Webgestütztes GPIO Management am Beispiel des BeagleBone Black

Bachelorarbeit im Fachbereich Medienproduktionstechnik an der Fachhochschule Köln

Caspar Friedrich Geboren am 16. Oktober 1986 Mat.-Nr. 11062078

Köln, den 30. September 2014

Betreut durch Prof. Dr. Klaus Ruelberg Zweitprüfer: Prof. Dr. Luigi LoIacono

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	9
I.	Grundlagen	11
2.	Hardware 2.1. Single-board Computer (SBC)	13 13 14 14
3.	Betriebsysteme	15
	3.1. Linux	15 15
4.	Webtechnologien	17
	4.1. Webserver	17 17
	4.1.2. Weitere Webserver	17
	4.2. WebSockets	17
	4.2.1. WebSockets vs. PHP	17 17
II.	. Konfiguration	19
5.	Betriebssystem	21
6.	Pakete	23
	6.1. nodejs	23
Ш	I. Implementierung	25
7.	Implementierung	27
	7.1. boneserver	27
	7.2 Webinterface	27

IV. Fazit	29
V. Anhang	31

Abbildungsverzeichnis

7.1.	Test figure																			2	7

Tabellenverzeichnis

.1.	BeagleBone Black Expansion Header (P8)									33
.2.	BeagleBone Black Expansion Header (P9)									34

1. Einleitung

In der heutigen Welt ist fast alles mit dem Internet verbunden. Tendenz steigend...

Teil I.

Grundlagen der verwendeten Technologien und Hardware

2. Hardware

2.1. Single-board Computer (SBC)

Ein Single Board Computer oder auch SBC, zu deutsch ein Einplatinenrechner, ist ein Computersystem bei dem alle für die grundsätzliche Funktion nötigen Bauteile auf einer einzelnen Platine verbaut sind. Hierbei sind sind neben den essenziellen Komponenten wie Prozessor, RAM und ROM oft auch Controller für verschiedene I/O-Schnittstellen, Oszillatoren oder Co-Prozessoren verbaut. Single Board Computer werden vor allem in der Industrie als Steuersysteme eingesetzt, da sie oft billiger und flexibler sind als fest verdrahtete Steuersysteme. Mit zunehmender Miniaturisierung und steigender Leistungsfähigkeit finden sich SBC's heute auch in alltäglichen Geräten wie Autos, Waschmaschienen oder Fernbedienungen.

Technisch gesehen sind auch erste Heimcomputer wie der C64 oder Atari ST Single Board Computer, allerdings lassen sich diese ohne Ein- und Ausgeabegräte wie Maus, Tastatur, Bildschirm nicht sinnvoll einsetzen und werden in der Regel nicht als solche Bezeichnet.

Schnittstellen

Single Board Computer verfügen, je nach Anwendungsgebiet, über eine Vielzahl verschiedener analoger und digitaler I/O-Schnittstellen.

Übliche Schnittstellen sind

- GPIO
- PWM
- Analog/Digital Converter (ADC)
- UART¹
- SPI
- I²C

¹Hierüber ist eine Implementierung der verbreiteten RS232/422/485-Schnittstelle möglich und auch

Aktuelle (Entwickler-)Systeme haben in der Regel einen oder mehrere USB-Anschlüsse (sowohl Client als auch Host Ports sind üblich), oder zumindest einen JTAG-Port, was die Programmierung wesendlich vereinfacht. Des weiteren verfügen Leistungsstärkere Systeme oft auch über einen Grafikausgang².

2.2. System on a Chip (SOC)

Eng verknüpft mit der Entwicklung der SBC ist das Konzept der System-on-a-Chip bzw. SOC. Hierbei werden viele Komponenten eines Systems direkt in einem Einzelnen IC verbaut.

Heutige Single-board Computer mit einem SOC sind sehr leistungsstark und können Taktraten von mehreren GHz haben. Diese Computer sind vom Design her stark an Desktop-Systeme angepasst und können oft mit einem vollwertiges Linux- oder Windows-System betrieben werden.

2.3. BeagleBone Black

Für diese Arbeit verwende ich einen BeagleBone Black³, Ein quelloffenes Entwickler-Board Mit einem ARM® CortexTM-A8 Prozessor von Texas Instruments.

Für diese Arbeit wichtigste Features:

- 1GHz ARM-Prozessor
- 512MB DDR3 RAM
- 2GB⁴ Onboard Flash Memory
- 10/100 Mbit/s Ethernet
- 69 GPIO⁵
- ca. 45€

²Meist HDMI oder eine der Miniaturvarianten

 $^{^3}$ Rev. A5C

⁴4GB bei Rev. C

⁵Laut Dokumentation. 27 sind ohne weitere Konfiguration direkt verfügbar

3. Betriebsysteme

Da die Recourcen des BeagleBone Black sehr begrenzt sind, wird für diese Arbeit ein schlankes Betriebssystem benötigt, welches nur wenig Speicher benötigt und geringen Leistungs-Overhead verursacht. Für diesen Zweck gibt es spezielle Versionen der bekannten Betriebssysteme wie Microsoft Windows oder Linux sowie verschiedene "uinxoide"Betriebssysteme.

