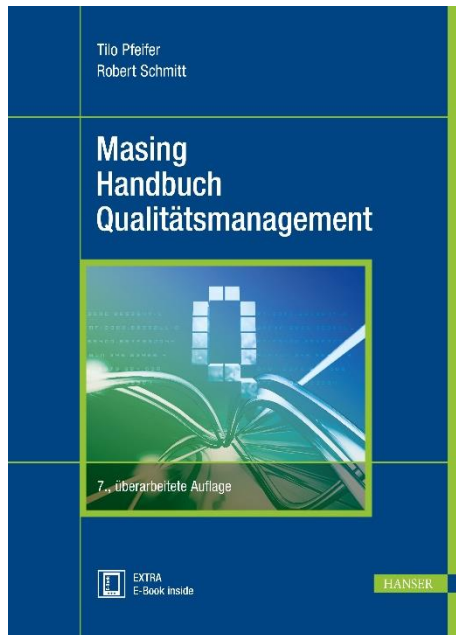


# HANSER



## 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

<b>Vorwort</b> .....	<b>XXIII</b>	<b>2</b>	
<b>Über die Herausgeber</b> .....	<b>XXV</b>		
<b>Walter Masing – eine Autobiografie</b> .....	<b>XXVII</b>		
<b>Autorenverzeichnis</b> .....	<b>XXXV</b>		
<b>TEIL I Qualitätsmanagement als Basisaufgabe für den Unternehmenserfolg</b> .....	<b>1</b>		
<b>1 Das Unternehmen im Wettbewerb</b> ..	<b>4</b>		
<i>Walter Masing</i>			
<b>1.1 Kunde und Lieferer</b> .....	<b>5</b>	<b>2.1 Qualität und Qualitätsmanagement</b> ..	<b>17</b>
<b>1.2 Qualitätspolitik</b> .....	<b>6</b>	2.1.1 Die Kernfrage: Was ist Qualität? .....	17
<b>1.3 Außenverhältnis</b> .....	<b>7</b>	2.1.2 Qualitätsmanagement als Wissens- und Fachgebiet .....	19
1.3.1 Wertfunktion .....	7	<b>2.2 Das Gestern: Die Genese des Qualitätsmanagements</b> .....	<b>20</b>
1.3.2 Informationsdefizit .....	7	2.2.1 Der Produktfokus: Messen und sortieren .....	20
1.3.3 Produkttragende Tätigkeiten .....	8	2.2.2 Der Prozessfokus: Regeln und verbessern .....	22
<b>1.4 Innenverhältnis</b> .....	<b>8</b>	2.2.3 Der Managementsystemfokus: TQM und Systemnormen .....	23
1.4.1 Prozessqualität .....	8	2.2.4 Der Organisationssystemfokus: Exzellenz-Modelle .....	26
1.4.2 Denkmodelle .....	9	2.2.5 Innovatoren und Meilensteine des Qualitätsmanagements .....	29
1.4.2.1 Qualitätskreis .....	9	<b>2.3 Das Heute und das Morgen: Herausforderungen und Paradigmenwechsel im Qualitätsmanagement</b> .....	<b>29</b>
1.4.2.2 Qualitätspyramide .....	9	2.3.1 Paradigmenwechsel .....	31
1.4.3 Wirtschaftlichkeit .....	11	2.3.2 Herausforderungen .....	33
<b>1.5 Innovation</b> .....	<b>12</b>	2.3.3 Ein moderner Qualitätsbegriff .....	33
1.5.1 Bekannte Produkte .....	12	2.3.4 Wie kann sich das Qualitätsmanagement weiterentwickeln? .....	36
1.5.2 Neue Produkte .....	13	<b>3 Qualitätsgerechte Organisationsstrukturen</b> .....	<b>40</b>
<b>1.6 Zusammenfassung</b> .....	<b>13</b>	<i>Ina Heine, Thomas Hellebrandt, Tilo Pfeifer, Robert H. Schmitt</i>	
		<b>3.1 Unternehmerisches Qualitätsverständnis</b> .....	<b>42</b>
		3.1.1 Vom klassischen zum unternehmerischen Qualitätsverständnis .....	42
		3.1.2 Aufgabenbereiche des Qualitätsmanagements .....	44

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

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

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

<b>12</b>	<b>Six Sigma</b> .....	<b>262</b>	<b>13.4</b>	<b>Die Erweiterung des ganzheitlichen Ansatzes</b> .....	<b>299</b>
	<i>Hannes Elser, Kai Wangerow, Quoc Hao Ngo, Robert H. Schmitt</i>		<b>13.5</b>	<b>Implementierungsstrategien</b> .....	<b>300</b>
<b>12.1</b>	<b>Erfolgspotenziale und Herausforderungen</b> .....	<b>264</b>	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	<b>13.6</b>	<b>Erfolgsmessung und Controlling mit einer Knowledge Scorecard</b> .....	<b>305</b>
<b>12.2</b>	<b>Six Sigma-Prozessverständnis</b> .....	<b>265</b>	13.6.1	Die Struktur der Knowledge Scorecard ..	305
<b>12.3</b>	<b>Six Sigma-Projektorganisation</b> .....	<b>266</b>	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
<b>12.4</b>	<b>Six Sigma – Vorgehen und Methodenbaukasten</b> .....	<b>268</b>	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	<b>13.7</b>	<b>Zusammenhang von Qualitäts- und Wissensmanagement</b> .....	<b>309</b>
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	<b>13.8</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>311</b>
<b>12.5</b>	<b>Design for Six Sigma: Durchgängige Absicherung der Produktentstehung</b> ..	<b>275</b>	<b>14</b>	<b>Dokumentation</b> .....	<b>314</b>
<b>12.6</b>	<b>Datengetriebenes Six Sigma</b> .....	<b>280</b>		<i>Iris Bruns, Stephan Killich, Alexander Künzer</i>	
<b>12.7</b>	<b>Rahmenbedingungen zur Einführung von Six Sigma</b> .....	<b>283</b>	<b>14.1</b>	<b>Dokumentation im Unternehmensumfeld</b> .....	<b>316</b>
12.7.1	Zielsetzung für die Six Sigma-Organisation .....	283	<b>14.2</b>	<b>Anforderungen an die Dokumentation</b> .....	<b>317</b>
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	<b>14.3</b>	<b>Dokumentationsarten</b> .....	<b>323</b>
<b>12.8</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>287</b>	14.3.1	Struktur .....	324
<b>13</b>	<b>Wissensmanagement</b> .....	<b>292</b>	14.3.2	Klassifikation von Dokumenten .....	325
	<i>Gabriele Vollmar, Tilo Pfeifer</i>		<b>14.4</b>	<b>Vorgehensweise der Dokumentation im Qualitätsmanagement</b> .....	<b>326</b>
<b>13.1</b>	<b>Wozu Wissensmanagement?</b> .....	<b>293</b>	14.4.1	Partizipation .....	326
<b>13.2</b>	<b>Grundlegende Begriffsdefinitionen</b> ..	<b>293</b>	14.4.2	Aufbau eines Qualitätsmanagements ...	328
13.2.1	Wissen – mehr als Daten und Informationen .....	293	14.4.3	QM-Lifecycle .....	329
13.2.2	Wissensmanagement .....	295	<b>14.5</b>	<b>Softwaretechnische Unterstützung und Best Practice</b> .....	<b>332</b>
<b>13.3</b>	<b>Modelle im Wissensmanagement</b> ....	<b>297</b>	14.5.1	Personalisierung .....	334
13.3.1	Das Bausteine-Modell nach (Probst et al. 2003) .....	297	14.5.2	Prozesslandschaft .....	334
13.3.2	Das Prozessmodell der Gesellschaft für Wissensmanagement e. V. (GfWM) ..	298	14.5.3	Pflege des Qualitätsmanagementsystems ..	336
13.3.3	Elemente eines Wissensmanagement-Systems nach ISO 30401 .....	298	14.5.4	Berichte .....	337
			<b>14.6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>337</b>



