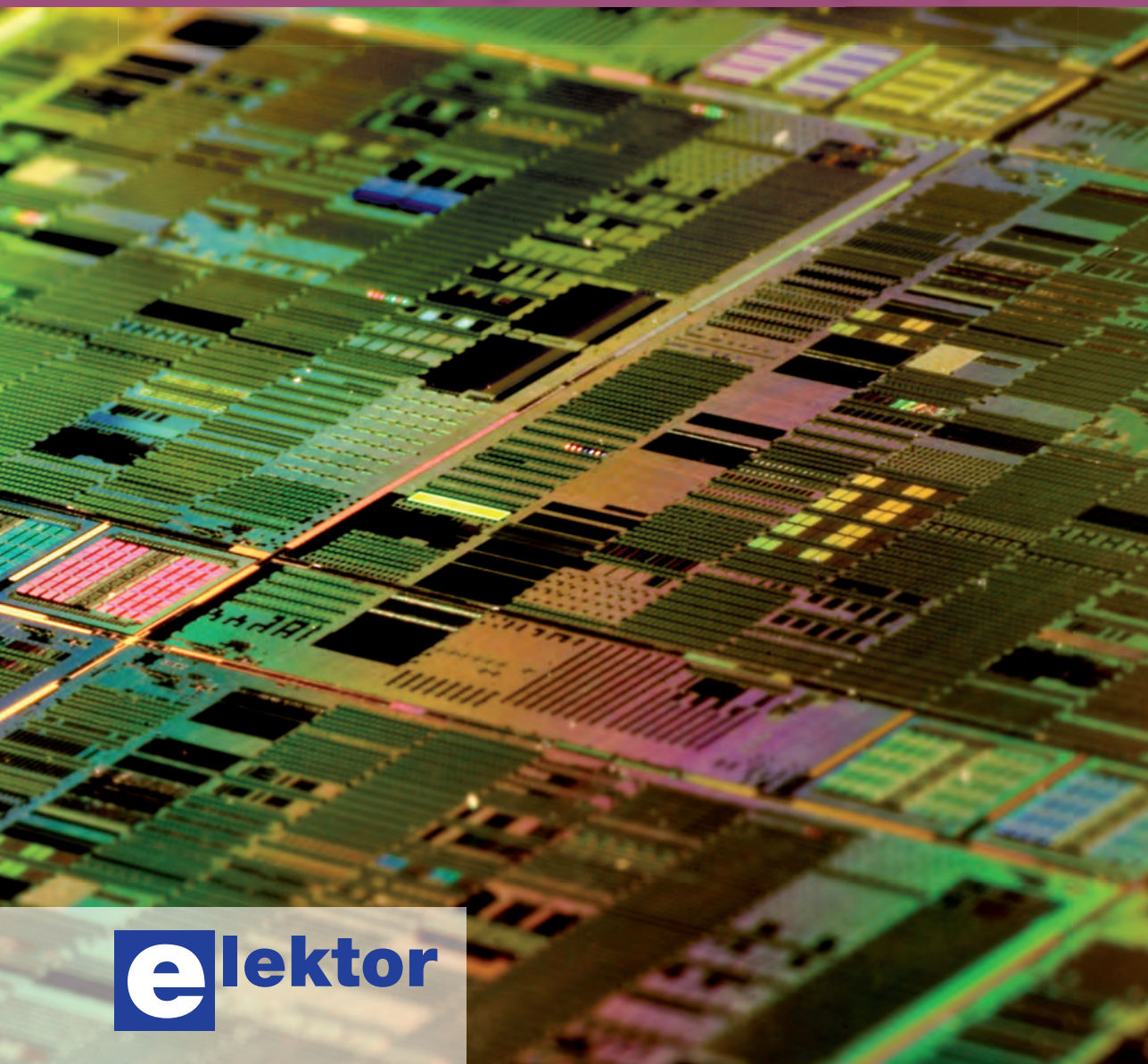


Florian Schäffer

# AVR

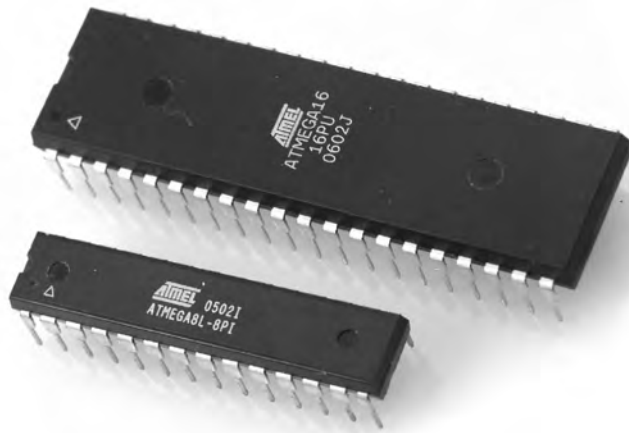
hardware en C-programmering in de praktijk



# AVR

## hardware en C-programmering in de praktijk

---



---

Florian Schäffer

Florian Schäffer: AVR – hardware en C-programmering in de praktijk  
1<sup>e</sup> druk: oktober 2008

© 2008 Elektor International Media BV  
website: [www.elektor.nl](http://www.elektor.nl)

ISBN: 978-90-5381-233-4 **NUR 980**

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Alle rechten voorbehouden.

Ondanks alle aan de samenstelling van dit boek bestede zorg kunnen noch de auteur, noch de redactie, noch de uitgever aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele schade die zou kunnen voortvloeien uit enige fout die in deze uitgave zou kunnen voorkomen.

Voor zover het maken van reprografische verveelvoudigingen uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16h Auteurswet 1912 j<sup>o</sup> het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Pro (Postbus 725, 1180 AS Amstelveen). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 1 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

No part of this book may be reproduced, stored in a database or retrieval system, or published in any form or any way, electronically, mechanically, by print, photoprint, microfilm or any other means without prior permission from the Publisher.  
All rights reserved.

Vertaling: E.A.J. Bogers  
Omslagontwerp: Etcetera, Aken  
Grafische vormgeving & productie: Technisch Vertaalbureau Bogers, Schoonoord  
Druk: Wilco, Amersfoort

079033/NL

# Inhoud

|          |                                                 |           |
|----------|-------------------------------------------------|-----------|