3.1. **Linux**

Linux hat den Vorteil, dass nahzu alle Software als source code verfügbar ist und im Zweifel angepasst werden kann. Zu dem ist es üblich Lizenzen zu verwenden, die eine nicht-komerzielle Anwendung sowie Anpassungen kostenfrei zulassen.

Ein eigenes Linux zu entwickeln wäre aus Sicht der Performance sicherlich die beste Wahl und ist auch in der Industrie weitgehend üblich, würde allerdings den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Zu dem gibt es einige sehr schlanke und bereits für den BeagleBone angepasste Linux Distributionen.

3.1.1. Linux Distributionen

BeagleBoard.org bietet auf für den BeagleBone Black zwei verschiedene Distributionen an: Ångström und Debian. Beide Distributionen haben ihre Vor- und Nachteile. Ein weiteres Projekt, welches sich unter Entwicklern großer Beliebtheit erfreut ist Arch Linux, welches auch als Basis für diese Anwendung dienen soll.

The Ångström Distribution ist auf dem BeagleBone vorinstalliert und stellt die Hauptdistribution dar. Diese Distribution findet im wesendlichen Anwendung bei Speichersystemen wie NAS oder FTP-Server, wichtigstes feature ist daher der gringe Leistungs- und Speicherbedarf.

Debian Linux gilt im allgemeinen ans (rock-)stable und ist eine der verbreitetsten Distributionen, zu dem basieren einige weitere namhafte Distributionen aud Debian Linux. Stärke und gleichzeitig auch Schwäche dieser Distribution sind die langen und umfangreichen Softwaretests. Wenn ein Paket in den offiziellen repositories verfügbar ist kann man zwar davon ausgehen, dass es fehlerfrei funktioniert und zu allen anderen angebotenen Pakete kompatibel ist, allerdings liegt es meist nicht mehr in der aktuellen Version vor. Das kann gerade bei Software aus dem Bereich Netzwerk/Internet problematisch werden.

3. Betriebsysteme

ArchLinux ...

4. Webtechnologien

4.1. Webserver

Was ist ein Webserver? Welche sind die verbreitetsten und was sind ihre Besonderheiten.

4.1.1. Lighttpd

Warum wird Lighttpd verwendet?

4.1.2. Weitere Webserver

Apache

4.2. WebSockets

4.2.1. WebSockets vs. PHP

4.3. Node.js

Was ist Node.js, wie wird es verwendet.

Teil II. Konfiguration des Betriebssystems

5. Betriebssystem

Hier werden alle, von den Defaults der Distribution abweichenden, Einstellungen beschrieben.

6. Verwendete Pakete

Zusätzlich zu den mitgelieferten Pakteten der Distribution werden noch ein HTTP server, ein FTP server und die JavaScript/Node.js engine. Zusätzlich wird noch ein Proxy server benötigt um mit geringem Aufwand SSL-Verschlüsselte Verbindungen zu ermöglichen.

haproxy HAProxy ist eigentlich ein Proxy server, der eingesetzt wird um HTTP-Anfragen auf mehrere Server zu verteilen. Wesendlich interessanter für diese Arbeit ist allerdings, dass der HAProxy nativ SSL-Verschlüsselte Verbindungen verarbeiten kann und dabei in der Basis sehr leicht zu konfigurieren ist.(1)

In diesem wird wird HAProxy eingesetzt um WebSocket requests von regulären HTTP requests zu trennen und auf unterschiedliche Dienste weiter zuleiten. Ziel dieser Maßnahme ist es nach außen die gesamte Website hinter einem Port zu betreiben obwohl die beiden Prozessen völlig von einander getrennt sind. So ist die gefahr, dass, bei einem Feldeinsatz, der Port für den WebSocket server von einer Firewall blockiert wird minimal. Die website ist entweder vollständig oder überhaupt nicht zu erreichen. Auch ist der der WebSocket server, der systembedingt mit root-Rechten laufen muss, ausschließlich per WebSocket über den Proxy zu erreichen und ist so gegenüber Angriffen von außen wetgehend sicher.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass sich für jeden Server die maximale Anzahl der aktiven Verbindungen bequem per Config file einstellen lassen. So kann ohne besondere Programmierung sichergestellt werden, dass immer nur eine Verbindung zum WebSocket server besteht. Alle weiteren verbindungsanfragen werden auf pending gesetzt und weitergeleitet sobald ein Slot frei wird.

lighttpd Ein webserver...

vsftpd Ein ftp-server...

6.1. nodejs

bonescript

Beschreibung der bonescript¹ library.

¹https://github.com/jadonk/bonescript

6. Pakete

ws

Beschreibung der verwendeten websocket library.

