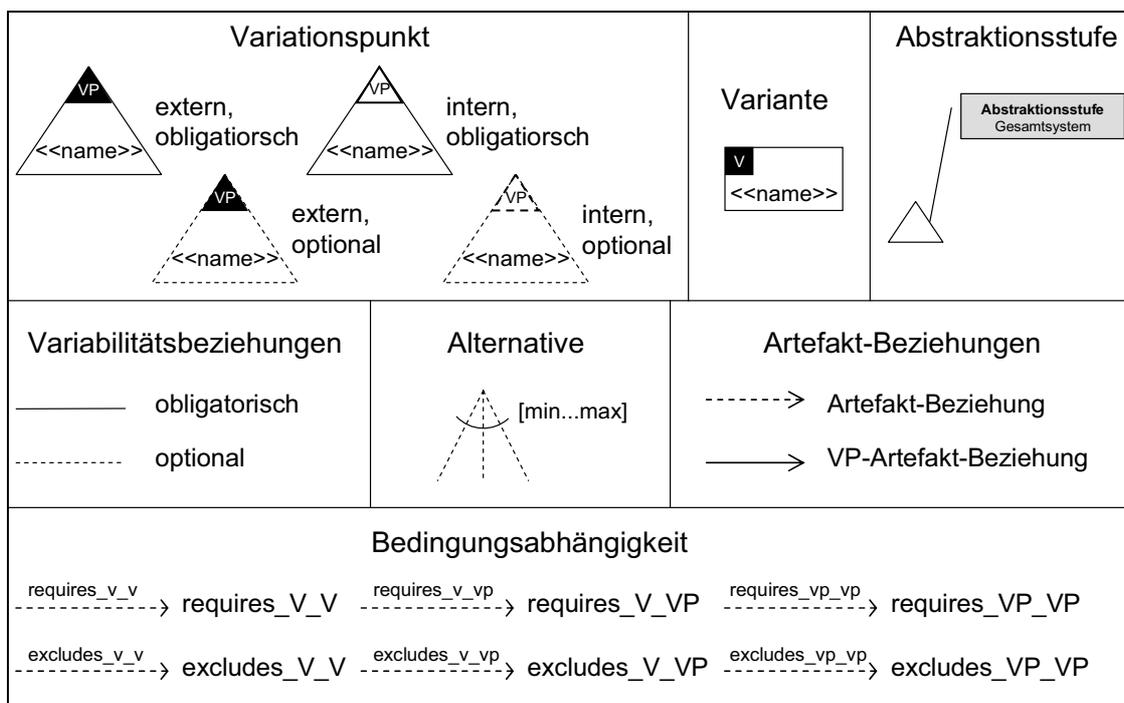
Die Erprobung der Ansätze erfolgt neben den REMsES-Arbeiten auch im Rahmen der AUTOSAR-Initiative. Dort ist die Validas AG mit anderen Partnern in einem zentralen Arbeitspaket dafür verantwortlich, die Spezifikationsmethoden derart zu verbessern, dass die Integrierbarkeit auch in Zukunft gewährleistet ist.

## **7.2 AP-7.2: Erweiterung für die Produktlinienentwicklung**

Produktlinien bzw. die Produktlinienentwicklung ist ein Ansatz, um eine Menge von gleichartigen Produkten kostengünstig und qualitativ hochwertig zu entwickeln. Dieses Ziel wird durch die proaktive Wiederverwendung von Entwicklungsartefakten erreicht. Hierzu werden die Gemeinsamkeiten, sowie die variablen Teile der Produkte entwickelt und dokumentiert.

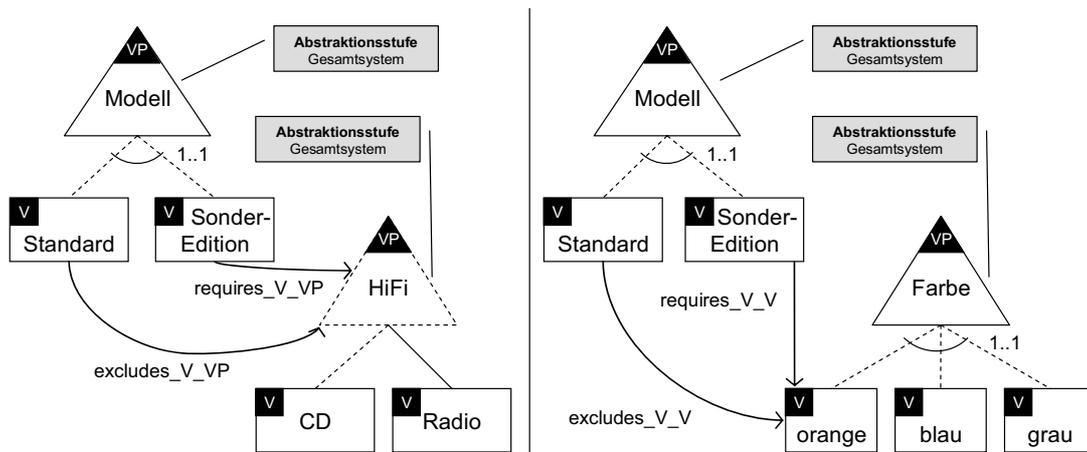
Im Zentrum der Arbeiten an Arbeitspaket AP-7.2 steht die Erweiterung des REMsES-Leitfadens um die explizite Modellierung der Variabilität in Anforderungen und damit assoziierter Entwicklungsartefakte. Dazu werden die entsprechenden Metamodelle des Artefaktmodells um Konzepte zur Dokumentation von Variabilität erweitert. Aufbauend auf den Erweiterungen des REMsES-Artefaktmodells, wird eine Modellierungstechnik zur expliziten Modellierung der Produktlinienvariabilität vorgestellt und beispielhaft illustriert. Die Definition einer methodischen Anleitung zur expliziten Berücksichtigung der Produktlinienvariabilität in REMsES-konformen Requirements-Engineering-Prozessen ergänzen die Erweiterungen des Artefaktmodells. Die Erweiterung des REMsES-Leitfadens zur Unterstützung der Produktlinienentwicklung findet sich in [REMsES 2008c].

In Rahmen des REMsES-Projektes wurde eine Erweiterung der von der Arbeitsgruppe „Software Systems Engineering“ der Universität Duisburg-Essen entwickelte grafische Notation für Variabilitätsmodelle erarbeitet, die speziell auf die Dokumentation der Produktlinienvariabilität entlang der drei Abstraktionsebenen „Gesamtsystem“, „Funktionsgruppen“ und „Software/Hardware“ abzielt. Abbildung 12 zeigt die verschiedenen Notationselemente der erweiterten Variabilitätsmodellierungssprache, bestehend auf verschiedenen Typen von Variabilitätspunkten, Varianten, der Unterscheidung von Abstraktionsstufen sowie verschiedene Kantentypen zur Modellierung von Abhängigkeiten innerhalb der Variabilitätsmodelle und zur Modellierung der Beziehungen zu REMsES-Artefakten.



