Bachelorarbeit

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg
Fakultät 3 für Maschinenbau, Elektrotechnik
und Wirtschaftsingenieurwesen

Lehrstuhl Kommunikationstechnik
Prof. Dr.-Ing. habil Matthias Wolff

Thema:
Anpassung einer vorhandenen Positioniereinrichtung

Eingereicht von:

Name: Felix Hesse
Matr.-Nr.: 3033210
Anschrift Petersilienstraße 2d
03044, Cottbus

Betreut von:

Dipl.-Ing. Christian Richter
Dr.-Ing. Ronald Römer

_____
Ort, Datum

Aufgabenstellung

Anpassung einer vorhandenen Positioniereinrichtung

Adjustment of a Positioning Device

Der Lehrstuhl Kommunikationstechnik verfügt über das Forschungslabor Speechlab. Ein wichtiges Ausstattungsmerkmal ist ein System zur Erforschung von kognitiven Systemen in Form eines 3D-Mikrofonfeldes. Ein Teil der Mikrofone ist auf einem Trolley an der Decke des Akustikraumes angebracht und wird mittels Schrittmotor positioniert. Als Feedback steht ein optischer Sensor zum Zwecke der Abstandsmessung zur Verfügung. Ziel der Arbeit soll es sein, die bereits vorhandene Hard- und Software zu optimieren. Die Arbeit umfasst:

Teilaufgaben:

1. Überarbeitung des Koordinatensystems zur Feldpositionierung
2. Recherche zum Befehlsrepertoire der Pro-Step4 Motorsteuerung
3. Spezifikation und Implementierung der Steuerung
4. Optimierung von Fahrparametern
5. Optimierung der Daten-Aquisition mittels eines Beaglebone Black
6. Erforderlich sind Kenntnisse in der Java-Programmierung

Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) Christian Richter, Dr.-Ing. Ronald Römer

Erklärung über die selbständige Arbeit

Der Verfasser erklärt, dass er die vorliegende Arbeit selbständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt hat. Die aus fremden Quellen (einschließlich elektronischer Quellen) direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind ausnahmslos als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise im Rahmen einer anderen Prüfung noch nicht vorgelegt worden.

_____

Ort, Datum Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung....I
Erklärung über die selbständige Arbeit....II
Verzeichnis der Formelzeichen und Abkürzungen....IV
Verzeichnis der Abbildungen....V
1. Einleitung....1
2. Grundlagen....2
2.1. Laserentfernungsmesser - O1D155....2
2.2. Mikrocontroller - Beaglebone Black....3
2.3. Pro-Step4 Motorsteuerung....4
3. Untersuchung der Komponenten....6
3.1. O1D155 – Laserentfernungsmesser....6
3.1.1 Elektrische Störreduktion....6
3.1.2 Untersuchung – Temperaturverhalten O1D155....9
3.1.3 Untersuchung - Messabweichung O1D155....11
3.2. Beaglebone Black....13
3.2.1. AD-Wandler....13
3.2.2 Verarbeitung und Korrektur....14
3.2.3 Übertragung mittels TCP/IP....15
3.3. Pro-Step4 - Motorsteuerung....16
3.3.1 Ansteuerung des Schrittmotors....17
4. praktische Umsetzung....19
4.1 Steuerung....19
4.2 Fehlerkurven....20
4.2.1 ermittelte Kurven....21
4.2.2 Überprüfung der Fehlerkorrekturkurven....22
5. Bewertung und Ausblick....23
Literaturverzeichnis....24
Anhang....25

Verzeichnis der Formelzeichen und Abkürzungen

BB	– Beaglebone Black
AD	– Analog-Digital
TCP/IP	– Transmission Control Protocol / Internet Protocol
PMD	– Photonic Mixer Device

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Querschnitt durch den Lasersensor[2].....2
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Messung[3].....2
Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Spannung und Entfernung[1].....3
Abbildung 4: Übersicht über die Elemente des BB.....4
Abbildung 5: Laserentfernungsmesser am Laborarbeitsplatz.....6
Abbildung 6: Reflektor am Laborarbeitsplatz.....6
Abbildung 7: Ausgangssignal vor elektrischer Störreduktion.....6
Abbildung 8: Leistungsdichtespektrum vor elektrischer Störreduktion.....7
Abbildung 9: angefertigter Tiefpass Beschaltung.....7
Abbildung 10: entworfener Tiefpass.....7
Abbildung 11: Ausgangssignal nach elektrischer Störreduktion.....8
Abbildung 12: Leistungsdichtespektrum nach elektrischer Störreduktion.....8
Abbildung 13: Temperaturverhalten nach dem Einschalten.....9
Abbildung 14: Entwicklung des Messwertes bei steigender Temperatur.....10
Abbildung 15: Messfehler in Abhängigkeit der Entfernung.....11
Abbildung 16: Messfehler bei verschiedenen Umgebungstemperaturen.....12
Abbildung 17: Signalweg AD-Wandler.....13
Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Spannung und Entfernung[1].....14
Abbildung 19: Ablaufplan zur Ermittlung der Entfernung zum Trolley.....15
Abbildung 20: TCP/IP-Kommunikation zwischen PC und BB.....16
Abbildung 21: Ansteuerung der Pro-Step4 Motorsteuerung.....18
Abbildung 22: Steuerschema Positionierungseinrichtung.....19
Abbildung 23: Messfehler bei verschiedenen Umgebungstemperaturen unter Realbedingungen.....21
Abbildung 24: Ausgewählte Fehlerkorrekturkurven.....21
Abbildung 25: Auftretender Fehler unter Berücksichtigung der Fehlerkurven.....22

1. Einleitung

Der Lehrstuhl Kommunikationstechnik der BTU Cottbus-Senftenberg unterhält das Akustiklabor Speechlab, welches der Erforschung kognitiver Systeme, Sprachtechnologien und akustischer Mustererkennung dient. Die Studenten und Mitarbeiter des Lehrstuhl sind bei ihrer Arbeit darauf angewiesen, dass technische Systeme, welche sie für ihre Arbeit einsetzen, funktionieren. Zu diesen Systemen gehört ein fahrbarer Trolley, welcher an der Decke des Akustiklabors angebracht ist. Dieser Trolley dient als Träger für Teile eines 3D-Mikrofonfeldes, welches zur Erforschung kognitiver Systeme eingesetzt wird.

Der Lehrstuhl Kommunikationstechnik hat ein Thema für eine Bachelorarbeit angeboten, welches sich mit der Positionierung eben dieses Trolleys beschäftigt. Das Labor verfügt über die Motorsteuerung Pro-Step4 zur Positionierung des Trolleys entlang einer Schiene. Als zusätzliche Positionierungshilfe steht der Laserentfernungsmesser O1D155 zur Verfügung. Damit der Trolley mit einer gewünschten Genauigkeit von ±5mm platziert werden kann ist es notwendig, dass der Lasersensor die korrekte Position des Trolleys bestimmt. In der Vergangenheit wurde unerklärliches und teilweise willkürlich erscheinendes Verhalten des Lasersensors beobachtet. Dabei handelte es sich im Besonderen um:

- auftretende Spikes im Ausgangssignal, welche auf den damals zur Datenakquise genutzten mbed-Controller zurückgeführt wurden (der mbed wurde zu Beginn der Arbeit durch den Beaglebone Black ersetzt), sowie
- Veränderung der Messanzeige trotz Stillstand oder mehrfacher Anfahrt des selben Punktes. Zusätzlich lag stellenweise eine signifikante Diskrepanz zwischen Soll- und Istwert vor.

Kern der Arbeit ist es, Faktoren zu untersuchen, welche Einfluss auf den Laserentfernungsmesser O1D155 haben können. Die Erwartung bestand darin, eine Systematik im auftretenden Messfehler zu finden und zu beschreiben. Das dabei entstehende Modell soll anschließend dazu dienen, den auftretenden Fehler auf die gewünschten ±5mm zu senken.

Unter Laborbedingungen wurde untersucht, ob der Fehler f auf unter 5mm gesenkt werden kann und welche Bedingungen dazu nötig sind. Die Durchführung eventueller Korrekturprozesse soll bereits während der Datenakquise erfolgen. Anschließend musste der O1D155 in die reelle Arbeitsumgebung im Speechlab integriert und mit der Pro-Step4 Motorsteuerung gekoppelt werden.

In dieser Arbeit möchte ich meine Ergebnisse zur Untersuchung des O1D155 darstellen und bewerten sowie die Arbeit an den Funktionsgruppen der Positionierungseinrichtung beschreiben.

2. Grundlagen

Ziel der Arbeit ist die Positionierung eines Trolleys mit einer Genauigkeit von ± 5mm.

Dazu steht der Lasersensor O1D155 und die Motorsteuerung Pro-Step4 zur Verfügung. Zur Datenakquise und -verarbeitung findet der Einplatinen-Computer Beaglebone Black Anwendung.

2.1. Laserentfernungsmesser - O1D155

Beim O1D155 handelt es sich um einen Laserentfernungsmesser der ifm electronic GmbH. Der Sensor arbeitet in einem Messbereich von 0,3-6m[1].

Der Lasersensor arbeitet nach dem Prinzip der Laufzeitmessung. Dabei wird der Laser auf eine 20MHz Trägerfrequenz moduliert. Das entspricht einer Wellenlänge von 15m. Anschließend wird der Zeitunterschied zwischen gesendetem und empfangenen Signal anhand des Phasenunterschiedes ermittelt. Die Messung einer sehr kurzen Entfernung ist mithilfe der Laufzeitmessung problematisch, da sehr kurze Zeitunterschiede nur aufwendig gemessen werden können[3].

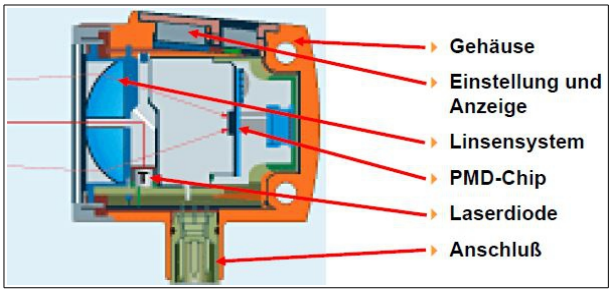

Abbildung 1: Querschnitt durch den Lasersensor[2]

Dieses Problem wird mithilfe eines integrierten PMD-Sensors gelöst, welcher den Zeitunterschied mithilfe einer Ladungsschaukel ermittelt. Wenn Licht auf den Lichtempfänger fällt werden Ladungen freigesetzt. Diese werden je nach Pegel des Senders zu einer von zwei Elektroden geleitet[2].

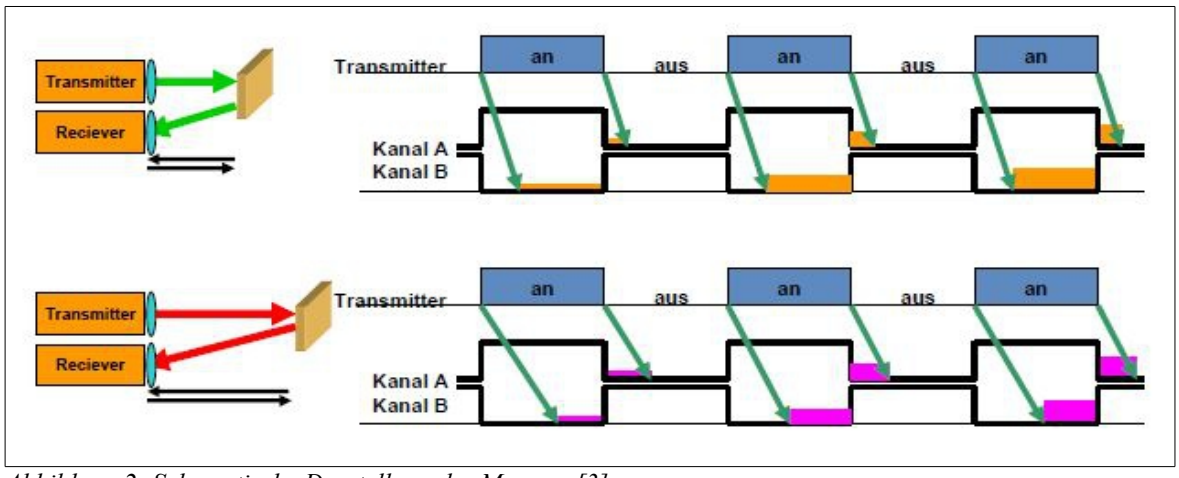

Abbildung 2: Schematische Darstellung der Messung[3]

Entsprechend wird der Zeitunterschied nicht aus einer tatsächlichen Messung der Laufzeit sondern aus dem Ladungsverhältnis der beiden Elektroden ermittelt[3].