Teil III. Implementierung

7. Implementierung

Das webinterface besteht im aus zwei Teilen: Einem WebSocket server, der die Steuerung der GPIO erledigt und einem Webserver, der die Dokumente ausliefert.

7.1. boneserver

Der Web Socket server ist via Node.
js implementiert und und verwendet die $bonescript^1$ library zur steuerung der GPIO.

7.2. Webinterface

¹https://github.com/jadonk/bonescript

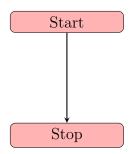


Abbildung 7.1.: Test figure

Teil IV.

Fazit und Erweiterungsmöglichkeiten

Teil V. Anhang

Ground	Ground	Used on Board (Group: pinmux_emmc2_pins)	Used on Board (Group: pinmux_emmc2_pins)	Used on Board (Group: pinmux_emmc2_pi	Used on Board (Group: pinmux_emmc2_pins)												Used on Board (Group: pinmux_emmc2_pins)	Used on Board (Group: pinmux_emmc2_pins	Used on Board (Group: pinmux_emmc2_pins)	Used on Board (Group: pinmux emmc2 pi	Used on Board (Group: pinmux_emmc2_pins)		Allocated (Group: nxp_hdmi_bonelt_pins)	Allocated (Group: nxp_hdmi_bonelt_pins)	Allocated (Group: nxp hdmi bonelt pins)	Allocated (Group: nxp_hdmi_bonelt_pins)	Allocated (Group: nxp_hdmi_bonelt_pins)	Allocated (Group: nxp_hdmi_bonelt_pins)	Allocated (Group: nxp_hdmi_bonelt_pins)	Allocated (Group: nxp hdmi bonelt pins)	Allocated (Group: nxp_hdmi_bonelt_pins)	Allocated (Group: nxp_hdmi_bonelt_pins)	Allocated (Group: nxp_hdmi_bonelt_pins)	Allocated (Group: nxp_ndmi_bonelt_pins)	Allocated (Group: nxp_hdmi_bonelt_pins)	Allocated (Group: nxp_hdmi_bonelt_pins)	Allocated (Group: nxp_ndmi_boneit_pins)	Allocated (Group: nxp_hdmi_bonelt_pins)	Updates Available at www.derekmolloy.ie							
		89	T9	82	22	R7	- P	9 9	R12	T12	T10	T11	013	V13	V12	010	6/	60	8 =	2 2	U2	9/	C :	5 2	2 %	۸4	T5	۸3	V V	: En	U1	n T	T4	: E	T2	R3	ž 2	22 22	CPU	NIA						-
		gpmc_ad6	gpmc_ad7	gpmc_ad2	gpmc_ad3	gpmc_advn_ale	gpmc_oen_ren	an men and	gpmc ad13	GPMC_AD12	gpmc_ad9	gpmc_ad10	gpmc_ad15	gpmc_au14	gpmc_clk_mux0	gpmc_ad8	gpmc_csn2	gpmc_csn1	gpmc_ads	gpmc ad1	gpmc_ad0	gpmc_csn0	lcd_vsync	lcd_pclk	lcd ac bias en	lcd_data14	lcd_data15	lcd_data13	lcd_data11	lcd data10	lcd_data8	lcd_data9	lcd_data6	lcd_data4	lcd_data5	lcd_data2	Ica_data3	lcd_data1	Mode 0				Bit 2,1,0	Mux Mode	000 Mode 0 to 111 Mode 7	
		mmc1_dat6	mmc1_dat7	mmc1_dat2	mmc1_dat3				lcd data18	LCD_DATA19	lcd_data22	lcd_data21	cd_data16	lcd data20	lcd_memony_clk	lcd_data23	gpmc_be1n	gpmc_clk	mmc1_dat4	mmc1 dat1	mmc1_dat0		gpmc_a8	gpmc_a10	gpmc a11	gpmc_a18	gpmc_a19	gpmc_a17	gpmc_a15	gpmc a14	gpmc_a12	gpmc_a13	gpmc_a6	gpmc_a4	gpmc_a5	gpmc_a2	gpmc_as	gpmc_a1	Mode 1				Bit 3	Enable Pullup/down	0 Enabled 1 Disabled	lup, 0x?f no pullup/d
