



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# Hausarbeit

Roland Meo

**Batteriebetrieb des BeagleBone Black**

*Fakultt Technik und Informatik  
Studiendepartment Informatik*

*Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Computer Science*

Roland Meo

## **Batteriebetrieb des BeagleBone Black**

Hausarbeit eingereicht im Rahmen des WP: Deeply Embedded Systems

im Studiengang Bachelor of Science Angewandte Informatik  
am Department Informatik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Stephan Pareigis

Eingereicht am: 31. July 2016

**Roland Meo**

**Thema der Arbeit**

Batteriebetrieb des BeagleBone Black

**Stichworte**

BeagleBone Black, Batterie, Daemon, Unit, Service, Batterie Cape, Linux, LiPo, Stromversorgung, Mobilität, Spannungsquelle

**Kurzzusammenfassung**

Dieses Dokument befasst sich mit der Einrichtung des Batteriebetriebs des Beaglebone Blacks, wie auch der automatischen Ausführung von Software nach dem Boot

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Ziel</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Batteriebetrieb des BeagleBones</b>	<b>3</b>
3.1	Vorwort . . . . .	3
3.2	Ansatz A: Battery Cape . . . . .	4
3.2.1	Motivation . . . . .	4
3.2.2	Ausführung . . . . .	4
3.3	Ansatz B: Mit 3,7V LiPo Akku . . . . .	5
3.3.1	Motivation . . . . .	5
3.3.2	Ausführung . . . . .	5
3.4	Auswertung der Alternativen . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Mobile Spannungsquellen für die Peripherie</b>	<b>9</b>
4.1	Ansatz A: Versorgung über den BeagleBone Black . . . . .	9
4.1.1	Motivation . . . . .	9
4.1.2	Ausführung . . . . .	9
4.2	Ansatz B: Externe Versorgung über extra Akku . . . . .	10
4.2.1	Motivation . . . . .	10
4.2.2	Ausführung . . . . .	10
4.3	Auswertung der Ansätze . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Automatischer Startup der Software</b>	<b>12</b>
5.0.1	Motivation . . . . .	12
5.0.2	Ausführung . . . . .	12
5.0.3	Auswertung des Ansatzes . . . . .	14
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Anhänge</b>	<b>16</b>

# 1 Einleitung

In der folgenden Hausarbeit werden zwei Möglichkeiten vorgestellt, den **BeagleBone Black (BBB)** mobil mit Strom/Spannung zu versorgen. Hierbei wird die Durchführung, wie auch die Vor- und Nachteile der beiden Ansätze besprochen. Ebenso werden zwei Ansätze vorgestellt die Peripherie des **BBB** mit Spannung zu versorgen. Wie bei der mobilen Versorgung des **BBBs**, werden auch hier eine Durchführung und ein Für und Wider besprochen.

Im Abschluss wird erörtert wie automatisiert Software mit dem Start des **BBBs** gestartet werden kann. Da wir Software mit dem Einschalten unseres **BBBs** starten möchten, ohne weitere Eingaben durch z.B. Tastatur zu tätigen.

## 2 Ziel

Nachdem jeweils zwei Möglichkeiten zur mobilen Betreibung des **BBB**s, wie auch dessen Peripherie vorgestellt wurden, soll es dem Leser möglich sein, abwägen zu können, welche Variante aufgrund der in der Hausarbeit ausgearbeiteten Kriterien, die für ihn die Passende ist und diese dann im Anschluss praktisch testen zu können.

## 3 Batteriebetrieb des BeagleBones

### 3.1 Vorwort

Bei dem Batteriebetrieb des **BBB** liegt der Fokus (abseits von der mobilen Stromversorgung) auf der Verwendung von vorhandenen Komponenten (Recycling von alten Projekten) bzw. sofern eine Neuanschaffung von Nöten ist, darauf die Kosten möglichst niedrig zu halten. Im Kontext der Hausarbeit ist das **BeagleBone Battery Cape (BBBC)** von CIRCUITCO vorhanden, welches aus einem vorherigen Projekt gegeben ist.