<b>15</b>	<b>Audit</b> . . . . .	<b>342</b>	17.2.2	Gewicht von Qualitätsmerkmalen . . . . .	371
	<i>Michael Gropp</i>		17.2.3	Information über und Kommunikation von Qualitätsmerkmalen . . . . .	371
<b>15.1</b>	<b>Begriffsbestimmung</b> . . . . .	<b>343</b>	17.2.4	Stillschweigend vorausgesetzte Merkmale und Begeisterungsmerkmale .	372
<b>15.2</b>	<b>Audit als Managementinstrument</b> . . .	<b>344</b>	17.2.5	Subjektive und induzierte Qualitäts- merkmale . . . . .	373
<b>15.3</b>	<b>Arten von Audits</b> . . . . .	<b>345</b>	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			
<b>15.4</b>	<b>Ablauf des Audits</b> . . . . .	<b>351</b>			
<b>16</b>	<b>Zertifizierung von Qualitäts- managementsystemen</b> . . . . .	<b>354</b>	<b>18</b>	<b>Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung</b> . . . . .	<b>384</b>
	<i>Michael Drechsel</i>			<i>Thomas Prefi</i>	
<b>16.1</b>	<b>Zweck und Nutzen der Zertifizierung</b>	<b>356</b>	<b>18.1</b>	<b>Qualitätsmanagement in der Entwicklung – eine Situations- beschreibung</b> . . . . .	<b>385</b>
<b>16.2</b>	<b>Akkreditierung</b> . . . . .	<b>356</b>	<b>18.2</b>	<b>Befähigung des Produkt- entstehungsprozesses</b> . . . . .	<b>386</b>
<b>16.3</b>	<b>Voraussetzung für eine Zertifizierung</b>	<b>357</b>	<b>18.3</b>	<b>Testplanung – Überwachen des Produktentstehungsprozesses</b> . . . . .	<b>388</b>
<b>16.4</b>	<b>Vorbereitung auf die Zertifizierung</b> . .	<b>358</b>	<b>18.4</b>	<b>Testmanagement</b> . . . . .	<b>391</b>
<b>16.5</b>	<b>Ablauf der Zertifizierung</b> . . . . .	<b>359</b>	<b>18.5</b>	<b>Synchronisation parallel arbeitender Entwicklungsteams</b> . . . . .	<b>392</b>
16.5.1	Information . . . . .	359	<b>18.6</b>	<b>Quality Gates steuern die Qualität im Produktentstehungsprozess</b> . . . . .	<b>394</b>
16.5.2	Angebot und Vertrag . . . . .	359	18.6.1	Ablaufsegmentierung des Referenz- prozesses . . . . .	394
16.5.3	Systemanalyse (Audit Stufe 1) . . . . .	360	18.6.2	Inhaltliche Segmentierung des Referenz- prozesses . . . . .	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
<b>16.6</b>	<b>Kosten der Zertifizierung</b> . . . . .	<b>362</b>	18.6.3.5	Element 5 – Erfahrungswissen nutzbar machen . . . . .	409
<b>16.7</b>	<b>Anerkennung der Zertifikate</b> . . . . .	<b>362</b>	<b>18.7</b>	<b>Qualitätsplanung und Qualifikation in der Produktentstehung</b> . . . . .	<b>410</b>
<b>16.8</b>	<b>Nutzen der Zertifikate</b> . . . . .	<b>363</b>		<i>Thomas Kupka, Robert Imre Münnich</i>	
<b>16.9</b>	<b>Zeitaufwand für eine Zertifizierung</b> . .	<b>364</b>	18.7.1	Einleitung . . . . .	410
<b>16.10</b>	<b>Beratung und Zertifizierung</b> . . . . .	<b>364</b>	18.7.2	Realisierung in der Praxis . . . . .	411
<b>16.11</b>	<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	<b>364</b>	18.7.2.1	Funktionsanalyse . . . . .	412
<b>TEIL III</b>	<b>Qualitätsmanagement in der Entwicklung</b> . . . . .	<b>365</b>	18.7.2.2	Schnittstellenanalyse . . . . .	413
<b>17</b>	<b>Qualität und Markt</b> . . . . .	<b>368</b>	18.7.2.3	Produktfunktion . . . . .	414
	<i>Thomas Prefi, Björn Falk, Robert H. Schmitt</i>		18.7.2.4	Parameterdiagramm . . . . .	415
<b>17.1</b>	<b>Motivation</b> . . . . .	<b>369</b>	18.7.2.5	Funktionale Spezifikation . . . . .	416
<b>17.2</b>	<b>Logik der Qualitätsmerkmale</b> . . . . .	<b>369</b>			
17.2.1	Nutzen und Wert von Qualitäts- merkmalen . . . . .	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	<b>19.8</b>	<b>Prozess-Assessment .....</b>	<b>459</b>
18.7.2.10	Produktionslenkungsplan .....	421	<b>19.9</b>	<b>Produkthaftung: Maßnahmen zur Risikominderung bei der Software- entwicklung .....</b>	<b>460</b>
18.7.2.11	Prozess- und Produktfreigabe .....	421	<b>19.10</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>460</b>
18.7.2.12	Schnelle Produktbeobachtung im Feld nach SOP .....	421			
18.7.3	Organisatorisches und weitere Aspekte .	423	<b>20</b>	<b>Qualitätsgerechte Typologisierung moderner Produktformen .....</b>	<b>466</b>
18.7.4	Zusammenfassung und Ausblick .....	424		<i>Felix Sohnus, Leo Nuy, Robert H. Schmitt</i>	
<b>19</b>	<b>Qualitätsmanagement bei der Softwareentwicklung .....</b>	<b>426</b>	<b>20.1</b>	<b>Konventionelle Produkttypologi- sierung .....</b>	<b>467</b>
	<i>Bernd Walter Hohler</i>		<b>20.2</b>	<b>Produkte in Zeiten der Digitalisierung .....</b>	<b>469</b>
<b>19.1</b>	<b>Bedeutung der Software .....</b>	<b>427</b>	<b>20.3</b>	<b>Kriterien zur Typologisierung moderner Produktformen .....</b>	<b>471</b>
<b>19.2</b>	<b>Software .....</b>	<b>427</b>	<b>20.4</b>	<b>Chancen und Herausforderungen für eine qualitätsgerechte Produkt- entwicklung .....</b>	<b>473</b>
19.2.1	Definition von Software .....	427			
