



# Sensor Network in Sports

## Dokumentation Projektstudie

### Projektarbeit 2

In der Projektstudie zur Bachelorthesis **Sensor Network in Sports** wurde die Problemstellung des Projektes analysiert sowie vorbereitende Arbeiten durchgeführt. In diesem Dokument wird einerseits die Ausgangslage vorgestellt, andererseits die erledigten Arbeiten (namentlich vor allem das Hardware-Design) dokumentiert. Abgerundet wird die Dokumentation mit dem Stand der Arbeit und einem Ausblick auf die Bachelorthesis.

Studiengang: Elektro- und Kommunikationstechnik

Autoren: Oliver Buntschu

Betreuer: Andrea Ridolfi

Auftraggeber: BFH / Axiama

Datum: 18.05.2016

## Versionen

Version	Datum	Status	Bemerkungen
1.0.0	18.05.2016	aktuell	Erstversion

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Motivation . . . . .	1
1.2. Aufgabenstellung . . . . .	1
<b>2. Analyse der Ausgangslage</b>	<b>2</b>
2.1. Zentrale Plattform . . . . .	2
2.2. Bewegungssensor . . . . .	2
2.3. Positionsbestimmung . . . . .	3
2.4. User Interface . . . . .	3
2.5. Bedienungsphilosophie . . . . .	3
<b>3. Positionsbestimmung</b>	<b>4</b>
3.1. GNSS . . . . .	4
3.2. Distanzmessung . . . . .	4
3.3. Signalrichtungsmessung . . . . .	5
3.4. Vergleich . . . . .	6
<b>4. Systemplanung</b>	<b>7</b>
<b>5. Hardware-Design Ankermodul</b>	<b>8</b>
5.1. Power Management . . . . .	8
5.2. Intel Edison . . . . .	10
5.3. Distanzsensor DWM1000 . . . . .	12
5.4. Peripherie . . . . .	13
<b>6. Resultate</b>	<b>15</b>
6.1. Stand der Arbeit . . . . .	15
6.2. Pendenzen . . . . .	15
<b>7. Fazit und Ausblick</b>	<b>16</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>17</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>19</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>21</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>23</b>



# 1. Einleitung

## 1.1. Motivation

Im Zeitalter der Digitalisierung und dem bevorstehenden *Internet of things* (IoT) sind elektronische Geräte und Hilfsmittel allgegenwärtig. Auch im Leistungssport wird vermehrt auf technische Hilfsmittel zurückgegriffen, sei es zur Trainingsgestaltung oder zur Leistungsanalyse in Trainings und Wettkampf. Dabei sind neben den physiologischen Daten wie Herzfrequenz und Blutdruck vor allem auch Beschleunigungsdaten der Bewegungsabläufe von Interesse. Um diese Daten optimal auswerten zu können, ist eine Verknüpfung mit der Position des Athleten / der Athletin eine grosse Hilfe.

Das Projekt **Sensor Network in Sports** entsteht in Zusammenarbeit mit dem Start-Up-Unternehmen *Axiamo* und der eidgenössischen Hochschule für Sport in Magglingen / BASPO und hat insbesondere die Leichtathletik-Disziplin Hürdenlauf im Fokus. Das Ziel des Projektes ist es, die Bewegungsdaten des Athleten / der Athletin verknüpft mit der Position auf der Bahn zu erfassen. Dabei stehen primär die Positionen des Absprunghes und der Landung vor und nach einer Hürde im Zentrum. Die Firma Axiamo stellt mit dem vielseitigen Beschleunigungssensor Axiamote ein Produkt her, welches bestens zur Analyse der Bewegungen von Sportlern geeignet ist und beispielsweise zur Analyse im Laufsport verwendet werden kann. Die Erweiterung mit der Positionsbestimmung eröffnet ein weites Feld von zusätzlichen Einsatzmöglichkeiten.

## 1.2. Aufgabenstellung

Ziel ist es ein System zu entwerfen, implementieren und testen, welches Distanzen zwischen Athlet und Sportgerät, sowie die Bewegung des Athleten misst. Dies beinhaltet:

- Analyse und geschickte Kombination verschiedener Distanzmessmethoden.
- Programmierung / Konfiguration der Kommunikation zwischen den Sensormodulen.
- Programmierung des Embedded Linux Moduls für die Signalverarbeitung und Datentransfer.
- Test des Systems in Zusammenarbeit mit der eidgenössischen Hochschule für Sport in Magglingen / BASPO.

## 2. Analyse der Ausgangslage

Für das Projekt **Sensor Network in Sports** kann auf verschiedenen Vorarbeiten aufgebaut werden. Der Grossteil der bereits vorhandenen, im folgenden detaillierter beschriebenen Komponenten wurde von der Firma Axiomo evaluiert, entwickelt oder produziert.

### 2.1. Zentrale Plattform

Als zentrales Steuer- und Verarbeitungselement soll eine leistungsfähige, mobile Plattform dienen. Aufgrund ihrer hervorragenden Leistung bei gleichzeitig geringen Abmessungen ist vorgesehen mit der Entwicklungsplattform *Intel Edison* zu arbeiten. Das auf das IoT ausgelegte Modul zeichnet sich nebst dem darauf laufenden, integrierten Linux Betriebssystem vor allem durch ein breites Band an verfügbaren Kommunikationsschnittstellen aus. Noch nicht vorhanden ist eine entsprechende Hardwarekonfiguration (Print-Layout und Gehäuse), welche für das Projekt genutzt werden kann.

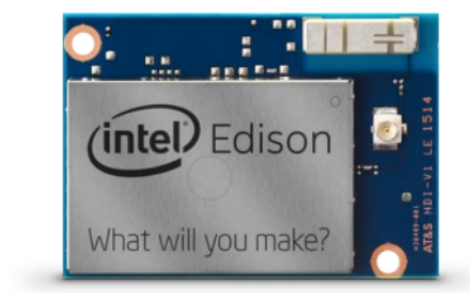


Abbildung 2.1.: IoT-Plattform Intel Edison [1]

### 2.2. Bewegungssensor

Zur Erfassung des Beschleunigungsprofiles kommt der Bewegungssensor *Axiomote x1* an erster Stelle infrage. Der Axiomote x1 erfasst 9-achsig sämtliche Bewegungsdaten mit hoher Genauigkeit und kann per USB oder Bluetooth angesteuert werden. In Zusammenhang mit der Software-Applikation (siehe 2.4) existiert bereits ein Algorithmus, um die Schritterkennung, respektive die Bodenkontaktzeit von Sprintern zu erhalten. Der Axiomote x1 ist ein abgeschlossenes Produkt, welches in seiner aktuellen Form eingesetzt werden kann.



