

# TUM

INSTITUT FÜR INFORMATIK

## Traceability - Aktuelle Herausforderungen in der Systementwicklung im Automobilsektor

Thomas Reiß



TUM-I0810

April 08

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

TUM-INFO-04-I0810-0/0.-FI

Alle Rechte vorbehalten

Nachdruck auch auszugsweise verboten

©2008

Druck:            Institut für Informatik der  
                  Technischen Universität München

# Abstract

An increasing number of mechatronical systems, a rising functional range of the systems as well as the trend of more interacting embedded systems in automotive development makes it difficult, to keep quality standards on a high level. Besides, more and more systems are developed for safety-relevant applications in the automotive environment. For these reasons - quality and safety - a structured process of development is necessary, with requirements engineering as a core concept.

In this technical report requirements traceability is elaborated as a key feature in automotive system engineering. Based on an extensive analysis of literature as well as industrial experiences, existing requirements traceability approaches are presented. Focusing on the application in automotive system engineering, challenges for research in context of requirements traceability are identified.

**Keywords:** Automotive System Engineering, Requirements Engineering, Requirements Traceability



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Entwicklung der Automobilindustrie . . . . .	1
1.2	Ausgangssituation . . . . .	1
1.3	Herausforderung Anforderungsmanagement . . . . .	2
1.4	Ziel und Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Systementwicklung im Automobilsektor</b>	<b>5</b>
2.1	Entwicklungsprozess . . . . .	6
2.1.1	Rahmenbedingungen . . . . .	6
2.1.2	Entwicklungsablauf . . . . .	8
2.1.3	Entwicklungsmodelle . . . . .	11
2.1.4	Unterstützende Prozesse . . . . .	13
2.2	Anforderungsmanagement . . . . .	20
2.2.1	Begriffsbildung . . . . .	20
2.2.2	Verfolgbarkeit . . . . .	21
2.3	Anforderungsmanagement und Verfolgbarkeit in der Systementwicklung	29
<b>3</b>	<b>Ansätze zur Verfolgbarkeit</b>	<b>31</b>
3.1	Ansätze der Prä-Verfolgbarkeit . . . . .	31
3.1.1	Wer: Informantenstruktur . . . . .	32
3.1.2	Wie: Ablauf und Methoden der Anforderungsfestlegung . . . . .	32
3.1.3	Weshalb: Dokumentation von Entscheidungen . . . . .	35
3.2	Ansätze der Post-Verfolgbarkeit . . . . .	35
3.2.1	Automobilhersteller: Post-Verfolgbarkeit bei der Audi AG . . . . .	35
3.2.2	Weitere Beispiele zur Post-Verfolgbarkeit . . . . .	39
3.2.3	Zusammenfassung der Praxisberichte . . . . .	40
3.3	Ansätze zur automatisierten Abhängigkeitsermittlung . . . . .	41
3.3.1	Informationsrückgewinnung . . . . .	41
3.3.2	Regelbasiertes Vorgehen . . . . .	42
3.4	Referenzmodelle . . . . .	43
3.4.1	AM-Referenzmodelle . . . . .	43
3.4.2	Referenzmodell & unterstützende Aktivitäten . . . . .	44
3.4.3	Einordnung der Referenzmodelle . . . . .	45

*Inhaltsverzeichnis*

<b>4 Herausforderungen zur Verfolgbarkeit</b>	<b>47</b>
4.1 Prä-Verfolgbarkeit . . . . .	47
4.1.1 Zusammenfassung . . . . .	47
4.1.2 Herausforderungen . . . . .	47
4.2 Post-Verfolgbarkeit unter Berücksichtigung von Automatisierung und Referenzmodellen . . . . .	48
4.2.1 Zusammenfassung . . . . .	48
4.2.2 Herausforderungen . . . . .	49
<b>5 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>51</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>52</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Entwicklung der Automobilindustrie

Software- und mechatronische Systeme beeinflussen die Weiterentwicklung der Automobile wesentlich. Beispiele hierfür sind Navigationssystem, Spurwechselassistent, adaptives Geschwindigkeitsregelungssystem ebenso wie Fahrwerkregelsysteme wie z.B. Aktivlenkung oder geregelte Allradssysteme. Die Anzahl solcher Fahrerassistenzsysteme ist in den vergangenen Jahren stetig gestiegen und wird auch in Zukunft weiter zunehmen. Damit steigt die Komplexität bei der Integration und Vernetzung der Systeme im Fahrzeug.

Die steigende Verwendung von mechatronischen Systemen führt dazu, dass immer speziellere Funktionalitäten im Fahrzeug mittels SW realisiert werden. Dies führt dazu, dass die Komplexität der einzelnen Systeme zunimmt. Darüberhinaus erhalten mechatronische Systeme immer stärker in Bereiche des Fahrzeugs Einzug, in denen ein Fehlverhalten oder der Ausfall des Systems zu Gefahrensituationen führen können.

Neben der Entwicklung neuer Systeme wird immer stärker das Ziel verfolgt, ein Zusammenspiel der – im ersten Schritt autark entwickelten – Systeme umzusetzen. Über die Funktionsvernetzung soll eine weitere Optimierung der Fahrzeugeigenschaften erreicht werden. Allerdings hat dies auch zur Folge, dass die Komplexität der interagierenden Systeme zunimmt.

Bedingt durch die eben dargestellten Tendenzen wird es immer schwieriger, die Sicherheit zu gewährleisten und einen gleichbleibend hohen Qualitätsstandard sicherzustellen. Die Einhaltung von Entwicklungsprozessen trägt dazu bei, sowohl die Qualität der Systeme trotz wachsender Komplexität auf gleich bleibend hohem Niveau zu halten, als auch die Sicherheit der Systeme gewährleisten zu können. Dies spiegelt sich auch in der Forderung nach einem nachweisbaren strukturierten Vorgehen in der Entwicklung durch Normen wie ISO/IEC 15504 [35] bzw. DIN EN 61508 [33] wieder.

## 1.2 Ausgangssituation

Auf Grund der Historie trifft man in der Automobilindustrie auf eine im Wesentlichen durch HW-Entwicklungen geprägte Prozesslandschaft. Da die Entwicklung mechatronischer Systeme einen anderen Umfang an Prozessaktivitäten erfordert, als eine reine HW-Entwicklung, muss die bestehende Prozesslandschaft um Konzepte der SW-Entwicklung erweitert werden.

Bei Lieferanten die bereits mit den ersten mechatronischen Systemen im Automobil mit der SW-Entwicklung begonnen haben, ist eine Erweiterung der Entwicklungsaktivitäten bereits teilweise erfolgt. Dabei wurde das Hauptaugenmerk darauf gelegt, die

## 1 Einleitung

zwingend erforderlichen Aktivitäten zu ergänzen. Daraus ist eine Prozesslandschaft entstanden, die die Entwicklung mechatronischer Systeme ermöglicht, nicht jedoch in allen Bereichen unterstützt. Die angewendeten Konzepte und Methoden decken einzelne Prozessaktivitäten ab, ein Gesamtkonzept für die Entwicklungsabläufe und damit eine effiziente Entwicklungsumgebung ist nicht gegeben.

Neben Lieferanten mit Erfahrung in der Entwicklung mechatronischer Systeme folgen immer mehr Zulieferer dem Trend der Mechatronisierung und steigen in die SW-Entwicklung ein. Ebenso wird auch bei OEM's der Einstieg in die SW-Entwicklung vollzogen. Die Automobilhersteller verfolgen das Ziel, markenprägende SW-Komponenten selbst zu entwickeln um eine Abgrenzung zu Mitbewerbern sicherzustellen und die Systeme optimal auf die eigenen Produkte anpassen zu können [84]. Der Einstieg in die SW-Entwicklung erfordert, dass die Anpassung des Entwicklungsprozesses gut konzipiert und zügig erfolgt.

Um „Einsteiger“ in die Entwicklung mechatronischer Systeme bei der Anpassung bzw. erfahrene Unternehmen in der Entwicklung SW-basierter Systeme bei der Optimierung der Prozesslandschaft zu unterstützen, muss für alle Bereiche der Entwicklung eine entsprechende Wissensbasis erarbeitet und bereitgestellt werden. Dies schließt Betrachtungen zum Anforderungsmanagement mit ein.

### 1.3 Herausforderung Anforderungsmanagement

Unter Anforderungsmanagement (AM, Requirements Engineering) wird der Teilbereich des Entwicklungsprozesses verstanden, der sich mit der Festlegung und Verwaltung von Anforderungen befasst. Von den grundlegenden Ideen zum System über die Festlegung der Anforderungen bis hin zum Nachweis der korrekten Realisierung am Ende der Entwicklung erfolgen über den gesamten Entwicklungszeitraum Aktivitäten des AM's. Durch die Anforderungsverwaltung werden Informationen zu Anforderungen bereitgestellt, die für unterstützenden Prozessen relevant sein können oder aus selbigen resultieren. Somit stellt die Anforderungsverwaltung über den gesamten Entwicklungszeitraum eine Datengrundlage für unterstützende Prozesse bereit. Um die Zuordnung der Informationen zu den Anforderungen treffen zu können, ist es erforderlich über den Lebenszyklus einer Anforderung hinweg Abhängigkeiten zwischen Anforderung und weiteren Entwicklungsartefakten zu erkennen, zu erfassen und zur Nutzung zur Verfügung zu stellen. Dies ist die Aufgabe der Verfolgbarkeit (RT, Requirements Traceability).

Besondere Wichtigkeit erlangt die Erfassung der Abhängigkeitsinformationen in Projekten an denen eine große Anzahl an Entwicklern beteiligt ist. In diesem Fall ist es nur noch schwer möglich, erforderliche Informationen vom zuständigen Entwickler in annehmbarer Zeit einzuholen. Erschwert wird dies zumeist durch eine verteilte Entwicklung, die unterschiedliche Arbeitszeiten, Sprachen, etc. mit sich bringt [89].

Große Projekte zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine enorme Anzahl an Anforderungen realisieren. Daher ist es auf Grund der großen Anzahl an Artefakten und Abhängigkeiten zu Anforderungen, nicht möglich aber auch nicht sinnvoll, alle Verfolgbarkeitsinformationen zu erfassen. Hier gilt es festzulegen, für welchen Nutzen unter



Einsatz welcher Methoden welcher Umfang an Verfolgbarkeitsinformationen in einem Projekt erfasst werden kann.

## **1.4 Ziel und Aufbau der Arbeit**

Erfahrungen aus der Automobilindustrie zeigen, dass die Verfolgbarkeit zumeist keine umfassende bzw. keine erfolgreiche Anwendung findet. Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit Konzepte aus Wissenschaft und Praxis zur Verfolgbarkeit vorgestellt und diskutiert. Herausforderungen, die sich für die Verfolgbarkeit speziell im Automobilsektor ergeben, werden dabei abgeleitet.

Um Ansätze zur Verfolgbarkeit hinsichtlich der Anwendung im Automobilsektor zuzuordnen und bewerten zu können, erfolgt im 2. Kapitel eine Beschreibung des automobilen Entwicklungsprozesses. Vor dem Hintergrund, dass unterstützende Prozesse eine Quelle für Informationen zu Anforderungen darstellen, erfolgt eine kurze Beschreibung selbiger sowie des Zusammenspiels. Weiter wird der Begriff Anforderungsmanagement sowie verwandte Begriffe wie die Verfolgbarkeit eingeführt. Für unterschiedlichen Typen der Verfolgbarkeit werden in Kapitel 3 bestehende Ansätze vorgestellt. Kapitel 4 dient der Herausarbeitung von Handlungsfeldern zur Verfolgbarkeit im Automobilsektor. Dabei werden die Ergebnisse aus Literaturrecherche und Erfahrungsberichten zusammengefasst.

## *1 Einleitung*

## 2 Systementwicklung im Automobilsektor

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie die Entwicklung eines Systems in der Automobilbranche erfolgt. Dabei wird unter einem System folgendes verstanden:

**Definition 2.1:** Ein *System* ist eine logische Abgrenzung einer Gruppe von Komponenten von ihrer *Umgebung*. Das *Systemverhalten* ist die Abbildung von *Eingangsgrößen* auf *Ausgangsgrößen*. Eingangs- und Ausgangsgrößen bilden die *Schnittstelle*<sup>1</sup> des Systems (vgl. Abbildung 2.1).

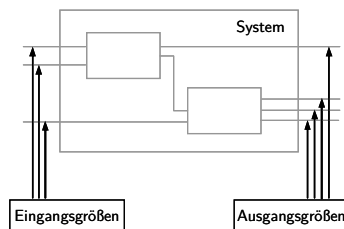


Abbildung 2.1: System

Ein System soll zusätzlich zum Verhalten auch Eigenschaften wie z.B. Qualität, Bedienbarkeit, etc. erfüllen. Das geforderte Verhalten sowie die geforderten Eigenschaften bezeichnet man als *Anforderungen* an das System. In [32] wird der Begriff der Anforderung folgendermaßen definiert:

**Definition 2.2:** Eine *Anforderung* ist

1. Eine Bedingung oder Eigenschaft, die ein Nutzer für ein Produkt oder einen Prozess fordert, um ein Problem zu lösen oder ein Ziel zu erreichen.
2. Eine Bedingung oder Eigenschaft, die ein System aufweisen muss, um einen Vertrag, einen Standard, eine Spezifikation oder andere formal vorgegebene Dokumente zu erfüllen.
3. Eine dokumentierte Repräsentation einer Bedingung oder Eigenschaft wie in 1 oder 2 definiert.

---

<sup>1</sup>Schnittstellen können statisch und dynamisch sein. In dieser Arbeit wird von statischen Schnittstellen ausgegangen.

Für den Begriff der Anforderung werden in der Literatur [61, 70] zahlreiche Klassifizierungsmöglichkeiten vorgeschlagen. Eine häufig vorgenommene Unterteilung ist die in *funktionale* und *nicht-funktionale Anforderungen*. Dabei wird unter einer funktionalen Anforderung eine Anforderung verstanden, die das System-Verhalten beschreibt. Wird durch die Anforderung kein Verhalten beschrieben, so wird die Anforderung als nicht-funktional bezeichnet.

Um das System mit Anforderungen zu beschreiben und eine erfolgreiche Realisierung zu gewährleisten ist die Durchführung des Anforderungsmanagements, eines (Produkt-) Entwicklungsprozesses und unterstützender Prozesse erforderlich. Diese werden im Folgenden beschrieben.

### 2.1 Entwicklungsprozess

Die Umsetzung der Anforderungen mittels eines einheitlichen, teamorientierten und strukturierten Vorgehens unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte ist das Ziel der System- und Softwareentwicklung (Systems and Software Engineering). Der Umfang der Aktivitäten, die Reihenfolge und die verantwortlichen Rollen, werden durch den Entwicklungsprozess festgelegt. Dabei erfolgt eine Adaption von Prozessmodellen wie dem V-Modell [19], dem V-Modell XT [13] oder dem Rational Unified Process (RUP) [85] auf die Rahmenbedingungen unter der die Systementwicklung durchgeführt wird. Im Zuge der Festlegung des Entwicklungsprozesses wird häufig eine Unterteilung in produktspezifische und unterstützende Aktivitäten vorgenommen [3, 8, 81]. Auch in dieser Arbeit erfolgt eine solche Unterteilung. Dabei wird die Festlegung getroffen, dass einerseits der Entwicklungsprozess die produktbezogenen Aktivitäten, die unterstützenden Prozesse andererseits die unterstützenden Aktivitäten beschreiben. Dieses Kapitel liefert einen Überblick über Rahmenbedingungen (Abschnitt 2.1.1), dem daraus resultierenden Entwicklungsprozess (Abschnitt 2.1.2), sowie den unterstützenden Prozessen (Abschnitt 2.1.4) für eine Systementwicklung im Automobilssektor.

#### 2.1.1 Rahmenbedingungen

Bei der Entwicklung im Automobilssektor ist eine Reihe von Domänenspezifika zu berücksichtigen [66, 72]. Einige davon werden im Folgenden aufgelistet:

**Systemumgebung** Eine wesentliche Herausforderung einer Systementwicklung im Automobilssektor ergibt sich aus der Tatsache, dass das System in das Fahrzeug integriert werden muss. Diese Systemumgebung hat, durch eine über Jahrzehnte hinweg stattfindende Weiterentwicklung, eine enorme Komplexität erreicht. Durch die steigende Anzahl mechatronischer Systeme sowie die zunehmende Vernetzung der Systeme wird die Komplexität weiter zunehmen. In dieser Umgebung ein System zu entwickeln wird zusätzlich durch eine inhomogene Dokumentation erschwert. Die Informationen über bereits existierende Systeme im Automobil weisen meist große Unterschiede im Detaillierungsgrad auf. Auch die Form der Dokumentation ist zumeist nicht einheitlich. Dies hat zur Folge, dass Schnittstellen zu weiteren Systemen mit großem Aufwand

herausgearbeitet werden müssen. Eine detaillierte Aussage über das Zusammenspiel der Systeme kann im Allgemeinen kaum abgeleitet werden. Dies ist unter anderem ein Grund, dass die Systeme autark entwickelt werden und die Abstimmung der Systeme im Fahrzeug über Parametrisierung vorgenommen wird.

**Verteilte Entwicklung** Die im Automobilssektor entwickelten Systeme setzen sich üblicherweise aus unterschiedlichen Komponenten zusammen. Um die Entwicklung erfolgreich zu bewältigen, bedarf es daher einer großen Anzahl an Experten aus verschiedenen Fachgebieten. Dies hat zur Folge, dass sich das Entwicklerteam aus Mitarbeitern unterschiedlicher Abteilungen, Standorten und Lieferanten zusammensetzt. Für eine erfolgreiche Systementwicklung ist deshalb eine intensive Abstimmung innerhalb des Entwicklerteams erforderlich.

**Nicht-funktionale Anforderungen** Der Käufer eines Fahrzeuges möchte ein Automobil, welches sich durch eine hohe Sicherheit, Verfügbarkeit und Qualität auszeichnet. Doch nicht nur der Kunde stellt Anforderungen an Sicherheit, Zuverlässigkeit und Qualität des Automobils. Auch der Gesetzgeber stellt aus Gründen wie Verkehrssicherheit, Umweltschutz und Verbraucherschutz Forderungen, die während der Systementwicklung zu beachten sind. Normen für sicherheitsrelevante Systeme wie die DIN EN 61508 [33] bzw. die ISO WD 26262 [34] sind dabei ebenso wie Normen und Richtlinien wie automotiv SPICE [83], CMMI [16], MISRA [54], die die Qualität des Produktes im Fokus haben, zu berücksichtigen. Ergänzt werden diese durch Normen zum Umweltschutz und zumeist umfangreiche Zusammenstellung an Automobilhersteller-spezifischen Normen. Aus diesen Dokumenten leitet sich eine umfassende Anzahl nicht-funktionaler Anforderungen ab.

**Funktionale Anforderungen** Auch die Erarbeitung der funktionalen Anforderungen erfolgt in der Automobilindustrie in besonderer Art und Weise. Systementwicklungen entstehen zumeist nicht durch Kundenanforderungen, sondern resultieren aus technischen Neuerungen, aus Entwicklungen von Zulieferern oder durch Entwicklungen von Mitbewerbern [2, 66]. Für diese neuen Ideen werden unterschiedliche Realisierungskonzepte entworfen, prototypisch umgesetzt und anschließend bewertet. Durch dieses Vorgehen werden für die einzelnen Konzepte die realisierbaren Anforderungen ermittelt. Mit der Festlegung auf ein Konzept, welche unter Beachtung von Zielen wie Kundenrelevanz, Markenstrategie, etc. erfolgt, wird der Umfang der umzusetzenden funktionalen Systemanforderungen festgelegt.

**Variantenvielfalt** Typisch für den Automobilssektor ist die große Anzahl an Varianten. Innerhalb eines Fahrzeugprojekts entstehen Varianten durch unterschiedliche Karosserietypen, Ausstattungen, Zielmärkte, etc. Diese Anzahl potenziert sich mit der Anzahl der Fahrzeugklassen. Am Beginn einer Entwicklung ist zumeist nicht bekannt, in welchen Varianten das System eingesetzt werden wird. Aus diesem Grund wird versucht, die Anforderungen der Systeme möglichst variabel zu gestalten. In einer Systementwicklung wird die Gesamtheit länderspezifischer Normen berücksichtigt.

Anforderungen, welche in Software umgesetzt werden, werden über die Verwendung von Parametern flexibel gestaltet. Neben der Gestaltung der Anforderungen ist die Systemarchitektur unter dem Wiederverwendungsaspekt zu entwerfen. Um evtl. erforderliche Anpassungen zügig umsetzen zu können, wird das System möglichst modular aufgebaut. Seitens des Prozesses muss die Wiederverwendung ebenfalls unterstützt werden. Dies erfordert ein Konzept, welches die Generierung von eindeutigen konsistenten Entwicklungsständen ermöglicht, welche als Basis für die Entwicklung der Variante genutzt werden können.

