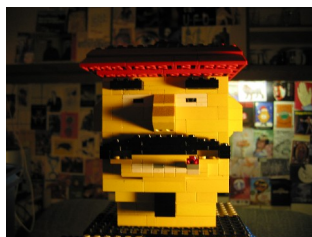


Als an einem Abend im Januar 2003 die Idee geboren wurde, an Hand von Lego[®] Mindstorms[™] einen Hütchenspieler italienischer Abstammung zu bauen, der in gebrochenem Deutsch den User in einem klassischen Hütchenspiel übers Ohr hauen sollte, dachten wir alle nicht, welche Herausforderungen dabei auf uns warten sollten.

So schnell wie der Name Luigi Legonelli in unseren Köpfen spukte, steigerte sich auch die Euphorie innerhalb der Gruppe. Schnell wurden Pläne geschmiedet, wie welche Module umzusetzen seien, und über allem schwebte das feste Vorhaben, weitestgehend, sprich: gänzlich, innerhalb des Lego-Horizonts zu bleiben und den kompletten Roboter mittels der bunten Steine zu konstruieren. Im weiteren Verlauf des Projekts erwiesen sich etliche unserer anfänglichen Vorhaben als nicht umsetzbar, was den Einsatz „externer“ Hilfsmittel unumgänglich machte. Dazu jedoch mehr in den folgenden Kapiteln.

Die Software und der Dialog erwiesen sich als sehr schwierige Aufgaben, wobei wir froh waren, dass wir uns hierbei in einem überschaubaren Universum befanden. Compiler spucken Fehlermeldungen aus, Dialoge brechen ab. Man sucht Stunden nach Fehlern, aber man kann innerhalb begrenzter Zeit die Phänomene isolieren und eine Lösung finden. Manchmal hilft es auch, einfach den Rechner neu zu starten. Wenn jedoch etwas funktioniert, kann man davon ausgehen, dass dies auch noch einige Stunden oder Tage später der Fall ist.

Die Hardware des Roboters, im Fall von Luigi Legonelli die Mechanik und Elektrotechnik, verhält sich hingegen sehr kontrovers im Punkte Zuverlässigkeit. Lösungen, die sich für Minuten, Stunden, Tage als genial erweisen, verweigern ihren Dienst binnen Sekunden, ohne auch nur einen Ton von sich zu geben. Man muss Konzepte neu überdenken, stellt das komplette Tagewerk in Frage, überwirft sich mit neuen Ideen. Aber man weiß, man kann nie sicher sein, dass diese Ideen sich langfristig als stabil erweisen. Daher konnte nie der Anspruch an eine perfekte Lösung der Hardware gestellt werden, eine funktionierende Lösung war meist der Höhepunkt eines Tages. Die im Folgenden vorgestellte Hardware des Humanoiden Luigi Legonelli stellt also im Prinzip die zuletzt erarbeitete Antwort auf viele Probleme dar, die während der Konstruktion des Roboters auftauchten.



2 Die Hardware

2.1 Lego

In diesem Kapitel werde ich auf die mechanischen Hauptbestandteile des Roboters eingehen, die einzig mit Hilfe von Lego - Produkten konstruiert wurden. Im nächsten Kapitel sollen dann die Hilfsmittel erläutert werden, welche den Lego - Konstrukten helfen sollten, als Luigi Legonelli zu funktionieren.

2.1.1 Die Hand

Ein Hütchenspieler braucht natürlich ein „Werkzeug“, mit dem er die Hütchen anfasst und ihre Positionen vertauscht.

Da die begrenzten Teile unseres Steinesortiments keinen Arm zuließen, der sich heben und absenken ließ, und erst recht keine Konstruktion mit zwei beweglichen Händen denkbar war, musste eine Lösung gefunden werden, welche die realistische Situation des Hütchenspiels mit der Umsetzbarkeit durch vorhandene Ressourcen kombinierte.

Unsere Idee bestand darin, den Roboter mit einer Hand auszustatten, welche sich in ihrer Funktionalität als eine rotierende Halterung für einen Elektromagneten herausstellen sollte. Schnell wurde klar, dass diese Hand in jedem Fall ein gewisses Gewicht, nämlich das des Magneten und der Konstruktion selber, stabil tragen sollte, und gleichzeitig die Drehbewegung so präzise wie möglich ausführen sollte.

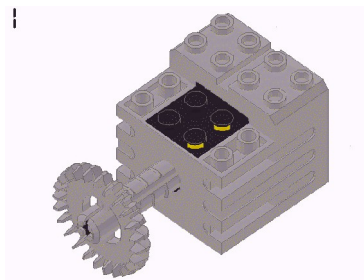


Abbildung 2.1

Man benötigt zunächst einen Motor, den man mit einem Crown-Gear ausstattet, damit sich die Drehbewegung von einer vertikalen Bewegung in eine horizontale Bewegung übersetzen lässt (Abbildung 2.1).

Anschließend baut man ihn mithilfe von Plates, Plates mit Halterungsrippen und gelochten Bricks zu einem stabilen Block aus (Abbildungen 2.2, 2.3).



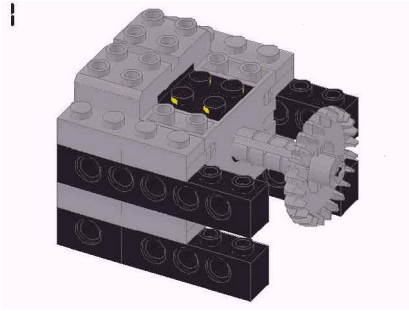


Abbildung 2.2

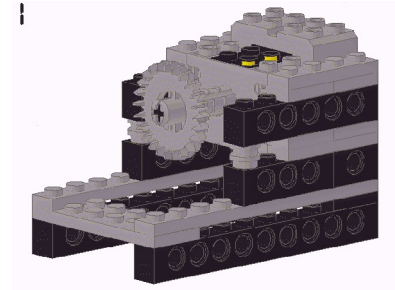


Abbildung 2.3

In Abbildung 2.4 wird ersichtlich, dass die Querverstrebung vorne am Block nicht nur der Stabilität, sondern auch der Befestigung der Achse dient, über welche die Kraft vom Motor über ein Gear mit 40 Zähnen an die Dreheinheit übertragen wird.



Abbildung 2.4



Abbildung 2.5

Abbildung 2.5 zeigt ein weiteres Detail dieses Bauschritts, nämlich die ovale Platte unterhalb der Querverstrebung. Diese dient später als „Trigger“ für den Touchsensor, indem sie mit jeder Rotation den Sensor betätigt.

