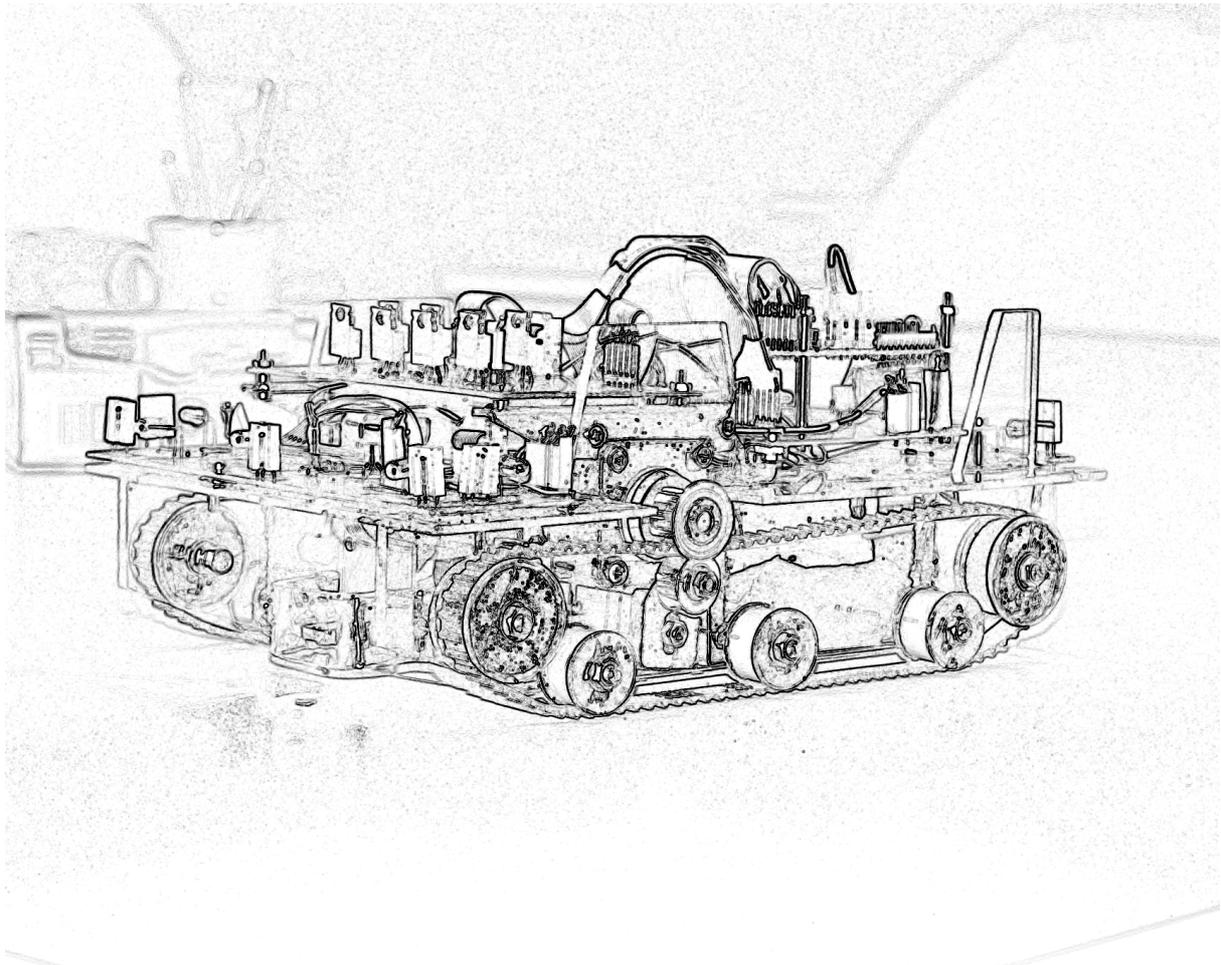


Mobile Roboter



Eine Jahresarbeit von Jakob Salzmann

Mobile Roboter

Eine Jahresarbeit von Jakob Salzmann

Freie Waldorfschule Dresden, 28.10 2002

Inhaltsverzeichnis:

0. Einleitung	4
1. Was ist ein Roboter?.....	5
2. Einblick in die Digitale Welt.....	7
3. Grundgerüst.....	8
3.1. Verschiedene Varianten	8
3.2. Eigener Aufbau.....	11
4 .Hardware	13
4.1. Aktoren.....	13
4.1.1. Verschiedene Arten	13
4.1.2. Die Schrittmotoren	14
4.2. Sensoren	15
4.3. Der Microcontroller:	18
4.3.1. Der Microcontroller R167-JIF.....	18
4.3.2. Anschlussbelegung.....	19
5. Software.....	20
5.1. Programmieren.....	20
5.2. Ein Algorithmus	20
6. Stromversorgung	22
6.1. Verschiedene Energiespeicher.....	22
6.2. Die Akkupacks.....	23
6.3. Ladeverfahren	23
7. Elektronik	24
7.1. Herstellen von Platinen	24
7.2. Sensoransteuerung	25
7.3. Motorleistungsstufe	29
7.4. Tochterplatine für Microcontroller R167-JIF	30
8. Rückblick	31
9. Danksagung.....	32
10. Verwendete Abkürzungen.....	33
11. Literaturangaben:.....	34

0. Einleitung

Die Anfänge der Robotik sind älter als die Entdeckung Amerikas durch Christoph Columbus. Wahrscheinlich wurden schon im alten China Versuche unternommen Arbeiten durch technisches Gerät erledigen zu lassen. Bei Leonardo da Vinci (1452-1519) sind schon ausgetüftelte Bewegungsautomaten zu finden. Doch den wirtschaftlichen Durchbruch schafften Roboter erst im letzten Jahrhundert. Den ersten Roboter, der industriell eingesetzt wurde, baute die US-amerikanische Firma Planet Corporation. Er hieß Planetbot und bewegte schon 1955 Metallteile für General Motors. Am Ende des 20. Jahrhundert schufteten schätzungsweise 770.000 Industrieroboter auf unserem Planeten. Das Blechproletariat ist aus unserer Welt nicht mehr wegzudenken.

Inzwischen wird weltweit in vielen Labors an einem neuen Geschlecht von Maschinenwesen geforscht, den humanoiden Robotern. Sie haben eine menschenähnliche Form und gehen auf zwei Beinen. Schon in naher Zukunft, so erhoffen es sich zumindest viele Wissenschaftler, werden diese Wesen Einzug in unseren Alltag finden. Sie sollen irgendwann sogar in der Lage sein, alte Menschen zu pflegen und zu betreuen. Diese Meinung wird auch von einer Studie der United Nations Economic Commission for Europe (UN/ECE) gestützt: Schon im Jahr 2003 sollen rund 250.000 Staubsaugerroboter die Haushalte erobern und zehn Jahre später die ersten elektronischen Assistenten für ältere und kranke Menschen etabliert sein. Im 20. Jahrhundert waren die Roboter durch ihre Kraft und ihre monotonen Bewegungsabläufe gekennzeichnet. Doch im 21. Jahrhundert ist mit einem enormen Zuwachs an künstlicher Intelligenz zu rechnen. Ob das nun besonders rosige Aussichten für unsere Zukunft sind sei an dieser Stelle mal außer Betracht gelassen, aber es soll auch hierzulande schon Juristen geben, die sich Gedanken machen, ob künstliche Menschen als Sklave zu betrachten sind. Vielleicht wird es einmal Mord sein, einem künstlichen Wesen den Strom abzuschalten?

Ich wollte die Jahresarbeit nutzen um in die Grundlagen dieser so viel versprechenden Technologie einzusteigen. Das Thema deckt sich, wie sich ja schon vermuten lässt, auch mit meinen persönlichen Interessengebieten sehr gut.

Nach längeren Entscheidungsprozessen kristallisierte sich als Aufgabe heraus, dass ich einen Mobilen Roboter bauen werde. Der Schwerpunkt sollte dabei auf der künstlichen Intelligenz liegen, das heißt, dass ich mich hauptsächlich mit den Algorithmen befassen wollte um dadurch ein möglichst intelligentes Verhalten zu imitieren.

1. Was ist ein Roboter?

Roboter sind „universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegung hinsichtlich Bewegungsfolge und Weg bzw. Winkel frei (das heißt: ohne mechanischen Eingriff) programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und / oder Fertigungsaufgaben ausführen.“

Das ist die offiziell abgesegnete Definition aus der VDI-Richtlinie 2860. Da diese Definition nicht gerade sehr zutreffend und verständlich ist, werden wir im Folgenden versuchen uns dem Roboter etwas weiter zu nähern.

Wenn man versucht die VDI-Richtlinie auf das Wesentliche abzuspecken, muss das „universell einsetzbar“ gleich weglassen werden, da nichts „universell einsetzbar“ ist. Der Rest lässt sich dann auf folgendes reduzieren: „Roboter sind Automaten mit mehreren Bewegungsachsen; ihre Bewegungen werden von umprogrammierbaren Computern gesteuert.“

Das man mit dieser Definition nicht das umschreibt, was einen Roboter ausmacht, ist ziemlich schnell zu spüren. Der Autor Gero von Randow versuchte eine eigene Definition zu finden: „Ein Roboter ist ein künstlicher Automat, der lebendig wirkt, weil er sich in gewisser Weise intelligent verhält.“

Diese Definition kommt dem, was wir heutzutage einen Roboter nennen, schon wesentlich näher. Das ist vor allem auf die Tatsache zurückzuführen, dass diese Definition unseren Animismus mit berücksichtigt. Als Animismus wird das Phänomen bezeichnet, dass wir dazu geneigt sind nichtmenschlichen Dingen eine Seele zuzudenken, besonders wenn sie uns emotional berühren. Beispiele dafür sind z.B. Äußerungen wie „jetzt denkt er ...“, die man beim Beobachten von Robotern öfters zu hören bekommen kann.