						timer4	timer/	timers	mmc1 dat5	MMC1_DAT4	mmc1_dat1	mmc1_dat2	mmc1_dat/	mmc1 dat3	gpmc_wait1	mmc1_dat0	mmc1_cmd	mmc1_clk								eQEP1_index	eQEP1_strobe	eQEP1B_in	ehrpwm1B	ehrpwm1A	ehrpwm1_tripzone_in	ehrpwm0_synco							Mode 2			GPIO Settings	Bit 4	Pullup/Pulldown	0 Pulldown select 1 Pullup select	e.g. OUTPUT GPIO(mode7) 0x07 pulldown, 0x17 pullup, 0x?f no pullup/down
									mmc2 dat1	MMC2_DAT0	mmc2_dat5	mmc2_dat6	mmc2_dat3	mmc2_dat7	mmc2_clk	mmc2_dat4										mcasp0_axr1	mcasp0_ahclkx	mcasp0_fsr	mcasp0_ahclkr	mcasp0 axr0	mcasp0_aclkx	mcasp0_fsx	eQEP2_index	eQEP2A_in	eQEP2B_in	ehrpwm2_tripzone_in	enrpwmu_synco	ehrpwm28	Mode 3				Bit 5	Receiver Active	0 Disable 1 Enable	.g. OUTPUT GPIO(mode7
									eQEP2B in	EQEP2A_IN	ehrpwm2B	ehrpwm2_tripzone_in	eQEP2_strobe	ehrpwm0 synco		ehrpwm2A										uart5_rxd	mcasp0_axr3	mcasp0_axr3	mcasp0_axr2		uart5_txd	nart5_rxd	nr1 edio data out7						5 Mode 4				Bit 6	Slew Control	0 Fast 1 Slow	
															fsr											us	LS.	S	S S	us	sn	us							Mode 5							
															mcasp0_fsr											uart5_ctsn	Ш	uart4_rtsn	uart3_rtsn	uart3 ctsn		uart2_rtsr							Mode 6							
		gpio1[6]	gpio1[7]		gpio1[3]	gpio2[2]	gpio2[3]	gpio2[5]	gpio1[13]	gpio1[12]	gpio0[23]				gpio2[1]	gpio0[22]	gpio1[31]	gpio1[30]	gpio1[5]	gpio1[1]	gpio1[0]	gpio1[29]	gpio2[22]	gpio2[24]	gpi02[23]		ш		gpio2[17]	gpio2[1	gpio2[14]	gpio2[15]	gpio2[12]	gpio2[10]	gpio2[11]	gpio2[8]	gpio2[9]	gpio2[7]	Mode 7							
DGND	DGND	GPI01_6	GPI01_7	GPI01_2	GPIO1_3	TIMER4	HIMER/	TIMERS	GPIO1 13	GPI01_12	EHRPWM2B	GP100_26	GPI01_15	GPIO0 27	GPI02_1	EHRPWM2A	GPI01_31	GPI01_30	GPIOT 5	GPIO1 1	GPIO1_0	GPI01_29	GPI02_22	GPI02_24	GPI02_23	UARTS_CTSN	UART5_RTSN	UART4_RTSN	UART3_RTSN	UART3 CTSN	UART5_TXD	UARTS_RXD	GPI02_12	GPI02_10	GPI02_11	GP102_8	62102 9	GP102_7	Name					GPI01_21	GPI02_22 GPI02_23	GPI02_24
		38	39	34	35	99	/0	60 89											3,6								11 U									72	5 6	71	GPIO NO.	(Mode 7)					88	
		0x818/018	0x81c/01c	0×808/008	0x80c/00c	060/068×0	0x894/094	0x89C/09C	0x834/034	0x830/030	0x824/024	0x828/028	0x83c/03c	0x82c/02c	0x88c/08c	0x820/020	0x884/084	080/088x0	0x814/014	0x804/004	000/008×0	0x87c/07c	0x8e0/0e0	0x8e8/0e8	0x8ec/0ec	0x8d8/0d8	0x8dc/0dc	0x8d4/0d4	0x8cc/0cc	0x8c8/0c8	0x8c0/0c0	0x8c4/0c4	0x8b8/0b8	0x8b0/0b0	0x8b4/0b4	0x8a8/0a8	uxsac/uac	0x8a4/0a4	ADDR + G		Offiset from: 44e-10800			0x854/054	0x858/058 0x85c/05c	090/098×0
		9×0							13 0x8										SXO OX						59 0x8				51 52 0x				45 Oxe				43	Н	cat \$PINS A	44	OUT.				22 0x8	
P8_01	0.5	P8_03			۱				P8 11 1				P8_15 1				1										P8_32 5						P8_39 4				P8 44	46	P9 Header cat \$				SC		USR1 2 USR2 2	

