Entwicklung eines Informationssystems mit Reifegradmanagement für automatisierte Schraubprozesse

Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

vorgelegt von

Master of Science

Yuliya Lebedynska

geboren am 09.04.1982
in Charkiw, Ukraine

Vorsitzender:	**PD Dr.paed. Dr.-Ing. habil. Annette Hoppe**
Gutachter:	**Prof. Dr.-Ing. Ulrich Berger**
Gutachter:	**Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Peter Arnold**
Tag der mündlichen Prüfung:	**21.06.2011**

Berichte aus dem Lehrstuhl Automatisierungstechnik
BTU Cottbus
Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Ulrich Berger

Yuliya Lebedynska

Entwicklung eines Informationssystems mit Reifegradmanagement für automatisierte Schraubprozesse

Shaker Verlag
Aachen 2011

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.

Zugl.: Cottbus, BTU, Diss., 2011

Copyright Shaker Verlag 2011
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0289-8
ISSN 1864-5789

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Die Automatisierungstechnik bildet eine Schlüsseltechnologie für die Steigerung der Produktinnovation und die Verbesserung von Wertschöpfungsprozessen. Als Konsequenz einer globalen Wirtschaftsstruktur müssen alle Unternehmensbereiche wie Entwicklung, Produktion und Güterverkehr in einen übergreifenden Kontext gestellt und behandelt werden. Dabei steht die informationstechnische Verknüpfung verbundener Unternehmen und Unternehmensbereiche bei stetig veränderlichen Aufgabenstellungen und Randbedingungen eine besondere Herausforderung dar. Die Automatisierung des betrieblichen und betriebsübergreifenden Informationsflusses sowie die Einbindung des Menschen in allen Phasen des Entwicklungs- und Leistungsprozesses bildet daher die vordringliche Aufgabenstellung für Forschung und Entwicklung. Durch den zielgerichteten, systematischen Einsatz und die ständig aktualisierte Beurteilung und Bewertung automatisierungstechnischer Lösungen wird die schnelle Umsetzung und Einführung hochwertiger und zukunftsweisender Innovationen gesichert.

Ziel der Forschungsarbeiten am Lehrstuhl Automatisierungstechnik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus (BTU) ist die kontinuierliche Verbesserung der automatisierungstechnischen Methoden und Verfahren im Hinblick auf fortgeschrittene Produktionsstrukturen. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung integrierter Fertigungs- und Montagesysteme unter Einsatz neuartiger Steuerungstechnik. Dazu werden leistungsfähige Entwurfswerkzeuge der *Digitalen Fabrik* erprobt und weiterentwickelt. Durch die Bereitstellung modernster Laborausstattung und die Zusammenarbeit mit industriellen und institutionellen Technologieführern wird der Stand der Technik in Wissenschaft und Forschung aktualisiert abgebildet. Nationale und internationale Forschungsarbeiten zu ganzheitlichen Automatisierungskonzepten, den *Industrial Life Cycle Automation*, runden das Aufgaben- und Leistungsspektrum des Lehrstuhls ab.

Die in dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen aus den Forschungsarbeiten des Lehrstuhls Automatisierungstechnik der BTU Cottbus. In diesen Bänden werden neue Resultate und Erkenntnisse aus Forschung und Entwicklung veröffentlicht. Die Berichte aus dem Lehrstuhl Automatisierungstechnik sollen Forschung, Entwicklung und Anwendung zu automatisierungstechnischen Fragestellungen enger verknüpfen und daraus Potential für zukünftige Innovationen erzeugen.

Ulrich Berger

Kurzfassung

Anspruchsvolle Schraubprozesse in einer modernen Schraubanlage sind durch eine komplexe Parametrierung der Schraubabläufe und durch die Notwendigkeit einer Auswertung der Schraubvorgänge gekennzeichnet. Um hier Verbesserungspotentiale zu erzielen, ist es unabdingbar, die Schraubabläufe mit einer gewissen Strategie zu bearbeiten. Für eine präzise Ermittlung der Prozessparameter und die Verbesserung der Prozessqualität müssen Analysewerkzeuge für die Diagnose der Parametereigenschaften entwickelt werden. Gestiegene Anforderungen an die Schraubprozesse erfordern entsprechende Schulungsmaßnahmen, die auf den jeweiligen Bediener angepasst sein müssen. Ein kontinuierliches Verbesserungskonzept im Rahmen der Steuerung der Prozessabläufe ist für eine qualitativ hochwertige Arbeit hierbei unerlässlich.

