

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
FAKULTÄT FÜR ELEKTRO- UND INFORMATIONSTECHNIK
PROFESSUR FÜR SCHALTUNGS- UND SYSTEMENTWURF



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

STUDIENARBEIT

ENTWURF UND AUFBAU EINES FPGA-BASIERTEN, AUTONOMEN
ROBOTERFAHRZEUGS
TEIL B

16. November 2004

Autor: Robert Lange
Geboren am: 07.02.1980
Geboren in: Stollberg/Erzgebirge
Betreuender Professor: Prof. Dr.-Ing. habil. Dietmar Müller
Betreuer: Dipl.-Ing. Joachim Uhlig

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Übersicht	4
1.2	Aufgabe Teil A	4
1.3	Aufgabe Teil B	5
2	Untersuchung der Rahmenbedingungen	6
2.1	Praktikumsversuch „ASIC-Auto“	6
2.2	„Roboking“-Wettbewerb der TU-Chemnitz	7
2.3	Anforderungen an den Roboter	8
3	Vorüberlegungen des elektrischen Entwurfes	10
3.1	Partitionierung	10
3.1.1	Grund- und Anwenderleiterplatte	10
3.1.2	Verbindungsstecker	12
3.2	Auswahl des Anwenderschaltkreises	14
3.2.1	Auswahl-Kriterien	14
3.2.2	Xilinx XC4010E	15
3.2.3	Eigenschaften	16
3.2.4	Interner RAM des XC4010E	17
3.3	Auswahl des CPLD	18
4	Grundleiterplatte	20
4.1	Entwurfsphilosophie	20
4.2	Funktionsblöcke	21
4.3	Modulbausweise	21
4.4	Basisplatine	22
4.4.1	Baugruppe Philips-CPLD	22
4.4.2	Takterzeugung und Power-On-Reset	24
4.4.3	Infrarot-Sensor	27

4.4.4	Strichcode- und Radsensoren	29
4.4.5	Stossstangenauswertung	31
4.5	Spannungsstabilisierung	32
4.6	Ansteuerung der Fahrmotoren	35
4.7	Fahrspurabtastung	36
4.8	Entfernungsbestimmung	39
5	Anwenderplatine	43
5.1	Der FPGA	43
5.2	Weitere Beschaltung	45
5.3	Leiterplatte	47
5.4	Konfiguration des FPGA-Schaltkreises	49
5.5	Funktionstests	50
A	Leiterplattenpläne	51
A.1	Basisplatine	51
A.2	Spannungsstabilisierung	56
A.3	Motortreiber	58
A.4	Fahrspur-Leiterplatte	59
A.5	Entfernungs-Leiterplatte	61
A.6	Anwenderplatine	64
B	Inhalt CD-ROM	69

1 Einleitung

1.1 Übersicht

Für den Praktikumsversuch „Einsatz anwenderprogrammierbarer Schaltkreise zur Steuerung eines Roboterfahrzeugs“ soll im Rahmen einer zweiteiligen Studienarbeit eine neue Generation von mobilen Robotern entwickelt werden. Die neue Robotergeneration soll nicht nur das seit einigen Jahren im Einsatz befindliche „ASIC-Auto“ unterstützen, sondern auch neue Möglichkeiten und Konzepte bieten.

Bei der Entwicklung können die vorhandenen theoretischen und praktischen Erfahrungen aus dem Praktikumsversuch „ASIC-Auto“ genutzt werden. Dieser Versuch beeinflusst auch die Anforderungen an Komplexität, Robustheit und die durch die Roboter zu erfüllenden Aufgaben maßgeblich. Anregungen für neue motorische, sensorische und logische Funktionen gibt der „Roboking“-Wettbewerb der TU-Chemnitz.

Ziel der Studienarbeit ist eine autonome Roboterplattform, die alle Aufgaben des Praktikumsversuches „ASIC-Auto“ bei gleichem oder ähnlichem Entwicklungsaufwand erfüllen kann und die im Idealfall gleichzeitig für die Teilnahme am „Roboking“-Wettbewerb geeignet und zugelassen ist.

Teil A der Studienarbeit beinhaltet den elektromechanischen Entwurf und den Aufbau der Roboterplattform, sowie die Untersuchung und Einbindung der benötigten Sensorelemente zur Erfassung der Umwelt.

Der hier vorliegende Teil B befasst sich mit Entwurf, Aufbau und Test der elektronischen Schaltungen des Fahrzeugs. Aufbauend auf den in Teil A festgelegten geometrischen und elektrischen Vorgaben könnte ein modular aufgebautes Leiterplattenkonzept zur Anwendung kommen.

1.2 Aufgabe Teil A

Im Teil A der Studienarbeit müssen konzeptionelle Entscheidungen getroffen werden. Diese Entscheidungen werden durch die Anforderungen an den Roboter bestimmt, die in Kapitel 2 kurz umrissen werden.

Der jahrelange Einsatz der Roboterfahrzeuge – im Weiteren als „ASIC-Robo“ bezeichnet – in der Lehre erfordert eine robuste, nachbausichere und wartungsfreundliche Konstruktion von Chassis, Fahrwerk, Sensorbaugruppen und elektronischen Komponenten.

Die Kompatibilität des „ASIC-Robos“ sowohl zum „ASIC-Auto“ als auch zum „Roboking“-Wettbewerb der TU-Chemnitz soll angestrebt werden. Die Plattformen müssen mit ihrer Umwelt harmonisieren und über geeignete Sensoren verfügen, um die Aufgabenstellungen beider Praktika erfüllen zu können. Es gilt die sich daraus ergebenden geometrischen und elektromechanischen Voraussetzungen zu erfüllen.

Die dynamische Erkennung der Umgebung und die dadurch mögliche Vermeidung von Kollisionen spielt eine besondere Rolle.

Unter diesen Voraussetzungen und unter Beachtung des Gesamtgewichtes ist der effizienten Stromversorgung der Baugruppen sowie der Auswahl der Antriebsmotoren besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Zur Anzeige des Fahrzeugstatus und zur Darstellung empfangener Sensorwerte sollen geeignete Anzeigemodule gefunden und getestet werden.

1.3 Aufgabe Teil B

Für die neue Generation von Roboterfahrzeugen sollen im Teil B der Studienarbeit, basierend auf den Erfahrungen mit dem „ASIC-Auto“, Platinen für die elektronischen Komponenten entwickelt, aufgebaut und getestet werden.

Dabei sind die durch das Chassis gegebenen geometrischen Grenzwerte zu beachten. Eine funktionale Aufteilung der Platinen in Module ist anzustreben. Die Platinen sollen bedien- und servicefreundlich sein, um den Praktikanten die Arbeit mit dem Roboter, z. B. bei Signalmessungen und Konfigurationseinstellungen, zu erleichtern.

Für den Anwenderentwurf ist ein geeigneter ASIC (Application Specific Integrated Circuit) auszuwählen, der flexibel für eine Vielzahl von Aufgaben eingesetzt werden kann. Dabei soll besonderer Wert auf kostengünstige klassische Bausteinfamilien gelegt werden, welche auch bei anderen Lehr- und Forschungsprojekten der Technischen Universität Chemnitz verwendet werden.

Analog zu dem „ASIC-Auto“ ist ein Steuerungsteil vorgesehen. Dieser soll den Anwenderschaltkreis unterstützen und ein digitales Interface zu den Sensoren und Aktoren bereitstellen. Die Entscheidung für die Art der Realisierung ist auf Basis der aus vorherigen Untersuchungen vorhandenen Erfahrungen und Ergebnissen zu treffen.

Abschliessend ist mithilfe einfacher Testentwürfe das korrekte Zusammenspiel der einzelnen Teilschaltungen zu überprüfen und damit die Funktionalität des Entwurfes zu verifizieren.