Der Lasersensor verfügt über eine digitale Hysterese- und Fensterfunktion mit einstellbaren Grenzentfernungen. Dabei liegt je nach Einstellung ein High- oder Low-Pegel am Ausgang an, wenn sich Objekte in verschiedenen Bereichen des Messbereiches befinden[1].

Von größerem Interesse ist der Analogausgang, an welchem die gemessene Entfernung in Form einer Spannung oder eines Stromes anliegt. Ob eine Spannung oder ein Strom anliegt ist frei wählbar. Dabei bewegt sich die Spannung in einem Bereich von 0-10V und der Strom in einem Bereich von 4-20mA. Bei welcher Entfernung der Höchst- bzw. Tiefstwert anliegt kann ebenfalls über einen maximalen sowie minimalen Entfernungswert eingestellt werden. Zwischen Minimal- und Maximalentfernung steigen Strom bzw. Spannung linear an[1].

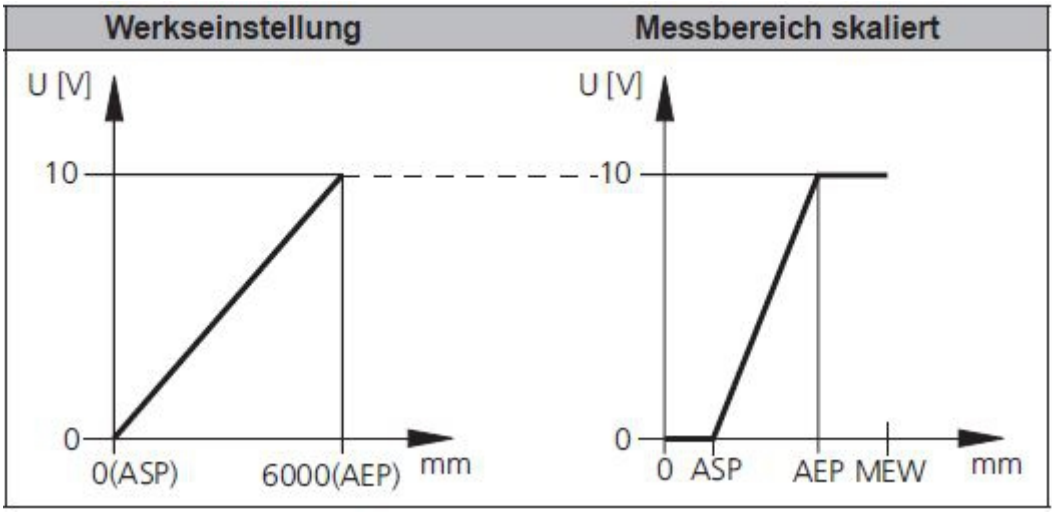

Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Spannung und Entfernung[1]
ASP = minimale Entfernung, AEP = maximale Entfernung

Da der Trolley im Speechlab eine maximale Entfernung von etwa 2,8m hat wurde der Messbereich des Lasersensors auf 0,3-3m festgelegt.

2.2. Mikrocontroller - Beaglebone Black

Beim Beaglebone Black handelt es sich um die Weiterentwicklung des Einplatinen-Computers BeagleBoard. Als technische Features stehen dem BB folgende Elemente zur Verfügung[4]:

- Sitara AM3358 ARM Cortex-A8 Prozessor mit 1GHz,
- 512MB DDR3L Arbeitsspeicher,
- 2GB Onboard Flashspeicher, dient als Festplatte,
- Stromversorgung über miniUSB oder 5V Netzteilanschluss,

- 10/100 Ethernet, miniHDMI (Audio und Video), USB, miniUSB,
- 2 Steckleisten mit Anschlüssen für verschiedene Funktionen, unter anderem Analog-Digital-Wandler, serielle Schnittstelle, GPIOs und SPI.

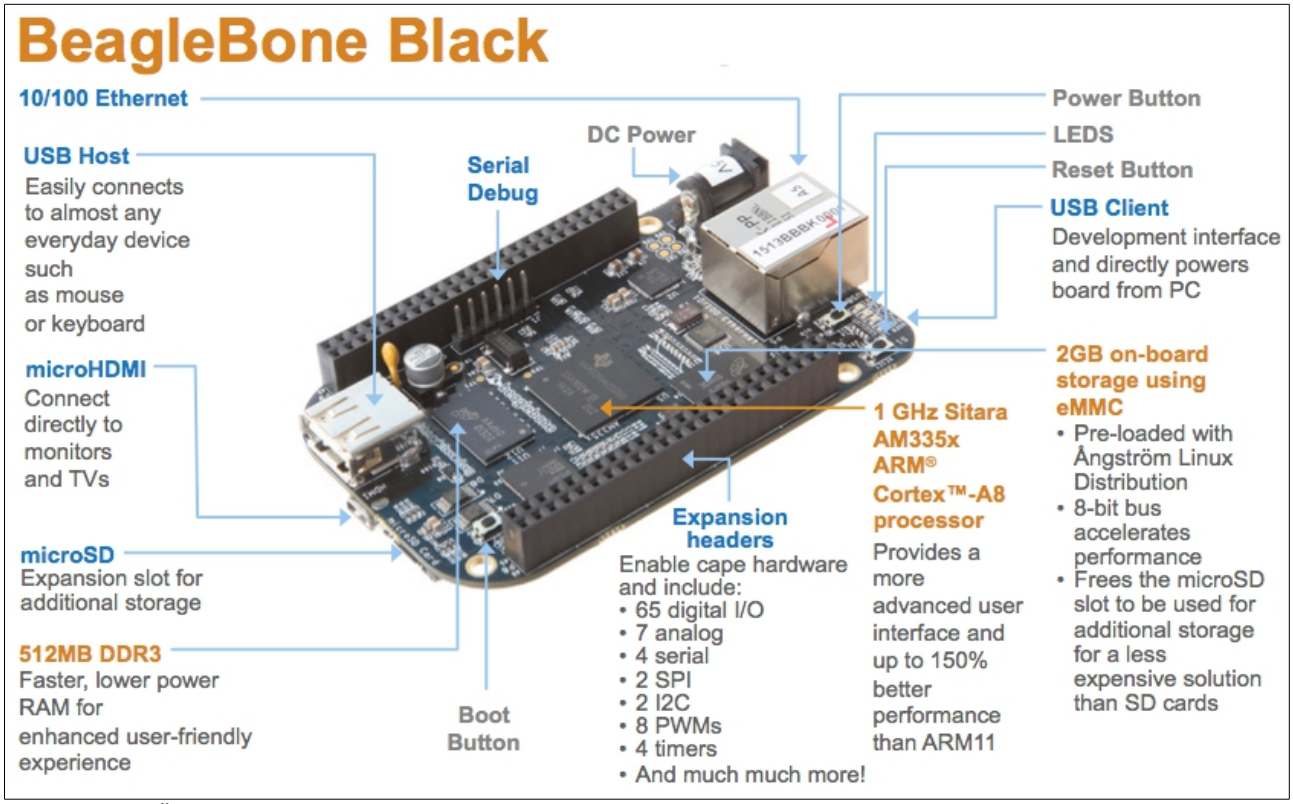

Abbildung 4: Übersicht über die Elemente des BB
(Quelle:https://cdn.arstechnica.net/wp-content/uploads/2013/04/beaglebone-specs.png, Werbung entfernt)

Der BB stellt wichtige Funktionen für die Akquise und Verarbeitung der Daten des Lasersensors bereit. Eine besondere Rolle spielen der Analog-Digital-Wandler, zur Quantisierung der Ausgangsspannung des Lasersensors, und der Ethernet-Anschluss zur Kommunikation mit dem PC.

Als Betriebssystem dient die Linux Distribution Ångström. Der BB kann mithilfe verschiedener Programmiersprachen programmiert werden, darunter Java und Python.

2.3. Pro-Step4 Motorsteuerung

Die Pro-Step4 Motorsteuerung der Herzel Steuerungstechnik GmbH ist ein System zur Steuerung des im Speechlab befindlichen Schrittmotors. Der Motorsteuerung werden über eine serielle Schnittstelle Befehle aus Ascii-Zeichen übermittelt[5].

Die Pro-Step4 Motorsteuerung besitzt einen umfangreichen Befehlssatz[5]. Darunter finden sich Befehle zur:

- Konfiguration des Motors,
  - Fahrparameter
  - Einstellung von End- sowie Referenzschalter
- Absolutfahrt,
  - Motor steuert eine Koordinate eines Koordinatensystemes an, deren Nullpunkt vorher festgelegt wird.
- Relativfahrt,
  - Motor legt eine bestimmte Strecke, ausgehend von der aktuellen Position, zurück.
- Referenzfahrt,
  - Motor fährt zu einem Referenzschalter oder -punkt. Von da aus führt er eine Absolutfahrt zum Ziel fort.
- und Eingreifende Befehle.
  - Starten, stoppen oder Zurücksetzen den Motors

Der Motor kann im Voll-, Halb-, Viertel- und Achtelschrittbetrieb betrieben werden[6].

3. Untersuchung der Komponenten

3.1. O1D155 – Laserentfernungsmesser

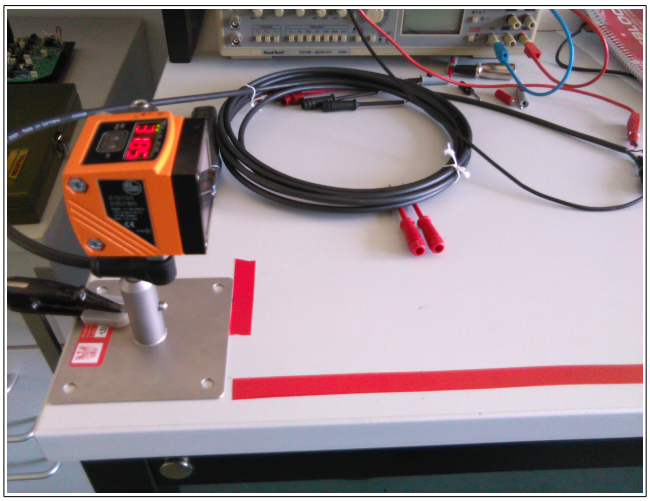

Abbildung 5: Laserentfernungsmesser am Laborarbeitsplatz

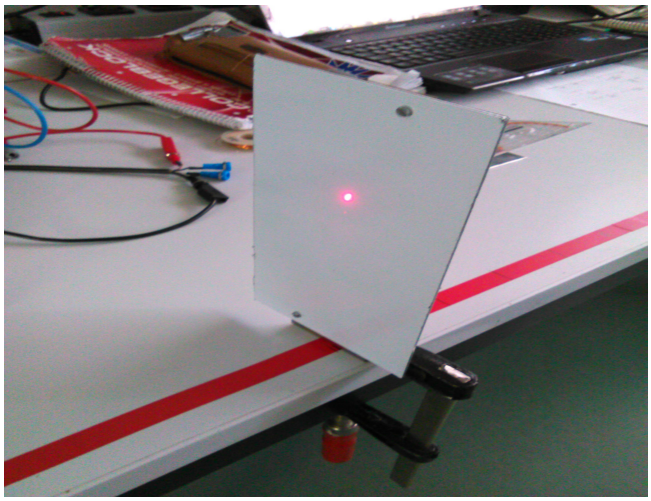

Abbildung 6: Reflektor am Laborarbeitsplatz

Die folgenden Untersuchungen haben unter Laborbedingungen in der Werkstatt des Lehrstuhls Kommunikationstechnik stattgefunden. Der Versuchsaufbau besteht aus einer Messstrecke und einem verschiebbaren Reflektor (siehe Abbildung 5 und 6).

