

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Grundlagen und Begriffsbildung

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| <b>1 Grundlagen</b>                                        | 3  |
| 1.1 Software is Eating the World                           | 4  |
| 1.1.1 Herausforderungen in der Softwareentwicklung         | 7  |
| 1.1.2 Zielsetzung des Software Engineering                 | 12 |
| 1.1.3 Prinzipien und Erfolgsfaktoren                       | 14 |
| 1.2 Grundlegende Begriffe                                  | 16 |
| 1.3 Kernthemen der Softwaretechnik                         | 22 |
| 1.3.1 Erfassung und Verfeinerung der Anforderungen         | 27 |
| 1.3.2 Architektur                                          | 30 |
| 1.3.3 Implementierung, Integration und Verifikation        | 33 |
| 1.3.4 Betrieb und Evolution                                | 35 |
| 1.3.5 Vorgehensweisen in der Softwareentwicklung           | 36 |
| Literatur                                                  | 38 |
| <b>2 Eigenschaften und Strukturen von Softwaresystemen</b> | 41 |
| 2.1 Charakterisierung von Softwaresystemen                 | 41 |
| 2.1.1 Der Kontext                                          | 45 |
| 2.1.2 Systemverhalten, Schnittstellen und Funktionen       | 46 |
| 2.1.3 Sichten auf Softwaresysteme                          | 48 |
| 2.2 Qualitätseigenschaften von Softwaresystemen            | 51 |
| 2.2.1 Produkt- und Nutzungsqualität                        | 53 |
| 2.2.2 Qualität in der Nutzung                              | 54 |
| 2.2.3 Qualität in der Entwicklung und Evolution            | 58 |
| 2.2.4 Qualität im Betrieb                                  | 60 |
| 2.2.5 Qualität in der Vermarktung (Vermarktbarkeit)        | 61 |

- 2.3 Messung von Systemeigenschaften . . . . . 61
    - 2.3.1 Messung und Vermessung von Software . . . . . 62
    - 2.3.2 Festlegung von Metriken . . . . . 64
    - 2.3.3 Softwaremetriken . . . . . 65
  - 2.4 Weiterführende Literatur und Übungen . . . . . 75
  - Literatur. . . . . 78
- 3 Vorgehensmodelle in der Softwareentwicklung . . . . . 83**
  - 3.1 Was ist ein Vorgehensmodell? . . . . . 83
  - 3.2 Grundlegende Vorgehensmodelle und Prozessbeschreibungen . . . . . 85
    - 3.2.1 Phasenorientierte Modelle und sequenzielles Vorgehen . . . . . 86
    - 3.2.2 Iteratives und inkrementelles Vorgehen . . . . . 89
    - 3.2.3 Prototyping . . . . . 92
    - 3.2.4 Agile Vorgehensweisen . . . . . 94
  - 3.3 Das V-Modell XT . . . . . 98
    - 3.3.1 Rollen im V-Modell XT . . . . . 98
    - 3.3.2 V-Modell XT Produkte für die Systementwicklung . . . . . 99
    - 3.3.3 Vorgehensweisen im V-Modell XT . . . . . 100
  - 3.4 Scrum . . . . . 104
    - 3.4.1 Rollen in Scrum . . . . . 104
    - 3.4.2 Scrum Artefakte und Prozess . . . . . 105
    - 3.4.3 Anforderungen an die Organisation . . . . . 107
    - 3.4.4 Scrum in der Praxis . . . . . 107
    - 3.4.5 Skalierung von Scrum . . . . . 108
    - 3.4.6 Scrumban . . . . . 112
  - 3.5 Rollen und Verantwortlichkeiten . . . . . 115
    - 3.5.1 Der Product Owner . . . . . 115
    - 3.5.2 Weitere zentrale Projektrollen . . . . . 116
  - 3.6 Weiterführende Literatur und Übungen . . . . . 117
  - Literatur. . . . . 121
- 4 Modelle in der Softwareentwicklung und ihre Beschreibung . . . . . 125**
  - 4.1 Warum Modellierung? . . . . . 125
  - 4.2 Modelle und ihre Beschreibung . . . . . 127
    - 4.2.1 Grundsätzliches zur Modellbildung in der Informatik . . . . . 129
    - 4.2.2 Mathematische Modellierung von Informationsverarbeitung . . . . . 131
    - 4.2.3 Grafische Modellierung am Beispiel UML . . . . . 135
  - 4.3 Modellierung von Daten . . . . . 138
    - 4.3.1 Algebraische Spezifikation . . . . . 140
    - 4.3.2 Entity-Relationship-Modelle . . . . . 144

