

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-------|
| Vorwort | XXVII |
| Der Herausgeber | XXIX |
| Autorenverzeichnis | XXXI |
| TEIL I | |
| Entwicklungsstrategie | 1 |
| 1 Produktentwicklung Quo Vadis | 3 |
| <i>Dieter Spath, Manfred Dangelmaier</i> | |
| 1.1 Entgrenzung der Produktentwicklung | 3 |
| 1.2 Interdisziplinäre Produktentwicklung | 4 |
| 1.3 Dienstleistungsintegration | 5 |
| 1.4 Digitalisierung und smarte Produkte | 5 |
| 1.5 Neue Daten und Ansätze | 6 |
| 1.6 Literatur | 7 |
| 2 Strategische Produkt- und Prozessplanung | 9 |
| <i>Jürgen Gausemeier, Julian Echterfeld, Benjamin Amshoff</i> | |
| 2.1 Informations- und Kommunikationstechnik als Treiber von Innovationen | 9 |
| 2.2 Referenzmodell der Marktleistungsentstehung | 13 |
| 2.3 Anwendungsbeispiel Schaltschrankbau | 15 |
| 2.4 Erkennen von Zukunftsoptionen mit der Szenario-Technik | 17 |
| 2.5 Entwicklung von Geschäftsmodellen | 23 |
| 2.6 Implementierung von Geschäftsmodellen – Gestaltung von Geschäftsprozessen | 28 |
| 2.7 Literatur | 34 |
| 3 Portfoliomangement | 37 |
| <i>Werner Seidenschwarz</i> | |
| 3.1 Ziele und Elemente des Portfoliomagements | 37 |
| 3.2 Die strategische Unternehmensführung als Rahmen für das Portfoliomangement | 38 |
| 3.2.1 Zentrale Elemente einer Strategie | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.2 Strategieebenen | 40 |
| 3.2.2.1 Strategie Gesamtunternehmensebene | 41 |
| 3.2.2.2 Strategie Geschäftsbereichsebene | 41 |
| 3.2.3 Dynamik im Strategieprozess | 43 |
| 3.2.3.1 Typische Strategiefallen und ihre Auswirkungen auf das Portfoliomanagement | 44 |
| 3.2.3.2 Disruptive Marktentwicklungen | 46 |
| 3.3 Portfoliomanagement im Rahmen des Produktlebenszyklusmanagements | 47 |
| 3.3.1 Drei Portfoliostufen | 48 |
| 3.3.1.1 Diversifikation | 48 |
| 3.3.1.2 Wettbewerbsposition-Marktattraktivitäts-Matrix | 49 |
| 3.3.1.3 Technologieportfolio | 50 |
| 3.3.2 Der Töpfe-Ansatz zur finanziellen Rahmensetzung für strategische Projektkategorien | 51 |
| 3.3.3 Selektionskriterien für die Projektauswahl | 53 |
| 3.3.4 Multi-Projektplanung | 54 |
| 3.3.5 Multi-Projektplanung aus Produktlebenszyklussicht | 55 |
| 3.4 Zusammenfassung | 57 |
| 3.5 Literatur | 58 |
| 4 Risiko- und Chancenmanagement in der Produktentwicklung | 59 |
| <i>Josef Oehmen</i> | |
| 4.1 Ziele und Wertbeitrag des Risikomanagements in der Produktentwicklung | 59 |
| 4.2 Risikomanagementprozesse in der Produktentwicklung | 59 |
| 4.3 Kognitive Verzerrungen und Risikomanagement | 61 |
| 4.4 Gestaltung und Einführung eines Risikomanagementsystems in der Produktentwicklung .. | 63 |
| 4.5 Kommunikation und Konsultation im Risikomanagement | 65 |
| 4.5.1 Identifikation der wesentlichen Akteure (Stakeholder) | 65 |
| 4.5.2 Analyse von Kosten und Nutzen des Risikomanagements | 65 |
| 4.5.3 Analyse und Definition des Risikoappetits | 66 |
| 4.5.4 Ausarbeitung eines Stakeholderkommunikations- und -konsultationsplanes | 67 |
| 4.6 Definition des Risikomanagementkontexts | 67 |
| 4.6.1 Festlegung der Risikomanagementorganisation und der Risikokriterien | 67 |
| 4.6.2 Abgrenzung des Produktentwicklungsprozesses | 68 |
| 4.6.3 Abgrenzung möglicher Risikoursachen | 68 |
| 4.6.4 Festlegung von Auswirkungskategorien der Risiken: Ziele der Produktentwicklung .. | 70 |
| 4.7 Identifikation von Produktentwicklungsrisiken | 71 |
| 4.7.1 Visualisierung und Analyse des Produktentwicklungsprozesses | 71 |
| 4.7.2 Identifikation von Einzelrisiken | 71 |
| 4.7.3 Identifikation von Risikoszenarien | 72 |
| 4.7.4 Dokumentation der Risiken in einem Risikokatalog | 74 |
| 4.8 Analyse von Produktentwicklungsrisiken | 74 |
| 4.8.1 Festlegung der Rahmenbedingungen der Risikoquantifizierung | 74 |
| 4.8.2 Datensammlung zur Risikoquantifizierung | 76 |
| 4.8.3 Quantifizierung der Risiken | 77 |
| 4.8.4 Ergänzung des Risikokatalogs um Risikoquantifizierung | 83 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.9 | Evaluation von Produktentwicklungsrisiken | 83 |
| 4.9.1 | Abgleich der Risiken mit Schwellwerten und Risikoappetit | 83 |
| 4.9.2 | Risiken in Rangreihenfolge bringen | 83 |
| 4.9.3 | Auswahl der Risiken für Gegenmaßnahmen bzw. weitere Analyse | 84 |
| 4.9.4 | Ergänzung des Risikokatalogs um Auswahlentscheidung | 84 |
| 4.10 | Behandeln von Risiken | 84 |
| 4.10.1 | Analyse der Handlungsfelder: Akzeptieren, Überwachen, Informieren, Absorbieren oder Minimieren? | 84 |
| 4.10.2 | Identifikation möglicher Gegenmaßnahmen | 86 |
| 4.10.3 | Analyse der Wirksamkeit und des Kosten-/Nutzen-Verhältnisses der Gegenmaßnahmen | 86 |
| 4.10.4 | Dokumentation im Maßnahmenplan | 87 |
| 4.11 | Überwachung und Überprüfung der Risiken und des Risikomanagementsystems | 87 |
| 4.11.1 | Überwachung der Risikosituation | 88 |
| 4.11.2 | Überwachung der Ausführung der Gegenmaßnahmen | 88 |
| 4.11.3 | Überwachung der Ausführung des Risikomanagementprozesses | 89 |
| 4.11.4 | Überprüfung und Überarbeitung des Risikomanagementprozesses | 89 |
| 4.12 | Risikomanagement in der Produktentwicklung: Portfolioebene | 89 |
| 4.12.1 | Risiko-Nutzen-Verhältnis in Entwicklungsportfolios | 89 |
| 4.12.2 | Risikomanagementansätze auf Portfolioebene | 93 |
| 4.13 | Wertorientiertes Risikomanagement – Lean-Risk-Management | 95 |
| 4.14 | Literatur | 97 |
| 5 | Produktarchitektur | 99 |
| | <i>Armin Förg, Eva Karrer-Müller, Matthias Kreimeyer</i> | |
