

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Einleitung</b> .....	11
<b>Teil I</b>	<b>Einführung und Einrichtung einer Entwicklungsumgebung</b>	17
<b>I</b>	<b>Embedded Linux</b> .....	19
I.1	Desktop-Betriebssysteme .....	19
I.2	Bare-Metal vs. Betriebssystem .....	20
I.2.1	Mikroprozessoren vs. Mikrocontroller .....	21
I.3	Embedded Betriebssysteme .....	22
I.4	Die Architektur von Linux .....	23
I.4.1	Erläuterungen .....	23
I.5	Beliebte Linux-Distributionen .....	27
I.6	Linux installieren .....	29
I.6.1	Parallele Installation von Linux Mint zum vorhandenen Betriebssystem .....	30
I.6.2	Installation von Linux Mint in VirtualBox .....	32
I.7	Erfahrungen Linux Mint + VirtualBox .....	39
I.7.1	Größe der virtuellen Festplatte ändern .....	39
I.7.2	Zielpartition für VirtualBox festlegen .....	40
I.7.3	Umziehen der virtuellen Maschine .....	40
I.7.4	Nicht genügend Arbeitsspeicher .....	42
I.8	Weiterführende Literatur .....	42
<b>2</b>	<b>Netzwerkanbindung</b> .....	43
2.1	Datenaustausch zwischen Host und Embedded System .....	43
2.1.1	Samba .....	43
2.1.2	FileZilla .....	52
2.1.3	Daten austauschen mit scp .....	55
2.2	Verzeichnisstruktur von Linux/Raspbian .....	59
2.2.1	/bin .....	61
2.2.2	/boot .....	61
2.2.3	/dev .....	62
2.2.4	/etc .....	63
2.2.5	/home .....	63
2.2.6	/lib .....	64
2.2.7	/lost+found .....	64
2.2.8	/media .....	64
2.2.9	/mnt .....	65
2.2.10	/opt .....	65

2.2.II	/proc	65
2.2.I2	/root	66
2.2.I3	/run	66
2.2.I4	/sbin	66
2.2.I5	/selinux	66
2.2.I6	/srv	67
2.2.I7	/sys	67
2.2.I8	/tmp	67
2.2.I9	/usr	67
2.2.I0	/var	67
2.3	Neue Benutzer und Gruppen einrichten	67
2.3.1	Einen User hinzufügen bzw. entfernen	68
2.3.2	Gruppen hinzufügen bzw. entfernen	68
2.4	Weiterführende Literatur	69
<b>3</b>	<b>Shell-Programmierung</b>	<b>71</b>
3.1	Erste Schritte	72
3.1.1	Die Kommandos »man« und »info«	72
3.2	Geschichte der Shells	73
3.3	Die Bourne-again-Shell – bash	73
3.3.1	Ein- und Ausgabeumleitung	74
3.3.2	Shell-Variablen	78
3.3.3	Kommentare	85
3.3.4	Systemkommandos in Shellscripts	85
3.3.5	Mehrere Kommandos in einer Zeile	87
3.3.6	Bedingungen/Vergleiche	88
3.3.7	Funktionen in Shellscripts	92
3.3.8	Schleifen	102
3.3.9	Professionelle Übergabe von Argumenten	106
3.3.I0	Einschränkungen bei Shellscripts	111
3.4	Weiterführende Literatur	112
<b>4</b>	<b>Cross-Toolchains</b>	<b>113</b>
4.1	Cross-Toolchains für Raspberry Pi B+	113
4.1.1	Toolchain und IDE für Windows	115
4.1.2	Toolchain und IDE für Linux (Mint)	116
4.1.3	Toolchain und IDE für Mac OS X	118
4.2	Die Bibliothek wiringPi	118
4.2.1	Herunterladen von wiringPi	119
4.2.2	wiringPi »bauen«	120
4.2.3	Funktionen in wiringPi	121
4.2.4	Weitere Informationen zu wiringPi	121
4.2.5	Anschlussbelegung des Raspberry Pi B+	122
4.3	Konfiguration von Code::Blocks	123
4.3.1	Auswahl des Compilers	124
4.3.2	Einstellen der Compiler-Optionen	124
4.3.3	Bibliothek(en) hinzufügen	125
4.3.4	Erweitern des Suchpfades	126