Diesem Grundsatz folgend, soll in der vorliegenden Arbeit ein neu entwickeltes Informationssystem mit Reifegradmanagement für automatisierte Schraubprozesse vorgestellt werden. Um technische Risiken weitgehend zu vermeiden, ist es erforderlich, Mechanismen zu entwickeln, die die prozessrelevanten Daten automatisiert extrahieren und die dem Benutzer die Daten zielgerichtet zur Verfügung stellen. Mit dem Einsatz eines Informationssystems werden dem Anwender bei der Parametrierung einer Schraubersteuerung Informationen (Bearbeitungs- und Steuerdaten) mit standardisierten Zusammenhängen und einer klaren Verfolgung der Arbeitsschritte zur Verfügung gestellt, sodass das Einfahren, Modifizieren und Optimieren von Schraubprozessen fehlerfrei ausgeführt werden kann. Folgende Schwerpunkte werden hierfür bearbeitet:

- Analyse und Bearbeitung der Wissensbasis,
- Beschreibung von Datenbankstrukturen mit wissensbasierten Mitteln,
- Modellierung des Schraubprozesses mit einer ablauforientierten Methode,
- Modellierung der Teil-Ganzes-Beziehungen des Schraubsystems,
- Entwicklung von Bewertungsmechanismen für automatisierte Schraubprozesse (Reifegrad der Prozessparameter),
- Reduzierung der Variantenvielfalt bei der Parametrierung der Schraubvorgänge zur Steigerung der Effektivität des Schraubsystems.

Eine experimentelle Versuchsplattform für die Schraubmontage wird am Lehrstuhl Automatisierungstechnik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus (BTU) realisiert. In deren Rahmen werden die Funktionalitäten der Plattform und deren Bestandteile beschrieben und wird eine Validierung des entwickelten Informationssystems auf Basis der Plattform durchgeführt. Darüber hinaus erfolgt eine Darstellung der Montage der einzelnen Komponenten sowie eine detaillierte Beschreibung der Daten-Vernetzung. Der Nachweis der präzisen Parametrierung der Schraubprozesse mit Reifegradanalyse der Prozessparameter erfolgt durch die Validierung der Schraubfälle mit funktioneller Unterstützung des entwickelten Informationssystems. Die Reifegradbewertung wird anhand der funktionellen Eigenschaften der Parameter durchgeführt. Ziele hierbei sind eine Minimierung der Fehler und eine einfache Bedienung.

Abstract

Sophisticated screwing processes in modern screwing equipment are marked with complex parameter settings of the screwing operations and with their assessment requirements. To gain the potential for improvement, the screwing processes must be handled using a special strategy. To determine the exact parameters and to achieve improved process quality requires development of analysis tools to diagnose the parameter attributes. Increased requirements in the screwing processes demand operator best fit training procedures. A continuous improvement concept for the process control is required to enhance work quality.

An information system with a maturity degree for automated screwing processes should be developed following this basic principle. To avoid the technical risks, it makes sense to develop some mechanisms, which automatically extract the process related data and provide it to operator afterwards. By using the information system, information (process and control data) about the parameterization of the screwing control with standardized correlations and a clear tracing of working steps is provided. In this way the running, modification and optimization of the screwing process can be implemented without errors.
At the same time, the following key aspects are worked out:

- Analysis and processing of the knowledge base,
- Description of the database structures with scientific methods,
- Modeling of the screwing process using process oriented method,
- Modeling of the complete component topology of the screwing system,
- Developing of the evaluation mechanisms for automated screwing processes (degree of maturity of the parameters),
- Reduction of the variants range during the parameterization of the screw processes for the enhancement of the screw system effectiveness.

