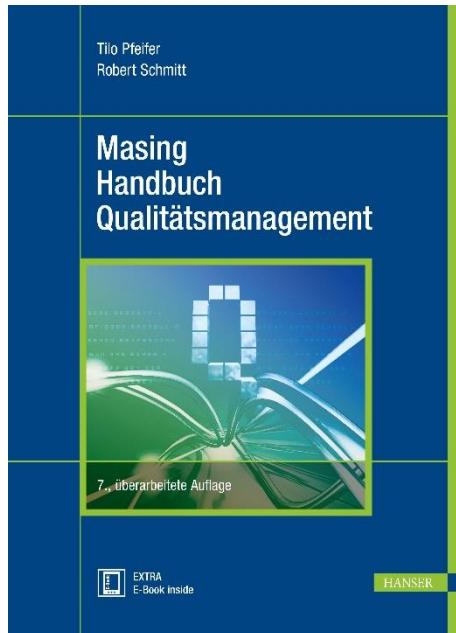


HANSER



Leseprobe

zu

Masing Handbuch Qualitätsmanagement

von Tilo Pfeifer und Robert Schmitt

Print-ISBN: 978-3-446-46230-4

E-Book-ISBN: 978-3-446-46621-0

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446462304>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	XXIII	2	
Über die Herausgeber	XXV		
Walter Masing – eine Autobiografie	XXVII		
Autorenverzeichnis	XXXV		
TEIL I Qualitätsmanagement als Basisaufgabe für den Unternehmenserfolg	1	2	
1 Das Unternehmen im Wettbewerb ..	4		
Walter Masing			
1.1 Kunde und Lieferer	5	2.1	Qualität und Qualitätsmanagement ..
1.2 Qualitätspolitik	6	2.1.1	Die Kernfrage: Was ist Qualität?
1.3 Außenverhältnis	7	2.1.2	Qualitätsmanagement als Wissens- und Fachgebiet
1.3.1 Wertfunktion	7	2.2	Das Gestern: Die Genese des Qualitätsmanagements
1.3.2 Informationsdefizit	7	2.2.1	Der Produktfokus: Messen und sortieren
1.3.3 Produkttragende Tätigkeiten	8	2.2.2	Der Prozessfokus: Regeln und verbessern
1.4 Innenverhältnis	8	2.2.3	Der Managementsystemfokus: TQM und Systemnormen
1.4.1 Prozessqualität	8	2.2.4	Der Organisationssystemfokus: Exzellenz-Modelle
1.4.2 Denkmodelle	9	2.2.5	Innovatoren und Meilensteine des Qualitätsmanagements
1.4.2.1 Qualitätskreis	9	2.3	Das Heute und das Morgen: Herausforderungen und Paradigmenwechsel im Qualitätsmanagement
1.4.2.2 Qualitätspyramide	9	2.3.1	Paradigmenwechsel
1.4.3 Wirtschaftlichkeit	11	2.3.2	Herausforderungen
1.5 Innovation	12	2.3.3	Ein moderner Qualitätsbegriff
1.5.1 Bekannte Produkte	12	2.3.4	Wie kann sich das Qualitätsmanagement weiterentwickeln?
1.5.2 Neue Produkte	13	3	Qualitätsgerechte Organisationsstrukturen
1.6 Zusammenfassung	13		<i>Ina Heine, Thomas Hellebrandt, Tilo Pfeifer, Robert H. Schmitt</i>
		3.1	Unternehmerisches Qualitätsverständnis
		3.1.1	Vom klassischen zum unternehmerischen Qualitätsverständnis
		3.1.2	Aufgabenbereiche des Qualitätsmanagements

3.2	Organisationsstrukturen	45	4.9.2	Nutzen des GPM	75
3.2.1	Organisationstheorien	45	4.9.3	Risiken	76
3.2.2	Organisationsgestaltung	46			
3.3	Gestaltung qualitätsgerechter Organisationsstrukturen	48	5	Qualitätsbezogene Kosten	80
3.3.1	Qualitätsorganisation	49		<i>Roland Jochem, Colin Raßfeld</i>	
3.3.2	Aachener Qualitätsmanagement-Modell	50	5.1	Einleitung	81
3.4	Fazit	52	5.2	Sicht auf Qualität und Kosten im Zeitverlauf	81
			5.3	Betrachtung von Qualitätskosten	81
4	Vom Qualitätsmanagement zum strategischen Geschäftsprozessmanagement	56	5.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Qualitätsmanagements	84
	<i>Horst Ellringmann</i>		5.4.1	Value- und Performance-Generatoren des Qualitätsmanagements	84
4.1	Was ist Geschäftsprozessmanagement und was kann es leisten?	57	5.4.2	Qualitätscontrolling	86
4.2	Projektvorbereitung	58	5.4.3	Reifegradmodelle als Bewertungsraster .	87
4.2.1	Geschäftsprozessmanagement-Konzepte	58	5.5	Simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsbewertung von Qualitätsmanagementsystemen	88
4.2.2	Prozessmodelle	59			
4.2.3	IT-Unterstützung	61	6	Qualitätsmanagement und Normung	94
4.2.4	Methoden des Geschäftsprozessmanagements	61		<i>Jürgen Jacob</i>	
4.2.5	Projektmanagement	62	6.1	Einführung	96
4.3	Strategieorientierung	62	6.2	Die Bedeutung der Begriffsnormung zum Qualitätsmanagement	97
4.3.1	Wettbewerberanalyse, SWOT-Analyse und Erfolgsfaktoren	63			
4.3.2	Strategien und Unternehmensziele	65	6.3	Aufgaben der Normung: Beiträge zu Qualitätsmanagement, Qualitäts sicherung und Qualitätsverbesserung	98
4.4	Prozessgestaltung	65	6.4	Die Arten von Normen und ihre Beziehung zum Qualitätsmanagement	99
4.4.1	Prozessarchitektur und Prozesslandkarte	65			
4.4.2	Prozessdefinition und Prozessdokumentation	67	6.5	Fachübergreifende Normen zu Qualitätsmanagement, Statistik und Zertifizierungsgrundlagen	100
4.4.3	Prozessleistungsziele	68			
4.4.4	Schnittstellen	70	6.6	Die Bedeutung der Normen über Qualitätsmanagementsysteme in der Europäischen Union	102
4.5	Prozessorganisation	70			
4.6	Implementierung	71	6.7	Rechtliche Aspekte	104
4.6.1	Kommunizieren	72	6.8	Ausblick	105
4.6.2	Ausbilden	72			
4.7	Prozesscontrolling	72	6.9	Anhang	106
4.7.1	Messen und Bewerten	72			
4.7.2	Berichten und Steuern	73			
4.8	Prozessoptimierung	73			
4.8.1	Methoden und Werkzeuge	73			
4.8.2	Prozessaudit und Prozess-Assessment	74			
4.9	Aufwand, Nutzen und Risiken	75			
4.9.1	Projektplan für den Aufbau eines GPM	75			

7	Qualitätsmanagement und Recht	119	7.7.3	Inhalte der EMAS-Verordnung	138
	<i>Jürgen Ensthaler</i>		7.7.3.1	Aufbauphase	138
7.1	Juristische Aspekte des Qualitätsmanagements	120	7.7.3.2	Umwelt-Audit-Zyklus	140
7.2	Haftung nach der (deliktsrechtlichen) Produzentenhaftung und nach dem Produkthaftungsgesetz	121	7.7.4	Anforderungen an das Umweltmanagementsystem	140
7.3	Haftung und Industrie 4.0	123	7.7.4.1	Umweltaspekte – gesetzliche und andere Forderungen	141
7.4	Einteilung der Verkehrssicherungspflichten und deren Einbindung in DIN EN ISO 9001:2015	124	7.7.4.2	Zielsetzungen und Einzelziele/Umweltprogramm	141
7.5	Qualitätssicherungsvereinbarungen	124	7.7.5	Implementierung und Durchführung	142
7.5.1	Regelungsinhalte und rechtliche Einordnung der QS-Vereinbarungen	124	7.7.5.1	Organisationsstruktur und Verantwortlichkeit	143
7.5.2	Qualitätssicherungsvereinbarungen und Wareneingangskontrolle	125	7.7.5.2	Umsetzung der EMAS-Verordnung	143
7.5.2.1	Untersuchungs- und Rügeobliegenheit nach § 377 HGB	125	7.7.5.3	Dokumentation des Umweltmanagementsystems/Lenkung der Dokumente	143
7.5.2.2	Ausschluss der Untersuchungs- und Rügeobliegenheit	126			
7.5.2.3	Wareneingangskontrolle und veränderte Gewährleistungssituation	127	TEIL II	Qualitätsmanagementsysteme	147
7.5.3	Fixgeschäftsklauseln und Verzugs-schadensersatzklauseln	128	8	Konzepte – Modelle – Systeme	150
7.5.4	Veränderung der Gewährleistungssituation	129		<i>Thomas Friedli, Hans Dieter Seghezzi, Marten Ritz</i>	
7.5.4.1	Abschied vom klassischen Gewährleistungssystem?	129	8.1	Konzepte und Modelle	152
7.5.4.2	Einzelne Klauselbeispiele	129	8.1.1	ISO 9001	153
7.5.4.3	Probleme der anhand eines Musters getroffenen Qualitätssicherungsvereinbarung	129	8.1.2	ISO 9004	155
7.5.5	Verteilung des Produkthaftungsrisikos	130	8.1.3	Six Sigma	156
7.5.5.1	Außenverhältnis	130	8.1.4	Lean	157
7.5.5.2	Haftungsausgleich im Innenverhältnis	130	8.2	Total Quality Management/Business Excellence	158
7.5.6	Lieferantenbeurteilung	132	8.2.1	Das Excellence-Modell der European Foundation for Quality Management (EFQM)	159
7.5.6.1	Notwendigkeit	132	8.2.2	Weitere Award-Modelle	160
7.5.6.2	Vorgehensweise	132	8.3	Operational Excellence und Lean Sigma	161
7.6	Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) und Konformitätsbewertung – das System der Zertifizierung, Akkreditierung und Normung	133	8.3.1	St. Galler Operational-Excellence-Modell	161
7.7	Umweltrecht – EMAS-Verordnung der EU	136	8.3.2	Lean Sigma – eine integrierte Betrachtungsweise	163
7.7.1	Rahmenbedingungen des EMAS-Systems	137	8.4	Qualitätssysteme in der pharmazeutischen Produktion	164
7.7.1.1	Sachlicher Anwendungsbereich	137	8.5	Entwicklung und Einführung von Qualitätssystemen	167
7.7.1.2	Räumlicher Anwendungsbereich	138	8.5.1	Aufbau eines Systems	167
7.7.1.3	Zeitlicher Anwendungsbereich	138	8.5.2	Ausbau des Führungssystems	167
7.7.2	Ziele der EMAS-Verordnung	138	8.6	Aktuelle Herausforderungen für das Qualitätsmanagement	169

9	Ausgestaltung von QM-Systemen auf Basis der ISO-9000-Reihe	174	10.2.2	Unternehmensspezifische prozessorientierte Darstellung	210
	<i>Karl W. Wagner</i>		10.2.3	Auswahl von Managementsystem-Modulen	210
9.1	Normenfamilie der ISO 9000 ff.	175	10.2.4	Nutzen und Aufwand	213
9.1.1	Entwicklungsgeschichte	175	10.3	Übersicht zu Regelwerken	216
9.1.2	Der Normenfamilie ISO 9000 zugehörige Normen	175	10.3.1	Qualitätsmanagement (QM)	216
9.1.3	Die sieben Grundsätze des Qualitätsmanagements aus der ISO 9000:2015 ..	176	10.3.2	Umweltmanagement (UM)	218
9.1.4	Normenüberblick zum Thema Qualitätsmanagement	176	10.3.3	Energiemanagement (EM)	220
9.1.5	Entwicklungen der Normenfamilie ISO 9000	176	10.3.4	Arbeitsschutzmanagement (Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, SGA) ...	220
9.2	Inhalte der internationalen Norm ISO 9001:2015 im Überblick	178	10.4	Konzepterstellung	222
9.2.1	Zielsetzungen der ISO 9001	178	10.4.1	Aufbau und Dokumentation eines IMS ..	222
9.2.2	Die vier Fokuspunkte der ISO 9001	178	10.4.2	Ablaufplan zur IMS-Einführung	225
9.2.3	ISO 9001:2015 Prozessmodell	179	10.5	Firmenspezifisches IMS-Handbuch ..	230
9.2.4	Inhalte der Kapitel 0 bis 3 der ISO 9001:2015 (vgl. DIN EN ISO 9001:2015)	181	11	Interaktive Managementsysteme ...	246
9.2.5	Inhalte des Kapitels 4 „Kontext der Organisation“ der ISO 9001:2015	183	<i>Carsten Behrens</i>		
9.2.6	Inhalte des Kapitels 5 „Verantwortung der Leitung“ der ISO 9001:2015	185	11.1	Managementsysteme	247
9.2.7	Inhalte des Kapitels 6 „Planung“ der ISO 9001:2015	187	11.2	Managementsystem-Dokumentation ..	247
9.2.8	Inhalte des Kapitels 7 „Unterstützung“ der ISO 9001:2015	188	11.3	Managementsystem-Normen	250
9.2.9	Inhalte des Kapitels 8 „Betrieb“ der ISO 9001:2015	194	11.4	Integrierte Managementsysteme	250
9.2.10	Inhalte des Kapitels 9 „Messung, Analyse und Verbesserung“ der ISO 9001:2015	198	11.5	Ausgestaltung von Management-systemen	252
9.2.11	Inhalte des Kapitels 10 „Verbesserung“ der ISO 9001:2015	200	11.5.1	Nachweis-Managementsystem-Dokumentation	254
9.3	Inhalte der internationalen Norm ISO 9004:2018 im Überblick	202	11.5.2	Expertensysteme	255
9.3.1	Inhalte der ISO 9004:2018	202	11.5.3	Interaktive Managementsysteme	256
9.3.2	Umsetzungsbeispiele für weitere Anforderungen der ISO 9004	202	11.6	Reifegradmodell Interaktiver Managementsysteme	258
10	Integrierte Managementsysteme QM – UM – EM – SGA	206	11.6.1	Reifegrad 0: Kein dokumentiertes Managementsystem	259
	<i>Franz Schreiber, Regina Schreiber</i>		11.6.2	Reifegrad 1: Von zentraler Stelle dokumentiert	259
10.1	Einleitung und methodisches Vorgehen	207	11.6.3	Reifegrad 2: Gemeinsam mit zentraler Stelle dokumentiert	259
10.2	Grundlagen zum Integrierten Managementsystem (IMS)	208	11.6.4	Reifegrad 3: Dezentral mit Unterstützung der zentralen Stelle dokumentiert	260
10.2.1	Integrierbarkeit und Synergieeffekte ...	208	11.6.5	Reifegrad 4: Dezentral dokumentiert ...	260
			11.6.6	Reifegrad 5: Dezentral und partizipativ dokumentiert	260
			11.6.7	Reifegrad 6: Dezentral, partizipativ und in Echtzeit dokumentiert	260

12	Six Sigma	262	13.4	Die Erweiterung des ganzheitlichen Ansatzes	299
	Hannes Elser, Kai Wangerow, Quoc Hao Ngo, Robert H. Schmitt		13.5	Implementierungsstrategien	300
12.1	Erfolgspotenziale und Herausforderungen	264	13.5.1	Elemente einer ganzheitlichen Wissensmanagement-Strategie	300
12.1.1	Besonderheiten von Six Sigma	264	13.5.2	Anreizmodelle	304
12.1.2	Entstehung und Verbreitung von Six Sigma	264	13.6	Erfolgsmessung und Controlling mit einer Knowledge Scorecard	305
12.2	Six Sigma-Prozessverständnis	265	13.6.1	Die Struktur der Knowledge Scorecard ..	305
12.3	Six Sigma-Projektorganisation	266	13.6.1.1	Meta-Perspektive: „Umgang mit Wissen gestalten“	307
12.3.1	Rollen und Verantwortlichkeiten	266	13.6.1.2	Perspektive: „Wissen erlangen“	307
12.4	Six Sigma – Vorgehen und Methodenbaukasten	268	13.6.2	Die richtigen Kennzahlen – echte Wirkung messen	308
12.4.1	Define	269	13.6.3	Vorteile und Nutzen einer Knowledge Scorecard entlang der ISO 9001	308
12.4.2	Measure	271	13.7	Zusammenhang von Qualitäts- und Wissensmanagement	309
12.4.3	Analyze	272	13.7.1	Qualitätsmanager und Wissensmanager ..	310
12.4.4	Improve	274	13.7.2	Qualitätsmanagement als Vorreiter des Wissensmanagements?	311
12.4.5	Control	275	13.8	Fazit	311
12.5	Design for Six Sigma: Durchgängige Absicherung der Produktentstehung	275	14	Dokumentation	314
12.6	Datengetriebenes Six Sigma	280		Iris Bruns, Stephan Killich, Alexander Künzer	
12.7	Rahmenbedingungen zur Einführung von Six Sigma	283	14.1	Dokumentation im Unternehmensumfeld	316
12.7.1	Zielsetzung für die Six Sigma-Organisation	283	14.2	Anforderungen an die Dokumentation	317
12.7.2	Einführung von Six Sigma im Unternehmen	284	14.2.1	Auflagen aus Normen und Gesetzen ..	317
12.7.3	Qualifikation und Qualifizierung von Mitarbeitern	284	14.2.2	Anforderungen aus der betrieblichen Praxis	319
12.7.4	Kombination von Six Sigma mit anderen Qualitätsoffensiven	285	14.3	Dokumentationsarten	323
12.8	Fazit	287	14.3.1	Struktur	324
	Gabriele Vollmar, Tilo Pfeifer		14.3.2	Klassifikation von Dokumenten	325
13	Wissensmanagement	292	14.4	Vorgehensweise der Dokumentation im Qualitätsmanagement	326
	Gabriele Vollmar, Tilo Pfeifer		14.4.1	Partizipation	326
13.1	Wozu Wissensmanagement?	293	14.4.2	Aufbau eines Qualitätsmanagements ..	328
13.2	Grundlegende Begriffsdefinitionen	293	14.4.3	QM-Lifecycle	329
13.2.1	Wissen – mehr als Daten und Informationen	293	14.5	Softwaretechnische Unterstützung und Best Practice	332
13.2.2	Wissensmanagement	295	14.5.1	Personalisierung	334
13.3	Modelle im Wissensmanagement	297	14.5.2	Prozesslandschaft	334
13.3.1	Das Bausteine-Modell nach (Probst et al. 2003)	297	14.5.3	Pflege des Qualitätsmanagementsystems ..	336
13.3.2	Das Prozessmodell der Gesellschaft für Wissensmanagement e. V. (GfWM) ..	298	14.5.4	Berichte	337
13.3.3	Elemente eines Wissensmanagement-Systems nach ISO 30401	298	14.6	Zusammenfassung	337

15	Audit	342	17.2.2	Gewicht von Qualitätsmerkmalen	371
	<i>Michael Groppe</i>		17.2.3	Information über und Kommunikation von Qualitätsmerkmalen	371
15.1	Begriffsbestimmung	343	17.2.4	Stillschweigend vorausgesetzte Merkmale und Begeisterungsmerkmale .	372
15.2	Audit als Managementinstrument	344	17.2.5	Subjektive und induzierte Qualitätsmerkmale	373
15.3	Arten von Audits	345	17.2.6	Merkmale der Protective und Perceived Quality	374
15.3.1	Produktaudit	345	17.2.7	Qualitätsmerkmale von Marken	379
15.3.2	Prozessaudit	347			
15.3.3	Systemaudit	349			
15.4	Ablauf des Audits	351			
			18	Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung	384
16	Zertifizierung von Qualitätsmanagementsystemen	354		<i>Thomas Prefi</i>	
	<i>Michael Drechsel</i>				
16.1	Zweck und Nutzen der Zertifizierung	356	18.1	Qualitätsmanagement in der Entwicklung – eine Situationsbeschreibung	385
16.2	Akkreditierung	356	18.2	Befähigung des Produktentstehungsprozesses	386
16.3	Voraussetzung für eine Zertifizierung	357	18.3	Testplanung – Überwachen des Produktentstehungsprozesses	388
16.4	Vorbereitung auf die Zertifizierung	358	18.4	Testmanagement	391
16.5	Ablauf der Zertifizierung	359	18.5	Synchronisation parallel arbeitender Entwicklungsteams	392
16.5.1	Information	359	18.6	Quality Gates steuern die Qualität im Produktentstehungsprozess	394
16.5.2	Angebot und Vertrag	359	18.6.1	Ablaufsegmentierung des Referenzprozesses	394
16.5.3	Systemanalyse (Audit Stufe 1)	360	18.6.2	Inhaltliche Segmentierung des Referenzprozesses	398
16.5.4	Systembegutachtung (Audit Stufe 2)	360	18.6.3	Umsetzung von Quality Gates im Projektplan	402
16.5.5	Systembewertung/Zertifikatserteilung	360	18.6.3.1	Element 1 – Forderungen vereinbaren	402
16.5.6	Überwachungsaudits	361	18.6.3.2	Element 2 – Weg absichern	405
16.5.7	Rezertifizierung/Neuerteilung des Zertifikats	361	18.6.3.3	Element 3 – Fortschritt synchronisieren	407
16.5.8	Remote-Audits	361	18.6.3.4	Element 4 – Entwicklungsqualität controllen	408
16.6	Kosten der Zertifizierung	362	18.6.3.5	Element 5 – Erfahrungswissen nutzbar machen	409
16.7	Anerkennung der Zertifikate	362			
16.8	Nutzen der Zertifikate	363	18.7	Qualitätsplanung und Qualifikation in der Produktentstehung	410
16.9	Zeitaufwand für eine Zertifizierung	364		<i>Thomas Kupka, Robert Imre Münnich</i>	
16.10	Beratung und Zertifizierung	364	18.7.1	Einleitung	410
16.11	Zusammenfassung	364	18.7.2	Realisierung in der Praxis	411
			18.7.2.1	Funktionsanalyse	412
			18.7.2.2	Schnittstellenanalyse	413
			18.7.2.3	Produktfunktion	414
			18.7.2.4	Parameterdiagramm	415
			18.7.2.5	Funktionale Spezifikation	416
TEIL III	Qualitätsmanagement in der Entwicklung	365			
17	Qualität und Markt	368			
	<i>Thomas Prefi, Björn Falk, Robert H. Schmitt</i>				
17.1	Motivation	369			
17.2	Logik der Qualitätsmerkmale	369			
17.2.1	Nutzen und Wert von Qualitätsmerkmalen	369			