Es lässt sich erahnen, dass sich die Definition nicht nur an den äußeren physikalischen Merkmalen festnageln lässt, sondern wir unser subjektives Empfinden mit einbringen müssen. Unterstützt wird dies von dem Trend, dass die Roboter durch ihre Art der Kommunikation uns Menschen immer ähnlicher werden. Ein Beispiel dafür ist ein Roboter namens HelpMate, der im Fraunhofer Institut Stuttgart Besucher anspricht und nach ihrem gewünschten Ziel fragt. Er versteht unsere Sprache und führt uns zu dem gewünschten Zimmer, verabschiedet sich höflich und fährt wieder zu seinem Platz am Eingang zurück. Diese Art der modernen Serviceroboter ist für uns natürlich sehr gewöhnungsbedürftig und wahrscheinlich auch befremdlich. Leider war es mir bisher noch nicht vergönnt einem Geschöpf wie HelpMate irgendwo persönlich zu begegnen.

Etwas ganz anderes dagegen sind z.B. die Roboterhände; das sind Versuche unsere so vielseitigen Greifwerkzeuge, die Hände, künstlich nachzubauen. Im Idealfall haben sie fünf Finger, teilweise aber auch weniger. Sie sind meist mit Unmengen von Sensortechnik ausgestattet und sollen das Geschick der Menschlichen Hand imitieren. Die Größen ihrer Gattung sollen sogar in der Lage sein Muttern auf Schrauben zu drehen, was schon einer technischen Meisterleistung entspricht. Unter anderen hat die US-Raumfahrtbehörde NASA Interesse an guten Roboterhänden, da sie in Zukunft die Montagearbeiten im All unterstützen sollen.

Es ist offensichtlich, dass der Begriff Roboter sehr weit gefasst ist und sich im Lauf der Zeit auch noch ändern wird. Seine Herkunft hat der Begriff Roboter im Slawischen Wortschatz, er ist eine Ableitung von „Rabota“ was so viel wie Arbeit oder Fronarbeit bedeutet.

In den letzten Jahrzehnten hat sich eine eigene Wissenschaft entwickelt, die den Namen Robotik trägt. Sie vereinigt in sich andere naturwissenschaftliche Gebiete, wie Mathematik und Elektrotechnik, Materialwissenschaft und Mikrosystemtechnik, Neurowissenschaften und Verhaltensforschung, teilweise vielleicht sogar Philosophie. Sehr verwandt ist das Gebiet der Künstlichen Intelligenz (KI), die streckenweise nicht mehr von der Robotik zu trennen ist.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird es sich fast ausschließlich um den autonomen mobilen Roboter drehen. Das sind Roboter, die sich frei bewegen können und alles, was sie benötigen, mit sich herumführen; sie werden also nicht von außen gesteuert oder manipuliert. Das heißt sie sind vollkommen auf sich allein gestellt, zumindest während des Betriebes, und sollen dadurch möglichst jede Situation beherrschen, in die sie geraten könnten.

2. Einblick in die Digitale Welt

Die Digitaltechnik kennt nur zwei Zustände: Ja oder Nein, oder 0 oder 1. Sie stützt sich auf das von Leibnitz (1646-1716) entdeckte Dualsystem. Eine Stelle einer Binärzahl wird als Bit (vom engl. binary digit, Binärschritt) bezeichnet und stellt die kleinste Informationseinheit in der digitalen Datenverarbeitung dar. Größere Zahlen als 1 sind durch das Aneinanderreihen mehrerer Binärzahlen zu einer mehrstelligen Binärzahl darstellbar, wobei die Werte der Binärstellen den Potenzen von 2 folgen. Hat eine Binärzahl eine Länge von acht Bit erreicht, wird sie auch als Byte bezeichnet.

Um die Binärzahlen elektrisch zu übertragen ist für jedes Bit eine Leitung erforderlich. Also bestimmt die Anzahl der vorhandenen Leitungen die maximale Größe des zu übertragenden Zahlenwertes.

Die Zahlen werden über so genannte Ports zur Verarbeitung in den Prozessor übertragen. Anschließend werden die entsprechenden Ergebnisse wieder über Ports ausgegeben (Es gibt Input- und Output Ports, kurz I/O Ports.). Ein Port (engl. Hafen, Durchlass) bildet die Schnittstelle zwischen dem Inneren des Prozessors und den Daten der Außenwelt. Die Breite des Ports gibt, wie schon oben erwähnt, die Größe der zu übertragenden Zahlen an; über einen 8-Bit breiten Port lassen sich die Zahlen 0 bis 255 übertragen, über einen 16-Bit breiten Port die Zahlen 0 bis 65535.

3. Grundgerüst

3.1. Verschiedene Varianten

Wie schon erwähnt gibt es die verschiedensten Arten von Robotern, deren äußeres Erscheinungsbild noch viel verschiedener ist. Lassen wir einmal sämtliche Industrieroboter und Roboterarme außer betracht und beschränken uns auf die mobilen Roboter.

Die anschaulichste Form haben natürlich humanoide Roboter. Das sind Roboter in Menschenform, oder zumindest solche Objekte, die auf zwei Beinen gehen. Der menschliche Gang ist aber so schwierig, dass es nur sehr wenig humanoide Laufroboter gibt, die bis zu 30 Jahren Entwicklungszeit hinter sich haben. Die meisten humanoiden Roboter sind zwischen einem und zwei Metern groß und bis zu weit über 100 kg schwer, es gibt aber auch ganz kleine, die nur 30 cm groß sind, was aber eher die Seltenheit ist. Eine andere Art sind Laufroboter, die von ihrer äußeren Gestalt mehr an Käfer erinnern. Heutzutage werden Sechsheinerkonstruktionen als die ideale Form der Laufroboter angesehen. Es gibt auch Experimente mit so genannten „Snakebots“ (snake = Schlange), die aus vielen kleinen Gliedern bestehen und sich so durch die Welt schlängeln sollen. Die meisten mobilen Roboter bewegen sich jedoch fahrend durch ihre Umwelt. Das heißt sie bewegen sich auf Rädern oder Ketten fort. Nun gibt es unendlich viele verschiedene Möglichkeiten ein Fahrzeug mit Rädern oder Ketten auszustatten.

Entscheidend ist die Form des Fahrzeugs, die Anzahl der Räder und deren Anordnung.

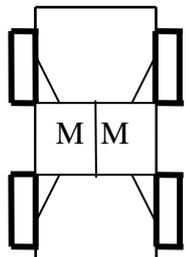
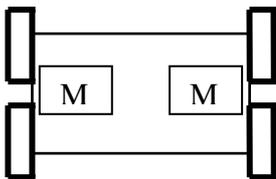
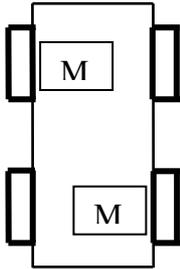
Anders als Autos werden Roboter gern mit der „differential-drive“ Technik angetrieben: Es werden die Räder auf beiden Seiten unabhängig voneinander angesteuert, sodass sie auch gegenläufig angetrieben werden können, so wie es von Kettenfahrzeugen her bekannt ist.

Dieses Prinzip erspart weitere Lenksysteme völlig, da das Fahrzeug durch die Geschwindigkeit der Räder und deren Drehrichtung in fast allen erdenklichen Formen gelenkt werden kann. Oft besitzen solche Fahrzeuge gar nur zwei Räder und ein kleines freischwenkendes Stützrad. Weitere wichtige Kriterien sind die Wendigkeit eines Fahrzeugs und dessen Nullpunktumrundung. Die Wendigkeit hängt stark von der äußeren Form ab. Die theoretisch ideale Fahrzeugform ist meines Erachtens nach eine kreisförmige Grundfläche, da sie sich aus jeder Situation, in die sie sich selbst gebracht hat, auch wieder herausbringen kann; ein Verkannten ist absolut ausgeschlossen. Womit wir auch schon bei dem Nullpunkt angekommen sind: Der Nullpunkt liegt in der Mitte des Fahrzeuges, bezogen auf die Räder, und ist der Punkt, um den sich das Fahrzeug bei einer Drehung theoretisch dreht. Es ist recht wichtig, dass dieser Punkt stabil beibehalten wird, da mit einem eventuellen Davonschlingern

weitere Navigationsprobleme verbunden sind. In der Praxis ist dieser Punkt über einige Umdrehungen hinweg natürlich nicht exakt zu halten. Das Schlingern lässt sich aber durch eine gute Fahrzeugkonstruktion auf ein akzeptables Maß hin minimieren.

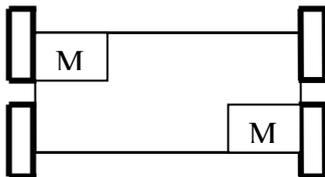
Um mich nach den wichtigsten theoretischen Grundlagen nun auch der Praxis zu nähern, führte ich an diese Stelle eine kleine Versuchsreihe mit Technik-Lego Modellen durch.