An experimental platform for screw assembly is implemented in the research laboratories at the chair of Automation at the Brandenburg Technical University in Cottbus. Thereby, the functionalities of the platform and their components are described and a validation of the developed system is carried out. The development and assembly of the components is presented. Data interrelations are also described in detail. The validation of the screwing process used cases with a functional support of the developed information system should indicate a precise parameterization of the screw processes with a degree of maturity of the process parameters. The evaluation of the maturity degree is made with help of functional properties of the parameter. Consequently, an obvious minimization of the mistakes and a simple operation is achieved.

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit ist während meines Promotionsstudiums im Rahmen der Graduiertenklasse „Modelle, Methoden und Werkzeuge zum Risikomanagement in der Unternehmenspraxis“ der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus entstanden.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei meinem wissenschaftlichen Betreuer Herrn Prof. Dr.-Ing. Ulrich Berger, Inhaber des Lehrstuhles für Automatisierungstechnik, für seine hilfreichen Anregungen und wertvollen Hinweise, die entscheidend zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen haben.

Ich danke meinem Zweitgutachter, Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Peter Arnold für seine motivierenden Gespräche und eine intensive Betreuung meiner Arbeit.

Ein großer Dank gilt Frau PD Dr. paed. Dr.-Ing. habil. Annette Hoppe, die den Vorsitz der Prüfungskommission übernommen hat und Frau Dr. phil. Monika Rau für Ihre Unterstützung, um meine Elternschaft und das Promotionsstudium miteinander zu verbinden.

Für hilfreiche Diskussionen, Anregungen und Zusammenarbeit während meiner Forschungstätigkeit danke ich Herrn Dr.-Ing. Rudolf Schulze, Frau Angelika Stahr, Herrn M. Sc. Sarfraz Minhas, Frau Dr.-Ing. Veronica Vargas, Herrn Rainer Leege, Herrn Dipl.-Ing. J. Philipp Städter, Herrn M. Sc. Marcel Halbauer, Herrn Dipl.-Ing. Christian Lehmann sowie Herrn Dr.-Ing. Ralf Kretzschmann.

Ganz besonders dankbar bin ich Herrn Dipl.-Ing Kai Henning und Herrn Dipl.-Ing. Udo Steffen für die Unterstützung in der technischen Realisierung für die Validierung des Informationssystems „Reifegradmagement für automatisierte Schraubprozesse“.

Ganz besonders danken möchte ich meinen Eltern, Schwiegereltern und meinem Ehemann Sergey Lebedynskyy, die mich bei der Anfertigung der vorliegenden Arbeit immer wieder motiviert und den nötigen Rückhalt gegen haben.

Yuliya Lebedynska

Cottbus, 2011

Inhaltsverzeichnis

1	**Einleitung**	**1**
1.1	**Motivation**	**2**
1.1.1	**Einordnung in den Produktionsprozess**	**3**
1.1.2	**Analyse der Montageprozesse**	**6**
1.1.3	**Bedeutung der Schraubprozesse hinsichtlich der Fügeverfahren**	**9**
1.2	**Zielsetzung**	**16**
1.3	**Struktur der Arbeit**	**21**
2	**Informationssysteme in automatisierten Schraubprozessen**	**25**
2.1	**Stand der Technik**	**25**
2.1.1	**Wissensmanagementbasierte Lösungen**	**25**
2.1.2	**Qualifizierungsspezifische Ansätze der Informationssysteme**	**28**
2.1.3	**Softwaregestützte Informationssysteme**	**30**
2.2	**Stand der Forschung**	**32**
2.2.1	**Wissensmanagementsysteme**	**32**
2.2.2	**Informationssysteme zur Steigerung der Personalqualifizierung**	**34**
2.2.3	**Softwarebasierte Informationssysteme**	**35**
2.3	**Kriterien für die Entwicklung eines Informationssystems für automatisierte Schraubprozesse**	**37**
2.4	**Zusammenfassung und Bewertung vorhandener Systeme**	**39**
2.5	**Reifegradmodelle für automatisierte Schraubprozesse**	**42**
2.6	**Wissenschaftliche Methoden für die Entwicklung der Informationssysteme in automatisierten Schraubprozessen**	**44**
3	**Konzept und Methoden zur Umsetzung der Zielstellung**	**51**
3.1	**Konzept des Informationssystems mit Reifegradmanagement für automatisierte Schraubprozesse**	**51**
3.2	**Zusammenfassung**	**53**
4	**Modellbildung des Prozessinformationssystems**	**55**
4.1	**Mereologischer Ansatz für die Dekomposition und Komposition von technischen Systemen**	**57**
4.1.1	**Dekomposition eines technischen Systems in Teilsysteme**	**59**
4.1.2	**Automatisierte Teilsysteme und ihre Komposition**	**60**
4.1.3	**Klassifikation der strukturellen Eigenschaften eines automatisierten Systems**	**62**
4.2	**Prozessbeschreibung des Steuerungsalgorithmus**	**63**
4.2.1	**Prozessablauf mit Parameterzuordnung**	**63**
4.2.2	**Modellierung eines Schraubprozesses mittels Petri-Netzen**	**63**
4.3	**Prozessparameterermittlung**	**65**
4.3.1	**Analyse der Prozessparameter**	**65**
4.3.2	**Vorgehensweise zur Parameterermittlung in einem automatisierten Schraubprozess**	**68**