|          | Voorwoord                                       | 11        |
| <b>1</b> | <b>Inleiding tot de microcontrollertechniek</b> | <b>13</b> |
| 1.1      | Toepassingsgebieden van microcontrollers        | 14        |
| 1.2      | Wat is een microcontroller?                     | 16        |
| 1.2.1    | Microcontroller-geheugen                        | 18        |
| 1.2.2    | De RISC-architectuur                            | 19        |
| 1.3      | De juiste controller op de juiste plaats        | 20        |
| 1.3.1    | Omvang van de instructieset                     | 21        |
| 1.3.2    | Snelheid                                        | 22        |
| 1.3.3    | Functionaliteit van de geïntegreerde hardware   | 23        |
| 1.3.4    | Prijs en verkrijgbaarheid                       | 24        |
| 1.3.5    | De behuizing                                    | 25        |
| 1.3.6    | Grootte van het geheugen                        | 26        |
| 1.3.7    | Kwaliteit van de documentatie                   | 27        |
| 1.3.8    | Acceptatie door andere gebruikers               | 28        |
| 1.3.9    | Beschikbaarheid van ontwikkeltools              | 29        |
| 1.4      | Kies de juiste Atmel AVR                        | 30        |
| <b>2</b> | <b>De ontwikkelomgeving</b>                     | <b>33</b> |
| 2.1      | De voeding                                      | 34        |
| 2.1.1    | Standaardvoeding                                | 35        |
| 2.1.2    | Automobiele voeding                             | 37        |
| 2.1.3    | Brownout-detectie                               | 39        |
| 2.2      | De programmmeeradapter                          | 40        |
| 2.2.1    | ISP-aansluiting                                 | 42        |