Abbildung 2.2.: Bewegungssensor Axiamote x1 [2]

## 2.3. Positionsbestimmung

Für die Positionsbestimmung existieren verschiedene Verfahren. Darunter fallen GPS, Distanzmessungsprinzipien wie Time-of-flight (ToF) und Signal Strength, sowie die Triangulation ausgehend von Signalrichtungsmessungen, um nur einige zu nennen. Welche Technologien infrage kommen bzw. kombiniert werden könnten, wird in der Projektstudie abgeklärt (siehe Kapitel 3, Positionsbestimmung). Bereits evaluiert ist ein Sensor zur Distanzmessung, welcher auf dem ToF-Prinzip basiert. Das Sensormodul *DWM1000* der Firma DecaWave wurde bislang ausgehend von einer *Raspberry PI* Plattform angesteuert und getestet. Dabei konnten innerhalb von Gebäuden verschiedene Teststrecken zwischen zwei Modulen gemessen werden. Auch hier fehlt allerdings noch eine definitive Hardwarekonfiguration.

## 2.4. User Interface

Es existiert bereits eine plattformübergreifende Software-Applikation (Windows, Linux, Android) von Axiamo, welche zur Anzeige der Messdaten (im Rohformat oder verarbeitet) der Axiamote-Sensoren dient. Die Applikation ist in der Programmiersprache C++ unter dem Qt-Framework entwickelt und kann erweitert werden.

## 2.5. Bedienungsphilosophie

Die Bedienung erfolgt grundsätzlich über das User Interface der Software Applikation von Axiamo. Dabei dürfte üblicherweise ein Android-Device zum Einsatz kommen. Sobald die Sensorknoten geladen, montiert und eingeschaltet sind, soll keine Bedienung der Hardware mehr nötig sein.

## 3. Positionsbestimmung

Für die Positionsbestimmung wurden die Prinzipien Satelliten-Navigation (GNSS) und Triangulation basierend auf Distanz- oder Richtungsmessungen geprüft und verglichen. 3 Kriterien sind für die Wahl entscheidend:

1. Gewährleistung der Funktionalität  
Die gewählte Lösung muss unter verschiedenen Umgebungsbedingungen zuverlässig funktionieren. Darunter fallen beispielsweise der Einsatz in Gebäuden, aber auch auf Freiluft-Anlagen bei entsprechend wechselhaften meteorologischen Verhältnissen.
2. Entwicklungszeit  
Die Positionsbestimmung soll in einer relativ kurzen Zeit realisiert werden können.
3. Komplexität  
Die Technologie soll mit möglichst wenig zusätzlicher Hardware auskommen.

### 3.1. GNSS

Ein globales Navigationssatellitensystem (GNSS) ist ein System, welches durch den Empfang der Signale von Navigationssatelliten die Positionsbestimmung und Navigation sowohl auf der Erde als auch in der Luft ermöglicht. Darunter fallen neuere Systeme wie Galileo und Beidou, sowie die älteren Systeme, das russische GLONASS und am bekanntesten das US-amerikanische NAVSTAR-GPS (kurz GPS). Die Systeme werden oft unter dem Namen GPS zusammengefasst.

Die Positionsbestimmung bei GNSS erfolgt durch die Auswertung von Funksignalen ausgehend von Satelliten in der Stratosphäre. Dazu ist der Signalempfang von mindestens vier Satelliten nötig. Die Position der Satelliten in ihrem Orbit ist bekannt, aufgrund der Signal-Flugdauer kann die Position des Empfängers auf der Erde berechnet werden. Mit fortgeschrittenen Verfahren wie beispielsweise dem Differentiellen GPS (DGPS) kann eine Genauigkeit bis in den Zentimeterbereich erreicht werden.

#### **Vorteile**

Ein grosser Vorteil an der GNSS Technologie ist die Möglichkeit, die Positionsbestimmung mit einem Standalone-Modul durchzuführen. Es sind keine zusätzlichen Sensorknoten nötig, es existieren zahlreiche simple GNSS-Module. Weiter können direkt globale Positionsdaten und die Höhe über Meer verknüpft mit der Uhrzeit ausgelesen werden.

#### **Nachteile**

Der gewichtige Nachteil dieser Technologie liegt in der Verbindungsqualität. Obwohl jeweils zwischen 20 und 30 Satelliten in Betrieb sind, kann je nach meteorologischen Verhältnissen und der geografischen Lage der Betrieb erheblich beeinträchtigt werden. So ist die Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden, Häuserschluchten und Wäldern nur sehr schlecht oder gar nicht möglich.

### 3.2. Distanzmessung

Dieses Prinzip ermittelt die Position mithilfe eines Triangulationsverfahrens basierend auf Distanzmessungen zu Referenzpunkten (Ankerpunkte) mit bekannter Position. Um die Position bestimmen zu können, muss die Distanz zu mindestens drei Ankerpunkten gemessen werden. Die Distanzmessung kann dabei auf verschiedene Arten erfolgen.



### 3.2.1. Time-of-Flight

Die Time-of-Flight (ToF) Methode basiert auf Funktechnik. Dabei wird die bekannte Ausbreitungsgeschwindigkeit von Funksignalen im Raum ausgenutzt. Durch den gegenseitigen Austausch von Funksignalen mit Timestamps in den Nachrichten wird die Flugzeit gemessen und mit der folgenden Formel in die Distanz umgerechnet:

$$Distanz = Ausbreitungsgeschwindigkeit \cdot Flugzeit \quad (3.1)$$

Ein Sensormodul, welches das Time-of-Flight Prinzip implementiert, ist wie bereits erwähnt der DecaWave DWM1000, siehe 2.3.

#### **Vorteile**

Das Verfahren funktioniert sowohl in Gebäuden als auch ausserhalb zuverlässig. Dabei ist keine *Line of Sight (LOS)* nötig, es können im Optimalfall trotzdem Reichweiten von über 40m erreicht werden. Die ausführliche Evaluation des DWM1000 in früheren Arbeiten, was zu einer eher geringen Entwicklungszeit führt, ist ein weiterer grosser Vorteil.

