



# BALANCER ROBOT

## Prozessdokumentation

Berufsmaturitätsschule Zürich  
Technik, Architektur, Life Sciences

Betreuer: H.P. Lutz  
Abgabe: 26.11.2019

Lacher Markus, BEL16a  
markuslacher@hotmail.ch



## Inhalt

Projektvereinbarung.....	2
Thema .....	2
Eigene Fragestellung / Untersuchungsgegenstand .....	2
Leitfrage .....	2
Hypothese .....	2
Methoden und Vorgehen .....	2
Hilfsmittel .....	2
Kontaktpersonen, Informationsstellen, Institutionen.....	3
Persönlicher Bezug / Motivation .....	3
Zeitplan.....	4
Protokoll der Zwischenbesprechung.....	5
Projekjournal .....	6
Reflexion.....	9
Einzelarbeit .....	9
Zeitplanung.....	9
Analysieren der Hypothese .....	9
Optimierungsvorschläge.....	10
Fortsetzung .....	10



## Projektvereinbarung

### Thema

Der Balancer Robot soll ein Fahrzeug werden, welches sich selbst ausbalanciert. Es soll auf 2 Rädern vor- und zurückfahren, um nicht umzufallen. Ein grosser Teil des Projekts umfasst das Entwickeln der Elektronik und der Software des Fahrzeugs. Mithilfe eines Beschleunigungs- und Gyrosensors soll die Neigung des Fahrzeugs bestimmt werden können. Die Software soll dann per Regelungsalgorithmus die Motoren ansteuern, damit der Balancer Robot vor dem Umfallen bewahrt wird. Sowohl die Elektronik, als auch die Software bilden eine Herausforderung, der ich mich jedoch gewachsen fühle. Der Regelungsalgorithmus wird wahrscheinlich die grösste Herausforderung werden. Fokus der Arbeit ist also das Bereitstellen eines funktionstüchtigen und optimierten Prototyps. Sollte dieser funktionieren, werde ich mit ersten Selbstversuchen simpler Regelungsalgorithmen beginnen.

### Eigene Fragestellung / Untersuchungsgegenstand

#### Leitfrage

Ist es möglich, mithilfe eines Beschleunigungs- und Gyrosensors und zwei DC-Motoren ein Fahrzeug auf 2 Rädern auszubalancieren? Untersucht werden soll dabei einerseits die Physik hinter dem Ausbalancieren, andererseits soll eine Elektronik entwickelt werden, die bestmöglich auf das Ausbalancieren optimiert ist. Zusätzlich möchte ich Gedanken und Recherche über Regelungsalgorithmen ausführen, um allfällig selber den Regelungsalgorithmus für das Ausbalancieren schreiben zu können.

#### Hypothese

Ich denke, das Bestimmen der Neigung mithilfe des Beschleunigungs- und Gyrosensors sollte möglich sein. Auch das Entwickeln der Elektronik traue ich mir zu. Schwieriger wird es bei der Software für den Mikrocontroller. Die ist vermutlich relativ komplex. Aber da ich aktuell im Geschäft über programmieren von Embedded Software geschult werde, möchte ich mich dieser Herausforderung stellen. Die grösste Schwierigkeit sehe ich im Regelungsalgorithmus, da ich mich bis anhin weder in der Schule noch im Geschäft mit Regelungstechnik befasst habe.

#### Methoden und Vorgehen

Geplant sind 4 Projektmeilensteine: Zu Beginn das Analysieren des physikalischen Grundprinzips. Danach soll die Elektronik und die Mechanik für den ersten Prototypen entwickelt werden. Im dritten Schritt soll Software entwickelt werden, um die Elektronik anzusteuern. Der vierte Meilenstein wird das Entwickeln eines Regelungsalgorithmus sein.

#### Hilfsmittel

Messgeräte für das Testen der Elektronik, sowie Debugger für die Software. 3D-CAD Programm für die Mechanik.



### Kontaktpersonen, Informationsstellen, Institutionen

Eine wichtige Kontaktperson wird Herr Lutz sein, weil ich sicherlich Unterstützung beim Analysieren des physikalischen Prinzips brauche. Herr Malacarne, mein Elektrotechniklehrer aus der Berufsschule, wird meine erste Anlaufstelle sein, wenn es Probleme in der Elektronik gibt. Für den Regelungsalgorithmus könnte ich einen Projektleiter aus meinem Geschäft ansprechen, Herrn Gwerder, da dieser einen Master in Regelungstechnik besitzt.