| 5.1 | Produktarchitektur – Einordnung und Grundlagen | 99 |
| 5.2 | Dokumentationsphilosophie im Unternehmen | 103 |
| 5.3 | Architekturprozess | 103 |
| 5.3.1 | Allgemeine Ansätze | 104 |
| 5.3.2 | Typische Architektur in der industriellen Praxis | 104 |
| 5.3.3 | PAEP – Produktarchitektur-Entwicklungsprozess | 104 |
| 5.3.4 | Änderungsprozess innerhalb des Architekturprozesses | 105 |
| 5.3.5 | Rolle des Produktarchitekten | 106 |
| 5.4 | Architektur = Entscheidungen | 106 |
| 5.4.1 | Systematische Entscheidungsfindung – Entscheidungslandkarte | 106 |
| 5.4.2 | Einzelne Entscheidungen treffen | 107 |
| 5.5 | Literatur | 109 |
| 6 | Gleichteile-, Modul- und Plattformstrategie | 111 |
| | <i>Nicolas Gebhart, Moritz Kruse, Dieter Krause</i> | |
| 6.1 | Einleitung | 111 |
| 6.2 | Grundlagen | 114 |
| 6.2.1 | Zusammenhänge von Vielfalt, Komplexität und Kostenwirkung | 114 |
| 6.2.1.1 | Variante und Version | 114 |
| 6.2.1.2 | Auslöser von Produktyvielfalt | 115 |

| | | |
|------------------------------|--|-----|
| 6.2.1.3 | Auswirkungen der Produktvielfalt | 115 |
| 6.2.1.4 | Resultierende Komplexität | 116 |
| 6.2.1.5 | Kostenwirkung der Produktvarianz-induzierten Komplexität | 117 |
| 6.2.2 | Definitionen, Potenziale und Grenzen modularer Produktstrukturen | 121 |
| 6.2.2.1 | Produktprogramm, Produktfamilie und Produktstruktur | 121 |
| 6.2.2.2 | Komponenten, Module und Modularisierung | 122 |
| 6.2.2.3 | Potenziale modularer Produktstrukturen | 123 |
| 6.2.3 | Variantengerechtheit | 126 |
| 6.3 | Verschiedene Produktstrukturstrategien | 128 |
| 6.3.1 | Mehrfachverwendung von Komponenten/Gleichteilestrategie | 128 |
| 6.3.2 | Modulstrategie | 130 |
| 6.3.3 | Plattformstrategie | 132 |
| 6.3.4 | Zusammenfassung und Beispiel | 135 |
| 6.3.5 | Prozessstrategien | 137 |
| 6.4 | Entscheidungsparameter in der Umsetzung | 138 |
| 6.4.1 | Teilbereich der Produktstruktur | 139 |
| 6.4.2 | Ebenen der Produktstruktur | 139 |
| 6.4.3 | Teilbereich des Produktprogramms | 140 |
| 6.4.4 | Zeitliche Planung | 141 |
| 6.4.5 | Kommunalität | 141 |
| 6.4.6 | Einordnung und Abgrenzung der Strategien Modulbaukasten, Plattform und Gleichteile | 142 |
| 6.5 | Methoden für die Produktstrukturierung | 142 |
| 6.5.1 | Methoden zur Planung der Produktstrukturstrategie | 144 |
| 6.5.2 | Methoden zur Umsetzung einer Produktstrukturstrategie | 145 |
| 6.6 | Integrierter Ansatz zur Reduzierung der internen Varianz | 145 |
| 6.7 | Literatur | 148 |
| TEIL II | | |
| Übergeordnete Aspekte | | 151 |
| 1 Systems Engineering | | 153 |
| <i>Sven-Olaf Schulze</i> | | |
| 1.1 | Was ist Systems Engineering? | 153 |
| 1.1.1 | Ursprünge des Systems Engineering | 155 |
| 1.1.2 | Bedarf und industrielle Entwicklung | 157 |
| 1.1.3 | Modellbasierte Entwicklung | 159 |
| 1.1.4 | Die Hierarchie innerhalb von Systemen | 160 |
| 1.1.5 | Systems-of-Systems | 161 |
| 1.1.6 | Einsatz von Systems Engineering | 163 |
| 1.1.7 | Nutzen des Systems Engineering | 165 |
| 1.1.8 | Anpassungsprozess | 166 |
| 1.1.8.1 | Anpassung von Normen | 166 |
| 1.1.8.2 | Anpassung für Projekte | 168 |
| 1.2 | Lebensdauerphasen eines Systems | 168 |
| 1.2.1 | Entscheidungspunkte | 169 |
| 1.2.2 | Lebenszyklusphasen | 170 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 1.3 | Lebensdaueransätze | 175 |
| 1.3.1 | Konzeptgesteuerte Methoden | 175 |
| 1.3.2 | Inkrementelle und iterative Entwicklung | 176 |
| 1.3.3 | Lean Systems Engineering | 177 |
| 1.3.4 | Agile Entwicklung | 177 |
| 1.4 | Organisation | 178 |
| 1.5 | SE-Kernelemente des Projektes | 179 |
| 1.5.1 | Anforderungsmanagement, Verifikation und Validierung | 180 |
| 1.5.2 | Architekturentwicklung | 182 |
| 1.5.3 | Funktionale Gestaltung | 182 |
| 1.6 | Literatur | 184 |
| 2 | Zuverlässigkeit und Sicherheit | 185 |
| | <i>Bernd Bertsche, Matthias Stohrer</i> | |
| 2.1 | Begriffsdefinitionen | 185 |
| 2.1.1 | Zuverlässigkeit | 185 |
| 2.1.2 | Sicherheit | 186 |
| 2.1.3 | Verfügbarkeit und Instandhaltbarkeit | 186 |
| 2.1.4 | Bedrohung, Gefährdung, Risiko | 186 |
| 2.1.5 | Abgrenzung Zuverlässigkeit und Sicherheit | 188 |
| 2.2 | Bedeutung in der Produktentwicklung | 189 |
| 2.2.1 | Kundensicht | 189 |
| 2.2.2 | Wirtschaftliche Aspekte | 190 |
| 2.2.3 | Rechtliche Aspekte | 192 |
| 2.2.4 | Risikobasierter Ansatz | 192 |
| 2.2.4.1 | Akzeptiertes Grenzrisiko und Restrisiko | 193 |
| 2.2.4.2 | Das ALARP-Verfahren | 193 |
| 2.3 | Einflussfaktoren in der Produktentwicklung | 194 |
| 2.3.1 | Einflüsse auf die Zuverlässigkeit und Sicherheit | 194 |
| 2.3.2 | Einflüsse auf die Verfügbarkeit | 194 |
| 2.4 | Grundlagen der Zuverlässigkeitstheorie | 195 |
| 2.4.1 | Statistische Beschreibung und Darstellung des Ausfallverhaltens von Bauteilen | 195 |
| 2.4.2 | Verteilungsfunktionen zur Beschreibung des Ausfallverhaltens | 198 |
| 2.4.3 | Betriebsdatenanalyse und Lebensdauerprüfungen | 198 |
| 2.4.4 | Ausfallratenmodelle und generische Daten | 199 |
| 2.5 | Prinzipien der Sicherheitstechnik | 200 |
| 2.5.1 | Maßnahmen gegen stochastische Gefahren | 200 |
| 2.5.1.1 | Das Safe-Life-Prinzip | 200 |
| 2.5.1.2 | Das Fail-Safe-Prinzip | 201 |
| 2.5.1.3 | Das Prinzip der Redundanz | 201 |
| 2.5.2 | Maßnahmen gegen deterministische Gefahren | 201 |
| 2.5.2.1 | Unmittelbare Sicherheitstechnik | 201 |
| 2.5.2.2 | Mittelbare Sicherheitstechnik | 202 |