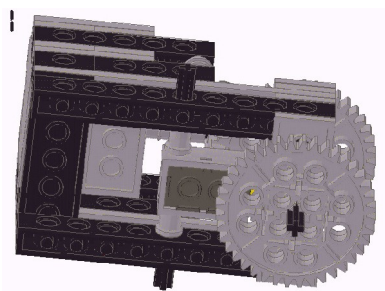


Abbildung 2.6

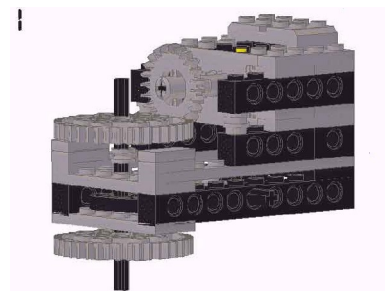


Abbildung 2.7



Im nächsten Schritt (Abbildung 2.6) baut man den erwähnten Touchsensor unter dem Motorblock ein. Mithilfe dieses Sensors gelingt es, die Drehbewegung der Hand während des Spiels besser zu kontrollieren, indem man über die Software auf die Anschläge des Triggers wartet und so die Drehbewegung an dieser Position stoppt. Zusätzlich befestigt man ein weiteres Gear mit 40 Zähnen unterhalb des Blocks, um die Achse oberhalb der Magnethalterung besser auszubalancieren (Abbildung 2.7).

Anschließend realisiert man die Halterung für den Magneten durch drei gelochte Plates, die man von unten auf die Achse aufsteckt. Der u-förmige Stein an der Halterung, zu ersehen in Abbildung 2.8, stellt den Elektromagneten dar.

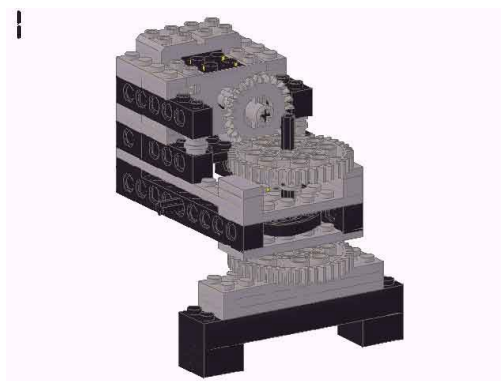


Abbildung 2.8

An diesem Punkt stießen wir bei unseren Versuchen auf ein ernsthaftes Problem. Wie sollte man die Stromversorgung des Elektromagneten sicherstellen, ohne dass allzu viele Kabel die Bewegungsfähigkeit der Hand einschränken? Nach reiflicher Überlegung stellte sich ein Schleifkontakt, bestehend aus einem Klinken – oder Cinchstecker, als optimale Möglichkeit der Energieübertragung heraus. Da dieser Punkt nicht in das Kapitel „Lego“ fällt, möchte ich darauf später eingehen und an dieser Stelle zum Abschluss der Konstruktion der Hand auf die Abbildungen 2.9 und 2.10 verweisen. Diese zeigen die Halterung des besagten Schleifkontakts oberhalb der Achse.

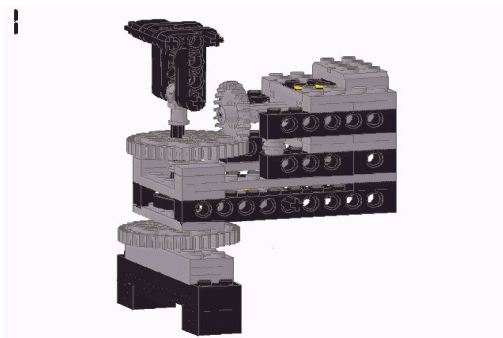


Abbildung 2.9

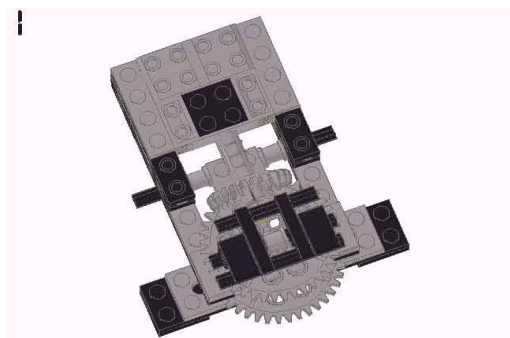


Abbildung 2.10



In Abbildung 2.11 wird deutlich, wie die Hand schließlich in der Trägerkonstruktion am Roboter positioniert und befestigt wird. Es ist in erster Linie wichtig, stabile Verstrebungen mithilfe von Pins anzubringen, um der Konstruktion die für die Bewegungen notwendige Steifigkeit zu verleihen.

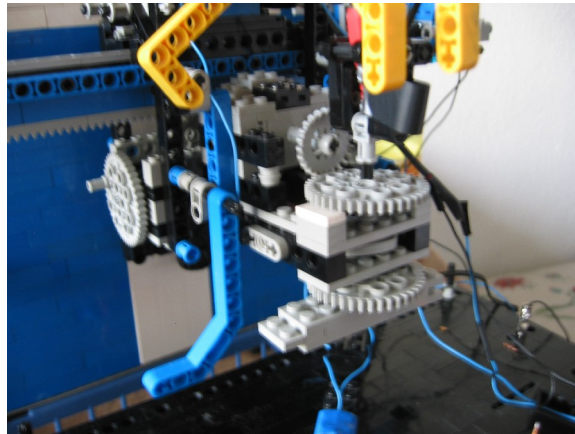


Abbildung 2.11

2.1.2 Die Handbewegung

Da der Roboter mit nur einer Hand auskommen sollte, musste die Konstruktion darauf abzielen, die Hand von einer Seite des Tisches zur anderen Seite des Tisches zu bewegen. Nur dadurch konnte ein echtes Tauschen der Hütchen auf den drei Positionen gewährleistet werden. Wir bedienten uns hierbei der Idee, die bereits beim Projekt „Plotter“ im Softwareprojekt „Sprechende Roboter“ umgesetzt wurde:

Man braucht eine Zahnstangenbahn, an der eine Trägerkonstruktion, die mit einem Motor ausgestattet ist, von links nach rechts fahren kann. Die massive Konstruktion der Hand, mit dem zusätzlichen Gewicht des Elektromagneten belastet, verlangt jedoch nach einer sehr stabilen und lauffähigen Trägerkonstruktion. Ein zusätzliches Problem stellt hierbei die Laufgeschwindigkeit dar, da eine Strecke von ca. 30 Zentimetern zurückgelegt werden soll und dies in möglichst hoher Geschwindigkeit, um die Spielsituation realistisch zu halten.

Wir entschieden uns deshalb für eine Zahnradübersetzung von 24 zu 40 Zähnen. Diese Übersetzung ist der optimale Kompromiss zwischen Stabilität und Kraft der Bewegung auf der einen Seite und Geschwindigkeit der Bewegung auf der anderen Seite. Eine kleinere Zahl von Zähnen auf dem ersten Zahnrad, was sich positiv auf die Geschwindigkeit ausgewirkt hätte, scheidet deshalb aus, weil das 24 Zahn-Gear am sichersten in die Lamellen des Worm-Gears greift. Bei einigen Versuchen stellte sich heraus, dass kleinere Zahnräder unter der Belastung der Trägerkonstruktion



und der Hand dazu neigten, durchzudrehen.

Man beginnt also beim Bauen wieder mit dem Motor, den man mit den entsprechenden Halterungs-Plates auf gelochte 12er - Bricks setzt. Dadurch hat man ein stabiles Chassis, auf das sich die Konstruktion aufbauen lässt (Abbildung 2.12).

