

BACHELORARBEIT

Möglichkeiten zur Einbindung von Single Board Computer in ein bestehendes Fertigungsumfeld

durchgeführt am
Studiengang Informationstechnik & System-Management
an der
Fachhochschule Salzburg GmbH

vorgelegt von
Michael Pfnür



Studiengangsleiter: FH-Prof. DI Dr. Gerhard Jöchl
Betreuer: FH-Ass. Prof. Dipl. Phys. Judith Schwarzer

Salzburg, Mai 2016

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Michael Pfnür, geboren am 22.Mai 1981, dass die vorliegende Bachelorarbeit von mir selbstständig verfasst wurde. Zur Erstellung wurden von mir keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet.

Salzburg, am 15.05.2016



Michael Pfnür

1310555048

Matrikelnummer

Allgemeine Informationen

Vor- und Zuname:	Michael Pfnür
Institution:	Fachhochschule Salzburg GmbH
Studiengang:	Informationstechnik & System-Management
Titel der Bachelorarbeit:	Möglichkeiten zur Einbindung von Single Board Computer in ein bestehendes Fertigungsumfeld
Schlagwörter:	KEYWORD 1, KEYWORD 2, KEYWORD 3, KEYWORD 4, KEYWORD 5
Betreuer an der FH:	FH-Ass. Prof. Dipl. Phys. Judith Schwarzer

Abstract

Abstract

Danksagung

Zunächst möchten ich mich an dieser Stelle bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Ganz besonders danken möchten ich in erster Linie meiner Betreuerin, Frau FH-Ass. Prof. Dipl. Phys. Judith Schwarzer, für ihre ausgiebige Unterstützung. Durch stetiges Hinterfragen und konstruktive Kritik verhalf sie mir zu einer durchdachten Herangehensweise und Umsetzung. Dank ihrer Erfahrung konnte sie mich immer wieder bei meinen Recherchen und bei meinen Fragen unterstützen. Vielen Dank für Zeit und Mühen, die Sie in meine Arbeit investiert haben.

Auch möchten ich mich bei der Robert Bosch AG für die gegebene Möglichkeit dieses Projekt durchzuführen, sowie für das dazu benötigte Equipment, welches zur Verfügung gestellt wurde bedanken.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Listingverzeichnis	8
1 Einleitung	9
2 Theoretischer Teil	10
2.1 Begriffsdefinition	10
2.2 Vergleich von verschiedenen SBC	11
2.3 Raspberry Pi 3	13
2.3.1 Allgemeine technische Daten	13
2.3.2 GPIO-Kontakte	14
2.4 Bussysteme	16
2.4.1 1-Wire	16
2.4.1.1 Allgemeine Informationen	16
2.4.1.2 Übertragungsprotokoll	17
2.4.2 I ² C-Bus	18
2.4.2.1 Allgemeine Informationen	18
2.4.2.2 Definierte Zustände und Adressierung	18
2.4.2.3 Übertragungsprotokoll	20
3 Praktischer Teil	22
3.1 Benötigte Materialien	22
3.2 Temperaturmessung mit Sensor DB18S20	24
3.3 Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmessung mit HTY221	24
3.4 Vibrationsmessung mit Sensor BMA020	24
4 Zusammenfassung und Ausblick	25
Literatur	26

Abkürzungsverzeichnis

SPI Serial Peripheral Interface

SBC Single Board Computer

I²C Inter-Integrated Circuit

CAN Controller Area Network

RPI Raspberry Pi

BLE Bluetooth Low Energy

CSI Camera Serial Interface

DSI Display Serial Interface

GPIO General Purpose Input / Output

TWI Two-Wire-Interface

Abbildungsverzeichnis

2.1	Raspberry Pi 3 [1]	14
2.2	GPIO-Header [2]	15
2.3	Bedingung für gültiges Bit auf Datenleitung [3, S. 9]	19
2.4	START, STOP Bedingung Inter-Integrated Circuit (I ² C) [3, S. 9] . . .	19
2.5	Erstes Byte nach Start Bedingung I ² C [3, S. 13]	20
2.6	Datentransfer I ² C Bus [3, S. 13]	21
3.1	elektische Daten DB18S20 [4, S. 2]	23
3.2	elektische Daten DB18S20 [5]	23

Tabellenverzeichnis

2.1	Vergleich OS, RAM, CPU verschiedener SBCs	12
2.2	Vergleich Schnittstellen, Netzwerkverbindung, Anzahl GPIO Pins . . .	12
2.3	Befehle bei 1-Wire [6, S. 35]	17
3.1	benötigte Materialien	22

Listings

1 Einleitung

Ein häufig verwendetes Schlagwort heutzutage wenn über die industrielle Produktion gesprochen wird ist **Industrie 4.0**. Damit ist vornehmlich gemeint, dass viele Abläufe vollautomatisiert von statten gehen. Egal ob dies in der Produktion selbst, in der Logistik, bei der Materialbestellung oder auch beim Versand der Fall ist. Um diese Anforderungen zu bewerkstelligen werden immer neuere Technologien eingesetzt, in diesen Zusammenhang werden Produkte wie Kleinstrechner, sogenannte **Single Board Computer (SBC)** von immer größeren Interesse. Beispiele hierfür sind der „**Raspberry Pi**“ oder auch der „**Banana Pi**“, um nur einmal zwei der bekanntesten zu nennen. Es gibt allerdings auch noch eine Vielzahl anderer Produkte von SBCs auf dem Markt.