Tabelle .1.: BeagleBone Black Expansion Header (P8)

1	1	10 10 10 10 10 10 10 10	P9_02 P9_04 P9_05 P9_06 P9_06 P9_06													Ground
1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1.	1	1	33 3 3 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5		25											punous
1	1	1	24 2 3 5 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8		76.6.70											20mA May Current
100 100	10 10 10 10 10 10 10 10	1	1 5 9 7 8		00, 3.30											250mA Max Current
1975 1975	18 19 19 19 19 19 19 19	1975 1975	25 77 88		DC_3.3V											250IIIA IWAX CUITEIL
18.5 18.5	1875 1875	18. 19.5 1	0 7		VDD_5V											TA Max Current (only if DC Jack
10 10 10 10 10 10 10 10	18 18 18 18 18 18 18 18	18 19 19 19 19 19 19 19	8		VDD 5V											TA IMAX CURRENT (ONLY II DC Jack
1.10 1.10	1871 1971	19 19 19 19 19 19 19 19	00		575_57											250mA Max Current
1					5Y5_5V											250mA Max Current
10.00000000000000000000000000000000000	10 10 10 10 10 10 10 10	10 10 10 10 10 10 10 10	6		PWR_BUT											Has a 5V Level (pulled up by TF
2.	20	10 10 10 10 10 10 10 10			SYS_RESET n			- 1						RESET_OUT	A10	
1.00 1.00	1.	10.00000000000000000000000000000000000	78	0x870/070	UART4_RXD	30	gpio0[30]	uart4_rxd_mux2		mmc1_sdcd	rmii2_crs_dv	gpmc_csn4	mii2_crs	gpmc_wait0	T17	NB: GPIOs limit current to 4-6r
15. 10.1 1	10.00000000000000000000000000000000000	1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1.	30	0x878/078	GP101_28	09	gpio1[28]	mcasp0_aclkr_mux3		gpmc_dir	mmc2_dat3	gbmc_csn6	mii2_col	gpmc_be1n	018	and approx. 8mA on inp
18. 0.8445/004 0.1010_1.34 2.8 0.8445/004 0.1010_1.34 0.8445/004 0.8445/004 0.1010_1.34 0.8445/004 0.8445	18. 18.	10 10 10 10 10 10 10 10	59	0x874/074	UART4_TXD	31	gpio0[31]	uart4_txd_mux2		mmc2_sdcd	rmii2_rxerr	gpmc_csn5	mii2_rxerr	gpmc_wpn	U17	
15 10 10 10 10 10 10 10	18 18 18 18 18 18 18 18	18 18 18 18 18 18 18 18	18	0x848/048	EHRPWM1A	20	gpio1[18]	ehrpwm1A_mux1		gpmc_a18	mmc2_dat1	rgmii2_td3	mii2_txd3	gpmc_a2	U14	
14 14 15 15 15 15 15 15	18 2005-2014-0 19 19 19 19 19 19 19 1	18 10 10 10 10 10 10 10	16	0x840/040	GP101_16	48		ehrpwm1_tripzone_input		gpmc_a16	mil2_txen	rmii2_tctl	gmii2_txen	gpmc_a0	R13	
84 0.0464/154 Ct. 344 gialo B Ct. 344	50 \$10	1	19	0x84c/04c	EHRPWM1B	51	gpio1[19]	ehrpwm1B_mux1		gpmc_a19	mmc2_dat2	rgmii2_td2	mii2_txd2	gpmc_a3	T14	
50 0.054/12 12,1, 20.4 1.0	58 0.005/12/15 1.0	18 18 18 18 18 18 18 18	87	0x95c/15c	I2C1_SCL	r,	gpio0[5]				ehrpwm0_synci	I2C1_SCL	mmc2_sdwp	spi0_cs0	A16	
50 0.0074/17 12.5, 54. 13 ginoli 2 ginoli	95 60%17/12 (12,5) 12,5 12,0 12,0 12,2 12,1 12,2	1	98	0x958/158	I2C1 SDA	4	gpio0[4]				ehrpwm0 tripzone	I2C1 SDA	mmc1 sdwp	spi0 d1	816	
19	58 0.0454/124 Mart, 2002 30 2010 30 30 30 30 30 30 30	54 0.0454/124 UART, DOR 2 genol 2 EMUS, mari	95	0x97c/17c	ISC2 SCL	13	gpio0[13]			spi1 cs1	I2C2 SCL	dcan0 rx	timer5	uart1 rtsn	D17	Allocated (Group: pinmux i2c2 p
18 0.0564/154 MATRIZ 700 3 900-02 19 19 19 19 19 19 19	St. 0654/154 WART, 700 23 giologic P.	85 0-056/4/120 UMPT2 DOD 2 gengl01 ENULY mand 1 gengl 2 Fire and 2 dot 3 gill 5 dot 3 gill 5 dot 4 dot 3 gill 5 dot 5 5	96	0x978/178	I2C2 SDA	12	gpio0[12]			spi1 cs0	I2C2 SDA	dcan0 tx	timer6	uart1 ctsn	D18	Allocated (Group: pinmux i2c2 p
14 10444 104 10	14 1 1 1 1 1 1 1 1 1	14 10 10 10 11 11 12 12 12	58	0x954/154	LIART2 TXD	e	spio0[3]	FMU3 mix1			ehrowm08	12C2 SCI	uart2 txd	Op Clas	B17	
