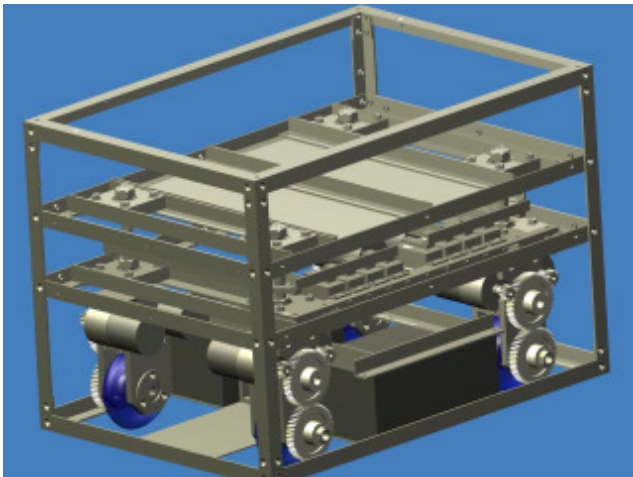
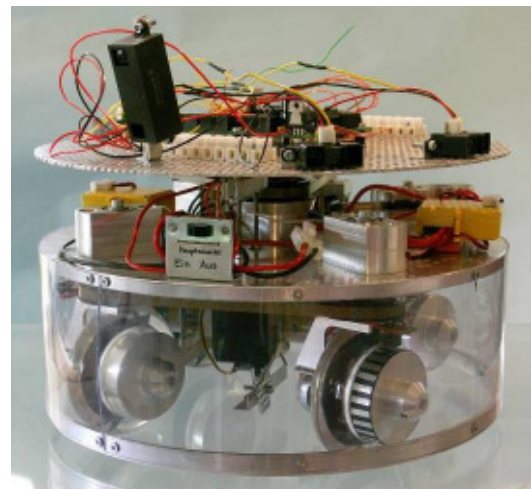
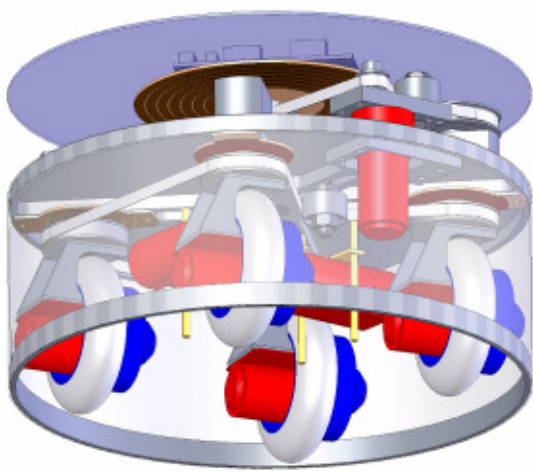


# Regelungstechnik *Crazycar 2006*



Verfasser:

Dozent:

Auftraggeber:

Datum:

Vivien Dettwiler, David Lüchinger

Matej Janovjak

FHNW

23.08.2006

## **Zusammenfassung**

Im Rahmen des Regelungstechniklabors soll ein Fahrzeug eine vorgegebene Rundstrecke autonom befahren, um am alljährlich stattfindenden Crazycar-Rennen teilzunehmen.

Dafür wurden 2 unterschiedliche Fahrzeuge konstruiert, um anschliessend eine Regelung auf Basis von Infrarotsensoren und einem Mikrokontroller zu realisieren.

Die grössten Probleme traten beim ermitteln der Regelparameter auf, da viel unterschiedliche äussere Einflüsse die Abstimmung erschweren.

Dennoch ist es gelungen alle elektronischen Probleme zu überwinden und eine funktionsfähige Regelung zu programmieren. Die gefahrene Bestzeit im Rennen betrug 33 Sekunden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabenstellung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Allgemeines .....	1
1.2 Das Reglement .....	2
1.3 Zieldefinition .....	3
<b>2 Lösungskonzept.....</b>	<b>4</b>
2.1 Konstruktionskonzept Speedmaster 360°.....	4
2.1.1 Mechanik .....	4
2.1.2 Sensorik.....	4
2.2 Konstruktionskonzept The Cube.....	5
2.2.1 Mechanik .....	5
2.2.2 Sensorik.....	5
2.3 Regelungskonzept .....	6
2.3.1 Drehzahlregelung.....	6
2.3.2 Abstand und Richtung .....	6
2.3.3 Kurvenfahrt.....	7
<b>3 Mechanischer Aufbau .....</b>	<b>8</b>
3.1 Motorpakete Speedmaster 360°.....	8
3.2 Drehmechanismus Speedmaster 360°.....	8
3.3 Energiekonzept Speedmaster 360°.....	9
3.3.1 Leistungstreiber.....	9
3.3.2 Energieversorgung .....	9
3.3.3 Verkabelung .....	10
3.4 Motorpakete The Cube.....	10
3.5 Drehmechanismus The Cube.....	11
3.6 Energiekonzept The Cube .....	11
3.6.1 Leistungstreiber .....	11
3.6.2 Energieversorgung .....	11
3.6.3 Verkabelung .....	12
3.7 Sensorik .....	12
<b>4 Regelungsprogramm .....</b>	<b>13</b>
4.1 Lösung Drehzahlproblem.....	13
4.1.1 Berechnung des Geschwindigkeitssollwertes.....	13
4.1.2 Realisierung mit digitalem Regler .....	14
4.1.3 Bascom-Programm Drehzahlregelung.....	14
4.2 Lösung Abstand- und Richtungsproblem.....	15
4.2.1 Berechnung des senkrechten Abstandes .....	15
4.2.2 Berechnung Ist- und Sollwinkel.....	15
4.2.3 Anpassen der Einregelungskurve .....	16
4.2.4 Bascom-Programm Einregeln.....	16
4.3 Lösung Kurvenfahrt.....	17
4.4 Bascom-Programm Kurvenfahrt .....	17
<b>5 Ergebnisse/Diskussion.....</b>	<b>18</b>
A1 <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>A</b>
A2 <b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>B</b>
A3 <b>Anhang Bauteilunterlagen.....</b>	<b>C</b>

## 1 Aufgabenstellung

### 1.1 Allgemeines

Das CrazyCar-Rennen ist eine alljährliche Veranstaltung die von den ICT-Studenten an der FHBB organisiert wird.

Ein CrazyCar ist ein Fahrzeug im weitesten Sinne, es kann fahren, gehen, schwimmen oder fliegen. Der Kreativität setzen nur gewisse Einschränkungen Grenzen, wie z.B. die Grösse des Fahrzeugs und die Sicherheit der Zuschauer. Ausserdem darf das CrazyCar die vorhandene Infrastruktur nicht beschädigen. Normalerweise werden die CrazyCars von den Teilnehmern selbst gebaut bzw. umgebaut und ähneln mehr oder weniger kleinen Autos.

Die Aufgabe der CrazyCars ist es auf einem vorgegebenen Kurs ohne fremde Hilfe 2 Runden zurückzulegen. Dies erledigen die meisten Teilnehmer mit Hilfe von Sensoren und Microcontrollern, selbstverständlich ist auch eine rein mechanische Lösung denkbar.

