

Ali Koç

**Entscheidungsunterstützung zur Planung
der Software-Qualitätssicherung
in mechatronischen Produkten**

Herausgegeben von

**Prof. Dr.-Ing. Klaus Bender
Technische Universität München**

in der Reihe

Informationstechnik im Maschinenwesen



Herbert Utz Verlag · Wissenschaft
München 2003

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2003

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2003

ISBN 3-8316-0250-6

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München

Tel.: 089/277791-00 – Fax: 089/277791-01

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Überblick	1
1.1	Motivation und Problemstellung	1
1.2	Gliederung der Arbeit	2
2	Qualitätssicherung softwareintensiver mechatronischer Produkte	5
2.1	Domäne der Automatisierungskomponenten	6
2.1.1	Wirtschaftliche Bedeutung der Domäne	6
2.1.2	Mechatronisches Produkt	6
2.1.3	Softwareintensives Produkt der Automatisierungstechnik	7
2.1.4	Kennzeichen der Domäne	9
2.1.5	Fazit	11
2.2	Herausforderung Embedded Quality	11
2.2.1	Wertschöpfungsfaktor eingebettete Software	11
2.2.2	Wandel der Entwicklungsprozesse	12
2.2.3	Wettbewerbsbestimmender Faktor Softwarequalität	13
2.2.4	Steigender Softwareanteil: Risiko für Produktivität und Qualität	14
2.2.5	Erfolgsschlüssel: Systematische Qualitätssicherung	15
2.2.6	Fazit	16
2.3	Qualitätssicherung eingebetteter Software	16
2.3.1	Grundlagen der Qualitätssicherung	16
2.3.2	Besonderheiten der Qualitätssicherung eingebetteter Software	19
2.3.3	Praxis der Qualitätssicherung eingebetteter Software	21
2.3.4	Abgrenzung zu benachbarten Gebieten	23
2.3.5	Fazit	26
2.4	Planung effizienter Qualitätssicherung	26
2.4.1	Merkmale einer effizienten Qualitätssicherung	28
2.4.2	Defizite bei der Planung effizienter Qualitätssicherung	29
2.4.3	Fazit	31
2.5	Bearbeitete Problemstellung	32
2.6	Aufgabenstellung und Lösungsansatz	32
2.6.1	Anforderungen an ein Planungsverfahren	33
2.6.2	Lösungsansatz	35

3	Methoden zur Planung der Qualitätssicherung	37
3.1	Planung der Qualitätssicherung in Produktnormen – ISO 9126/ISO 12119	38
3.2	Planung der Qualitätssicherung in Prozessnormen – ISO 9000	39
3.3	Planung der Qualitätssicherung in Vorgehensmodellen – V-Modell	42
3.4	Planung der Qualitätssicherung in Prozess-Reifegradmodellen	47
	3.4.1 Capability Maturity Model (CMM)	47
	3.4.2 ISO 15504 (SPICE)	50
3.5	Planung der Qualitätssicherung in evolutionären Verbesserungsansätzen	54
	3.5.1 Quality Improvement Paradigm (QIP)	54
	3.5.2 PROFES	59
3.6	Zusammenfassung und Bewertung	60
4	Rahmenkonzept der Entscheidungsunterstützung	63
4.1	Grundlagen der Entscheidungstheorie	64
	4.1.1 Klassen von Entscheidungsaufgaben	65
	4.1.2 Präskriptive und Deskriptive Entscheidungstheorie	65
	4.1.3 Entscheidungsprozess	66
	4.1.4 Entscheidungsmodelle	67
4.2	Entwurf der Entscheidungsunterstützung	69
	4.2.1 Planungsfokus: Strukturplanung für Projektklassen	69
	4.2.2 Entscheidungsprozess zur Planung der Qualitätssicherung	71
	4.2.3 Entscheidungsmodell zur Planung der Qualitätssicherung	72
	4.2.4 Zusammenfassung	73
4.3	Beschreibungsmodell – Beschreibung mit Profilen	74
	4.3.1 Nutzung von Profilen	74
	4.3.2 Aufwandsarme Modellierung mit Merkmalen	76
	4.3.3 Nutzung qualitativer Werte	77
	4.3.4 Dreistufigkeit der Merkmalsausprägungen	79
	4.3.5 Dokumentation und Begründung von Entscheidungsschritten	80
	4.3.6 Verzicht auf Gewichtungsfaktoren	81
	4.3.7 Allgemeines Schema zur Beschreibung von Profilen	81
4.4	Erklärungsmodell	82
	4.4.1 Modellierung von Wirkungszusammenhängen im Software-Engineering	82
	4.4.2 Wirkungszusammenhänge und -modelle in dieser Arbeit	83
	4.4.3 Verzicht auf Interdependenzen	84
4.5	Detaillierung der Profile	85
	4.5.1 Entwicklungsmerkmale	86
	4.5.2 Qualitätsmerkmale	87
	4.5.3 QS-Maßnahmenmerkmale	88
	4.5.4 Zusammenfassung	88

