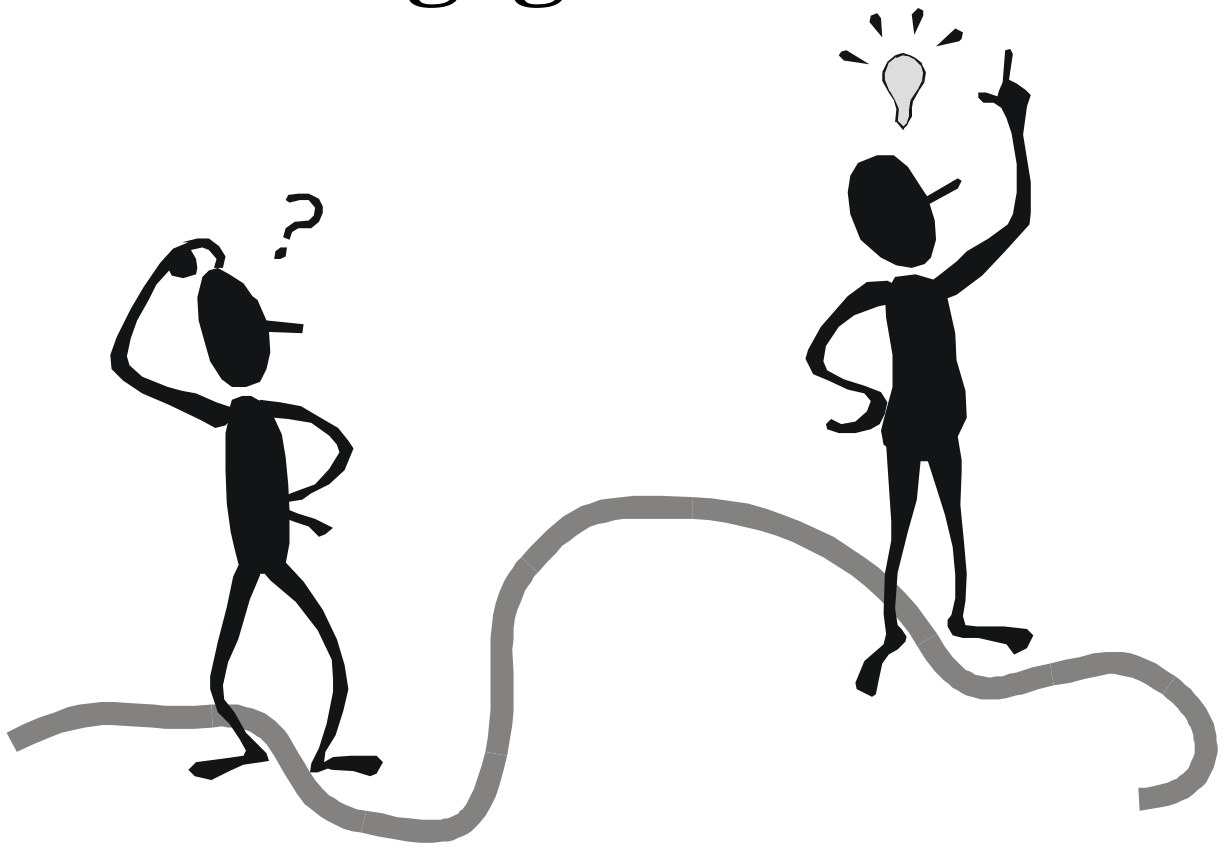


Elektronisch gesteuertes Elektroauto zum Verfolgen einer vorgegebenen Linie



Wettbewerb "Jugend Forscht" 2003

Daniel Rocholz (13 Jahre)

**Arbeitsgemeinschaft "Jugend Forscht"
des Christian-Gymnasiums Hermannsburg
Leitung: StD Thomas Biedermann**

Inhaltsverzeichnis

1.	Die Idee	3
2.	Spurverfolgung	3
2.1	Der Mensch als Vorbild	3
2.2	Nachbildung durch Technik	4
2.3	Möglichkeiten der Lenkung	4
2.4	Funktionsprinzip meiner Lenkung	4
3.	Die Elektronik	5
3.1	Blockschaltplan	5
3.2	Die Konstruktion der Elektronik	6
3.2.1	Abtasten der Linie	6
3.2.2	Ansteuern der Motoren	6
3.2.3	Richtungssteuerung der Motoren	6
3.2.4	Verstärker für die LDR	7
3.3	Funktionstest	7
4.	Die Mechanik	7
4.1	Baukastensysteme	8
4.2	Mechanischer Aufbau	9
5.	Ergebnisse	10
6.	Ausblick	10
7.	Literatur	10
8.	Dankesworte	10
Anhang:		
	Schaltplan	11
	Bauteilliste	12

