

Christian Dölle

Projektsteuerung in der Produktentwicklung mittels Predictive Analytics



Projektsteuerung in der Produktentwicklung mittels Predictive Analytics

Development Project Management by aid of Predictive Analytics

Von der Fakultät für Maschinenwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Christian Dölle

Berichter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs

Tag der mündlichen Prüfung: 08. Dezember 2017

ERGEBNISSE AUS DER PRODUKTIONSTECHNIK

Christian Dölle

Projektsteuerung in der Produktentwicklung
mittels Predictive Analytics

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dr. h. c. F. Klocke

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. G. Schuh

Prof. Dr.-Ing. C. Brecher

Prof. Dr.-Ing. R. H. Schmitt

Band 2/2018



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Christian Dölle:

Projektsteuerung in der Produktentwicklung mittels Predictive Analytics

1. Auflage, 2018

Gedruckt auf holz- und säurefreiem Papier, 100% chlorfrei gebleicht.

Apprimus Verlag, Aachen, 2018
Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien
an der RWTH Aachen
Steinbachstr. 25, 52074 Aachen
Internet: www.apprimus-verlag.de, E-Mail: info@apprimus-verlag.de

Printed in Germany

ISBN 978-3-86359-608-8

D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2017)

„Sag, ich will.“
M. D.

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen in der Abteilung Innovationsmanagement. Auch wenn eine solche Arbeit immer einer Person zugeschrieben wird, kann eine solche Forschungsreise nie alleine begangen werden. Den vielen Personen, welche mich auf diesem Weg unterstützt haben, möchte ich von ganzem Herzen danken.

Zunächst möchte ich meinem Doktorvater Herrn Professor Günther Schuh, Inhaber des Lehrstuhls für Produktionssystematik am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, für das Vertrauen und die Unterstützung in der herausfordernden Zeit danken. Das von ihm geschaffene Umfeld zusammen mit dem Hochleistungsanspruch haben sowohl meine Promotion ermöglicht als auch meine Person nachhaltig geprägt.

Herrn Professor Georg Jacobs danke ich für die kritische Durchsicht der Dissertation und die Übernahme des Koreferats. Für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes und die Diskussion meiner Dissertation danke ich Herrn Professor Bernd Markert.

Geprägt wurde meine Forschungsreise vor allem durch die verschiedenen Kollegen und Freunde am Lehrstuhl, welche mich immer unterstützt haben. Dieses Team hat maßgeblich zum Gelingen der Dissertation beigetragen.

Besonderer Dank gilt an dieser Stelle Dr. Stefan Rudolf, welcher mich zunächst als studentischer Mitarbeiter und nachher als wissenschaftlicher Mitarbeiter einstellte. Während unserer gemeinsamen Zeit am Lehrstuhl hat er als Mentor meinen Promotionsprozess unterstützt und das Thema der Dissertation durch diverse Diskussionen mit geschärft.

Gleichermaßen danke ich Dr. Michael Riesener für die intensiven Diskussionen meiner Ideen sowie die visionären Impulse, welche das Thema der Dissertation überhaupt erst möglich gemacht haben. Vor allem bedanke ich mich für die Betreuung der Arbeit in der finalen Phase sowie die Diskussion meines Doktorvortrags.

Geprägt wurde meine Zeit am Lehrstuhl vor allem durch Dr. Sebastian Barg, Dr. Frederic Diels und Dr. Casimir Ortlieb, mit denen ich fast zeitgleich die Forschungsreise

angetreten bin. Die diversen Diskussionen und Arbeitsrunden am Wochenende waren eine unersetzliche Motivation, für die ich nicht dankbar genug sein kann.

Dr. Bastian Lüdtker danke ich für die vielen Stunden während unserer gemeinsamen Gruppenleitertätigkeit. Darüber hinaus möchte ich mich bei Dr. Elisabeth Schrey für die Diskussionsbereitschaft und die gemeinsame Zeit seit unserer Hiwi-Tätigkeit bedanken. Abschließend gilt mein Dank allen weiteren Kollegen der Abteilung Innovationsmanagement, die eine sehr anspruchsvolle Zeit durch Kollegialität und Zusammenhalt unvergesslich gemacht haben. Besonderer Dank gilt darüber hinaus meinen studentischen Mitarbeitern und Abschlussarbeitern, welche mich unterstützt haben. Besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle Sören Brockmann und Christian Horstkötter. Mein Dank gilt ebenfalls den vielen ehemaligen Kollegen, welche mich während meiner Zeit am Lehrstuhl und auch darüber hinaus begleitet haben, vor allem möchte ich mich bei Dr. Annika Hauptvogel und Dr. Stephan Schmitz bedanken. Dr. Till Vogels danke ich darüber hinaus für die Unterstützung im Rahmen der Validierung meiner Arbeit.