|       |                                                       |     |
|-------|-------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.3 | UML-Klassendiagramme . . . . .                        | 147 |
| 4.3.4 | Typ- und Sortendeklarationen . . . . .                | 148 |
| 4.4   | Spezifikation von Funktionen und Prozeduren . . . . . | 149 |
| 4.4.1 | Spezifikation von Funktionen . . . . .                | 149 |
| 4.4.2 | Spezifikation von Prozeduren . . . . .                | 151 |
| 4.4.3 | Operationen in UML-Klassendiagrammen . . . . .        | 155 |
| 4.5   | Modellierung von Zuständen . . . . .                  | 156 |
| 4.5.1 | Zustandsmaschinen mit Ein- und Ausgabe . . . . .      | 156 |
| 4.5.2 | Zustandsmaschinen in der UML . . . . .                | 161 |
| 4.6   | Modellierung von verteilten Systemen . . . . .        | 163 |
| 4.6.1 | Komponenten und Schnittstellen . . . . .              | 163 |
| 4.6.2 | Architekturen . . . . .                               | 175 |
| 4.6.3 | Daten- und Kontrollfluss . . . . .                    | 178 |
| 4.6.4 | Prozesse . . . . .                                    | 184 |
| 4.7   | Weiterführende Literatur und Übungen . . . . .        | 189 |
|       | Literatur . . . . .                                   | 192 |

## Teil II Anforderungsanalyse

|       |                                                                   |            |
|-------|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 5     | <b>Anforderungsanalyse und Anforderungsmanagement . . . . .</b>   | <b>199</b> |
| 5.1   | Ziele und Aufgaben einer Software . . . . .                       | 199        |
| 5.2   | Die zentrale Rolle der Anforderungen . . . . .                    | 200        |
| 5.2.1 | Die Nutzer und ihr Erlebnis stehen im Zentrum . . . . .           | 201        |
| 5.2.2 | Grundstruktur der Anforderungen . . . . .                         | 202        |
| 5.2.3 | Anforderungsanalyse . . . . .                                     | 203        |
| 5.2.4 | Klassifikation von Anforderungen . . . . .                        | 206        |
| 5.2.5 | Anforderungen an die Systemverlässlichkeit . . . . .              | 209        |
| 5.3   | Kernaufgaben in der Erarbeitung der Systemanforderungen . . . . . | 211        |
| 5.3.1 | Kernartefakte in der Anforderungsanalyse . . . . .                | 211        |
| 5.3.2 | Grundlegendes Vorgehen in der Anforderungserhebung . . . . .      | 212        |
| 5.4   | Rollen in der Anforderungsanalyse . . . . .                       | 214        |
| 5.5   | Management von Anforderungen im Produktlebenszyklus . . . . .     | 215        |
| 5.5.1 | Änderungsmanagement . . . . .                                     | 216        |
| 5.5.2 | Versions- und Konfigurationsmanagement . . . . .                  | 217        |
| 5.5.3 | Anforderungsverifizierbarkeit . . . . .                           | 217        |
| 5.5.4 | Anforderungsverfolgung . . . . .                                  | 218        |
| 5.5.5 | Anforderungsbegründung . . . . .                                  | 218        |
| 5.6   | Weiterführende Literatur und Übungen . . . . .                    | 219        |
|       | Literatur . . . . .                                               | 221        |