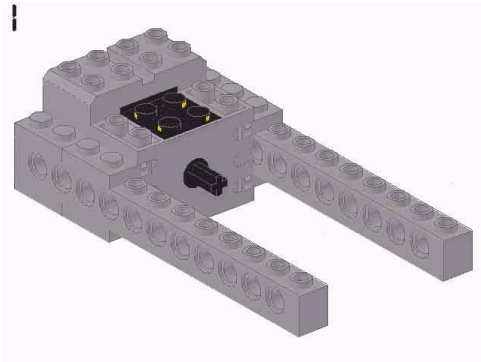


Abbildung 2.12

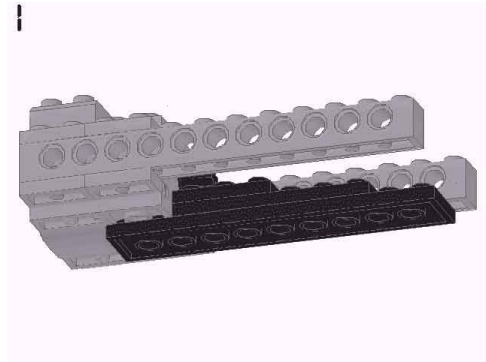


Abbildung 2.13

Im nächsten Schritt erweitert man dieses Chassis mit Plates, die später das Worm - Gear tragen sollen (Abbildung 2.13).

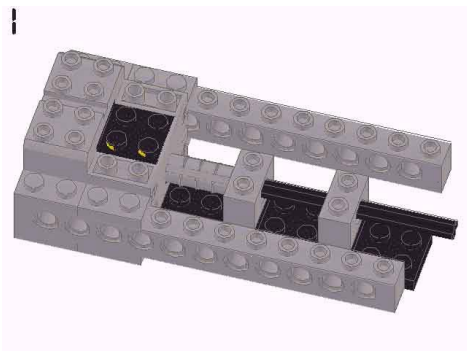


Abbildung 2.14

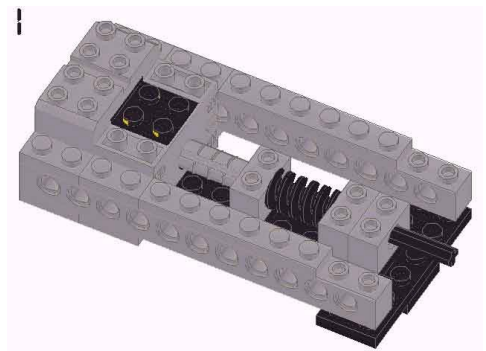


Abbildung 2.15

Nachdem man den Antrieb mit einem Axle-Connector und einer Achse verlängert hat, setzt man die Vorrichtung, in der später das Worm-Gear laufen soll, auf die schwarzen Bodenplatten. Diese besteht aus zwei gelochten 2er-Bricks, die im Abstand so gesetzt werden, damit später das Worm - Gear genau dazwischen passt (Abbildungen 2.14, 2.15). Auch hier ist es wichtig, ausreichende Querverstrebungen einzubauen, um auftretenden Stabilitätsproblemen mit zusätzlichem Ausbau des Chassis entgegenzutreten zu können.

Mit den in Abbildung 2.16 angebrachten Bricks bereitet man nun den Einbau der Zahnräder vor.



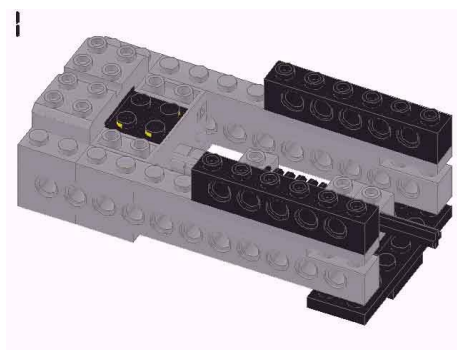


Abbildung 2.16

Durch diese Bricks wird im nächsten Schritt eine Achse gezogen, an der die Zahnräder befestigt werden. In Abbildung 2.17 erkennt man, dass das kleinere 24er – Zahnrad direkt über dem Worm – Gear eingesetzt wird. Dieses Zahnrad greift also die Kraft ab, die vom Motor über die Achse auf das Worm – Gear übertragen wird. Im selben Schritt baut man das große 40er – Zahnrad, das in der fertigen Konstruktion an der Zahnstangenbahn laufen soll, vor dem kleineren Zahnrad ein.

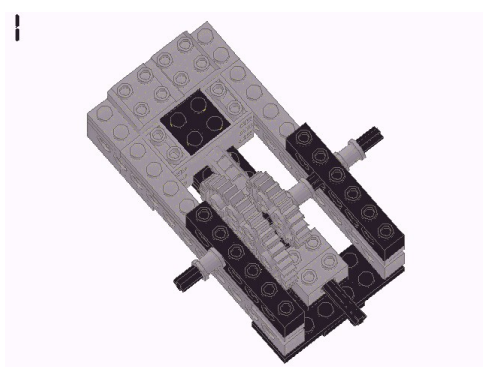


Abbildung 2.17

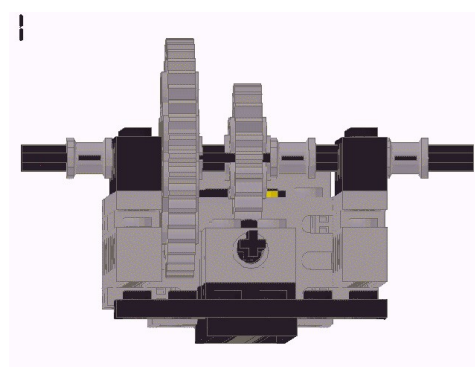


Abbildung 2.18

Abbildung 2.18 verdeutlicht, dass sich die Konstruktionsweise des Chassis in der Funktionalität niederschlägt, da das große Zahnrad, wenn es auf der selben Achse sitzt wie das Kleine, nach unten hin Platz benötigt. Weiterhin ist hier zu beachten, dass mit Clips die Bewegungsfreiheit der Achse und der Zahnräder so weit wie möglich eingeschränkt wird, da bei den auftretenden Kräften ein „in sich verschieben“ der Steine leicht auftreten kann.

Dem selben Zweck dienen auch die in Abbildung 2.19 eingebauten Bricks auf der Querverstrebung vorne.



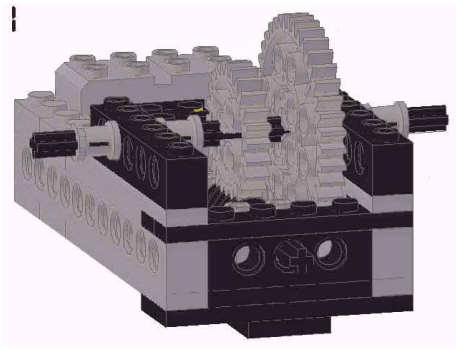


Abbildung 2.19

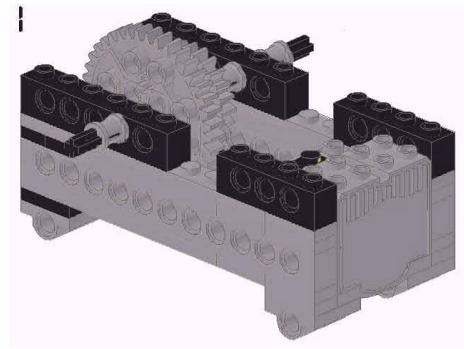


Abbildung 2.20

Abbildung 2.20 stellt nun den Abschluss der Konstruktion dar. Wir haben also praktisch einen Wagen, an dem die Hand an der Zahnstangenbahn hin und her laufen kann. Da man an diesem Wagen die Hand befestigen muss und der Wagen gleichzeitig unter der Zahnradbahn hängen soll, ist es wichtig, ausreichend Bauteile mit Löchern anzubringen, damit man die Konstrukte mittels Pins durch diese Löcher zusammenstecken kann.