Die Aufgabe dieser Arbeit bestand darin, die Möglichkeiten für einen Einsatz von solchen SBCs in einem bestehenden Produktionsumfeld zu erproben. Der Bereich für den Einsatz erstreckt sich von der Temperaturmessung in den einzelnen Maschinen einer Produktionslinie bis hin zur Temperaturmessung in Schaltschränke oder Serverräumen um etwaige zu hohe Temperaturen frühzeitig erkennen zu können und diesen entgegenzuwirken. Weiterhin sollten auch noch Möglichkeiten für den Einsatz von Feuchtigkeitssensoren oder Vibrationssensoren erarbeitet werden, um z.B. Aussagen über die Schwingungsbelastung von nahegelegenen vielbefahrenen Zugstrecken und deren eventuelle Auswirkung auf die Produktion tätigen zu können. Ein weiterer zu erarbeitender Punkt war unterschiedliche Möglichkeiten zu testen, um die von den Sensoren gelieferten Daten effektiv zu speichern und aufzubereiten.

Die Arbeit ist folgendermaßen gegliedert. In Kapitel zwei werden einige der sich auf dem Markt befindenden SBCs miteinander verglichen um deren Vor- und Nachteile darzulegen und die bestmögliche Variante für die gegebenen Anforderungen auswählen zu können. Weiterhin werden die in den folgenden Kapiteln verwendeten Fachbegriffe erklärt, um diese zu verstehen. Auch werden die im späteren Verlauf verwendeten Bussysteme zur Übertragung der Daten vom Sensor an den Single Board Computer erläutert, sowie dessen Übertragungsprotokolle. Im dritten Kapitel dem praktischen Teil werden die verschiedenen Schaltungen von unterschiedlichen Sensoren, sowie den unterschiedlichen Möglichkeiten zur Speicherung und Visualisierung der Daten dargestellt. Dabei wird vor allem auf die Datenspeicherung mittels **mySQL** und mit dem **RRDTool** eingegangen. Im letzten, den vierten Kapitel werden die zuvor erlangten Ergebnisse noch einmal zusammengefasst und ein Ausblick auf die Verwendung von SBCs in den verschiedenen Einsatzbereichen für die Zukunft gegeben.

2 Theoretischer Teil

Dieses Kapitel befasst sich mit den theoretischen Grundlagen, die für den Einsatz von SBCs zur Datenerfassung mittels verschiedenen Sensoren nötig sind. In Abschnitt 2.1 werden die im weiteren Verlauf der Arbeit verwendeten Fachbegriffe erläutert, um die beschriebenen Zusammenhänge gut zu verstehen. Der Abschnitt 2.2 behandelt die unterschiedlichen sich auf dem Markt befindenden SBCs mit ihren jeweiligen Vor- bzw. Nachteilen. Die verschiedenen Bussysteme wie z.B. der I²C Bus werden in Abschnitt 2.4 erklärt und deren Funktionsweise erläutert.

2.1 Begriffsdefinition

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Definitionen wurden, soweit nicht anders angegeben aus folgendem Dokument entnommen [6].

Single Board Computer

Unter einem *Single Board Computer* (SBC) versteht man ein Computersystem, welches sich komplett auf einer einzigen Platine befindet. SBCs können fast die gleichen Aufgaben erledigen wie gewöhnliche Computer, allerdings sind die Einplatinen Rechner diesen in Hinblick auf die Hardwareausstattung doch um einiges unterlegen.

Bussysteme

Bussysteme sind Systeme, die verwendet werden zur seriellen Datenübertragung zwischen einen oder mehreren Komponenten. Beispiele hierfür sind der I²C Bus, der Serial Peripheral Interface (SPI) Bus oder auch der Controller Area Network (CAN) Bus. Eine genauere Beschreibung der Bussysteme folgt in Abschnitt 2.4.

Raspberry Pi

Der *Raspberry Pi* (RPI) ist ein SBC, der von der britischen *Raspberry Pi Foundation* aus Komponenten von Android-Smartphones entwickelt wurde.

Raspbian

Raspbian ist ein Betriebssystem, welches auf der Linux Distribution Debian basiert und speziell auf den Raspberry Pi angepasst wurde.