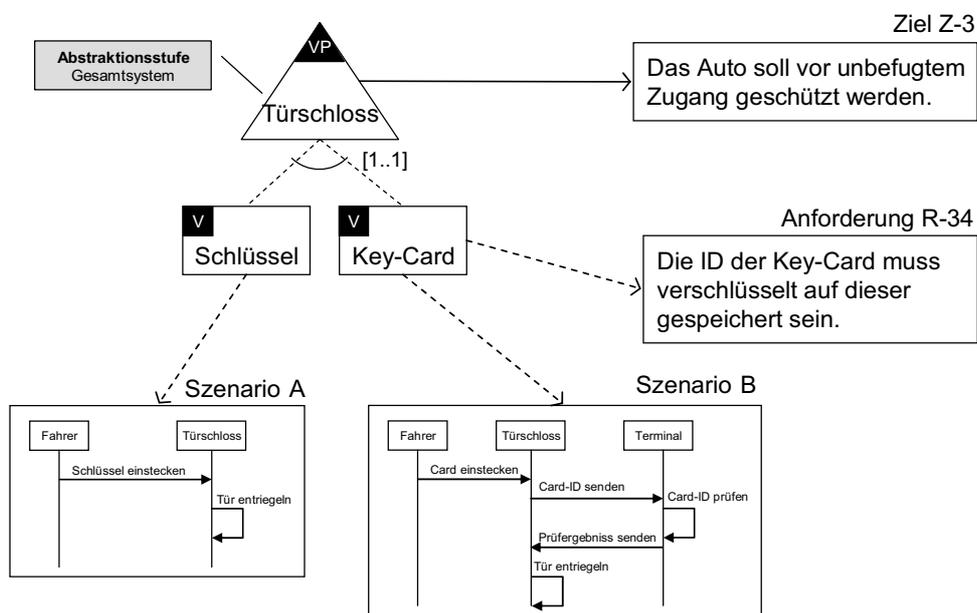
**Abbildung 12: Notationselemente für Variabilitätsmodelle im REMsES-Ansatz**

Auf Grundlage der in Abbildung 12 gezeigten Modellierungssprache für die Produktlinienvariabilität auf den drei REMsES-Abstraktionsebenen kann die Variabilität eines zu entwickelnden softwareintensiven Eingebetteten Systems getrennt auf jeder der drei Abstraktionsebenen dokumentiert werden. Abbildung 13 zeigt vereinfachte Variabilitätsmodelle des REMsES-Ansatzes auf der Gesamtsystemebene.



**Abbildung 13: Beispiel für Variabilitätsmodelle im REMsES-Ansatz**

Abbildung 14 zeigt ein vereinfachtes Beispiel für ein Variabilitätsmodell, dessen Variationspunkte und Varianten zu verschiedenen REMsES-Artefakten, wie Zielen, Szenarien und Anforderungen relationiert sind (siehe hierzu auch [REMsES 2008c]).



**Abbildung 14: Beispielhafte Beziehungen zu REMsES-Artefakten**

Neben der spezifischen Erweiterung der Variabilitätsmodellierung hinsichtlich der Unterstützung der drei REMsES-Abstraktionsebenen und der Relationierung von REMsES-Artefakten zu Konzepten innerhalb der Variabilitätsmodelle wurden im Rahmen des REMsES-Projektes Ansätze zur

maschinellen Überprüfung der Konsistenz von Variabilitätsmodellen und assoziierten Verhaltensmodellen entwickelt [Lauenroth u. Pohl 2007a], [Lauenroth u. Pohl 2007b]. Abbildung 15 zeigt einen Ausschnitt des Variabilitätsmodells für das System „dynamische Scheibentönung“. Die in der Abbildung dargestellte Variabilität wird im Folgenden kurz beschrieben.

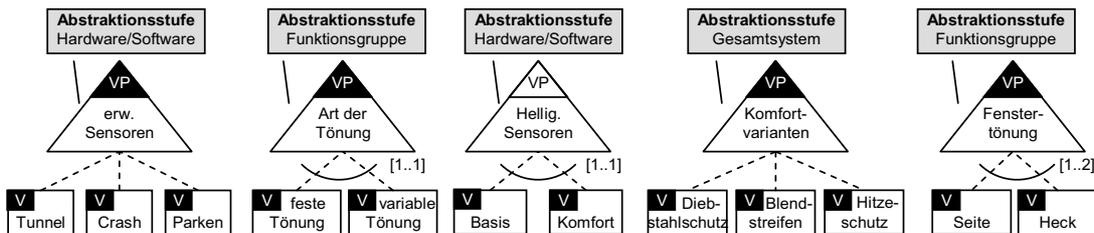


Abbildung 15: Ausschnitt der Variabilitätsmodells „DST“

Abbildung 16 zeigt ein Beispiel von zwei verschiedenen Szenarien die zu dem Variabilitätsmodell relationiert sind. Die Aktivität „Tunnel erkennen“ ist zu der Variante „Tunnel“ des Variationspunktes „erw. Sensoren“ relationiert und drückt somit aus, dass nur wenn die Variante „Tunnel“ ausgewählt wurde, auch die Aktivität „Tunnel erkennen“ in dem Szenario „hMSC - dynamische Scheibentönung“ vorhanden ist.

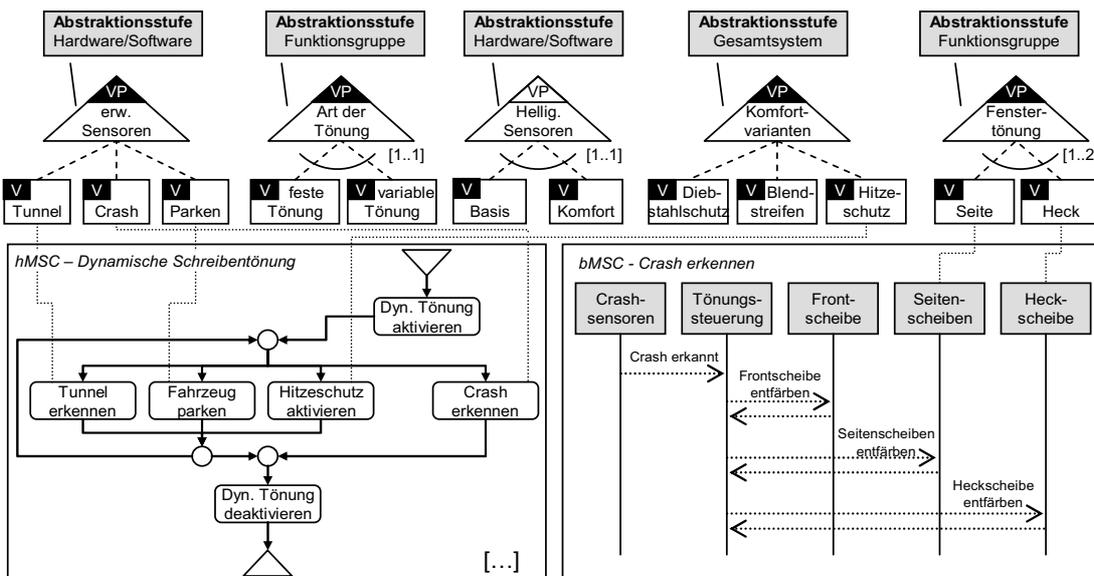


Abbildung 16: Variable Spezifikation von Szenarien im REMsES-Ansatz

Ist die Variante „Tunnel“ nicht ausgewählt, wird die Aktivität inklusive der ein- und ausgehenden Flüsse aus dem Szenario, und damit aus der Applikationsanforderungsspezifikation, entfernt [Lauenroth u. Pohl 2008].

