Ein Metadatenrepositorium zum Datenqualitätsmonitoring im Concurrent Engineering

Der Technischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg
zur Erlangung des Grades

DOKTOR-INGENIEUR

vorgelegt von

Juliane Blechinger

Erlangen – 2012

Als Dissertation genehmigt von
der Technischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung:	07.02.2012
Tag der Promotion:	06.07.2012
Dekan:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Marion Merklein
Berichterstatter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Richard Lenz
	Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Felix Freiling

Berichte aus der Informatik

Juliane Blechinger

Ein Metadatenrepositorium zum Datenqualitätsmonitoring im Concurrent Engineering

D 29 (Diss. Universität Erlangen-Nürnberg)

Shaker Verlag
Aachen 2012

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.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2012

Copyright Shaker Verlag 2012
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-1190-6
ISSN 0945-0807

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

Kurzfassung

Ein Metadatenrepositorium zum Datenqualitätsmonitoring im Concurrent Engineering

Datenqualität und Concurrent Engineering - die Hauptthemen dieser Arbeit - sind gleichermaßen bedeutende Schlagworte in heutigen Unternehmen. Seit den 1990er Jahren haben viele Unternehmen ihre bis dahin sequentiellen Designprozesse parallelisiert, um ihre Produkte effizienter und somit kostengünstiger herstellen zu können. Die wissenschaftliche Fachliteratur hat jedoch gezeigt, dass die Unternehmen das mittels Concurrent Engineering angestrebte Zeit- und Kosteneinsparungspotential meist nicht in dem erwarteten - und auch theoretisch möglichen - Umfang erreichen können. Dies liegt oftmals an Designproblemen, die bspw. durch fehlende Absprachen, die Verwendung unzuverlässiger Daten oder mangelnde Informationsstrukturen entstehen. Je später derartige Designprobleme erkannt werden, desto umfangreicher fällt die notwendige Nacharbeit und der daraus resultierende Zeit- und Kostenverlust aus.
An diesem Punkt springt die Parallele zur Datenqualität ins Auge: Das Design eines Produkts basiert auf den während des Prozesses entworfenen Produktdaten. Folglich können Designprobleme auf falsche Daten und somit auf Datenqualitätsprobleme zurückgeführt werden. Obwohl die datenqualitätsspezifische Fachliteratur bereits mehrere Managementansätze zur Verbesserung der Datenqualität enthält, werden durch Concurrent Engineering entstehende Datenqualitätsprobleme selten bis nie in die dortigen Betrachtungen aufgenommen. Zudem sind viele der in der zugehörigen Fachliteratur vorgestellten Datenqualitätsmanagementansätze sehr allgemein gehalten, wodurch nur wenig konkrete praktische Hilfestellung für Unternehmen erzielt wird.
Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich diese Arbeit mit der Konzeption, detaillierten Umsetzung und Evaluation eines als Metadatenrepositorium realisierten Datenqualitätswerkzeugs zum Datenqualitätsmonitoring und zur Unterstützung des Concurrent Engineering. Den übergeordneten Rahmen zu der vorliegenden Arbeit bildet dabei ein Projekt zur Optimierung der Datenqualität bei einem großen Unternehmen im In-