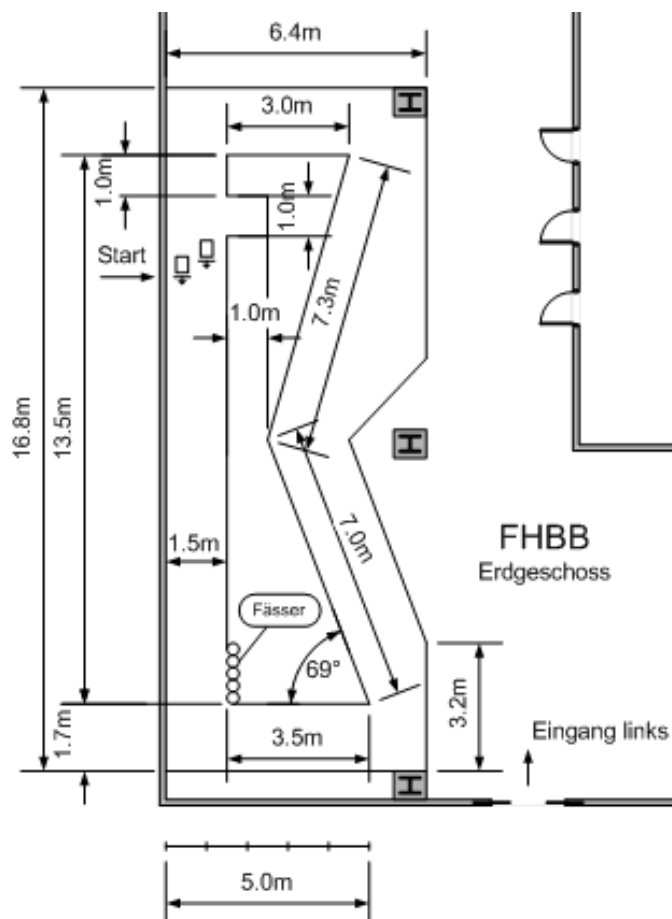


Abbildung 1-1 Die vermasste Strecke

## **1.2 Das Reglement**

### **1 Allgemeines**

- 1.1 Die Rennleitung und das Organisationskomitee behalten sich vor diese Regeln gegebenenfalls zu ändern.

### **2 Das Fahrzeug**

- 2.1 Das Fahrzeug darf beim Start höchstens die Grösse eines DIN A3-Blattes haben (297 x 420 mm).
- 2.2 Das Fahrzeug muss von blosserem Auge erkennbar sein (hufi anti quantum act).
- 2.3 Das Fahrzeug darf sich nach dem Start vergrössern.
- 2.4 Die Grösse wird bei jedem Start kontrolliert.
- 2.5 Fahrzeuge mit Übermass können in Absprache mit der Rennleitung zugelassen werden
- 2.6 Es dürfen keine Tiere zu Antriebs- bzw. Steuerzwecken oder als integrierte Intelligenz missbraucht werden.
- 2.7 Während des Rennens darf keine Kommunikation vom oder zum Fahrzeug stattfinden.

### **3 Stören der Gegner**

- 3.1 Konkurrenten dürfen nicht absichtlich gestört werden.
- 3.2 Es dürfen keine Störsender verwendet werden.
- 3.3 Es dürfen keine Waffen gegen Konkurrenten und deren Fahrzeuge eingesetzt werden.
- 3.4 Wer Konkurrenten absichtlich stört, Waffen oder Störsender einsetzt wird von der Rennleitung disqualifiziert.
- 3.5 Jegliche Pyrotechnik ist nicht erlaubt.

### **4 Fliegen**

- 4.1 Fliegen ist erlaubt.
- 4.2 Die Flugzeuge dürfen den vorgegebenen Rundkurs nicht verlassen.

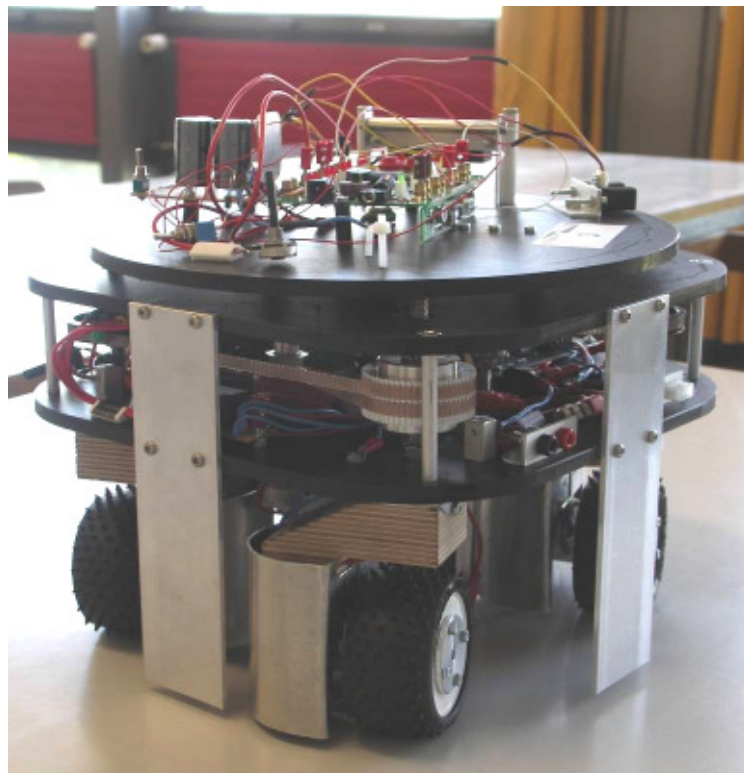
### **5 Disqualifikation**

- 5.1 Die Rennleitung disqualifiziert Teilnehmer, welche gegen diese Regeln verstossen.
- 5.2 Die Rennleitung kann abschliessend entscheiden.
- 5.3 Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

## 1.3 Zieldefinition

Nach erfolgreicher Teilnahme am Crazycar Race 2005, wurden Überlegungen zur letztjährigen Konstruktion und Programmierung angestellt. Dabei wurden folgende Punkte festgelegt.

- Es werden 2 stark unterschiedliche Fahrzeuge gebaut. Einen Neubau mit Verbesserungen des alten Fahrzeuges und ein kubusförmiges Fahrzeug mit simplerer Steuermechanik.
- Die Steuerung wird nicht mehr über das letztjährige Leonardo LRE1 Interface programmiert sondern über einen viel leistungsfähigeren und sehr umfangreich programmierbaren Atmel Prozessor.
- Da letztes Mal vor allem das Einschwingen in den vorgegebenen Abstand zur Wand grosse Probleme ergab und somit nur tiefe Geschwindigkeiten des Fahrzeuges möglich waren, ist dies einer der Hauptschwerpunkte der Programmierung und des Regelungskonzepts.



**Abbildung 1-2 Crazycar 2005**

## 2 Lösungskonzept

### 2.1 Konstruktionskonzept Speedmaster 360°

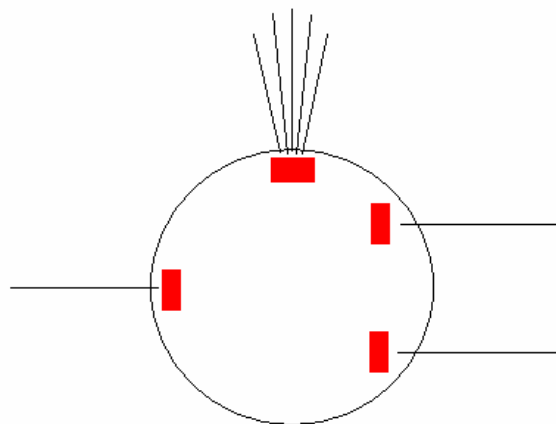
#### 2.1.1 Mechanik

Der Crazycar Speedmaster 360° 2006 wird von der Mechanik her grob aus dem Modell 2005 übernommen. Die Mechanik wird aber komplett überarbeitet und vor allem die Präzision der Fertigung wird besser da nun eine Fräs- und Drehmaschine zur Verfügung steht. Der Grundkörper besteht nicht aus PE wie im Jahre 05 sondern aus einer Aluminiumscheibe die in Leichtbauweise gefertigt wird (verrippt). Als Steuereinheit wird ein RN-Control Mega32 Board von Roboternetz gewählt. Das Modell wird zuerst komplett im CAD gezeichnet: Auch die drehbaren Räder werden überarbeitet. Es wird ein Aluminium-Vierkantprofil als Adapter zwischen dem Motor und der Zahnriemenscheibe gefertigt. Diese Adapter erzielen in Zusammenhang mit den stabilen Lagerhaltern eine sehr solide und verwindungssteife Aufhängung. Da sich der Unterkörper bei der Kurvenfahrt relativ zur Kopfscheibe und den Rädern dreht werden Schleifringe und Messingschleifer für den Kontakt zwischen den Ebenen eingebaut.