### 7.3 AP-7.3:Entwicklung eines REMsES-Werkzeuges

Im Rahmen des AP7.3 wurde überprüft ob und in welcher Form sich die erarbeiteten Konzepte aus REMsES durch Tools unterstützen lassen. Ziel war es einen Prototypen zu entwickeln, der es ermöglicht unterschiedlichste Artefakte, wie eben auch die in REMsES definierten Artefakte, die im Rahmen einer Entwicklung eines eingebetteten Systems entstehen, zu verwalten.

Ein Werkzeug zur Verwaltung von Artefakten muss sich dabei in eine komplexe Landschaft einordnen (vergleiche Abbildung 17). Die Entwicklung der Artefakte findet jeweils in spezialisierten Werkzeugen statt, eine übergreifende Verwaltung von Artefakten ist dagegen oftmals nicht vorgesehen.

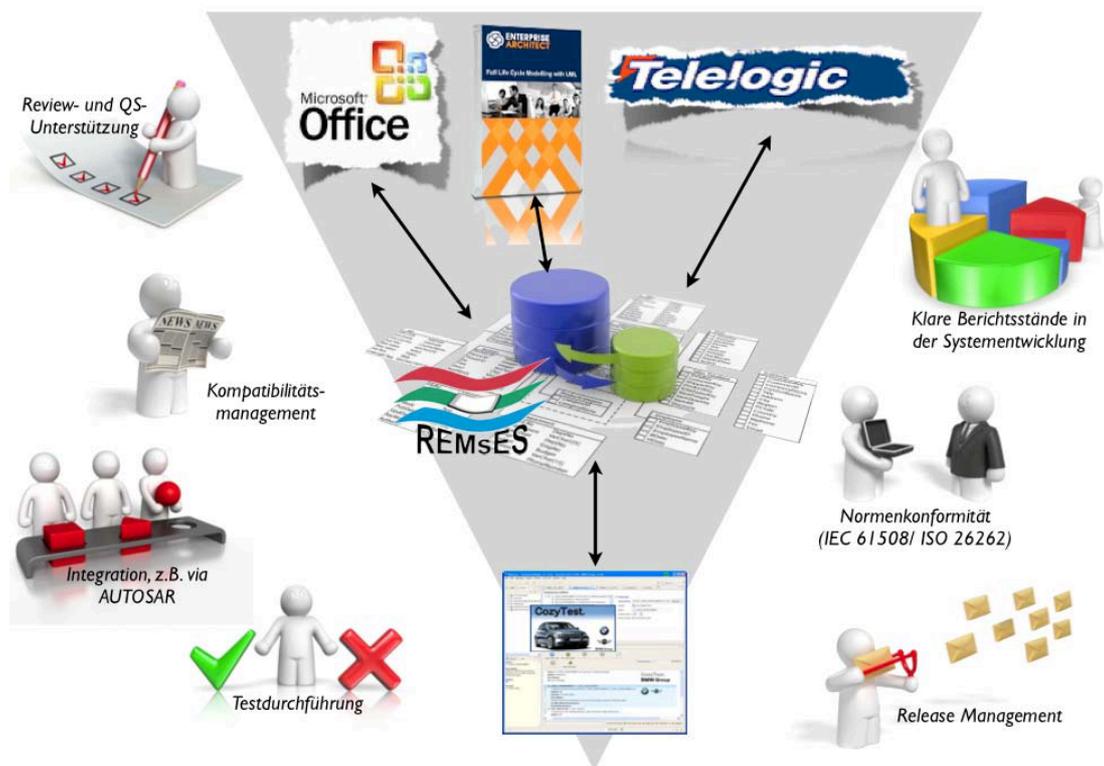


Abbildung 17: Das REMsES-Werkzeug

Eine besondere Rolle spielen dabei Beziehungen zwischen den Artefakten. Ob zwischen zwei Artefakttypen eine Beziehung bestehen kann, wird durch das Artefaktmodell festgelegt. Das Werkzeug unterstützt schließlich das Projektteam dahingehend, dass bei der Erstellung eines Artefakts festgelegt werden muss, ob eine entsprechende Beziehung existiert oder nicht. Ist dies gegeben, so sind zusätzliche Informationen hinterlegt, durch welche Art von Überprüfung die Konsistenz der Beziehung überprüft werden kann.

Dabei gibt es unterschiedliche Beziehungen:

- Strukturelle Abhängigkeiten zwischen Artefakten, wie beispielsweise Kompositionsbeziehungen („A ist Teil von B“)
- Konsistenzbeziehungen, die aussagen, dass beispielsweise zwei Artefakte zueinander schnittstellenkompatibel sind
- Generierungsbeziehungen, die aussagen, dass beispielsweise ein Testprotokoll aus einem bestimmten Verhaltensmodell und einer bestimmten Szenariobeschreibung gewonnen wurde.

Diese Beziehungen müssen nun gemeinsam mit den Artefakten verwaltet werden. Zum einen muss ein Anwender Beziehungen zwischen Artefakten erstellen oder verändern können, zum anderen haben Beziehungen Zustände, z.B. ob sie geprüft wurden. Im REMsES-Werkzeug werden die Beziehungen in einer Versionsverwaltung abgelegt, es wird eine Zustandsverwaltung der Beziehungen realisiert und basierend auf den Zuständen wird ein Ticketsystem angebunden, das es dem Anwender ermöglicht Änderungen und Prüftaktivitäten zu koordinieren.

Das entwickelte Werkzeug setzt diese Ansätze prototypisch um. Die Realisierung setzt dabei auf verschiedene frei verfügbare Werkzeuge (Versionsverwaltung und Ticketsystem) auf, so dass in relativ kurzer Zeit ein großer Leistungsumfang des Werkzeugs realisiert werden konnte.

Dabei konnte gezeigt werden, wie Artefakte und deren Beziehungen modelliert und schließlich modellgestützt verwaltet werden können. Der realisierte Prototyp dient als Anschauungsbeispiel, wie die Konzepte mit vertretbarem Aufwand auf der Basis von frei verfügbaren Werkzeugen reali-

siert werden können. Ebenso konnte mit dem Prototyp gezeigt werden, wie eine relative lose Kopplung bestehender Entwicklungswerkzeuge auf der Basis eines Artefaktmodells erfolgen kann. Eine weitergehende Beschreibung der Architektur des Werkzeugs und der grundlegenden Konzepte findet sich in [REMsES 2009b].