17 17 17 18 19 19 19 19 19 19 19	17 10 10 10 10 10 10 10	17 17 17 17 17 17 17 17	8 8	0×950/150	LIART2 RYD	,	anio0[2]	FMII2 mirv1			Ahrawanda	13 C) C) C)	uart2 rvd	chin crik	417	
	1971 1982	15 15 15 15 15 15 15 15	17	0x844/044	GP101 17	49	pnin1[17]	Ahrnwm0 synco		gnmc a17	mmc2 dat0	remii? rxdv	emil? rxdv	pomc a1	V14	
10 10 10 10 11 11 11 11	1	100 Constitute Control Contr	-0	0.084/184	LIART1 TYD	i t	anio0[15]	000.40		00	12C1 SCI	dran1 rv	mmc2 cdwm	nart1 tvd	212	
1	1870 1970 1971 1970 1971 1970	1	101	Order/12c	Color 21	117	apio2[23]			CAMIN many	Total Land	Court Outson	ODEBO strobo	menend abelia	2 5	Allocated (Groun: meson) potenty
10 10 10 11 12 13 13 13 13 13 13	15 15 15 15 15 15 15 15	150 150-586/1949 100-184 14 150-586/1949 100-184 100-184	/OT	DET / DEC	GPIO3_Z.I	/11	gpios[21]			EIVIO4_IIIUXZ	IIICASDI_AXII	IIICdsb0_dxi3	accus occupa	IIICASDO_AIICIKX	YT4	Allocated (Group: Incaspo_pills)
103 Oceayidad Oceayidad	105 00544/jak 0012, 9 115 point 9	105 00544744 61051.54 115 81061919 115 8106	es :	080/180	UARTI_RXD	14	gpio0[14]				IZCI_SDA	dcan1_tx	mmc1_sdwp	nart1_rxd	DIP	
102 0.0594/194 SPIL CSO 111 gpicel[15] Minute_2 steed minute_3 steed minute_3 cot of mostgo_0 and with the control of the cot of th	103 0.0554/154 511, 25 0.111 2.0054/154 511, 2.0054/15	103 0.0594/154 511, 511,	105	0x9a4/1a4	GP103_19	115	gpio3[19]			EMU2_mux2	mcasp1_fsx	mcasp0_axr3	eQEP0B_in	mcasp0_fsr	C13	
100 111	100 11 11 11 11 11 11 1	100 0.0059/1949 SPID D 111 gplodiis] minucij died minuci	103	0x99c/19c	SPI1_CS0	113	gpio3[17]			eCAP2_in_PWM2_out	spi1_cs0	mcasp0_axr2	ehrpwm0_synci	mcasp0_ahclkr	C12	Allocated (Group: mcasp0_pins)
102 0-698/198	102 0-6-88/158 SPI_L DI 112 gpiol[16] mma0_24od_mnd spidk merapo_and 013 010 0-6-88/158 SPI_L DI 112 gpiol[14] mma0_24od_mnd spidk merapo_and 013 010 0-6-88/158 SPIdk mma0_24od_mnd spidk merapo_and 013 010 0-6-88/158 Max	102 0-959/198 SPID 112 gplodision mmmc2_sdcd_mnad spi_dision mmc2_sdcd_mnad mmc2_sdcd_mnad spi_dision mmc2_sdcd_mnad mmc2_sdcd_mnad spi_dision mmc2_sdcd_mnad	101	0x994/194	SPI1_D0	111	gpio3[15]			mmc1_sdcd_mux1	spi1_d0		ehrpwm0B	mcasb0_fsx	B13	Allocated (Group: mcasp0_pins)
100 0499/190 5911, State 110 gpic3[14] mmrcQ_3cdcd_muxt spil_scik ehtpwnOA mrcsspQ_actix A13 Allo ANA	100 0-690/190 NACA NAC	100 0x590/150 51H, 2012 110 24H, 2012 24H,	102	0x998/198	SPI1_D1	112	gpio3[16]			mmc2_sdcd_mux1	spi1_d1		ehrpwm0_tripzone	mcasp0_axr0	D12	
AND Color AND	Volto Alma	Volto Volt	100	0×990/190	SPI1_SCLK	110	gpio3[14]			mmc0_sdcd_mux1	spi1_sclk		ehrpwm0A	mcasp0_aclkx	A13	Allocated (Group: mcasp0_pins)
ANN	ANN A CHANG ANN A CHANG	ANNA A	2		VADC											Voltage Reference for ADC (NB: 1.
AGND	ANN	AGNO	3		AIN4										83	NB: 1.8V tolerant
AIN6 AIN6	ANN B ANN B	AINS AINS	4		AGND											Ground for ADC
AINS AINS	AINS AINS	ANN 2 ANN 2 ANN 2 ANN 2 ANN 3 ANN	2		AIN6										A8	NB: 1.8V tolerant
ANN ANN ANN ANN ANN ANN ANN ANN ANN AN	AIN3	ANN	9		AINS										88	NB: 1.8V tolerant
Aliva	Alika Alik	Alika Alik	7		AIN2										87	NB: 1.8V tolerant
Alika Alik	Aliana A	Alika Alik	000		AIN3										A7	NB: 1.8V tolerant