4.6	Auswahlmethodik	88
4.6.1	Empfehlungsstufen	89
4.6.2	Ablauf der Auswahlmethodik	91
4.6.3	Zusammenfassung	93
4.7	Nutzen der Entscheidungsunterstützung	94
4.8	Zusammenfassung und Bewertung	96
5	Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung	99
5.1	Anforderungen an Profilbeschreibungen	100
5.2	Bewertung und Auswahl von Kreativitätstechniken	101
5.2.1	Überblick zu Kreativitätstechniken	101
5.2.2	Diskussion der angewandten Kreativitätstechniken	103
5.2.3	Gruppenorientierte Kreativitätstechniken	104
5.2.4	Auswahl von Kreativitätstechniken	107
5.2.5	Zusammensetzung der Expertengruppe	107
5.2.6	Zusammenfassung	108
5.3	Vorgehensweise zur Definition von Profilen	108
5.3.1	Bestimmung relevanter Merkmale	109
5.3.2	Beschreibung von Merkmalen	113
5.3.3	Zusammenfassung	115
5.4	Vorgehensweise zur Beschreibung von Profilen	116
5.4.1	Beschreibung von Entwicklungsprofilen	116
5.4.2	Beschreibung von QS-Anforderungsprofilen	119
5.4.3	Beschreibung von QS-Maßnahmenprofilen	120
5.4.4	Zusammenfassung	126
5.5	Verwendung und Anpassung des Entscheidungsmodells	127
5.5.1	Verwendung zur Feinplanung der Qualitätssicherung	127
5.5.2	Anpassung des Entscheidungsmodells	128
5.6	Zusammenfassung und Bewertung	129
6	Entscheidungsunterstützungs-System	133
6.1	Anforderungen an das Entscheidungsunterstützungs-System	134
6.2	Entwurf des Entscheidungsunterstützungs-Systems	135
6.2.1	Systemarchitektur und Technologieauswahl	136
6.2.2	Datenbankentwurf	137
6.3	Prototypische Implementierung	140
6.3.1	Überblick über den Prototypen	141
6.3.2	Implementierungsbeispiel unter Nutzung der Datenbanktabellen	143
6.4	Zusammenfassung und Bewertung	144

7	Anwendung in der Praxis und Bewertung	147
7.1	Rahmenbedingungen des Forschungsprojekts	148
7.2	Fallbeispiele zur Definition von Profilen	148
7.2.1	Vorgehensweise	149
7.2.2	Beispiele für Merkmale	149
7.3	Fallbeispiele zur Beschreibung von Profilen	151
7.3.1	Vorgehensweise und Beispiele für Entwicklungsprofile	151
7.3.2	Vorgehensweise und Beispiele für QS-Maßnahmenprofile	153
7.4	Fallbeispiele zur Anwendung der Auswahlmethodik	160
7.5	Zusammenfassung und abschließende Bewertung	162
7.5.1	Zusammenfassung der Anwendung in der Praxis	163
7.5.2	Abschließende Bewertung anhand der gestellten Anforderungen	164
8	Zusammenfassung und Ausblick	167
A	Ergänzende Dokumente zur Entscheidungsunterstützung	171
A.1	Standardkataloge für Merkmale	171
A.2	Beispiele für QSM-Datenblätter	179
A.3	Projektklassen in der Literatur	180
A.4	QS-Maßnahmen in der Literatur	180
B	Definitionen	183
C	Literaturindex	185
D	Literaturverzeichnis	189