|          |                                                      |     |
|----------|------------------------------------------------------|-----|
| <b>6</b> | <b>Produkt- und Qualitätsanforderungen</b>           | 223 |
| 6.1      | Produktanforderungen                                 | 223 |
| 6.1.1    | Funktionsarchitektur und Anwendungsfälle             | 226 |
| 6.1.2    | Mensch-Maschine Interaktion                          | 237 |
| 6.2      | Qualitätsanforderungen                               | 241 |
| 6.2.1    | Funktionsbezogene Qualitätsanforderungen             | 241 |
| 6.2.2    | Nutzungsbezogene Qualitätsanforderungen              | 242 |
| 6.2.3    | Entwicklungsbezogene Qualitätsanforderungen          | 242 |
| 6.2.4    | Qualitätsattribute                                   | 243 |
| 6.3      | Weiterführende Literatur und Übungen                 | 245 |
|          | Literatur                                            | 248 |
| <b>7</b> | <b>Vorgehen in der Anforderungserhebung</b>          | 251 |
| 7.1      | Grundsätzliches Vorgehen in der Anforderungserhebung | 251 |
| 7.1.1    | Domänenanalyse                                       | 252 |
| 7.1.2    | Allgemeiner Prozess der Anforderungserhebung         | 252 |
| 7.1.3    | Das Lastenheft und Anwenderforderungen               | 257 |
| 7.1.4    | Anforderungsfestlegung und Dokumentation             | 258 |
| 7.2      | Techniken für die Anforderungserhebung               | 259 |
| 7.2.1    | Anforderungsquellen                                  | 260 |
| 7.2.2    | Kreativitätstechniken                                | 260 |
| 7.3      | Methoden für die anforderungsgetriebene Entwicklung  | 263 |
| 7.3.1    | Design Thinking                                      | 263 |
| 7.3.2    | Feature-driven Development                           | 268 |
| 7.4      | Anforderungserhebung im Agilen Vorgehen              | 271 |
| 7.4.1    | User Stories                                         | 273 |
| 7.4.2    | Agile Praktiken in der Anforderungserhebung          | 275 |
| 7.4.3    | Definition of Ready und Definition of Done           | 280 |
| 7.5      | Modellierung von Anforderungen                       | 284 |
| 7.5.1    | Modellierung von Anwendungsfällen                    | 285 |
| 7.5.2    | Detaillierte Modellierung von Anforderungen          | 287 |
| 7.6      | Qualitätssicherung für Anforderungen                 | 294 |
| 7.6.1    | Allgemeine Qualitätsaspekte von Anforderungen        | 295 |
| 7.6.2    | Validierung von Anforderungen                        | 295 |
| 7.6.3    | Verifizierbarkeit von Anforderungen                  | 296 |
| 7.7      | Weiterführende Literatur und Übungen                 | 297 |
|          | Literatur                                            | 300 |

**Teil III Systementwurf und Architekturspezifikation**

|          |                                                          |     |
|----------|----------------------------------------------------------|-----|
| <b>8</b> | <b>Grundlagen und Prinzipien des Architekturentwurfs</b> | 307 |
| 8.1      | Strukturierung von Systemen                              | 307 |
| 8.1.1    | Softwarekomponenten                                      | 309 |
| 8.1.2    | Erarbeitung der System- und Softwarearchitektur          | 310 |
| 8.1.3    | Funktionen und Funktionsarchitektur                      | 311 |
| 8.1.4    | Architekturmodelle für Softwaresysteme                   | 312 |
| 8.1.5    | Perspektiven des Architekturentwurfs                     | 320 |
| 8.1.6    | Die zentrale Rolle des Architekten                       | 327 |
| 8.2      | Prinzipien des Architekturentwurfs                       | 329 |
| 8.2.1    | Das Gebot der Einfachheit: KISS                          | 329 |
| 8.2.2    | Kopplung und Kohäsion                                    | 330 |
| 8.2.3    | Kapselung und Information Hiding                         | 332 |
| 8.2.4    | Separation of Concerns                                   | 335 |
| 8.2.5    | Teile und Herrsche                                       | 336 |
| 8.2.6    | Design by Contract                                       | 340 |
| 8.3      | Wiederverwendung im Architekturentwurf                   | 341 |
| 8.3.1    | Was ist Wiederverwendung?                                | 342 |
| 8.3.2    | Herausforderungen in der Wiederverwendung                | 344 |
| 8.3.3    | Strategien der Wiederverwendung                          | 345 |
| 8.4      | Weiterführende Literatur und Übungen                     | 346 |
|          | Literatur                                                | 349 |
| <b>9</b> | <b>Architekturentwurf und Architekturmodellierung</b>    | 353 |
| 9.1      | Grundsätzliches Vorgehen im Architekturentwurf           | 353 |
| 9.1.1    | Allgemeiner Prozess des Architekturentwurfs              | 354 |
| 9.1.2    | Entwurfsstrategien im Architekturentwurf                 | 356 |
| 9.1.3    | Modellierung von Daten                                   | 357 |
| 9.1.4    | Modellierung von Nutzungsschnittstellen                  | 359 |
| 9.1.5    | Berücksichtigung von Datensicherheit und Datenschutz     | 362 |
| 9.1.6    | Fehlerbehandlung                                         | 363 |
| 9.2      | Der Grobentwurf: Entwicklung der Systemarchitektur       | 366 |
| 9.2.1    | Prinzipien im Architektur- und Komponentenentwurf        | 367 |
| 9.2.2    | Black-Box Spezifikation und Schnittstellen               | 367 |
| 9.2.3    | Wiederverwendung von Komponenten und Modulen             | 369 |
| 9.3      | Der Feinentwurf: Entwicklung der Softwarearchitektur     | 370 |
| 9.3.1    | Softwarearchitektur zur Entwurfs- und Laufzeit           | 371 |
| 9.3.2    | Abstraktion und Verfeinerung                             | 371 |
| 9.4      | Dokumentation der Architektur: Architekturspezifikation  | 372 |
| 9.4.1    | Das Pflichtenheft und die Systemanforderungen            | 373 |
| 9.4.2    | Nachhaltige Dokumentation der Softwarearchitektur        | 375 |
| 9.4.3    | Dokumentation von Entwurfsentscheidungen                 | 377 |

