

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation .....	1
1.2	Abgrenzung des Buchs zu ISTQB-Lehrplänen .....	1
1.3	Zur Gliederung dieses Buchs .....	2
1.4	Die wichtigsten Begriffe kurz erklärt .....	3
1.4.1	Definition von Fachbegriffen .....	3
1.4.2	Zu Definitionen und TesterInnen .....	5
1.5	Ein Überblick über das Umfeld des Software-Testing .....	5
1.5.1	Ursachen von Software-Fehlern .....	6
1.5.2	Warum Programmfehler nicht entdeckt werden .....	7
1.5.3	Angebrachter Testaufwand .....	8
1.5.4	Der Tester und der Testprozess .....	9
1.5.5	Modellieren der Software-Umgebung .....	10
1.5.6	Erstellen von Testfällen .....	12
1.5.7	Ausführen und Evaluieren der Tests .....	14
1.5.8	Messen des Testfortschritts .....	15
1.5.9	Testdesign und Testdokumentation im Software-Entwicklungsprozess .....	15
1.5.10	Verschiedene Teststufen und deren Zusammenspiel .....	16
1.5.11	Andere Verifikationsmethoden als Ergänzung zum Test .....	19
1.5.12	Agile Prozessmodelle .....	21
1.5.13	Der Software-Test in agilen Vorgehensmodellen .....	22
1.5.14	Wer testet die Tester? .....	24
<b>2</b>	<b>Anforderungen und Test</b>	<b>25</b>
2.1	Die Bedeutung textueller Anforderungen .....	25
2.2	Requirements Engineering im Projekt .....	26
2.3	Arten und Quellen von Anforderungen .....	27

2.4	Warum Anforderungen dokumentiert werden sollen . . . . .	28
2.5	Die Review von Anforderungen . . . . .	29
2.5.1	Testbarkeit von Anforderungen . . . . .	30
2.5.2	Modifizierbarkeit und Erweiterbarkeit . . . . .	31
2.5.3	Relevanz von Anforderungen . . . . .	32
2.6	Der Umgang mit natürlicher Sprache . . . . .	32
2.6.1	Einfache Sprache gegen Missverständnisse . . . . .	32
2.6.2	Gelenkte Sprache . . . . .	34
2.7	Hinweise zur Dokumentenform . . . . .	35
2.8	Die Spezifikation an der Schnittstelle zum Testteam . . . . .	38
2.8.1	Konfiguration von Testdesigns . . . . .	38
2.8.2	Vollständigkeit von Spezifikationen . . . . .	39
2.9	Werkzeuge zur Review von Anforderungen . . . . .	40
2.10	Diskussion . . . . .	41
2.10.1	Verifikation beim Requirements Engineering mit Augenmaß . . . . .	41
2.10.2	Bewertung der Rolle des Requirements Engineering für den Testprozess . . . . .	42
2.11	Fragen und Übungsaufgaben . . . . .	43
<b>3</b>	<b>Review des Designs</b>	<b>45</b>
3.1	Ziele der Review des Architekturdesigns . . . . .	45
3.2	Ziele der Review des Detaildesigns . . . . .	46
3.3	Eigenschaften von gutem Software-Design . . . . .	47
3.4	Hinweise zur Architektur-Design-Review . . . . .	47
3.5	Embedded Design . . . . .	51
3.5.1	Sicherheit, Verfügbarkeit & Co . . . . .	51
3.5.2	Wartbarkeit des Geräts . . . . .	51
3.5.3	Ressourcenverbrauch . . . . .	52
3.5.4	Design von Echtzeitsystemen . . . . .	52
3.6	Diskussion . . . . .	52
3.7	Fragen und Übungsaufgaben . . . . .	53

---

<b>4</b>	<b>Automatische statische Code-Analyse</b>	<b>55</b>
4.1	Motivation zum Einsatz von Analysewerkzeugen .....	55
4.2	Techniken von Analysewerkzeugen im unteren Preissegment .....	56
4.2.1	Sprachspezifische Fallstricke .....	58
4.2.2	Kontrollflussanalyse .....	59
4.2.3	Datenflussanalyse, Initialisation Tracking .....	60
4.2.4	Datenflussanalyse, Value Tracking .....	61
4.2.5	Semantische Analyse .....	62
4.2.6	Starke Typenprüfung .....	64
4.3	Techniken von Analysewerkzeugen im oberen Preissegment .....	64
4.3.1	Größerer Komfort für den Benutzer .....	65
4.3.2	Concurrency Checks .....	66
4.3.3	Stack-Analyse und erweiterte Kontrollflussanalyse .....	66
4.3.4	Erschöpfende Analyse des Zustandsbaums .....	67
4.4	Statische Security-Analyse (SSA) .....	67
4.5	Code-Metriken .....	69
4.6	Werkzeuge für die Automatische Code-Analyse .....	71
4.7	Diskussion .....	73
4.8	Fragen und Übungsaufgaben .....	74
<b>5</b>	<b>Code-Reviews</b>	<b>75</b>
5.1	Review-Arten .....	75
5.1.1	Code-Inspektionen .....	75
5.1.2	Walkthrough .....	76
5.1.3	Peer-Review .....	77
5.2	Pair Programming .....	78
5.3	Werkzeuge zur Code-Review .....	78
5.4	Diskussion .....	81
5.5	Fragen und Übungsaufgaben .....	84