2 Untersuchung der Rahmenbedingungen

2.1 Praktikumsversuch „ASIC-Auto“

Praktikumsziel

Der Versuch basiert auf einem batteriebetriebenen Modellfahrzeug („ASIC-Auto“), das durch PLD(Programmable Logic Device)-Schaltkreise gesteuert wird. Er erweitert anhand eines Komplexbeispiels die Kenntnisse und Fertigkeiten im Umgang mit dem gegebenen Entwurfssystem und stellt bei der Synthese der Schaltungen und Automaten gehobene Ansprüche an den Entwerfer. Neben den erforderlichen Kenntnissen in Schaltungsentwurf wird anwendbares Wissen auf den Gebieten der Schaltungstechnik, Regelungstechnik, Automatentheorie, Sensortechnik und Messtechnik verlangt.

Fahrzeugbeschreibung

Die Grundlage des Komplexversuches bildet ein fahrspurerkennendes autonomes Modellfahrzeug. Hierbei handelt es sich um ein vorderachsgelenktes Automodell im Maßstab 1:10.

Das Fahrzeug verfügt über sechs Sensoren (IRED-Reflexkoppler) zum Abtasten bzw. Erfassen einer Fahrspur.

Weiterhin existieren zwei Sensoren zum Lesen eines Strichcodes, welcher neben der Fahrbahn aufgebracht werden kann. Ein weiterer Sensor erfasst die Drehzahl des linken Hinterrades.

Das Fahrzeug wird über einen Servo, wie er in Modellfernsteueranlagen üblich ist, gelenkt. Als Antrieb dient ein Elektromotor mit einem 5:1-Getriebe, welcher durch eine Leistungsstufe angesteuert wird. Durch ein dreistelliges Sieben-Segment-Display ist eine Drehzahl-, Geschwindigkeits-, Zeit-, Weg-, oder Strichcodeanzeige möglich.

Spezielle Zusatzmodule, wie Hindernissensor oder Tonausgabe, können optional eingesetzt werden.

Praktikumsverlauf

Im ersten Teil des Praktikums müssen sich die Entwerfer mit den Tools und der Hardware vertraut machen. Dazu werden grundlegende Funktionen wie die Spurverfolgung, verschiedene Geschwindigkeiten und die Strichcodeerkennung realisiert. Anschliessend werden weitere Funktionalitäten implementiert, für die eine genauere Auswertung und Verarbeitung der Sensorsignale notwendig ist.

Weitere Informationen zum „ASIC-Auto“ befinden sich in [8] und unter [2].

2.2 „Roboking“-Wettbewerb der TU-Chemnitz

Wettbewerbsziel

Der „Roboking“-Wettbewerb der TU-Chemnitz hat sich in den letzten Jahren zu einem deutschlandweit ausgetragenen Wettbewerb für Schüler und Studenten entwickelt.

Es treten jeweils zwei autonome Roboter in einem mit Bild 2.1 vergleichbaren Spielfeld gegeneinander an. Es handelt sich dabei um ein symmetrisch aufgebautes quadratisches Labyrinth mit 2,40 m Seitenlänge, das in Felder zu 30×30 cm eingeteilt ist. Die einzelnen Felder sind durch ca. 1 cm breite weisse Linien begrenzt. Das „rote“ und „grüne“ Team starten von gegenüberliegenden Ecken und müssen Infrarotsender suchen und mittels Berührung auf ihre Teamfarbe umschalten. Es gewinnt, wer am Ende der Spielzeit mehr Sender auf seine Farbe umgestellt hat.

Fahrzeugbeschreibung

Für die Wettbewerbsroboter ist lediglich das sogenannte „Handyboard“ vorgeschrieben, ein am Massachusetts Institute of Technology entwickeltes, flexibles Microcontrollerboard auf Basis eines Motorola 68HC11.

Die ursprünglich für den Wettbewerb eingesetzten „Rugworrier“ dienen jedoch vielen Teilnehmern als Vorlage für ihre eigenen Roboterkonstruktionen.

Dieser Roboter verfügt über zwei einzeln angetriebene Räder mit je einem Sensor für die Drehzahlerfassung. Zwei Sensoren (IRED-Reflexkoppler) dienen der Fahrbahnabtastung. Mehrere am Chassis angebrachte Mikrotaster ermöglichen eine Kollisionserkennung. Die Erfassung weiterer Umweltdaten ermöglichen zwei Entfernungssensoren, die fest auf dem „Rugworrier“ montiert sind. Weiterhin ist zum Entdecken der im Labyrinth verteilten IR-Sender ein Infrarotsensor installiert.

Eine ausführliche Beschreibung des „Roboking“-Wettbewerbes ist unter [6] zu finden.



Bild 2.1: Labyrinth im „Roboking“-Wettbewerb

2.3 Anforderungen an den Roboter

Aus den Beschreibungen in 2.1 und 2.2 lassen sich Anforderungen an die neue Robotergeneration ableiten.

Um auch ohne die Nutzung des „Handyboardes“ die Vergleichbarkeit mit den Teilnehmern am „Roboking“-Wettbewerb zu ermöglichen, sollen die Roboter über ähnliche Aktorik und Sensorik verfügen. Im Einzelnen werden für den „Roboking“ folgende Komponenten benötigt:

- Zwei einzeln getriebene Räder mit Sensorik
- Bodensensoren
- Sensoren zur Kollisionserkennung
- Ein Infrarotsensor
- Zwei Entfernungssensoren

Diese Ausstattung ist auch für das „ASIC-Auto“-Praktikum nahezu ausreichend, jedoch ergeben sich noch folgende Anforderungen:

- Bodensensorik mit höherer Auflösung; zur Spurerkennung
- Sensoren zum Lesen der Strichcodes

Nicht nur die Sensorik der „ASIC-Robos“ muss bestimmten Kriterien genügen. Beim Entwurf sind weitere Punkte zu berücksichtigen:

- Für die Bewegung im Labyrinth geeignet (maximale Aussenmaße beachten)
- Für den Praktikumseinsatz geeignet
- Mechanisch stabil
- Leicht nachbaubar
- Übersichtliche Anordnung der mechanischen und elektrischen Komponenten

Anhand der Entwicklung eines Prototyps sollen Erfahrungen gesammelt werden, um eine Kleinserie der neuen Robotergeneration aufzubauen und in der akademischen Forschung und Lehre einzusetzen.

3 Vorüberlegungen des elektrischen Entwurfes

3.1 Partitionierung

3.1.1 Grund- und Anwenderleiterplatte

Der zu entwerfende „ASIC-Robo“ stellt ein komplexes System mit einer Vielzahl an Funktionsblöcken dar.

Die Unterbringung aller elektrischen Komponenten auf nur einer Leiterplatte ist nicht möglich, da der Platz bei Weitem nicht ausreicht. Die mechanischen Abmessungen des Roboters betragen ca. 20×15 cm [5].

Auch ist zu beachten, dass der anwenderprogrammierbare Schaltkreis auf der Grundlage von groben Kapazitätsabschätzungen ausgewählt wurde, weil keine Erfahrungen auf diesem Gebiet vorlagen. Im anschließenden Praxiseinsatz kann sich der gewählte Schaltkreis als nicht den Anforderungen gewachsen herausstellen und muss unter Umständen ersetzt werden. Ein vollständiger Tausch aller Leiterplatten sollte in so einem Fall unbedingt vermieden werden, weshalb eine sinnvolle Modularisierung gesucht wurde.

Eine grobe Einteilung der Funktionsblöcke ist in den digitalen Schaltungsteil und in analoge Komponenten möglich.

Diese Aufteilung ist schon aus der Realisierung des „ASIC-Autos“ bekannt und hat sich dort bewährt, weshalb auch hier dieselbe Partitionierung gewählt wurde. Beide Schaltungsteile sind auf getrennten Leiterplatten aufgebaut – der Grundleiterplatte und der Anwenderplatine – und übereinander angeordnet.

