

Zusammenfassung

Die Arbeit handelt im ersten Teil von dem Marsrover Spirit. Spirit ist am 4.1.04 auf dem Planeten Mars gelandet. Der Mars ist ein Planet, der Ähnlichkeiten mit der Erde aufweist. Deshalb ist er auch Ziel vieler Weltraummissionen. Aus diesem Grunde beginnt der Bericht mit allgemeinen Informationen über den Mars. Es folgt ein Zeitplan über die Mission des Rovers Spirit mit den wichtigsten Vorkommnissen. Viel Raum ist der Technik gewidmet. Der Rover ist technisch extrem hoch stehend gebaut und mit verschiedenen Messinstrumenten ausgestattet, die ihm ermöglichen, ein wichtiges Ziel seiner Mission zu erreichen, die Suche nach Wasser und Mineralien auf dem Mars. Ausserdem ist der Rover mit neun Kameras ausgestattet, sechs davon dienen der Orientierung und Fortbewegung. Die Daten werden von Computern ausgewertet. Die Orientierung ist ein zentrales Element des Rovers, um auf dem Mars zu überleben. Deshalb wählte ich sie für den weiteren Teil der Arbeit, für den Bau eines eigenen Roboters mit LEGO-Mindstorm.

Als Element der Orientierung habe ich die Variante gewählt, dass mein Roboter mit dem Namen Legor die Fähigkeit besitzt, seinen Weg zwischen Hindernissen hindurchzufinden. Der zweite Teil befasst sich mit meinem gebauten Roboter. Zuerst vermitteln allgemeine Informationen, wie die Software und die Sensoren funktionieren. Auch der ganze Vorgang vom Programmieren auf dem PC bis zum Ausführen des Roboters wird beschrieben. Anschliessend folgen die ersten Schritte und Tests. Danach beginnt der eigentliche Aufbau meines Roboters. Er besitzt zwei Motoren, an denen die Hinterräder befestigt sind, sowie einen dritten für einen Schieber unterhalb des Roboters. Wichtig sind die beiden Berührungssensoren vorne, die einen Zusammenstoss mit einem Hindernis erkennen, und die Lichtsensoren, die mit Kontrast arbeiten. Als Hilfe benutzte ich Linien, die Legor beim Orientieren unterstützten. Fährt der Roboter über eine solche Linie, erkennt dies der Sensor und steuert dagegen, damit Legor in der Spalte bleibt. Fährt er in ein Hindernis, reagieren die Berührungssensoren und Legor wechselt eine Spalte nach links. Dabei wird der Schieber, der den Lichtsensoren die Sicht versperrt, vorgeschoben, so dass sie beim Überqueren der Linie nicht reagieren. Der Vorgang ist eine Endlosschleife, er wiederholt sich ständig. Im letzten Teil meiner Arbeit werden vor allem noch die allgemeinen Probleme beschrieben, wie die Problematik mit den Lichtverhältnissen, welche die Lichtsensoren immer wieder anders reagieren lassen.

1. Vorwort

Das Thema für die Maturaarbeit zu finden, erwies sich für mich als schwierige Angelegenheit. Ausschlaggebend war schliesslich ein Bericht über die Sonden zum Planeten Mars. Somit stand für mich als Oberbegriff "der Mars" fest. Aber was genau? Beim Thema Marssonden erinnerte ich mich an unsere Technikwoche vor den Sommerferien 2004. Damals arbeiteten wir einen Tag lang zusammen mit Herrn Vance Carter von der Firma EducaTec AG in Döttingen mit LEGO-Mindstorm-Robotern und konnten sie auch mit der Software Robolab programmieren. Das hatte mich fasziniert und so entschied ich, mein Thema mehr auf Roboter auszurichten. Etwa zu dieser Zeit waren auch öfters die beiden Marsrover Spirit und Opportunity in den Medien. Ich recherchierte über diese Roboter, und die angewandte Technik beeindruckte mich. So beschloss ich, mich mit einem dieser Rover zu befassen und selbst einen Roboter zu bauen. Dass die Entscheidung dann auf Spirit fiel, war Zufall.

Als ich mich im Internet nach dem Preis von LEGO-Mindstorm-Robotern erkundigte, musste ich feststellen, dass eine solche Packung inklusive Software gegen 400 Franken kostet. Da ich aber aus meiner Kindheit noch LEGO besitze, erschienen mir diese Kosten doch etwas zu hoch, und ich fragte bei Herrn Vance Carter nach, ob er mir etwas zur Verfügung stellen würde. Er zeigte sich einverstanden, unter der Bedingung, dass er meine Arbeit auf seiner Homepage veröffentlichen darf. Ein Treffen wurde arrangiert und Herr Carter stellte mir den Robotercomputer, die Software, den Tower für die Übertragung vom PC auf den Roboter, verschiedene Sensoren und dazu gehörende Kabel zur Verfügung. Ich möchte Herrn Carter an dieser Stelle dafür herzlich danken.

Auch danken möchte ich Herrn Reto Basler für die Betreuung und Unterstützung während meiner Maturaarbeit.

2. Marsrover Spirit

2.1 Einleitung

Lange Zeit war es ein Ziel der Menschheit, auf dem Mond zu landen. Als Neil Armstrong 1969 dieses Ziel erreicht hatte, wandte man sich einer neuen Herausforderung zu, dem Roten Planeten, dem Mars. Der Mars fasziniert mit seiner Ähnlichkeit zur Erde viele Forscher und wird deshalb oft auch als Zielobjekt einer Weltraummission ausgesucht. Seit den 60er-Jahren brachen mehrere Sonden aus verschiedenen Erdteilen zum Mars auf, darunter die US-Sonden Mariner 4 (1964), Mariner 6&7 (1969), Viking 1&2 (1975) und Pathfinder (1996)¹, um nur einige zu nennen. Aber auch die ehemalige UdSSR blieb nicht untätig. Auch sie schickte mehrere Sonden zum Mars, unter anderem Mars 2&3 (1971) und Phobos 2 (1988).² Und 2003 brach auch eine Sonde der ESA zum Roten Planeten auf, der Mars Express.³

Ein Zukunftsziel ist es auch, eine bemannte Mission zum Mars zu senden. Die ESA hat dazu kürzlich das Programm "Aurora" genehmigt, gemäss dem bis im Jahre 2030 Menschen den Planeten betreten sollen.⁴ Auf die Frage, ob man denn unbedingt zum Mars müsse, antwortete Jesco von Puttkammer, früherer NASA-Zukunftsplaner:

*Irgendwann kommt der Moment, wo der Mensch sagt: Wir brauchen eine neue Grenze. Das ist jene Aufgabe, für die wir uns begeistern können. Bei uns in den USA sind junge Leute übrigens absolut überzeugt: Irgendwann fliegen die ersten Menschen zum Mars.*⁵

Der NASA gelang zwar noch keine bemannte Marslandung, doch wurden im Juni 2003 der Marsrover Spirit und kurz darauf Opportunity auf ihre Reise geschickt.⁶ Diese beiden Reisen waren ein grosser Erfolg für die NASA. Die beiden hochmodernen Rover landeten auf dem Mars und begannen mit ihren Untersuchungen, unter anderem mit der Suche nach Wasser.

¹ <http://www.epischel.de/wissen/mars3.html>

² <http://www.epischel.de/wissen/mars3.html>

³ <http://www.epischel.de/wissen/mars3.html>

⁴ <http://www.astronews.com/news/artikel/2002/10/0210-009.shtml>

⁵ Spick 266, Februar 2004, Seite 14

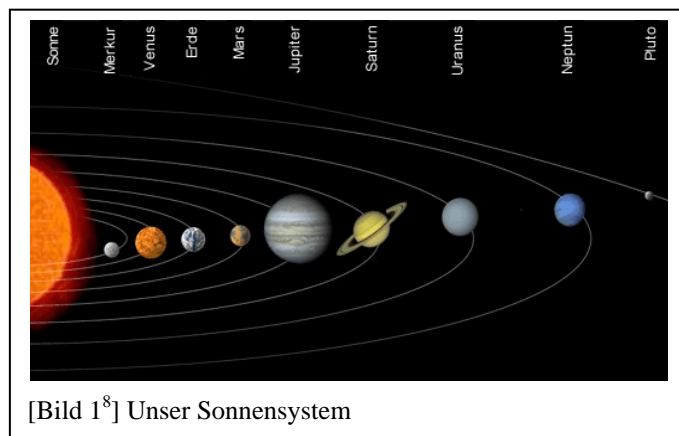
⁶ <http://www.epischel.de/wissen/mars3.html>

2.2 Informationen zum Mars

Astrologisch gesehen steht der Mars für den Willen, die Aktivität, den Kampf, die Leidenschaft und die Tat und besitzt das Zeichen für männlich ♂. Ihm wird die Energie und treibende Kraft zugeschrieben, zu herrschen, zu beherrschen, was auch negativ durch Gewalt, Zerstörung und Aggression zum Ausdruck kommen kann. Er entspricht heute noch dem Krieg. Auf der positiven Seite hingegen stehen Tapferkeit und Mut. Und auf der körperlichen Ebene symbolisiert die Energie des Mars die Fortpflanzung.⁷

Der Mars ist aber nicht nur wegen seiner astrologischen Bedeutung für die Menschen wichtig.