18.7.2.6	Design-FMEA	417	19.7.3.2	Informelle Nachweisverfahren	456
18.7.2.7	Risikoorientierte Qualitätsplanung	418	19.7.3.3	Statische Analysen	456
18.7.2.8	Testplanung und -entwicklung zur Funktionsqualifizierung	418	19.7.3.4	Testen	457
18.7.2.9	Prozess-FMEA	420	19.8	Prozess-Assessment	459
18.7.2.10	Produktionslenkungsplan	421	19.9	Produkthaftung: Maßnahmen zur Risikominderung bei der Software-entwicklung	460
18.7.2.11	Prozess- und Produktfreigabe	421	19.10	Ausblick	460
18.7.2.12	Schnelle Produktbeobachtung im Feld nach SOP	421			
18.7.3	Organisatorisches und weitere Aspekte ..	423			
18.7.4	Zusammenfassung und Ausblick	424			
19	Qualitätsmanagement bei der Softwareentwicklung	426	20	Qualitätsgerechte Typologisierung moderner Produktformen	466
	<i>Bernd Walter Hohler</i>			<i>Felix Sohnius, Leo Nuy, Robert H. Schmitt</i>	
19.1	Bedeutung der Software	427	20.1	Konventionelle Produktypologi-sierung	467
19.2	Software	427	20.2	Produkte in Zeiten der Digitalisierung	469
19.2.1	Definition von Software	427	20.3	Kriterien zur Typologisierung moderner Produktformen	471
19.2.2	Kategorien von Software	428	20.4	Chancen und Herausforderungen für eine qualitätsgerechte Produkt-entwicklung	473
19.2.3	Besondere Eigenschaften von Software ..	428			
19.3	Normung auf dem Gebiet der Software	431			
19.4	Qualitätsmerkmale von Software	433			
19.5	Methoden der Softwareentwicklung ..	434	21	Qualitätsmanagement bei der Entwicklung smarter Produkte	478
19.5.1	Erkenntnisse aus der Softwarekrise	434		<i>Raphael Kiesel, Robert H. Schmitt</i>	
19.5.2	Vorgehensmodelle	434	21.1	Ausgangssituation – smarte Produkte und interdisziplinäre Entwicklungs-prozesse	479
19.5.2.1	Beschreibung von Vorgehensmodellen ..	434	21.1.1	Chancen und Herausforderungen smarter Produkte	479
19.5.2.2	Klassische, sequenzielle Vorgehens-modelle	435	21.1.2	Problemstellung bei interdisziplinären Entwicklungsprozessen	479
19.5.2.3	Klassische, iterative Vorgehensmodelle ..	437	21.2	Grundlagen smarter Produkte	480
19.5.2.4	Agile Vorgehensmodelle	438	21.2.1	Definition und Eigenschaften	480
19.5.3	Klassisches Projektmanagement	441	21.2.2	Interdisziplinäres Umfeld bei der Entwicklung	482
19.5.4	Aufwands- und Kostenschätzung	443	21.3	Besondere Anforderungen an inter-disziplinäre Entwicklungsprozesse ..	482
19.5.5	Metriken	443	21.4	Bestehende Vorgehensmodelle zur Produktentwicklung der beteiligten Einzeldisziplinen	484
19.5.6	Wiederverwendung	447	21.4.1	Softwaretechnik	484
19.5.7	Mitarbeiter	449	21.4.1.1	Wasserfallmodell	485
19.6	Qualitätsbezogene Kosten und Entwicklungsaufwand	450	21.4.1.2	V-Modell 97 und V-Modell XT	485
19.7	Maßnahmen des Software-Qualitäts-managements	451	21.4.1.3	Spiralmodell	487
19.7.1	Klassifikation der Maßnahmen	451	21.4.1.4	Extreme Programming (XP)	487
19.7.2	Konstruktive Maßnahmen	452			
19.7.2.1	Phasenunabhängige konstruktive Maßnahmen	453			
19.7.2.2	Phasenspezifische konstruktive Maßnahmen	454			
19.7.3	Analytische Maßnahmen	455			
19.7.3.1	Definition und Ziele analytischer Maßnahmen	455			

21.4.1.5	Rational Unified Process (RUP)	488	22.3	Customer Insights aus Produkt-nutzungsdaten	528
21.4.1.6	DevOps	490	22.3.1	Potenzial des Kundenfeedbacks aus Produktnutzungsdaten	529
21.4.2	Mechanik	490	22.3.2	Vorgehensweise zur Gewinnung von Customer Insights aus Produktnutzungsdaten	530
21.4.2.1	Konstruktionsprozess nach Koller	490	22.3.3	Methoden zur Gewinnung von Customer Insights aus Produktnutzungsdaten ...	531
21.4.2.2	Konstruktionsprozess nach Pahl/Beitz ..	492			
21.4.2.3	Konstruktionsprozess nach VDI-Richtlinie 2221 – Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte	494			
21.4.3	Elektronik	494			
21.4.4	Zwischenfazit	497			
21.5	Synchronisation der Entwicklungsprozesse der Mechatronik smarter Produkte	497	23	Qualitätsmanagement bei der Entwicklung von Dienstleistungen und Geschäftsmodellen	534
21.5.1	VDI 2206 – Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme	497		Tobias Adam, Sait Başkaya, Robert H. Schmitt	
21.5.1.1	Der Problemlösungszyklus als Mikrozyklus	497	23.1	Wandel der Bedeutung von Dienstleistungen	535
21.5.1.2	V-Modell als Makrozyklus	498	23.2	Dienstleistungsbegriff	535
21.5.1.3	Prozessbausteine für wiederkehrende Arbeitsschritte	499	23.2.1	Definition	535
21.5.1.4	Organisation	499	23.2.2	Typologien	536
21.5.2	3-Ebenen-Vorgehensmodell	500	23.2.3	Dienstleistungen und Geschäftsmodelle ..	536
21.5.3.1	Phasenmodell	503	23.3	Qualität und Dienstleistungen	538
21.5.3.2	Projektmanagement-Regelkreis	506	23.3.1	Definition der Dienstleistungsqualität ..	538
21.5.3.3	Beschreibungstechniken zur interdisziplinären Zusammenarbeit	508	23.3.2	Dimensionen der Dienstleistungsqualität	538
21.6	Zusammenfassung und Ausblick	509	23.3.3	Qualitätsmanagementsystem für Dienstleistungen	539
			23.3.4	Qualitätsorientierte Geschäftsmodelle ..	540
22	Customer Insights in der Produktentwicklung	514	23.4	Qualitätsmanagement für die Entwicklung von Dienstleistungen ...	542
	Lars C. Gussen, Jan Kukulies, Felix Sohnius, Robert H. Schmitt		23.4.1	Entwicklungsprozess von Dienstleistungen	542
22.1	Customer Insights auf Basis von textbasiertem, digitalem Kundenfeedback	517	23.4.2	Qualitätsmanagement in den Phasen des Entwicklungsprozesses von Dienstleistungen	544
22.1.1	Potenzial von textbasiertem Kundenfeedback	517	23.4.2.1	Ideensammlung, -bewertung und Anforderungsanalyse	544
22.1.2	Vorgehensweise zur Gewinnung von Customer Insights aus textbasiertem Kundenfeedback	517	23.4.2.2	Dienstleistungskonzeption	545
22.1.3	Methoden zur Gewinnung von textbasierten Customer Insights	520	23.4.2.3	Implementierung	546
22.2	Customer Insights aus Kundenstudien	521	23.5	Zusammenfassung	546
22.2.1	Potenzial des Feedbacks aus Kundenstudien	522			
22.2.2	Vorgehensweise zur Gewinnung von Customer Insights aus Kundenstudien ..	522			
22.2.3	Methoden und Modelle zur Gewinnung von Customer Insights aus Kundenstudien ..	523	24	Qualitätsgerechte Produktplanung ..	550
				Roman Boutellier, Andreas Biedermann	
			24.1	Definition und Bedeutung	551
			24.2	QFD: Kundenanforderungen konsistent umsetzen	552
			24.3	Simultaneous Engineering: Zeitgewinn und bessere Lösungen ...	555

24.4	Prototypen: Komplexe Zusammenhänge rechtzeitig erkennen	556	25.5.5	Diagnosefunktionen	593
			25.5.6	Berechnung redundanter Strukturen	593
24.5	Reviews: Abstand gewinnen und Abhängigkeiten identifizieren	558	25.6	Betrieb und Instandhaltung	595
			25.6.1	Störungsmanagement und Instandsetzung	595
24.6	Zusammenarbeit mit Lieferanten: Notwendige Komplexitätsreduktion	559	25.6.2	Präventive Wartung	595
			25.6.3	Ersatzteillagerhaltung	596
24.7	Drei Hauptphasen der Produktentwicklung	561	25.6.4	Ergonomie und menschliche Faktoren	596
24.7.1	Vorprojektphase	562	25.7	Zuverlässigkeitssicherung	597
24.7.2	Entwicklungsphase	566	25.7.1	Planungsprozess	597
24.7.3	Markteinführungsphase	568	25.7.2	Bewertung und Nachweis der Zuverlässigkeit, Sicherheit und Verfügbarkeit	597
24.8	Crowd Sourcing von Innovation	571	25.8	Verfahren und Werkzeuge der Zuverlässigkeitss- und Sicherheitsplanung	599
24.8.1	Phase 1: Beratung und Zielsetzung	571	25.8.1	Systemanalysen, Modelle und Berechnungsmethoden	599
24.8.2	Phase 2: Vorbereitung	571	25.8.2	Zuverlässigkeitssanalysen	600
24.8.3	Phase 3: Ausführung	572	25.8.3	Instandhaltbarkeits- und Instandhaltungsanalysen	602
24.8.4	Phase 4: Beurteilung	572	25.8.4	Rekonfigurationsanalyse	603
24.8.5	Post-Processing der Ideen	572	25.8.5	Analyse der menschlichen Einflussfaktoren und Zuverlässigkeit	603
24.9	Ausblick	572	25.8.6	Risiko-, Gefahren- und Operabilitätsanalyse	603
			25.8.7	Lebenszykluskostenanalyse	604
25	Zuverlässigkeitss- und Sicherheitsplanung	577	26	Software in sicherheitskritischen Systemen	608
	Peter Zinniker			Peter Liggesmeyer, Thomas Kuhn	
25.1	Das Langzeitbetriebsverhalten	578	26.1	Motivation	609
25.2	Erwartungen und Anforderungen	579	26.2	Software Engineering für sicherheitskritische Systeme	610
25.2.1	Wirtschaftliche und rechtliche Hintergründe	579	26.2.1	Entwicklungsmethoden	611
25.2.2	Risikobasierter Ansatz	580	26.2.1.1	Analyse	613
25.3	Einflussfaktoren (Übersicht)	581	26.2.1.2	Entwurf	613
25.4	Zuverlässigkeit der Komponenten	582	26.2.1.3	Implementierung	614
25.4.1	Beanspruchung und Belastbarkeit	582	26.2.2	Prüfung	614
25.4.2	Lebensdauermodell	583	26.2.2.1	Modulprüfung	614
25.4.3	Lebensdauerstatistik und Lebensdauerprüfungen	585	26.2.2.2	Integration und die Integrationsprüfung	615
25.4.4	Empirische Zuverlässigkeit	585	26.2.2.3	Systemprüfung	617
25.4.5	Schätzung der Ausfallrate bei exponentiell verteilten Ausfallzeiten	585	26.3	Organisatorische Aspekte	618
25.4.6	Praktische Grenzen	586	26.4	Dokumentation und Auswertung von Prüfungen	620
25.4.7	Generische Daten und Ausfallratenmodelle	587	26.5	Standards	620
25.4.8	Bayes'sches Verfahren	587	26.5.1	Bedeutung von Standards	620
25.4.9	Spezielle Beanspruchungen	587	26.5.2	Prozessorientierte Standards	622
25.5	Systemarchitektur und Redundanz	588			
25.5.1	Seristrukturen	588			
25.5.2	Redundanz	589			
25.5.3	Schutz- und Überwachungseinrichtungen	591			
25.5.4	Ausfallerkennung und Funktionstests	592			

26.5.2.1	EN ISO 9001	622	27.9.2	Komponententausch	644
26.5.2.2	ISO/IEC 15504: SPICE	622	27.9.3	Paarweiser Vergleich	645
26.5.2.3	AQAP-Standards	622	27.9.4	Variablenvergleich	645
26.5.3	Anwendungsbereichsunabhängige technische Standards	622	27.10	Hinweise und Empfehlungen	645
26.5.4	Anwendungsbereichsspezifische technische Standards	623	27.11	Software	646
26.5.4.1	DIN EN 50128	623	27.12	Beispiel	646
26.5.4.2	RTCA/DO-178C	623	27.12.1	Untersuchungsziel und Rand- bedingungen festlegen	646
26.5.4.3	ISO 26262	624	27.12.2	Planung und Durchführung eines Screening-Versuchs	647
26.6	Zusammenfassung	624	27.12.3	Planung und Durchführung der Detailuntersuchung	648
27	Statistische Versuchsplanung	629	27.12.4	Bestätigungsversuch	649
	<i>Wilhelm Kleppmann</i>		27.12.5	Hinweise für eigene Versuche	649
27.1	Typische Fragestellungen	630	28	Prüfplanung	652
27.2	Mögliche Vorgehensweisen	631		<i>Gerhard Linß</i>	
27.2.1	Intuitives Experimentieren	631	28.1	Aufgaben der Prüfplanung	653
27.2.2	Einfaktorversuche	631	28.2	Prüfnotwendigkeit	654
27.2.3	Rasterversuche (= vollständig faktoriell mit mehrstufigen Faktoren)	632	28.3	Methoden der Prüfplanung	654
27.2.4	Statistischer Versuchsplan (Beispiel: zentral zusammengesetzt) ...	633	28.4	Aufbau von Prüfplänen	657
27.3	Der experimentelle Zyklus	633	28.5	Methodik zur Auswahl von Prüfmitteln	658
27.4	Systematische Vorbereitung	634	28.5.1	Technische/technologische Prüfmittel- auswahl	658
27.4.1	Untersuchungsziel und Rand- bedingungen festlegen	634	28.5.2	Organisatorische Prüfmittelauswahl ...	660
27.4.2	Faktoren auswählen und sinnvolle Bereiche festlegen	634	28.5.3	Wirtschaftliche Prüfmittelauswahl	660
27.5	Die eigentliche Versuchsplanung	636	28.6	Industrielles Beispiel für die Erarbeitung eines Prüfplanes	663
27.5.1	Typische Versuchspläne	636	28.6.1	Prüfobjekt und Prüfmerkmale für die Endprüfung „Lagerstift“ – was zu prüfen ist	663
27.5.2	Versuchsumfang	638	28.6.2	Prüfzeitpunkt und Prüfart	664
27.5.3	Reihenfolge der Einzelversuche – Blockbildung und Randomisierung	638	28.6.3	Prüfhäufigkeit und Prüfumfang für die Prüfung der Hauptmerkmale „Lagerstift“	664
27.5.4	Vorbereitung der Versuchs- durchführung	639	28.6.4	Prüfmethode und Prüfmittel für die Prüfaufgabe „Lagerstift“	666
27.6	Auswertung der Versuchsergebnisse	639	28.6.5	Auswertung, Erfassung und Verwaltung der Prüfdaten	667
27.6.1	Warum Statistik?	639	28.6.6	Prüfplan für den Prüfling „Lagerstift“ ..	667
27.6.2	Regressionsanalyse	640	28.7	Tabellen	669
27.6.3	Varianzanalyse	640			
27.6.4	Konsequenzen, Maßnahmen, Bestätigungsversuch	641			
27.7	Verfahren zur Optimumsuche	642			
27.8	Robuste Prozesse/Produkte nach G. Taguchi	642			
27.9	Verbesserungsstrategien nach D. Shainin	643			
27.9.1	Multi-Vari-Bild	643			

TEIL IV	Qualitätsmanagement in der Produktion	677	31	Eignungsnachweise für Messprozesse	732
				<i>Edgar Dietrich</i>	
29	Messen und Prüfen	680	31.1	Einleitung	733
	<i>Albert Weckenmann, Teresa Werner</i>			Anforderungen	734
29.1	Bedeutung des Messens für das Qualitätsmanagement	682	31.3	Übersicht der Verfahren	735
29.2	Grundlagen und Begriffe	683	31.4	Fähigkeitsnachweise gemäß Firmenrichtlinie	735
29.2.1	Wichtige Begriffe	683	31.4.1	Untersuchung gemäß Verfahren 1	737
29.2.2	Grundsätzlicher Ablauf einer Prüfung ..	687	31.4.2	Untersuchung gemäß Verfahren 2	739
29.2.3	Grundvoraussetzungen für das Messen ..	688			
29.2.4	Angabe eines Messergebnisses	688	31.5	Fähigkeitsuntersuchung gemäß MSA ..	743
29.3	Mess- und Prüfmittel	691	31.5.1	Unterschiede zu Firmenrichtlinien	743
29.3.1	Lehren	692	31.5.2	Systematische Messabweichungs-(Bias-) und Linearitätsstudie	743
29.3.2	Maßverkörperungen	694	31.5.3	Wiederhol- und Vergleichspräzision %GRR	743
29.3.3	Handmesszeuge	695	31.5.4	Anzahl unterschiedbarer Kategorien ..	744
29.3.4	Koordinatenmessgeräte	697	31.6	Eignungsnachweis gemäß VDA 5 bzw. ISO 22514-7	744
29.3.4.1	Grundprinzip der Koordinatenmesstechnik	697	31.6.1	Definition von Messsystem und -prozess ..	744
29.3.4.2	Bauarten von Koordinatenmessgeräten ..	698	31.6.2	Schematisierte Vorgehensweise	745
29.3.4.3	Sensoren für Koordinatenmessgeräte ..	699	31.6.3	Minimale Toleranz	747
29.3.4.4	Formprüfgeräte	705	31.6.4	Formeln zu den Kennwerten	747
29.3.4.5	Oberflächenprüfgeräte (Tastschnittgeräte)	707	31.7	Vergleich von Firmenrichtlinien, MSA mit VDA 5 bzw. ISO 22514-7	750
29.4	Qualitätssicherung von Mess- und Prüfergebnissen	708	31.8	Sonderfälle	754
29.4.1	Einflüsse auf das Messergebnis	708	31.9	Zusammenfassung	754
29.4.2	Qualität eines Mess-/Prüfergebnisses und eines Mess-/Prüfprozesses	712	32	Messmanagementsystem/Prüfmittelmanagement	758
29.4.3	Überwachung der Prüfmittel	717		<i>Edgar Dietrich</i>	
29.4.4	Dokumentation von Messergebnissen ..	718	32.1	Aufgaben des Messmanagementsystems	759
29.5	Interpretation von Mess- und Prüfergebnissen	718	32.2	Zielsetzung des Messmanagementsystems	759
29.5.1	Auswirkungen der Messunsicherheit auf die Konformitätsprüfung	718	32.3	Verantwortung der Leitung	760
29.5.2	Auswirkung der Messunsicherheit auf die Prozesslenkung und -optimierung ..	719	32.4	Ressourcenmanagement	760
29.5.3	Auswirkung der Messunsicherheit auf andere Bereiche	720	32.4.1	Personal	760
29.6	Zusammenfassung und Ausblick	721	32.4.2	Informationsressourcen	761
			32.4.3	Einsatz von Software	761
			32.4.4	Kennzeichnung des Messmittels	761
30	Rückführung und Kalibrierung	726	32.4.5	Materialressourcen	762
	<i>Peter Ullig</i>		32.4.6	Externe Lieferanten	763
30.1	Rückführung als Basis für das Messwesen	727	32.5	Metrologische Bestätigung	763
30.2	Kalibrierungen und Akkreditierung ..	728	32.5.1	Anforderungen an ein Kalibrierlabor ..	764