1. Die Idee

Die Idee, ein Fahrzeug zu bauen war von Anfang an da. Zuhause hatte ich schon kleine, metallene Spielzeugautos auseinander geschraubt und kleine Elektromotoren hinein gebaut. Eines dieser Autos ließ ich dann im Wohnzimmer fahren. Es hatte jedoch einige Nachteile:

Das Auto war so schnell, dass ich solange warten musste, bis es sich irgendwo festgefahren hatte, um es ausschalten zu können. Ohne Lenkung fuhr es immer geradeaus und hielt stets die Richtung ein, die es bekommen hatte, als es das letzte Mal an einem Schrank oder einem anderen Hindernis anstieß. Dieses Ergebnis war auf Dauer unbefriedigend.

Im Oktober 2002 ging ich das erste Mal zum wöchentlichen Treffen von "Jugend forscht". Dort wurde ich gefragt, was ich bauen wolle. Mein Grundgedanke war der, ein Fahrzeug zu bauen, das keiner herkömmlichen Steuerung bedarf. Zuerst hatte ich die Vorstellung eines Autos mit vier Rädern, welches durch Berührungssensoren an allen Ecken gesteuert würde. Nach den ersten Skizzen und einer einleitenden Beratung mit meinem Betreuer wurde mir bald klar, dass eine „normale“ Lenkung mit zwei Vorderrädern des Fahrzeuges sehr schwierig zu realisieren sein würde.

Darum verwarf ich diese ersten Pläne. Nach weiteren Überlegungen hatte ich den Einfall, das Fahrzeug mit zwei nebeneinander angeordneten Sensoren zu bestücken. Diese Sensoren sollten durch das Erkennen einer Linie die Fahrtrichtung bestimmen können. Dieses Prinzip kannte ich schon von Spielzeugen wie LEGO Mindstorms. Thomas, mein JUFO - Betreuer erklärte mir, wie diese Steuerung am besten aufzubauen wäre und wie die wichtigsten Bauteile funktionieren. Dann gab er mir ein Elektronikbuch mit nach Hause, in dem alles noch einmal ausführlich beschrieben war. Die für den Bau der Elektronik in Frage kommenden, wichtigen Kapitel las und erarbeitete ich mir so gründlich, dass ich die Zusammenhänge verstehen konnte. Beim nächsten Arbeitstreffen erstellte mein Betreuer, Thomas, auf seinem Computer einen Schaltplan. Aus diesem Plan konnte ich erkennen, wie die besprochene und geplante Steuerung aufzubauen sein würde.

2. Spurverfolgung

2.1 Der Mensch als Vorbild

Wenn man eine Linie mit dem Finger verfolgen will, sucht man mit den Augen zunächst einen beliebigen Anfangspunkt auf der Linie und setzt dort den Finger auf. Dann bewegt man den Finger in Richtung der Linie, wobei man mit den Augen kontrolliert, ob man nach links oder rechts von der Linie abweicht. Die Augen melden diese Abweichung an das Gehirn, das daraus entsprechende Korrekturhinweise an die Muskeln sendet, die den Finger so bewegen, dass er wieder auf der Linie landet. Ist die Linie z.B. eine Fuge, kann man statt der Augen auch den Tastsinn benutzen, um diese Abweichungen festzustellen, das Prinzip bleibt aber das gleiche.

2.2 Nachbildung durch Technik

Um diesen Vorgang nachzubilden, braucht man also zwei Sensoren (statt der Augen oder zweier Tastnerven), eine Art „Gehirn“, das die Signale verarbeitet und einen Antrieb, der die Signale in Bewegung umsetzt.

Als Sensoren verwende ich LDR (Light Dependend Resistor), das sind Widerstände, die sich bei Beleuchtung verändern. Als Gehirn setze ich eine Schaltung ein, die ausmisst, welcher der beiden LDR den größeren Widerstand hat. Da sich mein Fahrzeug nicht nur nach links und rechts, sondern auch vorwärts (und zurück) bewegen können soll, benötige ich zwei Motoren als Antrieb.

2.3 Möglichkeiten der Lenkung

Normalerweise hat ein Fahrzeug eine Antriebsachse und eine gelenkte Achse. Ein Motor sorgt über die Antriebsachse für die Vor- und Rückbewegung, ein zweiter Motor sorgt für den Lenkeinschlag der Räder der gelenkten Achse. Bei dieser Anordnung benötigt man zwei getrennte Regelungen für die beiden Motoren.