Versuche zu den Fahreigenschaften verschiedener Modelle:

1.1. Differential Drive:				
Skizze:		Auswertung:		
 <p>M = Motor</p>		Kriterium	Beschreibung	Punkte
		Nullpunktverschiebung:	schlingert bei kleinen Unebenheiten seitlich davon	2
		Lenkkraft:	etwas wenig Kraft beim Lenken	2
		Fahrgenauigkeit:	durch geringe Lenkkraft öfters Hängenbleiben	2
		Bewertung insgesamt:		6
1.2. Differential Drive:				
Skizze:		Auswertung:		
		Kriterium	Beschreibung	Punkte
		Nullpunktverschiebung:	nahezu perfekt	3
		Lenkkraft:	kräftiger als Modell 1.1	3
		Fahrgenauigkeit:	präzise steuerbar	3
		Bewertung insgesamt:		9
2.1. Diff. Drive versetzt:				
Skizze:		Auswertung:		
		Kriterium	Beschreibung	Punkte
		Nullpunktverschiebung:	schlingert seitlich viel zu stark	1
		Lenkkraft:	nicht lenkbar, nur seitliches Schlingern	0
		Fahrgenauigkeit:	nur gerade aus, Kurven nicht abschätzbar	1
		Bewertung insgesamt:		2

2.2. Diff. Drive versetzt:

Skizze:

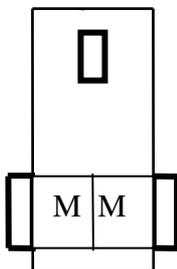


Auswertung:

Kriterium	Beschreibung	Punkte
Nullpunktverschiebung:	viel zu groß,	1
Lenkkraft:	nur sehr wenig Kraft, dreht bei kleinen Unebenheiten durch	1
Fahrgenauigkeit:	durch oben genannte Gründe nicht abschätzbare Verhalten	1
Bewertung insgesamt:		3

3.1. Dreirad / Diff. Drive:

Skizze:

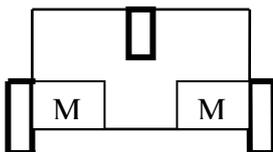


Auswertung:

Kriterium	Beschreibung	Punkte
Nullpunktverschiebung:	recht geringe Verschiebung	2
Lenkkraft:	lenkt kräftig	3
Fahrgenauigkeit:	schlingert beim Anfahren, da sich Vorderrad erst ausrichtet	1
Bewertung insgesamt:		6

3.2. Dreirad / Diff. Drive:

Skizze:

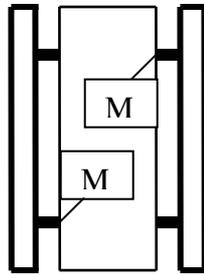


Auswertung:

Kriterium	Beschreibung	Punkte
Nullpunktverschiebung:	nahezu perfekt	3
Lenkkraft:	sehr viel Kraft beim Lenken	3
Fahrgenauigkeit:	wie Modell 3.1 aber nicht so ausgeprägt	2
Bewertung insgesamt:		7

4.1. Ketten / Diff. Drive:

Skizze:



Auswertung:

Kriterium	Beschreibung	Punkte
Nullpunktverschiebung:	sehr geringe Verschiebung bei unterschiedlicher Haftung	2 bis 3
Lenkkraft:	lenkt kräftig	3
Fahrgenauigkeit:	sehr präzise steuerbar	3
Bewertung insgesamt:		8 bis 9

Bewertungsskala:	Punkte:	3	2	1	0
	Bewertung:	sehr gut	ausreichend	mangelhaft	nicht erbracht

Wie schon an der erreichten Punktzahl zu erkennen, hat das Modell 1.2. in allen Kriterien die besten Ergebnisse geliefert, dicht gefolgt von Modell 4.1. Ich entschied mich für das Kettenfahrzeug (4.1.), da die Räder-Variante zwei Getriebe erfordert, welche die Kraft des Motors auf die beiden Räder der jeweiligen Seite übertragen.

3.2. Eigener Aufbau

Das Grundgerüst besteht aus Plexiglas (Polymethylmethacrylat), das zu einem Rahmen zusammengefügt wurde. Dieser Rahmen bildet eine in sich stabile Konstruktion, die durch eine Platte in der Mitte in eine obere und eine untere Ebene geteilt wird. Alle anderen Teile sind an dem Plexiglasrahmen befestigt, so z.B. die Laufrollen und Motoren, die die Ketten führen und antreiben. Als Ketten dienen Zahnflachriemen (482,6 mm lang, 9,5 mm breit, 95 Zähne) die so umgestülpt wurden, dass die Zähne auf der Außenseite sind. Die Ketten werden von zwei Schrittmotoren angetrieben (siehe Kapitel „4.1. Aktoren“), auf deren Achsen sich jeweils eine Zahnriemenscheibe (10 Zähne, 24 mm Durchmesser) befindet. Hier ist es möglich die Fahrgeschwindigkeit des Roboters in Abhängigkeit der Motorgeschwindigkeit zu errechnen:

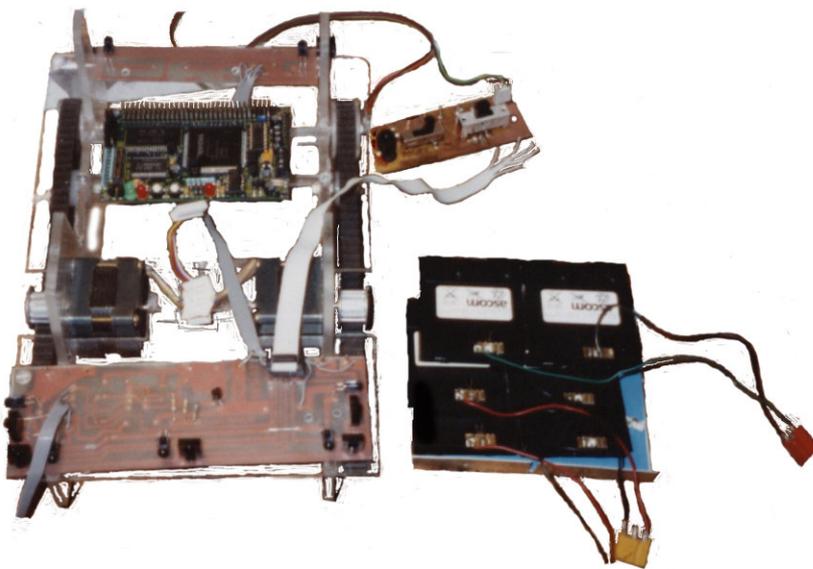
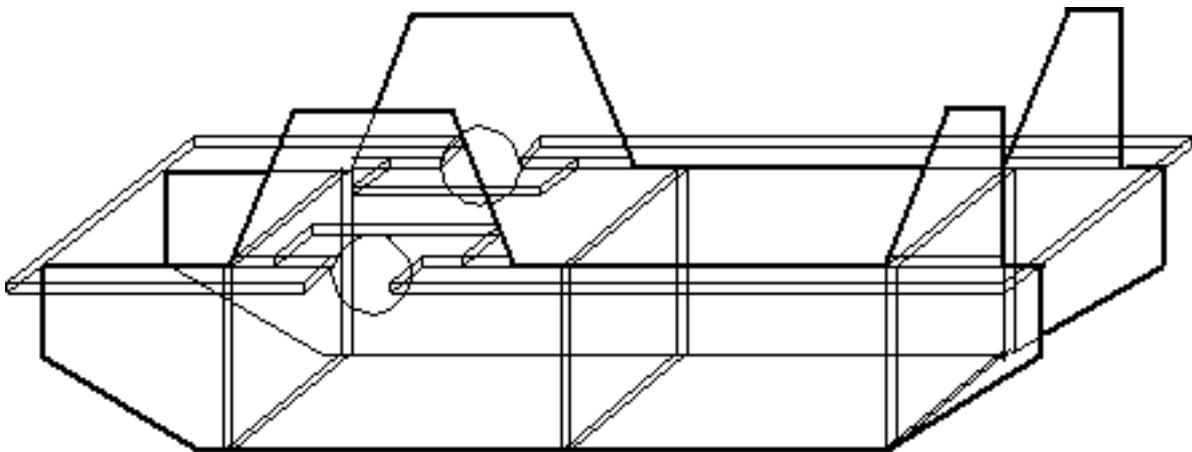
$$95 \text{ Zähne} / 10 \text{ Zähne} = 9,5 \text{ U (für einen Kettendurchlauf)}$$

$$482,6 \text{ mm} / 9,5 = 50,8 \text{ mm} \sim 5 \text{ cm (Kettendurchlauf bei einer Motorumdrehung)}$$

Um mit einer Geschwindigkeit von 10 cm / sec. zu fahren, muss der Motor sich 2 U / sec. drehen, was 120 UpM entspricht. Es wird deutlich, dass trotz der schon vorhandenen Untersetzung sehr geringe Drehzahlen zum Antreiben notwendig sind.

Die schon erwähnte Plexiglasplatte in der Mitte des Rahmens ist 170 mm breit und 250 mm lang. Sie überragt mit ihrer Größe alle anderen Teile und bildet dadurch einen mechanischen Schutz für dieselbigen. Die ganze Konstruktion liegt sehr flach über dem Boden und ist rund 110 mm hoch, das Gewicht liegt bei 1,9 kg (inklusive Akkus).