#### 2.1.2 Sensorik

Es werden 4 Infrarot-Abstandssensoren und zwei Opto-Reflexkoppler verwendet:

- 1x Sharp 2Y3A003 F (0.4 bis 3m, Erfassungswinkel 25° mit 5 LED)
- 3x Sharp 2Y0A02 48 (0.2 bis 1.8m, Einpunkterfassung)
- 2x Vishay CNY70 Reflexkoppler für die Drehzahlmessung



**Abbildung 2-1 Sensoranordnung Speedmaster 360°**

## 2.2 Konstruktionskonzept The Cube

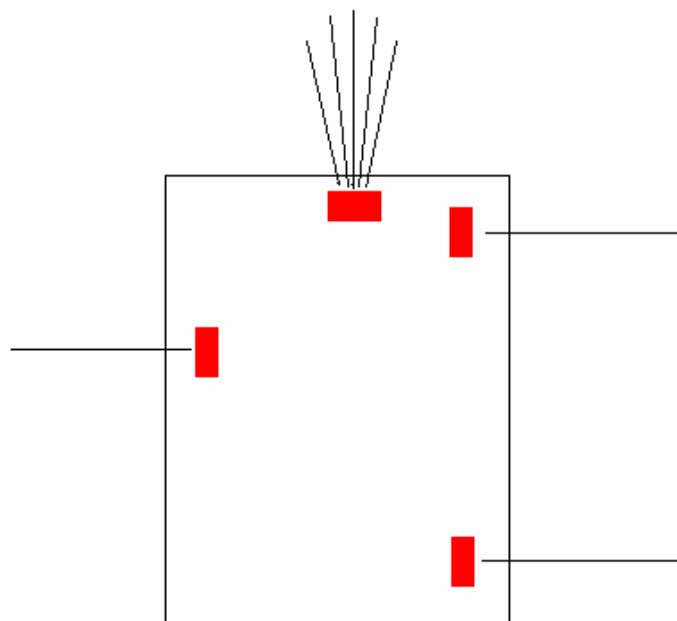
### 2.2.1 Mechanik

Der Crazycar The Cube ist eine Neuentwicklung ohne Bezug zum Vorjahresmodell, dem Speedmaster 360° 2005. Die Grundgedanken hinter dem Konzept sind die Einfachheit der Form, sowie die Robustheit gegenüber Fremdeinwirkung. Dementsprechend wurde eine kubusförmige Grundstruktur gewählt. Die Grösse des Fahrzeuges orientiert sich an der erlaubten Maximalgrösse eines A3 Blattes. Das Fahrzeug soll ein hohes Eigengewicht aufweisen und somit bei einer Kollision als Sieger hervorgehen. Aufgrund des hohen Eigengewichtes ist ein sehr leistungsfähiger Antrieb nötig um die benötigte Dynamik erreichen zu können. Das Modell wird zuerst komplett im CAD entworfen um eine reibungslose Funktion der Mechanik zu gewährleisten.

### 2.2.2 Sensorik

Analog dem Speedmaster 360° 2006 werden 4 Infrarot-Abstandssensoren und 1 Opto-Reflexkoppler verwendet:

- 1x Sharp 2Y3A003F (0.4 bis 3m, Erfassungswinkel 25° mit 5 LED)
- 3x Sharp 2Y0A0248 (0.2 bis 1.8m, Einpunkterfassung)
- 1x Vishay CNY70 Reflexkoppler für die Drehzahlmessung



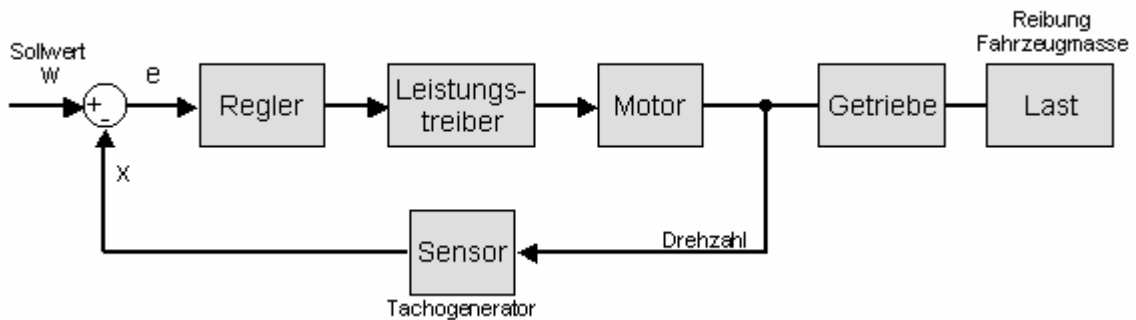
**Abbildung 2-2 Sensoranordnung The Cube**

## 2.3 Regelungskonzept

### 2.3.1 Drehzahlregelung

Es wird ein Gleichstrommotor in der Drehzahl geregelt. Als Tachogenerator ist ein CNY Reflexkoppler vorhanden der direkt über dem Rad, das mit einem Raster beklebt ist, sitzt und über einen Schmitt-Trigger signalbereinigt und über einen Interrupt am Mega32 Board eingelesen wird. Die Regelung erfolgt über ein Proportional-Integralglied.

Der Sollwert ist abhängig von der Nähe zur seitlichen und frontalen Wand.



**Abbildung 2-3 Drehzahlregelung**

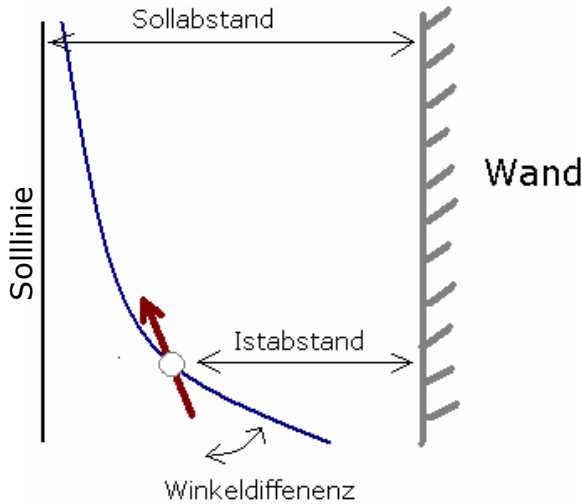
### 2.3.2 Abstand und Richtung

Der Abstand zur Wand soll so gefahren werden dass sich der Crazycar möglichst in der Mitte der Fahrbahn befindet.

$$A_{soll} = \frac{SensorLinks(R3) + SensorRechts(R1)}{2}$$

Die Steuerung wird über eine Winkelabweichung zur Wand erfolgen.