|           |                                                                     |            |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.5       | Qualitätssicherung des Architekturentwurfs .....                    | 378        |
| 9.5.1     | Evaluation von Systementwürfen. ....                                | 379        |
| 9.5.2     | Architekturreviews. ....                                            | 381        |
| 9.6       | Weiterführende Literatur und Übungen. ....                          | 383        |
|           | Literatur. ....                                                     | 386        |
| <b>10</b> | <b>Nutzung bewährten Architekturwissens. ....</b>                   | <b>389</b> |
| 10.1      | Wiederverwendung im Architekturentwurf .....                        | 389        |
| 10.2      | Klassenbibliotheken und Idiome und Entwurfsmuster .....             | 390        |
| 10.2.1    | Frameworks .....                                                    | 391        |
| 10.2.2    | Generische Klassenbibliotheken für<br>die Softwareentwicklung ..... | 392        |
| 10.2.3    | Domänenspezifische Frameworks<br>und Klassenbibliotheken .....      | 394        |
| 10.2.4    | Referenzarchitekturen .....                                         | 395        |
| 10.3      | Entwurfsmuster .....                                                | 396        |
| 10.3.1    | Allgemeine Beschreibung von Entwurfsmustern. ....                   | 396        |
| 10.3.2    | Klassifizierung von Entwurfsmustern .....                           | 397        |
| 10.3.3    | Anwendung von Entwurfsmustern. ....                                 | 398        |
| 10.4      | Architekturmuster .....                                             | 400        |
| 10.4.1    | Klassifizierung von Architekturmustern .....                        | 400        |
| 10.4.2    | Anwendungsbereiche von Architekturmustern .....                     | 401        |
| 10.5      | Entwurfsregel S.O.L.I.D. ....                                       | 405        |
| 10.5.1    | Single Responsibility Principle .....                               | 406        |
| 10.5.2    | Open-Closed Principle .....                                         | 407        |
| 10.5.3    | Liskov's Substitution Principle .....                               | 410        |
| 10.5.4    | Interface Segregation Principle .....                               | 412        |
| 10.5.5    | Dependency Inversion Principle .....                                | 415        |
| 10.6      | Weiterführende Literatur und Übungen .....                          | 418        |
|           | Literatur. ....                                                     | 422        |

**Teil IV Implementierung, Integration und Qualitätssicherung von Software**

|           |                                                        |            |
|-----------|--------------------------------------------------------|------------|
| <b>11</b> | <b>Implementierung von Softwaresystemen .....</b>      | <b>427</b> |
| 11.1      | Implementierung von Software .....                     | 427        |
| 11.1.1    | Codearchitektur und Codequalität .....                 | 428        |
| 11.1.2    | Entscheidungen vor Beginn der Implementierung. ....    | 429        |
| 11.2      | Grundsätzliche Aufgaben in der Implementierung .....   | 431        |
| 11.2.1    | Implementierung des Datenmodells. ....                 | 431        |
| 11.2.2    | Implementierung der Programmlogik und der Module ..... | 432        |
| 11.2.3    | Realisierung der Nutzerschnittstelle .....             | 435        |