RRDTool

Das *RRDTool* ist ein Programm, mit dem man Round-Robin Datenbanken erstellen kann. Diese Datenbanken eignen sich besonders gut für die Aufzeichnung von zeitlich fortlaufenden Datenreihen wie z.B. Temperaturmessungen oder Strommessungen. Die Datenbank liegt dabei in einem einzigen File auf dem Datenträger und hat ab dem Erstellen eine feste Größe, die sich auch bei vielen Messungen über einen längeren Zeitraum nicht vergrößert.

General Purpose Input/Output

Unter *General Purpose Input / Output (GPIO)* versteht man elektrische Kontakte, die zur Realisierung verschiedener Funktionen für elektronische Geräte verwendet werden. Eine genauere Erklärung erfolgt in Abschnitt 2.3.2 [7].

Python

Python ist eine Programmiersprache, die vor allem auf dem Raspberry Pi bevorzugt verwendet wird.

Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy (BLE) ist eine Funktechnologie, die es ermöglicht, dass sich Geräte in unmittelbarer Entfernung zueinander vernetzen lassen. Die Stromkosten bei BLE sind um einiges geringer als bei herkömmlichen Bluetooth [8].

Windows 10 IoT

Windows 10 IoT ist eine „abgespeckte“ Version von Windows 10, die auf Mobilien Geräten wie dem Raspberry Pi lauffähig ist. IoT steht dabei für *Internet of Things* [7].

2.2 Vergleich von verschiedenen SBC

In diesem Abschnitt werden einige der bekanntesten SBCs, die sich auf dem Markt befinden miteinander verglichen, um den bestmöglichen für die vorgegebenen Anforderungen auswählen zu können. Wichtige Kriterien für die Auswahl sind, dass die Möglichkeit besteht verschiedene Betriebssysteme (Windows und Linux) mit dem jeweiligen Einplatinenrechner betreiben zu können, sowie die verbaute Hardware (Taktfrequenz des Chips, RAM-Speicher). Ein weiterer Punkt welcher von Bedeutung ist, ist die Unterstützung von verschiedenen Kommunikationsschnittstellen (I²C, SPI, 1-Wire), um eine

große Anzahl von Sensoren nutzen zu können. Eine Übersicht der einzelnen Komponenten der verschiedenen SBCs sind in den Tabellen 2.1 und 2.2 dargestellt.

<i>SBC</i>	<i>Operating System</i>	<i>RAM</i>	<i>CPU</i>
Banana Pi	Linux, Android	1 GB	ARM Cortex-A7, 1 GHz
Raspberry Pi3	Windows, Linux	1 GB	ARM Cortex-A53 1,2 GHz
BeagleBone Black	Linux	512 MB	ARM Cortex-A8 1 GHz
HummingBoard i2eX	Linux, Android	1 GB	ARM Cortex-A9 1 GHz
Intel Galileo Gen 2	Windows, Linux	256 MB	x86 Quark 400 MHz
Radxa Rock	Linux	2 GB	ARM Cortex-A9 1,6 GHz

Tabelle 2.1: Vergleich OS, RAM, CPU verschiedener SBCs

<i>SBC</i>	<i>Communication</i>	<i>Networking</i>	<i>GPIO</i>
Banana Pi	I ² C, SPI	1 GigE	80
Raspberry Pi3	I ² C, SPI	10/100 Mbps ¹	40
BeagleBone Black	I ² C, SPI	10/100 Mbps	66
HummingBoard i2eX	I ² C, SPI	1 GigE	8
Intel Galileo Gen 2	I ² C, SPI	10/100 Mbps	20
Radxa Rock	I ² C, SPI ²	10/100 Mbps	80

¹ mit WLAN on Board

² nur für Android

Tabelle 2.2: Vergleich Schnittstellen, Netzwerkverbindung, Anzahl GPIO Pins

Wie aus den Tabellen ersichtlich ist, unterstützen die meisten aktuellen SBCs das Betriebssystem Linux. Eine Anforderung für diese Projekt war allerdings, dass sowohl ein Linux System, wie auch ein Windows System auf dem Board lauffähig ist. Aus diesem

Grund fiel die Wahl auf den RPI 3, da dieser beide Betriebssysteme unterstützt und auch bei den anderen betrachteten Aspekten wie *RAM*, *CPU* etc. den meisten Boards ebenbürtig oder sogar überlegen ist. Ein weiterer wichtiger Entscheidungsgrund für den RPI 3 war, dass es für diesen eine sehr große Anzahl an unterstützten Sensoren gibt (Sensoren die mit einer elektrischen Spannung von 3,3 V - 5 V) betrieben werden. Dies ermöglicht einen sehr weit gefächerten Einsatz des RPI 3 und ist für das vorgesehene Projekt von großer Bedeutung.

2.3 Raspberry Pi 3

Das folgende Kapitel beschreibt den Raspberry Pi 3 und befasst sich genauer mit den verbauten Komponenten, welche im weiteren Verlauf der Arbeit benötigt werden.

2.3.1 Allgemeine technische Daten

Die im folgenden Information wurden, soweit nicht anders angegeben von der offiziellen Homepage der **Raspberry Pi Foundation** entnommen [9].