## 8 Posterpräsentation

Dieses Kapitel enthält eine Posterpräsentation des Verbundprojekts „REMsES“, die die Problemstellung des Projektes, die wesentlichen Prinzipien sowie für jeden im Rahmen von AP-3 betrachteten Themenkomplex dessen Problemstellung und Lösungsansatz zeigt. Im Einzelnen handelt es sich um die folgenden Poster:

- Poster *„Herausforderungen des REMsES-Projekts“*, Autoren: Eva Geisberger (Technische Universität München), Matthias Kirchmayr (Daimler AG), Mark Müller (Robert Bosch GmbH), Thorsten Weyer (Universität Duisburg-Essen)
- Poster *„Bestandteile des REMsES-Leitfaden“*, Autoren: Eva Geisberger (Technische Universität München), Matthias Kirchmayr (Daimler AG), Mark Müller (Robert Bosch GmbH), Thorsten Weyer (Universität Duisburg-Essen)
- Poster *„Kontextanalyse und Kontextverfeinerung“*, Autoren: Wassiou Sitou (Technische Universität München), Thorsten Weyer (Universität Duisburg-Essen)
- Poster *„Ableitung von lösungsorientierten Anforderungen“*, Autor: Nadine Bramsiepe (Universität Duisburg-Essen)
- Poster *„Ziel- und szenariobasiertes Requirements Engineering“*, Autor: Ernst Sikora (Universität Duisburg-Essen)
- Poster *„Erkennung von Feature Interactions auf Nutzungsebene“*, Autor: Johannes Grünbauer (Technische Universität München)
- Poster *„Transition von Gesamtsystem auf Subsysteme“*, Autor: Birgit Penzenstadler (Technische Universität München)

## 8.1 „Herausforderungen des REMsES-Projektes“



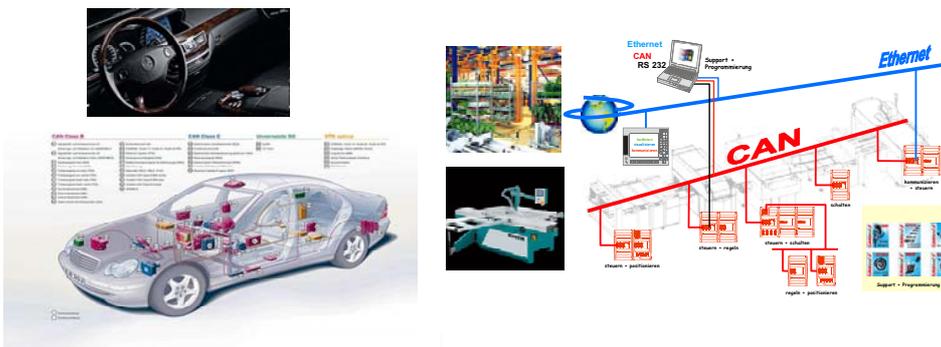
Leitfaden für modellbasiertes Requirements Engineering und Management softwareintensiver Eingebetteter Systeme



### Herausforderungen Entwicklung softwareintensiver eingebetteter Systeme in der Praxis

#### Ausgangssituation im Automobil-, Maschinen- und Anlagenbau

- Funktionsvielfalt eingebetteter Systeme mit starker Vernetzung
- Kraftfahrzeuge mit bis zu 2500 softwaregesteuerten Funktionen
- Integration in komplexe Systemlandschaften
- Komplexe Maschinen, Anlagen mit bis zu 2000 Steuerungen
- Kombiinstrumente mit mehr als 20.000 Anforderungen
- Große Anzahl von Anforderungen mit komplexen Abhängigkeiten



Bedarf an **Methoden, Tools** und **Anleitung** für:

- Systematische Erhebung von Anforderungen
- Geeignete Strukturierung und Dokumentation von Anforderungen
- Abstimmung und Konsolidierung von Anforderungen
- Verwaltung und Verfolgung von Anforderungen

Erarbeitung eines **Requirements-Engineering-Praxisleitfadens**

→ **Wer** (Rollenmodell) muss

→ **Was** (Artefaktmodell)

→ **Wie** (Methoden und Vorgehensmodell) erarbeiten?



DAIMLER



Autoren: Geisberger, Kirchmayr, Müller, Weyer © REMsES-Konsortium: Robert Bosch GmbH - Daimler AG - Technische Universität München - Universität Duisburg-Essen

## 8.2 „Bestandteile des REMsES-Leitfadens“

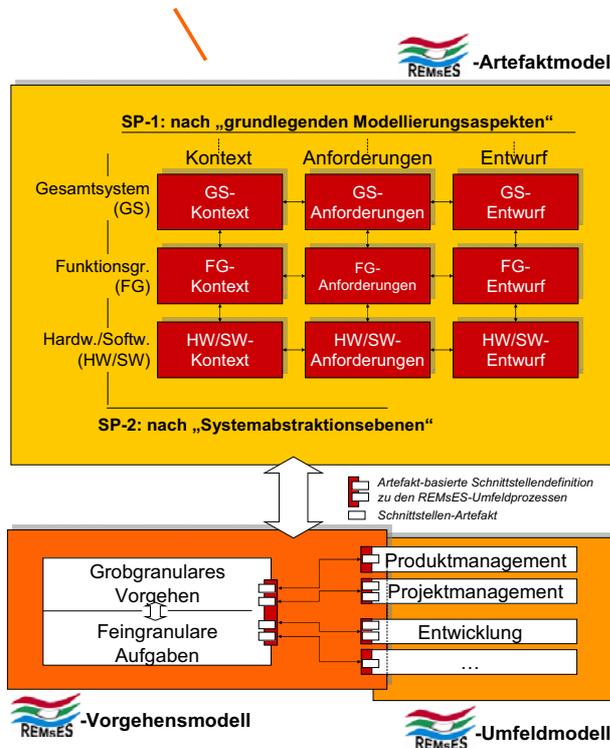


Leitfaden für modellbasiertes Requirements Engineering und Management softwareintensiver Eingebetteter Systeme

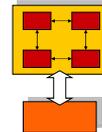


### Bestandteile des REMsES-Leitfadens

Das **REMsES-Artefaktmodell** strukturiert die zu erarbeitende Anforderungs- und Systemspezifikation nach **Kontext-, Anforderungs- und Entwurfsartefakten** und domänenspezifischen Abstraktionsebenen des Systementwurfs: **Gesamtsystem-, Funktionsgruppen-, HW-/SW-Ebene**



Das **Artefaktmodell** ist Basis für die Aktivitäten und Methoden des **Vorgehensmodells**



Zwischen den **Artefakten** sind Verfeinerungs- und Konsistenz-Beziehungen definiert.