dustrieanlagenbau. Nachdem dieses vorliegende Referenzunternehmen als repräsentativ für Unternehmen mit Concurrent Engineering dargestellt wurde, kann die Problemdefinition mittels einer Untersuchung der konkreten Situation beim vorliegenden Referenzunternehmen durchgeführt werden. Zur Erhebung der Anforderungen an das zu entwickelnde Datenqualitätswerkzeug präsentiert diese Arbeit die Ergebnisse umfassender Analysearbeiten beim Referenzunternehmen vor Ort hinsichtlich der vorliegenden datenqualitätsrelevanten Probleme im Istprozess-, Informationsmanagementsystem- und Datenbereich. Die darauf aufbauende Konzeption des Datenqualitätswerkzeugs stellt die zur Problemlösung als notwendig erachteten Metadatenkategorien und die für den konkreten Anwendungsfall realisierten Metasubmodelle in den Vordergrund und gibt so wertvolle praktische Handlungsanleitungen für andere Unternehmen mit Concurrent Engineering. Weitere Ziele des entwickelten Werkzeugs liegen in der Neutralität zu bestehenden Informationsmanagementsystemen und in einer hohen Benutzerfreundlichkeit für die Zielgruppe. Dadurch sollen die Zukunftsfähigkeit und eine häufige Benutzung des Datenqualitätswerkzeugs gewährleistet werden.
Das konzipierte Datenqualitätswerkzeug wurde prototypisch implementiert, wodurch die Basis für die abschließende Evaluation gelegt wurde. Nach einer benutzerunabhängigen Evaluation, um zu zeigen, dass die gestellten Anforderungen größtenteils erfüllt und datenqualitätsrelevante Verbesserungen erzielt wurden, präsentiert diese Arbeit zudem eine benutzerabhängige Evaluation zur subjektiven Einschätzung der Zielerreichung, der Benutzerfreundlichkeit, der Anpassbarkeit, des Unterstützungsgrades beim Concurrent Engineering sowie der Nachhaltigkeit und Relevanz des entwickelten Datenqualitätswerkzeugs. Ebenso wie die Problemanalyse wurde auch die benutzerabhängige Evaluation beim repräsentativen Referenzunternehmen vor Ort durchgeführt, indem Repräsentanten der Zielgruppe getrennt voneinander mittels größtenteils standardisierten Fragebögen interviewt wurden. Diese benutzerabhängige Evaluation basiert auf einem Evaluationsleitfaden, der in dieser Arbeit zusammen mit dem ausführlichen Evaluationskonzept vorgestellt wird. Die Ergebnisse der Evaluation zeigen, dass die befragten Teilnehmer der Zielgruppe alle genannten Bewertungskategorien insgesamt als gut bewerten, aber auch Verbesserungspotential vorhanden ist. Damit bilden diese Evaluationsergebnisse schließlich einerseits den Schlusspunkt dieser Arbeit und andererseits den Ausgangspunkt für zukünftige Arbeiten.

Abstract

A metadata repository to monitor data quality in concurrent engineering

Data quality and concurrent engineering - the main topics of this thesis - are likewise significant key words in today's enterprises. Since the 1990s many enterprises have parallelized their hitherto sequential design processes to produce their products in a more efficient and cost-saving way. However, the scientific literature has shown that the enterprises can mostly not achieve the expected - and theoretically also possible - time- and cost-saving potential they have strived for through concurrent engineering. This is often due to design problems which arise, for example, because of missing agreements, using unreliable data or a deficient information infrastructure. The later such design problems are recognized, the more comprehensive is the necessary rework and the resulting loss of time and costs.

At this point the parallel to data quality catches the eye: The design of a product bases on the product data designed during the process. Consequently, design problems can be traced back to wrong data and, thus, to data quality problems. Although the data quality-specific scientific literature already includes some management approaches to improve data quality, data quality problems arising because of concurrent engineering are hardly ever considered there. Additionally, many of the data quality management approaches presented in the scientific literature are very generic, whereby only few concrete practical recommendations are achieved.

Against this background, this thesis concentrates on the conceptual design, detailed realization, and evaluation of a data quality tool that is built as a metadata repository to monitor data quality and support concurrent engineering. The superordinate setting of this thesis is a project regarding the optimization of the data quality at a large-scale plant engineering enterprise. After showing that this present reference enterprise is representative for enterprises with concurrent engineering, the problem definition can be conducted by means of analysis of the concrete situation at the present reference

enterprise. To collect the requirements for the data quality tool to develop, this thesis presents the results of a comprehensive on-site analysis at the reference enterprise regarding existing data quality-relevant problems in the area of the current process, information management systems, and the data. Based on this, the conceptual design of the data quality tool places emphasis on the metadata categories that are considered as necessary to solve the problems as well as on the meta sub-models that were realized for the concrete application scenario; that way, useful recommendations for action are provided to other enterprises with concurrent engineering. Further goals of the developed tool are the neutrality to existing information management systems and a high usability for the target group. Thus, the sustainability as well as a frequent use of the data quality tool shall be guaranteed.

