

I Inhaltsübersicht

I	Inhaltsübersicht.....	i
II	Inhaltsverzeichnis.....	iii
III	Formelzeichen und Abkürzungen.....	ix
IV	Abbildungsverzeichnis.....	xv
1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Problemstellung	3
1.3	Zielsetzung der Arbeit	6
1.4	Forschungsansatz der Arbeit	7
1.5	Aufbau der Arbeit	11
2	Grundlagen des Betrachtungs- und Gestaltungsbereichs	13
2.1	Datenmanagement	13
2.2	Industrie 4.0	23
2.3	Werkzeugbau.....	43
2.4	Handlungsbedarf aus der Praxis	62
3	Analyse wissenschaftlicher Forschungsansätze	65
3.1	Systematik der Bewertung	65
3.2	Darstellung und Bewertung bestehender Forschungsansätze.....	73
3.3	Handlungsbedarf aus der Theorie	96
3.4	Detaillierung der Forschungsfrage	96
4	Konzeption der Methodik	99
4.1	Grundlagen der Methodikentwicklung	99
4.2	Merkmale zur Verwertung des Forschungsergebnisses	104
4.3	Zielbild der Operationalisierung digitaler Schatten im Werkzeugbau	106
4.4	Ordnungsrahmen für die Methodik.....	107
4.5	Grobkonzept der Methodik	109
4.6	Synthese und Abgleich der Anforderungen	115
5	Detaillierung der Methodik.....	119
5.1	Phase A – Anwendungsfall bezogenes Datenmodell	119
5.2	Phase B – Multimodale Datenaufnahme	151

ii	Inhaltsübersicht
5.3	Phase C – Multimodale Datenfusion192
5.4	Integration der Methodikbausteine und Zwischenfazit.....233
6	Verifizierung der Methodik.....237
6.1	Fallbeispiel 1: Werkzeugbau A GmbH.....237
6.2	Fallbeispiel 2: WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH244
6.3	Kritische Reflexion der Praxisanwendung252
7	Zusammenfassung und Ausblick.....255
8	Anhang.....259
9	Literaturverzeichnis.....277

II Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsübersicht.....	i
II	Inhaltsverzeichnis.....	iii
III	Formelzeichen und Abkürzungen.....	ix
IV	Abbildungsverzeichnis.....	xv
1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Problemstellung	3
1.3	Zielsetzung der Arbeit	6
1.4	Forschungsansatz der Arbeit	7
1.5	Aufbau der Arbeit	11
2	Grundlagen des Betrachtungs- und Gestaltungsbereichs	13
2.1	Datenmanagement	13
2.1.1	Daten und Informationen	13
2.1.1.1	Begriffsdefinition und Abgrenzung	13
2.1.1.2	Daten- und Informationsqualität.....	16
2.1.2	Sensorik	18
2.1.3	Multimodale Datenaufnahme und -fusion	19
2.1.4	Datenspeicherung	21
2.2	Industrie 4.0	23
2.2.1	Entwicklung der industriellen Produktion	23
2.2.2	Begriffsdefinition und -abgrenzung	25
2.2.2.1	Digitalisierung	25
2.2.2.2	Computerisierung	27
2.2.2.3	Vernetzung	27
2.2.2.4	Industrie 4.0	29
2.2.3	Technologische Befähiger	32
2.2.3.1	Cyber-physische Systeme	33
2.2.3.2	Internet der Dinge und Dienste	35
2.2.3.3	Big Data und Smart Data	36
2.2.3.4	Digitaler Schatten	39

2.2.3.5	Echtzeitfähigkeit	42
2.3	Werkzeugbau.....	43
2.3.1	Begriffsdefinition und -abgrenzung	44
2.3.1.1	Werkzeug	44
2.3.1.2	Werkzeugbau	45
2.3.2	Leistungsspektrum	48
2.3.3	Branchenstruktur.....	51
2.3.4	Wertschöpfung im Werkzeugbau.....	53
2.3.4.1	Prozess	53
2.3.4.2	Ressourcen	55
2.3.4.3	Organisation	57
2.3.5	Industrie 4.0 im Werkzeugbau	58
2.3.6	Aktuelle Herausforderungen.....	59
2.4	Handlungsbedarf aus der Praxis	62
3	Analyse wissenschaftlicher Forschungsansätze	65
3.1	Systematik der Bewertung	65
3.1.1	Bewertungssystem	65
3.1.2	Anforderungssystem	66
3.1.2.1	Anforderungsdimension A der Relevanz – Gestaltungsbereich	68
3.1.2.2	Anforderungsdimension B der Relevanz – Betrachtungsbereich	68
3.1.2.3	Anforderungsdimension 1 der Anwendbarkeit – Datenmodell.....	69
3.1.2.4	Anforderungsdimension 2 der Anwendbarkeit – Datenqualität.....	70
3.1.2.5	Anforderungsdimension 3 der Anwendbarkeit – Datenaufnahme	70
3.1.2.6	Anforderungsdimension 4 der Anwendbarkeit – Datenfusion.....	71
3.1.2.7	Anforderungsdimension 5 der Anwendbarkeit – Infrastruktur.....	72
3.2	Darstellung und Bewertung bestehender Forschungsansätze.....	73
3.2.1	Überblick wissenschaftlicher Forschungsansätze.....	73
3.2.2	Vorstellung ausgewählter Ansätze mit hoher Relevanz	75
3.2.2.1	Methodology for the derivation of a digital shadow nach SCHUH ET AL.	75
3.2.2.2	Migrationspfad zum digitalen Schatten nach BAUERNHANSL ET AL.....	77