Es wird der Istwinkel gemessen und mit dem Sollwinkel (abhängig von der Distanz zur Wand) verglichen.



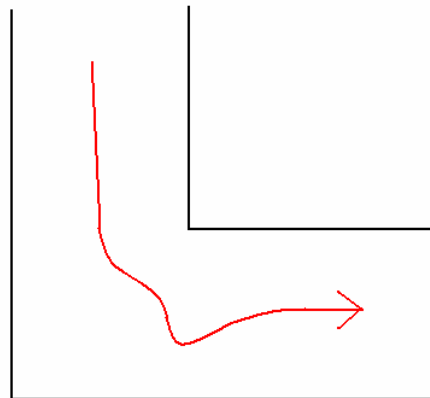
**Abbildung 2-4 Winkeldifferenz**

Die Regelabweichung ist bei diesem Messprinzip die Winkeldifferenz, das heisst die Differenz zwischen dem tatsächlichen Winkel des Fahrzeuges zur Wand und dem errechneten Winkel der das Fahrzeug haben sollte um auf einer logarithmischen Kurve auf den Sollabstand zu gelangen.

Somit ist der Sollabstand und somit die Sollrichtung des Fahrzeuges zu jedem Zeitpunkt berechenbar und über das Steuerorgan kontrollierbar.

### 2.3.3 Kurvenfahrt

Durch das Einregeln von Abstand und Richtung ist bei einer Kurve eigentlich alles vorhanden um die Kurve sauber zu fahren. Bei sehr engen und scharfen Kurven sind diese Regelbedingungen aber nicht ausreichend um die Kurve schnell genug und ohne zu schlingern zu fahren. Das Problem ist der Ecken der für den linken Sensor bei einer Richtungskorrektur eine entgegengesetzte Wirkung erzielt.

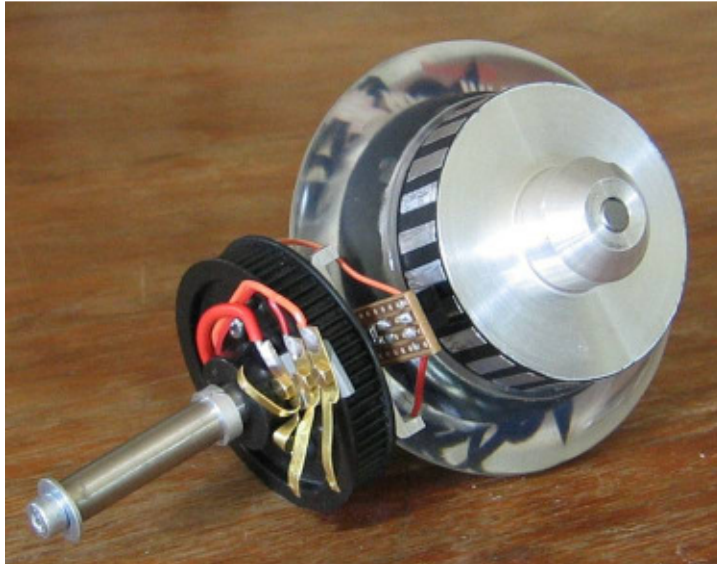


**Abbildung 2-5 Kurvenfahrt**

Die Lösung ist der Sensor der in Fahrtrichtung zielt. Wenn dieser Sensor einen gewissen Abstandswert unterschreitet und der linke Sensor plötzlich einen sehr hohen Abstandswert misst, dann soll das Fahrzeug nach Links steuern. Da dieses Problem und diese Kurvenbedingung nur bei scharfen und engen Linkskurven bestehen ist dieses Makro zweckmässig.

## 3 Mechanischer Aufbau

### 3.1 Motorpakete Speedmaster 360°

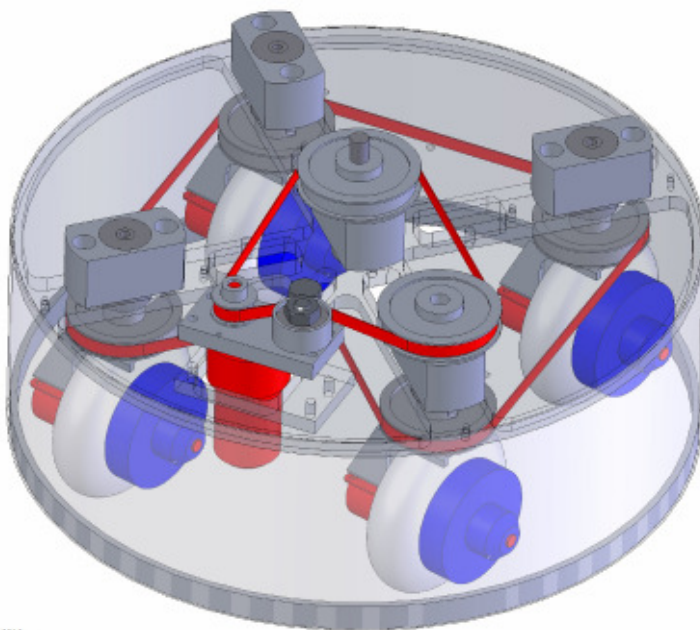


**Abbildung 3-1 Motorpaket**

Das Fahrzeug besitzt vier 385er Motoren an denen über ein 1:11 Stirnradgetriebe Spezialfelgen geschraubt sind, die das ganze Getriebe und einen Teil des Motors abdecken. Die Inlineskate-Pneus wurden modifiziert und aufgepresst. Die Motorbefestigung und die Felgen wurden so optimiert dass der Punkt an dem das Rad den Boden berührt genau unter dem Drehpunkt des Motorpaketes liegt. Damit wird eine minimale Steuerkraft erreicht die für die Drehung des Fahrzeuges erforderlich ist. Die drehbaren

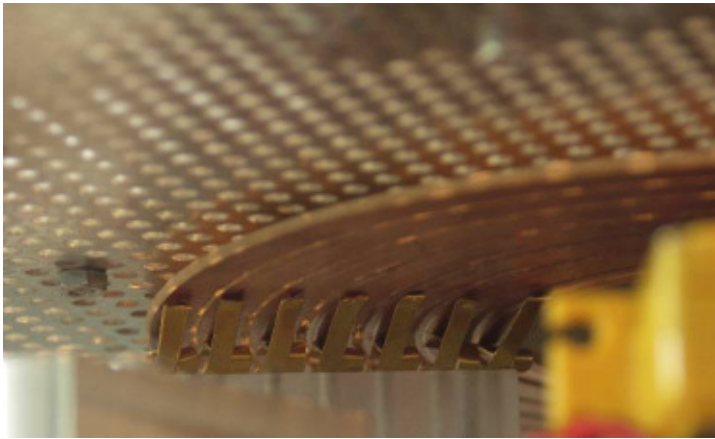
Verbindungen für die Stromspeisung der Motoren und die Drehzahlmessung werden über Schleifer auf die an der Hauptplatte befestigten Schleifringe übertragen.

### 3.2 Drehmechanismus Speedmaster 360°



**Abbildung 3-2 Drehmechanismus**

Die Drehung des Fahrzeuges erfolgt durch die gleichzeitige Drehung aller Motorpakete und der Kopfplatte. Dies hat den Vorteil, dass wenn das Fahrzeug in eine Ecke fährt, es auf der Stelle drehen und ohne kompliziertes Rangierprogramm wegfahren kann. Die synchrone Drehung erfolgt durch einen Zahnriemen der unterhalb der Hauptplatte alle Motorpakete umfasst. Oberhalb der Hauptplatte verbindet ein weiterer Zahnriemen den Steuermotor (385er mit 1:50 Übersetzung) mit der Kopfplatte und dem unteren Zahnriemen.



