

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundlagen der Mikrocontroller</b>	<b>1</b>
1.1	Mikrocontroller-Familie ATtiny2313, ATtiny26 und ATmega32	6
1.1.1	Merkmale des ATtiny2313, ATtiny26 und ATmega32	8
1.1.2	Pinbelegung des ATtiny2313, ATtiny26 und ATmega32	14
1.1.3	ALU (Arithmetik- und Logikeinheit)	16
1.2	Register im Mikrocontroller	21
1.2.1	I/O-Register im I/O-Adressraum	23
1.2.2	I/O-Ports als digitale Ein- und Ausgänge	24
1.2.3	Konfiguration der Anschlüsse	26
1.2.4	Konfiguration der Pins	26
1.2.5	Lesen der Pinzustände	28
1.2.6	Unbenutzte Pins	29
1.2.7	Alternative Port-Funktionen	29
1.2.8	SFIOR-Register	32
1.2.9	Alternative Funktionen von Port B	32
1.2.10	Alternative Funktionen von Port C	34
1.2.11	Alternative Funktionen von Port D	36
1.2.12	Beschreibung der Register der I/O-Ports	37
1.3	Statusregister	39
1.4	Programmzähler (program counter)	42
1.5	Stapel (Stack)	43
1.6	Rücksetzen (Reset)	44
1.7	Zeitgeber und Zähler (Timer und Counter)	45
1.7.1	8-Bit-Timer/Counter 0	46
1.7.2	Timer/Counter Interrupt-Mask-Register (TIMSK)	46
1.7.3	Timer/Counter Interrupt-Flag-Register (TIFR)	46
1.8	Peripherie	47
1.8.1	I/O-Ports	48
1.8.2	Synchrone serielle Schnittstelle (SPI)	53
1.8.3	Asynchrone serielle Schnittstelle (USART)	59
1.8.4	Analogkomparator	62

1.8.5	Watchdog-Timer	64
1.8.6	Interrupthandling	67
1.9	Speichereinheiten	75
1.9.1	Programmspeicher (Flash)	75
1.9.2	Datenspeicher (SRAM)	76
1.9.3	EEPROM-Speicher	78
1.9.4	I/O-Speicher	82
<b>2</b>	<b>Hard- und Software für die Entwicklungsumgebung</b>	<b>83</b>
2.1	Entwicklungsumgebung	85
2.1.1	Editor	85
2.1.2	Cross-Assembler und Linker	88
2.1.3	Emulatoren und Debug-Stationen	91
2.2	Arbeiten und Erstellung für Programme mit AVR-Studio 4	94
2.2.1	Fenster des AVR-Studio 4	97
2.2.2	Programmentwicklung	103
2.2.3	Programm erstellen (Build)	105
2.2.4	Programm testen (Debugging)	105
2.2.5	In-Circuit-Emulator (ICE) und In-System-Programmierung (ISP)	106
2.3	Simulator	111
2.3.1	Unterbrechungspunkte (Breakpoints)	112
2.3.2	Variablenwerte von Register und Prozessor ausgeben	112
2.4	Programmieren des Mikrocontrollers	113
<b>3</b>	<b>Befehle der ATMEL-AVR-Mikrocontroller-Familie</b>	<b>121</b>
3.1	Arithmetische und logische Befehle	121
3.2	Logische Befehle	124
3.3	Sprungbefehle	125
3.4	Vergleichsbefehle	133
3.5	Unbedingte Sprungbefehle	134
3.6	Unterprogrammaufrufe	134
3.7	Datentransferbefehle	135
3.8	Bitmanipulationsbefehle	137
3.9	Löschbefehle	140
3.10	Schiebepbefehle	142
3.11	Sonstige Befehle	143
3.12	Befehlsverzeichnis in alphabetischer Reihenfolge	144
3.13	Befehle in Assembler	147
3.14	Ports für die AVR-Mikrocontroller	150
3.15	Assemblerdirektiven für die AVR-Mikrocontroller	151