Als Alternative dazu wird der **BBB** mit einem **Lithium-Polymer-Akku (LiPo)** über einen ange-löteten Connector betrieben.

Es ist zu erwähnen, dass der Anschaffungspreis des **BBBC** s verhältnismäßig teuer zu der **LiPo**-Alternative ist (ca. doppelt so teuer, je nach Vertreiber des **BBBC** s und Amperestunden des **LiPos**). Jedoch entsteht durch das Anlöten des Connectors für den **LiPo** ein gewisser Aufwand. Es wird also eine im Aufwand billige und Finanziell teure Option der Stromversorgung zu einer Aufwändigeren allerdings kostengünstigen Alternative verglichen.

## 3.2 Ansatz A: Battery Cape



Abbildung 3.1: BeagleBone Battery Cape aus dem Manual

### 3.2.1 Motivation

Das **BBBC** soll eine Möglichkeit zur mobilen Stromversorgung des **BBB** bieten, die die gesamte Funktionalität des **BBBs** zusichert. Gleichzeitig soll die Anwendung des **BBBC** s einfach und schnell erfolgen.

### 3.2.2 Ausführung

Durch einfaches Aufsetzen des **BBBC** s und Einsetzen von 4 AA Batterien, soll das **BBBC** in Betrieb genommen werden. Sofern diese vorhanden sind, wird der **BBB** per 5V versorgt, da sich auf dem **BBBC** ein Boost Converter befindet, der uns diese Voltzahl zusichert. Es handelt

sich also um eine bequeme Möglichkeit den **BBB** mobil mit Strom zu versorgen und dabei die gesamte Funktionalität zu erhalten. Zusätzlich hat das Board einen Ein/Ausschalter, LEDs, die als Ladungsindikator der Batterien dienen und einen EEPROM, über den diverse Konfigurationen gemuxt werden.

Entsprechend der Anleitung wird damit begonnen das **BBBC** auf den **BBB** aufsetzen. Beim Erstbetrieb wird festgestellt, dass die LEDs aufleuchten. Nach kurzem Erleuchten der LEDs erlöschen diese wieder. Dies führt zu der Annahme, dass die Stromversorgung gestört ist. Die AA Batterien werden entnommen und deren Spannung mit dem Multimeter geprüft. Alle 4 AA Batterien haben eine Spannung von 1,48 - 1,5V.

Erneut werden die Batterien eingesetzt, um einen möglichen Ansatz für das Problem auszuarbeiten. Jedoch überhitzt der Gleichspannungswandler, fängt an zu rauchen und brennt durch die Platine. Weshalb an dieser Stelle das **BBBC** nicht weiter getestet werden kann und diese Option für den Betrieb des **BBBs** ausscheidet.

## 3.3 Ansatz B: Mit 3,7V LiPo Akku

### 3.3.1 Motivation

In diesem Ansatz soll der **BBB** mit einem **LiPo** Akku betrieben werden. Damit den Akku austauschbar ist, wird ein JST Connector an den **BBB** gelötet, über den der Akku angeschlossen wird. Der Vorteil dieser Variante ist, dass wir den Akku laden können sofern wir den **BBB** über Steckdose bzw. USB betreiben.