| 2.5.2.3 | Hinweisende Sicherheitstechnik | 202 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 2.6 | Zuverlässigkeit und Sicherheit von Systemen | 202 |
| 2.6.1 | Serienstrukturen | 202 |
| 2.6.2 | Parallele und redundante Strukturen | 203 |
| 2.7 | Methoden der Zuverlässigkeit- und Sicherheitsanalyse für Systeme | 203 |
| 2.7.1 | FMEA - Failure Mode and Effects Analysis | 203 |
| 2.7.2 | FTA - Fehlerbaumanalyse | 204 |
| 2.7.3 | ZBD - Zuverlässigkeitsblockdiagramm | 204 |
| 2.7.4 | Markov-Modell und Zustandsgraph | 204 |
| 2.7.5 | Petrinetze | 205 |
| 2.8 | Lebenslaufkosten | 205 |
| 2.9 | Zuverlässigkeitssicherungsprogramm | 207 |
| 2.9.1 | Produktdefinition | 209 |
| 2.9.2 | Produktgestaltung | 210 |
| 2.9.3 | Produktion und Nutzung | 212 |
| 2.9.4 | Allgemeine zuverlässigkeitsrelevante Aktivitäten | 213 |
| 2.9.5 | Zusammenfassung | 213 |
| 2.10 | Literatur | 213 |
| 3 | Daten- und Informationsmanagement PDM/PLM | 215 |
| | <i>Detlef Gerhard</i> | |
| 3.1 | Einleitung | 215 |
| 3.2 | PDM-Systeme | 216 |
| 3.2.1 | Historische Entwicklung der PDM-Systeme | 216 |
| 3.2.2 | Die Rolle von PDM-Systemen im Produktentstehungsprozess | 218 |
| 3.2.3 | Funktionsweise und Architektur von PDM-Systemen | 220 |
| 3.3 | Datenorientierte Funktionen | 222 |
| 3.3.1 | Teile- und Dokumentenmanagement | 222 |
| 3.3.2 | Struktur- und Beziehungsmanagement | 227 |
| 3.3.3 | Querschnittsfunktionen | 232 |
| 3.4 | Prozessorientierte Funktionen | 236 |
| 3.5 | Interoperabilität, Datenmodelle und Datenaustauschstandards | 241 |
| 3.6 | Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen | 243 |
| 3.7 | Literatur | 245 |
| 4 | Wissensmanagement | 247 |
| | <i>Hansgeorg Binz, Daniel Roth, Alexander Laukemann</i> | |
| 4.1 | Grundlagen des Wissensmanagements | 247 |
| 4.1.1 | Terminologische Abgrenzung des Wissensbegriffs | 248 |
| 4.1.1.1 | Zeichen-Daten-Informationen-Wissen | 248 |
| 4.1.1.2 | Unterscheidung von implizitem und explizitem Wissen | 249 |
| 4.1.2 | Wissensschaffung im Unternehmen | 249 |
| 4.1.2.1 | SECI-Modell | 249 |
| 4.1.2.2 | Spirale der Wissensschaffung | 250 |
| 4.1.3 | Strukturparameter des Wissens | 251 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.2 | Wissensmanagement in der Produktentwicklung | 252 |
| 4.2.1 | Wissensmanagement als Managementmethode | 253 |
| 4.2.1.1 | Chronologische Entwicklung des Wissensmanagements | 253 |
| 4.2.2 | Kernaktivitäten des Wissensmanagements | 255 |
| 4.2.2.1 | Wissensidentifikation | 255 |
| 4.2.2.2 | Wissensbewahrung | 256 |
| 4.2.2.3 | Wissensnutzung | 257 |
| 4.2.2.4 | Wissens(ver)teilung | 257 |
| 4.2.2.5 | Wissensentwicklung | 258 |
| 4.2.2.6 | Wissenserwerb | 258 |
| 4.2.3 | Methodenmatrix | 259 |
| 4.2.4 | Wissensmanagementlösungen für die Praxis | 261 |
| 4.2.4.1 | Wissensmanagementlösungen zur Wissensidentifikation | 261 |
| 4.2.4.2 | Wissensmanagementlösungen für Wissensbewahrung | 263 |
| 4.2.4.3 | Wissensmanagementlösungen für Wissensnutzung | 265 |
| 4.2.4.4 | Wissensmanagementlösungen für Wissens(ver)teilung | 268 |
| 4.2.4.5 | Wissensmanagementlösungen für Wissensentwicklung | 270 |
| 4.2.4.6 | Wissensmanagementlösungen für Wissenserwerb | 272 |
| 4.3 | Zusammenfassung und Ausblick | 273 |
| 4.4 | Literatur | 274 |
| 5 | Gewerblicher Rechtsschutz und Know-how-Schutz | 275 |
| | <i>Bettina Alber-Laukant, mit rechtlichen Hintergrundinformationen von Jürgen Ensthaler, Know-how-Schutz: Norbert Gronau, Gergana Vladova</i> | |
| 5.1 | Patente | 277 |
| 5.1.1 | Ist die gemachte Erfindung patentierbar? – Voraussetzungen für die Erteilung eines Patents | 277 |
| 5.1.2 | Wo kann die Erfindung angemeldet werden? – Die nationale, europäische und internationale Patentanmeldung | 283 |
| 5.1.3 | Wie sieht ein Patent aus? – Formale Erfordernisse an den Aufbau einer Patentanmeldung | 285 |
| 5.1.3.1 | Titelblatt | 285 |
| 5.1.3.2 | Beschreibung | 287 |
| 5.1.3.3 | Patentansprüche | 288 |
| 5.1.4 | Die Einreichung – Und was passiert danach? – Das Einreichungs- und Prüfungsverfahren, die Einspruchsmöglichkeiten, die Erteilung eines Patents | 291 |
| 5.1.5 | Was kann man bei störenden Fremdpatenten machen? – Die Lizenzrechte, die Patentrecherche | 294 |
| 5.2 | Gebrauchsmuster | 295 |
| 5.3 | Eingetragenes Design | 297 |
| 5.4 | Gewerbliche Kennzeichen | 299 |
| 5.4.1 | Marken | 299 |
| 5.4.2 | Unternehmensbezeichnungen | 302 |
| 5.4.3 | Geografische Herkunftsangaben | 303 |
| 5.4.4 | Markenrechtsverletzungen | 303 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.5 | Weitere Schutzrechte | 303 |
| 5.5.1 | Urheberrecht | 303 |
| 5.5.2 | Topografie | 305 |
| 5.5.3 | Software | 305 |
| 5.5.4 | Wettbewerbsrechtlicher Schutz | 306 |
| 5.6 | Patentrecherche | 306 |
| 5.7 | Know-how-Schutz | 308 |
| 5.7.1 | Notwendigkeit des ganzheitlichen und präventiven Know-how-Schutzes | 308 |
| 5.7.2 | Mögliche Anwendungskontexte der Methode | 310 |
| 5.7.2.1 | Anwendungskontext Produktpiraterierisiko | 310 |
| 5.7.2.2 | Anwendungskontext Open Innovation Projekt | 311 |
| 5.7.3 | Methodisches Vorgehen zur Gewährleistung des Know-how-Schutzes | 311 |
| 5.7.3.1 | Methode zur Identifizierung, Modellierung und Gestaltung von Informations- und Wissensschnittstellen (IWS-Analyse) | 312 |
| 5.7.4 | Knowledge Firewall Designer | 316 |
| 5.7.5 | Fazit | 316 |
| 5.8 | Literatur | 317 |
| 6 | Recht und Compliance | 319 |
| | <i>Wolf Peterhoff</i> | |
| 6.1 | Einleitung | 319 |
| 6.2 | Vertragliche Grundlagen bei Entwicklungsvorhaben | 319 |