Das **REMsES-Vorgehensmodell** definiert das grobe Vorgehen und feingranulare Aufgaben und Methoden der Anforderungsspezifikation

Das **REMsES-Umfeldmodell** legt die für das Requirements Engineering relevanten Umfeldprozesse fest und definiert die Ein- und Ausgabeschnittstellen zu den Aufgaben des Requirements Engineering



# 8.3 „Kontextanalyse und Kontextverfeinerung“



Leitfaden für modellbasiertes Requirements Engineering und Management softwareintensiver Eingebetteter Systeme



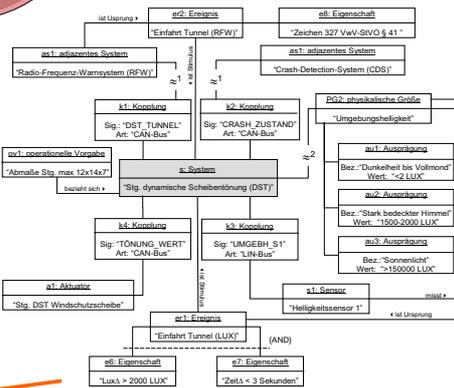
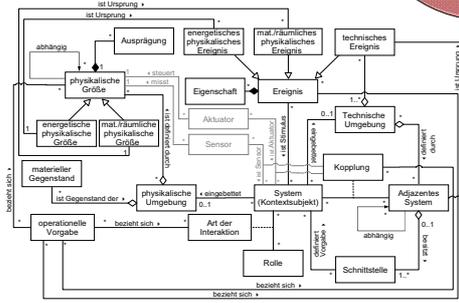
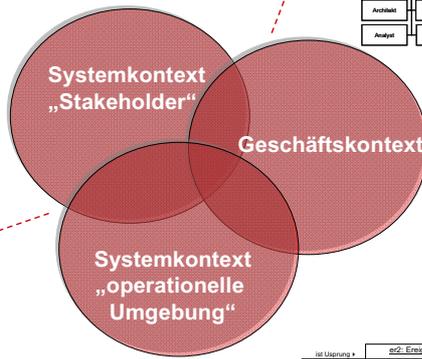
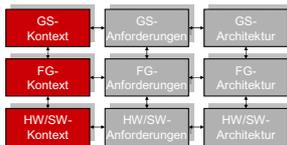
## Kontextanalyse und Kontextverfeinerung

### Problemstellung

Erfassung des für die Ermittlung der Anforderungen relevanten Kontexts des zu entwickelnden Systems

### Artefaktmodell

Definition von Strukturmodellen für Artefakte zur Analyse und Dokumentation des Kontexts



Strukturmodell „operationelle Umgebung“

Kontextmodell „operationelle Umgebung“

### Aufgaben (Beispiel)

- „Entwicklung Kontextdiagramm operationeller Funktionsgruppenkontext“



## 8.4 „Ableitung von lösungsorientierten Anforderungen“



Leitfaden für modellbasiertes Requirements Engineering und Management softwareintensiver Eingebetteter Systeme



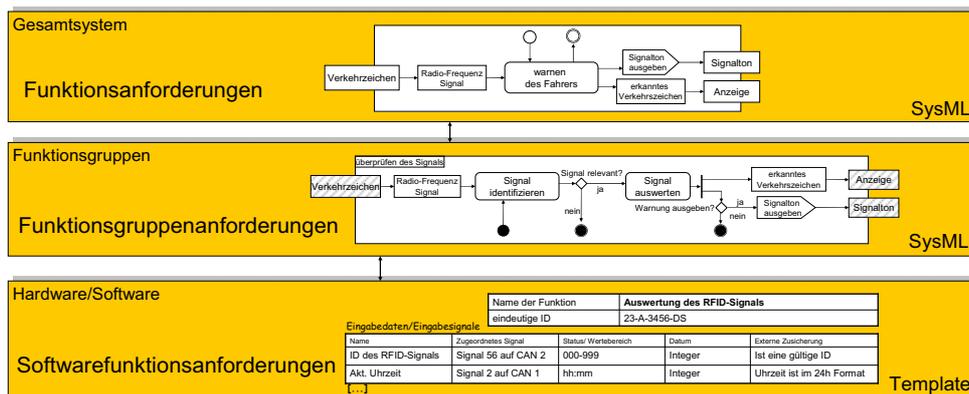
# Ableitung von lösungsorientierten Anforderungen

### Problemstellung

Ableitung von lösungsorientierten Anforderungen unter

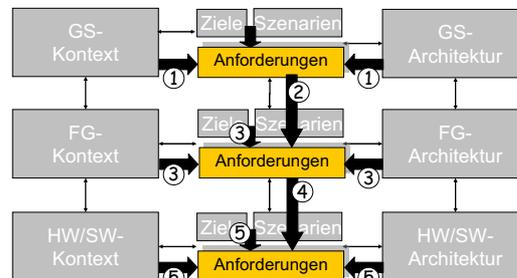
- Einbeziehung aller **relevanter Artefakte**
- Berücksichtigung der **drei Abstraktionsebenen**

### Artefaktmodell



### Aufgaben

- 1 Ableitung von Funktionsanforderungen aus Systemzielen, -szenarien, Kontext und Architektur
- 2 Ableitung von Funktionsgruppenanforderungen aus Funktionsanforderungen
- 3 Ableitung von Funktionsgruppenanforderungen aus Zielen, Szenarien, Kontext und Architektur
- 4 Ableitung von Softwarefunktionsanforderungen aus Funktionsgruppenanforderungen
- 5 Ableitung von Softwarefunktionsanforderungen aus Kontext, Zielen und Szenarien



# 8.5 „Ziel- und szenariobasiertes Requirements Engineering“

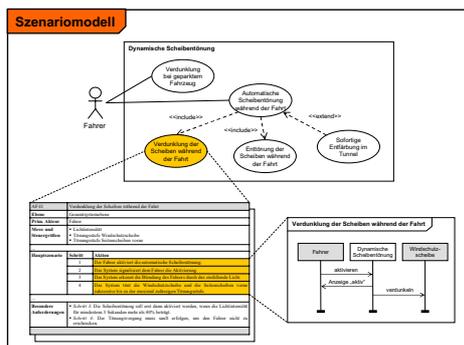
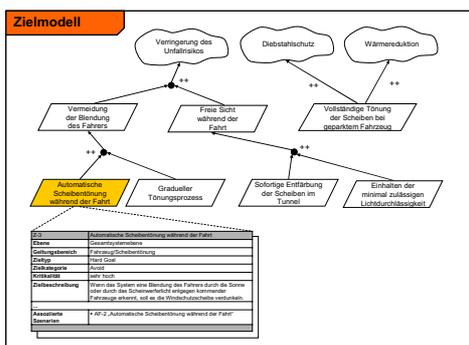


Leitfaden für modellbasiertes Requirements Engineering und Management softwareintensiver Eingebetteter Systeme



## Ziel- und szenariobasiertes Requirements Engineering für softwareintensive Systeme

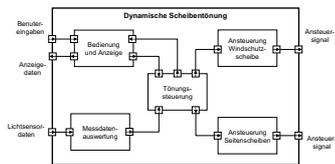
### 1. Schritt: Entwicklung eines Zielmodells und eines Szenariomodells auf der Abstraktionsstufe Gesamtsystem



- Ein Zielmodell bietet einen Überblick über die geforderten Systemeigenschaften

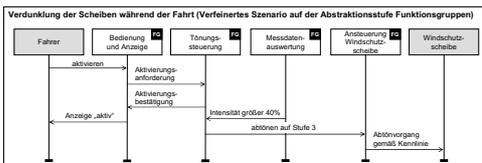
- Ein Szenariomodell dokumentiert die geforderten Interaktionen des Systems mit der Umgebung