Die Abbildungen 2.21 und 2.22 zeigen anschließend die Grundmethodik bei der Konstruktion der Zahnradbahn. Die blauen abgerundeten Steine, die in Abbildung 2.22 hinzugefügt werden, stellen später die Schiene für die Tragekonstruktion dar. Das große Zahnrad des Wagens soll von unten an den Zahnstangen entlang laufen.

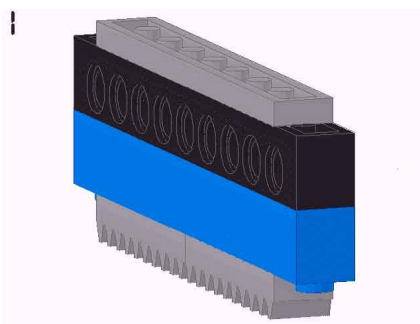


Abbildung 2.21

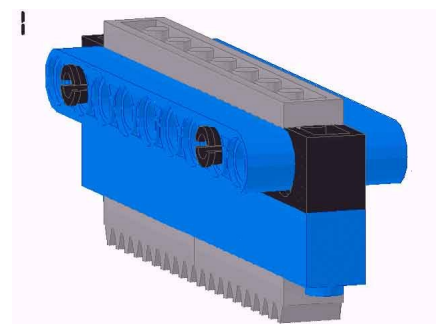


Abbildung 2.22



Die Tragekonstruktion muss dann gleichzeitig als „Kufe“ für die Schiene an der Zahnstange dienen, wie auch die Hand mit dem Wagen verbinden. Daher ist es auch hier wichtig, eine gut ausbalancierte Grundkonstruktion mit flexiblen Befestigungsmöglichkeiten auszustatten. Die stabilste und flexibelste Befestigung, flexibel weil leicht an - ,abzubauen und umzustecken, erreicht mit Konnektoren und Konnektorpins.

Wir beginnen also bei der hinteren Hälfte der Tragekonstruktion mit drei Bricks, die wir durch zwei Konnektoren, wie in Abbildung 2.23, miteinander verbinden. Der horizontale Stein stellt in der Konstruktion die „Kufe“ dar. Mit den freistehenden Pins wird die Schiene von unten gehalten.

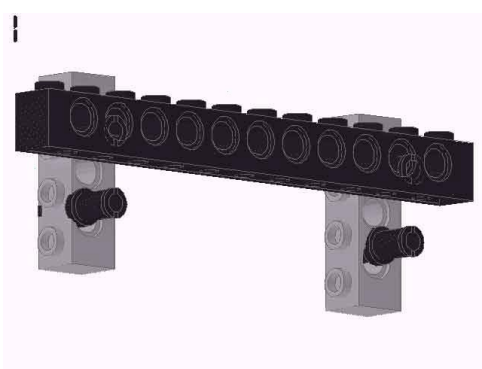


Abbildung 2.23

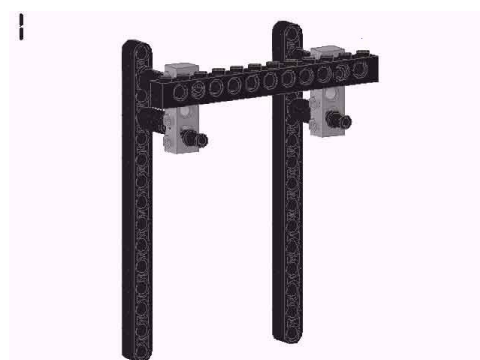


Abbildung 2.24

Anschließend befestigt man die senkrechten Steine, an denen man später den Wagen fest - „pint“. Die runden Verbindungen von den senkrechten schwarzen, Steinen zu den grauen Bricks sorgen im fertigen Konstrukt für den richtigen Abstand zwischen den Trägerhälften, damit der Wagen genau hineinpasst (Abbildung 2.24). Die vordere Hälfte der Tragekonstruktion gestaltet sich etwas einfacher. Man muss hierzu nur zwei senkrechte, lange Steine, wie in Abbildung 2.24, mit einem Quer - Brick direkt verbinden. Dieser Brick stellt auch wieder eine „Kufe“ an der Zahnstange dar. Die Abbildungen 2.25 und 2.26 zeigen abschließend den Wagen, wie er in der Tragekonstruktion unter der Zahnstange hängt.

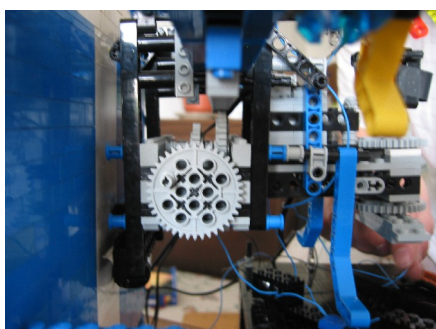


Abbildung 2.25

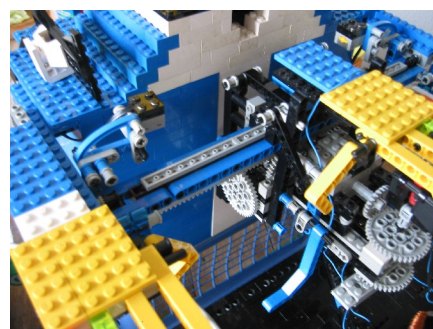


Abbildung 2.26



Das große 40er – Zahnrad, das man außen am Wagen sieht (Abbildung 2.25), dient ausschließlich als Kurbel an der Achse des Wagens, falls die Hand „von Hand“ in eine bestimmte Position gebracht werden muss. Man erkennt auch die blauen Konnektorpins, die von außen die Module miteinander verbinden.

2.1.3 Der Tisch

Der Tisch des Roboters durfte gemäss des Konzepts keine einfache Spielfläche für das Hütchenspiel sein. Da Luigi seine Hand nicht hochheben kann, um dem Spieler die unter einem Hütchen liegende Kugel zu zeigen, muss diese Funktion durch eine spezielle Konstruktion des Tisches abgedeckt werden.

Wir mussten also einen doppelten Tischboden entwerfen, in dem sich drei Gruben im gleichen Abstand zueinander absenken ließen. Über diesen Gruben greift der Elektromagnet an der Hand die Hütchen auf, wodurch die unter dem Hütchen liegende Kugel in die abgesenkte Vertiefung der Grube fällt. Zieht man die Hütchen nun in eine Position neben den Gruben und hebt die Grube per Motor wieder an, so sieht der Spieler unter welchem Hütchen die Kugel lag.

