

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG UND ÜBERSICHT .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>SIGNALE .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Kontinuierliche und diskrete Signale .....</b>	<b>19</b>
2.1.1	Analogsignale.....	19
2.1.2	Digitalsignale.....	20
<b>2.2</b>	<b>Analoge Welt .....</b>	<b>20</b>
2.2.1	Analogrechner .....	21
<b>2.3</b>	<b>Digitale Systeme – digitale Welt.....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>KONVERTIERUNGEN .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Digitalisierung .....</b>	<b>26</b>
3.1.1	Prinzipielle Funktion eines ADU.....	26
3.1.2	Zeitliche Quantisierung.....	27
3.1.3	Sample and Hold.....	28
3.1.4	Quantisierung der Werte.....	28
3.1.5	Dynamikumfang.....	29
<b>3.2</b>	<b>Eigenschaften von AD-Wandlern .....</b>	<b>30</b>
3.2.1	Auflösung und Genauigkeit.....	31
3.2.2	Digitaler Ausgang.....	32
3.2.3	Abtastrate .....	32
<b>3.3</b>	<b>Verfahren der Analog-Digital-Umsetzung .....</b>	<b>33</b>
3.3.1	Übersicht.....	33
3.3.2	Slope-Wandler .....	34
3.3.3	SAR – Sukzessive Approximation .....	37
3.3.4	Parallel-Umsetzer.....	38
3.3.5	Pipeline-Umsetzer.....	39
3.3.6	Delta-Sigma-Verfahren .....	40
3.3.7	Häufig eingesetzte Verfahren .....	43
<b>3.4</b>	<b>Digital-Analog-Wandlung .....</b>	<b>43</b>
3.4.1	Summe der Binärstellen.....	44
3.4.2	Wirkungsprinzip .....	44
3.4.3	R-2R-Leiternetzwerk .....	45
3.4.4	Ein-Bit-Umsetzer .....	45
<b>3.5</b>	<b>Zusammenfassende Überlegungen.....</b>	<b>46</b>

<b>4</b>	<b>ZAHLENSYSTEME, INFORMATIONSDARSTELLUNG UND CODIERUNG ....</b>	<b>47</b>
<b>4.1</b>	<b>Informationseinheiten .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>Zahlensysteme .....</b>	<b>48</b>
4.2.1	Additionssystem .....	49
4.2.2	Dezimalsystem .....	49
4.2.3	Dualzahlen.....	49
4.2.4	Oktalsystem .....	51
4.2.5	Hexadezimalsystem .....	51
4.2.6	BCD-Code .....	53
<b>4.3</b>	<b>Konvertierung von Zahlensystemen .....</b>	<b>53</b>
<b>4.4</b>	<b>Negative Dualzahlen.....</b>	<b>56</b>
4.4.1	„Signed magnitude“ .....	57
4.4.2	Komplementdarstellung.....	57
<b>4.5</b>	<b>Binäre Arithmetik – Grundrechenarten im Dualsystem.....</b>	<b>61</b>
<b>4.6</b>	<b>Gleitkommazahlen .....</b>	<b>64</b>
<b>4.7</b>	<b>Zeichendarstellung und Codierung .....</b>	<b>67</b>
4.7.1	Wichtige Begriffe.....	67
4.7.2	Codieren und Code.....	68
4.7.3	Gray-Code .....	71
<b>4.8</b>	<b>Alphanumerische Codes.....</b>	<b>73</b>
4.8.1	Internationale Telegrafenalphabete .....	73
4.8.2	ASCII-Code.....	73
4.8.3	Weitere Codes.....	76
<b>5</b>	<b>CODESICHERUNG – FEHLERERKENNUNG UND FEHLERKORREKTUR....</b>	<b>78</b>
<b>5.1</b>	<b>Fehlerursachen und Störungen .....</b>	<b>78</b>
5.1.1	Fehlerarten.....	79
5.1.2	Fehlerkorrektur .....	80
5.1.3	Redundanz .....	82
<b>5.2</b>	<b>Zeichenweise Paritätssicherung.....</b>	<b>83</b>
5.2.1	Paritätssicherung .....	84
5.2.2	Hamming-Distanz .....	87
<b>5.3</b>	<b>Weitere Verfahren der Codesicherung .....</b>	<b>89</b>
5.3.1	Wiederholtes Senden.....	89
5.3.2	Blockprüfzeichen.....	90
5.3.3	Kreuzsicherung.....	92
5.3.4	Hamming-Codes.....	93
5.3.5	Zyklische Blocksicherung – CRC.....	98
5.3.6	Vorwärtsfehlerkorrektur .....	102