Aufbau des Plexiglasrahmens:



Der Plexiglasrahmen mit montierten Motoren, Ketten und den ersten Platinen. Die Akkus sind herausgenommen

4 .Hardware

4.1. Aktoren

4.1.1. Verschiedene Arten

Als Roboter werden nur intelligente Maschinen bezeichnet, die sich auch bewegen können (siehe Kapitel „Was ist ein Roboter?“). Doch ihre Bewegungen können von unterschiedlichster Art sein: Einige bewegen ein oder mehrere Arme, andere müssen die Beine zum Laufen bringen oder eben auch Räder oder Ketten bewegen. Es gibt grundlegend verschiedene technische Lösungen Dinge in Bewegung zu versetzen. Die Geräte, die Bewegungen erzeugen werden als Aktoren bezeichnet. Am gebräuchlichsten sind Elektromotoren, es gibt aber auch Pneumatik- und Hydrauliksysteme, welche durch Luft- oder Öldruck Kolben bewegen. Die Hydrauliktechnik ist etwas aufwendiger als die Pneumatik, weil man für das Öl ein Rückflusssystem benötigt, die Luft kann dagegen einfach entweichen. Die Pneumatiktechnik wird vor allem für Roboterhände eingesetzt. Kleine leichte Roboterkäfer werden gern mit sogenannten Muskeldrähten voranbewegt. Die Muskeldrähte werden Nitinol-Drähte genannt und besitzen die wunderbare Eigenschaft, dass sie sich bei Erwärmung in ihren vorherigen Zustand bewegen, werden sie wieder kalt begeben sie sich in den „aufgezwängten“ Zustand zurück. Dieses Material wurde von der amerikanischen Rüstungsindustrie 1932 entwickelt und besteht aus einer Nickel-Titan-Verbindung, woraus auch der Kunstname Nitinol abgeleitet ist. Heutzutage laufen Forschungen um künstlich Muskeln aus Kunststoffen herzustellen Aber nun zurück zu den Elektromotoren. Bei den Elektromotoren gibt es zwei grundlegend verschiedene Arten: Einmal die einfachen Motoren, die mit Gleichstrom betrieben werden und sich mit recht hohen Drehzahlen zwischen 5.000 und 20.000 UpM drehen, und die so genannten Schrittmotoren. Schrittmotoren drehen sich nicht einfach, wie es die einfachen Motoren machen, sondern sie bewegen sich, wie der Name schon sagt, schrittweise. In Schrittmotoren befindet sich ein magnetischer Anker, der drehbar gelagert ist und von mehreren feststehenden Spulen umgeben wird. Durch das Anlegen einer Spannung an einzelne Spulen ergeben sich stabile Stellungen, die schrittweise umgeschaltet werden können. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Winkelstellung immer bekannt ist. Ein Schritt beträgt bei den meisten Motoren 5°, das heißt, der Motor muss, um sich eine Umdrehung zu drehen, 72 Schritte machen. Dadurch ist ein genaues Mitzählen der Schritte bzw. Umdrehungen möglich. Man unterscheidet noch

zwischen Bi-Polaren und Uni-Polaren Schrittmotoren, die sich in ihrem inneren Aufbau und damit im Ansteuerprinzip unterscheiden.

4.1.2. Die Schrittmotoren

Ich verwende zwei unipolare Schrittmotoren als Aktoren, es sind recht kleine Motoren welche ca. 200 Schritte pro Umdrehung machen, was einem Schrittwinkel von rund $1,8^\circ$ entspricht. Sie werden über eine Leistungsstufe (siehe Kapitel „7.3. Motorleistungsstufe“) direkt aus dem Microcontroller angesteuert. Dies geschieht mit Hilfe eines 8-Bit breiten Ports (siehe Kapitel „2. Einblick in die Digitale Welt“), der das Bitmuster für die beiden Motoren ausgibt. Die unipolaren Schrittmotoren können in zwei verschiedenen Varianten angesteuert werden: Bei der ersten Variante wird immer nur eine Spule angesteuert, bei der zweiten Variante werden immer zwei benachbarte Spulen gleichzeitig angesteuert, wodurch sich die Kraft (der Drehmoment) erhöht und der Stromverbrauch verdoppelt.

Ansteuermuster für unipolare Schrittmotoren:

1. Variante

1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1
1	0	0	0
0	1	0	0

2. Variante

1	1	0	0
0	1	1	0
0	0	1	1
1	0	0	1
1	1	0	0
0	1	1	0

Es ist das Bitmuster für nur einen Schrittmotor dargestellt, es ist 4 Bit breit, für den zweiten Motor gilt das gleiche Bitmuster.

Da die Motoren leider etwas schwächer sind als ich ursprünglich annahm, ist die 2. Ansteuervariante notwendig geworden. Sie werden mit 100 Impulsen / sec. angesteuert, was einer Geschwindigkeit von 0,5 U / sec. entspricht. In diesem Bereich erreichen die Motoren das höchste Drehmoment und laufen flüssig, die einzelnen Schritte sind nicht mehr spürbar.

4.2. Sensoren

Sensoren sind das Bindeglied zwischen der gegenständlichen Welt und dem Inneren eines Roboters. Bei Mensch und Tier nennt man sie Sinnesorgane oder Rezeptoren. Man unterscheidet beim Menschen und somit auch bei Robotern zwischen externen und internen Sensoren. Interne Sensoren erfassen die Innen Zustände wie z.B. Gelenkstellungen. Im Weiteren werden nur externe Sensoren betrachtet, da ich keine internen Sensoren verwende. Externe Sensoren dienen dazu bestimmte Zustände oder Reize im äußeren Umfeld des Roboters wahrzunehmen und diese in ein elektrisches Signal umzuwandeln, da ein Roboter nur elektrische Signale als Information für sich verwenden kann.

Sensortechnik ist ein eigener Bereich der Forschung und noch längst nicht soweit herangereift, dass Sensoren, welcher Art auch immer, mit ihren meist natürlichen Vorbildern mithalten können. Ein sehr gutes Beispiel für die Feinfühligkeit menschlicher Sensoren (Rezeptoren) ist die menschliche Hand. Allein in einem einzigen Quadratcentimeter einer Fingerkuppe befinden sich ungefähr 140 „Drucksensoren“ (Meissnersche Tastkörperchen), die mit einer Vielzahl anderer Rezeptoren z.B. das Analysieren einer Oberfläche möglich machen. So eine Vielzahl von Sensoren kann man an einem Robotergreifarm schon aus Platzgründen nicht auf so kleinem Raum anbringen, wodurch nicht annähernd eine so hohe Auflösung erreicht werden kann. Außerdem sprechen die menschlichen und tierischen Rezeptoren auf größere Reizspektren an und es werden meistens verschiedene Rezeptoren bei ein und demselben Reiz angesprochen.

Für einen Roboter, der sich in unbekanntem Raum bewegen soll, ist das Erkennen und Umfahren von Hindernissen eine der wichtigsten Aufgaben. Um dies zu bewältigen, ist es notwendig das Hindernis zu erkennen, bevor von ihm eine Gefahr, wie z.B. ein Zusammenstoß, ausgehen kann. Rein theoretisch muss der Roboter seine komplette Umgebung berührungslos „abtasten“ um frühzeitig auf eventuelle Hindernisse reagieren zu können. Inzwischen gibt es eine ganze Reihe verschiedener Techniken um diese Aufgabe zu bewältigen.

Eine im Roboterbau recht verbreitete Technik zur berührungslosen Distanzmessung sind Ultraschallsonare. Das natürliche Vorbild der Distanzmessung mit Ultraschallwellen geben die Fledermäuse ab. Da sie keinerlei Augen oder Ähnliches besitzen, navigieren sie ausschließlich mit Hilfe von Tönen des Ultraschallbereiches durch ihre Höhlen.

Die ersten Sonare wurden für Torpedos entwickelt und später serienmäßig in Polaroidkameras verbaut. Sie waren damals die besten auf dem Markt erhältlichen Sonargeräte und wurden

bald für den Roboterbau entdeckt. Jahrelang kauften Robotiker Polaroidkameras nur um die Sonare auszuschlachten, der Rest wurde weggeworfen.

Ein Sonargerät besteht aus einem Sender und einem Empfänger. Wie der Name schon sagt sendet der Sender Ultraschallwellen aus, normalerweise um die 40 kHz, welche von Gegenständen reflektiert werden und somit von dem Empfänger wieder empfangen werden können. Dieses System arbeitet unabhängig von der Farbe und Oberflächenbeschaffenheit der Gegenstände und ist somit relativ zuverlässig. Unter anderem wird es zur Zeit in den Einparkhilfen von Autos verwendet. Es kommt aber schnell zu Problemen, wenn das Hindernis sich nicht im richtigen Winkel zu dem Sonargerät befindet, da dann die Wellen nicht genau zurückreflektiert werden können (Einfallswinkel gleich Ausfallwinkel).

Eine ebenfalls häufig angewendete Alternative sind Infrarotlichtsensoren (kurz: IR-Sensoren). Im Grunde genommen arbeiten sie genauso wie ein Sonargerät, nur dass sie keine Ultraschallwellen sondern Licht senden bzw. empfangen. Infrarotlicht, wie es in der Sensortechnik eingesetzt wird, hat eine Wellenlänge von rund 850 nm bis 950 nm und ist für das menschliche Auge nicht sichtbar. Da in dem Licht vieler Lichtquellen, wie der Sonne und Lampen, auch ein Infrarotlichtanteil enthalten ist, muss man in der Sensortechnik mit Trägerfrequenzen arbeiten um anderes Licht als Störungsfaktoren auszuschleifen. Das heißt, dass man modulierte Licht aussendet, und der Empfänger mit Hilfe spezieller Filterschaltungen nur auf dieses Licht mit einer Signalausgabe reagiert. Im Gegensatz zu Ultraschall wird IR-Licht nicht von allen farbigen Oberflächen gleich reflektiert. Helle oder sogar spiegelnde Oberflächen reflektieren das Licht wesentlich intensiver als z.B. mattschwarze Oberflächen. Dadurch kann es bei der Distanzermittlung zu Problemen kommen, was sich speziell bei einem fahrenden Roboter in einem zu dichten Auffahren oder einem Zusammenstoß äußern kann.

Inzwischen gibt es eine ganze Reihe optischer Sensoren, die z.B. mit Laser arbeiten. Mit ihnen ist eine millimetergenaue Distanzbestimmung möglich, aber auf diese möchte ich hier nicht weiter eingehen.

Die neuste Technik, die für die Roboternavigation genutzt wird, ist die digitale Bildauswertung. Man benötigt eine Digitalkamera, deren Bilder dann von aufwendiger Software z.B. nach Formen und Farben ausgewertet werden. Mit Hilfe dieser vielversprechenden Technik ist es unter anderem möglich Tennisbälle auf einer Wiese zu erkennen. Es ist wahrscheinlich noch sehr viel Entwicklungspotential vorhanden. Um in diese sehr interessante Technologie einzusteigen, reicht eine Jahresarbeit aber nicht aus.