---

<b>6</b>	<b>Unit-Tests</b>	<b>85</b>
6.1	Der Unit-Test im Entwicklungsprozess	85
6.2	Zur Definition von Unit-Test und Modultest	86
6.3	Black-Box-Testfälle beim White-Box-Test	86
6.3.1	Äquivalenzklassenbildung	87
6.3.2	Grenzwertanalyse	88
6.3.3	Andere Methoden	89
6.4	Stubs und Treiber	90
6.5	Verschiedene Typen von Werkzeugen beim White-Box-Test	98
6.5.1	Unit-Test-Frameworks	98
6.5.2	Werkzeuge zur Testerstellung	99
6.5.3	Werkzeuge zur Messung der Testabdeckung	101
6.6	Testabdeckung	102
6.6.1	Statement Coverage	102
6.6.2	Branch Coverage und Decision Coverage	103
6.6.3	Decision/Condition Coverage	104
6.6.4	Modified Condition/Decision Coverage	104
6.6.5	Andere Testabdeckungen	105
6.6.6	Testabdeckung bei modellbasierter Entwicklung	105
6.6.7	Messung der Testabdeckung	105
6.7	Basis Path Testing	107
6.8	Host oder Target Testing?	109
6.9	Den Code immer unverändert testen?	110
6.10	Unit-Tests bei objektorientierten Sprachen	111
6.11	Grenzen des Unit-Tests	112
6.12	Werkzeuge für den Unit-Test	113
6.12.1	Unit-Test-Frameworks	113
6.12.2	Werkzeuge zur Testerstellung	113
6.12.3	Coverage-Analyse	116
6.13	Diskussion	116
6.13.1	Testabdeckung	116
6.13.2	Organisation von Unit-Tests	118
6.14	Fragen und Übungsaufgaben	119

---

<b>7</b>	<b>Integrationstests</b>	<b>123</b>
7.1	Software/Software-Integrationstest	123
7.1.1	Bottom-up-Unit-Tests als Integrationstest	123
7.1.2	Strukturierter Integrationstest	126
7.1.3	Testabdeckung der Aufrufe von Unterprogrammen	128
7.1.4	Vergleich der Teststrategien	130
7.1.5	Grenzen des Software/Software-Integrationstests	132
7.1.6	Diskussion des Software/Software-Integrationstests	133
7.2	Ressourcentests	135
7.2.1	Statischer Ressourcentest	135
7.2.2	Dynamischer Ressourcentest	135
7.3	Hardware/Software-Integrationstest	138
7.3.1	Bottom-up-Verfahren	139
7.3.2	Regressionsverfahren	139
7.3.3	Black-Box-Verfahren	139
7.3.4	Test und Analysen bei Sicherheitsrelevanz	140
7.3.5	Diskussion des Hardware/Software-Integrationstests	140
7.4	Systemintegrationstest	141
7.5	Werkzeuge für den Integrationstest	142
7.6	Fragen und Übungsaufgaben	142
<b>8</b>	<b>Systemtests</b>	<b>145</b>
8.1	Funktionale Systemtests	145
8.1.1	Zuordnung funktionaler Systemtests zu Anforderungen	145
8.1.2	Äquivalenzklassen und Grenzwerte im Black-Box-Test	146
8.1.3	Zustandsbasierter Test	149
8.1.4	Ursache-Wirkungs-Analyse	153
8.1.5	CECIL-Methode	162
8.1.6	Entscheidungstabellentechnik	163
8.1.7	Paarweises Testen und Klassifikationsbaum-Methode	163
8.1.8	Back To Back Testing	165
8.1.9	Erfahrungsbasierter Test	165
8.1.10	Diskussion des Black-Box-Tests	167
8.1.11	Auswahl eines Black-Box-Testverfahrens für eine Aufgabe	167
8.1.12	Werkzeuge für Funktionstests	168
8.2	Test der Benutzerschnittstelle	169
8.2.1	Grafische Benutzerschnittstelle	169
8.2.2	Werkzeuge für GUI-Tests	169
8.2.3	Eingebettete Benutzerschnittstellen	171
8.2.4	Werkzeuge für den Test von eingebetteten Benutzerschnittstellen	172