### Persönlicher Bezug / Motivation

Das Projekt ist eine grosse Herausforderung für mich. Es wird viel Zeit in Anspruch nehmen und es ist gut möglich, dass am Ende das Ausbalancieren nicht funktioniert. Dennoch bin ich motiviert, mein Können unter Beweis zu stellen und das Beste aus dem Projekt zu machen. Ich wollte mich schon seit Längerem mit Regelungstechnik auseinandersetzen, hatte bisher aber nicht die Zeit dafür. Dieses Projekt kombiniert ideal meine Interessen im Bereich der Softwareprogrammierung, Entwicklung von Elektronik und Physik.



## Zeitplan



## Protokoll der Zwischenbesprechung

Eine offizielle Zwischenbesprechung wurde nicht durchgeführt. In der Projektwoche setzte sich Herr Lutz kurz zu mir und fragte mich nach dem Stand und den Problemen des Projekts. Er gab mir Tipps und Vorschläge und überprüfte, ob ich mich auf dem richtigen Weg befinde. Ein Protokoll wurde nicht geführt.



## Projektjournal

Datum	Ausgeführte Arbeiten	Aufwand
19.08.2019	Erste Überlegungen zum Projekt und zu den physikalischen Kräften gemacht.	3h
23.08.2019	Informiert über Gyrosensoren und Beschleunigungssensoren.  Sensorboard bestellt. Zwei verschiedene Motoren auf Conrad bestellt.	2h  0.5h 0.5h
27.08.2019	Mechanische Planung, Grobkonzept des ersten Prototyps erstellt.  Mindestanforderung für das Motorendrehmoment bestimmt.	1.5h  1h
28.08.2019	Festgestellt, dass die bestellten Motoren ein zu kleines Drehmoment aufweisen. Motor mit mechanischer Übersetzung auf Conrad bestellt.	1.5h
15.09.2019	Erste Software geschrieben, um die PWM Ansteuerung des Mikrocontrollers zu testen.	1.5h
17.09.2019	Ansteuerung des Sensors MPU-6050 erfolgreich getestet. Schema für die Leiterplatte entwickelt.	2h 1h
19.09.2019	Erste Leiterplatte gelayoutet und bestellt.	8h
23.09.2019	Weitere Testversuche mit dem Sensor, Softwaremodul programmiert.	2h
25.09.2019	Python-Skript programmiert, um die Sensorwerte mit dem Computer auslesen zu können.	1.5h
30.09.2019	Mechanische Grundplatte gezeichnet und einem Mechaniker im Betrieb in Auftrag gegeben.	1h
02.10.2019	Leiterplatte bestückt.	1.5h
03.10.2019	Erster Prototyp zusammengebaut.	1h
04.10.2019	Die Ansteuerung des Sensors funktionierte nicht mehr auf der Leiterplatte.  Dafür funktionierte die erste Ansteuerung der Motoren.	0.5h  1h
06.10.2019	Weitere Softwaremodule fertiggestellt. (GPIO-Treiber, LED-Treiber, ADC-Treiber)	6h
08.10.2019	Ich habe spontan im Betrieb eine Stunde lang mit einem Physiker über die physikalischen Kräfte des Balancer Robots diskutiert. Er hat mich auf das Pendelprinzip aufmerksam gemacht.	1h
14.10.2019	Weitere Softwareteile programmiert.	8h
15.10.2019	Die nächsten beiden Wochen zügelt mein Betrieb den Standort. Dadurch ist das Testen und Anpassen der Elektronik sowie Mechanik erschwert für mich. Ich nahm diverse Werkzeuge mit nach Hause, damit ich für den Notfall auch Zuhause ein bisschen „basteln“ kann.	-