Unsere Uridee des Tisches mit den drei Gruben, angeordnet wie in Abbildung 2.27, ließ sich von allen mechanischen Modulen am schnellsten realisieren und musste die wenigstens Modifikationen über sich ergehen lassen um so zu funktionieren, wie es für Luigi notwendig war.

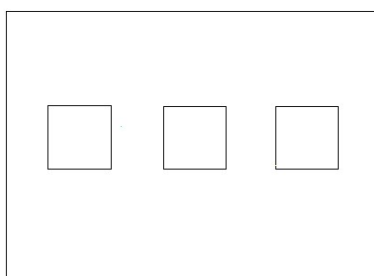


Abbildung 2.27

Man beginnt also wieder mit einem stabilen Motorenchassis, wie auch bei den beiden anderen mechanischen Modulen (Abbildung 2.28). Das besondere dieses Moduls ist allerdings, dass es senkrecht auf eine Bodenplatte angebracht werden muss. Man stattet den Motor zunächst mit einem 16er – Zahnrad aus.



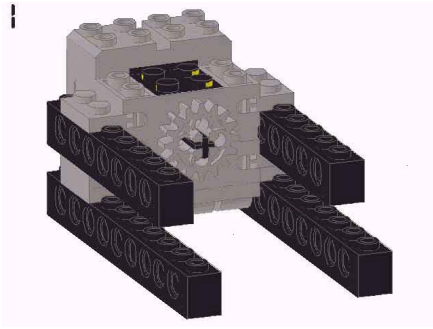


Abbildung 2.28

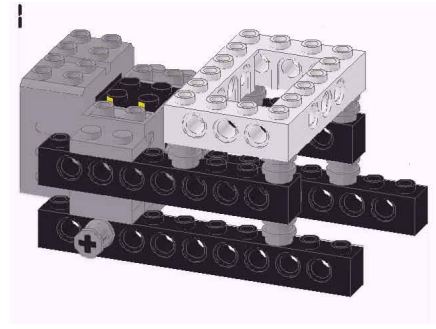


Abbildung 2.29

Gestützt auf runde 1er - Plates, platziert man das durchsichtige Gehäuse, in dem später das Worm – Gear eingesetzt wird, auf dem Grundaufbau (Abbildung 2.29). Zur Sicherung der Gesamtstabilität sollte man in diesem Bauschritt eine Achse unter dem Motor durch die Konstruktion ziehen (Abbildung 2.30).

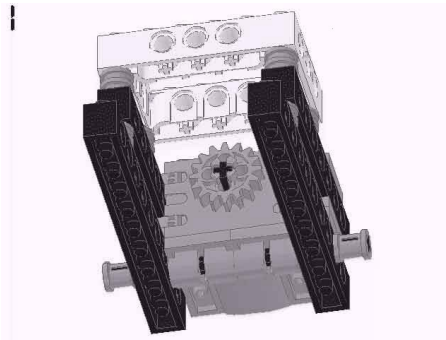


Abbildung 2.30

Anschliessend baut man das Worm – Gear in das vorher aufgesetzte Gehäuse ein. Außen am Gehäuse bringt man auf die Worm – Gear – Achse wiederum ein 16er – Zahnrad an. Dieses greift genau in das Zahnrad, welches am Motor sitzt. Man verlegt also praktisch die Drehbewegung vom Motor auf eine höhere Ebene an das Worm – Gear (Abbildung 2.31).

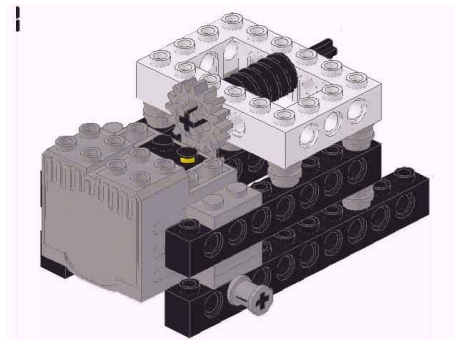


Abbildung 2.31



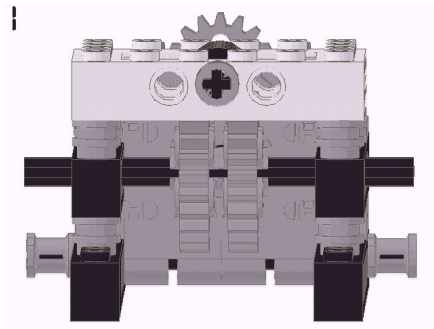


Abbildung 2.32

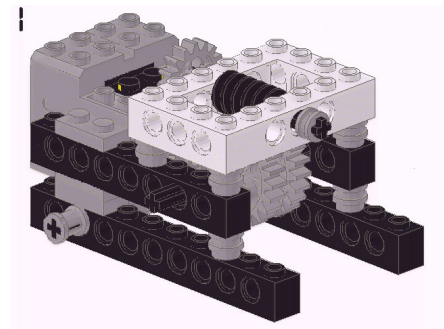


Abbildung 2.33

Unser unterer, beweglicher Tischboden soll später mit einer kurzen Zahnstange in den Innenraum des Motors ragen und so auf und ab bewegt werden. In den Abbildungen 2.32 und 2.33 kann man erkennen, dass wir zwei 24er – Zahnräder auf eine Achse unter das Worm – Gear setzen, so dass beide Zahnräder in die Lamellen des Worm – Gears greifen. Die fertige Konstruktion würde prinzipiell auch mit nur einem Zahnrad arbeiten, allerdings gilt auch hier das Stabilitätsgebot, daher ist die Funktion mit zwei Zahnrädern zuverlässiger und laufstabiler.

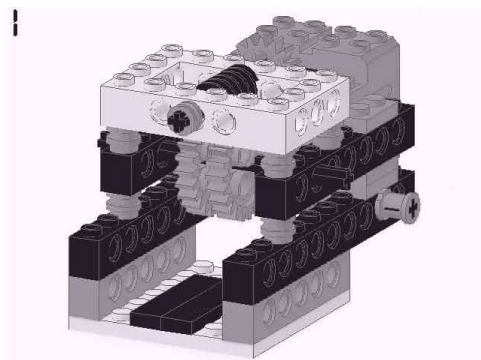


Abbildung 2.34

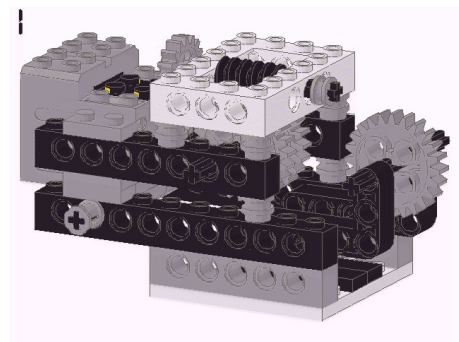


Abbildung 2.35

Um ein reibungsloses Auf- und Abgleiten der Zahnstange im Motorraum zu gewährleisten, versieht man den Block mit einer Bodenplatte, auf die man zwei Glattplatten anbringt (Abbildung 2.34).

