# Titelseite

# Inhaltsverzeichnis

# Einleitung

Schon seit früher Kindheit habe ich mich mit LEGO beschäftigt. Ich hatte immer Freude am Erfinden und Konstruieren von Maschinen, Fahrzeugen und Mechanismen. Als ich das LEGO Mindstorms NXT Set 2007 zu Weihnachten bekam, war ich noch zu jung um das volle Potential eines programmierbaren Mini-Computers mit Motoren und Sensoren zu erfassen und habe mich zuerst an die Bauanleitungen gehalten. Erst vor zwei Jahren, im 2012, als mein Mathematik- und Informatiklehrer, Dr. Stefan Grieder, mir einen Flyer zu einem Robotikwettbewerb von Helveticrobot gegeben hat, habe ich mich wieder mit dem NXT befasst, weil man an diesem Wettbewerb damit einen Roboter bauen musste um verschiedene Parcours zu absolvieren. Mein Klassenkollege Dominik Mannhart, welcher mit mir die Faszination für Roboter und Maschinen und vor allem für LEGO teilt, und ich haben ein Team gebildet und sind schliesslich nach Chur gefahren, wo der Wettbewerb ausgetragen wurde. Es hat mir ausserordentlich Spass gemacht einen Roboter selber zu konzipieren, zu bauen und zu programmieren um eine vorgegebene Aufgabe zu bewältigen und mich so fasziniert, dass ich mich dazu entschieden habe, das Thema für meine Maturitätsarbeit an der Kantonsschule Hohe Promenade aus diesem Themenbereich zu wählen.

# Themenfindung

In diesem Kapitel werde ich den Prozess meiner Themenfindung beschreiben.

Bereits kurz nach Weihnachten 2013 habe ich mich mit Herrn Liebich in Verbindung gesetzt, da ich wusste, dass er ein Robotik-Freifach angeboten hat und er mir von den anderen Lehrpersonen als Robotikexperte empfohlen wurde. Da ich sehr begeistert von Rubik’s Cubes bin, wollte ich als erstes einen Roboter bauen, welcher ein spezielles Puzzle namens Pyraminx (vom Prinzip her ähnlich wie ein Rubik’s Cube) lösen sollte, da nämlich bereits ein Roboter existiert, welcher einen normalen 3x3x3 Rubik’s Cube lösen kann. Herr Liebich versicherte mir, dass er mich gerne betreuen würde und somit habe ich mit ihm einen Termin vor den Frühlingsferien 2014 vereinbart. Wir haben die Idee besprochen und waren beide der Meinung, dass solch ein Roboter zu wenig originell sei, einigten uns aber, dass meine Maturitätsarbeit mit Robotern zu tun haben solle. Als ich mich während den Frühlingsferien mit meinem Cousin, Pablo Klemm, welcher an der ETH Lausanne Mikrotechnik studiert und 2015 voraussichtlich abschließen wird, unterhalten habe, erzählte er mir von einem Projekt für welches eine Gruppe von Studenten selbstständig einen Delta-Roboter konzipieren, bauen und programmieren musste. Ich kannte diesen Robotertyp bisher noch nicht und nach einer kurzen Recherche war ich so fasziniert, dass ich sofort begonnen habe eine eigene Version mit meinem LEGO Mindstorms NXT zu bauen und zu programmieren.

