

## STAND UND TRENDS DER QUALITÄTSSICHERUNG VON VERNETZTEN EINGEBETTETEN SYSTEMEN

Martin Schneider, Jürgen Großmann, Evanela Lapi, Ina Schieferdecker



Fraunhofer-Institut für  
Offene Kommunikationssysteme FOKUS

## Stand und Trends der Qualitätssicherung von vernetzten eingebetteten Systemen

Martin Schneider, Jürgen Großmann,  
Evanela Lapi, Ina Schieferdecker

**Kontaktadresse:**

Fraunhofer FOKUS  
Kompetenzzentrum SQC  
Kaiserin-Augusta-Allee 31  
10589 Berlin  
Tel: 030 3463-7000  
E-Mail: [info@fokus.fraunhofer.de](mailto:info@fokus.fraunhofer.de)  
[www.fokus.fraunhofer.de](http://www.fokus.fraunhofer.de)

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-8396-0756-5

Bildquelle: [istockphoto.com](http://istockphoto.com) / choja

Druck: Mediendienstleistungen des  
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2014

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB  
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
Telefon 0711 970-25 00  
Telefax 0711 970-25 08  
E-Mail [verlag@fraunhofer.de](mailto:verlag@fraunhofer.de)  
URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Dieses Werk steht unter einer Creative Commons Namensnennung 3.0 Unported (CC BY 3.0) Lizenz.  
Es ist erlaubt, das Werk bzw. den Inhalt zu vervielfältigen, zu verbreiten und öffentlich zugänglich zu machen,  
Abwandlungen und Bearbeitungen des Werkes bzw. Inhaltes anzufertigen sowie das Werk kommerziell zu  
nutzen.

Bedingung für die Nutzung ist die Angabe der Namen der Autoren, des Herausgebers (Fraunhofer FOKUS) und  
des Verlagsnamens und -ortes (Fraunhofer Verlag, Stuttgart).

Ausgenommen von der CC BY Lizenz ist das Titelbild.

# STAND UND TRENDS DER QUALITÄTSSICHERUNG VON VERNETZTEN EINGEBETTETEN SYSTEMEN

Studie

**Martin Schneider, Jürgen Großmann, EVELA LAPI, Ina Schieferdecker**

Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme – FOKUS  
Kaiserin-Augusta-Allee 31, 10589 Berlin

SQS Software Quality Systems AG  
Stollwerckstr. 11, 51149 Köln

# Inhalt

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Einführung .....</b>	<b>8</b>
1.1 Einsatz und Entwicklung vernetzter eingebetteter Systeme .....	8
1.2 Qualitätssicherungsmaßnahmen für vernetzte eingebettete Systeme.....	9
1.2.1 Dynamisches Testen .....	9
1.2.2 Formale Techniken .....	10
1.2.3 Inspektionen und Reviews .....	10
1.2.4 Verwendung von Richtlinien und statische Analysen .....	11
1.2.5 Nutzung von Standards .....	11
1.3 Entwicklungsprozesse.....	11
<b>2 Ziele der Studie .....</b>	<b>13</b>
<b>3 Aufbau, Durchführung und Auswertung der Interviews .....</b>	<b>14</b>
<b>4 Studienkontext .....</b>	<b>15</b>
4.1 Befragte Unternehmen .....	15
4.2 Befragte Personen .....	16
<b>5 Stand der Qualitätssicherung von vernetzten eingebetteten Systemen .....</b>	<b>17</b>
5.1 Produktqualität und deren Governance.....	17
5.2 Qualitätssicherungsstrategien im Kontext vernetzter eingebetteter Systeme .....	19
5.2.1 Qualitätssicherungsstrategien .....	21
5.2.2 Regulatorische Vorgaben .....	21
5.2.3 Metriken zu Produktqualität und deren Kosten .....	22
5.2.4 Priorisierung von Qualität, Zeit und Kosten .....	24
5.2.5 Zufriedenheit mit den entwickelten eingebetteten Systemen.....	24
5.2.6 Qualitätseigenschaften eingebetteter Systeme.....	26
5.2.7 Bewertung der Prozessqualität.....	28
5.2.8 Angewandte Qualitätssicherungsmaßnahmen .....	28
5.2.9 Anteil der Qualitätssicherungsaktivitäten und der Fehlerkorrektur .....	29
5.2.10 Überschreitung von Zeit- und Budget-Vorgaben .....	30
5.2.11 Einbindung von Stakeholdern in die Qualitätssicherungsstrategie.....	31
<b>6 Zukünftige Entwicklung der Qualitätssicherung und der Quality Governance .....</b>	<b>33</b>
6.1 Zukünftige Herausforderungen und Verbesserungsbedarf .....	33
6.1.1 Technische Herausforderungen.....	33
6.1.2 Organisatorische Herausforderungen .....	34
6.2 Pläne zur Verbesserung der Produktqualität .....	34
6.3 Quality Governance im Management.....	35
<b>7 Qualitätssicherungswerkzeuge, Mängel und ‚Lessons Learned‘ .....</b>	<b>36</b>
7.1 Softwarewerkzeuge in der Qualitätssicherung.....	36
7.2 Probleme in der Qualitätssicherung.....	36
7.3 Dokumentierte ‚Lessons Learned‘.....	36
<b>Anhang: Fragenkatalog .....</b>	<b>38</b>
<b>Literatur .....</b>	<b>41</b>



## Zusammenfassung

Die Qualitätssicherung von vernetzten eingebetteten Systemen stellt auf Grund der immer größeren Bedeutung für Innovationen ein wichtiges Thema für die deutsche Industrie dar. In einer 2008 vom Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (BITKOM) veröffentlichten Studie<sup>1</sup> zur Bedeutung des Sektors Eingebettete Systeme wurde die Dienstleistungsbranche rund um dieses Themenfeld als Wachstumsträger der IT-Branche ermittelt. Dabei stellte der gestiegene Qualitätsanspruch an eingebettete Systeme gemeinsam mit der Reduzierung der Zeit bis zur Markteinführung eines Produktes (Time-to-Market) das wichtigste Thema für die befragten Unternehmen dar.

Um den aktuellen Stand der Qualitätssicherung vernetzter eingebetteter Systeme und zukünftige Trends zu ermitteln, wurden Interviews mit 19 leitenden Mitarbeitern, schwerpunktmäßig aus der Automobil- und Luftfahrtbranche, geführt.

Governance von Produktqualität findet ein gemeinsames Verständnis unter den Befragten und wird umgesetzt, indem Entscheidungsrechte und Verantwortlichkeiten hinsichtlich der Produktqualität bei nahezu allen Befragten existieren. Abgesehen davon haben die Befragten jedoch unterschiedliche Standpunkte hinsichtlich der Verantwortung/Verantwortlichkeit für Produktqualität.

Qualität hat sowohl im Entwicklungsprozess als auch in der Priorisierung gegenüber Zeit- und Budget-Vorgaben einen hohen Stellenwert. Qualitätssicherungsmaßnahmen, bspw. Review und Testen, sind heutzutage im Entwicklungsprozess unabdingbar. Weiterreichende Maßnahmen, beispielsweise formale Methoden wie die Simulation, finden weiterhin ein Nischendasein.

Obwohl Qualität von großer Bedeutung ist, sind die bisher erreichten Ziele nicht zufriedenstellend: Nur bei der Hälfte aller Befragten erfüllen die entwickelten eingebetteten Systeme die Erwartungen der Stakeholder in Bezug auf die Qualität. So können Kosten- und Zeit-Vorgaben bei mehr als der Hälfte der Befragten häufig nicht eingehalten werden. Zu den Ursachen dafür zählen unter anderem Qualitätsprobleme, auch bei den Zulieferern, sowie Mängel bei der Anforderungserhebung. Die stärkere Integration der Entwicklungsprozesse der Zulieferer in den Gesamtprozess stellt einen wichtigen Schritt für die Lösung dieses Problems dar.

Die zunehmende Vernetzung von eingebetteten Systemen untereinander und mit der Umgebung wird dabei die bestehende Problematik verschärfen. Der Qualitätssicherungsaufwand wird mit den bestehenden Methoden überproportional steigen und zu neuen Problemen führen, wenn die Qualität eines eingebetteten Systems zusätzlich von der Qualität der in der Umwelt befindlichen Systeme abhängt. Hinzu kommen neue Probleme in Bezug auf Datenschutz und IT-Security, die sich aus der zunehmenden Vernetzung ableiten. Einige Studienteilnehmer erachten in diesem Zusammenhang nicht nur eine Anpassung der bestehenden Prozesse als notwendig, sondern auch einen Wandel in der Automobil-Branche hin zu Software-Unternehmen. Neben den technischen gibt es organisatorische Herausforderungen, die sich beispielsweise aus

---

<sup>1</sup> Studie zur Bedeutung des Sektors Embedded-Systeme in Deutschland (BITKOM, 2008)

immer kürzeren Release-Zyklen ergeben und damit neue Anforderungen an die Prozesse zur Qualitätssicherung stellen.

Nicht zuletzt halten es mehr als ein Drittel der Befragten für notwendig, ein höheres Qualitäts-Bewusstsein im Top-Management zu verankern.

# 1 Einführung

Vernetzte eingebettete Systeme sind aus unserem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Sie finden sich in unseren Haushalten und in Straßenfahrzeugen, steuern Produktionsabläufe und begleiten uns im Flugzeug und im Zug. Die Qualität, Verlässlichkeit und Sicherheit dieser Systeme haben eine enorme Bedeutung, nicht nur deshalb, weil sie vermehrt in sicherheitskritischen Bereichen wie beispielsweise in der Produktion oder zur Steuerung von Zügen, Flugzeugen oder in Autos eingesetzt werden, sondern auch, weil ihre Qualität inzwischen zu einem entscheidenden Wirtschaftsfaktor geworden ist.

Im Bereich der Automobilindustrie verursachen eingebettete Systeme rund 25 Prozent der Entwicklungskosten. Dabei beruhen 70 bis 80 Prozent der Innovationen auf Techniken, die durch eingebettete Systeme realisiert beziehungsweise unterstützt werden. Das gilt insbesondere dann, wenn es um Themen wie energieeffizientes Fahren und das Vermeiden von Unfällen bzw. die Linderung von Unfallfolgen geht. Software-basierte Fahrzeugfunktionen wie das Energiemanagement des Fahrzeugs, eine elektronische Motorsteuerung, die elektronische Stabilitätskontrolle, der adaptive Tempomat, Airbag, Spurhalteassistent und der jetzt verbindlich eingeführte automatische Notruf bei Unfällen (eCall) sind nur einige Beispiele aus der Automobilindustrie. In der Luftfahrtindustrie sind ähnliche Tendenzen zu erkennen. Die Entwicklung von eingebetteten Systemen hat in der zivilen Luftfahrt einen Anteil 7 und 12 Prozent an den Gesamtkosten. In modernen Flugzeugen, wie beispielsweise dem Airbus A380, werden ca. 400 km Kabelbaum verlegt, um Steuergeräte miteinander zu verbinden. Allein die Software zur Flugkontrolle erfordert über 450 MB an eingebetteter Software.

## 1.1 Einsatz und Entwicklung vernetzter eingebetteter Systeme

Eingebettete Systeme bestehen i. d. R. aus spezialisierter Hard- und Software, die spezifisch aufeinander abgestimmt sind. Im Unterschied zu normalen Rechnersystemen sind eingebettete Systeme direkt in ihre Umgebung integriert und bilden zusammen mit anderen Systemen einen übergeordneten Systemverbund. In diesem übernehmen sie – integriert über ihre Sensorik bzw. Aktuatorik und zunehmend untereinander und nach außen vernetzt – Steuer-, Regelungs- und Kommunikationsaufgaben. Die Entwicklung und Qualitätssicherung eingebetteter Systeme ist inzwischen ein durchaus beherrschbares und in der Praxis weitgehend etabliertes Feld. Dennoch lassen sich spezifische Eigenschaften vernetzter eingebetteter Systeme benennen, die besondere Herausforderungen an die Entwicklung und Qualitätssicherung dieser Systeme stellen. Einige davon sind:

- Die Einbettung des Systems in eine elektrisch-mechanische Umgebung.
- Die Kommunikation des Systems mit Sensoren, Aktuatoren und anderen Systemen im Systemverbund.
- Zeitkritische Anforderungen an das System.
- Branchenabhängig eine hohe Anzahl von Varianten eines Systems, die unter anderem durch Modellvarianten, Ausstattungsoptionen und länderspezifische Richtlinien entstehen.