### 2.1.2 Entwicklungsablauf

Die Vorgehen in der Systementwicklung im Automobilssektor sind nicht standardisiert. Ein einheitlicher Entwicklungsstandard wie z.B. im Luftfahrtbereich wurde bisher nicht festgelegt. Als ein sehr häufig verwendetes Vorgehensmodell hat sich das V-Modell [19] herauskristallisiert. Dieses Vorgehensmodell wird auf Grund der Rahmenbedingungen im Automobilssektor sowie der Organisationsstrukturen von Herstellern bzw. Zulieferern angepasst. Dabei fließen Ideen aus anderen Vorgehensmodellen wie dem Spiralmodell [10], dem Rational Unified Process [85] oder dem V-Modell XT [13] ein. Beispiele für Entwicklungsprozesse aus dem Automobilssektor finden sich in [5, 6, 9]. Dort wird die Entwicklung bis zum Produktionsanlauf – wie im Automobilssektor üblich – in Vor- und Serienentwicklung unterteilt. Nach Produktionsstart erfolgt lediglich noch die kontrollierte Durchführung von Änderungen, die sich u.a. aus im Feld gefundenen Fehlern ergeben.

**Vorentwicklung** Die Vorentwicklung dient der Festlegung des Konzeptes, des Funktionsumfangs sowie der Architektur des Systems. Im Zuge der Vorentwicklung werden – im Wesentlichen – funktionale Anforderungen erarbeitet und hinsichtlich ihrer technischen Realisierbarkeit geprüft. Hierzu werden mögliche technische Realisierungsmöglichkeiten ermittelt und prototypisch umgesetzt. Dabei präsentieren Lieferanten den Automobilherstellern ihre Konzepte, die Automobilhersteller erproben diese Konzepte oder erarbeiten zusammen mit Lieferanten weitere Konzepte. Basierend auf theoretischen Betrachtungen, Simulationen sowie Messungen im Fahrzeug werden die Konzepte analysiert. Die Umsetzung und Analyse der unterschiedlichen Konzepte erfolgt dabei weitestgehend simultan, um eine minimale Entwicklungszeit zu erreichen (parallel verlaufende V's in Abbildung 2.2). Ebenfalls vor dem Aspekt kurzer Entwicklungszeiten werden im Verlaufe der Vorentwicklung nur die zur Bewertung erforderlichen Informationen dokumentiert (Schattierung in Abbildung 2.2). Dies sind zu jedem Konzept die realisierbaren Systemanforderungen, die Systemarchitektur, die Risikoeinstufung aus der Gefährdungs- und Risikoanalyse (G&RA, Kapitel 2.1.4.8) sowie die Ergebnisse der Analysen. Mit dieser Datenbasis erfolgt am Ende der Vorentwicklung ein Vergleich der Konzepte. In diesen Vergleich fließen neben den technischen Informationen auch Ziele wie Kundenrelevanz, Markenstrategie, etc. ein. Die Entscheidung für eines der Konzepte beendet die Phase der Vorentwicklung.

Zu dem entschiedenen Konzept werden Anforderungen und Systemarchitektur in Form von Lastenheften in die Serienentwicklung weitergegeben. Neben den Lastenheften

## 2.1 Entwicklungsprozess

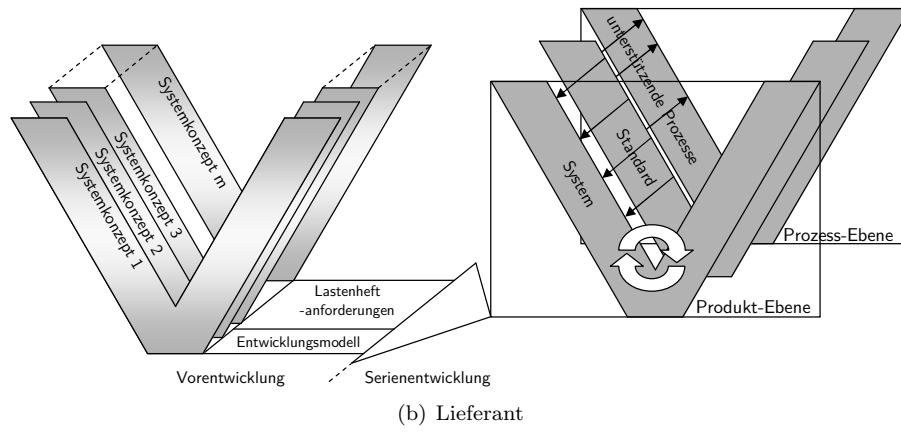
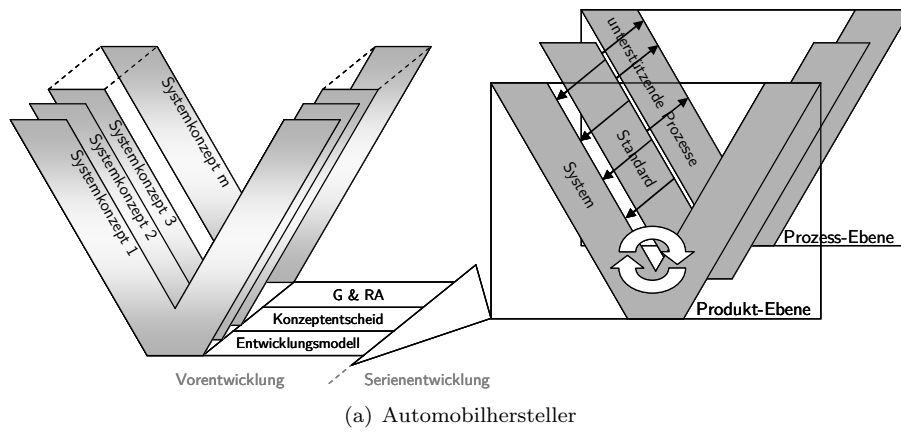


Abbildung 2.2: Entwicklungsprozess im Automobilssektor

steht in der Serienentwicklung auch der Prototyp aus der Vorentwicklung zur Verfügung. Weitere Informationen z.B. zu Entscheidungen oder Messungen aus der Vorentwicklung werden üblicherweise nicht weitergegeben.

Für die potentiellen Lieferanten dient das Lastenheft als Angebotsgrundlage. Unter betriebswirtschaftlichen Aspekten wählt der Automobilhersteller den Lieferant für die Serienentwicklung aus.

**Serienentwicklung** Ziel der Serienentwicklung ist es, den Prototyp aus der Vorentwicklung zu einem serienreifen System weiterzuentwickeln. Dieses System muss eine kundenrelevante Funktion umsetzen und dabei Verfügbarkeit und Sicherheit gewährleisten.

Dies bedeutet, dass auch die – in der Vorentwicklung nur teilweise berücksichtigten – nicht-funktionalen Anforderungen bezüglich Qualität, Sicherheit etc. zu beachten sind. Abhängig vom Typ des Teilsystems (z.B. Software, Getriebe, Steuergerät) ergibt sich jeweils ein unterschiedlicher Umfang an zu beachtenden Normen und Richtlinien. Aus diesen müssen die für das System und die Teilsysteme relevanten Anforderungen und Maßnahmen herausgearbeitet werden. Die Anforderung, ein qualitativ hochwertiges System zu entwickeln, impliziert z.B. für den Systementwicklungsprozess und die Softwareentwicklung Maßnahmen. Für den Systementwicklungsprozess wird üblicherweise die Erfüllung des SPICE Levels 2 [82] gefordert. Für das Teilsystem Software werden zur Sicherstellung der Qualität Programmierrichtlinien (z.B. MISRA [54]) verlangt.

Mit der Entwicklung der Teilsysteme werden in der Serienentwicklung verschiedene Abteilungen und Lieferanten betraut. Die Abteilungen des Automobilherstellers, die die Teilsysteme entwickeln bzw. die Entwicklung bei Lieferanten betreuen, verfügen über Expertenwissen in der Entwicklung des jeweiligen Teilsystemtyps. Insbesondere sind sie mit den zu beachtenden Normen und Richtlinien vertraut und stellen deren Umsetzung bzw. die Weitergabe der Normen und Richtlinien an den Zulieferer sicher. Die Umsetzung der Anforderungen wird durch Tests bzw. Abnahmetests überprüft. Ein großer Teil der Aktivitäten, die aus den Normen und Richtlinien resultieren, betreffen jede Serienentwicklung und werden standardmäßig durchgeführt. Neben diesen ergeben sich zumeist auch projektspezifische Anforderungen aus den Normen und Richtlinien. Umsetzung und Tests der projektspezifischen Anforderungen müssen durch den projektspezifischen Entwicklungsprozess sichergestellt werden.

In Abbildung 2.2 erfolgt in der Serienentwicklung eine Unterscheidung in ein Standard-V und ein projektspezifisches V (System-V). Das Standard-V steht für alle Entwicklungsaktivitäten, die in jeder Systementwicklung in der Serienentwicklung standardmäßig durchgeführt werden. Da das Standard-V sowohl produktbezogene Anforderungen als auch Anforderungen an unterstützende Prozesse beinhaltet, ist dieses V zwischen der Produkt-Ebene und der Prozess-Ebene positioniert. Das System-V umfasst die Weiterentwicklung und Vervollständigung der funktionalen Anforderungen, deren Umsetzung sowie Verifikation und Validierung. Auch Aktivitäten, welche produktbezogene funktionale und nicht-funktionale Anforderungen betreffen, die sich für das Projekt aus Anforderungen des Standard-V's ableiten, sind dem System-V zuzuordnen. Die Ableitung von projektspezifischen Anforderungen aus dem Standard-V



ist in Form von Pfeilen dargestellt. Da diese auch unterstützende Prozesse betreffen können, führen die Pfeile auch zum dritten V der Serienentwicklung – dem Prozess-V. Dieses steht für alle unterstützenden Aktivitäten, welche durchgeführt werden, um die Systementwicklung erfolgreich zu gestalten. Im Detail werden die unterstützenden Prozesse in Kapitel 2.1.4 betrachtet.

Noch nicht eingegangen wurde auf die kreisförmigen Pfeile im Bereich der Serienentwicklung in Abbildung 2.2. Diese deuten Iterationen in der Serienentwicklung an, welche sich aus dem hohen Abstimmungsaufwand ergeben, der auf Grund der simultanen Entwicklung der Teilsysteme durch unterschiedliche Abteilungen und Lieferanten erforderlich ist.

Im Rahmen der Konzeptentscheidung finden beim Automobilherstellern mit der G&RA und der Auswahl des Entwicklungsmodells, bei Lieferanten im Zuge der Beauftragung mit der Wahl des Entwicklungsmodells Aspekte Beachtung, welche Umfang und Verantwortlichkeiten für die Aktivitäten der Serienentwicklung festlegen. Die G&RA liefert die Sicherheitseinstufung der Systemfunktionen. Abhängig von der Einstufung ergeben sich aus der IEC 61508 (Standard-V) sowohl für das Produkt (System-V) als auch für unterstützende Prozesse (Prozess-V) Anforderungen. Durch die Wahl des Entwicklungsmodells wird festgelegt, welche Umfänge der Entwicklung beim Automobilhersteller und welche von Lieferanten durchgeführt werden. Die unterschiedlichen Entwicklungsmodelle werden im folgenden Kapitel vorgestellt.

### 2.1.3 Entwicklungsmodelle

Mögliche Entwicklungsmodelle sind die *Lieferantenentwicklung* und die *Eigenentwicklung* (Abbildung 2.3).

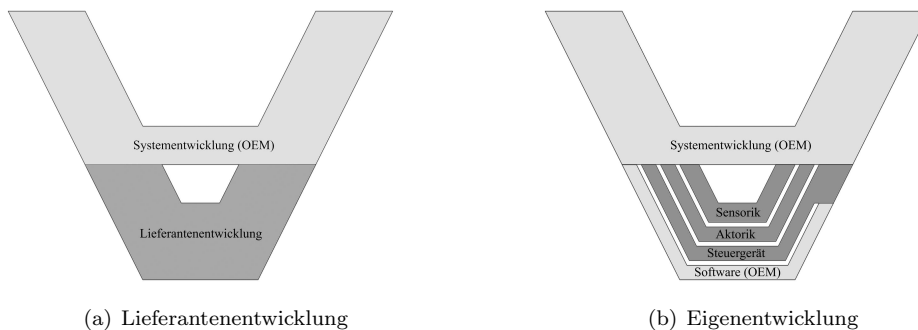


Abbildung 2.3: Entwicklungsmodelle

**Lieferantenentwicklung** Die Lieferantenentwicklung (Abbildung 2.3 (a)) ist das übliche Vorgehen eines Automobilherstellers. Bei diesem Entwicklungsmodell wird das System und die Teilsysteme bis zu einer bestimmten Zerlegungsebene vom Automobilhersteller spezifiziert. An Hand der Spezifikationen der Teilsysteme werden mit der

## 2 Systementwicklung im Automobilsektor

weiteren Entwicklung Zulieferer beauftragt. Seitens des Automobilherstellers werden die beim Lieferanten durchgeführten Aktivitäten überwacht sowie Entwicklungsaktivitäten von Lieferanten unterschiedlicher Teilsysteme abgestimmt. Nach Lieferung der Teilsysteme werden diese gegen die Spezifikation getestet. Anschließend erfolgt eine stufenweise Integration der Teilsysteme zum System, wobei im Zuge einer Integration jeweils eine Verifikation durchgeführt wird. Abschließend erfolgen die Integration des Systems in das Fahrzeug sowie Systemtests in Form von Fahrscenarien. Die für den Automobilhersteller mit geringstem Entwicklungsaufwand verbundene Variante der Lieferantenentwicklung stellt die Beauftragung eines Systemlieferanten dar. In diesem Fall muss der Automobilhersteller nur Abnahmetests durchführen und das System in das Fahrzeug integrieren.

**Eigenentwicklung** Im Gegensatz zur Lieferantenentwicklung werden bei einer Eigenentwicklung (Abbildung 2.3 (b)) für Teile des Systems alle Entwicklungsaktivitäten beim Automobilhersteller durchgeführt. Dadurch werden die markenprägenden Informationen über das System nicht an Lieferanten weitergegeben. So soll verhindert werden, dass ein Mitbewerber in Zusammenarbeit mit demselben Lieferanten ein ähnliches System entwickelt und Unterschiede zwischen den Fahrzeugen der Automobilhersteller für den Kunden nicht mehr wahrnehmbar sind. Neben diesem Aspekt liefert die Eigenentwicklung die Möglichkeit, das System hinsichtlich der markenspezifischen Fahrzeugeigenschaften optimal auszulegen und Anpassungen schnell vornehmen zu können.

**Beispiel 2.3:** Bei mechatronischen Systemen werden die markenprägenden Funktionen des Systems in der Software umgesetzt. Im Zuge einer Eigenentwicklung wird die Entwicklung der Funktionssoftware beim Automobilhersteller durchgeführt. Mit der Entwicklung von Basissoftware, Steuergerät und weiteren Hardwarekomponenten werden Lieferanten beauftragt. Die Integration von Funktionssoftware, Basissoftware und Steuergerät kann – ebenso wie weitere Integrationschritte – entweder beim Automobilhersteller oder beim Lieferanten erfolgen.

Die Entwicklung der Teile des Systems, mit denen Lieferanten beauftragt wurden, verläuft aus Sicht des Automobilherstellers wie bei einer Lieferantenentwicklung. Die Durchführung der Aktivitäten für den verbleibenden Teil des Systems muss beim Automobilhersteller erfolgen. Hierzu muss ein Entwicklerteam gebildet werden, welches über das erforderliche Fachwissen sowie Erfahrung verfügt. Die Aufgabe dieses Teams besteht darin, ausgehend von der prototypischen Implementierung den entsprechenden Entwicklungsumfang zur Serienreife weiterzuentwickeln. Dabei unterscheidet sich das Vorgehen der Automobilhersteller von dem der Lieferanten. Während der Automobilhersteller in der Serienentwicklung auf dem Prototypen aus der Vorentwicklung aufbaut, ist dies für Zulieferer nicht möglich, da ihnen der Prototyp des Automobilherstellers nicht zur Verfügung steht. Sie verfolgen daher das Ziel, ähnliche – bereits entwickelte – Systeme anzupassen, so dass die beauftragten Anforderungen erfüllt werden. **Aus beiden Vorgehen folgt, dass zu Beginn der Serienentwicklung auf jeder Zerlegungsebene bereits Informationen vorliegen. Die Weiterentwick-**

lung der vorliegenden Artefakte hin zur Serienreife erfolgt simultan. Daraus ergibt sich eine Kombination aus top-down- und bottom-up-Entwicklung.

Um die Entwicklung trotz dieser komplexen Ausgangssituation erfolgreich zu gestalten, ist ein hoher Abstimmungsaufwand erforderlich. Gefördert wird das hierzu nötige teamorientierte Arbeiten durch die unterstützenden Prozesse. Bei einer Lieferantenentwicklung wird ein Großteil der unterstützenden Aktivitäten durch die Lieferanten durchgeführt und durch den Automobilhersteller überwacht. Bei einer Eigenentwicklung steigt durch die gestiegene Tiefe in der Entwicklung und die damit höherer Anzahl von Entwicklungsaktivitäten auch der Umfang der Aktivitäten der unterstützenden Prozesse beim Automobilhersteller.

### 2.1.4 Unterstützende Prozesse

Neben Aktivitäten, die die Entwicklung des Produktes betreffen, tragen zahlreiche weitere Aktivitäten zum Gelingen der Systementwicklung bei. Im V-Modell 97 [19] sind diese Aktivitäten Teil der Submodelle Projektmanagement, Qualitätssicherung und Konfigurationsmanagement, das V-Modell XT [13] führt sie in den Managementmechanismen auf und der Rational Unified Process [85] fasst diese Aktivitäten in den unterstützenden Disziplinen zusammen. Auch in Prozessreifegrad-Modellen wie SPI-CE [83], CMMI [16], etc. werden solche begleitenden Aktivitäten gefordert. In dieser Arbeit werden die Prozesse zu den unterstützenden Aktivitäten in Anlehnung an [6] definiert und unter der Bezeichnung unterstützende Prozesse zusammengefasst. Die folgenden Kapitel geben einen Überblick über die Aufgaben der einzelnen unterstützenden Prozesse.

#### 2.1.4.1 Projektmanagement (PM)

Aufgabe des PM's ist die Planung, Überwachung und Steuerung aller Aktivitäten der Systementwicklung, um eine erfolgreiche Entwicklung sicherzustellen. Dabei muss im magischen Dreieck des Projektmanagements ([23], Abbildung 2.4), welches sich aus den untereinander korrelierenden Faktoren Qualität, Zeit und Kosten bzw. Ressourcen zusammensetzt, eine Balance geschaffen werden.

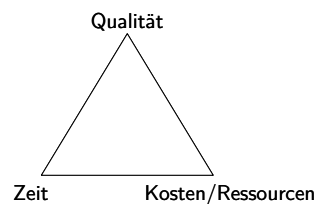


Abbildung 2.4: Das magische Dreieck des Projektmanagements

Im Speziellen werden im PM

- ▷ Mitarbeiter mit Rollen in der Entwicklung betraut,

## 2 Systementwicklung im Automobilssektor

- ▷ im Projekt verwendete Werkzeuge festgelegt sowie deren Verfügbarkeit geplant,
- ▷ Zeitpläne für die Entwicklung angefertigt und verfolgt,
- ▷ Projektrisiken identifiziert, dokumentiert und verfolgt,
- ▷ Zeitpläne und Lieferumfänge mit Lieferanten abgestimmt.

Die Umsetzung der in den folgenden Abschnitten aufgeführten unterstützenden Prozesse erfordert Zeit und Kosten / Ressourcen zur Erfassung bzw. Dokumentation der Informationen. Im Gegenzug liefern sie einen Beitrag zur Qualität und evtl. zur Entwicklungszeit. Die Umsetzung aller unterstützenden Aktivitäten kann im Allgemeinen auf Grund der Restriktion Zeit nicht erfolgen. Deshalb ist es Aufgabe des PM's festzulegen, welche Aktivitäten der unterstützenden Prozesse in welchem Umfang durchgeführt werden. Damit nimmt das PM innerhalb der unterstützenden Prozesse eine zentrale Rolle ein.