Nach den Ferien habe ich mich erneut mit meinem Betreur getroffen und ihm zuerst einige meiner neuen Roboter Ideen gezeigt, z.B. hatte ich die Idee von einem automatischen Tablettenspender, in welchen das Pflegepersonal die Zeiten und Mengen der Medikamente eintippen könnte, nur leider war ein ähnliches Prinzip bereits auf dem Markt. Auch habe ich ihm einen Film von meinen funktionstüchtigen Delta-Roboter Prototypen gezeigt und daraufhin hat er mir geraten, mich unbedingt für meine Maturitätsarbeit weiter mit diesem Robotertyp zu befassen. Ich war sofort mit dieser Idee einverstanden, da mir das Arbeiten mit dem Roboter sehr viel Spass gemacht hat und ich ihn gerne weiterentwickeln würde. Schliesslich galt es eine einzigartige Anwendung für den Roboter zu finden. Nach einer Recherche mussten wir praktisch alle Ideen die wir hatten, wie z.B. einen Barkeeper-Roboter oder einen Casino Dealer-Roboter, verwerfen, da es solche bereits in sehr professioneller und für mich unerreichbarer Ausführung gab. Es blieb noch eine Idee übrig, welche mir vorerst unmöglich schien erfolgreich umzusetzen: Das Zusammenbauen eines Molekülmodells welches von einer Software aus bestimmt werden kann. Da ich bis dahin nur Molekülmodelle mit einem Stecksystem kannte, welches die einzelnen Atomkugeln mit Verbindungsstangen zusammenhaltet und deshalb sehr mühsam zum Zusammenbauen ist, schien mir diese Aufgabe völlig unmachbar für einen selbstgebauten Roboter. Aber mich liess diese Idee nicht los. Daraufhin hat mir Herr Liebich empfohlen das Kalottenmodell zu verwenden, ein Modell welches Atome als Kugeln darstellt, welche sich in einem Molekül schneiden. Ich kam zu dem Schluss, dass die einzelnen Kugeln mit Magneten zusammenhalten könnten und so kein aufwändiges Stecksystem gebraucht würde. Somit müsste der Roboter “nur“ mit kugelförmigen Objekten umgehen und nicht mit den mühsamen Verbindungsstangen. Schliesslich erschien mir die Idee doch nicht völlig unmöglich umsetzbar zu sein und ich machte mir einige Skizzen um mir so ein System vorstellen zu können. Nach einem weiteren Gespräch hatte ich mich entschieden diese Herausforderung anzunehmen und meine Maturitätsarbeit einem Delta-Roboter zu widmen, welcher ein Molekülmodell zusammenbauen kann.

# Material & Methoden

## Einleitung

Da sich meine Arbeit durch die Konstruktion des Roboters und der Programmierung sowohl im praktischen, als auch im theoretischen Bereich befindet, gehören zu meinen “Materialien“ sowohl die Hardware um den Roboter zu konstruieren, als auch die Software um ihn dann zu programmieren. In diesem Kapitel werde ich beide Teile erläutern und darüber eine sachliche Übersicht geben. Im Kapitel *Dokumentation* wird dann die genaue Verwendung der Materialien und den Arbeitsprozess erläutert.

## Hardware

### LEGO

Für mich war klar, dass ich für den Roboter dem Mini-Computer von LEGO, den Mindstorms NXT, benutzen wollte. Er ist ein komplettes Set mit drei anschliessbaren Motoren und vielen verschiedenen Sensoren. Da ich selber einen besitze und mich bereits mit ihm beschäftigt habe, schien er mit die beste Lösung für meinen Roboter zu sein. Da alle Motoren, Sensoren und der Block selbst mit dem LEGO Technik System kompatibel sind, war es naheliegend, auch den Rest des Roboters aus LEGO zu bauen. Ich selbst bin mit diesem System bereits vertraut und besitze selber ein relativ grosses Kontingent an verschiedenen Teilen. Das LEGO System hat auch den Vorteil, dass man den Roboter jederzeit umbauen kann, was sich während meiner Arbeit als ausserordentlich nützlich erwiesen hat, da ich die mechanische funktionsweise des Roboters immer wieder umbauen musste.

#### Spezielle LEGO-Bausteine

In diesem Unterkapitel werde kurz die wichtigsten und speziellsten LEGO-Bausteine erläutern und ihre Funktion für meinen Roboter erklären.

##### Die Mindstorms NXTs

Der NXT ist ein programmierbarer Mini-Computer von LEGO. In meinem Projekt interagieren zwei NXTs mit der LabVIEW Software auf dem Computer. Sie senden Sensordaten und erhalten Befehle, z.B. wann welche Motoren aktiviert werden sollen. Somit bilden sie das Gehirn meines Roboters. Jeder NXT-Block verfügt über drei Motorenports, welche die Motoren mit Strom versorgen, vier Sensorports, welche mit vielen verschiedenen Sensoren verbunden werden können, vier Knöpfe und ein Display. Ein NXT Block kann mit einem Computer entweder über Bluetooth, was mit meinem privaten MacBook Pro leider nicht funktioniert hat, oder über ein USB-Kabel verbunden werden. Da fünf unabhängige Motoren für meinen Roboter benötigt werden, musste ich zwei NXT-Blöcke verwenden um alle Motoren ansteuern zu können.