109 60-694/1b4 Cutcoutz 20 116 gpicol[20] EMU3_miasO Emu3_miasO cprints Timer? mixt Citcoutz Citco	109 0-0-0-4/10-4 10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-1	109 60-694/1b4 CLICOLIZ 20 Spicol 20 Switz	0		ONIA										BR	NR: 1 8V tolerant
109 0x994/Jb4 CLOOLI2 20 gpiod[20] EMU3_muc0 timer7_muc1 cikout2 tickin tickin cikout2 tickin cikout2 tickin cikout2 tickin ti	109 0x994/Jb4 CLCOLT2 20 gpiod[20] EMU3_mux0 timer7_mux1 clcut2 tclcin clccin cl	109 0x994/jb4 CLOOLI2 20 gpiod[20] EMU3_muc0 timer7_muc1 cikout2 cik			AIN A										8 5	ND: 1 9V/+olorant
Sep	See Control	See	100	Dvahu /1 hu	CIKOLITO	02	anio0[20]	FMII3 min0		timer7 miv1	Choole	tellein		1 train trains	5 2	Both clanals are connected to D21
89 0594/36 GPIO2 7 7 7 GPIO2 18 GP	89 0.5991/340 GHO 218 114 Spice Sp	89 GoSuffice Gino. 7 7 8 ginology sept sept sept sept sept sept sept sept	COT	0x026/138	GBIO2 20	116	apica[20]	COMP		omii2	Mesent avo	TIME TO THE TOTAL THE TOTAL TO THE TOTAL TOT	vapai ndav	mosen0 avr1	2 2	Both signals are connected to D21
Octobrillo	Constitution Cons	Code	00	0,054/154	GFIO3_20	110	gpius[20]	Catal tages comby	mode Comm	childo			coero muex	CADO is DIMMAO Surt	5 5	Both signals are connected to FZI
CoSaO/j.a0 CP103_18 114 gpto3 18 Procession Marapo_ant2 CASPON_in Marapo_ant2 CASPON_i	Octobach Lab Carlo 2.18 114 gplo3[18] 114 gplo3[18] 114 gplo3[18] 114 gplo3[18] 114 gplo3[18] 114 gplo3[18] 114 GND	Cosa0/140 CeP103_18 114 gpics 18 Marsp1_acticx Marsp0_avr2 eGEP0A_in Marsp0_actic B12 Allon B12 Allon Marsp0_actic B13 B13 B12_110 Mage CPU CP	69	OX304/T04	_ BOLES	,	gpioul/j	xama_event_intrz	mmco_sawp	Spir_scik			uarts_txu	ecaro_in_rwivio_out	CTS	Both signals are connected to P22
GND GND	GND	GND		0x9a0/1a0	GPIO3 18	114	pni03[18]				Mose Lose	Measno axr2	POF POA in	Mcasp0 aclkr	R12	Both signals are connected to P22 Allocated (Group; meason pins)
Carl GND	GND	Cati SPINs ADDR + Name GPIO NO. Mode 7 Mode 7 Mode 1 Mode 0 CPU			GND							ı				- See Pg.50 of the SRN
GND	Cart SPINS ADDR + Name GPIO NO. Mode 7 Mode 7 Mode 7 Mode 1 Mode 1 Mode 1 Mode 0 CPU	Cat SPINS ADDR + Name GPIO NO. Mode 7 Bit 6 Bit 5 Bit 3 Bit 2.1,0	2 4		GNE											puios
Cart Sinks ADDR + Name	Carl SPINS ADDR + Name GPIO NO. Mode 7 Mode 7 Mode 1 Mode 1 Mode 1 Mode 0 CPU	Cation Cano Cano Cation Cano Cation	5		dND											Ground
Cart SPINS ADDR + Name GPIO NO. Mode 7 Mode 7 Mode 7 Mode 7 Mode 1 Mode 0 CPU	Cat SPINS ADDR + Name GPIO NO. Mode 7 Mode 7 Mode 7 Mode 7 Mode 1 Mode 0 CPU	Allogated Ade; Ad	9		dNB											Ground
Cart-Spin/S ADDR+ Name GPIO NO. Mode 7 Mode 7 Mode 7 Mode 1 Mode 2 Mode 1 Mode 2 Mode 2 Mode 2 Mode 3 Mode 3	Cart SPN S ADDR + Name GPIO NO. Mode 7 Mode 8 Mode 8 Mode 8 Mode 8 Mode 9	Cart SpinS ADDR + Name Caplo No. Mode 7 Mode 7 Mode 1 Mode 2 Mode 1 Mode 2 Mode 2 Mode 3														For updates see: www.derekn
Allocated (Anode 7) Bit 6 Bit 5 GPIO Settings Bit 3 Bit 2,1,0 Offset from: Slew Control Receiver Active Pullug/Validown Enable Pullug/Pullown Mux Mode 44e10800 O Fast O Disable O Pullobown select 0 Enabled 000 Mode 0 to 1 Slow 1 Enable 1 Pullug select 1 Disable 11 Mode 7	Allocated As (2000) (Mode 7) Bit 6 Bit 3 GF005 Bit 3 Bit 3 Bit 3 Bit 3 Bit 3 Bit 2,10 Bit 2,10 Bit 4 Aut Mode 2 Aut Mode 3 Aut	Allocated Ade Ade Ade Ade Bit 5 Bit 5 Bit 3 Bit 2,10	cat \$PINS	ADDR +	Name	GPIO NO.	Mode 7						Mode 1	Mode 0	CPU	Notes