3.16	Befehle und Adressierung	151
3.16.1	Datentransferbefehle (Datentransportbefehle)	152
3.16.2	Arithmetische und logische Operationen (Befehle)	155
3.16.3	Bitorientierte Befehle	155
3.16.4	Sprungbefehle (jump), Verzweigungsbefehle (branch) und Unterprogrammbefehle (call)	155
3.16.5	Sonstige Befehle	156
3.16.6	Zustands- oder Statusregister SREG	156
3.16.7	Adressierungsarten	158
3.16.8	Direkte Adressierung der SF-Register (Sonderfunktions-Register)	161
3.16.9	Direkte Adressierung des Datenspeichers (SRAM)	161
3.16.10	Indirekte Adressierung	162
3.16.11	Indirekte Adressierung mit automatischem Erhöhen bzw. Verringern des Adresszeigers	163
3.16.12	Indirekte Adressierung mit konstantem Abstand	164
3.16.13	Indirekte Adressierung mit PUSH und POP	166
3.16.14	Adressierung des Programmbereichs	166
3.16.15	Direkte Adressierung von Konstanten im Programmspeicher mit „lpm“	167
4	Programmierung in Assembler	171
4.1	Programm für den Mikrocontroller	171
4.1.1	Probleme des Programmierens	172
4.1.2	Assemblerprogramm	174
4.1.3	Eigenschaften von Assemblern	175
4.1.4	Nachteile der Assemblersprache	176
4.1.5	Höhere Programmiersprachen	178
4.1.6	Vorteile von höheren Programmiersprachen	180
4.1.7	Nachteile von höheren Programmiersprachen	181
4.1.8	Höhere Sprachen für Mikroprozessoren und Mikrocontroller	183
4.2	Assembler	186
4.2.1	Eigenschaften von Assemblern	186
4.2.2	Marken (Labels)	187
4.2.3	Assembler-Mnemoniks	189
4.2.4	Pseudooperationen	190
4.2.5	Pseudooperation EQUATE (oder DEFINE)	192
4.2.6	Pseudooperation ORIGIN	193
4.2.7	Reserve-Pseudooperation	194
4.2.8	Adressen und Operandenfeld	196
4.2.9	Bedingte Assemblierung	198

4.2.10	Makros	199
4.2.11	Kommentare	200
4.2.12	Typen von Assemblern	201
4.2.13	Fehler	202
4.2.14	Lader	203
<b>5</b>	<b>8-Bit-Mikrocontroller ATtiny2313 für digitale Anwendungen</b>	<b>205</b>
5.1	Merkmale des Mikrocontrollers ATtiny2313	205
5.1.1	Anschlüsse des Mikrocontrollers ATtiny2313	206
5.1.2	Interner Aufbau des Mikrocontrollers ATtiny2313	209
5.1.3	Programmierkopf des Mikrocontrollers ATtiny2313	210
5.1.4	Ein- und Ausgänge des ATtiny2313	215
5.1.5	Programmierung des ATtiny2313	219
5.1.6	Registerüberprüfung	222
5.2	ATtiny2313 mit Speicherverhalten	224
5.3	ATtiny2313 als Rechteckgenerator	227
5.4	Steuerbarer Blinker	243
5.5	Einschaltverzögerung	245
5.6	Ein- und Ausschaltverzögerung	249
5.7	Logische Verknüpfung zwischen zwei Tasten	250
5.8	RS-Flipflop	252
5.9	Steuerbarer Blinker	253
5.10	PWM-Helligkeitssteuerung einer Leuchtdiode	254
5.11	Steuerung einer Fußgängerampel	264
5.12	Ampelsteuerung für Nebenstraße	268
5.13	Hexadezimaler Zähler mit 7-Segment-Anzeige	271
5.14	Elektronischer Würfel mit 7-Segment-Anzeige	275
5.15	Garagenzähler mit neun Stellplätzen	276
5.16	Lottomat mit 2-stelliger 7-Segment-Anzeige	278
<b>6</b>	<b>Hard- und Software für den ATtiny26</b>	<b>283</b>
6.1	Interner AD-Wandler	286
6.1.1	Sukzessive Approximation	286
6.1.2	Starten einer Umsetzung	291
6.1.3	Wechsel der Kanäle und Referenzspannung	294
6.1.4	Störungsunterdrückung	297
6.1.5	Schaltung der Analogeingänge	298
6.1.6	Definitionen der ADC-Genauigkeit	300
6.1.7	Register für den AD-Wandler	302
6.2	Bau und Programmierung eines digitalen TTL-Messkopfes	306
6.3	Programmierung eines digitalen Thermometers von 0 °C bis 99 °C	313