- Hohe Anforderungen an die Qualität des Systems, insbesondere in Bezug auf Korrektheit, Sicherheit und Zuverlässigkeit.
- Kurze Entwicklungszyklen und hoher Wettbewerbsdruck zur Kostenreduktion.
- Verteilte Entwicklung und daraus resultierend die Aufteilung der Qualitätssicherungsaktivitäten zwischen OEM und Zulieferer. Die Qualität ist nur schwer über die gesamte Lieferkette konsistent sicherzustellen.
- Auf Grund der Vernetzung über öffentlich zugängliche Infrastrukturen, wie z. B. dem Internet oder durch die Verwendung Funk-basierter Technologien, besteht ein zusätzlicher Bedarf, die Systeme im Hinblick auf ihre IT-Sicherheit zu optimieren. Diese Tatsache steht im Konflikt zu den häufig ressourcenschwachen Geräten und Kommunikationsprotokollen.
- System und Software werden immer komplexer. Dies führt im Laufe der Zeit zur Steigerung von Verwaltungs- und Entwicklungskosten.
- Die speziellen Anforderungen an Interoperabilität und Sicherheit führen dazu, dass die Produkte zertifiziert werden müssen. Die Zertifizierungsprozesse sind aufwändig und erfordern einen erhöhten Aufwand, insbesondere bei der Dokumentation der Entwicklungs- und Qualitätssicherungsaktivitäten.

## 1.2

### Qualitätssicherungsmaßnahmen für vernetzte eingebettete Systeme

Für die Bewertung der Produktqualität benötigen wir eine ganzheitliche Betrachtung der eingebetteten Systeme. Software und Hardware müssen in ihrer Integration die geforderten Qualitätsmerkmale erfüllen. Weiterhin muss sichergestellt werden, dass ein eingebettetes System in seiner Umgebung, das heißt im gesamten Systemverbund, ordnungsgemäß funktioniert. Für die Sicherstellung der Qualität kommen normalerweise eine Reihe unterschiedlicher Maßnahmen zum Tragen.

#### 1.2.1

##### **Dynamisches Testen**

Dynamisches Testen ist eine der am meisten und besten bekannten Qualitätssicherungsmaßnahmen. Das System wird ausgeführt und in einer kontrollierten Umgebung mit Stimuli konfrontiert. Ziel des dynamischen Testens ist es, Fehlverhalten im System zu identifizieren und gegebenenfalls zu eliminieren. Für das Testen existieren viele unterschiedliche Techniken, die in der Praxis von großer Bedeutung sind. Die meisten Techniken sind relativ gut bekannt und bereits etabliert. Mit der Einführung von Techniken zur Testautomatisierung und zum modellbasierten Testen in der industriellen Praxis hat es viele Fortschritte gegeben, die insbesondere darauf abzielen, das Testen zu systematisieren und zu automatisieren.

Grundsätzlich unterscheidet man beim Testen zwischen Black-box- und White-box-Verfahren und differenziert unterschiedliche Testebenen (Unittest, Softwareintegrationstest, Hardware-/Softwareintegrationstest, Systemtest, Abnahmetest). Beim Testen eingebetteter Systeme kommt der Integration ein hoher Stellenwert zu. In der Automobilindustrie haben sich diesbezüglich verschiedene Plattformen etabliert (MiL, SiL, HiL, Fahrzeug) [2], die jeweils eine neue Integrationsebene definieren. Ein Konsens besteht darin, dass eine funktionsorientierte Testplanung über alle Testphasen eine

notwendige Voraussetzung für den systematischen Test ist. Ergänzend werden häufig strukturorientierte Abdeckungstests (mindestens Zweigüberdeckung) vorgenommen. In kritischen Anwendungsbereichen, wie z. B. der Automobil- und Flugzeugindustrie, werden darüber hinaus durch Standards explizit gründlichere strukturorientierte Tests gefordert (ISO 26262, DO-178C/ED-12C). Zusätzlich ermöglichen Leistungs- und Stress-tests eine Analyse der Performanceeigenschaften der Systeme. Ein wichtiger Aspekt des Testens ist die Reproduzierbarkeit von Testergebnissen und damit die Chance, nach Modifikationen automatische Regressionstests durchführen zu können.

Herausforderungen im Bereich des Testens sind nach wie vor die systematische Testautomatisierung, die Integration des Testens in die modellbasierte Entwicklung, der systematische Test variantenreicher Systeme, das Testen hybrider Systeme [3], die Wiederverwendung von Testartefakten [1] und zunehmend das Thema IT-Sicherheit und die Durchführung von IT-Sicherheitstest (Sicherheitsfunktionalität und Penetrationstests) [4]. Weiterhin gibt es prozessrelevante Aspekte wie beispielsweise die Sicherstellung der Testabdeckung über die Lieferkette hinweg und die Auslagerung der Testaktivitäten in Testcenter.

### **1.2.2 Formale Techniken**

Die Einführung der modellbasierten Softwareentwicklung in den letzten zehn Jahren hat den Einsatz formaler Methoden in der Softwareentwicklung einen großen Schritt voran gebracht. Insbesondere eine frühzeitige Validierung und die automatische Codegenerierung haben sich etabliert. Beides sind wichtige Funktionen, die eine drastische Reduzierung der Systementwicklungskosten und eine Verbesserung der Systemqualität mit sich bringen.

Gängige Qualitätssicherungsverfahren im Kontext formaler Techniken sind die formale Verifikation sowie die Simulation und der damit verbundene experimentelle Nachweis von Qualitäts- und Leistungseigenschaften. Bei eingebetteten Systemen stellt sich speziell das Problem der Verifikation des Realzeitverhaltens. Weitere, eher forschungsrelevante Themen sind der Nachweis von Eigenschaften durch abstrakte Interpretation, durch Softwaremodellprüfung und durch die formale Beweisführung mit interaktiven Theorembeweisern.

Formale Verifikationstechniken sind theoretisch leistungsfähig, praktisch jedoch mit Einschränkungen versehen und nur sehr punktuell einsetzbar. Sie kommen insbesondere bei einfachen, isolierten Systemen im sicherheitskritischen Umfeld zum Einsatz.

### **1.2.3 Inspektionen und Reviews**

In einem Review (auch technische Überprüfung genannt) wird ein Arbeitsprodukt gezielt auf Mängel untersucht. Dies geschieht i. d. R. durch Personen, die nicht an der Erstellung des Produkts beteiligt waren und deshalb unabhängig urteilen können. Ein solches Arbeitsprodukt stellt ein wichtiges Ergebnis aus der Anforderungsentwicklungs-, der Design-, der Programmierungs- oder Testphase der Softwareentwicklung dar. Beispiele für solche Produkte sind Arbeitspläne, Anforderungen, Modelle, Design-Spezifikationen, User Interface Prototypen, Quellcode, Architekturmodelle, Benutzer-Dokumentationen und Tests.

Eine Inspektion ist eine formale Art des Reviews. In der Regel gibt es bei einer Inspektion klar definierte Rollen (Entwickler, Moderator, Reviewer und Schriftführer). Der Inspektionsprozess ist vorgeschrieben und systematisch organisiert. Zum Beispiel könnte der Reviewer im Anschluss an ein erstes Orientierungstreffen individuelle Prüfungen

des Produkts vornehmen. Bei einer nachfolgenden Review-Sitzung werden die Prüfergebnisse zusammengetragen und Probleme und Mängel protokolliert.

In einem Walkthrough beschreibt der Entwickler sein Produkt und bittet um Kommentare der Teilnehmer. Diese Treffen dienen in der Regel dazu, die Teilnehmer über das Produkt zu informieren anstatt Korrekturvorschläge einzuholen.

#### 1.2.4

#### **Verwendung von Richtlinien und statische Analysen**

Das Aufstellen von Entwicklungsrichtlinien und die Überprüfung ihrer Einhaltung im Entwicklungsprozess sind einfache und gängige Qualitätssicherungsmaßnahmen. Mit Entwicklungsrichtlinien lassen sich Entwicklungsartefakte vereinheitlichen, bekannte Fehler vermeiden und Best Practices etablieren. Eine einfache, aber durchaus gängige Praxis ist beispielsweise die Verwendung so genannter Programmierrichtlinien, die die Verwendung unsicherer Programmkonstrukte einschränken.

#### 1.2.5

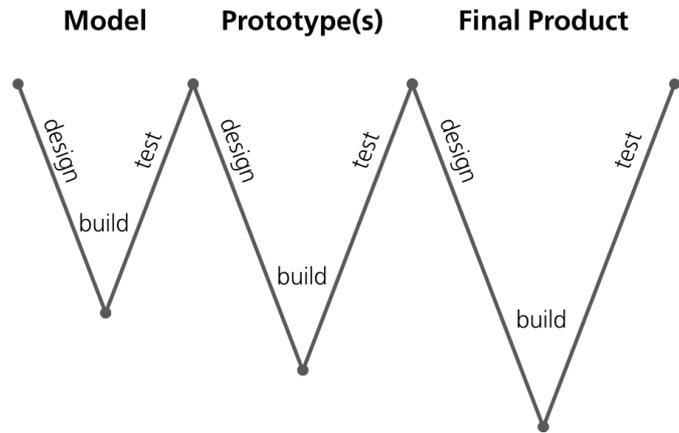
#### **Nutzung von Standards**

Standards bilden eine verbindliche Grundlage zur Kooperation. Sie entscheiden im Zweifelsfall, welche Verfahrensweisen, Methoden und Techniken als Stand von Wissenschaft und Technik zu betrachten sind. Zudem sichern sie Interoperabilität und machen Vorgaben zu produkt- und prozessbezogenen Maßnahmen in der Entwicklung, indem sie beispielsweise bei sicherheitskritischen Systemen bestimmte Qualitätssicherungsmaßnahmen vorschreiben.

### 1.3

## Entwicklungsprozesse

Die Entwicklung eingebetteter Systeme erfolgt oft verteilt und mehrstufig. Die OEM in der Flugzeug- und Automobilindustrie agieren als Systemintegratoren. Sie erstellen Spezifikationen, häufig in Form von Lastenheften und verantworten die Integration der durch die Zulieferer entwickelten Systeme in ihr Endprodukt, das heißt das Fahrzeug oder das Flugzeug. Die eigentliche Entwicklung erfolgt durch den Zulieferer und ist in der Regel in einen mehrstufigen Prozess gegliedert. Dieser Prozess beginnt idealerweise mit einer Modellspezifikation und verläuft über die Entwicklung von Prototypen bis hin zur Entwicklung des fertigen Systems. Als gängiges Vorgehensmodell für die Entwicklung eingebetteter Systeme kann hier das V-Modell genannt werden. Entwickelt in den 1990er Jahren von den Bundesministerien der Verteidigung und des Inneren [5] wurde es im Jahre 2005 als V-Modell XT [6] dahingehend erweitert, dass auch die neueren, aus der Praxis stammenden Tendenzen der Prozessmodelle der Software-Entwicklung, wie agile und inkrementelle Ansätze, berücksichtigt werden. Das V-Modell und seine Aktualisierung als V-Modell XT können als Metaschemata für die Entwicklung eingebetteter Systeme betrachtet werden. In der Praxis existieren vielfältige unterschiedliche Ausprägungen dieses Schemas, wie beispielsweise das in Abbildung 01 dargestellte multiple V-Modell [7], bei dem in jeder Entwicklungsstufe ein kompletter Zyklus des V-Modells mit den Phasen *Design*, *Build* und *Test* durchlaufen wird.



**Abb. 01: Das multiple V-Modell zur Entwicklung automobiler Steuergeräte**

Entscheidend für die Qualitätssicherung ist, wie die verschiedenen Qualitätssicherungsaktivitäten in den Entwicklungsprozess integriert sind. Als weitere Herausforderung ist die Komplexität zu nennen, die durch die Integration der Zulieferer in den Entwicklungsprozess entsteht. Die Komplexität wird sich durch die Etablierung von Software als eigenständiges Produkt für eingebettete Systeme (z. B. durch Autosar in der Automobilindustrie) weiter verschärfen.