##### Die NXT Motoren

Drei NXT Motoren sind im LEGO Mindstorms NXT Set enthalten und können mit dem NXT verbunden werden. Sie enthalten ein aufwändiges Getriebe im innern und haben bereits einen Rotationssensor eingebaut, welcher die relative Position des jeweiligen Motors zur Grundposition in Grad messen kann. Ich habe für meinen Roboter vier NXT Motoren verwendet, welche die vier Arme des Delta-Roboters bewegen können. In LabVIEW hat der Motorblock ein Input namens *Power* welcher einen Inputwert von -100 zu 100 haben kann. Zusätzlich kann er in LabVIEW entweder auslaufen *Coast*, oder bremsen *Brake*, wobei der Motor dann fix in seiner Position bleibt. Ein Nachteil der Motoren ist, dass das Drehmoment und die Geschwindigkeit zusammenhängen und bei einer hohen Drehgeschwindigkeit die Rotationssensoren zunehmend ungenau werden. Da ich das erfolgreiche Zusammenbauen der Moleküle stark davon abhängt, ob die Arme eine präzise Bewegung machen, versuchte ich mit möglichst kleinen Geschwindigkeiten zu arbeiten. Doch da das Drehmoment von der Geschwindigkeit abhängt, waren die Motoren ab einer gewissen Geschwindigkeit nicht mehr im Stande die Arme zu Bewegen. Ich habe dieses Problem schliesslich mit einer Zahnradübersetzung gelöst.

##### Die NXT Berührungssensoren

Die NXT Berührungssensoren sind ebenfalls original aus dem LEGO Mindstorms NXT Set. Sie können mit den Sensorports des NXTs verbunden werden und liefern ihm die Information ob der Knopf des Sensors gedrückt ist oder nicht. Wenn bei meinem Roboter die Arme komplett zurückgezogen sind, berühren sie je exakt einen der vier Berührungssensoren. Somit kann das Programm genau feststellen, wann alle vier Motoren die Grundposition erreicht haben und kann sie somit eichen indem es die Werte der Rotationssensoren wieder auf Null stellt.

##### Die NXT Kabel

Im LEGO Mindstorms NXT Set enthalten sind sieben NXT Kabel des selben Typs in unterschiedlichen Längen. Mit ihnen können sowohl die Motoren als auch die Sensoren mit dem NXT Block verbunden werden. Ich habe insgesamt acht Kabel für meinen Roboter verwendet, für die vier NXT Motoren der Arme und für die vier Berührungssensoren.

##### Die NXT Verbindungskabel zum alten System

Dies ist ein spezieller Kabeltyp, welcher einen NXT Port mit dem alten LEGO Elektronik System verbinden kann. Dieses Kabel ist relativ selten und nicht im LEGO NXT Mindstorms Set enthalten. Es wurden mir drei Exemplare von Dominik Mannhart ausgeliehen, welche er in einem LEGOLAND erworben hat.

##### LEGO Motor (alt)

Dies ist ein alter Motorentyp welcher keinen Rotationssensor besitzt. Ich habe ihn für das Greifsystem verwendet, da er um einiges kleiner und leichter ist als ein NXT Motor. Da er nur über alte LEGO Elektronik Kabel betrieben werden kann, musste ich das spezielle Verbindungskabel verwenden, um ihn vom NXT aus ansteuern zu können.

##### LEGO Lampe (alt)

Ich habe die alte LEGO Lampe an meinen Roboter angeschlossen, um zu signalisieren, dass vom Benutzer eine Interaktion mit der Software benötigt wird. Die Lampe gehört ebenfalls zum alten LEGO Elektronik System, daher muss auch sie mit dem speziellen Verbindungskabel an den NXT angeschlossen werden.

##### LEGO Kabel (alt)

Das Kabel des alten LEGO Elektronik Systems habe ich lediglich als Verlängerungskabel für den Greifmotor verwendet.