32.5.2	Aufzeichnung bei der Bestätigung	766	34.3.4	Bewertung der Fähigkeitskenngrößen ..	793
32.5.3	Intervall der Bestätigung/Prüfzyklus	767	34.4	Langzeitauswertungen	795
32.6	Messprozess	769	34.5	Auf Stichproben basierende Prozessregelung und Digitalisierung	796
32.7	Verbesserung des Messmanagementsystems	772	35	Zukunftsfähige Produktionssysteme durch Predictive Quality	800
32.8	Aufbewahrungs dauer	772		<i>Daniel Buschmann, Max Ellerich, Louis Huebser, Marie Lindemann, Peter Schlegel, Robert H. Schmitt</i>	
32.9	Einsatz von Software	773			
32.10	Zusammenfassung	774			
33	Statistik als Basis qualitätsmethodischen Denkens und Handelns	776	35.1	Digitalisierung zur Abbildung zukunftsfähiger Produktionssysteme	801
	<i>Letzter öffentlicher Vortrag von Walter Masing anlässlich des Q-DAS-Forums in Weinheim am 26. 11. 2003</i>		35.1.1	Digitisierung, Digitalisierung und digitale Transformation	801
33.1	Beginn	777	35.1.2	Internationale Entwicklungen der digitalen Transformation	802
33.2	Vor-Moderne	777	35.2	Data Analytics zur Analyse zukunftsfähiger Produktionssysteme	804
33.3	Walter Shewhart	778	35.2.1	Einführung in Data Analytics	804
33.4	Wirtschaftlichkeit	779	35.2.2	Statistische Ansätze und maschinelles Lernen	805
33.5	Stichproben	779	35.2.3	Anwendungsbeispiel des Maschinellen Lernens in der Produktion	808
33.6	Von TESTA zur Deutschen Gesellschaft für Qualität	780	35.2.4	Bedeutung von Data Analytics für die Qualität	815
33.7	Denken in Wahrscheinlichkeiten	781	35.3	Predictive Quality zur Optimierung zukunftsfähiger Produktionsysteme	816
33.8	Statistische Arbeit	781	35.3.1	Einführung von Predictive Quality aus technischer Sicht	817
33.9	Auslegung durch den Leser	782	35.3.2	Einführung von Predictive Quality aus unternehmerischer Sicht	821
33.10	Abschluss	782	35.4	Fazit und Ausblick	825
34	Statistische Prozessregelung (SPC) ..	784			
	<i>Alfred Schulze, Markus Schmidt</i>				
34.1	Einleitung	785	36	Lieferantenmanagement und Lieferanteninnovation	831
34.2	Prozessanalyse	785		<i>Stephan M. Wagner</i>	
34.2.1	Datenaufnahme	786	36.1	Einleitung	832
34.2.2	Zeitabhängige Verteilungsmodelle	787	36.2	Planung	833
34.2.3	Qualitätsregelkarten und Verteilungsmodelle	789	36.2.1	Lieferantenstrategien	833
34.2.4	Prozessstabilität/Beherrschter Prozess ..	789	36.2.1.1	Strategien für die Lieferantenbasis ..	834
34.3	Prozessbeurteilung	791	36.2.1.2	Strategien für einzelne Lieferanten ..	834
34.3.1	Fähigkeitskenngrößen als Prozessmerkmal	791	36.2.2	Segmentierung der Lieferantenbasis ...	834
34.3.2	Berechnung der Fähigkeitskenngrößen ..	791	36.2.2.1	Segmentierung nach Beschaffungsvolumen	834
34.3.3	Zweidimensionale Fähigkeitskenngrößen	792	36.2.2.2	Segmentierung nach Bedeutung und Komplexität	836

36.2.2.3	Segmentierung nach Lieferanten- beziehungen	837	37	Qualitätssicherungsvereinbarungen 860
				<i>Michael Kroonder</i>
36.3	Management der Lieferantenbasis ...	838	37.1	Die Bedeutung der Qualitätssicherungs- vereinbarung
36.3.1	Lieferantenbeurteilung und -auswahl ...	838		861
36.3.1.1	Risikominimierung	838	37.2	Definitionen
36.3.1.2	Risikomanagement	839		861
36.3.1.3	Beurteilungsverfahren	839	37.3	Was „fordert“ die DIN EN ISO 9001:2015?
36.3.1.4	Beurteilungskriterien	840		863
36.3.1.5	Unterstützung von Lieferantenauswahl- entscheidungen mit Künstlicher Intelligenz (KI)	841	37.4	Sinn und Zweck: Warum braucht man eine QSV?
36.3.2	Reduzierung der Lieferantenbasis	841		866
36.3.2.1	„Optimale“ Lieferantenanzahl	841	37.5	Aufwand und Nutzen: Welchen Preis hat Qualität?
36.3.2.2	Vorgehen	842		868
36.3.2.3	Tools	842	37.6	Wahl des richtigen Zeitpunktes und Handlungsbedarf
36.3.3	Lieferantenauditierung	843		869
36.3.3.1	Informationen „aus erster Hand“	843	37.7	Einbindung in das Vertragssystem ...
36.3.3.2	Vorbereitung	843		871
36.3.3.3	Ankündigung	843	37.8	Anforderungen von außen
36.3.3.4	Vorbereitung durch den Lieferanten ...	844		872
36.3.3.5	Auditierung vor Ort	844	37.9	Inhalt der Vereinbarung
36.3.3.6	Nachbereitung	844	37.9.1	Vertragsgegenstände
36.4	Lieferantenentwicklung	845	37.9.2	System des Qualitätsmanagements
36.4.1	Lieferantenentwicklung als Ansatz bei „Lieferantenproblemen“	845	37.9.3	Informations-/Nachweispflicht
36.4.2	Typologisierung der Lieferanten- entwicklung	845	37.9.4	Eingangsprüfungen beim Hersteller ...
36.4.3	Prozess der Lieferantenentwicklung ...	847	37.9.5	Ansprechpartner
36.4.4	Erfolgsfaktoren der Lieferanten- entwicklung	847	37.9.6	Zeitlicher Geltungsbereich
36.5	Lieferantenintegration/-innovation ...	848	37.10	Inhalte der Anlagen
36.5.1	Integration in die Wissensphase	848	37.10.1	Anlage „n“ – „Vertragsgegenstände“ ...
36.5.1.1	Integration in die Produktentwicklung ..	848	37.10.2	Anlage „n+1“ – „QM-System“
36.5.1.2	Integration in das Fuzzy Front End (FFE)	849	37.10.3	Anlage „n+2“ – „Anforderungen“
36.5.1.3	Zusammenarbeit mit Start-up-Lieferanten	849	37.10.4	Anlage „n+3“ – „Positivliste“
36.5.2	Integration in die Industrialisierungs- phase	849	37.11	Einbindung in die Prozesslandschaft .
36.6	Controlling	851	37.12	Zusammenfassung
36.6.1	Controlling-Unterstützung des Lieferantenmanagements	851	TEIL V	Qualitätsmanagement in der Nutzungsphase
36.6.2	Lieferantenbewertung	852		881
36.6.2.1	Bewertungskriterien	852	38	Qualitätsmanagement für die Erbringung von Dienstleistungen und Neuerung von Geschäfts- modellen
36.6.2.2	Datenerhebung	853		884
36.6.2.3	Durchführung der Bewertung	854	38.1	Wirtschaftliche Relevanz von Dienstleistungserbringung und neuen Geschäftsmodellen
36.6.2.4	Festlegung des Ergebnisses	854		885
36.6.2.5	Interne Kommunikation	855	38.2	Messung der Dienstleistungsqualität .
36.6.2.6	Kommunikation gegenüber den Lieferanten	855	38.2.1	Kundenorientierte Messungen
36.6.2.7	Konsequenzen der Bewertung	855	38.2.1.1	Objektive Messungen
36.7	Schlussbetrachtung	857	38.2.1.2	Subjektive Messungen
				888

38.2.2	Unternehmensorientierte Messungen	894	40.1.1.5	Zertifizierung von Qualitätsmanagementsystemen	933
38.2.2.1	Managementorientierte Messungen	894	40.1.2	Informationszeichensysteme	934
38.2.2.2	Mitarbeiterorientierte Messungen	894	40.1.2.1	Bio-Siegel	934
38.3	Analyse der Dienstleistungsqualität ..	896	40.1.2.2	EU-Energielabel	935
38.3.1	GAP-Modell der Dienstleistungsqualität ..	896	40.1.2.3	Fairtrade-Zeichen (FAIRTRADE DEUTSCHLAND)	936
38.3.2	Beschreibung weiterer Modelle der Dienstleistungsqualität	898	40.1.2.4	Grüner Knopf	937
38.4	Fazit	899	40.1.2.5	Stiftung Warentest	937
39	Kundendienst	904	40.1.3	Prüfzeichensysteme	938
	<i>Volker Harms, Thomas Harms</i>		40.1.3.1	LGA-Zeichen	938
39.1	Kundendienst – Service für Kunden und Produkte	905	40.1.3.2	QS-Zeichen	939
39.1.1	Produktbegleitende Dienstleistung	905	40.1.4	Sicherheitszeichensysteme	939
39.1.2	Marktbedeutung des Kundendienstes ..	905	40.1.4.1	GS-Zeichen	939
39.2	Leistungsmerkmale des Kundendienstes	907	40.1.4.2	VDE-Zertifizierungssystem	940
39.2.1	Leistungsfaktoren	907	40.1.5	Umweltzeichensysteme	940
39.2.2	Dienstleistungsmerkmale	908	40.1.5.1	Blauer Engel	941
39.3	Die operative Durchführung des Kundendienstes	911	40.1.5.2	EU Ecolabel	941
39.3.1	Kundendienstleistungen	911	40.1.5.3	EMAS-Zeichen	942
39.3.2	Kundendienstprozesse	912	40.1.5.4	FSC-Zeichen	943
39.3.3	Kundendienstfunktionen	915	40.1.5.5	PEFC-Zeichen	943
39.3.4	Service Management System	916	40.1.6	Das RAL Gütezeichensystem	944
39.4	Kundendienstqualität	918	40.1.6.1	RAL Gütezeichen	944
39.4.1	Abhängigkeit von der Produktqualität ..	918	40.1.6.2	Art und Gestaltung der RAL Gütezeichen	945
39.4.2	Prozessqualität	918	40.1.6.3	Gütegemeinschaften	945
39.4.3	Nutzenerwartung contra Kundendienstleistung	919	40.1.6.4	Festlegung der Güteanforderungen	945
39.4.4	Qualitätswerkzeuge im Kundendienst ..	920	40.1.6.5	Güteüberwachung	946
39.5	Kundendienstcontrolling	922	40.1.6.6	RAL Gütezeichen und der Wettbewerb ..	946
39.5.1	Controllingablauf	922	40.1.6.7	RAL Gütezeichen versus Qualitätsmanagement und Konformitätsbewertung (QM-Systeme)	946
39.5.2	Kennzahlen im Kundendienst	923	40.1.6.8	Schnittstellen der RAL Gütesicherungen zu anderen Systemen	947
39.6	Verkauf von Kundendienstleistungen	924	40.1.6.9	Bedeutung von RAL Gütezeichen im harmonisierten und globalisierten Markt	947
39.7	Entwicklungstendenzen	925	40.2	Schutz von Kennzeichnungen	948
40	Warenkennzeichnung	928	41	Gebrauchstauglichkeit und Gebrauchswert	950
	<i>Rüdiger Wollmann</i>			<i>Markus Bautsch</i>	
40.1	Zertifizierung	931	41.1	Geschichtliche Entwicklung	951
40.1.1	Konformitätszeichensysteme	931	41.2	Begriffsdefinitionen	951
40.1.1.1	CE-Kennzeichnung	931	41.3	Grundsätze des vergleichenden Warentests	953
40.1.1.2	DIN-Geprüft-Zeichen-/DINplus-Zeichen-Zertifizierungsprogramm	932	41.4	Ablauf eines Warentests	954
40.1.1.3	DVGW-Zertifizierungssystem	932	41.4.1	Vorbereitung	954
40.1.1.4	KEYMARK	933	41.4.2	Prüfprogramm	955
			41.4.3	Prüfdurchführung	955

41.5	Qualitätssicherung und Information der Öffentlichkeit	957	42.3.4.1	Europäisch harmonisierte Produkte	983
			42.3.4.2	Europäisch nicht harmonisierte Produkte	983
			42.3.4.3	DIN- und EN-Normen	984
42	Juristische Produktverantwortung	961	42.3.5	Vorhersehbare Verwendung	984
	<i>Christian Thomas Stempfle</i>		42.3.6	Spezielle Rechtsvorschriften für Verbraucherprodukte (§ 6 ProdSG)	984
42.1	Grundlagen der deutschen Produzentenhaftung	963	42.3.6.1	Zusätzliche Pflichten beim Inverkehrbringen	985
42.1.1	Materiellrechtliche Grundlagen der Produkthaftung	963	42.3.6.2	Pflichten nach dem Inverkehrbringen	985
42.1.1.1	Keine vertragliche Haftung des Herstellers	963	42.3.7	Gebrauchsanleitung/Nutzerinformation	985
42.1.1.2	Verschuldenshaftung und Gefährdungshaftung des Herstellers	964	42.3.8	CE-Kennzeichnung	985
42.1.2	Verschuldenshaftung gemäß § 823 Abs. 1 BGB	964	42.3.9	GS-Zeichen	986
42.1.3	Verschuldenshaftung gemäß § 823 Abs. 2 BGB	965	42.3.10	Behördliche Marktüberwachung	986
42.1.4	Gefährdungshaftung gemäß § 1 ProdHaftG	966	42.3.11	Adressaten der behördlichen Maßnahmen	986
42.1.5	Wann liegt eine Rechtsgutsverletzung vor?	966	42.4	Produkthaftung und US-Risiko	987
42.1.5.1	Körperverletzung	966			
42.1.5.2	Gesundheitsverletzung	967	TEIL VI	Qualitätsmanagement und Unternehmensführung	989
42.1.5.3	Eigentumsverletzung	967			
42.1.6	Wer haftet neben dem Hersteller?	967	43	Qualitätsmanagement in der Unternehmensführung – Management der Qualität oder Qualität des Managements?	992
42.1.6.1	Haftung von Mitgliedern der Geschäftsleitung und (leitenden) Mitarbeitern	967		<i>Herbert Schnauber</i>	
42.1.6.2	Haftung des Quasiherstellers	968	43.1	Standort Deutschland wettbewerbsfähig gestalten und halten	994
42.1.6.3	Haftung des Importeurs	968	43.2	Die Qualität der Führung ist ganz entscheidend	994
42.1.6.4	Haftung des Lieferanten	968	43.3	Führen heißt Motivation zur Entfaltung kommen lassen	995
42.1.7	In welcher Höhe wird gehaftet?	968	43.4	Von der Pflicht zur Kür	997
42.1.8	Wann ist ein Produkt fehlerhaft?	968	43.5	Ist Qualität nur ein Kostenfaktor?	998
42.1.8.1	Konstruktions- und Fabrikationsfehler	969	43.6	Wertschöpfung durch Wertschätzung	999
42.1.8.2	Instruktionsfehler	971	43.7	Auch die Politik ist gefordert	1000
42.1.8.3	Wie lange muss das Produkt den Sicherheitsanforderungen entsprechen?	973	43.8	Mit Konsequenz zum Erfolg!	1001
42.1.8.4	Entwicklungsfehler	974	43.9	Resümee	1002
42.1.8.5	Produktbeobachtung	974			
42.1.8.6	Herstellung und Zukauf	975	44	Führung und Qualität	1004
42.1.8.7	Befundsicherungspflicht	976		<i>Wolfgang Schirmer</i>	
42.1.8.8	Beweislastverteilung	976	44.1	Einführung	1005
42.1.8.9	Rückruf	978		44.1.1 Das Ziel: Eine Zusammenschau	1005
42.2	Produkthaftung und Strafrecht	979		44.1.2 Klärung der Begriffe	1005
42.3	Staatliche und behördliche Vorgaben an die Produktsicherheit	981			
42.3.1	Geltungsbereich	982			
42.3.2	Beschränkungen des Geltungsbereichs	982			
42.3.3	Produktdefinition des ProdSG	982			
42.3.4	Rechtmäßige und unrechtmäßige Produkte	983			

44.1.3	Wie müssen sich Führungskräfte verhalten, damit Qualität entstehen kann?	1006	46	Aus-, Fort- und Weiterbildung	1036
				<i>Horst Methner</i>	
44.2	Vorbedingungen	1007	46.1	Einleitung	1037
44.2.1	Wirtschaftliche Rahmenbedingungen . .	1007	46.2	Ziele der Bildungsmaßnahmen	1037
44.2.2	Der Kunde im Fokus der Leistung	1008	46.3	Kompetenz und Qualifikation	1038
44.2.3	Die positive Vorannahme über den Mitarbeiter und seine Fähigkeiten	1008	46.4	Aus-, Fort- und Weiterbildungsmöglichkeiten	1039
44.3	Die Motivation der Mitarbeiter positiv unterstützen	1010	46.4.1	Berufliche Erstausbildung	1039
44.3.1	Grundlagen zum Motivationsbegriff . .	1010	46.4.2	Tertiäre berufliche Bildung	1039
44.3.2	Die Eigenmotivation der Mitarbeiter fördern	1011	46.4.3	Firmenechte Lehrgangssysteme	1039
44.3.3	Die Mitarbeiter nicht demotivieren	1012	46.4.3.1	Das Lehrgangssystem der Deutschen Gesellschaft für Qualität	1039
44.4	Über Normen und Werte das soziale Dürfen für Qualität vermitteln	1013	46.4.3.2	Weitere Lehrgangssysteme	1040
44.4.1	Grundlagen zum Begriff der Unternehmenskultur	1013	46.4.3.3	Internationalisierung der Zertifikate . .	1041
44.4.2	Die Organisation mit den Mitteln der indirekten Führung positiv gestalten . .	1014	46.4.4	Firmeninterne Weiterbildung	1041
44.4.3	Die Unternehmenskultur positiv beeinflussen	1015	46.5	Entwicklung der Weiterbildung	1042
44.5	Durch sichtbares Handeln für Qualität überzeugen	1017	46.5.1	Strategische Überlegungen	1042
44.5.1	Qualität als zentraler Inhalt bei der Anwendung der Führungsinstrumente .	1017	46.5.2	Systematisierung der Weiterbildung . .	1042
44.5.2	Vorbild für die Mitarbeiter sein und Qualität vorleben	1018	46.5.3	Gestaltung von Bildungsmaßnahmen . .	1042
44.6	Fazit: Qualität muss zentraler Bestandteil der Führung sein	1020	46.5.3.1	Entwicklung von Lehrgängen	1042
45	Total Quality Management als Philosophie des unternehmerischen Qualitätsmanagements	1024	46.5.3.2	Pädagogik und Didaktik	1043
			46.5.3.3	Entwicklung von Prüfungen	1044
			46.5.4	Kosten und Wirtschaftlichkeit	1044
			46.6	Ausblick	1045
			47	Qualitätsmanagement und Motivation	1050
				<i>Helmut Lieb</i>	
			47.1	Ausgangssituation	1051
			47.2	Implikationen für die Praxis	1052
			47.3	Motivation	1053
			47.4	Motivationstheorien	1054
			47.4.1	Bedürfnistheorie von Maslow	1054
			47.4.2	Zwei-Faktoren-Theorie von Herzberg . .	1055
			47.4.3	XY-Theorie von McGregor	1055
			47.4.4	Fazit zu den Motivationstheorien	1055
			47.5	Motivation und Qualitäts-managementsysteme	1056
			47.6	Umgang mit diesen Erkenntnissen in der Praxis	1057
			47.7	Fazit	1058
45.1	TQM-Basics	1025			
45.2	Politik, Strategie und Ziele	1026			
45.3	Führung	1028			
45.4	Mitarbeiterorientierung	1029			
45.5	Prozessorientierung	1029			
45.6	Kundenorientierung	1030			
45.7	Ergebnisorientierung	1031			
45.8	Umsetzung des Total Quality Managements	1031			
45.9	Zusammenfassung	1032			

48	Die Transformation des Qualitätsmanagers	1062	48.3	Arbeitsmarktsituation im Qualitätswesen	1068
	<i>Hans Weber</i>		48.4	Interim-Management	1073
48.1	Status quo	1063			
48.2	Qualität neu denken	1064		Stichwortverzeichnis	1079

Vorwort

1980, vor über 40 Jahren, erschien die erste Auflage des Handbuchs Qualitätsmanagement von Walter Masing. Seine Idee, zusammen mit mehreren Autorinnen und Autoren des Fachgebiets, das Thema aus verschiedenen Blickwinkeln zu durchleuchten, um einen umfassenden Eindruck über den Stand der Entwicklung dieses weit gespannten Themenfeldes zu vermitteln, wurde schlagartig ein voller Erfolg. Eigentlich gar nicht überraschend, denn immerhin ist Qualität ein Schlüsselfaktor zu unternehmerischer Exzellenz. Zwar haben sich im Laufe der Zeit Schwerpunkte verschoben und neue Inhalte sind hinzugekommen, jedoch gilt nach wie vor, dass neben einer kritischen Analyse der globalen Wettbewerbssituation die richtige Unternehmenspositionierung im Beziehungsgeflecht der drei Treiber und Erfolgsfaktoren *Qualität*, *Kosten* und *Zeit* gefunden werden muss. Nicht von ungefähr gebührt dabei der Qualität die erste Stelle. Auch wenn heute, insbesondere in den Leitungsebenen und beim Topmanagement, immer noch eine Fixierung auf die Faktoren *Kosten* und *Zeit* erfolgt, wird vielfach übersehen, dass Qualität nicht nur aus Kundensicht der Wettbewerbsfaktor „Nummer 1“ ist, sondern dass nur mit einer auf Qualität fokussierten Unternehmensausrichtung ein außerordentlich wirksamer Hebel zur Kostensenkung sowie auch zur Reduzierung der „Time to Market“ gegeben ist. Eine Einengung des Qualitätsbegriffs auf die Folgen von Nicht-Qualität und die resultierenden Kosten, welche sich z.B. im Zusammenhang mit den in letzter Zeit dramatisch gestiegenen Kosten für Rückrufaktionen, Entwicklungsänderungen unmittelbar vor Produktionsbeginn oder Nacharbeits- und Fehlleistungskosten manifestieren, vernachlässigt seine gestalterischen und präventiven Ordnungsmerkmale.

In der Vielzahl der derzeit diskutierten Managementphilosophien wird häufig übersehen, dass ausschließlich ein auf die Erfüllung der Kundenforderungen ausgerichtetes Handeln den Spielraum bietet, ökonomische, ökologische und unternehmensstrategische Zielsetzungen miteinander zu verbinden. Oder um es mit Masing zu sagen: „In einer vom Markt geprägten Wirtschaftsordnung ist ein Unternehmen nur dann auf Dauer erfolgreich, wenn es Waren oder Dienstleistungen mit Gewinn anbieten kann,

die bei den potenziellen Konsumenten durch Beschaffenheit, Preis und Lieferzeit genügend Kaufanreiz auslösen.“ Das heißt, das Qualitätsmanagement moderner Prägung mit seinen technischen, operativen und strategischen Dimensionen bietet den wirkungsvollsten Bezugsrahmen für eine aussichtsreiche Marktpositionierung und den nachhaltigen Unternehmenserfolg in der sich stetig verschärfenden globalen Wettbewerbsarena.