4.3.3 Erstellung des Petri-Netz-Modells mit der Zuordnung der Prozessparameter 79
4.4 Anlagenbeschreibung mit Anforderungen an das Schraubsystem 80
4.5 Reifegradbewertung anhand der funktionellen Eigenschaften 81
4.5.1 Wertigkeit der funktionellen Eigenschaften 81
4.5.2 Reifegradbewertung in einem Schraubprozess 83
4.6 Zusammenfassung des Konzeptes 84

5 Technische Realisierung 85
5.1 Darstellung des reifegradspezifizierten Prozessinformationssystems 85
5.1.1 Struktur des reifegradspezifizierten Prozessinformationssystems 85
5.1.2 Schraubstufen und deren Parameter 89
5.1.3 Auswahl des Werkzeuges im Programm 92
5.1.4 Reifegradanalyse der Parameter im Programm 93
5.2 Datenbasis des Informationssystems 93
5.2.1 Bausteine der Datenbasis 93
5.2.2 Mechanismus zur Datenübertragung 99
5.3 Laborumgebung der Schraubmontage 101
5.3.1 Hardwarestruktur der Schraubmontage 101
5.3.2 Datenaustausch im Versuchsaufbau 105
5.4 Zusammenfassung 106

6 Validierung des entwickelten Informationssystems 107
6.1 Anforderungen an die Validierung des Prozessinformationssystems 107
6.2 Auswahl der Schraubaufgaben 107
6.3 Parametrierung der Schraubanlage mittels Informationssystem 109
6.4 Reifegradbewertung der Parameter für fünf Validierungsfälle 115
6.5 Vorteile der Parametrierung anhand des Informationssystems 120

7 Zusammenfassung und Ausblick 125
7.1 Zusammenfassung 125
7.2 Ausblick 127

8 Literaturverzeichnis 128

9 Verzeichnis der Anlagen 141
9.1 CAD-Zeichnung für die Validierungsaufgabe 1 141
9.2 CAD-Zeichnung für die Validierungsaufgabe 2 141
9.3 CAD-Zeichnung für die Validierungsaufgabe 3 142
9.4 CAD-Zeichnung für die Validierungsaufgabe 5 142
9.5 Parameterblock für die Validierungsaufgabe 1 143
9.6 Parameterblock für die Validierungsaufgabe 2 144
9.7 Parameterblock für die Validierungsaufgabe 3 145
9.8 Parameterblock für die Validierungsaufgabe 5 146
9.9 Prozessleistung und Prozessfähigkeitsuntersuchung 147