Mindestens genauso wichtig waren die WiMo's, meine Freunde aus der Studienzeit, welche zum Teil ebenfalls im „Umfeld“ geblieben sind. Stellvertretend möchte ich an dieser Stelle Jens Knake, Ramon Kreutzer, Felix Lau, Sebastian Müller und Dr. Johannes Müller nennen. Darüber hinaus danke ich meinen Freunden aus der Heimat, ganz besonders Björn Pottgießer, Dennis Overhamm und Stefan Klos. Sie haben es immer wieder geschafft, den Fokus auch auf die wichtigen Dinge des Lebens zu lenken.

Der größtmögliche Dank gebührt meiner Familie. Allen voran meinen Eltern Rita und Michael Dölle sowie meinem kleinen Bruder Fabian. Sie haben mir geholfen, immer an mich zu glauben sowie das (un-)mögliche zu erreichen und haben mir somit meinen Weg ermöglicht.

Abschließend möchte ich meiner lieben Frau Andrea danken, die mir immer den Rücken freigehalten hat und auf die ich mich in jeder Situation verlassen konnte. Danke für deine Unterstützung in unserem „Team“.

Meiner gesamten Familie und Andrea widme ich diese Arbeit.

Aachen, im Dezember 2017
Christian Dölle

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen.....	VII
Verzeichnis der Tabellen.....	XIII
Verzeichnis der Abkürzungen.....	XIV
Verzeichnis der Formelzeichen.....	XVII
Zusammenfassung.....	XXIII
Summary.....	XXV
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	2
1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen der Arbeit.....	5
1.3 Forschungskonzeption der Arbeit.....	7
1.4 Aufbau der Arbeit.....	12
2 Grundlagen und Definitionen.....	15
2.1 Produktentwicklung.....	15
2.1.1 Produktentwicklung im Kontext von F&E.....	15

2.1.2	Produktentwicklungsprozess.....	19
2.1.3	Produktentwicklungsprojekt.....	22
2.2	Steuerung von Entwicklungsprojekten.....	26
2.2.1	Aufgaben und Elemente des Projektmanagements	26
2.2.2	Projektcontrolling.....	29
2.2.3	Projektcontrolling-Regelkreis	30
2.3	Datenbasierte Prognosen	33
2.3.1	„Knowledge Discovery in Databases“-Prozess.....	33
2.3.2	Data Mining	36
2.3.3	Predictive Analytics.....	41
2.4	Neuronale Netze als Prognoseverfahren.....	44
2.4.1	Elemente und Grundstruktur Neuronaler Netze.....	45
2.4.2	Auslegung Neuronaler Netze	49
2.5	Zwischenfazit: Grundlagen und Definitionen.....	55
3	Bestehende Ansätze zur Projektsteuerung.....	57
3.1	Herausforderungen in der Praxis	57
3.2	Darstellung und Bewertung bestehender Ansätze zur Projektsteuerung.....	61
3.2.1	Kriterien zur Bewertung bestehender Ansätze	61
3.2.2	Darstellung bestehender Ansätze zur Projektsteuerung	64
3.2.3	Bewertung bestehender Ansätze und Positionierung der Arbeit	86
3.3	Zwischenfazit: Forschungsbedarf zur prädiktiven Steuerung von Produktentwicklungsprojekten.....	90
4	Konzeption der Methodik zur Projektsteuerung mittels Predictive Analytics.....	93