#### **Nachteile**

Zusätzlich zum Bewegungssensor müssen die Ankerpunkte mit Hardware ausgestattet, respektive ein Ankermodul entwickelt werden.

### 3.2.2. Signal Strength

Hier handelt es sich um eine Abschätzung der Distanz, welche bereits in gängigen Kommunikationstechnologien wie WiFi und Bluetooth implementiert ist. Das Prinzip ist, dass die Distanz ungefähr proportional zu der Intensität des Empfangssignales ist. Dieser Zusammenhang ist aber alles andere als fix, da er von Hindernissen und Schwankungen der Verhältnisse beeinflusst wird.

$$Distanz \approx \text{Empfangene Signalstärke} \quad (3.2)$$

#### **Vorteile**

Die Signalstärken-Methode funktioniert grundsätzlich auch in Gebäuden, im Wald, etc. Zudem können bestehende Kommunikationsstandards eingesetzt werden.

#### **Nachteile**

Die teils starken Schwankungen der Signalstärke verunmöglichen den Einsatz als genaues Messmittel. Auch für diese Methode werden mehrere Ankermodule benötigt.

## 3.3. Signalrichtungsmessung

Auch in dieser Methode wird die Position mit einem Triangulationsverfahren ermittelt. Allerdings wird hier nicht die Distanz zu den Ankerpunkten verwendet sondern der Winkel, also die Richtung, aus welcher die Funksignale des Ankermoduls empfangen werden. Dieses Prinzip ist beispielsweise in der Luftfahrt weit verbreitet.

#### **Vorteile**

Zwar ist immer noch eine Triangulation nötig, aber im Vergleich zur Distanzmessung fällt die Berechnung der Distanz weg. Auch dieses Verfahren funktioniert in Gebäuden.

#### **Nachteile**

Die Elektronik zur Ermittlung des Signal-Einfallswinkel ist ziemlich komplex. Ebenfalls müssen zusätzliche Ankermodule eingesetzt werden.

### 3.4. Vergleich

Für die verschiedenen Verfahren zur Positionsbestimmung gibt es jeweils Vor- und Nachteile. Diese sind basierend aus den vorangehend definierten Kriterien in der Tabelle 3.1 aufgelistet.

Verfahren	K1 - Funktionalität	K2 - Entwicklungszeit	K3 - Komplexität
GNSS	Ungenügend	Nicht optimal	Sehr gut
Time-of-Flight	Gut	Sehr gut	Nicht optimal
Signal Strength	Ungenügend	Gut	Gut
Signalrichtung	Gut	Nicht optimal	Nicht optimal

Tabelle 3.1.: Vergleich der Verfahren zur Positionsbestimmung

Unter Berücksichtigung dieser Tatsachen wird die Positionsbestimmung in diesem Projekt mit dem Time-of-Flight Verfahren (Distanzmessung) durchgeführt. Entscheidend für die Wahl ist nebst der Funktionalität auch die rasche Entwicklungszeit, da mit dem DecaWave DWM1000 in Vorarbeiten bereits ein Modul evaluiert und getestet wurde. Dies bedeutet aber auch, dass zusätzliche Ankermodule eingesetzt werden müssen. Aufgrund der Integration der Signalstärkenmethode in gängigen Kommunikationstechnologien, ist eine Kombination damit durchaus denkbar. Allerdings kann dieses Verfahren nur eine Schätzung abgeben um eine leichte Redundanz zu erreichen.

## 4. Systemplanung

Für dieses Projekt stehen die bereits erwähnten Sensoren *Axiamote x1* und *DecaWave DWM1000*, sowie das Embedded-Linux-Modul *Intel Edison* im Einsatz. Das Sensornetzwerk wird aus drei verschiedenen Modulen bestehen:

1. Axiamote xPos  
Das mit der Distanzmessung erweiterte Axiamote-Sensor-Modul wird am Schuh des Athleten / der Athletin befestigt, entweder in einfacher oder zweifacher Ausführung (ein Fuss / beide Füße). Dieses Modul läuft im Akkubetrieb und antwortet auf Anfragen (Bewegungs- und Positionsdaten) von Ankermodulen.
2. Ankermodul  
Das Ankermodul bildet den Referenzpunkt zum Athleten und wird am Sportgerät (respektive am Spielfeldrand, etc.) montiert. Von diesem Modul werden in einem praktischen System typischerweise mehrere Exemplare eingesetzt. Auch das Ankermodul soll im Akkubetrieb funktionieren. Das Netzwerk der Ankermodule übernimmt zudem die Kommunikation mit dem Anzeigegerät. Ein Prototyp eines Ankermodules mit dem DWM1000 wurde ausgehend von einem Raspberry PI realisiert, nun wird auf Basis des Intel Edison ein neues Modul entwickelt. Mehr dazu im Kapitel 5, Hardware-Design Ankermodul.
3. Anzeigegerät  
Als Anzeige- und Bedienelement kommen je nach Belieben des Anwenders Androidgeräte (Smartphone, Tablet) oder Computer in Frage. Als Software kann die Axiamo-Applikation erweitert werden.