### Molymod Molekülbaukasten

Das Molymod Molekülbaukastensystem hat den Vorteil, dass man mit ihm sowohl das Stäbchenmodell, als auch das Kalottenmodell bauen kann. Die Teile sind aus solidem Plastik und die Verbindungselemente halten hervorragend, sind aber bereits von Hand relativ mühsam zum Zusammenstecken. Deshalb musste ich eine Alternative finden mit welcher auch der Roboter das Modell zusammensetzen kann.

### Verbindungs-Magnete

Da mein Roboter nicht im Stande ist die Molymod Moleküle selber mit den Verbindungselementen zusammenzustecken, habe ich mich für Magnete entschieden, welche ich in die Molymod Kugeln gesteckt habe, dass sie ganz einfach von sekber zusammenhalten. Ich hatte zufälligerweise ein Set von den Neocube Magnet-Kugeln zu Hause, und als ich versuchte sie in die Molymod Kugeln hineinzudrücken, haben sie exakt gepasst. Es war nicht einmal Klebstoff notwendig, denn die Magnetkugeln waren fest im Loch verankert.

### Alfer Combitech System

Als ich zufälligerweise in den Sommerferien in einem Italienischen Baumarkt nahe Ancona war, habe ich das Alfer Combitech System entdeckt und sofort an die Halterung meines Roboters gedacht. Es schien mir die optimale Lösung zu sein, die Halterung aus diesen Aluminiumstangen zu bauen. Das Prinzip mit den Steckbaren Echen und Füsschen leuchtete mir ein und somit habe ich zwei 2,5 m glänzende Aluminium-Stangen gekauft, die ich mir dort zum Transport in sechs gleichlange Stücke zu je ca. 83 cm zersägen liess.

### MDF Plattform

Da ich eine Massive Plattform haben wollte, in die ich reinbohren kann um die Halterung für den Roboter zu befestigen, wollte ich zuerst eine Holzplattform kaufen. Da aber so ein traditionelles Material wie Holz meiner Meinung nach nicht mehr zum industrieartigen Aussehen der Aluminiumstangen und des Roboters passen, suchte ich eine Alternative. Ich habe mich schliesslich für eine schwarze Plattform des gepressten, holzbasierten Materials MDF entschieden, da es einheitlich aussieht und durchgefärbt ist.

## Software

### LabVIEW

LabVIEW ist eine graphische Entwicklerplattform von der Firma NATIONAL INSTRUMENTS, welches von Ingenieuren und Hochschulen auf der ganzen Welt verwendet wird. In meinem Projekt habe ich LabVIEW benutzt um meinen Roboter zu programmieren und ihn durch ein Interface zu kontrollieren.

Glücklicherweise habe ich beim 24h-Wettbewerb 2014 von Helveticrobot mit Herrn Vance Carter, dem Geschäftsführer der EducaTec AG, ein interessantes Gespräch geführt. Als er hörte, dass ich etwas mit dem LEGO Mindstorms NXT machen wolle, hat er mir sofort LabVIEW empfohlen. Er hat mir die Installations-CD für LabVIEW 2012 for Education ausgeliehen, wo die ganzen Daten Datenbanken für die Interaktion mit dem LEGO Mindstorms NXT (kurz: LabVIEW for LEGO Mindstorms) enthalten sind. In den Sportferien 2014 habe ich dann begonnen mich mit LabVIEW zu befassen: Ich habe auf Youtube Tutorials über LabVIEW geschaut und begonnen selber mit LabVIEW und dem NXT zu experimentieren um ein Grundwissen für meine Maturitätsarbeit voraussetzen zu können.

### GitHub

GitHub gibt es als Website (<http://www.github.com>) oder auch als Desktop-Programm. Man kann sich ein Profil erstellen und dort Dateien hochladen um sie mit anderen Personen zu teilen. Der Vorteil von GitHub ist, dass automatisch erkannt wird wenn Änderungen an einer Datei gemacht wurden und man dann die hochgeladenen Dateien aktualisieren kann. Jede Änderung wird auf GitHub angezeigt und wird chronologisch aufgelistet. Ich habe GitHub verwendet um mit meinem Betreuer (Michael Liebich) einen Ordner mit allen relevanten Dateien meiner Maturitätsarbeit zu teilen.