Das vorliegende Handbuch in seiner siebten, überarbeiteten Auflage wartet erstmals mit einer neuen Kapitelstruktur auf, ohne dabei den von Professor Masing konzipierten Geist und Charakter des Handbuchs zu verlieren. In Zeiten der Digitalisierung sowie hochentwickelter Kommunikations- und Rechnertechnologien verschwimmen die Grenzen bisher etablierter Produktformen. Eine trennscharfe Unterscheidung zwischen materiellen Produkten, Software und Dienstleistungen ist nicht mehr möglich. Vielmehr existieren diverse hybride Produktformen. Dieser Entwicklung müssen auch die Methoden und Systeme, mit denen Produkte entwickelt und produziert werden, Rechnung tragen. Demzufolge wurde die bisherige Einteilung der Kapitel anhand der genannten Produktformen aufgelöst und eine Neustrukturierung anhand des Produktlebenszyklus – von der Entwicklung über die Produktion zur Nutzungsphase – vorgenommen.

Des Weiteren eröffnet die genannte technologische Entwicklung neue Möglichkeiten für das Qualitätsmanagement. Diese spiegeln sich zum Beispiel in den neuen Kapiteln „Zukunftsfähige Produktionssysteme durch Predictive Quality“ oder „Customer Insights in der Produktentwicklung“ wider und bereichern das Spektrum des Handbuchs. Während die Einzelbeiträge die wesentlichen Inhalte in komprimierter Form darstellen, erlauben zahlreiche Literaturangaben das Erschließen der zugrunde liegenden breiten und sehr fundierten Wissensbasis.

Herrn Felix Sohnius vom Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen sowie Frau Julia Stepp vom Carl Hanser Verlag gebührt Dank für die Koordination des Werkes und ihr Engagement, das die präzise Erstellung ermöglichte. Ebenso gilt der Dank allen beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Verlags für ihre Mühen, die in die

angemessene Ausgestaltung des Handbuchs geflossen sind. Nicht zuletzt ist allen Autorinnen und Autoren für ihre detaillierte und prägnante Arbeit zu danken. Sie belegen mit ihren Erfahrungen und der Darstellung der zahlreichen Facetten des Qualitätsbegriffs die These, die Wal-

ter Masing einmal wie folgt formuliert hat: „Qualität ist nicht alles, aber ohne Qualität ist alles nichts wert.“

Aachen, Mai 2021
Die Herausgeber

21

Qualitätsmanagement bei der Entwicklung smarter Produkte

Raphael Kiesel, Robert H. Schmitt

Durch die fortschreitende Digitalisierung der Gesellschaft ist der Einsatz von Software in technischen Produkten zum Standard geworden. Software stellt eine notwendige Voraussetzung dafür dar, dass technische Produkte mit der Umwelt, anderen Produkten oder dem Hersteller vernetzt werden, dass sie kommunizieren können und dass sie zu sogenannten „smarten Produkten“ werden (Porter/Heppelmann 2014). Smarte Produkte und die dadurch möglichen Dienstleistungen nehmen einen immer größeren Platz im betrieblichen Kontext und im Endkundenbereich ein. So bieten die smarten Produkte den Unternehmen und Kunden völlig neue Möglichkeiten zur Interaktion und schaffen Mehrwerte für beide Seiten (Strobel et al. 2019).

Trotz des weit verbreiteten Einsatzes von Software in Produkten halten die Schwierigkeiten in der Softwareentwicklung nach wie vor an. So zeigt die aktuelle CHAOS-Studie der Standish Group, dass zwischen 2011 und 2015 nur 29 % der über 2500 untersuchten Softwareprojekte erfolgreich waren, das heißt, dass die Fertigstellung rechtzeitig, ohne Kostenüberschreitung und mit dem ursprünglich geforderten Funktionsumfang erfolgte. 52 % der Entwicklungsprojekte wurden terminlich oder finanziell überschritten, die restlichen 19 % abgebrochen. Die Abbruchquote bei Großprojekten lag im betrachteten Zeitraum gar bei 43 % (Standish Group International 2015).

Doch nicht nur die Softwareentwicklung stellt eine Herausforderung dar. Die smarten Produkte verfügen im Vergleich zu klassischen Produkten neben den herkömmlichen Produktkomponenten über zur Kommunikation und Interaktion notwendige Bauteile, wodurch die Komplexität und somit die Schwierigkeit bei der Entwicklung smarter Produkte deutlich zunimmt. Das Projektmanagement für solche interdisziplinären Entwicklungsprojekte ist daher von zentraler Bedeutung, um eine erfolgreiche Produktentwicklung zu gewährleisten.

Dieses Kapitel zeigt Chancen, Risiken und Problemstellungen bei der Entwicklung smarter Produkte auf. Neben den besonderen Anforderungen von Entwicklungsprozessen in einem interdisziplinären Umfeld werden die bestehenden Vorgehensweisen der beteiligten Einzeldisziplinen Softwaretechnik, Mechanik und Elektronik sowie Konzepte für die Absicherung und Synchronisation von interdisziplinären Entwicklungsprojekten dargestellt. Die Konzepte der VDI-Richtlinie 2206 – Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, das 3-Ebenen-Vorgehensmodell und das ProMiS-Konzept werden hierzu exemplarisch vertieft.

21.1 Ausgangssituation – smarte Produkte und interdisziplinäre Entwicklungsprozesse

Mechanische Komponenten, Strukturen und Funktionalitäten bilden die Grundlage industrieller Produkte. Zahlreiche dieser Funktionalitäten wurden seit den 1990er Jahren sukzessiv durch Software übernommen (Bender et al. 2005, Pfeifer et al. 2003). Zusätzlich zur Umverteilung der Aufgabenrealisierung können Funktionen in technischen Systemen durch die Verwendung von Software implementiert werden, deren Umsetzung zuvor nicht möglich gewesen wäre. So verdanken zum Beispiel das Antiblockiersystem (ABS) und das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) große Teile ihrer Leistungsfähigkeit den enthaltenen Softwarekomponenten (Pfeifer/Voigt 2004, Abramovici et al. 2018). Smarte Produkte besitzen zudem die Fähigkeit, mit anderen Produkten und dem Internet zu kommunizieren und sind um internetbasierte Dienste ergänzt. Ein Beispiel für ein smartes Produkt aus dem Automobilbereich ist der Tesla, dessen Wartungsintervalle per Ferndiagnose ermittelt und per App terminiert werden (Abramovici et al. 2018). Auch im Maschinen- und Anlagenbau hat die Bedeutung und Komplexität bei der Verwendung von Software schnell zugenommen und ist zur treibenden Kraft für Produktinnovationen und für die Digitalisierung der Produktionsprozesse geworden (Strobel et al. 2019). Zudem befähigen smarte Produkte die produzierenden Unternehmen, ihr Produktangebot durch innovative Dienstleistungen wie z.B. Remote Monitoring oder Predictive Maintenance zu erweitern (Freitag et al. 2019).

21.1.1 Chancen und Herausforderungen smarter Produkte

Softwarefunktionen sind zum charakteristischen Qualitätsmerkmal technischer Produkte geworden (Schmidt 2007) und besitzen sowohl technologische als auch wirtschaftliche Bedeutung (Liggesmeyer/Rombach 2005, PTC Inc. 2013, Strobel et al. 2019).

Auf der technologischen Ebene lässt sich die Zunahme der Leistungsfähigkeit anhand des seit 40 Jahren erfüllten Moore'schen Gesetzes¹ – insbesondere im Bereich der Transistoren auf Mikrochips – erklären. Hinzu kommen

Fortschritte der Software-Algorithmen zur Daten- und Informationsverarbeitung. Die Realisierung von Funktionalität durch Software und Vernetzung birgt den Vorteil eines vergrößerten Funktionsumfangs und insbesondere neuer Möglichkeiten der Interaktion zwischen Kunden und Unternehmen. Dies resultiert in einem großen wirtschaftlichen Potenzial (Strobel et al. 2019): So wird beispielsweise der Umsatz durch Produkte aus dem Smart Home-Bereich² in Deutschland im Jahr 2024 auf 6,7 Mrd. Euro geschätzt, bei einer jährlicher Umsatzsteigerung von 11,8 % zwischen 2020 und 2024. Der weltweite Umsatz durch Smart Home-Produkte wird im Jahr 2024 auf 125 Mrd. Euro prognostiziert (Statista 2019). Auch im Maschinen- und Anlagenbau besteht ein enormes wirtschaftliches Potenzial durch smarte Produkte: Allein die globalen Umsätze durch Predictive Maintenance und die damit verbundene Soft- und Hardware werden auf 20 Mrd. Euro vorausgesagt, bei einem jährlichen Umsatzwachstum von 25,5 % zwischen 2017 und 2024 (Market Research Future 2019).

Das große Potenzial, das sich aus dem Zusammenwirken unterschiedlicher Fachgebiete ergibt, erfordert jedoch einen deutlichen größeren Koordinationsbedarf im Rahmen des Entwicklungsprozesses (Eversheim 2001, Anderl et al. 2012). Unternehmensprozesse müssen diese Aspekte berücksichtigen, da die effektive Softwareentwicklung und ihre reibungslose Integration in die Entwicklungsprojekte einen entscheidenden Erfolgsfaktor bei der Realisierung smarter Produkte darstellen (Pfeifer/Voigt 2004, Anderl et al. 2012, PTC Inc. 2013).

21.1.2 Problemstellung bei interdisziplinären Entwicklungsprozessen

Die Problematik bei der Entwicklung smarter Produkte liegt im Speziellen in der Einbindung der Softwareentwicklung in komplexe technische Umgebungen (Pfeifer/Voigt 2004). Oftmals wird die Entwicklung der Software – trotz ihres hohen Stellenwertes – bei komplexen technischen Produkten nach wie vor als „Anhänger“ des Entwicklungsprozesses betrachtet und wird der Hardwareentwicklung zeitlich häufig nachgeschaltet. Dies ist für die Abstimmung zwischen den Fachdisziplinen während der Entwicklung fatal (Eversheim/Schuh 2005, Pfeifer et al. 2003, Anderl et al. 2012).

Es resultiert eine mangelhafte Synchronisation, die zur Verschleppung von Fehlern und Unklarheiten in allen Projektphasen führen kann. Eine Behebung während der

¹ Die Dichte der Transistoren auf einer integrierten Schaltung steigt mit der Zeit exponentiell an (Moore 1965).

² Smart Home umfasst den Verkauf von vernetzten Geräten zur Hausautomatisierung an private Endnutzer (B2C) und die dazugehörigen Dienstleistungen.

Systemintegration ist mit hohem Aufwand verbunden und eine Ursache für die beschriebenen Budget- und Terminüberschreitungen (Bender et al. 2005, Standish Group International 2015, Abramovici et al. 2018).

Neben diesen ablaufstrukturellen Schwächen führt die Verwendung von unterschiedlichen Fachsprachen und Beschreibungstechniken zusätzlich zu Missverständnissen in der Spezifikation der smarten Produkte (Bender et al. 2005).

Dies zeigt, dass zum einen ein Mangel an interdisziplinär geschultem Führungspersonal und interdisziplinär denkenden Fachkräften herrscht. Zum andern bedarf es Methoden zur fachgebietsübergreifenden Entwicklung dieser softwareintegrierten Systeme zur interdisziplinären Abstimmung und Synchronisation der verschiedenen Fachdisziplinen (Anderl et al. 2012).

Während die einzelnen Disziplinen jeweils spezifische Vorgehensweisen zur Durchführung von Entwicklungprojekten etabliert haben, treffen diese bei interdisziplinären Entwicklungen aufeinander und führen zu erheblichen Problemen bei der Planung und Koordination des Gesamtprojekts (Pfeifer 2002). Deshalb wurden erste Versuche unternommen, agile Methoden aus der Softwareentwicklung für die Entwicklung von mechanischen Bauteilen anzuwenden. Die größte Herausforderung bei der Adaption der agilen Methoden aus der Softwareentwicklung ist der enorme Unterschied in der Validierung der Lösungen (Abramovici 2017).

Hervorgehend aus den beschriebenen Schwächen und Problemen bei der Entwicklung smarter Produkte und den Defiziten bei der Adaption der Vorgehensmodelle der beteiligten Einzeldisziplinen wurden Konzepte zur ganzheitlichen Systementwicklung entwickelt, die in diesem Kapitel vorgestellt werden.

Begriff *smar tes Produkt* wird in diesem Kapitel gemäß der Definition der CIRP³ verstanden, welche in Bild 21.1 dargestellt ist (Laperrière/Reinhart 2014).

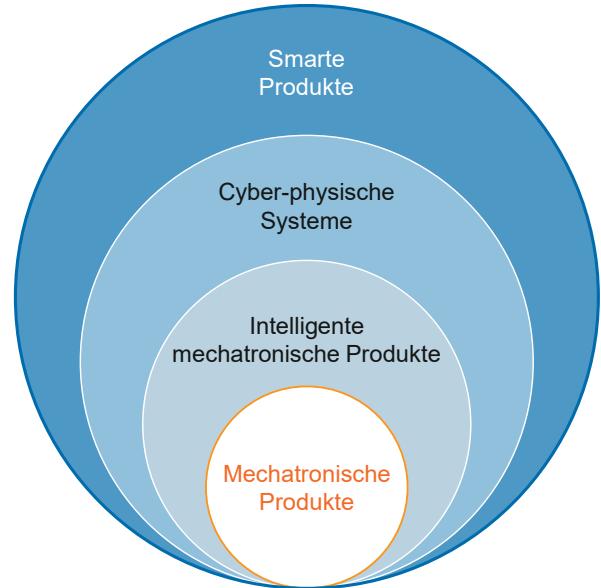


Bild 21.1 Einordnung des Begriffs „smarte Produkte“ (Laperrière/Reinhart 2014)

Demnach vereinen smarte Produkte sowohl materielle als auch immaterielle Komponenten. Die Grundlage der Produkte bilden mechanische Komponenten und Strukturen, welche um elektronische Komponenten und Software ergänzt werden und so zu sogenannten *mechatronischen Produkten* werden. Werden mechatronische Produkte mit zunehmender Intelligenz ausgestattet, entstehen *intelligente mechatronische Produkte*. Werden diese zusätzlich um die Fähigkeit erweitert, mit anderen Produkten und dem Internet zu kommunizieren, ergeben sich *cyber-physische Systeme* (CPS). Ein Produkt wird schließlich zu einem smarten Produkt, sobald die cyber-physischen Systeme um intelligente, internetbasierte Dienste, sogenannte smarte Services, ergänzt werden (Laperrière/Reinhart 2014).

Trotz zunehmender Intelligenz und neuen Services von smarten Produkten, bildet – wie in Bild 21.1 dargestellt – die *Mechatronik* das Herzstück des smarten Produkts, denn ohne funktionierendes mechatronisches System können keine Services angeboten werden und dementsprechend kann keine Wertschöpfung erzielt werden.

Im deutschsprachigen Raum wird Mechatronik häufig gemäß Isermann aus dem Jahr 1999 definiert: „Mechatronik

21.2 Grundlagen smarter Produkte

Als Grundlage für die spätere Darstellung der einzelnen Vorgehensmodelle im Bereich der interdisziplinären Systementwicklung erfolgt zunächst eine Definition der verwendeten Begriffe.

21.2.1 Definition und Eigenschaften

Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Begrifflichkeiten in Bezug auf die Entwicklung smarter Produkte. Der

³ Die CIRP ist die Internationale Akademie für Produktionstechnik. CIRP kommt aus dem Französischen und steht für „Collège International pour la Recherche en Productique“.

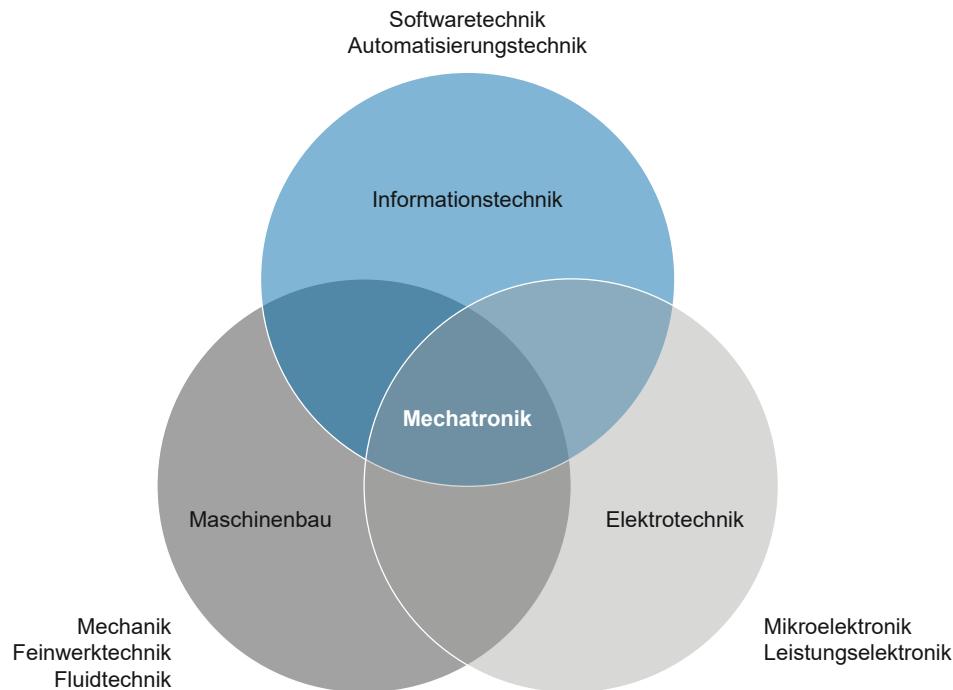


Bild 21.2
Mechatronik – Synergie aus dem Zusammenwirken verschiedener Disziplinen (Isermann 1999, Isermann 2008)

ist ein interdisziplinäres Gebiet, bei dem folgende Disziplinen zusammenwirken: mechanische und mit ihnen gekoppelte Systeme, elektronische Systeme, Informationstechnik. Dabei ist das mechanische System im Hinblick auf die Funktionen dominierend. Es werden synergetische Effekte angestrebt, die mehr beinhalten als die reine Addition der Disziplinen.“ (Isermann 1999)

Im Allgemeinen umfasst die Entwicklung dieser Produkte das synergetische Zusammenwirken der Disziplinen Softwaretechnik, Mechanik/Maschinenbau und Elektronik/Elektrotechnik (Bild 21.2). Dementsprechend werden im weiteren Verlauf dieses Kapitels die Produktentwicklungsprozesse der Disziplinen *Informationstechnik*, *Maschinenbau* und *Elektrotechnik*

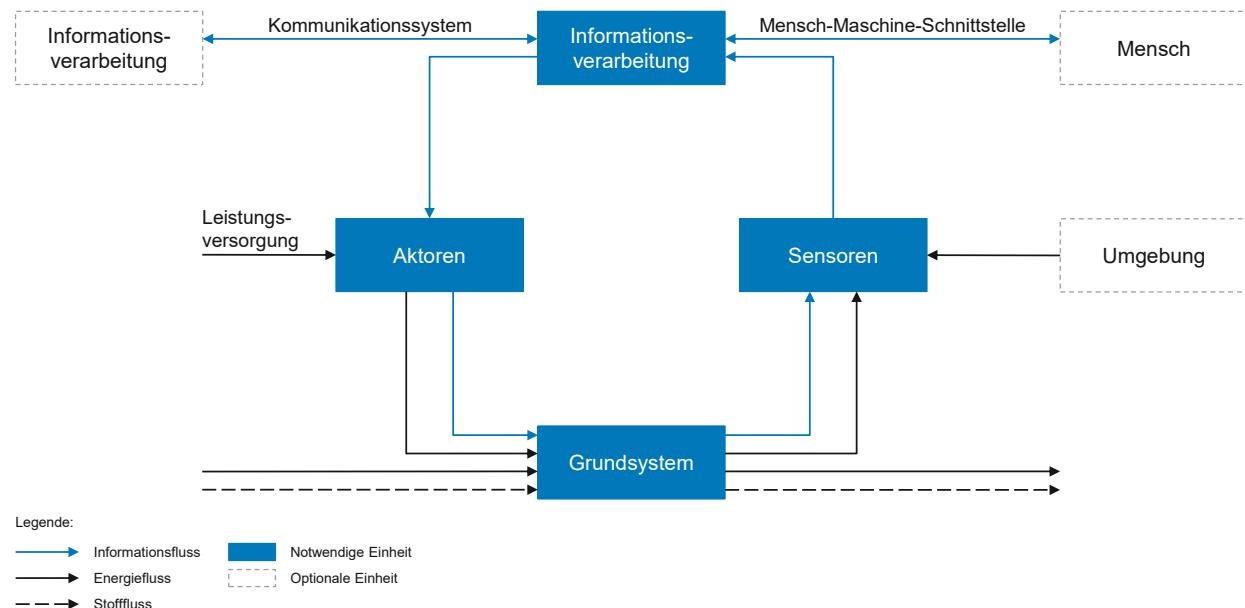


Bild 21.3 Grundstruktur eines mechatronischen Systems (VDI 2206)

nik sowie deren Zusammenspiel genauer betrachtet. Die Produktentwicklung von Services und intelligenten Algorithmen hingegen wird nicht im Detail analysiert.

Ein mechatronisches System setzt sich aus einem mechanischen oder elektrischen Grundsysteem sowie aus Sensoren, Aktoren und einer Informationsverarbeitung zusammen (Bild 21.3). Dadurch zeichnet es sich durch die räumliche und/oder funktionale Integration dieser Komponenten aus. Die mit dem Grundsysteem verbundenen Sensoren und Aktoren übernehmen Überwachungs-, Steuerungs- und Regelungsaufgaben. Dazu bestimmen die Sensoren ausgewählte Zustandsgrößen des Grundsysteums und liefern diese als Eingangsgröße an die Informationsverarbeitung. Diese bestimmt die notwendigen Einwirkungen, mit denen die Zustandsgrößen in gewünschter Weise beeinflusst werden sollen. Die Einwirkungen werden dem Grundsysteum über die Aktoren zugeführt (VDI 2206). Manchmal finden sich darin noch zusätzliche Erweiterungen des Begriffs durch die Integration weiterer Disziplinen wie beispielsweise opto-mechatronische Systeme oder biomechatronische Systeme.