Der RPI 3 ist ein Kreditkarten großer Einplatinenrechner, welcher aktuell an die *sieben Million* Mal verkauft wurde [10]. Dieser besitzt...

- einen 1.2 GHz 64-bit quad-core ARMv8 CPU
- 802.11n Wireless LAN
- Bluetooth 4.1
- BLE
- 4 USB Ports
- 40 GPIO Pins
- Full HDMI Port
- Ethernet Port
- Camera Serial Interface (CSI)
- Display Serial Interface (DSI)
- Micro SD Karten Slot

Die aktuelle Version des Raspberry Pi, der RPI 3 ist in Abbildung 2.1 dargestellt.



Abbildung 2.1: Raspberry Pi 3 [1]

Durch die im Gegensatz zu den Vorgänger Modellen leistungstärkere CPU mit einem 64-Bit quad-core Prozessor, ist es beim RPI 3 möglich das Windows Betriebssystem *Windows 10 IoT* auf dem Gerät zu betreiben, wodurch sich eine Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten (nicht mehr nur auf Linux Betriebssysteme beschränkt) ergibt. Auch wurde im Gegensatz zu den vorherigen Modellen beim aktuellen ein WLAN Modul (2,4 GHz) gleich auf der Platine verbaut und muss nicht mehr extra durch ein externes USB-WLAN Modul realisiert werden. Der RPI3 bietet weiterhin einen 10/100 MBit Ethernet Anschluss sowie einen CSI und DSI Anschluss zur direkten Anbindung einer Kamera oder Displays. Die verschiedenen GPIO-Pins werden in Kapitel 2.3.2 genauer beschrieben.

2.3.2 GPIO-Kontakte

Wie bereits in Abschnitt 2.3.1 angesprochen besitzt der RPI 3 40 GPIO-Kontakte, welche in einer Ecke der Platine zu 2 x 20 Kontakten angeordnet sind. Diese haben einen Rasterabstand von 2,54 mm zueinander und stellen die Grundlage für viele Projekte dar. Die ersten Modelle des RPI besaßen dagegen nur 26 Pins die zur Verfügung standen. Die GPIO-Pins sind elektrische Kontakte, die zur Messung und Steuerung von elektronischen Geräten wie z.B. Sensoren, Analog Digital Wandlern, LEDs etc. verwendet werden.

Die Steckerleiste beinhaltet einige allgemein verwendbare Pins (= *General Purpose Input / Output*), sowie zwei verschiedene Spannungsversorgungen (3,3 V und 5 V) und Masse Anschlüsse (0 V). Weiterhin beinhaltet die Steckerleiste Kontakte für den I²C-, SPI- und 1-Wire-Bus. Bei der Verwendung der GPIO-Kontakten für verschiedene Projekte, muss darauf geachtet werden, welche Bezeichnung verwendet wird. Diese ist in vielen Literaturen verschieden angegeben, da es drei verschiedene Möglichkeiten der Bezeichnung gibt. Die Benennung kann durch

- die physikalische Pin-Nummer, anhand seine Position auf dem Board (von oben gesehen, Pin 1 besitzt eine quadratische Lötstelle)
- die BCM-Pin-Nummer, welche sich auf die Nummerierung der offiziellen Dokumentation des BCM2836-Chips bezieht
- den Pin Namen, welcher von den RPI Entwicklern vergeben wurde

vorgenommen werden [7].

In Abbildung ist die Pin Belegung des RPI grafisch dargestellt.

Raspberry Pi 3 GPIO Header





















Pin#	NAME		NAME	Pin#
01	3.3v DC Power		DC Power 5v	02
03	GPIO02 (SDA1 , I ² C)		DC Power 5v	04
05	GPIO03 (SCL1 , I ² C)		Ground	06
07	GPIO04 (GPIO_GCLK)		(TXD0) GPIO14	08
09	Ground		(RXD0) GPIO15	10
11	GPIO17 (GPIO_GEN0)		(GPIO_GEN1) GPIO18	12
13	GPIO27 (GPIO_GEN2)		Ground	14
15	GPIO22 (GPIO_GEN3)		(GPIO_GEN4) GPIO23	16
17	3.3v DC Power		(GPIO_GEN5) GPIO24	18
19	GPIO10 (SPI_MOSI)		Ground	20
21	GPIO09 (SPI_MISO)		(GPIO_GEN6) GPIO25	22
23	GPIO11 (SPI_CLK)		(SPI_CE0_N) GPIO08	24
25	Ground		(SPI_CE1_N) GPIO07	26
27	ID_SD (I ² C ID EEPROM)		(I ² C ID EEPROM) ID_SC	28
29	GPIO05		Ground	30
31	GPIO06		GPIO12	32
33	GPIO13		Ground	34
35	GPIO19		GPIO16	36
37	GPIO26		GPIO20	38
39	Ground		GPIO21	40

Abbildung 2.2: GPIO-Header [2]

2.4 Bussysteme

Im folgenden Kapitel werden die am häufigsten verwendeten Bussysteme für die verschiedenen Sensoren erläutert. Zu diesen Bussystemen gehören der *1-Wire*, *I²C* und der *SPI* Bus. Auch wird auf die Funktion, sowie die Eigenheiten der Datenübertragung des jeweiligen Busses eingegangen.