1

Einführung und Überblick

1.1 Motivation und Problemstellung

Moderne Maschinen und Anlagen der Investitionsgüterindustrie sind ein wichtiger Wirtschaftszweig der deutschen Industrie [VDMA 97]. Zur Automation mechanischer Abläufe werden sie in zunehmendem Maße von Elementen der Informationstechnik durchdrungen. Ein Merkmal dieser Entwicklung ist der in den letzten Jahren stark gestiegene Entwicklungsaufwand für *Automatisierungskomponenten*, die jeweils eine eng umgrenzte Automatisierungsaufgabe ausrichten [GÖHNER 00]. Durch den Vormarsch der Feldbustechnologie und dem Bedarf an größerem Funktionsumfang, Modularität und Flexibilität solcher Produkte erfolgt eine Migration von Steuerungsfunktionen in die Automatisierungskomponenten hinein.

Ein besonderes Merkmal solcher Produkte ist der kombinierte Einsatz von Mechanik, Elektronik und Software, daher werden sie auch als *mechatronische* Produkte bezeichnet. Beispiele solcher Produkte sind elektrische Antriebe, pneumatische Ventilinseln oder intelligente Sensoren.

Funktionen in diesen Produkten werden zunehmend – ausgelöst durch die rasanten Entwicklungen in der Mikroelektronik – preisgünstig in Software realisiert. Mit Hilfe der Software können Produkte flexibel gestaltet und Innovationen realisiert werden. Die Software bestimmt wesentlich die Wertschöpfung solcher *softwareintensiven mechatronischen* Produkte [BENDER+01], [SOLINGEN 00, S. 15]. Unternehmen, die ihre Marktposition durch die Entwicklung innovativer Produkte stärken möchten, müssen dies berücksichtigen.

Hersteller von Automatisierungskomponenten sind vornehmlich *kleine und mittelständische Unternehmen*, deren besonderer Wettbewerbsvorteil u. a. in ihrer *kurzen „time-to-market“* bei gleichzeitig *hoher Produktqualität* liegt. Da mit steigendem Softwareanteil in den Produkten deren Produktivität und Qualität fallen [BRIGGS 00], droht den Unternehmen der *Verlust dieser Kernkompetenzen*. Dieses Dilemma wird durch die immer kürzer werdenden Innovationszyklen zusätzlich verstärkt.

Eine systematische und *angemessene Qualitätssicherung (QS)* der wichtigen Kernkomponente Software kann eine wirtschaftliche Produktentwicklung bei gleichzeitig hoher Produktivität und Qualität sicherstellen. Bedarfsgerechte und damit effiziente Qualitätssicherung setzt aber eine *systematische Planung* voraus. Genau hier existieren in Praxis und Wissenschaft Defizite: Die Bestimmung des Bedarfs an die Qualitätssicherung und die Auswahl von QS-Maßnahmen erfolgt unsystematisch, es fehlen transparente Entscheidungskriterien und Kenntnisse über Aufwand und Wirkung von QS-Maßnahmen. Selbst bei „Bauchentscheidungen“ eines guten Projektleiters bleibt ein Erklärungs- und Motivationsproblem.

Die vorliegende Arbeit widmet sich diesem Problemfeld mit dem *Ziel*, ein praktisch einsetzbares und leicht anwendbares Verfahren zu entwickeln, das eine *systematische und nachvollziehbare Planung* einer *effizienten Qualitätssicherung eingebetteter Software* ermöglicht.