The planned data quality tool was prototypically implemented, whereby the basis for the concluding evaluation was provided. After a user-independent evaluation to show that the collected requirements were mainly met and that data quality-relevant improvements were achieved, this thesis also presents a user-dependent evaluation for a subjective assessment of the goal achievement, the usability, the adaptability, the degree of support in concurrent engineering, and the sustainability and relevance of the developed data quality tool. As well as the problem analysis, the user-dependent evaluation was conducted on-site at the representative reference enterprise by interviewing representatives of the target group separately by means of largely standardized questionnaires. This user-dependent evaluation bases on an evaluation guideline which is presented in this thesis together with the detailed evaluation concept. The results of the evaluation show that the interviewees of the target group assess all mentioned assessment categories altogether as good, but improvement potential still exists. Thus, the results of the evaluation are on the one hand the final point of this thesis and on the other hand the starting point for future work.

Danksagung

Zuallererst gilt mein großer Dank meinem Doktorvater und Erstgutachter Herrn Prof. Dr.-Ing. Richard Lenz. Trotz seiner vielen Aufgaben in Lehre, Forschung und universitären Kommissionen fand er stets Zeit, meine Konzepte mit mir zu diskutieren und mich auf neue Aspekte hinzuweisen. Aber nicht nur fachlich stand er mir stets beratend zur Seite, auch organisatorisch konnte ich mich immer auf ihn verlassen; bei allen Fragen und Unsicherheiten, die ein Kooperationsprojekt mit sich bringt, war ich mir seiner Unterstützung immer sicher. Zudem ist es sein Verdienst, dass die Meilensteine dieses Projekts für die geplanten drei Jahre auf ein erreichbares Niveau gesetzt wurden, wodurch ich nun überhaupt erst in der Lage bin, diese Dissertation zum jetzigen Zeitpunkt bereits abzuschließen. In diesem Zusammenhang danke ich auch Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Meyer-Wegener, der an diesem Projektplan maßgeblichen Anteil hatte. Schließlich danke ich sowohl Herrn Prof. Dr.-Ing. Richard Lenz als auch Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Meyer-Wegener dafür, dass sie sich für die halbjährigen Projekttreffen immer Zeit nahmen und mich bei allen Präsentationen und nachträglichen Diskussionen unterstützten. Zuletzt danke ich beiden für diese große Chance, die sie mir mit der Einstellung in dieses Projekt ermöglichten.

Außerdem danke ich meinem Zweitgutachter Herrn Prof. Dr.-Ing. Felix Freiling, der sich nach einer sehr interessanten Diskussion sofort bereit erklärt hat, das Zweitgutachten zu übernehmen. Schließlich danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack, der sich als fachfremdes Prüfungsmitglied zur Verfügung stellte, sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Meyer-Wegener als Vorsitzenden des Prüfungsausschusses.

Des Weiteren bedanke ich mich bei meinen geschätzten Kollegen am Lehrstuhl 6. Hier muss ich zuallererst Herrn Frank Lauterwald erwähnen, der mich nicht nur bei fast allen meinen wissenschaftlichen Publikationen unterstützte, sondern auch für konzeptionelle Diskussionen stets Zeit fand. Des Weiteren danke ich Herrn Christoph P. Neumann, der mir beim Verfassen meiner ersten wissenschaftlichen Publikation wertvolle Einstiegshilfe leistete. Herrn Robert Nagy danke ich für die vielen interessanten Gespräche und für meine durch seine leckeren und außergewöhnlichen Gerichte erlangte kulinarische Horizonter-