### Word

Nach dem Kurs *Textverarbeitung für die Maturarbeit* von Dr. Christof Benz-Meier an der Hohen Promenade habe ich mich entschieden, meine Maturarbeit mit Word zu verfassen, da mir die Techniken, welche in diesem Kurs erklärt wurden, als sehr sinnvoll und effektiv erschienen sind.

# Dokumentation

## Einleitung

In diesem Kapitel werde ich den Entwicklungsprozess meiner Arbeit beschreiben. Um Klarheit zu schaffen, werde ich zuerst die Konstruktion des Roboters erläutern und in einem zweiten Teil das Programm erklären, obwohl diese beiden Prozesse nebeneinander stattgefunden haben.

## Konstuktion des Roboters

### Einleitung

Im Verlauf meiner Maturitätsarbeit entwickelte sich der Roboter von einem simplen, batteriebetrieben, dreimotorigen Prototypen, welchen ich an meinem Schreibtisch befestigt habe, zu einem ausgereiften, viermotorigen Roboter mit Greifsystem, Übersetzung, Berührungssensoren zur Eichung und einer Aluminiumhalterung über einer Plattform, welcher von zwei NXT-Blöcken gesteuert wird und mit einem Netzteil betrieben werden kann. In diesem Unterkapitel werde ich diesen Entwicklungsprozess Schritt für Schritt beschreiben.

### Was ist ein Delta-Roboter?

Ein Delta-Roboter ist ein Roboter, welcher normalerweise drei bewegbare Arme besitzt, welche unten an einem Punkt befestigt sind. Die Arme sind aus verschiebbaren Parallelogrammen gebaut, weshalb ein Delta-Roboter auch als ein Parallel-Roboter bezeichnet wird. Jeder Winkel der Arme kann durch einen Motor individuell gesteuert werden. Delta-Roboter werden in der Industrie aufgrund ihrer Geschwindigkeit und Präzision sehr geschätzt

### Prototyp

Den ersten Delta-Roboter, welchen ich noch vor der Themenwahl gebaut habe, war nach dem klassischen Modell gebaut, deshalb hatte er drei Arme und auch drei Motoren, welche die Steuerung übernahmen. Bereits während dem Bau habe ich bemerkt, dass es ausgesprochen schwierig war mit LEGO Teilen den benötigten Winkel zwischen den Motoren von 120° zu erreichen. Ich habe spezielle Teile verwendet mit welchen es dennoch möglich war, aber weil der Roboter somit nur an wenigen Teilen aufgehängt werden konnte, wurde er zunehmend instabil und wackelte bei jeder Bewegung der Arme, welche den Schwerpunkt des Roboters verlagerten.

### Die Bauweise

Nach der Themenwahl war mit klar, dass ich die Motorenaufhängung grundlegend verändern musste um mehr Stabilität zu erreichen. Da ich sowieso zwei NXTs für meinen Roboter verwenden musste um die drei Motoren für die Arme und den Greifmotor zu betreiben, standen mir also im ganzen bis zu sechs Motoren zu Verfügung. Somit war es mir möglich, einen funktionstüchtigen Delta-Roboter mit vier Armen zu konstruieren. Somit konnte ich die vier Motoren in einem Quadrat anordnen und sie mit gängigen 90° LEGO-Verbindungselementen aneinander befestigen.

Die Funktionsweise der Arme ist die selbe, wie bei meinem dreimotorigen Prototypen. Das obere Segment der Arme ist fix und am Motor (bzw. an der Übersetzung) befestigt, das untere Segment ist ein bewegliches Parallelogramm und am Greifsystem befestigt. Ausgehend von den Armen konnte ich die Berührungssensoren so anbringen, dass sie von den Armen erst berührt werden, wenn sich diese in der Grundposition befinden. Als ich das Combitech System von Alfer gekauft habe, musste ich eine Möglichkeit finden, um meinen Roboter an zwei parallelen Stangen zu befestigen. Ich habe vier Rahmen entworfen durch welche die Stangen durchgeschoben werden können und habe diese an der Motorenaufhängung befestigt. Nachdem auf den vier Rahmen die beiden NXT-Blöcke fixiert wurden, sind noch sämtliche Querverstrebungen und Stangen angebracht worden, um die Konstruktion zu stabilisieren und das Wackeln der Roboters bei einer Bewegung zu minimieren. In diesem Prozess hat der Roboter einige Versionen durchlaufen bis ich ein stabiles System für die Aufhängung gefunden hatte, welches auch an die Aluminiumstangen passt. Schliesslich wurden die Arme an den Motoren und am Greifsystem angebracht und alle Motoren und Sensoren mit den NXTs verkabelt. Somit war der NXT für einen Testlauf bereit.