19.2.2	Kategorien von Software .....	428	<b>21</b>	<b>Qualitätsmanagement bei der Entwicklung smarter Produkte .....</b>	<b>478</b>
19.2.3	Besondere Eigenschaften von Software .	428		<i>Raphael Kiesel, Robert H. Schmitt</i>	
<b>19.3</b>	<b>Normung auf dem Gebiet der Software .....</b>	<b>431</b>	<b>21.1</b>	<b>Ausgangssituation – smarte Produkte und interdisziplinäre Entwicklungs- prozesse .....</b>	<b>479</b>
<b>19.4</b>	<b>Qualitätsmerkmale von Software ....</b>	<b>433</b>	21.1.1	Chancen und Herausforderungen smarter Produkte .....	479
<b>19.5</b>	<b>Methoden der Softwareentwicklung ..</b>	<b>434</b>	21.1.2	Problemstellung bei interdisziplinären Entwicklungsprozessen .....	479
19.5.1	Erkenntnisse aus der Softwarekrise ....	434	<b>21.2</b>	<b>Grundlagen smarter Produkte .....</b>	<b>480</b>
19.5.2	Vorgehensmodelle .....	434	21.2.1	Definition und Eigenschaften .....	480
19.5.2.1	Beschreibung von Vorgehensmodellen ..	434	21.2.2	Interdisziplinäres Umfeld bei der Entwicklung .....	482
19.5.2.2	Klassische, sequenzielle Vorgehens- modelle .....	435	<b>21.3</b>	<b>Besondere Anforderungen an inter- disziplinäre Entwicklungsprozesse ..</b>	<b>482</b>
19.5.2.3	Klassische, iterative Vorgehensmodelle .	437	<b>21.4</b>	<b>Bestehende Vorgehensmodelle zur Produktentwicklung der beteiligten Einzeldisziplinen .....</b>	<b>484</b>
19.5.2.4	Agile Vorgehensmodelle .....	438	21.4.1	Softwaretechnik .....	484
19.5.3	Klassisches Projektmanagement .....	441	21.4.1.1	Wasserfallmodell .....	485
19.5.4	Aufwands- und Kostenschätzung .....	443	21.4.1.2	V-Modell 97 und V-Modell XT .....	485
19.5.5	Metriken .....	443	21.4.1.3	Spiralmodell .....	487
19.5.6	Wiederverwendung .....	447	21.4.1.4	Extreme Programming (XP) .....	487
19.5.7	Mitarbeiter .....	449			
<b>19.6</b>	<b>Qualitätsbezogene Kosten und Entwicklungsaufwand .....</b>	<b>450</b>			
<b>19.7</b>	<b>Maßnahmen des Software-Qualitäts- managements .....</b>	<b>451</b>			
19.7.1	Klassifikation der Maßnahmen .....	451			
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	<b>Customer Insights aus Produkt- nutzungsdaten . . . . .</b>	<b>528</b>
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 Produktnutzungs- daten . . . . .	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	<b>Synchronisation der Entwicklungs- prozesse der Mechatronik smarter Produkte . . . . .</b>	<b>497</b>	23	<b>Qualitätsmanagement bei der Entwicklung von Dienstleistungen und Geschäftsmodellen . . . . .</b>	<b>534</b>
21.5.1	VDI 2206 – Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme . . . . .	497		<i>Tobias Adam, Sait Başkaya, Robert H. Schmitt</i>	
21.5.1.1	Der Problemlösungszyklus als Mikrozyklus . . . . .	497	23.1	<b>Wandel der Bedeutung von Dienstleistungen . . . . .</b>	<b>535</b>
21.5.1.2	V-Modell als Makrozyklus . . . . .	498	23.2	<b>Dienstleistungsbegriff . . . . .</b>	<b>535</b>
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	<b>Qualität und Dienstleistungen . . . . .</b>	<b>538</b>
21.5.3.2	Projektmanagement-Regelkreis . . . . .	506	23.3.1	Definition der Dienstleistungsqualität . .	538
21.5.3.3	Beschreibungstechniken zur inter- disziplinären Zusammenarbeit . . . . .	508	23.3.2	Dimensionen der Dienstleistungs- qualität . . . . .	538
21.6	<b>Zusammenfassung und Ausblick . . . .</b>	<b>509</b>	23.3.3	Qualitätsmanagementsystem für Dienstleistungen . . . . .	539
			23.3.4	Qualitätsorientierte Geschäftsmodelle . .	540
22	<b>Customer Insights in der Produktentwicklung . . . . .</b>	<b>514</b>	23.4	<b>Qualitätsmanagement für die Entwicklung von Dienstleistungen . . .</b>	<b>542</b>
	<i>Lars C. Gussen, Jan Kukulies, Felix Sohnus, Robert H. Schmitt</i>		23.4.1	Entwicklungsprozess von Dienst- leistungen . . . . .	542
22.1	<b>Customer Insights auf Basis von textbasiertem, digitalem Kunden- feedback . . . . .</b>	<b>517</b>	23.4.2	Qualitätsmanagement in den Phasen des Entwicklungsprozesses von Dienst- leistungen . . . . .	544
22.1.1	Potenzial von textbasiertem Kunden- feedback . . . . .	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	<b>Customer Insights aus Kunden- studien . . . . .</b>	<b>521</b>	23.5	<b>Zusammenfassung . . . . .</b>	<b>546</b>
22.2.1	Potenzial des Feedbacks aus Kunden- studien . . . . .	522	24	<b>Qualitätsgerechte Produktplanung . .</b>	<b>550</b>
22.2.2	Vorgehensweise zur Gewinnung von Customer Insights aus Kundenstudien . .	522		<i>Roman Boutellier, Andreas Biedermann</i>	
22.2.3	Methoden und Modelle zur Gewinnung von Customer Insights aus Kundenstudien . .	523	24.1	<b>Definition und Bedeutung . . . . .</b>	<b>551</b>
			24.2	<b>QFD: Kundenanforderungen konsistent umsetzen . . . . .</b>	<b>552</b>
			24.3	<b>Simultaneous Engineering: Zeitgewinn und bessere Lösungen . . .</b>	<b>555</b>