(Dieser wird je nach Einstellung des **Power Management IC (PMIC)** (TPS65217C<sup>1</sup>) bis zu 3.5V/4,25V geladen bei einer Ladespannung von 4,10V/ 4,25V und einem Ladestrom von 300mA - 700mA, je nach Einstellung<sup>2</sup>

### 3.3.2 Ausführung

Der **BBB** besitzt vier Batterie Pins (TP5 - TP8) welche mit einem **PMIC** (dem TPS65217C) verbunden sind. (Siehe Tabelle 3.1)

Aus dem Datasheet des TPS65217C geht hervor, dass für diesen über Batterie eine Eingangsspannung von 2,75V - 5.5V erforderlich sind<sup>3</sup>. Da die meisten **LiPo** in einem Ausgangsspan-

---

<sup>1</sup>Mehr Informationen zum TPS65217C(Texas Instruments Incorporated., 2016c)

<sup>2</sup>(Texas Instruments Incorporated., 2016b, S. 8)

<sup>3</sup>(Texas Instruments Incorporated., 2016b, Tabelle:8.4 Electrical Characteristics)

nungsbereich von 3,3V - 3,7V liegen, ist die Wahl des Akkus hauptsächlich von der Ladung (Ampere-Stunden) des Akkus abhängig und davon dementsprechend der Preis.<sup>4</sup>

Es wird ein **LiPo** Akku von 1400mAh gewählt, welcher bei konstanten Fluss von 1A ca. eine 1.4 Stunden halten sollte.

Dies ist jedoch eine Abschätzung für den Worst-Case, tatsächlich wird eine wesentlich höhere Laufzeit erwartet.

Tabelle 3.1: BeagleBone Black Batterie Pins

PIN	DESIGNATION	FUNCTION
<b>BAT</b>	TP5	Battery connection point.
<b>SENSE</b>	TP6	Battery voltage sense input, connect to BAT directly at the battery terminal.
<b>TS</b>	TP7	Temperature sense input. Connect to NTC thermistor to sense battery temperature.
<b>GND</b>	TP8	System ground.

Es empfiehlt sich dringend ein **LiPo** mit eingebauten Überhitzungsschutz nutzen, da die Pins TP7 und TP8 über einen 10k $\Omega$  Widerstand überbrückt werden. Somit wird ein permanent hochohmiger NTC-Widerstand<sup>5</sup> simuliert und diese native Schutzfunktion wird umgangen. Bei **LiPo** ohne eingebauten Schutz, kann der Akku zerstört werden bzw. bei Überladung explodieren.

---

<sup>4</sup>Eine LiPo Akku-Empfehlung ([shabaz, 2013](#))

<sup>5</sup>Negative Temperature Coefficient Widerstand - Der bei höheren Temperaturen besser leitet

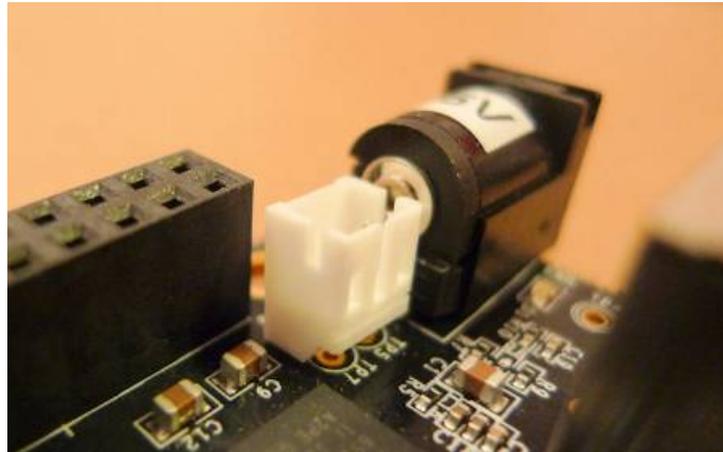


Abbildung 3.2: Angelöteter JST Connector (Quelle: [element14](#))

Weiter werden TP5 und TP6 zusammen gelötet bzw. über einen  $0\Omega$  Widerstand verbunden, da kein Batterie-Terminal genutzt wird. Schließlich wird ein passender JST Connector für die Schnittstelle zum Akku an die Pins TP6 und TP8 gelötet.

Somit sind alle Vorarbeiten abgeschlossen, der Akku kann angeschlossen werden und der **BBB** kann in Betrieb genommen werden.