| 6.2.1 | Abgrenzung von Verträgen zu vorvertraglichen Absprachen | 320 |
| 6.2.1.1 | Grundsätze zu Dienst- und Werkvertrag | 320 |
| 6.2.1.2 | Werkvertrag | 321 |
| 6.2.1.3 | Dienstvertrag | 321 |
| 6.2.2 | Der Produkt-Entwicklungsvertrag | 321 |
| 6.2.2.1 | Der Entwicklungsgegenstand | 322 |
| 6.2.2.2 | Änderungswünsche des Bestellers | 323 |
| 6.2.2.3 | Zeitplan und Meilensteine | 324 |
| 6.2.2.4 | Vergütung | 325 |
| 6.2.2.5 | Abnahme | 326 |
| 6.2.2.6 | Umgang mit Schutzrechten | 326 |
| 6.2.2.7 | Umfang der Haftung | 326 |
| 6.2.2.8 | Vertraulichkeit | 327 |
| 6.2.2.9 | Laufzeit und Beendigung | 328 |
| 6.2.2.10 | AGB und Einbeziehung öffentlich-rechtlicher Sonderbedingungen | 328 |
| 6.2.2.11 | Qualitätssicherung | 329 |
| 6.2.2.12 | Verzug und Schlechtleistungen | 329 |
| 6.3 | Verantwortlichkeiten und Haftung | 330 |
| 6.3.1 | Geschäftsleiter und Angestellte | 330 |
| 6.3.2 | Verschulden | 331 |
| 6.3.2.1 | Verkehrssicherungspflicht | 331 |
| 6.3.2.2 | Wissenschaft und Technik | 332 |

| | |
|--|------------|
| 6.3.3 Produkthaftung | 332 |
| 6.3.3.1 Produkthaftungsgesetz | 332 |
| 6.3.3.2 Deliktische Produkthaftung | 333 |
| 6.4 Joint Ventures und Kooperationen | 333 |
| 6.4.1 Gesellschaftsrechtliche Rahmenbedingungen | 333 |
| 6.4.2 Contractual und Equity Joint Venture | 333 |
| 6.5 Kartellrechtliche Hinweise | 335 |
| 6.6 Sondervorschriften und Normen bei Entwicklungsprojekten | 336 |
| 6.6.1 Besonderheiten bei der Entwicklung für den öffentlichen Auftraggeber | 337 |
| 6.6.2 Zertifizierungen und Verwendung von CE-Kennzeichnung | 337 |
| 6.7 Beendigungsmöglichkeiten | 337 |
| 6.7.1 Beendigung durch Zeitablauf/Befristung | 337 |
| 6.7.2 Kündigung | 338 |
| 6.7.3 Rücktritt von dem Vertrag | 339 |
| 6.7.4 Störung der Geschäftsgrundlage | 339 |
| 6.7.5 Beendigung einer gemeinsamen Entwicklung | 340 |
| 6.8 Rechtsstreitigkeiten und deren Einleitung | 340 |
| 6.8.1 Staatliche Gerichte und deren Zuständigkeit | 340 |
| 6.8.2 Schiedsverfahren und sonstige alternative Streitbeilegung | 340 |
| 6.8.3 Hinweise zur Mandatierung von Rechtsberatern | 341 |
| 6.9 Compliance | 342 |
| 6.9.1 Grundlagen und zentrale Felder von rechtlicher Compliance | 343 |
| 6.9.2 Aufsichtspflichtverletzung – zivilrechtliche Folgen und Straftatbestände | 344 |
| 6.9.3 Compliance-Organisation und Compliance-Management | 344 |
| 6.9.4 Compliance bei Auslandsgeschäften | 345 |
| 6.9.5 Compliance-Hinweise für Leiter von Entwicklungsabteilungen und Entwicklungsprojekten | 346 |
| 6.10 Literatur | 347 |
| 7 Entwicklungscontrolling – Ausgestaltung in einem ganzheitlichen Innovationscontrolling-Ansatz | 349 |
| <i>Ronald Gleich, Jan Christoph Munck, Alexander Tkotz</i> | |
| 7.1 Grundlagen für das Innovations- und Entwicklungscontrolling | 349 |
| 7.1.1 Notwendigkeit eines ganzheitlichen Innovationscontrollings | 349 |
| 7.1.2 Strukturierung des Innovationsmanagements und -controllings | 350 |
| 7.1.3 Abgrenzung zwischen Innovations- und Entwicklungscontrolling | 353 |
| 7.2 Inhalte und Aufgaben des Innovations- und Entwicklungscontrollings | 353 |
| 7.2.1 Service für das Management | 353 |
| 7.2.2 Strategische Entscheidungsaufgaben | 354 |
| 7.2.3 Strategische Durchsetzungsaufgaben | 355 |
| 7.2.4 Operative Entscheidungsaufgaben | 355 |
| 7.2.5 Operative Durchsetzungsaufgaben | 356 |

| | | |
|--|--|-----|
| 7.3 | Instrumentale Ausgestaltung des Innovations- und Entwicklungscontrollings | 356 |
| 7.3.1 | Studie „Instrumente des Innovationsmanagements und -controllings“ | 357 |
| 7.3.2 | Instrumente des Innovationssystemcontrollings | 358 |
| 7.3.2.1 | Kennzahlen | 358 |
| 7.3.2.2 | Anreizsysteme | 362 |
| 7.3.2.3 | Strategische Frühaufklärung | 364 |
| 7.3.2.4 | Patentanalyse | 366 |
| 7.3.2.5 | Benchmarking | 368 |
| 7.3.3 | Instrumente des Innovationsportfoliocontrolling | 369 |
| 7.3.3.1 | Markt-Portfolio-Analyse | 369 |
| 7.3.3.2 | Technologie-Portfolio-Analyse | 370 |
| 7.3.3.3 | Innovationsprojektinterdependenzbewertung | 371 |
| 7.3.4 | Instrumente des Innovationsprojektcontrolling | 375 |
| 7.3.4.1 | Projektkostenrechnung | 375 |
| 7.3.4.2 | Meilensteinplanung | 375 |
| 7.3.4.3 | Kapazitäts- und Ressourcenplanung | 377 |
| 7.3.4.4 | Projektfortschrittskontrolle: Kostentrend- und Meilensteintrendanalyse | 378 |
| 7.3.4.5 | Abweichungsanalysen | 380 |
| 7.3.4.6 | Investitionsrechnung | 382 |
| 7.3.4.7 | Innovationsergebnisrechnung | 385 |
| 7.3.4.8 | Lebenszykluskostenrechnung und Total Costs of Ownership | 387 |
| 7.3.4.9 | Nutzwertanalyse | 388 |
| 7.3.4.10 | Target Costing | 393 |
| 7.4 | Wirkung des Innovations- und Entwicklungscontrollings prüfen und kommunizieren | 395 |
| 7.5 | Fazit | 396 |
| 7.6 | Literatur | 396 |
| TEIL III | | |
| Prozesse der Produktentwicklung | | 399 |
| 1 | Entwicklungsprozesse | 401 |
| | <i>Beate Bender, Kilian Gericke</i> | |
| 1.1 | Einleitung | 401 |
| 1.1.1 | Aktivitäten und Ziele der Produktentwicklung | 401 |
| 1.1.2 | Produktentwicklung als Teil des Produktentstehungsprozesses | 402 |
| 1.1.3 | Begleit- und Querschnittsprozesse | 403 |
| 1.1.4 | Ansätze für die Ablauforganisation | 404 |
| 1.2 | Prozessmodellierung in der Produktentwicklung | 404 |
| 1.2.1 | Phasen, Aktivitäten und Strategien | 406 |
| 1.2.2 | Prozessmodellierungsansätze | 406 |
| 1.2.3 | Klassifizierung von Prozessmodellen | 406 |
| 1.2.4 | Koexistenz verschiedener Sichten auf den Prozess | 407 |