Analog zum „ASIC-Auto“ können nun verschiedene Konfigurationen der Anwenderplatine ohne weiteren Aufwand eingesetzt bzw. für den Fehlerfall eine Austauschplatine bereitgehalten werden.

Diese Partitionierung vereinfacht auch den Entwurf und Test der einzelnen Teilschaltungen. Im Fehlerfall oder einer Überarbeitung der Leiterplatten verkürzt sie die benötigte Entwurfszeit. Ein übersichtlicher Aufbau der Schaltungen wird ermöglicht.

Andere, neue Lösungen stellten keine bessere Alternative dar.

Grundleiterplatte

Die untere Ebene bildet die Grundleiterplatte mit den grundlegenden Funktionsblöcken. Dazu gehören analoge Ansteuer- und Treiberschaltungen, Schaltungen zur Signalaufbereitung, -erzeugung und Digitalisierung sowie die Spannungsversorgung.

Anwenderplatine

Der digitale Steuerungsteil – der hauptsächlich aus dem eingesetzten Anwenderschaltkreis und der notwendigen Randbeschaltung besteht – ist auf der Anwenderplatine aufgebaut. Zur Visualisierung diverser Ausgabewerte ist ein Anzeigemodul vorgesehen, das bei Bedarf aufgesteckt werden kann.

Aus Gründen der schnellen Austauschbarkeit bildet die Anwenderplatine die oberste Ebene des Roboters.

Die Anordnung der Leiterplatten ist auch in Bild 3.1 zu sehen.

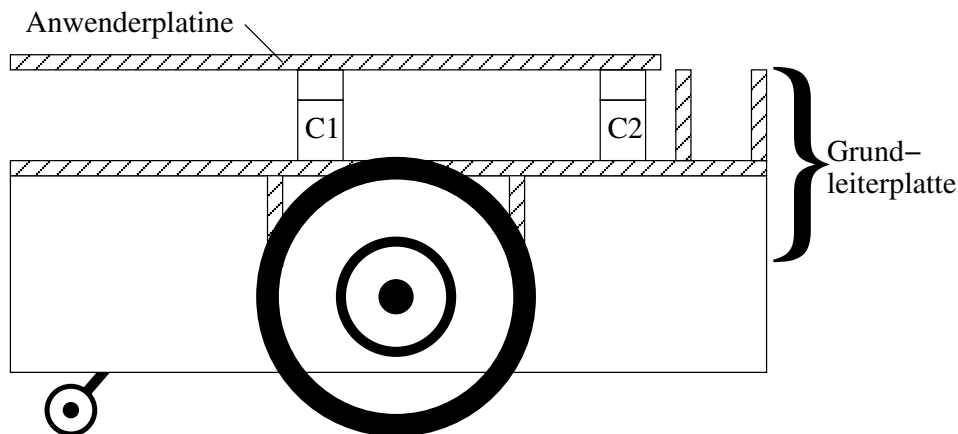


Bild 3.1: Prinzipielle Anordnung der Leiterplatten

3.1.2 Verbindungsstecker

Die Verbindung zwischen der Anwender- und der Grundleiterplatte wird über zwei Steckverbinder C1 und C2 realisiert. Diese verfügen über jeweils 26 Pins, die zweireihig angeordnet sind.

Steckerbelegung

Die Signalzuordnung wurde auch unter Berücksichtigung des Verdrahtungsaufwandes auf der Grundleiterplatte gewählt. Sie ist in Bild 3.2 dargestellt.

C1		C2	
A	B	A	B
● 1 ●		GND ● 1 ●	GND
L_MITTEL ● 2 ●	L_FERN	GR_TKT ● 2 ●	CLK
R_FERN ● 3 ●	L_NAH	LA ● 3 ●	RESET
R_NAH ● 4 ●	R_MITTEL	LM ● 4 ●	RI
RAD_L ● 5 ●	RAD_R	LI ● 5 ●	RM
MOT_L ● 6 ●	RAD_EN	S3_A ● 6 ●	RA
MOT_R ● 7 ●	RUECK_L	S1_I ● 7 ●	S2_M
HINT_L ● 8 ●	RUECK_R	UT_1 ● 8 ●	TIMER
HINT_R ● 9 ●	IR_ROT	UT_3 ● 9 ●	UT_2
VORN_L ● 10 ●	IR_GRUEN	UT_7 ● 10 ●	UT_4
VORN_R ● 11 ●	UT_9	S_CODE_S ● 11 ●	UT_6
UT_5 ● 12 ●	UT_8	VCC ● 12 ●	VCC
IR_VCC ● 13 ●	IR_SIG	S_CODE1_E ● 13 ●	S_CODE2_E

Bild 3.2: Anschlussbelegung der Verbindungsstecker C1 und C2

Signalbeschreibung

In folgender Auflistung werden die Signalnamen erklärt, dabei ist die Kennzeichnung IN/OUT bezogen auf den ASIC der Anwenderplatine. Ein „-“ bedeutet keine direkte Heranführung des Signales an den ASIC.

Alle Takte (ausser TIMER) sind zueinander synchron, auch sind alle „UT“-Takte bis auf GR_TKT symmetrisch.

RESET	IN	Reset-Signal (High-Aktiv)
CLK	IN	Systemtakt, $T = 0,05 \text{ ms} \equiv 20 \text{ kHz}$
UT_1	IN	Untertakt 1: $T = 0,1 \text{ ms}$
UT_2	IN	Untertakt 2: $T = 0,2 \text{ ms}$
UT_3	IN	Untertakt 3: $T = 0,4 \text{ ms}$
UT_4	IN	Untertakt 4: $T = 0,8 \text{ ms}$
UT_5	IN	Untertakt 5: $T = 1,6 \text{ ms}$
UT_6	IN	Untertakt 6: $T = 3,2 \text{ ms}$
UT_7	IN	Untertakt 7: $T = 6,4 \text{ ms}$
UT_8	IN	Untertakt 8: $T = 12,8 \text{ ms}$
UT_9	IN	Untertakt 9: $T = 25,6 \text{ ms}$
GR_TKT	IN	Servogrundtakt, Periodendauer 12,8 ms bei 1,6 ms High-Zeit
TIMER	IN	asymmetrischer zu CLK asynchroner Takt mit einer maximalen Periodendauer von 700 ms
S1_I	IN	Schiebetakt 1 = Ansteuerung der inneren Sendedioden
S2_M	IN	Schiebetakt 2 = Ansteuerung der mittleren Sendedioden
S3_A	IN	Schiebetakt 3 = Ansteuerung der äusseren Sendedioden
IR_GRUEN	-	Infrarotsensor Grün
IR_ROT	-	Infrarotsensor Rot
S_CODE_S	OUT	Ansteuerung Strichcode-Dioden
S_CODE1_E	IN	Ergebnis Strichcode Taktspur
S_CODE2_E	IN	Ergebnis Strichcode Informationsspur
RAD_EN	OUT	Radimpulserzeugung aktivieren
RAD_L	IN	Rad-Impuls linkes Rad
RAD_R	IN	Rad-Impuls rechtes Rad
VORN_L	IN	Stossstange vorn, linker Kontakt
VORN_R	IN	Stossstange vorn, rechter Kontakt
HINT_L	IN	Stossstange hinten, linker Kontakt
HINT_R	IN	Stossstange hinten, rechter Kontakt
MOT_L	OUT	Motor links ansteuern
MOT_R	OUT	Motor rechts ansteuern
RUECK_L	OUT	Rückwärtsfahren linker Motor
RUECK_R	OUT	Rückwärtsfahren rechter Motor
LI	IN	Fahrspur links Innen
LM	IN	Fahrspur links Mitte
LA	IN	Fahrspur links Aussen
RI	IN	Fahrspur rechts Innen