2.4.1 1-Wire

Der 1-Wire Bus ist ein serielles Bussystem von der Firma *Dallas*¹, bei dem die Daten seriell (nacheinander) über eine Datenleitung übertragen werden.

2.4.1.1 Allgemeine Informationen

Für dieses Bussystem wird nur eine Datenleitung benötigt, die auch als Spannungsversorgung für den / die jeweiligen Sensoren benutzt wird. Physikalisch werden allerdings zwei Leitungen benötigt, da die Masse auch mitgeführt werden muss. Es gibt für diesen Bus eine große Anzahl an Sensoren wie z.B. Temperatursensoren, die sich durch einen sehr geringen Stromverbrauch auszeichnen. Dies kommt daher, da für die Datenübertragung und die Stromversorgung die gleiche Leitung genutzt wird, wird während der Kommunikation der Sensor aus einem internen Kondensator gespeist. Allerdings kann es notwendig sein, bei Sensoren wo die interne Spannungsversorgung nicht ausreichend ist eine extra Spannungsversorgung für den jeweiligen Sensor mitzuführen.

Diese System ist ein *One-Master-Multi-Slave* Bussystem, was bedeutet, dass es nur einen Master (z.B. RPI) gibt aber mehrere Slaves (z.B. Sensoren). Die Aufgabe des Masters in diesem System ist es, die Kommunikation zu steuern. Die Anzahl der Sensoren kann bis zu 100 betragen, die parallel an den Master angeschlossen werden. Dies ist möglich, da jeder Sensor ein eindeutige 64 Bit lange ID besitzt. Diese gliedert sich in [6]

- 8 Bit *Family Code*
- 48 Bit *Seriennummer*
- 8 Bit *CRC-Prüfsumme*

¹2001 von Maxim Integrated übernommen

2.4.1.2 Übertragungsprotokoll

Der 1-Wire Bus wird dadurch, dass er keine Taktsignal benötigt als *asynchroner* Bus bezeichnet. Dieser kommuniziert im *Halbduplex* Verfahren, was bedeutet, dass immer nur ein Teilnehmer auf dem Bus senden oder empfangen kann (entweder Master oder ein Slave). Wenn keine Kommunikation stattfindet, wird die Datenleitung über einen Pullup-Widerstand auf *high* gezogen und der in Abschnitt 2.4.1.1 erwähnte interne Kondensator geladen. In dem andern Fall wenn eine Übertragung stattfindet liegt die Datenleitung auf Masse und der Kondensator liefert in diesem Fall die Spannungsversorgung für den Sensor (abhängig vom Sensor siehe 2.4.1.1). Da wie schon angesprochen keine Taktleitung vorhanden ist, muss für die Kommunikation ein bestimmter Ablauf eingehalten werden. Dafür gibt es zwei Übertragungsmöglichkeiten, den *normalen Modus* wo ca. 16,3 kBit/s übertragen werden und den *Overdrive Modus* mit bis zu 142 kBit/s. Die Zeitspanne für die Übertragung von 1 Bit beträgt immer 60 μ s. Diese Steuerung, egal in welche Richtung die Übertragung stattfindet werden durch den Master initiiert. Die Befehle die dazu notwendig sind, können aus der Tabelle 2.3 entnommen werden [6].

Befehl	Beschreibung
Write 1	Der Master zieht für 1 – 15 μ s auf Low. Der Rest des Slots bleibt ungenutzt.
Write 0	Der Master zieht den Bus für mindestens 60 μ s bis maximal 120 μ s auf Low.
Read	Der Master zieht für 1 – 15 μ s auf Low. Der Slave, der kommunizieren möchte, hält für eine 0 den Bus weiter auf Low. Will der Slave eine 1 senden, gibt er direkt den Bus wieder frei. Wie man leicht erkennt, ist der Status <i>Write 1</i> oder Read für den Master gleich. Alleine der Status des Sensors bestimmt, ob ein Read oder Write 1 ausgeführt wird.
Reset / Presence	Der Master zieht den Bus für min. 480 μ s auf Low. Wenn ein Slave am Bus vorhanden ist, zieht er max. 60 μ s (also einen Slot) die Leitung auf Low. Somit weiß der Master, dass mindestens ein Slave angeschlossen ist.

Tabelle 2.3: Befehle bei 1-Wire [6, S. 35]

2.4.2 I²C-Bus

Der I²C Bus ist auch noch unter einem anderen Namen als Two-Wire-Interface (TWI) Bus (z.B. bei Atmel) bekannt. Er wurde 1982 von der Firma Philips Semiconductors² entwickelt und wird vornehmlich zur internen Kommunikation von Geräten benutzt [6].