<b>24.4</b>	<b>Prototypen: Komplexe Zusammenhänge rechtzeitig erkennen</b> . . . . .	<b>556</b>	25.5.5	Diagnosefunktionen	593
<b>24.5</b>	<b>Reviews: Abstand gewinnen und Abhängigkeiten identifizieren</b> . . . . .	<b>558</b>	25.5.6	Berechnung redundanter Strukturen	593
<b>24.6</b>	<b>Zusammenarbeit mit Lieferanten: Notwendige Komplexitätsreduktion</b> . .	<b>559</b>	<b>25.6</b>	<b>Betrieb und Instandhaltung</b> . . . . .	<b>595</b>
<b>24.7</b>	<b>Drei Hauptphasen der Produktentwicklung</b> . . . . .	<b>561</b>	25.6.1	Störungsmanagement und Instandsetzung	595
24.7.1	Vorprojektphase	562	25.6.2	Präventive Wartung	595
24.7.2	Entwicklungsphase	566	25.6.3	Ersatzteillagerhaltung	596
24.7.3	Markteinführungsphase	568	25.6.4	Ergonomie und menschliche Faktoren	596
<b>24.8</b>	<b>Crowd Sourcing von Innovation</b> . . . . .	<b>571</b>	<b>25.7</b>	<b>Zuverlässigkeitssicherung</b> . . . . .	<b>597</b>
24.8.1	Phase 1: Beratung und Zielsetzung	571	25.7.1	Planungsprozess	597
24.8.2	Phase 2: Vorbereitung	571	25.7.2	Bewertung und Nachweis der Zuverlässigkeit, Sicherheit und Verfügbarkeit	597
24.8.3	Phase 3: Ausführung	572	<b>25.8</b>	<b>Verfahren und Werkzeuge der Zuverlässigkeits- und Sicherheitsplanung</b> . . . . .	<b>599</b>
24.8.4	Phase 4: Beurteilung	572	25.8.1	Systemanalysen, Modelle und Berechnungsmethoden	599
24.8.5	Post-Processing der Ideen	572	25.8.2	Zuverlässigkeitsanalysen	600
<b>24.9</b>	<b>Ausblick</b> . . . . .	<b>572</b>	25.8.3	Instandhaltbarkeits- und Instandhaltungsanalysen	602
<b>25</b>	<b>Zuverlässigkeits- und Sicherheitsplanung</b> . . . . .	<b>577</b>	25.8.4	Rekonfigurationsanalyse	603
	<i>Peter Zinniker</i>		25.8.5	Analyse der menschlichen Einflussfaktoren und Zuverlässigkeit	603
<b>25.1</b>	<b>Das Langzeitbetriebsverhalten</b> . . . . .	<b>578</b>	25.8.6	Risiko-, Gefahren- und Operabilitätsanalyse	603
<b>25.2</b>	<b>Erwartungen und Anforderungen</b> . . .	<b>579</b>	25.8.7	Lebenszykluskostenanalyse	604
25.2.1	Wirtschaftliche und rechtliche Hintergründe	579	<b>26</b>	<b>Software in sicherheitskritischen Systemen</b> . . . . .	<b>608</b>
25.2.2	Risikobasierter Ansatz	580		<i>Peter Liggesmeyer, Thomas Kuhn</i>	
<b>25.3</b>	<b>Einflussfaktoren (Übersicht)</b> . . . . .	<b>581</b>	<b>26.1</b>	<b>Motivation</b> . . . . .	<b>609</b>
<b>25.4</b>	<b>Zuverlässigkeit der Komponenten</b> . . .	<b>582</b>	<b>26.2</b>	<b>Software Engineering für sicherheitskritische Systeme</b> . . . . .	<b>610</b>
25.4.1	Beanspruchung und Belastbarkeit	582	26.2.1	Entwicklungsmethoden	611
25.4.2	Lebensdauermodell	583	26.2.1.1	Analyse	613
25.4.3	Lebensdauerstatistik und Lebensdauerprüfungen	585	26.2.1.2	Entwurf	613
25.4.4	Empirische Zuverlässigkeit	585	26.2.1.3	Implementierung	614
25.4.5	Schätzung der Ausfallrate bei exponentiell verteilten Ausfallzeiten	585	26.2.2	Prüfung	614
25.4.6	Praktische Grenzen	586	26.2.2.1	Modulprüfung	614
25.4.7	Generische Daten und Ausfallratenmodelle	587	26.2.2.2	Integration und die Integrationsprüfung	615
25.4.8	Bayes'sches Verfahren	587	26.2.2.3	Systemprüfung	617
25.4.9	Spezielle Beanspruchungen	587	<b>26.3</b>	<b>Organisatorische Aspekte</b> . . . . .	<b>618</b>
<b>25.5</b>	<b>Systemarchitektur und Redundanz</b> . .	<b>588</b>	<b>26.4</b>	<b>Dokumentation und Auswertung von Prüfungen</b> . . . . .	<b>620</b>
25.5.1	Seriestrukturen	588	<b>26.5</b>	<b>Standards</b> . . . . .	<b>620</b>
25.5.2	Redundanz	589	26.5.1	Bedeutung von Standards	620
25.5.3	Schutz- und Überwachungs-einrichtungen	591	26.5.2	Prozessorientierte Standards	622
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	<b>27.10</b>	<b>Hinweise und Empfehlungen</b>	<b>645</b>
26.5.4	Anwendungsbereichsspezifische technische Standards	623	<b>27.11</b>	<b>Software</b>	<b>646</b>
26.5.4.1	DIN EN 50128	623	<b>27.12</b>	<b>Beispiel</b>	<b>646</b>
26.5.4.2	RTCA/DO-178C	623	27.12.1	Untersuchungsziel und Randbedingungen festlegen	646
26.5.4.3	ISO 26262	624	27.12.2	Planung und Durchführung eines Screening-Versuchs	647
<b>26.6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>624</b>	27.12.3	Planung und Durchführung der Detailuntersuchung	648
<b>27</b>	<b>Statistische Versuchsplanung</b>	<b>629</b>	27.12.4	Bestätigungsversuch	649
	<i>Wilhelm Kleppmann</i>		27.12.5	Hinweise für eigene Versuche	649
<b>27.1</b>	<b>Typische Fragestellungen</b>	<b>630</b>	<b>28</b>	<b>Prüfplanung</b>	<b>652</b>
<b>27.2</b>	<b>Mögliche Vorgehensweisen</b>	<b>631</b>		<i>Gerhard Linß</i>	
27.2.1	Intuitives Experimentieren	631	<b>28.1</b>	<b>Aufgaben der Prüfplanung</b>	<b>653</b>
27.2.2	Einfaktorversuche	631	<b>28.2</b>	<b>Prüfnotwendigkeit</b>	<b>654</b>
27.2.3	Rasterversuche (= vollständig faktoriell mit mehrstufigen Faktoren)	632	<b>28.3</b>	<b>Methoden der Prüfplanung</b>	<b>654</b>
27.2.4	Statistischer Versuchsplan (Beispiel: zentral zusammengesetzt)	633	<b>28.4</b>	<b>Aufbau von Prüfplänen</b>	<b>657</b>
<b>27.3</b>	<b>Der experimentelle Zyklus</b>	<b>633</b>	<b>28.5</b>	<b>Methodik zur Auswahl von Prüfmitteln</b>	<b>658</b>
<b>27.4</b>	<b>Systematische Vorbereitung</b>	<b>634</b>	28.5.1	Technische/technologische Prüfmittelauswahl	658
27.4.1	Untersuchungsziel und Randbedingungen festlegen	634	28.5.2	Organisatorische Prüfmittelauswahl	660
27.4.2	Faktoren auswählen und sinnvolle Bereiche festlegen	634	28.5.3	Wirtschaftliche Prüfmittelauswahl	660
<b>27.5</b>	<b>Die eigentliche Versuchsplanung</b>	<b>636</b>	<b>28.6</b>	<b>Industrielles Beispiel für die Erarbeitung eines Prüfplanes</b>	<b>663</b>
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 Prüffart	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 Versuchsdurchführung	639	28.6.4	Prüfmethode und Prüfmittel für die Prüfaufgabe „Lagerstift“	666
<b>27.6</b>	<b>Auswertung der Versuchsergebnisse</b>	<b>639</b>	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	<b>28.7</b>	<b>Tabellen</b>	<b>669</b>
27.6.3	Varianzanalyse	640			
27.6.4	Konsequenzen, Maßnahmen, Bestätigungsversuch	641			
<b>27.7</b>	<b>Verfahren zur Optimumsuche</b>	<b>642</b>			
<b>27.8</b>	<b>Robuste Prozesse/Produkte nach G. Taguchi</b>	<b>642</b>			
<b>27.9</b>	<b>Verbesserungsstrategien nach D. Shainin</b>	<b>643</b>			
27.9.1	Multi-Vari-Bild	643			