6.4	Programmierung eines dreistelligen Voltmeters von 0 V bis 2,55 V . . . .	322
6.5	Differenzmessung von Spannungen im 10-mV-Bereich . . . . .	325
6.6	Messungen und Anzeigen von zwei Spannungen . . . . .	329
<b>7</b>	<b>Hard- und Software für den ATmega32 . . . . .</b>	<b>333</b>
7.1	Interner Aufbau . . . . .	334
7.1.1	Ein- und Ausschaltverzögerung . . . . .	337
7.1.2	Stackpointer im Mikrocontroller . . . . .	342
7.2	Ansteuerung der LCD-Anzeige . . . . .	347
7.2.1	Ansteuerung der LCD-Anzeige im 4-Bit-Format . . . . .	356
7.2.2	Zweistellige Darstellung der LCD-Anzeige . . . . .	362
7.3	8-Bit-DA-Wandler MAX505 mit vier Ausgängen . . . . .	364
7.3.1	Analoge Signalverarbeitung . . . . .	364
7.3.2	Bewertungsnetzwerk . . . . .	367
7.3.3	Eigenschaften des MAX505 . . . . .	369
7.3.4	MAX505 am ATmega32 . . . . .	370
7.3.5	Sinusgenerator mit dem MAX505 . . . . .	379
7.4	Hard- und Software für ein Platinsystem mit dem Mikrocontroller ATmega32 . . . . .	383
7.4.1	Mikrocontroller ATmega32 . . . . .	385
7.4.2	Abfrage der Tastatur . . . . .	388
7.4.3	Ansteuerung der Leuchtdioden . . . . .	390
7.4.4	Lauflicht . . . . .	394
7.4.5	Ansteuerung der Tastatur . . . . .	396
7.5	Programmierbarer Schnittstellenbaustein 8255 . . . . .	402
7.5.1	Betriebsarten des 8255 . . . . .	405
7.5.2	Ausgabebetrieb des 8255 . . . . .	408
7.5.3	Eingabebetrieb des 8255 . . . . .	413
7.5.4	Ein-Ausgabebetrieb des 8255 . . . . .	416
7.5.5	Elektronischer Würfel . . . . .	418
7.5.6	TTL-Logiktester . . . . .	420
7.5.7	Vier-Kanal-Logiktester . . . . .	424
7.5.8	Einstufiger Vor-/Rückwärtszähler . . . . .	425
7.5.9	Zweistufiger Vor-/Rückwärtszähler . . . . .	430
7.5.10	Zweistelliges Betriebsvoltmeter . . . . .	432
7.5.11	Ansteuerung einer zehnstelligen Baranzeige . . . . .	434
7.6	ATmega32 mit der LCD-Anzeige . . . . .	440
7.6.1	Voltmeter mit vier Messkanälen . . . . .	444
7.6.2	Anzeige eines kombinierten Volt- und Amperemeters . . . . .	450
7.6.3	Sägezahngenerator . . . . .	458
7.6.4	Programm zur Berechnung einer Sinusfunktion . . . . .	460

---

7.7	Mikrocontroller ATmega32 mit Quarz	467
7.7.1	ATmega32 mit Quarzoszillator	469
7.7.2	ATmega32 mit externem RC-Oszillator	471
7.7.3	ATmega32 mit internem RC-Oszillator	472
7.7.4	ATmega32 mit externem Taktgenerator	473
<b>Sachverzeichnis</b>		<b>477</b>