3.1.1 Elektrische Störreduktion

Die Untersuchung des Ausgangssignals hat folgendes Leistungsdichtespektrum und Spannungs-Zeit-Diagramm ergeben:

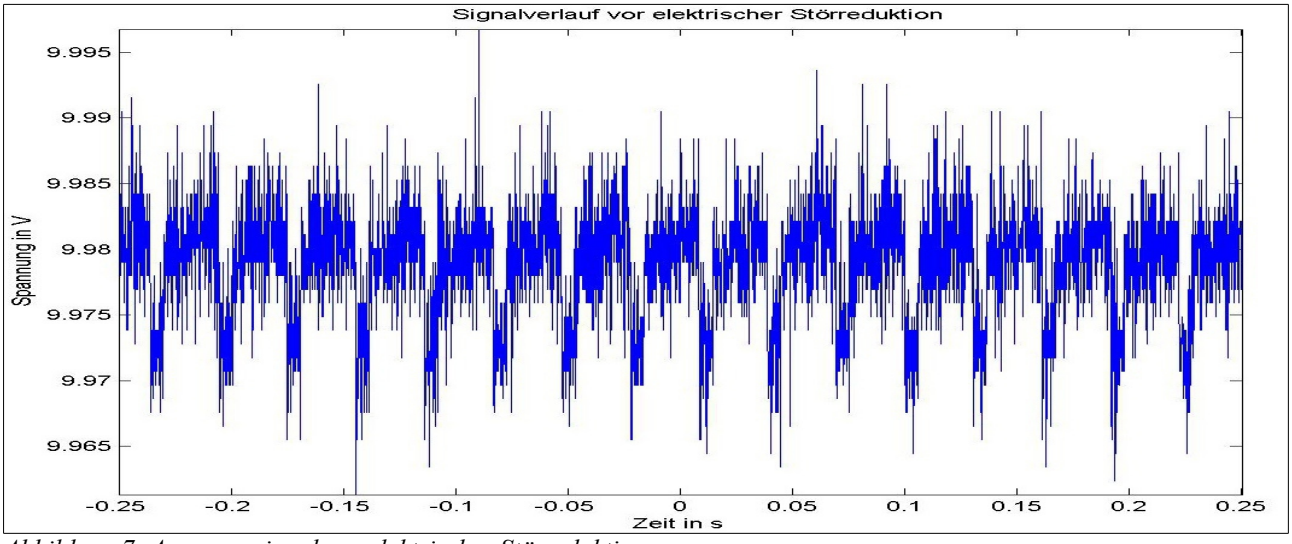

Abbildung 7: Ausgangssignal vor elektrischer Störreduktion

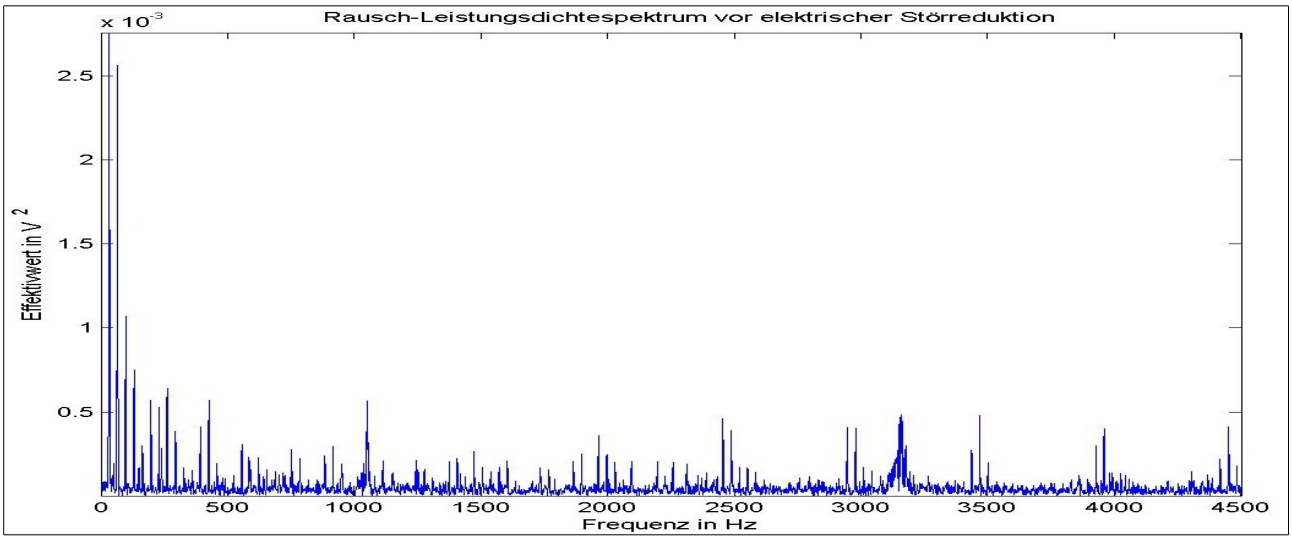

Abbildung 8: Leistungsdichtespektrum vor elektrischer Störreduktion

Das Ausgangssignal des O1D155 enthält, wie im Leistungsdichtespektrum (Abbildung 7) erkennbar, niedrigfrequente Anteile(bis 500Hz). Charakteristisch sind die in regelmäßigen Frequenzabständen auftretenden harmonischen Anteile. Damit der AD-Wandler des BB einen möglichst konstanten Spannungswert umwandelt, müssen entsprechende Frequenzanteile mit einem Tiefpassfilter entfernt werden. Zusätzlich muss die maximale Ausgangsspannung des O1D155 von 10V auf die maximale Eingangsspannung des BB von 1,8V angepasst werden. Aus diesen Gründen wird zwischen Lasersensor und BB ein Tiefpass mit nachfolgendem Spannungsteiler eingesetzt.

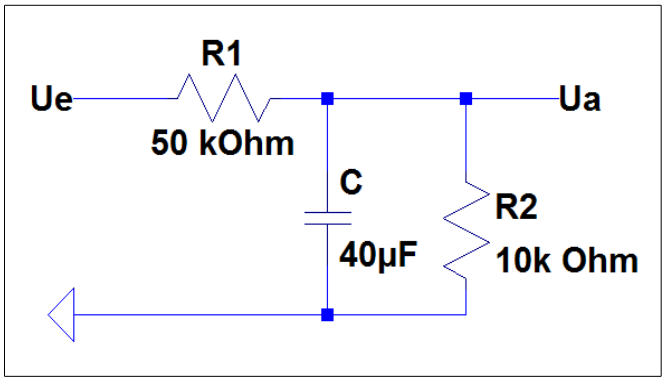

Abbildung 10: entworfener Tiefpass

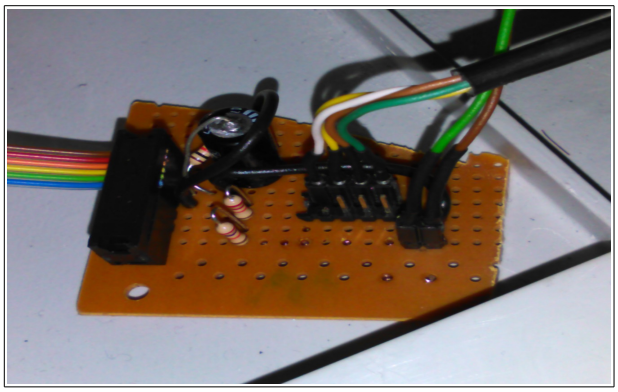

Abbildung 9: angefertigter Tiefpass Beschaltung

Der Tiefpass(Abbildung 9 und 10) hat eine Grenzfrequenz von etwa 0,5Hz. Der Spannungsteiler teilt die Ausgangsspannung des Lasersensors im Verhältnis 1:6. Die eingesetzten Widerstände skalieren im 10kOhm-Bereich um hohe Ströme zu vermeiden.

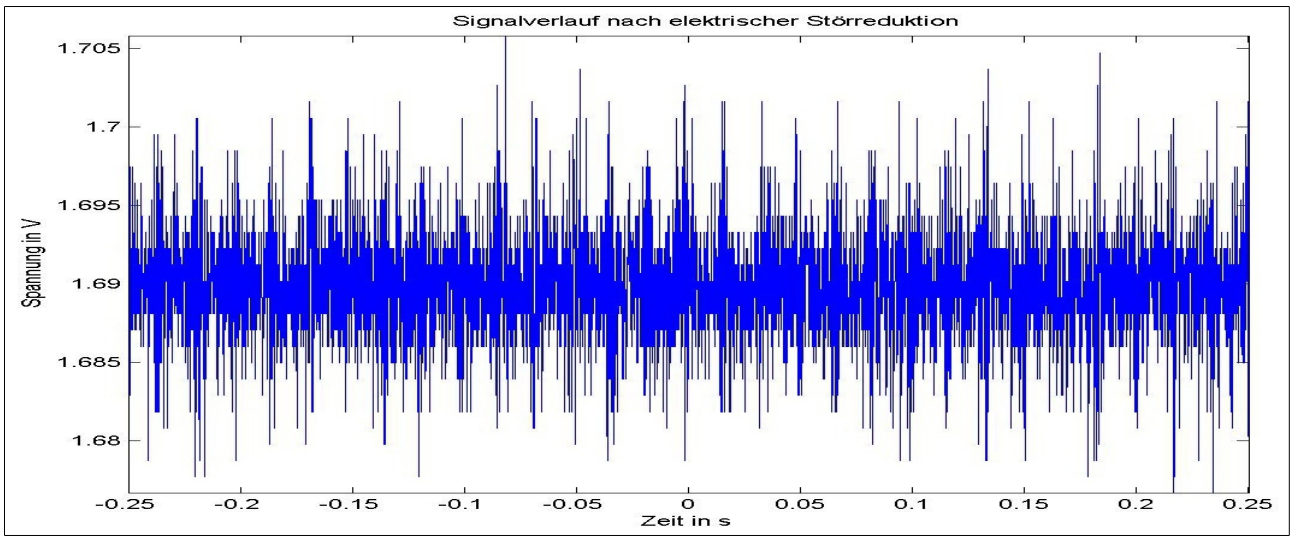

Abbildung 11: Ausgangssignal nach elektrischer Störreduktion

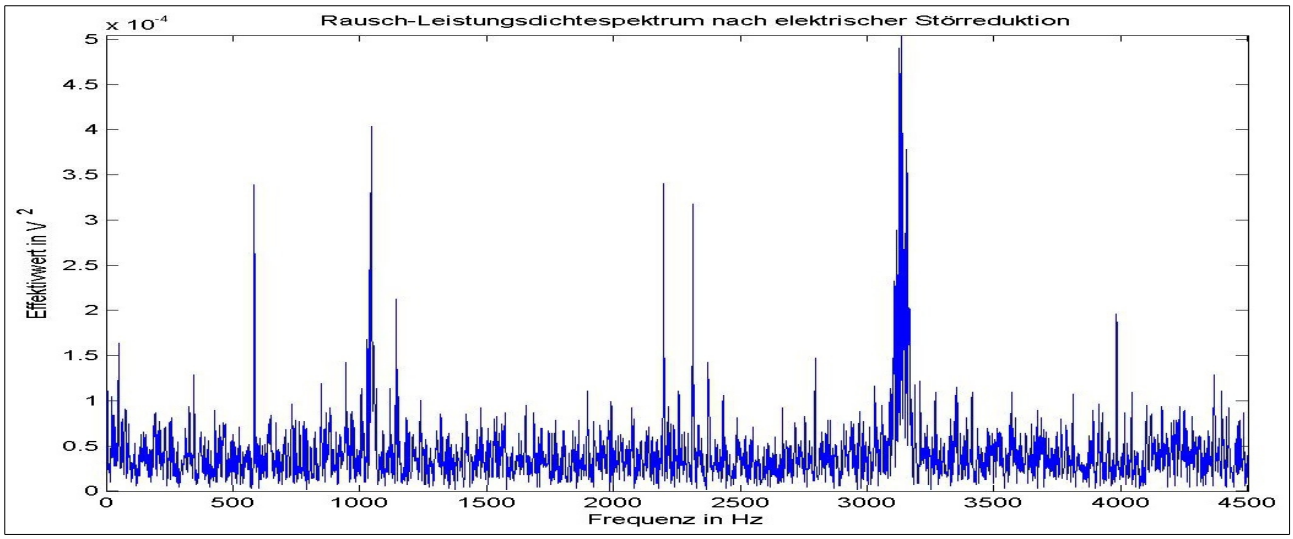

Abbildung 12: Leistungsdichtespektrum nach elektrischer Störreduktion

Das Leistungsdichtespektrum(Abbildung 7) weist die Funktionalität des Tiefpasses nach, da alle harmonischen Anteile um bis zu 1-2 Zehnerpotenzen abgeschwächt wurden. Im Vergleich der Signalverläufe (Abbildung 7 und 11) ist nach der Störreduktion die Entfernung der niedrigfrequenten Anteile zu erkennen. Jedoch hat sich die maximale Amplitude von etwa 12,5mV nicht verbessert. Dennoch ist, aufgrund des rauschähnlichen Verhaltens, ein besserer Wert durch Mittelung zu erwarten.