## 2 Ziele der Studie

Ziel der Studie ist es, den aktuellen Stand der Qualitätssicherung vernetzter eingebetteter Systeme in der Industrie, speziell in der Automobilindustrie und der Luftfahrt, zu erfassen: dazu zählt das Verständnis von Quality Governance, Qualitätseigenschaften eines eingebetteten Systems, die Prozessqualität, angewandte Prozesse und Maßnahmen der Qualitätssicherung sowie die Bewertung dieser Maßnahmen hinsichtlich des Aufwandes und Erfolgs.

Des Weiteren beschäftigt sich die Studie mit der Bestimmung von Qualität mit Hilfe von Metriken, den Kosten, die für Qualität bzw. durch Qualitätsmangel entstehen und dem Erfassen der Qualitätseinschätzung der Stakeholder, insbesondere von Kunden und Nutzern.

Die Teilnehmer der Studie wurden mit Blick auf zukünftige Entwicklungen zum Bedarf an Verbesserung der Produktqualität, zu Maßnahmen, mit denen diese erreicht werden soll, sowie Herausforderungen durch die technischen Entwicklungen befragt.

### 3 Aufbau, Durchführung und Auswertung der Interviews

Die ausgewählten Interviewpartner wurden per Telefon oder per E-Mail angesprochen und über das geplante Gespräch zum Thema *Qualitätssicherung eingebetteter Systeme* informiert. Die Terminfestlegung erfolgte per E-Mail und war verbunden mit Informationen über die Struktur des Fragenkatalogs. Alle Interviews wurden telefonisch durchgeführt und fanden zwischen August und Dezember 2013 statt.

Die Interviews dauerten jeweils zwischen 45 und 90 Minuten und wurden mit Hilfe des im Anhang befindlichen Fragenkatalogs durchgeführt. Die wesentlichen Themen umfassten die Bereiche:

- Produktqualität und Quality Governance
- Qualitätssicherungsstrategien
- Qualitätseigenschaften eingebetteter Systeme
- Prozessqualität
- Qualitätssicherungsmaßnahmen
- Einbindung der verschiedenen Stakeholder in die Qualitätssicherungsstrategie
- Verbesserungsbedarf, konkrete Pläne zur Verbesserung der Produktqualität und Herausforderungen durch die technische Entwicklung

Als Methode zur Auswertung der Interviews wurde die „Qualitative Inhaltsanalyse“ gewählt, da die Interviews durch Fragen geleitet, aber dennoch offen geführt wurden und die Art der Auswertung auf die verdichtete Beschreibung der Inhalte abzielt. Zur Reduktion wurde dabei die Technik der „zusammenfassenden Inhaltsanalyse“ nach Mayring [8] gewählt. Ähnliche Aussagen der Interviewpartner sind in aggregierter Form wiedergegeben. Dabei sind auch interessante Einzelaussagen in anonymisierter Form berücksichtigt.

## 4 Studienkontext

### 4.1 Befragte Unternehmen

Die Interviewpartner setzen sich aus den folgenden Branchen zusammen (Mehrfachnennungen waren möglich):

- Automobil (6)
- Luftfahrt (4)
- Motoren/Antriebe (4)
- Wehrtechnik (3)
- Eisenbahn (3)
- Energieerzeugung und -messtechnik (3)
- Medizintechnik (2)
- Raumfahrt
- Musik- und Konzerttechnik

Abhängig von der Unternehmensgröße sind 8 bis 22 Tausend Mitarbeiter an der Entwicklung eingebetteter Systeme beteiligt, der Anteil der an der Qualitätssicherung beteiligten Mitarbeiter schwankt dabei stark. Grund dafür ist die Auffassung einiger Befragten, dass alle Mitarbeiter an der Qualitätssicherung beteiligt seien. Lässt man diese außen vor, liegt der Anteil der Mitarbeiter an der Qualitätssicherung gemessen an den an der Entwicklung beteiligten Mitarbeitern zwischen 7 und 50 Prozent.

Die Entwicklung eingebetteter Systeme nimmt bei nahezu allen Befragten (16) einen hohen Stellenwert ein, für zwei Befragte aus den Branchen Automotive und Medizintechnik lediglich einen mittleren bzw. niedrigen. Die Qualitätssicherung dieser Systeme ist laut den Befragten entsprechend wichtig. Ein Befragter gab an, dass die Relevanz der Qualitätssicherung abhängig vom aktuellen Zustand der Branche ist, das heißt, in Krisenzeiten nehme die Qualitätssicherung keinen so hohen Stellenwert ein. Hinsichtlich der Fertigungstiefe war unter den Befragten das gesamte Spektrum vertreten, von Unternehmen ohne eigene oder nur geringe Fertigung (fünf Befragte) über eine mittlere Fertigungstiefe (vier Befragte) bis zu einer hohen Fertigungstiefe (sechs Befragte), wie sie beispielsweise bei Zulieferern gegeben ist.

Der Jahresumsatz der Unternehmen liegt zwischen 10 Millionen und 200 Milliarden Euro.

## 4.2 Befragte Personen

Abgesehen von einer Ausnahme hatten alle Befragten mindestens zehn Jahre Berufserfahrung in der Entwicklung eingebetteter Systeme. Insgesamt variiert die Erfahrung in diesem Gebiet zwischen 3 und 37 Jahren. Die Befragten sind ausnahmslos in verantwortlichen, meist leitenden Positionen tätig. Ihr Aufgabenfeld umfasst:

- Gestaltung der Entwicklungsprozesse
- Entwicklung von Soft- und Hardware für eingebettete Systeme
- Collaboration und Governance inklusive Qualitätsmanagement
- Qualitätssicherung und Testmanagement
- Projektmanagement.

Mit einer Ausnahme sind alle Personen auch in die Qualitätssicherung involviert.

## 5 Stand der Qualitätssicherung von vernetzten eingebetteten Systemen

Um den Stand der Qualitätssicherung von vernetzten eingebetteten Systemen zu ermitteln, wurden Fragen zu den drei Bereichen Governance von Produktqualität, Produktqualität und Prozessqualität gestellt. Als Ausgangspunkt für Governance sowie Produkt- und Prozessqualität diente jeweils eine Definition, zu der die Teilnehmer der Studie ihre Auffassungen und Erfahrungen ergänzen konnten.

### 5.1 Produktqualität und deren Governance

**Bei den Befragten herrscht Konsens darüber, was unter Governance von Produktqualität zu verstehen ist. Auch existieren bei fast allen Befragten geeignete Strukturen, die Entscheidungsrechte und Verantwortlichkeiten bezüglich Qualitätssicherungsmaßnahmen regeln. Nur bei zwei Befragten sind diese Strukturen entweder nicht ausreichend, um die angestrebte Produktqualität zu erreichen, oder in der gegebenen Form in der Praxis nicht umsetzbar. Über den Stand der Entwicklungsprojekte und deren Qualität werden die Befragten in der Regel wöchentlich oder monatlich informiert. Die Form dieser Information hinsichtlich der Qualität ist jedoch uneinheitlich und reicht von Meetings bis zu einer einzigen Kennzahl. Die Verantwortung für die Qualität ist unterschiedlich angesiedelt. Teilweise liegt sie bei der Entwicklung, teilweise bei der Qualitätssicherung, am häufigsten jedoch bei allen Mitarbeitern.**

Um ein gemeinsames Verständnis von Governance herzustellen, wurde den Interview-Partnern folgende Definition vorgelesen:

„Governance ist ein Bestandteil der Unternehmensführung und besteht aus Führung, Organisationsstrukturen, Prozessen und relationalen Mechanismen, welche sicherstellen, dass die Unternehmensstrategie und -ziele unterstützt werden. Sowohl Geschäftsleute als auch technische Mitarbeiter sollen befähigt werden, ihre Verantwortlichkeiten hinsichtlich der Ausrichtung von Geschäft und IT auszuüben und Unternehmenswert zu generieren.“ [9, 10, 11, 12]

Die meisten Studienteilnehmer (17 von 18) sind mit dieser Definition einverstanden. Ein Befragter sieht die Beziehung zwischen Governance und Unternehmenszielen wesentlich stärker: Governance unterstütze nicht nur die Unternehmensziele, sondern sei notwendig, um diese zu erreichen. Compliance und Richtlinien in Zusammenhang mit Zulieferern vermisste ein Befragter ebenso wie ethische Frage im Umgang mit anderen Kulturen.

Strukturen, welche die Entscheidungsrechte und Verantwortlichkeiten bezüglich der Qualitätssicherungsmaßnahmen regeln, gibt es in den Unternehmen aller befragten Personen. In einem Unternehmen sind diese Strukturen jedoch so unübersichtlich, dass sie der Qualitätssicherung nicht helfen.

Definiert werden diese Strukturen bei mehr als der Hälfte der Befragten (12 von 18) von explizit für die Qualitätssicherung verantwortlichen Mitarbeitern:

- Bei acht Befragten ist eine unabhängige Qualitätssicherungsabteilung dafür verantwortlich, die Prozesse zu definieren und die strategische Abstimmung der Qualitätssicherungsmaßnahmen durchzuführen.
- Bei weiteren vier Befragten übernimmt dies die Qualitätssicherungsabteilung in Zusammenarbeit mit den verschiedenen Beteiligten (Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Kundendienst).
- Das Management übernimmt bei vier Befragten diese Aufgaben, davon in einem Fall in Zusammenarbeit mit den verschiedenen Abteilungen.
- Ein Befragter gab an, dass der Projektleiter der Entwicklung für die strategische Abstimmung der Qualitätssicherungsmaßnahmen verantwortlich sei.

Besonderheiten zeigten sich in den Antworten von zwei Befragten: In einem Fall bestimmt zwar eine unabhängige Qualitätsabteilung die Qualitätssicherungsmaßnahmen, diese wurden aber im Projekt als nicht ausreichend erachtet und deshalb vollkommen neu definiert. In einem anderen Fall ist diese Struktur zwar vorhanden, wird aber auf Grund ihrer Unübersichtlichkeit als ungeeignet für die Qualitätssicherung wahrgenommen.

Die Interview-Partner wurden auch zum Thema Projektreporting befragt. Dabei sind die Befragten auf Häufigkeit, Form und Rolle der Produktqualität beim Projektreporting eingegangen. Am häufigsten wurden die Befragten in einem zeitlich definierten Rhythmus über den aktuellen Stand der Entwicklungsprojekte informiert (13 von 18): Dabei waren der wöchentliche und der monatliche Rhythmus am häufigsten vertreten (jeweils fünf); zwei Befragte gaben tägliche bzw. permanente Statusinformationen an, eine Ausnahme bildeten zwei-wöchentliche Informationen zu Projekten. Zu Meilensteinen bzw. an Quality Gates informiert zu werden, gaben drei Befragte an. Zwei Befragte würden zwar regelmäßig über den Stand von Entwicklungsprojekten informiert, qualifizierten dies aber nicht weiter.

Die Form des Projektreportings ist dabei gleichmäßig verteilt auf Meetings (2) und Berichte (3), Informationen aus Reviews (2), Ergebnisse von Quality Gates (2) sowie Projekt-Kennzahlen (3). Sechs Teilnehmer der Studie benannten die Form der Projektstatusinformationen nicht näher. Das Reporting umfasste in allen Fällen Informationen zur Produktqualität.

Bezüglich Produktqualität gibt es diametrale Ansichten, ob die Qualitätssicherung für die Produktqualität verantwortlich sei: ein Viertel der Befragten vertritt die Auffassung, dass die Qualitätssicherung die Qualität lediglich transparent mache, während ein weiteres Viertel die Nicht-Aufdeckung von Qualitätsmängeln in der Verantwortung der Qualitätssicherung sieht und ihr folgerichtig die Verantwortung für die Produktqualität gibt. Die Mehrheit der Befragten (ein Drittel) vereint beide Standpunkte, indem sie jeden Mitarbeiter in der Verantwortung für die Produktqualität sieht. Eine Ausnahme bildete ein Veto-Recht der Qualitätssicherung in Freigabeprozessen bei zwei Befragten, das bei Qualitätsmängeln schwerer wiegt als Entscheidungen des Managements. Vereinzelt sind das Qualitätsmanagement des Unternehmens bzw. eine Kombination aus Qualitätsmanagement und Entwicklungsleiter verantwortlich für die Produktqualität.