Die Wechselwirkungen zwischen den Systemkomponenten werden unterschieden in Informationsflüsse (z. B. Messgrößen, Steuerimpulse, Daten), Stoffflüsse (z. B. feste Körper, Prüfgegenstände, Gase, Flüssigkeiten) und Energieflüsse (z. B. mechanische, thermische oder elektrische Energie) (Pahl/Beitz 2006).

21.2.2 Interdisziplinäres Umfeld bei der Entwicklung

Die erfolgreiche Entwicklung des mechatronischen Systems des smarten Produkts ist abhängig von der Kombination der Einzeltechnologien und nicht von den Einzeltechnologien selbst (VDI 2206). Das bedeutet, dass das Gesamtsystem und seine Integration im Vordergrund der Entwicklung stehen muss (Liggesmeyer/Rombach 2005, Eversheim/Schuh 2005). Aufgrund der Komplexität und des Synchronisationsbedarfs eines solchen Entwicklungsprojekts ist ein disziplinübergreifend genutztes Vorgehensmodell sowie eine konsequente Planung, Verfolgung und Steuerung des Projektverlaufs notwendig.

Die unterschiedlichen Begriffswelten, Methoden und Erfahrungen sind im Idealfall durch gemeinsam verwendete Beschreibungstechniken zu kompensieren. Diese Situation setzt fachkompetente Mitarbeiter voraus, die zudem flexibel und tolerant gegenüber den anderen beteiligten Disziplinen sind. Weiterhin ist ein entscheidender Faktor sowohl die horizontale Kommunikation (zwischen Entwicklern unterschiedlicher Subsysteme auf gleicher Abstraktionsebene) als auch die vertikale Kommunikation (zwischen System-, Subsystem- und Komponenten-

entwicklern auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen) durch den Entwicklungsprozess zu unterstützen (Liggesmeyer/Rombach 2005).

21.3 Besondere Anforderungen an interdisziplinäre Entwicklungsprozesse

Neben den üblichen Anforderungen an einen Entwicklungsprozess müssen im Entwicklungsprozess für die Mechatronik des smarten Produkts zusätzliche Anforderungen berücksichtigt werden. Grundvoraussetzung ist die gleichwertige Einbindung aller beteiligten Fachgebiete. Indes sind die im Folgenden genannten prozessualen Anforderungen als Mindeststandards geeigneter Entwicklungsprozesse zu verstehen (vgl. Bender et al. 2005).

Anforderungsklärung und Anforderungsverfolgung

Die Klärung und Verfolgung von Anforderungen an ein Produkt müssen durch den Entwicklungsprozess unterstützt werden. Im Gegensatz zu herkömmlichen Produkten existieren Anforderungen aller involvierten Disziplinen.

Früher durchgängige Hardware-, Software- und Systemtests

Dem erhöhten Integrationsrisiko der Arbeitsergebnisse der einzelnen Disziplinen muss durch frühzeitige Systemtests begegnet werden, die anfangs zum Großteil durch Simulationen ausgeführt werden müssen.

Qualitätsförderung/Qualitätsorientierung

Der angewendete Prozess soll qualitätsfördernde Vorgehensweisen berücksichtigen, d. h. notwendige Maßnahmen sollen problemlos im Prozess integriert werden können.

Effektivität und Effizienz

Der Prozess soll die wesentlichen Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten („Roles & Responsibilities“) zur Entwicklung software-intensiver technischer Produkte festlegen, d. h., er soll bestimmen, wer was wann bearbeitet. Die Rollen und Aufgaben sind entsprechend den Fähigkeiten der Mitarbeiter aufzuteilen und nicht

etwa in „Buchungsschlüsseln“ über funktionale Einheiten.

Kundenintegration

Bei kundenindividuellen Projekten sollte der Kunde direkt in das Projekt eingebunden werden, um eine Fehlkomunikation zu vermeiden.

Standardisierung für den Firmeneinsatz

Ein gemeinsames Verständnis der Projektinhalte und -ziele aller Beteiligten ist wesentlich. Neben den eher formalen Aspekten der Standardisierung von Dokumenten, Ergebnissen, verwendeten Richtlinien, Methoden sowie des Vokabulars ist ein einheitliches Verständnis des Projektziels und des Weges dorthin wichtig. Hilfreich hierfür sind sorgfältig durchgeführte Stakeholder-Analysen, eine schriftliche Fixierung der Ziele in einem „Projektvertrag“ und eine von allen akzeptierte, institutionalisierte Kommunikationsstruktur (z. B. Jour Fix-Treffen, Kurzberichte etc.).

Robustheit

Der Prozess muss gegenüber internen wie externen Einflüssen hinsichtlich seiner Ergebnisqualität stabil sein.

Flexibilität

Der Grundprozess muss mit vertretbarem Aufwand an spezifische Gegebenheiten, d.h. den jeweiligen Produktentwicklungsprozess, anpassbar sein. In diesem Zusammenhang wird auch oft von „tailoring“ gesprochen.

Leicht verständliche Grundidee

Der gesamte Entwicklungsprozess soll leicht verständlich und transparent sein, damit er von Mitarbeitern und Management getragen wird.

Termintreue fördern

Durch die Integration und das resultierende Risiko von unvorhergesehenen Nachbesserungen ist besonders auf die Einhaltung festgelegter Termine zu achten. Sowohl die Aufwandsabschätzung als auch das Ablaufcontrolling und die Ablaufsteuerung sollte mit geeigneten Methoden unterstützt werden. Bewährt haben sich im industriellen Umfeld beispielsweise Meilenstein-Trend-Analysen und, Quality-Gate-Systematiken.

Integration etablierter Arbeitsfolgen

Bereits vorhandene, etablierte und erprobte Arbeitsfolgen sollten in den Entwicklungsprozess integriert werden.

Anwendbarkeit

Der eingeführte Entwicklungsprozess soll die Mitarbeiter in ihrer täglichen Arbeit unterstützen und keine zusätzliche Last darstellen.

Nach Schmidt lassen sich die Anforderungen an eine Methode zur Entwicklung software-intensiver technischer Produkte in Kunden-, Unternehmens-, Projektleitungs- und Entwickleranforderungen unterteilen (Schmidt 2007). Aus Sicht der Kunden muss das realisierte Produkt mindestens die richtigen und vollständigen Funktionen enthalten. Das Projektmanagement hat daher sicherzustellen, dass die Anforderungen vollständig und konsistent spezifiziert sowie korrekt umgesetzt werden. Zudem ist ein sicheres, zuverlässiges und robustes System zu implementieren. Die nicht funktionalen Qualitätsmerkmale besitzen eine hohe Priorität und sollten daher besonders hinsichtlich ihrer Erfüllung kontrolliert werden. Dies bedeutet für das Unternehmen, die Abläufe und Methoden des Anforderungsmanagements (engl. Requirements Engineering) so auszugestalten, dass die Kommunikation zwischen Kunden und Entwicklungsteams effizient abläuft sowie eindeutig, transparent und nachverfolgbar dokumentiert wird.

Darüber hinaus sind die Effizienz, die Effektivität und das Projektmanagement zu gewährleisten. Effizienz des Entwicklungsprozesses bedeutet, dass die Methoden mit einem günstigen Aufwand-/Nutzen-Verhältnis angewendet werden. Das Projektmanagement sollte insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen praktikabel sein und von den Mitarbeitern akzeptiert werden. Zusätzlich muss das Projektmanagement die Interdisziplinarität berücksichtigen und unterstützen sowie die beteiligten Disziplinen gleichwertig einbeziehen.

Seitens der Projektleitung bestehen zudem die Forderungen nach einer realistischen Zielsetzung, die terminlichen und inhaltlichen Anforderungen zu erfüllen und transparent darzustellen sowie eine interdisziplinäre Abstimmung und Synchronisation entlang des Prozesses unter Einbindung des Kunden zu gewährleisten.

Für die Entwickler in interdisziplinären Teams stehen wiederum auf technischer Ebene klar definierte Anforderungen und Zwischenergebnisse im Vordergrund. Hier hat sich das Einbeziehen der Teammitglieder in die Bewertung von Erfüllungsgraden der Ergebnisse und die Ableitung akzeptierter, handlungsleitender Vorgaben bewährt. Ein strukturiertes, aber gleichzeitig agiles Projektmanagement ist folglich wichtig. So muss darauf geachtet

werden, dass Innovationen nicht durch mangelnde Flexibilität bzw. unnötige Bürokratisierung unterdrückt werden. Letztlich muss die interdisziplinäre Kommunikation gefördert werden, sodass im Idealfall ein effektiver Wissensaustausch stattfinden kann (Schmidt 2007, Abramovici et al. 2018).

Unabhängig von den aufgeführten Anforderungen an einen Entwicklungsprozess ist ein übergeordneter System-Entwicklungsprozess notwendig (Eversheim/Schuh 2005, Liggesmeyer/Rombach 2005, Anderl et al. 2012). Hierdurch ist eine Koordination der vielfältigen, parallelen Aktivitäten möglich (Eversheim/Schuh 2005), bei der die unterschiedlichen Disziplinen aufeinander abgestimmt und synchronisiert werden (Liggesmeyer/Rombach 2005). Darüber hinaus sind der frühzeitige Austausch sowie ein gemeinsames Verständnis für das zu entwickelnde Produkt und den zu durchlaufenden Prozess zu gewährleisten. Ein solcher Systementwicklungsprozess ist insbesondere im Zuge der Anwendung von Plattformstrategien notwendig, wenn Produktarchitekturen über mehrere Produktfamilien und/oder Produktgenerationen Anwendung finden sollen.

21.4 Bestehende Vorgehensmodelle zur Produktentwicklung der beteiligten Einzeldisziplinen

Die beteiligten Disziplinen Softwaretechnik, Mechanik und Elektronik haben sich weitgehend unabhängig voneinander entwickelt. Daraus resultieren unter anderem fachspezifische Begriffswelten, Methoden und Vorgehensweisen, die im Rahmen einer disziplinspezifischen Produktentwicklung Anwendung finden. In den folgenden Abschnitten wird eine Auswahl domänenspezifischer Vorgehensmodelle⁴ vorgestellt.

21.4.1 Softwaretechnik

In der Softwaretechnik existiert eine Vielzahl von verschiedenen Vorgehensmodellen (auch Prozessmodellen). Exemplarisch werden das Wasserfallmodell, das V-Modell 97, das V-Model XT, das Spiralmodell, das Extreme Programming, der Rational Unified Process, DevOps und SCRUM als weitverbreitete Vorgehensmodelle vorgestellt.

⁴ „Ein Vorgehensmodell unterteilt ein Entwicklungsvorhaben in einzelne Aktivitäten einschließlich ihrer logischen Abfolge und regelt die Verantwortlichkeiten der beteiligten Personen (Rollen). Sie geben eine Antwort auf die Frage: ‚Wer macht was wann?‘ in einem Entwicklungsprojekt.“ (Bender 2005)



Bild 21.4
Qualitätskriterien für Software als Produkt nach ISO 25010 (DIN ISO 25010)

35

Zukunftsfähige Produktions-systeme durch Predictive Quality

**Daniel Buschmann, Max Ellerich, Louis Huebser,
Marie Lindemann, Peter Schlegel, Robert H. Schmitt**

Die Umsetzung von Industrie 4.0 prägt den Wettbewerb produzierender Unternehmen auf globalen Märkten. Wer in diesem Wettbewerb dauerhaft eine Vorreiterrolle einnehmen will, ist gefordert, die Potenziale der Digitalisierung größtmöglich zu realisieren. Die konsequente Nutzung des impliziten Wissens, welches in den exponentiell ansteigenden unternehmerischen Datenmengen steckt, führt über eine starke Hebelwirkung zur kontinuierlichen *Verbesserung der produkt- und prozessbezogenen Qualität*. Gleichzeitig adressiert eine qualitätsgtriebene Optimierung des Ressourceneinsatzes die stetig zunehmenden Nachhaltigkeitsforderungen aus Bevölkerung und Politik. Der rasante *Anstieg der Datenverfügbarkeit* resultiert zum einen aus einer wachsenden Vernetzung von Lieferanten, Produzenten und Kunden und zum anderen aus der Nutzung einer steigenden Anzahl unterschiedlicher Informationskanäle, die von integrierter Sensorik bis zu Online-Produktreviews reicht.

Um gute Entscheidungen für die Optimierung von Prozessen und Produkten zu treffen, gilt es, im Rahmen von Datenanalysen für den Anwendungsfall relevante Prognosen zu treffen. Hierbei liegen die größten Herausforderungen neben der kontextspezifischen Datenauswahl und -aufbereitung vor allem in der *Datenintegration* im Sinne einer lückenlosen Verknüpfung von Datenpunkten und dem Referenzieren auf individuelle Entitäten wie z. B. das physische Produkt. Um diesen Herausforderungen zu begegnen und die Potenziale zu heben, forciert eine Vielzahl an Unternehmen die Anwendung systematisierter *Data Analytics-Ansätze*. *Predictive Quality* (dt. prädiktive Qualität) beschreibt in diesem Zusammenhang die Befähigung des Anwenders zur Optimierung der prozess- und produktbezogenen Qualität durch die Nutzung datengetriebener Prognosen als Entscheidungsgrundlage für Handlungsmaßnahmen. Der Anwender wird hierdurch in die Lage versetzt, auf Basis prädiktiver Analysen präskriptiv zu handeln und so zukünftige qualitätsbeeinflussende Ereignisse in seinem Sinne zu steuern.

Inwiefern der zunehmende Einsatz von Data Analytics bestehende Prinzipien und Methoden des Qualitätsmanagements ergänzt oder sogar ersetzt, ist bisher nur unzureichend geklärt. Das Kapitel geht dieser Fragestellung nach und stellt Lösungsansätze für die erfolgreiche Realisierung von Predictive Quality vor. Abschnitt 35.1 beschreibt den Begriff der digitalen Transformation, grenzt diesen gegenüber der Digitisierung und der Digitalisierung ab und erläutert die Entwicklungen und Interpretationen im internationalen Kontext. Hier wird deutlich, dass der Mehrwert der digitalisierten Daten nicht in der digitalen Abbildung selbst steckt, sondern dass diese Abbildung nur einen technologischen Befähiger darstellt. Unternehmerische Mehrwerte im Sinne einer intelligenten Entscheidungsunterstützung gehen erst aus der Analyse dieser Daten hervor. Abschnitt 35.2 setzt sich mit den Methoden der Datenanalyse produzierender Unternehmen auseinander und grenzt diese gegenüber klassischen Methoden ab. Hierbei werden insbesondere die Potenziale für produzierende Unternehmen deutlich. Um diese Potenziale heben zu können, müssen jedoch technische und organisatorische Fragestellungen geklärt werden, welche in Abschnitt 35.3 erläutert werden.

35.1 Digitalisierung zur Abbildung zukunftsfähiger Produktionssysteme

Der Begriff „Digitalisierung“ prägt maßgeblich viele Diskussionen der letzten Jahre um das Leben der Zukunft, sowohl im beruflichen als auch im privaten Bereich. Steht das Wort ursprünglich für die Umwandlung von Information und Kommunikation aus dem Analogem ins Digitale (Gabler Wirtschaftslexikon 2020), wird es heutzutage oftmals synonym mit „Digitisierung“ und der „digitalen Transformation“ (auch „digitaler Wandel“) verwendet (Bloching et al. 2015). In Abschnitt 35.1.1 werden die Begriffe voneinander abgegrenzt sowie die damit einhergehenden Chancen und Herausforderungen dargestellt. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 35.1.2 die internationalen Entwicklungen der digitalen Transformation betrachtet und die unterschiedlichen Wege und Zielsetzungen verschiedener Regionen beleuchtet.

35.1.1 Digitisierung, Digitalisierung und digitale Transformation

Digitisierung ist die Umwandlung von analogen in digitale Daten, sodass Computer die Daten speichern und verarbeiten können. Die Überführung eines hand- oder schreibmaschinengeschriebenen Dokuments in ein digitales Dokument oder die Konvertierung von Musik einer Schallplatte in ein MP3-Format sind dafür typische Beispiele (Bloomberg 2018).

Digitalisierung ist der Einsatz von digitalen Technologien zur Veränderung von Unternehmensprozessen. Digitale Prozesse können die Effizienz steigern, die Datentransparenz verbessern und sogar Geschäftsmodelle verändern. Digitisierung ist die Voraussetzung für Digitalisierung. Digitalisierung zeichnet sich dadurch aus, dass sie im Gegensatz zur digitalen Transformation als ein Projekt im Unternehmen abgewickelt werden kann (Bloomberg 2018). Ein Beispiel für die Digitalisierung ist die Anwendung eines Enterprise-Resource-Planning-Systems (ERP-Systems) zur Ressourcenplanung und Abbildung der Geschäftsprozesse anstatt mehrere Listen und Tabellen manuell zu pflegen.

Die *digitale Transformation* beinhaltet laut Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) die umfassende Vernetzung aller Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft sowie die Fähigkeit, relevante Informationen zu sammeln, zu analysieren und in Handlungen umzusetzen“ (BMWi 2015; Schallmo 2016). Die digitale Transfor-

mation umfasst außerdem Veränderungen von Unternehmenskernkompetenz hin zu einer kundenorientierten Strategie (Bloomberg 2018). Dabei werden Akteure wie Kunden und Lieferanten über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg miteinander vernetzt. Die Fähigkeiten zur Extraktion und zum Austausch von Daten sowie die Umwandlung der Daten in verwertbares Wissen sind dafür erforderlich (Schallmo et al. 2017).

Digitalisierung war lange Zeit vor allem für große Unternehmen relevant, da kleine und mittlere Unternehmen (KMU) zum einen nicht die notwendigen personellen und finanziellen Ressourcen aufbringen konnten und zum anderen die Relevanz der Digitalisierung für KMU nicht eingeschätzt werden konnte. Inzwischen sind die Themen der Digitalisierung jedoch auch bei KMU angekommen, da von den Vorteilen nicht nur Großunternehmen profitieren können (Bley/Leyh 2016). So hat eine Studie des Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrums Dortmund „Digital in NRW“ von 2018, bei der 111 KMU aus Nordrhein-Westfalen befragt wurden, gezeigt, dass bereits 2018 66 % der befragten Unternehmen Daten als Grundlage ihrer operativen Entscheidungen nutzen. 53 % der KMU nutzen Daten, um das zukünftige optimale Verhalten zu ermitteln, 65 %, um Zusammenhänge zu verstehen, und 77 %, um Vorgänge abzubilden (Nentwig et al. 2019). Damit wird deutlich, dass KMU die Potenziale der Digitalisierung erkannt haben und für sich nutzen.

Digitisierung, Digitalisierung und die digitale Transformation liefern kurzfristige und langfristige Chancen für Unternehmen. Durch die Digitisierung liegen Informationen in digitaler Form vor. Dies hat zum einen den sehr pragmatischen Vorteil, dass der Platzbedarf bei der Aufbewahrung und Archivierung deutlich reduziert werden kann, aber vor allem können die digitalen Daten in elektronischen Datenverarbeitungssystemen gepflegt, verarbeitet, vervielfältigt und verteilt werden. Dadurch wird die Digitalisierung erst ermöglicht. Vorteil der Digitalisierung ist, dass Unternehmen Prozesse mithilfe von digitalen Technologien effizienter gestalten können, sodass dadurch Kosten eingespart werden. Werden beispielsweise Produktionsdaten digital aufgezeichnet und diese Daten analysiert, können Ansatzpunkte für Produktionsprozessoptimierungen identifiziert werden. Durch eine verbesserte Produktionsplanung kann die Maschinenauslastung erhöht und die Produktivität gesteigert werden. Auswertungen ermöglichen es außerdem, Prozessverläufe zu prognostizieren und so frühzeitig in diese Prozesse lenkend einzugreifen. Auch können langfristig durch die digitale Transformation neue Geschäftsmodelle entwickelt werden, die zum Unternehmenswachstum beitragen (Bley/Leyh 2016). Dabei werden digitale Technologien eingesetzt, um neue Anwendungen oder Dienste zu generieren. Dafür ist es erforderlich, Daten nicht nur zu sammeln und

austauschen zu können, sondern auf Basis von Analysen und Berechnungen verschiedene Optionen zu bewerten und so neue Prozesse innerhalb eines Geschäftsmodells zu initiieren (Schallmo et al. 2017). Beispielsweise können Unternehmen ihr klassisches Geschäft um ein Subskriptionsmodell erweitern, bei dem ein Kunde in regelmäßigen Abständen einen wiederkehrenden Preis für den Zugang zu einem Produkt zahlt. So kann ein einmaliger Verkauf eines Produkts zu einem wiederkehrenden Verkauf werden und eine Markentreue aufbauen.

Unternehmen verstehen heute den Nutzen von digitalen Technologien und warum sie die organisatorische Umgestaltung durch die Einführung und Integration dieser Technologien in ihre Geschäftsprozesse erreichen müssen, um die Prozesseffizienz zu verbessern und neue Einnahmequellen zu schaffen. Dabei befinden sich die Fortschritte digitaler Geschäftstransformationen noch in einem Entwicklungsstadium. Bei Entscheidungen, wie die digitale Transformation angestoßen werden soll, sollten Faktoren wie der aktuelle Stand der digitalen Transformation innerhalb des Industriesgments des jeweiligen Unternehmens, der Schwerpunkt der Unternehmensstrategie sowie die Vision und Mission berücksichtigt werden (Nwaiwu 2018).