Viele Forscher glauben, dass er vor langer Zeit der Erde sehr ähnlich war. In unserem Sonnensystem sind Mars und Erde Nachbarn, die Erde liegt an vierter und der Mars an fünfter Stelle.



Der Mars hat von der Sonne eine durchschnittliche Entfernung von 228 Millionen Kilometern und kreist mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 24km/s um sie. Ein Jahr auf dem Mars dauert 687 Erdtage. Der Mars ist etwa halb so gross wie die Erde, er besitzt einen Radius von 3'397km. Was aber vor allem die Aufmerksamkeit erregt, ist seine Achsenneigung. Mit 25.2° ist er nur um 1.7° mehr geneigt als die Erde. Auch dauert ein Marstag 24.6h, was nahe beim Wert der Erde ist. Hingegen besitzt er mit $3.72m7s^{^2}$ eine viel geringere Schwerkraft und die Temperaturen sind viel geringer, durchschnittlich betragen sie $-63^{\circ}C$ und schwanken von $20^{\circ}C$ bis $-140^{\circ}C$. Ausserdem ist seine Atmosphäre sehr kohlendioxidhaltig, der Anteil beträgt 95.3%, 2.7% sind Stickstoff. Der Mars besitzt zwei Monde, Phobos und Deimos.⁹ Wegen der Ähnlichkeit mit der Erde vermuten Forscher, dass der Mars früher eine erdähnliche Atmosphäre besass.

⁷ <http://www.spiritproject.de/astro/planeten/mars.htm>

⁸ <http://www.pegasus-design.de/pix/gestirne/sonnensystem.gif>

⁹ http://www.geoscience-online.de/index.php?cmd=focus_detail2&f_id=41&rang=4

2.3 Zeittafel von Spirit

- 10.06.03 Nachdem alle Tests erfolgreich abgeschlossen wurden, ist der Mars-Roboter Spirit nach mehreren Verschiebungen wegen Gewittern von Cape Canaveral aus zum Mars gestartet.¹⁰
- 04.01.04 Marssonde Spirit ist auf dem Mars gelandet und sendet ein Funksignal zur Erde. Bei der Landung gab es keine Komplikationen, alles verlief nach Plan.¹¹
- 15.01.01 Der Rover hat erstmals die Landeplattform verlassen. Diese Aktion wurde verzögert, da ein Luftkissen eine Auffahrt blockierte und der Rover gedreht werden musste.¹²
- 22.01.04 Der Roboter sendet keine Daten, die NASA stuft das Problem als ernst ein.¹³
- 25.01.04 Spirit sendet wieder sinnvolle Daten. Die Forscher sind sich sicher, dass das Problem wegen dem Flash-Speicher auftrat.¹⁴
- 02.02.04 Die Probleme sind gelöst. Ein Flash-Speicher war voll und wurde nun gelöscht. In Zukunft soll dieser Speicher geschont werden.¹⁵
- 14.04.04 Der Roboter erhält ein Softwareupdate. Man hofft, dass er damit noch bis September einsatzbereit bleibt.¹⁶
- 27.04.04 Der Roboter hat seine geplante Lebensdauer von 90 Tagen erreicht, aber er soll noch weiter verwendet werden.¹⁷
- 06.06.04 Der Rover hat mit sinkenden Temperaturen und Staubablagerungen auf den Solarzellen zu kämpfen und muss seine Arbeitszeit deshalb verringern.¹⁸
- 06.10.04 Das rechte Vorderrad und das linke Hinterrad reagieren nicht mehr. Wissenschaftler versuchen, das Problem anhand der Daten zu analysieren.¹⁹
- 25.10.04 Der Roboter ist wieder steuerbar. Doch das genaue Problem ist noch nicht bekannt.²⁰
- 10.11.04 Der Roboter funktioniert weiterhin und erforscht weiter den Mars.²¹

¹⁰ <http://www.marssociety.de/html/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=361>

¹¹ <http://www.marssociety.de/html/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=519>

¹² <http://www.marssociety.de/html/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=536>

¹³ <http://www.marssociety.de/html/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=547>

¹⁴ <http://www.marssociety.de/html/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=553>

¹⁵ <http://www.marssociety.de/html/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=569>

¹⁶ <http://www.marssociety.de/html/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=652>

¹⁷ <http://www.marssociety.de/html/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=663>

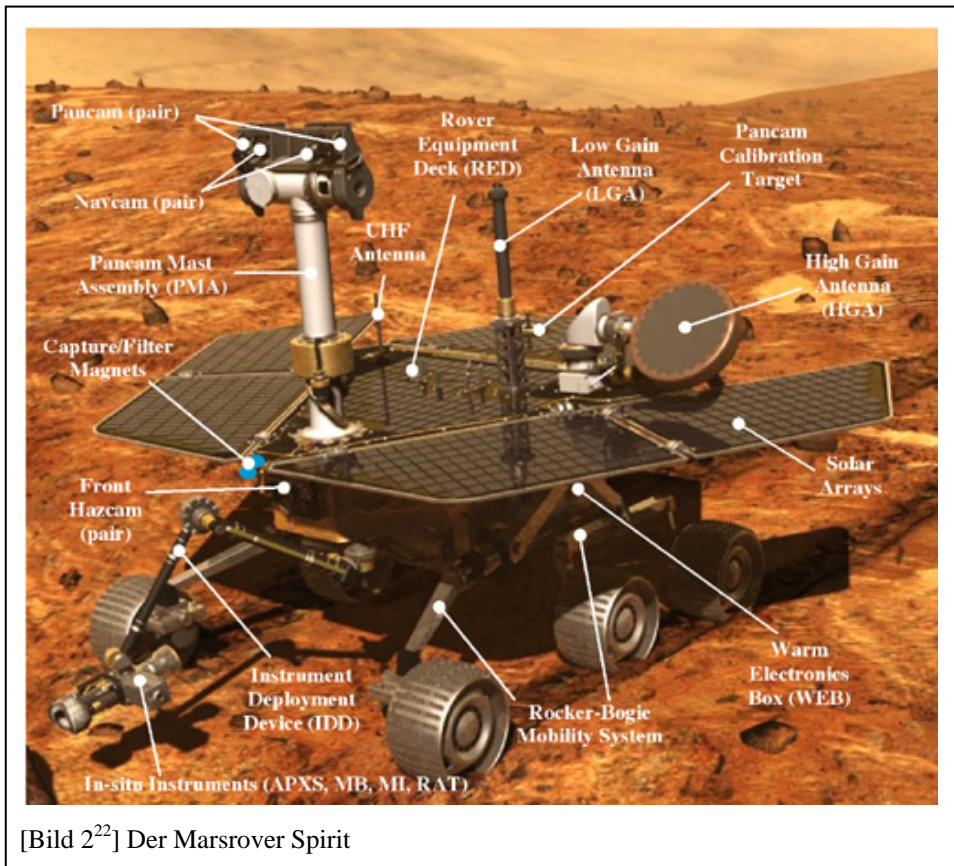
¹⁸ <http://www.marssociety.de/html/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=681>

¹⁹ <http://www.marssociety.de/html/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=769>

²⁰ <http://www.marssociety.de/html/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=781>

²¹ <http://www.marssociety.de/html/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=791>