## 5.2 Qualitätssicherungsstrategien im Kontext vernetzter eingebetteter Systeme

**Qualitätssicherungsstrategien, die mit Hilfe von Prozessen umgesetzt werden, sind bei nahezu allen Befragten umgesetzt, wenn sie auch teilweise stark durch die Auftragnehmer bestimmt werden. Teilweise gibt es hier in den Projekten Unterstützung durch Experten aus der Qualitätssicherungsabteilung. In diese Qualitätssicherungsstrategien fließen die Vorgaben aus branchenspezifischen Standards ein. Metriken zur Bestimmung des Reifegrads eines Produkts in der Entwicklung sind verbreitet, wohingegen Metriken zu den Kosten der Produktqualität, insbesondere während der Entwicklung, nur selten Anwendung finden.**

**Eine Priorisierung von Qualität gegenüber Zeit- und Budget-Vorgaben ist bei mehr als der Hälfte der Befragten üblich, und bei ebenso vielen der Befragten erreichen die entwickelten eingebetteten Systeme die Erwartungen der Stakeholder bezüglich der Qualität. Bei immerhin sieben Befragten ist dies nicht der Fall.**

**Die verbreitetsten Qualitätssicherungsmaßnahmen sind Reviews und Tests. Formale Techniken stellen weiterhin eine Nische dar und werden nur von drei der Befragten eingesetzt. Der Aufwand für Qualitätssicherungsmaßnahmen nimmt etwa ein Drittel der Entwicklung ein, der Anteil der Fehlerkorrekturen ist bei zwei von drei Befragten aber nicht bekannt. Die Einhaltung von Zeit- und Budget-Vorgaben stellt bei mehr als der Hälfte der Befragten ein Problem dar.**

Als Ausgangspunkt für diesen Bereich der Studie diente folgende Definitionen zur Produktqualität eines eingebetteten Systems und Prozessqualität:

„Die Qualität eines eingebetteten Systems besteht aus der Qualität der eingebetteten Software, der Qualität der Hardware und der Qualität des Systems nach seiner Integration. Softwarequalität wird durch unterschiedliche Dimensionen, z. B. Funktionalität, Zuverlässigkeit, Benutzbarkeit, beschrieben. Im Rahmen dieser Studie und bezogen auf die Softwareentwicklung unterscheiden wir die Produkt- und Prozessqualität. Vereinfacht beschreibt die Produktqualität die Eignung der Software für ihre vorgesehenen Aufgaben und Nutzer. Die Prozessqualität bezieht sich auf die Effizienz des Implementierungs- bzw. Entwicklungsprozesses der Software.“

### **Produktqualität**

Mit der Definition zur Qualität eines eingebetteten Systems waren 17 von 18 Befragten einverstanden. Acht Befragte hatten verschiedene Ergänzungen.

Die Befragten vermissten die folgenden Qualitätseigenschaften:

- Wartbarkeit
- Fehlertoleranz, da nicht alle fehlerhaften Betriebszustände simuliert werden können
- Zuverlässigkeit
- Performance

- Portabilität
- Fehlerfreiheit
- Design-Qualität, die sich beispielsweise in Cohesion und Adhesion ausdrückt
- Lebensdauer
- elektromagnetische Verträglichkeit.

Die nicht-funktionalen Eigenschaften stellen aus Sicht eines Befragten die größten Herausforderungen dar, weil Kunden diese oft gar nicht kennen und sie demzufolge anfangs nicht erfasst werden.

Die Systemauslegung und die Annahme über die Nutzung eines Systems waren für einen Befragten in Zusammenhang mit der Definition der Qualität eines eingebetteten Systems wichtig.

Neben der Qualität eines Systems nach der Integration von Hard- und Software gibt es noch jene Qualität, die sich aus der Vernetzung der eingebetteten Systeme z. B. im Bereich der Telematik/Connected Cars ergibt. Dieser Punkt wird auch als eine weitere Herausforderung für die zukünftige Entwicklung von eingebetteten Systemen aufgefasst.

Einem Befragten ging die Definition nicht weit genug, da verschiedene Qualitätseigenschaften abhängig vom Produktreifegrad und vom Produktalter sind. So unterstreicht er, dass der Qualitätsanspruch des Kunden vom Innovationsgrad abhängt. Die verschiedenen Qualitätseigenschaften seien daher über den Produktlebenszyklus unterschiedlich stark ausgeprägt. Dementsprechend müsse der Messkriteriensatz für die verschiedenen Qualitätseigenschaften immer wieder angepasst werden.

### **Prozessqualität**

Mit der Definition von Prozessqualität waren 14 von 18 Befragten einverstanden. Vier Befragte waren mit der Beschränkung auf die Effizienz eines Prozesses als Qualitätskriterium nicht einverstanden und äußerten folgende Einwände:

- Effizienz sei eine zwingende Voraussetzung für einen Prozess, aber nicht die einzige.
- Es gehe vielmehr um die Effektivität des Entwicklungsprozesses und die Einhaltung der Vorgaben und Pläne, die sich aus dem Prozess ergeben, um ein angestrebtes Ziel zu erreichen (zwei Befragte).
- Ein Befragter aus der Luftfahrtbranche sieht auch Nachweisbarkeit, technische Qualität, gesetzliche Regularien und Reproduzierbarkeit im Fokus der Prozessqualität, um potenzielle Regressansprüche abwehren zu können. Er weist darauf hin, dass der Standard DO-178 beispielsweise den Prozess bewertet, ohne dessen Effizienz zu betrachten.
- Ein Befragter bewertet die Definition als sehr lehrbuchhaft und findet es schwierig, Entwicklungseffizienz qualitativ messen zu wollen, weil er keine zwingende Verknüpfung zwischen der Effizienz des Entwicklungsprozesses und der Produktqualität sieht.

### 5.2.1

#### Qualitätssicherungsstrategien

Unternehmensweite Qualitätssicherungsstrategien, die bei den Befragten die Regel sind (17 von 18 Befragten), beschreiben die für die Entwicklung durchzuführenden Prozesse in unterschiedlicher Detailtiefe. Diese Strategien reichen bis zu umfangreichen Referenzsystemen, die alle relevanten Projektvorfälle regeln. Beschrieben werden sie beispielsweise durch Qualitäts- bzw. Qualitätsmanagement-Handbücher, die durch Prozessanweisungen ergänzt werden (drei Nennungen).

Die Qualitätssicherungsstrategien und deren Umsetzung in Prozessen speisen sich nicht nur aus den unternehmenseigenen Qualitätsanforderungen, sondern auch aus branchenspezifischen Standards, wie drei Befragte aus den Bereichen Luftfahrt, Automobil und Medizintechnik berichteten. Ein Befragter aus der Automobilbranche gab an, dass die in der Qualitätssicherungsstrategie hinterlegten Qualitätsstandards auf jahrelanger Abstimmung mit anderen OEMs und wichtigen Zulieferern basieren. Die ISO 9000-Serie wurde von sechs Befragten in Zusammenhang mit der Qualitätssicherungsstrategie benannt.

Die unternehmensweite Qualitätssicherungsstrategie umfasst für drei Befragte ein gemeinsames Verständnis von Qualität sowie abstrakte Ziele und Visionen, die auf die projektspezifischen Qualitätssicherungspläne heruntergebrochen werden.

Vier Befragte gaben an, einen Prozess mit Quality Gates durchzuführen, eine Weiterentwicklung von Meilensteinen, bei denen anhand von Qualitätskriterien über die Freigabe des nächsten Entwicklungsschrittes entschieden wird.

Neben der Definition der Prozesse ist deren Umsetzung ebenso wichtig. Unterstützung durch die Qualitätssicherung gibt es hierfür bei sechs Befragten in unterschiedlicher Form:

- in Form eines Prozesspaten, der als Berater fungiert und Schulungsbedarf bei den Mitarbeitern eines Projektes ermittelt und entsprechende Schulungen durchführt,
- durch Domänen-Experten, beispielsweise für Requirements Engineering und Testmethodiken, oder durch Qualitätsverantwortliche für die verschiedenen Gewerke,
- durch sogenannte Qualitätsingenieure bzw. Qualitätsmanagement-Beauftragte, die die Prozesse in den Entwicklungsprojekten umsetzen bzw. an deren Umsetzung mitwirken.

### 5.2.2

#### Regulatorische Vorgaben

Die Produkte der befragten Unternehmen unterliegen umfangreichen regulatorischen Vorgaben, so dass alle Befragten bis auf einen von diesen betroffen sind. Im Folgenden werden die von den Befragten genannten regulatorischen Vorgaben nach Branche aufgeschlüsselt. Da diese sehr umfangreich sind, ist die Liste nicht vollständig.

- Allgemein findet die Norm IEC 61508 „Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme“ Anwendung, die für die verschiedenen Anwendungsbereiche eigene Standards als Implementierung der IEC 61508 gibt.

- **Automobil:** Die ISO/TS 16949 „Qualitätsmanagementsysteme“, die auf der ISO 9001 basiert, die ISO 9000-Serie, ISO/IEC 15504, bekannter unter Automotive SPICE, die Zulassungsbedingungen, die vom Kraftfahrt-Bundesamt und den internationalen Behörden gemacht werden, sowie VDA-Standards, insbesondere ISO 26262 „Funktionale Sicherheit von Straßenfahrzeugen“ finden Anwendung.
- **Eisenbahn:** Die Normen DIN EN 50126 „Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit“, DIN EN 50128 „Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme: Software für Eisenbahnsteuerungs- und Überwachungssysteme“ und DIN EN 50129 „Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme – Sicherheitsrelevante elektronische Systeme für Signaltechnik“ sowie die Vorgaben des Eisenbahn-Bundesamtes werden angewandt.
- **Energie-Messtechnik:** Die DIN EN 1434 „Wärmezähler“, die DIN ISO 61000-Serie für den Funkbereich, Umweltprüfungen und die DIN ISO 68000-Serie für die elektromagnetische Verträglichkeit werden eingesetzt.
- **Kernkraftwerke:** Hier ist die DIN EN 60880 maßgebend.
- **Medizintechnik:** ISO 14971 „Product Risk Management“ Standard, ISO 13485 für Qualitätsmanagement-Systeme, ISO 60601-2, die technische Anforderungen an Anästhesiegeräte, Intensivmedizingeräte und Monitore definiert, sowie Prozess-Standards, wie z. B. IEC 62304, die Anforderungen an ein Software-Risikomanagement und an eine Klassifizierung risikorelevanter Softwarebestandteile stellt.
- **Raumfahrt:** Haupt-Standard ist der ECSS (European Cooperation for Space Standardization), der sehr genau beschreibt, welche Aktivitäten im Projekt durchzuführen sind. Dazu kommt die Raumfahrtvariante von ISO 9001, EN 9100.
- **SmartMetering:** Relevant sind die technischen Richtlinien und Schutzprofile der Common Criteria (DIN ISO/IEC 15408), die Kriterien für die Bewertung der Sicherheit von Informationstechnologie definieren.

### 5.2.3

#### **Metriken zu Produktqualität und deren Kosten**

Für die Bewertung der Produktqualität können Metriken während der Entwicklung und Produktion und nach der Auslieferung hilfreich sein. 17 von 18 Befragten setzen Metriken zur Bewertung der Produktqualität ein. Am weitesten verbreitet sind die klassischen Testmetriken „Anzahl der Testfälle“ abhängig vom Testergebnis, die von neun Befragten genannt wurden. Die übrigen genannten Metriken sind sehr unterschiedlich und umfassen die Zahl der durch statische Code-Analyse bzw. Reviews aufgedeckten Probleme (drei Nennungen) und Frequenz und Anzahl der Freigabe-Versuche. In der Medizintechnik gibt es keine einheitlichen Metriken für die Bewertung der Produktqualität.