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1.1: Innovative Instrumente des Wissensmanagements bei Schraubprozessen [VDA02, Cop07]
Abbildung 1.2: Faktoren in der Produktion [VDM07]
Abbildung 1.3: Umsatzentwicklung in der deutschen Automobilindustrie [VDA09]
Abbildung 1.4: Montage- und Handhabungstechnik - Umsatz (Inland und Export) [VDM07]
Abbildung 1.5: Bedeutende Kostenverursachung eines Produktes durch die Montage [Low06]
Abbildung 1.6: Auftragserfüllung in der Montage [Low06]
Abbildung 1.7: Einsatz der digitalen Fabrik mit Prozessdatenmanagement in der Montage [VDI08/2]
Abbildung 1.8: Parallel zu bearbeitende Aufgaben in der Montage und Fertigung durch das durchgängige Datenmanagement [VDI08/2]
Abbildung 1.9: Schrauben nach DIN 8593-3 [DIN03/1, Low06]
Abbildung 1.10: Zahl der Kfz-Rückrufaktionen in Deutschland (Pkw, Lkw, Krafträder, Busse) [KBA08]
Abbildung 1.11: Integrationsdichte des automatisierten Schraubens [Wfm01]
Abbildung 1.12: Reifegradmanagement durch automatisierte Wissensaufbereitung in automatisierten Schaubprozessen [VDI08/2]
Abbildung 1.13: Erhöhung des Reifegrades in Schraubprozessen durch Wissenstransfer [VDI08/2]
Abbildung 1.14: Aufwandreduzierung durch Reifegradabsicherung im Schraubprozess [Neu09]
Abbildung 1.15: Abgeleitete Funktionalitäten in einem Informationssystem [VDI08/2]
Abbildung 1.16: Einflussfaktoren auf eine Schraubverbindung [VDI03/1]
Abbildung 1.17: Ablauf eines Schraubprozesses mit dem entwickelten Informationssystem
Abbildung 1.18: Beispiel eines automatisierten Schraubers in der Laborumgebung
Abbildung 1.19: Vorteile der Steuerung eines Schraubprozesses mit reifegradspezifiziertem Informationssystem
Abbildung 1.20: Struktur, Inhalte und Methoden der vorliegenden Arbeit
Abbildung 2.1: Verbesserung des Wissensmanagementes beim automatisierten Schrauben [Bmm04]
Abbildung 2.2: Zusammenhängendes Wissen in einem Schraubprozess [Rtu03]
Abbildung 2.3: Überwachung des Schraubvorganges durch simultane Druck- und Zeitmessungen sowie zwei getrennte Druck-/Zeitfenster [Sta00]
Abbildung 2.4: Standardisierte Zusammenhänge zwischen Prozessdaten [Kmu06]
Abbildung 2.5: Informationsbezogene Lösungen in automatisierten Schraubprozessen hergeleitet aus dem Stand der Technik und der Forschung
Abbildung 2.6: Bedarf der Reifegraderhöhung in späteren Phasen des Produktionsprozesses [Neu09]
Abbildung 2.7: Reifegradmodell des Wissensmanagementes [Lan10]
Abbildung 2.8: Reifegradmodell eines automatisierten Prozesses nach ISO 9004: 2000 [ISO09]