| 1.3 | Methodisches Vorgehen in der Produktentwicklung | 408 |
| 1.3.1 | Nutzen methodischen Vorgehens in der Produktentwicklung | 408 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 1.3.2 | Grundlagen methodischen Vorgehens in der Produktentwicklung | 409 |
| 1.3.2.1 | Produktentwicklung als Problemlöseprozess | 409 |
| 1.3.2.2 | Produktentwicklung als Co-Evolution von Problem und Lösung | 409 |
| 1.3.2.3 | Produktentwicklung als iterativer Prozess | 410 |
| 1.3.2.4 | Vorgehensstrategien der methodischen Produktentwicklung | 410 |
| 1.3.3 | Phasen und Aktivitäten in der Produktentwicklung | 412 |
| 1.3.3.1 | Gemeinsamkeiten disziplinspezifischer Prozessmodelle | 412 |
| 1.3.3.2 | Unterschiede und Besonderheiten disziplinspezifischer Prozessmodelle | 413 |
| 1.3.3.3 | Aktivitäten und Phasen der Produktentwicklung | 413 |
| 1.4 | Prozessanpassung im Unternehmen | 414 |
| 1.4.1 | Kontext der Produktentwicklung | 415 |
| 1.4.2 | Anpassung des allgemeinen Vorgehensmodells an den Entwicklungskontext | 416 |
| 1.4.3 | Prozessanpassung in der Praxis | 419 |
| 1.5 | Zusammenfassung | 420 |
| 1.6 | Literatur | 421 |
| 2 | Requirements Engineering | 425 |
| | <i>Inka Baumgart</i> | |
| 2.1 | Motivation | 425 |
| 2.2 | Grundlagen | 426 |
| 2.3 | Methoden und Hilfsmittel im RE | 431 |
| 2.3.1 | Aufgabenklärung | 431 |
| 2.3.1.1 | Anforderungen erheben | 431 |
| 2.3.1.2 | Anforderungen analysieren | 436 |
| 2.3.1.3 | Anforderungen dokumentieren | 441 |
| 2.3.2 | Anforderungsmanagement | 444 |
| 2.4 | Anwendungsbeispiel | 446 |
| 2.4.1 | Einführung zum RE-Start-Workshop | 447 |
| 2.4.2 | Workshop-Durchführung | 448 |
| 2.5 | Literatur | 452 |
| 3 | Verteilte Produktentwicklung | 455 |
| | <i>Eva-Maria Kern</i> | |
| 3.1 | Was bedeutet Verteilte Produktentwicklung (VPE)? | 456 |
| 3.2 | Kooperation als Rahmen für die interorganisationale VPE | 457 |
| 3.2.1 | Ziele der VPE | 458 |
| 3.2.2 | Arten von Entwicklungskooperationen | 459 |
| 3.3 | Grundlagen der Gestaltung der Verteilten Produktentwicklung | 460 |
| 3.3.1 | Gemeinsame Bewältigung einer Entwicklungsaufgabe als Ziel | 460 |
| 3.3.2 | Interaktion und Integration der Entwicklungspartner | 462 |
| 3.3.3 | Gestaltungsdimensionen | 466 |
| 3.4 | Zentrale Fragestellungen | 468 |
| 3.4.1 | Welche sind die gemeinsamen Ziele? | 468 |
| 3.4.2 | Welche Interaktionsintensität ist erforderlich? | 469 |

| | |
|--|------------|
| 3.4.3 Wie unterschiedlich sind die Entwicklungspartner? | 470 |
| 3.4.4 Wie lassen sich die Entwicklungspartner situationsadäquat integrieren? | 472 |
| 3.5 Fazit | 480 |
| 3.6 Literatur | 481 |
| 4 Innovationsmanagement | 483 |
| <i>Matthias R. Gürtler, Udo Lindemann</i> | |
| 4.1 Einleitung | 483 |
| 4.2 Zentrale Begriffe | 483 |
| 4.3 Einbettung im Unternehmen | 484 |
| 4.4 Innovationsmanagement im Unternehmen | 485 |
| 4.4.1 Innovationen ermöglichen – Innovationsfähigkeit | 485 |
| 4.4.1.1 Innovationen ermöglichen – Können | 485 |
| 4.4.1.2 Innovationen ermöglichen – Wollen | 487 |
| 4.4.1.3 Innovationen ermöglichen – Dürfen | 487 |
| 4.4.1.4 Unterstützung der Innovationsfähigkeit | 487 |
| 4.4.2 Innovationen schaffen | 488 |
| 4.4.2.1 Verschiedene Vorgehensmodelle für verschiedene Einsatzzwecke | 488 |
| 4.4.2.2 Entwicklungsziel identifizieren und planen | 493 |
| 4.4.2.3 Generierung von Lösungsalternativen | 496 |
| 4.4.2.4 Herbeiführen und Umsetzen von Entscheidungen | 497 |
| 4.4.2.5 Zielerreichung absichern | 498 |
| 4.4.2.6 U-Boot-Projekte und interne Start-Ups | 499 |
| 4.4.3 Innovationserfolge beurteilen | 500 |
| 4.5 Öffnungsstrategien | 501 |
| 4.5.1 Formen von Open Innovation | 502 |
| 4.5.2 Öffnung des Innovationsprozesses | 503 |
| 4.5.3 Open Innovation – Kooperationspartner | 504 |
| 4.5.4 Kooperationsformen | 505 |
| 4.5.5 Chancen und Risiken der Open Innovation | 505 |
| 4.5.6 Planung von Open Innovation-Projekten | 506 |
| 4.5.7 Open Innovation – Praxisbeispiele | 507 |
| 4.5.8 Fazit zu Open Innovation | 509 |
| 4.6 Innovationen und zukünftige Herausforderungen | 509 |
| 4.7 Literatur | 510 |
| 5 Änderungsmanagement | 513 |
| <i>Stefan Langer</i> | |
| 5.1 Grundlagen technischer Änderungen | 513 |
| 5.1.1 Begriffsverständnis | 513 |
| 5.1.2 Entstehung | 515 |
| 5.1.3 Auswirkungen | 518 |
| 5.1.4 Einfluss- und Gestaltungsfaktoren | 521 |
| 5.2 Änderungsmanagement in der Produktentwicklung | 524 |
| 5.2.1 Begriffsverständnis | 524 |

| | |
|--|------------|
| 5.2.2 Aufgaben des Änderungsmanagements | 524 |
| 5.2.3 Änderungsprozesse | 526 |
| 5.2.4 Organisationsformen | 527 |
| 5.2.5 Toolunterstützung | 529 |
| 5.2.6 Strategien und Maßnahmen | 532 |
| 5.2.7 Zusammenhang mit Projekt- und Konfigurationsmanagement | 535 |
| 5.3 Zusammenfassung | 537 |
| 5.4 Literatur | 538 |
| 6 Verifikation und Validierung im Produktentstehungsprozess | 541 |
| <i>Albert Albers, Matthias Behrendt, Simon Klingler, Kevin Matros</i> | |
| 6.1 Verständnis von Verifikation und Validierung | 541 |
| 6.2 Bedeutung in der Produktentwicklung | 543 |
| 6.3 Kontinuierliche Validierung im Produktentstehungsprozess | 547 |
| 6.3.1 Etablierte Validierungsmethoden | 547 |
| 6.3.2 Validierung als Problemlösungsprozess | 550 |
| 6.3.2.1 Validierungsaktivitäten und deren Schnittstellen | 550 |
| 6.3.2.2 Validierungsaktivitäten - Bedarfe und Priorisierung | 551 |
| 6.3.2.3 Testdefinition | 554 |
| 6.4 Ansätze zur effizienten Validierung | 556 |