2.4 Aufbau des Rovers Spirit

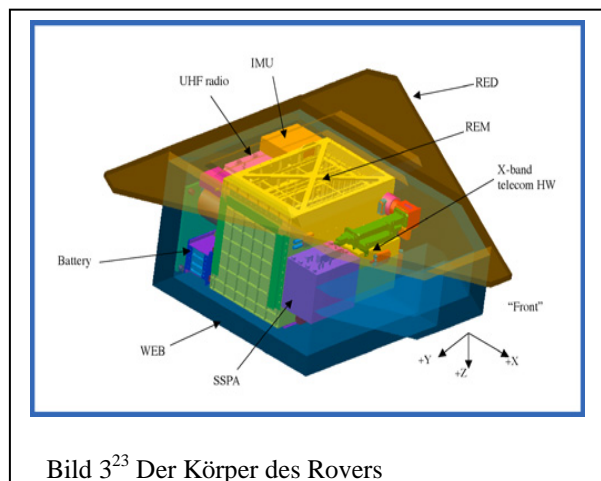


2.4.1 Der Körper

Man nennt den Körper des Rovers WEB (Warm Electronics Box). Ähnlich wie bei einem Auto ist er eine stabile Hülle, deren Zweck es ist, die Computer, Batterien und Elektronik des Rovers zu schützen. Er soll die Instrumente und somit den Rover lebensfähig erhalten.

Die WEB ist oben mit einer dreieckigen Platte ausgestattet, die so einen Platz für den Mast und die Kameras schafft.

Ausserdem sind die vergoldeten Wände gut isoliert, so dass der Rover Temperaturen bis zu -96°C aushalten kann.²⁴



²² http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/rover1_detail_500.jpg

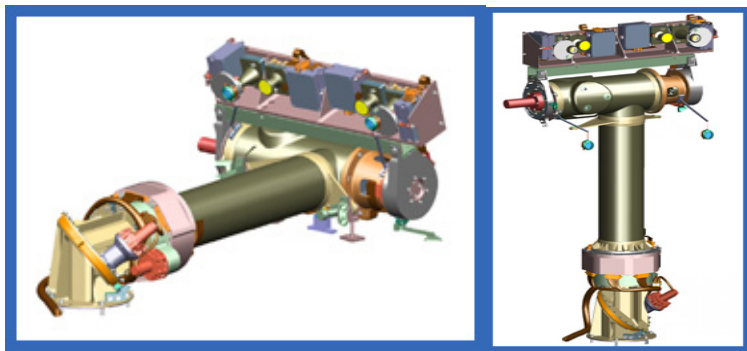
²³ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/webred1_500.jpg

²⁴ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_body.html

2.4.2 Der Hals

Was wie ein Hals mit Kopf aussieht, ist der Pancam Mast Assembly des Rovers. Er ist 1.4m hoch und ermöglicht so den daran montierten Kameras, Fotos aus Menschenperspektive vom Mars zu machen.

Mehrere Motoren erlauben es dem Mast, seine Kameras um 360° zu drehen sowie vertikal auf und ab zu bewegen. Während des Fluges und der Landung lag dieser Mast flach auf der Roveroberfläche und war mit Halterungsvorrichtungen befestigt. Erst nach der Landung richtete er sich auf. Wenn er einmal steht, kann er nicht mehr zusammengeklappt werden.²⁵

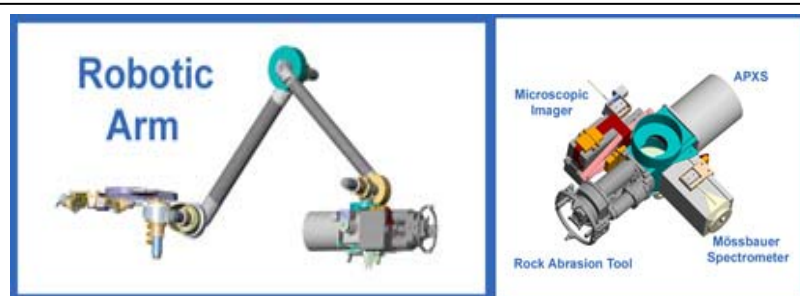


[Bild 4²⁶ und Bild 5²⁷] Der Hals des Rovers

2.4.3 Der Arm

Der Rover besitzt auch einen Arm. Wie der menschliche Arm besitzt er drei Gelenke, die Schulter, den Ellenbogen und das Handgelenk, was ihm eine grosse Bewegungsfreiheit gibt. Zuvorderst befindet sich ein kreuzartiges Gebilde (Bild 7), das die Instrumente trägt.

Damit der Arm das Gewicht an seinem Ende aushalten kann, wurde er aus solidem Titan gebaut. Ausserdem besitzt er verschiedene



[Bild 6²⁸ und Bild 7²⁹] Der Arm des Rovers

Haltevorrichtungen, die ihm die nötige Stabilität für die Fortbewegung auf dem Mars geben.³⁰

²⁵ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_neck.html

²⁶ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/neckhead2_250.jpg

²⁷ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/neckhead1_200.jpg

²⁸ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/robotic_arm_250.jpg

²⁹ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/rover_arm2_200.jpg

³⁰ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_arm.html

2.4.4 Die Räder

Spirit besitzt sechs Räder, jedes mit einem eigenen Motor. Ausserdem haben die beiden Vorder- und Hinterräder eigene Steuerungen. Das ermöglicht dem Rover, sich an Ort um 360° zu drehen. Der Rover besitzt ein automatisches Ausgleichssystem. Wenn eine Seite oder ein Rad über eine Unebenheit fährt, verändert er sofort die Gewichtsverteilung auf die Räder und schafft so einen Ausgleich. Das schützt Spirit vor dem Umkippen. All diese Vorkehrungen ermöglichen dem Rover, sich mit einer Geschwindigkeit von 5cm/s fortzubewegen. Er wurde aber so programmiert, dass er immer nach einigen Sekunden anhält und die Lage überprüft, was eine sicherere Fortbewegung ergibt.³¹

2.4.5 Die Antennen

Der Rover hat Antennen für niedrige und hohe Frequenzen. Sie sind auf seinem Rücken befestigt. Die Niedrigfrequenzantenne sendet Informationen in jede Richtung. Sie übermittelt Daten an die Deep Space Network Antennen auf der Erde. Die Hochfrequenzantenne ist drehbar und sendet Daten zu einem bestimmten Punkt auf der Erde. Man kann sie also genau auf eine Antenne der Erde ausrichten. Der Rover kann auch Informationen zu einer der Marssonden wie Mars Global Surveyor senden und diese sendet dann zur Erde und umgekehrt. Der Vorteil daran ist, dass diese Sonden länger Kontakt zur Erde haben und näher beim Rover sind.³²

2.4.6 Das Gehirn

Das Gehirn des Rovers befindet sich im Hauptteil, im Rover Electronics Module (REM). Es sind leistungsstarke Computer, die in der Lage sind, Daten mit den Instrumenten und den Sensoren auszutauschen und so den Roboter zu steuern. Sie sind mit 128MB DRAM versehen, die auch Fehler erkennen und korrigieren können. Diese Computer überprüfen laufend die Zustände des Rovers und reagieren entsprechend, um den Roboter am Leben zu erhalten. Dazu gehört auch die Temperatur. Die Computer sind für die Regulierung der Heizungen zuständig. Die Daten werden aufgezeichnet und können vom Bodenteam abgerufen werden.³³

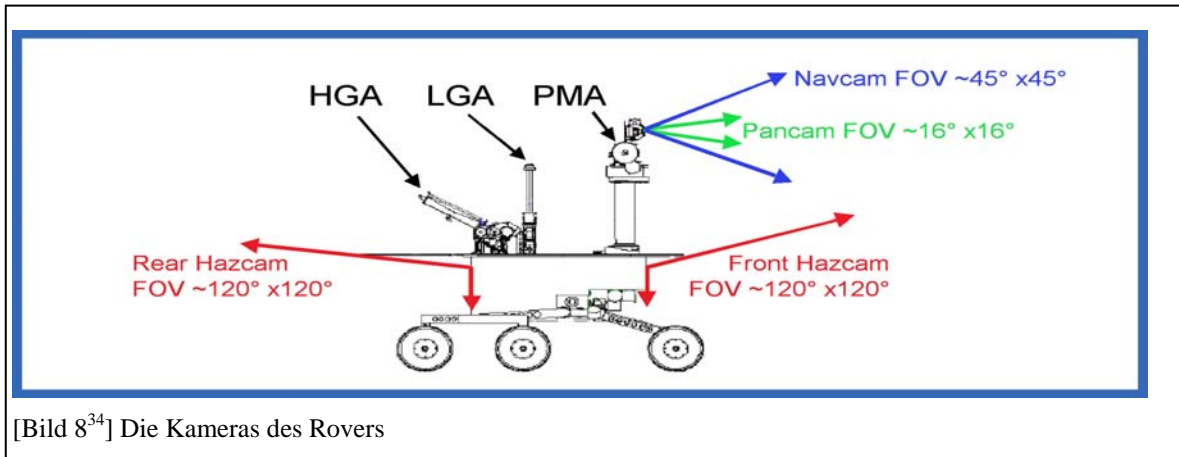
³¹ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_wheels.html

³² http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_antennas.html

³³ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_brains.html

2.4.7 Die Kameras

Der Rover besitzt insgesamt neun Kameras, sechs davon werden für die Navigation benötigt.