Für die Produktion ist die wesentliche Metrik die Anzahl der Fehler nach Auslieferung (vier Befragte), in der Automobil-Branche auch die bei Null-Kilometer-Metrik, das heißt, wie viele Fehler in den Fehlerspeichern der eingebetteten Systeme abgelegt sind, unmittelbar nachdem das Auto produziert wurde, sowie MiS (Months in Service)-Kurven, mit denen Zielvorgaben schon während der Entwicklung auf Basis von Erfahrungswerten, dem Innovationsgrad und der Komplexität definiert werden. Ein Befragter

misst die Produktqualität indirekt über die Kundenzufriedenheit, die mit einem standardisierten Fragenkatalog erfasst wird.

Ein Befragter gab an, keine Metriken zur Messung von Produktqualität einzusetzen.

Während Metriken zur Messung der Produktqualität weit verbreitet sind, kommen Metriken zur Messung der Kosten von Qualität deutlich seltener zum Einsatz. Nur sechs von 18 Befragten gaben an, Kosten für Qualität zu messen, insbesondere für die Kosten, die bei Fehlern im Feld entstehen, beispielsweise durch Rückläufer, aber auch die Kosten für die Fehlerbehebung im Feld (drei Befragte). Lediglich ein Befragter gab an, auch die Kosten für die Produktqualität während der Entwicklung zu messen.

Die Anpassung dieser Metriken an aktuelle Gegebenheiten geschieht bei neun der Befragten:

- Fünf Befragte gaben an, dass der Satz an Metriken regelmäßig bzw. ereignisgetrieben aktualisiert wird.
- Jährlich werden Metriken bei zwei Befragten aktualisiert, bei einem Befragten unter Beteiligung der Teamleiter.
- Vereinzelt werden Metriken nach zwei bis drei Jahren aktualisiert, wenn die Innovation sich in eine neue Richtung bewegt.
- Bei einem Befragten werden Metriken bzw. dessen Zielwerte angepasst, wenn sie sich bei deren Verwendung als zu hoch erweisen.
- Ein Befragter aktualisiert seinen Satz an Metriken nach Entwicklungsabschnitten.

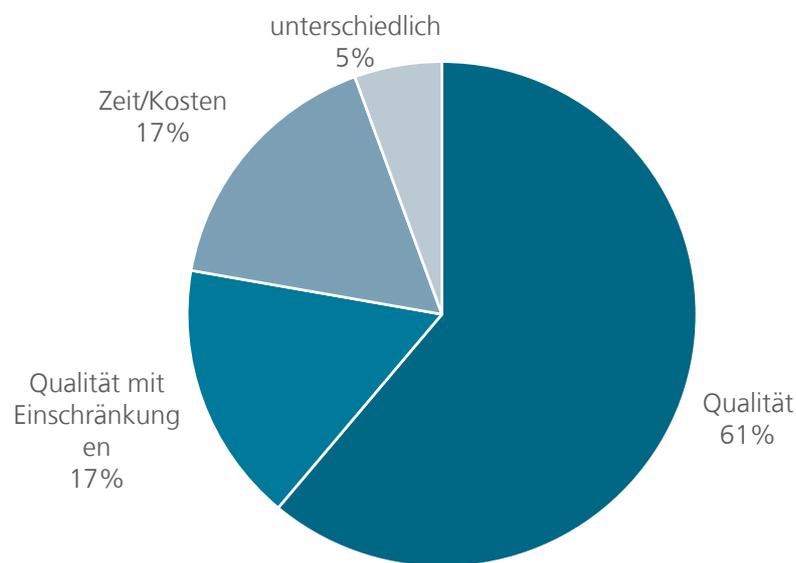
Im Allgemeinen gaben die Befragten, die ihre Metriken anpassen, an, dass nur selten Bedarf besteht, Metriken anzupassen, und in den letzten Jahren keine neuen Metriken eingeführt wurden.

### 5.2.4 Priorisierung von Qualität, Zeit und Kosten

Bezüglich der Priorisierung von Qualität, Zeit und Budget legt mehr als die Hälfte der Befragten (elf) die Priorität auf die Qualität, weitere drei priorisieren Qualität zwar höher als Zeit und Kosten, machen aber Einschränkungen beim Umfang der Funktionalität und liefern diese später per Software-Update nach. Ein Befragter gab an, Qualität zu priorisieren, und entscheidet bei nicht-ausführbaren Testfällen individuell, ob ein System die Freigabe erhält.

Drei Befragte gaben an, dass Zeit und Kosten Vorrang vor Qualität haben und begründeten dies damit, dass Unternehmen wirtschaftlich arbeiten müssen und die Kundenvorgaben keine andere Priorisierung zulassen. Bei einem Befragten gibt es keine Richtlinien zur Priorisierung von Qualität, Zeit und Kosten. Bei ihm wird dies in den Projekten unterschiedlich gehandhabt.

Abb. 02: Priorisierung von Qualität, Zeit und Kosten unter den Befragten



Ein Befragter hielt die Priorisierung von Qualität zulasten von Zeit und Kosten für falsch.

### 5.2.5 Zufriedenheit mit den entwickelten eingebetteten Systemen

Im Allgemeinen gaben elf Studienteilnehmer an, dass die entwickelten eingebetteten Systeme die Erwartungen der Stakeholder bezüglich der Qualität erfüllen, bei zwei der Befragten war dies meistens der Fall. Die Ausnahme bildeten zwei Unternehmen, die angaben, dass die entwickelten eingebetteten Systeme nicht die Erwartungen ihrer Stakeholder erreichen.

Die Systeme erfüllen die Erwartungen der Stakeholder dank verschiedener Maßnahmen. Hierzu gehören das Rapid Prototyping, die Abnahme der Prototypen durch den Kunden, die Auslieferung der Produkte erst, wenn der Kunde zufrieden ist, und das Weglassen von Funktionalitäten bei Termenschwierigkeiten, die der Kunde nicht vermisst und die später nachgerüstet werden.

Sofern die Erwartungen der Stakeholder nicht erreicht wurden, waren die genannten Gründe dafür sehr vielfältig:

- Probleme im Zusammenhang mit den Anforderungen nannten drei Befragte als Grund. Dazu zählen, dass Anforderungen aus technischen Gründen nicht wie geplant umgesetzt werden können oder die Komplexität bei der Umsetzung unterschätzt wird, so dass für die Qualitätssicherung nicht mehr genügend Zeit und Budget zur Verfügung steht. Auch späte Änderungen gehören dazu, die beispielsweise daher rühren, dass ein Stakeholder Anforderungen vergessen hat.
- Das Weglassen von Funktionalität führt hin und wieder zu Unzufriedenheit, wenn die fehlende Funktionalität vom Nutzer doch vermisst wird.
- Einige Gewerke werden vom Kunden nicht wahrgenommen, wenn sie wie gefordert funktionieren, sondern nur, wenn Fehler auftreten, wie beispielsweise die Elektrik/Elektronik im Auto. Ein Nutzer erachtet es als selbstverständlich und nicht als Zeichen von Qualität, dass ein Funkschlüssel zuverlässig die Autotür öffnet.
- Ein Teilnehmer der Studie aus dem Bereich Infotainment-Systeme nannte als Grund für die Unzufriedenheit einiger Nutzer, dass die Systeme im Fahrzeug im Vergleich zu denen aus der Consumer-Welt um zwei bis drei Jahre zurückliegen, was dem Entwicklungsprozess und den höheren Qualitätsanforderungen in der Automobilbranche geschuldet sei.
- Aus der Eisenbahnbranche berichtete ein Befragter, dass es teilweise mehrere Jahre dauert, bis alle Fehler eines bereits zugelassenen Zuges beseitigt worden sind und der Zug betriebstüchtig wird.
- Bei innovativen Produkten können die Erwartungen der Nutzer nicht erreicht werden, weil bei hohen Nutzerzahlen Fehler im Feld auftreten, die man nicht vollständig vorher testen kann.
- Es wurde auch bemängelt, dass häufig frühe Methoden der Qualitätssicherung, wie beispielsweise Model-in-the-Loop und Software-in-the-Loop, nicht angewendet werden können, da die Spezifikationen den Anforderungen für diese Methoden nicht genügen.

Auch wenn die Studie nicht repräsentativ ist, fällt auf, dass der überwiegende Teil der Kunden bzw. Nutzer zufrieden ist, wenn Qualität höher priorisiert wird als Zeit und Kosten. Nur bei zwei Befragten trifft dies nicht zu. Werden Zeit und Kosten höher priorisiert, sind die Nutzer bzw. Kunden lediglich eines Befragten zufrieden und von zwei Befragten nicht.

Insgesamt äußerten sich vier Befragte zur Zufriedenheit des Managements mit den entwickelten Systemen. Zwei von ihnen merkten an, dass das Management zufrieden sei. Die anderen zwei Befragten berichteten von Unzufriedenheit des Managements, was sie aber als normal einordneten und dem Fokus der Führungsebene auf schnelle Entwicklungen geschuldet sahen.

## 5.2.6 Qualitätseigenschaften eingebetteter Systeme...

### 5.2.6.1 ...bei der Systemfreigabe

Im Folgenden werden die Qualitätseigenschaften genannt, die die Befragten als wesentlich für die Systemfreigabe angegeben haben, geordnet nach Häufigkeit:

- Erfüllung aller Anforderungen/Vorhandensein der Funktionalität (sieben Nennungen)
- Fehlerfreiheit bzw. keine kritischen Defekte (6)
- Einhaltung aller Normen und technischen Standards (3)
- erfolgreiche Vorserien-, Nullserien- und Feld-Tests (1)
- Wirksamkeit der Risiko-Mitigationsmaßnahmen (1)
- keine Vorbehalte von Mitarbeitern der Qualitätssicherung in einem persönlichen Gespräch (1)
- Abarbeitung eines Prüfkatalogs (1)
- Performance (1)
- subjektives Qualitätsempfinden (vor allem im Bereich Infotainment und Connected Car) (1)

Speziell für **Hardware** wurden die folgenden Qualitätseigenschaften genannt:

- Temperaturbeständigkeit (3)
- elektromagnetische Verträglichkeit (3)
- mechanische Festigkeit (2)
- Langlebigkeit (2)
- Funktionstests (1)
- Robustheit (1)
- Einhaltung aller Umweltprüfungen (1)
- elektrische Sicherheit (1)

### 5.2.6.2 ...beim Rollout in die Produktion

Die für die Produktion erforderlichen Qualitätseigenschaften eines eingebetteten Systems unterscheiden sich substantiell von denen für die Systemfreigabe. Stehen bei der Systemfreigabe Eigenschaften im Vordergrund, die den Einsatz eines eingebetteten

Systems betreffen, sind dies beim Rollout in die Produktion Eigenschaften, die eine Produktion von hohen Stückzahlen unter gleichbleibender Qualität erlauben.

Dementsprechend wurden die folgenden Qualitätseigenschaften in diesen Zusammenhang genannt:

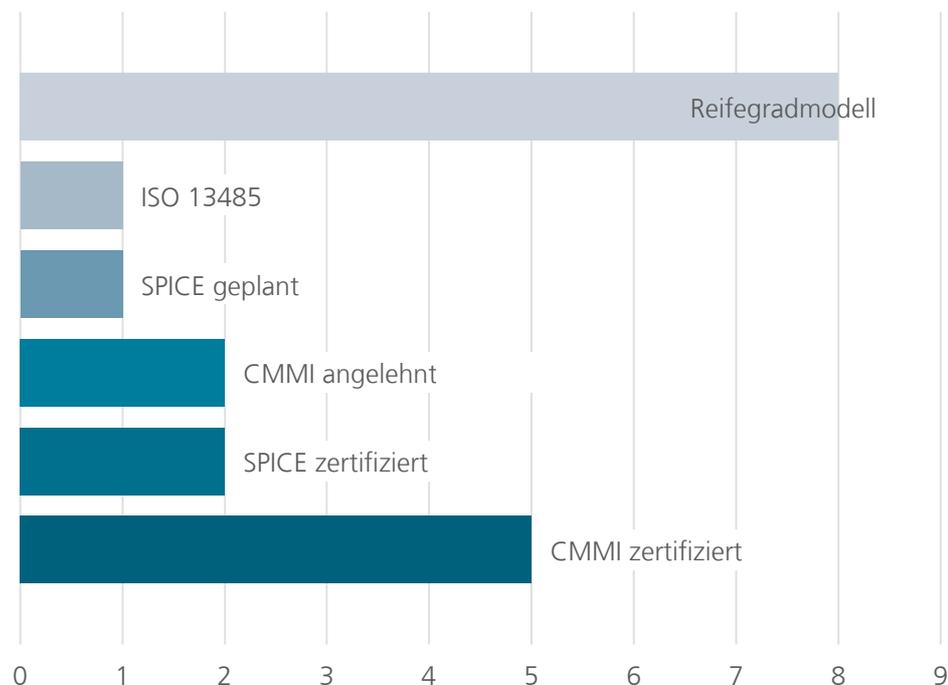
- Vorhandensein der Teile in der nötigen Qualität,
- Beschreibungen, wie und nach welchen Methoden Einzelgeräte getestet werden, und dazugehörige Diagnosefunktionalitäten,
- leichte Verbaubarkeit der Teile, um die Montagezeit zu minimieren,
- keine Ruhestromprobleme,
- Flash-Fähigkeit der Hardware, da die Software oft erstmals bei der Produktion geflasht wird,
- wenige IO-Fehler der Steuergeräte.