|          |                                                     |            |
|----------|-----------------------------------------------------|------------|
| 2.2.2    | Een very-low-cost programmeeradapter                | 44         |
| 2.2.3    | STK200-compatibele programmeeradapter               | 45         |
| 2.2.4    | Seriële programmeeradapter                          | 46         |
| 2.3      | De C-compiler WinAVR                                | 46         |
| 2.3.1    | Installatie van WinAVR                              | 47         |
| 2.3.2    | De editor Programmers Notepad                       | 49         |
| 2.4      | De programmeersoftware                              | 51         |
| 2.4.1    | PonyProg                                            | 51         |
| 2.4.2    | yaap                                                | 52         |
| 2.4.3    | avrdude                                             | 54         |
| 2.4.4    | AVR8 Burn-O-Mat                                     | 54         |
| 2.5      | Branden en debuggen via JTAG                        | 55         |
| 2.5.1    | De JTAG-interface                                   | 56         |
| 2.5.2    | AVR Studio                                          | 59         |
| 2.5.3    | Programmering van de JTAG-interface                 | 59         |
| 2.5.4    | JTAG-testproject                                    | 62         |
| <b>3</b> | <b>Eerste experimenten met de <math>\mu</math>C</b> | <b>69</b>  |
| 3.1      | Minimalistische $\mu$ C                             | 69         |
| 3.1.1    | Uitweiding: buffercondensator                       | 71         |
| 3.1.2    | Uitweiding: klokgenerator                           | 73         |
| 3.2      | Compilatie van uw eerste programma                  | 76         |
| 3.2.1    | Uitweiding: compiler en MAKEFILE                    | 79         |
| 3.3      | Programmeren van de microcontroller                 | 83         |
| 3.3.1    | yaap                                                | 83         |
| 3.3.2    | AVR8 Burn-O-Mat                                     | 85         |
| 3.3.3    | Aanroep van avrdude vanuit de editor                | 86         |
| 3.4      | Configuratie: Fuse Bits en Security Bits            | 88         |
| 3.4.1    | De belangrijkste Fuse Bits                          | 88         |
| 3.4.2    | Het Fuse Bit-rampenlan                              | 96         |
| 3.4.3    | Uw software beveiligen met Lock Bits                | 97         |
| <b>4</b> | <b>Het Mini-Mega-board</b>                          | <b>103</b> |
| 4.1      | Opbouw van het Mini-Mega-board                      | 104        |
| 4.1.1    | Eenvoudig en veelzijdig                             | 104        |
| 4.1.2    | Alles aan boord                                     | 105        |

|          |                                                     |            |
|----------|-----------------------------------------------------|------------|
| 4.2      | In System Programming                               | 107        |
| 4.2.1    | Standaard Fuse Bits                                 | 109        |
| 4.2.2    | Verbetering van de leesbaarheid van de code         | 110        |
| <b>5</b> | <b>De beginselen van in- en uitvoer</b>             | <b>113</b> |
| 5.1      | Standaardbibliotheken en het aansturen van LED's    | 114        |
| 5.1.1    | LED's op de microcontroller aansluiten              | 115        |
| 5.1.2    | Register-constanten uit de I/O-standaardbibliotheek | 116        |
| 5.1.3    | Nogmaals de AVR Libc                                | 118        |
| 5.1.4    | De uitvoering van het programma vertragen           | 118        |
| 5.1.5    | Heeltallige datatypen (integers)                    | 121        |
| 5.1.6    | Bitmanipulatie en data-uitvoer                      | 122        |
| 5.2      | Zeven-segment- en alfanumerieke displays            | 129        |
| 5.2.1    | Gemeenschappelijke anode of kathode                 | 130        |
| 5.2.2    | Aansturing van zeven-segment-displays               | 131        |
| 5.2.3    | Alfanumerieke LED-displays                          | 133        |
| 5.3      | Aansturen van zwaardere belastingen                 | 138        |
| 5.3.1    | Transistoren voor kleine belastingen                | 138        |
| 5.3.2    | Power-MOSFET's voor zwaardere belastingen           | 139        |
| 5.3.3    | Oud maar niet verouderd: relais                     | 140        |
| 5.3.4    | Galvanische scheiding met optocouplers              | 142        |
| 5.4      | Signaalingangen                                     | 144        |
| 5.4.1    | Pullup of pulldown                                  | 144        |
| 5.4.2    | Ingangsniveaus inlezen                              | 145        |
| 5.4.3    | Problemen met contactdender                         | 148        |
| 5.5      | Multiplexen spaart aansluitingen                    | 149        |
| 5.5.1    | Multiplexen van zeven-segment-displays              | 150        |
| 5.5.2    | Opsplitsen van getallen                             | 153        |
| 5.5.3    | Multiplexen met een timer                           | 154        |
| 5.5.4    | Uitweiding: schuifregister                          | 157        |
| 5.5.5    | 5x7-matrix met schuifregister                       | 158        |
| 5.5.6    | Tekst op het matrix-display                         | 162        |