Der Tiefpass hat 2 negative Effekte:

- Durch die Grenzfrequenz von 0,5Hz dauert es bei einer Veränderung der Entfernung 2s bis der neue Spannungswert am AD-Wandler anliegt
  - Das schließt dynamische Messungen aus und vor jeder Messung sollte der Trolley mindestens 2s still stehen.
- Der Spannungsteiler senkt die maximale Ausgangsspannung von 10V nicht auf 1,8 sondern auf etwa 1,69V. Dadurch reduziert sich der maximale vom AD-Wandler gemessene Wert von 1 auf 0,9371.
  - Damit muss der vom BB gemessene Spannungswert mit einem Faktor von

    $$\frac{1}{0{,}9371} = 1{,}0671$$

    verrechnet werden um die tatsächliche Spannung zu erhalten.

3.1.2 Untersuchung – Temperaturverhalten O1D155

Nach dem Einschalten des O1D155 kann beobachtet werden, wie sich der Display-Wert mit der Zeit verändert, ohne das der Reflektor verschoben wird. Aus diesem Grund wurde Experiment 2 (Anhang 2) durchgeführt, welches diese Veränderung über die Zeit untersucht. Zusätzlich wird die Gehäusetemperatur als mögliche Ursache der Veränderung des Messwertes erfasst.

Dabei wird nach dem Einschalten des Lasersensors für einen längeren Zeitraum in kurzen Abständen Display-Wert und Gehäusetemperatur aufgenommen.

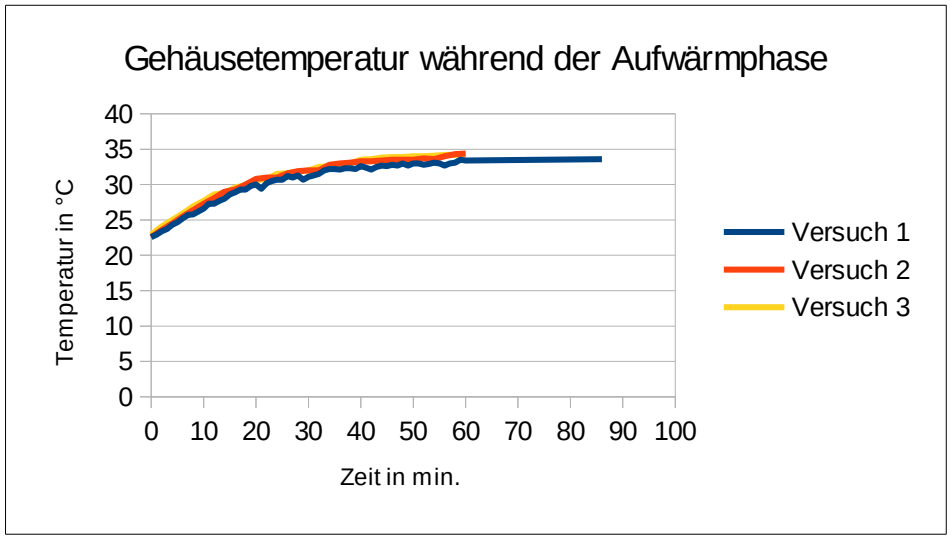

Abbildung 13: Temperaturverhalten nach dem Einschalten

Aus Abbildung 13 geht hervor, das der Lasersensor etwa 60min benötigt, bis die Gehäusetemperatur

einen konstant bleibenden Wert erreicht. Mehrere Messungen zeigen dabei ein ähnliches Aufwärmverhalten.

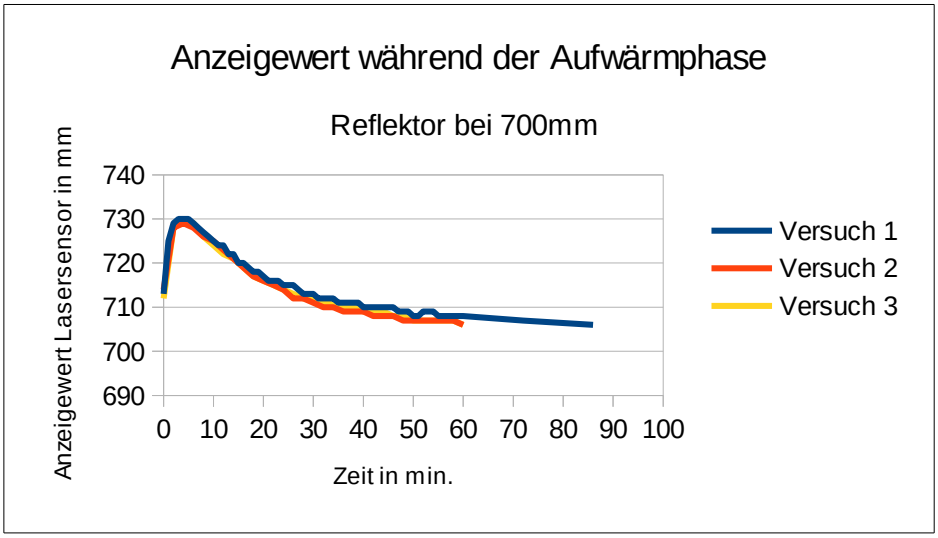

Abbildung 14: Entwicklung des Messwertes bei steigender Temperatur

Abbildung 14 zeigt dass auch der Messwert nach etwa 60min seinen endgültigen Wert erreicht. Auch hier verhalten sich alle durchgeführten Versuche ähnlich nach dem Einschalten steigt der Messwert und damit der Messfehler innerhalb der erstem 5min stark an und fällt anschließend stetig bis auf den endgültigen Wert ab. Der Unterschied des Messwertes nach dem Einschalten und nach 60min beträgt bis zu 26mm, weswegen dieses Verhalten nicht vernachlässigbar ist.

Aus den oben genannten Beobachtungen ergeben sich verschiedene Möglichkeiten zur Kompensation des Temperaturverhaltens.

- Herausrechnen des Fehlers mithilfe der Fehlerkurve und der Gehäusetemperatur
  - Erfordert für ein sicheres Ergebnis die Untersuchung anderer Einflüsse wie z.B. der Umgebungstemperatur.
  - Erfordert einen Temperaturfühler für die Gehäusetemperatur.
  - Ermöglicht Messungen mit „kaltem“ Lasersensor
- Warmlaufen des Laserentfernungsmessers vor der Benutzung
  - Lange Vorbereitungszeit von mindestens einer Stunde
  - Anschließend ist kein Einfluss der Gehäusetemperatur auf den Lasersensor zu erwarten.
  - erfordert keine zusätzlichen Hilfsmittel

- Nach einmaligem Warmlaufen permanent eingeschaltet lassen
  - höherer Strombedarf
  - erfordert keine zusätzlichen Hilfsmittel

Für das weitere Vorgehen wird vor jeder Nutzung des Lasersensors eine Warmlaufzeit von mindestens 60min vorgesehen.

3.1.3 Untersuchung - Messabweichung O1D155

Das Messverhalten des O1D155 wurde mit Experiment 1 (Anlage 1) untersucht. Dabei wird unter Laborbedingungen ein Reflektor entlang einer Skale verschoben. In definierten Abständen der ausgegebene Spannungswert aufgezeichnet und in eine Entfernung umgerechnet. Anschließend werden ermittelte und tatsächliche Entfernung miteinander verglichen. Ziel dieses Experimentes war es, Muster im Messverhalten des O1D155 zu erkennen.

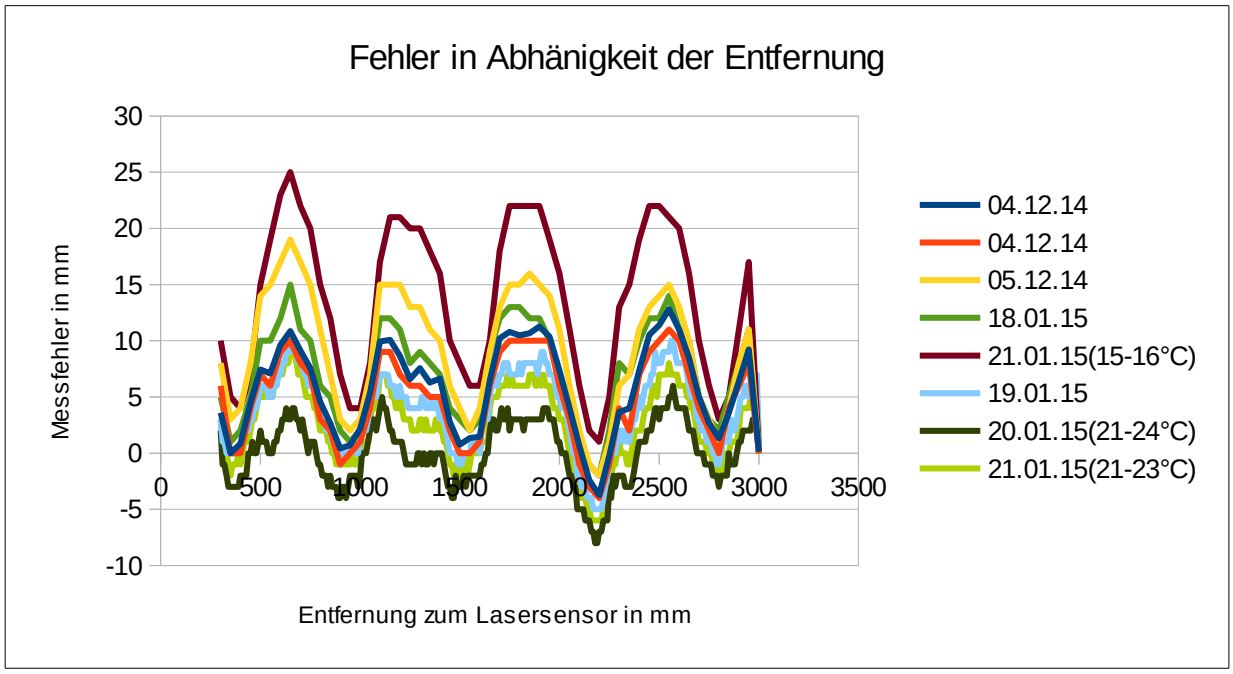

Abbildung 15: Messfehler in Abhängigkeit der Entfernung

Aus dem Graphen (Abbildung 15) geht hervor, dass sich der Messfehler über den Abstand zum Sensor bei mehreren Messungen ähnlich verhält. Markant sind die offsetähnlichen Verschiebungen der einzelnen Kennlinien. Das nach oben "Wandern" der Kennlinien im Kennlinienfeld in Zusammenhang mit dem Aufnahmedatum deutet auf eine Beeinflussung durch die sinkende Außentemperatur im Dezember (und damit der Zimmertemperatur des Labors) hin. Aus diesem Grund wurde das Experimen unter definierten Zimmertemperaturen wiederholt.