4.1 Zielbild zur Projektsteuerung mittels Predictive Analytics.....	93
4.2 Anforderungen an die Methodik zur Projektsteuerung mittels Predictive Analytics.....	95
4.2.1 Inhaltliche Anforderungen	95
4.2.2 Formale Anforderungen	97
4.3 Angestrebte Nutzenpotenziale der Projektsteuerung mittels Predictive Analytics.....	98
4.4 Grobkonzept zur Projektsteuerung mittels Predictive Analytics.....	101
4.4.1 Systematische Ermittlung und Beschreibung der Daten in Entwicklungsprojekten	103
4.4.2 Ermittlung der Zusammenhänge zwischen Abweichungsindikatoren und Abweichungen von Aktivitäten	105
4.4.3 Antizipation von Abweichungen auf Aktivitätenebene	107
4.4.4 Ableitung von Handlungsfeldern zur Implementierung von Steuerungsmaßnahmen	108
4.5 Ableitung von Teilmodellen	109
4.6 Zwischenfazit: Konzept zur Projektsteuerung mittels Predictive Analytics	111
5 Detaillierung der Methodik zur Projektsteuerung mittels Predictive Analytics.....	113
5.1 Systematische Ermittlung und Beschreibung der Daten in Produktentwicklungsprojekten	114
5.1.1 Ermittlung der relevanten Systemelemente zum Aufbau des Predictive Analytics-Modells.....	115
5.1.2 Beschreibung von Entwicklungsprojekten	119
5.1.3 Beschreibung von Aktivitäten.....	120
5.1.4 Beschreibung von Abweichungsindikatoren.....	134

5.2 Ermittlung der Zusammenhänge zwischen Abweichungsindikatoren und Abweichungen von Aktivitäten	137
5.2.1 Ableitung der Grobstruktur und Auswahl der Neuronalen Netze	138
5.2.2 Vorbereitung der Daten für das Trainieren der Neuronalen Netze.....	144
5.2.3 Festlegung der Architektur der Neuronalen Netze	150
5.2.4 Trainieren der Neuronalen Netze	155
5.3 Antizipation von Abweichungen auf Aktivitätenebene	161
5.3.1 Modellierung des Produktentwicklungsprojektes.....	162
5.3.2 Anwendung der Neuronalen Netze zur Antizipation der Abweichung....	170
5.4 Ableitung von Handlungsfeldern zur Implementierung von Steuerungsmaßnahmen	176
5.4.1 Ermittlung der Auswirkung von antizipierten Abweichungen auf den Projektabschnitt.....	177
5.4.2 Ermittlung der Auslösersensitivitäten	183
5.5 Zwischenfazit: Methodik zur Projektsteuerung mittels Predictive Analytics	189
6 Validierung und kritische Reflexion	193
6.1 Ausgangssituation der Schienenfahrzeug AG.....	193
6.2 Anwendung der Methodik zur Projektsteuerung mittels Predictive Analytics..	194
6.2.1 Systematische Ermittlung und Beschreibung der Daten in Produktentwicklungsprojekten.....	194
6.2.2 Ermittlung der Zusammenhänge zwischen Abweichungsindikatoren und Abweichungen.....	198
6.2.3 Antizipation von Abweichungen auf Aktivitätenebene	205
6.2.4 Ableitung von Handlungsfeldern zur Implementierung von Steuerungsmaßnahmen	207
6.3 Kritische Reflexion und Anwendungserfahrung.....	211

7 Zusammenfassung und Ausblick	215
8 Literaturverzeichnis.....	221
A Anhang.....	235
A.1 Datenbasis zum Trainieren des Neuronalen Netzes	235
A.2 Trainingsergebnisse verschiedener Netzarchitekturen.....	240
A.3 Gewichtungen des trainierten Neuronalen Netzes	244
A.4 Funktionen zur Ableitung der Indikatorsensitivitäten	244
Lebenslauf	247