Abbildung 2.9: Semantische Einordnung der Daten in einem Schraubprozess [Peb07, VDI03/1]
Abbildung 2.10: Blockschaltbild eines Schraubprozesses [Lun03, VDI03/1]
Abbildung 2.11: Zustandsautomaten in einem Schraubprozess [Hma08, VDI03/1]
Abbildung 2.12: Datenflussdiagramme in einem Schraubprozess [Hub07, VDI03/1]
Abbildung 2.13: Elemente eines Petri-Netzes und Bedeutungen [Köq88]
Abbildung 3.1: Reifegradmodell des Informationssystems nach ISO/IEC 15504-2 für automatisierte Schraubprozesse [Wad08]
Abbildung 3.2: Konzept des Informationssystems für automatisierte Schraubprozesse
Abbildung 3.3: Wissensmagementmodell im entwickelten Informationssystem
Abbildung 4.1: Modellbildung des Prozessinformationssystems
Abbildung 4.2: Deterministischer endlicher Automat [Hro07]
Abbildung 4.3: Definition des Systems [Arn75]
Abbildung 4.4: Definition des Teilsystems [Arn75]
Abbildung 4.5: Struktur und Funktion eines automatisierten Systems
Abbildung 4.6: Teilsystem eines automatisierten Systems
Abbildung 4.7: Teilsystem eines automatisierten Schraubsystems
Abbildung 4.8: Prozessablauf mit der Parameterzuordnung
Abbildung 4.9: Ablauforientierte Strukturierung eines Schraubprozesses mit Parameterzuordnung anhand von Petri-Netzen
Abbildung 4.10: Kräfte in der Schraubverbindung [Cop07/2]
Abbildung 4.11: Verformung der Schraubenverbindung [Cop07/2]
Abbildung 4.12: Vorgehensweise für die Parameterermittlung in Schraubprozessen
Abbildung 4.13: Drehmomentgesteuertes Anziehverfahren [VDI03/1]
Abbildung 4.14: Drehwinkelgesteuertes Anziehverfahren [VDI03/1]
Abbildung 4.15: Streckgrenzgesteuertes Anziehverfahren [VDI03/1]
Abbildung 4.16: Stick-Slip Kontrolle im Endanzug [VDI03/1]
Abbildung 4.17: Schraubparameter entsprechend der Montagestufe [VDI03/1]
Abbildung 4.18: Mereologische Bestimmung der Parameterabhängigkeiten [Rid02]
Abbildung 4.19: Erstellung eines Petri-Netzes mit Zuordnung der Parameter für einen Schraubprozess
Abbildung 4.20: Funktionelle Eigenschaften der Parameter
Abbildung 4.21: Reifegradbewertung in einem Schraubprozess
Abbildung 5.1: Applikation des reifegradspezifizierten Prozessinformationssystems
Abbildung 5.2: Hilfefenster zu relevanten DIN- und VDI-Normen
Abbildung 5.3: Selektieren der Schraubfälle
Abbildung 5.4: Informationshilfe „Festigkeitsklasse“
Abbildung 5.5: Startoberfläche der Parametereingabe
Abbildung 5.6: Programmablauf basierend auf den Schraubstufen
Abbildung 5.7: Auswahl der geprüften Parameter in der Findestufe
Abbildung 5.8: Plausibilitätsprüfung bei der Parametereingabe für den Voranzug
Abbildung 5.9: Geprüfte Parameter im Endanzug
Abbildung 5.10: Exemplarisch parametrierter Schraubfall
Abbildung 5.11: Reifegradanalyse als die Zuverlässigkeitsbewertung in einem Schraubprozess
Abbildung 5.12: Exemplarische Generierung der Prozessablaufparameter in der Datenbasis

Abbildung 5.13: Struktur der Datenbasis des Prozessinformationssystems
Abbildung 5.14: Auszüge des Tabellenzusammenhanges der Datenmerkmale im Prozessinformationssystem
Abbildung 5.15: AJAX-Architektur im Prozessinformationssystem [Cpj06]
Abbildung 5.16: Laborumgebung des automatisierten Schraubprozesses
Abbildung 5.17: Hardwarekomponenten der Schraubmontage
Abbildung 5.18: Versuchsmodell der Schraubmontage
Abbildung 5.19: Einbauschrauber (vollautomatische Positionierung)
Abbildung 5.20: Halbautomatikschrauber (manuelle Positionierung)
Abbildung 5.21: Datenaustausch im realisierten Versuchsaufbau
Abbildung 6.1: Auswahl der Schraubfälle für die Validierung
Abbildung 6.2: Beispiel einer CAD-Zeichnung für die Schraubaufgabe 4
Abbildung 6.3: Drehmomentgesteuerte Montage im Validierungsfall [VDI03/1]
Abbildung 6.4: Ermittlung der Zeit bis Verschraubungsende
Abbildung 6.5: Plausibilitätsprüfung im Informationssystem
Abbildung 6.6: Reifegradmanagement im Programm für die Validierung der Schraubfälle
Abbildung 6.7: Abhängigkeit zwischen den Reifegradstufen der Parametrierung und der Prozessfähigkeituntersuchung
Abbildung 6.8: Beispielhafte Reduzierung der Variantenvielfalt bei der Parametrierung der Schraubersteuerung
Abbildung 6.9: Beispielhafter Vergleich der Variantenanzahl mit und ohne Informationssystem
Abbildung 9.1 Fähigkeitsuntersuchung eines technischen Systems [DIN07/2]
Abbildung 9.2: Einflussfaktoren einer Prozessfähigkeitsuntersuchung [Sdi98]
Abbildung 9.3: Graphische Darstellung des Berechnungsverfahrens von P_{pkL} und P_{pkU} [VDI02]
Abbildung 9.4: Beherrschter und fähiger Prozess [VDI02]