### Versorgung der NXTs mit einem Netzteil

Bereits nach einem Tag sporadischer Testläufe habe ich eine kontinuierliche Abschwächung der Motoren bemerkt und am Abend waren die zwölf verwendeten AA-Batterien leer. Mit aufladbaren Batterien geschah der Kraftschwund noch schneller. Dies hatte zur Folge, dass meine Programme je nach Batteriestand zu massiv unterschiedlichen Ergebnissen führen, was die Leistungen des Roboters nicht vorhersehbar macht. Deshalb musste ich eine Lösung für die schwankende Batterieleistung finden. Da mein Roboter stationär ist, fand ich eine Stromversorgung über ein Netzteil die Beste Option. Eine Recherche hat ergeben, dass dies schon bei anderen Leuten mit demselben Problem erfolgreich funktioniert hat. Ich bin also in den Elektronikladen Conrad und habe zwei Netzteile zu 9 Volt gekauft, welche die sechs AA-Batterien zu 1,5 Volt ersetzen können. Ich habe mich für die 2 Ampere Version entschieden, da diese auf einer Website für leistungfordernde Roboter empfohlen wurde. Dann habe ich aus Holz vier batterieförmige Zylinder mit einem Kabelkanal gebaut, durch welche ich die Kabel durchgezogen habe. Die Enden der Kabel habe ich an Reissnägeln angelötet und auf den Minus-Pol noch einen Tropfen Lötzinn gegeben, um den Kontakt zu den Stromabnehmern der NXTs zu gewährleisten. Die Reissnägel habe ich auf die Batterien geklebt und die Holz-Batterien in die Batteriefächer eingesetzt. Als ich die Stecker der Netzteile in die Steckdose eingesteckt hatte, war ich sichtlich erleichtert, als ich den Start-Ton der NXTs hörte. Somit hatte ich das Problem der schwankenden Energieversorgung erfolgreich gelöst.

### Greifsystem

#### Einleitung

Das Greifsystem meines Roboters musste mehrere Anforderungen erfüllen: Es musste klein und zugleich leicht sein, dass es von den NXT Motoren der Arme bewegt werden konnte, es musste durch einen LEGO Motor aus steuerbar sein und als wichtigste Eigenschaft, es musste die Molekülkugeln greifen, festhalten und wieder absetzen können. Es war viel Tüftelei nötig, bis das Greifsystem auf all diese Bedingungen abgestimmt war.

#### Verbindung zum NXT

Ganz zu Beginn meines Projektes habe ich nur einen NXT Motor als Greifmotor in Betracht gezogen, da er vom NXT aus gesteuert werden musste und mir die speziellen Verbindungskabel noch nicht bekannt waren. Doch schnell habe ich eingesehen, dass der NXT Motor aufgrund seiner umständlichen Form nicht im Greifsystem integriert werden konnte. Die erste Idee war eine mechanische Verbindung durch sich drehende Stangen, welche mit drehbaren Gelenken miteinander verbunden waren und deshalb die Bewegungen des Roboters mitmachen konnte. Doch aufgrund der sehr stark variierenden Winkeln der Arme musste ich diese Idee verwerfen. Erst als ich die speziellen NXT Verbindungskabel zum alten System bei Dominik Mannhart gesehen habe, kam mir die Idee einen älteren, kleineren und vor allem quaderförmigen Motor im Greifsystem zu implementieren. Durch das lange Verlängerungskabel des alten LEGO Elektronik Systems stellten die Bewegungen des Delta-Roboters kein Problem mehr dar und der Greifmotor konnte erfolgreich vom NXT aus angesteuert werden.