**Abbildung 3-3 Schleifkontakte**

Die Verbindungen aller Steuersignale und der Stromversorgung zwischen dem Hauptkörper und der Kopfplatte erfolgten auch über Schleifkontakte. Diese Verbindungen müssen sehr sauberen Kontakt geben weil der Mikroprozessor auf der Kopfplatte keine Spannungsunterbrüche verträgt. Auch die PWM-Signale die von dem Mikrokontroller an die Leistungstreiber gesendet

werden sind sehr störungsanfällig weil die Pulse jeweils nur 1-2ms lang sind. 1ms bedeutet für die Leistungstreiber Motorlinkslauf und 2ms Motorrechtslauf. Dazwischen ist das ganze Spektrum vorhanden. Das Signal wird alle 20ms aufgefrischt/erneuert.

### 3.3 Energiekonzept Speedmaster 360°

#### 3.3.1 Leistungstreiber



**Abbildung 3-4 Fahrtenregler**

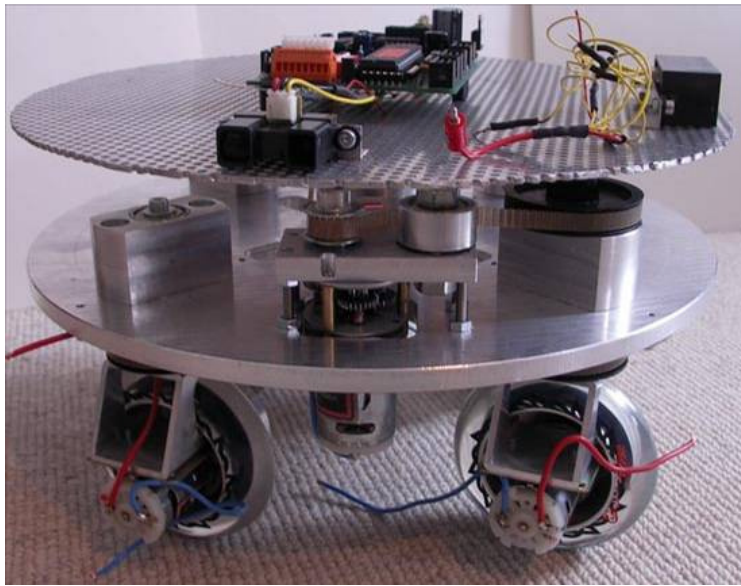
Auf der Hauptplatte befinden sich zwei Leistungstreiber/Fahrtenregler. Ein 90 Ampere (Peak) Treiber für die Beschleunigung und ein 60 Ampere Treiber für die Richtungssteuerung des Fahrzeuges. Die Kühlrippen der MOS-FET's sind zur besseren

Wärmeabführung auf die Hauptplatte geschraubt.

#### 3.3.2 Energieversorgung

Zur Energieversorgung dienen je nach Leistungsbedarf ein bis zwei Nickel-Cadmium-Akkupacks mit je 7 Zellen (8.4V) und 2400mAh. Die Akkuhalterung sitzt zentral möglichst tief zwischen den Motorpaketen. Der Negativpol wird mit dem Aluminiumgehäuse des Fahrzeuges verbunden. Dies hat den Vorteil, dass für die Übertragung der Spannung von der Hauptplatte an die Motorpakete nur ein Schleifkontakt für den Pluspol nötig ist. Der Negativpol wird über die zwei Kugellager an der Drehwelle übertragen.

### 3.3.3 Verkabelung



**Abbildung 3-5 Verkabelung**

Bei der Verkabelung ist es sehr wichtig möglichst kurze Signalwege und gerade Kabelführungen zu realisieren. Dies weil der Mikrokontroller und die Sensoren sehr empfindlich auf Störungen sind. Die Auswertung der Sensordaten ergab bei Messungen mit zu langen und frei umher liegenden Kabeln nur unbrauchbare Werte. Dieser Störfaktor wurde Früh erkannt und beseitigt. Die Schleifkontakte ergaben erstaunlicherweise sehr wenig bis gar keine Störungen. Dies liegt an der sehr genauen

Verarbeitung der Schleifringe und sehr feine Schleifoberflächen.

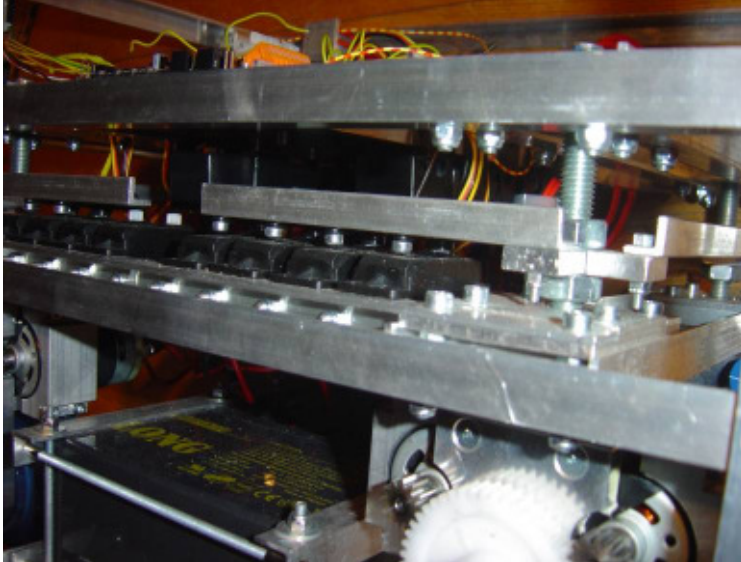
### 3.4 Motorpakete The Cube



**Abbildung 3-6 Motorpaket**

Die Motorpakete bestehen aus jeweils 2 Motoren der Klasse 540. Die Motoren sind über eine Untersetzung von 1:5 untersetzt. Somit ergibt sich eine Gesamtanzahl von 8 Motoren. So ist sichergestellt, dass ausreichend Leistung vorhanden ist, um die gewünschte Dynamik zu erreichen.

## 3.5 Drehmechanismus The Cube



**Abbildung 3-7 Drehmechanismus**

Die Lenkung erfolgt über eine Doppellenkung der vorderen und hinteren Räder. Die Ansteuerung erfolgt über jeweils 4 parallel geschaltete Servos, die über ein Gestänge auf die Räder wirken.

## 3.6 Energiekonzept The Cube

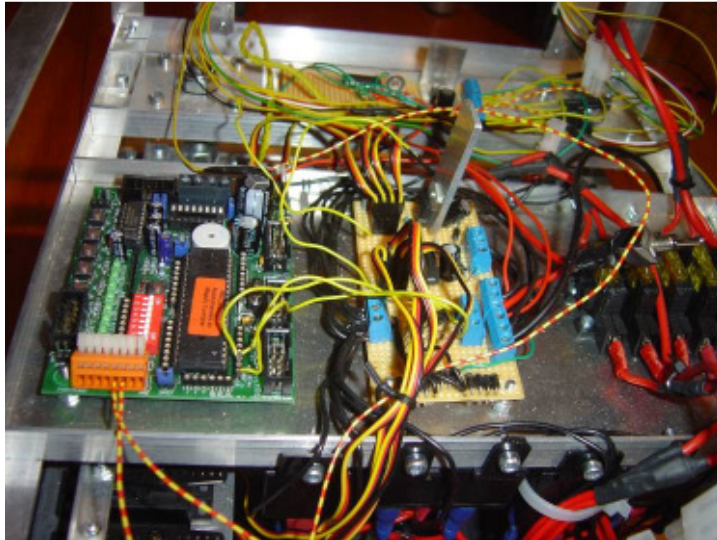
### 3.6.1 Leistungstreiber

Zu Beginn sollten die 8 Motoren von 2 Stück 90A Fahrtenregler (und somit bei 12V 2160W) versorgt werden. Da aber die Fahrtenregler in der Testphase den Hitzetod erlitten, wurde kurzfristig eine Relaissteuerung auf Basis einer H-Brücke aufgebaut. Diese kann zwar die erforderliche Leistung bereitstellen, aber aufgrund des digitalen Verhaltens (Vollgas oder Nichts) erschwert sie die Geschwindigkeitsregelung.