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1.1: Komplexitätstreiber und die Auswirkungen auf die Produktion [Scg05, Sch08, Har02]
Tabelle 1.2: Klassifizierung der Schrauber und automatisierter Bereich [DIN03/2, DIN94, Wkt07]
Tabelle 2.1: Auswertung der untersuchten Lösungen
Tabelle 2.2: Vergleich von Beschreibungsmitteln für automatisierte Produktionsprozesse
Tabelle 4.1: Anziehfaktor und Anziehverfahren [VDI03/1]
Tabelle 4.2: Parameterliste für automatisierte Schraubprozesse
Tabelle 4.3: Ermittlung des Reifegrades eines automatisierten Prozesses anhand der funktionellen Eigenschaften
Tabelle 6.1: Schraubaufgaben zur Systemvalidierung
Tabelle 6.2: Abhängigkeit des Anziehfaktors und des Anziehverfahrens [VDI03/1]
Tabelle 6.3: Auswahl der Anzugsverfahren nach VDI 2230 [VDI03/1]
Tabelle 6.4: Maximal zulässige Anziehdrehmomente (VDI 2230-2003) [VDI03/1]
Tabelle 6.5: Auswahl des Werkzeuges im Schraubsystem
Tabelle 6.6: Parameterblock der Schraubfallnummer 4
Tabelle 6.7: Reifegrad ausgehend von den funktionellen Parametereigenschaften
Tabelle 6.8: Bewertungsskala (NPLF-Skala) des Prozessreifegrades der Parametrierung nach ISO/IEC 15504-2 Standard [Wad08]
Tabelle 6.9: Bewertung des Reifegrades der validierten Schraubfälle nach NPLF-Skala
Tabelle 6.10: Vergleich der Parametergrenzen von den 5 Anwendungsfällen in dem entwickelten Konzept und in der Industrie
Tabelle 9.1: Ermittlung des geforderten c_m-Wertes in Abhängigkeit vom Stichprobenumfang [VDI02]

Verzeichnis der Abkürzungen, Formelzeichen und Symbole

Abkürzungen

AJAX	Asynchronous JavaScript and XML
BTU	Brandenburgische Technische Universität
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CNC	Computerized Numerical Control
3D	Dreidimensional
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMAIC	Define Measure Analyze Improve Control
DMS	Dokumentenmanagementsysteme
DOM	Document Object Model
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ID	Identifikationsnummer
IN	Input
I.O.	In Ordnung
ISO	Internationale Organisation für Normung
MMI	Mensch-Maschine-Interaktion
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle
N.I.O.	Nicht In Ordnung
NLPF	Not Partially Largely Fully
OUT	Output
PDF	Portable Document Format
SOP	Start Of Production
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerungen
SQL	Structured Query Language
URL	Uniform Resource Locator
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

Formelzeichen und Symbole

M	Drehmoment
W	Drehwinkel
z	Kontrollzeit
N	Menge von Drehmomenten,-winkeln, Drehmoment/Drehwinkel-Gradienten, Zeiten
dM/dW	Drehmoment/Drehwinkel-Gradient
IS	Informationssystem
RG	Reifegrad
P	endliche, angeordnete Menge von Plätzen
T	endliche, angeordnete Menge von Transitionen
K	endliche, angeordnete Menge von Postkanten und Prekanten