### 2.1.4.2 Freigabemanagement (FM)

Um den Fortschritt der Systementwicklung besser verfolgen zu können, wird dem PM das FM zur Seite gestellt. Durch das FM wird zu – durch das PM – vorgegebenen Zeitpunkten ein Abgleich des Entwicklungsfortschrittes mit der Planung durchgeführt. In der Automobilindustrie wird hierzu die Serienentwicklung nach Reifegraden (Freigabestufen) unterteilt [22]. Ein Beispiel einer solchen Unterteilung ist die Unterscheidung von Konzept-, Grundsatz-, Serien- und Bestätigungsmuster [7]. Jede Freigabestufe stellt Anforderungen an den Reifegrad der Spezifikationen, der Implementierungen, der Tests und der Prozessreife. Abhängig von den Forderungen leitet sich jeweils ein Einsatzzweck für den bewerteten Umfang ab. Für das System sind mögliche Verwendungsmöglichkeiten die Freigabe für den Einsatz auf einem Testgelände oder eine Straßenfreigabe zu Entwicklungszwecken.

Die projektspezifische Planung der Soll-Zustände zu den Freigabestufen des Systems sowie der Teilsysteme wird zu Beginn der Entwicklung geplant. Im Rahmen dieser Planung erfolgt auch die Abstimmung der Freigabestufen der unterschiedlichen Teilsysteme. Die Abstimmung ist erforderlich, da für Teilsysteme unterschiedlichen Typs oft verschiedene Freigabestufen definiert werden. So unterscheiden sich die Freigabestufen von Software zu denen eines Getriebes in Anzahl, Inhalt und Zeitpunkt. Weiter ist eine Abstimmung erforderlich, da bei komplexen Systemen üblicherweise Freigaben hierarchisch erteilt werden. Dadurch soll sichergestellt werden, dass Erfassung und Bewertung des Entwicklungsfortschrittes für eine Freigabe überschaubar bleiben.

Bei Erreichen des Freigabezeitpunktes wird zu den relevanten Artefakten der Ist-Zustand erfasst. Anschließend wird dieser mit den geplanten Soll-Zuständen abgeglichen. Basierend auf diesen Informationen wird bewertet, in welcher Güte ein Reifegrad erreicht wurde. Wird eine Freigabe mit Einschränkungen erteilt, so leiten sich aus den aufgetretenen Abweichungen Maßnahmen ab. Dies können z.B. Verringerung des Funktionsumfangs, Erhöhung der Ressourcen, Terminverschiebungen oder sogar die Wiederholung der Freigabe sein. Das FM trägt damit nicht nur zur Kontrolle der

Zeitplanung bei, sondern liefert über die inhaltliche Bewertung auch einen Beitrag zur Sicherheit und Qualität des entwickelten Systems.

### 2.1.4.3 Qualitätsmanagement & -sicherung (QM/QS)

Die Aufgabe des QM's ist die Definition von Maßnahmen im Entwicklungsprozess, welche zum Erlangen der Qualität des Produktes einen Beitrag leisten. Dazu zählen die Festlegung von Arbeitsabläufen sowie projektspezifische Anpassungen des Entwicklungsprozesses (Tailoring). Weiter legt das QM formale und inhaltliche Vorgaben für Artefakte fest. Dies kann über die Bereitstellung von Vorlagen (Templates), die Anwendung von Richtlinien wie z.B. den MISRA-Programmierrichtlinien [54] etc. erfolgen. Neben der Definition der Maßnahmen werden zu diesen auch Abnahmekriterien durch das QM festgelegt. Damit werden dem Entwickler Kriterien zur Verfügung gestellt, an Hand derer er bewerten kann, ob das von ihm angefertigte Artefakt den Anforderungen des QM's genügt. Überprüft wird die Einhaltung der Maßnahmen üblicherweise durch Durchsprachen (Reviews) der Artefakte unter der Zuhilfenahme von Prüflisten (Checklists).

Neben der Selbstkontrolle der Entwickler wird die Umsetzung der QM-Maßnahmen durch die QS überprüft. Dazu werden zu abgestimmten Zeitpunkten (z.B. den Freigabestufen) die Artefakte der Entwicklung stichprobenartig auf die Einhaltung der Maßnahmen überprüft. Bei Artefakten von Lieferanten erfolgt die Festlegung der QM-Maßnahmen durch den Lieferanten. Durch Assessments überprüft der Automobilhersteller, ob die vom Lieferanten definierten Maßnahmen den Erwartungen des Automobilherstellers genügen und in der Entwicklung eingehalten werden.

### 2.1.4.4 Testmanagement (TM)

Aufgabe des Testmanagements ist die Planung, Überwachung und der Nachweis aller Aktivitäten die zur Verifikation<sup>2</sup> und Validierung<sup>3</sup> der Anforderungen des Systems erforderlich sind. Davon ausgenommen wird die Kontrolle von Maßnahmen zu nicht-funktionale Anforderungen die durch das QM festgelegt wurden. Diese 'Prozessanforderungen' werden wie oben beschrieben durch die QS hinsichtlich ihrer Erfüllung kontrolliert. Im Zuge der Planung der Testaktivitäten muss – unter Beachtung der mit dem PM abgestimmten Ressourcen und Werkzeuge – eine Teststrategie erarbeitet werden.

**Definition 2.4:** Eine *Teststrategie* beschreibt für das gesamte System, auf welcher Zerlegungsebene zu welchen Testmethoden in welcher Tiefe Tests durchzuführen sind.

Die Teststrategie muss derart konzipiert sein, dass mit dem möglichen Testaufwand die Wahrscheinlichkeit für unentdecktes fehlerhaftes Systemverhalten möglichst gering gehalten wird.

Um zu überwachen, dass die Teststrategie wie geplant durchgeführt wird und den Nachweis hierzu erbringen zu können, muss der Stand der Tests kontinuierlich erfasst

---

<sup>2</sup>Entwickle ich richtig?

<sup>3</sup>Entwickle ich das richtige?

und bewertet werden. Als Kenngrößen zur Kontrolle dienen dabei Größen wie *Testabdeckung* und *Testfortschritt*. Die Testabdeckung gibt eine Aussage darüber, zu welchem Anteil an Anforderungen bereits Test spezifiziert, fehlgeschlagen oder erfolgreich durchgeführt wurden. Der Testfortschritt beschreibt, in welchem Maße die in der Teststrategie festgelegte Testtiefe bereits erreicht wurde. Während sich die Testabdeckung ausschließlich auf anforderungsbasierte Tests bezieht, wird durch den Testfortschritt auch eine Aussage zu erweiterten Tests getroffen. Am Ende der Systementwicklung müssen sowohl Testabdeckung als auch Testfortschritt 100% betragen. Andernfalls ist eine Begründung für die vorhandenen Lücken anzuführen.

### 2.1.4.5 Konfigurationsmanagement (KM)

Aufgabe des KM's ist die Versionierung und Archivierung aller im Projekt entstehenden Artefakte, sowie die Zusammenfassung zusammengehöriger Stände von Arbeitsprodukten. Dazu muss festgelegt werden, in welcher Struktur die Artefakte mit welchem Namen abgelegt werden. Weiter muss in Kooperation mit PM, FM und QM&S definiert werden, wie und wann ein eindeutig reproduzierbarer Entwicklungsstand festgehalten wird. Dabei ist auch der Umfang der erforderlichen Dokumentation abzustimmen. Ein möglicher Zeitpunkt für die Versionierung eines Entwicklungsstandes liefert eine Freigabestufe. Der eindeutig reproduzierbare Stand setzt sich in diesem Fall aus allen bewerteten Artefakten zusammen.

Das KM stellt sicher, dass alle Entwickler auf einer Datenbasis arbeiten. Dies erhöht die Qualität des Produktes und verhindert Doppelarbeit auf Grund von nicht aktuellen Informationen. Durch Ablagestruktur und Benamungsregeln wird gewährleistet, dass alle Projektmitarbeiter zügig auf die Daten zugreifen können. So kann die QS die Bewertungen der Artefakte – ohne Kapazitäten der Entwickler zu binden – basierend auf dieser Datengrundlage durchführen. Die Versionierung garantiert, dass alte Entwicklungsstände wiederhergestellt werden können und Änderungen nachvollziehbar bleiben.

### 2.1.4.6 Entscheidungsmanagement (EM)

Im Laufe der Entwicklung findet eine Reihe von produktbezogenen Entscheidungen statt. An den Entscheidungspunkten werden Lösungsmöglichkeiten erarbeitet, bewertet und eine Entscheidung für eine Lösung getroffen. Aufgabe des Entscheidungsmanagements ist es, in Kooperation mit dem QM und FM zu definieren, wie der Entscheidungsfindungsprozess durchgeführt wird. Dazu muss festgelegt werden, wie die Entscheidungsgrundlage geschaffen und die Entscheidung herbeigeführt wird. Auch Umfang und Form der Dokumentation des Entscheidungsprozesses muss in diesem Zusammenhang geklärt werden.

Das EM trägt dazu bei, dass Entscheidungen strukturiert herbeigeführt werden und sich dadurch die Anzahl an fehlerhaften Entscheidungen reduziert. Durch die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungsalternativen werden Änderungsanträge zu bereits betrachteten Lösungsalternativen nicht mehrmals eingebracht und bewertet. Diese

Aspekte können die Anzahl von Änderungsanträgen verringern, was die Faktoren Qualität und Entwicklungszeit positiv beeinflusst.

### 2.1.4.7 Änderungsmanagement (AEM)

Mit Fortschreiten der Entwicklung sinkt die verbleibende Entwicklungszeit. Das Ziel ist es, ab einem gewissen Zeitpunkt Änderungsaktivitäten zu minimieren und nur noch erforderliche Entwicklungsaktivitäten durchzuführen. Da sich aus Testaktivitäten erforderliche Änderungen ergeben, muss ein Vorgehen definiert werden, wie in späten Entwicklungsphasen die Umsetzung erforderlicher Änderungen gewährleistet wird. Dieses strukturierte Einbringen der Änderungen in die Entwicklung ist die Aufgabe des AEM's.

Wird durch eine Testaktivität festgestellt, dass eine Spezifikation oder Implementierung unvollständig oder falsch ist, werden die erforderlichen Änderungen in einem Änderungsantrag formuliert. Für jeden Änderungswunsch wird eine Auswirkungsanalyse (impact analysis) durchgeführt. Dabei werden die betroffenen Teilsysteme ermittelt und anschließend analysiert, welche Aktivitäten auf Grund der Änderung umzusetzen sind. Die erforderlichen Anpassungen werden hinsichtlich Zeit- und Kostenaufwand sowie der Relevanz der Änderung bewertet. Diese Informationen werden in eine Änderungsüberwachungsrunde (Change Control Board) eingebracht und dienen dort als Entscheidungsgrundlage. Basierend auf dieser erfolgt die Festlegung, ob bzw. wann die Änderung in die Entwicklung eingebracht wird sowie die Festlegung der Verantwortlichkeiten für die resultierenden Aktivitäten.

Ähnlich zum FM ist es bei der Entwicklung komplexer Systeme üblich, das AEM hierarchisch durchzuführen. Änderungen, die eine festgelegte Untermenge an Teilsystemen betreffen, werden in einer eigenen Runde diskutiert. Durch dieses Vorgehen wird die durch das Änderungsgremium gebundene Anzahl an Projektmitarbeitern gering gehalten.

Das AEM trägt dazu bei, dass Auswirkungen von Änderungen ermittelt werden und erforderliche Entwicklungsaktivitäten vollständig umgesetzt werden. Dadurch wird das Auftreten von unerwünschten Nebeneffekten auf Grund von Änderungen verringert und die Qualität des Systems positiv beeinflusst. Werden Fehler nach Durchführung einer Änderung entdeckt, so sind die Überlegungen aus der Änderungsüberwachungsrunde eine hilfreiche Information bei der Eingrenzung der Fehlerursache. Damit wird die Fehlerbehebungszeit verringert, was die Möglichkeit bietet, auch niedriger priorisierte Änderungen noch vor Produktionsstart umzusetzen.

### 2.1.4.8 Sicherheitsmanagement (SM)

Der Begriff Sicherheit wird im Deutschen für die beiden im englischen Sprachraum verwendeten Begriffe security und safety verwendet. Security bezeichnet den Schutz eines Systems vor beabsichtigten Angriffen. Wird in dieser Arbeit von Sicherheit gesprochen, so ist damit Sicherheit im Sinne von Safety gemeint. Allgemein bedeutet dies, dass das System frei von Fehlern oder Unfällen arbeitet. Allein der Faktor Mensch, welcher an

jeder Systementwicklung mitwirkt, macht das Erreichen dieser totalen Sicherheit kaum möglich. Aus diesem Grund wird Sicherheit folgendermaßen definiert.

**Definition 2.5:** Die *Sicherheit* eines Systems ist die Freiheit von unvertretbaren Risiken [33]. Dies bedeutet, dass das verbleibende Restrisiko das durch die Gesellschaft tolerierte Risiko nicht überschreitet.

Ziel des unterstützenden Prozesses SM ist es, die Sicherheit des Systems zu gewährleisten. Die generische Norm DIN EN 61508 zur funktionalen Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme (E/E/PES) [33] stellt Anforderungen an den gesamten Lebenszyklus des Systems. Für Konzept, Spezifikation, Realisierung, Test, Inbetriebnahme, Instandhaltung, Modifikation bis hin zur Außerbetriebnahme des Systems werden Maßnahmen, welche zum Erlangen der Sicherheit angewendet werden können, empfohlen. Dabei erfolgt ausschließlich eine Betrachtung der Sicherheitsanforderungen sowie der Sicherheitsintegritätsanforderungen des E/E/PES.

**Definition 2.6:** Eine *Sicherheitsfunktion (safety function)* ist eine Funktion, die von einem E/E/PE-sicherheitsbezogenen System, einem sicherheitsbezogenen System anderer Technologie oder externen Einrichtungen zur Risikominderung ausgeführt wird mit dem Ziel, unter Berücksichtigung eines festgelegten gefährlichen Vorfalls, einen sicheren Zustand für die durch das System beeinflussten Komponenten (Equipment under control = EUC) zu erreichen oder aufrechtzuerhalten [33].

**Definition 2.7:** Eine *Sicherheitsintegritätsanforderung* legt fest, welche Sicherheitsintegrität für eine Sicherheitsfunktion nachgewiesen werden muss. Die *Sicherheitsintegrität (safety integrity)* ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein sicherheitsbezogenes System die geforderten Sicherheitsfunktionen unter allen festgelegten Bedingungen innerhalb eines festgelegten Zeitraumes anforderungsgemäß ausführt [33].

In der DIN EN 61508 wird eine Unterteilung der Sicherheitsintegrität in vier *Sicherheitsintegritäts-Level* (SIL1 - SIL4) vorgenommen. Dabei steht die Einstufung SIL4 für die kleinste zulässige Ausfallrate, die Einstufung SIL1 für die größte und damit für das größte verbleibende Risiko. Die Ableitung des SIL erfolgt durch die *Gefährdungs- und Risikoanalyse* [8, 53, 33, 34], welche zu Beginn einer Systementwicklung spätestens jedoch zum Konzeptentscheid durchgeführt sein muss. In dieser funktionsorientierten Methode wird für jede durch das System umsetzbare Funktion ein SIL hergeleitet. Hierzu werden alle Gefährdungen bestimmt, die von dem E/E/PES in vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen, einschließlich Fehlerbedingungen und Fehlanwendung, ausgehen können. Dabei fließt die Umsetzung von Sicherheitsfunktionen nicht in die Betrachtung mit ein. Zu jeder Gefährdung, die von einer Funktion ausgehen kann, wird aus den Größen Auftretenswahrscheinlichkeit, Kontrollierbarkeit und Schadensausmaß das Risiko ermittelt [34]. Die Einstufungen erfolgen dabei unter Verwendung von Ergebnissen aus Probandenstudien sowie durch Zuhilfenahme von Fachwissen. Je nach resultierendem Risiko wird jeder Funktion ein SIL zugewiesen. Um den jeweiligen SIL zu erreichen, müssen für die Funktionen Sicherheitsfunktionen zur Reduktion des



Risikos definiert und umgesetzt werden. Der Nachweis der Vollständigkeit der Sicherheitsanforderungen kann für Einfachfehler über eine *Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA = Failure Modes and Effects Analysis)* für Mehrfachfehler über die *Fehlerbaumanalyse (FTA = Fault Tree Analysis)* erfolgen. Den Nachweis, dass durch die getroffenen Maßnahmen der SIL erfüllt wird, liefert z.B. eine *Fehlermöglichkeits-, Einfluss- und Diagnoseanalyse (FMEDA = Failure Modes, Effects and Diagnostic Analysis)*.

Neben dem Nachweis des verbleibenden Restrisikos durch die Erfüllung des SIL's fordert die DIN EN 61508 die Umsetzung eines Sicherheitslebenszyklus um systematische Fehler in der Entwicklung zu vermeiden. Hierzu werden für alle Entwicklungsaktivitäten von HW- und SW-Sicherheitsfunktionen anzuwendende Methoden empfohlen. Da die DIN EN 61508 auf die Automatisierungstechnik zugeschnitten ist, sind die empfohlenen Maßnahmen im Automobilsektor zum Teil nicht anwendbar. Mit der ISO WD 26262 [34] wird eine Richtlinie geschaffen, die eine Anpassung der Anforderungen der DIN EN 61508 auf den Automobilsektor vornimmt.

Mit den Anforderungen an den Lebenszyklus der Sicherheitsanforderungen müssen bestimmte Entwicklungsaktivitäten zu einem Teil der Anforderungen nachgewiesen werden. Damit nimmt das SM innerhalb der unterstützenden Prozesse eine Querschnittsfunktion ein.

### 2.1.4.9 Zusammenspiel der unterstützenden Prozesse

In Kapitel 2.1.4.1 - 2.1.4.8 wurden die unterstützenden Prozesse einer Systementwicklung eingeführt. Dabei wurden darauf geachtet, die Definition soweit möglich disjunkt vorzunehmen. Da jedoch alle Teilprozesse der Systementwicklung sind, gilt auch für die unterstützenden Prozesse, dass sie den Erfolg der Systementwicklung nur unterstützen können, wenn eine entsprechende Interaktion zwischen Ihnen stattfindet. Beispielhaft seien die folgenden Zusammenhänge aufgeführt:

- ▷ PM: Das PM stimmt verfügbare Ressourcen und Zeit mit den einzelnen unterstützenden Prozessen ab, um die gewünschte Qualität zu erreichen.
- ▷ FM: Das FM erfasst den aktuellen Status der Entwicklung und gibt so eine Grundlage für Änderungen, Terminplanung, Testplanung und Maßnahmen zur Qualitätserlangung.
- ▷ QM&S: QM&S stimmt die Maßnahmen zur Erfüllung nichtfunktionaler Anforderungen und zur Überprüfung der Erfüllung der Maßnahmen mit PM und TM ab.
- ▷ TM: Das TM stellt dem FM und dem PM den aktuellen Fortschritt zu Testaktivitäten bereit.
- ▷ KM: Das KM stellt die Artefakte der verschiedenen unterstützenden Prozesse zentral zur Verfügung.
- ▷ EM: Das EM liefert Hintergrundinformationen bei der Entscheidung über Änderungen.

- ▷ AEM: Das AEM stellt eine gezielte Umsetzung von Änderungen in Abstimmung mit TM und PM sicher.
- ▷ SM: Das SM stellt Anforderungen an die Erfüllung unterstützender Prozesse für sicherheitsrelevante Anforderungen und Sicherheitsanforderungen.

## 2.2 Anforderungsmanagement (Requirements Engineering)

Die Ermittlung und Verwaltung der Anforderungen nimmt in der Systementwicklung eine zentrale Rolle ein und wird in der Informatik als Requirements Engineering bezeichnet. Im deutschen Sprachraum wird hierfür der Begriff Anforderungsmanagement (AM) verwendet [71], auch wenn diese Übersetzung die Bezeichnung Requirements Engineering nicht vollwertig ersetzt [55]. Über den Umfang der Aktivitäten, die dieser Disziplin zuzuordnen sind, herrscht in der Literatur kein einheitliches Verständnis. Eine ausführliche Diskussion zum Begriff AM wird in [55] geführt. In dieser Arbeit wird in Kapitel 2.2.1 im Rahmen der Begriffsbildung ein kurzer Überblick zu Definitionen aus der Literatur gegeben. Anschließend wird in Kapitel 2.2.2 eine zentrale Aufgabe des AM's – die Verfolgbarkeit – detailliert betrachtet.

### 2.2.1 Begriffsbildung

Unter AM wird in [60, 88] der Prozess des Erarbeitens einer widerspruchsfreien Spezifikation verstanden. Neben den Aktivitäten zur Erarbeitung der Spezifikation werden dem AM in [51, 78] auch Aufgaben der Verwaltung von Anforderungen zugeordnet. Eine Unterteilung des AM's in Anforderungsfestlegung (Requirements Development) und Anforderungsverwaltung (Requirements Management) erfolgt in [86]. Dabei werden der Anforderungsfestlegung alle Aktivitäten zugeordnet, welche zur Herleitung der Spezifikation erforderlich sind. Unter Anforderungsverwaltung werden Aktivitäten, die Dokumentation und Nutzung von Informationen zu Anforderungen betreffen, verstanden. In dieser Arbeit wird AM gemäß der folgenden Definition verwendet.