4.3.5	Toolchain executables .....	127
4.3.6	Testen der Toolchain .....	128
4.4	crosstool-ng .....	134
4.4.1	Vorarbeiten .....	135
4.4.2	Erstellen und installieren von crosstool-ng .....	136
4.4.3	Toolchain konfigurieren .....	137
4.5	Weiterführende Literatur .....	141
<b>Teil II Techniken zur Programmierung von Kernel und rootfs</b>		<b>143</b>
<b>5</b>	<b>Raspbian – der Kernel</b> .....	<b>145</b>
5.1	Überblick .....	146
5.1.1	Einmalig durchzuführende Schritte .....	146
5.1.2	Zu wiederholende Schritte .....	146
5.2	Kernel erzeugen – detaillierte Anleitung .....	147
5.2.1	Einmalig durchzuführende Schritte – Details .....	147
5.2.2	Zu wiederholende Schritte .....	150
5.3	Das Shellsript mkrpi .....	166
5.3.1	mkrpi – das Listing zum Shellsript .....	167
5.3.2	Funktion und Anwendung von mkrpi .....	175
5.4	Weiterführende Literatur .....	180
<b>6</b>	<b>Das root-Dateisystem – rootfs</b> .....	<b>181</b>
6.1	rootfs erzeugen .....	182
6.1.1	Benötigte Software .....	183
6.1.2	Die nächsten Schritte .....	185
6.1.3	Imagedatei erzeugen .....	198
6.1.4	Schreiben der Boot-Partition .....	203
6.1.5	Schreiben des root-Dateisystems .....	205
6.1.6	Das Ende naht .....	206
6.2	Alternative Methode .....	207
6.2.1	Beschaffung und Anwendung von Buildroot .....	208
6.3	Weiterführende Literatur .....	215
<b>7</b>	<b>Der Bootprozess</b> .....	<b>217</b>
7.1	Bare-Metal-Systeme .....	217
7.2	Geräte mit Betriebssystem .....	218
7.2.1	Der Bootprozess des Raspberry Pi .....	218
7.2.2	Der Bootprozess beim BeagleBone Black BBB .....	219
7.2.3	Der Bootprozess beim Cubieboard .....	219
7.3	Allgemeine Beschreibung des Bootvorgangs .....	220
7.3.1	Bootloader .....	220
7.3.2	Die Aufgabe von Bootloadern .....	221
7.4	Das U-Boot und der Raspberry Pi .....	224
7.4.1	Sourcecode von »Das U-Boot« .....	224
7.5	Weiterführende Literatur .....	241

<b>Teil III Grundlagen der Treiberentwicklung</b>	<b>243</b>
<b>8 Treiber und Module I</b>	<b>245</b>
8.1 Auffrischung	246
8.2 »Normale« Dateien und Geratedateien	247
8.2.1 Schnittstellen zwischen User Space und Kernel	248
8.2.2 Schnittstellen zwischen Kernel und Hardware	249
8.2.3 Wichtige Programme im User Space	251
8.3 Weitere Voraussetzungen	255
8.4 Das erste Kernelmodul	256
8.4.1 Quelltext des Moduls und Makefile	257
8.4.2 Kompilieren des Moduls	258
8.4.3 Modul testen	258
8.4.4 Details zu nix.c/nix.ko	261
8.4.5 kbuild	261
8.5 Ein weiteres einfaches Kernelmodul	263
8.5.1 Der Sourcecode	263
8.5.2 Log-Level	265
8.5.3 Kernelmodul ausprobieren	265
8.6 Moderne Variante von hellodriver	266
8.6.1 Moderne Variante des hellodriver-Moduls	267
8.7 Ende der Einführung	268
8.8 Weiterführende Literatur	269
<b>9 Treiber und Module II</b>	<b>271</b>
9.1 Auf dem Weg zu einem richtigen Gerät	271
9.1.1 Funktionen, Makros, Datentypen	271
9.1.2 Der Sourcecode	279
9.2 Weiterführende Literatur	290
<b>10 Treiber und Module III</b>	<b>291</b>
10.1 Checkliste für die Treiberentwicklung	291
10.1.1 Headerdateien	291
10.1.2 Die Struktur file_operations	292
10.1.3 Initialisierung eines Treibers/Moduls	293
10.1.4 Entfernen von Treibern/Modulen	295
10.1.5 Funktion mydevice_open	296
10.1.6 Funktion mydevice_close	297
10.1.7 Schreiben und Lesen	298
10.1.8 The End	300
10.1.9 Generelle Erklärung einiger Funktionen	301
10.2 Ansteuerung »echter« Hardware	303
10.2.1 GPIO-Funktionen	304
10.2.2 GPIOs anwenden	306
10.2.3 (Mögliche) Erweiterung des Treibers	310
10.3 Weiterführende Literatur	312