2.4.2.1 Allgemeine Informationen

Technisch gesehen sind der I²C und TWI Bus identisch, die Unterscheidung wird lediglich aus Lizenz rechtlichen Gründen getroffen. Bei dem Bus handelt es sich um einen *Master-Slave-Bus*, allerdings ist auch ein *Multi-Master*³ Betrieb möglich. Der Beginn einer Kommunikation wird immer vom Master initiiert, bei dem angesprochenen Multi-Master Betrieb, arbeitet dann der vom Initiator angesprochene Master wie ein Slave. Im Gegensatz zum 1-Wire Bus sind zwei Leitungen notwendig, eine Datenleitung (SDA) und eine Taktleitung (SCL). Da der I²C Bus eine Taktleitung besitzt, spricht man hier von einem synchronen seriellen Bussystem. Der Systemtakt wird bei diesem System immer vom Master vorgegeben [6].

2.4.2.2 Definierte Zustände und Adressierung

Bei der Kommunikation mittels I²C müssen bestimmte Zustände eingehalten werden um die korrekte Funktion sicherzustellen. Diese werden im folgenden dargestellt. Für die folgenden Definitionen dient falls nicht anders angegeben folgende Quelle [3].

Gültigkeit Datenbit

Damit ein Bit auf der Datenleitung als gültig betrachtet wird, darf sich dessen Pegel während der High Phase der Taktleitung nicht ändern. Dieser Zustand ist in Abbildung 2.3 dargestellt.

²heute NPX

³es gibt mehr als einen Master

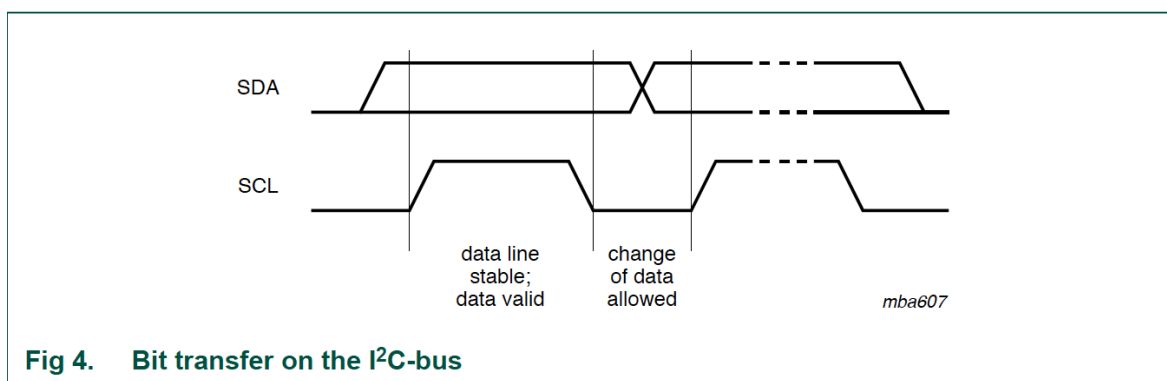


Abbildung 2.3: Bedingung für gültiges Bit auf Datenleitung [3, S. 9]

START Bedingung

Damit eine Kommunikation stattfinden kann muss diese als erstes einmal gestartet werden. Dies geschieht, indem der Master die SDA Leitung auf Ground zieht, während die SCL Leitung auf HIGH gesetzt ist. Dieser Zustand wird in Abbildung nocheinmal grafisch dargestellt

STOP Bedingung

Um die Übertragung zu beenden, ist die STOP Bedingung definiert. Diese unterscheidet sich von der START Bedingung dadurch, dass der Master bei HIGH Zustand der Taktleitung die Datenleitung ebenfalls auf HIGH zieht. Grafisch ist dies in Abbildung dargestellt.

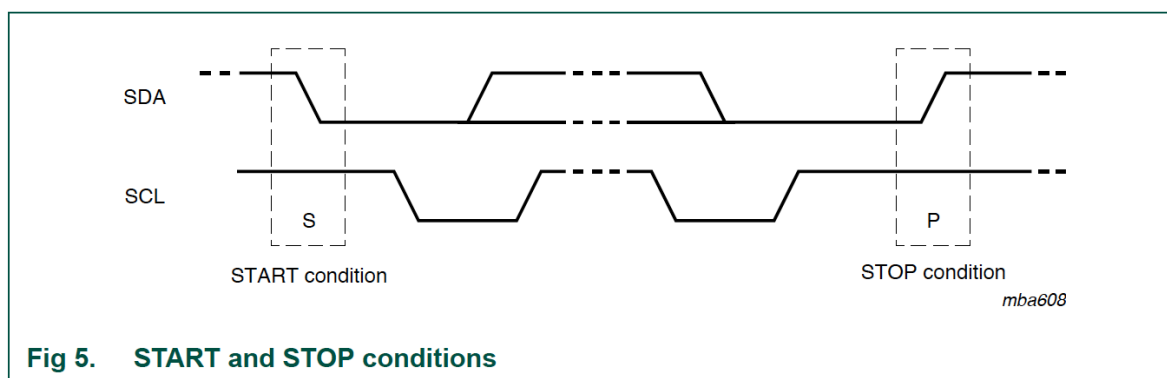


Abbildung 2.4: START, STOP Bedingung I²C [3, S. 9]

