

Entwicklung eines Schwingungsmesssystems für ein Radar

Sebastian Beyer

10. August 2012

Inhaltsverzeichnis

1 Abstrakt	3
2 Motivation und Hintergrund	4
3 Hintergrund: Beschleunigungssensoren	5
3.1 Piezoresistive Sensoren	6
3.2 Kapazitative Sensoren	6
4 Entwicklung des ersten Schwingungsmesssystems (BMA180)	9
4.1 Bosch BMA180	9
4.2 Arduino	9
4.3 Schnittstellen	10
4.3.1 I ² C	10
4.3.2 Serieller Port	10
4.4 Aufbau und Schaltung	11
4.4.1 Testaufbau	11
4.4.2 Fester Aufbau	12
4.5 Software	12

1 Abstrakt

2 Motivation und Hintergrund

3 Hintergrund: Beschleunigungssensoren

Beschleunigungssensoren messen grundsätzlich die Kraft, die auf ein System wirkt. Diese setzt sich aus der Gravitation und Trägheitskräften zusammen. Isoliert man die Trägheitskräfte, so lässt sich daraus die Translationsbeschleunigung bestimmen. Mithilfe dieser lässt sich die Positionsänderung des Systems berechnen. (Referenz?)

Es gibt verschiedene Prinzipien, mit denen die Beschleunigung bestimmt werden kann. Das verbreitetste ist das der Federwaage.

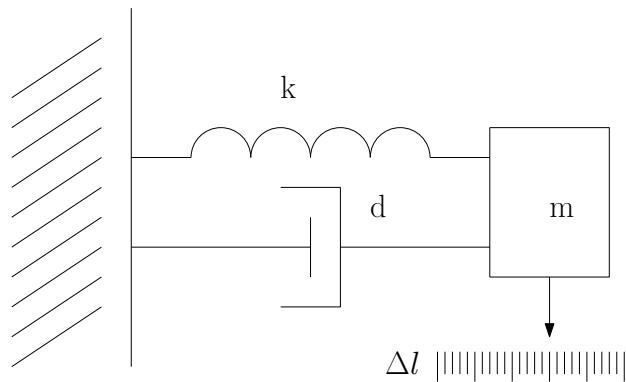


Abb. 1: Masse-Feder-System zur Beschleunigungsmessung. k , d , m und Δl bezeichnen Federkonstante, Dämpfung, Masse und Auslenkung. nach [Klingbeil, 2006].

Eine Masse m (auch seismische Masse genannt) ist über einer Feder mit der Federkonstante k mit einem festen Bezugspunkt verbunden. Die Auslenkung Δl ist proportional zur auf die Masse wirkenden Beschleunigung a .

$$a = \frac{k}{m} \cdot \Delta l \quad (1)$$

Zu beachten ist die Ausrichtung des Sensors, a entspricht immer der Projektion der Beschleunigung auf die Auslenkungsrichtung von m .

Durch geeignete Wahl von k , d und m lässt sich das System für den jeweiligen Fall so einstellen, dass die Ansprechzeit, Resonanz und Sensitivität optimal sind und es möglichst zu keinerlei Nachschwingen kommt.

Mittlerweile sind Beschleunigungssensoren in den meisten Fällen als MEMS realisiert (**Micro Electro Mechanical Systems**). Sehr kleine mechanische Elemente (1-100 Mikrometer) werden zusammen mit elektronischen Schaltungen auf einen Siliziumwafer aufgebracht. Dabei werden Techniken aus der Fabrikation von integrierten Schaltkreisen (ICs) verwendet, was dazu führt, dass komplizierte elektromechanische Systeme in winziger Größe und hoher Stückzahl hergestellt werden können. Der geringe Preis führt dazu, dass die Sensoren in mehr und mehr Anwendungen integriert werden (Autos, Smartphones, Quadrocopter...).