<b>TEIL IV Qualitätsmanagement in der Produktion</b>	<b>677</b>	<b>31 Eignungsnachweise für Messprozesse</b>	<b>732</b>
<b>29 Messen und Prüfen</b>	<b>680</b>	<i>Edgar Dietrich</i>	
<i>Albert Weckenmann, Teresa Werner</i>		<b>31.1 Einleitung</b>	<b>733</b>
<b>29.1 Bedeutung des Messens für das Qualitätsmanagement</b>	<b>682</b>	<b>31.2 Anforderungen</b>	<b>734</b>
<b>29.2 Grundlagen und Begriffe</b>	<b>683</b>	<b>31.3 Übersicht der Verfahren</b>	<b>735</b>
29.2.1 Wichtige Begriffe	683	<b>31.4 Fähigkeitsnachweise gemäß Firmenrichtlinie</b>	<b>735</b>
29.2.2 Grundsätzlicher Ablauf einer Prüfung	687	31.4.1 Untersuchung gemäß Verfahren 1	737
29.2.3 Grundvoraussetzungen für das Messen	688	31.4.2 Untersuchung gemäß Verfahren 2	739
29.2.4 Angabe eines Messergebnisses	688	<b>31.5 Fähigkeitsuntersuchung gemäß MSA</b>	<b>743</b>
<b>29.3 Mess- und Prüfmittel</b>	<b>691</b>	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 unterscheidbarer Kategorien	744
29.3.4 Koordinatenmessgeräte	697	<b>31.6 Eignungsnachweis gemäß VDA 5 bzw. ISO 22514-7</b>	<b>744</b>
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	<b>31.7 Vergleich von Firmenrichtlinien, MSA mit VDA 5 bzw. ISO 22514-7</b>	<b>750</b>
<b>29.4 Qualitätssicherung von Mess- und Prüfergebnissen</b>	<b>708</b>	<b>31.8 Sonderfälle</b>	<b>754</b>
29.4.1 Einflüsse auf das Messergebnis	708	<b>31.9 Zusammenfassung</b>	<b>754</b>
29.4.2 Qualität eines Mess-/Prüfergebnisses und eines Mess-/Prüfprozesses	712	<b>32 Messmanagementsystem/Prüfmittelmanagement</b>	<b>758</b>
29.4.3 Überwachung der Prüfmittel	717	<i>Edgar Dietrich</i>	
29.4.4 Dokumentation von Messergebnissen	718	<b>32.1 Aufgaben des Messmanagementsystems</b>	<b>759</b>
<b>29.5 Interpretation von Mess- und Prüfergebnissen</b>	<b>718</b>	<b>32.2 Zielsetzung des Messmanagementsystems</b>	<b>759</b>
29.5.1 Auswirkungen der Messunsicherheit auf die Konformitätsprüfung	718	<b>32.3 Verantwortung der Leitung</b>	<b>760</b>
29.5.2 Auswirkung der Messunsicherheit auf die Prozesslenkung und -optimierung	719	<b>32.4 Ressourcenmanagement</b>	<b>760</b>
29.5.3 Auswirkung der Messunsicherheit auf andere Bereiche	720	32.4.1 Personal	760
<b>29.6 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>721</b>	32.4.2 Informationsressourcen	761
<b>30 Rückführung und Kalibrierung</b>	<b>726</b>	32.4.3 Einsatz von Software	761
<i>Peter Ulbig</i>		32.4.4 Kennzeichnung des Messmittels	761
<b>30.1 Rückführung als Basis für das Messwesen</b>	<b>727</b>	32.4.5 Materialressourcen	762
<b>30.2 Kalibrierungen und Akkreditierung</b>	<b>728</b>	32.4.6 Externe Lieferanten	763
		<b>32.5 Metrologische Bestätigung</b>	<b>763</b>
		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	<b>34.4</b>	<b>Langzeitauswertungen . . . . .</b>	<b>795</b>
<b>32.6</b>	<b>Messprozess . . . . .</b>	<b>769</b>	<b>34.5</b>	<b>Auf Stichproben basierende Prozess- regelung und Digitalisierung . . . . .</b>	<b>796</b>
<b>32.7</b>	<b>Verbesserung des Messmanagement- systems . . . . .</b>	<b>772</b>	<b>35</b>	<b>Zukunftsfähige Produktionssysteme durch Predictive Quality . . . . .</b>	<b>800</b>
<b>32.8</b>	<b>Aufbewahrungsdauer . . . . .</b>	<b>772</b>		<i>Daniel Buschmann, Max Ellerich, Louis Huebser, Marie Lindemann, Peter Schlegel, Robert H. Schmitt</i>	
<b>32.9</b>	<b>Einsatz von Software . . . . .</b>	<b>773</b>	<b>35.1</b>	<b>Digitalisierung zur Abbildung zukunftsfähiger Produktionssysteme . . . . .</b>	<b>801</b>
<b>32.10</b>	<b>Zusammenfassung . . . . .</b>	<b>774</b>	35.1.1	Digitisierung, Digitalisierung und digitale Transformation . . . . .	801
<b>33</b>	<b>Statistik als Basis qualitäts- methodischen Denkens und Handelns . . . . .</b>	<b>776</b>	35.1.2	Internationale Entwicklungen der digitalen Transformation . . . . .	802
	<i>Letzter öffentlicher Vortrag von Walter Masing anlässlich des Q-DAS-Forums in Weinheim am 26. 11. 2003</i>		<b>35.2</b>	<b>Data Analytics zur Analyse zukunfts- fähiger Produktionssysteme . . . . .</b>	<b>804</b>
<b>33.1</b>	<b>Beginn . . . . .</b>	<b>777</b>	35.2.1	Einführung in Data Analytics . . . . .	804
<b>33.2</b>	<b>Vor-Moderne . . . . .</b>	<b>777</b>	35.2.2	Statistische Ansätze und maschinelles Lernen . . . . .	805
<b>33.3</b>	<b>Walter Shewhart . . . . .</b>	<b>778</b>	35.2.3	Anwendungsbeispiel des Maschinellen Lernens in der Produktion . . . . .	808
<b>33.4</b>	<b>Wirtschaftlichkeit . . . . .</b>	<b>779</b>	35.2.4	Bedeutung von Data Analytics für die Qualität . . . . .	815
<b>33.5</b>	<b>Stichproben . . . . .</b>	<b>779</b>	<b>35.3</b>	<b>Predictive Quality zur Optimierung zukunftsfähiger Produktions- systeme . . . . .</b>	<b>816</b>
<b>33.6</b>	<b>Von TESTA zur Deutschen Gesellschaft für Qualität . . . . .</b>	<b>780</b>	35.3.1	Einführung von Predictive Quality aus technischer Sicht . . . . .	817
<b>33.7</b>	<b>Denken in Wahrscheinlichkeiten . . . .</b>	<b>781</b>	35.3.2	Einführung von Predictive Quality aus unternehmerischer Sicht . . . . .	821
<b>33.8</b>	<b>Statistische Arbeit . . . . .</b>	<b>781</b>	<b>35.4</b>	<b>Fazit und Ausblick . . . . .</b>	<b>825</b>
<b>33.9</b>	<b>Auslegung durch den Leser . . . . .</b>	<b>782</b>	<b>36</b>	<b>Lieferantenmanagement und Lieferanteninnovation . . . . .</b>	<b>831</b>
<b>33.10</b>	<b>Abschluss . . . . .</b>	<b>782</b>		<i>Stephan M. Wagner</i>	
<b>34</b>	<b>Statistische Prozessregelung (SPC) . .</b>	<b>784</b>	<b>36.1</b>	<b>Einleitung . . . . .</b>	<b>832</b>
	<i>Alfred Schulze, Markus Schmidt</i>		<b>36.2</b>	<b>Planung . . . . .</b>	<b>833</b>
<b>34.1</b>	<b>Einleitung . . . . .</b>	<b>785</b>	36.2.1	Lieferantenstrategien . . . . .	833
<b>34.2</b>	<b>Prozessanalyse . . . . .</b>	<b>785</b>	36.2.1.1	Strategien für die Lieferantenbasis . . . .	834
34.2.1	Datenaufnahme . . . . .	786	36.2.1.2	Strategien für einzelne Lieferanten . . . .	834
34.2.2	Zeitabhängige Verteilungsmodelle . . . .	787	36.2.2	Segmentierung der Lieferantenbasis . . .	834
34.2.3	Qualitätsregelkarten und Verteilungs- modelle . . . . .	789	36.2.2.1	Segmentierung nach Beschaffungs- volumen . . . . .	834
34.2.4	Prozessstabilität/Beherrscher Prozess .	789	36.2.2.2	Segmentierung nach Bedeutung und Komplexität . . . . .	836
<b>34.3</b>	<b>Prozessbeurteilung . . . . .</b>	<b>791</b>			
34.3.1	Fähigkeitskenngrößen als Prozess- merkmal . . . . .	791			
34.3.2	Berechnung der Fähigkeitskenngrößen .	791			
34.3.3	Zweidimensionale Fähigkeits- kenngrößen . . . . .	792			