|          |                                              |            |
|----------|----------------------------------------------|------------|
| <b>6</b> | <b>Vloeibaar-kristaldisplays</b>             | <b>165</b> |
| 6.1      | HD44780-compatibel                           | 165        |
| 6.1.1    | Aansluiting van LCD's                        | 166        |
| 6.1.2    | Geheugenindeling                             | 167        |
| 6.1.3    | De HD44780-instructieset                     | 168        |
| 6.2      | Gebruik van het LC-display                   | 169        |
| 6.2.1    | Initialisering van de 4-bit-modus            | 169        |
| 6.2.2    | Displayconfiguratie                          | 172        |
| 6.2.3    | Uitvoer van tekens                           | 173        |
| 6.2.4    | Uitvoer van getallen                         | 174        |
| 6.3      | Definiëren van eigen tekens                  | 178        |
| 6.3.1    | Tekendefinitie                               | 178        |
| 6.3.2    | Extra grote cijfers                          | 179        |
| <b>7</b> | <b>Seriële data-overdracht</b>               | <b>181</b> |
| 7.1      | RS232-interface                              | 181        |
| 7.2      | Configuratieregister van de USART            | 183        |
| 7.2.1    | Software-UART                                | 185        |
| 7.3      | Data zenden en ontvangen                     | 186        |
| 7.3.1    | Handshaking ter voorkoming van misverstanden | 187        |
| <b>8</b> | <b>Analoge in- en uitvoer</b>                | <b>189</b> |
| 8.1      | Resolutie en ingangsschakeling van de ADC    | 189        |
| 8.1.1    | Spanningsdeler                               | 190        |
| 8.1.2    | Berekening van de ingangsspanning            | 191        |
| 8.1.3    | Referentiespanning                           | 191        |
| 8.2      | A/D-omzetting in de praktijk                 | 192        |
| 8.2.1    | Configuratie van de ADC                      | 192        |
| 8.2.2    | Enkele praktische tips                       | 193        |
| 8.3      | Temperatuurmeting                            | 194        |
| 8.4      | Toevalsgenerator                             | 196        |
| 8.5      | Digitaal-analoog-omzetter                    | 197        |
| 8.5.1    | Digitale functiegenerator                    | 200        |