Die vier Hazcams sind vorne und hinten oberhalb der Räder befestigt. Sie nehmen schwarzweisse 3D-Bilder auf und dienen dazu, dass der Rover das Gelände erkennt und Zusammenstöße vermeiden kann.

Daneben gibt es zwei Navcams, die am Mast befestigt sind. Auch sie erzielen schwarzweisse 3D-Panoramen und dienen ebenfalls zum Erkennen des Geländes. Deshalb arbeiten sie auch mit den Hazcams zusammen.

Ebenfalls am Mast sind zwei Pancams (Panoramakameras) befestigt. Sie nehmen 3D-Panoramafarbbilder der Marsoberfläche auf. Sie besitzen eine Auflösung wie etwa die des menschlichen Auges.

Am Roboterarm ist noch eine Mikroskopkamera angebracht, die Bilder aus sehr geringer Distanz von Objekten macht. Diese Bilder können die Wissenschaftler dazu benutzen, die Auswirkungen des Objekts auf den Rover zu berechnen, zum Beispiel wie tief der Rover einsinken wird.³⁵

2.4.8 Die Instrumente

Am Arm sind neben der Mikroskopkamera noch weitere Instrumente befestigt. Eine Art Bohrer ist vorhanden, der die oberste Schicht eines Felsens abkratzen kann und so den Zugang zu frischem Gestein ermöglicht. Ausserdem ist ein Mössbauer Spektrometer angebracht, ein Gerät, das den Eisengehalt des Bodens feststellen kann. Daneben gibt es

³⁴ <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/roverview1.jpg>

³⁵ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_eyes.html

auch noch einen Alpha-Teilchen-Röntgenstrahler, der anhand seiner Strahlen die Zusammensetzung eines Objektes bestimmen kann.³⁶

Am Mast ist ausserdem noch das Mini-TES angebracht, ein Spektrometer, das mit dem Muster der thermischen Strahlung des Materials die Mineralien bestimmen kann. Dies soll ermöglichen, Mineralien zu finden, die im Zusammenhang mit Wasser vorkommen.³⁷

2.4.9 Die Energie

Der Rover benötigt für seine Aktivitäten Energie. Der Hauptteil davon stammt von den Solarpanellen. Wenn sie voll belichtet sind, stehen dem Rover 140 Watt zur Verfügung, wovon er etwa 100 Watt benötigt. Zwei wieder aufladbare Batterien speichern die Energie, um sie dann einzusetzen, wenn die Sonne nicht scheint. Das Problem an der Sache ist, dass die Solarpanellen wegen Staubablagerungen auf den Zellen mit der Zeit immer weniger Energie erzeugen können, und dass die Batterien abgenützt werden. Ausserdem ändert mit dem Saisonwechsel die Sonneneinstrahlung und so ändert sich auch die Energie.³⁸

2.4.10 Die Temperaturregulierung

Der Rover funktioniert zwischen einer Temperatur von -40°C bis zu $+40^{\circ}\text{C}$. Falls diese Werte einmal unter- oder überschritten werden, stehen ihm mehrere Möglichkeiten zur Korrektur zur Verfügung. Er besitzt Heizungen zum Wärmen, und überflüssige Hitze kann durch die Heizkörper auch freigegeben werden.³⁹

Die Oberfläche ist mit Gold eingesprayed worden. Wie bei einer Thermosflasche wird so die Hitze verringert, die nach aussen gelangt.⁴⁰

Ausserdem ist der Rover mit einem speziellen Material isoliert, das den Hitzeausstrom weiter verringert. Es wurde extra entwickelt und besteht aus 99.8% Sauerstoff, der Rest ist Silikon.⁴¹

³⁶ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_arm.html

³⁷ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_instru_minites.html

³⁸ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_energy.html

³⁹ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_temp.html

⁴⁰ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/sc_rover_temp_goldpaint.html

⁴¹ http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/sc_rover_temp_aerogel.html

3. Mein Roboter Legor

3.1 Einleitung

Der Rover Spirit ist ein technisch extrem hoch stehender Roboter. Es war klar, dass ich mit meinen Mitteln nicht den Rover nachbauen konnte. Trotzdem sollte Legor einen Bezug zu Spirit haben. Also versuchte ich, einen wichtigen Aspekt auszuwählen und mich damit zu befassen. Ich entschied mich für die Orientierung. Spirit musste sich auf dem Mars computergesteuert selbstständig fortbewegen können, was durch ein komplexes System von Kameras und Computern erreicht wurde. Der Rover wäre verloren, wenn er Hindernisse oder Felsspalten nicht sehen und ihnen nicht ausweichen könnte. Deshalb sah ich die Orientierung als zentrales Element. Kameras standen mir keine zur Verfügung, dafür verschiedene Sensoren. Damit mein Roboter sich zurechtfindet, markierte ich auf einem Brett Hilfslinien, anhand derer er sich orientieren konnte. Es ist nicht möglich, dass der Roboter Hindernisse und Gefahren sieht und als solche erkennt, dazu wären richtige Kameras nötig gewesen. Aber der Roboter kann immerhin erkennen, wenn er in etwas hineinfährt und kann darauf reagieren. Mit diesen Vorgaben wollte ich mein Ziel erreichen und begann mit der Arbeit.

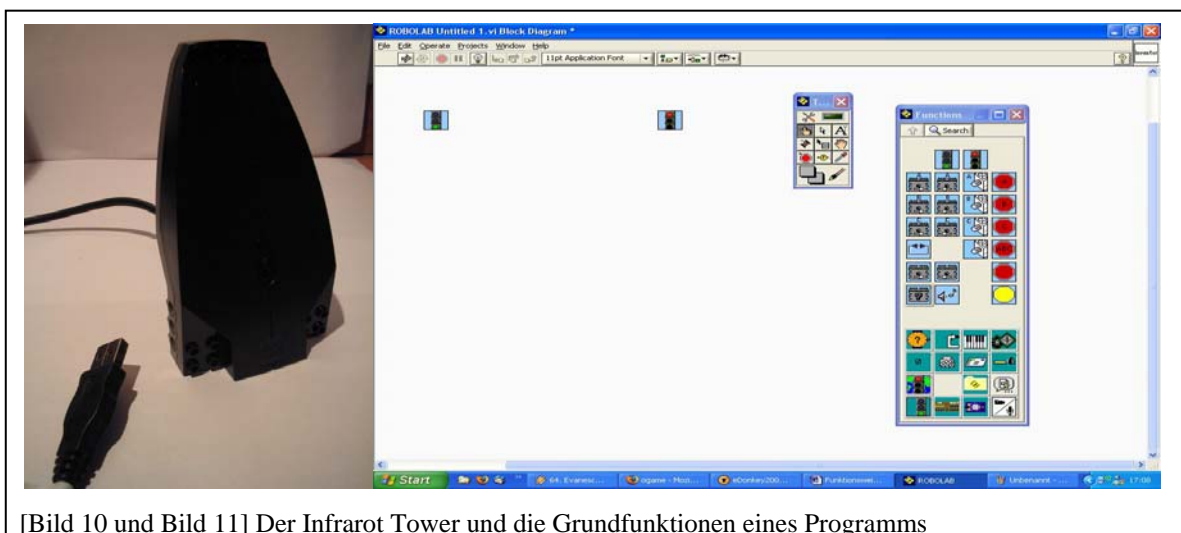
3.2 Grundfunktionen

Um die Funktionsweise des Roboters zu verstehen, sollte man zuerst die einzelnen Teile betrachten.