Die Messung der Auslenkung erfolgt im Wesentlichen durch zwei Verfahren:

3.1 Piezoresistive Sensoren

Piezoresistive Sensoren machen sich den Piezoelektrischen Effekt zunutze. In der Feder der Testmasse befinden sich Piezoelemente, welche sich bei Auslenkung verformen und damit ihren Widerstand ändern. Silizium ist ein geeignetes Material, da es sehr empfindlich und linear reagiert und gleichzeitig gut mit der MEMS Technik kombinierbar ist [Kanda, 1991].

3.2 Kapazitative Sensoren

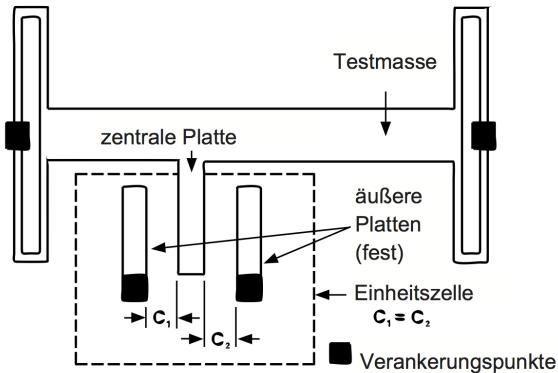


Abb. 2: Vereinfachtes Diagramm des ADXL05 in Ruhe [ADXL05, 1996]

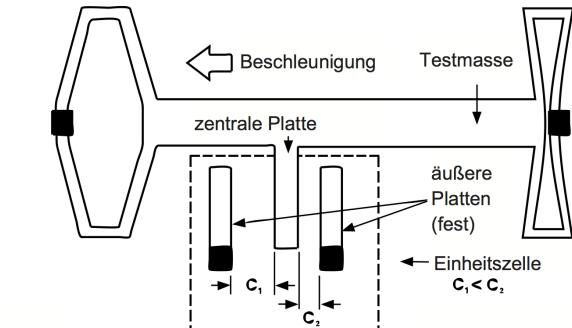


Abb. 3: Vereinfachtes Diagramm des ADXL05 während einer externen Beschleunigung [ADXL05, 1996]

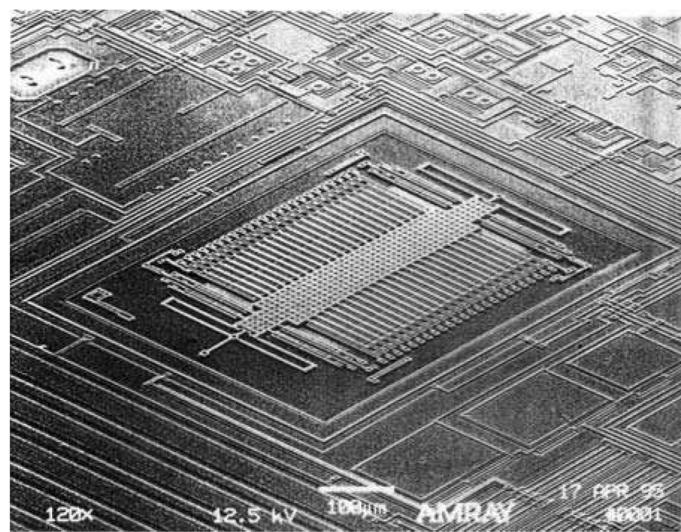
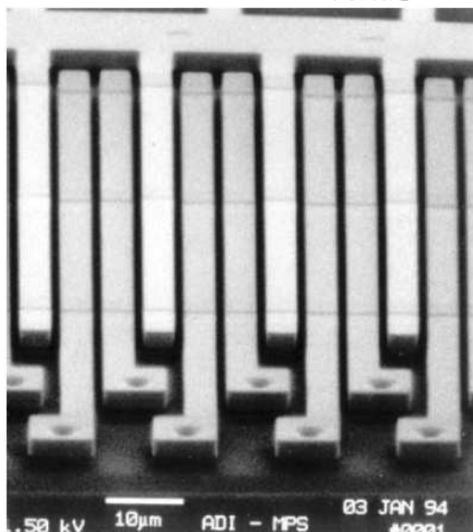


Abb. 4: ADXL05 unter dem Elektronenmikroskop, Beispiel für einen kapazitiven MEMS Beschleunigungssensor mit 46 Einzelzellen [Klingbeil, 2006].