17.10.2019	Heute habe ich endlich herausgefunden, weshalb die Ansteuerung des Sensors auf der Leiterplatte nicht mehr funktioniert. Das verwendete Mikrocontrollerboard hat zwei Lötbrücken, welche jeweils zwei Pins des Mikrocontrollers miteinander verbindet, damit das Mikrocontrollerboard mit dem Arduino UNO kompatibel ist. Dadurch war ein PWM Pin für den Motor mit der Datenleitung der I2C Schnittstelle verbunden. Somit konnte der Mikrocontroller nicht mehr mit dem Sensor kommunizieren.	2.5h
21.10.2019	Das Mikrocontrollerboard musste von der Leiterplatte ausgelötet werden, damit ich die Lötbrücken auf der Unterseite des Boards auftrennen konnte. Danach testete ich die Software, um zu sehen ob die Motoren anhand der Sensorwerte angesteuert werden. Ich musste feststellen, dass ich noch diverse Fehler in der Software hatte, welche ich dann überarbeitete. Am Abend wollte ich die Erweiterung der Software testen, musste aber feststellen dass der Mikrocontroller defekt war.	3.5h
<b>22.10.2019</b>	<b>Beginn der Projektwoche</b>	
22.10.2019	Im Labor der BMS habe ich den Mikrocontroller ein zweites Mal ausgelötet, um diesen zu ersetzen. Dieser Prozess war beim ersten Mal schon aufwändig. Durch die mechanische Belastung beim Auslöten ist die Leiterplatte kaputt gegangen.	2h
	An der Software gearbeitet, Taster-Ansteuerung umgesetzt.	2.5h
	Dokumentation erweitert.	1h
23.10.2019	Am Morgen an der Dokumentation gearbeitet.	4.5h
	Am Nachmittag ins Geschäft gefahren, neue Leiterplatte bestückt.	2h
	Zuhause habe ich weitere Softwaretests durchgeführt und musste feststellen, dass ein Motor nicht korrekt angesteuert wird und dass der Motortreiber im Betrieb sehr heiss wird. Ich vermutete dass der Motortreiber kaputt ist und ersetzte ihn. Direkt beim Einschalten des Balancer Robots funkte es und der ersetzte Motortreiber war beschädigt.	2h
24.10.2019	Am Morgen arbeitete ich weiter an der Software. Die Ansteuerung der Motoren anhand der Sensormesswerte	3h





	<p>funktionierte, jedoch ohne den Motortreiber. Ich mass einfach das PWM-Ausgangssignal des Mikrocontrollers. Zusätzlich suchte ich nach einem neuen Motortreiber mit mehr Leistung. Da ich unter Zeitdruck stehe, rief ich direkt beim Lieferant an und bestellte den neuen Typ.</p> <p>Im Verlaufe des Nachmittags fuhr ich nach Nänikon und holte den bestellten Motortreiber direkt beim Lieferanten ab, um zwei Tage Lieferzeit zu sparen.</p> <p>Danach fuhr ich ins Geschäft und begann eine Adapterplatine zu bauen, damit ich den neuen Motortreiber auf den alten Sockel stecken kann.</p>	<p>1.5h</p> <p>1h</p> <p>3h</p>
25.10.2019	<p>Da ich gestern bis spät abends im Geschäft war, jedoch nicht fertig wurde mit der Adapterplatine, fuhr ich erneut ins Geschäft und bestückte die Adapterplatine fertig.</p> <p>Am Mittag fuhr ich nach Zürich für das gemeinsame Mittagessen. Am Nachmittag waren die Präsentationen der einzelnen Gruppen.</p>	<p>3h</p> <p>-</p>
<b>25.10.2019</b>	<b>Ende der Projektwoche</b>	
28.10.2019	Arbeit an der Dokumentation	3.5h
30.10.2019	Ich musste feststellen, dass die Adapterplatine einen Wackelkontakt aufweist. Dadurch konnte ich einen Motor nicht richtig ansteuern, weshalb ich nicht wie geplant an der Regelungssoftware arbeiten konnte.	1.5h
31.10.2019	Ich entschied mich, dass die Adapterplatine eine zu grosse Bastelei ist. Ich begann das Layout anzupassen, damit die Elektronik fehlerfrei funktioniert.	2h
05.11.2019	Ich habe die Anpassung des Layouts fertiggestellt und die neue Leiterplatte direkt bestellt.	2.5h
11.11.2019	Die neue Leiterplatte ist angekommen.	-
12.11.2019	Ich habe die neue Leiterplatte bestückt.	1.5h
14.11.2019	Endlich konnte ich mit den ersten Versuchen der Regelungselektronik anfangen. Leider musste ich feststellen, dass ich die Messwerte noch optimieren muss, da das Aufrichten des Fahrzeugs die Messwerte des Beschleunigungssensors beeinflusst, was ich bisher noch nicht bedacht hatte.	2h
15.11.2019	P-Regler getestet, ohne Erfolg	2h
16.11.2019	Dokumentation	3h
17.11.2019	Dokumentation	4.5h
19.11.2019	Projektjournal	2h
20.11.2019	Dokumentation	1.5h
21.11.2019	Dokumentation	1.5h
22.11.2019	Hauptteil fertiggestellt, Reflexion	4h
<b>23.11.2019</b>	<b>Total</b>	<b>105.5h</b>



## Reflexion

Das Projekt war eine grosse Herausforderung für mich. Mir war von Beginn an klar, dass ich an meine Grenzen des Könnens stossen werde. Denn das Projekt verlangt nach sehr viel Wissen über Softwareprogrammierung, Entwicklung von Hardware und auch physikalisches Verständnis. Doch genau dies war für mich persönlich ein starker Anreiz, denn ich wollte mein Können unter Beweis stellen.