### 5.2.7 Bewertung der Prozessqualität

Um die Qualität bzw. den Reifegrad eines Entwicklungsprozesses bewerten zu können, gibt es verschiedene Reifegradmodelle. Die gängigsten Modelle sind CMMI (Capability Maturity Model Integration) und SPICE (Software Process Improvement and Capability Determination). Standards zur Bewertung der Prozessqualität sind bei der Hälfte aller Befragten im Einsatz, entweder in Form einer Anlehnung der unternehmenseigenen Prozesse an diese Standards oder einer geplanten bzw. durchgeführten Zertifizierung.

Vorreiter ist dabei CMMI, das von sieben Befragten entweder bereits eingeführt ist (5) oder an das sich die Unternehmensprozesse anlehnen bzw. eine Zertifizierung geplant ist (2). Eine SPICE-Zertifizierung nannten zwei Befragte, ein weiterer Befragter bereitet diese gerade vor. Der in der Medizintechnik vorgeschriebene Standard ISO 13485 wurde von einem Befragten genannt.

Abb. 03: Reifegradmodelle im Einsatz



Unter den fünf Befragten, die bereits über eine CMMI-Zertifizierung verfügen, streben drei einen höheren Level an.

### 5.2.8 Angewandte Qualitätssicherungsmaßnahmen

Bei allen Teilnehmern der Studie werden verschiedene Maßnahmen zur Qualitätssicherung angewandt; sie wurden dazu befragt, inwiefern Reviews, Testen und formale Methoden eingesetzt werden.

Review und Testen sind die verbreitetsten Methoden zur Qualitätssicherung. 15 der 18 Befragten geben an, Reviews durchzuführen. Neun Studienteilnehmer führten explizit Dokument-Reviews, zwei Code-Reviews an.

Dynamische oder statische Tests werden bei allen Befragten in verschiedenen Ausprägungen durchgeführt: als Komponententest, als Integrationstest, als HiL-Test auf verschiedenen Ebenen, Umwelttests, Vibrationstests und Firmware-Tests für die Hardware, Stress-, Performance- und Reliability-Tests bis hin zu Fahrzeugerprobungen und systematischen Dauerläufen. Modell-basierte Tests wurden nur von einem Befragten genannt.

Erwähnenswert ist, dass Review und Testen von zwei Befragten (Automobil, Raumfahrt) nicht als Qualitätssicherungsmaßnahmen, sondern als Engineering-Tätigkeiten angesehen werden; die Befragten stützen sich dabei auf den Standard der ECSS, der Testen als Engineering-Tätigkeit definiert. Die Auffassung von Testen als Qualitätssicherungsmaßnahme wurde als eine Auffassung in Deutschland dargestellt, die international anders ist.

Die Simulation ist die einzige formale Methode, die von den Studienteilnehmern genannt wurde. Lediglich zwei Befragte gaben an, Simulationen durchzuführen, ein Befragter spezifizierte die eingesetzte formale Technik nicht näher. Damit sind formale Methoden eine Ausnahme in der Qualitätssicherung eingebetteter Systeme.

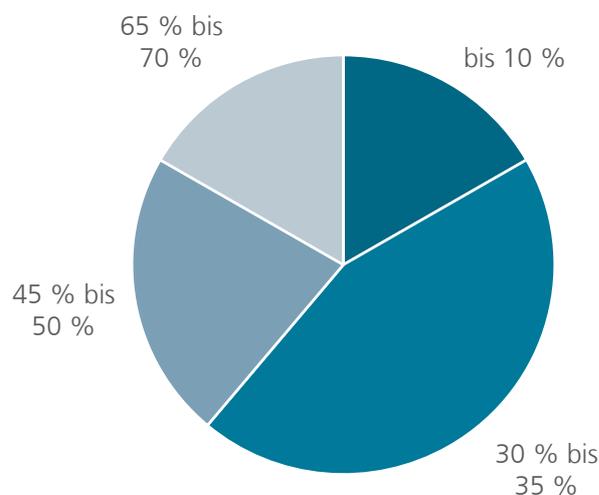
Eine Besonderheit bildete die stichprobenhafte Auditierung von Projekten und Produkten durch die Qualitätssicherungsabteilung, die auch nach der Produktfreigabe erfolgen kann.

### 5.2.9

#### Anteil der Qualitätssicherungsaktivitäten und der Fehlerkorrektur

In Zusammenhang mit den Qualitätssicherungsmaßnahmen wurden die Studienteilnehmer befragt, welchen Umfang diese Aktivitäten und die Fehlerkorrektur gemessen an der Gesamtentwicklung einnehmen.

Der Anteil der Qualitätssicherungsaktivitäten schwankt bei den Befragten stark zwischen weniger als 10 bis zu 70 Prozent. Bei einem Großteil der Befragten (8 von 18) lag dieser zwischen 30 und 35 Prozent. Bei den Befragten, die Testen bzw. Review und Testen nicht als Qualitätssicherungsmaßnahmen, sondern als Engineering-Tätigkeit betrachten, ist der Anteil der Qualitätssicherungsaktivitäten mit bis zu 10 Prozent entsprechend gering.



**Abb. 04: Anteil der Qualitätssicherungsaktivitäten an der Gesamtentwicklung**

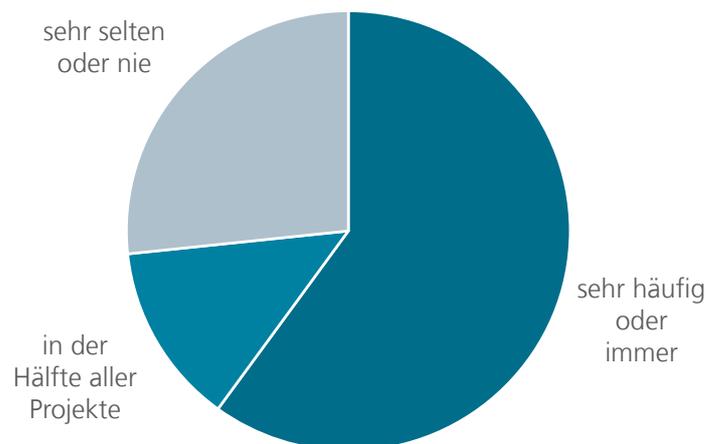
Abhängig von der Fertigungstiefe ist auch der Anteil der Qualitätssicherungsaktivitäten: Je mehr Entwicklungs- und Implementierungsarbeit die Zulieferer eines befragten Unternehmens leisten, desto höher ist der Anteil der Qualitätssicherungsaktivitäten.

Informationen über den Anteil der Fehlerkorrektur konnten von vielen Befragten (12 von 18) nicht gegeben werden. Davon zwei Befragte gaben an, dass diese Informationen überhaupt nicht erfasst werden. Bei den übrigen Teilnehmern liegt der Anteil der Fehlerkorrektur durchschnittlich zwischen 30 und 40 Prozent (fünf von sieben), bei zwei Befragten lag er mit 15 bzw. 20 Prozent deutlich niedriger. Ein Teilnehmer bewertete den Anteil der Fehlerkorrektur subjektiv als hoch.

### 5.2.10 Überschreitung von Zeit- und Budget-Vorgaben

Die Einhaltung der Zeit- und Budget-Vorgaben in Softwareentwicklungsprojekten stellt immer noch eine Herausforderungen dar: Bei 50 Prozent der Befragten werden Kosten- und/oder Budget-Vorgaben sehr häufig oder immer überschritten. Zwei Befragte gaben an, dass dies in der Hälfte der Fälle vorkommt. Bei vier Befragten kommt es nur sehr selten zu Zeit- oder Budget-Überschreitungen, davon sagte einer, dass dies nie auftritt. Drei Befragte äußerten sich zu den Umfängen der Überschreitungen, diese liegen hinsichtlich der Kosten teilweise um ein Vielfaches über dem ursprünglich vorgesehenen Budget.

**Abb. 05: Überschreitung von Zeit-/Budget-Vorgaben in Softwareentwicklungsprojekten**



Zu den Ursachen für die Überschreitungen zählen:

- Komplexität der Projekte
- Unterschätzung der Prozessaufwände, vor allem dann, wenn Teams erstmalig mit einem Prozess arbeiten
- Qualitätsprobleme
- Vorrang von Kostenzielen gegenüber Zeitvorgaben, die zu Beauftragungsverzögerungen führen
- Annahme von Aufträgen durch Zulieferer ohne die erforderlichen Ressourcen (Personal, Know-how)

- Management, das die realistischen Schätzungen des Projektleiters herunterhandelt
- technisch mangelhafte Ausschreibungen, die keine fundierte Kalkulation ermöglichen

### 5.2.11

#### Einbindung von Stakeholdern in die Qualitätssicherungsstrategie

Da die meisten Befragten mit Zulieferern zusammenarbeiten (16 der 18 Befragten beauftragten Zulieferer mit der Entwicklung und Fertigung von Komponenten), ist die Einbindung dieser in die unternehmenseigene Qualitätssicherungsstrategie wichtig, um die Qualität des zu entwickelnden Systems gewährleisten zu können.

#### Zulieferer

Die verbreitetste Variante, Zulieferer in die eigene Qualitätssicherungsstrategie einzubinden, besteht in der Auditierung ihrer Prozesse. Dies erfolgt bei der Hälfte der Befragten. Dabei setzen drei der Befragten auf die gängigen Reifegradmodelle CMMI und SPICE. Drei Befragte definieren Details zu den qualitätssichernden Maßnahmen (Art der Maßnahmen, Umfang und Bedeutung der Testabdeckung) bzw. überwachen diese. Weitere Maßnahmen sind eine zweite Freigabe durch die eigene Qualitätssicherung bzw. eine Wareneingangsprüfung. Vereinzelt erfolgen auch auf Management-Ebene Strategiegespräche zur Qualität der gelieferten Produkte und zu Maßnahmen zur Beseitigung von Qualitätsproblemen.

#### Kunden und Nutzer

Die Einbindung von Kunden und Nutzern in die Qualitätssicherungsstrategie umfasst die im Folgenden beschriebenen Punkte.

Zum einen werden Kunden über den aktuellen Stand bezüglich der Qualität des sich in der Entwicklung befindlichen Produkts informiert. Dazu schildern zwei Befragte, dass Kunden beispielsweise an Reviews beteiligt werden. Die Einbindung von Kunden mit Hilfe von Prototypen, Vorserien-Produkten, Labor- und Feld-Tests werden von vier Befragten genannt.

Die Anforderungen der Nutzer an die Produkte zu ermitteln, wird teilweise schon in der Anforderungsphase versucht, teilweise werden die Konzepte mit Hilfe von Nutzer-Workshops, in denen Produkte beispielsweise in Simulatoren getestet werden können, validiert. Das Feedback der Kunden fließt dann in die Entwicklung ein. Letztlich werden Nutzer auch an Abnahmen beteiligt.