Dies wirft folgende Fragestellungen und *Themenkomplexe* auf, die im Rahmen dieser Arbeit zu erörtern sind:

- Welcher Detaillierungsgrad der Planung ist sinnvoll? Wie genau kann das Planungsergebnis sein, wenn gleichzeitig das Planungsverfahren nicht zu umfangreich und komplex sein darf? Welche Informationen dürfen bei der Planung vorausgesetzt werden?
- Wie kann der Qualitätssicherungs-Bedarf ermittelt und die Angemessenheit einer Qualitätssicherung bestimmt werden?
- Wie kann die Transparenz im Planungsverfahren durchgehend sichergestellt werden? Welche Auswirkungen hat dies auf Elemente der Planung?
- Wie muss das Planungsverfahren gestaltet sein, damit es einfach und kontinuierlich genutzt und gepflegt werden kann?

1.2 Gliederung der Arbeit

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit ist in Abb. 1–1 dargestellt und wird im Folgenden beschrieben.

- Im zweiten Kapitel wird ausgehend von der Analyse der Domäne der Automatisierungskomponenten der Bedarf an einer systematischen Qualitätssicherung eingebetteter Software begründet. Die Qualitätssicherung selbst wird im dritten Abschnitt des Kapitels analysiert. Der vierte Abschnitt untersucht die Defizite bei der Planung von effizienter Qualitätssicherung. Das Kapitel mündet in eine Problem- und Aufgabenstellung sowie einen Lösungsansatz.

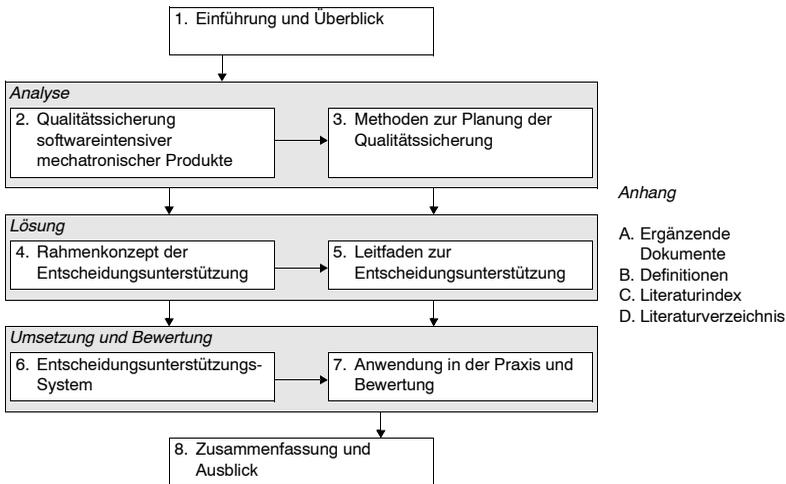


Abb. 1–1. Gliederung der Arbeit

- Kapitel 3 führt in Methoden aus Qualitätssicherung und Software-Engineering, wie z.B. Produkt- und Prozessnormen, Vorgehensmodelle, Prozess-Reifegradmodelle und evolutionäre Verbesserungsansätze ein und untersucht diese auf verfügbare Konzepte, die einen Lösungsbeitrag zur vorliegenden Problematik leisten könnten.
- Im konstruktiven Teil der Arbeit wird in Kapitel 4 ein Rahmenkonzept der Entscheidungsunterstützung zur systematischen, transparenten Planung einer effizienten Qualitätssicherung entworfen, das auf der Entscheidungstheorie beruht.
- In Kapitel 5 wird für das in Kapitel 4 entwickelte Rahmenkonzept ein Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung definiert, der die Anwendung in der Praxis durch Definition geeigneter Vorgehensweisen unterstützt.
- Ein Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung wird in Kapitel 6 entworfen und seine prototypische Implementierung vorgestellt.
- Die praktische Anwendung im Rahmen eines Forschungsprojekts stellt Kapitel 7 vor. Dort wird die Umsetzung wichtiger Konzepte der Entscheidungsunterstützung anhand von Fallbeispielen diskutiert. Dieses Kapitel mündet in eine abschließende Bewertung der hier erarbeiteten Lösung zur Planung der Qualitätssicherung eingebetteter Software.