Der RCX ist quasi der Bordcomputer des Roboters. Das schwarze Fenster vorne ist der Empfang für die Infrarotstrahlen. Er besitzt vier Tasten: Rot ist zum Ein-/Ausschalten, Grau zum Auswählen von einem der fünf verfügbaren Speicherplätze, Grün aktiviert das gewählte Programm und mit Schwarz kann man die verschiedenen Werte wie zum Beispiel die der Lichtsensoren ansehen, das heisst, welche Helligkeit sie im Moment messen. Die drei grauen



Felder vorne sind für die Kabel der Sensoren reserviert, auf den schwarzen Feldern an der Rückseite kann man die Kabel der Motoren befestigen. Es können jedoch nur zwei gleiche Sensoren auf ein Feld gesteckt werden, das heisst, man kann zum Beispiel nicht einen Berührungs- und einen Lichtsensor auf Nummer 1 stecken, dafür aber zwei Lichtsensoren oder zwei Berührungssensoren.

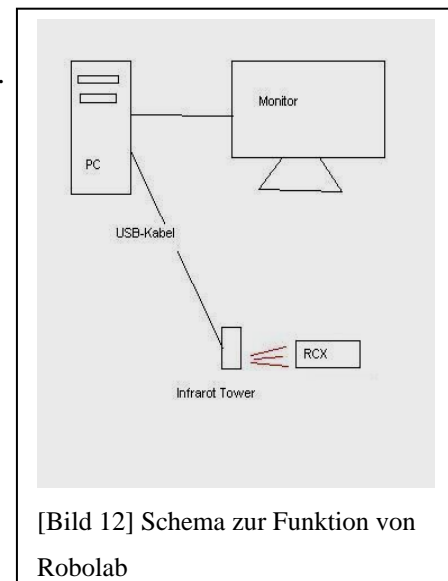


Der Infrarot Tower (Bild 10) wird über USB am Computer angeschlossen. Er überträgt das geschriebene Programm vom PC auf den RCX.

Das Programmieren erfolgte mit der Software Robolab 2.5.4. Das ist eine Art bildliche Programmiersprache. Ausgangspunkt sind immer die grüne Ampel als Start und die rote Ampel als Ziel. Aus der rechten Palette kann man verschiedene Funktionen auswählen und sie ins Feld ziehen. In der linken Palette stehen einem verschiedene Werkzeuge (Tools) zur Verfügung, wie das Symbol mit der Kabelrolle, das Funktionen verbindet (Bild 11). Ausserdem kann man vielen Funktionen noch Zusatzbedingungen zuweisen, zum Beispiel die Geschwindigkeit bei den Motoren.

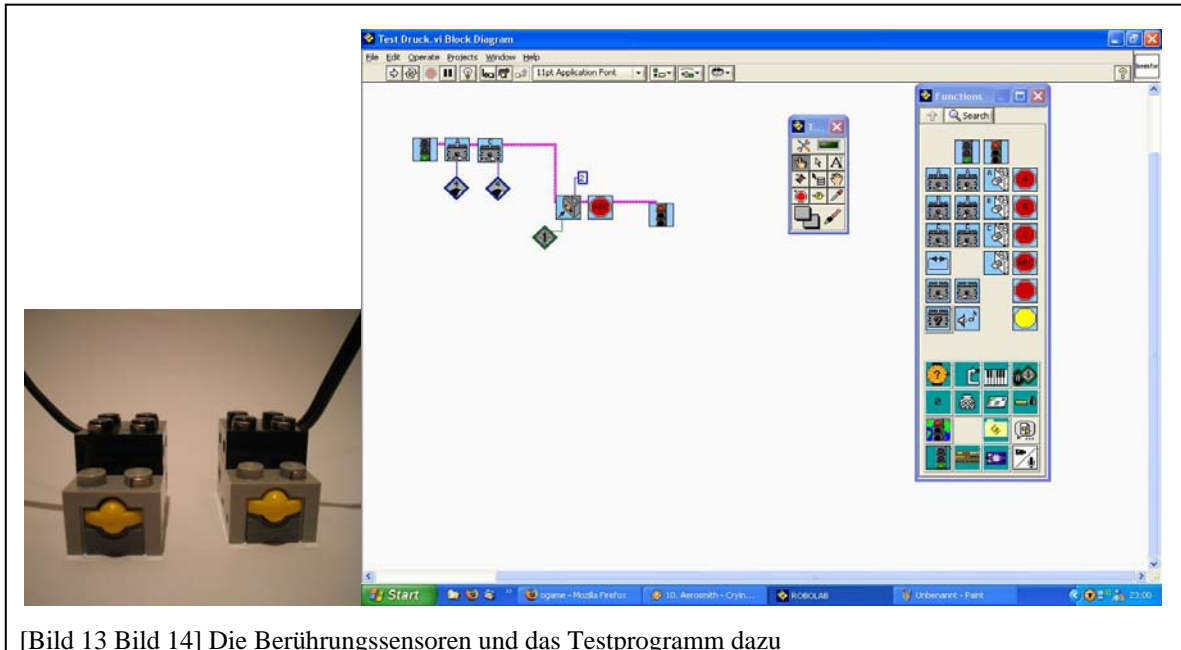
Um den Gesamtvorgang zu verstehen, soll das Schema helfen.

Man schreibt zuerst auf dem PC ein Programm. Wenn man damit zufrieden ist, drückt man die Funktion "Run". Der Computer sendet jetzt das Programm über das USB-Kabel an den Infrarot Tower und dieser überträgt es per Infrarot auf den RCX. Das Ganze ist nur möglich, wenn der PC keinen Fehler im Programm findet und wenn der RCX eingeschaltet ist. Sonst erscheint eine Fehlermeldung. Zum Schluss muss man noch die grüne Taste drücken und das Programm wird aktiviert. Möchte man noch etwas am Programm umstellen, ändert man einfach das Programm im PC und schickt es neu, das alte wird dann überschrieben.



3.3 Erste Schritte

Die ersten Schritte waren recht einfach und dienten dazu, mit dem Programm wieder vertraut zu werden. Der erste Roboter bestand gerade mal aus ein paar Teilchen auf Rädern mit zwei Motoren. Danach wurden die einzelnen Sensoren angeschlossen und mit einem einfachen Programm getestet. Deshalb zuerst etwas zu den Sensoren.