| 6.5 Ansätze zur effektiven Validierung | 558 |
| 6.6 Anwendungsbeispiele | 563 |
| 6.6.1 NVH-elektrifizierte Antriebe | 563 |
| 6.6.2 Fahrerlebnis und Verbrauch von Hybridantrieben | 565 |
| 6.7 Fazit | 567 |
| 6.8 Literatur | 568 |
| 7 Lean Development | 571 |
| <i>Klaus Moll</i> | |
| 7.1 Herkunft und Philosophie | 571 |
| 7.1.1 Effizienz in Entwicklung und Konstruktion | 571 |
| 7.1.2 Die Erkennung der Lean-Grundsätze | 572 |
| 7.1.3 Dimensionen und Prinzipien des Toyota Product Development System | 574 |
| 7.1.4 Übertragbarkeit des TPDS auf die Produktentwicklung | 581 |
| 7.2 Merkmale und 5 Grundprinzipien des Lean Development | 582 |
| 7.2.1 Grundprinzip Kundenorientierung: Wertspezifikation aus Kundensicht | 583 |
| 7.2.2 Grundprinzip Wertstrom: Identifikation des Wertstroms | 585 |
| 7.2.3 Grundprinzip Flow: Unterbrechungsfreier Fluss des Wertes | 587 |
| 7.2.4 Grundprinzip Pull: Anforderung durch den (internen) Kunden | 589 |
| 7.2.5 Grundprinzip Perfektion: Vollständige Beseitigung von Verlusten | 591 |
| 7.3 Denkweisen und Methoden des Lean Development | 592 |
| 7.3.1 Verschwendungsanalyse | 592 |
| 7.3.2 Frontloading | 598 |
| 7.3.3 Wertstromanalyse | 604 |

| | | |
|--|---|-----|
| 7.3.4 | Kaizen und kontinuierlicher Verbesserungsprozess | 610 |
| 7.3.5 | 5S in der Produktentwicklung | 612 |
| 7.4 | Mögliche Ansätze zur Einführung von Lean Development | 615 |
| 7.5 | Lean Development: Möglichkeiten, Potenziale und Wechselwirkungen mit bestehenden Prozessen | 617 |
| 7.6 | Literatur | 619 |
| TEIL IV | | |
| Systematik der Produktentwicklung | | 621 |
| 1 | Methoden in der Produktentwicklung | 623 |
| | <i>Udo Lindemann</i> | |
| 1.1 | Literatur | 628 |
| 2 | Produkte entwickeln mit QFD – Quality Function Deployment | 629 |
| | <i>Jutta Saatweber</i> | |
| 2.1 | Quality Function Deployment (QFD) – systematisches Qualitätsmanagement im Entwicklungsprozess | 629 |
| 2.1.1 | Herkunft von QFD | 629 |
| 2.1.2 | Was will QFD – was bewirkt QFD? | 630 |
| 2.1.3 | Voraussetzungen für QFD, Firmenkultur und Einstellungen | 631 |
| 2.1.4 | Anwendungsgebiete für QFD | 632 |
| 2.2 | Der QFD-Prozess | 633 |
| 2.2.1 | Das House of Quality (HoQ) | 633 |
| 2.2.2 | Übersicht zu den Phasen 0 bis IV | 637 |
| 2.3 | Phase 0: Informationsbeschaffung für QFD | 638 |
| 2.3.1 | Wie erfasst man die „Stimme des Kunden“? | 638 |
| 2.3.2 | Methoden der Informationsbeschaffung | 641 |
| 2.3.3 | Welche Zielgruppe soll erreicht werden? – Segmentierung durch Situationsfeld- bzw. Portfolioanalyse | 643 |
| 2.3.4 | Wie und wo erhält man interne Kundeninformationen? | 644 |
| 2.3.5 | Externe Informationsquellen – Wie kann die „Stimme des Kunden“ erfasst werden? .. | 645 |
| 2.4 | QFD-Phase I bis V: Praxisbeispiel Kugelschreiber, die 10 Schritte im 1. QFD-House | 647 |
| 2.4.1 | QFD-Phase I | 647 |
| 2.4.2 | QFD-Phase II: Teile-, Komponenten- bzw. Konstruktionsplanung | 658 |
| 2.4.3 | QFD-Phase III: Prozessplanung | 659 |
| 2.4.4 | Phase IV: Produktions- bzw. Verfahrensplanung | 661 |
| 2.4.5 | Phase V: Feedback-Phase nach Saatweber | 661 |
| 2.5 | Einführung und Anwendung von QFD im Unternehmen | 663 |
| 2.5.1 | Vorgehensweise bei der Einführung von QFD | 664 |
| 2.5.2 | Das QFD-Team, Teambildung | 664 |
| 2.5.3 | Anwender von QFD und deren Erfahrungen | 665 |
| 2.5.4 | Verkürzung der Entwicklungszeit | 667 |
| 2.6 | Das Zusammenwirken von QFD mit TRIZ und anderen Methoden | 669 |
| 2.7 | Literatur | 671 |

| | |
|--|------------|
| 3 Die Theorie des erfinderischen Problemlösens (TRIZ) | 673 |
| <i>Robert Adunka</i> | |
| 3.1 Idealität, das Ideale Technische System und das Ideale Endresultat (IER) | 674 |
| 3.1.1 Idealität | 674 |
| 3.1.2 Ideales Technisches System bzw. Ideale Maschine | 675 |
| 3.1.3 Ideales Endresultat | 675 |
| 3.2 Ursache-Wirkungs-Analyse | 676 |
| 3.3 Neun-Felder-Denken | 679 |
| 3.4 Die 40 Innovationsprinzipien | 680 |
| 3.5 Widerspruchsdenken | 682 |
| 3.5.1 Technischer Widerspruch und 40 Innovationsprinzipien | 682 |
| 3.5.2 Physikalischer Widerspruch und Separationsprinzipien | 684 |
| 3.6 Weiterführende Ansätze | 686 |
| 3.6.1 Funktionsanalyse | 686 |
| 3.6.2 Stoff-Feld-Analyse und die 76 Standardlösungen | 687 |
| 3.6.3 Trends der Technikevolution | 688 |
| 3.7 Zusammenfassung | 688 |
| 3.8 Literatur | 689 |
| 4 Funktionsmodellierung | 691 |
| <i>Jörg Feldhusen</i> | |
| <i>Ab Kapitel 4.4: Lucia Becerril, Niklas Kattner, Sebastian Schweigert</i> | |
| 4.1 Der Funktionsbegriff in der Technik | 691 |
| 4.2 Funktionsarten | 692 |
| 4.3 Die Funktionsstruktur | 693 |
| 4.4 Methoden der Funktionsmodellierung | 697 |
| 4.4.1 Zweck der Funktionsmodellierung | 697 |
| 4.4.2 Zentrale Begriffe der Funktionsmodellierung | 698 |
| 4.4.3 Einordnung in den Produktentwicklungsprozess | 699 |
| 4.4.3.1 Funktionsmodellierung in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses | 699 |
| 4.4.3.2 Funktionsmodelle bei der Systemanalyse und -optimierung | 701 |
| 4.4.4 Erstellen von Funktionsmodellen | 702 |
| 4.4.4.1 Arten von Funktionsmodellen | 703 |
| 4.4.4.2 Betrachtungsweisen auf das System | 704 |
| 4.4.5 Softwareunterstützung mittels SysML | 706 |
| 4.4.6 Beispiel | 709 |
| 4.5 Literatur | 714 |
| 5 Systematisierung des Lösungsraums | 715 |
| <i>Josef Ponn</i> | |
| 5.1 Motivation | 715 |
| 5.2 Grundlagen | 716 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.3 | Methoden zur Systematisierung des Lösungsraums | 719 |