- 11.3 Codierung. . . . . 436
  - 11.3.1 Codierungsrichtlinien. . . . . 436
  - 11.3.2 Dokumentation von Quellcode . . . . . 438
  - 11.3.3 Clean Code. . . . . 439
  - 11.3.4 Pair Programming . . . . . 442
- 11.4 Modellbasierte Entwicklung und Codegenerierung. . . . . 443
  - 11.4.1 Grundidee der modellbasierten Entwicklung. . . . . 443
  - 11.4.2 Beispiel der Modellbasierten Entwicklung . . . . . 446
- 11.5 Source Code Management. . . . . 449
  - 11.5.1 Versionskontrollsysteme . . . . . 450
  - 11.5.2 Organisation und Umgang mit Versionskontrollsystemen. . . . 451
  - 11.5.3 Techniken und Werkzeuge . . . . . 454
- 11.6 Weiterführende Literatur und Übungen . . . . . 455
- Literatur. . . . . 460
- 12 Verifikation und Integration von Software. . . . . 463**
  - 12.1 Qualitätssicherung der Implementierung. . . . . 463
    - 12.1.1 Begriffe und Konzepte . . . . . 465
    - 12.1.2 Codeinspektionen und Codereviews . . . . . 468
    - 12.1.3 Funktionale Korrektheit . . . . . 471
    - 12.1.4 Verifikation durch Korrektheitsbeweis  
und Model Checking . . . . . 472
  - 12.2 Grundsätzliches Vorgehen im Testen von Software. . . . . 472
    - 12.2.1 Prinzipien . . . . . 473
    - 12.2.2 Allgemeiner Testprozess . . . . . 474
    - 12.2.3 Methodik des Testens. . . . . 476
    - 12.2.4 Entwurfsregel F.I.R.S.T. . . . . 483
    - 12.2.5 Unit Testing . . . . . 484
    - 12.2.6 Test-Driven Development . . . . . 488
  - 12.3 Strategien für Software- und Systemintegration . . . . . 492
    - 12.3.1 Grundsätzliche Test- und Integrationsstufen . . . . . 494
    - 12.3.2 Vorgehen bei der Integration . . . . . 505
  - 12.4 Kontinuierliche Integration und Auslieferung . . . . . 511
    - 12.4.1 Vorgehen in der Kontinuierlichen Softwareentwicklung. . . . . 512
    - 12.4.2 DevOps. . . . . 516
  - 12.5 Weiterführende Literatur und Übungen . . . . . 524
  - Literatur. . . . . 531
- 13 Softwareevolution . . . . . 535**
  - 13.1 Transition in die Einsatzumgebung . . . . . 535
    - 13.1.1 Auslieferung und Abnahme . . . . . 536

---

|                                                                            |                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 13.1.2                                                                     | Installation und Inbetriebnahme . . . . .                                  | 538        |
| 13.1.3                                                                     | Übergang in die Wartung . . . . .                                          | 540        |
| 13.2                                                                       | Wartung, Pflege und Weiterentwicklung von Software . . . . .               | 540        |
| 13.2.1                                                                     | Was ist Softwarewartung? . . . . .                                         | 541        |
| 13.2.2                                                                     | Aufgaben in der Wartung von Software . . . . .                             | 546        |
| 13.2.3                                                                     | Methoden, Techniken und Werkzeuge<br>in der Wartung von Software . . . . . | 551        |
| 13.3                                                                       | Weiterführende Literatur und Übungen . . . . .                             | 569        |
|                                                                            | Literatur . . . . .                                                        | 571        |
| <b>Epilog . . . . .</b>                                                    |                                                                            | <b>575</b> |
| <b>Anhang A UML Kurzreferenz . . . . .</b>                                 |                                                                            | <b>587</b> |
| <b>Anhang B Weiterführende Beispiele für die Implementierung . . . . .</b> |                                                                            | <b>605</b> |
| <b>Anhang C Projektunterlagen Code &amp; Talk . . . . .</b>                |                                                                            | <b>635</b> |
| <b>Glossar . . . . .</b>                                                   |                                                                            | <b>653</b> |
| <b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>                                      |                                                                            | <b>661</b> |