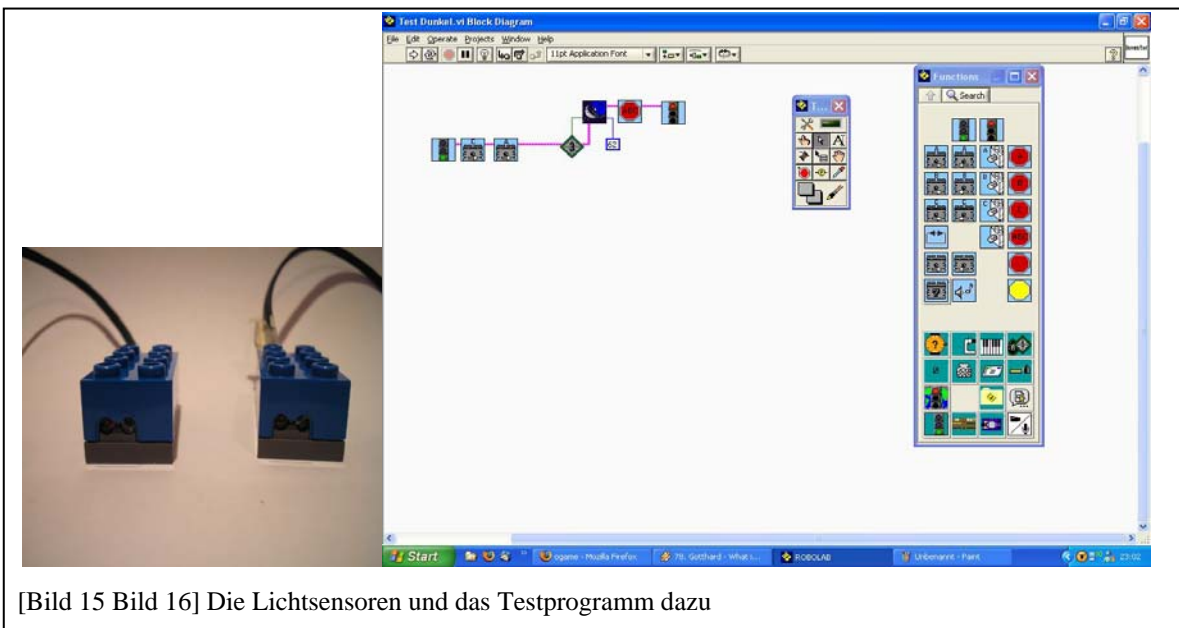


[Bild 13 Bild 14] Die Berührungssensoren und das Testprogramm dazu

Die Berührungssensoren (Bild 13) reagieren darauf, dass der gelbe Knopf vorne am Sensor hineingedrückt wird. Geschieht dies, führt der Roboter die im Programm vorgegebene Handlung aus. Ausserdem kann der Sensor so eingestellt werden, dass er erst nach einer bestimmten Anzahl Berührungen reagiert und nicht schon bei der ersten. Dazu gab es ein anfängliches Testprogramm (Bild 14).

Das grüne Lichtsignal ist der Start, die beiden folgenden Symbole bringen die Motoren auf den Steckplätzen A und C zum Laufen, und das mit der Geschwindigkeit von 4, wobei 1 das Minimum und 5 das Maximum ist. Das folgende Zeichen steht dann für den Berührungssensor. Es sorgt dafür, dass der Roboter anhält, wenn der Sensor auf Steckplatz 1 zum zweiten Mal gedrückt wird. Das rote Lichtsignal ist der Abschluss.

Dann zu den Lichtsensoren.



Diese Sensoren (Bild 15) haben die Fähigkeit, auf Helligkeitsunterschiede zu reagieren. Man kann ihnen den Befehl geben, etwas zu tun, wenn der gemessene Wert unter oder über eine bestimmte Zahl fällt, oder wenn er um eine bestimmte Spanne steigt beziehungsweise sinkt.

Das erste Programm dazu (Bild 16):

Die ersten drei Symbole sind wieder gleich wie vorher, das vierte steht für den Lichtsensor auf Steckplatz 3. Bei diesem Zeichen wartet der Roboter, bis es dunkler wird und der gemessene Wert unter die angegebenen 62 fällt. Darauf stoppt er. Das gleiche Symbol gibt es auch dafür, dass es heller wird.

Diese vier Sensoren hatte ich zur Verfügung. Diese kurze Erklärung ist nötig, damit man den weiteren Verlauf und vor allem mein fertiges Programm versteht. Ausserdem hatte ich drei Motoren und mehrere Kabel, um die Sensoren und Motoren mit dem RCX zu verbinden. Die Software wurde mir auch zur Verfügung gestellt, sowie die Treiber für den Tower. Sie mussten vor der Übertragung noch installiert werden und ein Programm musste auf den RCX geladen werden, damit der Roboter die nachfolgenden Programme erkennen und ausführen konnte.

Nach diesen anfänglichen Tests ging ich dazu über, einen komplexeren Roboter zu bauen, mit dem ich arbeiten konnte.

3.4 Aufbau des Roboters Legor

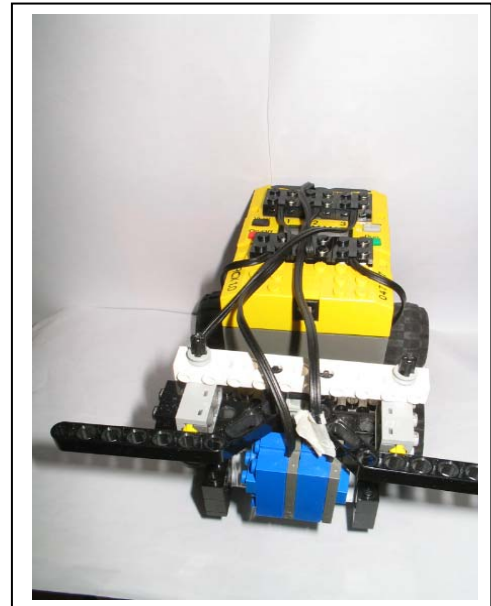
Am Anfang wusste ich einfach, dass der Roboter in der Lage sein muss, sich fortzubewegen, und dass er verschiedene Sensoren benötigt. Daraus musste ich einen Plan zusammenstellen.

Aus meinen Erfahrungen in der Schule wusste ich, dass der Roboter mit Raupen eher langsam und nicht wendig genug war. Deshalb entschloss ich mich, an Stelle der Raupen Räder einzusetzen. Der Marsrover Spirit verfügt zwar über sechs Räder, aber für meinen Zweck reichten vier. Den ersten Roboter baute ich noch nach Anleitung. Es ergaben sich aber diverse Probleme beim Programmieren, und ich musste den Roboter mehrmals umbauen. Am Schluss waren das so viele Änderungen, dass ich den Roboter demontierte und komplett neu baute, diesmal ohne Anleitung, dafür meinen Anforderungen angepasst. Eine Bildserie zum Aufbau befindet sich im Anhang.

Zuerst musste ich ein Grundgerüst konstruieren, auf dem ich aufbauen konnte. Die Motoren setzte ich nach hinten, um daran direkt die Hinterräder montieren zu können. Schwieriger wurde es dann beim Schieber. Dieser besteht aus einer Plastikplatte, die mit einem Faden an ein LEGO-Teilchen angebunden und dann mit weissem Papier überzogen wurde. Das Ganze sollte hin- und herlaufen können. Deshalb habe ich die Deckfläche über dem Schieber mit glatten Teilchen versehen, damit weniger Widerstand entsteht. Der Schubmechanismus selbst läuft über zwei Zahnräder, eines am Motor und das andere auf dem Schieber. Zu hinterst am Schieber brachte ich noch ein Stäbchen an, das dafür sorgt, dass der Schieber anhält, auch wenn der Motor noch weiterdreht. Der Motor dreht nicht immer ganz gleich, also würde der Schieber nicht immer gleich weit geschoben, so jedoch hält er immer am gleichen Ort.

Auf den etwas dunkleren Fotos ist die Einrichtung für die Berührungssensoren abgebildet. Die beiden schwarzen "Flügel" vorne sind beweglich. Fährt nun der Roboter in ein Hindernis, wird einer oder beide Flügel auf den Berührungssensor gedrückt und der Roboter merkt das. Die ganze Konstruktion konnte vorne an den Hauptteil gesteckt werden. Dann wurden noch die beiden Lichtsensoren mit einer Art Gelenk an den Hauptteil angebracht. Dabei war zu beachten, dass unter den Sensoren noch der Schieber Platz haben musste, sie durften deshalb nicht zu tief unten befestigt sein. Zum Schluss musste man noch die Kabel anbringen, die Motoren auf den schwarzen Steckplätzen und

die Sensoren auf den grauen. Speziell bei den Motoren war noch zu beachten, wie man die Kabel anschloss, ob normal oder um 180° gedreht. Je nachdem fuhr der Roboter Legor vorwärts oder rückwärts. Das musste man ausprobieren. Ich musste in meinem Fall alle Kabel drehen, damit der Roboter beim Befehl "Vorwärts fahren" auch vorwärts fuhr. Schliesslich war der Roboter fertig. (Bild 17).



[Bild 17] Mein fertig gebauter Roboter

Ich probierte noch verschiedene Möglichkeiten aus, auch bei der Platzierung der Sensoren. Bei den Sensoren war klar, dass die zwei Berührungssensoren vorne an den Roboter gehörten, um einen Zusammenstoss mit einem Hindernis zu erkennen. Die Lichtsensoren hingegen waren schwieriger. Da ich zuerst plante, dass der Roboter auf den Linien fuhr, brachte ich beide vorne nebeneinander an. Ich liess den Roboter schliesslich doch zwischen den Linien fahren, aber die Sensoren belliess ich an ihrer Stelle, da sie auch so ihren Zweck erfüllten.