RM	IN	Fahrspur rechts Mitte
RA	IN	Fahrspur rechts Aussen
L_NAH	IN	Linker Entfernungssensor Nah erkannt
L_MITTEL	IN	Linker Entfernungssensor Mittel erkannt
L_FERN	IN	Linker Entfernungssensor Fern erkannt
R_NAH	IN	Rechter Entfernungssensor Nah erkannt
R_MITTEL	IN	Rechter Entfernungssensor Mittel erkannt
R_FERN	IN	Rechter Entfernungssensor Fern erkannt

Besondere Signale:

IR_SIG	Signal des auf der Anwenderplatine montierten Infrarot-Sensors, das an die Grundleiterplatte weitergegeben wird
IR_VCC	Betriebsspannung des Infrarot-Sensors, die von der Grundleiterplatte geliefert wird

3.2 Auswahl des Anwenderschaltkreises

Der Anwenderschaltkreis steuert den Roboter und ist somit die Schnittstelle zwischen dem Entwerfer und dem „ASIC-Robo“. Um der Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten gerecht zu werden, wird ein universell einsetzbarer ASIC benötigt, ohne den Entwerfer mit unnötigen Funktionen zu überfordern.

3.2.1 Auswahl-Kriterien

Für die Wahl sind neben der einfachen und schnellen Reprogrammierbarkeit folgende Kriterien ausschlaggebend:

- Hohe Kapazität
Der bekannte Bezugspunkt stellt hierbei das „ASIC-Auto“ mit 144 CLBs (Configurable Logic Block) dar. Bei einigen „ASIC-Auto“-Entwürfen erwies sich diese Kapazität als zu klein, um alle von dem Entwerfer gewünschten Funktionen zu implementieren. Der „ASIC-Robo“ verfügt über erweiterte Fähigkeiten, weshalb eine Verdoppelung der Logikblöcke angestrebt wird. Sollte ein interner RAM genutzt werden, sind dafür weitere CLBs vorzusehen, weshalb in erster Abschätzung von einer Verdreifachung der Kapazität ausgegangen wird.

- RAM

Umgebungsparameter können mit Hilfe eines RAMs leicht verwaltet werden, was eine grundlegende Anforderung in dem „Roboking“-Wettbewerb darstellt. Der RAM kann als externer Baustein eingesetzt oder im ASIC integriert sein.

- Ausreichende Anzahl an frei verwendbaren Pins

Die umliegende Beschaltung an Sensoren, Aktoren und unterstützenden Modulen erfordert 59 Pins, wie auch aus Kapitel 5.1 zu ersehen ist.

Für eventuelle zukünftige Erweiterungen sollten noch weitere freie Pins zur Verfügung stehen. Als exemplarisches Beispiel wurde hier an einen externen $256\text{K} \times 4\text{-bit}$ RAM gedacht, für dessen Anschluss 16 Leitungen benötigt werden.

- Verwendung einer IC-Fassung

Im Falle eines Defektes ist der Austausch unproblematisch möglich. Kompaktere Gehäuseformen lassen sich auch nur sehr aufwendig auf eine Leiterplatte auflöten.

Vorteilhafterweise haben die Studenten die gewählte Bausteinfamilie schon in fachspezifischen Lehrveranstaltungen kennengelernt. Somit kann eine grundlegende Einführung entfallen.

Die Entwurfskomplexität und der Entwurfsablauf soll der des „ASIC-Auto“-Praktikums ähneln. Dadurch kann einer der beiden Roboter als Praktikumsgegenstand ausgewählt werden.

Die vorhandenen Entwurfstools zum Versuch „ASIC-Auto“ müssen mit dem gewählten Schaltkreis verwendbar sein, weil die Einführung einer neuen Entwurfsumgebung unerwünscht ist.

3.2.2 Xilinx XC4010E

In Anbetracht der geforderten Merkmale sind FPGA (Field Programmable Gate Array) der Firma Xilinx geeignet. Kandidaten sind Schaltkreise der 3000er-Familie, wie sie im „ASIC-Auto“ eingesetzt werden. Eine Alternative dazu ist die 4000er-Familie.

Die Schaltkreisfamilien – und grösstenteils auch verschiedene Typen der gleichen Familie – sind nicht pinkompatibel, weshalb die Entscheidung für einen bestimmten Schaltkreistyp getroffen werden musste.

Unter Berücksichtigung der aufgeführten Anforderungen fiel die Wahl auf den Xilinx XC4010E-Schaltkreis im PLCC-84-Gehäuse. Dieser verfügt über 61 User-Pins und 400 CLBs, wobei die Logikblöcke als RAM konfiguriert werden können.

Als Gegenkandidat wurde der Xilinx XC3195 in die engere Auswahl einbezogen. Dieser verfügt über 484 CLBs, welche aber nicht als RAM verwendet werden können. Auch verfügt die 4000er-Familie im Vergleich zu der 3000er-Familie über eine gesteigerte Verdrahtungsflexibilität und

eine höhere Funktionalität in den einzelnen CLBs. Es ist somit mehr Logik mit weniger CLBs implementierbar.

Weitere neuere Schaltkreisfamilien von Xilinx – wie Spartan oder Virtex – sowie von anderen Herstellern wurden in Betracht gezogen, jedoch auf Grund mangelnder Erfahrung und unausgereifter Tool-Unterstützung bei Entwurf und Programmierung nicht weiter untersucht. Die Kompatibilität der XC4000-FPGA mit den vorhandenen Entwurfssystem überwiegt die verbesserte Funktionalität und Schaltungskapazität der oben genannten Schaltkreisfamilien.

3.2.3 Eigenschaften

Weitere Merkmale der 4000er-Familie, die bei der Entscheidung eine Rolle gespielt haben, sind:

- Es ist ein interner Oszillator verwendbar.
- Globales Set und Reset sind möglich.
- Acht spezielle interne zu den CLB führende Taktleitungen sind vorhanden, um eine minimale Verzögerung und hohe Treiberfähigkeit zu gewährleisten.
- Während des Konfigurationsvorganges befinden sich die User-Pins im hochohmigen Zustand und sind mit einem 50 k Ω bis 100 k Ω Pull-Up-Widerstand abgeschlossen. Dies trifft auch auf ungenutzte Pins im Betrieb zu. Damit tritt das „Klappern der Pins“ während der Konfiguration nicht auf, wie es noch bei der 3000er Familie vorhanden war. Eine negative Beeinflussung der angeschlossenen Schaltungen und Aktoren wird damit unterbunden.

Für die PLCC-Schaltkreise aus der 4000er-Familie sind 400 CLB das Maximum. Falls diese CLB-Anzahl für umfangreiche Entwürfe unzureichend ist, kann man den FPGA-Typ nicht durch einen mit höherer Kapazität ersetzen. Man würde eine neue Anwenderplatine benötigen.

Zur weiteren Kapazitätssteigerung können andere Wege beschrritten werden, wie z. B. die Bereitstellung zusätzlicher Funktionalität als externe Beschaltung.

Jedoch verfügt die aktuellen Anwenderplatine mit dem XC4010E über nahezu keine freien Pins¹, weshalb für zusätzliche Schaltungen immer vorhandene Pins umgeordnet werden müssen. Möglich wäre die interne Erzeugung von Untertakten oder eine Multiplexansteuerung der Anzeige bzw. Testpunkte, um freie Pins zu erhalten. Dazu wird auf die Pinbelegung des XC4010E verwiesen, die auf Seite 44 zu sehen ist. Freie Pins wurden als Testpunkt I/O-Pins (TP1..6)

¹Die Pinbelegung des XC4010E ist in Bild 5.1 abgebildet. Alle Pins, die exklusiv als User-I/O zur Verfügung stehen, wurden verwendet. Es ist jedoch möglich, einige jetzt als für Sonderfunktionen reserviert gekennzeichnete Pins auch im beschränkten Maße als User-I/O zu konfigurieren. Mehr dazu ist in [4] nachzulesen.

herausgeführt.

