

# Inhalt

Materialien zum Buch .....	11
----------------------------	----

## **1 Einleitung** 13

---

<b>1.1 Embedded Systems</b> .....	13
<b>1.2 Was bietet das Buch</b> .....	14
<b>1.3 Die Software zum Buch</b> .....	15
<b>1.4 Verwendete Entwicklungstools</b> .....	18

## **2 Hardware** 19

---

<b>2.1 Single-Chip</b> .....	19
2.1.1 Entwicklung .....	19
2.1.2 Anwendungen .....	21
<b>2.2 Mikrocontroller</b> .....	21
2.2.1 ARM-based .....	22
2.2.2 STM32-Familie .....	23
2.2.3 STM32F412RET6 .....	24
<b>2.3 Breakout-Board</b> .....	25
2.3.1 Pinout .....	26
2.3.2 Debugging .....	28
2.3.3 Connectivity .....	29
2.3.4 Erweiterungen .....	30
<b>2.4 Schaltungsentwurf</b> .....	30
2.4.1 Versorgung .....	31
2.4.2 Reset-Schaltung .....	33
2.4.3 Takterzeugung .....	34
2.4.4 Digitale I/O-Pins .....	35
2.4.5 Externe Interrupts .....	37
2.4.6 Analoge Eingabe .....	37

2.4.7	Analoge Ausgabe .....	40
2.4.8	SPI als Systembus .....	43
2.4.9	EEPROM-Speicher .....	44
2.4.10	UART-Schnittstellen .....	46
2.4.11	RS485-Kommunikation .....	48
2.4.12	ISP-/Debug-Schnittstelle .....	51
<b>2.5</b>	<b>Leiterplattenlayout</b> .....	<b>54</b>
2.5.1	Technologische Grundlagen .....	55
2.5.2	Aufteilung einer Leiterplatte .....	57
2.5.3	Routing eines SMD-Designs .....	60
2.5.4	Spannungs- und Masseflächen .....	62
2.5.5	Elektromagnetische Verträglichkeit .....	63
2.5.6	Erstellung der Fertigungsdaten .....	66
<b>3</b>	<b>Bootloader</b> .....	<b>69</b>
<b>3.1</b>	<b>System-Startup</b> .....	<b>70</b>
3.1.1	Start des Bootloaders .....	71
3.1.2	Mögliche Erweiterungen .....	75
<b>3.2</b>	<b>Betriebssystem-Updates</b> .....	<b>76</b>
3.2.1	FLASH-Speicher .....	76
3.2.2	Intel-Hex-Format .....	79
3.2.3	Download-Schnittstelle .....	81
3.2.4	Download-Protokoll .....	83
3.2.5	Prüfsumme .....	85
<b>4</b>	<b>Betriebssystem</b> .....	<b>93</b>
<b>4.1</b>	<b>Initialisierung</b> .....	<b>94</b>
4.1.1	PLL-Clock .....	95
4.1.2	GPIO-Setup .....	97
4.1.3	AD-Wandler .....	99
4.1.4	DA-Wandler .....	101

4.1.5	SPI-Systembus .....	104
4.1.6	NVI-Controller .....	107
4.1.7	UART-Interfaces .....	110
<b>4.2</b>	<b>Abstraktionen</b> .....	<b>114</b>
4.2.1	Port-Zugriffe .....	114
4.2.2	Analogwertmessung .....	120
4.2.3	Filtering .....	125
4.2.4	Analogwertausgabe .....	127
4.2.5	Zugriff auf Systembus .....	130
4.2.6	Remanente Speicherung .....	132
4.2.7	Serielle Datenübertragung .....	137
<b>4.3</b>	<b>Multithreading</b> .....	<b>143</b>
4.3.1	Cooperative vs. Preemptive .....	143
4.3.2	Betriebssystem-Threads .....	145
4.3.3	Time Slice Scheduling .....	146
<b>4.4</b>	<b>Grafik-Display</b> .....	<b>151</b>
4.4.1	Bildspeicher .....	151
4.4.2	Display-Treiber .....	152
4.4.3	Grafikfunktionen .....	157
4.4.4	Text und Zeichensätze .....	159
<b>4.5</b>	<b>Modbus-Protokoll</b> .....	<b>160</b>
4.5.1	Befehlsstruktur .....	161
4.5.2	Zugriffsverfahren .....	162
4.5.3	Protokollrahmen .....	163
4.5.4	Frames senden .....	165
4.5.5	Protokoll-Handler .....	168
4.5.6	Modbus-Thread .....	171
<b>5</b>	<b>Embedded BASIC</b> .....	<b>177</b>
<b>5.1</b>	<b>Ansatz</b> .....	<b>177</b>
5.1.1	Skriptsprache .....	178
5.1.2	Möglichkeiten .....	180