---

5.3.7	Rückwärtsfehlerkorrektur.....	103
5.3.8	Reed-Solomon-Codes .....	103
<b>5.4</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>104</b>
<b>6</b>	<b>DATENKOMPRESSION UND DATENREDUKTION.....</b>	<b>106</b>
<b>6.1</b>	<b>Warum Datenkompression? .....</b>	<b>106</b>
6.1.1	Redundanzen .....	107
6.1.2	Datenreduktion in der Biologie.....	108
<b>6.2</b>	<b>Art und Inhalt der Daten .....</b>	<b>108</b>
<b>6.3</b>	<b>Datenkomprimierung.....</b>	<b>110</b>
6.3.1	Kompressionsrate .....	110
6.3.2	Datenreduktion.....	111
<b>6.4</b>	<b>Kompressionsverfahren .....</b>	<b>111</b>
<b>6.5</b>	<b>Verlustfreie Kompressionstechniken .....</b>	<b>113</b>
6.5.1	Laufängencodierung .....	113
6.5.2	Variable Length Coding.....	114
6.5.3	LZW-Algorithmus .....	115
6.5.4	Entropiecodierung .....	116
<b>6.6</b>	<b>Verlustbehaftete Kompressionstechniken.....</b>	<b>117</b>
6.6.1	Quantisierung, Trunkierung.....	117
6.6.2	Pruning.....	118
6.6.3	Farbtabelle, Colormapping .....	118
6.6.4	Vektorquantisierung .....	118
6.6.5	Transformationstechniken.....	119
<b>6.7</b>	<b>Symmetrische Kompression .....</b>	<b>120</b>
<b>6.8</b>	<b>Asymmetrische Kompression .....</b>	<b>120</b>
<b>6.9</b>	<b>Dateiformate für Bilder und Videos .....</b>	<b>120</b>
6.9.1	JPEG .....	121
6.9.2	DCT.....	121
6.9.3	JFIF .....	122
<b>6.10</b>	<b>Kompression von Videodaten .....</b>	<b>122</b>
6.10.1	MPEG-Verfahren .....	123
6.10.2	MP3 – Kompression .....	124
<b>6.11</b>	<b>ZIP und RAR .....</b>	<b>125</b>
6.11.1	Progressive Kompression.....	125
6.11.2	RAR.....	126
<b>6.12</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>126</b>