Bei Raupenfahrzeugen wie Bagger oder Panzer verwendet man ein anderes Prinzip: Hier werden linke und rechte Fahrzeugseite getrennt angetrieben. Sind beide Antriebe gleich schnell, fährt es geradeaus, wird z.B. der linke Antrieb langsamer gestellt, fährt es eine Linkskurve. Drehen sich die Antriebe entgegengesetzt, dreht es sich auf der Stelle, damit ist ein solches Fahrzeug sehr wendig.

Ich habe mich für die zweite Möglichkeit entschieden, weil hier Lenkung und Vorwärtsfahrt zusammen gesteuert werden, was die Konstruktion des „Gehirns“ vereinfacht.

2.4 Funktionsprinzip meiner Lenkung

Lange Raupenketten haben den Nachteil, dass das Fahrzeug bei Kurvenfahrten „ruckelt“. Man kann dieses Lenkprinzip aber auch mit Rädern verwenden, braucht dann aber ein zusätzliches drehbares Rad, das sich je nach Fahrtrichtung von selbst auf die Kurve einstellt. Damit ergibt sich als Grundkonstruktion eine Art „Dreirad“.

Befindet sich die Linie genau zwischen den beiden Sensoren, soll das Fahrzeug geradeaus fahren (Abb. 1). Beide Räder drehen sich gleich schnell, das Bugrad ist parallel zur Fahrzeuglängsachse ausgerichtet. Damit noch genug Spielraum für Kurvenfahrten bleibt, drehen sich die Motoren aber nicht mit ihrer maximalen Geschwindigkeit.

Abb. 2 und 3 zeigen, was passiert, wenn das Fahrzeug nach rechts von der Linie abweicht. Der linke Sensor wird etwas stärker verdunkelt als der rechte. Das führt dazu, dass das rechte Rad schnell-

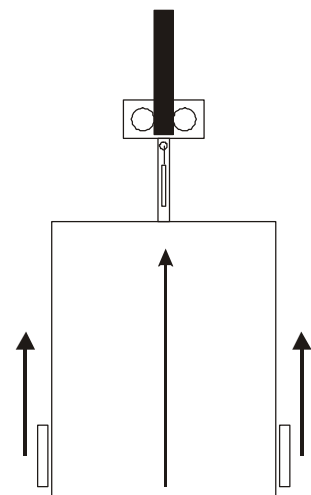


Abb. 1: Geradeausfahrt

ler und das linke Rad langsamer dreht als vorher. Das Fahrzeug vollführt eine Linkskurve. Wird der linke Sensor noch stärker verdunkelt, weil z.B. die Linie eine scharfe Linkskurve beschreibt, kann es sogar sinnvoll sein, das linke Rad rückwärts drehen zu lassen, wenn das rechte Rad bereits seine maximale Drehzahl erreicht hat. In beiden Fällen wird das Bugrad sich selbst auf den richtigen Winkel einstellen.

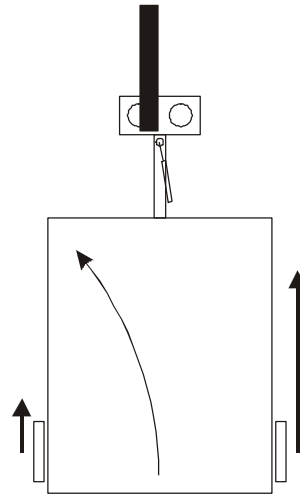


Abb. 2: Leichte Rechtsabweichung

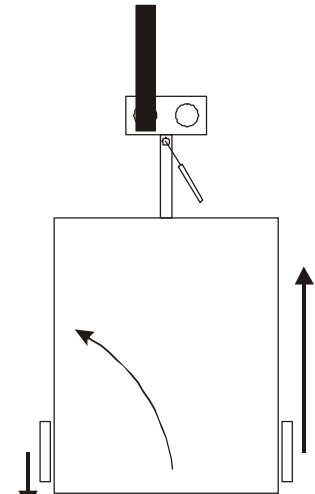


Abb. 3: Starke Rechtsabweichung

3. Die Elektronik

Ein Grund für die in Kap. 2 beschriebene Lenkung war, dass das „Gehirn“ einfacher sein kann. Es genügt festzustellen, welcher LDR weniger Licht bekommt, um zu wissen, welcher Motor langsamer drehen muss. Mein Betreuungslehrer hat mir erklärt, wie man zu diesem Zweck Operationsverstärker einsetzen kann, die entsprechenden Grundlagen fand ich außerdem in einem Buch näher erklärt [1].

3.1 Blockschaltplan

In der Abb. 4 sieht man den grundsätzlichen Aufbau meiner Elektronik. Die Fläche unter den beiden LDR wird von einer Halogenbirne aus einer Taschenlampe beleuchtet. Die Spannung zwischen den beiden LDR hängt von ihrem Widerstand ab. Da sie durch die nachfolgende Schaltung nicht beeinflusst werden darf, ist ein Operationsverstärker als „Impedanzwandler“ eingebaut, die Spannung an seinem Ausgang ist immer genauso groß wie am Eingang, darf aber stärker belastet werden.