Adressierung

Bei der Adressierung wird nach der Start Bedingung 1 Byte vom Master an den Slave gesendet. Bei diesem Byte stellen die ersten sieben Bits die Adresse des Slaves dar und das achte Bit das Read / Write Bit. Die Kennzeichnung des R / W Bits ist immer aus Sicht des Masters zu deuten. Dies bedeutet, dass bei WRITE Daten vom Master an den Slave übertragen werden und bei READ Daten vom Slave an den Master. Abbildung 2.6 verdeutlicht noch einmal den Aufbau des ersten Bytes.

Dadurch, dass sieben Bits für die Adresse des Slaves verwendet werden können und 16 Adressen davon für Erweiterungen reserviert sind, können bis zu maximal 112 Teilnehmer (Berechnung entsprechend Formel 2.1) an den Bus angeschlossen werden.

$$\text{max. Teilnehmer} = 2^7 - 16 = 112 \quad (2.1)$$

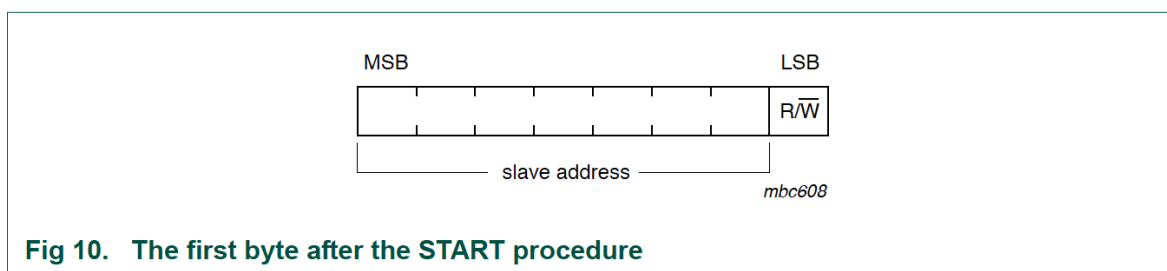
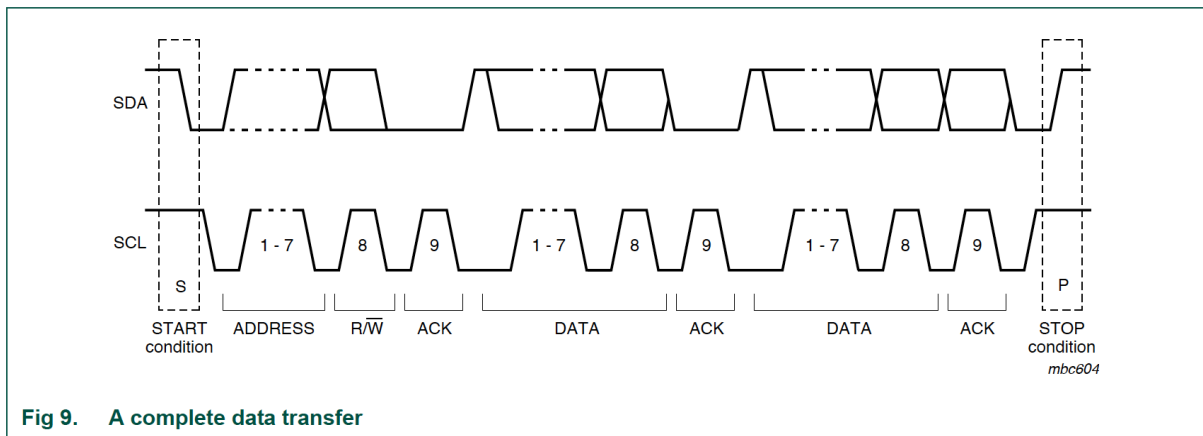


Fig 10. The first byte after the START procedure

Abbildung 2.5: Erstes Byte nach Start Bedingung I²C [3, S. 13]

2.4.2.3 Übertragungsprotokoll

Das Übertragungsprotokoll beim I²C Bus ist immer so aufgebaut, dass die Kommunikation mit einem Start Signal beginnt und als nächstes das Byte mit der Slave Adresse und dem R / W Bit folgt. Jedes Byte das gesendet wird, wird durch den Slave mit einem ACK-Bit quittiert. Je nachdem wie das R / W Bit gesetzt ist (READ = 1, WRITE = 0) werden die Daten byteweise gelesen oder geschrieben. Das ACK Bit wird dann entweder vom Master oder vom Slave gesendet. Ist das letzte Byte der Übertragung gesendet, wird dieses vom Master mit einem NACK quittiert. Im Anschluss wird die Kommunikation durch die STOP Bedingung beendet. In Abbildung ist der Ablauf noch einmal grafisch dargestellt.