Eine weitere Idee zur Kapazitätssteigerung ist die Kopplung mehrerer FPGA.

Der gewählte FPGA ist in Versionen für 3,3 V- und 5 V-Betriebsspannung verfügbar. Es wurde die 5 V-Version gewählt, da alle anderen Schaltungsteile und externen Elemente mit dieser Spannung betrieben werden.

Ausführliche Informationen zu dem Schaltkreis XC4010E und anderen von der Firma Xilinx angebotenen FPGA sind in [4] nachlesbar.

3.2.4 Interner RAM des XC4010E

Es wäre nur unter hohem Aufwand möglich einen externen RAM zu verwenden, weshalb bei Bedarf auf den internen RAM des XC4010E zurückgegriffen werden muss. Hierbei werden die Funktionsgeneratoren von CLBs als Speicherplätze verwendet, woraufhin die betreffenden CLB nicht mehr zur Implementierung von Logik zur Verfügung stehen.

Mit einer CLB kann maximal ein 32×1 bit-RAM oder zwei 16×1 bit-RAM gebildet werden. Andere RAM-Konfigurationen sind möglich und in [4] beschrieben. RAM mit grösserer Speicherkapazität oder höhere Datenbitbreite können über die Verschaltung mehrerer CLB-Zellen gebildet werden.

Für eine Abschätzung des Speicherbedarfes im „Roboking“-Wettbewerb wird zuerst die Abspeicherung der Umgebung (Labyrinthsegmente) angenommen. Jedes der 64 Labyrinthfelder soll mit 8 bit repräsentiert werden: 4 bit für die Randbegrenzungen des Feldes (Wand/Durchgang), 1 bit für einen möglichen Infrarotsender, der sich in dem Feld befinden kann und die letzten 3 bit als Prioritätswert, falls das Feld erneut aufgesucht werden muss. Die dafür benötigten 512 bit können über die Verschaltung von 16 CLB realisiert werden.

Darüber hinaus ist der interne RAM mit einer maximalen Zugriffszeit von 10 ns sehr schnell und verfügt über eine simple Ansteuerung. Für den Einsatz im „Roboking“-Wettbewerb müssen weniger als 5 % der verfügbaren CLB als RAM konfiguriert werden, weshalb bis auf weiteres die Idee eines externen RAMs fallengelassen wurde.

Falls die Hälfte der CLB als RAM konfiguriert werden, dann stehen 800 Byte zur Verfügung. Sollten zukünftige Entwürfe mehr Speicherplatz benötigen als vorhanden ist, so muss die Idee eines externen RAMs wieder aufgegriffen werden.

3.3 Auswahl des CPLD

Auswahlkriterien

Für die Auswahl eines geeigneten programmierbaren Schaltkreises als Kernstück der Grundleiterplatte waren folgende Kriterien maßgeblich:

- ausreichende logische Kapazität
- geringer Eigenstromverbrauch
- kleine Bauform
- ausreichende Treiberfähigkeit
- leichte Programmierung mittels vorhandener Programmierertools

Wegen des grossen Platzbedarfs bei Verwendung von mehreren herkömmlichen GALs (Gate Array Logic, z. B. GAL22V10) sowie dem hohen Energiebedarfes eines CPLD (Complex Programmable Logic Device) aus der MACH-Familie stand die Verwendung dieser Schaltkreise nicht zur Diskussion.

Der Einsatz eines Xilinx-FPGA wurde in Betracht gezogen, jedoch auf Grund der Baugrösse und des notwendigen externen EEPROM verworfen.

Die Wahl fiel auf die CPLD-CoolRunner-Familie von Philips². Schaltkreise dieser Familie wurden bereits auf der Grundleiterplatte vom „ASIC-Auto II“ verwendet und fielen dabei durch ihre hervorragende Merkmale auf (eingesetzt wurde der PC5032) [7]. Ausserdem kann man das Entwurfs-Design (Steuerprogramm) vom „ASIC-Auto II“ mit nur wenigen Anpassungen übernehmen.

Eigenschaften des PZ 5032

Der CPLD PZ 5032 ist ein verfügbarer Schaltkreis aus der Fast Zero Power Serie von Philips Semiconductors. Vollständig CMOS-basiert kombiniert er hohe Geschwindigkeit mit einer sehr geringen Stromaufnahme.

Eine ausreichend grosse Anzahl an Makrozellen wird durch zwei Logikblöcke bereitgestellt, die jeweils einem GAL36V16 (36 Eingänge und 16 Ausgänge) entsprechen. Beide Logikblöcke sind durch eine virtuelle Switchmatrix – nachfolgend ZIA (Zero-Power-Interconnect-Array) abgekürzt – miteinander verbunden, wie in Bild 3.3 zu sehen ist.

²Ein Problem ist, dass die Schaltkreisfamilie an Xilinx abgetreten und die hier verwendete Version im PLCC-Gehäuse eingestellt wurde. Da es jedoch möglich war, eine für mehrere Jahre ausreichende Anzahl an Schaltkreisen noch zu erhalten, fiel die Entscheidung trotzdem auf den Philips CoolRunner PZ 5032. Die sehr guten Eigenschaften und die schon vorhandenen Tools und Entwurfs-Designs überwiegen die Nachschubproblematik.

Insgesamt führen 36 Leitungen von den Schaltkreispins und den Makrozellen der Logikblöcke in das ZIA.

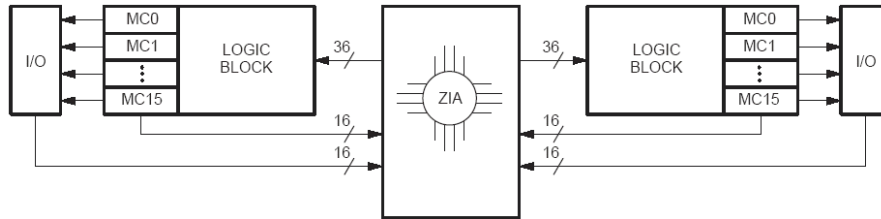


Bild 3.3: Struktur des PZ 5032 [3]

Jeder der beiden Logikblöcke enthält 16 Makrozellen, ein PAL(Programmable Array Logic)-Array, ein PLA(Programmable Logic Array)-Array sowie den Anschluss an mehrere Steuerterme.

Auffallend ist, dass die angefügten PLA-Terme nicht von Nachbarzellen abgezweigt („sharing“) werden müssen, wie es häufig bei einfachen PLD-Architekturen der Fall ist. Ausserdem können durch das PLA-Prinzip optimierte Produktterme mehrfach genutzt werden.

4 Grundleiterplatte

4.1 Entwurfsphilosophie

Die Grundleiterplatte bildet – wie ihre Namensgebung schon suggeriert – die Grundlage für den Anwenderteil des Fahrzeuges. Der Aufbau soll transparent für den Anwender sein und diesem einen leichten Zugriff auf alle Sensoren und Aktoren des Roboters ermöglichen. Darüber hinaus werden globale Steuersignale erzeugt, wozu die Untertakte UT_1 ... UT_9 gehören.

Die Mehrzahl der Aktoren erfordern eine gesonderte Ansteuerung und die meisten Sensoren liefern analoge Werte, weshalb eine Simplifizierung vorgenommen werden musste. Das Grundziel dabei war, dem Anwenderschaltkreis ein digitales Interface zur Verfügung zu stellen. Signale von Bauelementen mit nichtlinearen Kennlinien oder analoge Signale werden von dem Anwender ferngehalten und einer Aufbereitung unterzogen. Somit geht eine klare Vereinfachung des Anwenderentwurfes einher. Eine Konzentration auf die Problemlösung wird ermöglicht.

