

# Inhaltsverzeichnis

**Vorwort zur 6. Auflage 2019 — V**

**Vorwort zur 5. Auflage 2010 (leicht gekürzt) — VII**

|          |                                                  |
|----------|--------------------------------------------------|
| <b>1</b> | <b>Einführung — 1</b>                            |
| 1.1      | Grundlagen — 2                                   |
| 1.1.1    | Rechnerstrukturen — 2                            |
| 1.1.2    | Zahlendarstellungen — 4                          |
| 1.1.3    | Rechenwerk und Registersatz — 13                 |
| 1.1.4    | Steuerwerk und Programmstrukturen — 19           |
| 1.2      | Die Bausteine der Atmel-AVR-Familien — 25        |
| 1.2.1    | Bauformen und Anschlüsse — 26                    |
| 1.2.2    | Der Programmspeicher (Flash) — 29                |
| 1.2.3    | Der Arbeitsspeicher (SRAM) — 30                  |
| 1.2.4    | Der nichtflüchtige Speicher (EEPROM) — 32        |
| 1.2.5    | Der Peripheriebereich — 33                       |
| 1.2.6    | Systemsteuerung und Konfigurationsparameter — 34 |
| 1.3      | Die Entwicklung von Anwendungen — 37             |
| <b>2</b> | <b>Assemblerprogrammierung — 40</b>              |
| 2.1      | Testschaltung und einführendes Beispiel — 40     |
| 2.2      | Assembleranweisungen — 43                        |
| 2.3      | Operationen — 49                                 |
| 2.3.1    | Byteoperationen — 51                             |
| 2.3.2    | Bitoperationen — 56                              |
| 2.3.3    | 16-Bit Wortoperationen — 61                      |
| 2.3.4    | Operationen mit SF-Registern — 67                |
| 2.3.5    | Multiplikation und Division — 69                 |
| 2.4      | Sprung- und Verzweigungsbefehle — 80             |
| 2.4.1    | Unbedingte Sprungbefehle — 80                    |
| 2.4.2    | Bedingte Sprungbefehle — 81                      |
| 2.4.3    | Schleifen — 85                                   |
| 2.4.4    | Verzweigungen — 89                               |
| 2.5      | Die Adressierung der Speicherbereiche — 92       |
| 2.5.1    | Die Adressierung der Konstanten im Flash — 93    |
| 2.5.2    | Die Adressierung der Variablen im SRAM — 98      |
| 2.5.3    | Die Adressierung der Daten im EEPROM — 109       |
| 2.6      | Makroanweisungen und Unterprogramme — 114        |
| 2.6.1    | Makroanweisungen — 114                           |

- 2.6.2 Unterprogramme — **116**
- 2.6.3 Makro- und Unterprogramm-bibliotheken — **122**
- 2.7 Interrupts — **122**
- 2.7.1 Die Interruptsteuerung — **123**
- 2.7.2 Die externen Interrupts — **127**
- 2.7.3 Der Software-Interrupt — **130**
- 2.7.4 Interrupt durch Potentialänderung und T/C-Eingangsflanke — **132**
- 2.8 Die Eingabe und Ausgabe von Zahlen — **133**
- 2.8.1 USART-Zeichen- und Stringfunktionen — **134**
- 2.8.2 Die Eingabe und Ausgabe von ganzen Zahlen — **139**
- 2.8.3 Vorzeichenbehaftete ganzzahlige 16-Bit Arithmetik — **149**
- 2.8.4 BCD-Arithmetik — **156**
- 2.8.5 Festpunktarithmetik — **163**
- 2.8.6 Ganzzahlige Funktionen — **171**

### **3 C-Programmierung — 177**

- 3.1 Testschaltung und einführendes Beispiel — **179**
- 3.2 Grundlagen — **180**
- 3.3 Programmstrukturen — **188**
- 3.3.1 Schleifenanweisungen — **189**
- 3.3.2 Verzweigungen mit bedingten Anweisungen — **193**
- 3.3.3 Funktionen — **195**
- 3.3.4 Anwendungsbeispiele — **198**
- 3.4 Speicherbereiche — **206**
- 3.4.1 Felder im SRAM-Bereich — **206**
- 3.4.2 Konstanten im Flash-Programmspeicher — **213**
- 3.4.3 Daten im EEPROM-Bereich — **215**
- 3.5 Die Ein/Ausgabe von Zeichen und Zahlen — **217**
- 3.5.1 USART-Zeichen- und Stringfunktionen — **217**
- 3.5.2 System-Funktionen für die Ein/Ausgabe von Zahlen — **222**
- 3.5.3 System-Umwandlungsfunktionen für Zahlen — **228**
- 3.5.4 Benutzerdefinierte Funktionen für Zahlen — **230**
- 3.6 Die Interruptsteuerung — **236**
- 3.6.1 Die externen Interrupts — **238**
- 3.6.2 Der Software-Interrupt — **239**
- 3.6.3 Interrupt durch Potentialänderung und Timereingang — **240**