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1-1: Latenzzeiten in der Produktentwicklung	2
Abbildung 1-2: Wissenschaftssystematik nach ULRICH UND HILL.....	8
Abbildung 1-3: Forschungsprozess nach ULRICH.....	11
Abbildung 1-4: Aufbau der Arbeit	12
Abbildung 2-1: Gliederung der F&E.....	17
Abbildung 2-2: Vorgehensmodell nach VDI-Richtlinie 2221	20
Abbildung 2-3: Zielgrößen von Entwicklungsprojekten	24
Abbildung 2-4: Umfeld des Projektmanagements.....	27
Abbildung 2-5: Aufgaben des Projektmanagements	28
Abbildung 2-6: Arten des Projektcontrollings	29
Abbildung 2-7: Projektcontrolling-Regelkreis	31
Abbildung 2-8: Einfluss der Abweichungserkennung auf die Projektsteuerung.....	32
Abbildung 2-9: Schritte des „Knowledge Discovery in Databases“-Prozesses	34
Abbildung 2-10: Aufgaben des Data Mining	38
Abbildung 2-11: Methoden des Data Mining	40
Abbildung 2-12: Aufbau eines Predictive Analytics-Modells.....	42
Abbildung 2-13: Entscheidungsbaum zur Methodenauswahl	43
Abbildung 2-14: Grundstruktur Mehrschichtiger Neuronaler Netze	45
Abbildung 2-15: Informationsverarbeitungsprozess eines Neurons.....	46
Abbildung 2-16: Propagierungsfunktionen Neuronaler Netze.....	47
Abbildung 2-17: Aktivierungsfunktionen Neuronaler Netze	48

Abbildung 2-18: Einfluss der Neuronenzahl	51
Abbildung 2-19: Berechnungsregeln für die Anzahl verdeckter Neuronen	51
Abbildung 2-20: Ablaufschritte des Backpropagation-Algorithmus.....	53
Abbildung 3-1: Einfluss von Risikomanagement und Entscheidungen auf den Projekterfolg.....	58
Abbildung 3-2: Anwendung von Data-Analytics in Unternehmen	60
Abbildung 3-3: Kriterien zur Bewertung bestehender Ansätze.....	63
Abbildung 3-4: Input-Prozess-Output-Modell der Leistungsfähigkeit von Teams... 71	
Abbildung 3-5: Kennzahlen im Rahmen der Arbeitswertanalyse	74
Abbildung 3-6: Meilenstein-Trendanalyse als Dreiecksraster	76
Abbildung 3-7: Qualitative Herleitung der Termineinhaltungskennlinie	77
Abbildung 3-8: Algorithmus zur Auswahl des Angebotspreises.....	80
Abbildung 3-9: Portfolio zur Antizipation des Projektergebnisses.....	84
Abbildung 3-10: Bewertung der relevanten Ansätze	87
Abbildung 3-11: Korrelationsanalyse der Erfüllungsgrade	89
Abbildung 4-1: Zielbild zur Erarbeitung der Methodik.....	94
Abbildung 4-2: Inhaltliche Anforderungen an die Methodik.....	95
Abbildung 4-3: Nutzenpotenziale einer gesteigerten Projekteffizienz.....	99
Abbildung 4-4: Aufbau und Anwendung eines Predictive Analytics-Modells.....	101
Abbildung 4-5: Grobkonzept zur Projektsteuerung mittels Predictive Analytics ..	103
Abbildung 4-6: Konzept zur Ermittlung und Beschreibung der Daten.....	104
Abbildung 4-7: Konzept zur Ermittlung der Zusammenhänge zwischen Abweichungs- indikatoren und Abweichungen.....	106
Abbildung 4-8: Konzept zur Antizipation von Abweichungen auf Aktivitätenebene.....	107
Abbildung 4-9: Konzept zur Ermittlung der Kritikalität von Abweichungen	108

Abbildung 4-10: Partialmodelle zur Projektsteuerung mittels Predictive Analytics	111
Abbildung 5-1: Methodik zur prädiktiven Entwicklungsprojektsteuerung	113
Abbildung 5-2: Systematische Ermittlung und Beschreibung der relevanten Daten	114
Abbildung 5-3: Grundlagen der Systemtheorie.....	116
Abbildung 5-4: Systemtheoretische Betrachtung von Unternehmensprozessen	117
Abbildung 5-5: Zusammenhänge auf Ebene der Systemelemente	118
Abbildung 5-6: Ableitung des Projektplans mittels <i>aixperanto</i>	120
Abbildung 5-7: Standardisierte Beschreibung von Entwicklungsaktivitäten	121
Abbildung 5-8: Dimensionen zur Bewertung der Zielerreichung von Aktivitäten	125
Abbildung 5-9: Projektstruktur zur Ermittlung der Aktivitäten	125
Abbildung 5-10: Abweichungsformen in der Zieldimension Zeit	126
Abbildung 5-11: Knotendarstellung mit antizipierten Werten	127
Abbildung 5-12: Projektstruktur zur Ermittlung der Kosten je Aktivität.....	128
Abbildung 5-13: Abweichungen in der Zieldimension Kosten	128
Abbildung 5-14: Verknüpfung von Qualitäts-, Produkt- und Projektstruktur.....	131
Abbildung 5-15: QFD zur Verknüpfung der Qualitäts-, Produkt- und Projektstruktur.....	132
Abbildung 5-16: Ermittlung der Abweichungsauswirkung einer Aktivität.....	133
Abbildung 5-17: Ishikawa-Diagramm zur Ableitung von Abweichungsindikatoren	135
Abbildung 5-18: Beispielhafte Abweichungsindikatoren	136
Abbildung 5-19: Kardinal-skalierte Abweichungsindikatoren.....	137
Abbildung 5-20: Systematische Ermittlung und Beschreibung der Daten in Produktentwicklungsprojekten.....	137
Abbildung 5-21: Retrospektive Analyse vorhandener Daten	138