### 3.6.2 Energieversorgung

Die Energieversorgung erfolgt über 2 parallel geschaltete 12V 7.2Ah Bleiakkumulatoren, welche hohe Ströme liefern können und aufgrund ihres hohen Gewichtes den Schwerpunkt nach unten bringen und das Eigengewicht wie gewünscht hoch halten.

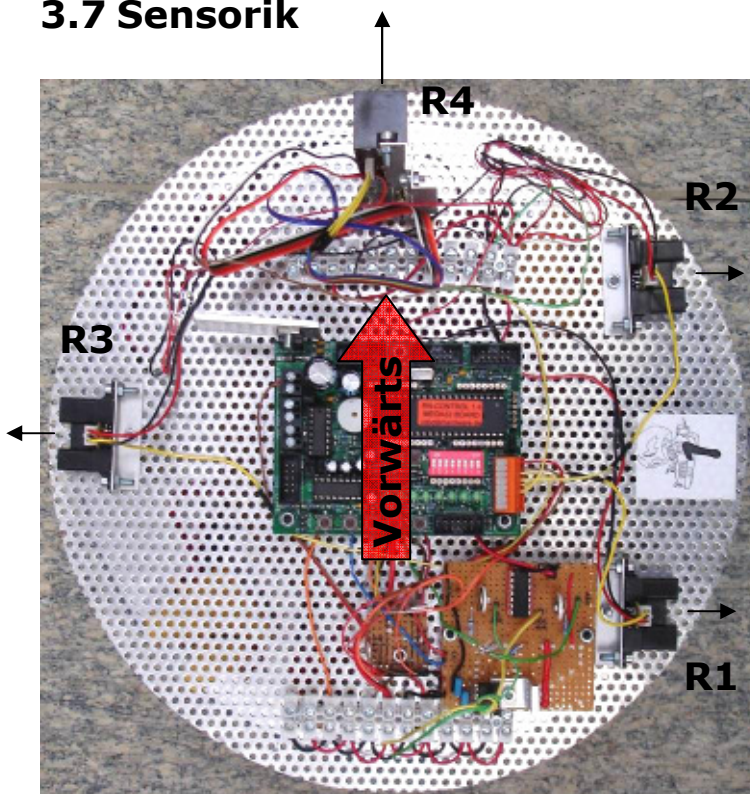
### 3.6.3 Verkabelung



**Abbildung 3-8 Verkabelung**

Die Verkabelung ist aufgrund der kurzfristigen Änderungen auf eine Relaissteuerung nicht sauber ausgeführt und somit treten Störungen in den Signalleitungen auf.

### 3.7 Sensorik



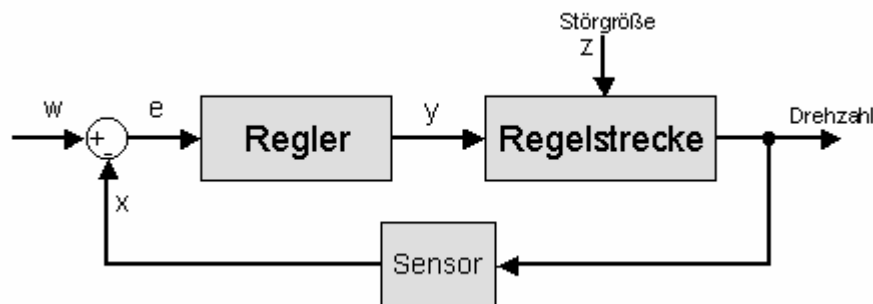
**Abbildung 3-9 Sensoranordnung**

Für die Navigation wurden vier Infrarotsensoren eingebaut. R1 und R2 nach Rechts für die Ermittlung des Abstands und den Winkel des Fahrzeuges zur Wand. R3 nach Links für den Abstand zur linken Wand und R4 um Hindernisse und Kurven frühzeitig zu erkennen. Alle vier Sensoren liefern ein analoges Signal. Dieses Signal ist nicht proportional zum Abstand und muss zuerst umgerechnet werden.

## 4 Regelungsprogramm

### 4.1 Lösung Drehzahlproblem

Als Störgröße können unterschiedliche Reibwerte oder Steigung und Gefälle rückwirkend über das Getriebe die Drehzahl beeinflussen. Das Getriebe und die Last sind zwar außerhalb der Regelschleife, beeinflussen aber durch die feste Kopplung des Getriebes die Dynamik des Regelkreises. Durch die starre Kopplung kann das Trägheitsmoment des Motors und die Masse des Fahrzeugs zusammengefasst werden. Das Gleiche gilt auch für die Reibwerte. Damit vereinfacht sich die Modellierung und das Blockschaltbild reduziert sich auf folgende Schaltung:

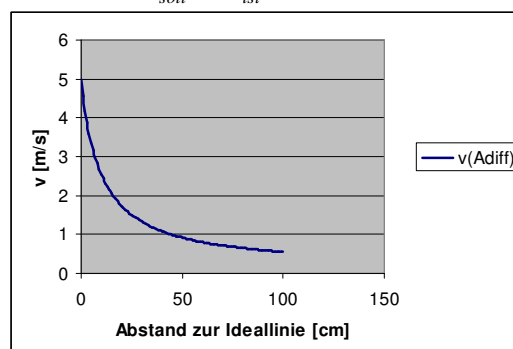


**Abbildung 4-1 Blockschaltbild Drehzahl**

#### 4.1.1 Berechnung des Geschwindigkeitssollwertes

Die maximal fahrbare Geschwindigkeit ist ca. 5m/s. Dies ist für eine sehr enge Hindernisbahn sehr schnell. Zur Verzögerung ist ein Stopprelais eingebaut das bei der Geschwindigkeit 0 anzieht und die zwei Motorpole kurzschliesst. Die Geschwindigkeit soll abhängig sein vom Abstand zur Ideallinie, dass heisst je grösser die Abweichung von der Ideallinie je langsamer die Geschwindigkeit und umgekehrt. Der Minimalwert der Geschwindigkeit wird auf 0.1m/s gesetzt um ein Anhalten zu verhindern.

$$v = \frac{49}{|A_{soll} - A_{ist}| + 10} + 0.1 \text{ [m/s]}$$



**Abbildung 4-2 Geschwindigkeitskurve**

### 4.1.2 Realisierung mit digitalem Regler

Im digitalen Regelkreis wird der Istwert  $x$  vom Tachogenerator mit einem A/D-Wandler digitalisiert. Der Sollwert  $w$  ist die Drehzahl und wird zu jedem Zeitpunkt berechnet. Über den Durchmesser des Rades ergibt sich  $w = \frac{60 * v}{\pi * d}$ . Die Stellgröße  $y$  entspricht dem PWM-Wert für den Motortreiber.

