

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Eingebettete Systeme</b>	<b>7</b>
2.1 Definition	7
2.2 Entwicklung	9
2.2.1 Software-Entwicklung	13
2.2.2 Rechnerarchitekturen	13
2.2.3 Rechenbaustein und Hardware-Technologie	15
2.2.4 Rechenmaschine	17
2.3 Lösungsraum	18
2.3.1 Energieverbrauch	23
2.3.2 Echtzeit-Datenverarbeitung	27
2.4 Abgrenzung	30
2.4.1 Digitale Systeme	32
2.4.2 Digitale Schaltungstechnik	35
2.4.3 Digitale Signalverarbeitung	37
<b>3 Rechenmaschinen</b>	<b>43</b>
3.1 Übersicht Rechenmaschinen	43
3.2 Mikroprozessoren	46
3.2.1 Grundlegende Funktionsweise	47
3.2.2 Schnittstelle zwischen Hardware und Software	57
3.2.3 Arten	58
3.2.4 Digitale Signalprozessoren	61
3.3 FPGA	68
3.3.1 Einordnung Schaltkreise	69
3.3.2 PLD-Architekturen	71
<b>4 Grundlagen Hardware-Architekturen</b>	<b>81</b>
4.1 Einleitung	81
4.2 Energieeffizienz	82
4.2.1 Leistungsaufnahme integrierte Schaltungen	83
4.2.2 Fallstudie	84

4.3	Parallelitäts-Ebenen . . . . .	87
4.4	Systeme . . . . .	90
4.4.1	System-on-Chip . . . . .	91
4.4.2	IP-Cores . . . . .	92
<b>5</b>	<b>Eingebettete Architekturen: ARM</b>	<b>97</b>
5.1	Einleitung . . . . .	97
5.2	Überblick: Architekturen . . . . .	98
5.3	System-Entwicklung . . . . .	101
5.4	Entwicklungs-Werkzeuge . . . . .	101
5.5	Vergleich ARM-Systeme . . . . .	103
<b>6</b>	<b>Hardware-Software-Codesign</b>	<b>105</b>
6.1	Einleitung . . . . .	105
6.2	Hardware . . . . .	106
6.3	Software . . . . .	109
6.3.1	Werkzeug SDSoC . . . . .	110
6.3.2	Werkzeug SDAccel . . . . .	112
6.3.3	System-Ebene: Modellbasierte Entwicklung . . . . .	115
6.3.4	Pynq . . . . .	116
<b>7</b>	<b>Eingebettete Betriebssysteme</b>	<b>119</b>
<b>8</b>	<b>Entwicklungs-Prozesse</b>	<b>123</b>
8.1	Abgrenzung . . . . .	123
8.1.1	Projektmanagement . . . . .	124
8.1.2	Qualitätsmanagement . . . . .	125
8.1.3	Konfigurationsmanagement . . . . .	125
8.1.4	Phasen . . . . .	126
8.2	Prozess-Modelle . . . . .	131
8.2.1	Wasserfall-Modell . . . . .	132
8.2.2	V-Modell . . . . .	133
8.2.3	Evolutionäre Modelle . . . . .	135
8.2.4	Prototypen-Modell . . . . .	136
8.2.5	Komponentenbasiertes Modell . . . . .	137
8.2.6	Weitere Modelle . . . . .	138
8.2.7	Schnelle Software-Entwicklung . . . . .	141
<b>9</b>	<b>Entwurf auf Systemebene</b>	<b>143</b>
9.1	Methoden . . . . .	143
9.1.1	Abstrahierung und Strukturierung . . . . .	144
9.1.2	Parallelitäts-Ebenen . . . . .	148
9.1.3	Kreativität . . . . .	151

9.2	Modelle	152
9.2.1	Ebenen	152
9.2.2	Eigenschaften	155
9.2.3	Verhaltenbasiert	156
9.2.4	Kontrollflussbasiert	161
9.2.5	Strukturbasiert	165
9.2.6	Datenflussbasiert	166
9.2.7	Logikbasiert	168
9.2.8	Projektbasiert	181
9.3	Modellierungssprache UML	182
9.3.1	Modelle	183
9.3.2	Fallstudie „Ulmer Zuckeruhr“	187
9.3.3	Vergleich	193
<b>10</b>	<b>Implementierung</b>	<b>199</b>
10.1	Sprachen	199
10.1.1	C/C++	201
10.1.2	C-basierte Hardware-Beschreibung	204
10.1.3	VHDL	209
10.1.4	Verilog	219
10.2	Werkzeuge	222
10.2.1	Matlab/Simulink	223
10.2.2	Matlab/Simulink und Embedded Coder	224
10.2.3	Matlab/Simulink und System Generator	225
10.2.4	HDL Coder	229
<b>11</b>	<b>Test</b>	<b>231</b>
11.1	Einführung	231
11.2	Ablauf	233
11.3	Test-Fälle	240
11.3.1	Überblick	240
11.3.2	Strukturelle Tests	241
11.3.3	Funktionale Tests	243
11.4	Werkzeuge	247
11.5	Testfreundlicher Entwurf	250
<b>12</b>	<b>Zahlensysteme und Arithmetik</b>	<b>253</b>
12.1	Zahlensysteme	253
12.1.1	Natürliche und ganze Zahlen	253
12.1.2	Reelle Zahlen	257
12.2	Arithmetik	262
12.2.1	Ganze Zahlen	262
12.2.2	Reelle Zahlen	266

12.2.3 Implementierung von Standardfunktionen . . . . .	270
<b>13 Auswahlkriterien</b>	<b>273</b>
13.1 Randbedingungen . . . . .	273
13.2 Methoden zur Leistungsbewertung . . . . .	274
13.3 Maßzahlen . . . . .	274
13.3.1 Allgemeine Maßzahlen . . . . .	274
13.3.2 Spezifische Mikroprozessor-Maßzahlen . . . . .	278
13.3.3 Diskussion . . . . .	280
13.4 Benchmarks . . . . .	281
<b>14 Vergleichende Entwicklung</b>	<b>287</b>
14.1 Hardware . . . . .	287
14.1.1 Rechnerarchitektur . . . . .	288
14.1.2 Rechenmaschinen . . . . .	290
14.2 Software . . . . .	293
14.2.1 Implementierungsprozess . . . . .	293
14.2.2 Grundelemente . . . . .	304
<b>15 Fallstudien</b>	<b>319</b>
15.1 Einleitung . . . . .	319
15.2 Digitale Filter . . . . .	319
15.3 Neuronale Netze . . . . .	323
15.3.1 Entwicklung . . . . .	324
15.3.2 Übungen . . . . .	326
15.4 Übungen . . . . .	328
<b>16 Trends</b>	<b>339</b>
16.1 Digitalisierung und Industrie 4.0 . . . . .	339
16.2 Künstliche Intelligenz . . . . .	340
16.3 Edge- und Cloud-Computing . . . . .	341
16.4 Entwicklung . . . . .	342
16.4.1 Hardware . . . . .	343
16.4.2 Software . . . . .	346
<b>Erratum zu: Entwicklung Eingebetteter Systeme</b>	<b>E1</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>349</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>363</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>369</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>375</b>