Auf der anderen Seite steht die Qualität des Produkts nach Auslieferung. Hierbei wird der Frage nachgegangen, wie zufrieden die Kunden und Nutzer im Allgemeinen mit einem Produkt sind. Zum anderen wird nach konkreten Qualitätsmängeln gesucht, sei es in der Funktionalität oder in der Bedienung. Die allgemeine Zufriedenheit der Kunden mit den entwickelten Produkten wird mit Hilfe entsprechender Dienstleister bestimmt, in der Automobilbranche ist dies verbreitet, indem auf die Informationen von Qualitätsmeldern wie J. D. Power (drei Befragte), ADAC (2) und IQS zurückgegriffen wird. Konkrete Qualitätsprobleme von auf dem Markt befindlichen Produkten werden über den Kundendienst ermittelt. Teilweise sehen sich auch Entwickler direkt beim Kunden vor Ort die Nutzung der Produkte an und sammeln so Erfahrungen und Feedback von den Nutzern.

Die Vorbereitung neuer Produkte und Funktionen und deren Akzeptanz durch den Kunden stehen ebenfalls im Interesse der Hersteller, um diese erfolgreich im Markt platzieren zu können. Dazu werden in der Automobilbranche sogenannte Kundenkliniken eingesetzt, in denen ausgewählten Kunden Neuentwicklungen vorgestellt werden, um die Akzeptanz neuer Produkte und die Bereitschaft, für entsprechende Produkte zu bezahlen, zu ermitteln.

## 6 Zukünftige Entwicklung der Qualitätssicherung und der Quality Governance

Die Verbesserung der Produktqualität steht für mehr als die Hälfte der Befragten im Fokus aktueller Bemühungen, die sowohl die Prozesse, die Zulieferer als auch die Mitarbeiter der Unternehmen betreffen. Fünf Befragte setzten dabei auf einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess.

Auch die zukünftigen Herausforderungen werden weitere Verbesserungen der Prozesse und Qualitätssicherungsmaßnahmen erforderlich machen. Zu diesen zählen die weiter steigende Vernetzung von eingebetteten Systemen, auch mit dem Internet, und der daraus resultierenden Abhängig von der Qualität der Infrastruktur sowie die Probleme mit Datensicherheit und Cyber-Security. Kürzere Abstände zwischen Releases werden Anpassungen der Testprozesse erforderlich machen. Auch die weiter steigende Komplexität der Systeme wird mit den bisherigen Qualitätssicherungsmaßnahmen nicht mit angemessenem Aufwand zu bewältigen sein.

### 6.1 Zukünftige Herausforderungen und Verbesserungsbedarf

Die größten Herausforderungen für die zukünftige Entwicklung eingebetteter Systeme sehen die Befragten sehr unterschiedlich. Die verschiedenen Antworten der Befragten wurden grob untergliedert in technische Herausforderungen, die sich aus veränderten technischen Bedingungen der Produkte und deren Auswirkungen auf Qualitätssicherungsmaßnahmen beziehen, und organisatorische Herausforderungen, die sich auf die Herausforderungen für Prozesse, Zulieferer, Mitarbeiter und rechtliche Aspekte beziehen.

#### 6.1.1 Technische Herausforderungen

Die zunehmende Vernetzung der Systeme, im Allgemeinen zu System of Systems, und im Speziellen zu internetbasierten Systemen, die eine Verbindung von der Fahrzeugelektronik-Welt und der IT-Welt darstellt, erfordert Änderungen am Entwicklungsprozess und einen Wandel der Automobil-Hersteller hin zu IT- und Softwareentwicklungsunternehmen. Die Abhängigkeit von der Qualität der (IT-)Infrastruktur, mit der die eingebetteten Systeme vernetzt sind, wird dabei ebenso als Problem angesehen wie auch die Datensicherheit und Cyber-Security in Folge der Vernetzung.

Darüber hinaus stellen die steigende Komplexität der Systeme und neue technische Entwicklungen die Befragten vor Herausforderungen, da sie den Aufwand für die Qualitätssicherung mit den bisherigen Methoden überproportional erhöhen.

Um Qualität früher im Entwicklungsprozess sicherstellen zu können, beschäftigt sich ein Befragter mit der Frage, welche Qualitätssicherungsmaßnahmen jenseits des Code-Reviews bei der Code-Erstellung eingesetzt werden können.

Hinsichtlich des Testens wurde in Zusammenhang mit dem Verbesserungsbedarf der Produktqualität das Testen auf den verschiedenen Ebenen (Komponenten-, Integrations-, Systemtest) in Zusammenhang mit Test-Automatisierung, Continuous Integration und Regressionstesten einzelner Test-Szenarien genannt.

Fehlende oder mangelhafte Dokumentation, beispielsweise für die System- oder Software-Architektur, stellt ein Problem dar. Diese ist als Grundlage für bessere Prüfbarkeit und damit hohe Qualität erforderlich.

Ein Befragter bezeichnete Design-to-Cost- und Design-to-Market/Time-to-Market in Einklang zu bringen und eine Balance zwischen Produktqualität, Projektlaufzeit und Markteinführung zu finden als eine wesentliche Herausforderung.

### **6.1.2 Organisatorische Herausforderungen**

Als Grundlage für die Entwicklung stellen Anforderungen weiterhin Probleme dar. Einerseits werden beispielsweise nicht-funktionale Anforderungen von Stakeholdern vergessen oder nicht erkannt bzw. fehlt es ihnen an der notwendigen Präzision, die zu Auslegungsspielräumen und Fehlentwicklungen führt. Andererseits ist die Granularität der Anforderungen für die verschiedenen Entwicklungsphasen unterschiedlich zu wählen: so benötigt ein Architekt nicht alle Detailinformationen, die aber wiederum für den Test relevant sind.

Kürzere Release-Zyklen erfordern Anpassungen der Prozesse, insbesondere hinsichtlich des Testaufwands (höherer Grad der Test-Automatisierung, dauerhaftes Testen), um die damit einhergehenden Probleme bezüglich der Qualität und Sicherheit der Software bewältigen zu können.

Da die meisten Unternehmen auf die Qualität der Komponenten von Zulieferern angewiesen sind, steht die Verbesserung und Standardisierung nicht nur der eigenen, sondern auch der Software-Entwicklungsprozesse der Zulieferer im Fokus, um Qualität-, Zeit- und Kosten-Vorgaben einhalten zu können.

Auch beim Personal sehen die Befragten Herausforderungen: Die Umsetzung von neuen Prozessen mit den Mitarbeitern, den Know-how-Austausch zwischen verschiedenen Entwicklungsteams, um einen Tunnelblick zu vermeiden, der zu niedrigerer Qualität führen kann, sowie geeignete Mitarbeiter für die Qualitätssicherung zu finden, die sowohl Qualitätssicherungsaspekte betrachten, sich dabei aber auch auf Code-Ebene bewegen können, wurden in diesem Zusammenhang genannt.

Unter rechtlichen Aspekten stellt beispielsweise der Eingriff von Fahrer-Assistenzsystemen in Bezug auf die Schuldfrage bei Unfällen die Unternehmen vor neue Herausforderungen.

## **6.2 Pläne zur Verbesserung der Produktqualität**

Konkrete Pläne für die Verbesserung der Qualität der entwickelten eingebetteten Systeme hatten zwölf der Befragten, davon fünf im Rahmen eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses.

Die Mängel, die in diesem Zusammenhang genannt wurden, beziehen sich auf die Prozesse selbst: So werden im Hinblick auf das V-Modell die Prozesse nicht durchgängig gelebt, die Design-Phasen (linker Schenkel im V-Modell) weisen Mängel auf und es gibt Lücken im Prozess. Auch das Fehlen einer stabilen Entwicklungsstrategie wurde erwähnt. Zudem werden die Qualitätssicherungsprozesse der steigenden Komplexität und Funktionalität, beispielsweise beim Testen von eingebetteten Systemen mit der fahrzeugexternen Welt, nicht mehr gerecht.

Ein Problem bereiten auch sich während der Entwicklung ändernde Anforderungen (zwei Befragte).

In Zusammenhang mit Zulieferern wurde minderwertige Qualität der gelieferten Komponenten und die Herausforderung, komplexe Kaufteile und Dokumentation ihres Entwicklungsprozess zu zertifizieren bzw. dessen Qualität zu sichern, genannt. Zielkonflikte zwischen der technischen Entwicklung und der Qualitätssicherung, ein vorzeitiger Übergang in die Serienfertigung in einem unreifen Zustand sowie eine hohe Fluktuation innerhalb der Entwicklungsteams stellen weitere Probleme bei den Befragten dar.

Um die Produktqualität zu verbessern, ist bei vielen ein ‚Lessons Learned‘-Prozess aufgesetzt, der nach Projekten zur Prozessverbesserung eingesetzt wird. Bei fünf Teilnehmern wird ein höherer Prozessreifeegrad von CMMI angestrebt. Im Übrigen setzen die Befragten auf eine konsequentere Durchführung aller Schritte des Entwicklungsprozesses.

Die Verbesserung der Qualitätssicherung selbst wird von vier Befragten angestrebt, indem das Testmanagement verbessert, das Testteam ausgebaut und früher und umfangreicher die Qualitätssicherungsmaßnahmen durchgeführt werden sollen.

Die Zusammenarbeit mit den Zulieferern möchten zwei Befragte verbessern, indem sie die eigenen Prozesse auf die Lieferanten ausweiten oder konkretere Ziele bezüglich der Qualität festlegen wollen.

Zwei Befragte möchten einerseits den Mitarbeitern stärker das Umfeld, in den das zu entwickelte eingebettete System eingesetzt werden soll, erklären, und andererseits über Schulungen der Mitarbeiter die Produktqualität erhöhen.

## 6.3 Quality Governance im Management

Abschließend wurde den Studienteilnehmern die Frage gestellt, auf welchen Ebenen – im Top-Management, im mittleren Management oder im operativen Bereich – sie einen umfassenden Qualitätsansatz angesiedelt sähen. Ein Großteil (zwölf Befragte) sieht hier alle Ebenen als relevant an, während drei Befragte das Top-Management und zwei das mittlere Management in der Pflicht sehen. Sieben Befragte sehen die Notwendigkeit für mehr Qualitätsbewusstsein im Top-Management.

## 7 Qualitätssicherungswerkzeuge, Mängel und ‚Lessons Learned‘

Vereinzelt wurden Studienteilnehmer in Bezug auf ein konkretes Projekt gefragt, welche Softwarewerkzeuge in der Qualitätssicherung eingesetzt wurden, welchen Problemen die Qualitätssicherung begegnet ist und welche ‚Lessons Learned‘ daraus abgeleitet wurden.

### 7.1 Softwarewerkzeuge in der Qualitätssicherung

Für das Requirements Management setzten drei Befragte das Tool DOORS ein, zwei Befragte gaben hier die Werkzeuge von PTC an. Für das Design der Architektur wurden Rhapsody von IBM und Enterprise Architect von Sparx Systems (zwei Befragte) genannt.

Für die statische Analyse werden Tools von AbsInt eingesetzt, beispielsweise der Worst Case Execution Timer (2) oder der Stack Analyzer, aber auch viele andere Werkzeuge, wie z. B. QA-C von QA-Systems (2), Polyspace von MathWorks oder SAVE von coverity. Open-Source-Tools, wie z. B. checkstyle und Lint wurden in Zusammenhang mit statischer Analyse genannt.

Die eingesetzten Testwerkzeuge unterscheiden sich stark. Häufig genannt wurden Tools von Vector Informatik, TOSCA von Tricentis, das Open-Source-Testautomatisierungswerkzeug robotframework und für Hardware-in-the-Loop-Tests Systeme von dSPACE. Bezüglich Fehlernachverfolgung wurden die Tools ClearQuest von IBM und das Open-Source-Tool Mantis angeführt.

### 7.2 Probleme in der Qualitätssicherung

Konkrete Probleme der Qualitätssicherung in Projekten traten auf Grund von Softwarefehlern (zwei Befragte) und Schnittstellenfehlern (2) auf, die auf Spezifikationsmängel zurückgeführt werden konnten und sich auf die Funktionalität von verteilten Funktionen auswirkten. Weitere Probleme, die auftraten, bezogen sich auf die Stabilität der Prozesse (2), auch im Hinblick darauf, dass verschiedene zu integrierende Gewerke mit verschiedenen Prozessen arbeiten.