Das „ASIC-Auto“, welches als Schwestermodell des „ASIC-Robo“ gelten kann, bedient sich des gleichen Ansatzes. Weil ein gemeinsamer Einsatz als Praktikumsgegenstand vorgesehen ist, wurde wo immer möglich und sinnvoll die Schaltungen des „ASIC-Autos“ übernommen, jedoch an einigen Stellen überarbeitet. Für neue Baugruppen wurden Schnittstellen entwickelt, die sich in die Philosophie des „ASIC-Autos“ einfügen.

4.2 Funktionsblöcke

Ausgehend von den in [5] gewählten Sensoren und Aktoren, sowie die gewünschte Nähe zu der Entwurfsphilosophie des „ASIC-Autos“, sind folgende Funktionsblöcke auf der Grundleiterplatte vorhanden:

- CPLD PZ 5032
- Takterzeugung, Timer, Power-On-Reset
- Auswertung des Infrarot-Signales der „Labyrinth-Sendebojen“
- Strichcodeleser
- Radsensoren
- Stossstangenauswertung
- Spannungsstabilisierung mit Unterspannungsanzeige
- Motortreiber
- Fahrspurauswertung
- Signalaufbereitung der Entfernungssensorik

4.3 Modulbausweise

Die in Kapitel 4.2 aufgeführten Blöcke sind in ihrer Funktion grösstenteils voneinander unabhängig. Deshalb ist es naheliegend, eine räumliche Lokalisierung vorzunehmen.

Vorgesehen war die Unterbringung aller Schaltungsteile auf einer einzigen Leiterplatte (Bestückseite nach unten), jedoch ist die benötigte Leiterplattenfläche weiter durch physikalische Gegebenheiten eingeschränkt, wie z. B. den Motorblock. Auf einem anderen Teil der Platine liegen die Akkumulatoren auf. Nur durch eine modulare Aufteilung war eine Lösung der Platz-Problematik zu finden.

Die Schaltungsteile Spannungsstabilisierung, Motortreiber, Fahrspurauswertung und Entfernungsauswertung sind auf kleineren Leiterplatten aufgebaut, die senkrecht zur Trägerplatine montiert werden. Diese Modulleiterplatten nutzen den Raum zwischen Grundleiterplatte und Anwenderplatine bzw. ragen in das Chassis, wie in Bild 4.1 zu sehen ist.

Im Folgenden wird die Trägerplatine der Module als „Basisplatine“ bezeichnet und der Begriff „Grundleiterplatte“ für die Basisplatine und die Modulleiterplatten verwendet.

LED zur Statusanzeige werden direkt auf die nach oben ragenden Teilleiterplatten gelötet ohne von der Anwenderplatine verdeckt zu werden, da diese kürzer ist.

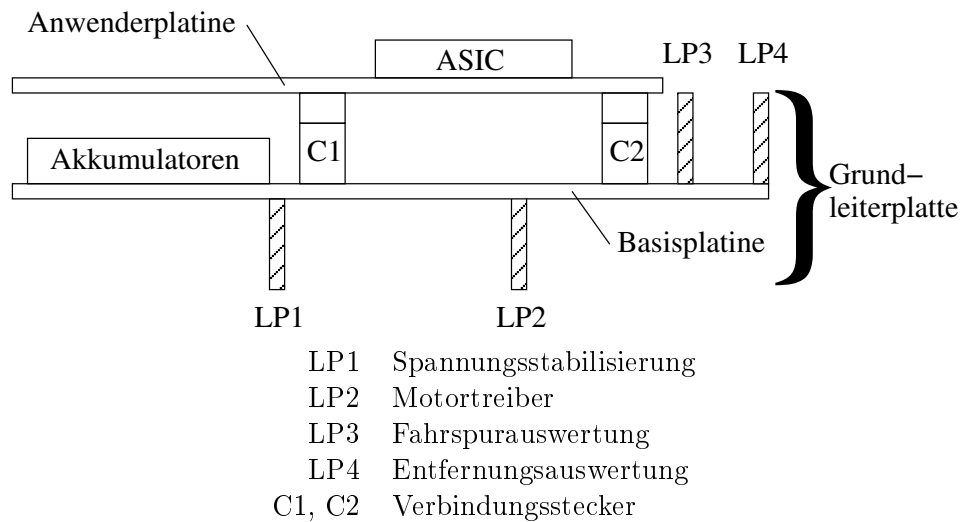


Bild 4.1: Anordnung der Modulleiterplatten

Der modulare Aufbau erleichtert den Test und ggf. die Fehlersuche, was natürlich auch auf den Nachbau weiterer „ASIC-Robos“ zutrifft.

Die Verbindung mit der Basisplatte wird permanent durch Lötten hergestellt. Eine lösbare Verbindung wurde in Betracht gezogen, jedoch auf Grund weiterer Stecker-Bauteile, welche wiederum Platz brauchen und unzuverlässiger als Lötverbindungen sind, verworfen.

Bild 4.2 zeigt in der Übersicht die Anordnung der Funktionsblöcke auf der Basisplatte.

Die Entwurfsunterlagen für alle Leiterplatten sind im Anhang ab Seite 51 zu finden.

4.4 Basisplatte

4.4.1 Baugruppe Philips-CPLD

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, wurde als zentraler Steuerschaltkreis der Philips-CPLD PZ 5032 gewählt.

Das Pinout des PZ 5032 wurde bestmöglich auf die externe Beschaltung hin abgestimmt. Somit ergeben sich nur minimale Verdrahtungswege zu anderen Bauelementen. Wie sich in vorangegangenen Testaufbauten zeigte, ist bei Schaltkreisen der CoolRunner-Familie ein definierter Pinabschluss mit Pull-Up- bzw. Pull-Down-Widerständen wichtig, um Funktionsstörungen zu vermeiden.