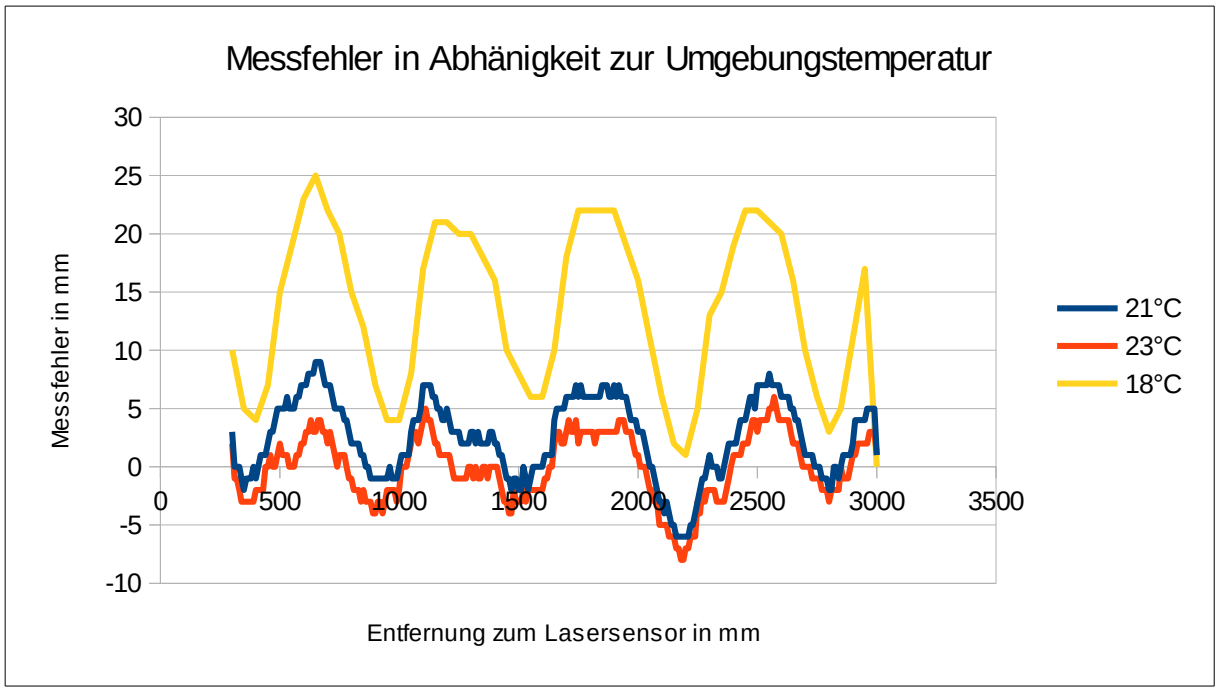

Abbildung 16: Messfehler bei verschiedenen Umgebungstemperaturen

In Abbildung 16 wird der Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Messfehler deutlich. Mit sinkender Umgebungstemperatur steigt der potentielle Fehler stark an.

Die Ergebnisse dieses Experimentes lassen die Vermutung zu, dass eine Bestimmung des Messfehlers anhand der Fehlerkurve möglich ist. Mithilfe dieser Fehlerkurve sollte der auftretende Fehler herausgerechnet werden können. Durch das Anfertigen mehrerer Fehlerkurven bei unterschiedlichen Temperaturen werden unterschiedliche Umgebungstemperaturen berücksichtigt. Dazu müssen mehrere Fehlerkurven bei konstanten Temperaturen aufgenommen werden. Werte zwischen den Messwerten können durch lineare Interpolation ergänzt werden.

Dadurch kann nach Angabe der aktuelle Umgebungstemperatur der richtige Korrekturwert ermittelt werden. Später könnte ein Thermometer fest installiert werden um die aktuelle Temperatur elektronisch zu ermitteln.

3.2. Beaglebone Black

Der BB erfüllt drei Aufgaben.

- Digitalisierung der Ausgangsspannung des O1D155
- Verarbeitung und Korrektur des Wertes
- Übermittlung des Ergebnisses mittels TCP/IP

Zusätzlich muss der BB gegen die Trennung der Stromversorgung bzw. der Ethernetverbindung abgesichert sein. Nachdem der Strom wieder hergestellt ist muss das

Alle Arbeitsschritte werden in einem Programm ausgeführt. Aufgrund der einfachen Herstellung einer TCP/IP-Verbindung ist dieses Programm in Python geschrieben(Anhang 4). Nach einem Neustart oder einer Unterbrechung der Stromversorgung wird das Programm automatisch gestartet.

3.2.1. AD-Wandler

Die Ausgangsspannung des O1D155 wird mithilfe des integrierten 12Bit-AD-Wandler des BB gemessen. Dazu stehen 7 analoge Eingänge, eine Masse und eine 1,8V-Referenzspannungsquelle zur Verfügung[7]. Der AD-Wandler misst einen Spannungswert zwischen 0 und 1,8V und gibt einen Wert zwischen 0 und 1 aus. Dabei beträgt die Auflösung 0,44mV.

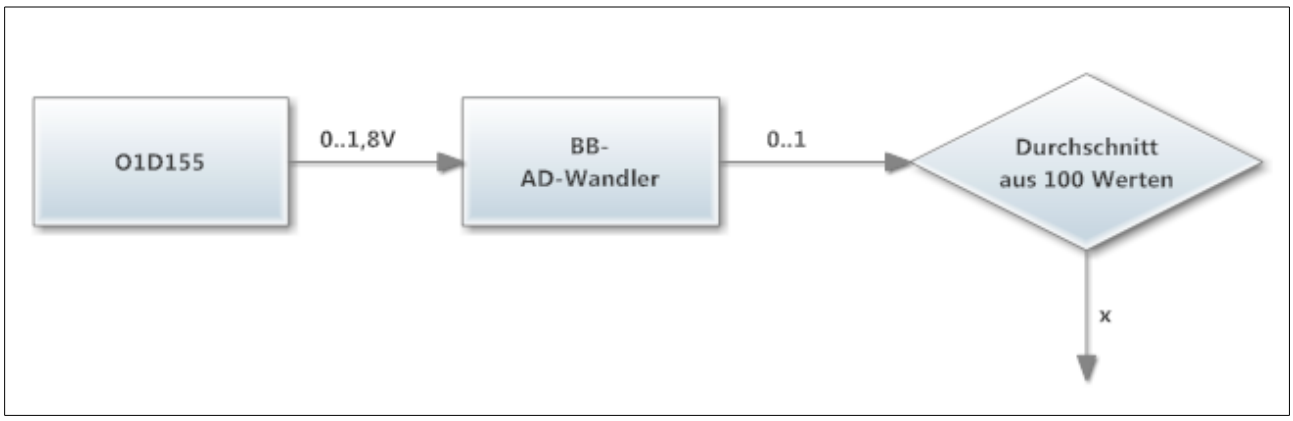

Abbildung 17: Signalweg AD-Wandler

Das Python-Modul "Adafruit_BBIO.ADC" der Firma Adafruit Industries liefert Befehle zur Ansteuerung des AD-Wandlers in Python[8].

Um dem Signalrauschen entgegen zu wirken werden 100 Werte gemessen und anschließend gemittelt. Vor dem Beginn der Messung muss der Trolley 2s still stehen um eine Verfälschung durch den Tiefpass zu vermeiden. Entsprechend darf der Trolley während der Messung nicht bewegt werden.

3.2.2 Verarbeitung und Korrektur

Mit

- ASP = 300 und
- AEP = 3000

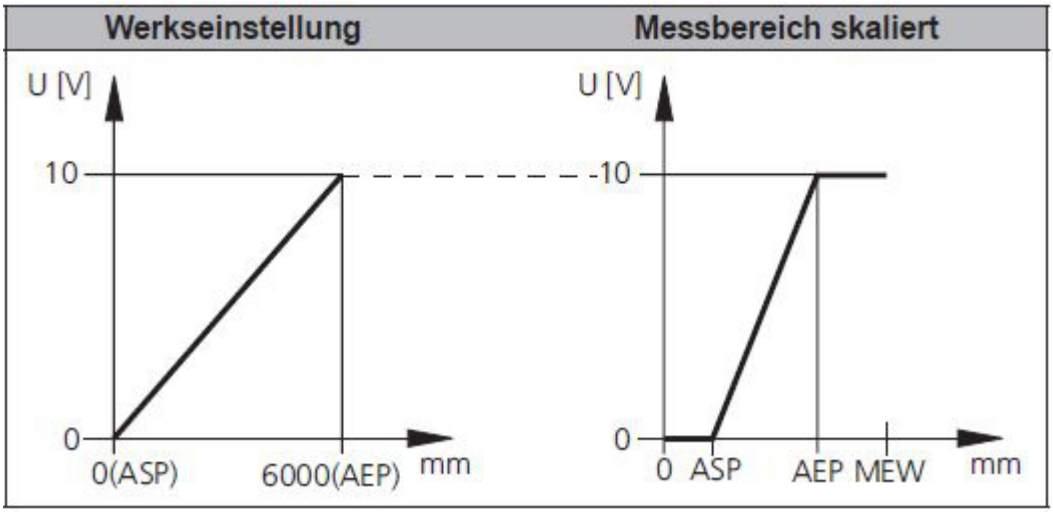

Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Spannung und Entfernung[1]
ASP = minimale Entfernung, AEP = maximale Entfernung

ergibt sich für die Berechnung der Distanz folgende lineare Gleichung:

$$Distanz\,d = \frac{2700\,mm}{10\,V} \cdot U\,(\text{in V}) + 300\,mm$$

mit

$$U = 10\,V \cdot 1{,}0671 \cdot x$$

(x entspricht dem Ausgabewert des AD-Wandlers zwischen 0 und 0,9371, 1,0671 ist der Faktor durch den die Beschränkung des Messbereiches durch den Spannungsteiler(3.1.1) berücksichtigt wird.)

Damit ergibt sich die Distanz aus dem Wert des AD-Wandlers aus:

$$Distanz\,d = 2700\,mm \cdot (x \cdot 1{,}0671) + 300\,mm$$

Anschließend wird, abhängig von Umgebungstemperatur und Höhe des Wertes, ein Korrekturwert addiert/subtrahiert.

Der Korrekturwert wird aus Fehlerkurven verschiedener Umgebungstemperaturen(17°C, 19°C, 21°C, 23°C und 25°C) ermittelt. Um die Auflösung zu erhöhen, werden Werte zwischen den einzelnen Messpunkten und zwischen den 5 Temperaturen linear interpoliert und in einer Matrix abgelegt. Bei der Interpolation ist eine Auflösung von 1mm entlang der Fehlerachse und 1°C

entlang der Temperaturachse ausreichend.

Die Fehlerkurven selbst werden aus der Differenz aus Soll- und Istwert einer Messreihe erstellt. Da, ausgehend von der "18°C"-Kurve in Abbildung 16, der Anstieg (erste steigende Flanke) voraussichtlich:

$$\frac{20\,mm}{600\,mm} = 0{,}03333$$

nicht übersteigt und damit der Fehler an der Stelle der tatsächlichen Entfernung und der angezeigten Entfernung bei einem angenommenen Abstand von 25mm höchstens einen Fehlerunterschied von:

$$0{,}03333 \cdot 25\,mm = 0{,}8333\,mm$$

beträgt. Damit kann bei einer Korrektur der Korrekturwert des angezeigten Messwertes genutzt werden, da dieser ähnlich dem Korrekturwert der tatsächlichen Entfernung ist.

Anschließend soll eine Matrix vorliegen, in welcher für jede Temperatur und jeden Milimeter ein Korrekturwert bereit liegt.