#### Kralle

Ganz zu Beginn meines Projektes habe ein erstes Greifsystem konzipiert, welches sehr einer Spielautomaten-Kralle ähnelt. Schnell habe ich bemerkt, dass sich dieses System aufgrund der Seitlichen Öffnungen im geschlossenen Zustand weder zum Greifen von kleinen, noch zum Greifen von grossen Objekten eignet. Deshalb habe ich dieses System schnell wieder verworfen.

#### Sich seitlich schliessender Greifer

Dieses System war ausgereifter und ich habe es auch schon an einen viermotorigen Prototypen angebaut. Es besteht aus vier horizontal liegenden Reifen die sich, jeder um eine eigene Achse, von vier Seiten kreisförmig nach innen bewegen. Sobald ich mich für die eher kleinen Molymod Molekülkugeln entschieden habe, musste ich auch dieses System verwerfen, da es eher auf grössere Kugeln (Durchmesser ca. 5 cm) ausgelegt war. Ein weiterer Nachteil war, dass dieses System exakt gerade über der Molekülkugel heruntergefahren werden musste, da es sie sonst umstossen würde, was daher hohe Präzision erfordert.

#### Sich von oben schliessender Greifer

Deshalb habe ich nochmals neu begonnen. Ich habe einen weiteren Greifer entwickelt, bei welchem sich vier Stangen mit Reifen von oben herab um das Molekül schliessen und es festhalten. Leider hat dieses Greifsystem beim Praxistest völlig versagt, da die Molekülkugel nicht von allen vier Reifen festgehalten wurde und deshalb abrutschte.

#### Zangenähnlicher Greifer

Aufgrund der Form der Moleküle entschied ich mich noch ein zangenähnliches Greifsystem zu bauen. Aufgrund des starken Drehmoments des Motors hat sich dieses System sobald sich die beiden Zangenseiten berührt haben selbst zerstört. Somit habe ich ein spezielles Zahnrad mit schwer drehbarer innerer Achse anbringen müssen, so dass die Überschüssige Energie in Reibungsarbeit umgewandelt wird.

Zum Greifen der Moleküle habe ich zuerst gerade, gummierte Stangen eingesetzt. Doch die Molekülkugeln sind einfach abgerutscht, weshalb ich mich dann wieder für vier Reifen entschieden habe, welche dem Molekül nun den optimalen Halt geben.

Doch erst nach mehreren Versionen dieses Greifsystems war ich endlich zu einem optimalen Resultat gekommen, da der Abstand der Räder und das Drehmoment der Achsen mechanisch genau auf die Kugeln abgestimmt werden musste.

### Motor Übersetzung

Als ich die Testphase meines Programms erreichte, musste ich leider feststellen, dass die NXT Motoren relativ ungenau waren. Dies wirkte sich auf die Arme und so direkt auf die Position des Greifsystems aus und dies wiederum führte dazu, dass die Molekülkugeln nur mit einer Erfolgsquote von ca. 50% richtig gegriffen und korrekt abgesetzt werden konnten. Ich musste dringend eine Lösung finden, denn dies war essentiell für den Bau eines ganzen Moleküs. Obwohl ich schon früher an eine Übersetzung der Motoren gedacht hatte, habe ich sie nie in Betracht gezogen, da ich an der Stabilität gezweifelt hatte. Doch nun hatte ich keine Andere Wahl. Ich wählte eine 8 zu 40 Übersetzung um zu schauen wie sie sich auf die Präzision des Roboters auswirken würde. Doch um dies festzustellen musste ich zuerst eine Aufhängung für die Zahnräder an die Motoren bauen. Da der innere Abstand der Arme nicht mehr stimmte, musste ich auch die Arme nochmals komplett überdenken und umbauen. Doch der Aufwand hat sich gelohnt, da der Roboter sich nun mit einer erstaunlichen Präzision bewegen kann.