<b>7</b>	<b>KRYPTOLOGIE UND DATENSICHERHEIT .....</b>	<b>127</b>
<b>7.1</b>	<b>Datensicherheit.....</b>	<b>127</b>
<b>7.2</b>	<b>Geheimhaltung von Nachrichten .....</b>	<b>128</b>
<b>7.3</b>	<b>Cäsar-Chiffre .....</b>	<b>129</b>
<b>7.4</b>	<b>Die Enigma .....</b>	<b>131</b>
<b>7.5</b>	<b>Moderne Blockchiffren.....</b>	<b>132</b>
<b>7.6</b>	<b>Prinzipien kryptographischer Verfahren .....</b>	<b>133</b>
7.6.1	Symmetrische Verfahren .....	134
7.6.2	Asymmetrische Verfahren .....	134
<b>7.7</b>	<b>Data Encryption Standard – DES .....</b>	<b>135</b>
<b>7.8</b>	<b>Nachfolgeverfahren .....</b>	<b>136</b>
7.8.1	Triple-DES.....	136
7.8.2	Advanced Encryption Standard – AES .....	137
<b>7.9</b>	<b>Public Key Kryptographie – RSA-Algorithmus .....</b>	<b>137</b>
7.9.1	RSA-Algorithmus .....	138
7.9.2	Schlüsselerzeugung.....	139
7.9.3	Zahlenbeispiel .....	140
<b>7.10</b>	<b>Anwendungsbereiche .....</b>	<b>141</b>
<b>7.11</b>	<b>Post-Quanten-Kryptographie .....</b>	<b>142</b>
<b>8</b>	<b>KOMMUNIKATION, BUSSYSTEME UND SCHNITTSTELLEN .....</b>	<b>144</b>
<b>8.1</b>	<b>Grundlagen der Netzwerktechnik .....</b>	<b>144</b>
8.1.1	Aufbau eines Netzwerks.....	145
8.1.2	Protokolle der Netzwerktechnik .....	145
8.1.3	Schichtenmodelle.....	145
<b>8.2</b>	<b>ISO/OSI-7-Schichtenmodell .....</b>	<b>146</b>
8.2.1	Protokolle im OSI-Schichtenmodell .....	146
8.2.2	Die sieben Schichten .....	147
<b>8.3</b>	<b>Netzwerk-Topologien .....</b>	<b>150</b>
8.3.1	Topologie und Datentransfer .....	150
8.3.2	Physische Topologien.....	151
<b>8.4</b>	<b>Zugriffsmechanismen – Arbitrierung .....</b>	<b>153</b>
8.4.1	Zugriffsverfahren.....	154
8.4.2	Master/Slave-Verfahren.....	155
8.4.3	CSMA/CD-Verfahren .....	155
8.4.4	Token-Prinzip .....	157
<b>8.5</b>	<b>Übertragungsarten .....</b>	<b>158</b>
8.5.1	Datenrichtung .....	159

8.5.2	Serien- und Parallelübertragung.....	160
8.5.3	Synchrone und asynchrone Übertragung .....	162
<b>8.6</b>	<b>Bussysteme .....</b>	<b>165</b>
8.6.1	Rechner-interne Busse.....	166
8.6.2	USB – Universal Serial Bus .....	167
<b>8.7</b>	<b>Feldbusse .....</b>	<b>169</b>
8.7.1	Feldbusse in der Automatisierungs- und Prozesstechnik .....	169
8.7.2	Vorteile und Auswahlkriterien .....	170
8.7.3	Der Feldbus im ISO/OSI-Referenzmodell .....	171
8.7.4	Besonders verbreitete Feldbusse .....	172
<b>8.8</b>	<b>PROFIBUS .....</b>	<b>173</b>
8.8.1	Eigenschaften und Aufbau .....	174
8.8.2	Standard RS-485 .....	175
8.8.3	PROFIBUS-Protokoll .....	177
8.8.4	Schicht 7 beim PROFIBUS.....	180
8.8.5	PROFIBUS-Profile .....	180
<b>8.9</b>	<b>Internet-Protokollfamilie TCP/IP .....</b>	<b>181</b>
8.9.1	TCP/IP-Referenzmodell.....	182
8.9.2	Funktionen der Schichten .....	182
8.9.3	Die IP-Adresse .....	183
8.9.4	IPv4-Datenpakete .....	184
<b>9</b>	<b>BOOLESCHE ALGEBRA .....</b>	<b>186</b>
<b>9.1</b>	<b>Logische Verknüpfungen.....</b>	<b>186</b>
9.1.1	Wahrheitstabelle .....	186
9.1.2	Schaltalgebra .....	187
9.1.3	Kontaktlogik.....	188
<b>9.2</b>	<b>Binäre Grundverknüpfungen.....</b>	<b>189</b>
9.2.1	Negation .....	189
9.2.2	UND-Verknüpfung .....	189
9.2.3	ODER-Verknüpfung.....	190
9.2.4	Symbole .....	191
<b>9.3</b>	<b>Weitere Verknüpfungen .....</b>	<b>192</b>
9.3.1	NAND .....	192
9.3.2	NOR.....	194
9.3.3	Antivalenz .....	195
9.3.4	Äquivalenz.....	196
<b>9.4</b>	<b>Vorrang- und Klammerregeln .....</b>	<b>198</b>
<b>9.5</b>	<b>Gesetze der booleschen Algebra .....</b>	<b>199</b>
<b>9.6</b>	<b>De Morgansche Gesetze .....</b>	<b>201</b>

