

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Mikrocontroller-Grundlagen.....</b>	<b>15</b>
1.1	Was ist ein Mikrocontroller? .....	15
1.2	Grundlegende Konzepte.....	18
1.2.1	Die Prozessorarchitektur .....	18
1.2.2	Gehäuse (Package) .....	20
1.2.3	Datenblätter, Manuals und Errata.....	23
1.2.4	Versorgungsspannung und Signalpegel .....	26
1.2.5	Speicher .....	29
1.2.6	Takt und Taktgenerierung.....	33
1.2.7	Interrupts .....	38
1.2.8	Timer (Zähler).....	40
1.2.9	Register .....	42
<b>2</b>	<b>Programmierung und Implementierung.....</b>	<b>45</b>
2.1	Allgemeines zur Programmierung.....	45
2.1.1	Eigenheiten der Mikrocontrollerprogrammierung .....	47
2.1.2	Schlüsselwörter .....	47
2.1.3	Portierbarkeit von Code.....	49
2.1.4	Codeoptimierung .....	51
2.1.5	Compilereinstellungen .....	52
2.2	Programmierung des Mikrocontrollers.....	53
2.2.1	Programmierungsumgebung.....	54
2.2.2	Programmieradapter .....	54
2.2.3	ISP .....	55
2.2.4	Fuses .....	57
2.2.5	Bootloader.....	59
2.3	Debugging .....	60
2.3.1	Printf-Debugging.....	60
2.3.2	Software-Emulator .....	61
2.3.3	JTAG und DebugWIRE .....	62
2.3.4	Hardware-Debugging .....	64
2.4	Bitoperationen .....	65
2.4.1	Bitoperatoren.....	65
2.4.2	Bits setzen, löschen und toggeln .....	68

2.4.3	Bits prüfen .....	70
2.5	Erste Schritte – ein einführendes Programm.....	72
2.5.1	Schaltungsaufbau.....	72
2.5.2	Programmcode.....	76
2.5.3	Programmierung des Controllers .....	78
2.6	Allgemeiner Programmaufbau .....	79
2.6.1	Außerhalb der Hauptroutine.....	80
2.6.2	Hauptroutine.....	83
2.7	Grundbausteine – Funktionsweise und Implementierung.....	84
2.7.1	Interrupts .....	84
2.7.2	Timer .....	93
2.7.3	Delay .....	98
2.7.4	IO-Pins (GPIOs) .....	99
2.7.5	AD-Wandler.....	100
2.7.6	DA-Wandler.....	113
2.7.7	Komparator.....	114
2.7.8	PWM .....	117
2.7.9	UART/USART .....	121
2.7.10	SPI / Microwire.....	135
2.7.11	I <sup>2</sup> C / TWI / 2-Wire.....	141
2.7.12	CAN.....	149
2.7.13	USB.....	149
2.7.14	Zustandsautomat (State Machine) .....	150
2.7.15	Watchdog .....	154
2.7.16	Brownout-Detektor.....	158
2.7.17	Low Power und Schlafzustände.....	159
2.7.18	General Purpose I/O Register und Fehlerbehandlung .....	165
<b>3</b>	<b>Digitale Ein- und Ausgänge .....</b>	<b>167</b>
3.1	Pegelwandler .....	167
3.2	Pinerweiterung mit I/O-Bausteinen .....	168
3.2.1	SPI-Schieberegister: die 74xx595-Familie .....	169
3.3	Schalten großer Lasten .....	172
3.3.1	Schalten mit MOSFETs .....	174
3.3.2	Schalten mit Bipolartransistoren.....	178
3.3.3	Ausgangstreiber.....	180
3.3.4	Relais.....	181
3.3.5	Wechselspannungen schalten .....	182
3.4	Schutzschaltungen .....	190