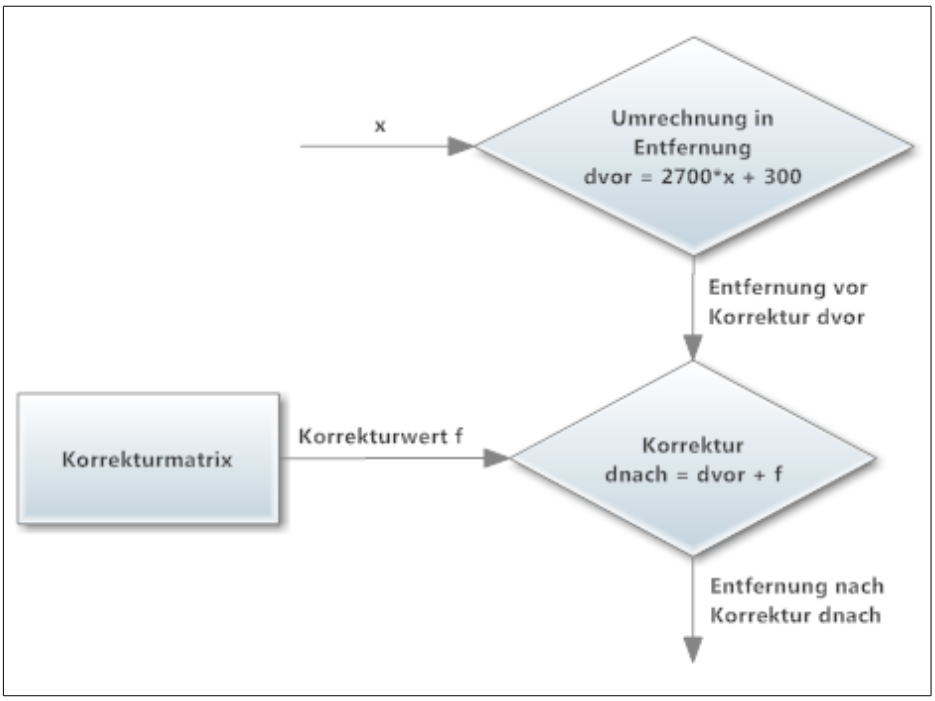

Abbildung 19: Ablaufplan zur Ermittlung der Entfernung zum Trolley

Die benötigten Fehlerkurven werden mithilfe von Experiment 1 (Anhang 1) ermittelt und als seperate Datei abgelegt. Dadurch können die Fehlerkurven, zum Beispiel bei einer Veränderung des Aufbaus, erneut ermittelt und eingepflegt werden.

3.2.3 Übertragung mittels TCP/IP

Die Übertragung der ermittelten Entfernung erfolgt per TCP/IP. Der BB fungiert als Server.

Nachdem die Verbindung zwischen Client und Server aufgebaut ist erwartet der BB einen String mit der übergebenen Temperatur (z.B. temp = "24") und antwortet mit der aktuellen Entfernung. Die aktuelle Entfernung wird bei jeder Anfrage seperat ermittelt.

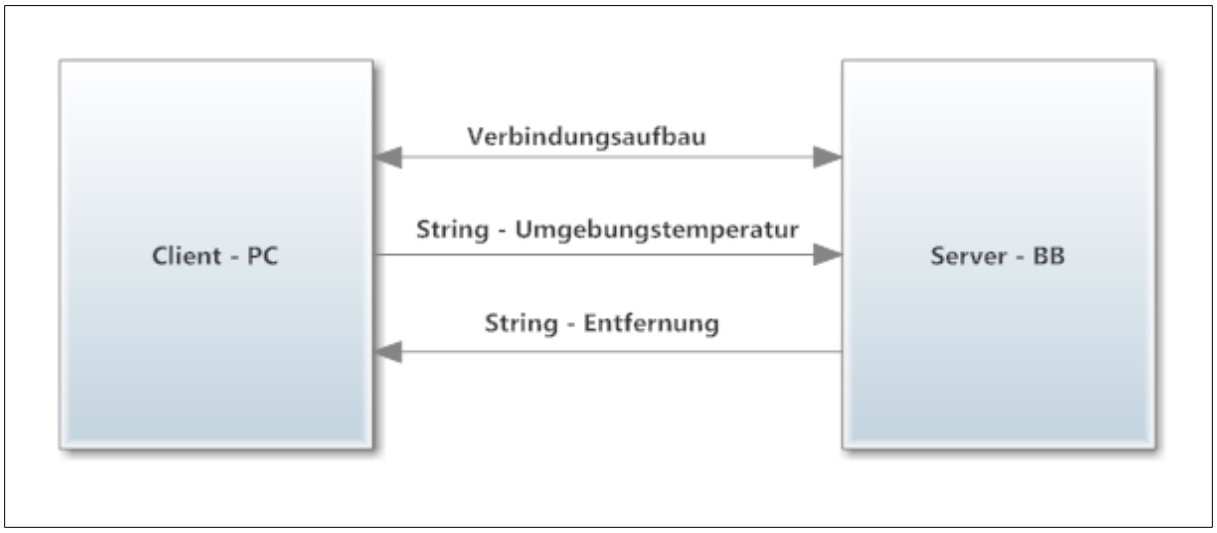

Abbildung 20: TCP/IP-Kommunikation zwischen PC und BB

Der Strings kann bei einer Weiterentwicklung des Systems zusätzlich zur Temperatur ebenfalls anderer Informationen übertragen.

Da bei jeder Anfrage eine neue Verbindung auf- und abgebaut wird, ist diese unanfällig gegenüber einer Trennung des Ethernetkabels. Sobald der Verbindung wieder hergestellt wird ist ein erneutes Ausbauen einer Verbindung möglich.

3.3. Pro-Step4 - Motorsteuerung

Der Motor wird im Halbschrittbetrieb betrieben, da dieser laut Hersteller die beste Schrittkonstanz hat und somit dem Anspruch auf Genauigkeit entgegen kommt[6]. Daraus ergibt sich eine Schrittauflösung von 400 Schritten/Umdrehung[6]. Das Moment wird über ein Kettenrad mit einem Durchmesser von 10,5cm auf den Trolley übertragen. Damit ergibt sich eine theoretische Schrittweite von:

$$Schrittweite \quad ds = \frac{\pi \cdot 105\,mm}{400\,Schritte/Umdrehung} = 0{,}8246\,mm/Schritt$$

Aus der Schrittweite ergeben sich 1,274 Schritte/mm. Durch die Übersetzung zwischen Trolley und Motor kann die Schrittweite abweichen. Experimentell wurde eine Schrittweite von 0,835mm/Schritt ermittelt. Minimale Abweichungen werden beim der Ermittlung des Korrekturwertes berücksichtigt.

Für die Bewegung des Trolleys im Zusammenspiel mit dem O1D155 bieten sich folgende Befehle an[5]:

- tp 1 a_0 a_e v_0 v_e v_m
  - konfiguriert Fahrparameter
  - Mit "tp? 1" kann die aktuelle Einstellung abgefragt werden.
- pol 1 x y
  - aktiviert/deaktiviert Referenz- und Endschalter
  - Mit "pol? 1" kann die aktuelle Einstellung abgefragt werden
- pr1 x
  - relative Bewegung vom Ausgangspunkt aus.
  - Vorzeichen bestimmt Fahrtrichtung
  - x entspricht der Entfernung in Schritten
- pa1 x
  - absolute Bewegung in einem Koordinatensystem
  - "Null 1" setzt Koordinatenursprung an aktuelle Position
  - x entspricht Koordinate bzw. der Entfernung zum Koordinatenursprung
  - Eignet sich für das Ermitteln der Fehlerkurven nach Experiment 1 unter Realbedingungen. Für den Betrieb des Trolleys nicht geeignet, da eine manuelle Verschiebung des Trolleys den Koordinatenursprung verschiebt.

Die Motorsteuerung muss, abgesehen von den Fahrparametern und der Aktivierung der Referenz-/Endschalter nicht konfiguriert werden.

3.3.1 Ansteuerung des Schrittmotors

Um den Schrittmotor vom PC aus steuern zu können, müssen oben genannte Steuerbefehle als String über die serielle Schnittstelle übermittelt werden. Vor einer Fahrt müssen der Motorsteuerung Fahrparameter übergeben werden, welche die Motorsteuerung benötigt um eine Trapezfahrt auszuführen.

Im Pro-Step4-Befehlssatz findet sich eine Anleitung zur Ermittlung der Fahrparameter.

Anhand dieser Anleitung wurden folgende Parameter ermittelt:

- Anfahr-/Bremsbeschleunigung: $a_0 = a_e = 100$ Schritte/s^2
- Start-/Stopgeschwindigkeit: $v_0 = v_e = 0$ Schritte/s
- Maximalgeschwindigkeit: $v_m = 200$ Schritte/s

Der entsprechende Befehl zur Übertragung der Fahrparameter lautet:

tp: 1 100 100 0 0 200

Anschließend müssen die Endschalter aktiviert werden:

pol: 1 111 111

Nachdem die Fahrparameter übergeben und die Endschalter aktiviert sind, kann ein Fahrbefehl übertragen werden. Zum Beispiel:

pr 1 500 (Führt eine relative Fahrt entlang der Achse 1 um 500 Schritte aus).

Die zurückzulegende Distanz setzt sich aus der aktuellen Position und der gewünschten Position zusammen.

$$Distanz\ d = dist - dsoll$$

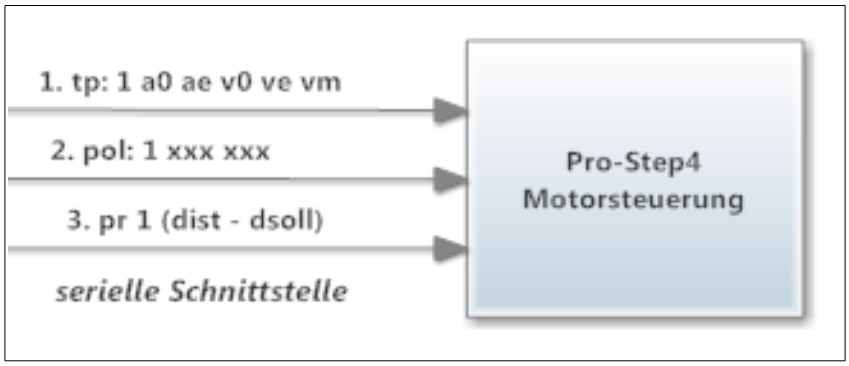

Abbildung 21: Ansteuerung der Pro-Step4 Motorsteuerung

4. praktische Umsetzung

Nachdem die Arbeiten unter Laborbedingungen abgeschlossen waren wurden die Erkenntnisse auf die Situation im Speechlab übertragen.

4.1 Steuerung

Zur Steuerung der Positionierungseinrichtung mit Hilfe des PCs wurde die Java-Klasse:

$$Positioning(Double\ ziel, String\ temp)$$

angefertigt (siehe Anlage 3). Das Programm besteht aus einem Regelkreis, welcher den aktuellen Distanzwert vom BB abfragt und anschließend den Schrittmotor anweist eine Relativfahrt über die Distanzdifferenz auszuführen. Dieser Vorgang muss eventuell mehrfach wiederholt werden, bis das Ziel erreicht ist.