Der Ausgang des Impedanzwandlers liefert eine der beiden Eingangsspannungen für die beiden nachfolgenden Summierer. Die beiden Potentiometer liefern jeweils eine weitere Spannung, so dass bei gleich hellen LDR das Fahrzeug vorwärts fährt und nicht stehen bleibt.

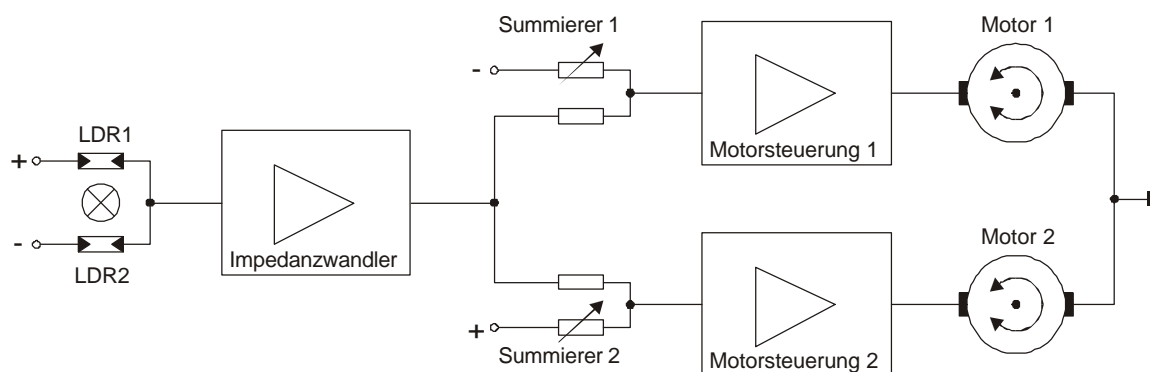


Abb. 4: Blockschaltbild der Steuerelektronik

Die beiden Motorsteuerungen verstärken einfach nur den Strom aus dem Summierer so weit, dass damit die Motoren laufen.

Der vollständige Schaltplan ist im Anhang zu finden.

3.2 Die Konstruktion der Elektronik

Für die erste Erprobung der Elektronik baute ich die Schaltung auf einem Steckbrett auf. Dabei habe ich mit der Motorsteuerung angefangen und den nächsten Block immer erst dann dazu gesetzt, wenn der letzte einwandfrei funktionierte.

3.2.1 Abtasten der Linie

Die Abtastung funktioniert mit zwei LDRs, die direkt nebeneinander den von einer Halogenlampe beleuchteten Untergrund von einer schwarzen Linie unterscheiden, weil diese weniger Licht reflektiert. Wenn die Linie in der Mitte zwischen den beiden Sensoren erfasst wird und somit beide LDR gleichmäßig abgedunkelt sind, ist der Ausgangswiderstand von beiden LDRs gleich. Da der eine LDR an Plus und der andere an Minus angeschlossen ist, ist die Spannung an der Verbindung der beiden LDR dann gleich 0 Volt.

3.2.2 Ansteuern der Motoren

Zunächst habe ich die Spannung von den LDR direkt an den Eingang des 1. und den 2. Operationsverstärker geleitet. Da dessen Ausgangsstrom für die Motoren nicht ausreicht, steuert er zwei Transistoren, die den Strom für die Motorbewegung liefern. Wenn die Linie in einer Kurve einen der LDRs abdunkelt, also das Fahrzeug bei Geradeausfahrt nicht mehr der Linie folgt, wird die Spannung am Eingang positiv oder negativ und die Motoren laufen beide entsprechend vorwärts oder rückwärts. Mit dem Potentiometer zwischen Ausgang und negativem Eingang des Operationsverstärkers kann ich die Verstärkung einstellen, das heißt, wie empfindlich die Schaltung auf eine Änderung der Beleuchtung reagiert.

3.2.3 Richtungssteuerung der Motoren

Um Kurven fahren zu können, muss der Operationsverstärker auf der gegenüberliegenden Seite schneller, der Operationsverstärker auf der anderen Seite langsamer seinen Motoren steuern, um der Kurve zu folgen. Bei Mittelstellung soll das Fahrzeug geradeaus fahren.