Der Roboter funktionierte nun nach meinen Wünschen. Da die Lichtsensoren vor allem mit Kontrast arbeiteten, besorgte ich noch ein helles Holzbrett, auf das ich schwarze Markierungslinien aufklebte. Der Roboter sollte sich in diesen Spalten bewegen können (auch von einer zur nächsten), je nachdem, ob ein Hindernis im Wege stand. Eines der wichtigsten Elemente beim Aufbau ist der Schieber unterhalb des



[Bild 18] Die Testfläche für meinen Roboter

Roboters. Er kann mit einem Motor vorgeschoben werden und somit den Sensoren die Sicht blockieren. Diese reagieren dann nicht mehr, wenn der Roboter eine Linie überfährt. Sobald die Sensoren wieder reagieren sollen, wird der Schieber wieder zurückgezogen. Dass die Motoren für die Räder hinten und nicht vorne sind, ist darauf zurückzuführen, dass vorne kein Platz mehr zur Verfügung war.

3.5 Mein Programm

Ein Bild des gesamten Programms befindet sich im Anhang, ebenfalls eine Bilderserie zum Ablauf. Mein Roboter Legor sollte sich orientieren können. Deshalb war die erste Aufgabe, die er beherrschen sollte, sich zwischen den Linien fortzubewegen und dabei in der Spalte zu bleiben. Deshalb baute ich ihm zwei so genannte Tasks ein (der obere Teil des Programms), die darauf reagieren, wenn einer der Sensoren auf eine schwarze Linie kommt. Wenn jetzt der rechte Sensor eine Linie erkennt, oder anders gesagt, wenn der Wert des Sensors unter eine bestimmte Zahl sinkt, muss der Roboter nach links steuern. Deshalb stoppt auch das linke Rad für eine gewisse Zeit. Da nur noch das rechte Rad dreht, steuert der Roboter nach links. Mit dem linken Sensor ist es genau umgekehrt.

Dann stellte sich das Problem, wie der Roboter ein Hindernis erkennt. Deshalb baute ich ja zwei Berührungssensoren vorne an den Roboter. Wenn er jetzt auf ein Hindernis stösst, reagiert er. Diese Reaktion ist im unteren Teil des Programms dargestellt. Der Roboter muss jetzt die Spur wechseln. Deshalb fährt er zuerst eine gewisse Zeit rückwärts, damit das Hindernis nicht mehr im Wege steht. Dann dreht er sich nach links, was willkürlich gewählt ist, fährt ein gewisses Stück vorwärts und dreht wieder nach rechts zurück, so dass er wieder in die gleiche Richtung schaut wie vorher. Wenn der Roboter jetzt nicht ganz gerade steht, was passieren kann, weil er nicht immer gleichmässig dreht, wird er über eine der Linien am Rande der Spalte fahren und damit seine Richtung automatisch korrigieren. Wichtig dabei ist der weisse Schieber, der beim Hineinfahren in ein Hindernis nach vorne geschoben wird. Dies sorgt dafür, dass die Sensoren während des ganzen Spurwechselforgangs nur hell erkennen und beim Überqueren der Spur nicht reagieren. Sobald der Roboter wieder gerade steht, wird der Schieber wieder zurückgezogen, denn jetzt sollen die Sensoren ja wieder auf die Linien reagieren. Ohne diesen Schieber würde der Roboter, wenn er beim Drehen eine Linie überfährt, automatisch in den oberen Teil des Programmes zurückfallen und mit drehen aufhören. Das Programm besitzt eine Endlosschleife, das heisst, es beginnt immer wieder von vorne zu laufen und der Vorgang ist mehrmals wiederholbar. Der Roboter wechselt solange die Spur, bis er eine erreicht, auf der kein Hindernis ist und gelangt so ans Ziel. Ich habe als Orientierung die Variante gewählt, dass er seinen Weg zwischen den Hindernissen hindurch sucht. Der Rover Spirit kann seine Hindernisse im Voraus sehen und ausweichen, Legor muss zuerst hineinfahren, bis er es merkt. Er kann deshalb seine Route auch nicht im Voraus planen, er wählt sie anhand der Hindernisse aus.

3.6 Reflexion und allgemeine Probleme

Alles in allem hatte ich meinen Spass mit dem Roboter. Doch es war nicht immer einfach. Oft programmierte man etwas, liess den Roboter laufen, und der machte etwas ganz anderes als vorgesehen war. Das konnte einen schon mal zur Weissglut bringen. Und dennoch waren es genau solche Vorkommnisse, die mich weiterbrachten. Oft entstanden nämlich daraus neue Ideen für Änderungen, oder man entdeckte etwas ganz Neues, das man ausprobieren konnte. Das Gute am Bau von Legor war, dass es sich nicht um eine reine Schreiarbeit handelte. Man hatte etwas Konkretes, mit dem man hantieren konnte.

Neben den kleinen Schwierigkeiten, die beim Programmieren auftraten, gab es allgemeine Probleme. Ein solches war die Empfindlichkeit der Lichtsensoren. Setzte man bei Tageslicht die Werte für hell und dunkel fest, stimmten diese am Abend bei weniger Tageslicht, dafür aber mit mehr Beleuchtung, schon wieder nicht mehr. Oft reagierte der Roboter bereits anders, wenn man den Raum wechselte. Deshalb musste man oft die Werte umprogrammieren. Ein weiteres Problem waren die Schatten. Warf ein Hindernis einen Schatten, reagierte der Roboter auf die Dunkelheit und das ganze Programm wurde gestört. Oft warf der Roboter selbst einen Schatten und die Sensoren reagierten. Deshalb musste man darauf achten, dass möglichst wenig Schatten entstanden. Ein Problem war auch, dass die Holzplatte, auf welcher der Roboter fuhr, eher glatt war. Vor allem beim Drehen griffen die Räder oft nicht richtig und der Roboter drehte nur halb so weit, wie er eigentlich sollte. Das führte zu diversen Konstruktionsänderungen, vor allem bei den Rädern. Ausserdem musste ich mit Schmirgelpapier die Holzoberfläche aufrauen, um so einen besseren Halt der Räder zu erreichen. Das dritte Problem trat beim Programmieren bei den Lichtsensoren auf. Ich definierte den Lichtsensoren eine Funktion zu, so dass mein Roboter gerade fuhr. Sollte der Roboter jetzt etwas Anderes tun und überfuhr er dabei wieder eine Linie, sprang er im Programm sofort wieder zu dieser "Geradefahrfunktion" zurück und führte den Rest des Programmtasks, in dem er gerade war, nicht mehr weiter aus. Mit Programmieren konnte ich dieses Problem nicht lösen. Ich bastelte deshalb den Schieber, der vor die Sensoren geschoben wurde und ihnen die Sicht auf die schwarzen Linien verdeckte. Er hinderte sie so am Reagieren.

4. Literaturverzeichnis

Textquellen:

- 1: <http://www.epischel.de/wissen/mars3.html> [Stand 28.11.04]
- 2: <http://www.epischel.de/wissen/mars3.html> [Stand 28.11.04]
- 3: <http://www.epischel.de/wissen/mars3.html> [Stand 28.11.04]
- 4: <http://www.astronews.com/news/artikel/2002/10/0210-009.shtml> [Stand 4.9.04]
- 5: Spick 266, Februar 2004, Seite,14 Text: Mission Mars von Dirk Wagner
- 6: <http://www.epischel.de/wissen/mars3.html> [Stand 28.11.04]
- 7: <http://www.spiritproject.de/astro/planeten/mars.htm> [Stand 3.1.05]
- 9: <http://www.geoscience-online.de/> Artikel „Kleiner, kalter Bruder“ [Stand 3.1.05]
- 10: <http://www.marssociety.de/html/> Stichwort Spirit, Artikel 361 [Stand 10.11.04]
- 11: <http://www.marssociety.de/html/> Stichwort Spirit, Artikel 519 [Stand 10.11.04]
- 12: <http://www.marssociety.de/html/> Stichwort Spirit, Artikel 536 [Stand 10.11.04]
- 13: <http://www.marssociety.de/html/> Stichwort Spirit, Artikel 547 [Stand 10.11.04]
- 14: <http://www.marssociety.de/html/> Stichwort Spirit, Artikel 553 [Stand 10.11.04]
- 15: <http://www.marssociety.de/html/> Stichwort Spirit, Artikel 569 [Stand 10.11.04]
- 16: <http://www.marssociety.de/html/> Stichwort Spirit, Artikel 652 [Stand 10.11.04]
- 17: <http://www.marssociety.de/html/> Stichwort Spirit, Artikel 663 [Stand 10.11.04]
- 18: <http://www.marssociety.de/html/> Stichwort Spirit, Artikel 681 [Stand 10.11.04]
- 19: <http://www.marssociety.de/html/> Stichwort Spirit, Artikel 769 [Stand 10.11.04]
- 20: <http://www.marssociety.de/html/> Stichwort Spirit, Artikel 781 [Stand 10.11.04]
- 21: <http://www.marssociety.de/html/> Stichwort Spirit, Artikel 791 [Stand 10.11.04]
- 24: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_body.html [Stand 28.9.04]
- 25: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_neck.html [Stand 28.9.04]
- 30: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_arm.html [Stand 28.9.04]
- 31: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_wheels.html [Stand 28.9.04]
- 32: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_antennas.html [Stand 28.9.04]
- 33: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_brains.html [Stand 28.9.04]
- 35: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_eyes.html [Stand 28.9.04]
- 36: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_arm.html [Stand 28.9.04]
- 37: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_instru_minites.html [Stand 28.9.04]
- 38: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_energy.html [Stand 28.9.04]
- 39: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft_rover_temp.html [Stand 28.9.04]