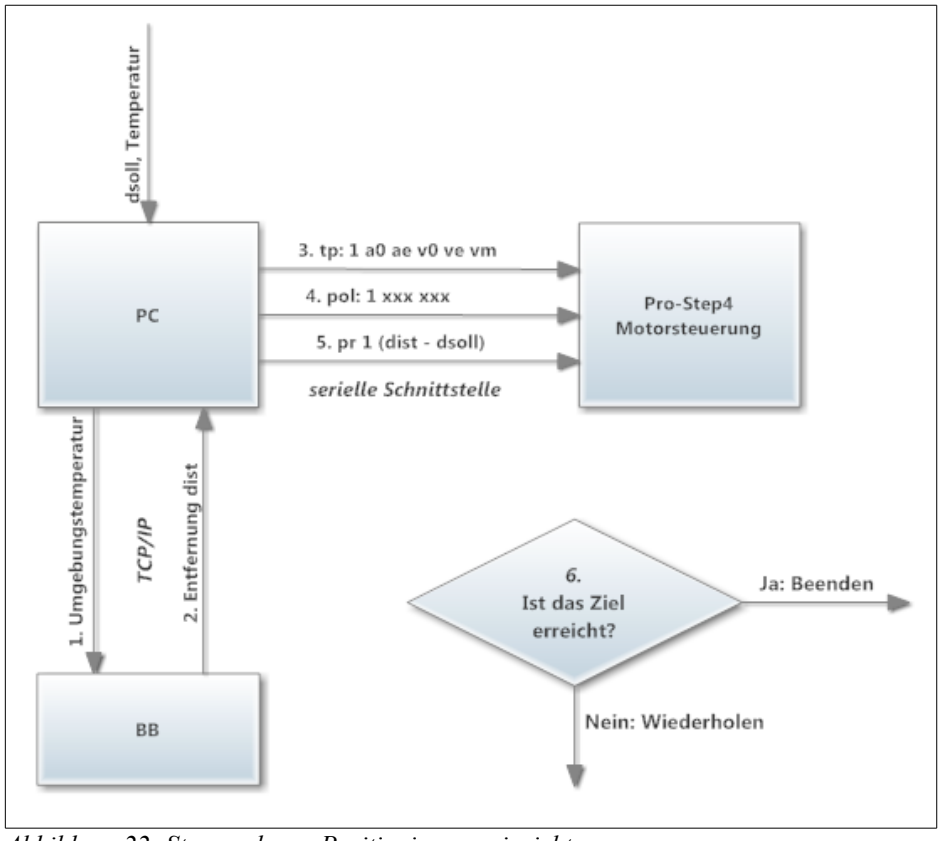

Abbildung 22: Steuerschema Positionierungseinrichtung

4.2 Fehlerkurven

Vor der Inbetriebnahme wurden neue Fehlerkurven, nach Experiment 1, bei 17, 19, 21, 23 und 25°C Umgebungstemperatur unter Realbedingungen aufgenommen (siehe Anhang 6). Da eine ordentliche Bestimmung der aktuellen Position des Trolleys mithilfe eines Zollstocks oder Maßbandes nicht möglich ist müssen die einzelnen Messpunkte mithilfe der Motorsteuerung angefahren werden. Zusätzlich muss erwähnt werden, dass statt des matt-weißen Reflektorbleches im Labor ein reflektierendes, metallenes Blech verwendet wurde.

Diesem Zweck dient die Java-Klasse Messreihe(). Der Trolley wird manuell in die Position des vorderen Anschlags gebracht (Richtung PC), anschließend wird das Programm ausgeführt. Der Trolley bewegt sich an eine definierte Startposition und nimmt ab dort in äquidistanten Abständen (50mm) Messwerte auf. Der Anfang des Messbereiches liegt nicht bei 300mm. Eine Verschiebung des Startpunktes um 25mm Richtung Fernseher ermöglicht es festzustellen ob der Trolley den Messbereich verlassen hat.

Die Messwerte sind anschließend der Kommandozeile zu entnehmen. Bei der Auswertung ist zu beachten das Python statt einem Komma einen Punkt setzt. Zusätzlich muss die Temperatur während des gesamten Vorganges möglichst konstant gehalten werden.

Aus den Messwerten wird die Abweichung zur tatsächlichen Entfernung ermittelt woraus anschließend eine Fehlerkurve ermittelt wird. Über einen Offset wird der Nullpunkt des Koordinatensystems in Richtung Fernseher verschoben.

4.2.1 ermittelte Kurven

Wie in 4.2 beschrieben wurden wurden 16 Fehlerkurven bei verschiedenen Temperaturen aufgenommen. Die Bezeichnung zeigt die Temperatur zu Beginn und am Ende der Messung.

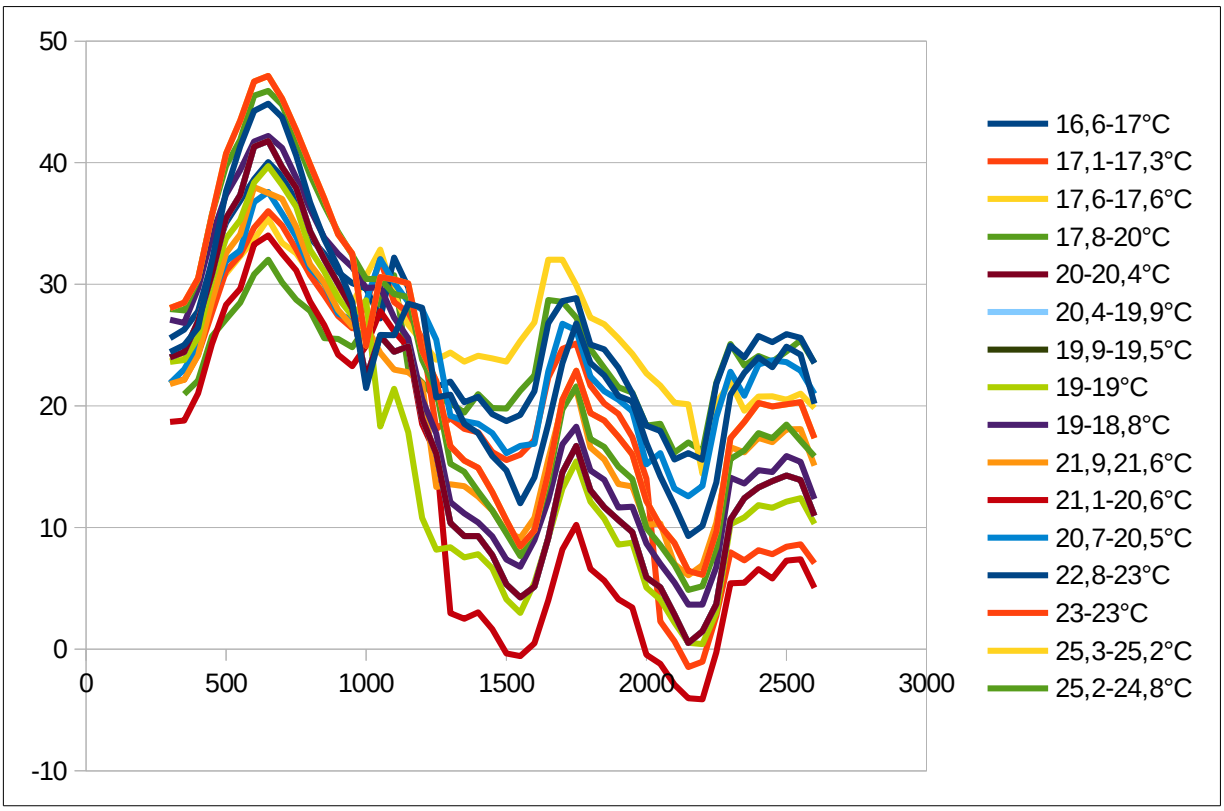

Abbildung 23: Messfehler bei verschiedenen Umgebungstemperaturen unter Realbedingungen

Wir bereits unter Laborbedingungen ist eine Ähnlichkeit zwischen den Messungen verschiedener Temperaturen zu erkennen. Die Auswahl der Fehlerkurven erfolgt nach der Temperatur während der Aufnahme und der Veränderung der Temperatur während der Messung. Messungen bei 17, 19, 21, 23 und 25°C sind anzustreben. Zusätzlich sollte die Veränderung der Temperatur während der Messung möglichst klein sein.

Anhand dieser Kriterien wurden folgende 5 Kennlinien Ausgewählt:

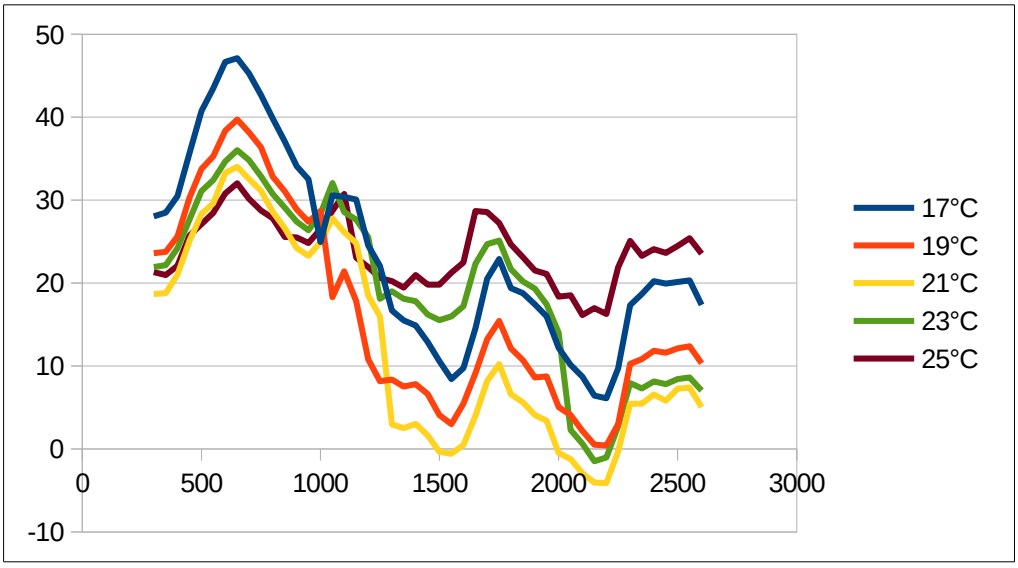

Abbildung 24: Ausgewählte Fehlerkorrekturkurven

4.2.2 Überprüfung der Fehlerkorrekturkurven

Um die Gültigkeit der Fehlerkurven zu überprüfen wurden mit Hilfe der Java-Klasse Messreihe()

unter Berücksichtigung der Fehlerkorrekturkurven neue Messreihen angefertigt.

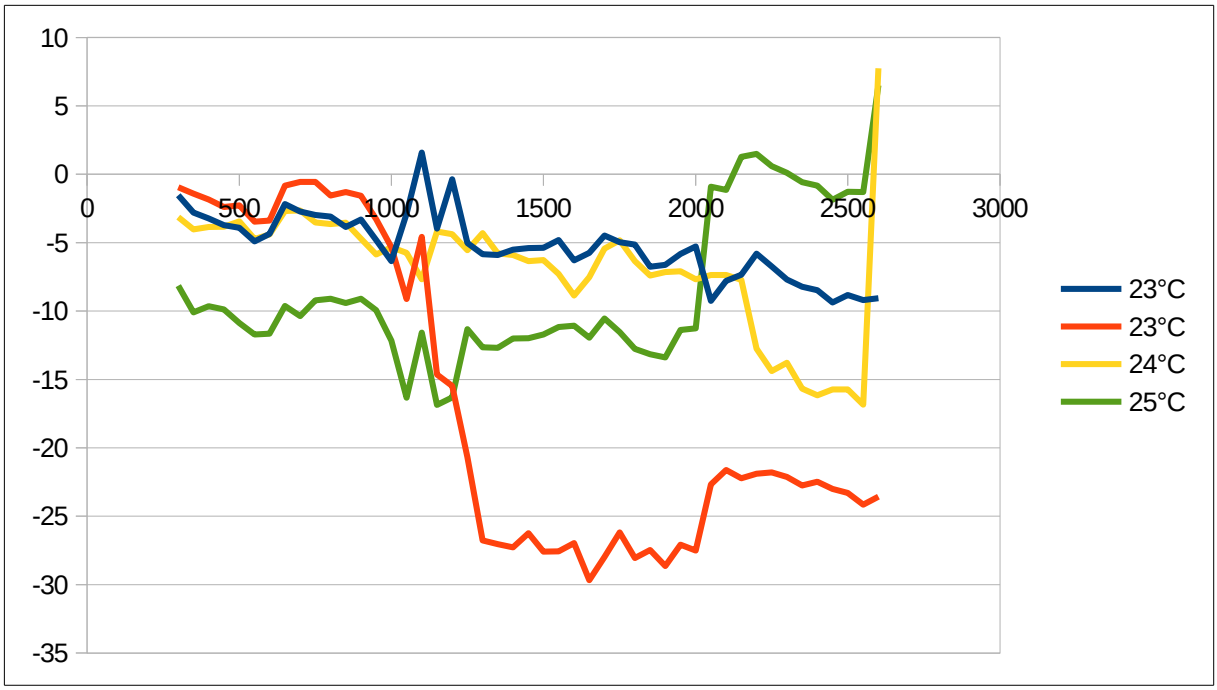

Abbildung 25: Auftretender Fehler unter Berücksichtigung der Fehlerkurven

Aus den Fehlerkurven wird ersichtlich, dass das Herausrechnen des Fehlers unter den getroffenen Annahmen nicht funktioniert. Weder kann der Fehler unter 5mm gesenkt werden, noch zeigen Messungen bei gleichen Temperaturen ähnliches Verhalten. Daraus können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die massiven Unterschiede in den Ergebnissen unter der Verwendung der gleichen Fehlerkurven deuten auf einen Unterschied der Umgebungsparameter hin.
- Da die Fehlerkorrektur unter Laborbedingungen funktioniert hat müssen unbetrachtete Faktoren das Ergebniss unter Realbedingungen verfälschen. Möglichkeiten sind:
  - eine Verfälschung der Temperaturmessung durch die Klimaanlage,
  - keine konstanten Umgebungsbedingungen,
  - negative Auswirkung des reflektierenden, metallenen Bleches,
  - Fehler bei der Erstellung der Korrekturkurven durch die Mechanik des Elektromotors.