**Definition 2.8:** *Anforderungsmanagement* umfasst alle Aktivitäten im Entwicklungsprozess, die die Festlegung und Verwaltung von Anforderungen betreffen.

**Definition 2.9:** Aufgabe der *Anforderungsfestlegung* ist die Erarbeitung einer widerspruchsfreien Spezifikation. Dies erfordert die Durchführung der Aktivitäten

- ▷ Erhebung,
- ▷ Analyse,
- ▷ Spezifikation,
- ▷ Validierung.

Die in der Anforderungsfestlegung erarbeiteten Anforderungen werden zusammen mit ergänzenden Informationen durch die Anforderungsverwaltung für weitere Entwicklungsaktivitäten bereitgestellt.

**Definition 2.10:** Zur *Anforderungsverwaltung* zählen die Aktivitäten

- ▷ Festlegung der Form der Dokumentation (Aufbau der Anforderung),
- ▷ Erfassung von Informationen zu Attributen (Attributierung),
- ▷ Bereitstellung von Informationen für Fortschrittsanalysen (Tracking),
- ▷ Bereitstellung von Informationen zur Darstellung der Verfolgbarkeit (Tracing).

Zu Beginn jeder Entwicklung müssen die Anforderungen festgelegt werden. Mit weiterem Fortschreiten der Entwicklung erfolgt eine Anforderungsfestlegung im Zuge von Detaillierungen von Anforderungen, Änderungen, etc. Dabei nimmt der Aufwand, der für die Anforderungsfestlegung erbracht werden muss, bis hin zu einem Spezifikationsfreeze ab. Im Gegenzug gewinnt die Anforderungsverwaltung mit fortlaufender Zeit an Bedeutung. Sowohl für Implementierungen und Tests als auch für unterstützende Prozesse müssen Informationen erfasst und bereitgestellt werden.

Betrachtet man eine Systementwicklung im Automobilssektor, so findet die Anforderungsfestlegung der funktionalen Anforderungen im Wesentlichen in der Vorentwicklung statt. In der Serienentwicklung werden Anforderungen, die für die Serienreife des Produktes erforderlich sind, abgeleitet. Nach dem Spezifikationsfreeze, der im Allgemeinen an eine Freigabestufe und damit eine Produktreife geknüpft ist, wird das Ziel verfolgt, die Anforderungen nur noch in Ausnahmefällen abzuändern. Für die Durchführung von Implementierungs- und Testaktivitäten sowie unterstützenden Prozessen müssen in der Serienentwicklung die erforderlichen Informationen durch die Anforderungsverwaltung bereitgestellt werden.

Über die gesamte Entwicklung hinweg werden Aktivitäten des AM's durchgeführt. Damit nimmt das AM eine übergreifende Position über alle Phasen der Systementwicklung ein. Weiter bildet das AM mit den beiden Teilprozessen Anforderungsfestlegung und -verwaltung ein Bindeglied zwischen Produkt und Prozessebene (Abbildung 2.5). Die Anforderungsfestlegung deckt alle Entwicklungsaktivitäten des linken Astes des System-V's ab. Alle weiteren Aktivitäten, die im System-V durchgeführt werden stehen im direkten Zusammenhang mit Anforderungen. Die in der Anforderungsfestlegung hergeleiteten Anforderungen werden umgesetzt, die Umsetzung getestet, Änderungen vorgenommen und Informationen zu Anforderungen generiert. Die Anforderungsverwaltung stellt einen unterstützenden Prozess dar, der die Informationen zu den Anforderungen bündelt und diese den unterstützenden Prozessen als Datenbasis zur Verfügung stellt. Eine umfassende Nutzung der Informationen wird durch die Verfolgbarkeit ermöglicht.

### 2.2.2 Verfolgbarkeit

Verfolgbarkeit wird in [26] als die Fähigkeit angesehen, den Lebenszyklus einer Anforderung zu beschreiben und diesen – sowohl vorwärts als auch rückwärts – verfolgen

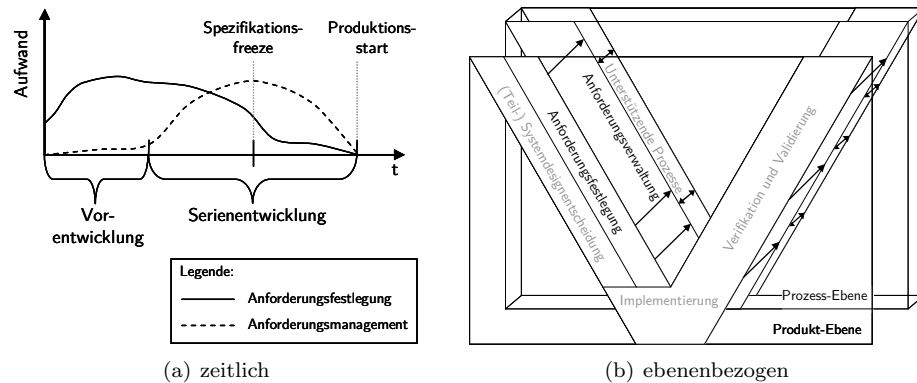


Abbildung 2.5: Einordnung des AM's in die Systementwicklung

zu können. Diese Definition ist recht weitgreifend, so dass teilweise auch die Versionierung von Anforderungen der Verfolgbarkeit zugeordnet wird. Diese evolutionäre Verfolgbarkeit wird hier dem KM zugeordnet. Im Weiteren wird Verfolgbarkeit wie in [58] verwendet.

**Definition 2.11:** *Verfolgbarkeit* ist die Fähigkeit Abhängigkeiten zwischen Anforderungen und weiteren Artefakten der Entwicklung zu erkennen, zu erfassen und zur Nutzung bereitzustellen.

In Abbildung 2.6 wird die Rolle der Verfolgbarkeit im Bezug auf Anforderungen und weitere Artefakte graphisch dargestellt. An Hand dieser Abbildung wird nochmals deutlich ersichtlich, dass ohne die Erfassung von Verfolgbarkeitsinformationen eine Zuordnung von Entwicklungsartefakten zu Anforderungen nur schwer möglich ist.

### 2.2.2.1 Klassifizierung von Verfolgbarkeit

Da in der Entwicklung eine große Anzahl an Informationen mit Abhängigkeiten zu Anforderungen entsteht, liegt es nahe eine Klassifizierung der Verfolgbarkeit vorzunehmen. In der Literatur [37, 42, 50, 58, 61, 87] werden zahlreiche Unterteilungen vorgeschlagen. Die wesentlichen Verfolgbarkeitsklassen werden hier aufgeführt.

Die Definition des AM's (Definition 2.8) motiviert eine Unterteilung der Verfolgbarkeit für die Bereiche Anforderungsfestlegung und -verwaltung .

**Definition 2.12:** *Prä-Verfolgbarkeit* umfasst die Definition, Erfassung und Bereitstellung von Abhängigkeiten, die im Zuge der Festlegung einer Anforderung auftreten. *Post-Verfolgbarkeit* ist die Definition, Erfassung und Bereitstellung von Abhängigkeiten, die nach der Festlegung einer Anforderung im Laufe der Entwicklung entstehen [26].

Prä-Verfolgbarkeit zielt darauf ab, die Entstehung einer Anforderung nachvollziehen zu können. Durch Post-Verfolgbarkeit werden Abhängigkeiten zwischen Anforderungen,

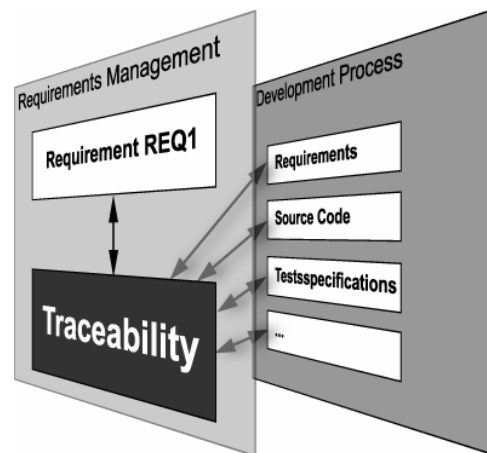


Abbildung 2.6: Rolle der Verfolgbarkeit im Entwicklungsprozess

Implementierungen und Tests abgebildet. Üblicherweise erfolgt eine Unterteilung der Post-Verfolgbarkeit in horizontale und vertikale Verfolgbarkeit. Dabei orientiert sich die Definition an der graphischen Darstellung des Entwicklungsprozesses. Aus diesem Grund werden die Begriffe horizontal und vertikal in der Literatur nicht einheitlich verwendet [42]. Hier wird die Definition aus [50] verwendet, die sich aus der Darstellung des Entwicklungsprozesses in Form eines V's ergibt.

**Definition 2.13:** Unter *vertikaler Verfolgbarkeit* versteht man die Definition, Erfassung und Bereitstellung von Abhängigkeiten zwischen Anforderungen unterschiedlicher Zerlegungsebenen bis hin zur Implementierung. *Horizontale Verfolgbarkeit* umfasst die Definition, Erfassung und Bereitstellung von Abhängigkeiten zwischen Anforderungen und Tests.

Die bidirektionalen Abhängigkeiten der Prä-, Post-, vertikalen- und horizontalen Verfolgbarkeit können entsprechend der Entstehungsreihenfolge der Artefakte gerichtet betrachtet werden.

**Definition 2.14:** *Vorwärts-Verfolgbarkeit* betrachtet Abhängigkeiten zwischen Artefakten und Anforderungen in Richtung der zeitlichen Entstehung des zugrundeliegenden Prozessmodells. Unter *Rückwärts-Verfolgbarkeit* wird die Betrachtung von Abhängigkeiten entgegen der zeitlichen Entstehungsreihenfolge verstanden.

### 2.2.2.2 Ziele der Verfolgbarkeit

Die Erfassung der Abhängigkeitsinformationen für die Verfolgbarkeit erfordert Zeitaufwand. Dieser muss mittels eines entsprechenden Gewinns durch die Verfolgbarkeit gerechtfertigt werden. Folgende Ziele lassen sich durch die Verfolgbarkeit realisieren [50, 58, 61]:

## 2 Systementwicklung im Automobilsektor

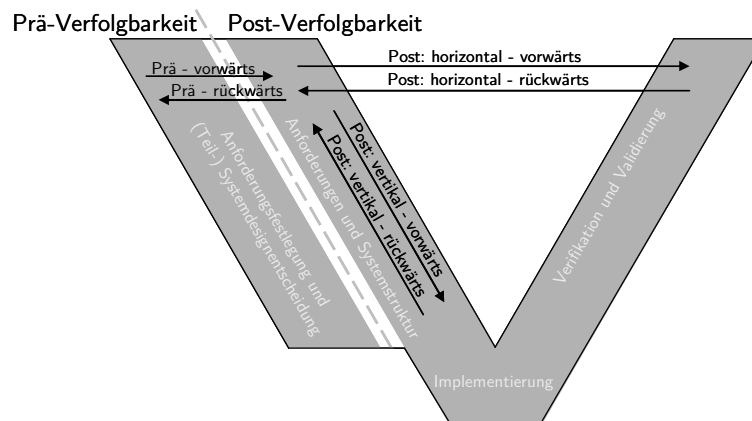


Abbildung 2.7: Klassifizierung der Traceability

### Ziel 1: Qualität

Die sinnvolle Nutzung der Verfolgbarkeit in der Entwicklung kann die Entwickler zu einer durchgängigen Dokumentation motivieren. Damit wird die Arbeit prozessorientierter durchgeführt und so das Ziel eines jeden Entwicklungsprozesses, die Qualität zu erhöhen, verfolgt.

### Ziel 2: Erfüllung von Normen

Die Grundidee von Normen wie IEC 61508, ISO 15504 etc. ist es, systematische Fehler in der Entwicklung durch einen nachweisbar gelebten Entwicklungsprozess zu vermeiden. Insbesondere wird dabei die Verfolgbarkeit gefordert, so dass diese zum Nachweis der Erfüllung der Normen erforderlich ist.

### Ziel 3: Wiederverwendung

Verfolgbarkeit kann zum einen genutzt werden, um bei der Wiederverwendung von Teilen einer Systementwicklung zu berücksichtigende Nebenbedingungen und Artefakte zu ermitteln. Zum anderen wird durch die Prä-Verfolgbarkeit eine fundierte Informationsgrundlage für die wiederverwendeten Teilsysteme bereitgestellt.

### Ziel 4: Auswirkungsanalyse

Über Verfolgbarkeit können Abhängigkeiten zwischen Anforderungen unterschiedlicher Zerlegungsebenen sowie zu weiteren Artefakten dargestellt werden. Damit lassen sich Auswirkungen von Änderungen einfacher vollständig ermitteln.

### Ziel 5: Projektverfolgung

Über die Zusammenhänge zwischen den Zerlegungsebenen können Fortschrittsanalysen von Teilsystemen zur Ermittlung des Gesamtprojektfortschritts herangezogen werden.

Ziel 6: Nachweisbarkeit

Durch die Verfolgbarkeit kann nachgewiesen werden, dass alle Anforderungen in einer Implementierung resultieren. Die korrekte Umsetzung der Anforderungen ergibt sich über die Verfolgbarkeit zum Test.

Ziel 7: Notwendigkeit

Über Verfolgbarkeit kann nachgewiesen werden, dass die umgesetzten Anforderungen zur Realisierung des Systems erforderlich sind.

Während die Ziele 1 und 2 allgemein für Verfolgbarkeit zutreffen, können die übrigen Punkte bestimmten Klassen der Verfolgbarkeit zugeordnet werden. Tabelle 2.1 liefert zu der Klassifizierung aus Kapitel 2.2.2.1 eine Zuordnung der Ziele und führt beispielhaft Fragestellungen auf.

Verfolgbarkeit		vorwärts	rückwärts
Prä		Ziel 6: Wurden zu allen unterschiedenen Funktionen Anforderungen abgeleitet?	Ziel 4: Wie wurde die Architekturentscheidung getroffen? Wie erfolgte die Ableitung der Systemanforderungen? Ziel 7: Resultieren alle Anforderungen aus unterschiedenen Funktionen?
Post	vertikal	Ziel 3: Welche Anforderungen und Implementierungen müssen für den wiederverwendeten Umfang berücksichtigt werden? Ziel 4: Auf welche abgeleiteten Anforderungen bzw. welche Implementierungen hat die Änderung eine Auswirkung? Ziel 5: In welchem Status befinden sich abgeleitete Anforderungen und deren Implementierungen? Ziel 6: Resultieren alle Anforderungen in einer Implementierung?	Ziel 3: Was sind die übergeordneten Anforderungen des wiederverwendeten Teilsystems? Ist es sinnvoll einen größeren Umfang zur Wiederverwendung heranzuziehen? Ziel 4: Hat die Änderung Auswirkungen auf übergeordnete Anforderungen? Ziel 7: Ist jede Anforderung aus einer übergeordneten abgeleitet?

	horizontal	Ziel 3: Welche Tests sind dem wiederverwendeten Umfang zugeordnet? Ziel 4: Welche Tests müssen nach einer Änderung angepasst bzw. neu durchgeführt werden? Ziel 5: Wie groß ist die Testabdeckung? Ziel 6: Wurden alle Anforderungen korrekt umgesetzt?	Ziel 4: Wird ein Test, welcher auf Grund einer Änderung angepasst werden muss, zur Verifikation von nicht geänderten Anforderungen bzw. Teilsystemen herangezogen? Ziel 5: Liegen die Testobjekte in verifikationsfähiger Form vor?
--	------------	--	--

Tabelle 2.1: Zusammenhang Ziele und Klassifizierung der Verfolgbarkeit

### 2.2.2.3 Anwendung der Verfolgbarkeit

Die Erfassung der Abhängigkeiten sowie die Sicherstellung der Aktualität selbiger sind zeitaufwendig. Die vollständige Erfassung der Abhängigkeiten ist auf Grund der zeitlichen Restriktion der Entwicklung nicht möglich. Eine geeignete Festlegung zwischen dem Umfang der zu erfassenden Informationen und gewünschtem Informationsgewinn kann über den im folgenden vorgestellten *Verfolgbarkeitsprozess* erfolgen. Dieser orientiert sich an den Vorgehen aus [42, 58] und unterteilt sich in die vier Schritte Ermittlung, Festlegung, Aufzeichnungsstrategie und Nutzungsstrategie.

**Ermittlung** In der Ermittlung wird analysiert, welche Abhängigkeiten im Entwicklungsprozess auftreten, wann sie entstehen und wie sie verwendet werden können. Das Ergebnis der Ermittlung stellt ein Modell dar, welches die Abhängigkeiten zwischen den Artefakten und die weiteren Informationen abbildet.

**Festlegung** In der Festlegung erfolgt die Entscheidung, zu welchem Zweck Verfolgbarkeit in der Systementwicklung verwendet werden soll. Basierend auf den Betrachtungen der Ermittlung ergeben sich daraus die zu erfassenden Informationen. Sofern eine Erfassung dieser Informationen in der gegebenen Entwicklungszeit nicht möglich ist, muss der Verwendungszweck der Verfolgbarkeit entsprechend angepasst werden.

**Aufzeichnungsstrategie** Die Erfassung der in der Festlegung ermittelten erforderlichen Informationen wird durch eine Aufzeichnungsstrategie festgelegt.

**Definition 2.15:** Unter *Aufzeichnungsstrategie* versteht man die Definition der Strategie zur Aufzeichnung von Verfolgbarkeitsinformationen durch das Entwicklungsteam. Durch die Aufzeichnungsstrategie wird festgelegt, welche Information wann, von wem in welcher Form zu erfassen ist [61].

Unterschiedliche Arten der Erfassung sind:



- ▷ automatisch: Die Abhängigkeit wird auf Grund von Regeln automatisch erfasst.
- ▷ ereignisgesteuert: Die Erfassung einer Abhängigkeit wird vom Entwickler zu einem bestimmten Prozessschritt oder Zeitpunkt gefordert. Sie ist Voraussetzung für die Durchführung weiterer Aktivitäten.
- ▷ manuell: Der Entwickler stellt zu einem beliebigen Zeitpunkt die Verbindung zwischen zwei Artefakten her.

Eine automatische Erfassung von Abhängigkeiten ist bei informell dargestellten Daten kaum möglich. Eine manuelle Erfassung von Informationen dahingegen ist stets möglich, hat jedoch den Nachteil, dass sie zeitaufwendig und fehleranfällig ist. Der eventgesteuerte Ansatz verfolgt das Ziel, die Entwickler bei der Erfassung in größtmöglichem Maße zu unterstützen. Der Einsatz einer eventgesteuerten Erfassung wird durch die Entwickler jedoch nur akzeptiert, wenn sie in ihrer gewohnten Arbeitsweise nicht eingeschränkt werden. Für diese Art der Erfassung ist daher ein hoher Abstimmungsaufwand in der Anfertigung der Aufzeichnungsstrategie erforderlich.

Neben der aktiven Erfassung von Abhängigkeitsinformationen durch eine Aufzeichnungsstrategie besteht die Möglichkeit Abhängigkeiten aus den Entwicklungsartefakten ex post zu generieren. Dieses Vorgehen erfordert die Implementierung eines geeigneten Verfahrens und anschließend manuellen Aufwand zur Auswertung der Ergebnisse (siehe Kapitel 3.3).

**Nutzungsstrategie** Die Nutzung der Auswertung der erfassten Informationen wird in der Nutzungsstrategie festgelegt.

**Definition 2.16:** Unter *Nutzungsstrategie* versteht man die Definition der Strategie zur Verwendung von Verfolgbarkeitsinformationen durch das Entwicklungsteam. Durch die Nutzungsstrategie wird festgelegt, wann welche Information von einem Mitarbeiter für welche Aktion genutzt werden darf [61].

Die Nutzungsstrategie sollte so konzipiert sein, dass Mitarbeiter, die Zeit in die Erfassung von Informationen investieren, durch eine für sie relevante Anwendung profitieren können. Eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit der Auswertung der Verfolgbarkeitsinformationen ist die Art der Darstellung. Übliche Darstellungen [31, 61, 87] sind

- ▷ Hyperlinks
- ▷ Abhängigkeitsmatrizen
- ▷ Abhängigkeitsgraphen

### 2.2.2.4 Referenzmodelle

Zur Herleitung einer projektspezifischen Nutzung der Verfolgbarkeit können Referenzmodelle (reference models [68], conceptual trace model [40]) verwendet werden (siehe Abbildung 2.8). Referenzmodelle beschreiben über Objekte (Entities) und Beziehungen (Relationship) Artefakte der Entwicklung sowie Abhängigkeiten zwischen Artefakten.