3.2.2.3	The Digital Shadow of production nach BAUERNHANS� ET AL.	78
3.2.2.4	Digitaler Schatten in der Einzel- und Kleinserie nach BLUM	80
3.2.2.5	Digitaler Schatten für Instandhaltungsdienstleistungen nach HARLAND	82
3.2.2.6	Digital twin in assembly nach ZHUANG ET AL.	84
3.2.2.7	Digital Twin in SMEs nach UHLEMANN ET AL.	86
3.2.2.8	Informationsbeschaffung in der variantenreichen Serienfertigung nach LUCKE	88
3.2.2.9	Vorgehensmodell zur Informationsgewinnung nach BERNHARD ET AL.	90
3.2.2.10	Datenstrukturmodell im Werkzeugbau nach KELZENBERG	92
3.2.3	Aggregation der Bewertung der Ansätze	94
3.3	Handlungsbedarf aus der Theorie	96
3.4	Detaillierung der Forschungsfrage	96
4	Konzeption der Methodik	99
4.1	Grundlagen der Methodikentwicklung	99
4.1.1	Systemwissenschaft	99
4.1.2	Modellwissenschaft	101
4.1.3	Systeme und Modelle im Rahmen der Methodikentwicklung	103
4.2	Merkmale zur Verwertung des Forschungsergebnisses	104
4.2.1	Reales System	104
4.2.2	Zielsetzung	104
4.2.3	Anwender	105
4.2.4	Zeitraum der Nutzung	105
4.3	Zielbild der Operationalisierung digitaler Schatten im Werkzeugbau	106
4.4	Ordnungsrahmen für die Methodik	107
4.5	Grobkonzept der Methodik	109
4.5.1	Schritte der Phase A – Anwendungsfallbezogenes Datenmodell	110
4.5.1.1	Schritt A.1 – Definition Informationsbedarf	110
4.5.1.2	Schritt A.2 – Aggregation Zielsystem	111
4.5.2	Schritte der Phase B – Multimodale Datenaufnahme	111
4.5.2.1	Schritt B.3 – Definition Datenerhebungsbedarf	112
4.5.2.2	Schritt B.4 – Auslegung Datenerfassung	112

4.5.3	Schritte der Phase C – Multimodale Datenfusion	113
4.5.3.1	Schritt C.5 – Auslegung funktionales Fusionsmodell	113
4.5.3.2	Schritt C.6 – Auslegung architektonisches Fusionsmodell	114
4.6	Synthese und Abgleich der Anforderungen	115
5	Detaillierung der Methodik.....	119
5.1	Phase A – Anwendungsfall bezogenes Datenmodell	119
5.1.1	Schritt A.1 – Definition Informationsbedarf	119
5.1.1.1	Grundlagen der Use Case Darstellung	120
5.1.1.2	Analyse des Anwendungsfalls	122
5.1.2	Schritt A.2 – Bildung Zielsystem	134
5.1.2.1	Grundlagen der Modellierung von Datenstrukturen.....	135
5.1.2.2	Individualisierung des Datenmodells	136
5.1.2.3	Relevanzbewertung der Datenattribute.....	144
5.2	Phase B – Multimodale Datenaufnahme	151
5.2.1	Schritt B.3 – Definition Datenerhebungsbedarf.....	152
5.2.1.1	Aufnahme der Datenanforderungen	152
5.2.1.2	Untersuchung der vorhandenen Daten	159
5.2.2	Schritt B.4 – Auslegung Datenerfassung	165
5.2.2.1	Grundlagen der künstlichen Intelligenz	166
5.2.2.2	Erarbeitung der Erhebungskonzepte	168
5.2.2.3	Ausgestaltung der Gesamtdatenerhebung	179
5.3	Phase C – Multimodale Datenfusion	192
5.3.1	Schritt C.5 – Auslegung funktionales Fusionsmodell	193
5.3.1.1	Grundlagen der Datenfusion.....	193
5.3.1.2	Integration der Datenquellen	194
5.3.1.3	Gestaltung der Datenfusion	200
5.3.2	Schritt C.6 – Auslegung architektonisches Fusionsmodell.....	212
5.3.2.1	Grundlagen des Edge Computings und der Datenspeicherung	213
5.3.2.2	Gestaltung der Datenverarbeitung und -speicherung.....	215
5.3.2.3	Auslegung der Middleware	224

Inhaltsverzeichnis	vii
5.4 Integration der Methodikbausteine und Zwischenfazit.....	233
6 Verifizierung der Methodik.....	237
6.1 Fallbeispiel 1: Werkzeugbau A GmbH.....	237
6.1.1 Ausgangssituation.....	238
6.1.2 Anwendung der Methodik.....	239
6.1.3 Fazit.....	242
6.2 Fallbeispiel 2: WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH.....	244
6.2.1 Ausgangssituation.....	244
6.2.2 Anwendung der Methodik.....	245
6.2.3 Fazit.....	251
6.3 Kritische Reflexion der Praxisanwendung.....	252
7 Zusammenfassung und Ausblick.....	255
8 Anhang.....	259
9 Literaturverzeichnis.....	277