36.2.2.3	Segmentierung nach Lieferantenbeziehungen	837	<b>37</b>	<b>Qualitätssicherungsvereinbarungen</b>	<b>860</b>
				<i>Michael Kroonder</i>	
<b>36.3</b>	<b>Management der Lieferantenbasis</b>	<b>838</b>	<b>37.1</b>	<b>Die Bedeutung der Qualitätssicherungsvereinbarung</b>	<b>861</b>
36.3.1	Lieferantenbeurteilung und -auswahl	838	<b>37.2</b>	<b>Definitionen</b>	<b>861</b>
36.3.1.1	Risikominimierung	838	<b>37.3</b>	<b>Was „fordert“ die DIN EN ISO 9001:2015?</b>	<b>863</b>
36.3.1.2	Risikomanagement	839	<b>37.4</b>	<b>Sinn und Zweck: Warum braucht man eine QSV?</b>	<b>866</b>
36.3.1.3	Beurteilungsverfahren	839	<b>37.5</b>	<b>Aufwand und Nutzen: Welchen Preis hat Qualität?</b>	<b>868</b>
36.3.1.4	Beurteilungskriterien	840	<b>37.6</b>	<b>Wahl des richtigen Zeitpunktes und Handlungsbedarf</b>	<b>869</b>
36.3.1.5	Unterstützung von Lieferantenauswahlentscheidungen mit Künstlicher Intelligenz (KI)	841	<b>37.7</b>	<b>Einbindung in das Vertragssystem</b>	<b>871</b>
36.3.2	Reduzierung der Lieferantenbasis	841	<b>37.8</b>	<b>Anforderungen von außen</b>	<b>872</b>
36.3.2.1	„Optimale“ Lieferantenzahl	841	<b>37.9</b>	<b>Inhalt der Vereinbarung</b>	<b>873</b>
36.3.2.2	Vorgehen	842	37.9.1	Vertragsgegenstände	874
36.3.2.3	Tools	842	37.9.2	System des Qualitätsmanagements	874
36.3.3	Lieferantenauditierung	843	37.9.3	Informations-/Nachweispflicht	875
36.3.3.1	Informationen „aus erster Hand“	843	37.9.4	Eingangsprüfungen beim Hersteller	875
36.3.3.2	Vorbereitung	843	37.9.5	Ansprechpartner	876
36.3.3.3	Ankündigung	843	37.9.6	Zeitlicher Geltungsbereich	876
36.3.3.4	Vorbereitung durch den Lieferanten	844	<b>37.10</b>	<b>Inhalte der Anlagen</b>	<b>876</b>
36.3.3.5	Auditierung vor Ort	844	37.10.1	Anlage „n“ – „Vertragsgegenstände“	877
36.3.3.6	Nachbereitung	844	37.10.2	Anlage „n+1“ – „QM-System“	877
<b>36.4</b>	<b>Lieferantenentwicklung</b>	<b>845</b>	37.10.3	Anlage „n+2“ – „Anforderungen“	878
36.4.1	Lieferantenentwicklung als Ansatz bei „Lieferantenproblemen“	845	37.10.4	Anlage „n+3“ – „Positivliste“	878
36.4.2	Typologisierung der Lieferantenentwicklung	845	<b>37.11</b>	<b>Einbindung in die Prozesslandschaft</b>	<b>878</b>
36.4.3	Prozess der Lieferantenentwicklung	847	<b>37.12</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>879</b>
36.4.4	Erfolgsfaktoren der Lieferantenentwicklung	847	<b>TEIL V</b>	<b>Qualitätsmanagement in der Nutzungsphase</b>	<b>881</b>
<b>36.5</b>	<b>Lieferantenintegration/-innovation</b>	<b>848</b>	<b>38</b>	<b>Qualitätsmanagement für die Erbringung von Dienstleistungen und Neuerung von Geschäftsmodellen</b>	<b>884</b>
36.5.1	Integration in die Wissensphase	848		<i>Sait Başkaya, Tobias Adam, Robert H. Schmitt</i>	
36.5.1.1	Integration in die Produktentwicklung	848	<b>38.1</b>	<b>Wirtschaftliche Relevanz von Dienstleistungserbringung und neuen Geschäftsmodellen</b>	<b>885</b>
36.5.1.2	Integration in das Fuzzy Front End (FFE)	849	<b>38.2</b>	<b>Messung der Dienstleistungsqualität</b>	<b>886</b>
36.5.1.3	Zusammenarbeit mit Start-up-Lieferanten	849	38.2.1	Kundenorientierte Messungen	887
36.5.2	Integration in die Industrialisierungsphase	849	38.2.1.1	Objektive Messungen	887
<b>36.6</b>	<b>Controlling</b>	<b>851</b>	38.2.1.2	Subjektive Messungen	888
36.6.1	Controlling-Unterstützung des Lieferantenmanagements	851			
36.6.2	Lieferantenbewertung	852			
36.6.2.1	Bewertungskriterien	852			
36.6.2.2	Datenerhebung	853			
36.6.2.3	Durchführung der Bewertung	854			
36.6.2.4	Festlegung des Ergebnisses	854			
36.6.2.5	Interne Kommunikation	855			
36.6.2.6	Kommunikation gegenüber den Lieferanten	855			
36.6.2.7	Konsequenzen der Bewertung	855			
<b>36.7</b>	<b>Schlussbetrachtung</b>	<b>857</b>			