Zur Fixierung der Zahnstange bietet es sich im letzten Bauschritt des Moduls an, ein zusätzliches 24er – Zahnrad mit zwei rechtwinklig abgeknickten Steinen und einer Achse anzubringen, welches bei Bewegung der Zahnstange einfach nur mitläuft.



Die folgende Abbildung (2.36) zeigt die Grundkonstruktion der doppelten Zahnstange, die unter der beweglichen Tischplatte (Abbildung 2.37) die Hebe- und Senkbewegung am Motor abnimmt.

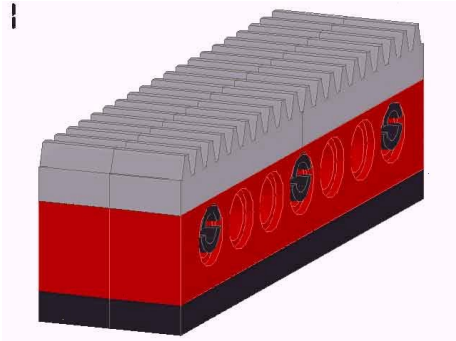


Abbildung 2.36

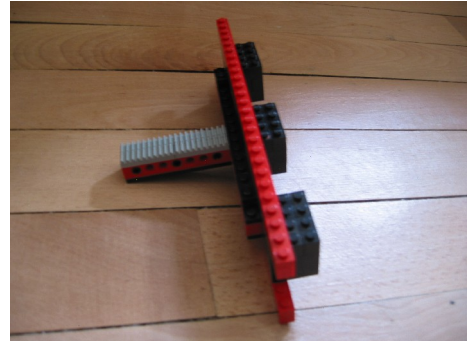


Abbildung 2.37

Die Abbildungen 2.38 und 2.39 sollen zum Abschluss des Kapitels „Der Tisch“ zeigen, wie unser Tischmotormodul senkrecht auf den Tischboden aufgesetzt und mit Achsen an der Außenwand des Tisches befestigt ist.

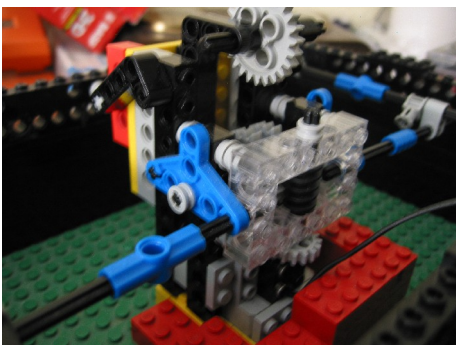


Abbildung 2.38

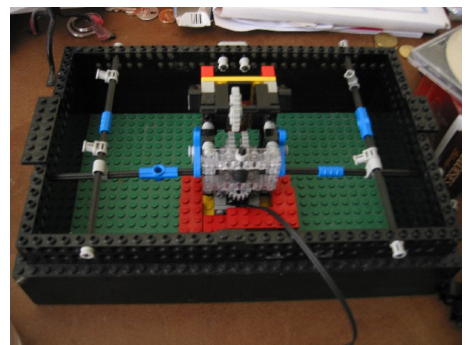


Abbildung 2.39

2.2 Jede Menge Bastelei

Die meisten Schwierigkeiten im Bereich Hardware bereiteten uns die Teile, welche nicht aus Lego – Steinen konstruiert werden konnten. Der erforderliche Elektromagnet beschäftigte uns sehr lange, da diesem im Gesamtkonzept Luigi Legonelli eine entscheidende Rolle zukam. Der Magnet musste stark genug sein, zwei Hütchen gleichzeitig vom Tisch anzuheben. Auch sollte seine Kraft ausreichen, um die Hütchen auch während der Rotation der Hand sicher festzuhalten. Des weiteren musste dieser Magnet auch an unserer Handkonstruktion zu befestigen sein, was den „Umbau“ einiger Lego – Steine unumgänglich machte.



Als größte Herausforderung stellte sich jedoch die Stromversorgung des Magneten heraus. Diese musste dem Magneten die notwendige Kraft zur Verfügung stellen. Darüber hinaus sollte man den Strom auch an- und abschalten können, damit die Hütchen an den entsprechenden Tischpositionen aufgenommen und abgesetzt werden. Dies machte den Aufbau einer elektrischen Schaltung notwendig.

Auch das Hütchen selbst erforderte einige Überlegungen. Es musste auf irgendeine Weise magnetisch sein und durfte sich während der Handrotation nicht mit der Tischplatte verkanten, weil nicht garantiert werden konnte, dass der Magnet die Hütchen bei jedem Aufnehmen im gleichen Winkel halten würde. Außerdem sollte es zum Design des Roboters passen.

2.2.1 Der Magnet

Zur Konstruktion eines Elektromagneten benötigt man einen Eisenkern und eine Spule aus Kupferdraht. Da wir keinen fertigen Magneten finden konnten, der sich im Modell des Roboters unterbringen ließ, mussten wir also selbst den Bau des Magneten übernehmen. Hierbei stand im Vordergrund, dass der Magnet zwei Hütchen gleichzeitig greifen können musste. Die Vermutung liegt nahe, dass man diese Aufgabe auch mit zwei Magneten hätte lösen können. Wir entschieden uns dennoch für einen speziell für diese Aufgabe designten Magneten, da erstens die Verkabelung von zwei Magneten komplexer umzusetzen gewesen wäre und darüber hinaus sich beide Magneten eine Stromquelle hätten teilen müssen, was sich negativ auf die Kraft beider Magneten ausgewirkt hätte.

Wir benutzten einen Kern aus Baueisen, den wir in eine Bohrmaschine einspannten, um von einer Kupferdrahtrolle die Spule um diesen Eisenkern zu wickeln. Danach mussten die Enden des Kerns nach unten abgebogen werden, weil diese als Pole des Magneten in Richtung des Tisches arbeiten sollten. Versuche, bei denen wir handelsübliche Schrauben als Kern des Magneten einsetzten, scheiterten in ihrer Funktion daran, dass handelsübliche Schrauben nicht aus Eisen sondern aus Legierungen von verschiedenen Metallen bestehen. Diese Legierungen zeichnen sich allerdings gegenüber reinem Eisen in wesentlich schlechterer Magnetisierbarkeit aus.

Der entstandene Magnet musste in eine Hülle aus Legosteinen eingesetzt werden, damit man ihn unter der Hand an der Befestigungsvorrichtung montieren konnte. Dafür mussten einige Steine „entkernt“ werden, was leider der Zerstörung dieser Steine gleichkam.

In Abbildung 2.40 wird dargestellt, wie die Hülle des Magneten zusammengesetzt ist. Abbildung 2.41 zeigt dann unseren Magneten, wie er in die Hülle eingebaut wird.