Um sicher zu gehen, dass die gewählte Abtastzeit einen nicht zu großen Einfluss hat, wird mit SimApp optimiert. Mit einer Abtastzeit  $T_a = 10\text{ms}$  und den Parametern des analogen Reglers ergibt sich ein Überschwingen, das nur sehr langsam auf den Endwert abklingt. Durch Verringern des I-Anteils auf 60 wird ein optimales Einschwingen für den digitalen Regler erreicht. Die Parameter sind:

$$K_p = 18$$

$$K_i = 60$$

$$T_a = 0.01$$

Der Algorithmus wird im Takt der Abtastzeit, also alle 10ms aufgerufen. In der Reglergleichung kann zur Vereinfachung das Produkt  $K_i * T_a$  durch eine Ersatzvariable, die gleich das Ergebnis aus dem Produkt  $60 * 0.01 = 0.6$  hat, ersetzt werden. Zum besseren Verständnis wurde es hier beim  $K_i * T_a$  belassen. Um einen Windup-Effekt zu verhindern, wird die Summenbildung  $e_{sum}$  auf  $\pm 400$  begrenzt. Der Wert wurde so gewählt, dass noch eine volle Aussteuerung durch den I-Anteil möglich ist. Zum Schluss wird die Stellgröße  $y$  auf die mögliche Aussteuerung des Stellglieds (50...150) begrenzt.

### 4.1.3 Bascom-Programm Drehzahlregelung

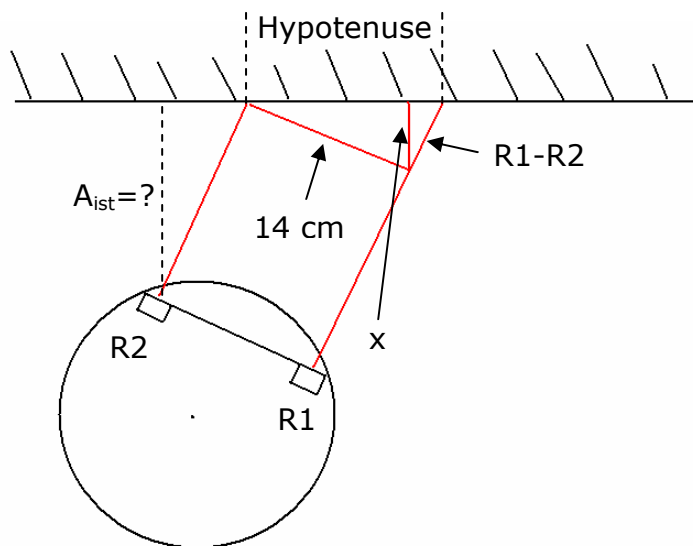
```
e = w - x; //Vergleich
esum = esum + e; //Integration I-Anteil
if (esum < -400) {esum = -400;} //Begrenzung I-Anteil
if (esum > 400) {esum = 400;}
y = Kp*e + Ki*Ta*esum; //Reglergleichung
y = y + 100 //Offset für PWM
//für dem Nullpunkt
if (y < 0) {y = 0;} //Begrenzung Stellgröße
if (y > 150) {y = 150;}
PWM1 = y; //Übergabe Stellgröße
```

## 4.2 Lösung Abstand- und Richtungsproblem

### 4.2.1 Berechnung des senkrechten Abstandes

Der Abstand zur Wand wird über die beiden parallel angeordneten Sensoren (R1 und R2) die nach rechts zeigen erfasst. Da der senkrechte Abstand nicht gleich dem Sensorwert ist und sich mit dem Winkel zur Wand verändert wird er aus den beiden Sensorwerten berechnet. Grundsätzlich ist dies mit einem Arcustangens relativ einfach berechenbar. Da unser Mikrokontroller aber eine sehr abgespeckte Winkelfunktions-Tabelle besitzt liefert er immer sehr ungenaue Winkelfunktionsresultate.

Daher muss der senkrechte Abstand anders hergeleitet werden.



**Abbildung 4-3 Senkrechter Abstand**

Die Hypotenuse H berechnet sich mit  $H = \sqrt{14^2 + (R1 + R2)^2}$

Die Höhe x des Dreiecks berechnet sich mit

$$x = \frac{14}{H} * (R1 - R2)$$

Mit dem Strahlensatz lässt sich jetzt der senkrechte Abstand von R2 zur Wand ausrechnen

$$\frac{R1 - R2}{x} = \frac{R2}{A}$$

Zusammengefasst und vereinfacht:

$$A_{ist} = \frac{R2 * 14}{\sqrt{14^2 + (R1 + R2)^2}}$$

### 4.2.2 Berechnung Ist- und Sollwinkel

Da das Rechnen mit Winkeln wie vorher betont mit dem Mikrokontroller sehr ungenau wird, wurde entschieden den Winkel als die Differenz der beiden Sensoren R1 und R2 im Abstand 14 cm anzugeben. Die Verwendung dieses Wertes ergibt bei richtiger Verrechnung keine Fehler.

Somit ist der Istwinkel = R1-R2 [cm]

Und der Sollwinkel =  $\frac{A_{soll} \text{ (siehe Kap. 2.2.2) minus } A_{ist} \text{ (siehe Kap. 4.2.1)}}{K}$

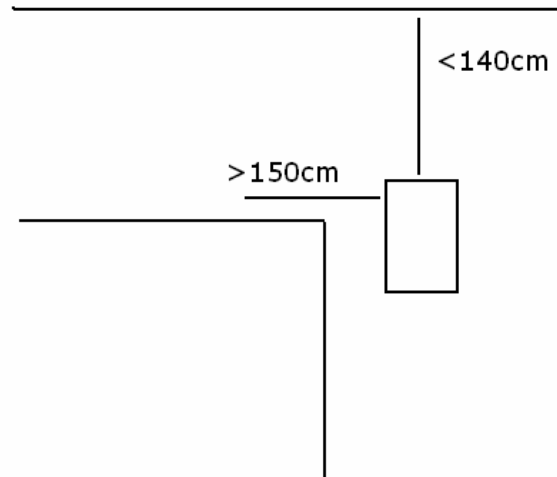
K ist der Faktor mit dem die Abweichung von Ist- und Sollabstand in einen entsprechenden Winkelwert umgerechnet wird.



### 4.3 Lösung Kurvenfahrt

Das Problem ist im Lösungsansatz schon recht gut beschrieben. Wichtig ist nun die richtigen Abstandsschwellwerte der Sensoren zu ermitteln.

Weil der linke Sensor (R3), da die Bahn 150cm breit ist, beim Geradeausfahren nur Werte bis etwa 150cm annimmt kann dies als Schwellwert und erste Bedingung bei der Kurve angenommen werden. Bei dem Frontsensor (R4) soll die Bedingung bei Werten unter 140cm erfüllt sein.



**Abbildung 4-5 Kurvenbedingung**

Sollte das Fahrzeug aus unerfindlichen gründe falsch unterwegs sein kann es passieren dass es direkt auf einen Ecken zufährt. Hier muss noch eine Spezialbedingung eingebaut werden.

Wenn Der Linke und vordere Sensor (R3 & R4) unter 10cm fallen soll das Fahrzeug auch nach links steuern.