### 2. Schritt: Entwurf einer initialen, groben Systemarchitektur basierend auf den Anforderungen (Abstraktionsstufe Funktionsgruppen)



- Das Architekturmodell definiert eine logische Partitionierung der Systemfunktionalität in „Funktionsgruppen“

### 3. Schritt: Verfeinerung der Anforderungsmodelle und des Architekturmodells (Abstraktionsstufe Funktionsgruppen)



- Systemanforderungen werden den Funktionsgruppen zugeordnet und verfeinert



## 8.6 „Erkennung von Feature Interactions auf Nutzungsebene“



Leitfaden für modellbasiertes Requirements Engineering und Management softwareintensiver Eingebetteter Systeme



# Erkennung von Feature Interactions auf Nutzungsebene

## Modellierung von Abhängigkeiten

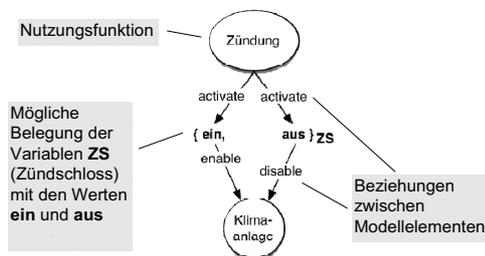
### Problemstellung

- Hohe Komplexität (multifunktionaler) Systeme
- Hohe Anzahl von Abhängigkeiten zwischen Funktionen

Notwendigkeit der **Erkennung aller Zusammenhänge** zwischen Funktionen bereits **in der frühen Phase** der Software-Entwicklung

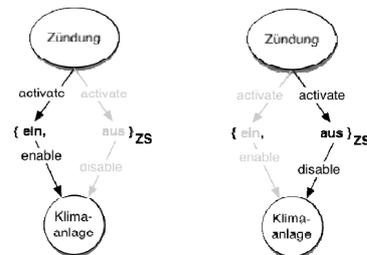
### Lösung

1. Modell zur Darstellung von Nutzungsbeziehungen zwischen Nutzungsfunktionen und Belegungen von Zustandsvariablen aus Sicht des Nutzers (Quelle: Anforderungsdokumente)



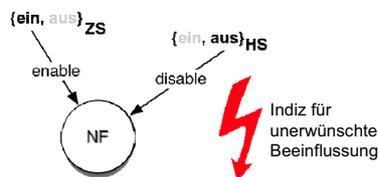
2. Bildung von Instanzen aus dem Modell

Generierung möglicher Kombinationen von Zustandsbelegungen in Abhängigkeit der Beziehungen



3. Analyse der gebildeten Instanzen

Beispiel für eine problematische Konstellation innerhalb einer Instanz

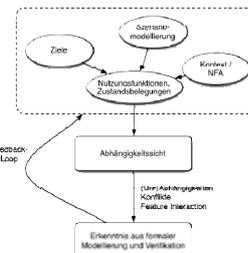


Nutzungsfunktion **NF** soll abhängig vom Wert **ZS.ein** zur Nutzung freigegeben werden, jedoch in Abhängigkeit von **HS.aus** zur Verwendung gesperrt werden.

**ZS** kann entweder den Wert **ein** oder **aus** besitzen. Davon abhängig kann die Funktion ‚Klimaanlage‘ zur Nutzung freigegeben (enable) oder gesperrt (disable) werden. Die Instanzenbildung erfolgt werkzeuggestützt.

4. Feedback

Erkenntnisse aus der Analyse werden dazu verwendet, die Anforderungsdokumente zu verbessern.



# 8.7 „Transition von Gesamtsystem auf Subsystem“



Leitfaden für modellbasiertes Requirements Engineering und Management softwareintensiver Eingebetteter Systeme

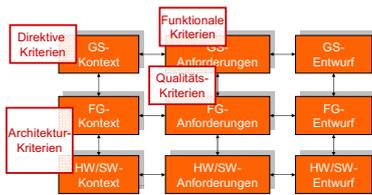


## Transition von Gesamtsystem auf Subsysteme

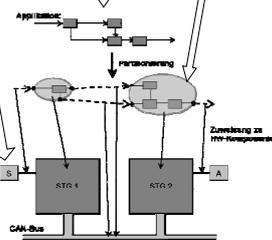
### Problemstellung

- Verstehe Übergang Gesamtsystem – Subsysteme
- Separate Betrachtung von Subsystemen für Vergabe von Entwicklungsaufträgen und Wiederverwendung

### Artefaktmodell



Dekompositionskriterien bestimmen die Transition von Gesamtsystem auf Subsysteme (FG)

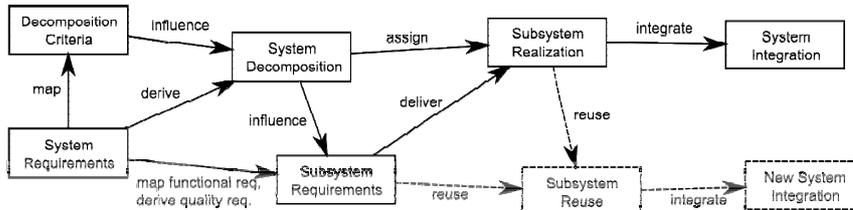


### Modellierung der Subsystemgrenzen

- **Funktionalität**
  - Angebotene Dienste
  - Benötigte Dienste
- **Konformität**
  - Standards, Gesetze, Geschäftsregeln
- **Kompatibilität**
  - Kompatibilität
    - Semantik und Syntax
    - Kommunikation: Modus und Format
    - Datenfluss: Typen, Wertebereiche, Stepping
  - Qualität
    - Ressourcen
    - Echtzeitbedingungen
    - Zuverlässigkeit
  - Variabilität

| Subsystemgrenzen        |                                   |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Name des Systems        | <Beschreibender Name des Systems> |
| Zweck / Hauptaufgabe    | <Kurzbeschreibung>                |
| Interface               |                                   |
| Provided services       | <angebotene Dienste>              |
| Required services       | <benötigte Dienste>               |
| Konformität             | <Normative Links>                 |
| Business Kontext        | <Company-specific Links>          |
| Stakeholder Kontext     | <System-specific Links>           |
| Operationaler Kontext   | <Links>                           |
| Kompatibilität          | <Syntax Links>                    |
| Datenfluss              | <Semantik Links>                  |
| Technische Bedingungen  | <Constraints Links>               |
| Qualitative Bedingungen | <Links>                           |

### Prozess



Autor: B. Penzenstadler © REMSES-Konsortium: Robert Bosch GmbH - Daimler AG - Technische Universität München - Universität Duisburg-Essen

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Bericht beschreibt die Arbeiten und Ergebnisse des vom BMBF geförderten Forschungsprojekts REMsES, das im Rahmen der Forschungsoffensive Software Engineering 2006 durchgeführt wurde. Das Hauptergebnis von REMsES ist ein praxisnaher Leitfaden für das Requirements Engineering softwareintensiver, eingebetteter Systeme.