Durch den Einsatz digitaler Technologien erfolgen Investitionen und Innovationen in den Bereichen Smart Grids, selbstfahrende Fahrzeuge, E-Government, Advanced Manufacturing usw. Die digitale Transformation kann dabei langfristig die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen sichern. Im Rahmen dieses technologischen Wandels verschmelzen die physischen und virtuellen Produkte. Sogenannte cyber-physische Systeme können dazu beitragen, das menschliche Leben besser und bequemer zu machen. Ihre Nutzung ist nicht nur einfacher, weil sie effizienter sind, sondern auch, weil sie Eigenschaften wie Autonomie, verteilte Intelligenz, Selbstorganisation und auf Adaptivität basierende Kooperation aufweisen (Tokody 2018).

Allerdings bringen die Digitalisierung und digitale Transformation auch Herausforderungen mit sich. So gibt es Befürchtungen, dass in Zukunft viele Arbeitsplätze überflüssig werden könnten, da beispielweise Werker in der Produktion durch selbststeuernde Anlagen und Roboter ersetzt werden können. Untersuchungen zeigen jedoch, dass sich die Arbeit durch die Digitalisierung und digitale Transformation zwar verändern wird, jedoch sogar mehr Arbeitsplätze geschaffen statt verdrängt werden. Für die zukünftig relevanten Aufgaben steigen aber voraussichtlich die Anforderungen an die Qualifikation und Kompetenzen. Insbesondere für gering qualifizierte Beschäftigte sind daher Weiterbildungen unumgänglich (Arnold et al. 2016). Aktuell zeigt sich schon, dass insbesondere IT-Experten und Data Scientists am Arbeitsmarkt stark nachgefragt sind, und es ist anzunehmen, dass die Nachfrage

zukünftig noch steigen wird. Sollten nicht ausreichend Nachwuchskräfte aus diesen Bereichen auf den Arbeitsmarkt gelangen, könnte dies den digitalen Fortschritt verlangsamen. Eine Befragung des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung hat gezeigt, dass neben mangelnden IT-Kompetenzen der Beschäftigten auch Datenschutz bzw. Datensicherheit, hohe Investitions- und Betriebskosten und Geschwindigkeit der Internetverbindung als Aspekte eingeordnet werden, die den Einsatz digitaler Technologien etwas oder stark erschweren können (Saam et al. 2016).

35.1.2 Internationale Entwicklungen der digitalen Transformation

Die digitale Transformation kann also als Durchdringung des alltäglichen Lebens mit neuen Technologien sowie die Anpassung an die digitale Ökonomie und Vernetzung von allen Beteiligten – Personen, Unternehmen und staatliche Organe – verstanden werden. Fest mit diesem Wandel verbunden sind die Begriffe „Industrie 4.0“, „Industrial Internet of Things“, „Made in China 2025“ und „Society 5.0“. Im Folgenden werden diese Begriffe beschrieben und voneinander abgegrenzt.

Zum ersten Mal verwendet, und dadurch entscheidend geprägt, wurde die Bezeichnung „Industrie 4.0“ von Kagermann et al. im Zuge der Hannover Messe 2011, als im Auftrag der Bundesregierung eine Strategie zur Computerisierung der industriellen Fertigung ausgerufen wurde (Kagermann et al. 2011). Den ersten drei industriellen Revolutionen – Mechanisierung durch Dampf- und Wasserkraft, Massenfertigung durch Fließbänder und Arbeitsteilung, Automatisierung durch fortschrittliche Elektronik und Informationstechnologie – folgend steht der Begriff also für die unmittelbar bevorstehende vierte industrielle Revolution in Form einer umfassenden digitalen Transformation der industriellen Produktion (Hermann et al. 2015).

Die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. (acatech) hat bereits 2013 eine Umsetzungsempfehlung für die Industrie 4.0-Strategie abgeleitet, in der sie im Zuge der Einführung von Industrie 4.0 folgende Potenziale identifiziert (acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. 2013):

1. Individualisierung der Kundenwünsche
2. Flexibilisierung
3. Optimierte Entscheidungsfindung
4. Ressourcenproduktivität und -effizienz
5. Wertschöpfungspotenziale durch neue Dienstleistungen
6. Demografiesensible Arbeitsgestaltung
7. Work-Life-Balance
8. Wettbewerbsfähigkeit als Hochlohnstandort

Diese Potenziale werden laut BMWi durch „die intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen [...] mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologie“ realisiert (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/Bundesministerium für Bildung und Forschung 2020b). Folglich werden Medienbrüche im industriellen Alltag erkannt, und es kommt zu einer „Verschmelzung der dinglichen Welt und deren digitaler Modelle“ (Bauernhansl et al. 2014). Darüber hinaus fungiert die „Plattform Industrie 4.0“ unter der Leitung der Bundesregierung als zentrales Netzwerk, über das Expertenwissen und Technologien deutscher Unternehmen zur Verfügung gestellt werden sollen (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/Bundesministerium für Bildung und Forschung 2020a).

Oftmals, fälschlicherweise synonym dazu, wird der Begriff „Industrial Internet of Things“ (IIoT) verwendet. Diese Bezeichnung geht zurück auf General Electric (GE), die dadurch Big Data mit dem Internet of Things (IoT) verknüpfen (General Electric Company 2014). Inzwischen existiert für diesen Ausdruck eine allgemeinere und umfassendere Definition:

„Ein System, das vernetzte intelligente Objekte, cyberphysische Anlagen, zugehörige generische Informationstechnologien und optionale Cloud- oder Edge-Computing

Plattformen, die einen intelligenten und autonomen Echtzeit-Zugriff sowie die Sammlung, Analyse, Kommunikation und den Austausch von Prozess, Produkt und/oder Serviceinformationen innerhalb des industriellen Umfelds ermöglichen, um den Gesamtproduktionswert zu optimieren. Dieser Wert kann die Verbesserung der Produkt- oder Dienstleistungserbringung, die Steigerung der Produktivität, die Reduzierung von Arbeitskosten, die Reduzierung des Energieverbrauchs und die Reduzierung des Montage- und Auftragszyklus beinhalten.“ (Boyes et al. 2018)

Der Begriff des IIoT geht also über Branchengrenzen hinaus und sieht den konkreten Anwendungsfall von modernen und intelligenten (Informations-)Technologien nicht nur in der industriellen Fertigung. Zudem ist das IIoT keine von einer Regierung ausgerufene Strategie zum Ausbau und Erhalt der Wettbewerbsposition von Unternehmen eines Landes, sondern stammt aus der Wirtschaft selbst (Singh 2017).

Richtet man den Blick auf den chinesischen Wirtschaftsraum, so stößt man dort auf den Begriff „Made in China 2025“ (MIC2025) im Zusammenhang mit Digitalisierung und Industrie 4.0. Doch während bei Industrie 4.0 der Fokus auf dem technologischen Fortschritt und der Integration dieser Technologien in der industriellen Fertigung liegt, zielt MIC2025 als Teil der kurz-, mittel- und langfristigen Landesstrategie der Volksrepublik

China auf eine komplette Transformation des gesamten Industriesektors durch effizientere Produktion und erhöhte Qualität. Gleichwohl MIC2025 durch Industrie 4.0 inspiriert ist, wird der technologische Fortschritt dabei als Mittel zum Zweck angesehen (Kennedy 2015; Yichi 2017). Die Strategie der chinesischen Regierung sieht zum Erreichen der selbst gesteckten Ziele drei Phasen vor. In der ersten Phase sollen seit dem Start im Jahr 2015 bis zum Jahr 2020 Produktionskapazitäten gefestigt und die Digitalisierung in der Produktion vorangetrieben werden, während gleichzeitig die Produktqualität, die Energieeffizienz und der Materialeinsatz optimiert werden. Im nächsten Schritt bis zum Jahr 2035 hat sich China das Ziel gesetzt, sich als Industriemacht festzusetzen und die Kurrnzfähigkeit erheblich zu verbessern. Als letzten Schritt sieht China 2049 zum hundertjährigen Geburtstag der Volksrepublik die Weltführerschaft der Industrienationen vor (People's Daily 2015; Phillips/Wareing). Die japanische Antwort auf Industrie 4.0 wird in der „Society 5.0“ gesehen, die von Premierminister Abe auf der CeBIT 2017 vorgestellt wurde (Pohl 2018). Während Industrie 4.0 auf digitale Industrie aus ist, zielt die japanische Regierung mit der Society 5.0 darauf, die Gesellschaft allumfassend durch die Fortschritte der vierten industriellen Revolution in eine „Smart Society“ zu transformieren:

„Eine intelligente Gesellschaft fußt nicht nur in (digitalen) Technologien. Neben den erforderlichen finanziellen Mitteln sind vor allem politischer Wille sowie ‚silo‘-übergreifendes Denken und Agieren notwendig. So entstehen ‚smarte‘ Lösungen erst, wenn die Daten und Prozesse der einzelnen Silos mit dem Ziel verknüpft werden, durch höherwertige Information Mehrwert für die Gesellschaft zu schaffen.“ (Arrigoni 2018)

Japan sieht dabei die Society 5.0 in der Folge von den vier älteren Gesellschaftsformen: der Jäger- und Sammler-Gesellschaft, der langwirtschaftlich geprägten Gesellschaft, der industrialisierten Gesellschaft und der Gesellschaft des Informationszeitalters (Cabinet Office, Government of Japan 2017). In der Folge soll eine „super smarte“ menschenzentrierte Gesellschaft entstehen, die dem Menschen Komfort, Vitalität und eine hohe Lebensqualität bietet (Cabinet Office, Government of Japan 2018). Im Vergleich zu den anderen vorangehend genannten Begriffen zielt die Society 5.0 also viel mehr auf das alltägliche, gesellschaftliche Leben und nicht auf Wettbewerbs- und Technologieaspekte der Wirtschaft, auch wenn diese Lebensveränderungen nur durch Integration ebendieser Technologien vonstatten gehen kann.

Es ist also festzuhalten, dass alle genannten Begriffe Anwendungsmöglichkeiten für intelligente Technologien der Digitalisierung aufzeigen, jedoch aufgrund der unter-

schiedlichen Blickwinkel und kulturellen Hintergründe verschiedene Wege und Zielsetzungen beschreiben.

35.2 Data Analytics zur Analyse zukunftsfähiger Produktionssysteme

Die umfassende Digitalisierung der industriellen Produktion führt zu einem exponentiellen Anstieg der vorhandenen Datenmengen. Der Mehrwert liegt hierbei aber nicht in den Daten, sondern in dem Wissen, welches mithilfe fortschrittlicher Analysemethoden (Data Analytics) aus den Daten gewonnen werden kann. Inwiefern der zunehmende Einsatz von Data Analytics im Qualitätsmanagement bestehende Prinzipien und Methoden ergänzt oder sogar ersetzt, ist bisher nur unzureichend geklärt. Das Kapitel geht dieser Fragestellung nach und stellt Lösungsansätze für die erfolgreiche Realisierung von Predictive Quality vor. In Abschnitt 35.2.1 wird der Einsatz von Data Analytics in produzierenden Unternehmen im Allgemeinen beleuchtet und das vierstufige Data Analytics-Reifegradmodell vorgestellt. In Abschnitt 35.2.2 werden konkrete Ansätze aus dem Bereich der Statistik sowie des maschinellen Lernens benannt. In Abschnitt 35.2.3 wird ein Anwendungsbeispiel für die Umsetzung von Predictive Quality exemplarisch vorgestellt. In Abschnitt 35.2.4 wird ein Fazit hinsichtlich der Bedeutung von Data Analytics für das Qualitätsmanagement gezogen.

35.2.1 Einführung in Data Analytics

Data Analytics dient als Werkzeug zur Untersuchung großer Datenmengen, um Unternehmen zu befähigen, datengetriebene Entscheidungen treffen zu können (Schmitt et al. 2020a). Hierfür ist es erforderlich, relevante Informationen aus den zur Verfügung stehenden Daten zu extrahieren und neues Wissen abzuleiten. Dadurch kann zum einen das Produkt- und Prozessverständnis verbessert und zum anderen die Entscheidungsfindung unterstützt werden. Während die meisten herkömmlichen Analysemethoden im Unternehmensumfeld auf Stichproben und einer begrenzten Anzahl an zu betrachtenden Parametern basieren, ermöglichen moderne Analyseansätze aus dem Bereich Data Analytics eine direkte Betrachtung der Grundgesamtheit und einer Vielzahl an potenziellen Einflussgrößen. Das Ziel der Analyse ist dabei die Identifikation von unbekannten Mustern und Zusammen-

hängen innerhalb der Daten, die zur Entscheidungsunterstützung genutzt werden können. Data Analytics entspricht daher einem Prozess der Datenuntersuchung, des Datenverständnisses und schlussendlich des Wissensgewinns (Ge et al. 2017; Schmitt 2016; Cattaneo et al. 2018; Schmitt et al. 2020b).

Der Entwurf und die Implementierung von Entscheidungsunterstützungen mittels Data Analytics ist sehr anwendungsspezifisch, da die Datenauswahl und -aufbereitung von entscheidender Bedeutung für die durchzuführende Analyse sind und jeweils an den Kontext angepasst werden müssen. Zusätzlich beeinflussen Faktoren, wie die vorhandene Expertise und die verfügbare Rechenleistung, den Umfang und die Komplexität von durchführbaren Analysen. Zur Einordnung und Beschreibung der Komplexität von Data Analytics-Anwendungen ist das vierstufige Analytics-Reifegradmodell von Gartner weitverbreitet. Das Forschungs- und Beratungsunternehmen ordnet verschiedene Analytics-Konzepte nach den Kriterien Mehrwert und Komplexität ein, wobei beide über die einzelnen Stufen, von der Descriptive Analytics hin zur Prescriptive Analytics, immer weiter zunehmen (siehe Bild 35.1).

Beginnend bei Descriptive Analytics steigen der Mehrwert und die Komplexität der durchgeföhrten Analyse über die Stufen Diagnostic Analytics, Predictive Analytics und Prescriptive Analytics an. Gleichzeitig wechselt der Zweck der Verfahren von reiner Information zur Optimierung zukünftiger Ereignisse. Die jeweiligen Verfahren lassen darüber hinaus nur einen Rückblick in die Vergangenheit, einen Einblick in das aktuelle Geschehen oder eine Voraussicht künftiger Ereignisse zu (Schmitt et al. 2020a; Lin 2015).

Im Rahmen der ersten Stufe, den *Descriptive Analytics*, werden historische Daten beschrieben, zusammengefasst und aufbereitet. Hierbei steht zunächst die Verbesserung des Prozessverständnisses im Fokus, um die Geschehnisse in einem betrachteten Zeitintervall adäquat beschreiben zu können. Dies ermöglicht eine erste Interpretation der Daten und bildet die Basis für tiefergehende Analysen. Einfache Formen der Descriptive Analytics, basierend auf statistischen Verfahren, sind bereits seit vielen Jahren in Unternehmen im Einsatz. Hierbei wird das generierte Wissen zur Erstellung und Auswertung von Kennzahlen genutzt. Ein typisches Beispiel ist hier die statistische Prozessregelung oder Kennwerte in Berichten (Schmitt et al. 2020b; Schmitt et al. 2020a). Bei der zweiten Stufe des Reifegradmodells, den *Diagnostic Analytics*, werden die historischen Daten tiefergehend analysiert, um Wirkbeziehungen zwischen vergangenen Ereignissen abzuleiten. Dadurch können beispielsweise Prozess- und Qualitätsabweichungen genauer betrachtet und mögliche Ursachen identifiziert werden. Insbesondere moderne Produktions-

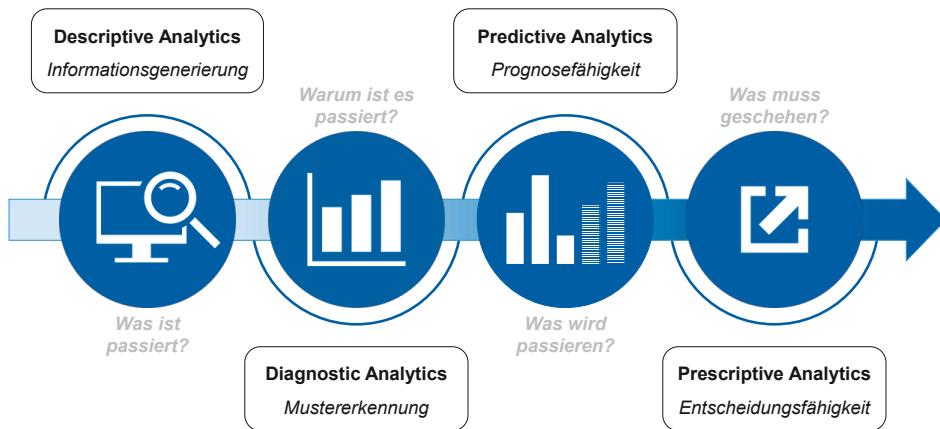


Bild 35.1
Data Analytics-Reifegradmodell (Gartner 2012)

anlagen mit spezieller Inline-Messtechnik stellen für die Untersuchung von Abweichungen und/oder Ausfällen wichtige Prozess- und Produktdaten zur Verfügung. Während sich die Analysen der ersten beiden Stufen auf historische Daten beziehen und somit nur reaktive Handlungen ermöglichen, liegt der Fokus der letzten beiden Stufen auf der Betrachtung von zukünftigen Ereignissen. Mittels Ansätzen der *Predictive Analytics* werden, basierend auf den im Vorfeld abgeleiteten Zusammenhängen und aktuellen Prozess- und Produktdaten, zukünftige Ereignisse oder Zustände mit einer bestimmten Eintrittswahrscheinlichkeit prognostiziert. Hierbei lassen sich beispielweise Prozessverläufe unter Berücksichtigung von gewissen Modellfehlern vorhersagen. Aufbauend auf den Erkenntnissen der generierten Prognosemodelle, können anschließend die Auswirkungen von verschiedenen Entscheidungen und Maßnahmen verglichen und datengetrieben ausgewählt werden. Diese Form der Analyse wird als *Prescriptive Analytics* bezeichnet und entspricht der letzten Stufe des Reifegradmodells. Hiermit können Prozesse frühzeitig zielgerichtet beeinflusst und Qualitätseinbußen oder Abweichungen proaktiv vermieden werden. Ob die Auswahl der Entscheidung bzw. Festlegung der jeweiligen Maßnahme hierbei automatisiert oder von einem Menschen durchgeführt wird, ist nicht von Bedeutung. Der entscheidende Unterschied zwischen den einzelnen Analysestufen liegt im Wissensgehalt der Informationen, die dem Anwender zur Verfügung gestellt werden. Jede Stufe der Datenanalyse dient dazu, die Informationen der vorherigen Schritte zu verdichten und darauf aufbauend neues Wissen abzuleiten (Schmitt et al. 2020a; Schmitt et al. 2020b; Schmitt 2016; Elser et al. 2018; Lin 2015; Stimmel 2015; Nyce 2007).

35.2.2 Statistische Ansätze und maschinelles Lernen

Der Erkenntnisgewinn durch Data Analytics im Zuge von Predictive Quality basiert auf der Anwendung mathematischer und statistischer Methoden. Diese bilden die Grundlage natur- und ingenieurwissenschaftlicher Fachdisziplinen und umfassen das Beobachten eines Phänomens, das Modellieren zugrunde liegender Zusammenhänge und den Transfer sowie die Nutzung der Modellkenntnisse. Während die umfangreichen statistischen Werkzeuge und Modelle der Six Sigma-Methodik (Chiarini 2012) längst Einzug in die industrielle Praxis gefunden haben (z. B. statistische Prozessregelung), finden in jüngster Zeit auch Ansätze des maschinellen Lernens immer häufiger Anwendung.

Im Allgemeinen fundieren Methoden der klassischen Statistik sowie die des maschinellen Lernens auf ähnlichen mathematischen Grundlagen. Dennoch finden sich grundlegende Unterschiede im Anwendungszweck und im methodischen Vorgehen.

Bild 35.2 gibt eine differenzierte Betrachtung der erwähnten Fachdisziplinen wieder. Der Anwender sieht sich in der Regel einem beobachtbaren Phänomen gegenüber, welches z. B. einen Produktionsprozess oder auch eine natürliche Gesetzmäßigkeit, wie z. B. die Korrelation zwischen Körpergewicht und Körpergröße, beschreibt. Hierbei werden Eingangsvariablen, beispielsweise Maschinenparameter und Material eines Produktionsprozesses, in Ausgangsvariablen, beispielsweise Merkmale des produzierten Gutes, transformiert.