weiterung. Herrn Johannes Held sowie - meinem inzwischen ehemaligen Kollegen - Herrn Dr.-Ing. Michael Daum danke ich für ihre Hilfe beim Testen meines Evaluationskonzepts. Herrn Dr.-Ing. Michael Daum sowie Herrn Frank Lauterwald muss ich zudem für mein damaliges grandioses Diplomarbeitsthema und die ebensolche Betreuung danken, was mich in Kombination überhaupt erst an diesen Lehrstuhl gebracht hat. Frau Nadezda Jelani danke ich für die vielen netten, persönlichen und sehr freundschaftlichen Gespräche sowie für ihre stetige Hilfe beim Ausfüllen meiner Reisekostenformulare. Frau Ursula Stoyan, Frau Roswitha Braun, Frau Ursula Büttner, Herrn Philipp Baumgärtel, Herrn Gregor Endler, Herrn Niko Pollner, Herrn Thomas Fischer, Herrn Julian Rith, Herrn Peter Schwab, - meinem inzwischen ehemaligen Kollegen - Herrn Dr.-Ing. Florian Irmert sowie allen bereits genannten Mitarbeitern des Lehrstuhls 6 danke ich für ihre stets verlässliche Hilfe bei jeglichen Problemen, die unglaublich großartige Arbeitsatmosphäre und die vielen privaten Feiern, die wir miteinander erlebt haben. Herrn Dr.-Ing. Florian Irmert danke ich zudem für die vielen Freikarten zu diversen Veranstaltungen. In der Zusammenschau bleibt zu sagen, dass meine Zeit am Lehrstuhl 6 wirklich großartig war und ich den dortigen Zusammenhalt für einzigartig halte.

Neben meinen Kollegen vom Lehrstuhl 6 muss ich mich auch bei Herrn Rüdiger Berndt vom Lehrstuhl 7 bedanken. Durch unsere domänenübergreifenden Gespräche sowie die reibungslose Zusammenarbeit bei der gemeinsamen Publikation erlangte ich oft neue Sichtweisen für mein eigenes Forschungsprojekt.

Mein weiterer Dank gilt allen Beteiligten im Referenzunternehmen für die viele Zeit und Mithilfe während der Analyse und Evaluation. Außerdem danke ich allen meinen Diplomarbeitern für ihren Einsatz und ihre Mithilfe im konkreten Projekt: Eugen Dodenhöft, Roman Skalskyy, Oliver Urbanczyk und Alexander Uhl.

Abschließend gilt ein Großteil meines Dankes meiner Familie und meinen großartigen Freunden, die während dieser intensiven Zeit immer für mich da waren und mich durch ihre Ablenkungsmanöver vor dem ein oder anderen Nervenzusammenbruch bewahrten. Dazu gehören insbesondere mein Bruder Florian Blechinger und meine Schwägerin Verena Müller-Blechinger. Durch ihre häufigen Einladungen an den wunderschönen Chiemsee konnte ich in dieser Zeit immer wieder wertvolle Erholung finden. Zudem danke ich all meinen Freunden für ihr stets geduldiges Zuhören, obwohl meine fachlichen Themen für sie sicherlich nicht immer interessant waren.

Mein letzter und wichtigster Dank gilt meinen Eltern, Herrn Roland Blechinger und Frau Mathilde Eva Blechinger, die meine gesamte berufliche Laufbahn überhaupt erst ermög-

licht haben. Ohne ihre stetige Unterstützung, ihr Verständnis, ihren Rat in schwierigen Situationen und ihren bedingungslosen Rückhalt wäre all dies nicht erreichbar gewesen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **V**

Tabellenverzeichnis **IX**

1 Einleitung **1**

1.1 Motivation 3
1.2 Ziele 6
1.3 Aufbau der Arbeit 7

2 Grundlagen **11**

2.1 Datenqualität 11
2.1.1 Definition 12
2.1.2 Datenqualitätsdimensionen, Kategorisierungsmodelle und Fehlertypen 13
2.1.3 Managementansätze 32
2.1.4 Datenqualitätswerkzeuge 39
2.2 Concurrent Engineering 51
2.2.1 Definition 51
2.2.2 Prinzipien und Problemkreise 53
2.2.3 Zusätzlich nötige Datenqualitätsdimensionen 57
2.3 Metadatenrepositorien 58
2.3.1 Begriffsklärung 59
2.3.2 Zweck 60
2.3.3 Aufbau des Metamodells 61
2.3.4 Architektur 62
2.4 Verwandte Arbeiten und weitere Modellierungsmethoden 63
2.4.1 Verwandte Arbeiten 64
2.4.2 Ansätze zur Objekttypklassifikation im Anlagenbau 74
2.4.3 Prozessmodellierungsmethoden 82