Der Bericht gliedert sich anhand der Arbeitspakete des Projektes und beschreibt die Anforderungsanalyse für den Leitfaden, die erarbeiteten Grundprinzipien für den Leitfaden, den Leitfaden selbst, die Evaluierung des Leitfadens in Workshops, Experimenten und Fallstudien, sowie die Entwicklung spezifischer Erweiterungen für den Leitfaden. Als Abrundung wurden die Forschungsschwerpunkte anhand einer kurzen Posterpräsentation illustriert.

In REMsES wurden zunächst Anforderungen an den Leitfaden aus industrieller Sicht spezifiziert: Der Leitfaden sollte die Spezifikation von Systemen als auch Detail-Anforderungen an bestehenden Softwarekomponenten ermöglichen. Der Leitfaden hat diese Anforderung umgesetzt, indem eine Reihe von Grundprinzipien umgesetzt wurden: Die explizite Berücksichtigung der Systemzerlegung, die Unterscheidung zwischen Problem- und Lösungsraum, Modellbasierung, und Artefaktbasierung.

Für die Systemzerlegung wurden drei verschiedene Abstraktionsebenen eingeführt, diese sind Gesamtsystemebene, Funktionsgruppenebene und Hardware/Software-Ebene. Zur Unterscheidung zwischen Problem- und Lösungsraum wurden drei Inhaltskategorien definiert, bezeichnet als Kontext, Anforderungen und Design, die über die drei Ebenen hinweg die grobe Strukturierung der Inhalte vorgeben. Diese Struktur ist die Basis für das Artefaktmodell, das modellbasierte Artefakte inklusive Beschreibung von zugehörigen Notationstechniken und Methoden im Leitfaden zur Verfügung stellt, und damit die Prinzipien Modellbasierung und Artefaktbasierung umsetzt.

Zudem muss der Leitfaden einfach in bestehende Prozesse integriert werden können. Um diese Anforderung zu ermöglichen, enthält REMsES eine Vielzahl von Vorlagen und Artefakten, die unternehmensspezifisch angepasst werden können.

Der Leitfaden, der dem Entwickler das Spezifizieren erleichtern soll, beschreibt das Artefaktmodell und die Methoden an einem durchgängigen Beispiel und ist unter <http://www.remses.org> frei verfügbar.

Das Forschungsprojekt SPES (Software Platform Embedded Systems), das zum Zeitpunkt der Entstehung dieses Technischen Berichts das Schlüsselprojekt in der deutschen Forschung zum Thema Engineering-Theorien für eingebettete Systeme ist, hat sich die Entwicklung einer ganzheitlichen domänenunabhängigen Entwicklungsplattform für eingebettete Systeme zum Ziel gesetzt. Aus der SPES-Perspektive ist der REMsES-Ansatz mit seinen Prinzipien, Techniken, Methoden und seiner Werkzeugunterstützung eine signifikante domänenspezifische Vorleistung. Derzeit wird der REMsES-Ansatz als Teil des SPES-Projektes verallgemeinert und für ein breiteres Spektrum von Domänen erweitert.

# 10 Veröffentlichungen des REMsES-Projekts

— REMsES Ergebnisberichte —

- [REMsES 2005] Wußmann, H.; Diestelmann, M.; Pohl, K.; Broy, M.; Houdek, F.: Leitfaden für modellbasiertes Requirements Engineering und -Management softwareintensiver Eingebetteter Systeme (REMsES), Vorhabensbeschreibung im Rahmen der Forschungsoffensive „Software Engineering 2006“, Eningen 2005.
- [REMsES 2006] Bramsiepe, N.; Grünbauer, J.; Halmans, G.; Heumesser, N.; Houdek, F.; Omasreiter, H.; Sitou, W.; Weyer, T.: Stand von Praxis und Wissenschaft und Anforderungen an den Leitfaden, D-1.2, REMsES-Konsortium, Essen et al., 2006
- [REMsES, 2007a] Bramsiepe, N.; Broy, M.; Geisberger, E.; Grünbauer, J.; Halmans, G.; Penzenstadler, B.; Pohl, K.; Schmidt, T.; Sikora, E.; Sitou, W.; Weyer, T.: REMsES-Positionspapier - Kernbestandteile des Leitfadens, Zielsetzungen und Forschungsfragestellungen, Essen, München, 2007
- [REMsES 2007b] Bramsiepe, N.; Geisberger, E.; Grünbauer, J.; Houdek, F.; Knee, C.; Metzker, E.; Omasreiter, H.; Sikora, E.; Sitou, W.; Weyer, T.: Top-Level-Vorgehensmodell und Umfeldmodell, D-2.1, REMsES-Konsortium, Essen et al., 2007
- [REMsES 2007c] Bramsiepe, N.; Geisberger, E.; Grünbauer, J.; Halmans, G.; Penzenstadler, B.; Schmidt, T.; Sikora, E.; Sitou, W.; Weyer, T.: Grobes Produktmodell inklusive der Abstraktionsebenen zur Strukturierung und Modellierung von Anforderungen, D-2.2, REMsES-Konsortium, Essen et al., 2007
- [REMsES 2007d] Bramsiepe, N.; Grünbauer, J.; Halmans, G.; Knee, C.; Leuser, J.; Metzker, E.; Sikora, E.; Sitou, W.; Weyer, T.: Ausarbeitung des Leitfadens auf Abstraktionsstufe "Gesamtsystem", D-3.1, REMsES-Konsortium, Essen et al., 2007
- [REMsES 2007e] Dietrich, K.: Illustrator "Dynamische Scheibentönung (DST)", REMsES-Konsortium, Stuttgart, 2007
- [REMsES 2007f] Rischard, S.; Illustrator "Radio-Frequenz-Warner (RFW)"; REMsES-Konsortium, Stuttgart, 2007
- [REMsES 2008a] Bramsiepe, N.; Grünbauer, J.; Penzenstadler, B.; Schmidt, T.; Lochmann, K.; Sikora, E.; Weyer, T.: Ausarbeitung des Leitfadens auf Ab-

straktionsstufe "Funktionsgruppen", D-3.2, REMsES-Konsortium, Essen et al., 2008

[REMsES 2008b] [Bramsiepe, N.](#); [Braun P.](#); [Lochmann, K.](#); [Penzenstadler, B.](#); [Philipps, J.](#); [Sikora, E.](#); [Weyer, T.](#): Ausarbeitung des Leitfadens auf der Abstraktionsebene „Hardware/Software“, D-3.3, REMsES-Konsortium, Essen et al., 2008

[REMsES 2008c] [Bramsiepe, N.](#); [Lauenroth, K.](#); [Weyer, T.](#): Ergänzung des REMsES-Leitfadens für die Produktlinienentwicklung, D-7.2.1, REMsES-Konsortium, Essen, 2008

[REMsES 2008d] [Metzker, E.](#): Anforderungsdokumentation für die Umsetzung des Leitfadens in ein Werkzeug, D-7.3.1, REMsES-Konsortium, Stuttgart, 2008

[REMsES 2009] [Kirchmayr, M.](#); [Müller, M.](#); [Penzenstadler, B.](#); [Sikora, E.](#); [Weyer, T.](#): Essenzieller REMsES-Leitfaden, D-5.2.1, REMsES-Konsortium, Essen et al., 2009

[REMsES 2009a] [Bechter, M.](#); [Braun, P.](#); [Philipps, J.](#): Auftraggeber-/Auftragnehmer-Beziehungen – Integrierbarkeit von Zuliefererartefakten, D-7.1, REMsES-Konsortium, München, 2009

[REMsES 2009b] [Braun, P.](#); [Philipps, J.](#); [Penzenstadler, B.](#): Anwendung des Leitfadens auf Werkzeuge im REM – Werkzeugkonzept, D-7.3, REMsES-Konsortium, München, 2009

– Konferenzen, Workshops, Zeitschriften –

[Bramsiepe et al. 2008] [Bramsiepe, N.](#); [Sikora, E.](#); [Pohl, K.](#): Ableitung von Systemfunktionen aus Zielen und Szenarien, GI-FG-Treffen, Berlin, Dezember 2007, Softwaretechnik-Trends, Jg. 2008, Nr. 1.