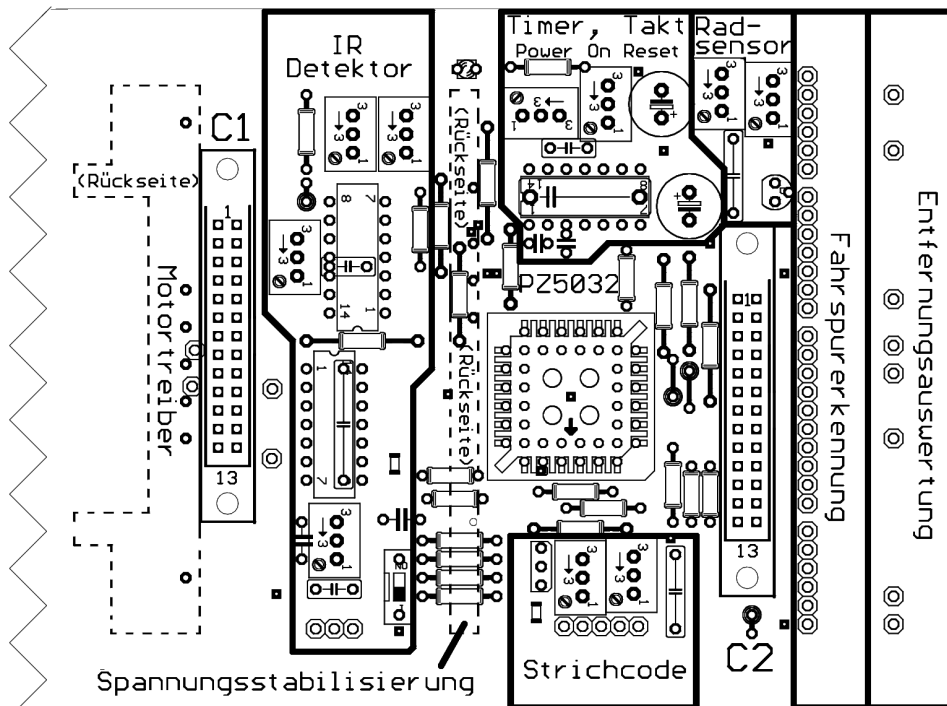


Bild 4.2: Funktionsblöcke der Basisplatte

Da die Philips CoolRunner-Familie für Taktfrequenzen von weit über 100 MHz konzipiert wurde, sind sie sehr empfindlich gegenüber unkontrollierten Schwingungen auf den Anschlussleitungen. Die Schaltkreise mit ihrem 44-poligen PLCC-Gehäuse erlauben eine direkte Zuordnung aller Makrozellen zu externen Pins. Es gibt demnach keine „echt vergrabenen“ Makrozellen. Aus diesem Grund bieten diese Schaltkreise auch keine programmierbaren internen Abschlusswiderstände an. Philips empfiehlt an allen Pins (vor allem an ungenutzten Eingängen) 10 k Ω Pull-Up-Widerstände [3]. Auf der realisierten Basisplatte werden die Schaltkreispins stets mit 10 k Ω Widerstandskaskaden, jedoch unterschiedlich mit Pull-Down- oder Pull-Up-Widerständen, abgeschlossen.

An der Unterseite der PLCC-Fassung sind weiterhin Blockkondensatoren für die Betriebsspannung angebracht.

In Bild 4.3 ist die Pinbelegung des PZ 5032 dargestellt. Die Bedeutung der Signale, die an die Steckverbinder C1 und C2 herangeführt werden, wurde auf Seite 13 beschrieben. Die anderen Signale werden nur lokal auf der Grundleiterplatte verwendet oder haben im „ASIC-Robo“ gar keine Bedeutung, weshalb der interessierte Leser hierfür auf [7] als Vorlage für das Steuerprogramm verwiesen wird.

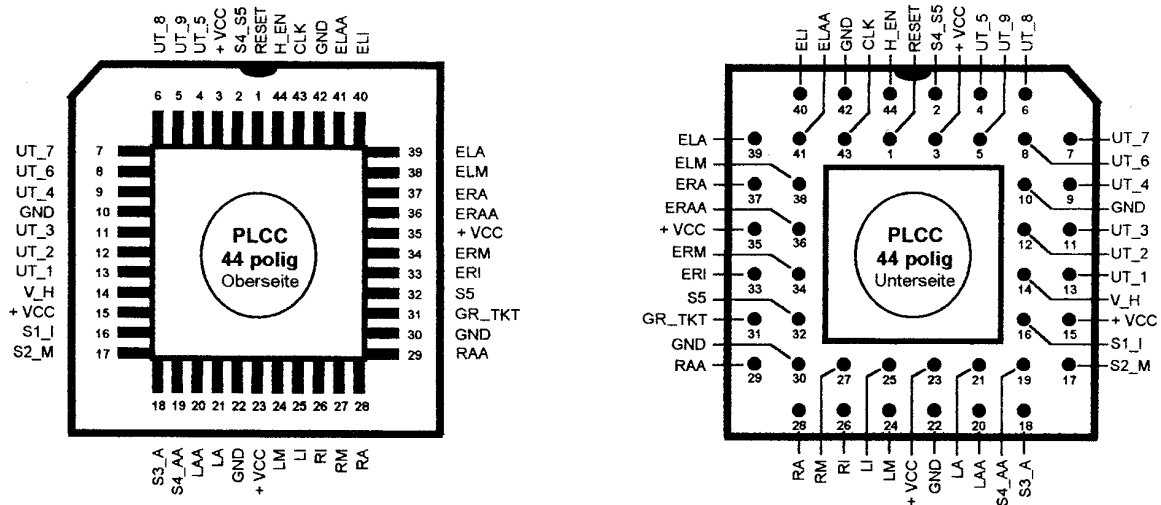


Bild 4.3: Beschaltung der PZ 5032-Fassung von Ober- und Unterseite

4.4.2 Takterzeugung und Power-On-Reset

Systemtakt und Zeitbasis

Ein gemeinsamer Takt ist die Grundvoraussetzung für synchrone Entwürfe, deshalb wurde eine Oszillatorschaltung auf der Basisplatte aufgebaut.

Die Bereitstellung von weiteren Untertakten ist ein Komfortmerkmal, das aus dem „ASIC-Auto“ bekannt ist. Eine lokale Erzeugung im Anwenderschaltkreis wäre möglich gewesen, jedoch nutzen auch Schaltungsteile auf der Grundleiterplatte einige Untertakte. Deshalb wurde die globale Erzeugung beibehalten.

Der Systemtakt wird mit Hilfe eines B556-Oszillator-Schaltkreises und der in Bild 4.4 skizzierten Schaltung erzeugt.

Die Systemtaktfrequenz von 20 kHz kann mittels des regelbaren Widerstandes R2 justiert werden. Um die Flankensteilheit und den Lastfaktor des Systemtaktes CLK zu erhöhen, wird er von einem Invertergatter nachgetriggert und an den Takteingang des Philips CPLD geführt. Der Systemtakt durchläuft zwei weitere Invertergatter (CLK - Delay 1 und 2). Somit wird die aktive Taktflanke um einige Nanosekunden verzögert.

Das beschriebene Vorgehen verhindert Wettlaufsituationen zwischen dem Systemtakt CLK und den Untertakten UT_1 ... UT_9.

Der Taktgeber für das TIMER - Signal generiert eine asymmetrische Rechteckschwingung mit

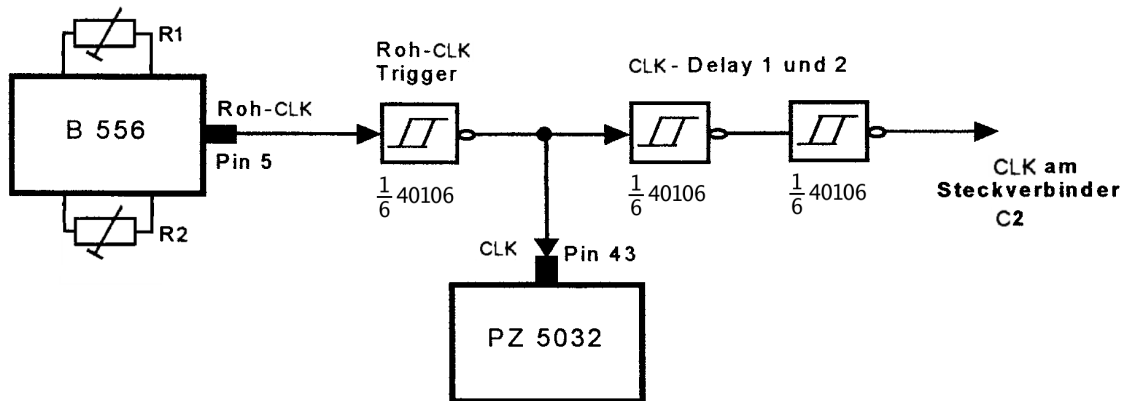
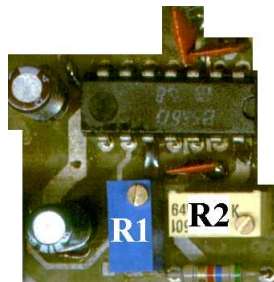


Bild 4.4: Systemtakterzeugung

einer maximalen Periodendauer von 700 ms. Mit Hilfe des Reglers R1 ist auch hier ein Feinabgleich möglich. Diese Zeitbasis kann zum Beispiel für die Ansteuerung und Signalauswertung der Entfernungssensoren verwendet werden.

In Bild 4.5 ist der Oszillatorschaltkreis (auf der Basisplatine) dargestellt, wobei die regelbaren Widerstände gekennzeichnet sind.