2.4.4 Verbindlichkeitsmodelle . . . 94
2.4.5 Regelmodelle und weiterführende Ansätze . . . 101
2.5 Zusammenfassung . . . 108

3 Problemdefinition 113
3.1 Problemerfassung . . . 113
3.1.1 Interviews . . . 114
3.1.2 Elektronische Umfrage . . . 119
3.1.3 Analyse der IMS-Landschaft, des Istprozesses und der Daten beim Referenzunternehmen . . . 126
3.2 Problemklassifikation . . . 148
3.2.1 Fehlende ingenieursrelevante Informationen . . . 148
3.2.2 Datenfehler . . . 152
3.2.3 Fehlende projektstatusrelevante Informationen . . . 155
3.3 Anforderungen an das Datenqualitätswerkzeug . . . 156
3.3.1 Anpassbarkeit und IMS-Neutralität . . . 156
3.3.2 Erweiterbarkeit . . . 157
3.3.3 Benutzerfreundlichkeit . . . 158
3.3.4 Funktionalitäten . . . 159
3.4 Zusammenfassung . . . 164

4 Architektur 171
4.1 Gesamtübersicht . . . 171
4.1.1 Platzierung des Datenqualitätswerkzeugs . . . 172
4.1.2 Grundlegender Aufbau . . . 175
4.1.3 Einordnung des zu konzipierenden Metadatenrepositoriums . . . 177
4.2 Metadatenbank . . . 180
4.2.1 Schema . . . 180
4.2.2 Objekttypmodell . . . 194
4.2.3 Designschrittmodell mit Verantwortlichkeiten . . . 201
4.2.4 Regelhinterlegung . . . 206
4.2.5 Verbindlichkeitsmodell . . . 211
4.2.6 Notifikationsmodell . . . 221
4.2.7 Hinterlegung der Regelausführungshistorie . . . 227
4.3 Regelkomponente . . . 229
4.3.1 Regelausführung . . . 229

4.3.2 Berechnung von Korrektheitswerten zur Ergebnispriorisierung . . 230
4.3.3 Mögliche Erweiterungen 234
4.4 Berichtgenerator 238
4.4.1 Berichte für Ingenieure 238
4.4.2 Berichte für das Management 241
4.5 Benutzerschnittstelle 242
4.5.1 Interaktionsdesign 244
4.5.2 Verbindlichkeitsanzeige 247
4.5.3 Regeldefinitionsmöglichkeit 254
4.6 Konnektor zum Istdatenbestand 260
4.7 Zusammenfassung 262

5 Evaluation 269
5.1 Integration in die beim Referenzunternehmen vorhandene IMS-Umgebung 269
5.2 Benutzerunabhängige Evaluation 271
5.2.1 Erfüllung der Anforderungen 272
5.2.2 Datenqualitätsrelevante Verbesserungen gegenüber der Ausgangsumgebung beim Referenzunternehmen 277
5.3 Benutzerabhängige Evaluation 278
5.3.1 Evaluationsleitfaden 278
5.3.2 Evaluationskonzept 283
5.3.3 Durchführung 294
5.3.4 Ergebnisse 295
5.4 Zusammenfassung 313

6 Zusammenfassung 317
6.1 Zusammenfassung 317
6.2 Kritische Diskussion 320
6.3 Ausblick 322

Anhänge

A Implementierung i

B Fragebogen zur elektronischen Umfrage bei der Problemerfassung iii

C IP-MAP des Istprozesses beim Referenzunternehmen xiii

D Klassifikation aller im PLANT_1-Projekt verwendeten Objekttypen als erweitertes E/R-Diagramm **xvii**