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

<b>41.5</b>	<b>Qualitätssicherung und Information der Öffentlichkeit . . . . .</b>	<b>957</b>	42.3.4.1	Europäisch harmonisierte Produkte . . . .	983
<b>42</b>	<b>Juristische Produktverantwortung . .</b>	<b>961</b>	42.3.4.2	Europäisch nicht harmonisierte Produkte . . . . .	983
	<i>Christian Thomas Stempfle</i>		42.3.4.3	DIN- und EN-Normen . . . . .	984
<b>42.1</b>	<b>Grundlagen der deutschen Produzentenhaftung . . . . .</b>	<b>963</b>	42.3.5	Vorhersehbare Verwendung . . . . .	984
42.1.1	Materiellrechtliche Grundlagen der Produkthaftung . . . . .	963	42.3.6	Spezielle Rechtsvorschriften für Verbraucherprodukte (§ 6 ProdSG) . . . .	984
42.1.1.1	Keine vertragliche Haftung des Herstellers . . . . .	963	42.3.6.1	Zusätzliche Pflichten beim Inverkehrbringen . . . . .	985
42.1.1.2	Verschuldenshaftung und Gefährdungshaftung des Herstellers . . . . .	964	42.3.6.2	Pflichten nach dem Inverkehrbringen . .	985
42.1.2	Verschuldenshaftung gemäß § 823 Abs. 1 BGB . . . . .	964	42.3.7	Gebrauchsanleitung/Nutzerinformation . . . . .	985
42.1.3	Verschuldenshaftung gemäß § 823 Abs. 2 BGB . . . . .	965	42.3.8	CE-Kennzeichnung . . . . .	985
42.1.4	Gefährdungshaftung gemäß § 1 ProdHaftG . . . . .	966	42.3.9	GS-Zeichen . . . . .	986
42.1.5	Wann liegt eine Rechtsgutsverletzung vor? . . . . .	966	42.3.10	Behördliche Marktüberwachung . . . . .	986
42.1.5.1	Körperverletzung . . . . .	966	42.3.11	Adressaten der behördlichen Maßnahmen . . . . .	986
42.1.5.2	Gesundheitsverletzung . . . . .	967	<b>42.4</b>	<b>Produkthaftung und US-Risiko . . . . .</b>	<b>987</b>
42.1.5.3	Eigentumsverletzung . . . . .	967	<b>TEIL VI Qualitätsmanagement und Unternehmensführung . . . . .</b>	<b>989</b>	
42.1.6	Wer haftet neben dem Hersteller? . . . .	967	<b>43</b>	<b>Qualitätsmanagement in der Unternehmensführung – Management der Qualität oder Qualität des Managements? . . . . .</b>	<b>992</b>
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	<b>43.1</b>	<b>Standort Deutschland wettbewerbsfähig gestalten und halten . . . . .</b>	<b>994</b>
42.1.6.3	Haftung des Importeurs . . . . .	968	<b>43.2</b>	<b>Die Qualität der Führung ist ganz entscheidend . . . . .</b>	<b>994</b>
42.1.6.4	Haftung des Lieferanten . . . . .	968	<b>43.3</b>	<b>Führen heißt Motivation zur Entfaltung kommen lassen . . . . .</b>	<b>995</b>
42.1.7	In welcher Höhe wird gehaftet? . . . . .	968	<b>43.4</b>	<b>Von der Pflicht zur Kür . . . . .</b>	<b>997</b>
42.1.8	Wann ist ein Produkt fehlerhaft? . . . . .	968	<b>43.5</b>	<b>Ist Qualität nur ein Kostenfaktor? . . .</b>	<b>998</b>
42.1.8.1	Konstruktions- und Fabrikationsfehler .	969	<b>43.6</b>	<b>Wertschöpfung durch Wertschätzung . . . . .</b>	<b>999</b>
42.1.8.2	Instruktionsfehler . . . . .	971	<b>43.7</b>	<b>Auch die Politik ist gefordert . . . . .</b>	<b>1000</b>
42.1.8.3	Wie lange muss das Produkt den Sicherheitsanforderungen entsprechen? .	973	<b>43.8</b>	<b>Mit Konsequenz zum Erfolg! . . . . .</b>	<b>1001</b>
42.1.8.4	Entwicklungsfehler . . . . .	974	<b>43.9</b>	<b>Resümee . . . . .</b>	<b>1002</b>
42.1.8.5	Produktbeobachtung . . . . .	974	<b>44</b>	<b>Führung und Qualität . . . . .</b>	<b>1004</b>
42.1.8.6	Herstellung und Zukauf . . . . .	975		<i>Wolfgang Schirmer</i>	
42.1.8.7	Befundsicherungspflicht . . . . .	976	<b>44.1</b>	<b>Einführung . . . . .</b>	<b>1005</b>
42.1.8.8	Beweislastverteilung . . . . .	976	44.1.1	Das Ziel: Eine Zusammenschau . . . . .	1005
42.1.8.9	Rückruf . . . . .	978	44.1.2	Klärung der Begriffe . . . . .	1005
<b>42.2</b>	<b>Produkthaftung und Strafrecht . . . . .</b>	<b>979</b>			
<b>42.3</b>	<b>Staatliche und behördliche Vorgaben an die Produktsicherheit . . . . .</b>	<b>981</b>			
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	<b>Aus-, Fort- und Weiterbildung . . . . .</b>	<b>1036</b>
44.2	<b>Vorbedingungen . . . . .</b>	<b>1007</b>		<i>Horst Methner</i>	
44.2.1	Wirtschaftliche Rahmenbedingungen . .	1007	46.1	<b>Einleitung . . . . .</b>	<b>1037</b>
44.2.2	Der Kunde im Fokus der Leistung . . . .	1008	46.2	<b>Ziele der Bildungsmaßnahmen . . . . .</b>	<b>1037</b>
44.2.3	Die positive Vorannahme über den Mitarbeiter und seine Fähigkeiten . . . . .	1008	46.3	<b>Kompetenz und Qualifikation . . . . .</b>	<b>1038</b>
44.3	<b>Die Motivation der Mitarbeiter positiv unterstützen . . . . .</b>	<b>1010</b>	46.4	<b>Aus-, Fort- und Weiterbildungsmöglichkeiten . . . . .</b>	<b>1039</b>
44.3.1	Grundlagen zum Motivationsbegriff . .	1010	46.4.1	Berufliche Erstausbildung . . . . .	1039
44.3.2	Die Eigenmotivation der Mitarbeiter fördern . . . . .	1011	46.4.2	Tertiäre berufliche Bildung . . . . .	1039
44.3.3	Die Mitarbeiter nicht demotivieren . . .	1012	46.4.3	Firmenneutrale Lehrgangssysteme . . .	1039
44.4	<b>Über Normen und Werte das soziale Dürfen für Qualität vermitteln . . . . .</b>	<b>1013</b>	46.4.3.1	Das Lehrgangssystem der Deutschen Gesellschaft für Qualität . . . . .	1039
44.4.1	Grundlagen zum Begriff der Unternehmenskultur . . . . .	1013	46.4.3.2	Weitere Lehrgangssysteme . . . . .	1040
44.4.2	Die Organisation mit den Mitteln der indirekten Führung positiv gestalten . .	1014	46.4.3.3	Internationalisierung der Zertifikate . .	1041
44.4.3	Die Unternehmenskultur positiv beeinflussen . . . . .	1015	46.4.4	Firmeninterne Weiterbildung . . . . .	1041
44.5	<b>Durch sichtbares Handeln für Qualität überzeugen . . . . .</b>	<b>1017</b>	46.5	<b>Entwicklung der Weiterbildung . . . . .</b>	<b>1042</b>
44.5.1	Qualität als zentraler Inhalt bei der Anwendung der Führungsinstrumente .	1017	46.5.1	Strategische Überlegungen . . . . .	1042
44.5.2	Vorbild für die Mitarbeiter sein und Qualität vorleben . . . . .	1018	46.5.2	Systematisierung der Weiterbildung . .	1042
44.6	<b>Fazit: Qualität muss zentraler Bestandteil der Führung sein . . . . .</b>	<b>1020</b>	46.5.3	Gestaltung von Bildungsmaßnahmen . .	1042
45	<b>Total Quality Management als Philosophie des unternehmerischen Qualitätsmanagements . . . . .</b>	<b>1024</b>	46.5.3.1	Entwicklung von Lehrgängen . . . . .	1042
	<i>Tilo Pfeifer, Felix Sohnus</i>		46.5.3.2	Pädagogik und Didaktik . . . . .	1043
45.1	<b>TQM-Basics . . . . .</b>	<b>1025</b>	46.5.3.3	Entwicklung von Prüfungen . . . . .	1044
45.2	<b>Politik, Strategie und Ziele . . . . .</b>	<b>1026</b>	46.5.4	Kosten und Wirtschaftlichkeit . . . . .	1044
45.3	<b>Führung . . . . .</b>	<b>1028</b>	46.6	<b>Ausblick . . . . .</b>	<b>1045</b>
45.4	<b>Mitarbeiterorientierung . . . . .</b>	<b>1029</b>	47	<b>Qualitätsmanagement und Motivation . . . . .</b>	<b>1050</b>
45.5	<b>Prozessorientierung . . . . .</b>	<b>1029</b>		<i>Helmut Lieb</i>	
45.6	<b>Kundenorientierung . . . . .</b>	<b>1030</b>	47.1	<b>Ausgangssituation . . . . .</b>	<b>1051</b>
45.7	<b>Ergebnisorientierung . . . . .</b>	<b>1031</b>	47.2	<b>Implikationen für die Praxis . . . . .</b>	<b>1052</b>
45.8	<b>Umsetzung des Total Quality Managements . . . . .</b>	<b>1031</b>	47.3	<b>Motivation . . . . .</b>	<b>1053</b>
45.9	<b>Zusammenfassung . . . . .</b>	<b>1032</b>	47.4	<b>Motivationstheorien . . . . .</b>	<b>1054</b>
			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	<b>Motivation und Qualitätsmanagementsysteme . . . . .</b>	<b>1056</b>
			47.6	<b>Umgang mit diesen Erkenntnissen in der Praxis . . . . .</b>	<b>1057</b>
			47.7	<b>Fazit . . . . .</b>	<b>1058</b>

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

# 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 Gesetzes<sup>1</sup> – 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-Bereich<sup>2</sup> 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 „Anhängsel“ 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

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

<sup>2</sup> 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 Entwicklungsprojekten 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.

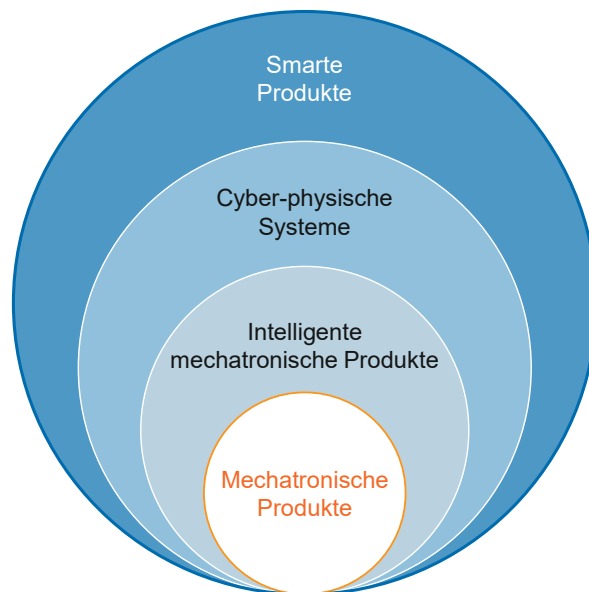
## 21.2 Grundlagen smarter Produkte

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

Begriff *smartes Produkt* wird in diesem Kapitel gemäß der Definition der CIRP<sup>3</sup> verstanden, welche in Bild 21.1 dargestellt ist (Laperrière/Reinhart 2014).