Ich habe mich für die IR-Sensoren entschieden, wobei nicht zuletzt der Preis eine Rolle spielte. Ein ebenfalls wichtiges Kriterium ist die Anordnung der Sensoren auf dem Roboter. Es gibt zwei verschiedene Arten die Sensoren anzuordnen. Eine Möglichkeit ist, einen Sensor auf einem drehbaren Untersatz zu montieren, welcher synchron zur Drehbewegung ausgelesen wird. Dadurch kann man ein sektorenartiges Rundumbild erstellen, indem alle Bereiche erfasst werden. Die Alternative ist ein Sensorengürtel, der den Roboter umgibt. Um mit dieser Variante alle Bereiche zu erfassen, benötigt man natürlich wesentlich mehr Sensoren, die dann in einer bestimmten Reihenfolge ausgelesen werden können. Hier entschied ich mich für die „Gürtelvariante“, da mir dieses Prinzip von der Sensordatenauswertung her wesentlich einfacher erscheint, und man keinen mechanischen Aufwand betreiben muss. Mein Roboter hat also insgesamt acht IR-Sensoren, fünf von ihnen im vorderen Bereich, zwei hinten und einen unten, der einen eventuellen Absturz verhindern soll.

4.3. Der Microcontroller:

Microcontroller sind sehr kleine Computer, die uns in unserem alltäglichen Leben ständig und fast überall umgeben: Ob es sich um die Benzineinspritzung, ABS, ESP oder Airbag Ihres Autos handelt, oder die Waschmaschine, Spülmaschine, Staubsauger, Elektroherd, Mikrowelle, Telefon, Fax, Fotoapparat, Fernseher, Videorekorder, HiFi-Anlage zu Hause; viele Geräte werden mit Hilfe verschiedener Microcontroller gesteuert. Dank der rasanten Entwicklung der Chip-Technologie, ist es möglich schon recht leistungsfähige Prozessoren und Speicher sehr klein und billig herzustellen.

Ein Microcontroller besteht im Wesentlichen aus drei Einheiten: Einem Prozessor (CPU), einem Arbeitsspeicher (RAM), und einem Programmspeicher (ROM). Dazu kommen noch andere kleinere Bauteile wie z.B. ein Timer.

4.3.1. Der Microcontroller R167-JIF

Ich verwende den Microcontroller R167-JIF mit einem SAB C167CR-LM Prozessor von Siemens. Die C167 Prozessoren sind sehr leistungsstarke 16-Bit single-chip Prozessoren für CMOS Microcontroller. Der R167-JIF ist ein 2,5 × 3,5 Zoll großes und 6-layered (engl.,geschichtet) industrial board, was stufenweise gedruckt wurde und für laute Einsatzumgebungen geeignet ist.

Der Prozessor SAB C167CR-LM arbeitet intern mit einem Takt von 20 MHz, und besitzt 4 KB internen RAM. Er verfügt weiterhin über einen 16-Channel 10-Bit Analog-to-Digital converter (enhances operation modes), acht 16-Bit timer, eine watchdog timer, 32 channels CAPCOM (CAPture / COMpare unit), 8 channels PEC (data transfer channel) und 4 PWM channels.

Auf dem Microcontroller R167-JIF stehen weitere 512 KB externer RAM und 512 KB externen FLASH EEPROM zur Verfügung. Es gibt insgesamt 5 I/O Ports, die für beliebige Anwendungen zur Verfügung stehen, zwei sind 8-Bit, drei 16-Bit breit.

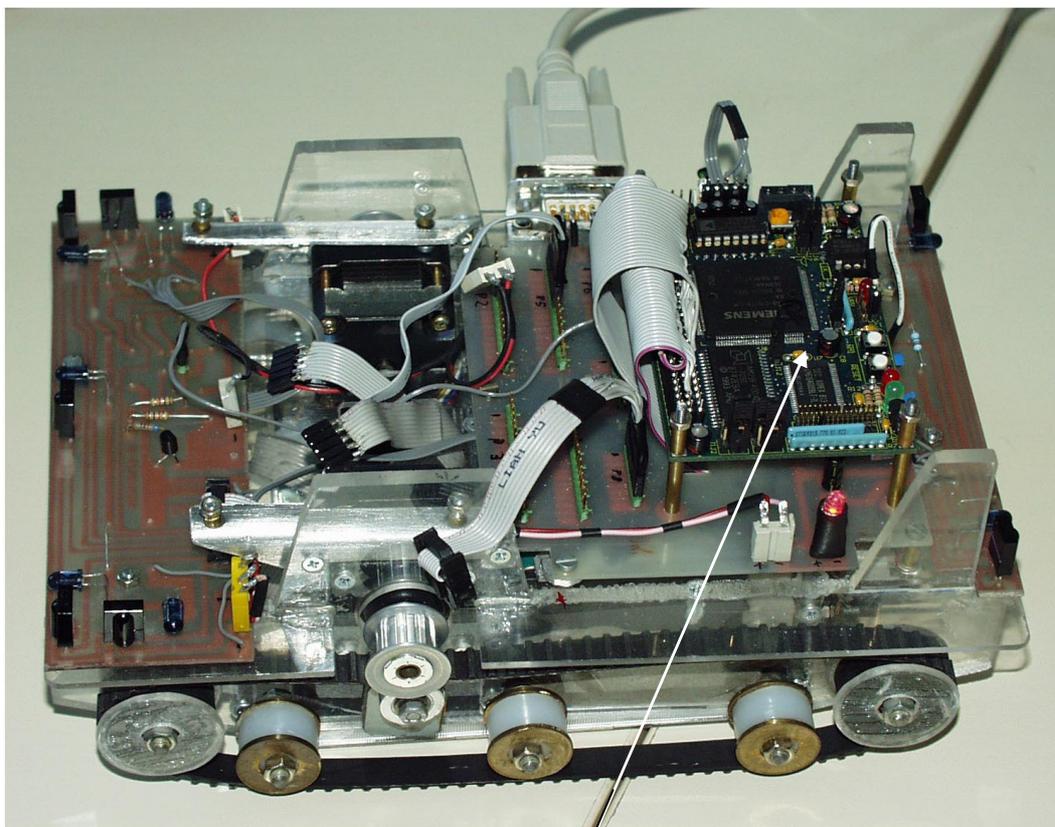
Zur Kommunikation mit einem PC dient die serielle Schnittstelle RS232, zum Vernetzen steht ein CAN-Bus bereit.

4.3.2. Anschlussbelegung

An Port 7 (8-Bit Port), Pin 0 wird eine Frequenz von 40 kHz ausgegeben. Sie dient zum modulieren des IR-Lichtes (Siehe Kapitel „7.2. Sensoransteuerung“).

Die Sensordaten werden von Port 5 (16-Bit Port), Pin 0 bis 7 eingelesen.

Der Port 8 (8-Bit Port) gibt die Ansteuersignale für die Schrittmotoren aus, er ist damit voll belegt.



Der Microcontroller

5. Software

5.1. Programmieren

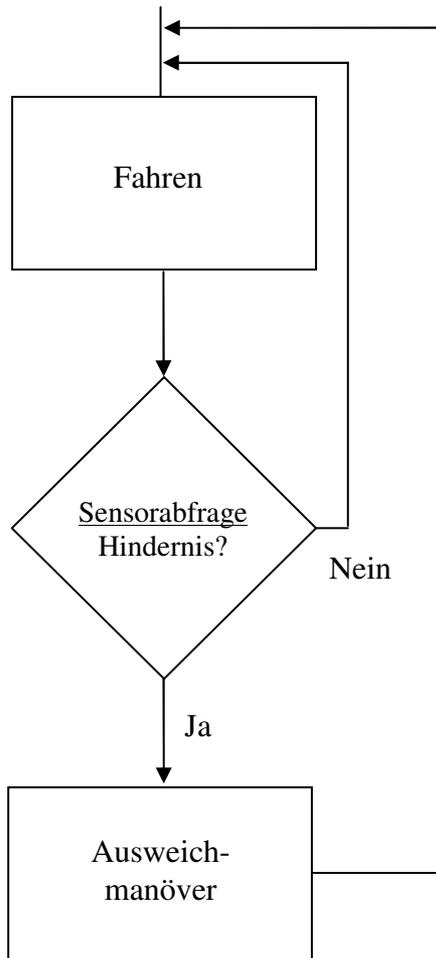
Das Programmieren eines Microcontrollers geschieht sehr hardwarenah. Das Programm wird ganz speziell für diesen Microcontroller bzw. den darauf befindlichen Prozessor geschrieben. Dazu kann man Assembler verwenden. Das ist eine Programmiersprache die stark mit den individuellen Befehlssatz des Prozessors arbeitet. Es ist aber auch möglich ein Programm in einer so genannten Hochsprache wie „C“ zu schreiben. Aber die Hochsprachen arbeiten nicht mit den spezifischen Befehlen, sodass diese Programme oft nicht so effektiv arbeiten. Es sind immer noch Assemblereinbindungen notwendig.

Um das geschriebene Programm für den Prozessor verständlich zu machen, muss es kompiliert (übersetzt) werden. Diese Aufgabe übernimmt ein Programm, der so genannte Compiler.

Es gibt inzwischen Entwicklungsumgebungen, die einen Editor und Compiler enthalten und selbstständig mit dem Microcontroller kommunizieren, wodurch die Programmentwicklung schon recht komfortabel wird.