E Objekttypmodell für die beim Referenzunternehmen vorhandenen Armaturen als erweitertes E/R-Diagramm (ohne Attribute) **xxi**

F Material zur benutzerabhängigen Evaluation **xxv**

F.1 Fragebogen zur Vorherbewertung xxv

F.2 Aufgabenblatt xxix

F.3 Vorführungs- und Beobachtungsbogen xxxii

F.4 Fragebogen zur Nachherbewertung xlii

Abkürzungsverzeichnis **xlix**

Literaturverzeichnis **liii**

Abbildungsverzeichnis

1.1 Ursachen für unzureichende Datenqualität nach [ODQ07] 2
1.2 Aufbau der Arbeit 10

2.1 TDQM-Zyklus nach [Wan98] 34
2.2 TIQM-Zyklus nach [Eng03] 36
2.3 DQ-Metamodell nach [BMHY07] 66
2.4 Beispiel für die Superklassenhierarchie der Referenzbibliothek aus dem vierten Teil der ISO 15926 [ISO07] 77
2.5 Ausschnitt aus der Referenzbibliothek für Armaturen aus dem vierten Teil der ISO 15926 [ISO07] 78
2.6 Beispiel eines IP-MAPs: P&ID-Erstellungsprozess beim Referenzunternehmen 83
2.7 Beispiel einer eEPK: Übergabeprozess zur Bereitstellung eines P&IDs für das 2D-Design beim Referenzunternehmen 90

3.1 Pyramide der DQ-Probleme 118
3.2 Bewertung der Komplexität des 2D-Systems 123
3.3 Bewertung der Datenqualitätsdimensionen 123
3.4 Bewertung des Datenflusses 124
3.5 Gewichtung der Datenqualitätskriterien und -probleme 125
3.6 Ausschnitt der im Mai 2009 durchgeführten Bauteilgruppierung beim Referenzunternehmen 141
3.7 Ausschnitt des Mappings zwischen Bauteiltypdokumentation (Spalten) und Objekttypen (Zeilen) für Armaturen 144
3.8 Ausschnitt des Mappings zwischen Bauteiltypdokumentation (Spalten) und Objekttypen (Zeilen) für Dämpfer 145
3.9 Ausschnitt aus dem Armaturenkatalog des Referenzunternehmens (Katalogtypliste für Isolationsarmaturen aus Kohlenstoffstahl) 155

4.1 Bestehender Informationsfluss beim Referenzunternehmen 173

4.2 Platzierung des Datenqualitätswerkzeugs in den beim Referenzunternehmen bestehenden Informationsfluss 174
4.3 Architektur des Metadatenrepositoriums 175
4.4 Konzeptionelles Schema der Metadatenbank als E/R-Diagramm (ohne Attribute) 181
4.5 Ausschnitt aus dem Objekttypmodell für Armaturen (ohne Attribute) zur Verdeutlichung eines Klassifikationspfads 197
4.6 Übergeordnetes Objekttypobergruppenmodell (ohne Attribute) 199
4.7 Allgemeine sequentialisierte Designschrittabfolge beim Referenzunternehmen 203
4.8 Armaturspezifische Designschrittabfolge beim Referenzunternehmen . . . 204
4.9 Beispiel eines Regelbaums 209
4.10 Beispiel von Verbindlichkeitsänderungen auf Attributebene 218
4.11 Beispiel einer Sequenz von Interaktionsnachrichten 225
4.12 Beispiel für eine benutzerdefinierte Abbildung von Distanzwerten auf Korrektheitswerte 238
4.13 Aus der Ausführung einer Intra-Item-Regel resultierender Bericht 239
4.14 Aus der Ausführung einer Inter-Item-Regel resultierender Bericht 239
4.15 Aus der Ausführung einer Intra-Item-Regel mit Korrektheitswertberechnung resultierender Bericht 240
4.16 Aggregierter Bericht zum Projektfortschritt (Objektanzahl pro Designschritt) 241
4.17 Auflistung füllverantwortlicher Personen 242
4.18 Benutzerschnittstelle der objektbasierten Statusanzeige mit Verbindlichkeitsanzeige aus Sicht des Systemingenieurs (Auswahl des Designschritts *2D SystemKeyAttributes Prio1*) 249
4.19 Benutzerschnittstelle der objektbasierten Statusanzeige mit Verbindlichkeitsanzeige aus Sicht des Systemingenieurs (Auswahl des Designschritts *2D KeyAttributes Prio2*) 250
4.20 Benutzerschnittstelle der objektbasierten Statusanzeige mit Verbindlichkeitsanzeige aus Sicht des Armaturingenieurs (Auswahl des Designschritts *2D SystemKeyAttributes Prio1*) 251
4.21 Benutzerschnittstelle der objektbasierten Statusanzeige mit Verbindlichkeitsanzeige aus Sicht des Armaturingenieurs (Auswahl des Designschritts *2D KeyAttributes Prio2*) 252
4.22 Benutzerschnittstelle der Regeldefinitionsmöglichkeit: Start der Regeldefinition durch Regeltypauswahl 254