Es ist anzumerken, dass diverse Charakteristika zum Verhalten des **PMICs** per I<sup>2</sup>C eingestellt werden können. So kann es sein, dass eine andere Ladespannung des Akkus bei Netzstrombetrieb eingestellt werden sollte um diesen optimal zu laden.

Sofern das Standard OS des **BBB** installiert ist, kann mit *i2cget* der **PMIC** ausgelesen werden. So erhält man mit `i2cget -y -f 0 0x24 0xA` Informationen darüber, ob andere Stromquellen (USB oder Netzstrom) angeschlossen sind, ebenfalls verrät das *Active-Flag* ob der Akku geladen wird (1 = Es wird geladen.)

Ein klarer Nachteil dieser Variante des **BBB** Betriebs ist, dass der USB-Anschluss nurnoch zum Laden genutzt werden kann. Ebenfalls müssen auf die VDD\_5V verzichtet werden, da diese bei Netzbetrieb direkt von der Versorgungsleitung abgegriffen werden. Da die Batterie Versorgung direkt mit dem **PMIC** verbunden ist, wird davon ausgegangen, dass dies nicht möglich ist.

### 3.4 Auswertung der Alternativen

Nachdem beide Ansätze (Das **BBBC** und den **LiPo**) vorgestellt wurden, kann gesagt werden, dass das **BBBC** der einfachere Asatz ist um den **BBB** mobil zu betreiben, da es ohne den Einsatz von besonderen Fertigkeiten oder Kenntnisse auskommt. Leider scheitert das **BBBC** jedoch an der Durchführbarkeit bzw. daran dass das **BBBC** beschädigt ist.

Ohne Lötkenntniss ist das **BBBC** der **LiPo** Variante trotz Preis, im Erhalt der Fähigkeiten des **BBB** und dem zeitlichen Aufwand der Einrichtung überlegen. Da mit dem **BBBC** auch Peripherie betrieben werden, die 5V benötigen, bleibt die USB-Schnittstelle ebenfalls als BUS erhalten.

Allerdings kann mit der **LiPo** Variante der Akku bei angeschlossener Stromquelle laden, was selbst im Regelbetrieb des **BBBC** s nicht der Fall gewesen ist.

Mit Hilfe dieser Überlegungen und davon ausgehend, dass Lötkenntnisse gegeben sind, wie der Berücksichtigung der Fehleranfälligkeit des **BBBC** s, empfiehlt sich schlussendlich die **LiPo** Variante. Diese Überlegungen werden in der Tabelle:3.2 nocheinmal dargestellt.

Tabelle 3.2: BBBC vs. LiPo

	<b>BBBC</b>	<b>LiPo</b>
<b>Durchführbarkeit</b>	??? <sup>6</sup>	Lötkenntnisse benötigt
<b>Kostenschätzung</b>	67-100 € (je nach Vertreiber)	~7€ (je nach LiPo)
<b>zeitlicher Aufwand</b>	kurz	mittel (je nach Lötfertigkeit)
<b>Leistungsfähigkeit</b>	???	kein USB, kein VDD_5V

---

<sup>6</sup>Da das **BBBC** beschädigt ist, können diverse Eigenschaften nicht einschätzt werden

# 4 Mobile Spannungsquellen für die Peripherie

## 4.1 Ansatz A: Versorgung über den BeagleBone Black

### 4.1.1 Motivation

Es sollen möglichst einfach und schnell (evtl. auch nur zu Testzwecken) Peripheriegeräte an den **BBB** angeschlossen werden. Hierfür werden die Pins auf den Headern des **BBB** genutzt.