40: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/sc_rover_temp_goldpaint.html [Stand 28.9.04]

41: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/sc_rover_temp_aerogel.html [Stand 28.9.04]

Bilder:

8: <http://www.pegasus-design.de/pix/gestirne/sonnensystem.gif> [Stand 19.2.05]

22: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/rover1_detail_500.jpg [Stand 28.9.04]

23: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/webred1_500.jpg [Stand 28.9.04]

26: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/neckhead2_250.jpg [Stand 28.9.04]

27: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/neckhead1_200.jpg [Stand 28.9.04]

28: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/robotic_arm_250.jpg [Stand 28.9.04]

29: http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/rover_arm2_200.jpg [Stand 28.9.04]

34: <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/mission/images/roverview1.jpg> [Stand 28.9.04]

Die Bilder 9, 10, 13, 15, 17, 18, 19-39 und 40-54 wurden selbst aufgenommen.

Die Bilder 11, 14, 16 und 55 sind Screenshots.

Das Bild 12 wurde selbst auf dem PC gezeichnet.

Titelbild:

Bild Mars: <http://www.nwrc.usgs.gov/world/images/mars.jpg> [Stand 20.2.05]

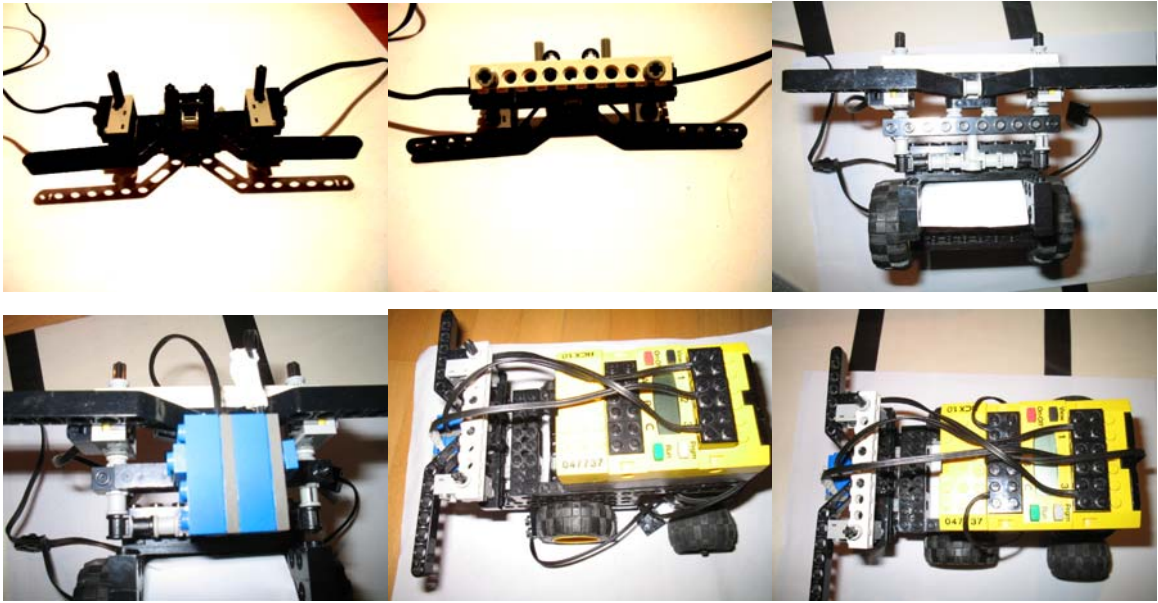
Bild Spirit: http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/image/mars2003_rover.jpg [Stand 20.2.05]

Bild Erde: http://www.rus.uni-stuttgart.de/beratung/lageplan/img/europe_world.jpg [do.]

5. Anhang

Bilder über den Aufbau des Roboters Legor

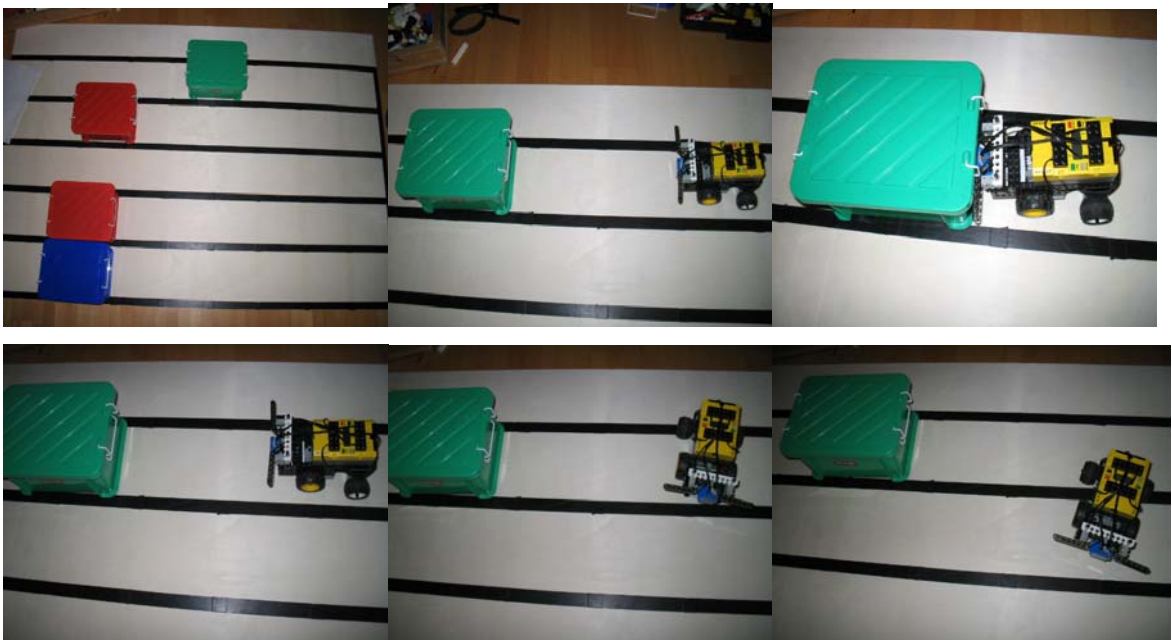




[Bild 19 bis Bild 39] Bilder über den Aufbau meines Roboters

Die Bilder wurden zu verschiedenen Zeiten unter verschiedenen Lichtbedingungen aufgenommen. Deshalb sind sie auch verschieden in der Helligkeit, im Hintergrund etc.

Bilder über die Funktionsweise des Roboters Legor





[Bild 40 bis Bild 54] Bilder zum Ablauf meines Roboters

Mein Roboter hat hier den Weg zwischen den beiden roten Kisten gefunden. Die letzten zwei Bilder zeigen noch die beiden Positionen des Schiebers bevor und nachdem er in ein Hindernis gefahren ist, also vor und nach dem Verdecken der Sensoren.