## Bau der Plattform mit Halterung

### Verarbeitung des Combitechsystems von Alfer

### Verarbeitung der MDF Platte

#### Bau-Plattform

#### Molekülhalterungen

## Molekülsystem

### Einleitung

### Versuche mit Holz und Styropor

### Verwendung und Bearbeitung des Molymod Molekülbaukastens

## Programmierung

### Einleitung

### Die wichtigsten Blöcke von LabVIEW für mein Programm

### Übungsprogramme

### Erklärung des endgültigen Programms

#### Grobe Struktur

#### Interface

#### Wichtigste Elemente

##### Eichung

##### Bewegungskoordination

##### Textverarbeitung

## Anpassung des Programms auf den Roboter

## Dokumentation

# Ergebnisse

## Funktioniert der Roboter wie geplant?

## Was ist die Erfolgsquote?

## Habe ich mein Ziel erreicht?

# Diskussion

## Was wäre als Nächstes zu tun?

## Verbesserungsvorschläge

## Was habe ich mit dieser Arbeit gelernt?

# Zusammenfassung

# Schlusswort

...

Abschliessend lässt sich sagen, dass meine Faszination für Technik und Maschinen durch meine Maturitätsarbeit nur noch intensiviert wurde, so dass ich mich für das Studium der Maschineningenieurswissenschaften an der ETH Zürich eingeschrieben habe und es voraussichtlich im Herbst 2015 beginnen werde.

# Quellenverzeichnis

**Tutorials:**

Programmieren (für den Ti-89, Ti-Basic), Dossier von Dr. Stefan Grieder

LabVIEW und LEGO Mindstorms: https://www.youtube.com/watch?v=impPTmfm-Kg

LabVIEW generell: https://www.youtube.com/watch?v=xpsQFvc7v5E

LabVIEW generell: https://www.youtube.com/watch?v=7xa6d5ckOMg

LabVIEW Loops und Arrays: https://www.youtube.com/watch?v=bt0x5J6r8Uo

LabVIEW Arrays und Clusters: http://www.ni.com/white-paper/7571/en/

LabVIEW Arrays: https://www.youtube.com/watch?v=\_GlQ1riWjPc

LabVIEW Arrays: https://www.youtube.com/watch?v=Qp1WpxFbqDs

LabVIEW Arrays in For Loops: https://www.youtube.com/watch?v=lHAIgWz91Rc

LabVIEW Arrays: https://www.youtube.com/watch?v=LW1DoqQYJl8

LabVIEW Tabellen und Grafen zurücksetzen: http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/5B0B282E31E65E42862577A7005BC9AA?OpenDocument

**Molekülbaukästen:**

Das Molymod System: http://www.molymod.com/sets.html

Die Version von Pearson: http://www.pearson.ch/1471/9783827372635/Molekuelbaukasten-Organische-Chemie.aspx

Information über das Stäbchenmodell:

http://de.wikipedia.org/wiki/Stäbchenmodell

Information über das Kalottenmodell:

http://de.wikipedia.org/wiki/Kalottenmodell

**Roboter Modelle als Inspirationsquelle:**

Rubik’s Cube lösender LEGO Roboter: https://www.youtube.com/watch?v=eaRcWB3jwMo&spfreload=1

Automatischer Pillen Dispenser von Philips: http://www.managemypills.com/content/

Mit einem LEGO NXT: https://www.youtube.com/watch?v=z5KqdRmUOmg

Bewegt Bälle: https://www.youtube.com/watch?v=Gv5B63HeF1E

Delta-Roboter der ABB Ltd: https://www.youtube.com/watch?v=v9oeOYMRvuQ

Mit vier Motoren (Video): https://www.youtube.com/watch?v=0-Kpv-ZOcKY

Mit vier Motoren (Website): http://www.adept.com/products/robots/parallel/quattro-s650h/general

**Konversationen mit aussenstehenden Personen:**

-mit Herrn Vance Carter, Geschäftsführer EducaTec AG (Profil: http://www.educatec.ch/Members/vcarter/)

-mit dem Sepios Team der ETH Zürich, (Website: http://www.sepios.org)

-mit Herrn Simon D. Züst, MSc ETH ME, Research Assistant

-mit meinem Cousin Pablo Klemm, Student der Mikrotechnik an der ETH Lausanne

**Nachschlagewerke:**

Orthographie: http://www.duden.de

# Dank

# Rechtshinweis

# Eidesstattliche Erklärung

# Anhang

## Ein grosser Ausdruck des Gesamten Programms

## Weitere Abbildungen und Zeichnungen