Dazu müssen die beiden Eingänge also nun verschiedene Spannungen bekommen. Dazu addiere ich zu der Spannung von den LDR für den einen Motor eine negative und für den anderen eine positive Spannung. Damit das Fahrzeug nun vorwärts fährt, muss man den einen der beiden Motoren umpolen, damit sie sich in die gleiche Richtung drehen. Erhöht sich jetzt die Spannung an den LDR, wird für den einen Zweig die Spannung größer und für den anderen kleiner und die Motoren drehen sich unterschiedlich schnell: das Fahrzeug fährt eine Kurve. Wenn sich die Spannung weit genug ändert, können die Motor sogar ihre Drehrichtung ändern. Zum Testen habe ich allerdings nicht die LDR benutzt, weil das nicht funktionierte, sondern die Spannung aus einem regelbaren Netzteil genommen

3.2.4 Verstärker für die LDR

Beim letzten Aufbau konnte ich die LDR deswegen nicht direkt verwenden, weil ihr Widerstand erheblich größer ist als die Widerstände, die ich im Summierer verwende. Nach [1] kann man einen Operationsverstärker verwenden, um diesem Problem abzuweichen. Eine solche Schaltung nennt man „Impedanzwandler“, weil er am Ausgang einen erheblich kleineren Widerstand als am Eingang hat. Damit war die Schaltung eigentlich fertig.

3.3 Funktionstest

Nachdem ich diese Schaltung gebaut hatte, prüfte ich mit zwei kleinen und schwachen, aber schnellen Motoren, ob sie sich wie gewünscht verhält, das heißt, sie musste mindestens die Linie erfassen und die Motoren in die entsprechende Richtung steuern. Mit den zwei Trimpotentiometer wurde die Empfindlichkeit der Operationsverstärker so eingestellt, dass sich die beiden Motoren gleich verhalten haben. Bei diesem Test habe ich noch kein Fahrzeug verwendet, sondern die Motoren frei laufen lassen und die LDR mit der Hand abgedunkelt.

Durch die zwei Trimpotentiometer in der Summierschaltung ist es möglich, die Spannung des Signals zu verändern und den Operationsverstärkern so ein Signal zu geben, mit dem die Motoren beide vorwärts fahren. Diese steuern dann die Motoren an, die Transistoren verstärken das Ausgangssignal für die Motoren noch einmal und damit werden die Signale der LDRs in Bewegungen der Motoren umgesetzt. Je kleiner ich den Widerstand der Trimpotentiometer in der Summierschaltung eingestellt habe, desto höher wird Spannung für die Motoren bei Geradeausfahrt, die dadurch das Fahrzeug schneller fortbewegen.

Das hat sowohl Vor- als auch Nachteile:

Unter einem von Motoren angetriebenen Spielzeugauto stellt man sich normalerweise ein kleines, schnelles Auto vor. Wenn das Fahrzeug schneller fährt, bewältigt es die Strecke schneller und macht einen besseren Eindruck auf den Betrachter. Allerdings wird die Abtastung der Linie immer ungenauer, desto schneller die LDRs über die Linie tasten. Im besten Fall reagiert die Steuerung so schnell, dass das Fahrzeug einfach nur schneller fahren würde und im schlimmsten Fall ständig von der Strecke abkommt, was ja auch nicht der Sinn der Sache ist.

Ich stellte die zwei dazugekommenen Trimpotentiometer auf eine hohe Motordrehzahl, also kleinen Widerstand ein. Dadurch konnte ich mir sicher sein, dass es in allen anderen Geschwindigkeiten auch funktionieren würde, wenn bei dieser hohen Geschwindigkeit keine Probleme auftreten. Als die Entwicklung der Elektronik hiermit soweit fertiggestellt war, fing ich an mir über die Mechanik Gedanken zu machen.

4. Die Mechanik

Um die Funktionsfähigkeit meiner Idee zu überprüfen, brauchte ich natürlich auch noch eine mechanische Konstruktion, die von der Elektronik gesteuert werden sollte. Sie sollte so einfach wie möglich sein und möglichst keine Kosten verursachen.

4.1 Baukastensysteme

Es standen mir mehrere Baukastensysteme zur Verfügung, aus welchen ich mir das beste herausuchen konnte. Als erstes fiel mir ein Getriebebausatz von Conrad Elektronik in die Hände, wozu jemand eiserne Lochplatten und Schrauben gelegt hatte. Ich nahm es mit nach Hause und versuchte meine kleinen Motoren, die ich aus Carrera-Autos ausgebaut hatte, in dieses System einzubauen. Aber weil die Getriebebausätze eigentlich für andere Motoren gedacht waren, konnte ich sie nur mit Heißkleber daran befestigen. Als ich dann nach mehreren Stunden Arbeit an jeden der beiden Motoren ein Getriebe mit einer Übersetzung von 3:1 angebaut hatte, musste ich leider feststellen, dass die Getriebe zu schwergängig waren und sogar im Leerlauf kein Rad antreiben konnten.