Weiter können Sie Aussagen über Entstehungszeitpunkte von Objekten und Beziehungen sowie über Nutzungsmöglichkeiten von Abhängigkeitsinformationen enthalten. Zur Klassifizierung der Referenzmodelle werden hier die folgenden Kriterien vorgeschlagen.

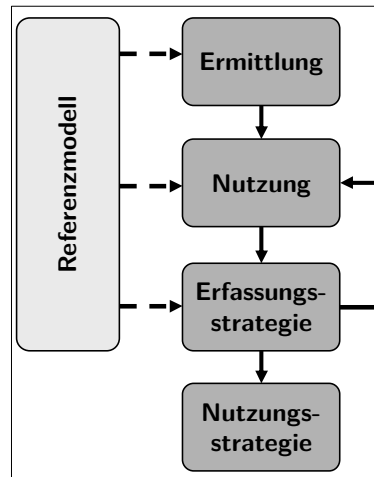


Abbildung 2.8: Zusammenhang Verfolgbarkeitsprozess und Referenzmodell

- ▷ **Domäne:** Abhängig von der / den beim Entwurf des Referenzmodells betrachteten Domäne(n) sind im Modell Domänenspezifika stärker oder weniger stark berücksichtigt. Ein domänenunabhängiges Modell bietet den Vorteil, dass es universell einsetzbar ist. Das domänenspezifische Modell kann nur für spezielle Anwendungen herangezogen werden, muss dann jedoch nur geringfügig angepasst werden.
- ▷ **Abhängigkeiten:** Referenzmodelle unterscheiden sich in den bei der Erstellung des Modells betrachteten Abhängigkeiten. Eine projektspezifische Verwendung des Modells ist sinnvoll, wenn die im Modell berücksichtigten Verfolgbarkeitstypen in der geplanten Anwendung verwendet werden sollen. Die Art der Abhängigkeiten wird über Linktypen unterschieden. Beispiele für Linktypen findet man in [61, 68, 87].
- ▷ **Detaillierung:** Referenzmodelle können Abhängigkeiten in unterschiedlicher Detaillierung abbilden. Das Modell „Ein Artefakt ist abhängig von einem Artefakt“ ist ein Beispiel für einen sehr hohen Abstraktionsgrad. Ein solches Modell hat den Vorteil, dass es einfach und verständlich ist. Bei einer Anwendung des Modells muss jedoch viel Aufwand in die Detaillierung investiert werden. Ein sehr genau beschriebenes Modell erfordert eine große Einarbeitungszeit, kann anschließend jedoch leichter durch Anpassungen auf die anwendungsspezifische Nutzung zugeschnitten werden.

### 2.3 Anforderungsmanagement und Verfolgbarkeit in der Systementwicklung

- ▷ **Darstellung:** Referenzmodelle können sowohl informell als auch formal dargestellt werden. Während eine informelle Darstellung allgemeinverständlicher ist, liefert eine formale Darstellung den Vorteil, dass sie Zusammenhänge eindeutig beschreibt.
- ▷ **Nutzungsstrategie:** Referenzmodelle können vor dem Hintergrund einer spezifischen Nutzung hergeleitet werden bzw. die Nutzungsmöglichkeiten für Teilmodelle enthalten. Diese Information erleichtert eine nutzungsbezogene Ableitung einer projektspezifischen Nutzung der Verfolgbarkeit.

Diese Kriterien können herangezogen werden um geeignete Referenzmodelle zur Unterstützung bei der Herleitung einer projektspezifischen Nutzung der Verfolgbarkeit zu ermitteln. Aus diesen lässt sich das anwendungsspezifische Modell herausarbeiten, welches anschließend Berücksichtigung in den Prozessabläufen finden muss und in Werkzeugen umgesetzt werden kann. Ein Beispiel für ein Referenzmodell ist in Abbildung 2.9 dargestellt.

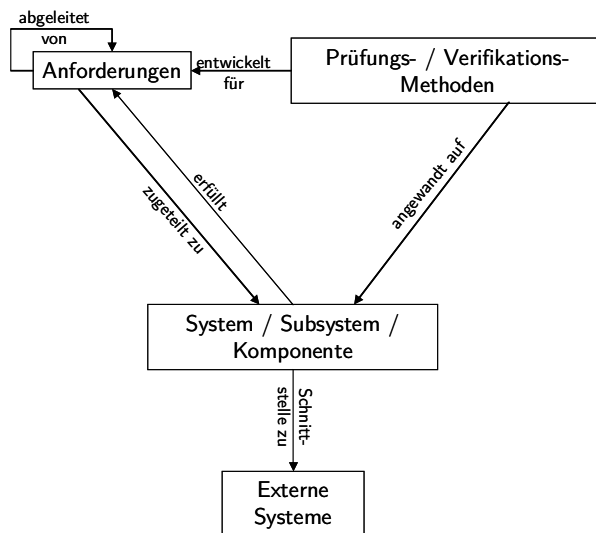


Abbildung 2.9: Referenzmodell für Low-End-Nutzer nach [68]

## 2.3 Anforderungsmanagement und Verfolgbarkeit in der Systementwicklung

In Abschnitt 2.1 und 2.2 wurde eine Einführung in den Entwicklungsprozess im Automobilsektor sowie den Teilprozess Anforderungsmanagement gegeben. Abbildung 2.10 gibt nochmals einen Überblick über die eingeführten Begriffe und stellt die Zusammenhänge dar. Durch den im Hintergrund verlaufenden Pfeil wird der zeitliche Verlauf der



## 3 Ansätze zur Verfolgbarkeit

Das Ziel dieses Kapitels ist es, dem Leser eine Übersicht zu Ansätzen zum Anforderungsmanagement mit dem Fokus der Verfolgbarkeit zu vermitteln. Dabei wird auf Überlegungen zur Prä-Verfolgbarkeit ebenso eingegangen wie auf Betrachtungen zur Post-Verfolgbarkeit. Mit Ansätzen zu einer automatisierten Abhängigkeitsermittlung werden Methoden vorgestellt, die darauf abzielen den manuellen Aufwand zur Erfassung der Verfolgbarkeitsinformationen zu verringern. Anschließend wird betrachtet, in welchem Ausmaß existierende Referenzmodelle für die Herleitung einer anwenderspezifischen Verfolgbarkeitsstrategie herangezogen werden können.

### 3.1 Ansätze der Prä-Verfolgbarkeit

Im Zuge der Anforderungsfestlegung werden Informationen (z.B. wirtschaftliche Ziele, Entscheidungen, Erläuterungen, Quellenangaben) generiert und verwendet. Vor dem Aspekt der Prä-Verfolgbarkeit muss analysiert werden, welche Informationen wann in der Anforderungsfestlegung entstehen. Das Bewusstsein für die Existenz der Informationen kann genutzt werden, um Informationen zu dokumentieren und zu den resultierenden Anforderungen in Bezug zu setzen. Eine mögliche Klassifizierung der für die Darstellung der Prä-Verfolgbarkeit erforderlichen Informationen liefert die Unterteilung [64] in

- ▷ Produktinformationen: Alle Informationen, die das zu entwickelnde Produkt beschreiben (Anforderungen, Spezifikationen, Modelle, etc.).
- ▷ Ergänzende Produktinformationen: Zusätzliche Produktinformationen wie z.B. Ziele, Entscheidungen, Erklärungen, etc.
- ▷ Prozessinformationen: Informationen über die Prozessaktivität, in der die Produktinformation / ergänzende Produktinformation entstanden ist. Dies sind Angaben wie Datum, Teilnehmer, angewandte Methode, etc.
- ▷ Abhängigkeitsinformationen: Darstellung von Abhängigkeiten zwischen den drei Informationstypen Produktinformationen, ergänzende Informationen und Prozessinformationen.

Die Produktinformationen bestehen aus abgestimmten Anforderungen, die eine widerspruchsfreie Spezifikation darstellen. Ergänzende Produktinformationen und Prozessinformationen resultieren u.a. aus den folgenden Fragestellungen:

- ▷ **Wer** hat zur der Festlegung der Anforderung in welcher Rolle beigetragen?

### 3 Ansätze zur Verfolgbarkeit

- ▷ **Wie** läuft der Prozess der Anforderungserhebung ab und welche Methoden werden verwendet?
- ▷ **Weshalb** wurde die Umsetzung einer Anforderungen entschieden?

#### 3.1.1 Wer: Informantenstruktur

Da eine Dokumentation aller Informationen zu einer Anforderung u.a. aus Zeitgründen nicht erfolgen kann, liegt es nahe, Personen sowie deren Rolle, in der sie zur Festlegung der Anforderung beigetragen haben, zu erfassen. Sollten in der weiteren Entwicklung Fragen zu der Anforderung auftreten, so ist klar, welche Person über Hintergrundinformationen verfügt. In den „Contribution Structures“ [25] werden die folgenden Rollen für die Anforderungsfestlegung herausgearbeitet:

- ▷ Motivator (Principal): Die Person, die die Erzeugung des Artefakts motiviert hat und deren Position und / oder Meinung in der Information enthalten ist.
- ▷ Autor (Author): Die Person, die Inhalt und Struktur der Information in dem Artefakt gewählt und formuliert hat (d.h. verantwortlich für Syntax und Semantik ist).
- ▷ Dokumentator (Documentator): Die Person, die Anforderung an der richtigen physikalischen Stelle niedergeschrieben hat.

Da in einer Entwicklung eine Person mehrere dieser Rollen einnehmen kann, werden die Rollendefinitionen wie folgt verfeinert:

- ▷ Wirklicher Autor (true author): Motivator, Autor und Dokumentator vereint in einer Person.
- ▷ Repräsentativer Autor (representative author): Autor und Dokumentator.
- ▷ nomineller Autor (nominal author): Motivator und Dokumentator.
- ▷ Erzeuger (Devisor): Motivator und Autor.

Die Aufteilung dieser Rollen ist in Abbildung 3.1 dargestellt.

#### 3.1.2 Wie: Ablauf und Methoden der Anforderungsfestlegung

Zu der Frage, wie man zu den Anforderungen gelangt, kann man den Ablauf der Anforderungsfestlegung sowie dabei angewandte Methoden betrachten. Beide Aspekte geben Aufschluss darüber, wann Informationen mit Bezug zu Anforderungen generiert werden.

In den „Drei Dimensionen des Requirements Engineering“ [59] (Abbildung 3.2) wird der Ablauf der Anforderungsfestlegung über die folgenden Faktoren beschrieben:

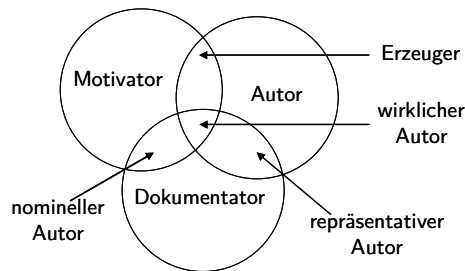


Abbildung 3.1: Die Rollen in der Anforderungserarbeitung nach [25]

- ▷ Inhalt: Zu Beginn der Anforderungsfestlegung sind die Vorstellungen über die Anforderungen an das System mehr oder weniger vage. Die Inhalte der Anforderungen werden auf dem Weg zu einer widerspruchsfreien Spezifikation konkretisiert.
- ▷ Dokumentation: Die Darstellung der Anforderungen ist zu Beginn der Anforderungsfestlegung heterogen. Ziel der Anforderungsfestlegung ist es, alle Anforderungen eines (Teil-)Systems in einer einheitlichen (formalen) Darstellung vorliegen zu haben, so dass sie für alle Stakeholder verstehbar sind.
- ▷ Übereinstimmung: Die an der Anforderungsfestlegung beteiligten Stakeholder verfügen über unterschiedliche Meinungen zu den Anforderungen an das System. Im Laufe der Anforderungsfestlegung müssen aus den Wünschen Anforderungen abgeleitet werden, die widerspruchsfrei sind und von allen Stakeholdern akzeptiert werden.

Während der Anforderungsfestlegung verändern sich diese drei Faktoren. Zur Sicherstellung der Verfolgbarkeit ist es erforderlich, Informationen zu Veränderungen der drei Größen zu erfassen. Die Entstehung der Informationen wird in [39] in Form eines Meta-Models beschrieben. Eine Betrachtung des Ablaufes der Anforderungsfestlegung aus kognitiver Sicht erfolgt in [23].

Einen wesentlichen Einfluss auf die entstehenden Informationen haben die im Zuge der Anforderungsfestlegung verwendeten Methoden. So können z.B. unter Verwendung von Sichten (viewpoints [43, 48]) über Szenarien (scenarios) und Anwendungsfälle (use cases) Ziele (goals) für die Systementwicklung hergeleitet werden [38, 62].

**Definition 3.1:** Unter einem *Szenario* versteht man eine Sequenz von Interaktionsschritten, die unter bestimmten Bedingungen auszuführen sind, d.h. es wird die Reaktion des Systems auf eine mögliche Kombination der Eingangsgrößen beschrieben. Ein *Anwendungsfall* spezifiziert eine Menge an Szenarien, die ein System bei der Interaktion mit externen Objekten ausführt. Ein *Ziel* ist die Beschreibung eines charakteristischen Merkmals des zu entwickelnden Systems [61].

Szenarien und Anwendungsfälle dienen als Erläuterungen bzw. Begründungen für Ziele. Über Ziele wird die Menge der das System betreffenden Wünsche aller Stakeholder be-

### 3 Ansätze zur Verfolgbarkeit

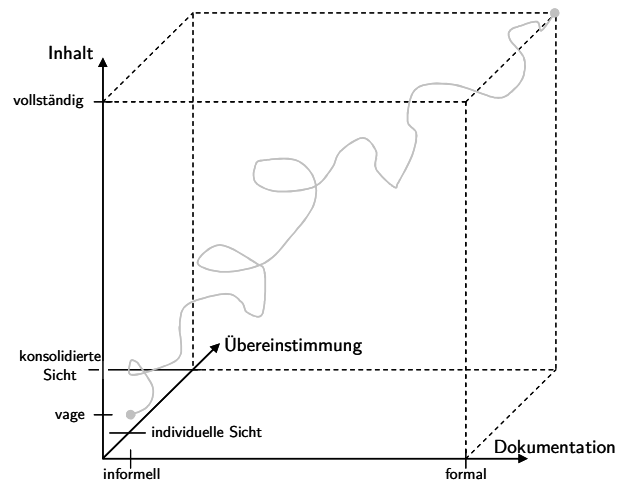


Abbildung 3.2: Die drei Dimensionen des Requirement Engineerings [59]

geschrieben. Die Ziele der Stakeholder sind typischerweise teilweise widersprüchlich, nicht disjunkt und sind nicht vollständig umsetzbar.<sup>1</sup> Zur Ableitung von widerspruchsfreien Anforderungen aus den Zielen können z.B. zielorientierte Ansätze [46, 47] verwendet werden.

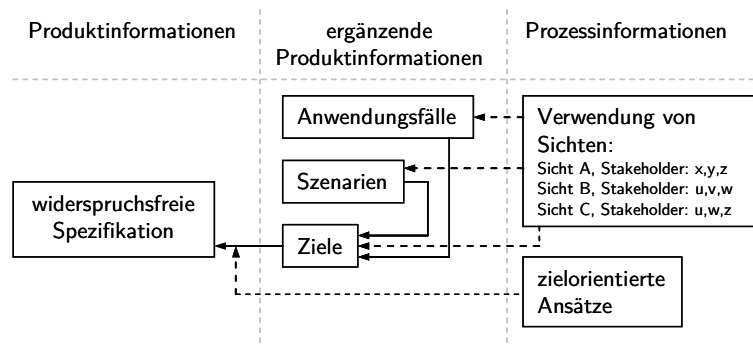


Abbildung 3.3: Exemplarischer Ablauf einer Anforderungsfestlegung (in Anlehnung an [38])

Allein das Wissen über die Existenz der Informationen aus der Anforderungsfestlegung genügt noch nicht um die Prä-Verfolgbarkeit sicherzustellen. Hierzu ist die Erfassung der Informationen und der entstehenden Abhängigkeiten erforderlich. Eine

<sup>1</sup>Abhängigkeiten zwischen Zielen werden in der Literatur teilweise unter dem Bereich der Verfolgbarkeit zugeordnet. Gemäß Definition 2.11 werden diese Abhängigkeiten hier nicht der Verfolgbarkeit zugeordnet.



Werkzeugunterstützung für den Prozess der Anforderungsfestlegung sowie die angewandten Methoden ist hierzu unumgänglich. In [28] wird der Einsatz von Multimedia für einen szenariobasiertes Vorgehen untersucht. PRO-ART [63], TOOR [56, 57] sowie das hypertextbasierte Werkzeug HYDRA [65] sind weitere Prototypen für eine Werkzeugunterstützung im Bereich der Anforderungsfestlegung.

#### 3.1.3 Weshalb: Dokumentation von Entscheidungen

Die Frage nach der Entscheidungsgrundlage für eine Anforderung stellt einen Teilumfang des EM's dar. Der durch das EM festgelegte Ablauf des Entscheidungsfindungsprozesses legt Reihenfolge und Art der Informationen, welche bei Entscheidungen zu Anforderung entstehen, fest. Vor dem Aspekt der Prä-Verfolgbarkeit wurde zur Entscheidungsdokumentation im Rahmen der Anforderungsfestlegung bereits 1970 der IBIS-Ansatz (issue based information system, [44]) veröffentlicht. Zu dem dort vorgestellten Metamodell wird z.B. durch gIBIS (graphical IBIS, [17]) und rIBIS (real-time IBIS, [69]) Werkzeugunterstützung bereitgestellt. Weitere Überlegungen zur Verfolgbarkeit von Entscheidungen findet man z.B. in [36, 67, 89].

## 3.2 Ansätze der Post-Verfolgbarkeit

Betrachtungen aus dem Bereich der Post-Verfolgbarkeit stellen zumeist Umsetzungsansätze in Werkzeugen dar. Beispiele hierzu findet man z.B. in [1, 75, 76]. Eine Übersicht über gängige Werkzeuge wird in [45] bereitgestellt. In diesem Abschnitt werden AM-Konzepte vor dem Hintergrund der Post-Verfolgbarkeit an Hand einiger repräsentativer Erfahrungsberichte vorgestellt. Im Hinblick auf die in Kapitel 1.3 dargestellte Problematik wird auch das Zusammenspiel des AM's mit den unterstützenden Prozessen betrachtet.

Stellvertretend für die Umsetzung bei Automobilherstellern wird die Umsetzung der Post-Verfolgbarkeit bei der AUDI AG in Lieferanten- und Eigenentwicklung dargestellt. Anschließend wird auf Erfahrungen, welche im Rahmen von Kooperationen mit Lieferanten gesammelt wurden, eingegangen. Abschließend wird beispielhaft eine Umsetzung aus der Praxis vorgestellt.

### 3.2.1 Automobilhersteller: Post-Verfolgbarkeit bei der Audi AG

Wie in Kapitel 2.1.3 dargelegt, werden beim Automobilhersteller die beiden Entwicklungsmodelle Lieferanten- und Eigenentwicklung unterschieden. Mit dem Fokus der Verfolgbarkeit wird auf diese Entwicklungsmodelle im Folgenden eingegangen. Die vorgestellten Vorgehen beruhen dabei auf Informationen aus Projekten, in die im Zuge der Erstellung dieser Arbeit Einblicke möglich waren. Der Abschnitt erhebt somit nicht den Anspruch einer vollständigen Beschreibung der im Unternehmen existierenden Vorgehen. Vereinfachend wird die Einschränkung auf die betrachteten Projekte nicht weiter beachtet und ohne Eingrenzung AUDI AG als Anwendungsbereich verwendet.

#### 3.2.1.1 Lieferantenentwicklung

**Dokumentation von Anforderungen** Anforderungen werden bei einer Lieferantenentwicklung mittels Lastenheften an die Zulieferer weitergegeben. Dieses Vorgehen ist auch durch den Einkauf der Automobilhersteller motiviert. Die Lastenhefte beschreiben den Entwicklungsumfang und sorgen bei der Auswahl der Lieferanten für eine Vergleichbarkeit der Angebote. Da die Lastenhefte die Vertragsgrundlage zwischen Automobilhersteller und Lieferant bilden, enthalten sie neben Anforderungen auch zahlreiche weitere Inhalte, die den Vertragsinhalt auch aus ökonomischer Sicht möglichst genau festlegen. Zwar wird dadurch die Wahrscheinlichkeit von Nachverhandlungen gering gehalten, die Lastenhefte werden jedoch sehr umfangreich. Um trotz des Umfangs die schnelle Identifikation der Anforderungen zu ermöglichen, werden die Anforderungen mit eindeutigen Schlüsseln (Requirement keys) gekennzeichnet. Über die eindeutige Zuordnung der Schlüssel zu Anforderungen ist eine inhaltliche Abstimmung einzelner Anforderungen möglich. So wird erreicht, dass zu allen Anforderungen ein einheitliches Verständnis besteht. Fehlerhafte Umsetzungen auf Grund unterschiedlicher Auffassungen von Automobilhersteller und Lieferant werden so weitgehend vermieden. Auf Seiten des Automobilherstellers erleichtern die Schlüssel zudem eine Überprüfung der vollständigen Ableitung von Abnahmetests, welche zur Überprüfung der korrekten Umsetzung der Anforderungen durchgeführt werden.