|           |                                                |            |
|-----------|------------------------------------------------|------------|
| <b>9</b>  | <b>Programmasturing met interrupts</b>         | <b>205</b> |
| 9.1       | Waar komen de interrupts vandaan?              | 206        |
| 9.1.1     | Interruptafhandeling                           | 207        |
| 9.1.2     | Interrupts activeren                           | 209        |
| 9.2       | Externe IRQ's verwerken                        | 210        |
| 9.2.1     | Uitweiding: volatile                           | 212        |
| 9.2.2     | Atomaire datatoegang                           | 214        |
| 9.3       | Een waakhond tegen programmeerfouten           | 216        |
| 9.3.1     | De waakhond gebruiken                          | 217        |
| <b>10</b> | <b>Timers en counters</b>                      | <b>221</b> |
| 10.1      | De werking van een timer                       | 222        |
| 10.1.1    | Bitbreedte en interrupt van de timer           | 222        |
| 10.1.2    | Kloksignaal en prescaler                       | 223        |
| 10.2      | De timers van de ATmega16                      | 224        |
| 10.2.1    | Overflow met 8-bit-timer 0                     | 224        |
| 10.2.2    | Timer 0 met preset                             | 226        |
| 10.2.3    | Timer 0 met vergelijkswaarde                   | 227        |
| 10.2.4    | De CTC-modus van timer 0                       | 229        |
| 10.2.5    | Timer 0 als signaalgenerator                   | 230        |
| 10.2.6    | Externe impulsen tellen met timer 0            | 231        |
| 10.2.7    | Even voorstellen: 8-bit timer 2                | 233        |
| 10.2.8    | Een stopwatch met 16-bit timer 1               | 235        |
| 10.3      | Pulsbreedtemodulatie                           | 239        |
| 10.3.1    | Softwarematige PWM                             | 240        |
| 10.3.2    | Fast PWM met timer 0                           | 242        |
| 10.3.3    | Timer 1: Fast PWM met willekeurige frequentie  | 244        |
| <b>11</b> | <b>Geheugenoperaties</b>                       | <b>247</b> |
| 11.1      | Toegang tot het programmeergeheugen (flash)    | 247        |
| 11.1.1    | String-arrays in het flash-geheugen opslaan    | 249        |
| 11.2      | Toegang tot het EEPROM                         | 251        |
| 11.2.1    | EEPROM-imagebestand                            | 254        |
| 11.2.2    | Geheugenoperaties met drijvende-komma-getallen | 255        |

|           |                                                       |            |
|-----------|-------------------------------------------------------|------------|
| <b>12</b> | <b>De seriële databus I<sup>2</sup>C (TWI) en SPI</b> | <b>259</b> |
| 12.1      | Two-Wire Interface I <sup>2</sup> C                   | 259        |
| 12.1.1    | De werking van de I <sup>2</sup> C-bus                | 260        |
| 12.1.2    | Adressering van de slaves                             | 261        |
| 12.1.3    | Het I <sup>2</sup> C-busprotocol                      | 261        |
| 12.2      | Aansturing van een EEPROM via TWI                     | 262        |
| 12.2.1    | Het standaard geheugen-IC 24Cxx                       | 263        |
| 12.2.2    | TWI en het Mini-Mega-board                            | 267        |
| 12.3      | De Serial Peripheral Interface (SPI)                  | 274        |
| 12.3.1    | SPI tussen een ATmega16 en een ATmega8                | 275        |
| <b>13</b> | <b>Voorbeeldprojecten</b>                             | <b>281</b> |
| 13.1      | Radioklok met DCF77-ontvanger                         | 281        |
| 13.1.1    | De opbouw van het tijdsignaal                         | 282        |
| 13.1.2    | De vorm van het tijdsignaal                           | 284        |
| 13.1.3    | De ontvangermodule                                    | 284        |
| 13.1.4    | Voorbeeldapplicatie                                   | 285        |
| 13.2      | Global Positioning System                             | 286        |
| 13.2.1    | GPS-ontvangers                                        | 286        |
| 13.2.2    | Aansluiten van de GPS-ontvanger                       | 288        |
| 13.2.3    | Verwerking van NMEA-data                              | 289        |
| 13.3      | Een PC-toetsenbord voor de invoer                     | 291        |
| 13.3.1    | Het toetsenbord-protocol                              | 291        |
| 13.3.2    | Voorbeeldapplicatie met een toetsenbord               | 292        |
| 13.4      | Data-overdracht en afstandsbediening per handy        | 293        |
| 13.4.1    | Gratis schakelen                                      | 294        |
| 13.4.2    | Dataverbinding met de handy                           | 295        |
| 13.4.3    | GSM-AT-commando's                                     | 296        |
| 13.4.4    | Tekstberichten versturen per PDU                      | 297        |
|           | Index                                                 | 303        |