PN	Petri-Netze
A	deterministischer endlicher Automat (endlicher Akzeptor)
Q	endliche Menge von Prozessparametern
Z	endliche Menge von Zuständen; die Elemente von Z sind die möglichen Zustände des Automaten
g	Generierungsfunktion
f	Zustandsüberführungsfunktion
s_0	Startzustand des Automaten (keine Menge)
$K_1,\ldots,K_n$	Komponenten vom System
Z_p	Zuverlässigkeit der Komponenten (Parameter)
S	System
r	Zusammenhänge zwischen den Parametern
$Z_1,\ldots,Z_n$	Zuverlässigkeit von Prozessparametern
Z_s	Zuverlässigkeit der einzelnen Prozesszustände
r_i	Relationen zwischen Prozesskomponenten (Parametern)
TS_i	Teilsystem
SE	Menge von Strukturelementen
PA	Prozessalgorithmus
S_A	automatisiertes System
TS^i_A	Teilsystem eines automatisierten Systems
RTS^i_A	Relationen zwischen den Teilsystemen eines automatisierten Systems
RSE	Kopplungen zwischen den technischen Teilsystemen (Strukturelementen), binäre Relation
RSE^i_{ST}	Kopplungen von Elementen des Steuerungssystems (Funktionselementen)
RSE^i_K	Kopplungen zwischen dem Steuerungs- und technischen System
n	Anzahl der automatisierten Teilsysteme
E^T_S	strukturelle Eigenschaften des Teilsystems
E^F_S	funktionellen Eigenschaften des Teilsystems
B	Menge der Mess- und Stellmöglichkeiten
G	Menge der Verarbeitungswege
W	Menge der Verbindungsrealisierungen
TS_{SE}	Menge der technischen Teilsysteme nach strukturellen Gesichtspunkten
TS_{FE}	Menge der technischen Teilsysteme nach funktionellen Gesichtspunkten
B_{FE}	Menge der funktionellen Möglichkeiten
G_{FE}	Menge der funktionellen Verarbeitungswege
W_{FE}	Menge der funktionellen Zusammenhänge zwischen den Strukturelementen
M_a	Anziehdrehmoment
M_g	Gewindemoment
M_k	Kopf- bzw. Mutterreibungsmoment
Δl_p	elastische Verlängerung der Schraube
Δl_s	elastische Zusammendrückung des Flansches
δ_s	elastische Nachgiebigkeit der Schraube
F_v	Vorspannkraft
β_s	Sicherheitswinkel
β_{ab}	Abschaltwinkel
M-,+	Drehmomenttoleranzen

β-,+	Drehwinkeltoleranzen
M_s	Schwellmoment
M_{ab}	Abschaltdrehmoment
$W_{Amin,\ max}$	maximale und minimale Drehwinkel
T_w	Wartezeit
M_{Amax}	maximales Anziehdrehmoment
M_{Amin}	minimales Anziehdrehmoment
$\forall$	für alle
$\circ$	Überschneidung
$\leftrightarrow_{def.}$	genau dann wenn
$\exists$	es gibt
$\leq$	echtes oder unechtes Teil (Bestandteil und nicht identisch)
$A\{n1,n2...\}$	Menge der Parameterkategorie A
$B\{x1,x2...\}$	Menge von Parameterkategorie B
αA	Anziehfaktor
$F_{M.max}$	maximale Montagevorspannkraft
$F_{M.min}$	minimale nötige Montagevorspannkraft
f_{zuv}	Funktionszuverlässigkeit
f_r	richtige Funktionserfüllungen
f_f	falsche bzw. gestörte Funktionserfüllungen
O	Menge der nicht in der Praxis validierten Parameter (geschätzt)
I	Menge der berechneten Parameter
J	Menge der Operationen der Parameterermittlung entsprechend Normen und Richtlinien
H	praxisbezogene Menge der Parameterermittlungsoperationen
PAR^i_{FE}	funktionelle Eigenschaften der Parameter
RG_{PBi}	Reifegrad des Parameterblocks $i,\ i=1,...,n$
RG_{PARi}	Reifegrad der Parameter $i,\ i=1,...,n$
Dz	Drehzahl
t_1	Zeit bis Verschraubungsende
M_0	maximale Dauer der Schraubstufe
C_m	Maschinenfähigkeitsindex
C_p, C_{pk}	Prozessfähigkeitsindex
σ	Standardabweichung
π	Kreiszahl
e	eulersche Zahl
μ	Erwartungswert
x	Zufallsvariablen
$x_{50\%}$	50% Quantil der Streubereichgrenze
$x_{0,135\%}$	Wert für die untere Streubereichgrenze
$P_{pkL,U}$	Prozessleistungsindex