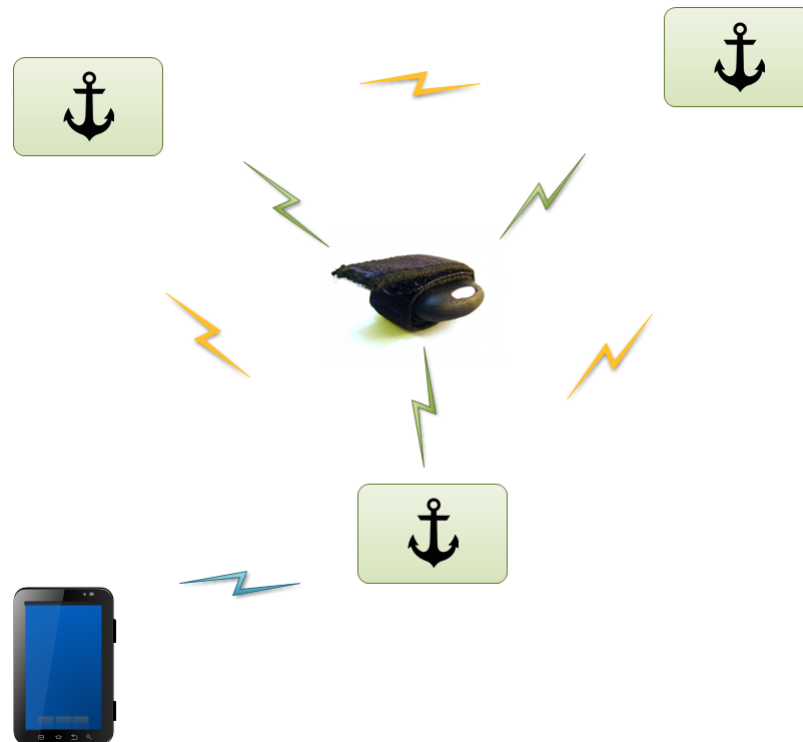


Abbildung 4.1.: Geplantes Sensor-Netzwerk

## 5. Hardware-Design Ankermodul

Der Entwurf der Ankermodul-Hardware drängte sich als erste Arbeit auf, da es keine befriedigenden Lösungen in Form eines Breakout-Boards für den Intel Edison gibt. Auf keinem der verfügbaren Entwicklungskits (von Intel und Sparkfun) sind die SPI-Pins herausgeführt, was die provisorische Erarbeitung der Distanzmessung mit dem DWM1000 (über SPI angesteuert) verunmöglicht.

Zwingende Komponenten auf dem Ankermodul sind der Intel Edison, der DWM1000 sowie ein Power-Management für den Akku-Betrieb. Um die Flexibilität für zukünftige Anwendungen zu gewährleisten werden möglichst viele Kommunikationsschnittstellen des Intel Edison zur Erweiterung herausgeführt. Weiter werden frei nutzbare Taster und Leds hinzugefügt, was nicht zuletzt die Firmware-Entwicklungsphase erleichtern soll. Zwei USB-Schnittstellen ermöglichen nebst dem Laden des Akku auch die *On-the-go* (OTG) Funktionalität und die gleichzeitige Verfügbarkeit der Linux-Konsole.

### 5.1. Power Management

Unter das Power Management fallen verschiedene Aufgaben und Komponenten. An oberster Stelle steht die stetige Gewährleistung der verschiedenen Betriebsspannungen für die Module und die Peripherie. Die Energieversorgung kann ab USB, DC-Adapter oder Akku erfolgen. Der Akku erfordert eine abgestimmte Ladeschaltung und soll auch überwacht werden können.

#### 5.1.1. Akku

Für den Akku wird aufgrund des guten Masse-Leistungs-Verhältnis die Lithium-Polymer-Technologie gewählt. Dabei handelt es sich um eine Ausführung des Lithium-Ionen-Akkus, welche unter anderem im Modellbau und der Unterhaltungselektronik zum Einsatz kommen. Da Lithium-Polymer-Akkus elektrisch relativ empfindlich sind (Überladung, Tiefentladung), ist eine spezielle Lade- / Schutzschaltung nötig (siehe 5.1.2). Die geforderte minimale Betriebsdauer des Ankermodules liegt bei 2.5 Stunden. Dies reicht aus, um sowohl eine etwas längere Trainingseinheit aber auch beispielsweise ein Fussballspiel abzudecken. Angestrebt wird jedoch eine Akkulaufzeit von rund 12 Stunden.

Bei der Dimensionierung des Akkus wird von folgenden Stromverbrauchswerten ausgegangen, dabei handelt es sich um eine grobe Abschätzung und nicht um eine genaue, auf Tests gestützte Berechnung:

Bereich	Stromverbrauch	Bemerkung
Intel Edison	200mA	Maximalwert aus Hardware Guide ([3], s. 10)
DWM1000	30mA	Erklärung und Berechnung in Gleichung 5.1
Peripherie	170mA	9 Leds ab 3V3
Total	400mA	

Tabelle 5.1.: Grobe Abschätzung der Stromaufnahme

Für die Stromaufnahme des DWM1000 gilt, gestützt auf Spezifikationen aus dem Datenblatt ([4], s. 12):

$$I_{DWM1000} \approx I_{IDLE} + (I_{RXTX,MAX} \cdot \eta) = 13.4mA + (160mA \cdot 10\%) \approx 30mA \quad (5.1)$$

Die Auslastung der Funkkommunikation ( $\eta$ ) ist dabei eine Abschätzung. Von den Leds (genauer beschrieben unter 5.4.1) wird angenommen, dass bei Akkubetrieb im Schnitt maximal 9 Stück (1x Betriebsled, 3x RGB, 3x GPIO, 1x DecaWave, 1x UART) aktiv sind und mit knapp 20mA auskommen. Noch nicht berücksichtigt ist hier die Funktion als speisender USB-Host.

Aufgrund des totalen Stromverbrauches und der angestrebten Betriebsdauer resultiert folgende Berechnung für die Kapazität des Akkus:

$$Q = I \cdot t = 400mA \cdot 12h = 4800mAh \quad (5.2)$$

Der Akku wird beim Shop [www.lipopower.de](http://www.lipopower.de) bezogen, auf Basis der Berechnungen wurde eine Einzelzelle mit 3.7V Nennspannung und einer Kapazität von 4000mAh gewählt (ArtikelNr: 7.040.0-11\_55). Dessen Kapazität liegt zwar etwas unter dem berechneten Wert, allerdings bezieht sich dieser auch auf den erwarteten Maximalstrom. Zur Kontrolle wird mit dem absoluten Minimalwert für die Laufzeit zurückgerechnet:

$$I = Q/t = 4000mAh/2.5h = 1600mA \quad (5.3)$$

Die so möglichen 1.6A dürften selbst mit der Funktion als USB-Host und voller Auslastung nur schwer zu erreichen sein, somit ist die Akku-Kapazität in Ordnung, wenn auch eher an der oberen Grenze. Da der Akku aber nicht fix im Ankermodul verlötet wird, ist es durchaus auch möglich kleinere oder grössere Akkus anzuschliessen.

### 5.1.2. Ladeschaltung

Als zentrales Bauteil der Ladeschaltung ist der Dual-Input, Linear-Laderegler MAX8934E im Einsatz. Dieser übernimmt einerseits die kontrollierte Ladung des LiPo-Akku, zeichnet sich andererseits durch ein geschicktes PowerPath-Management aus.