<b>9.7</b>	<b>Konsensussregeln.....</b>	<b>204</b>
<b>9.8</b>	<b>Aufstellung logischer Funktionen .....</b>	<b>205</b>
9.8.1	Disjunktive Normalform .....	206
9.8.2	Konjunktive Normalform.....	207
<b>9.9</b>	<b>Karnaugh-Veitch-Diagramme .....</b>	<b>210</b>
<b>9.10</b>	<b>Weitere Vereinfachungen.....</b>	<b>213</b>
<b>9.11</b>	<b>Ziel der Minimierungen .....</b>	<b>216</b>
<b>9.12</b>	<b>Der Simulator „Logic Friday“ .....</b>	<b>216</b>
<b>10</b>	<b>FUNKTIONSEINHEITEN DER DIGITALTECHNIK .....</b>	<b>223</b>
<b>10.1</b>	<b>Schaltsysteme.....</b>	<b>223</b>
10.1.1	Schaltnetz und Schaltwerk .....	223
10.1.2	Asynchron-Schaltwerk .....	225
10.1.3	Synchron-Schaltwerk .....	226
<b>10.2</b>	<b>Typische Schaltnetze .....</b>	<b>227</b>
10.2.1	Multiplexer, Demultiplexer .....	227
10.2.2	Codierer.....	229
<b>10.3</b>	<b>Addierwerke .....</b>	<b>231</b>
10.3.1	Halbaddierer .....	232
10.3.2	Volladdierer.....	233
10.3.3	Addierer-Kaskade .....	234
10.3.4	CLA-Addierer .....	235
<b>10.4</b>	<b>Digitale Speicher: Flipflops .....</b>	<b>237</b>
10.4.1	Erste Speicher .....	237
10.4.2	Arten von Flipflops .....	238
<b>10.5</b>	<b>Typische Schaltwerke .....</b>	<b>247</b>
10.5.1	Register .....	247
10.5.2	Zähler .....	252
<b>10.6</b>	<b>Hazards und Glitches .....</b>	<b>257</b>
<b>11</b>	<b>SIMULATION DIGITALER SCHALTUNGEN .....</b>	<b>259</b>
<b>11.1</b>	<b>Simulation .....</b>	<b>259</b>
<b>11.2</b>	<b>Das Programm <i>Logisim</i> .....</b>	<b>260</b>
<b>11.2</b>	<b>Erste Schritte .....</b>	<b>262</b>
<b>11.3</b>	<b>Weitere Möglichkeiten.....</b>	<b>265</b>
<b>11.4</b>	<b>Auswahlschaltungen.....</b>	<b>269</b>