Abbildung 5-22: Bewertung der Vorhersage- und der Datengüte.....	140
Abbildung 5-23: Auswahl der Indikatoren mithilfe eines Portfolios	140
Abbildung 5-24: Zuordnung der Indikatoren zu Zieldimensionen	141
Abbildung 5-25: ABC-Analyse der Aktivitäten in den Zieldimensionen	142
Abbildung 5-26: Priorisierung der Aktivitäten für die Analyse	143
Abbildung 5-27: Ableitung der Grobstruktur der Neuronalen Netze je Aktivitätentyp	143
Abbildung 5-28: Festlegung des Indikatorvektors in Abhängigkeit von der Zeit.....	145
Abbildung 5-29: Aufbau der Datenbasis für das Trainieren der Neuronalen Netze .	146
Abbildung 5-30: Retrospektive Ermittlung des Erfüllungsgrades von Aktivitäten ..	147
Abbildung 5-31: Indikatornormierung der absolut-skalierten Indikatoren	149
Abbildung 5-32: Skalennormierung der Indikatoren	149
Abbildung 5-33: Festlegung der Architektur für die zu trainierenden Neuronalen Netze	151
Abbildung 5-34: Grundlegende Struktur der Neuronalen Netze.....	152
Abbildung 5-35: Aktivierungsfunktionen der Verdeckten Schicht und der Ausgabeschicht.....	152
Abbildung 5-36: Ermittlung des Zeitpunkts zum Abbruch des Trainingsprozesses mittels Early Stopping.....	158
Abbildung 5-37: Regressionsanalyse mit dem trainierten Neuronalen Netz	159
Abbildung 5-38: Beispielhaftes Neuronales Netz für die Zieldimension Zeit	159
Abbildung 5-39: Trainierte Neuronale Netze für die A-Aktivitäten je Zieldimension.....	160
Abbildung 5-40: Ermittlung der Zusammenhänge zwischen Abweichungsindikatoren und Abweichungen von Aktivitäten....	161
Abbildung 5-41: Antizipation von Abweichungen	161
Abbildung 5-42: Strukturierung der Projektaktivitäten.....	163

Abbildung 5-43: Paarweiser Vergleich von Qualitätsattributen	166
Abbildung 5-44: Aktivitätenkarte für die Ableitung des Projektplans.....	166
Abbildung 5-45: Projektplan mit ausgefüllten Aktivitätenkarten	167
Abbildung 5-46: Auswahl der relevanten Aktivitäten und Neuronalen Netze	170
Abbildung 5-47: Ermittlung der Eingabewerte für das Neuronale Netz.....	173
Abbildung 5-48: Anwendung der Neuronalen Netze	175
Abbildung 5-49: Antizipation von Abweichungen auf Aktivitätenebene	176
Abbildung 5-50: Bewertung der Abweichungsauswirkung.....	176
Abbildung 5-51: Bewertung der Kritikalität einer Zeitabweichung	179
Abbildung 5-52: Bewertung der Kritikalität einer Kostenabweichung.....	180
Abbildung 5-53: Bewertung der Kritikalität einer Qualitätsabweichung	182
Abbildung 5-54: Ermittlung der Indikatorsensitivität	184
Abbildung 5-55: Indikatorsensitivitätsvektor der Zieldimension	185
Abbildung 5-56: Auslösersensitivitätsvektor der Zieldimension.....	186
Abbildung 5-57: ABC-Analyse der Auslösersensitivitäten	188
Abbildung 5-58: Ableitung von Handlungsfeldern zur Implementierung von Steuerungsmaßnahmen	189
Abbildung 5-59: Detailkonzept zur Projektsteuerung der Entwicklung mittels Predictive Analytics.....	191
Abbildung 6-1: Beschreibung einer Entwicklungsaktivität	195
Abbildung 6-2: Portfolio zur Auswahl der Abweichungsindikatoren	200
Abbildung 6-3: Fragebogen zur Ermittlung der Abweichungsindikatoren	201
Abbildung 6-4: Auswahl der Anzahl an Neuronen in der Verdeckten Schicht.....	202
Abbildung 6-5: Neuronales Netz für die Aktivität „Spezifikation erstellen“	203
Abbildung 6-6: Darstellung der Trainingsergebnisse in MATLAB	204
Abbildung 6-7: Projektplan des betrachteten Projektabschnitts	206