Die Auslenkung lässt sich auch über eine Kapazitätsmessung bestimmen, wenn man je eine Elektrode an der Testmasse und eine am fixen Referenzpunkt anbringt.[Sherman

et al., 1992] Eine mögliche Realisierung ist in Abbildung 2 und Abbildung 3 zu sehen: Es handelt sich um einen sogenannten Differentialkondensatorsensor. Der Vorteil bei dieser Art von Sensoren ist die Möglichkeit zur Linearisierung und Kompensation [Schmidt, 2002]. (ERKLÄREN??)

Die seismische Masse befindet sich zwischen zwei fest verankerten Platten, die zusammen zwei Kondensatoren C_1 und C_2 bilden (Abbildung 2). Eine auftretende Beschleunigung führt also zu einer Auslenkung der Mittelelektrode des Kondensatorenpaars (seismische Masse) um die Länge $\pm\Delta l$ und damit zu einer symmetrischen Kapazitätsänderung um $\pm\Delta C$ (Abbildung 3).

Um diese Variation in ein elektrisches Ausgangssignal umzusetzen, wird eine sogenannte Brückenschaltung verwendet (Abbildung 5).

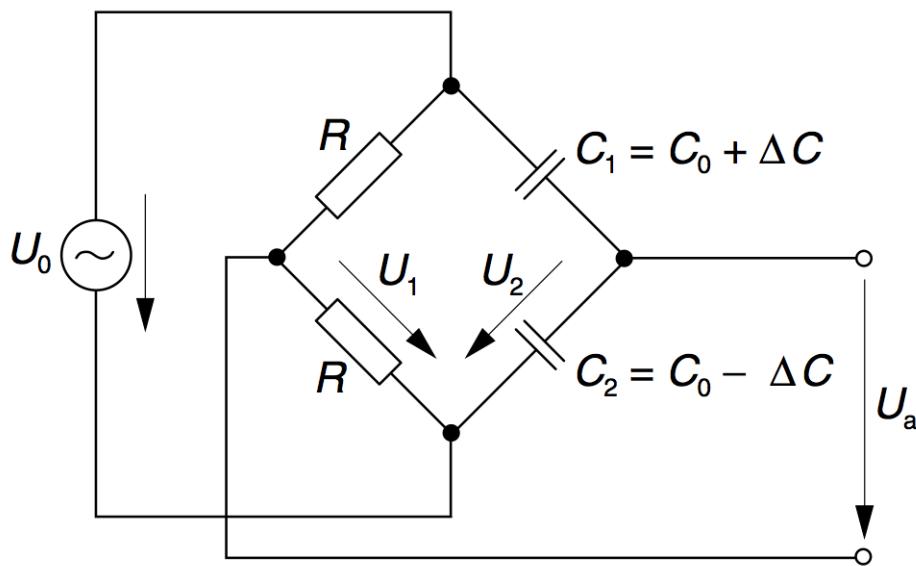


Abb. 5: Brückenschaltung mit Differentialkondensator (Die mit U_a verbundenen Elektroden von C_1 und C_2 bilden eine gemeinsame Platte) [Schmidt, 2002]

Wird nun eine Wechselspannung an die Brücke angelegt, so ergibt sich nach der Spannungsteilerregel für den Ausgang U_a :

$$U_a = U_1 - U_2 = U_0 \frac{R}{2R} - U_0 \frac{\frac{1}{j\omega C_2}}{\frac{1}{j\omega C_2} + \frac{1}{j\omega C_1}} \quad (2)$$