Um die eben dargestellten Abläufe mit möglichst geringem Aufwand durchführen zu können, wird ein AM-Werkzeug eingesetzt, welches ein dokumentenorientiertes Arbeiten unterstützt. So ist eine einfache Integration in die dokumentenbasierte Entwicklung ermöglichen. Die Weitergabe der Lastenhefte zu den Lieferanten erfolgt bisher zumeist über Dokumentenexports. Um eine bilaterale Bearbeitung der Anforderungen durch Auftraggeber und Lieferant zu ermöglichen, wurde von der Hersteller Initiative Software (HIS) ein Austauschformat, das Requirements Interchange Format (RIF, [77]), erarbeitet. Dieses Format ermöglicht den Austausch von Anforderungen zwischen AM-Werkzeugen. Zu den Anforderungen können Attribute definiert werden, die durch den Lieferanten geändert werden können. Die Änderungen die durch den Lieferanten vorgenommen wurden, werden im AM-Werkzeug beim Automobilhersteller dargestellt.

**Verfolgbarkeit** In den bisherigen Systementwicklungen wurde der vertikalen Verfolgbarkeit geringe Bedeutung zugemessen. Begründet ist dies durch die Tatsache, dass zumeist autarke Systeme entwickelt werden, die zumeist in friedlicher Koexistenz wirken. Sofern ein Zusammenwirken der Systeme vorliegt, wird dieses im Fahrzeug über Parametrisierung optimiert. In der Lieferantenentwicklung ergibt sich daraus, dass lediglich die vertikale Verfolgbarkeit über die durch den Automobilhersteller in den Lastenheften vorgegebenen Zerlegungsebenen dargestellt werden muss. Üblicherweise ist die Anzahl der vorgegebenen Zerlegungsebenen gering, weshalb eine Erstellung und Pflege der Verfolgbarkeitsinformationen ohne Werkzeugunterstützung realisierbar ist. Die Abhängigkeiten zwischen Anforderungen unterschiedlicher Ebenen werden entweder im AM-Werkzeug abgebildet oder im Funktionsnetz der FMEA dargestellt [73]. Größere Bedeutung kommt in der Lieferantenentwicklung der horizontalen Verfolgbarkeit zu. Abnahme- und Integrationstests werden im AM-Werkzeug oder im exter-

nen Test-Werkzeug formuliert und manuell den Anforderungen zugeordnet. Die Implementierung der Tests, die Durchführung und Rückspielung der Ergebnisse in das AM-Werkzeug erfolgt abhängig von der Testumgebung teilweise automatisiert oder manuell.

**Einbindung von Managementprozessen** Wie in Kapitel 2.1.3 dargestellt, liegen große Teile der unterstützenden Prozesse einer Lieferantenentwicklung im Verantwortungsbereich der Lieferanten und werden durch den Automobilhersteller lediglich überwacht. Von den unterstützenden Aktivitäten, die beim Automobilhersteller durchgeführt werden, erfolgen SM, TM und FM anforderungsbasiert. Im SM werden die SIL-Einstufungen aus der G&RA auf Anforderungen heruntergebrochen sowie Sicherheitsanforderungen abgeleitet. Die Herleitung der anforderungsbasierten Tests erfolgt wie oben beschrieben ebenfalls basierend auf Anforderungen. Im Zuge des FM's wird in Abstimmung mit dem Lieferanten eine anforderungsbasierte Planung für die Realisierung der Anforderungen erstellt. Zu den Lieferungen wird der geplante Umsetzungsgrad mit dem realisierten Stand abgeglichen und so der Entwicklungsfortschritt verfolgt. Die Durchführung der übrigen unterstützenden Prozesse erfolgt bisher ohne Bezug zum AM.

**Herausforderungen** Durch die große Anzahl an Lieferantenentwicklungen ist das Vorgehen auch aus Sicht der Verfolgbarkeit relativ ausgereift. Die vertikale Verfolgbarkeit über die Schnittstelle zum Lieferanten hinweg kann durch den Austausch von Anforderungen basierend auf RIF optimiert werden. Bemühungen hinsichtlich der Vernetzung von Systemen wie z.B. der Global Chassis Control (GCC) Ansatz im Fahrwerksbereich [74] sind nur umsetzbar, sofern über der Systemebene eine weitere Ebene eingeführt wird, die das Verhalten der vernetzten Systeme beschreibt. Die Darstellung der Verfolgbarkeit zwischen den Anforderungen dieser Ebene sowie den Systemanforderungen muss damit ebenfalls umgesetzt werden. Vor dem Hintergrund, dass die Entwickler der unterschiedlichen Systeme örtlich getrennt arbeiten, ist dabei eine geeignete Werkzeugumgebung bereitzustellen. In der horizontalen Verfolgbarkeit besteht die Möglichkeit einer weiteren Automatisierung durch die Adaption von Ansätzen zur automatischen Testableitung [21, 20] aus Anforderungen. Die zunehmende Variantenvielfalt wird im Bereich der Lieferantenentwicklung Überlegungen hinsichtlich Wiederverwendungsaspekten im Anforderungsmanagement erforderlich machen.

#### 3.2.1.2 Eigenentwicklung

Im Gegensatz zur Lieferantenentwicklung verfügen die Automobilhersteller in der Eigenentwicklung über eine weniger umfassende Erfahrung. Aus diesem Grund werden die Entwicklungsabläufe – sofern möglich – von der Lieferanten- auf die Eigenentwicklung übertragen.

**Dokumentation von Anforderungen** Die Dokumentation der Anforderungen muss so erfolgen, dass ein Entwicklungsstand (Anforderungen, Implementierungen, Tests,...)

### 3 Ansätze zur Verfolgbarkeit

eindeutig reproduzierbar abgelegt werden kann. Da klassische AM-Werkzeuge die Ablage der Implementierungen nicht unterstützen, ist bei der Verwendung solcher Werkzeuge eine Verwaltung von zwei Datenbanken erforderlich. Dies erfordert einen kontinuierlichen Abgleich der Datenbanken, um die Konsistenz der Daten zu gewährleisten. Ein dokumentenbasiertes Arbeiten ermöglicht neben den Implementierungen und Tests auch die Spezifikationen in einem KM-Werkzeug zu verwalten. Dieses Vorgehen wurde bei der Audi AG in der Eigenentwicklung verfolgt. Die hierarchische Struktur der Anforderungen wird dabei über die Dokumentenstruktur dargestellt. Anforderungen werden von System- und Teilsystemspezifikationen bis in Modulspezifikationen heruntergebrochen. In den Dokumenten erfolgt die Darstellung der Anforderungen in tabellarischer Form. Dabei werden zu den Anforderungen ergänzende Informationen wie Anforderungsschlüssel, Typ der Anforderung, Sicherheitseinstufung und Vorgänger der Anforderung erfasst.

**Verfolgbarkeit** Durch die strukturierte Darstellung der Anforderungen lassen sich die erforderlichen Informationen für die vertikale Verfolgbarkeit aus den Spezifikationen entnehmen. Um eine übersichtliche Darstellung der Verfolgbarkeit über alle Zerlegungsebenen zu ermöglichen, werden die Abhängigkeitsinformationen mittels eines Parsers aus den Spezifikationen in einer Tabellenkalkulation gesammelt bzw. in einem Funktionsnetz in der FMEA graphisch dargestellt. Für die Erfassung der Daten sind dabei mehrere manuelle Schritte durchzuführen. In ähnlicher Weise erfolgt das Vorgehen für die horizontale Verfolgbarkeit, wobei Testfälle zu den Anforderungen bei Testfallerstellung manuell zugeordnet werden.

**Einbindung von Managementprozessen** Ebenso wie in der Lieferantenentwicklung erfolgen auch in der Eigenentwicklung Aktivitäten des TM's, FM's und SM's anforderungsbasiert. Die unterstützenden Aktivitäten, die in der Lieferantenentwicklung zusätzlich beim Automobilhersteller umgesetzt werden, werden bisher nicht anforderungsbasiert durchgeführt.

**Herausforderungen** Das in der Eigenentwicklung verfolgte Konzept erfüllt die Mindestanforderungen, einen eindeutigen Entwicklungsstand reproduzieren und die Verfolgbarkeit darstellen zu können. Die Ermittlung der Verfolgbarkeitsinformationen erfolgt jedoch auf Grund des nicht unerheblichen Aufwandes nur zu einigen Meilensteinen in der Entwicklung. Damit ist der Nutzen der Verfolgbarkeit für die Entwickler nicht gegeben, da die Verfolgbarkeitsinformationen stets auf einer alten Datenbasis beruhen. Bedingt durch den erforderlichen Zeitaufwand für die Erfassung der Verfolgbarkeitsinformationen, ist die Akzeptanz der Entwickler gegenüber der Durchführung der erforderlichen Arbeitsschritte gering. Dies ist insbesondere von Nachteil, da an die Entwickler ein hoher Anspruch hinsichtlich der Einhaltung von Regeln bei der Erstellung der Spezifikationen gestellt wird. Deshalb ist es erforderlich, ein AM-Konzept zu erarbeiten, welches dem Entwickler eine sofortige Nutzung der Verfolgbarkeitsinformationen ermöglicht. Bei der Herleitung des AM-Konzeptes sollte insbesondere berücksichtigt werden, dass das Konzept in die bestehenden Entwicklungsabläufe integrierbar

ist. Des Weiteren ist zu betrachten, welche unterstützenden Aktivitäten mit dem AM interagieren. Sämtlichen Überlegungen müssen dabei vor dem Hintergrund erfolgen, eine möglichst große Unterstützung der Entwickler bei den Entwicklungsaktivitäten erreichen zu können.

### 3.2.2 Weitere Beispiele zur Post-Verfolgbarkeit

Nach der Darstellung des AM-Konzeptes der Audi AG werden in diesem Abschnitt kurz einige Erfahrungen zusammengefasst, die in Kooperationen mit Lieferanten gesammelt wurden, sowie beispielhaft eine Praxisanwendung vorgestellt.

#### 3.2.2.1 Lieferanten

Prägend für das Anforderungsmanagement der Lieferanten ist, dass sie Anforderungen von Kunden erhalten und diese bis zur Umsetzung bzw. Weitergabe an Sublieferanten verwalten. Hieraus resultiert ein Domänenmodell für die Anforderungsverwaltung, welches sich in Kundenebene (Lastenheft), Lösungsebene (Pflichtenheft), Systemebene (Funktionsbeschreibung) und Teilsystemebenen unterteilt. In der Kundenebene sind alle Anforderungen aus den Lastenheften der Automobilhersteller erfasst. In der Lösungsebene wird überprüft, welche dieser Anforderungen umgesetzt werden. Die Systemebene detailliert die Anforderungen aus der Lösungsebene in Bezug auf die technische Umsetzung. In den folgenden Teilsystemebenen werden die Zuordnungen zu Komponenten und Detaillierungen von Anforderungen bis zur Implementierung oder der Weitergabe an Sublieferanten vorgenommen.

Bei den Umsetzungen des Domänenmodells lassen sich zwei Lieferantentypen unterscheiden und zwar Lieferanten, die bereits über Erfahrung in der Entwicklung mechatronischer Systeme verfügen, und Lieferanten, deren Schwerpunkt bisher auf der Entwicklung von HW-Komponenten lag.

**Lieferanten mit Erfahrung in der Entwicklung mechatronischer Systeme** Durch die Erfahrungen in der Entwicklung mechatronischer Systeme existieren bereits etablierte Entwicklungsabläufe und Werkzeugumgebungen. Dabei basieren die Arbeitsweisen zumeist auf einem dokumentenorientiertem Vorgehen. Bedingt durch die Entwicklung von AM-Werkzeugen, welche die Darstellung der Verfolgbarkeit im Gegensatz zu einem dokumentenbasierten Arbeiten vereinfachen, besteht der Wunsch, von den Vorteilen dieser Werkzeuge zu profitieren. Die Einbettung in die bestehende Werkzeuglandschaft erweist sich dabei zumeist als problematisch. Dies führt dazu, dass Verfolgbarkeitsinformationen zumeist nicht umfassend dargestellt und genutzt werden können. Die Nutzung der durch das AM-Konzept bereits erfassten Informationen für unterstützende Prozesse wird zumeist nicht betrachtet, da die unterstützenden Aktivitäten nach den existierenden dokumentenbasierten Abläufen umgesetzt werden.

**Lieferanten mit Kernkompetenz HW-Entwicklung** Lieferanten, die ihre Kernkompetenz im Bereich der HW-Entwicklung angesiedelt hatten, passen ihren Entwicklungsschwerpunkt wegen der zunehmenden Mechatronisierung an. Da Methoden zur

### 3 Ansätze zur Verfolgbarkeit

Entwicklung mechanischer Komponenten die Entwicklungsaktivitäten für mechatronische Systeme nicht umfassend abdecken, sind im Zuge der Anpassung der Kernkompetenzen auch Erweiterungen der bestehenden Prozesse erforderlich. Die dabei entstehende Entwicklungsumgebung zielt zumeist darauf ab, die Verwaltung von Anforderungen, SW-Implementierungen und Tests in einem Werkzeug zu ermöglichen. Damit ist die Grundlage für die Darstellung der Verfolgbarkeit für SW-Komponenten gegeben. Problematischer stellt sich dies bei den HW-Teilsystemen dar. Da dort die etablierten Abläufe weiterhin gelebt werden, kann die Verfolgbarkeit zwischen HW- und SW-Entwicklung nur mit manuellem Aufwand dargestellt werden. Neben dieser Problematik ist bei den AM-Konzepten Optimierungspotential im Bezug auf die Einbettung unterstützender Prozesse gegeben. Diese werden zumeist nicht berücksichtigt, da sie bei der Anpassung der Entwicklungsprozesse hinten angestellt werden.

#### 3.2.2.2 Praxisbeispiel

An dieser Stelle wird beispielhaft das AM-Konzept der MAN Nutzfahrzeuge AG [81] vorgestellt. Dieses verfolgt das Ziel, sämtliche in der Entwicklung entstehenden Artefakte in einer zentralen Datenbank zu verwalten. Die Grundfunktionalitäten der Datenbank werden durch ein Basissystem bereitgestellt, auf welches ein MAN-spezifisches Domänenkonzept aufbaut. Dieses umfasst Module zur Herleitung und Änderung von Anforderungen, zur Anforderungsverwaltung, zur Umsetzung und zum Test. Die Module des Domänenkonzeptes bieten Schnittstellen zu den für den Entwickler gewohnten Werkzeugen. Unterstützung erfahren die Entwickler durch Formulare für Anforderungen und Tests, Workflows für die Artefakte sowie Regeln, die den Aktionsradius bei Entwicklungsaktivitäten auf eine zulässige Untermenge begrenzen. Neben den Entwicklungsaktivitäten unterstützt das Konzept durch eine Termin- und Freigabeplanung das Projektmanagement. Mit dem Ziel, die Fehlerbehebungszeit zu minimieren, werden die in der Entwicklung erfassten Informationen dem Kundendienst zur Verfügung gestellt. Insgesamt bietet das aus Erfahrungen abgeleitete Konzept die Möglichkeit, vertikale und horizontale Verfolgbarkeit weitgehend darzustellen und zu nutzen. Eine Einbindung von unterstützenden Prozessen erfolgt für ausgewählte Aktivitäten.

#### 3.2.3 Zusammenfassung der Praxisberichte

In den Betrachtungen zur Post-Verfolgbarkeit wurden Umsetzungen von AM-Konzepten vorgestellt, die sich auf Grund verschiedener Rahmenbedingungen im Umfang unterscheiden. Die Erfahrungsberichte haben gezeigt, dass in allen Bereichen des Automobilsektors über in den Entwicklungsprozess integrierte Anforderungsmanagementkonzepte angestrebt wird, Verfolgbarkeitsinformationen zu erfassen. Dadurch soll neben dem Nachweis der Verfolgbarkeit die Erfassung und Nutzung der Abhängigkeitsinformationen verbessert werden.

Automobilhersteller haben in der Lieferantenentwicklung ein etabliertes Konzept, welches hinsichtlich vertikaler Verfolgbarkeit, Testableitung und Wiederverwendung optimiert werden kann. In der Lieferantenentwicklung ergeben sich Optimierungsmöglichkeiten durch eine Ausrichtung der Entwicklungsabläufe auf ein anforderungsbasiertes

### 3.3 Ansätze zur automatisierten Abhängigkeitsermittlung

Arbeiten. Dieses muss durch eine geeignete Werkzeugumgebung, die zur Einhaltung der Arbeitsabläufe durch die Entwickler beiträgt, unterstützt werden. Bei Lieferanten mit Erfahrung in der Entwicklung mechatronischer Systeme trifft man auf gewachsene Werkzeugketten. Diese lassen einen durchgängigen konzeptionellen Ansatz in der Breite jedoch vermissen. Lieferanten deren Kernkompetenz bisher im Bereich der HW-Entwicklung lag, haben aus Sicht der Werkzeugumgebung eine durchgängige Umsetzung erkennen lassen. Allerdings beschränken sie sich auf Teile des Entwicklungsprozesses und betrachten unterstützenden Aktivitäten nur am Rande.

Insgesamt kann für die betrachteten Umsetzungen festgehalten werden, dass sowohl ganzheitliche AM-Konzepte erarbeitet werden müssen, als auch der Aspekt der Automatisierung weiter verfolgt werden muss. Von praktischer Seite kann über die Einbindung und Weiterentwicklung von Werkzeugen sowie die Ableitung von 'best practices' ein Beitrag dazu geleistet werden. Neben diesem Vorgehen bieten wissenschaftliche Ansätze zu AM-Referenzmodellen die Möglichkeit einen Leitfaden für die Umsetzung von AM-Konzepten zu geben. Bevor auf solche Überlegungen eingegangen wird, werden zuerst jedoch wissenschaftliche Überlegungen zu Automatisierungsmöglichkeiten bei der Abhängigkeitserfassung betrachtet.

## 3.3 Ansätze zur automatisierten Abhängigkeitsermittlung

Ansätze zur automatisierten Abhängigkeitsermittlung hängen von der Art der Formulierung der Anforderungen ab. Vor dem Hintergrund, dass im Automobilsektor eine textuelle Formulierung der Anforderungen üblich ist, werden hier einige Ansätze zu textuell formulierten Anforderungen vorgestellt.

Ziel dieser Ansätze ist es, in der Anforderungsanalyse beim Auffinden von Abhängigkeiten zwischen den Wünschen der Stakeholder zu unterstützen sowie aus existierenden Dokumenten Abhängigkeitsinformationen ex-post zu ermitteln. So kann man die Ansätze z.B. zur Ermittlung von Abhängigkeiten zwischen Anforderungen und Code verwenden (siehe [4, 52]). Im Folgenden werden zwei mögliche Vorgehen vorgestellt.

### 3.3.1 Informationsrückgewinnung

Ein Ansatz zur Gewinnung von Abhängigkeiten aus textuellen Beschreibungen ist der der Informationsrückgewinnung (IR = Information Retrieval). Die Informationsrückgewinnung befasst sich mit Techniken und Methoden zur Ermittlung von Abhängigkeiten zwischen Dokumenten durch Analyse der Inhalte. Die Ansätze erfolgen nach dem in Abbildung 3.4 dargestellten Vorgehen. Der Anwender wählt aus einem Dokument eine Formulierung aus. Nach dieser bzw. ähnlichen Formulierungen wird in der Menge aller Dokumente gesucht. Über eine Übereinstimmungsbewertung wird anschließend ausgewertet, zu welchen Dokumenten eine Abhängigkeit vermutet wird. Diese werden an den Nutzer als Ergebnis geliefert. Eine Bewertung, ob die ermittelte Abhängigkeit wirklich besteht bzw. ob Abhängigkeiten zu weiteren Dokumenten bestehen, muss abschließend durch den Anwender erfolgen.