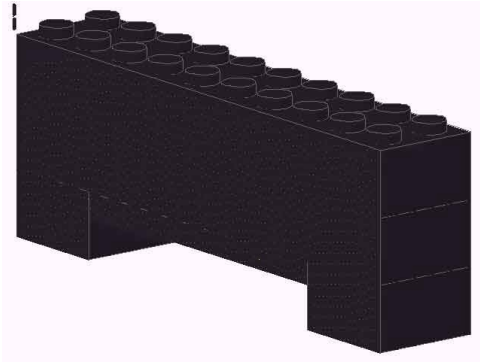


Abbildung 2.40



Abbildung 2.41

2.2.2 Der Strom

In den Problemen mit der Stromversorgung spiegeln sich unsere nicht sehr weitreichenden elektrotechnischen Fachkenntnisse wieder. Uns war klar, dass die Kraft des Magneten von der Anzahl der Spulenwicklungen und der Stärke des angelegten Stromes abhängt. Da wir aber nicht wussten, wie viele Wicklungen unseren Magneten ummantelten, konnten wir auch keine Erkenntnis über den zur optimalen Funktion notwendigen Strom erlangen.

Viele Feldversuche mit unterschiedlichen Stromquellen gingen im wahrsten Sinne des Wortes in Rauch auf, da viele unserer Testmagneten mit relativ niedrigen Eigenwiderständen die Netzteile überlasteten. Als für den Magneten in Abbildung 2.41 geeignet stellte sich ein Gleichstrom - Netzteil mit 12 Volt und 2 Ampère Stromstärke heraus (Abbildung 2.42). Damit konnte die nötige Magnetstärke und ausreichende Zuverlässigkeit für das Hütchenspiel sichergestellt werden.



Abbildung 2.42



Wie im Vorwort dieses Kapitels schon erwähnt, bedurfte es einer Schaltung für den Elektromagneten. Die Schaltung sollte so funktionieren, dass der Roboter selbst, wenn die Hand über die Hütchen bewegt wird, den Magneten aktiviert, um so die Hütchen anzuheben. Die Tastschalter mussten unterhalb der Tragekonstruktion für die Hand angebracht werden. Bewegt sich die Hand nun zu einer Seite des Tisches, drückt ein Tastschalter gegen einen Widerstand in der Außenwand des Roboters und der Magnet wird eingeschaltet.

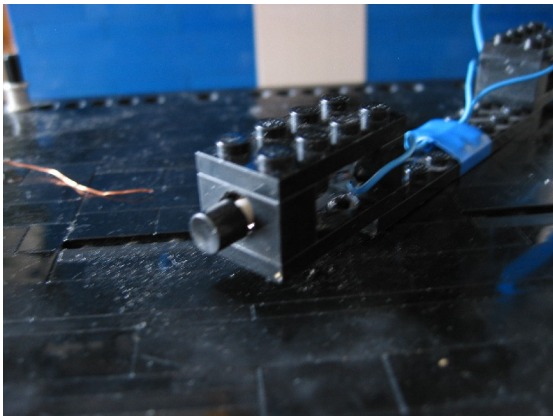


Abbildung 2.43

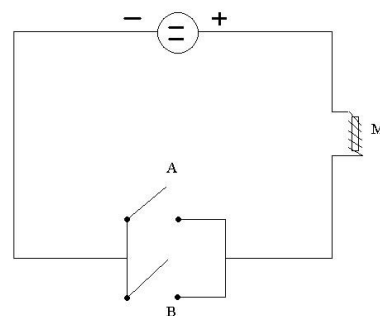


Abbildung 2.44

Abbildung 2.43 zeigt die Konstruktion der Schalter, der in einem 2er – Brick fixiert wurden, durch welchen ein Loch gebohrt werden musste.

Abbildung 2.44 zeigt den Schaltplan für den Magneten. Der Pluspol der Gleichstromquelle wurde direkt mit dem Magneten (,M') verbunden. ‚A‘ und ‚B‘ stellen die beiden Schalter dar, die mit dem Minuspol des Netzteils verbunden wurden. Wird nun Schalter ‚A‘ gedrückt, fließt der Strom über Schalter ‚A‘. Selbiges gilt für Schalter ‚B‘.

Nun mussten die Kabel, die vom Netzteil und von den Schaltern her führten, noch in effizienter Weise an den Magneten gebracht werden. Legte man diese Kabel direkt an den Magneten an, so verhinderten diese durch ihre Steifigkeit ein exaktes Rotieren und Abstoppen der Hand. Wie bereits im Kapitel 2.1.1 kurz angeschnitten, lösten wir dieses Problem mit Hilfe eines Schleifkontakts. Das hatte den Vorteil, das die Kabel, die vom Magneten weg führten, relativ kurz waren, da sie nur bis zum Schleifkontakt über der Hand führten. Den Schleifkontakt realisierten wird durch einen Cinch – Stecker. Die Idee besteht darin, dass die untere Hälfte des Steckers, wo die Kabel vom Magneten anliegen, sich in der oberen Hälfte des Steckers, wo die Kabel vom Netzteil und den Schaltern anliegen, drehen kann. Erst dadurch war eine exakte Rotation der Hand möglich. In Abbildung 2.45 ist zu erkennen, wie der Schleifkontakt über der Hand eingebaut ist.



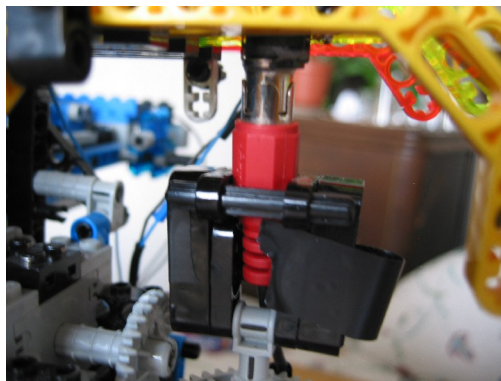


Abbildung 2.45

2.2.3 Das Hütchen

Ein Hütchenspieler braucht natürlich Hütchen. In Luigi's Fall mussten diese in erster Linie so beschaffen sein, dass sie mit dem Elektromagneten angezogen werden konnten. Aus Gründen der Gewichtsersparnis entschieden wir uns für die Halbschalen aus dem Inneren von Überraschungseiern. Mit einem Nagel, der durch die Decke der Halbschale hineingestochen wurde, erreichten wir die Magnetisierbarkeit des Konstrukts. Bei Testläufen stellte sich heraus, dass es wichtig war, dass das Hütchen über die Tischoberfläche gleiten konnte. Ansonsten würde es sich zu leicht in Unebenheiten der Tischoberfläche verkanten und sich vom Magneten lösen. Daher statteten wir das Konstrukt mit einem Boden aus Pappe aus, die wir mit Watte beklebten. Die Pappe musste ringförmig zugeschnitten werden, damit in der Mitte die Kugel Platz finden konnte (Abbildung 2.46). Die Watte sorgte für die optimale Gleitfähigkeit auf der Tischoberfläche. Anschließend lackierten wir die Hütchen in schwarzer Farbe (Abbildung 2.47).

Im Design des Hütchens liegt auch gleichzeitig die Funktionalität des Tricks, den wir Luigi mit auf den Weg geben wollten: Der Nagel, der ins Innere des Hütchens ragt, wird ebenfalls magnetisiert. Dadurch, dass sich die Kugel, die zu diesem Zweck ebenfalls aus Eisen sein sollte, in der Nähe des Nagels befindet, kann diese durch den Nagel magnetisch angezogen werden. Luigi ist dann in einem entsprechenden Bewegungsmodus, der über die Software gesteuert wird, in der Lage, die Kugel verschwinden lassen, d.h. er wirft sie in diesem Falle nicht über der Grube ab.