<b>5.2</b>	<b>Sprache</b> .....	183
5.2.1	Programmiermodell .....	183
5.2.2	Programmstruktur .....	185
5.2.3	Kontrollstrukturen .....	187
5.2.4	Literele und Symbole .....	193
5.2.5	Variablen und Typen .....	196
5.2.6	Ausdrücke und Priorität .....	199
5.2.7	Funktionen und Lokalität .....	201
5.2.8	Klassen und Instanzen .....	203
5.2.9	Präemptive Tasks .....	207
<b>5.3</b>	<b>Anwendungen</b> .....	210
5.3.1	Entwicklungstool .....	211
5.3.2	Drehzahlregelung .....	212
5.3.3	Roboterplattformen .....	219
5.3.4	NUCLEOs als Hardware .....	225

## **6 Interpreter** 227

---

<b>6.1</b>	<b>Laufzeitsystem</b> .....	228
6.1.1	Token-Interpreter .....	229
6.1.2	Syntax-Tree-Interpreter .....	229
6.1.3	Abstrakter Bytecode-Interpreter .....	229
6.1.4	Token-Code .....	230
6.1.5	Codeformat .....	234
6.1.6	Speicherlayout .....	236
6.1.7	Lokale Variablen .....	239
6.1.8	Parameterübergabe .....	243
6.1.9	Prototypen für Klassen .....	247
6.1.10	Instanzieren von Objekten .....	255
6.1.11	Auflösen von Variablenbezügen .....	260
6.1.12	Arithmetische Ausdrücke .....	265
6.1.13	Bitweise und logische Ausdrücke .....	271
6.1.14	Anweisungen und Sprünge .....	276
6.1.15	Ausführen von Schleifen .....	284
6.1.16	Interpreter-Schleife .....	289

<b>6.2</b>	<b>Multitasking</b> .....	292
6.2.1	Skript-Tasks .....	292
6.2.2	Präemptiver Scheduler .....	294
6.2.3	Task-Wechsel und Ausführung .....	298
<b>6.3</b>	<b>Hardwarezugriff</b> .....	302
6.3.1	Property-Variablen .....	303
6.3.2	Geräte und Verbindungen .....	307
6.3.3	Protokolle und Messages .....	310
<b>6.4</b>	<b>Emulation am PC</b> .....	313
6.4.1	Interpreter als C-DLL .....	316
6.4.2	Unit-Tests für den Interpreter .....	322
<b>7</b>	<b>Übersetzer</b> .....	327
<hr/>		
<b>7.1</b>	<b>Lexikalische Analyse</b> .....	327
7.1.1	Endliche Automaten .....	328
7.1.2	Entwicklung des Scanners .....	330
7.1.3	Zeilen- und Blockkommentare .....	333
7.1.4	Semikolon und Line Continuation .....	334
7.1.5	Implementierung eines Präprozessors .....	336
<b>7.2</b>	<b>Syntaktische Prüfung</b> .....	341
7.2.1	Grammatiken .....	342
7.2.2	Backus-Nauer-Form .....	345
7.2.3	Top-down-LL(1)-Parser .....	347
7.2.4	Links-Faktorisierung bei LL(2) .....	351
7.2.5	Backtracking- und LL(k)-Parser .....	354
7.2.6	Einfache Abstraktion der Syntax .....	357
<b>7.3</b>	<b>Semantische Analyse</b> .....	359
7.3.1	Symbole und Scopes .....	360
7.3.2	Datentypen als Kontext .....	366
7.3.3	Multi-Pass-Übersetzung .....	370
<b>7.4</b>	<b>Code-Generator</b> .....	372
7.4.1	Direkte Codeausgabe .....	373
7.4.2	Verzögerte Codeausgabe .....	375

## **8 Zusammenfassung** 377

---

**8.1 Themengebiete** ..... 378

**8.2 Ausblick** ..... 379

## **Anhang** 383

---

**A Schaltplan** ..... 385

**B Leiterplatte** ..... 387

**C Grundlagen von Embedded BASIC** ..... 389

C.1 Grammatik ..... 389

C.2 Token-Liste ..... 392

**D Literaturverzeichnis** ..... 399

Index ..... 401