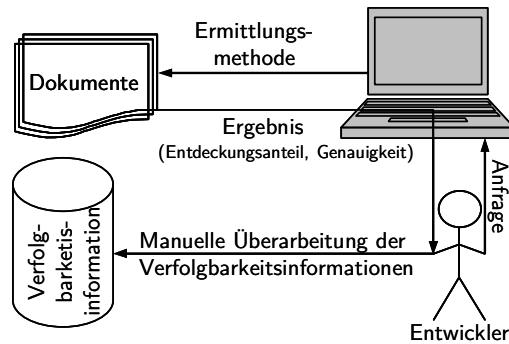


Abbildung 3.4: Ablauf der Informationsrückgewinnung

Unterschiede in den Ansätzen ergeben sich durch die Ermittlung der Übereinstimmung. In [4, 30, 80] werden unterschiedliche vektorraumbasierte Bewertungsmöglichkeiten vorgestellt, wahrscheinlichkeitstheoretische Bewertungsansätze werden in [4, 14, 15] betrachtet.

Die Güte der Übereinstimmungsbewertung wird über die beiden Größen Entdeckungsanteil (Recall) und Genauigkeit (Precision) ermittelt. Diese Größen werden folgendermaßen berechnet:

$$\text{Entdeckungsanteil} = \frac{\text{Anzahl entdeckter Dokumente mit Abhängigkeit zum Ausgangsdokument}}{\text{Anzahl Dokumente mit Abhängigkeit zum Ausgangsdokument}}$$

$$\text{Genauigkeit} = \frac{\text{Anzahl entdeckter Dokumente mit Abhängigkeit zum Ausgangsdokument}}{\text{Anzahl entdeckter Dokumente}}$$

Da Entdeckungsanteil und Genauigkeit von den zugrundeliegenden Dokumenten abhängen, muss die Wahl einer geeigneten Bewertungsmethode abhängig von der Dokumentationsform an Hand eines repräsentativen Beispiels erfolgen. Rahmenbedingungen, wie ein solches Experiment gewählt werden muss, werden in [29] angegeben. Es ist jedoch festzuhalten, dass IR-Ansätze einen Entdeckungsanteil von 100% in Kombination mit einer Genauigkeit von 100% nicht erreichen.

### 3.3.2 Regelbasiertes Vorgehen

Eine Alternative zu IR stellt ein regelbasiertes Vorgehen (siehe z. B. [79, 90]) dar. Abhängigkeitsinformationen werden unter Zuhilfenahme eines Regelwerks, welches durch den Nutzer festzulegen ist, hergeleitet. Im Gegensatz zu den IR-Ansätzen spielt die Häufigkeit des Auftretens von Formulierungen keine Rolle bei der Abhängigkeitsgewinnung. Allerdings hängt der Automatisierungsgrad bei einem regelbasiertem Vorgehen von der Qualität bei der Definition der Regeln sowie von der Einhaltung der Regeln ab.



## 3.4 Referenzmodelle

In diesem Kapitel werden Referenzmodelle (siehe Kapitel 2.2.2.4, S. 27), die bei der Ableitung eines AM-Konzeptes herangezogen werden können, vorgestellt. Im ersten Abschnitt wird dabei auf Arbeiten eingegangen die sich speziell mit dem Anforderungsmanagement befassen, bevor im zweiten Abschnitt Ansätze vorgestellt werden, die vor dem Hintergrund der Einbindung ausgewählter unterstützender Aktivitäten hergeleitet wurden.

### 3.4.1 AM-Referenzmodelle

In Kapitel 3.1 wurde bereits ein erstes Referenzmodell zur Anforderungserarbeitung vorgestellt. Ein weiteres Beispiel eines Referenzmodells aus dem Bereich der Anforderungserhebung findet man in [27]. Dort werden speziell für die Herleitung einer konsistenten Spezifikation Axiome hergeleitet. Eine umfassendere Beschreibung der Anforderungsfestlegung in Form eines Referenzmodells liefert das 'Requirements Engineering Reference Model' (REM, [12, 24]).

REM beschreibt aus relativ abstrakter Sichtweise die Herleitung von Systemanforderungen aus Kundenanforderungen unter Beachtung von Randbedingungen wie Realisierbarkeit, Kosten, etc. Damit wird unabhängig von Domäne und zugrundeliegendem Prozessmodell eine Unterstützung für eine Evaluierung und Anregungen für Verbesserungsmöglichkeiten des bestehenden Prozesses der Erarbeitung von Anforderungen gegeben.

REM stellt dabei ein Artefaktmodell sowie ein Vorgehen zur Qualitätsbewertung der Artefakte bereit. Das Artefaktmodell unterteilt sich in die drei Bereiche 'Business Needs', 'Requirements Specification' und 'System Specification' für welche jeweils Artefakttypen aufgeführt werden. Zu diesen werden Vorlagen bereitgestellt, welche auch Rollenzuordnungen enthalten.

Zur Qualitätsbewertung der Artefakte sieht REM die inhaltliche Bewertung in 'Vollständigkeitsstufen' vor, die in den iterativen Prozess der Anforderungserhebung einzubinden sind. Dargestellt wird die grundlegende Struktur von REM visuell und durch textuelle Beschreibungen ausgeführt. Um eine Übertragung in die Praxis weiter zu erleichtern wird zusätzlich ein Tailoringkonzept vorgestellt. Dieses wird an Hand eines Fallbeispiels des in die Herleitung des Modells involvierten Industriepartners beispielhaft angewandt.

Eine weiterreichende Betrachtung des Lebenszykluses einer Anforderung erfolgt in [68]. Ebenfalls graphisch und ergänzt durch textuelle Beschreibungen werden in der Arbeit von Ramesh die Erfahrungen aus einer umfassenden empirischen Studie abstrahiert und zusammengefasst. Als ein erstes Resultat erfolgt eine Unterteilung in Low-End- und die High-End-Nutzer der Verfolgbarkeit. Low-End-Nutzer haben wenig Erfahrung im Bereich der Verfolgbarkeit. Sie setzen lediglich Aspekte um, die vom Kunden bzw. von Normen gefordert werden und nutzen die erfassten Abhängigkeiten im Wesentlichen für die Änderungsverfolgung. High-End-Nutzer haben bereits Erfahrung in der Sicherstellung der Verfolgbarkeit. Sie setzen umfassende Konzepte um, um Kundenzufriedenheit zu erhöhen und über den Entwicklungszyklus hinweg Informationen zu

### 3 Ansätze zur Verfolgbarkeit

erfassen und zu nutzen. Für beide Nutzergruppen werden domänenunabhängige abstrakte Referenzmodelle vorgestellt.

Das Referenzmodell der Low-End-Nutzer besteht aus den Objekten Anforderung, System, Teilsystem, Komponente, externe Systeme und Verifikationsmethoden. Zwischen diesen Objekten werden die Abhängigkeiten innerhalb der Anforderungen, zwischen Anforderungen und Komponente, zu externen Systemen, sowie Abhängigkeiten zwischen Testmethoden und Anforderungen bzw. Komponenten abgebildet. Das Modell der High-End-Nutzer ist deutlich umfangreicher und durch die folgenden Teilmodelle beschrieben:

- ▷ Anforderungsmodell: Darstellung der Entstehung und Entwicklung von Anforderungen.
- ▷ Entscheidungsmodell: Beschreibung von Einflussfaktoren bei Produktentscheidungen.
- ▷ Architekturmodell: Darstellung des Einflusses von Anforderungen, Änderungsanträge und Vorschriften auf die Architektur
- ▷ Verifikationsmodell: Darstellung der Artefakte und Abhängigkeiten, die in der Ermittlung von Verifikationsverfahren und bei der Durchführung der Verifikation entstehen.

Die dem Modell zugrundeliegenden, aus unterschiedlicher Domänen erlangte Informationsgrundlage führt dazu, dass sowohl das Modell der Low-End-Nutzer als auch das komplexe Modell der High-End-Nutzer für eine praktische Anwendung einen hohen Anpassungsaufwand erforderlich macht. Aus diesem Grund erfolgt in [49] eine Übertragung des Modells auf eine UML-basierten Entwicklung.

#### 3.4.2 Referenzmodell & unterstützende Aktivitäten

Neben den Betrachtungen zu AM-Referenzmodellen finden sich in der Literatur Referenzmodelle die speziell vor dem Hintergrund einer Verwendung von Verfolgbarkeitsinformationen bei der Durchführung unterstützender Prozesse hergeleitet wurden.

In [18] erfolgt eine solche Betrachtung vor dem Hintergrund der Einbindung des Releasemanagements. Weiter wird in den dort durchgeführten Überlegungen der Wiederverwendungsaspekt mit berücksichtigt. Neben einer textuellen Beschreibung werden die vorgestellten Abläufe und Abhängigkeiten in Entwicklungsaxiomen formal dargestellt. Die Axiome orientieren sich dabei an einer Entwicklung für Standardsoftware und werden an Hand von Beispielen aus selbiger erläutert. Grundlegende Betrachtungen zur Übertragung der Ergebnisse auf eine Anwendung im Automobilsektor werden in [11] durchgeführt. Kern der beiden Betrachtungen ist die Phase der Herausarbeitung der Anforderungen und die Verfolgung der Systemanforderungen in der weiteren Entwicklung. Detailierung und Unterteilung von Anforderungen über Zerlegungsebenen finden dabei ebenso keine Beachtung wie Schritte der Verifikation und Validierung.

Das Änderungsmanagement steht im Fokus des Referenzmodells aus [40]. Dort wird die im Zuge eines Änderungsverfahrens durchzuführende Auswirkungsanalyse durch

Verfolgbarkeitsansätze unterstützt.<sup>2</sup> Betrachtet wird bei der Auswirkungsanalyse ein reines top-down Vorgehen, weshalb eine Eingrenzung auf Änderungen auf Systemebene erfolgt. Als weitere Annahmen werden die Entwicklung nach dem Do-It-Prozess [41] und eine Dokumentation in UML vorausgesetzt. Das unter diesen Rahmenbedingungen abgeleitete Referenzmodell setzt sich aus einem Dokumentationsreferenzmodell und ein Systemreferenzmodell zusammen. Die beiden Modelle umfassen jeweils die drei Ebenen 'Systemrequirements', 'Systemdesign und SW-Anforderungen' und 'SW-High-level-Design' und werden textuell sowie in UML beschrieben.

Im Systemreferenzmodell werden Systemelemente, unterschiedliche Systemaufgaben sowie Abhängigkeiten zwischen den Modellelementen dargestellt. Das Dokumentationsmodell umfasst die zugehörige Dokumentation zu den Systemelementen und beschreibt die Abhängigkeiten zwischen diesen. Der Zusammenhang zwischen System- und Dokumentations-Referenzmodell wird durch die Beschreibung der Abhängigkeiten beschrieben. Für alle Abhängigkeiten, die das Referenzmodell umfasst, werden Regeln hergeleitet, die zulässige bzw. erforderliche Beziehungen betreffen. Mit diesen Modellkomponenten sowie dem definierten Zusammenspiel wird ein Referenzmodell für produktbezogene Artefakte bereitgestellt. Prozessartefakte, Implementierung und Testartefakte werden in diesem Modell nicht betrachtet.

### 3.4.3 Einordnung der Referenzmodelle

Die Abschnitte 3.4.1 und 3.4.2 haben eine Übersicht zu Referenzmodellen gegeben. Abschließend werden diese hier gemäß den in Kapitel 2.2.2.4 (S. 27) vorgestellten Kriterien einsortiert.

Referenzmodell	Domäne	Detailierung	Darstellung	Nutzung
REM	eingebettete Systeme	abstrakt	textuell / semiformal	–
Ramesh	unabhängig	abstrakt	textuell / semiformal	–
Deifel	Standardsoftware	detailliert	textuell / formal	Release-management, Wiederverwendung
v. Knethen	eingebettete Systeme, Entwicklung nach Do-It-Prozess	detailliert	textuell / semiformal	Änderungsmanagement

Tabelle 3.1: Einordnung von Referenzmodellen

<sup>2</sup>Neben diesem Anforderungs-orientierten Vorgehen kann die Auswirkungsanalyse auch aus Implementierungssicht durch code-orientierte Ansätze gestützt werden.

### *3 Ansätze zur Verfolgbarkeit*

## 4 Herausforderungen zur Verfolgbarkeit

Im vorangegangenen Kapitel wurde ein Überblick über existierende Ansätze des AM's mit dem Fokus der Verfolgbarkeit gegeben. In diesem Abschnitt werden die dargestellten Ansätze zusammengefasst. Dabei wird herausgearbeitet, welche Herausforderungen sich für Verfolgbarkeitsansätze im Automobilssektor ergeben.

### 4.1 Prä-Verfolgbarkeit

#### 4.1.1 Zusammenfassung

Die Prä-Verfolgbarkeit wurde in [26] als der Bereich der Verfolgbarkeit ermittelt, der weiterer wissenschaftlicher Betrachtung bedarf. Die hier vorgestellten Ansätze zur Prä-Verfolgbarkeit haben gezeigt, dass zahlreiche Überlegungen zu diesem Bereich durchgeführt wurden. Die Anforderungserarbeitung wird hinsichtlich des Ablaufs [23, 39, 59] und möglicher Methoden zur Anforderungsfestlegung [43, 48, 38, 62, 46, 47, 44, 36, 67] betrachtet. Dabei werden entstehende Artefakte und Abhängigkeiten ermittelt, die zur Sicherstellung der Prä-Verfolgbarkeit erfasst werden können [64, 25]. Überlegungen zu Werkzeugen [28, 63, 56, 57, 65, 17, 69] zeigen Unterstützungsmöglichkeiten für die Dokumentation der Informationen auf.

#### 4.1.2 Herausforderungen

Die Tatsache, dass die existierenden Ansätze allgemein gehalten sind erschwert jedoch den Einsatz der Methoden in Entwicklungen im Automobilssektor. Aus diesem Grund werden die Betrachtungen zur Prä-Verfolgbarkeit in der Praxis nur in geringem Maße angewandt. Um die wissenschaftlichen Ansätze im Automobilssektor effektiv einsetzen zu können, sind Überlegungen zu den folgenden Punkten erforderlich:

- ▷ **Vorgehen:** Die in der Literatur vorgeschlagenen Vorgehen zur Anforderungserhebung [23, 39, 59] müssen vor dem Hintergrund der im Automobilssektor üblichen Abläufe in der Vorentwicklung bewertet werden. Insbesondere muss dabei die Beteiligung von Stakeholdern aus unterschiedlichsten Bereichen berücksichtigt werden. Sofern erforderlich, müssen die existierenden Ansätze zum Vorgehen angepasst bzw. neu entworfen werden. Vor dem Aspekt der Prä-Verfolgbarkeit muss herausgearbeitet werden, zu welchem Zeitpunkt welche Artefakte und welche Abhängigkeiten entstehen.

- ▷ **Methoden:** Es ist zu analysieren, welche Methoden bei der Anforderungserhebung in der Vorentwicklung angewandt werden können bzw. inwieweit eine Anpassung existierender [43, 48, 38, 62, 46, 47, 44, 36, 67] oder Herleitung neuer Methoden erforderlich ist. Dabei muss betrachtet werden, welche Informationen bei der Anwendung der Methoden erzeugt werden und in welchem Umfang eine Erfassung der Informationen erfolgen kann.
- ▷ **Werkzeugunterstützung:** Eine mögliche Verwendung von Werkzeugen zur Erfassung der Verfolgbarkeitsinformationen muss beleuchtet werden. Hierzu gilt es, Anforderungen aus dem Ablauf und den angewandten Methoden zur Anforderungserhebung sowie den domänenspezifischen Abläufen zu ermitteln. Anhand dieser Anforderungen müssen Umsetzungen hergeleitet und evaluiert werden.

## 4.2 Post-Verfolgbarkeit unter Berücksichtigung von Automatisierung und Referenzmodellen

### 4.2.1 Zusammenfassung

Die Praxisberichte aus dem Automobilsektor [73, 81] haben gezeigt, dass das Ziel verfolgt wird, die Möglichkeiten, die sich durch die Weiterentwicklung der Werkzeuge ergeben, zu nutzen. Bedingt durch die unterschiedlichen Rahmenbedingungen weisen die in dieser Arbeit vorgestellten Ansätze verschiedene Reifegrade auf. Bei allen Betrachtungen ist jedoch deutlich geworden, dass Anpassungen an Umsetzungen auf Grund des in der Industrie herrschenden Zeitdruckes zügig und ohne ausführliche Analyse des Gesamtgefüges durchgeführt werden. Ein schlüssiges Gesamtkonzept liegt den AM-Konzepten damit nicht zugrunde. Ein solches Konzept kann in Form eines Referenzmodells bereitgestellt werden. Allerdings finden sich in der Literatur nur wenige Ansätze zu Referenzmodellen [11, 18, 40, 49, 68]. Aus der Betrachtung der vorliegenden Referenzmodelle wurde ersichtlich, dass umfassende Betrachtungen [68, 49] nur domänenunabhängig vorliegen und vertieft den Bereich der Prä-Verfolgbarkeit behandeln. Für eine Anwendung im Automobilsektor bedeutet dies, dass Anpassungen an die domänenspezifischen Abläufe erfolgen müssen. Desweiteren ist eine Erweiterung auf Artefakte und Abhängigkeiten der Post-Verfolgbarkeit erforderlich. Hierzu liegen jedoch lediglich Betrachtungen wie z.B. [11] vor, die nur einen geringen Ausschnitt der Artefakte und Abhängigkeiten betrachten.

Da Referenzmodelle zur Ableitung eines AM-Konzeptes herangezogen werden sollen, welches in weitere Entwicklungsaktivitäten eingebunden ist, muss das Referenzmodell auch ein Zusammenspiel mit unterstützenden Prozessen abbilden. Diese Betrachtung wird in bestehenden Ansätzen [18, 40] nur für einige unterstützende Aktivitäten durchgeführt.

Neben der Integration in den Entwicklungsprozess stellt die Automatisierung in der Erfassung von Abhängigkeiten eine große Herausforderung dar. Die vorgestellten Ansätze [4, 14, 15, 30, 79, 80, 90] dienen im Bereich der Post-Verfolgbarkeit grundsätzlich einer Nachdokumentation der Verfolgbarkeit. Damit kann der Nutzen der Verfolgbar-

#### 4.2 Post-Verfolgbarkeit unter Berücksichtigung von Automatisierung und Referenzmodellen

keit nicht ausgeschöpft werden. Des Weiteren liefern die Ansätze Abhängigkeiten nur mit einem bestimmten Entdeckungsanteil und einer bestimmten Genauigkeit. Eine Anwendung der Automatisierungsansätze stellt deshalb nur für Teile der zu erfassenden Abhängigkeitsinformationen eine sinnvolle Aufzeichnungsstrategie dar.

#### 4.2.2 Herausforderungen

Für die Post-Verfolgbarkeit im Automobilssektor ergeben sich damit folgende Herausforderungen:

- ▷ **Referenzmodell:** Es muss ein umfassendes AM-Referenzmodell erarbeitet werden, welches die im Laufe der Entwicklung entstehenden Artefakte und deren Abhängigkeiten untereinander abbildet. Der Entwurf des Modells muss dabei unter Beachtung des automobilspezifischen Entwicklungsprozesses und den dadurch gegebenen Abläufen erfolgen.
- ▷ **Einbindung unterstützender Prozesse:** Ein mögliches Zusammenspiel zwischen AM und unterstützenden Prozessen muss erarbeitet werden. Dabei muss herausgearbeitet werden, welche Informationen zu Anforderungen durch welchen unterstützenden Prozess genutzt werden. Auch die durch den Entwicklungsprozess vorgegebenen Abläufe sind bei der Betrachtung zu beleuchten.
- ▷ **Nutzung:** Um die Ableitung einer Nutzungsstrategie zu erleichtern muss der Zusammenhang zwischen der Nutzung der Verfolgbarkeitsinformationen und dafür erforderlichen Informationen erarbeitet werden.
- ▷ **Aufzeichnungsstrategie:** Hinsichtlich der Aufzeichnungsstrategie sind Überlegungen erforderlich, inwieweit die Darstellung der Anforderungen im Automobilssektor eine automatisierte Erfassung von Abhängigkeitsinformationen zulässt bzw. inwieweit eine Anpassung der Dokumentation erfolgen muss. Weiter ist eine Analyse der Entwicklungsabläufe hinsichtlich der Verwendung einer eventgesteuerten Aufzeichnungsstrategie erforderlich. Für Artefakte, bei denen eine ex-post Erfassung der Abhängigkeiten ausreichend ist, muss eine Bewertung und Übertragung von Ansätze zur automatisierten Erfassung erfolgen. Sämtliche Betrachtungen zur Aufzeichnungsstrategie sind dabei unter Beachtung der geplanten Nutzung durchzuführen.
- ▷ **Nutzungsstrategie:** Es müssen unterschiedliche Nutzungsstrategien erarbeitet und aus ökonomischer, psychologischer, etc. Sicht bewertet werden.
- ▷ **Werkzeugbetrachtung:** Für die Umsetzung von AM-Konzepten müssen mögliche Implementierungen bereitgestellt werden. Aus den AM-Konzepten leiten sich Anforderungen an die Umsetzungen ab. Nach der Herleitung von Umsetzungen müssen selbige durch ein Beispiel aus dem Automobilssektor analysiert und anhand der Anforderungen bewertet werden.