Durch Kürzen ergibt sich:

$$U_a = \frac{U_0}{2} - U_0 \frac{\frac{1}{C_2}}{\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_1}} = U_0 \left(\frac{1}{2} - \frac{C_1}{C_2 + C_1} \right) = \frac{U_0}{2} \left(\frac{C_2 - C_1}{C_2 + C_1} \right) \quad (3)$$

Mit $C_1 = C_0 + \Delta C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A / (d_0 - \Delta l)$ und $C_2 = C_0 - \Delta C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A / (d_0 + \Delta l)$ erhält man eine lineare Abhängigkeit der Ausgangsspannung U_a von der Auslenkung Δl :

$$U_a = -U_0 \frac{\Delta l}{2d_0} \quad (4)$$

Aus [Schmidt, 2002].

Diese Spannung lässt sich nun digitalisieren und auslesen. In vielen MEMS Bausteinen ist bereits ein integrierter Analog Digital Wandler eingebaut, sodass die Messwerte direkt digital abrufbar sind.

4 Entwicklung des ersten Schwingungsmesssystems (BMA180)

Um abschätzen zu können wie groß die auftretenden Beschleunigungen an der Radaranenne sind, habe ich damit begonnen einen günstigen, schnell zu verwendenden Prototypen zu entwickeln. Dies ist vor Allem wichtig, um entscheiden zu können, für welchen Messbereich und welche Frequenzen der eigentliche Sensor ausgelegt sein muss.

4.1 Bosch BMA180

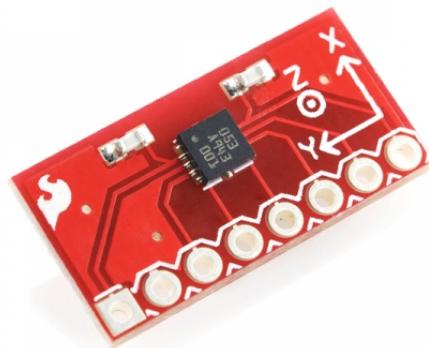


Abb. 6: BMA180 Breakoutboard von Sparkfun

Die Wahl fiel auf einen *Bosch BMA180* digitalen, dreiachsigen MEMS Beschleunigungssensor. Er verfügt über einen eingebauten 14-bit Analog-Digital Wandler und sieben per Software verstellbaren Messbereiche von ± 1 bis $\pm 16g$. Die Kommunikation kann über SPI oder I2C erfolgen.

Ich nutze ein Breakoutboard von Sparkfun, da so das knifflige SMD-Löten entfällt und bereits zwei Spannungsstabilisierende Kondensatoren eingebaut sind.

4.2 Arduino

Arduino ist eine auf Atmega Mikroprozessoren basierende Open-Source Entwicklungsplattform zur Verarbeitung von analogen und digitalen Signalen. Die Programmierung kann über eine eigene Entwicklungsumgebung in einer an *Processing*¹ angelehnten Sprache erfolgen, die im Prinzip ein vereinfachtes C/C++ darstellt.

Die Plattform ist auf Prototyping und Experimente ausgelegt. Es ist bereits ein Bootloader vorinstalliert, so kann die Programmierung direkt über die serielle Schnittstelle erfolgen. Die Boards machen die meisten Pins des Atmegas für eigene Schaltungen verfügbar, in den gängigen Boards sind das 14 Pins, die frei als Ein- oder Ausgänge genutzt werden können. Die Stromversorgung kann über USB oder eine externe 5V Quelle erfolgen. Als weitere Interfaces werden SPI, ICSP und I2C angeboten.

¹LINK?