### **4 Die Peripherie — 242**

- 4.1 Die Peripherieports (I/O-Ports) — **246**
- 4.2 Die Timer/Counter (T/C) — **255**
- 4.2.1 Der 8-Bit Timer0 — **257**
- 4.2.2 Der 16-Bit Timer1 — **268**

- 4.2.3 Die erweiterten Timer-Betriebsarten — 290
- 4.2.4 Der 8-Bit Timer2 — 300
- 4.2.5 Der Watchdog Timer und Stromsparbetrieb — 305
- 4.3 Die serielle USART-Schnittstelle — 314
- 4.3.1 Serielle Datenübertragung — 314
- 4.3.2 Der Asynchronbetrieb der USART-Schnittstelle — 317
- 4.3.3 Die USART-Interruptsteuerung — 329
- 4.3.4 Der Synchronbetrieb der USART-Schnittstelle — 331
- 4.3.5 Software-Emulation der asynchronen Schnittstelle — 333
- 4.3.6 Übertragungsverfahren — 339
- 4.4 Die serielle SPI-Schnittstelle — 346
- 4.5 Die serielle TWI-Schnittstelle (I<sup>2</sup>C) — 359
- 4.6 Die serielle USI-Schnittstelle — 368
- 4.7 Analoge Schnittstellen — 371
- 4.7.1 Der Analog/Digitalwandler — 372
- 4.7.2 Der Analogkomparator — 379
  
- 5 **Der Boot-Programmspeicher — 384**
- 5.1 Boot-Bereich und SPM-Befehl — 384
- 5.2 Ein einfaches Boot-Ladeprogramm — 390
  
- 6 **Schaltungstechnik — 404**
- 6.1 Die Beispielschaltungen — 404
- 6.2 Anzeigeeinheiten — 405
- 6.3 Eingabeeinheiten — 444
- 6.4 Analoge Schnittstellen — 459
- 6.5 Sensoren — 462
- 6.5.1 Messungen mit dem Analog/Digitalwandler — 462
- 6.5.2 Temperatursensoren — 468
- 6.5.3 Lichtsensoren — 473
- 6.6 Aktoren — 477
  
- 7 **Projekte — 491**
- 7.1 Die Bausteine der Projekte — 491
- 7.1.1 Der ATtiny12 — 492
- 7.1.2 Der ATtiny2313(A) — 496
- 7.1.3 Der ATmega16(A) — 502
- 7.1.4 Der ATmega8515 mit externem RAM — 505
- 7.2 Ein Würfel mit dem ATtiny12 — 514
- 7.3 Zufallszahlen — 517
- 7.4 Eine Stoppuhr mit dem ATtiny2313(A) — 524
- 7.5 Ein Hexadezimaldecoder mit dem ATmega88 — 530

## **XII — Inhaltsverzeichnis**

- 7.6 LCD-Anzeige mit einem ATmega16(A) — **535**
- 7.7 Funkuhr mit einem ATmega16(A) — **542**
  
- 8 Atmel Studio7 — 551**
  - 8.1 Atmel Studio7 installieren — **551**
  - 8.2 Ein Assembler-Projekt anlegen — **552**
  - 8.3 Das Programm testen — **555**
  - 8.4 Das Programm mit dem Xplained Board testen — **558**
  
- 9 ARDUINO Boards und Atmel Studio7 — 561**
  - 9.1 ARDUINO aus Studio7 über Bootloader programmieren — **562**
  - 9.2 ARDUINO aus Studio7 über SPI programmieren — **564**
  - 9.2.1 ARDUINO Bootloader retten — **565**
  - 9.3 ARDUINO aus Studio7 heraus debuggen — **569**
  
- 10 AVR Familien und Versionen — 570**
  - 10.1 AVR Classic — **570**
  - 10.2 ATmega — **570**
  - 10.3 ATtiny — **570**
  - 10.4 picoPower® AVR — **571**
  - 10.5 ATxmega — **572**
  - 10.6 A-Typen und 35k4 Prozess — **575**
  - 10.7 B-Typen und 130-nm Prozess — **577**
  
- 11 Anhang — 579**
  - 11.1 Literatur — **579**
  - 11.2 Zeitschriften mit Beiträgen zu Mikrocontrollern — **584**
  - 11.3 Bezugsquellen und Internetadressen — **584**
  - 11.4 Assembleranweisungen — **585**
  - 11.5 Assemblerbefehle — **586**
  - 11.6 Rangfolge der C-Operatoren (Auswahl) — **591**
  - 11.7 C-Schlüsselwörter und -Anweisungen (Auswahl) — **592**
  - 11.8 ASCII-Codetabellen (Schrift Courier New) — **593**
  - 11.9 Elemente für Ablaufpläne und Struktogramme — **596**
  - 11.10 Programmbeispiele und SF-Register — **597**
  - 11.11 Checkliste zur Energie-Einsparung — **608**
  
- Register — 610**