<b>4</b>	<b>Spannungsmessung .....</b>	<b>195</b>
4.1	Anpassung des Eingangsspannungsbereichs.....	195
4.2	AD-Wandlungsergebnis berechnen .....	197
4.3	Referenzspannung .....	198
4.3.1	Interne Referenzspannungsquelle.....	198
4.3.2	Externe Referenzspannungsquelle .....	199
4.4	Interner AD-Wandler.....	200
4.4.1	Konfiguration .....	200
4.5	Externer AD-Wandler .....	203
4.5.1	ADC mit I <sup>2</sup> C-Schnittstelle .....	204
4.5.2	ADC mit SPI-Schnittstelle .....	204
4.5.3	Parallel angeschlossene ADCs .....	206
4.6	Verifizieren der Messung.....	207
4.6.1	Referenz- und Versorgungsspannung.....	207
4.6.2	Das Histogramm .....	208
4.6.3	Für Fortgeschrittene: Zufall und Korrelation .....	209
4.7	Messen von Wechselspannungen .....	210
4.7.1	Parameter einer Wechselspannung .....	210
4.7.2	Effektivwertmessung (RMS).....	212
4.7.3	Spitzenwertmessung.....	212
<b>5</b>	<b>Spannungen ausgeben .....</b>	<b>215</b>
5.1	Interner DA-Wandler.....	216
5.2	Externer DA-Wandler .....	216
5.3	Analogspannung mit PWM generieren.....	217
5.3.1	Analogspannung mit Fast-PWM.....	218
5.3.2	Für Fortgeschrittene: Filterauslegung.....	219
5.4	Software-PWM .....	222
5.4.1	Software-PWM mit Compare Match .....	222
5.4.2	Software-PWM mit Timer Overflow.....	223
<b>6</b>	<b>Widerstandsmessung .....</b>	<b>227</b>
6.1	Spannungsteiler .....	227
6.2	Messung mit Konstantstrom .....	228
6.3	Ratiometrische Messung.....	230
<b>7</b>	<b>Strommessung .....</b>	<b>233</b>
7.1	Messung mit Shuntwiderstand.....	233
7.1.1	Current Shunt Monitor.....	234
7.2	Transimpedanzverstärker.....	235

7.3	Hallsensor.....	237
7.4	Stromwandler .....	237
7.5	Strommessung mit einem Kondensator.....	237
<b>8</b>	<b>Zeit- und Frequenzmessung .....</b>	<b>239</b>
8.1	Periodendauermessung .....	239
8.1.1	Beispiel Messung der Periodendauer mit Timer und analogem Komparator .....	240
8.2	Zählen der Nulldurchgänge .....	243
<b>9</b>	<b>Kapazitäts- und Induktivitätsmessung .....</b>	<b>247</b>
9.1	Ladekurve .....	247
9.2	Schwingkreis .....	249
9.3	RC-Oszillator .....	250
<b>10</b>	<b>Temperaturmessung .....</b>	<b>253</b>
10.1	Widerstandstemperatursensoren .....	253
10.1.1	Ptxxx (Pt100, Pt1000, ...) .....	254
10.1.2	KTY-Serie.....	256
10.1.3	PTC .....	257
10.1.4	NTC .....	257
10.2	Halbleitertemperatursensoren .....	257
10.2.1	AVR®-interner Temperatursensor .....	258
10.2.2	Externe Temperatursensoren mit Spannungs-/Stromausgang .....	260
10.3	Thermoelement.....	262
10.4	Digitale Temperatursensoren .....	264
10.4.1	Beispiel LM75-kompatibler I <sup>2</sup> C-Temperatursensor .....	265
<b>11</b>	<b>Kommunikation mit Menschen.....</b>	<b>271</b>
11.1	Eigenes »printf()« .....	271
11.2	LEDs und 7-Segment-Anzeigen.....	272
11.2.1	LEDs.....	272
11.2.2	7-Segment-Anzeige .....	273
11.2.3	RGB-LED mit PWM .....	278
11.3	Taster und Keypads.....	281
11.3.1	Matrixtastatur .....	281
<b>12</b>	<b>Daten speichern.....</b>	<b>287</b>
12.1	Internes EEPROM .....	287
12.2	Interner Flash-Speicher .....	289
12.2.1	Lookup-Tabelle im Flash .....	290

12.3	Externe Speicher .....	291
12.3.1	SPI-Flash .....	291
<b>13</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>293</b>
13.1	Elektrotechnische Grundgleichungen .....	293
13.1.1	Das Ohm'sche Gesetz .....	293
13.1.2	Serien- und Parallelschaltung R, C, L .....	294
13.1.3	Spannungsteiler .....	294
13.1.4	Grenz- und Resonanzfrequenz .....	295
13.1.5	Bandbreite eines Rechtecksignals .....	296
13.2	Darstellung von Bauteilwerten .....	298
13.3	E-Reihe .....	299
13.4	Temperaturbereiche .....	299
13.5	LED-Vorwiderstand .....	300
13.5.1	Berechnung .....	301
13.6	Dezibel (dB) .....	303
13.6.1	Signal-Rausch-Verhältnis SNR .....	304
13.7	Kalibrierung .....	305
13.7.1	Kalibrieren, Justieren und Eichen .....	305
13.7.2	Grundprinzip der Kalibrierung .....	306
13.7.3	Ein-Punkt-Kalibrierung .....	308
13.7.4	Zwei-Punkt-Kalibrierung .....	310
13.8	Linearisierung .....	311
13.8.1	Vorgehensweise .....	311
13.9	Lookup-Tabellen .....	315
13.10	Steckbrett, Loch- und Streifenrasterplatinen .....	315
13.11	Dualsystem .....	321
13.12	Zweierkomplement .....	322
	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>325</b>