Aufgabe der deskriptiven Statistik ist es, beschreibende Kennzahlen bezüglich der Beobachtungen eines Phänomens bereitzustellen. Gängige Beschreibungsmasse eines Datensatzes sind der Mittelwert, die Streuung und die Schiefe. Deskriptive Statistik kann sich sowohl auf eine Grundgesamtheit als auch auf Stichproben der Beob-

Stichwortverzeichnis

Symbolle

3D-Druck 558
7 Grundsätze des Qualitätsmanagements 176
8-D-Report 862

A

Aachener Qualitätsmanagementmodell 816
ABC-Analyse 834
Abhängigkeit der Leistung 908
Ablauforganisation 46, 210, 214, 229, 232
Abnahmetest 457
Abnehmerrisiko 663
Accepted Quality Level 921
Accuracy 813
Agile Methoden 433
Agile Produktentwicklung 32
Agiles Manifest 438
Agile Vorgehensmodelle 438
Akkreditierung 133, 356, 729, 765
Akkreditierungskriterien 729
ALARP (as low as reasonable practicable) 604
Algorithmische Schätzverfahren 443
ALM (Application Lifecycle Management) 454
Alpha-Test 457
Analyse der Dienstleistungsqualität 896
Analyse-Regelkarten (Analyse-QRK) 785
Analytics-Reifegradmodell 804
Analytische Maßnahmen 451, 455
Anerkennungsverfahren 944
Anforderungen 152f., 155, 577, 595, 597
Anforderungsanalyse 454
ANOVA-Methode 739
Anspruchsgruppen 150, 160
Anspruchsklassen 370
Anwendungssoftware 428
Application Lifecycle Management (ALM)
454
AQAP-2000-Standard 622
Arbeitsmarkt 802
Arbeitsplatzsicherheit 1037
Arbeitsschutzmanagement 220
- DIN ISO 45001 221
- Sicherheits-Certifikat-Contraktoren 221

Archlet
- Künstliche Intelligenz 841
Assoziation 281
Audit 199, 207, 229, 242, 342
Audit-Checkliste 345
Auditierung 844
Auditor 343, 844
Aufbauorganisation 46, 214, 229, 231
Aufbewahrungsduer 772
Auflösung 748
Aufwands- und Kostenschätzung 443
Aufzeichnungen
- Lenkung von 864
Augmented Intelligence 822
Ausfall 578
Ausfallrate 584f., 595
Ausfallverteilung 584f.
Ausreißer 970
Ausreißeranalyse 281
Autofokussensoren 702
Automobiltechnik 610
Automobilzulieferer 963
Average-Range-Methode (ARM) 739

B

Back Office 909
Badewannenkurve 374
Baumusterprüfung 135
Bayesian Model 458
Beauftragter der Obersten Leitung 187
Bediener 749
Bedienereinfluss 739
Bedürfnisse 150, 154
Bedürfnistheorie von Maslow 1054
Befähigung des Entwicklungsprozesses 405
Begabung 449
Begeisterungsmerkmale 372
Begriffsnormung 83
Beherrschtes Prozessmerkmal 789
Benutzungsqualität 433
Berichtswesen 73
Berufsausbildung 1039
Beschaffung 195, 559, 564

Beschaffungsangaben 865
Beschaffungsobjekte 839
Beschaffungsprozess 865
Beschwerdemanagement 922
Bestärkendes Lernen 807
Bestätigung 737, 763
Bestätigungsversuch 649
Bestimmungsgemäße Verwendung 982, 984
Beta-Test 457
Beteiligung des Kunden 909
Betriebsperspektive 52
Betriebssteuerung 916
Beweislast 460
Beweislastumkehr 460
Beweislastverteilung 976f.
Bewertungszahlen 956
Big Bang 569
Bildungsmaßnahmen 1037
Bioland-Markenzeichen 935
Black Belt 267
Black-Box-Test 457
Blockbildung 638
Bologna-Prinzip 1039
Bottom-up-Integrationstest 616
Brauchbarkeitsdauer 579
Break-Even-Punkt 566
Business Process Management (BPM) 253

C

C 614
C++ 614
Callcenter 913
Capability Maturity Model 459
Capability Maturity Model Integration 459
Capability of Measurement Processes 733
CASE (Computer Aided Software Engineering) 454
CE-Kennzeichnung 90, 931, 985
Chromatisch-konfokale Sensoren 703
Clusteranalyse 807
Clustering 281
COCOMO (Constructive Cost Model) 443
Codierung 455
Commitment 1058
Company-wide Quality Control 153
Compaq 561
Conjoint-Analyse 371
Consumer Awareness 969
Controlling 851
– im Kundendienst 923
Control Objectives for Information Technology 915
Control-Plan 275
CRISP-DM-Ansatz 280
Crosby, Philip B. 111
Customer Insights 514
Customizing 428
Cyber-physisches System (CPS) 802

D

DAKks (Deutsche Akkreditierungsstelle) 933, 947
DAR (Deutscher Akkreditierungsrat) 357
Data Analytics 800, 804, 815f., 825
Data Mining 280
Datenabstraktion 613
Datenanalyse 800, 866
Datenaufbereitung 821
Datenbasierter Ansatz 815
Datenbasiertes Qualitätsmanagement 825
Datengetriebene Entscheidung 804
Datengetriebene Transformation 825
Datenintegration 800
Datenqualität 821
Datenschutzgrundverordnung 1043
Debugging 457
Deming Prize 23, 161
Descriptive Analytics 804
Design for Six Sigma (DfSS) 275
Design of Experiments (DoE) 273
Deskriptive Statistik 805
Deskriptor 523
Deutsche Gesellschaft für Qualität (DGQ) 780
Deutscher Qualitätspreis 28
Deutsches Institut für Normung e. V. 84
D-FMEA (Design Failure Mode and Effects Analysis) 406
Diagnose 593, 595
– Diagnosefunktion 581
– Störungsdiagnose 593
– Zustandsdiagnose 593
Diagnostic Analytics 804
DIDOV 276
Dienstleistung 534, 925
– produktbegleitende 905
– qualitätsgerechte Entwicklung 544
– Service-Blueprint 545
– Service-Engineering-Ansatz 543
– Service Innovation Canvas 542
– Service Level Agreements 546
Dienstleistungsentwicklung 542
Dienstleistungsmerkmale 535, 908
Dienstleistungsqualität 538, 884
– Erfolgskette 540
Dienstleistungsqualitätsdimension 538
Dienstleistungstypologien 536
Differenzierung 152
Digitale Ökonomie 802
Digitaler Schatten 817, 820
Digitale Technologien 822
Digitale Transformation 801f.
Digitalisierung 796, 800f.
– Guided Sourcing 843
– Künstliche Intelligenz (KI) 841
– Lieferantenintegration 850
Digitisierung 801
DIN EN 50128 623

- DIN EN ISO 9001 622
 - 2008 863
 DIN EN ISO 14001 141
 DIN ISO 2859 921
 DIN-Zertifizierungssystem 932
 Diversitär-redundante Programmierung 431
 DKD (Deutscher Kalibrierdienst) 729
 DMAIC 268
 Dokumentation
 - des Umweltmanagementsystems 143
 - Messbericht 718
 Dokumentationsmittel 555
 Dokumente
 - Lenkung der 864
 Dokumentenlenkung 258
 dpmo 265
 DRBFM (Design Review Based on Failure Mode) 410
 Drittparteien-Audits 343
 Drucker, Peter 778
 Duale Organisationsform 49
 Durchsicht von Dokumenten 456
 Durchsuchung 980
 DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.) 931f.
- E**
- Ebenenmodell 523
 EFQM-Assessment 1001
 EFQM Award 24
 EFQM (European Foundation of Quality Management) 1032
 EFQM-Modell 24
 EG-Richtlinien 966
 Eichen 686
 Eigentumsverletzung 965, 967
 Eignungserklärung 774
 Eignungsnachweis
 - für Messprozesse 732
 - gemäß VDA 5 744
 - Kennwerte 748
 Einfaktorenvergleich 840
 Einfaktorversuche 631
 Einflussgrößen-Zielgrößen-Matrix 635
 Eingangsprüfung 198, 875
 Eingebettete Software 428
 Einheiten 689
 - SI 689
 Einsparungspotenziale 106
 Elektrizitätstypus 152
 EMAS 136
 EMAS (Environmental Management and Audit Scheme) 942
 Endmaße 694
 Endprüfung 198
 Energiemanagement 220
 - DIN EN ISO 50001 220
 Enterprise-Resource-Planning-System (ERP) 818
 Entscheidungsfabrik 823
 Entscheidungsunterstützung 800, 804, 823
- Entwicklung 194
 Entwicklungsaufwand 444, 450
 Entwicklungsfehler 969, 974
 Entwicklungskosten 444
 Entwicklungsplan 567
 Entwicklungsprojekt 551, 557, 559, 561, 567
 Entwicklungsprozess 552, 555, 567, 610
 Entwicklungsqualität controllen 408
 Entwicklungsteam 568
 Entwicklungsthemen 398f.
 Entwicklungszeit 565f.
 Entwurfsphase 454
 Ereignisorientierte Messung von Dienstleistungsqualität
 - Critical-Incident-Technik 891
 - Critical-Path-Analyse 892
 - Critical-to-Quality-Analyse 891
 - Root-Cause-Analyse 892
 - sequenzielle Ereignismethode 890
 Erfolgsfaktoren 64, 997, 1036
 Ergonomie 596
 Error Seeding 458
 Ersatzteile 596
 Ersatzteillagerhaltung 590
 Erstmuster 557
 Erstparteien-Audits 343
 Erwachsenenpädagogik 1043
 Erwartungen 154
 Erweiterte Messunsicherheit 748, 769
 EU-Energieverbrauchsetikett 935
 EU-Richtlinien 983
 Europäische Organisation für Qualität (EOQ) 1039
 Europäisches Umweltzeichen 941
 European Excellence Award 24
 European Quality Award 922
 Excellence 26, 153, 158ff., 169
 Exit-Strategie 560
 Experimentieren 631
 Exponentialverteilung 584f., 596
 Externe Audits 343
 Externe Lieferanten 763
 Externe Produktionsfaktoren 907
 Exzellenz 26
- F**
- Fabrikationsfehler 969 ff.
 Facebook 569
 Fachdidaktik 1043
 Fähigkeitsindex 734
 Fähigkeitskenngrößen 791
 Fähigkeitsnachweis 735
 - gemäß Firmenrichtlinie 735
 Fähigkeitsuntersuchung gemäß MSA 743
 Fahrerlose Schienenverkehrssysteme 609
 fail-safe 588, 591
 FDA (Food and Drug Administration) 774
 Fehlanwendung 969, 971

- Fehler 152, 156, 639, 867
– technischer 122
Fehleranfälligkeit 430
Fehlerbaumanalyse 273, 602
Fehlerbeseitigung 457
Fehlerdefinitionen 457
Fehlerdichte 444f.
Fehlererkennung 451
Fehlergruppen 968
Fehlerklassifizierung 457
Fehlerkorrektur 457
Fehlerkosten 106, 450
Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA) 275, 921
Fehleroffenbarung 593
Fehlertoleranz 431, 581
Fehlerverhütung 451
Fehlerwahrscheinlichkeit 813
Fehlgebrauch 969ff.
Fernstudiengänge 1039
Fertigungsmesstechnik 682
– Goldene Regel der 659
Field Service Management System 917
Fischgrätendiagramm 921
FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) 595, 862
Fokussensoren 702
Fokusvariation 703
Formale Organisation 45
Formale Spezifikationen 455
Formale Sprache 454
Formprüferäte 705
Forschung und Entwicklung 559
Fortschritt synchronisieren 407
Freigabeworkflow 258
Fremdüberwachung 946
Front Office 909
Fröhlausfälle 584, 599
FSC®-Label 943
Führungskräfte 1001
Führungsperspektive 52
Führungsverhalten 995
Function Point 445
Function Point-Methode 443
Funktionaler Test 457
Funktion prüfen 557
Funktionsmuster 557
Funktionstest 591f.
- G**
- Gap-Verfahren 840
Gebrauchsanweisung 971
Gebrauchstauglichkeit 950
Gebrauchswert 950
Gefährdungshaftung 963f., 966, 970
Gefahrenanalyse 603
Gefährlichkeit 969, 974
Genauigkeit 813
- Geschäftskundenmarkt 906
Geschäftsleitung 963, 966f., 976, 978ff.
Geschäftsmodell 536, 801, 884, 899
– qualitätsorientiert 540
Geschäftsprozesse
– Sicherheit der 57, 60
Geschäftsprozessmanagement 56
– Aufwand 75
– Implementierung 71
– Konzepte 58
– Methoden 61
– Nutzen 75
– Risiken 76
– Rollen 71
Gesetzliche Auflagen 167
Gesundheitsverletzung 965ff.
Gewährleistung 129
Global Purchasing Management Teams 837
Good Design 410
Green Belt 267
Grundsätze für Gütezeichen 944
Gruppenbewertung 957
GS-Zeichen 928, 931, 939f., 986
GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) 667, 724, 733, 769
Gütegemeinschaften 945
Gütesicherung 946
Güteüberwachung 946
Gütezeichen 944
Gütezeichenwesen 944
Gutteil 661
- H**
- Haftung 121, 963, 965, 967f.
Haftungsarten 963
Haftungsausschluss 460
Haftungsvermeidungsstrategie 121
Handlungsempfehlungen 821
Harmonisierung 90
HAZOP (Hazard and Operability Study) 603
Herausforderungen für das Qualitätsmanagement 33
Herstellerrisiko 662
Hersteller- und Produktinformation 985
Hewlett-Packard 566, 570
High Level Structure (HLS) 87
Horvath 963
House of Quality 277, 553
– Konfliktmatrix 555
Hühnerpestfall 977
Hybride Leistungsbündel 470
Hybride Organisationsform 49
- I**
- IBM 569
IEC 61508 622
Immaterialität 908

- Implementierung von QM-Systemen 1052
 Importeur 968, 985
 Individualsoftware 428
 Induktive Statistik 806
 Industrial Design 377
 Industrial Internet of Things (IIoT) 802f.
 Industrie 4.0 29, 800, 802
 Inferenz 806
 Inferenzstatistik 808
 Informale Organisation 45
 Informationsdefizit 7
 Informationsressourcen 737, 761
 Informelle Nachweisverfahren 456
 Inhouse-Maßnahmen 1042
 Innovation 12, 551, 562, 840
 Innovationsprozess 551, 556, 561
 Input 154
 Input-Output-Workshops 406
 In-Sourcing 845
 Inspektion 456
 Instandhaltungsanalyse 602
 Instandsetzbarkeit 602
 Instandsetzung 581, 590, 595, 602
 Instruktionsfehler 968, 971
 Integration in Fuzzy Front End (Beispiel)
 - Rehau 849
 Integrationspfad 822
 Integrationsprüfung 615
 Integrierte Managementsysteme 147, 205f.
 - Ablauforganisation 210, 214, 232
 - Aktualisierungen 229
 - Audit 207, 229, 242
 - Aufbauorganisation 214, 231
 - Aufwand 215
 - Aufwandsbetrachtung 214
 - Auswahl von Modulen 210, 212f.
 - Beauftragtenwesen 234
 - Bestandsaufnahme 211f., 229
 - Dokumentation 222, 228, 238
 - Dokumentationspyramide 222, 229
 - Dokumentenmatrix 241
 - EFQM-Modell 210, 216
 - Einführung 207, 213ff., 225
 - Einsparpotenzial 214
 - Gliederung 223f., 229f.
 - Grundlagen 208
 - Handbuch 208, 210, 222, 226, 229
 - Handbuch – firmenspezifisch 230, 236
 - Handbuch – Inhalte 222f.
 - Handbuch – Struktur 209
 - High Level Structure (HLS) 206, 213, 215f., 219ff., 224
 - ISO-Normen 206f., 211ff., 216, 227
 - Konzepterstellung 222
 - Module 213, 226
 - Normen und Regelwerke 208, 216, 224
 - Nutzen und Aufwand 213
 - prozessorientierte Darstellung 210f.
 - Schulung 229
 - Synergien 209, 216
 - Unternehmensstrategie 211f.
 - Verantwortungsmatrix 233
 - Vorteile 214
 - Zielvorstellungen 212
 Integrierte Qualitätssicherung 456
 Integriertes Managementsystem (IMS) 252
 Interferometer 701
 - Laserinterferometer 701
 - Weißlichtinterferometer 702
 Interne Audits 343
 Interne Produktionsfaktoren 907
 Internet of Production (IoP) 817, 819
 Internet of Things (IoT) 469
 Ishikawa-Diagramm 273, 921
 ISO 9000 153, 167
 ISO-9000-Familie 86
 ISO-9000-Normenreihe 175
 ISO 9001 154, 156, 168f.
 ISO 9001:2015 293f., 305
 - Anforderungen an den Umgang mit Wissen 296
 ISO 9004 153, 155f., 168
 ISO 12207 451
 ISO 15504 (SPICE) 451
 ISO 30401 293
 ISO/IEC 90003 452
 ISO/IEC/IEEE 29119 458
 ISO-Norm 9000/1 931
 ITIL (Information Technology Infrastructure Library) 915

J

- Job-Rotationen 555
 Juran, Joseph M. 111
 Justieren 686

K

- Kaizen 157
 Kalibrieren 686
 Kalibrierergebnisse 767
 Kalibrierhierarchie 764
 Kalibrierlabor 763f.
 Kalibrierschein 763
 Kalibrierung 729
 Kalibrierunsicherheit 748
 Kameramesstechnik 704
 Kanban 438
 Kano-Modell 372
 Kennzahlen 308
 Kennzeichnung 197, 761, 866
 Klassen 447
 Klassenbibliotheken 447
 Klassifikation 280, 807
 Knowledge Scorecard 305
 K.O.-Analyse 274
 Kommunikation
 - interne 864

- Kommunikationsmittel 557
Kompetenzen 1038
Komplexität 429
Komplexitätsbetrachtungen 455
Komponentenbasierte Softwaremethoden 447
Komponententausch 644
Konfigurationsmanagement 453
Konfokale Sensoren 702
Konformität 152, 156
Konformitätsbewertung 133
Konstruktionsfehler 968f., 971
Konstruktive Maßnahmen 451f.
Konsumentenmarkt 906
Kontinuierliche Verbesserung 152
Konzeptteam 563
Koordinatenmessgeräte
– optisch 703
Koppelung
– von Produktion und Absatz 909
Körperverletzung 966, 979
Korrekturmaßnahmen 866
Korrelationsanalyse 273
Korrelationsmatrix 810
Korrelation von Fehlerzuständen 431
Kosten
– Qualitätskosten 551
Kostenfaktor
– Qualität 998
Kostenschätzung durch Analogie 443
Kreativitätstechniken 274
Kunde 5, 552, 562
Kundenanforderungen 63, 387, 529, 554
Kundenbedürfnisse 551f., 557, 563
Kundenbefragungen 922
Kundendienst 905
– Leistungsmerkmale 907
Kundendienst-Controlling 922
Kundendienstfunktionen 915
Kundendienstmarkt 906
Kundendienstphasen 906
Kundendienstqualität 918
Kundendienstvertrieb 924
Kundenforderungen 372
Kunden-Lieferantenverhältnisse 402
Kundennähe 1037
Kundennutzungsdaten 807
Kundenorientierung 153, 155
Kundenperspektive 51
Kundenreklamation 555
Kundenzufriedenheit 154, 156, 373
Künstliche Intelligenz (KI) 821
Künstliches neuronales Netz 813
Kurzzeitfähigkeit 787
- L**
Lagerung 197
Langzeitauswertungen 795
- Lastenheft 562f., 862
LCC (Life Cycle Costing, Lebenszykluskosten) 580, 597, 604
Lead Concept 569
Lead Countries 569
Lead Customer 569
Lean 438
Lean Management 286
Lebensdauer 374, 583
Lebensdauerprüfung 585f.
Lebensdauerstatistik 579
Lebensdauerverteilung 584f.
Lederspray 978, 980
Lehren 692
– Formlehren 693
– Grenzlehren 693
– Lagelehren 693
– Maßlehren 693
– Sonderlehren 694
– Taylorscher Grundsatz 693
Lehrgangsprüfung 1044
Lehrgangssysteme 1040
Leistungsarten 106
Leistungsfaktoren 907
Leistungsparameter 68
Leistungssteigerung 57
Leistungsvereinbarung 70
Leistungsziele 68
Lenkungsausschuss 442
Lieferanten 5, 196, 552, 559, 968
Lieferantenaudit (Beispiel)
– GEZE 843
Lieferantenauditierung 843
Lieferantenbasis 834
– Management der 838
– Reduzierung der 841
– Segmentierung 834
Lieferantenbeurteilung 132, 838
Lieferantenbewertung 852
Lieferantenbewertung (Beispiel)
– Boehringer Mannheim 852
– Conti Temic microelectronic 854
– GEZE 854
– Siemens 853
– Siemens Power Generation 854
Lieferantenbeziehungen 833, 837
Lieferantenentwicklung 845
Lieferantenentwicklungsprozess 847
Lieferantenintegration 848
Lieferantenmanagement und Lieferanteninnovation 831
Lieferantenportfolio 834, 836
Lieferantensegmentierung (Beispiel)
– Festo 837
Lieferantenstrategie (Beispiel)
– Siltronic 834
Lieferantenstrategien 833
Linearitätsabweichung 749
Linearitätsstudie 743
Lizenz 1040

Logistik 840
 Logistische Regression 811, 813f.
 Ludwig-Erhard-Preis 28

M

Made in China 2025 802f.
 Malcolm Baldrige National Quality Award (MBNQA) 24, 153, 160, 921
 Managementbewertung 200
 Managementlehre 159
 Managementmethoden 999
 Managementorientierte Messung von Dienstleistungsqualität
 - Benchmarking 894
 - Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA) 894
 - Fishbone-Ansatz 894
 - Statistical Process Control (SPC) 894
 Managementprozess 59
 Managementqualität 997
 Managementsystem 247
 - Integriertes Managementsystem (IMS) 252
 - Interaktives Managementsystem 256
 Managementsystem-Dokumentation 247
 - Expertensystem 255
 - Nachweis-Managementsystem-Dokumentation 255
 Managementsystem-Normen 87
 Mangel 867
 Manufacturing-Execution-System (MES) 818
 Marken
 - Qualitätsmerkmale 379
 Marketing 973
 Markoff-Modell 592, 601
 Markt 369
 - Signale des Marktes 562
 Markteinführung 551, 561, 564, 566, 568ff.
 - Budget-Ansatz 570
 - Controlling 570
 - Time-to-Money-Ansatz 570
 Markteintritt 566, 569
 Marktforschung 373, 570
 Marktsegment 562, 569
 Marktüberwachung 986
 Maschinelles Lernen 805, 807f., 813, 821
 Maschinelles Lernen in der Produktion
 - Anwendungsbeispiel 808
 Maschinenfähigkeit 863
 Maslow'sche Bedürfnispyramide 1054
 Mass Customization 563
 Maßnahmenverfolgung 862
 Maßstäbe 694
 Maßverkörperungen 695
 Materialressourcen 737, 762
 Materialwirtschaft 916
 Matrixorganisation 71
 „means end“-Theorie 370
 Measurement Systems Analysis (MSA) 733
 Megatrends 64
 Mehrfaktorenvergleich 840