Dann habe ich es mit LEGO-Technik versucht. Hier fing ich erst einmal nur mit einem Carrera-Motor an, den ich auch hier wie bei den Getriebebausätzen festkleben musste. Als ich dann mit LEGO-Zahnradern eine Übersetzung von 3:1 gebaut hatte, stellte ich wiederum fest, dass meine kleinen Motoren immer noch zu schwach waren.

Beim nächsten JUFO - Treffen erzählte ich meinem Betreuer von diesen Fehlschlägen. Er zeigte mir dann einen Fischer - Technik - Baukasten mit „Bauklötzen“ zum Zusammenstecken und Zahnradsätzen, zu dem auch zwei Motoren gehörten, die zu diesem System passten. Es gab für diesen Baukasten allerdings nur eine für meine Vorstellungen über Spielzeugautos riesige Platte (ca. 40 x 30cm), wodurch das Endergebnis meines Projekts etwas größer ausgefallen ist als ich mir das vorher gedacht hatte. Ich baute die Motoren auf die Platte und stellte mit Ketten eine Kraftübertragung an zwei große Räder her, wobei sich eine Übersetzung von 3:1 ergab. Jetzt testete ich das erste mal diese Motoren in der Hoffnung, endlich die richtige Zusammenstellung gefunden zu haben. Beide Motoren funktionierten im Leerlauf und beim Fahren auf der Erde, während ich allerdings noch die Platte vorne hochheben musste, weil bis zu diesem Zeitpunkt nur die beiden Hinterräder montiert waren. Bei diesem Versuch musste ich auch feststellen dass die Motoren wesentlich mehr Strom benötigten als meine vorherigen. Um sie an meiner Steuerung betreiben zu können hätten die Transistoren gekühlt werden müssen. Für einen ersten Fahrttest montierte ich ein Einzelrad an einer vorgeschobenen Stange vor der Vorderkante der Platte. Dann ließ ich das Fahrzeug, das durch den Anbau des Vorderrades leider deutlich schwerer geworden war, auf dem Boden fahren. Leider musste ich auch hier zum wiederholten male feststellen, dass auch diese die Motoren nicht stark genug waren.

Dies berichtete ich dann ziemlich genervt von den vielen Fehlversuchen wieder meinem Betreuer, der dann auch langsam „die Nase voll“ hatte. Da bis dahin alle Motoren zu schwach waren wollte ich das endlich ändern. Zum Glück fanden wir dann noch zwei leistungsstarke Getriebe-motoren von Conrad Elektronik mit eingebauten Getrieben von Übersetzungen der Größe 96:1, die so wenig Strom benötigen, dass ich meine Transistoren auch ungekühlt nicht überlastete. Ab diesem Zeitpunkt hatte ich nie mehr Probleme mit zu schwachen Motoren.

Mithilfe von selbstgefertigten Halterungen, die in das Fischer-System passten, wurden die Getriebe-motoren mit den Fischer-Technik-Motoren ausgetauscht.

4.2 Mechanischer Aufbau

Auf der Bodenplatte des Fischertechnik-Baukastens befinden sich am linken Ende (Rückseite des Fahrzeugs) die beiden Getriebemotoren. Diese sind in Plexiglasblöcke eingelassen, die mit einer Schraube an einem Systembaustein befestigt sind, um sie auf die Platte aufschieben zu können.

Die beiden Antriebe sind gleich aufgebaut: Die 2 mm Achse des Getriebemotors ist über einen Adapter an eine 4 mm Achse geschraubt, auf der ein kleines Zahnrad sitzt. Die Kraft wird von diesem Zahnrad mit einer Kette auf ein gleich großes Zahnrad auf der Achse des Antriebsrades übertragen.