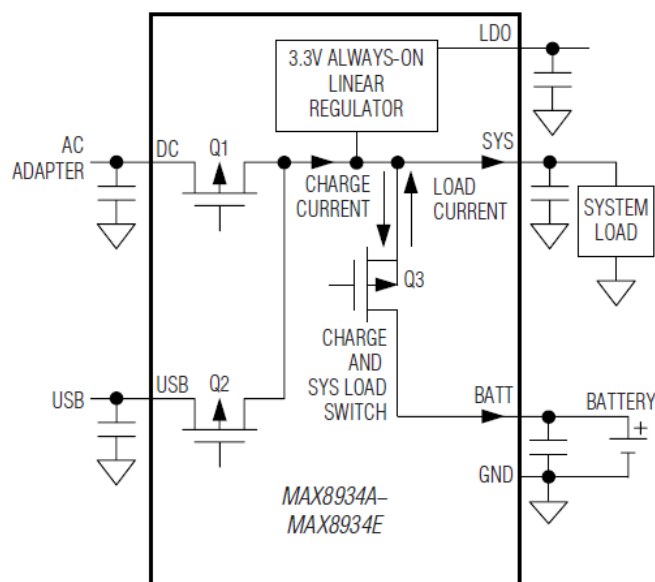


Abbildung 5.1.: Blockscheema Laderegler ([5], s. 1)

Als Eingangsspannungsquelle kann sowohl ein DC-Adapter (4.1 - 6.6 Volt) oder eine USB-Schnittstelle fungieren. Daraus wird die fix geregelte Systemspannung von 4.35V generiert. Mit der über den Systembedarf hinaus vorhandenen Energie wird der Akku geladen. Ist keine der beiden Quellen angeschlossen wird das System ab dem Akku gespeist. Weitere Features wie beispielsweise die Überwachung der Akkutemperatur oder der Ladedauer werden nicht genutzt, sind aber zur späteren Nutzung teilweise implementiert. Drei Leds signalisieren den Betriebszustand (ext. Betriebsspannung OK, Akku wird geladen, System in Betrieb), siehe dazu 5.4.1. Die vollständige Konfiguration und Pinbelegung des MAX8934E kann dem Schema und dem Datenblatt ([5], s. 14) entnommen werden.

Zwischen dem Laderegler und dem Akku ist zusätzlich ein PowerGauge-Chip (LTC2941-1) verbaut. Dieser misst mittels eingebautem Präzisions-Coulombzähler den Ladestrom und berechnet so den aktuellen Ladestand des Akkus. Angesteuert respektive ausgelesen wird der LTC2941-1 per I2C ab dem Intel Edison.

### 5.1.3. Systemspannungen

Auf dem Ankermodul existieren nebst der Akkuspannung verschiedene weitere Spannungen, Tabelle 5.2 bietet eine Übersicht.

Bezeichnung	Spannungswert	Testpunkt	Quelle	Bemerkung
$V_{SYS}$	4.35 V	TP3	Laderegler	Betriebsspannung Intel Edison
$V_{BAT}$	ca. 3.7 V	TP2	Akku	Akkuspannung, Ladespannung: 4.2 V
$V_{CHG}$	5 V	TP1	USB Port	Ladespannung USB
$V_{DC}$	4.1 - 6.6 V	J1	DC Adapter	Ladespannung DC
$V_{5V}$	5 V	TP4	Boost Converter	USB Spannung (auch bei Akkubetrieb)
$V_{3V3}$	3.3 V	TP5	Buck Converter	Betriebsspannung DWM1000
$V_{1V8}$	1.8 V	TP6	Intel Edison	Logik-Level Intel Edison
$V_{LDO}$	3.3 V	-	Laderegler	Unterstützende Spannung

Tabelle 5.2.: Übersicht der verschiedenen Systemspannungen

## 5.2. Intel Edison

Der Intel Edison ist das zentrale Bauteil des Ankermoduls, in Sachen Hardware-Design allerdings nichts Besonderes. Der Edison ist ein komplettes Modul, welches vereinfacht gesagt nur mit Energie versorgt werden muss, die Kommunikationsschnittstellen WiFi und Bluetooth sind mitsamt der Antenne bereits ins Modul verbaut. Nebst der Spannungsversorgung ist vor allem essentiell, welche Signale, Schnittstellen und Peripherie an welchen Pins angeschlossen werden. In den Tabellen 5.3 - 5.5 ist die Pinbelegung des Anschluss-Steckers ersichtlich. Die angeschlossene Peripherie ist im Kapitel 5.4 beschrieben, die komplette Pinbelegung und die Spezifikationen sind im Datenblatt ([6], s. 14) und im erstellten Schema (im Anhang) ersichtlich.

Bezeichnung	Pin	Funktion	Bemerkung
DCIN	14	Input, Spannung ab Akku oder DCIN	
PWRBTN	17	Power Button / Sleep (Low-aktiv)	
GP15	42	-> Power Gauge, AL/CC	
GP81	70	-> Laderegler, Ladevorgang aktiv	
GP82	64	-> Laderegler, Laden abgeschlossen	
GP165	25	-> Boost Converter, USB 5V Enable	
USB ID	3	USB OTG ID Pin	
USB DP	16	USB OTG D+	
USB DM	18	USB OTG D-	
USB VBUS	20	USB OTG Power Input	
FAULT	19	USB OTG Power Fault Input	
PSW	21	USB OTG Power Output Enable	
GP134	22	USB UART RX -> FTDI Chip	
GP135	27	USB UART TX -> FTDI Chip	

Tabelle 5.3.: Pinbelegung Intel Edison, Power Management und USB

Bezeichnung	Pin	Funktion	Bemerkung
GP129	63	UART CTS	Permanent Logic High
GP130	61	UART RX -> USART TX (TP103)	Level Shift -> 3V3
GP131	46	UART TX -> USART RX (TP102)	Level Shift -> 3V3
GP19	41	I2C 1 SCL -> Power Gauge / TP104	Level Shift -> 3V3
GP20	43	I2C 1 SDA -> Power Gauge / TP105	Level Shift -> 3V3
GP27	45	I2C 6 SCL (TP106)	Level Shift -> 3V3
GP28	47	I2C 6 SDA (TP107)	Level Shift -> 3V3
GP109	55	SPI CLK -> DWM1000 / TP109	Level Shift -> 3V3
GP110	53	SPI CS0 -> NC	
GP111	51	SPI CS1 -> DWM1000 / TP108	Level Shift -> 3V3
GP114	59	SPI MISO -> DWM1000 / TP111	Level Shift -> 3V3
GP115	57	SPI MOSI -> DWM1000 / TP110	Level Shift -> 3V3
GP40	52	-> DWM1000, EXTON	Level Shift -> 3V3
GP41	54	-> DWM1000, WAKEUP	Level Shift -> 3V3
GP42	50	-> DWM1000, RSTn	Level Shift -> 3V3
GP43	56	-> DWM1000, IRQ	Level Shift -> 3V3