| 5.3.1 | Lösungsraum strukturieren | 720 |
| 5.3.2 | Lösungsraum ergänzen | 723 |
| 5.3.3 | Gesamtkonzepte ermitteln | 726 |
| 5.3.4 | Lösungsvielfalt einschränken | 728 |
| 5.4 | Anwendungskonzepte | 733 |
| 5.5 | Anwendungsbeispiele | 735 |
| 5.5.1 | Scheibensicherung in einem Schleifgerät | 735 |
| 5.5.2 | Gesamtkonzept für ein Trenngerät | 738 |
| 5.6 | Zusammenfassung | 741 |
| 5.7 | Literatur | 742 |
| 6 | Kreativität in der Produktentwicklung | 743 |
| | <i>Udo Lindemann</i> | |
| 6.1 | Kreativität in der Produktentwicklung | 743 |
| 6.2 | Einige Grundlagen zur Kreativität | 744 |
| 6.3 | Beobachtung, Wahrnehmung und Anstoß | 747 |
| 6.4 | Barrieren – Denkblockaden umgehen | 750 |
| 6.5 | Kreativitätsunterstützung durch Intuition | 753 |
| 6.6 | Kreativitätsunterstützung durch diskursiv geprägte Methoden | 756 |
| 6.7 | Realisierung, Umsetzung | 757 |
| 6.8 | Literatur | 758 |
| 7 | Methoden der Entscheidungsfindung | 759 |
| | <i>Thomas Luft, Julie Le Cardinal, Sandro Wartzack</i> | |
| 7.1 | Einleitung | 759 |
| 7.2 | Grundlagen der Entscheidungsfindung | 759 |
| 7.2.1 | Spezifika der Entscheidungsfindung in der Entwicklung | 760 |
| 7.2.2 | Komplexität der Entscheidungsfindung | 763 |
| 7.2.3 | Unsicherheit bei der Entscheidungsfindung | 764 |
| 7.2.4 | Arten der Entscheidungsfindung | 767 |
| 7.2.5 | Ebenen der Entscheidungsfindung | 769 |
| 7.2.6 | Formen der Entscheidungsfindung | 770 |
| 7.2.7 | Kriterien für eine gute Entscheidung | 772 |
| 7.3 | Prozess der Entscheidungsfindung | 772 |
| 7.3.1 | Entscheidungsfindungsprozess | 772 |
| 7.3.1.1 | Klärung der Aufgabe und Problemformulierung | 774 |
| 7.3.1.2 | Klärung und Präzisierung der Zielsetzung(en) | 775 |
| 7.3.1.3 | Suche nach Alternativen/Lösungen | 776 |
| 7.3.1.4 | Bewertung der Alternativen/Lösungen | 778 |
| 7.3.1.5 | Auswahl und Realisierung einer Alternative/Lösung | 782 |
| 7.3.2 | Kompetenzmodell | 783 |
| 7.3.2.1 | Akteure | 783 |
| 7.3.2.2 | Kompetenz | 783 |

| | |
|---|------------|
| 7.3.3 SACADO-Methodik | 784 |
| 7.3.3.1 Bedeutung der Auswahl von Akteuren | 784 |
| 7.3.3.2 Ablauf der Auswahl von Akteuren | 784 |
| 7.4 Bewertungsverfahren als Kernelemente des Entscheidungsprozesses | 787 |
| 7.4.1 Überblick über Bewertungsverfahren | 788 |
| 7.4.2 Einfache Bewertungsmethoden - Die Punktbewertung | 790 |
| 7.4.3 Aufwändige Bewertungsmethoden - Die Nutzwertanalyse | 791 |
| 7.4.4 Komplexe Bewertungsmethoden - der Analytische Hierarchieprozess | 795 |
| 7.4.5 Komplexe Bewertungsmethoden - Überblick über die ELECTRE- und PROMETHEE-Methode | 798 |
| 7.5 Abschließende Bemerkungen | 800 |
| 7.6 Literatur | 801 |
| 8 Absicherung der technischen Entwicklungsziele | 805 |
| <i>Josef Ponn</i> | |
| 8.1 Motivation | 805 |
| 8.2 Grundlagen | 806 |
| 8.2.1 Begriffe | 806 |
| 8.2.2 Vorgehensweisen zur Zielabsicherung | 807 |
| 8.2.3 Strategien zur Komplexitätsbeherrschung | 808 |
| 8.2.4 Methoden zur Zielabsicherung | 809 |
| 8.3 Präventive Zielabsicherung: FMEA | 811 |
| 8.3.1 System strukturieren | 811 |
| 8.3.2 Funktionen analysieren | 813 |
| 8.3.3 Fehler ermitteln | 816 |
| 8.3.4 Risiken bewerten | 819 |
| 8.3.5 Maßnahmen definieren | 823 |
| 8.4 Reaktive Zielabsicherung: Ursache-Wirkungs-Analyse | 824 |
| 8.5 Organisatorische Ansätze | 827 |
| 8.6 Anwendungsbeispiel | 829 |
| 8.6.1 Ausgangssituation und Entwicklungsziele | 829 |
| 8.6.2 Applikations-FMEA | 829 |
| 8.6.3 System-FMEA Teil 1: Fehleranalyse | 830 |
| 8.6.4 System-FMEA Teil 2: Risikobewertung | 833 |
| 8.6.5 Reaktive Zielabsicherung | 834 |
| 8.7 Zusammenfassung | 835 |
| 8.8 Literatur | 835 |
| 9 Ergonomische Produktgestaltung | 837 |
| <i>Heiner Bubb, Severina Popova-Dlugosch, Jurek Breuninger</i> | |
| 9.1 Bedeutung der Ergonomie in der Produktgestaltung | 837 |
| 9.2 Das Regelkreisparadigma der Ergonomie | 839 |
| 9.2.1 Ansatzgebiete ergonomischer Gestaltung | 839 |
| 9.2.2 Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept der Ergonomie | 842 |
| 9.2.3 Usability, Komfort und User Experience | 843 |

| | | |
|--|---|------------|
| 9.3 | Systemergonomische Gestaltung | 844 |
| 9.3.1 | Systemergonomische Maximen | 845 |
| 9.3.1.1 | Funktion | 846 |
| 9.3.1.2 | Rückmeldung | 849 |
| 9.3.2 | Mensch-Maschine-Interaktion | 854 |
| 9.3.2.1 | Anzeigen | 855 |
| 9.3.2.2 | Bedienelemente | 859 |
| 9.4 | Literatur | 865 |
| TEIL V | | |
| Technologie-, Methoden- und Kulturentwicklung | | 867 |
| 1 | Von der Mechatronik zu Cyber-Physical-Systems | 869 |
| <i>Udo Lindemann</i> | | |
| 1.1 | Mechatronik | 869 |
| 1.2 | Produkt-Service Systeme (PSS) | 871 |
| 1.3 | Kognitive Produkte | 872 |
| 1.4 | Internet der Dinge, Cyber-Physical Systems (CPS) | 874 |
| 1.5 | Literatur | 875 |
| 2 | Produktentwicklung mit neuen Materialien am Beispiel der Carbon Composites | 877 |
| <i>Klaus Drechsler, Paul Bockelmann</i> | | |
| 2.1 | Einleitung | 877 |
| 2.2 | Grundlagen der Faserverbundwerkstoffe | 878 |
| 2.2.1 | Wirkungsweise und Nutzung der Faserverstärkung | 878 |
| 2.2.2 | Funktionen und Eigenschaften des Matrixmaterials | 880 |
| 2.2.3 | Fertigungsverfahren und Faserhalbzeuge | 882 |
| 2.3 | Methodische Entwicklung und Konstruktion von FVK-Bauteilen | 885 |
| 2.3.1 | Entwicklungssituation moderner LCM-Bauteile | 887 |
| 2.4 | Konstruktion, Bauweisen und Anwendungen | 889 |