5.2. Ein Algorithmus

Bevor man ein Programm schreiben kann, muss man natürlich wissen, was das Programm überhaupt tun soll. Dieser Programmaufbau wird als Algorithmus bezeichnet. In ihm legt man fest, was in welcher Reihenfolge geschehen soll, wenn bestimmte Bedingungen gegeben sind. Von dem Algorithmus hängt die vermeintliche Intelligenz eines Roboters ab, alle Handlungen, die er vollführen kann, sind in dem Algorithmus genau festgelegt. Das nachfolgende Beispiel stellt ein einfaches Abfragen eines Sensors dar, woraus anschließend eine Entscheidung getroffen und nach ihr gehandelt wird. Hierbei betrachtet man alles etwas vereinfacht, da die Unterprogramme nicht mit betrachtet werden. Schon für das Ansteuern der Motoren ist ein Unterprogramm zuständig. Für das Umfahren des Hindernisses muss wieder ein Unterprogramm existieren, was dann z.B. die Programmteile „Lenken rechts“, „Kleines Stück vor“ und „Lenken links“ nacheinander aufruft, und abschließend das Kommando wieder an das Unterprogramm „Fahren“ abgibt, welches nach seinem Start sofort wieder den Sensor abfragt. Ist das Hindernis immer noch vorhanden, folgt der gleiche Programmablauf.



Beispiel eines Stück Ablaufdiagrammes:

Während des Fahrens wird ein Sensor abgefragt. Ist kein Hindernis auszumachen geht die Fahrt weiter. Ist doch ein Hindernis zu erkennen, wird ein Ausweichmanöver gefahren,

6. Stromversorgung

6.1. Verschiedene Energiespeicher

Hier geht es nicht um die Erzeugung von Strom, sondern um dessen mobile Speicherung. Das Thema hat bei mobilen Robotern eine recht starke Wichtigkeit, da diese auf ihre Energie angewiesen sind, wie alle anderen Roboter auch, sie aber selbst transportieren müssen.

Für diesen Zweck brachte die technische Entwicklung im Laufe der Zeit eine ganze Menge von Möglichkeiten mit sich. Die Stromversorgung eines mobilen Roboters muss einigen Anforderungen gerecht werden.

Die Energie muss ausreichen um eine sinnvolle Betriebszeit erreichen zu können. Dabei soll, auch bei eventuell auftretenden Verbrauchsspitzen, die Spannung möglichst konstant abgegeben werden. Weiterhin ist die Energiedichte entscheidend, da diese das Gewicht der Speichermedien bestimmt.

Normale Batterien sind als Stromquelle schon ganz gut geeignet. Die höchste Energiedichte haben Alkaline-Batterien, sie sind jedoch nicht wieder aufladbar. Als wiederaufladbare Energiequelle kommen Akkus in Frage. Die einfachsten sind die Pb-Akkus, aber sie sind recht schwer. Ebenfalls sehr verbreitet sind die NiCd-Akkus, die aber eine sehr geringe Energiedichte besitzen. Außerdem ist bei Ihnen der Memory-Effekt sehr ausgeprägt, was ein schnelles Nachladen problematisch macht. Etwas besser sind die NiMH-Akkus, bei denen der Memory-Effekt nur sehr schwach ausgeprägt und die Energiedichte höher ist. Noch besser sind die recht neuen Li-Ion-Akkus wie sie in Kameras, Handys usw. eingesetzt werden, aber sie sind auch recht teuer.

Je besser die Akkus werden, desto schwieriger ist auch ihre Behandlung. Die Pb-Akkus sind nur gegen Tiefentladung empfindlich. Laden kann man sie in jedem Zustand und ein Überladen verhindert sich fast von selbst, da der Stromfluss intern begrenzt wird. Die NiCd-Akkus sind da schon wesentlich sensibler: Schon ein einmaliges Überladen kann erhebliche Schäden verursachen. Noch empfindlicher sind die NiMH- und Li-Ion-Akkus. NiCd-Akkus sollten nur geladen werden, wenn sie völlig erschöpft sind, um den Memory-Effekt zu verhindern. Bei NiMH- und Li-Ion-Akkus ist das Nachladen in beliebigen Zuständen besser möglich. Um all den Kriterien gerecht zu werden benötigt man ziemlich aufwendige und teure Ladegeräte.

Zukünftig könnte auch Wasserstoff als Energieträger im Roboterbau interessant werden.

Abkürzungen der Akkutypen:

Pb	Blei
NiCd	Nickel-Cadmium
NiMH	Nickel-Metall-Hydrid
Li-Ion	Lithium-Ion

Verschiedene Energiedichten:

NiCd	38 Wh/Kg
Alkali	130 Wh/Kg
Benzin	12000Wh/Kg
Uran 235	30.000.000 Wh/Kg

6.2. Die Akkupacks

Ich entschied mich für NiMH-Akkupacks, die ursprünglich für Schnurlostelefone konzipiert worden waren. Dadurch sind es Leichtgewichtakkus, was für den Einsatz auf einem mobilen Roboter sehr von Vorteil ist; das Gesamtgewicht aller vier Akkus beträgt 467 g. Ein Akkupack enthält fünf einzelne Zellen, je 1,2 V, 110 mAh, die in Reihe geschaltet sind und somit eine Gesamtspannung von 6 V und eine Kapazität von 550 mAh besitzen. Die vier Akkupacks wurden zu zwei Zweiergruppen zusammengefügt (Reihenschaltung), sodass zwei Akkupacks a 12 V, 550 mAh entstanden.

Der eine Akkupack stellt seine Energie dem Microcontroller und den IR-Empfangsmodulen zur Verfügung, der andere den Motoren und den IR-Sendediode. (Siehe auch Kapitel „7.2. Sensoransteuerung“)

6.3. Ladeverfahren

Geladen werden die zwei Akkupacks unabhängig voneinander mit dem ΔU -Verfahren. Dieses Ladeverfahren ist durch einen Ladeprozessor (TEA 1101 von Philips) gesteuert und überwacht die Ladespannung und deren Anstieg (durch Vergleich mit vorherigen Werten) digital mit einer Auflösung von 12-Bit, sodass eine Genauigkeit von 0,25 % erreicht wird. Wenn die Ladekurve ihr Maximum überschritten hat wird automatisch auf Erhaltungsladung umgeschaltet. Dadurch ist ein Überladen der empfindlichen NiMH-Akkus ausgeschlossen und sie können aus jedem beliebigen Zustand heraus geladen werden. Eine normale Ladung dauert rund zwei Stunden je Akkupack bei einem Ladestrom von etwa 350 mA.

7. Elektronik

7.1. Herstellen von Platinen

Stellt man sich vor, wie ein „Kabelsalat“ entstehen würde, wenn man versucht alle Elektronik auf dem Roboter frei zu verdrahten. Es wird einem schnell klar, dass man dem Fitz nur mit Hilfe von Leiterplatten Herr werden kann. Also fing ich gleich an mit Leiterplatten (Platinen) zu arbeiten. Da ich mich nicht mit den fertigen Experimentierplatinen anfreunden konnte, auf denen man mit Drahtbrücken die fertigen Leiterbahnen verbinden muss, blieb mir nur die Möglichkeit selbst Platinen zu entwerfen und herzustellen. Es gibt verschiedene Verfahren Platinen herzustellen. Als erstes muss man natürlich einen Schaltplan besitzen, der dann in einen Platinentwurf umgearbeitet werden muss. Man versucht alle Verbindungen so zu verlegen, dass sie sich nicht mehr kreuzen, wie es im Schaltplan normalerweise der Fall ist. Für diese Aufgabe gibt es Softwarelösungen. Ich benutzte aber meinen Kopf, der schon teilweise ganz schön ins Schwitzen kam, da es sehr viele Möglichkeiten gibt, sie sich aber nur schwer überschauen lassen. An den Stellen, wo ein Kreuzen nicht vermieden werden kann muss man eine Brücke schaffen. Der Platinentwurf wird anschließend spiegelverkehrt auf die Leiterplatte übertragen. Benutzt man photoempfindliche Rohplatinen, so kann man diese durch den Platinentwurf hindurch belichten und anschließend entwickeln. Ich entschied mich jedoch für die Variante mit einem Ätzmittelbeständigen Stift (edding 780) die Leiterbahnen direkt auf die Kupferoberfläche der Rohplatine (1,5 mm Epoxydharz- oder Hartpapierplatte mit 35 µm Kupferbeschichtung) aufzuzeichnen. Anschließend wird in einer Eisen-III-Chlorid- (Fe_3Cl) Lösung das überflüssige, nicht bemalte Kupfer weggeätzt. Nach dem Ätzvorgang wird der vorher aufgetragene Lackstift mit Hilfe von einem Lösungsmittel (z.B. Benzin) von den Leiterbahnen entfernt und man bohrt die Löcher für die Bauelemente hinein. Nach dem Bestücken der Platine mit den entsprechenden Bauelementen müssen die kupfernen Leiterbahnen lackiert werden um sie vor dem Oxidieren zu schützen. Dazu eignet sich Haarlack, da er einfach aufzusprühen und sehr preiswert ist.

7.2. Sensoransteuerung

Ich besorgte IR-LED's (LED = Leuchtemitterdiode) und spezielle IR-Empfängermodule. Es handelt sich um sehr kompakte Module, in denen die Empfängerdiode, ein Filter und der Vorverstärker integriert sind. Dadurch sind sie an eine Trägerfrequenz gebunden; ich entschied mich für Module welche mit 40 kHz arbeiten, es hätten aber auch Module mit anderen Frequenzen zum Einsatz kommen können. Als IR-Sendedioden dienen GaAlAs-Dioden, deren Licht eine Wellenlänge von 940 nm hat.

1. Versuch

Wie schon erwähnt, benötigt man ein moduliertes IR-Licht. Die IR-Lichtsendedioden müssen für einen Takt von 40 kHz alle 25 μ sec. für etwa 12,5 μ sec. ihre Betriebsspannung erhalten. Um diese Aufgabe zu bewerkstelligen kann man eine Astabile-Multivibrator-Schaltung benutzen, mit deren Hilfe sich die Frequenz erzeugen lässt.