### 4.1.2 Ausführung

Bei einer logischen 1 an einem der GPIO-Pins des **BBB** liegen +3,3V an diesem an. Dies reicht aus um die meiste Peripherie zu versorgen. Falls dennoch 5V für die Versorgung eines Gerätes gebraucht werden, können diese vom Header P9 an den Pins 5/6 abgegriffen werden. Letzteres trifft jedoch nur zu, wenn der **BBB** direkt über Netzstrom (AC) angeschlossen wird.<sup>1</sup> Da der **BBB** betrieben werden soll, ist dies ohne weiteres nicht möglich. So können, mit den in vorherigen Kapitel vorgestellten Ansatz A (3.2), die 5V gewährleistet werden, mit dem Ansatz B (3.3) ist dies nicht der Fall.

Ebfalls kann der Prozessor des **BBB** (der Sitara AM3359AZCZ100) über die GPIOs maximal 4-6 mA liefern.<sup>2</sup>

Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass bei dieser Variante diverse Peripherie ebenfalls von der selben Quelle wie der **BBB** gespeist werden. Selbst wenn nur geringe Ströme über die Leitungen fließen, summieren sich diese und sollten berücksichtigt werden.

---

<sup>1</sup>(Coley, 2013, S. 38-39)

<sup>2</sup>Siehe Sitara AM3359x (Texas Instruments Incorporated., 2016a, Tabelle: 4-1. Pin Attributes)

## 4.2 Ansatz B: Externe Versorgung über extra Akku

### 4.2.1 Motivation

Peripherie soll an eine Spannungsquelle angeschlossen werden, jedoch der **BBB** nicht zusätzlich belastet werden. Es folgt, dass eine externe Spannungsquelle nötig ist.

### 4.2.2 Ausführung

In [4.1](#) wird ein Ansatz vorgestellt, der Peripheriegeräte über den **BBB** versorgt.

Dabei kommt das Problem auf, dass je nachdem wie der **BBB** betrieben wird, nur Peripheriegeräte mit 3.3V (bei max 6 mA) versorgt werden können, diese Peripherie aus der selben Quelle zehrt wie der **BBB**.

Als Alternative hierzu soll der Ansatz der externen Stromversorgung vorgestellt werden. Hierbei wird ein **LiPo** Akku<sup>3</sup> an einen Spannungsregler<sup>4</sup> (Hier ein 5V) geschlossen, um somit eine konstante Versorgungsspannung für die Peripherie zu gewährleisten. Peripheriegeräte werden hierbei parallel an den Spannungsregler angeschlossen. Dabei erhält jedes Gerät die selbe Spannung, sofern die Summe der aufkommenden Einzelströme nicht größer ist als die maximale Belastung des Spannungsregler (In diesem Beispiel max. 5A).

Bei dieser Variante kann je nach pro Spannungswandler nur eine konstante Spannung geliefert werden, was das Mixen von Peripherie mit unterschiedlichen Spannungsbedürfnissen erschwert. Da für jede benötigte Spannung der diverse Spannungswandler nötig ist.

## 4.3 Auswertung der Ansätze

Aus den beiden Alternativen lässt sich ableiten, dass [4.1](#) immer eingesetzt werden kann, wenn wir wenig Peripherie mit 3,3V haben. Wenn die Peripherie 5V benötigt, ist diese Aussage nur noch dann gültig, wenn die Stromversorgung dies zulässt. Falls dem nicht so ist, muss eine andere Stromversorgung gewählt werden oder extern wie in [4.2](#) die benötigte Peripherie-Spannung geliefert werden. Ebenfalls lohnt sich eine externe Spannungsquelle für die Peripherie, wenn viel Peripherie betrieben werden soll.

(Im optimalen Fall ist viel gleichartige Peripherie vorhanden, da unser Spannungswandler

---

<sup>3</sup> Der hier exemplarisch genutzte Akku: [Modellbau-Akkupack \(LiPo\) 7.4 V 1000 mAh 10 C Conrad energy BEC](#)

<sup>4</sup> Der hier exemplarisch genutzte Spannungsregler: [Modelcraft LiPo-Spannungsregler](#)

eine konstante Spannung bringt).