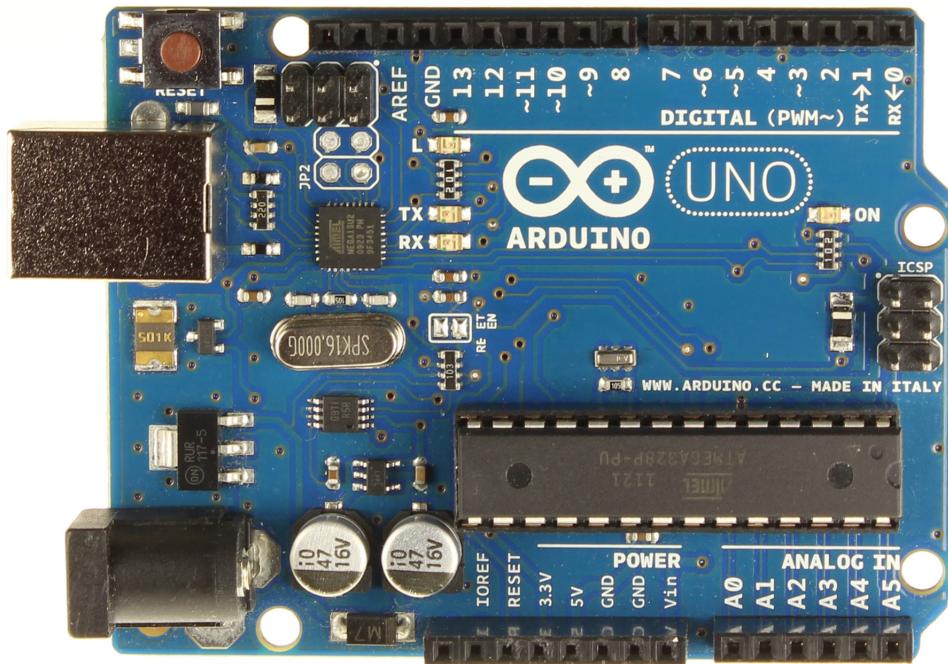


Abb. 7: Arduino UNO

4.3 Schnittstellen

4.3.1 I²C

Die Kommunikation zwischen Beschleunigungssensor und Arduino erfolgt über den I²C Bus. Dabei handelt es sich um einen von Phillips entwickelten seriellen Datenbus, der ursprünglich entwickelt wurde, um Chips in Fernsehgeräten steuern zu können. Inzwischen ist das Patent ausgelaufen und er wird in vielen Hardwareprojekten verwendet, da er sehr leicht zu verstehen und zu verwenden ist. [NXP, 2012]

4.3.2 Serieller Port

Zum einfachen Anschluss des Arduinos an einen PC oder Datenlogger wird eine serielle Schnittstelle nach RS232 (REFERENZ) verwendet. Auf dem Arduino befindet sich ein ATmega16U2, welcher die seriellen Signale in USB umwandelt und dafür sorgt, dass der Arduino am PC als virtueller COM-Port erscheint.

4.4 Aufbau und Schaltung

4.4.1 Testaufbau

Um die korrekte Verschaltung zu überprüfen und die Software für das Auslesen der Daten zu entwickeln, habe ich zunächst auf dem Breadboard gearbeitet. Der dazu verwendete Schaltplan ist in Abbildung 10 zu sehen.

Da der Sensor im I²C Modus betrieben werden soll, ist CS auf High (3.3V) geschaltet. Der SDO-Pin setzt damit dann die Adresse des Chips, wie aus Tabelle 1 zu entnehmen ist. Ist dieser Low (GND), so ist die Adresse 0x40.