---

<b>11.5</b>	<b>Arithmetik .....</b>	<b>270</b>
<b>11.6</b>	<b>Flipflops .....</b>	<b>272</b>
<b>11.7</b>	<b>Zähler .....</b>	<b>278</b>
<b>11.8</b>	<b>Weitere Funktionen und Anwendungen .....</b>	<b>281</b>
<b>11.9</b>	<b>RAM-/ROM-Speicher.....</b>	<b>284</b>
<b>11.10</b>	<b>Projekt.....</b>	<b>288</b>
<b>12</b>	<b>KIPPSCHALTUNGEN DER DIGITALTECHNIK.....</b>	<b>291</b>
<b>12.1</b>	<b>Astabile Kippschaltungen.....</b>	<b>291</b>
<b>12.2</b>	<b>Schmitt-Trigger .....</b>	<b>292</b>
<b>12.3</b>	<b>Der NE555 .....</b>	<b>294</b>
<b>12.4</b>	<b>Monostabile Kippschaltungen.....</b>	<b>296</b>
<b>13</b>	<b>DIGITALE SCHALTKREISFAMILIEN .....</b>	<b>300</b>
<b>13.1</b>	<b>Kurze Geschichte der Halbleitertechnik.....</b>	<b>300</b>
13.1.1	Erfindung des Transistors .....	301
13.1.2	Integrierte Schaltkreise.....	301
13.1.3	Gesetz des Gordon Moore.....	302
<b>13.2</b>	<b>Logikfamilien.....</b>	<b>304</b>
<b>13.3</b>	<b>Erste Logikfamilien.....</b>	<b>307</b>
13.3.1	RTL-Schaltkreise.....	307
13.3.2	DTL-Schaltkreise.....	308
<b>13.4</b>	<b>TTL – Transistor-Transistor-Logik.....</b>	<b>309</b>
<b>13.5</b>	<b>Integrierte Injektionslogik .....</b>	<b>312</b>
<b>13.6</b>	<b>Emittergekoppelte Logik.....</b>	<b>314</b>
<b>13.7</b>	<b>Feldeffekttransistoren .....</b>	<b>315</b>
13.7.1	MOSFET.....	316
13.7.2	Schaltkreise in PMOS- und NMOS-Technik.....	318
13.7.3	Schaltkreise in NMOS-Technik.....	320
<b>13.8</b>	<b>CMOS-Technologie.....</b>	<b>321</b>
<b>14</b>	<b>GRUNDLAGEN PROGRAMMIERBARER LOGIK.....</b>	<b>325</b>
<b>14.1</b>	<b>Einführung.....</b>	<b>325</b>
<b>14.2</b>	<b>Halbleiterspeicher – Übersicht .....</b>	<b>327</b>

<b>14.3</b>	<b>Festwertspeicher .....</b>	<b>328</b>
14.3.1	PROM .....	329
14.3.2	EPROM und EEPROM .....	330
14.3.3	Flash-Speicher .....	331
<b>14.4</b>	<b>Schreib-Lesespeicher RAM .....</b>	<b>332</b>
<b>14.5</b>	<b>Einfache programmierbare Logikbausteine .....</b>	<b>333</b>
14.5.1	Prinzip einer PLA .....	334
14.5.2	Verbindungen.....	335
<b>14.6</b>	<b>Löschbare Konfigurationen.....</b>	<b>343</b>
14.6.1	EPLD .....	343
14.6.2	EEPROM-Speicherung .....	344
14.6.3	SRAM-Speicherung.....	344
<b>14.7</b>	<b>Erweiterungen.....</b>	<b>345</b>
14.7.1	Rückkopplung.....	347
14.7.2	Registerausgänge .....	347
14.7.3	OLMCs .....	348
<b>14.8</b>	<b>Komplexe Logikbausteine – CPLDs .....</b>	<b>349</b>
14.8.1	Aufbau.....	350
14.8.2	Anwendungen .....	351
<b>14.9</b>	<b>Field Programmable Gate Array – FPGA.....</b>	<b>351</b>
14.9.1	CLB und Look up table.....	352
14.9.2	Spezifikationen.....	353
<b>15</b>	<b>BESCHREIBUNG DIGITALER SCHALTUNGEN MIT VHDL .....</b>	<b>355</b>
<b>15.1</b>	<b>VHDL-Grundlagen.....</b>	<b>355</b>
15.1.1	Abstraktionsebenen .....	355
15.1.2	Prinzipielle Funktionsweise.....	356
<b>15.2</b>	<b>Grundstruktur eines VHDL-Modells.....</b>	<b>357</b>
<b>15.3</b>	<b>Der Quellcode .....</b>	<b>359</b>
<b>15.4</b>	<b>Beispiel Verkehrszählung.....</b>	<b>362</b>
15.4.1	Entities .....	362
15.4.2	Architecture .....	364
15.4.3	Komponenten .....	365
15.4.4	Deklaration Verkehrszählung.....	365
<b>15.5</b>	<b>Anweisungen .....</b>	<b>366</b>
15.5.1	Nebenläufige Signalzuweisungen .....	367
15.5.2	Prozesse .....	372
15.5.3	Instanziierung.....	374
<b>15.6</b>	<b>Komplettierung des Beispiels .....</b>	<b>375</b>