#### *4 Herausforderungen zur Verfolgbarkeit*



## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Automobilsektor befindet sich durch den verstärkten Einsatz von SW-Komponenten in einem Wandel, der zur Folge hat, dass der Nachweis von Qualität und Sicherheit der immer komplexeren SW-Systeme sowie des Gesamtsystems Fahrzeug immer schwieriger geführt werden kann. Diesem Fakt kann unter anderem durch Optimierungen im Entwicklungsprozess entgegengetreten werden. In dieser Arbeit wurde im Entwicklungsprozess der Fokus auf den Subprozess Anforderungsmanagement gelegt. Nach einer Einführung in die Entwicklung im Automobilsektor wurde dabei insbesondere die zentrale Rolle der Verfolgbarkeit in einer Entwicklung aufgezeigt. Deshalb wurde im weiteren Verlauf der Arbeit für die unterschiedlichen Phasen der Entwicklung herausgearbeitet, inwieweit Ansätze aus Wissenschaft und Praxis vorliegen. Dabei wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt, sowie Umsetzungen aus der Praxis vorgestellt.

In den frühen Phasen der Entwicklung konnte dabei festgestellt werden, dass im Wesentlichen wissenschaftliche Ansätze existieren, die in der Vorentwicklung im Automobilsektor kaum Anwendung finden. Für die späteren Entwicklungsphasen konnten auf umfangreiche Betrachtungen aus der Praxis zurückgegriffen werden. In diesen wird die Anwendung von kommerziellen Werkzeugen zur Erfassung von Verfolgbarkeitsinformationen beschrieben. Aus diesen Feststellungen folgt, dass in den frühen Phasen anwendungsnahe Betrachtungen, für spätere Entwicklungsphasen stärker konzeptionelle Überlegungen erforderlich sind. Im Detail wurden die Herausforderungen in Kapitel 4 beschrieben.

Mit dieser Arbeit wurde damit eine Ausgangslage geschaffen, die aufzeigt, in welchen Bereichen wissenschaftliche Herausforderungen für die Verfolgbarkeit im Automobilsektor existieren. Mit der ausführlichen Beschreibung des Entwicklungsablaufs im Automobilsektor und der Herleitung der Begriffe aus dem Anforderungsmanagement wurden die Grundlagen für Überlegungen zur Verfolgbarkeit im Automobilsektor bereitgestellt. Die Diskussion der existierenden Ansätze aus dem Bereich der Verfolgbarkeit gibt zudem die Möglichkeit eines schnellen Anknüpfens an diese Überlegungen. Aufgabe weiterer Arbeiten ist es nun die Potentiale, die sich durch die Herausforderungen ergeben, zu nutzen, um auch für die Zukunft die Entwicklung qualitativ hochwertiger und sicherer Fahrzeuge zu ermöglichen. Dabei ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen und Industriepartnern sinnvoll, um die Konzepte bis zur Anwendung hin verfolgen und bewerten zu können.

Da aktuell in der Industrie speziell im Bereich der Post-Verfolgbarkeit geeignete Konzepte benötigt und gesucht werden, wird der Autor dieser Arbeit Überlegungen zu diesem Bereich anstellen. Dabei soll in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner ein detailliertes Referenzmodell erarbeitet werden, welches Lebenszyklen von Anforderungen unterschiedlicher Zerlegungsebenen sowie das Zusammenspiel zwischen die-

## *5 Zusammenfassung und Ausblick*

sen Ebenen beschreibt. Weiteres Ziel des Ansatzes wird es sein, die Einbindung von unterstützenden Prozessen zu beleuchten. Um die Anwendung des Modells zu motivieren, werden sämtliche Überlegungen vor dem Hintergrund einer Nutzung der Verfolgbarkeitsinformationen durchgeführt. Damit liefert der Ansatz Überlegungen zu den Punkten 'Referenzmodell', 'Einbindung unterstützender Prozesse' und 'Nutzung' aus Kapitel 4.2.2 angestellt.

Im Anschluss an diese Betrachtungen wird es erforderlich sein sich mit den Punkten 'Aufzeichnungsstrategie', 'Nutzungsstrategie' sowie 'Werkzeugbetrachtung' auseinanderzusetzen, um ein integratives Verfolgbarkeitskonzept umsetzen zu können.

# Literaturverzeichnis

- [1] ALEXANDER, I.: Semi Automatic Tracing of Requirement Versions to Use Cases Experiences & Challenges. In: Proceedings of 2nd International Workshop on Traceability in Emerging Forms of Software Engineering (TEFSE '03), 2003.
- [2] ALLMANN, C.: Automobile Vorentwicklung, Anforderungsmanagement auf der grünen Wiese?. GI Softwaretechnik - Trends, 27(1), 2007.
- [3] AMSLER, K.-J., J. FETZER, D. LEDERER und M. ERBEN: Sicherheitsgerechte Entwicklungsprozesse - alles neu geregelt?. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, 2004.
- [4] ANTONIOL, G., G. CANFORA, G. CASAZZA, A. DE LUCIA und E. MERLO: Recovering Traceability Links between Code and Documentation. IEEE Transactions on Software Engineering, 28(10):970–983, 2002.
- [5] AUDI AG: Funktionsentwicklungsprozess I/EF-25.
- [6] AUDI AG: Systementwicklungsprozess I/EF-25.
- [7] AUDI AG: Systemfreigabehandbuch I/EF-25.
- [8] BENZ, S.: Eine Entwicklungsmethodik für sicherheitsrelevante Elektroniksysteme im Automobil. Doktorarbeit, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik - Universität Karlsruhe, 2004.
- [9] BMW GROUP: Standard 95014: Embedded Software Entwicklung.
- [10] BOEHM, B. W.: A Spiral Model of Software Development and Enhancement. IEEE Computer, 21:61–72, 1988.
- [11] BOTASCHANJAN, J., A. FLEISCHMANN und M. PISTER: Integration of Classifications, Structuring and Process Models. In: HEUMESSER, N. (Hrsg.): Framework for Requirements, Kap. 4, S. 90 – 125. EMPRESS Consortium, April 2004.
- [12] BROY, M., E. GEISBERGER, J. KAZMEIER, A. RUDORFER und K. BEETZ: Ein Requirements Engineering Referenzmodell. GI Informatik Spektrum, 3, 2007.
- [13] BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND: BUNDESMINISTERIUM DES INNEREN: V-Modell XT, 2004.

- [14] CLELAND-HUANG, J., R. SETTIMI, O. BENKHADRA, E. BEREZHANSKAYA und S. CHRIST: Goal-centric traceability for managing non-functional requirements. In: Proceedings of the 27th international conference on Software engineering, S. 362 – 371, New York, 2005. ACM Press.
- [15] CLELAND-HUANG, J., R. SETTIMI, C. DUAN und X. ZOU: Utilizing Supporting Evidence to Improve Dynamic Requirements Traceability. In: Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Requirements Engineering (RE'05), S. 135 – 144, 2005.
- [16] CMMI PRODUCT TEAM: CMMI for Development. Techn. Ber., Carnegie Mellon University, 2006.
- [17] CONKLIN, J. und M. L. BEGEMAN: gIBIS: A Hypertext Tool for Exploratory Policy Discussion. In: Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW), S. 140–152, 1988.
- [18] DEIFEL, B.: Requirements Engineering komplexer Standardsoftware. Doktorarbeit, TU München, 2001.
- [19] DRÖSCHEL, W. und M. WIEMERS: Das V-Modell 97: Der Standard für die Entwicklung von IT-Systemen mit Anleitungen für den Praxisansatz. Oldenbourg, München, 2000.
- [20] ESSER, M. und P. STRUSS: Automated Test Generation from Models Based on Functional Software Specifications. In: 3rd Indian International Conference on Artificial Intelligence, 2007.
- [21] ESSER, M. und P. STRUSS: Obtaining Models for Test Generation from Natural-language-like Functional Specifications. In: 18th International Workshop on Principles of Diagnosis, 2007.
- [22] GAUSEMEIER, J. und S. MÖHRINGER: Die neue Richtlinie VDI 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. 5. VDI-Mechatroniktagung 2003 Innovative Produktentwicklung., VDI-Berichte 1753:43–67, 2003.
- [23] GEISBERGER, E.: Requirements Engineering eingebetteter Systeme - ein interdisziplinärer Modellierungsansatz. Doktorarbeit, TU München, 2005.
- [24] GEISBERGER, E., M. BROY, J. KAZMEIER, A. RUDORFER, B. BERENBACH und D. PAULISCH: Requirements Engineering Referenzmodell. Techn. Ber., Institut für Informatik - TU München, 2006.
- [25] GOTEL, O. C. Z. und A. C. W. FINKELSTEIN: Contribution structures. In: Second IEEE International Symposium on Requirements Engineering (RE95), S. 100–107, 1995.
- [26] GOTEL, O. C. Z. und A. C. W. FINKELSTEIN: An Analysis of the Requirements Traceability Problem, Kap. 2, S. 59–66. IEEE Computer Society Press, 1996.

- [27] GUNTHER, C. A., G. E. L., M. JACKSON und P. ZAVE: A Reference Model for Requirements and Specifications. IEEE Software, 17 (3):37–43, 2000.
- [28] HAUMER, P.: Requirements Engineering with Interrelated Conceptual Models and Real World Scenes. Doktorarbeit, RWTH Aachen, 2000.
- [29] HAYES, J. H., A. DEKHTYAR und J. M. CARIGAN: Recommending a Framework for Comparison of Requirements Tracing Experiments. In: on-line proceedings of the Workshop on Empirical Studies of Software Maintenance (WESS 2004), Chicago, IL, 2004.
- [30] HAYES, J. H., A. DEKHTYAR und J. OSBORNE: Improving requirements tracing via information retrieval. In: Proceedings of the 11th IEEE International Requirements Engineering Conference (RE 2003), S. 138–147, Monterey, Californien, 2003.
- [31] HULL, E., J. DICK und K. JACKSON: Requirements Engineering. Springer, London, Berlin, Heidelberg, second edition Aufl., 2005.
- [32] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS: IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications (IEEE Std. 830-1998), 1998.
- [33] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION: IEC 61508: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme.
- [34] INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG: ISO WD 26262: Automotive E/E Sicherheitsengineering (Normentwurf).
- [35] INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG: ISO/IEC 15504: Software Process Improvement and Capability Determination (SPICE).
- [36] JARCZYK, A. P. J., P. LÖFFLER und F. M. SHIPMAN: Design Rationale for Software Engineering: A Survey. In: Proceedings of the 25th Hawaii International Conference on System Sciences, Bd. 2, S. 577–586, 1992.
- [37] JARKE, M.: Requirements tracing. Communications of the ACM, 41(12):32–36, 1998.
- [38] JARKE, M.: CREWS: Towards Systematic Usage of Scenarios, Use Cases and Scenes. In: 4. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (WI'99), S. 469–486, 1999.
- [39] JARKE, M., K. POHL, R. DÖMGES, S. JACOBS und H. NISSEN: Requirements Information Management: The NATURE Approach. Ingenierie des Systemes d'Informations (Special Issue on Requirements Engineering), 2(6):609–637, 1994.
- [40] KNETHEN, A. VON: Change-Oriented Requirements Traceability. Support for Evolution of Embedded Systems. Doktorarbeit, Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering, AG Software Engineering, 2001.

- [41] KNETHEN, A. VON und J. MÜNCH: Entwicklung eingebetteter Software mit UML: Der Do-it-Prozess V 1.0. Techn. Ber., Fachbereich Informatik der TU Kaiserslautern, 2000.
- [42] KNETHEN, A. VON und B. PAECH: A Survey on Tracing Approaches in Practice and Research. Techn. Ber., Fraunhofer Institut Experimentelles Software Engineering (IESE), IESE Report No. 095.01/E, 2002.
- [43] KOTONYA, G. und I. SOMMERVILLE: Requirements engineering with viewpoints. Software Engineering Journal, 11(1):5 – 18, 1996.
- [44] KUNZ, W. und H. W. J. RITTEL: Issues as Elements of Information Systems. Techn. Ber. Working Paper 131, Center for planning and Development Research, University of California, 1970.
- [45] LAM, D. und R. ACHRAFI: Volere: Requirements Tools, 2007.
- [46] LAMSWEERDE, A. VAN: Goal-Oriented Requirements Engineering: A Guided Tour Invited Minitutorial, Proc.. In: Proceedings of the 5th International Symposium of Requirements Engineering (RE01), S. 249–263, 2001.
- [47] LAMSWEERDE, A. VAN: Goal-Oriented Requirements Engineering: A Roundtrip from Research to Practice. In: Proceedings of 12th IEEE Joint International Requirements Engineering Conference (RE04), S. 4–8, 2004.
- [48] LEITE, J. C. S. D. P. und P. A. FREEMAN: Requirements Validation Through Viewpoint Resolution. Transactions on Software Engineering, 17(12):1253–1269, 1991.
- [49] LETELIER, P.: A framework for requirements traceability in UML-based projects. In: Proceedings of 1st International Workshop on Traceability in Emerging Forms of Software Engineering, 2002.
- [50] LUTTIKHUIZEN, P.: Requirements Modelling and Traceability. ESAPS, WP3, Derivation of Products and Evolution of System Families WP3-0106-01, 2001.
- [51] MACIASZEK, L. A.: Requirements Analysis and System Design. Addison-Wesley, Boston, Second Edition Aufl., 2005.
- [52] MALETIC, J. I., E. V. MUNSON, A. MARCUS und T. N. NGUYEN: Using a Hypertext Model for Traceability Link Conformance Analysis. In: Proceedings of the Second International Workshop on Traceability in Emerging Forms of Software Engineering (TEFSE 2003), S. 47–54, 2003.
- [53] MARTINUS, M. A.: Funktionale Sicherheit von mechatronischen Systemen bei mobilen Arbeitsmaschinen. Doktorarbeit, Institut für Maschinenwesen - TU München, 2004.
- [54] MISRA (THE MOTOR INDUSTRY SOFTWARE RELIABILITY ASSOCIATION): Development Guidelines for vehicle based software.

- [55] PARTSCH, H.: Requirements Engineering systematisch Modellbildung für softwaregestützte Systeme. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1998.
- [56] PINHEIRO, F. A.: An object - oriented library for tracing requirements. In: Anais do WER99 - Workshop em Engenharia de Requisitos, S. 187–197, Buenos Aires, Argentina, 1999.
- [57] PINHEIRO, F. A. C.: Formal and Informal Aspects of Requirements Tracing. In: Anais do WER00 - Workshop em Engenharia de Requisitos, S. 1–21, 2000.
- [58] PINHERO, F. A. C.: Requirements Traceability, Kap. 5, S. 91–113. Kluwer, 2004. ISBN 1402076258.
- [59] POHL, K.: The Three Dimensions of Requirements Engineering. In: Proceedings of the 5th Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE), S. 275–292, 1993.
- [60] POHL, K.: Process-Centered Requirements Engineering. Research Studies Press Ltd., Taunton, Somerset, 1996.
- [61] POHL, K.: Requirements Engineering: Grundlagen, Methoden, Techniken. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2007.
- [62] POHL, K., M. BRANDENBURG und A. GÜLICH: Integrating Requirement and Achitecture Information - A Scenario and Meta-Model Based Approach. In: Proceedings of REFSQ 2001, 2001.
- [63] POHL, K., R. DÖGMES und M. JARKE: PRO-ART: A Process Centered Requirements Engineering Environment. Shaker Verlag, Aachen, 1999.
- [64] POHL, K., R. DÖMGES und M. JARKE: Towards Model-Driven Trace Capture. In: OLIVÉ, A. und J. A. PASTOR (Hrsg.): Proceedings of the 9th Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE 97), Lecture Notes in Computer Science, 26, S. 103–116. Springer, 1997.
- [65] POHL, K. und P. HAUMER: HYDRA: A Hypertext Model for Structuring Informal Requirements Representations. In: POHL, K. P. P. (Hrsg.): Proceedings of the 2nd Intl. Workshop on Requirements Engineering - Foundation of Software Quality (REFSQ 95), S. 118–134, 1995.
- [66] PUSCHING, A. und R. T. KOLAGARI: Requirements Engineering in the Development of Innovative Automotive Embedded Software Systems. In: Proceedings of the 12th IEEE International Requirements Engineering Conference (RE 04), S. 328–333, 2004.
- [67] RAMESH, B. und V. DHAR: Supporting Systems Development by Capturing Deliberations During Requirements Engineering. IEEE Transactions on Software Engineering, 18(6):498–510, 1992.

- [68] RAMESH, B. und M. JARKE: Toward Reference Models of Requirements Traceability. IEEE Transactions on Software Engineering, 27(1):58–93, 2001.
- [69] REIN, G. L. und C. A. ELLIS: rIBIS: a real-time group hypertext system. International Journal of Man-Machine Studies, 34(3):349–367, 1991.
- [70] RUPP, C. und DIE SOPHISTEN: Requirements Engineering und -Management Professionelle, iterative Anforderungsanalyse für die Praxis. Hanser, München, Wien, 4. Auflage Aufl., 2007.
- [71] SCHIENMANN, B.: Kontinuierliches Anforderungsmanagement Prozesse - Techniken - Werkzeuge. Addison-Wesley, München, 2002.
- [72] SCHÄUFFELE, J. und T. ZURAWKA: Automotive Software Engineering Principles, Processes, Methods, and Tools. Vieweg, 2003.
- [73] SCHULLER, J., M. LANNOLJE, M. SAGEFKA, W. DICK und R. SCHWARZ: Achieving functional safety of Audi dynamic steering using a structured development process. In: Mechatronic Systems, Bd. 4, 2006.
- [74] SCHWARZ, R. und P. RIETH: Global Chassis Control - Systemvernetzung im Fahrwerk. at - Automatisierungstechnik, 51:300–312, 2003.
- [75] SHERBA, S. A. und M. ANDERSON, KENNETH M. AND FAISAL: A Framework for Mapping Traceability Relationships. In: International Workshop on Traceability in Emerging Forms of Software Engineering (TEFSE 03), Montreal, CA, 2003.
- [76] SMETHURST, G.: Anforderungsmanagement bei BMW: Die Herausforderungen der Zukunft in den Griff bekommen. In: REconf 2006 - Konferenz-CD, 2006.
- [77] SOFTWARE, H.: Spezifikation Requirements Interchange Format (RIF).
- [78] SOMMERVILLE, I.: Software Engineering. Addison Wesley, Boston, Seventh Edition Aufl., 2004.
- [79] SPANOUDAKIS, G., A. ZISMAN, E. PÉREZ-MIÑANA und K. PAUL: Rule-Based Generation of Requirements Traceability Relations. Journal of Systems and Software, 72(2):105–127, 2004.
- [80] SUNDARAM, S. K., J. H. HAYES und A. DEKHTYAR: Baselines in requirements tracing. In: Proceedings of Workshop on Predictive Models of Software Engineering (PROMISE), S. 1 – 6, St. Louis, Missouri, 2005.
- [81] TEUCHERT, S.: Durchgängige Behandlung von Fehlern in Embedded-Systemen bei der MAN Nutzfahrzeuge AG. Fahrzeugelektronik im Fokus (VDI-Berichte 1957), S. 205 – 218, 2006.
- [82] THE SPICE USER GROUP: Automotive SPICE: Process Assessment Model.
- [83] THE SPICE USER GROUP: Automotive SPICE: Process Reference Model.



- [84] VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE: Future Automotive Industry Structure (FAST) 2015 - die neue Arbeitsteilung in der Automobilindustrie. Materialien zur Automobilindustrie, 32, 2004.
- [85] VERSTEEGEN, G.: Projektmanagement mit dem Rational Unified Process. Springer, Berlin, 2000.
- [86] WIEGERS, K. E.: Software Requirements. Microsoft Press, Redmond, Washington, Second Edition Aufl., 2003. Practical Techniques for gathering and managing requirements throughout the product development cycle.
- [87] WIERINGA, R.: An Introduction to Requirements Traceability. Techn. Ber., Faculty of Mathematics and Computer Science, University of Vrije, Amsterdam, 1995.
- [88] WIERINGA, R.: Requirements Engineering - Frameworks for Understanding. John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, 1996.
- [89] WOLF, T. und A. H. DUTOIT: Supporting Traceability in Distributed Software Development Projects. In: Proceedings of International Workshop on Distributed Software Development, S. 111–124, 2005.
- [90] ZISMAN, A., G. SPANOUDAKIS, E. PÉREZ-MIÑANA und P. KRAUSE: Tracing Software Requirements Artefacts. In: The 2003 International Conference on Software Engineering Research and Practice (SERP 03), Las Vegas, Nevada, USA, 2003.