8.3	Performanztest und Lasttest	173
8.4	Stresstest	174
8.5	Volumentest	175
8.6	Failover und Recovery Testing	175
8.7	Ressourcentests	177
8.8	Installationstests	178
8.9	Konfigurationstests	179
8.10	Security-Tests	180
8.11	Dokumententests	182
8.12	Testumgebung und Testdaten	183
8.13	Formale Methoden	183
8.13.1	Symbolischer Test	184
8.13.2	Deduktive Verifikation von funktionalen Anforderungen	184
8.13.3	Model Checking	185
8.14	Automation von Systemtests	187
8.14.1	Vor- und Nachteile der Testautomation	188
8.14.2	Tipps zur Automation von Systemtests	189
8.15	Dokumentation des Testdesigns und der Testergebnisse	194
8.16	Grenzen des Systemtests	195
8.17	Fragen und Übungsaufgaben	195
<b>9</b>	<b>Testen von RTOS und Middleware</b>	<b>199</b>
9.1	Definition und Motivation	199
9.2	White-Box-Requirements-Test	200
9.3	Test eines Interrupt-Managers	201
9.4	Test eines Schedulers	202
9.5	Fragen und Übungsaufgaben	204
<b>10</b>	<b>Race Conditions</b>	<b>205</b>
10.1	Definition von Data Races	205
10.2	Dynamische Data-Race-Analyse	210
10.2.1	Eraser	210
10.2.2	Lamports Happens-Before-Relation	213

---

10.3	Statische Data-Race-Analyse .....	216
10.3.1	Ansätze zur statischen Data-Race-Analyse .....	216
10.3.2	Vergleich zur dynamischen Data-Race-Analyse .....	218
10.4	Werkzeuge für die Data-Race-Analyse .....	218
10.5	Diskussion .....	219
10.6	Fragen und Übungsaufgaben .....	221
<b>11</b>	<b>Deadlocks</b> .....	<b>223</b>
11.1	Über die Entstehung von Deadlocks .....	223
11.2	Verschiedene Arten der Deadlock-Analyse .....	224
11.3	Dynamische Deadlock-Analyse .....	225
11.4	Statische Deadlock-Analyse .....	225
11.5	Werkzeuge zur Deadlock-Detektion .....	226
11.6	Diskussion .....	227
11.7	Fragen und Übungsaufgaben .....	227
<b>12</b>	<b>Echtzeit-Verifikation</b> .....	<b>229</b>
12.1	Antwortzeiten bei funktionalen Tests .....	229
12.2	WCET-Analyse .....	230
12.2.1	Problemstellung .....	230
12.2.2	Laufzeitanalyse .....	232
12.3	Werkzeuge für die WCET-Analyse .....	235
12.4	Diskussion .....	236
12.5	Fragen und Übungsaufgaben .....	237
<b>13</b>	<b>Schedulability-Analyse</b> .....	<b>239</b>
13.1	Aufgaben der Schedulability-Analyse .....	239
13.2	Definitionen .....	240
13.3	Diskussion der Scheduling-Strategien .....	241
13.3.1	Statisches Scheduling .....	242
13.3.2	Dynamisches Scheduling .....	243