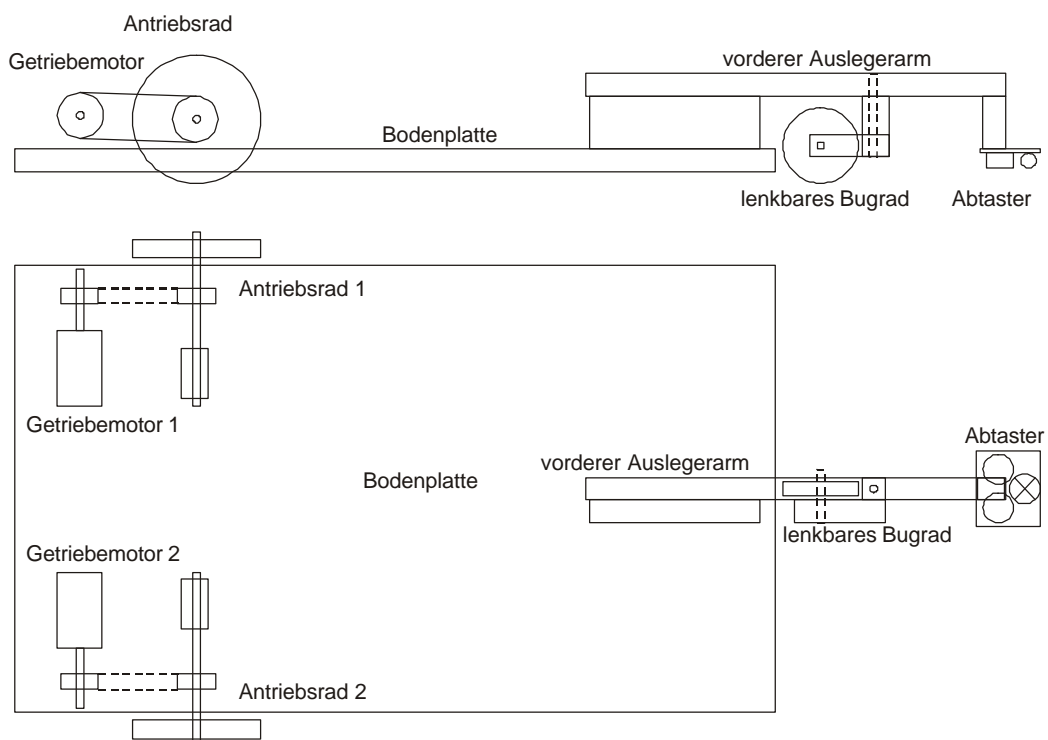


Abb. 5: Ansichten des Fahrzeugs von oben und von der Seite

Am rechten Ende der Platte (Vorderseite des Fahrzeugs) ist ein Auslegerarm erhöht aufgesetzt. Unter ihm befindet sich das auf einer senkrechten Achse drehbar gelagerte Bugrad. An seiner Vorderseite ist über einen Systembaustein in der Höhe verschiebbar eine kleine Platine mit den LDR und der Lampe angebracht, die sich wenige Millimeter über der abzutastenden Fläche bewegt.

In der Mitte der Bodenplatte (hier nicht eingezeichnet) ist genügend Platz, um das Steckbrett mit dem Testaufbau unterzubringen, Später sollen hier die fertig gelötete Platine und die Akkus Platz finden.

5. Ergebnisse

Zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Arbeit war die endgültige Platine noch nicht fertig gelötet und getestet, aber ein erster Versuch mit dem Steckbrett-Aufbau zeigte bereits, dass das Fahrzeug sinnvoll auf die Sensoren reagierte und die Motoren entsprechend ansteuerte. Ich hoffe aber, bis zum Wettbewerb eine voll funktionsfähige Elektronik fertig zu haben und das Fahrzeug vorführen zu können.

6. Ausblick

Statt der lichtabhängigen Abtastung mit LDR wäre es auch interessant auszuprobieren, ob auch andere Sensoren verwendet werden können, z.B. wären Magnetsensoren denkbar, um einem Metallstreifen zu folgen, der in den Boden eingelassen ist. Um verschiedene Strecken vorzugeben, könnte man Lichtsensoren einsetzen, die auf unterschiedliche Farben reagieren, wobei das Fahrzeug nur der Linie folgt, dessen Farbe gerade eingestellt ist.