| 2.4.1 | Bauweisen und Anwendungen der Faserverbundtechnologie | 891 |
| 2.5 | Berechnung und Simulation | 896 |
| 2.6 | Produktentwicklung in der Praxis: Film-RTM | 900 |
| 2.7 | Literatur | 903 |
| 3 | Numerische Simulationsverfahren | 905 |
| <i>Frank Rieg, Florian Nützel, Christoph Wehmann</i> | | |
| 3.1 | Genereller Ablauf numerischer Simulationen | 905 |
| 3.2 | Finite-Elemente-Analyse | 907 |
| 3.2.1 | Lineare Festigkeitsanalyse | 907 |
| 3.2.2 | Nichtlineare Festigkeitsanalyse | 919 |
| 3.2.3 | Kontaktanalyse | 926 |
| 3.2.4 | Thermische Analyse | 928 |

| | |
|--|------------|
| 3.2.5 Eigenschwingung | 931 |
| 3.2.6 Transiente Analysen | 932 |
| 3.3 Mehrkörpersimulation | 933 |
| 3.4 Computational Fluid Dynamics | 934 |
| 3.5 Literatur | 936 |
| 4 Virtuelles Engineering | 939 |
| <i>Wilhelm Bauer, Manfred Dangelmaier</i> | |
| 4.1 Entwicklung und Kernbereiche | 939 |
| 4.2 Ziele der Virtualisierung und Digitalisierung | 940 |
| 4.3 Zugang zu digitalen Produktmodellen | 940 |
| 4.4 Begriffe im virtuellen Engineering | 941 |
| 4.5 Virtuelle Realität | 941 |
| 4.5.1 Was ist virtuelle Realität? | 941 |
| 4.5.2 Stereoskopische Displays | 942 |
| 4.5.3 Direkte Interaktion | 943 |
| 4.6 Erweiterte Realität | 943 |
| 4.7 Mixed Reality | 944 |
| 4.8 Simulation im virtuellen Engineering | 945 |
| 4.9 Anwendungen | 946 |
| 4.9.1 Übersicht | 946 |
| 4.9.2 CAD-Review | 946 |
| 4.9.3 Design-Review | 947 |
| 4.9.4 Baubarkeitsuntersuchungen | 948 |
| 4.9.5 Ergonomie-Untersuchungen | 948 |
| 4.9.6 VR-Fahrersimulation | 949 |
| 4.9.7 Visualisierung von Simulationsdaten | 949 |
| 4.10 Integration und Prozesse | 950 |
| 4.10.1 Integrationsaspekte | 950 |
| 4.10.2 Abläufe im virtuellen Engineering | 951 |
| 4.11 Literatur | 952 |
| 5 Neue Produktionstechnologien am Beispiel der additiven Verfahren | 953 |
| <i>Christoph Schmutzler, Stefan Teufelhart, Gunther Reinhart, Michael F. Zäh</i> | |
| 5.1 Grundlagen der additiven Fertigung | 953 |
| 5.1.1 Rapid Prototyping | 954 |
| 5.1.2 Rapid Tooling | 954 |
| 5.1.3 Direct Manufacturing (Rapid Manufacturing) | 955 |
| 5.1.4 Verfahrensprinzip | 955 |
| 5.2 Beschreibung ausgewählter Verfahren | 958 |
| 5.2.1 3D-Drucken (3DP) | 959 |
| 5.2.2 Stereolithografie (SL) | 960 |
| 5.2.3 Laser-Sintern (LS) | 961 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.2.4 | Laserstrahlschmelzen (LBM) | 963 |
| 5.2.5 | Extrusionsverfahren (FLM) | 964 |
| 5.2.6 | Alternative Verfahrensprinzipien | 965 |
| 5.3 | Konstruktionsweisen für die additive Fertigung | 966 |
| 5.3.1 | Potenziale und Einschränkungen additiver Fertigungsverfahren | 967 |
| 5.3.2 | Vergleich der Kostenstruktur bei der Konstruktion für konventionelle und additive Fertigungsverfahren | 969 |
| 5.3.3 | Leichtbau durch additive Fertigung | 972 |
| 5.3.4 | Funktionsintegration durch additive Fertigung | 974 |
| 5.4 | Zusammenfassung und aktuelle Entwicklungstendenzen | 976 |
| 5.5 | Literatur | 977 |
| 6 | Engineering Intelligence – Von der graphenbasierten Modellierung zur wissensbasierten Datenanalyse | 979 |
| | <i>Bergen Helms, Maximilian Kissel</i> | |
| 6.1 | Graphenbasierte Modellierung in der Produktentwicklung | 980 |
| 6.1.1 | Graphenbasierte Modellierung: Schwierigkeiten bei Modellerstellung und -analyse in der Praxis | 981 |
| 6.1.2 | Wissensbasierte Datenanalyse in der Produktentwicklung: Überblick und Zielsetzung | 983 |
| 6.2 | Engineering Intelligence – wissensbasierte Datenanalyse | 984 |
| 6.2.1 | Graphenbasierte Modellierung | 984 |
| 6.2.1.1 | Typisierte, attribuierte Graphen | 985 |
| 6.2.1.2 | Standardisierte und domänenpezifische Modellierungssprachen | 987 |
| 6.2.2 | Strukturen zur Datenverwaltung und deren Überführung in Graphen | 988 |
| 6.2.3 | Wissensformalisierung mittels Graphtransformation | 991 |
| 6.2.4 | Softwaretechnische Umsetzung von Metamodell und Graphtransformation | 993 |
| 6.3 | Anwendungen von Engineering Intelligence | 996 |
| 6.3.1 | Analyse komplexer Produktstrukturen | 996 |
| 6.3.1.1 | Datenkonsolidierung | 997 |
| 6.3.1.2 | Suche | 998 |
| 6.3.1.3 | Mustergestützte Kennzahlberechnung | 1000 |
| 6.3.2 | Fallstudie: Beschwerdeanalyse zur Qualitätsverbesserung | 1001 |
| 6.3.2.1 | Ausgangssituation und Problemstellung | 1001 |
| 6.3.2.2 | Zielstellung der Analyse | 1002 |
| 6.3.2.3 | Vorgehen | 1003 |
| 6.3.2.4 | Diskussion der Fallstudie | 1008 |
| 6.4 | Diskussion und Ausblick | 1010 |
| 6.5 | Literatur | 1011 |

| | |
|--|------|
| 7 Führung in der Produktentwicklung | 1013 |
| <i>Tanja Peter, Dieter Frey</i> | |
| 7.1 Einleitung | 1013 |
| 7.2 Der erste Schritt: Personalauswahl und Teamzusammensetzung | 1013 |
| 7.2.1 Wie wähle ich die besten Mitarbeiter aus? | 1013 |
| 7.2.2 Wie setze ich ein effektives Team zusammen? | 1014 |
| 7.3 Was macht gute Führung aus? | 1016 |
| 7.4 Prinzipien guter Führung | 1016 |
| 7.5 Welcher Führungsstil ist der richtige? | 1018 |
| 7.6 Center-of-ExcellenceKulturen | 1019 |
| 7.6.1 Fehlerkultur | 1020 |
| 7.6.2 Innovations- und Adoptionskultur | 1020 |
| 7.6.3 Kundenorientierungskultur | 1021 |
| 7.6.4 Benchmark-Kultur | 1021 |
| 7.7 Führung im Alltag: Konkrete Tools zur Umsetzung | 1022 |
| 7.7.1 Selbst- und Teamreflexion | 1022 |
| 7.7.2 Veränderbare und unveränderbare Welten | 1022 |
| 7.7.3 Paul'scher Regelkreis | 1022 |
| 7.7.4 Ursachenanalyse | 1023 |
| 7.7.5 Das 2-6-2-Prinzip | 1023 |
| 7.8 Literatur | 1024 |
| Index | 1027 |