## Teil IV Treiberentwicklung in der Praxis 313

<b>II</b>	<b>Praxis I</b> .....	<b>315</b>
II.1	Das serielle Schieberegister SN74HC595 .....	315
<b>12</b>	<b>Praxis II</b> .....	<b>329</b>
12.1	Der Baustein Maxim 7219 .....	329
12.1.1	Beschreibung des Maxim 7219 .....	330
12.1.2	Zeitverhalten bei der Ansteuerung .....	331
12.1.3	Kaskadieren mehrerer Maxim 7219/7221 .....	332
12.2	Ansteuerung einer 8 x 8-LED-Matrix .....	333
12.2.1	Der Schaltplan .....	333
12.3	Die Treibersoftware .....	335
12.3.1	Das Makefile .....	336
12.3.2	Die Headerdatei max7219.h .....	337
12.3.3	Der C-Sourcecode max7219imp.c .....	338
12.3.4	Das Testprogramm für den Treiber .....	346
12.3.5	Verbesserungsvorschläge .....	351
12.4	Ansteuerung von 7-Segment-Anzeigen .....	352
<b>13</b>	<b>Praxis III</b> .....	<b>353</b>
13.1	Der HD44780 – Aus dem Datenblatt .....	353
13.2	Die Hardware .....	355
13.3	Die Headerdatei hd44780.h .....	356
13.3.1	Einige Erläuterungen .....	359
13.4	Der Treiber hd44780.c .....	361
13.4.1	Erläuterung des Programms .....	371
13.5	Das Testprogramm im User Space .....	375
13.6	Weiterführende Literatur .....	380
<b>A</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>381</b>
A.1	Embedded Systeme, Architektur etc. ....	381
A.2	VirtualBox .....	381
A.3	Samba .....	381
A.4	Shell-Programmierung .....	381
A.5	Toolchains und Bibliotheken .....	382
A.6	Bootstrapping, Buildroot etc. ....	382
A.7	Der Bootprozess .....	382
A.8	Pointer und Strukturen in C .....	382
A.9	Das Kernel-Buildsystem und Treiber .....	382
A.10	Bücher .....	383
<b>B</b>	<b>Belegung der GPIO-Ports</b> .....	<b>385</b>
B.1	GPIO-Belegung gemäß wiringPi .....	385
B.2	GPIO-Belegung gemäß Broadcom .....	386
<b>C</b>	<b>Safety und Security</b> .....	<b>387</b>
C.1	Security .....	387

C.2	Safety .....	388
C.2.1	Maßnahmen in der Automobilindustrie.....	388
C.2.2	Umsetzung in der Programmierung .....	389
C.3	Ergänzende Literatur .....	390
<b>D</b>	<b>Kopieren mit scp .....</b>	<b>391</b>
<b>E</b>	<b>Code::Blocks .....</b>	<b>393</b>
E.1	Projekteinstellungen .....	393
E.1.1	Properties .....	394
E.1.2	Build options .....	395
	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>397</b>