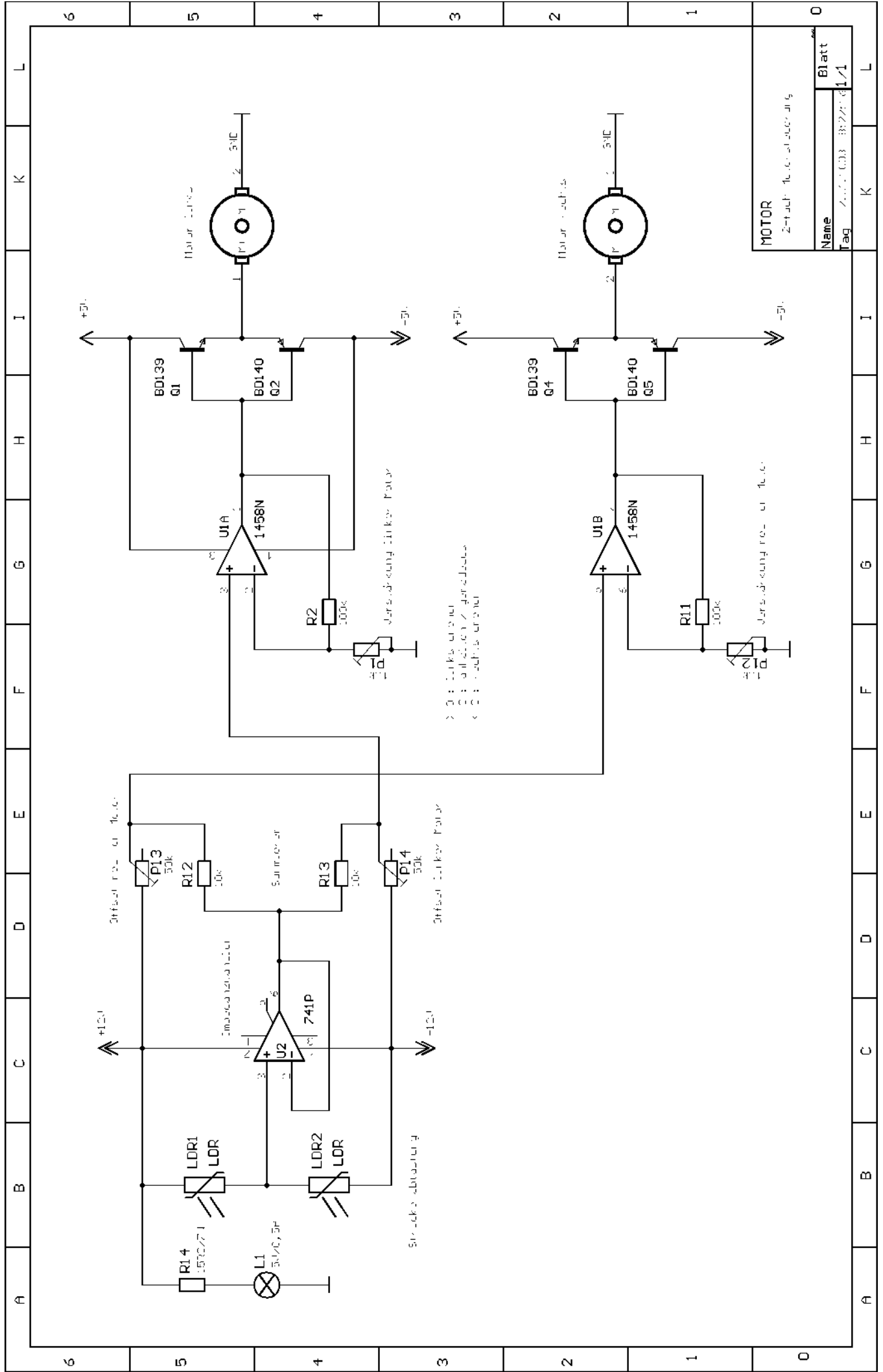
Außerdem wäre es sinnvoll, eine Elektronik zu bauen, die es dem Fahrzeug erlaubt, selbständig eine Linie zu suchen, wenn es z.B. seine alte Linie verloren hat oder man es an irgend einer beliebigen Stelle hat losfahren lassen. Dazu ist allerdings ein erheblich größerer Aufwand notwendig, wenn man nicht sogar einen Computer dafür braucht.

7. Literatur

[1] E. Böhmer, Elemente der angewandten Elektronik, Vieweg 1992

8. Dankesworte

Besonderer Dank gilt meinen AG-Leiter Thomas Biedermann, der mir stets zur Seite gestanden hat und für jede Frage und jedes Problem eine Lösung parat hatte. Außerdem bedanke ich mich bei seiner Familie für die tolle Bewirtung während der langen Experimentierphasen im Haus der Biedermanns'. Weiterhin danke ich auch den Leuten, die das Fischer-System entworfen haben und den Herstellern von so tollen starken Getriebe-Motoren.



MOTOR	
Zweiachsig Motor	
Name	Blatt
Tag	1/1

Bauteilliste für die Schaltung

<i>Bauteil</i>	<i>Erklärung</i>	<i>Aufgabe</i>
2x BD140 2x BD139	Transistoren	Verstärkung der Signale des Doppel-Operationsverstärkers
1x 1458N	Doppelter Operationsverstärker	Umsetzung der Signale der LDRs in Motorbewegungen
1x 741P	Einzelner Operationsverstärker	Impedanzwandler für die LDR
2x 100k	Widerstand 100k Ω	Gegenkoppelungswiderstand 100k zum Einstellen der Verstärkung
2x P10k	Potentiometer 10k Ω	Einstellung Verstärkung linker u. rechter Motor
2x 10k	Widerstand 10k Ω	Signal vom Impedanzwandler für den Summierer
2x P50k	Potentiometer 50k Ω	Offset linker und rechter Motor
2x LDR	Lichtempfindliche Sensoren	Abtastung der Linie
1x Halogenlampe 5V/0.5A	Halogenlampe mit hoher Lichtausbeute	Beleuchtung des Untergrundes