- Mit einer Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse und einem Ausblick auf weitere Entwicklungsmöglichkeiten wird diese Arbeit in Kapitel 8 abgeschlossen.
- Im Anhang A befinden sich Kataloge und Beispiele, welche die Anwendung der Entscheidungsunterstützung in der Praxis vereinfachen und den Aufwand reduzieren. Definitionen, die im Rahmen dieser Arbeit getroffen werden, sind in Anhang B zusammengefasst. In den Anhängen C und D sind der Literaturindex und das Verzeichnis der verwendeten Literaturquellen zu finden.

2

Qualitätssicherung softwareintensiver mechatronischer Produkte

Softwareintensive mechatronische Produkte in Form von intelligenten Automatisierungskomponenten sind heute untrennbare Bestandteile moderner Maschinen und Produktionsanlagen. Mit steigendem Anteil nimmt die in den Produkten enthaltene eingebettete Software eine Schlüsselstellung in der Produktentwicklung ein, ihre Qualität bestimmt in hohem Maße die Qualität des Gesamtprodukts. Die sich daraus ergebenden Probleme können mit einer systematischen Qualitätssicherung (QS) beherrscht werden.

Abb. 2–1 stellt den Aufbau dieses Kapitels dar.

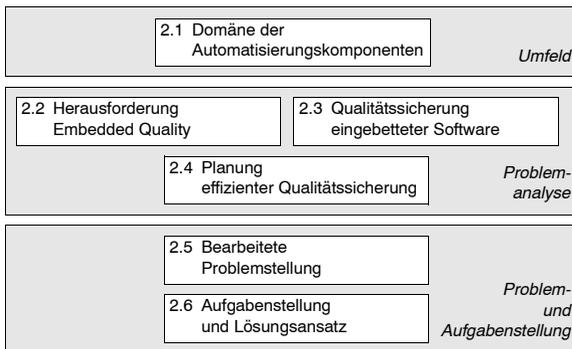


Abb. 2–1. Aufbau von Kapitel 2

In diesem Kapitel werden zunächst die Besonderheiten der betrachteten Domäne aufgezeigt, der Wandel der Produkte und Entwicklungsprozesse dargelegt sowie die Bedeutung der Softwarequalität und die Defizite bei der Planung einer effizienten Qualitätssicherung herausgearbeitet. Daraus wird die Problem- und Aufgabenstellung abgeleitet.

2.1 Domäne der Automatisierungskomponenten

Diese Arbeit beschränkt sich auf die Betrachtung *softwareintensiver mechatronischer Produkte der Automatisierungstechnik*. Daher wird in diesem Kapitel auf die Bedeutung der Automatisierungstechnik und ihre Produkte eingegangen sowie wichtige Begriffe wie Mechatronik, eingebettetes System, eingebettete Software und softwareintensives Produkt definiert. Abschließend werden die besonderen Kennzeichen der Produkte und Projekte dieser Domäne diskutiert.

2.1.1 Wirtschaftliche Bedeutung der Domäne

Moderne Produktionsanlagen und Maschinen sind ohne den Einsatz von softwareintensiven mechatronischen Produkten, die auch als intelligente Produkte bezeichnet werden, nicht mehr vorstellbar [BENDER+00B]. Solche Produkte sind in der Regel auf eng umgrenzte Automatisierungsaufgaben ausgerichtet und werden mit einem sehr hohem Automatisierungsgrad realisiert [GÖHNER 00]. Beispielsweise sind elektrische Antriebe, mit einem Produktionswert von sechs Milliarden Euro, einer der wichtigsten Bereiche für die Automatisierung von Produktionsanlagen in Deutschland [SIMON 00].