Drei Befragte nannten Probleme mit Mitarbeitern, auch in der Qualitätssicherung, die nicht über ausreichend Erfahrung mit den Prozessen und der Qualitätssicherung von eingebetteten Systemen verfügten.

### 7.3 Dokumentierte ‚Lessons Learned‘

Die Erfahrungen aus Projekten bilden eine wertvolle Grundlage für zukünftige Projekte, werden dokumentiert und fließen in Verbesserungen des Entwicklungsprozesses ein. Die dokumentierten Erfahrungswerte der Studienteilnehmer umfassen Fragen zur

Testautomatisierung. Diese wird häufig als erforderlich angesehen, um der gesteigerten Komplexität von vernetzten eingebetteten Systemen gerecht zu werden. Allerdings hängt der Nutzen der Test-Automatisierung stark vom dafür notwendigen Programmieraufwand ab, weshalb Testautomatisierung per se nicht sinnvoll ist, sondern lediglich dann, wenn die Software weiterentwickelt wird, indem Funktionen hinzugefügt oder geändert werden. Wird die Software nicht mehr weiterentwickelt oder ist ein komplettes Re-Design wahrscheinlich, ist die Testautomatisierung den Aufwand nicht wert, weil der automatisierte Testfall entweder nicht mehr benötigt wird oder nicht mehr ausführbar ist.

Hinsichtlich der Vernetzung von eingebetteten Systemen seien sauber abgestimmte und dokumentierte Schnittstellen zwingend notwendig, wusste ein Befragter zu berichten. Die Einbettung in die Kommunikationsinfrastruktur kann ebenfalls zu vielen Schwierigkeiten führen, so dass ein Befragter hier Maßnahmen ergriffen hat, die zu einer höheren Sende- und Empfangsleistung und zu geänderten Frequenzbändern führten, um die Kommunikation mit der Außenwelt zu verbessern.

Auch Erfahrungen mit Zulassungsprozessen, im Fall eines Befragten in der Luftfahrt, stellen wertvolle Erfahrungen dar, die das Vorgehen in weiteren Projekten beeinflusst haben.

## Anhang: Fragenkatalog

### Fragen zum Unternehmen

- Wie viele Mitarbeiter hat ihr Unternehmen und wie hoch ist etwa der Jahresumsatz?
- Wie viele Mitarbeiter sind in der Entwicklung eingebetteter Systeme beschäftigt?
- Wie viele Mitarbeiter davon nehmen aktiv an Qualitätssicherungsmaßnahmen teil?
- In welchem Anwendungsbereich(en) ist ihr Unternehmen aktiv? Wo liegt der Schwerpunkt?
- Welchen Stellenwert hat die Entwicklung eingebetteter Systeme in ihrem Unternehmen und welche Rolle spielt dabei die Qualitätssicherung?
- Wie groß ist die Fertigungstiefe (Anteil der Eigenentwicklung an der Gesamtentwicklung) in ihrem Unternehmen?

### Fragen zur Person

- Bitte beschreiben Sie kurz ihre Position und ihren Aufgabenbereich in ihrem Unternehmen. Welche Rolle haben sie speziell im Bereich der Qualitätssicherung?
- Wie viele Jahre Berufserfahrung haben sie bereits im Bereich der Entwicklung eingebetteter Systeme?
- In welchen Unternehmensorganen sind Sie involviert?

### Fragen zu Produktqualität und deren Governance

Governance ist ein Bestandteil der Unternehmensführung und besteht aus Führung, Organisationsstrukturen, Prozessen und relationalen Mechanismen, welche sicherstellen, dass die Unternehmensstrategie und -ziele unterstützt werden. Sowohl Geschäftsleute als auch technische Mitarbeiter sollen befähigt werden, ihre Verantwortlichkeiten hinsichtlich der Ausrichtung von Geschäft und IT auszuüben und Unternehmenswert zu generieren. [9, 10, 11, 12]

Haben sie Fragen und/oder Anmerkungen zu der Definition?

#### **Produktqualität und Governance**

- Gibt es eine klar definierte Struktur, welche die Entscheidungsrechte und Verantwortlichkeiten bzgl. der Qualitätssicherungsmaßnahmen regelt?
- Wer trifft die jeweiligen Entscheidungen? Welche Rolle haben sie?
- Wie und wann werden sie über den Stand der Entwicklungsprojekte (regelmäßig) informiert? Welche Rolle spielt dabei das Thema Produktqualität?

- In welchen Unternehmensorganen erfolgt die strategische Abstimmung hinsichtlich der durchzuführenden Qualitätssicherungsmaßnahmen.
- Wer ist verantwortlich für die Produktqualität?

### Qualitätssicherungsstrategien im Kontext vernetzter eingebetteter Systeme

Die Qualität eines eingebetteten Systems (ES) besteht aus der Qualität der eingebetteten Software, der Qualität der Hardware und der Qualität des Systems nach seiner Integration. Softwarequalität wird durch unterschiedliche Dimensionen, z. B. Funktionalität, Zuverlässigkeit, Benutzbarkeit, beschrieben. Im Rahmen dieser Studie und bezogen auf die Softwareentwicklung unterscheiden wir die Produkt- und Prozessqualität. Vereinfacht beschreibt die Produktqualität die Eignung der Software für ihre vorgesehenen Aufgaben und Nutzer. Die Prozessqualität bezieht sich auf die Effizienz des Implementierungs- bzw. Entwicklungsprozesses der Software.

Haben sie Fragen und/oder Anmerkungen zu der Definition?

- Gibt es eine unternehmensweite Qualitätssicherungsstrategie?
  - Sind Prinzipien formuliert bzw. umgesetzt, die eine hohe Qualität ihrer ES gewährleisten sollen? Wenn ja, wie sieht diese aus?
  - Gibt es Metriken zur Messung der Produktqualität und deren Kosten?
  - Werden diese Standards, Prinzipien oder Metriken regelmäßig bzw. nach Projekten aktualisiert?
- Gibt es regulatorische Vorgaben bzgl. der Produktqualität? Wenn ja, welche?
- Gibt es interne Richtlinien und Ziele zur Priorisierung der Qualität eines ES?
  - Ist die Priorität der Qualität eines ES höher als die Einhaltung von Zeit und Budgetvorgaben?
  - Was sind für sie die wesentlichen Qualitätseigenschaften, die bei der Systemfreigabe/beim Rollout in die Produktion erfüllt sein sollten?
- Erreichen die entwickelten ES üblicherweise die Erwartungen ihrer Stakeholder?
  - Sind die Nutzer/Kunden zufrieden mit den Systemen?
  - Sind die Manager zufrieden mit den Systemen?
- Wie bewerten sie die Prozessqualität bei der Entwicklung von ES?
  - Welche Qualitätssicherungsmaßnahmen werden bei ihnen angewandt?
  - Wie groß ist der Anteil der Qualitätssicherungsaktivitäten?
  - Wie groß ist der Anteil der Fehlerkorrektur an der gesamten Entwicklungsarbeit?
  - Wie häufig werden die Kosten und die Zeitvorgaben bei Softwareentwicklungsprojekten überschritten?

- Wie werden verschiedene Stakeholder, z. B. Nutzer, Kunden, Zulieferer, in ihre Qualitätssicherungsstrategie eingebunden?
  - Werden Information über die Qualität ihrer ES Produkte (intern und von externen Unternehmen, Kunden) regelmäßig gesammelt und berichtet?

## Zukünftige Entwicklung in der Qualitätssicherung für eingebettete Systeme und der Quality Governance

- Wo sehen sie den größten Bedarf zur Verbesserung der Produktqualität bei eingebetteten Systemen?
- Wo sehen sie zukünftige Herausforderungen, wenn Sie speziell die von ihrem Unternehmen entwickelten ES betrachten?
- Gibt es konkrete Pläne im Unternehmen, die Produktqualität zu verbessern?
  - Welche Vorgaben, Erfahrungen, Mängel sehen sie hier, die zukünftig behoben bzw. verstärkt werden sollten, um die Qualität von Entwicklungsprojekten sicherzustellen?
  - Was wären die nächsten Schritte, um die Produktqualität zu verbessern?
  - Welche Herausforderungen gilt es ggf. zu überwinden, um diese Schritte durchzuführen?
- Auf welchen Ebenen wäre ein umfassender Qualitätsansatz ihrer Meinung nach angesiedelt?
  - Glauben sie, dass mehr Qualitätsbewusstsein im Vorstand bzw. im Top-Management notwendig ist?

## Fragen zur Qualitätssicherung von eingebetteten Systemen in einem durchgeführten Projekt

- Welche Softwarewerkzeuge wurden in der Qualitätssicherung verwendet?
- Welches waren die größten Probleme in Bezug auf die Qualitätssicherung?
- Welche Qualitätsmängel wurden von Ihnen beobachtet und ggf. behandelt?
- Welche ‚Lessons Learned‘ wurden dokumentiert?

## Literatur

1. J. Großmann, P. Makedonski, H.-W. Wiesbrock, J. Svacina, I. Schieferdecker, J. Grabowski, Model-Based X-in-the-Loop Testing. In: Model-Based Testing for Embedded Systems, P. 299-338, CRC Press, Sept. 2011
2. J. Zander, I. Schieferdecker, P. Mosterman: Model-Based Testing for Embedded Systems, CRC Press, Sept. 2011
3. J. Großmann, Testing hybrid systems with TTCN-3 embedded. In: International Journal on Software Tools for Technology Transfer, Juli 2013
4. F. Jakob, A. Schulze, W. Kremer, J. Großmann, N. Menz, M. Schneider, A.-G. Vouffo Feudjio: Risk-based Testing of Bluetooth Functionality in an Automotive Environment. Conference paper and presentation Automotive 2012, Karlsruhe, Germany, November 2012
5. W. Dröschel, M. Wiemers: Das V-Modell 97. Der Standard für die Entwicklung von IT-Systemen mit Anleitung für den Praxiseinsatz. Oldenbourg, München 1999
6. A. Rausch, M. Broy, K. Bergner, R. Höhn, S. Höppner: Das V-Modell XT. Grundlagen, Methodik und Anwendungen. Springer, Heidelberg 2007
7. B. Broekman, E. Notenboom: Testing Embedded Software. Addison-Wesley, London 2003
8. Ph. Mayring: Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 8. Auflage. Beltz UTB, Weinheim, Basel 2003
9. J. Jewer, K. McKay: Antecedents and Consequences of Board IT Governance: Institutional and Strategic Choice Perspectives, Journal of the Association for Information Systems (2012), 13, 7, 581–617
10. IT Governance Institute (2003) Board Briefing on IT Governance, [http://www.isaca.org/restricted/Documents/26904\\_Board\\_Briefing\\_final.pdf](http://www.isaca.org/restricted/Documents/26904_Board_Briefing_final.pdf), last accessed 09 April 2014
11. W. van Grembergen, S. de Haes: Enterprise Governance of Information Technology: Achieving Strategic Alignment and Value. Springer, New York 2009
12. P. Weill, J. W. Ross: IT governance: How Top Performers Manage IT Decision Rights for Superior Results. Harvard Business School Press, Boston, Mass 2004



Die Qualitätssicherung von vernetzten eingebetteten Systemen stellt auf Grund ihrer immer größeren Bedeutung für Innovationen ein wichtiges Thema für die deutsche Industrie dar. Dabei stellte der gestiegene Qualitätsanspruch an eingebettete Systeme gemeinsam mit der Reduzierung der Zeit bis zur Markteinführung eines Produktes (Time-to-Market) das wichtigste Thema für die befragten Unternehmen dar. Um den aktuellen Stand der Qualitätssicherung vernetzter eingebetteter Systeme und zukünftige Trends zu ermitteln, führte das Fraunhofer-Institut FOKUS zwischen August und Dezember 2013 Interviews mit 19 leitenden Mitarbeitern, größtenteils aus der Automobil- und Luftfahrtbranche, durch, und befragte sie zu Stand und Trends im Bereich der Qualitätssicherung vernetzter eingebetteter Systeme. Die vorliegende Studie fasst den aktuellen Stand in der Qualitätssicherung vernetzter eingebetteter Systeme zusammen, benennt Stärken und Schwächen, analysiert zukünftige Herausforderungen und zeigt mögliche Lösungswege auf.

ISBN 978-3-8396-0756-5



9 783839 607565