Tabelle 5.4.: Pinbelegung Intel Edison, weitere Schnittstellen

Bezeichnung	Pin	Funktion	Bemerkung
GP77	60	-> GPIO 1 (TP100)	Level Shift -> 3V3
GP78	58	-> GPIO 1 (TP101)	Level Shift -> 3V3
GP79	62	-> Enable Level Shifter 1	
GP80	66	-> Enable Level Shifter 2	
GP12	35	-> D20, RGB-LED, Green	FET-Driver
GP13	33	-> D20, RGB-LED, Red	FET-Driver
GP182	37	-> D20, RGB-LED, Blue	FET-Driver
GP44	24	-> D40, LED, Green	FET-Driver
GP45	26	-> D41, LED, Orange	FET-Driver
GP46	28	-> D42, LED, Red	FET-Driver
GP47	30	-> S30, Push Button	
GP48	32	-> S31, LED, Orange	
GP49	34	-> S32, LED, Red	

Tabelle 5.5.: Pinbelegung Intel Edison, diverse Peripherie

### 5.3. Distanzsensor DWM1000

Wie beim Intel Edison handelt es sich auch beim Sensor der Firma DecaWave um ein komplettes Modul. Die Ansteuerung erfolgt primär über die SPI-Schnittstelle, zur erweiterten Kontroll-Option (beispielsweise um den Sleep Mode zu nutzen) sind aber auch die Signale *EXTON*, *WAKEUP* und *IRQ* zum Host Controller, sprich dem Edison, geführt. Etwas spezieller ist die Situation beim Reset-Anschluss *RSTn*. Dieser wird bei einem Software-Reset auch intern beeinflusst und darf daher (wie in Abbildung 5.2 ersichtlich) extern von einem Open-Drain Treiber nur auf *Logic Low*, nicht aber auf *Logic High* gezogen werden. Von den frei belegbaren Input/Output-Pins wird nur die Led-Option von den GPIO's 0-3 verwendet. Die Leds geben visuelles Feedback zur Funkkommunikation des Modules. Für genauere Informationen kann das DW1000 User Manual ([7], s. 125) konsultiert werden, einen Überblick über verschiedenen Leds auf dem Ankermodul findet sich im Kapitel 5.4.1.

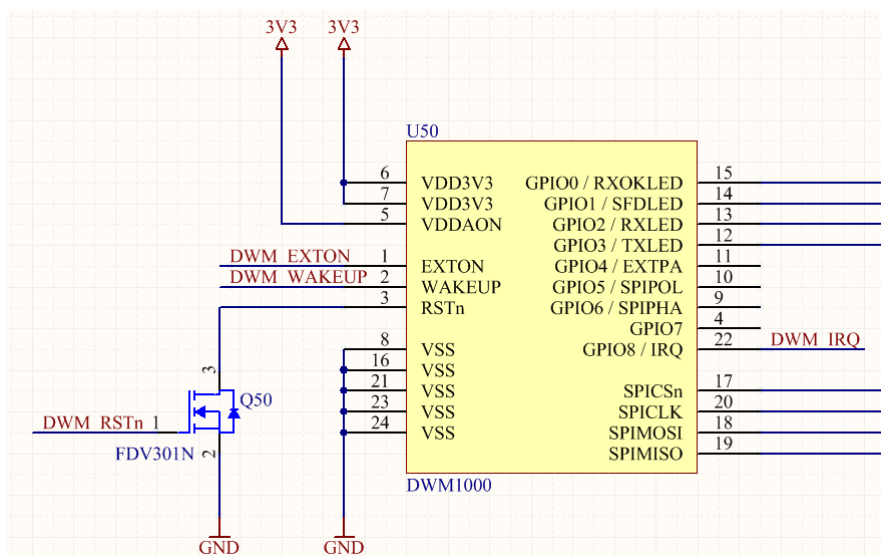


Abbildung 5.2.: Schema-Auszug DWM1000



## 5.4. Peripherie

### 5.4.1. Leds

Auf dem Ankermodul sind verschiedene Leds verbaut, welche entweder den Systemstatus signalisieren, Datentransfer der Kommunikationsschnittstellen signalisieren oder zu Debugging-Zwecken, respektive zur späteren zusätzlichen Nutzung frei belegbar sind. Die folgende Tabelle bietet eine Übersicht von Farbe und Funktion der verschiedenen Leds:

Bereich	Bezeichner	Farbe	Funktion
Power Management	D1	Grün	Externe Speisespannung angelegt
Power Management	D2	Rot	Akku wird geladen
Power Management	D3	Blau	Betriebsled Ankermodul
Power Management	D4	Rot	Power Fail 3V3 Spannung
Schnittstellen	D5	Gelb	USB UART RX
Schnittstellen	D6	Orange	USB UART TX
Peripherie	D20	RGB	Freie Verwendung
Peripherie	D40	Grün	Freie Verwendung
Peripherie	D41	Orange	Freie Verwendung
Peripherie	D42	Rot	Freie Verwendung
Distanzmessung	D50	Grün	DWM1000 RX OK
Distanzmessung	D51	Rot	DWM1000 SFD
Distanzmessung	D52	Gelb	DWM1000 RX
Distanzmessung	D53	Orange	DWM1000 TX

Tabelle 5.6.: Überblick der verbauten Leds

### 5.4.2. Taster

Ebenfalls zur Erweiterung und zu Debugging-Zwecken sind drei frei verwendbare Taster (*S30*, *S31*, *S32*) auf dem Ankermodul vorhanden. Zusätzlich ist mit dem *PWRBTN* ein Power-/Sleep-Taster für den Intel Edison verbaut. Für die genaue Funktionsbeschreibung wird hier auf das Datenblatt ([6], s. 36) verwiesen.

### 5.4.3. USB

Die zwei Micro USB Anschlüsse des Ankermoduls erfüllen unterschiedliche Zwecke. Der Anschluss *USB Charge / UART* (J3) wird verwendet, um den Akku des Ankermoduls per USB zu Laden, respektive das Ankermodul direkt ab USB zu betreiben. Weiter ist dieser Anschluss über einen *USB-to-UART*-Chip mit dem Intel Edison verbunden, was das Übertragen der Konsole des integrierten Linux-Systems auf einen externen Computer möglich macht. Diese Funktion ist vor allem in der Entwicklungsphase enorm hilfreich.