Die große Bedeutung intelligenter, innovativer Produkte wird auch in einer Umfrage des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung ([SCHRAFT+99], [NEUGEBAUER 00]) bestätigt, in der ca. 80% der befragten Unternehmen innovative Produkte als eine wichtige strategische Maßnahme zur *Stärkung* ihrer *Markposition* sehen. Einen Auslöser hierfür stellen die vermehrten Anforderungen der Kunden an *Flexibilität* und *Anpassungsfähigkeit* der Produkte [SCHRAFT+99, S. 63] sowie den damit verbundenen Bedürfnissen der Unternehmen nach verstärkter *Kundenorientierung* dar. Mit dem Trend zu intelligenten Produkten ist eine fortschreitende *Dezentralisierung* verbunden. Sie ermöglicht die Reduzierung der Systemkosten bei gleichzeitiger Erhöhung der Funktionalität: Überlagerte Steuerungen werden entlastet und gleichzeitig reduziert sich der Montage- und Verdrahtungsaufwand erheblich [SIMON 00].

Nachfolgend wird der Begriff *Mechatronik* und *mechatronisches Produkt* erörtert.

2.1.2 Mechatronisches Produkt

Der Begriff „Mechatronik“ (engl. *mechatronics*) ist ein Kunstwort bestehend aus *Mechanik* und *Elektronik* [BROCKHAUS 97]. In Anlehnung an [SCHWEITZER 89], [HEIMANN+98], [ISERMANN 99] und [IEEE 96] wird folgende Definition für *Mechatronik* verwendet:

Definition 2–1. Mechatronik

Mechatronik ist ein *interdisziplinäres Gebiet* der Ingenieurwissenschaften, das auf Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik aufbaut. Ihr Ziel ist die Verbesserung der Funktionalität und die räumliche Integration eines technischen Systems durch eine *enge Verknüpfung/Verzahnung und synergetische Integration*

von mechanischen, elektronischen und informationsverarbeitenden Komponenten. Ein typisches mechatronisches System nimmt Signale auf, verarbeitet sie und gibt Signale aus, die es z. B. in Kräfte und Bewegungen umsetzt.

Den allgemeinen *Aufbau eines mechatronischen Produkts*¹ zeigt die Abb. 2–2. Sie enthält nach [HEIMANN+98] Aktoren, Sensoren, Prozessoren (als informationstechnische Komponente) und ein (meist mechanisches) Grundsystem. Dabei ist zu beachten, dass die Grenze zwischen mechatronischen Systemen und anderen mit der Elektronik integrierten Systemen nicht scharf, sondern fließend ist [ISERMANN 99].



Abb. 2–2. Allgemeiner Aufbau eines mechatronischen Produkts ([HEIMANN+98])

Nachfolgend wird aus Gründen der einfachen Lesbarkeit ein softwareintensives Produkt immer als mechatronisch angesehen und auf den Zusatz mechatronisch verzichtet.

2.1.3 Softwareintensives Produkt der Automatisierungstechnik

Die Abb. 2–3 zeigt den *Aufbau eines softwareintensiven Produkts* als Spezialisierung des mechatronischen Produkts aus Abb. 2–2.

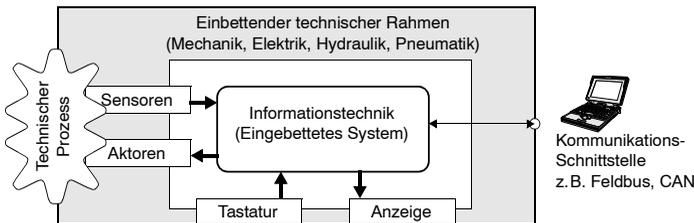


Abb. 2–3. Aufbau eines softwareintensiven Produkts der Automatisierungstechnik

1. Als Beispiele für *mechatronische Produkte* sind in der Automobiltechnik elektronische Motorsteuerung, Anti-Schlupf-Systeme, Airbag usw. zu nennen. Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, Roboter oder Dreh- und Frässpindeln stellen mechatronische Produkte im klassischen Maschinenbau dar. Intelligente Sensoren und Aktoren, wie z.B. Stellgeräte oder Ventilseln sind Produkte der Automatisierungstechnik [HEIMANN+98], [ISERMANN 99].