Das IC NE 555 hat eine solche Schaltung integriert, die man durch externe Bauelemente konfigurieren muss. Der Kondensator C_1 und die Widerstände R_A und R_B bestimmen durch ihre Größen die zu erzeugende Frequenz. Die Dimensionierung der externen Bauelemente für den NE555 lässt sich mit Hilfe folgender Formel berechnen (eine Groborientierung für C kann man auch einer Tabelle entnehmen):

$$F = 1,443 / RC \quad \text{mit } R = R_A + 2R_B$$

$$R = 1,443 / FC$$

$$C = 4700\text{pF} = 4700 \cdot 10^{-12} \text{ F} \quad F = 40 \text{ kHz} = 40000 \text{ Hz}$$

$$R = 1,443 / (40000 \times 4700 \cdot 10^{-12})$$

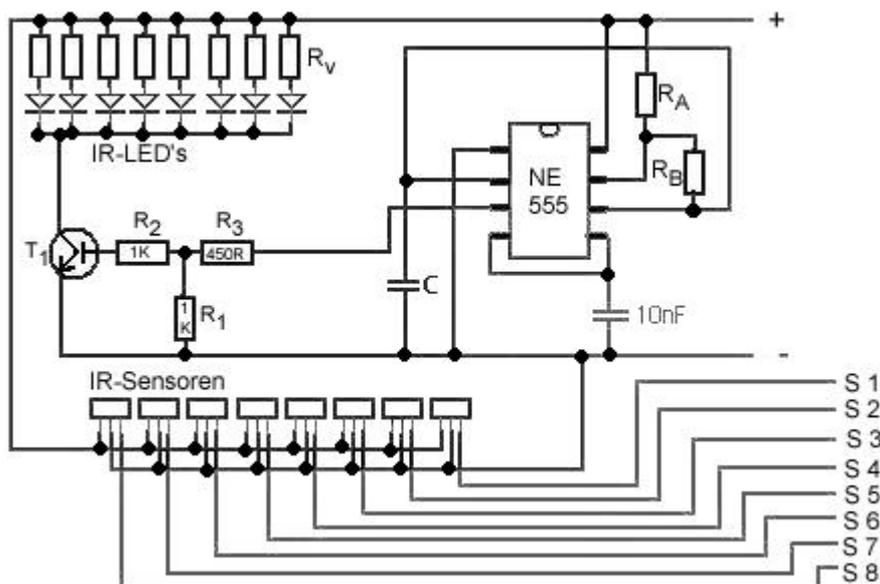
$$R = 7675,5 \Omega$$

$$R_A = 2,7 \text{ k}\Omega \quad R_B = 2,275 \text{ k}\Omega$$

Der Ausgang des NE555 ist mit maximal 500 mA belastbar. Bei den 8 LED's, die rund 90 mA benötigen und parallel geschaltet sind, muss man eine Leistungsstufe zwischenschalten, die eine Last von mehr als 720 mA schalten kann. Diese Aufgabe erledigt der Transistor T_1 (Typ BC 875, bis max. 2 A belastbar), indem er gegen Masse durchschaltet, wenn er einen Ansteuerstrom von dem IC erhält. Zwischen Transistor und dem Ausgang des ICs befindet sich ein Spannungsteiler, der mit Hilfe eines Widerstandsnetzwerkes (R_1 und R_2)

realisiert worden ist. Dadurch werden eventuelle Restspannungen zwischen den Signalen abgeleitet, sodass der Transistor nur eindeutige Signale bekommen kann; es ist aktiv auf null gesetzt. Der Signalstrom wird von dem Widerstand R_3 auf 20 mA begrenzt. Die IR-LEDs sind jeweils mit einem strombegrenzenden Vorwiderstand in Reihe geschaltet. Die Empfängermodule sind ebenfalls an diesem Stromkreis angeschlossen. Die Versorgungsspannung beträgt 6 V. Die Empfängermodule geben ein High- und ein Low-Signal aus. Das Low-Signal wird beim Empfangen eines IR-Signals ausgegeben und ist rund 3 V geringer als das High-Signal.

Schaltplan:



Nach einer ersten Erprobung im Testaufbau fertigte ich die erste Platine (Leiterplatte) an. Wie ja nun fast nicht anders zu erwarten funktionierte gar nichts. Als Problem entpuppte sich die gemeinsame Versorgungsspannung von Sendedioden und Empfängermodulen. Durch das Modulieren entstanden Schwingungen mit 40 kHz und undefinierbare im MHz-Bereich, welche sich über den Weg der gemeinsamen Energiequelle ausbreiteten und so zu den Empfängermodulen gelangten. Dadurch erhalten die sehr sensiblen Empfängermodule eine leicht modulierte Versorgungsspannung, welche sie nicht von einem modulierten Lichtsignal unterscheiden können, und geben dadurch immer das Low-Signal aus.

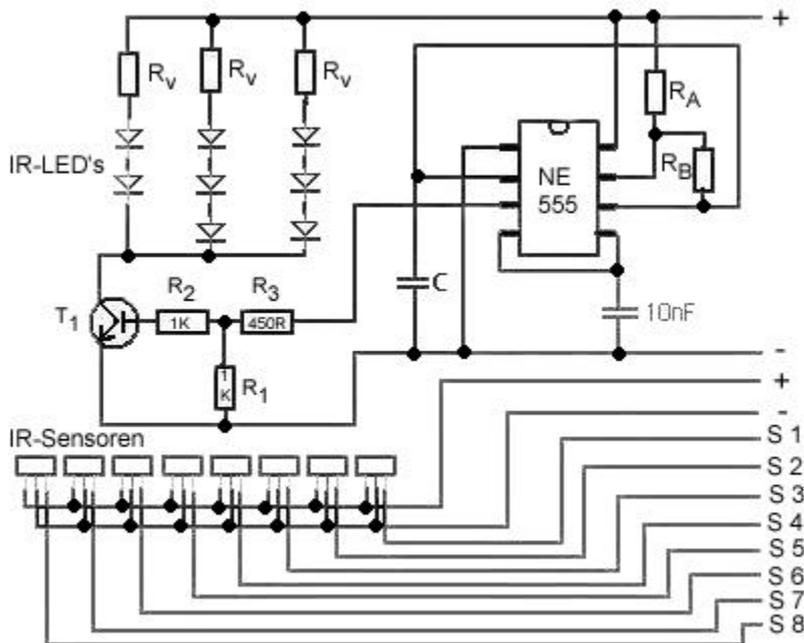
Verschiedene Versuche den Stromkreis zu entstören und die Schwingungen zu dämpfen, scheiterten aufgrund der so empfindlichen Sensoren. Nach dieser recht bitteren Erfahrung,

dass nicht alles so geht, wie man es sich im Vorfeld ausgemalt hatte, entschloss ich mich zwei verschiedene Stromquellen zu benutzen und somit den Stromkreis der Empfängermodule von dem der Sendedioden komplett zu trennen. Es folgte ein neuer Platineentwurf und dessen Herstellung

2. Versuch

Um das oben beschriebene Problem zu lösen ist es notwendig zwei komplett getrennte Stromkreise für die Versorgung zu nutzen. Da nun eine neue Platine notwendig war, konnte ich auch gleich noch einige andere Korrekturen vornehmen. So sind im zweiten Entwurf immer drei bzw. zwei LEDs in Reihe geschaltet, was den Stromfluss erheblich minimiert, und somit Energie einspart.

Schaltplan:



Nun funktionierte es schon etwas besser, aber war noch immer sehr unzuverlässig und störanfällig. Noch während ich damit beschäftigt war, erhielt ich den Hinweis, dass diese Empfängermodule, wider der Conrad-Elektronik-Beschreibung, gar nicht wirklich fremdlichtunempfindlich sind und auf alles mögliche, wie z.B. das Licht von Neon-Röhren reagieren, was sie für mich unbrauchbar machten.

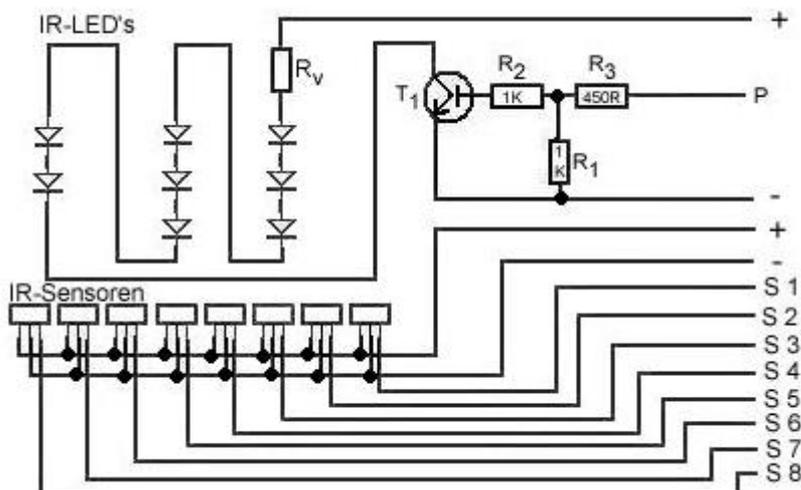
Mir wurde aber im gleichen Atemzug Unterstützung für eine rein softwaregesteuerte Signalmodulierung und Signalauswertung angeboten.

Auf einen Schlag hatte sich für mich nun alles geändert. Die doch recht lange Arbeitsphase, in der ich in die Elektronik einstieg, konnte ich ab nun unter der Rubrik „Erfahrungen“ verbuchen.