[Geisberger et al. 2009] [Geisberger, E.](#); [Kirchmayr, M.](#); [Müller, M.](#); [Weyer, T.](#): Entwicklung eines Praxisleitfadens für das modellbasierte Requirements Engineering softwareintensiver eingebetteter Systeme, In: Softwaretechnik-Trends, 29:1

[Grünbauer 2008] [Grünbauer, J.](#): Feature Interactions auf Nutzungsebene – Modellierung und Analyse der Abhängigkeiten, GI-FG-Treffen, Berlin, Dezember 2007, Softwaretechnik-Trends, Jg. 2008, Nr.

- [Lauenroth u. Pohl 2007a] [Lauenroth, K.; Pohl, K.](#): Towards Automated Consistency Checks of Product Line Requirements Specifications, In: ACM/IEEE Intl. Conference on Automated Software Engineering (ASE'07), November 2007, S. 373-37
- [Lauenroth u. Pohl 2007b] [Lauenroth, K.; Pohl, K.](#): Ein Rahmenwerk zur Konsistenzprüfung von Domänenanforderungsspezifikationen in der Produktlinienentwicklung, In: Herrmann, K.; Brügge, B. (Hrsg.) Proceedings Software Engineering 2008 (München, 18.-22. Februar, 2008), LNI Nr. 121, Gesellschaft für Informatik, 2008, S. 169-182
- [Lauenroth u. Pohl 2008] [Lauenroth, K.; Pohl, K.](#): Dynamic Consistency Checking of Domain Requirements in Product Line Engineering, In: Tamai, T.; Franch, X. (Hrsg.) Proceedings of the 16th IEEE International Requirements Engineering Conference. IEEE Computer Society, Los Alamitos, 2008, S. 193-20
- [Leuser et al. 2009] [Leuser, J.; Porta, N.; Bolz, A.; Raschke, A.](#): Empirical Validation of a Requirements Engineering Process Guide, 13th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE), 2009.
- [Menzel et al. 2009] [Menzel, I.; Gross, A.; Leuser, J.; Müller, M.](#): Experiment zum Vergleich des Use-Case und Funktionsorientierten Spezifikationsansatzes mit 11 Studenten der Universität Kaiserslautern, GI-Fachgruppen-Treffen Requirements Engineering.
- [Penzenstadler 2008] [Penzenstadler, B.](#): Tackling Automotive Challenges with an Integrated RE & Design Artifact Model. Intl. Workshop on System/Software Architecture, November 2008.
- [Penzenstadler u. Koss 2008] [Penzenstadler, B.; Koss, D.](#): High Confidence Subsystem Modelling in Reuse, In: Proceedings of Intl. Conf. on Software Reuse (ICRE'08). LNCS 5030, Springer, Berlin, 2008, S. 52-63
- [Penzenstadler u. Leuser 2008] [Penzenstadler, B.; Leuser, J.](#): Complying with Law for RE in the Automotive Domain, In: Proc. 16th IEEE Intl. Requirements Engineering Conf. IEEE Computer Society, First International Workshop on Requirements Engineering and Law, Barcelona, 2008.
- [Penzenstadler et al. 2009] [Penzenstadler, B.; Sikora, E.; Pohl, K.](#): Guiding Requirements Modelling in the Embedded Systems Domain with an Artefact Reference Model, REFSQ - International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality, Juni 2009.

- [Pohl u. Sikora 2007a] [Pohl, K.](#); [Sikora, E.](#): Eine Methode für das Co-Design von Anforderungs- und Entwurfsartefakten, In: Bleek, W.-G.; Raasch, J.; Züllighoven, H. (Hrsg.) Proceedings Software Engineering 2007 (Hamburg, 27.-30. März, 2007), LNI Vol. 105, Gesellschaft für Informatik, Bonn 2007, S. 259-260
- [Pohl u. Sikora 2007b] [Pohl, K.](#); [Sikora, E.](#): Structuring the Co-design of Requirements and Architecture, In: Sawyer, P.; Paech, B.; Heymans, P. (Hrsg.) Proceedings of Requirements Engineering: Foundation for Software Quality, 13th Intl. Working Conference, REFSQ 2007 (Trondheim, Norway, June 11-12, 2007), LNCS 4542, Springer, Heidelberg 2007, S. 48-62
- [Pohl u. Sikora 2007c] [Pohl, K.](#); [Sikora, E.](#): COSMOD-RE: Supporting the Co-Design of Requirements and Architectural Artifacts, In: Proc. 15th IEEE Intl. Requirements Engineering Conf. IEEE Computer Society, 2007, S. 258-261
- [Weyer u. Pohl 2008] [Weyer, T.](#); [Pohl, K.](#): Eine Referenzstrukturierung zur modellbasierten Kontextanalyse im Requirements Engineering softwareintensiver eingebetteter Systeme, In: Kühne, T.; Steimann, F. (Hrsg.) Tagungsband zur Modellierung 2008 (Berlin, März 2008), LNI Nr. 127, Gesellschaft für Informatik, 2008, S. 181-196
- [Pohl 2009] [Pohl, K.](#): Requirements Engineering für Eingebettete Systeme - Erfahrungen im SE 2006 Verbundprojekt REMsES, Keynote-Vortrag, B-IT Software Engineering Symposium, Bonn 2009.
- [Rinke u. Weyer 2007] [Rinke, T.](#); [Weyer, T.](#): Defining Reference Models for Modelling Qualities - How Requirements Engineering Techniques can Help, In: Sawyer, P.; Paech, B.; Heymans, P. (Hrsg.) Proceedings of Requirements Engineering: Foundation for Software Quality, 13th Intl. Working Conference, REFSQ 2007 (Trondheim, Norway - June 11-12, 2007), LNCS, 4542, Springer, Heidelberg 2007
- [Weyer 2009] [Weyer, T.](#): REMsES - Ein Praxisleitfaden für das modellbasierte Requirements Engineering softwareintensiver eingebetteter Systeme, In: Tagungsband zur 8. Requirements Engineering Tagung (REConf'09), HOOD Group & German Chapter of INCOSE, München März 2009