Abbildung 2.46

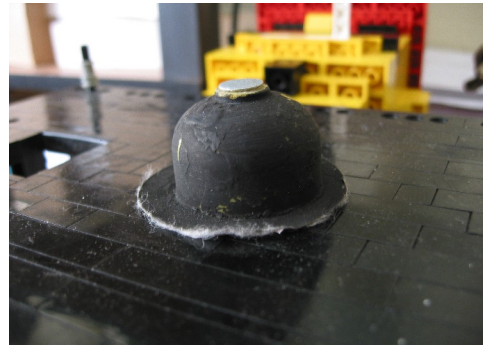


Abbildung 2.47

2.3 Die Puppe – auch Lego

Unsere ursprüngliche Vorstellung war, dass Luigi auf eigenen Beinen stehen und seinen Spieltisch vor sich tragen sollte. Schon beim Zusammenbau des Tisches stellte sich heraus, dass man sehr viele Legos braucht, um große tragende Elemente nur aus Steinen zu errichten. Da uns ein konsistent designter Körper mit einem markanten Kopf sehr wichtig war, mussten wir unsere Ansprüche in Anbetracht unserer mangelnden Ressourcen an Steinen darauf reduzieren, Luigi einen schönen Oberkörper zu verleihen. Diesen setzten wir auf eine Lego – Bodenplatte, welche mit einem Plastikkorbchen unterbaut wurde. Das war notwendig, um Luigi's Arme in optimaler Höhe über dem Spieltisch zu positionieren, der auf dem Boden stehen sollte. Abbildung 2.48 zeigt den Roboter in seinem endgültigen Design.



Abbildung 2.48



An dieser Stelle möchte ich abschließend noch auf eine der letzten Neuerungen der Hardware eingehen. Das Problem bestand lange Zeit darin, dass mit abnehmender Batteriestärke des RCX, d.h. der Prozessoreinheit, die die Bewegungen des Roboters steuert, auch die Motoren an Kraft verloren.

Diese Tatsache führte dazu, dass die Motorlaufzeiten, die zur Bewältigung verschiedener Aufgaben spezifisch in der Software gespeichert sind, nicht mehr mit den Dimensionen des Roboters übereinstimmen. Die Konsequenz war in erster Linie, dass mit abnehmender Batteriestärke die Hand nicht mehr weit genug an der Zahnstange fuhr, um den Magnetschalter auszulösen. Waren die Batterien neu, die Zeiten aber für eine mittelstark aufgeladene Batterie abgespeichert, konnte es passieren, dass die Hand mit voller Fahrt in die Widerstände der Magnetschalter krachte.

Daher haben wir beschlossen, über den Widerständen der Magnetschalter Lego – Touchsensoren einzubauen (Abbildung 2.49). Über die Software hört man ab, wann einer dieser Sensoren gedrückt wird. Ist dies der Fall, wird die Hand an der Zahnstange gestoppt. Die Hand läuft also immer solange weiter, wie keiner dieser Touchsensoren betätigt wird.

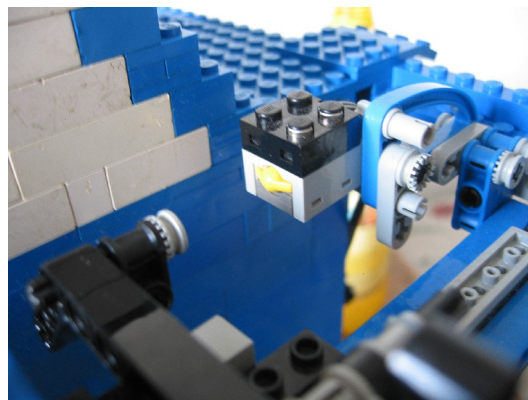


Abbildung 2.49



Die Konstruktion des Luigi Legonelli war mit großen Anstrengungen verbunden. In der Kürze der sechswöchigen Konstruktionszeit waren leider nicht alle ursprünglichen Ideen zu verwirklichen, beispielsweise hätten wir den Dialog gerne noch weiter ausgebaut. Auch eine gesteuerte Mimik des Humanoiden scheiterte am Zeitproblem, womöglich hätte uns hier aber auch unser eingeschränkter Vorrat an Legosteinen einen Strich durch die Rechnung gemacht. Die Errichtung einer noch imposanteren Puppe scheiterte jedenfalls an genau diesem Problem. Die Ausführung des Tricks, die nie einhundert Prozent zuverlässig verlief, hätte mit mehr Zeit auch besser ausgearbeitet werden können.

Als Fehler unsererseits möchte ich hier anführen, dass wir es versäumten, uns rechtzeitig fachkundigen Rat bei den elektrotechnischen Problemen einzuholen. Dies hätte uns eine Menge Arbeit erspart und einigen Netzteilen das Leben gerettet. Auf der anderen Seite hätte die Konstruktion des Roboters ohne unsere elektrotechnischen Gehversuche auch nur halb so viel Spaß gemacht. Man lernt schließlich aus Fehlern, beim nächsten Mal weiß man es dann besser. Gelernt hat, ich denke ich kann hier auch für meine Teamkollegen sprechen, jeder von uns eine Menge. Nicht nur über Software, Dialogsysteme, Mechanik und Elektrotechnik, sondern auch über Teamwork, Motivation und den unbedingten Willen, ein selbstgesetztes Ziel zu erreichen.

Da Luigi größtenteils so funktioniert, wie wir uns das vorgestellt haben, will ich behaupten, dass wir mit unseren Plänen nicht so sehr falsch gelegen haben.

Ich möchte an dieser Stelle noch einigen Menschen danken. Zunächst einmal Helmut und Carmello, deren Nachnamen ich zwar nicht kenne, die aber mit großem Einsatz versucht haben, in letzter Minute unsere elektrotechnischen Fehler zu beheben. Danach Olaf Franzl, der uns unglaublich unterstützt hat und ohne den die Arbeit am Roboter nicht so erheiternd gewesen wäre. Er hat mir zudem seine Digitalkamera geliehen, um die Fotos für diese Arbeit zu schießen. Da ich sehr stümperhaft mit diesem Gerät umgegangen bin, möchte ich mich hiermit bei den Lesern der Arbeit für die teilweise etwas unscharfen Bilder entschuldigen.

Des weiteren danke ich den beiden Dozenten Alexander Koller und Dr. Geert-Jan Kruijff für ihre Unterstützung und dafür dass sie mit ihrer anfänglichen Skepsis gegenüber unserem Projekt eine zusätzliche Motivation in uns entfachten.

Abschließend möchte ich natürlich meinen beiden Teamkollegen Jan Schehl und Massimo Romanelli danken, die mit ihrem unbändigen Spieltrieb und ihren kreativen Ideen die Moral im Team immer hoch hielten, sodass der



Glaube an das Gelingen des Projekts Luigi Legonelli nie in Frage gestellt war.



This PDF created with the FREE RoboPDF Home Edition (not legal for business or government use)

Get your FREE RoboPDF Home Edition Today at www.robopdf.com

Buy RoboPDF Pro