4.23 Benutzerschnittstelle der Regeldefinitionsmöglichkeit: Auswahl des Typs *IntraItemRule* (Intra-Item-Regel) 255
4.24 Benutzerschnittstelle der Regeldefinitionsmöglichkeit: Leere Zeichenfläche mit Werkzeugbox 256
4.25 Benutzerschnittstelle der Regeldefinitionsmöglichkeit: Auswahl einer *ConnectedRule* (Definition von mehreren Einzelregeln) 257
4.26 Benutzerschnittstelle der Regeldefinitionsmöglichkeit: Ende der Definition der Einzelregeln 258
4.27 Benutzerschnittstelle der Regeldefinitionsmöglichkeit: Abschluss der Regeldefinition durch Speicherung der definierten Regel 258

5.1 Subjektive Bewertung der funktionalen Zielerreichung 296
5.2 Subjektive Bewertung der Benutzerfreundlichkeit 297
5.3 Subjektive Bewertung der Anpassbarkeit 298
5.4 Benötigte Zeit zur Bearbeitung der Aufgaben des Aufgabenblattes in Minuten 299
5.5 Vorherbewertung der DQ-Situation hinsichtlich des Erfüllungsgrades der Funktionalitäten 301
5.6 Vergleich zwischen dem Erfüllungsgrad der Funktionalitäten vorher (ohne Prototyp) und nachher (mit Prototyp) 302
5.7 Subjektive Bewertung des allgemeinen Unterstützungspotentials der Funktionalitäten des Prototyps 304
5.8 Subjektive Bewertung der Nachhaltigkeit und der spezifischen, innovationsrelevanten Eigenschaften 307

Tabellenverzeichnis

2.1 Kategorisierungsmodell nach [WS96] 19
2.2 PSP/IQ-Modell nach [KSW02] 20
2.3 Zuordnung von Dimensionen zu Repräsentationsmängeln nach [WW96] . 22
2.4 Kategorisierung von Datenqualitätsdimensionen nach [WW96] 23
2.5 Einteilung von Aussagen nach [Ort99a] 62
2.6 Unterstützte Bedingungstypen in [Hel02] (nach Tabelle 4.10 in [Hel02]) . 69
2.7 Notwendige Attribute zur Informationsobjektbeschreibung nach [SO08] (gemäß Abbildung 3 in [SO08]) 71

3.1 Beispiele für Verfahrenstechnikschlüssel 140

4.1 Exemplarische Verbindlichkeitsregeln für das Beispiel in Abbildung 4.10 . 220
4.2 Exemplarischer Designschrittverlauf für das Beispiel in Abbildung 4.10 . 221

5.1 Umrechnungstabelle 291
5.2 Mittelwerte spezieller Teilbereiche basierend auf Abbildung 5.7 305
5.3 Vergleich der erzielten Messwerte mit den Vorannahmen 309
5.4 Umrechnungstabelle 310