---

13.4	Analyse bei Fixed-Priority-Single-CPU-Systemen . . . . .	245
13.4.1	Optimale Prioritätsvergabe . . . . .	245
13.4.2	Rate Monotonic Analysis . . . . .	246
13.4.3	Exakte Antwortzeitenanalyse . . . . .	247
13.4.4	Gegenseitiger Ausschluss . . . . .	252
13.4.5	Aperiodische Aufgaben . . . . .	254
13.4.6	Kontextwechsel . . . . .	255
13.4.7	Cache und Out Of Order Execution . . . . .	255
13.4.8	Input-Jitter . . . . .	255
13.4.9	Interrupts . . . . .	256
13.5	Multi-CPU-Systeme . . . . .	256
13.5.1	Multicore- und Multiprozessor-Systeme . . . . .	257
13.5.2	Verteilte Systeme . . . . .	257
13.6	Scheduling-Analyse für CAN . . . . .	259
13.7	Werkzeuge . . . . .	261
13.8	Diskussion . . . . .	262
13.9	Fragen und Übungsaufgaben . . . . .	263
<b>14</b>	<b>Hardware/Software-Interaktionsanalyse</b>	<b>265</b>
14.1	Die FMEA als Grundlage der HSIA . . . . .	265
14.2	Die HSIA als Quelle für Software-Anforderungen . . . . .	269
14.3	Software-Kritikalitätsanalyse . . . . .	270
14.4	Software-FMEA . . . . .	271
14.5	Werkzeuge . . . . .	272
14.6	Diskussion . . . . .	273
14.7	Fragen und Übungsaufgaben . . . . .	273
<b>15</b>	<b>Modellbasierter Test</b>	<b>275</b>
15.1	Begriffsdefinition . . . . .	275
15.2	MBT und Testautomation . . . . .	276
15.3	Modelle . . . . .	276
15.3.1	Statecharts . . . . .	276
15.3.2	SDL . . . . .	276
15.3.3	Message Sequence Charts . . . . .	277
15.3.4	UML Version 2 . . . . .	277
15.3.5	SysML . . . . .	278
15.3.6	Funktionsmodellierung . . . . .	278



---

15.4	Testmodell vs. Implementierungsmodell .....	278
15.5	Werkzeuge .....	279
15.6	Diskussion .....	280
15.7	Fragen und Übungsaufgaben .....	280
<b>16</b>	<b>Trace-Daten im Testumfeld</b>	<b>281</b>
16.1	Das Dilemma mit instrumentiertem Code .....	281
16.2	Embedded-Trace-Schnittstellen .....	282
16.3	Werkzeuge .....	283
16.4	Diskussion .....	283
<b>17</b>	<b>Testmanagement</b>	<b>287</b>
17.1	Testplanung .....	287
17.2	Teststeuerung .....	289
17.3	Abweichungsmanagement .....	291
17.4	Bewertung und Anpassung des Testprozesses .....	293
	17.4.1 Formale Reifegradmodelle für den Software-Test .....	293
	17.4.2 Prozessbewertung in agilen Projekten .....	294
	17.4.3 Mit Augenmaß ins Kostenoptimum .....	294
17.5	Risikobasierter Test .....	297
17.6	Werkzeuge .....	300
17.7	Diskussion .....	300
17.8	Fragen und Übungsaufgaben .....	302
<b>18</b>	<b>Qualitätsmanagement</b>	<b>303</b>
18.1	Definition .....	303
18.2	Qualitätsmanagement-Standards .....	304
18.3	Kosten und Haftungsrelevanz des QM .....	307
18.4	Umsetzung des Qualitätsmanagements .....	308
18.5	Die Rolle des Qualitätsmanagers .....	309
18.6	Mit Metriken die Qualität steuern .....	310
18.7	Die Wirtschaftlichkeit von QM .....	313

18.8	Werkzeuge .....	314
18.9	Diskussion .....	314
18.10	Fragen und Übungsaufgaben .....	315
<b>19</b>	<b>Software-Test und Haftungsrisiko</b>	<b>317</b>
19.1	Ein Software-Fehler im Sinne des Gesetzes .....	317
19.2	Vertragliche Gewährleistung und Haftung .....	318
19.3	Vertragliche Beschränkung der Haftung .....	319
19.4	Produzentenhaftung bei Software .....	320
19.5	Produkthaftung .....	320
19.6	Sorgfaltspflicht des Software-Herstellers .....	321
19.7	Technische Normen mit Bezug zum Software-Test .....	324
19.7.1	DIN IEC 56/575/CD .....	324
19.7.2	IEEE Std 1012 .....	324
19.7.3	IEEE Std 829 .....	325
19.7.4	IEEE Std 1008-1987 .....	325
19.7.5	ISO/IEC 29119 .....	326
19.7.6	IEC/EN 61508 .....	330
19.7.7	ISO 26262 .....	333
19.7.8	Normenreihe 250XX .....	333
19.8	Tipps vom Rechtsanwalt und vom Techniker .....	336
19.9	Fragen und Übungsaufgaben .....	338
	<b>Nachwort</b>	<b>339</b>
	<b>Anhang</b>	
	<b>Anhang A – Lösungen zu den Übungsaufgaben</b>	<b>343</b>
	<b>Anhang B – Dokumentation des Testdesigns</b>	<b>369</b>
	<b>Anhang C – Software-Verifikationsplan</b>	<b>371</b>
	<b>Anhang D – Software-Verifikationsreport</b>	<b>375</b>
	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>377</b>
	<b>Index</b>	<b>387</b>