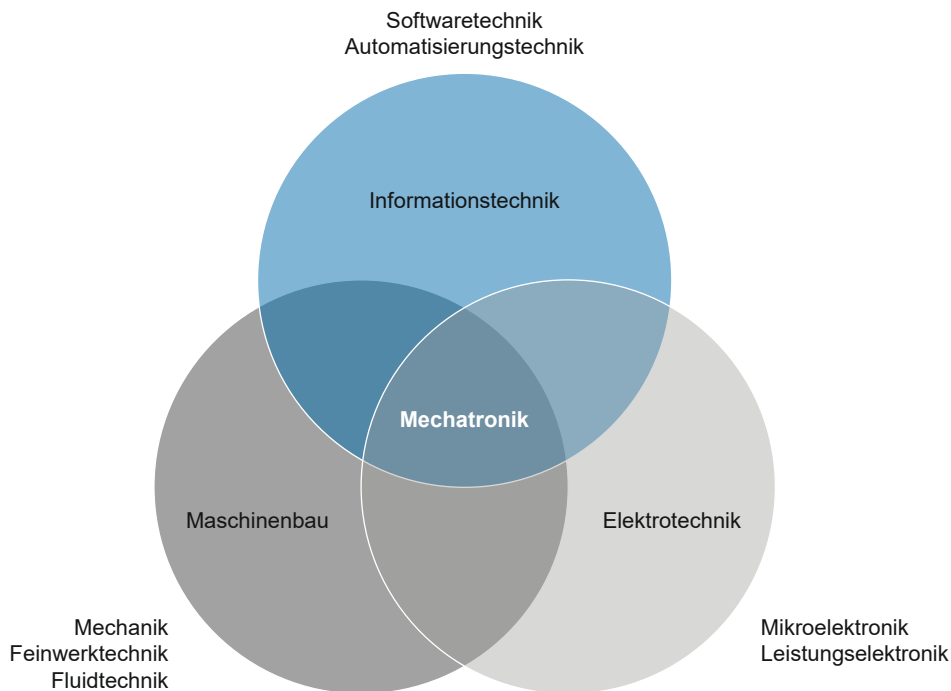
**Bild 21.1** Einordnung des Begriffs „smarte Produkte“ (Laperrière/Reinhart 2014)

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

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

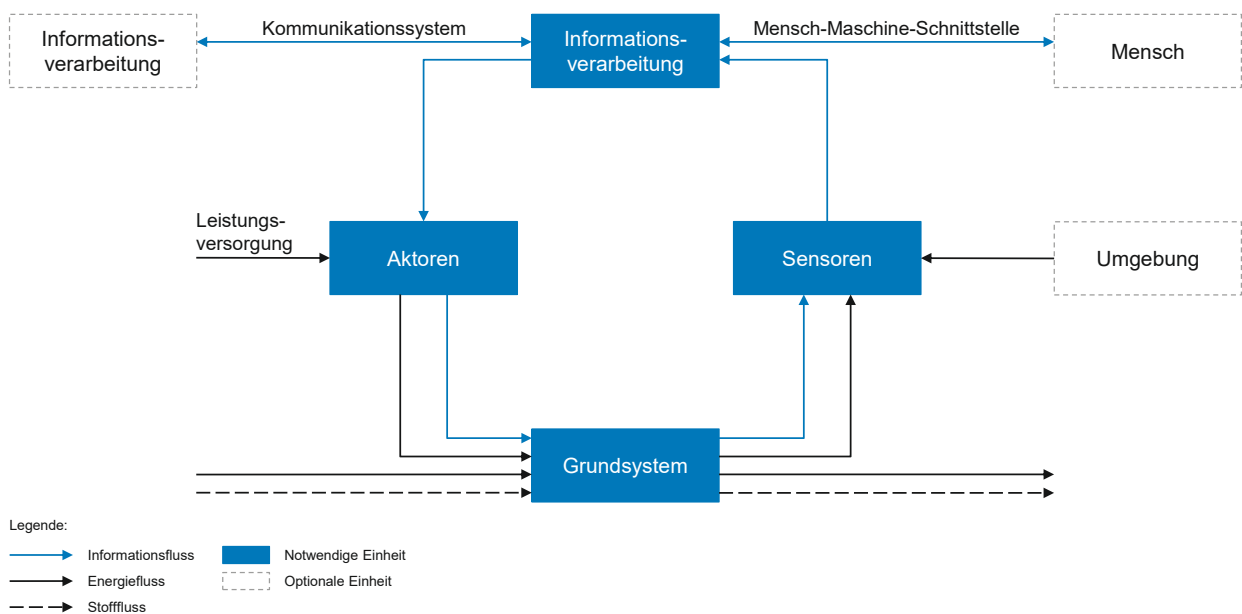
**Bild 21.2**

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 Grundsystem 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 Grundsystem verbundenen Sensoren und Aktoren übernehmen Überwachungs-, Steuerungs- und Regelungsaufgaben. Dazu bestimmen die Sensoren ausgewählte Zustandsgrößen des Grundsystems 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 Grundsystem 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 biomechanische 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 Fehlkommunikation zu vermeiden.

### Standardisierung für den Firmeneinsatz

Ein gemeinsames Verständnis der Projekthinhalte 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 Vorgehensmodelle<sup>4</sup> 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-Modell XT, das Spiralmodell, das Extreme Programming, der Rational Unified Process, DevOps und SCRUM als weitverbreitete Vorgehensmodelle vorgestellt.

<sup>4</sup> „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 Produktionssysteme 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 qualitätsgetriebene 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 Analogen 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 Industriesegments 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 beispielsweise 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 Konkurrenzfähigkeit 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 vonstattengehen 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-

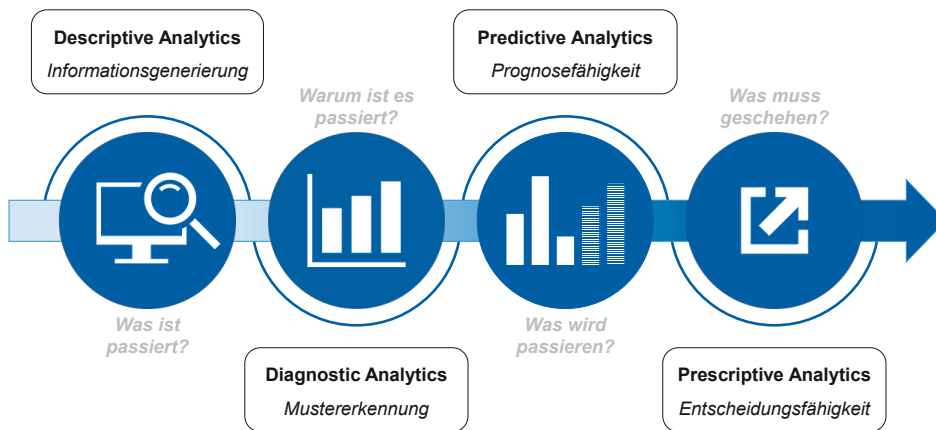
hängen innerhalb der Daten, die zur Entscheidungsunterstützung genutzt werden können. Data Analytics entspricht daher einem Prozess der Datenuntersuchung, des Datenverständnisses und schlussendlich des Wissensgewinns (Ge et al. 2017; Schmitt 2016; Cattaneo et al. 2018; Schmitt et al. 2020b).

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 weit verbreitet. 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 durchgeführten 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 beispielsweise 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 dabei sowohl auf eine Grundgesamtheit als auch auf Stichproben der Beob-

# Stichwortverzeichnis

## Symbole

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-Contractoren 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  
Aufbewahrungsdauer 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 kontrollen 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 969ff.  
 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-Möglichkeiten- 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  
 Formprüfgeräte 705  
 Forschung und Entwicklung 559  
 Fortschritt synchronisieren 407  
 Freigabeworkflow 258  
 Fremdüberwachung 946  
 Front Office 909  
 Frühausfälle 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
- 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

## L

- Lagerung 197
- Langzeitauswertungen 795

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-Möglichkeiten- 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 896
- 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
- Bewertungsportale 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.  
 Prozesserrfassung 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  
 Prozessstreuung 791  
 Prozessstrukturmatrix 272  
 Prozessvalidierung 196, 865  
 Prozessverbesserung 809  
 Prozessverständnis 265  
 Prüffart 664  
 Prüfdaten 667  
 Prüfdurchführung 955  
 Prüfen 680, 683  
 Prüfmerkmale 654  
 Prüfmethode 655  
 Prüfmittel 691  
 – Fokussensoren 702  
 – Formprüfgeräte 705  
 – Handmessmittel 695  
 – Hilfsmittel 697  
 – Interferometer 701  
 – Kameratelesstechnik 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

## 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

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

## 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

Seriestructur 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

## V

Validation 597  
Validierung 455, 767, 770, 774  
Variablenvergleich 645  
Varianzanalyse 640  
VDA Band 5 744  
VDA QMC 733

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  
Zuverlässigkeitsblockdiagramm 589, 601  
Zuverlässigkeitsnachweis 586, 598  
Zuverlässigkeitssicherung 579, 597  
Zweidimensionale Fähigkeitskenngrößen 792  
Zwei-Faktoren-Theorie von Herzberg 1055  
Zweitparteien-Audits 343