Am zweiten Anschluss, *Edison USB OTG Port* (J4), kann der Akku **nicht** geladen werden. Auf dem Ankermodul wird dafür eine 5V Spannung generiert, welche die Funktion als USB-Host für diesen Anschluss ermöglicht, der dazu verwendete Boost Converter kann per GPIO vom Intel Edison gesteuert werden (*V USB EN*, GP165, siehe Tabelle 5.3). Der Ausgangsstrom für diesen Anschluss wird auf maximal 1 Ampère limitiert. An diesem Port wird USB *On-the-go* unterstützt.

#### 5.4.4. Weitere Schnittstellen

Zur späteren Nutzung werden sämtliche Schnittstellen (mit Ausnahme des USB UART) vom Intel Edison auf Trough-Hole Testpunkte geführt. Durch Bestücken von Stiftleisten können die Schnittstellen so bequem abgegriffen werden. Speziell gelöst ist die Widerstandskonfiguration bei den SPI- (Abbildung 5.3) und I2C- (Abbildung 5.4) -Schnittstellen. Beim SPI kann mit den Widerständen R105 und R106 gewählt werden, welches der internen Interfaces als Chip Select genutzt wird. Der Grund dafür sind Edison-interne Probleme mit den beiden Interfaces. Weiter können mit den Widerständen R101 bis R104 die *MISO/MOSI* Leitungen gekreuzt werden, je nachdem ob der Edison als SPI-Master oder -Slave fungieren soll. Beim I2C kann mit den Widerständen R114 bis R117 gewählt werden, ob und wenn ja welches der beiden Interfaces für den Power-Gauge-Chip benutzt wird. Es sind hier aber beide Interfaces über den Level-Shifter herausgeführt.

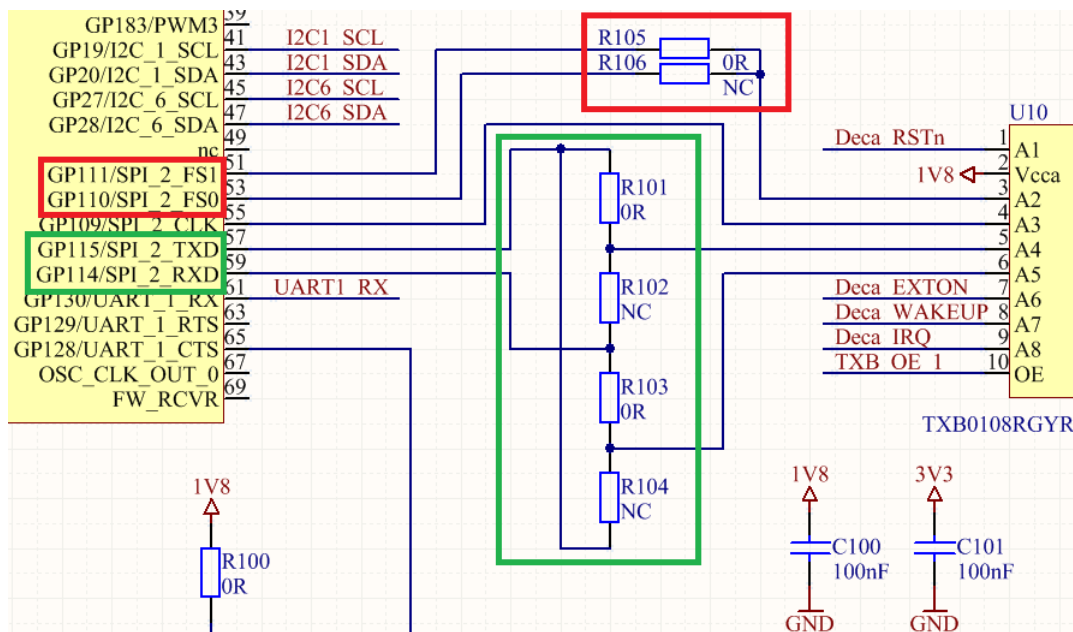


Abbildung 5.3.: Schema-Auszug SPI Konfiguration

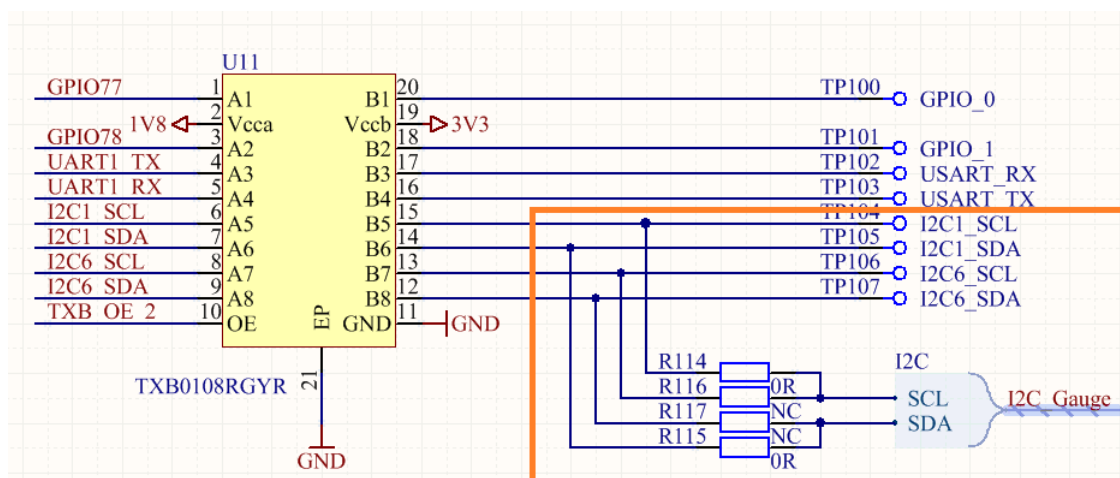


Abbildung 5.4.: Schema-Auszug I2C Konfiguration

## 6. Resultate

### 6.1. Stand der Arbeit

Per Ende der Projektstudie präsentiert sich der Stand der Arbeit im Projekt **Sensor Network in Sports** wie folgt:

#### **Projektplanung**

Nebst der Terminplanung für die Projektstudie wurden auch für den weiteren Projektverlauf mögliche Arbeitsschritte grob geplant, diese müssen aber sicher noch angepasst werden. Relativ klar ist derweil die Planung des Systems (siehe 4), auch wenn es im Verlaufe der Bachelorthesis mit den Erfahrungen der Arbeit natürlich noch Änderungen geben kann.