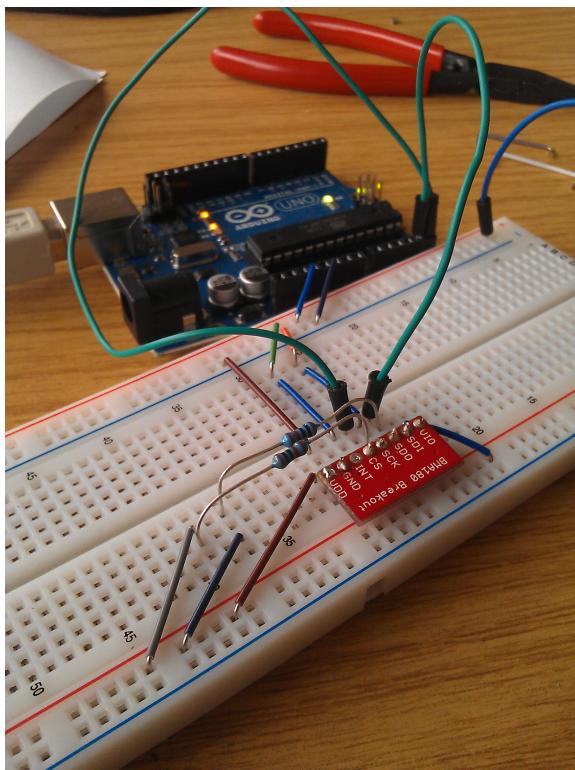


Abb. 8: Testaufbau auf dem Breadboard



Abb. 9: Testplatine am Radar

SPI mode	I2C mode
SDI input	SDA birectional (!)
SDO output	ADDR adress bit, input
SCLK input	SCL input
CSB chip select, input	I2C mode select, input

Tab. 1: BMA180 Pinbelegung für SPI und I²C Modes [Sensortec, 2009]

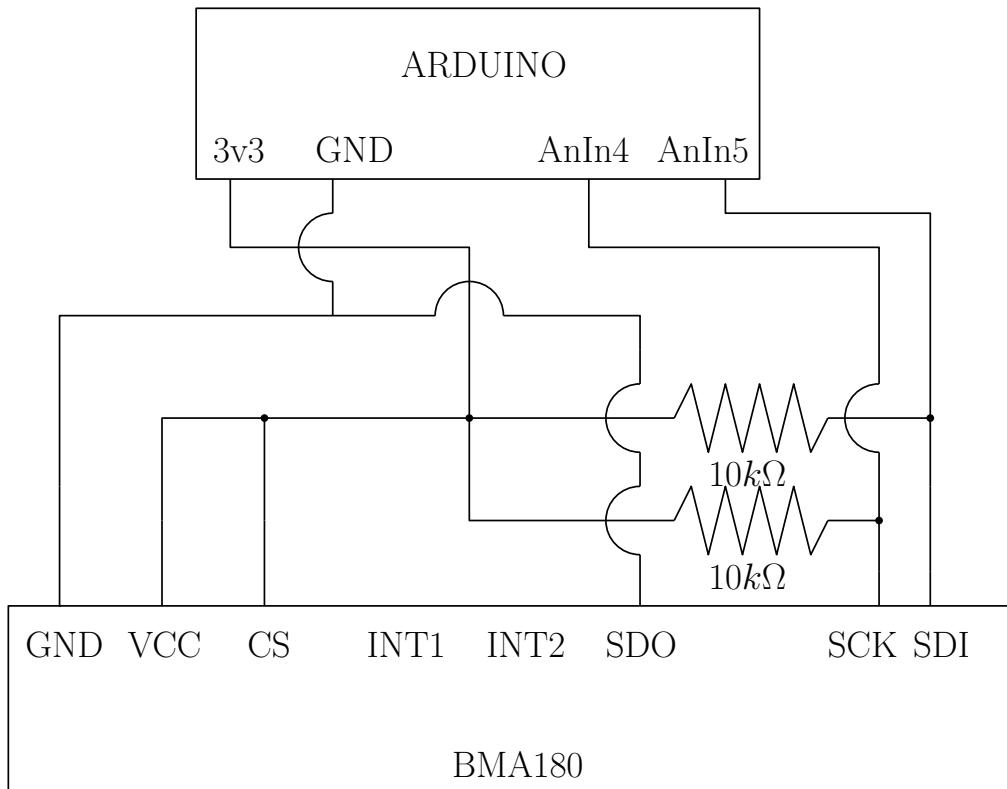


Abb. 10: Schaltplan Testaufbau. Die Interrupts sind nicht verbunden, VCC und CS sind auf 3.3V geschaltet, GND und SDO auf die Masse des Arduinos gezogen, die I²C Datenleitungen SCK und SDI sind mit den Arduinopins A4 und A5 verbunden, wobei zusätzlich 10kΩ Pull-Up-Widerstände eingebaut sind.