Menschliche Handlungen 596, 603
 - Analysen: HEART, THERP 603
 Merkmal 683
 - Nominalmerkmal 683
 - Ordinalmerkmal 683
 Merkmalsgruppen 951
 Merkmalsorientierte Messung von Dienstleistungsqualität
 - dekompositionelle Verfahren 889
 - klassische Kundenbefragungen 888
 - multiattributive Verfahren 889
 - Penalty-Reward-Faktoren-Ansatz 890
 - Willingness-to-Pay-Ansatz 890
 Messabweichung 712
 - systematische 748
 Messen 680, 684f.
 - direkt 685
 - indirekt 685
 - Messabweichung 712
 - Messergebnis 688
 - Messmethode 685
 - Messprinzip 685
 - Messverfahren 685
 Messergebnis 688, 745, 769
 Messgröße 156, 685
 Messmanagementsystem 758
 Messmethoden 685
 Messmittelüberwachungssystem 189
 Messprinzip 685
 Messprozess 769
 Messräume 709
 Messstellen 749
 Messsystem 727
 Messsystemanalyse 733
 Messung 726
 Messung der Dienstleistungsqualität 886
 Messunsicherheit 271, 690, 708, 713, 718, 729, 735, 745
 Messverfahren 685
 Messwesen
 - Grundlagen 728
 - wirtschaftliche Bedeutung 727
 Metaqualifikation 1036
 Methoden 61
 Metriken 443
 Metrologie 760
 Microsoft 569
 Middleware+ 817, 819f.
 Migration 455
 Minimum Viable Product (MVP) 33
 Mitarbeiter 449
 Mitarbeiterorientierte Messung von Dienstleistungsqualität
 - betriebliches Vorschlagswesen 895
 - externe Qualitätsbeurteilung durch Mitarbeiterbefragungen 894
 - interne Qualitätsmessungen 895
 - Poka-Yoke-Verfahren 896
 Mittelwert-Spannweiten-Methode 739
 Modelle der Dienstleistungsqualität
 - Beziehungsqualitätsmodell 899

- Dienstleistungsqualitätsmodell 898
- dynamisches Prozessmodell 898
- GAP-Modell 898
- qualitatives Zufriedenheitsmodell 899
Moderne Produktformen 466
Modularisierung 399
Modultest 614
Monitoring 1044
Moore'sches Gesetz 426
Morphologischer Kasten 278
MOT-Ansatz (Mensch, Organisation, Technik) 299
MOTEx-Analyse (Mensch, Organisation, Technik, Externa) 302
Motivation 995
Motivationstheorien 1054
Motivation und QM 1050
Motivatoren 1055
MSA (Measurement System Analysis) 770
Muda-Analyse 272
Multiple-Choice-Prüfung 1044
Multi-Vari-Bild 643

N

Nachhaltigkeit 840, 1037
Nachweismethoden 455
Nachweispflicht 875
ndc-Faktor 744
Neigungsbedingter Fehler 431
Neue Konzeption 90
Neuronales Netz 815
Normale 694, 748
Normen 432, 966, 969
- Arten von 85
- Bedeutung in der EU 88
- fachübergreifende 86
Normenausschuss Informationstechnik und Anwendungen (NIA) 432
Normenübersicht 92
Normung 80, 431
Normungsarbeit 85

O

Oberflächenprüfgeräte 707
Objektive Messung von Dienstleistungsqualität
- Dienstleistungstests 887
- Expertenbeobachtungen 887
- Qualitäts-Rankings 888
- Silent-Shopper-Verfahren 887
Objektorientierte(s) Analyse und Design 455
Objektorientierte Softwareentwicklung 447
Open Innovation 900
Optimumsuche 642
Organigramm
- technischer Kundendienst 915
Organisationsform 824
Organisatorische Maßnahmen 451

Outside-In-Integrationstest 616
Over-Engineering 552f.

P

Paarweiser Vergleich 645
Paradigmenwechsel 31
Parallelisierung 555, 566, 568
Pareto-Analyse 273
PDCA-Kreis (Plan, Do, Check, Act) 181
PDCA-Zyklus (Plan, Do, Check, Act) 862
PEFC-Zeichen 944
People Management 562
Perceived Quality 376, 521
Personalförderung 1037, 1042
Personalqualifikation 1037
Pflichtenheft 454, 558f., 561ff., 862
P-FMEA (Process Failure Mode and Effects Analysis) 406
Pharmaceutical Quality System (PQS) 164
Phasenmodell 434
Phasenmodelle der Produktentstehung 396
Philips 569
Photogrammetrie 704
Plattformen 563
Platzzifferverfahren 275
Poka Yoke 279
Polymorphismus 447
Prädiktion 806f.
Predictive Analytics 804f.
Predictive Quality 800, 804, 815ff., 820f., 825
Prescriptive Analytics 804f.
Prescriptive Quality 826
Primärorganisation 48
Problemorientierte Messung von Dienstleistungsqualität
- Beschwerdeanalysen 892
- Bewertungspfortale 893
- Frequenz-Relevanz-Analyse für Probleme 892
- Kunde-zu-Kunde-Kommunikation im Internet 893
- Problem-Detecting-Methode 892
Product-Lifecycle-Management (PLM) 818
Produkt 552, 556, 561, 861, 865
Produktaudit 345
Produktauswahl 630
Produktbeobachtung 974, 978
Produktbeschreibung 968, 971
Produkt-Dienstleistungssystem 470, 537
Produktentstehungsprozess 386
Produktentwicklung 552, 556f., 561, 630, 966, 969f.
Produktfehler 968f., 975f.
Produkthaftung 121, 460, 962f., 979, 1038
Produkthaftungsgesetz 772, 962, 964, 967f.
Produkthaftungsprozesse 1038
Produkthaftungsrisiko 130
Produktion 196, 198, 557, 564
Produktivität 444
Produktkonzeption 563
Produktmerkmale 952
Produktnormen 85

- Produktnutzungsdaten 528
 Produktoptimierung 630
 Produktqualität 433, 997
 Produktrealisierung 864f.
 Produktrisiken 975
 Produktspezifikation 387
 Produkttypologisierung 467
 Produkt- und Dienstleistungsrealisierung 188, 194
 Produktverantwortung 982
 Produktverbesserung 970
 Produzentenhaftung 121, 962
 Programm-Generatoren 455
 Project Charter 269
 Projekt 441
 Projektausschuss 442
 Projektberichte 442
 Projektdatenbank 443
 Projektleiter 442, 569
 Projektmanagement 62, 441
 Projektphase 561f., 566
 Projektplan 402
 Projektsteuerung 442
 Projektüberwachung 442
 Projektvorbereitung 58
 Projektziele 558
 Protective Quality 374
 Prototyp 556f.
 Prozess 178
 Prozessanalyse 785
 Prozessarchitektur 65
 Prozess-Assessment 74, 459
 Prozessaudit 74, 347
 Prozessbeschreibung 191
 Prozessbeurteilung 785, 791
 Prozess-Cockpit 69
 Prozesscontrolling 72
 Prozessdefinition 67
 Prozessdokumentation 67
 Prozesse 152, 154ff.
 Prozesserfassung 271
 Prozessfähigkeit 791
 Prozessfähigkeitsindex 662, 734, 863
 Prozessgestaltung 65
 Prozesskarte 67
 Prozesslandkarte 65
 Prozesslandschaft 878
 Prozessleistung 791
 Prozessmanagement 396
 Prozessmatrix 401
 Prozessmesstechnik 682
 Prozessmodell 59, 181, 402, 787
 Prozessoptimierung 73, 630
 Prozessorganisation 57, 70
 Prozessorientierter Ansatz 178
 Prozessorientiertes Qualitätsmanagementsystem 217
 Prozessorientierung 252
 Prozessphasen 394
 Prozessqualität 8, 264, 918
 Prozessregelkreise 785
 Prozessreifegrad 459
 Prozessstreibbreite 791
 Prozessstrukturmatrix 272
 Prozessvalidierung 196, 865
 Prozessverbesserung 809
 Prozessverständnis 265
 Prüfart 664
 Prüfdaten 667
 Prüfdurchführung 955
 Prüfen 680, 683
 Prüfmerkmale 654
 Prüfmethode 655
 Prüfmittel 691
 - Fokusensoren 702
 - Formprüfgeräte 705
 - Handmessmittel 695
 - Hilfsmittel 697
 - Interferometer 701
 - Kameramesstechnik 704
 - Koordinatenmessgeräte 697
 - Lehren 692
 - Messschieber 695
 - Messschraube 696
 - Messuhr 696
 - Normale 694
 - Oberflächenprüfgeräte 707
 - Optische Koordinatenmessgeräte 703
 - Optische Verfahren 700
 Prüfmittelauswahl 655, 658, 660
 Prüfmittelfähigkeitsuntersuchung 660
 Prüfmittelmanagement 758
 Prüfmittelüberwachung 717, 759
 Prüfnotwendigkeit 654
 Prüfobjekt 749
 Prüfplakette 761
 Prüfplan
 - Aufbau von 657
 - Beispiel 663
 Prüfplanung 652
 Prüfprogramm 955
 Prüfprozesse 732
 Prüfprozesseignung 712, 770
 Prüfrhythmen 765
 Prüfstrategie 656
 Prüfung
 - Konformitätsprüfung 718
 Prüfungsformen 1044
 Prüfzeitpunkt 664
 Prüfzyklus 767
 Pugh-Matrix 279

Q

- QM-Nachweisführung 88
 QM-System 1051, 1058
 QM-Teufelskreis 255
 Qualifikationen 1038

- Qualität 5, 17, 840, 910, 918
Qualitätsaudit 88
Qualitätsbegriff 33
Qualitätsbewusstsein 153, 1058
Qualitätsbezogene Kosten 450
Qualitätscontrolling 110, 344
Qualitätskosten 105
Qualitätskreis 9
Qualitätsmanagement 19, 216
- DIN EN ISO 9001 216
- IATF 16949 218
- VDA Band 6 217
Qualitätsmanagement-Maßnahmen 90
Qualitätsmanagementsysteme 933
Qualitätsmanagementsysteme für Dienstleistungen 539
Qualitätsmanager 1062
Qualitätsmerkmale 369, 656
- Gewichtungen 371
Qualitätsmerkmale von Software 433
Qualitätsplanung 551f., 572, 653
Qualitätspolitik 6, 155, 186
Qualitätsprobleme 918
Qualitätspyramide 9
Qualitätsregelkarten (QRK) 665, 778, 785
Qualitätssicherung
- Produkt 136
- Produktion 136
Qualitätssicherungsvereinbarungen 860
Qualitätsstrategie 997
Qualitätszertifikat 560
Quality Backward Chain 51, 899
Quality Effect Model on Value Added (QEMOVA) 112
Quality Forward Chain 51
Quality Function Deployment (QFD) 277, 552
Quality Gates 394
Quality Stream 50
Quantiltransformation 810
Quickware 32
- Regressionstest 457, 618
Reifegrad 407
Reifegradkriterien 398
Reifegradmodelle 111
Reifegradmodell Interaktiver Managementsysteme 258
Reklamation 862
Rekonfiguration 581, 595, 603
Reliability-Growth-Model 458
Reparatur 590, 914
Requirements Engineering 387
Re-Sourcing 845
Ressourcen 187
- Bereitstellung von 864
Ressourcen & Dienste 51
Ressourcenmanagement 737, 760
Restrukturierung 455
Reverse Engineering 455
Reviews 456, 558
Risiko 604, 662
- Abnehmer-/Herstellerrisiko 599
- Risiken für die Wohlstandsgesellschaft 551
- Risikoakzeptanz 604
- Risikoanalyse 595
- Risikobewertung 604
Risikominimierung
- bei Lieferantenauswahl 838
Robuste Prozesse 631, 642
Robustes Produkt 631
Rohdatenebene 817, 820
RTCA/DO-178B 624
RTCA/DO-178C 623
Rückführbarkeit 764
Rückmeldung und Anerkennung 1057
Rückruf 962f., 978f., 986
Rückrufmanagement 985
Rückverfolgbarkeit 197, 759, 866
RUP (Rational Unified Process) 437
RUSP (Ready to Use Software Product) 434

R

- RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. 944
RAL Gütezeichen 928, 944ff.
Randomisierung 638
Rapid Prototyping 437, 455
Rasterversuche 632
Rational Unified Process 437
Rauchmelder 978
RCM (Reliability Centered Maintenance) 602
Rechtsgutsverletzung 965f., 977
Redundanz 581f., 588f., 591, 593, 601
Reengineering 455
Referenzprozess 394
Regelkarten 810
Regression 807
Regressionsanalyse 281, 640, 810f.
Regressionskoeffizienten 813

S

- Sachmangel 867
Schaden 590
Schätzung 585
- Intervallschätzer 585
- Punktschätzer 586
Schnittstellen 70, 393, 1056
Schutz 588, 591
- Schutzfunktion 581f., 601
- Schutzsystem 592
- Überfunktion, Unterfunktion 592
Schutzgesetz 965
Schwierige Prüfbarkeit 430
Scoring-Verfahren 840
Screening-Versuch 647
Scrum 438
Sekundärorganisation 48
Self-Assessment 459, 1001

- Seriestruktur 588, 601
 Servicecontrolling
 - Kennzahlen 923
 Service Management System 916
 Serviceorientierte Architektur (SOA) 448
 Serviceprodukte 911
 Shainin, Dorian 643
 Shewhart, Walter A. 778
 Sicherheit 578, 581, 588
 - Sicherheitsbericht 598
 - Sicherheitsmanagement 597
 Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (SGA) 220
 - DIN ISO 45001 221
 SI-Einheit 764
 Sigma-Niveau 265
 Simultaneous Engineering 555, 566
 SIPOC-Analyse 269
 Six Sigma 262
 Slowware 32
 Smart Connected Products (SCP) 469, 528
 Smart Data 817, 819, 821
 Smart Expert 817, 820f.
 SMART-Regel 271
 Society 5.0 802f.
 Software 428, 556, 610, 773
 - für Versuchsplanung 646
 Software-Anforderungskatalog 61
 Software Engineering 434, 610
 Software Engineering Institute (SEI) 459
 Softwareentwicklung 434
 Softwarefehler 444
 Softwarekrise 427, 434
 Softwarelebenszyklus 434, 454
 Software-Primärbranche 428
 Softwareprodukt 428
 Softwarequalität 433
 Software-Qualitätsmanagement 451
 Software-Sanierung 455
 Software-Sekundärbranchen 428
 Softwaretechnik 434
 Softwareumfang 444
 Software-Wartung 455
 Software-Wiederverwendung 448
 Sony 569
 SPC-Regelkarten (SPC-QRK) 786
 Speichenkonstrukt 825
 Spezifikationsfehler 454
 Spezifikationsphase 454
 SPICE (Software Process Improvement and Capability Determination) 433, 459
 Sprint 439
 SQuaRE (Software Product Quality Requirements and Evaluation) 433
 Stabilität 785
 Stage-Gate-Prozess 559
 Standard-Anwendungssoftware 428
 Standards 152, 432
 Standardsoftware 428
 Standardunsicherheit 745
 Standardunsicherheitskomponenten 748
 Stand der Technik 12
 Standort Deutschland 994
 Statische Analysatoren 456
 Statische Analysen 456
 Statistical Process Control (SPC) 22, 810
 Statistik 639
 Statistische Prozessregelung (SPC) 655, 784
 Statistische Qualitätsregelung 22
 Statistische Testverfahren 457
 Statistische Versuchsmethodik 273
 Stereolithographie 558
 Stichprobe 779
 Stichprobenprüfung 655, 921
 Stiftung Warentest 937, 954
 Störgrößen 635
 Störungsmanagement 582, 595
 Strafrecht 979
 Strategien eines Unternehmens 65
 Strategieorientierung 62
 Streifenprojektionsverfahren 705
 Strukturtest 457
 Supplier Development 845
 Supplier Evaluation System 853
 Supportprozess 60
 SWOT-Analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) 64
 Synchronisation des Entwicklungsfortschritts 393
 Synchronisation parallel arbeitender Entwicklungsteams 392
 Systemanalyse 360
 Systemarchitektur 581f., 588
 Systembegutachtung 360
 Systemsoftware 428
 Systemspezifikation 387
 Systemtest 617
 Systemübergreifende Vernetzung 818

T

- Tagesgeschäft 569
 Taguchi, Gen'ichi 642
 Target Costing 554
 Task-Force 567
 Tastschnittgeräte 707
 Taylorismus 21
 Taylorscher Grundsatz 693
 Teamkommunikation 568
 Technikrecht 120
 Technologievielfalt 559
 Terminologiedatenbank 92
 Terminologienormung 83
 Test 457
 TESTA 780
 Testen 457
 Testfälle 389, 457
 Testmanagement 391
 Testplanung 388

- Testverfahren 457
Teufelsquadrat 446
TGA (Trägergemeinschaft für Akkreditierung) 357
Time-to-Market 556, 566
Time-to-Money 570
Toleranz(en) 430, 661, 791
– minimale 747
Top-down-Integrationstest 616
Total Quality Control (TQC) 23
Total Quality Management 153, 159, 283, 618, 1024
– Ergebnisorientierung 1031
– Kundenorientierung 1030
– Mitarbeiterorientierung 1029
– Prozessorientierung 1029
– Reifegradmodell 1026
– Umsetzung 1031
Total Quality Management (TQM) 23
TRIZ 278
t-Test 743
- U**
- Übereinstimmungsbereich 769
Überlappung 562
Überlebenswahrscheinlichkeit 579, 584f.
Überwachtes Lernen 807
Überwachung und Messung 866
UML (Unified Modeling Language) 455, 611
Umwelt-Audit-Zyklus 140
Umwelthandbuch 144
Umweltmanagement 218
– DIN EN ISO 14001 218
– Öko-Audit-Verordnung EMAS 219
Umweltmanagementsystem 140
Umweltrecht 136
Umweltziele 142
Uno-Actu-Prinzip 909, 918
Unsicherheitsbudget 770
Unternehmensdigitalisierung 824
Unternehmenskultur 564
Unternehmensorganisation 45
Unternehmenspolitik 1058
Unternehmenstransformation 823
Unternehmensziele 65, 1053
Unternehmerisches Qualitätsmanagement 43
Untersuchungsziel 634
Unüberwachtes Lernen 807
US-Risiko 987
- VDE-EMV-Zeichen 940
VDE-GS-Zeichen 940
VDE-Zeichen 928, 940
Verantwortung 1057
Verantwortungsmatrix 233
Verbesserung 200f.
Verbesserungsstrategien 643
Verbraucherprodukte 984
Verbraucherschutz 981
Vererbung 447
Verfahren 2 (MSA) 749
Verfahrensaudit 347
Verfahrensnormen 85
Verfügbarkeit 578, 582, 588, 596
Vergleichspräzision 743, 770
Verifikation 597
Verifizierung 455, 683
Verkauf 570
Verkehrssicherungspflichten 121, 124
Verschleiß 595
Verschuldenshaftung 963ff., 970
Versicherungsschutz 460
Verständigungsnormen 85
Versuchsergebnisse auswerten 639
Versuchspläne 636
Versuchsplanung 629
Versuchsumfang 638
Versuchswerkstatt 557
Verteilungsmodelle 787
Vertikale Struktur 819
Vertrag 560
Vertragsgegenstände 874
Vertrauensintervall 586
Vertrieb
– von Kundendienstleistungen 924
Verzugsschaden 128
Vision 2000 87
Visualisierung von Ergebnissen 73
VMI-Matrix (Verantwortung, Mitwirkung, Information) 405
V-Modell 386
V-Modell nach Boehm 436
V-Modell XT 431, 610
Voice of the Customer 269
Vorbegutachtung 360
Vorbehandlung 599
Vorgehensmodelle 434
Vorläufige Prozessfähigkeit 787
Vorprojektphase 561f., 565, 567
- W**
- Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion 661
Walkthrough 456
Wareneingangskontrolle 125, 127
Warentest 953
Warenverkehrsfreiheit 133
Wartung 581, 584, 591, 593, 595f., 602

- Wartungskosten 450
 Wasserfallmodell 435
 Web Services 448
 Weibullanalyse 280
 Weibull-Kurve 374
 Weibullverteilung 584
 Weiterbildung 1037
 Werkskalibrierung 764
 Werkzeuge des Wissensmanagements 300f., 303f.
 Wertfunktion 7
 Wertschöpfung 999
 Wertschöpfungskette 106
 Wertstromdesign 279
 Wettbewerb 3f.
 Wettbewerberanalyse 63
 White-Box-Test 457
 Wiederholbarkeit 748
 Wiederholmessungen 748
 Wiederholpräzision 739, 770
 Wiederholungsbegutachtung 361
 Wiederverwendbare Komponenten 447
 Wiederverwendung 448
 Wiederverwendung von Klassen 447
 Wiki-Technologie 258
 Wirtschaftlichkeit 11, 779, 840, 1044
 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 108
 Wissensmanagement 292
 – Prozessorientiertes Wissensmanagement 249
 Wissensmanagement-Audit 301
 Wissensmanagement-Kreislauf 297
 Wissensmanagement-Strategie 300
 Wissensmanagement-Ziele 300, 305
 Wissensmanager 310
 Wissensorientierte Prozessanalyse 302
 Wissenstransfer 563
- X**
- XY-Theorie von McGregor 1055
- Z**
- Zählen 685
 Zehnerregel 106
 Zeitpunkte 749
 Zentrale Organisationsform 49
 Zertifikat 153f., 157, 931
 – Nutzen 363
 Zertifizierung 133, 161, 931, 933, 940
 – DIN EN ISO 9001
 – 2015 250
 Zertifizierungsaudits 350
 Zertifizierungssystem 1039
 Zielfindung 65
 Zielgrößen 635
 Zufallsstreuung 632
 Zustandsdiagramm 601
 Zuverlässigkeit 578f.
 – Komponenten 582
 – System 581, 588
 Zuverlässigkeitssblockdiagramm 589, 601
 Zuverlässigkeitssnachweis 586, 598
 Zuverlässigkeitssicherung 579, 597
 Zweidimensionale Fähigkeitenkenngrößen 792
 Zwei-Faktoren-Theorie von Herzberg 1055
 Zweitparteien-Audits 343