3. Versuch

Wie auch schon oben aufgeführt, sind die Empfängermodule nicht fremdlichtunempfindlich und eine genauere digitale Sensordatenauswertung ist notwendig. Deswegen muss die oben beschriebene Schaltung fast komplett weichen, da nun das 40 kHz Signal von dem Microcontroller erzeugt wird. Da sich in diesem Zuge auch die Erhöhung der Versorgungsspannung für die IR-LEDs auf 12 V anbot, sind nun alle acht IR-LEDs in Reihe geschaltet was den Energieverbrauch nochmals minimiert, da man mit einem Vorwiderstand auskommt und so weniger Strom „verheizen“ muss.

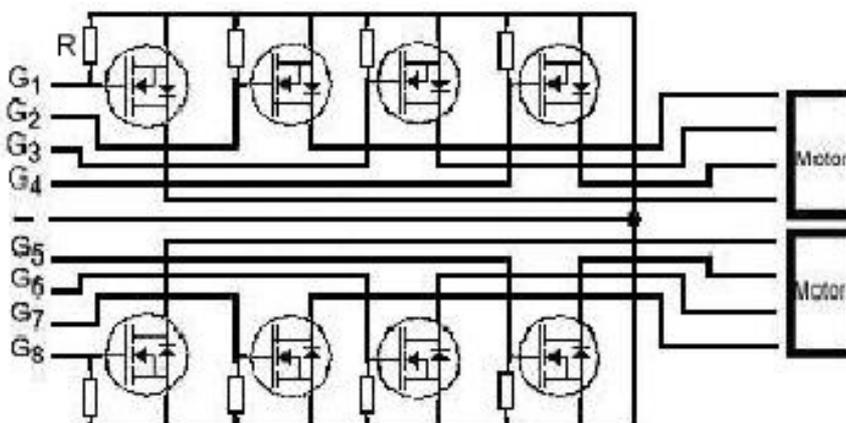
Schaltplan:



7.3. Motorleistungsstufe

Die Motorleistungsstufe ist notwendig, da die Ausgänge des Microcontrollers nicht mit größeren Lasten belastbar sind. Sie geben nur einen sehr kleinen Signalstrom aus, welcher ausreicht um Transistoren anzusteuern. Ich verwendete Power-Mosfet-Transistoren (N-Kanal, Typ IRLZ34N). Es sind spannungsgesteuerte Transistoren, d. h., sie lassen sich durch eine anliegende Spannung steuern ohne Strom aufzunehmen. Die Signale für das Ansteuern einzelner Motorspulen gibt der Microcontroller über einen Port aus, worauf die entsprechenden Mosfets diese Spule zu der Masse der Betriebsspannung durchschalten. In jedem Mosfet ist eine so genannte Freilaufdiode integriert, die die empfindlichen Mosfets vor den Induktionsspannungen der Motorspule schützt. Die Widerstände zwischen den Anschlüssen Gate und Source sind 10 k Ω groß und setzen den Signaleingang aktiv auf null, wenn kein Signal anliegt.

Schaltplan:

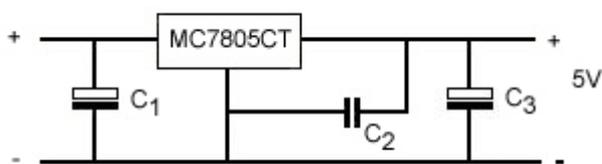


7.4. Tochterplatine für Microcontroller R167-JIF

Als Tochterplatine wird die Platine bezeichnet, welche unmittelbar mit dem Microcontroller verbunden ist und dessen Peripherie bildet. Auf der Tochterplatine, die ich anfertigte, ist das wesentliche Element die Schaltung zur Spannungsstabilisierung. Der Microcontroller benötigt eine stabile Betriebsspannung von 5V ($\pm 5\%$). Da die Akkupacks in vollem Zustand 12 V liefern, muss man diese auf stabile 5 V herunterregulieren. Dazu verwendet man einen Festspannungsregler (Typ MC7805CT, 5 V, 1 A, positiv) und 3 Kondensatoren. Die Kondensator C_1 (100 μF) und C_3 (47 μF) sind zum Glätten und Ausgleichen von Spitzenbelastungen da. Der Kondensator C_2 (22 nF) soll den Festspannungsregler vor hochfrequenten Schwingungen schützen, was in diesem Fall eher unwichtig ist. Da der Spannungsregler nur eine Eingangsspannung von rund 7 V benötigt, kann die Betriebsspannung auch bei erschöpften Akkus gehalten werden, wodurch ein Programmabsturz während des Betriebes vermieden wird.

Zur besseren Handhabung des Ganzen sind alle Ports und andere Anschlüsse des Microcontrollers herausgeführt, was das weitere Hantieren an dem recht empfindlichen Microcontroller erleichtern soll. Zu erwähnen wäre noch der Anschluss für ein serielles Schnittstellenkabel. Die serielle Schnittstelle ist eine ziemlich universell einsetzbare Schnittstelle die jeder PC besitzt. Über sie überträgt man den Programmcode auf den Microcontroller. Es werden aber nur drei Leitungen benötigt: RxD, TxD und GND. Zusätzlich dient die Tochterplatine auch der mechanischen Befestigung des Microcontrollers

Schaltplan des Festspannungsreglers:



8. Rückblick

Trotz kontinuierlichem Arbeiten ist es mir nicht gelungen, das zu Anfang gesetzte Ziel zu erreichen. Der ursprünglich gewollte Schwerpunkt wurde verfehlt. Ich schaffte es im vorgegebenen Zeitraum nicht mehr mich tiefer mit der Programmierung des Roboters und dessen intelligentem Verhalten auseinanderzusetzen. Das ist besonders auf die Tatsache zurückzuführen, dass ich viel mehr Zeit zum Bau des Roboters benötigte, als ich dafür vorgesehen hatte. Mit jedem Teilgebiet, was ich anging, eröffneten sich mir unendliche Tiefen, die ich vorher nicht geahnt hatte. Dazu kommt, dass ich einen soliden und erweiterungsfähigen Roboter bauen wollte, der eine stabile Grundlage für alle weiteren Experimente, und kein Provisorium sein sollte. Das ist mir, hoffe ich, zum Großteil auch gelungen.

Die nun ohnehin schon etwas knapp geratene Zeit, die ich dem Programmieren widmen wollte, wurde durch Unmengen technischer Probleme mit der dafür benötigten Software weiter strapaziert. Trotz allem bin ich der Meinung, dass ich in diesem Jahr recht viel geschafft und gelernt habe, auch wenn es in etwas anderen Gebieten als der Programmierung war. Und trotzdem bin ich mit dem Ergebnis nicht so richtig zufrieden, da der Roboter noch nicht fertig ist. Aber er wird auch nie fertig werden, da es kein eindeutiges Ende gibt.

Es gab öfters Phasen, die von vermeintlich unlösbaren Problemen geprägt waren, aber es gab auch immer wieder die kleinen Erfolgserlebnisse, die mir Mut zusprachen, das nächste Problem anzugehen. Rückblickend kann ich sagen, dass mir meine Jahresarbeit doch Spaß gemacht hat. Ich habe sie als Chance wahrgenommen, um mir neue Gebiete intensiv zu erschließen, wozu ich aus freien Stücken nicht gekommen wäre.

9. Danksagung

Dieses Projekt war natürlich nur mit der Hilfe anderer Leute zu realisieren. Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Menschen bedanken, die mich in irgendeiner Weise unterstützt haben!

Besonderer Dank geht an:

Institut für Technische Informatik der TU-Dresden,
besonders Herrn Steffen Köhler und Herrn Frank Sakowski

für sehr hilfreiche Unterstützung und das Bereitstellen von Software und PC- Arbeitsplatz,
und an:

PLS Programmierbare Logik & Systeme GmbH,
besonders Herrn T. Bauch

für das Sponsern des Microcontrollers.

Besonders bedanken möchte ich mich auch bei meinem pädagogischem Betreuer Herrn Andreas Becker und natürlich bei meinen Eltern.

10. Verwendete Abkürzungen

A	= Ampere
B	= Byte
C	= Kondensator
F	= Farad, oder
F	= Frequenz (in Hz)
GND	= Masse (elektr.)
h	= Stunde
Hz	= Herz
IC	= Integrierter Schaltkreis
K	= Kilo
m	= milli
M	= Mega
n	= nano
p	= pico
R ₁	= Widerstand ₁
sec.	= Sekunde
T ₁	= Transistor ₁
U	= Umdrehung
UpM	= Umdrehung pro Minute
V	= Volt
VCC	= Positive Betriebsspannung
μ	= Mikro
Ω	= Ohm

11. Literaturangaben:

Joseph L. Jones / Anita M. Flynn, Mobile Roboter: von der Idee zur Implementierung; Addison – Wesley 1996

Fred Wagenknecht, Erfolgreich experimentieren mit akustikgesteuerten Minirobotern; Franzis'

Fred Wagenknecht, Erfolgreich experimentieren mit Nitinol-Mini-Robotern; Franzis'

Jens Altenburg / Uwe Altenburg, Mobile Roboter: vom einfachen Experiment zur künstlichen Intelligenz; Carl-Hanser-Verlags-AG München Wien 1999

Gero von Randow, Roboter unsere nächsten Verwandten; Rowohlt 1997

Klaus Schlenzig, Das Bauplan-Bastelbuch 2; Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik 1985

Klaus Schlenzig / Dieter Jung, Mikroelektronik für Praktiker; VEB Verlag Technik Berlin

Siegfried Güldener, Ansteuer-IC für Kleinstmotoren; Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik 1987

Adrian Schommers, Elektronik - gar nicht schwer; Elektor

Riegel Corporation, User's Guide R167-JIF, Version 4.00, June 2001

K.P. Judman, Mikroprozessoren Grundlagen und Anwendungen; Erb-Verlag Wien 1984

Renate Schultes / Ingo Pohle, 80C166 Mikrocontroller; Franzis' 1994

Anke Sparmann, Das Gesicht der Zukunft; GEO 10 / 2001