4.4.2 Fester Aufbau

Um das System wirklich praktisch nutzen zu können muss er natürlich fest aufgebaut werden und mit einem Gehäuse versehen werden, das es erlaubt, ihn fest an einem Testobjekt anzubringen und ihn gleichzeitig vor Schäden durch mechanische oder witterungsbedingte Einflüsse schützt.

Um die eigentliche Sensoreinheit möglichst kompakt zu halten, habe ich mich entschieden, den Beschleunigungssensor vom Arduino zu trennen und auf eine kleine Lochrasterplatine zu löten. Diese wird in einen festen Block aus Polyurethanharz [Components, 2010] eingegossen, womit sie gleichzeitig gut geschützt und leicht anzubringen ist.

4.5 Software



Abb. 11: BMA180 in Polyurethanharz eingegossen, die Kunststoffbox wurde von der technischen Werkstatt des Geomatikums gefertigt.

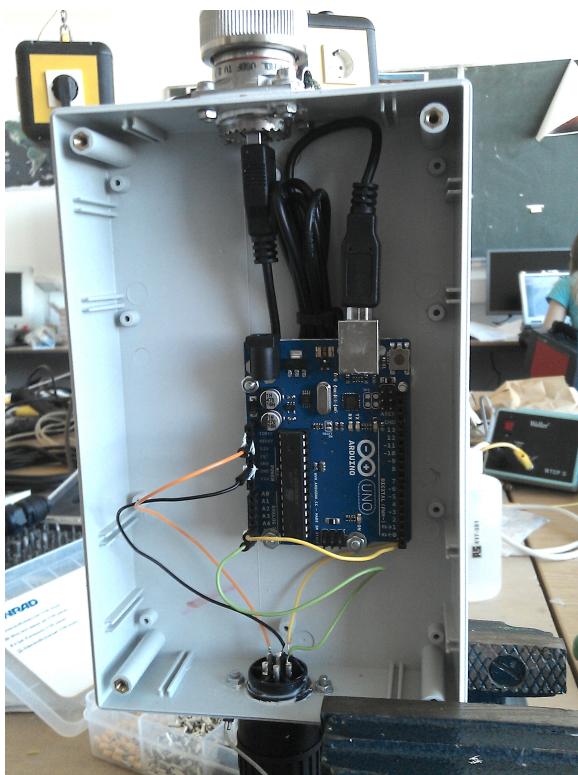


Abb. 12: Arduinobox



Abb. 13: Arduinobox im Regen

Literatur

Datasheet ADXL05. *1g to 5g Single Chip Accelerometer with Signal Conditioning*, 1996.

RS Components. *Datasheet Polyurethane*, 2010.

Yozo Kanda. Piezoresistance effect of silicon. *Sensors and Actuators A: Physical*, 28(2): 83–91, July 1991.

Lasse Klingbeil. *Entwicklung eines modularen und skalierbaren Sensorsystems zur Erfassung von Position und Orientierung bewegter Objekte*. PhD thesis, Universität Bonn, 2006.

NXP. *UM10204 I2C-bus specification and user manual*. NXP, rev4 edition, February 2012.

Schmidt. *Sensorschaltungstechnik*. Vogel, 2002.

Bosch Sensortec. *BMA180 Digital, triaxial acceleration sensor Data sheet*, 2.1 edition, December 2009.

S.J. Sherman, W.K. Tsang, T.A. Core, R.S. Payne, D.E. Quinn, K.H.-L. Chau, J.A. Farash, and S.K. Baum. A low cost monolithic accelerometer; product/technology update. In *Electron Devices Meeting, 1992. IEDM '92. Technical Digest., International*, pages 501–504, 1992.