#### **Positionsbestimmung**

Auch wenn dank der vorgängigen Evaluierung des Distanzsensors von DecaWave die Richtung schon stark vorge-spurt war, konnte die Time-of-flight Methode als Mittel zur Positionsbestimmung bestätigt werden. Die Möglichkeit zur Kombination mit der Signalstärken-Annäherung kann in der Bachelorthesis noch genauer geprüft werden.

#### **Hardware-Design Ankermodul**

Betreffend Hardware-Design fürs Ankermodul konnten sämtliche Komponenten ausgewählt und als Library-Elemente im Altium Designer mit Supplier-Infos und den Footprints sauber hinterlegt werden. Auf dieser Basis konnte das Schema des Ankermoduls komplett entwickelt werden. Der nächste grosse Schritt wird hier das PCB-Layout sein. Es ist allerdings nicht ausgeschlossen, dass im Laufe dieses Designs noch gewisse Details im Schema zugunsten einfacherem Layout ändern könnten.

### 6.2. Pendenzen

Folgende Pendenzen sind nach der Projektstudie offen:

1. Projektplanung  
Die Termin- und Zielplanung muss den neuen Erkenntnissen und dem Fortschritt aus der Projektstudie angepasst werden.
2. Hardware-Design Ankermodul  
Nach einem abschliessenden Schema-Review muss das PCB-Layout erstellt und abgeschickt werden. Nach dem Eintreffen vom PCB und den Bauteilen muss mindestens ein Prototyp gefertigt und getestet werden.
3. Distanzmessung mit dem Ankermodul  
Basierend auf der Vorarbeit mit dem Raspberry PI muss die API für den DecaWave-Distanzsensor für den Intel Edison angepasst und die Distanzmessung getestet werden.
4. Konfiguration des Netzwerks  
Die Kommunikation zwischen mehreren Ankermodulen muss geplant und realisiert werden.
5. Erweiterung der Axiomo-Applikation

## 7. Fazit und Ausblick

Zwar konnte nicht wie ursprünglich geplant das gesamte Hardware-Design des Ankermoduls innerhalb der Projektstudie realisiert werden. Dennoch wurde mit der Erarbeitung des Schemas eine gute Grundlage für die Hardware erschaffen. Dabei darf nicht vergessen werden, dass die Anforderungen ans Ankermodul im Verlaufe der Studie gewachsen sind. Mit der erstellten Planung sollte ein guter Einstieg in die Bachelorthesis ermöglicht sein.

Die Bachelorthesis knüpft im Anschluss an die Projektstudie nahtlos an den aktuellen Stand der Arbeit an und orientiert sich an den oben beschriebenen Pendenzen.

# Literaturverzeichnis

- [1] Mobilelinuxnews. Image intel edison. [Online]. Available: <http://www.mobilelinuxnews.com/wp-content/uploads/2014/09/Intel-Edison.png>
- [2] Axiomo. Image axiamote x1. [Online]. Available: [http://www.axiomo.com/wp-content/uploads/2015/07/Sensor\\_with\\_strap-510x383.jpg](http://www.axiomo.com/wp-content/uploads/2015/07/Sensor_with_strap-510x383.jpg)
- [3] *Intel Edison Breakout Board - Hardware Guide*, Intel Corporation, Jan. 2015.
- [4] *DWM1000 Datasheet*, Decawave Ltd, 2015.
- [5] *MAX8934 Datasheet*, Maxim Integrated, Jan. 2014.
- [6] *Intel Edison Compute Module - Hardware Guide*, Intel Corporation, Jan. 2015.
- [7] *DW1000 User Manual*, Decawave Ltd, 2016.



# Abbildungsverzeichnis

2.1. IoT-Plattform Intel Edison [1] . . . . .	2
2.2. Bewegungssensor Axiamote x1 [2] . . . . .	3
4.1. Geplantes Sensor-Netzwerk . . . . .	7
5.1. Blockschema Laderegler ([5], s. 1) . . . . .	9
5.2. Schema-Auszug DWM1000 . . . . .	12
5.3. Schema-Auszug SPI Konfiguration . . . . .	14
5.4. Schema-Auszug I2C Konfiguration . . . . .	14

Sämtliche Abbildungen ohne Quellenangabe wurden selbst erstellt.





# Tabellenverzeichnis

3.1. Vergleich der Verfahren zur Positionsbestimmung . . . . .	6
5.1. Grobe Abschätzung der Stromaufnahme . . . . .	8
5.2. Übersicht der verschiedenen Systemspannungen . . . . .	10
5.3. Pinbelegung Intel Edison, Power Management und USB . . . . .	11
5.4. Pinbelegung Intel Edison, weitere Schnittstellen . . . . .	11
5.5. Pinbelegung Intel Edison, diverse Peripherie . . . . .	12
5.6. Überblick der verbauten Leds . . . . .	13



# A. Anhang

In Ergänzung zu dieser Dokumentation werden sämtliche Unterlagen wie z.B. das erstellte Hardware-Schema und verschiedene Datenblätter mitgeliefert.

## Hardware Design (Stand 09.05.16)

- AnchorBoard_Schematic_01_Power.pdf	PDF Schema Ankermodul, Power Part
- AnchorBoard_Schematic_02_Edison.pdf	PDF Schema Ankermodul, Processor Part
- AnchorBoard_Schematic_01_Power.SchDoc	Schema Ankermodul, Power Part
- AnchorBoard_Schematic_02_Edison.SchDoc	Schema Ankermodul, Processor Part
- AnchorBoard.SchLib	Schematic Library Ankermodul
- AnchorBoard.PcbLib	PCB Library Ankermodul

## Unterlagen Intel Edison

- IntelEdison_HardwareGuide_004.pdf	Hardware Guide - Intel Edison Compute Module
- IntelEdison_BreakoutBoard_HardwareGuide_006.pdf	Hardware Guide - Intel Edison Breakout Board

## Unterlagen Decawave

- DWM1000_DataSheet_v1_3.pdf	Datenblatt DWM1000
- DW1000_UserManual_v2_07.pdf	User Manual DW1000

## Weitere Datenblätter

- MAX8934_DataSheet_Rev3.pdf	Datenblatt MAX8934
------------------------------	--------------------