Abbildung 6-8: Basierend auf der antizipierten Abweichung aktualisierter Projektplan	207
Abbildung 6-9: Darstellung des Verhaltens der Zieldimension bei ceteris paribus Variation des Indikators „Zugehörigkeit“ in MATLAB.....	208
Abbildung 6-10: Indikatorsensitivitätsvektor der Zieldimension Zeit	209
Abbildung 6-11: Auslösersensitivitätsvektor der Zieldimension Zeit	210
Abbildung 6-12: ABC-Analyse der Auslöser	210
Abbildung A-1: Trainingsergebnis mit 3 Neuronen in der Verdeckten Schicht	241
Abbildung A-2: Trainingsergebnis mit 4 Neuronen in der Verdeckten Schicht	242
Abbildung A-3: Trainingsergebnis mit 5 Neuronen in der Verdeckten Schicht	243
Abbildung A-4: Verhalten der Zieldimension bei ceteris paribus Variation des Indikators „Anzahl bearbeiteter Projekte“	244
Abbildung A-5: Verhalten der Zieldimension bei ceteris paribus Variation des Indikators „Anzahl Overdue-Maßnahmen“	245
Abbildung A-6: Verhalten der Zieldimension bei ceteris paribus Variation des Indikators „Zeichnungsrevision“	245
Abbildung A-7: Verhalten der Zieldimension bei ceteris paribus Variation des Indikators „Protokollierung der Besprechungen“	246

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 3-1: Beispielhafte Einflussfaktoren	79
Tabelle 6-1: Bewertung der Abweichungsindikatoren	199
Tabelle 6-2: Indikatorvektor als Eingabe für das Neuronale Netz.....	206
Tabelle A-1: Datenbasis.....	235
Tabelle A-2: Normierte Datenbasis.....	238
Tabelle A-3: Gewichtungen zwischen der Eingabeschicht und der Verdeckten Schicht	244
Tabelle A-4: Gewichtungen zwischen der Verdeckten Schicht und der Ausgabeschicht.....	244

Verzeichnis der Abkürzungen

acatech	Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
AG	Aktiengesellschaft
BKT	Betriebskalendertag
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAD	Computer Aided Design
CIRP	College International pour la Recherche en Productique
COCOMO	Constructive Cost Model
CPM	Critical Path Method
CPU	Central Processing Unit, Hauptprozessor
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
ERP	Enterprise Resource Planning
et al.	et alii
EV	Earned Value
F&E	Forschung und Entwicklung
f.	folgende
ff.	fortfolgende
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
GAN	Generalized Activity Networks

GERT	Graphical Evaluation and Review Technique
ggf.	gegebenenfalls
GK	Geplante Kosten
Hrsg.	Herausgeber
hrsg.v.	herausgegeben von
i.d.R.	in der Regel
i.S.e.	im Sinne einer
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
Jg.	Jahrgang
K	Zieldimension Kosten
KDD	Knowledge Discovery in Databases
LH	Lösungshypothese
LZP	Lieferzeitpuffer
MPM	Program Evaluation and Review Technique
Nr.	Nummer
o.V.	ohne Verfasserangabe
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
P	Projekt
PDM	Product Data Management
PEP	Produktentwicklungsprozess
PERT	Metra Potential Methode
PM	Projektmanager
Q	Zieldimension Qualität
QFD	Quality Function Deployment
QPI	Qualitäts-Performance-Index

RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
S.	Seite
TA	Terminabweichung
Tab.	Tabelle
TH	Technische Hochschule
TK	Tatsächliche Kosten
TU	Technische Universität
u.a.	unter anderem
UML	Unified Modelling Language
VDA	Verband der Automobilindustrie e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer e.V.
Verl.	Verlag
vgl.	vergleiche
WZL	Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen
Z	Zieldimension Zeit
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

Verzeichnis der Formelzeichen

$a_{abs,i}$	Bedeutungsgewicht von Qualitätsattribut i
$AK_{l,k}$	Beitrag von Aktivität l zu Bauteil k
A_i	Aktivität
a_i	Beitrag von Qualitätsattribut i zur Gesamtqualität
a_j	Aktivierungszustand von Neuron j
AP_i	Arbeitspaket
AT_i	Qualitätsattribut
B_i	Bestimmungsaufwand von Indikator i
BG_i	Datengüte von Indikator i
b_k	Beitrag von Bauteil k zur Gesamtqualität
ΔBZ	Abweichung der Bearbeitungszeit
β	Steigungsparameter der Aktivierungsfunktion
BT_i	Bauteil
$BT_{k,j}$	Beitrag von Bauteil k zu Qualitätskriterium j
B_U	Untere Beobachtungsgrenze
BZ	Geplante Bearbeitungszeit einer Aktivität
c	Kosten des Produktes
C_i	Korrelation von Indikator i
c_p	Wertbeitrag der Aktivität zur Gesamtqualität
c_R	Wertbeitrag der Referenzaktivität
c_V	Wertbeitrag der Aktivitätenvariante

d_R	Wertbeitrag der Referenzaktivität
δ_j	Fehlersignal
E	Quadratischer Fehler
FAZ_a	Frühester antizipierter Anfangszeitpunkt
FAZ_p	Frühester geplanter Anfangszeitpunkt
FEZ_a	Frühester antizipierter Endzeitpunkt
FEZ_p	Frühester geplanter Endzeitpunkt
G_O	Obere Grenze der zu normierenden Skala
$\overline{G_O}$	Obere Grenze der normierten Skala
G_U	Untere Grenze der zu normierenden Skala
$\overline{G_U}$	Untere Grenze der normierten Skala
h	Stundensatz
I_E	Anzahl Iterationen im Fall von Early Stopping
I_i	Abweichungsindikator i
$\overline{I_i}$	Normierter Indikatorwert für Zieldimension i
I_{n_A}	Wert von Abweichungsindikator n zum Antizipationszeitpunkt
$\overline{I_n}$	Skalen-normierter Indikatorwert
I_O	Anzahl Iterationen im Fall von Overfitting
I_V	Indikatorwert der Aktivitätenvariante
\overline{k}	Normierte Kosten der Aktivität
k_A	Antizipierte Kosten der Aktivität
Δk_A	Antizipierte Abweichung der Kosten der Aktivität
k_{fix}	Fixkosten der Aktivität
Δk_{fix}	Abweichung der Fixkosten
K_i	Qualitätskriterium

k_j	Beitrag von Qualitätskriterium j zur Gesamtqualität
k_P	Geplante Kosten der Aktivität
$K_{P,P}$	Geplante Kosten des Gesamtprojekts
ΔK_P	Abweichung des Projektes in der Zieldimension Kosten
k_R	Kosten der Referenzaktivität
k_V	Kosten der Aktivitätenvariante
k_{var}	Variable Kosten der Aktivität
Δk_{var}	Abweichung der variablen Kosten der Aktivität
m	Marge des Produktes
m_P	Geplante Marge des Produktes
m_Q	Qualitätsabhängige Marge des Produktes
m_U	Grenzwert der Marge des Produktes
N	Anzahl an Datenpunkten
net_n	Nettoeingabewert von Neuron n
N_{HN}	Anzahl verdeckter Neuronen
N_{INP}	Anzahl Eingangsneuronen
N_{OUT}	Anzahl Ausgangsneuronen
N_{TRN}	Anzahl Trainingsmuster
N_W	Anzahl Gewichtungsfaktoren
η	Lernrate
o_i	Ausgabewert von Neuron i
p	Marktpreis des Produktes
P_a	Antizipierter Puffer
P_p	Geplanter Puffer
p_P	Geplanter Marktpreis des Produktes