Ebenfalls ist eine Mischform der beiden Ansätze vorstellbar, wenn z.B. wenig 3,3V Peripherie und viel 5V vorhanden ist, so kann die 3,3V Peripherie über die GPIO Pins und die 5V Peripherie über eine externe Spannungsquelle versorgt werden. Abschließend werden die wesentlichen Erkenntnisse in Tabelle:4.1 festgehalten.

Tabelle 4.1: BBB Versorgung vs. externe Versorgung (bei gleichartiger Peripherie)

	BBB Versorgung	ext. Versorgung
<b>wenig Peripherie (3.3V)</b>	optimal	überflüssig
<b>viel Peripherie</b>	suboptimal	optimal
<b>5V Betrieb</b>	abhängig <sup>5</sup>	optimal

---

<sup>5</sup>abhängig von der Stromversorgung des BBB

# 5 Automatischer Startup der Software

## 5.0.1 Motivation

Der **BBB** soll mobil betrieben werden, das unter anderem auch ohne Eingabegeräte und zusätzliches Display. Daraus folgt, dass Software automatisch nach dem Start des Betriebssystems gestartet werden muss.

Deshalb und weil sich aus diesem Ansatz auch die Möglichkeit des Testens der Akkulaufzeit für die Ansätze aus **3** ableiten lässt, wird dieser Ansatz und dessen Durchführung in diesem Kapitel vorgestellt.

## 5.0.2 Ausführung

Für den automatischen Start diverser Software wird zuerst ein Bashskript erstellt, in dem jegliche Software gelistet ist, die gestartet werden soll.

Exemplarisch sollte dies wie in **5.1** aussehen.

```
1 #!/bin/sh -e
2 # List of Software to be started
3 ./exec1
4 ./exec2
5 #...
```

Listing 5.1: Ein kleines Bashskript Beispiel

Mit `chmod +x <scriptname>.sh` werden Rechte zum Ausführen des Skriptes gegeben.

Nun muss eine Startup Skript im Ordner `/lib/systemd/system` erstellt werden, um einen neuen Service bzw. Daemon zu starten. In dem angesprochenen Ordner wird nun die notwendige `<scriptname>.service`-Datei (Unit-Datei) erstellt

```
1 [Unit]
2 Description=<description of code>
3 After=syslog.target network.target
4 [Service]
5 Type=oneshot
6 ExecStart=/usr/bin/<scriptname>.sh
7 [Install]
8 WantedBy=multi-user.target
```

Listing 5.2: Unit File Beispiel

Mit der Unit-Datei aus 5.2 erhält man einen Service (auch Unit), der das erste Skript startet, nachdem das Logging und die Netzwerkkomponente unseres OS bereit sind (`After=syslog.target network.target`).

Es wird die Unit als `Type=oneshot` gestartet, da diese nicht mehr benötigt wird nachdem das Skript durchgelaufen ist, folglich die Software gestartet wurde. Die Unit wird darauf hin wieder inaktiv.

Mit der Zeile `WantedBy=multi-user.target` wird ein symbolischer Link (`/etc/systemd/system/multi-user.target.wants/<scriptname>.service`) beim Ausführen von `system enable` auf das Unit-File hinterlegt, damit beim Start von `multi-user.target` die entsprechende Unit mit aufgenommen wird. (`systemctl disable` entfernt diesen Link wieder)<sup>1</sup>

Abschließend wird mit `ln -s /lib/systemd/system/<scriptname>.service <scriptname>.service` ein symbolischer Link erstellt.

Optional kann jetzt schon die Unit eingetragen und gestartet werden, hierfür werden folgende Befehle ausgeführt:

- **systemctl daemon-reload** - lädt alle Unit-Dateien erneut, erzeugt erneut dessen Abhängigkeits-Baum
- **systemctl start <scriptname>.service** - Startet die Unit/ Daemon

---

<sup>1</sup>Weitere Optionen und Doku auf freedesktop:???(???)