Offset from: Bit 6 Bit 5 Bit 4 Bit 3 Bit 2,1,0 A4e10800 Sew Ordrol Receiver Active Pulluby-Billown Brazile Pullipullown Nuckelon O Frast 0 Disable 0 Frabled 000 Node 0 to 0 Frabled 0 Frabled 1 11 Mode 7 15 Now 1 Frable 1 Pullup select 1 Disabled 111 Mode 7 1 Disabled 1 11 Mode 7	Offset from: Bit 6 Bit 5 Bit 4 Bit 3 Bit 2.1.0 44e10800 Slew Control Receiver Active Pullupplatidown Enable Pullupfullidown Max Mode 0 Fast 0 Disable 0 Pulludown select 0 Enabled 000 Mode 0 to 1 Slow 1 Enable 1 Fullup select 1 In Mode 7 e.g. OutFort Group of Page 1 0 Page 1 Pullup select 1 In Mode 7	Bit 6 Bit 5 Bit 4 Bit 3 Bit 2,1,0	Allocated	44e10000		(Mode 7)				GPIO Settings						Please e-mail me directly
Slew Control Receiver Active Pullug/Pulldown Enable Pullug/Pulldown Mux Mode O Fast 0 Disable 0 Pullugwin select 0 Enabled 000 Mode 0 to 1 Slow 1 Enable 1 Pullugy select 1 Disabled 111 Mode 7	Slew Control Receiver Active Pullup/Puldown Enable Pullup/Puldown Mux Mode 0 Fast 0 Disable 0 Pullup aselect 0 Enabled 000 Mode 0 to 1 Slow 1 Enable 1 Pullup select 1 Disabled 111 Mode 7 e.g. OutPulf GPD(exoder) 9xe7 pullup, 9x77 no pullup/down	Slew Control Receiver Active Pullup/Pulldown Enable Pullup/Pulldown Mux.Mode 0 Fast 0 Disable 0 Pullupown select 0 Enabled 000 Mode 0 to 1 Slow 1 Enable 1 Pullup Sect 1 Disable 111 Mode 7 e.g. Outrol GP10(mode?) 6x7 pullup, 6x7 f no pullup, 40x7 no pullup, 40x7 no pullup, 40x1 no pullup, 40x1		Offset from:				Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2,1,0				derek@derekmolloy.ie
0 Disable 0 Pulldown select 0 Enabled 000 Mode 0 to	0 Disable 0 Pulidown select 0 Enabled 000 Mode 0 to 1 Enable 1 Pullup select 1 Disabled 111 Mode 7 e.g. OutPul GP10(mode?) 9x87 pullub, 0x77 pullup, 0x7f no pullup/down	0 Disable 0 Pulldown select 0 Enabled 000 Mode 0 to 1 Enable 1 Pullos select 1 Enable 111 Mode 7 e.g. cutrul spito(select) 6 6 6 7 pullos (select) 1 to pullo 6 6 7 pullos (select) 6 8 7 pullos (sele	•	44e10800				Slew Control	Receiver Active	Pullup/Pulldown	Enable Pullup/Pulldown	Mux Mode				if you notice a mistake
1 Enable 1 Pullup select 1 Disabled	1 Enable 1 Pullup select 1 Disabled e.g. OurPuT GPIC (mode?) 8987 pulldown, 6x17 pullup, 6x7f no pullup/down	I Finable 1 Pullup select 10 Sabled 10 Sabled e.g. OriFur (STD(mader) 647 Pullup, mort no pullup/down e.g. I Hept 9 STD(mader) 647 Pullup, 647 no pullup/down						0 Fast	0 Disable	0 Pulldown select	0 Enabled	000 Mode 0 to				
AIMPRING ARMA/CALLANA AND AND AND AND AND AND AND AND AND	e.g. ourful gPID(mode?) 0+87 pulldown, 0+17 pullup, 0+74 no pullup/down	e.g. ourpur g						1 Slow	1 Enable	1 Pullup select	1 Disabled	111 Mode 7				
	mondared of the determination of the state o	e.B. Hull @PO(secole) PeZP black of the hulls, with the hulls of the hull of the hulls of the hulls of the hulls of the hulls of the hull of the hulls of the hulls of the hull of the hu					J		A G OITBIT GBTO/W	Type and I love (Teb	and fine day for an illine /down					

Tabelle .2.: BeagleBone Black Expansion Header (P9)

Literaturverzeichnis

- [1] KÜHNAST, Charly: Passthrough und Offloading: HTTPS balancieren mit HA-Proxy 1.5. In: $ADMIN\ Magazin\ (2014),\ Nr.\ 3,\ S.\ 32–34$
- [2] Weiser, Mark: The Computer for the 21st Century. In: Scientific American (1991), Nr. 265, S. 94–104