## Einzelarbeit

Ich durfte das Projekt als Einzelarbeit durchführen. Dies ersparte mir viel organisatorischen Aufwand, da ich die Arbeit nicht aufteilen musste. Da ich im Geschäft keine Lernenden in meiner Stufe habe und auch sehr weit weg von meinen Klassenkameraden wohne, konnte ich mir durch die Einzelarbeit viel Arbeitsweg sparen.

## Zeitplanung

Da ich mich erst in den Sommerferien für dieses Projekt entschieden habe und auch auf das Okay vom Betreuer bis nach den Sommerferien warten musste, war die Zeit sehr knapp. Deshalb plante ich den Zeitplan sportlich, was bei technischen Projekten immer suboptimal ist, denn man sollte stets Raum für Fehler und unerwartete Probleme einplanen. Ich setzte mir also zum Ziel, den ersten lauffähigen Prototypen in den Herbstferien fertigzustellen. Dafür waren in den Wochen bis und mit den Herbstferien über 30 Stunden Arbeitszeit eingeplant. Diese Schätzung war ziemlich gut, ich hatte tatsächlich in den Herbstferien alle Bestandteile für den ersten Prototyp bereit.

In der Projektwoche wollte ich die Software fertig schreiben und bereits mit ersten allfälligen Optimierungen des Prototyps starten. Ich war dem Zeitplan somit voraus. Doch in der Projektwoche musste ich dann feststellen, dass die Ansteuerung der Motoren durch den gewählten Motortreiber nicht korrekt funktionierte. Dies war ein Schock für mich, denn ich hatte diesen getestet, bevor ich mit der Entwicklung der Leiterplatte begonnen hatte. Denn nun musste ich einen Ersatz suchen, was aufgrund der Lieferzeiten und der Integrierung auf die bestehende Hardware sehr zeitintensiv war. Schlussendlich musste eine neue Leiterplatte entwickelt werden, welche 3 Wochen vor dem Abgabetermin geliefert wurde. Diese musste dann noch bestückt und eingebaut werden. Mir blieben also nur noch 2 Wochen Zeit, um Versuche mit verschiedenen Regelungsalgorithmen durchzuführen.

Dies ärgerte mich, da ich gerne mehr Zeit in die Versuche investiert hätte. Und es wäre auch schön gewesen, hätte ich es tatsächlich geschafft, das Fahrzeug auszubalancieren. Trotzdem bin ich zufrieden mit der Zeitplanung, denn sie war relativ präzise. Dies verdanke ich hauptsächlich dem Training durch die Berufsschule, in welcher wir bereits 2 technische Projekte über ein ganzes Semester lang mit Zeit- und Budgetplanung durchgeführt haben.

## Analysieren der Hypothese

Auch das Analysieren der Hypothese war zufriedenstellend. Ich konnte durch interessante Messversuche und Experimente aufzeigen, wie der Winkel des Fahrzeugs bestimmt werden kann. Auch das Ansteuern der Motoren konnte ich gut umsetzen, sowie auftretende Fehler korrigieren. Ich bin sehr zufrieden mit den Grafiken und Erklärungen in der Produktdokumentation.



### Optimierungsvorschläge

Ein wichtiger Verbesserungsvorschlag sehe ich in der Zielsetzung. Das Projekt war interessant und herausfordernd, jedoch steckte ich meine Ziele etwas gar hoch. Denn das Entwickeln des Prototyps war bereits sehr anspruchsvoll, das Programmieren und Anwenden eines Regelungsalgorithmus war schlussendlich einfach zu viel. Für eine nächste Arbeit würde ich ein kleineres Ziel stecken, dieses dann dafür bestmöglich umsetzen.

Auch der Arbeitsaufwand für das Produkt war meiner Meinung nach zu hoch. Ich war so ambitioniert darin, das Fahrzeug zum Laufen zu bringen, dass ich die Dokumentation sehr lange vernachlässigt habe. In den letzten beiden Wochen vor Abgabe musste ich dann sehr viel Zeit in die Dokumentation investieren. Schlussendlich bin ich zufrieden mit der Produktdokumentation, aber ich behaupte, dass die Qualität der Arbeit unter dem Zeitdruck doch etwas gelitten hat.

### Fortsetzung

Das Projekt ist noch nicht abgeschlossen, denn es läuft in der Berufsschule weiter. Dort habe ich nun bis Semesterende Zeit den Prototypen zu optimieren und an einem funktionierenden Regelungsalgorithmus zu arbeiten. Dies freut mich, denn ich möchte das Ausbalancieren unbedingt auch noch hinkriegen.