### 4.4 Bascom-Programm Kurvenfahrt

```

If R3 > 150 then                                     //Bedingungen Kurvenfahrt
  If R4 < 140 then
    PWM2 = 50                                       //Steuern nach links
  End if
End if

If R3 < 10 then                                     //Bedingungen für Fehlfahrt
  If R4 < 10 then
    PWM2 = 50                                       //Steuern nach links
  End if
End if
  
```

## 5 Ergebnisse/Diskussion

Trotz erheblichen Unterschieden im mechanischen Aufbau der Fahrzeuge kann annähernd die gleiche Regelstrategie verfolgt werden. Der einzige Unterschied besteht in der Ausrichtung der Sensoren zur Fahrtrichtung. Beim Speedmaster 360° sind die Sensoren zwangsweise immer zur Fahrtrichtung (Radstellung) ausgerichtet, während beim The Cube die Sensoren immer mit leichter Verzögerung in Fahrtrichtung ausgerichtet werden, da der Radeinschlag erst nach einiger Fahrtstrecke zu der gewünschten Richtungsänderung des Fahrzeuges führt. Diese Verzögerung wurde Anfangs als Vorteil gesehen, da so die Sensorwerte nicht so schnell und erst nach einer Änderung der Fahrzeugposition ändern. Es hat sich aber gezeigt, dass für das Einregeln die schnellen (realtime) Änderungen der Sensorwerte besser sind. So kann die Regelung ohne Verzögerung eingreifen. Optimal wäre ein Sensoraufbau, der relativ zur Fahrbahnrichtung immer gleich steht. Damit würden immer saubere Messwerte zur Verfügung stehen, ohne das fehlerverstärkende Umrechnungen gemacht werden müssen. In Kombination mit einer Messung des Winkels zwischen Fahrtrichtung und Fahrbahnrichtung bestünden ideale Voraussetzungen zum Erstellen einer Regelung.

Das Hauptproblem bei der zu realisierenden Regelung lag im Aufbau der Elektronik und vor allem der Auswertung der Sensoren. Insbesondere die Drehzahlmessung verursachte erhebliche Schwierigkeiten, da sie Abhängig von äusseren Faktoren wie Lichteinfall oder Linsenverschmutzung instabile Werte lieferte. Instabile Messwerte können eine Regelung komplett ausser Betrieb setzen, denn dann wird die Regelung zum Glücksspiel. Viele Probleme bei der Erstellung der Regelung waren nicht wie Anfangs gedacht auf Fehler in der Regelung selbst, sondern auf Unstetigkeiten in den Sensorwerten zurückzuführen.

Erste Priorität vor dem Erstellen und insbesondere vor dem Prüfen einer Regelung sollte deshalb eine Kontrolle der Sensorwerte haben. Nur mit akkuraten Messwerten kann anschliessend vernünftig gearbeitet und schlussendlich geregelt werden.

«Crazy Car Race 2006» in Muttenz

# Geniales der Nachwuchsingenieure



Speedmaster 360° (Zweiter von rechts) unter Konkurrenten.

Bild Liska Dällenbach

Ein verrücktes Autorennen fand zum Abschluss des Semesters an der Fachhochschule in Muttenz statt. Der Gelterkinder Teilnehmer Vivien Dettwiler startete mit der Nummer 1, hielt sich gut, musste sich aber den «Gastfahrern» aus Deutschland geschlagen geben.

Jd. 22 Teilnehmer erschienen am Start. Studenten der FHNW, ein Dozent und dessen Sohn, ein paar Private und in der Überzahl die Deutschen der FH Westküste. Diese bauten ihre Fahrzeuge in einem Freifachkurs. Ihre Miniautos waren schnell, leicht und dominierten

praktisch den ganzen Wettbewerb. Die anderen Teilnehmer hatten ihre Gefährte oftmals zwischen lernen und Abschlussprüfungen gebaut.

### Spielregeln

Die Strecke ist ungefähr 40 Meter lang, rund 1,5 Meter breit und in einem unregelmässigen Zickzack aufgebaut. Dies stellte hohe Ansprüche an die Programmierer und Konstrukteure. Die Fahrzeuge müssen ohne jeglichen Kontakt mit dem Erbauer den Weg finden. Die ersten Runden durfte jedes Fahrzeug alleine fahren. Vivien Dettwiler startete als Erster mit seinem «Speed-

bauer den Informatikern und Elektronikern die Stürn bot.

Grundsätzlich bestehen die Fahrzeuge aus einem Gehäuse, Sensoren und einem Programm. Es gab Teilnehmer, welche sogar Beleuchtung und Musik eingebaut hatten. Der kleinste Wagen war nicht grösser als ein Apfel und ein paar Gramm leicht, der grösste so gross wie ein Har-rass und 15 Kilogramm schwer. Letzterer legte einen phänomenalen Start hin, endete aber in der Wand, die beinahe gekippt wäre.

### Nicht zu toppen

Eines der deutschen Fahrzeuge gewann das Rennen. Ob im Alleingang, mit Gegner oder in der Runde als alle Fahrzeuge miteinander starteten – sie waren nicht zu toppen. Was allerdings mehr zählt als das Gewinnen bei diesem Rennen, ist das Fahrzeug zu erfinden, zu bauen und zum es Laufen zu bringen. Äusserst beeindruckend, zu was die Ingenieure der Zukunft schon heute fähig sind.

Infos zum Rennen: [www.craycar.fhbb.ch](http://www.craycar.fhbb.ch), Infos zum Speedmaster 360°: [www.desys.ch](http://www.desys.ch)

master 360°» (siehe Kasten). Mit 33 Sekunden für eine Runde kam er auf Rang 11. Das Publikum war begeistert von seiner eigenwilligen Konstruktion und der Tatsache, dass er als Maschinen-

## Der Speedmaster 360°

Jd. Der angehende Maschinenbau-Ingenieur Vivien Dettwiler aus Gelterkinder entwickelte und baute den Speedmaster 360°. Er besteht aus einer Aluminiumscheibe, die in Leichtbauweise gefertigt wurde. Als Steuereinheit wurde ein Atmel-Mikroprozessor gewählt. Da sich der Unterkörper bei der Kurvenfahrt relativ zur Kopfscheibe und den Rädern dreht, wurden ein Schleifring und Messingschleifer für den Kontakt zwischen den Ebenen eingebaut. Dettwiler sagt über sein Gefährt: «Die Mechanik ist gut – die Programmierung verbesserungsfähig.»

Abbildung 5-1 Volksstimme vom 18.7.06

## A1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Die vermasste Strecke.....	1
Abbildung 1-2 Crazycar 2005 .....	3
Abbildung 2-1 Sensoranordnung Speedmaster 360°.....	4
Abbildung 2-2 Sensoranordnung The Cube.....	5
Abbildung 3-1 Motorpaket .....	8
Abbildung 3-2 Drehmechanismus.....	8
Abbildung 3-3 Schleifkontakte .....	9
Abbildung 3-4 Fahrtenregler .....	9
Abbildung 3-5 Verkabelung .....	10
Abbildung 3-6 Motorpaket .....	10
Abbildung 3-7 Drehmechanismus.....	11
Abbildung 3-8 Verkabelung .....	12
Abbildung 3-9 Sensoranordnung .....	12
Abbildung 4-1 Blockschaltbild Drehzahl.....	13
Abbildung 4-2 Geschwindigkeitskurve .....	13
Abbildung 4-3 Senkrechter Abstand .....	15
Abbildung 4-4 Einregelungskurve .....	16
Abbildung 4-5 Kurvenbedingung .....	17
Abbildung 5-1 Volksstimme vom 18.7.06.....	19

## **A2 Literaturverzeichnis**

- [1] Roboter-Forum [www.roboternetz.de](http://www.roboternetz.de)
- [2] Skript Regelungstechnik M. Janoviak
- [3] Mitschriften aus dem Unterricht
- [4] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org): Allgemeines zu Regelungstechnik

## **A3 Anhang Bauteilunterlagen**