---

<b>15.7</b>	<b>Verifikation und Hardwarerealisierung.....</b>	<b>376</b>
	<b>Schlussbetrachtung .....</b>	<b>377</b>
<b>16</b>	<b>EINFÜHRUNG IN DIE MIKROPROZESSORTECHNIK .....</b>	<b>378</b>
<b>16.1</b>	<b>Ein wenig Geschichte.....</b>	<b>378</b>
<b>16.2</b>	<b>Abgrenzung der Begriffe.....</b>	<b>380</b>
<b>16.3</b>	<b>Rechnerarchitekturen.....</b>	<b>382</b>
16.3.1	Von-Neumann-Architektur .....	382
16.3.2	Harvard-Architektur.....	384
16.3.3	RISC- und CISC-Architekturen .....	385
16.3.4	Mehrkernprozessoren .....	385
<b>16.4</b>	<b>Komponenten eines Mikroprozessors.....</b>	<b>387</b>
16.4.1	Bussystem.....	388
16.4.2	Prozessor.....	389
16.4.3	Steuerwerk.....	390
<b>16.5</b>	<b>Prinzip der Befehlsausführung .....</b>	<b>392</b>
16.5.1	Holphase .....	392
16.5.2	Ausführphase.....	393
<b>16.6</b>	<b>Speicher.....</b>	<b>393</b>
<b>16.7</b>	<b>Programmierung.....</b>	<b>395</b>
16.7.1	Programmiersprachen .....	395
16.7.2	Grundform von Befehlen .....	396
16.7.3	HEX-Schreibweise .....	398
16.7.4	Assemblersprache.....	399
16.7.5	Aufbau eines typischen Befehlssatzes .....	401
16.7.6	Adressierungsarten.....	403
<b>16.8</b>	<b>Mikrocontroller.....</b>	<b>408</b>
16.8.1	Struktur eines Mikrocontrollers der Familie 8051.....	409
16.8.2	Erweiterung mit externem Speicher.....	412
<b>17</b>	<b>GRUNDLAGEN DER AUTOMATENTHEORIE .....</b>	<b>415</b>
<b>17.1</b>	<b>Reale Automaten.....</b>	<b>415</b>
<b>17.2</b>	<b>Endliche Automaten .....</b>	<b>417</b>
<b>17.3</b>	<b>Endliche Automaten ohne Ausgabe .....</b>	<b>424</b>
<b>17.4</b>	<b>Endliche Automaten mit Ausgabe .....</b>	<b>428</b>
<b>17.5</b>	<b>Mealy und Moore.....</b>	<b>430</b>
17.5.1	Mealy-Automat.....	430
17.5.2	Moore-Automaten.....	431

---

17.5.3	Moore-Schaltwerk.....	433
17.5.4	Automat als Moore-Schaltwerk .....	434
17.5.5	Überführung in ein Mealy-Schaltwerk .....	434
<b>17.6</b>	<b>Nanocomputer als Automat.....</b>	<b>435</b>
<b>18</b>	<b>AUSBLICK – ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN.....</b>	<b>437</b>
<b>18.1</b>	<b>Foto-Lithografie .....</b>	<b>437</b>
18.1.1	Licht-Wellenlänge .....	438
18.1.2	Neue Belichtungsverfahren.....	440
<b>18.2</b>	<b>Supercomputer .....</b>	<b>441</b>
<b>18.3</b>	<b>Visionen .....</b>	<b>441</b>
18.3.1	Ein Atom pro Bit .....	443
18.3.2	Die dritte Dimension .....	445
18.3.3	Quantencomputer.....	446
18.3.4	Photonische Computer .....	447
18.3.5	Multiferroika .....	448
<b>18.4</b>	<b>Die Vergänglichkeit digitaler Daten .....</b>	<b>449</b>
	<b>SCHLUSSWORT .....</b>	<b>453</b>
	<b>STICHWORTVERZEICHNIS.....</b>	<b>454</b>