Die Diskrepanz der Funktion zwischen Laborbedingungen und Anwendungsbedingungen muss untersucht werden um Gründe zu identifizieren, welche zu diesem Unterschied führen. Aus zeitlichen Gründen ist diese Untersuchung nichtmehr Teil dieser Arbeit.

5. Bewertung und Ausblick

Zu Beginn der Arbeit wurde eine Frage aufgestellt, welche den Kern der Untersuchungen darstellte:

- Kann mithilfe des Laserentfernungsmesser eine Genauigkeit von ±5mm erreicht werden?

Die Daten und Ergebnisse unter Laborbedingungen zeigen, dass die auftretende Messwertabweichung die direkte Folge verschiedener Umweltfaktoren ist. Alle diese Faktoren konnten entweder durch fachgerechte Handhabung (z.B. das Erwärmen auf Betriebstemperatur) ausgeschlossen werden oder konnten statistisch erfasst und bei der Ermittlung des Messwerts berücksichtigt werden. Ausgehend von den Erkenntnissen aus der Untersuchung unter Laborbedingungen ist die Senkung des Messfehlers eindeutig möglich.

Unter Anwendungsbedingungen zeigt sich jedoch eine Verfälschung der Ergebnisse durch unbekannte Faktoren. Dadurch können die positiven Laborergebnisse nicht auf den Anwendungsfall übertragen werden. Ebenfalls wurden die zusätzlichen Fehlerfaktoren nicht identifiziert. Aufgrund dessen wurde das Ziel der Arbeit nicht erreicht.

Dennoch wurden im Laufe der Arbeit Fortschritte erzielt:

Im Zuge dieser Arbeit wurde nicht nur die Positionierungseinrichtung an das Speechlab angepasst. Es wurden ebenfalls Verfahren entwickelt, welche nötig sind um das System an veränderte Bedingungen, zum Beispiel nach einem Umbau, erneut anzupassen.

Die entwickelte Soft- bzw. Hardware erfüllt die in der Aufgabenstellung gestellten Bedingungen, ist jedoch noch ausbaufähig. Vorschläge für Erweiterungen wären zum Beispiel ein digitales Thermometer zur digitalen Erfassung der Außentemperatur direkt durch den PC.

Es ist anzunehmen, dass, sollte der Unterschied der Umgebungsparameter gefunden werden, das System unter Verwendung der vorliegenden Hard- und Software sowie unter Verwendung korrekter Fehlerkurven funktionsfähig wäre und die Zielstellung dieser Arbeit erfüllbar ist.

Eine Integration der Prozesssteuerung in ein LCARS Hardware-Subpanel ist aus Zeitgründen leider nicht erfolgt.

Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

1: ifm electronic, Bedienungsanleitung Optischer Abstandssensor O1D155, 2012, Anhang 9

2: Schulungsunterlagen Grundlagen,ifm electronic gmbh, 2005,

http://www.ifm.com/obj/ifm_efector_pmd.pdf

3: Schulungsunterlagen pmd,ifm electronic gmbh, 2005,

http://www.ifm.com/ifmde/web/training_download.htm

4: Datenblatt Beaglebone Black, Anhang 10

5: Herzel Steuerungstechnik GmbH, ProStep4 - kompakt, 2004, Anhang 7

6: Herzel Steuerungstechnik GmbH, Schrittmotorstufe - MediStep Hutschiene, 1997, Anhang 8

7: Bedienungsanleitung Beaglebone Black

8: Adafruit Industries, www.Adafruit.com

Anhang

Anhang 1 – Experiment 1 – Fehlerkennline O1D155

Anhang 2 – Experiment 2 – Temperatureinfluss auf den O1D155

Anhang 3 – Quelltext der Java-Klasse SocketClient

Anhang 4 – Quelltext der Java-Klasse PositioningDevice

Anhang 5 – Quelltext der Python-Klasse

Anhang 6 – endgültige Fehlerkurven unter Realbedingungen

Anhang 7 – ProStep4-Kompakt - Schrittmotorsteuerung

Anhang 8 – Medistep Hutschiene - Schrittmotorendstufe

Anhang 9 – Bedienungsanleitung Optischer Abstandssensor O1D155

Anhang 10 – Datenblatt Beaglebone Black

Anhang 1

Experiment 1 – Fehlerkennline O1D155

Hilfmittel: O1D155
Speicheroszilloskop
verschiebbarer Reflektor
min 3m Abstandsmessskale (Zollstock, Maßband o.ä.)
gegebenfalls Schiene für den Reflektor
Zimmerthermometer

Ziel des Experimentes ist die Aufnahme einer Messkennlinie in Abhänigkeit der tatsächlichen Entfernung zum Sensor.

Vorbereitung:

- Aufwärmen des Lasersensors
  - Der Sensor muss vor der Anbringung der Messskale und vor Versuchsdurchführungen auf Betriebstemperatur warmlaufen.
  - Dieser Vorgang dauer eine Stunde.
  - Nicht Ausführen dieses Schrittes führt zu einer Verzerrung der Messskale.
- Anbringen der Messskale
  - Die Messskale sollte auf einer geraden, ausreichend langen Fläche angebracht und fixiert werden.
  - Sie sollte möglichst stabil sein und eine Verschiebung oder Verzerrung des Messbereiches zu vermeiden.
  - Da der Lasersensor keinen konkreten Nullpunkt besitzt ist die Lage der Skale willkürlich. Eine daraus resultierende Abweichung fließt in die Fehlerkennlinie ein. Aus diesem Grund bietet es sich an, die 300mm Werte von Skale und Lasersensor(Display) übereinander zu legen. Die Skale darf bei aufeinander folgenden Versuchsdurchführungen nicht verschoben werden.
- Laser entlang der Messskale gerade ausrichten.
  - Wenn sich der Reflektor vom Laser entfernt sollte sich die Position des Laserpunktes auf dem Reflektor möglichst nicht bewegen

Durchführung:

- Temperatur ermitteln.
- Reflektor entlang der Skale verschieben.
- Ausgangsspannung mit Oszilloskop oder AD-Wandler aufnehmen(Mittelwert über mindestens 100 Werte).
- gegebenfalls Display-Anzeigewert ablesen.
- Differenz aus Ist- (Display/Ausgangsspannung) und dem Sollwert(Skale) ermitteln.

Variierbare Parameter

- Umgebungstemperatur
- Messauflösung

Anhang 2

Experiment 2 – Temperatureinfluss auf den O1D155

Hilfsmittel: O1D155
Oszilloskop
Reflektor
Infrarot- oder Fühlerthermometer(minimale Auflösung 1/10 °C)

Ziel des Experimentes ist es, den Einfluss der Temperatur auf den O1D155 zu untersuchen. Dabei steht weniger die exakte Darstellung des Temperatureinflusses im Vordergrund. Von besonderem Interesse ist der Zeitraum, in dem sich die Betriebstemperatur des O1D155 einstellt.

Vorbereitung:

- Der O1D155 muss kalt sein.
  - Der O1D155 darf mehrere Stunden vor einer Versuchsdurchführung nicht in Betrieb gewesen sein. Die Stromversorgung zum Laserentfernungsmesser sollte erst zu Beginn des Experimentes eingeschaltet werden. Sollte ein Versuch unterbrochen werden müssn die oben genannten Zustände hergestellt werden, bevor ein erneuter Versuch durchgeführt werden kann.
- Die Temperatur muss immer an der selben Stelle gemessen werden.
  - Die Temperatur schwankt gehäusebedingt über die Oberfläche des Sensors.
- Der Reflektor wird vor Versuchsbeginn auf eine konstante Entfernung eingestellt.
  - Dieser darf wärend des Versuches nicht verschoben werden.

Durchführung:

- Aufnahme der Zimmertemperatur
- Stromversorgung herstellen
- Sofort Ausgangsspannung und Oberflächentemperatur des O1D155 messen. Displaywert aufnehmen.
- Messung alle 1-2 min wiederholen
- Messung beenden, wenn sich die Messwerte über einen längeren Zeitraum nicht mehr verändern

Anhang 3

Quelltext der Java-Klasse SocketClient

Anhang 4

Quelltext der Java-Klasse PositioningDevice

Anhang 5

Quelltext der Python-Klasse

Anhang 6

endgültige Fehlerkurven unter Realbedingungen(siehe Abbildung 24)

	17°C	19°C	21°C	23°C	25°C
300	28,06	23,63	18,7	21,96	21,31
350	28,5	23,77	18,79	22,16	20,97
400	30,49	25,64	21,03	24,21	22,09
450	35,68	30,29	25,09	27,67	25,73
500	40,75	33,78	28,33	31,1	27,12
550	43,47	35,29	29,64	32,43	28,48
600	46,66	38,37	33,28	34,66	30,82
650	47,13	39,73	34,03	36,02	32,02
700	45,28	38,17	32,53	34,84	30,16
750	42,67	36,36	31,15	32,88	28,74
800	39,86	32,83	28,59	30,76	27,82
850	37,08	31,06	26,64	29,1	25,57
900	34,1	28,87	24,22	27,39	25,52
950	32,53	27,41	23,28	26,38	24,82
1000	24,96	28,69	24,95	28,35	26,5
1050	30,59	18,31	27,8	32,07	28,73
1100	30,41	21,42	26,16	28,55	30,75
1150	30,07	17,84	24,82	27,68	23,06
1200	24,54	10,81	18,51	25,54	21,94
1250	22,05	8,19	15,99	18,1	20,61
1300	16,69	8,39	2,96	19	20,25
1350	15,51	7,55	2,51	18,13	19,46
1400	14,91	7,82	3,04	17,83	20,96
1450	12,92	6,64	1,65	16,21	19,82
1500	10,6	4,1	-0,34	15,55	19,8
1550	8,45	2,99	-0,57	15,99	21,26
1600	9,76	5,47	0,48	17,21	22,5
1650	14,54	9,15	4,01	22,34	28,71
1700	20,52	13,22	8,21	24,69	28,56
1750	22,91	15,45	10,23	25,14	27,26
1800	19,41	12,13	6,6	21,67	24,69
1850	18,79	10,72	5,65	20,2	23,12
1900	17,45	8,61	4,1	19,35	21,53
1950	16,01	8,75	3,42	17,43	21,09
2000	12,18	5,07	-0,47	14,03	18,38
2050	10,14	4,09	-1,21	2,29	18,53
2100	8,72	2,21	-2,91	0,67	16,17
2150	6,42	0,53	-4,03	-1,47	17
2200	6,11	0,43	-4,11	-1,03	16,29
2250	9,71	3,01	-0,26	2,76	21,9
2300	17,34	10,26	5,43	7,97	25,09
2350	18,68	10,85	5,48	7,31	23,31
2400	20,25	11,86	6,58	8,14	24,11
2450	19,96	11,63	5,82	7,83	23,64
2500	20,13	12,14	7,29	8,43	24,48
2550	20,32	12,41	7,4	8,62	25,41
2600	17,36	10,32	5,05	7,06	23,54

Anhang 7

ProStep4-Kompakt - Schrittmotorsteuerung

Anhang 8

Medistep Hutschiene - Schrittmotorendstufe

Anhang 9

Bedienungsanleitung Optischer Abstandssensor O1D155

Anhang 10
Datenblatt Beaglebone Black