- **systemctl enable <scriptname>.service** - Erstellt den symbolischen Link für multi-user.target

Die im *<scriptname>.sh* aufgelistete Software wird nun mit dem Startup gestartet.

### 5.0.3 Auswertung des Ansatzes

Es kann nun Software automatisiert nach dem Boot des OS auf dem BBB gestartet werden. Dies ist sofern der vorherigen Kapitel hilfreich, da diverse Kombinationen an Stromversorgung und Spannungsquellen für die Peripherie praktisch getestet werden können, indem diese durch den vorgestellten Ansatz Benchmarks durchlaufen und nach deren Ablauf bzw. Erschöpfung der Akkus diese mithilfe von Log-Dateien ausgewertet werden.

## 6 Zusammenfassung

Es wurden jeweils zwei Ansätze für den Batteriebetrieb des BBBs 3, wie auch zwei Ansätze zur Spannungsversorgung der Peripherie 4 vorgestellt. In diesen wurden diverse Bewertungskriterien zur Entscheidung für die individuell passende Versorgungslösung vorgestellt.

Diese waren von der Fingerfertigkeit, der Zahlungsbereitschaft und der Zeit des Anwenders; der Anzahl, der Diversität und der benötigten Spannung der Peripherie abhängig.

Ebenfalls wurde ein Ansatz vorgestellt Software automatisiert nach dem Boot des BBB automatisch zu starten, um somit eine gewählte Versorgungslösung praktisch auf deren maximale Akkulaufzeit zu testen.

Es bleibt abschließend zu sagen, dass der Leser nun aufgrund der vorgestellten Ansätze eine Lösung für ihn wählen und praktisch evaluieren können sollte.

## **7 Anhänge**

# Tabellenverzeichnis

3.1	BeagleBone Black Batterie Pins . . . . .	6
3.2	BBBC vs. LiPo . . . . .	8
4.1	BBB Versorgung vs. externe Versorgung (bei gleichartiger Peripherie) . . . . .	11

# Abbildungsverzeichnis

3.1	BeagleBone Battery Cape aus dem Manual . . . . .	4
3.2	Angelöteter JST Connector (Quelle: <a href="#">element14</a> ) . . . . .	7

# Listings

5.1	Ein kleines Bashskript Beispiel . . . . .	12
5.2	Unit File Beispiel . . . . .	13

## Literaturverzeichnis

- [??? ???] ???: *systemctl systemd.unit man*. <https://www.freedesktop.org/software/systemd/man/>. ??? – [Online; accessed 28-July-2016]
- [Coley 2013] COLEY, Gerald: *BeagleBone Black System Reference Manual*. [https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BBB\\_SRM.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BBB_SRM.pdf). 2013. – [Online; accessed 28-July-2016]
- [shabaz 2013] SHABAZ: *BBB - Rechargeable on-board battery system*. [https://www.element14.com/community/community/designcenter/single-board-computers/next-gen\\_beaglebone//blog/2013/08/10/bbb--rechargeable-on-board-battery-system](https://www.element14.com/community/community/designcenter/single-board-computers/next-gen_beaglebone//blog/2013/08/10/bbb--rechargeable-on-board-battery-system). 2013. – [Online; accessed 25-July-2016]
- [Texas Instruments Incorporated. 2016a] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED.: *Datasheet:Sitara AM3359x*. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/am3359.pdf>. 2016. – [Online; accessed 25-July-2016]
- [Texas Instruments Incorporated. 2016b] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED.: *Datasheet:TPS65217C*. <http://www.ti.com/lit/gpn/tps65217>. 2016. – [Online; accessed 25-July-2016]
- [Texas Instruments Incorporated. 2016c] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED.: *Power Management Multi-Channel IC (PMIC) Solutions - TPS65217*. <http://www.ti.com/product/TPS65217>. 2016. – [Online; accessed 25-July-2016]

*Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.*

Hamburg, 31. July 2016

---

Roland Meo