Abbildung 2.6: Datentransfer I²C Bus [3, S. 13]

3 Praktischer Teil

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Sensorschaltungen und deren Konfiguration, die Probleme, die sich bei der Realisierung ergaben, sowie die Ergebnisse und Auswertungen beschrieben. Außerdem werden die verschiedenen Möglichkeiten zur Datenspeicherung und Visualisierung dargestellt und erklärt. Am Anfang dieses Kapitels werden die zur Realisierung der verschiedenen Aufgaben benötigten Bauteile, kurz etwas näher erklärt und aufgelistet. In Abschnitt ?? wird eine Schaltung mit einem einzigen 1-Wire Temperatursensor aufgebaut, bei der zweiten Schaltung in Abschnitt 3.3 kommt zu dem Sensor aus 3.2 ein zweiter Temperatursensor und ein Sensor zur Temperaturmessung und Bestimmung der Luftfeuchtigkeit hinzu. Abschnitt (3.4) befasst sich mit der Realisierung einer Vibrationsmessung mittels Beschleunigungssensors.

3.1 Benötigte Materialien

Die in Tabelle aufgelisteten Materialien wurden für die in Kapitel 3 beschriebenen Versuche verwendet. Bei den einzelnen Sensoren werden die wichtigsten technischen Daten im Anschluss der Tabelle aufgelistet.

<i>Bezeichnung</i>	<i>Anzahl</i>
Raspberry Pi 3	1
Temperatursensor DS18S20	2
Sensor HYT 221	1
3-Achsen-Beschleunigungssensor	1
Drahtbrücken	mehrere
elektrischer Widerstand $4.7\text{ k}\Omega$	1
Elektronik Steckbrett	1

Tabelle 3.1: benötigte Materialien

DS18S20

Der DS18S20 (siehe Abbildung) ist ein digitaler 1-Wire Temperatursensor, der eine 9 Bit Temperaturmessung ermöglicht. Folgend werden die wichtigsten technischen Daten des DB18S20 aufgeführt.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{DD}	Local Power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite Power	+3.0		+5.5	V
		Local Power	+3.0		V_{DD}	
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	V_{IL}	(Note 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	V_{IH}	Local Power	+2.2		The lower of 5.5 or V_{DD} + 0.3	V
		Parasite Power	+3.0			
Sink Current	I_L	$V_{IO} = 0.4V$ (Note 1)	4.0			mA
Standby Current	I_{DDS}	(Note 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	I_{DD}	$V_{DD} = 5V$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	I_{DQ}	(Note 10)		5		μA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

Note 1: All voltages are referenced to ground.

Note 2: The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU} . In order to meet the V_{IH} spec of the DS18S20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: $V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$.

Note 3: See typical performance curve in [Figure 1](#).

Note 4: Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

Note 5: To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{ILMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.

Note 6: Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

Note 7: Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3μA at +125°C.

Note 8: To minimize I_{DDs} , DQ should be within the following ranges: $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$ or $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$.

Note 9: Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

Note 10: DQ line is high ("high-Z" state).

Note 11: Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with $V_{DD} = 5.5V$.

Abbildung 3.1: elektische Daten DB18S20 [4, S. 2]



Abbildung 3.2: elektische Daten DB18S20 [5]

HYT221

3.2 Temperaturmessung mit Sensor DB18S20

3.3 Temperatur- und Luftfeuchtheitsmessung mit HTY221

3.4 Vibrationsmessung mit Sensor BMA020

4 Zusammenfassung und Ausblick

Literaturverzeichnis

- [1] E. Upton. (2016, Februar) RASPBERRY PI 3 ON SALE NOW AT \$35. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-3-on-sale/>
- [2] Raspberry Pi 3 Model B GPIO 40 Pin Block Pinout. [Online]. Available: <https://www.element14.com/community/docs/DOC-73950/1/raspberry-pi-3-model-b-gpio-40-pin-block-pinout>
- [3] *I2C-bus specification and user manual*, NXP Semiconductor, April 2014.
- [4] *DS18S20 High-Precision 1-Wire Digital Thermometer*, Maxim Integrated Products, 2015.
- [5] DS18S20 Temperature Sensor. [Online]. Available: <http://www.smartliving.com.au/ds18b20-temperature-sensor.html>
- [6] W. Klaas, *Bussysteme in der Praxis*. Franzis Verlag GmbH, 2015.
- [7] Kofler, Kühnast, und Scherbeck, *Raspberry Pi Das umfassende Handbuch*. Rheinwerk Verlag GmbH, Bonn, 2015.
- [8] Bluetooth Low Energy. [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics/low-energy>
- [9] RASPBERRY PI 3 MODEL B. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- [10] L. Upton. (2015, Oktober) SENIOR PI. Raspberry Pi Foundation. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/blog/senior-pi/>