- R1 Feinreglung Periodendauer TIMER
- R2 Feinreglung Periodendauer CLK

Bild 4.5: Schaltungsteil des B556-Schaltkreises mit Taktgenerator und Power-On-Reset

Die vollständige Randbeschaltung des B556-Oszillatorschaltkreises ist im Anhang A auf Seite 56 dargestellt.

Power-On-Reset

Um eine zuverlässige Initialisierung aller darauf angewiesenen Schaltungsteile zu gewährleisten, wurde ein Power-On-Reset implementiert. Die gewählte Realisierung ist in Bild 4.6 zu sehen.

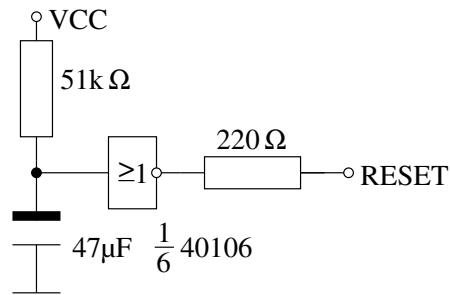


Bild 4.6: Power-On-Reset

Die Ladezeit der Schaltung ist auf ca. 2 Sekunden eingestellt, wobei ein Invertergatter als Schwellwertschalter dient.

Zum Schutz des Gatterausganges beim Betätigen der Reset-Taste auf der Anwenderplatine wurde in Reihe zum Gatterausgang ein 220 Ω Widerstand geschaltet. Über ihm wird der Pegelunterschied zwischen geschalteter Reset-Leitung (High) und abgefallenem Power-On-Reset (Low) ausgeglichen.

Allerdings fließt hier bei dauerhaftem Reset-Signal ein Verluststrom von ungefähr 20 mA. Bei Bedarf kann der 220 Ω Widerstand zukünftig gegen eine Diode und hochohmigen Pull-Down-Widerstand ausgetauscht werden.

4.4.3 Infrarot-Sensor

Dieser Schaltungsteil dient der Auswertung eines modulierten Infrarot-Signales, wie es die im „Roboking“-Wettbewerb verwendeten Infrarotsender erzeugen. Diese sind in [5, Anhang A] beschrieben.

Die verwendete Schaltung ist in Bild 4.7 dargestellt.

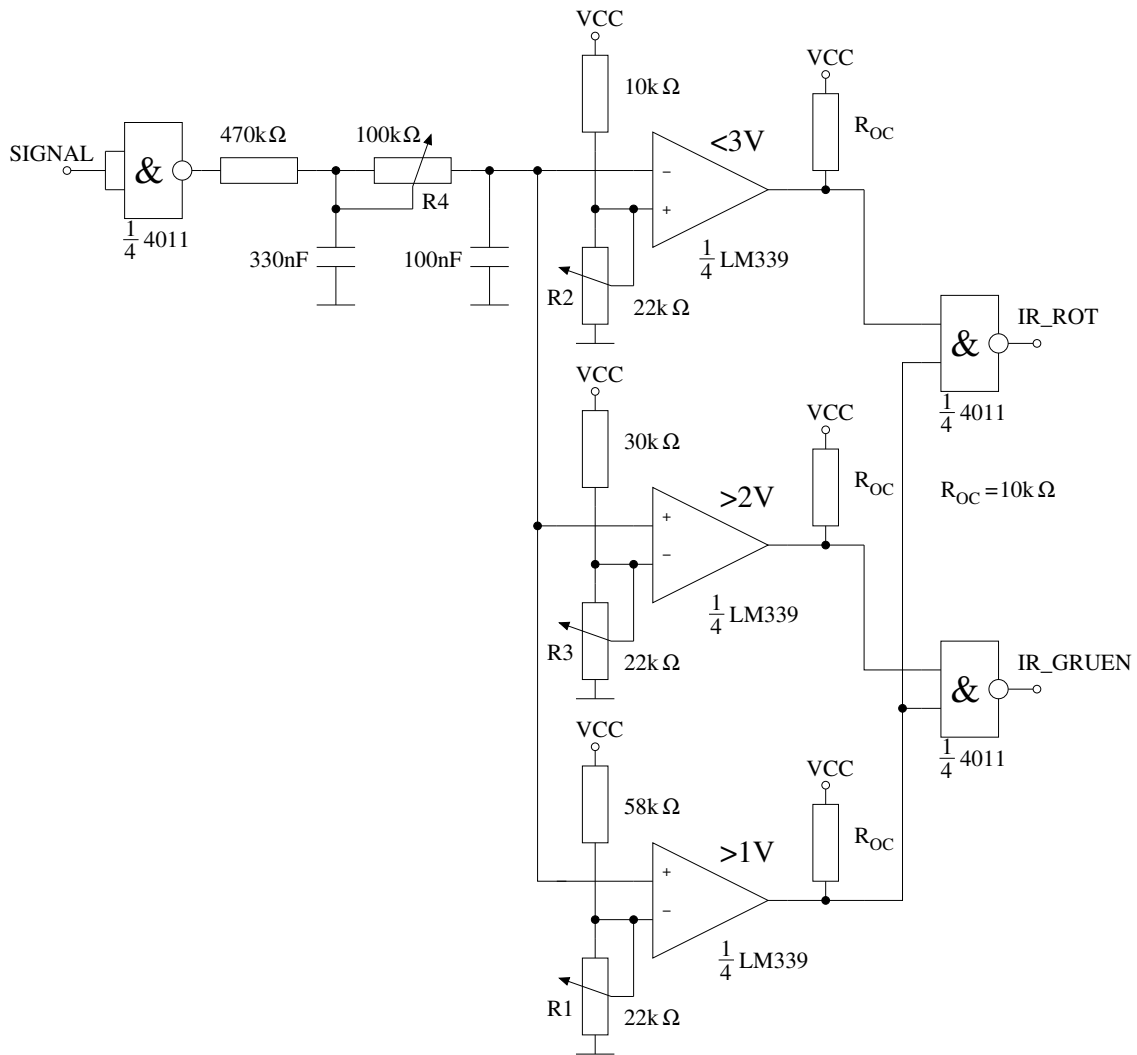


Bild 4.7: Schaltung für den Infrarotdetektor

Funktionsweise

Der eingesetzte Infrarotempfänger-Schaltkreis IS1U60 liefert ein detektiertes Rechtecksignal, das sich invertiert zu dem gesendeten Infrarot-Signal verhält. Dieses wird durch einen Doppeltiefpass geglättet, um den daraus resultierenden Pegel mit Hilfe einer 2-bit A/D-Wandlung (OPV LM339) weiterverarbeiten zu können.

Man muss vier verschiedene Zustände unterscheiden können: *Kein Sender oder kein Signal in Reichweite*, *Neutral*, *Rot* und *Grün*.

Dafür werden zwei Anschlüsse benötigt, welche als *IR_ROT* und *IR_GRUEN* bezeichnet werden. Beide Signale werden einer roten bzw. grünen Leuchtdiode auf der Anwenderplatine zugeordnet. Die Kodierung hierfür ist in Tabelle 4.1 zu finden.

Zustand	Pegel nach dem Doppeltiefpass	IR_ROT	IR_GRUEN
kein Sender	0	1	1
Rot	1,25 V	0	1
Neutral	2,5 V	0	0
Grün	3,75 V	1	0

Tabelle 4.1: Kodierung der Ausgangssignale mit gemittelten Spannungswerten

Der IR-Detektor liefert Low-Pegel bei empfangenem Signal, sonst einen High-Pegel. Um ein High-Aktives Signal zu erhalten, wird der Pegel mit einem „4011“-Gatter invertiert. Damit wird auch gleichzeitig die folgende Siebkette vom Sensor entkoppelt.

Der Doppeltiefpass wird durch zwei in Reihe geschaltete RC-Glieder realisiert. Das Eingangssignal hat eine Periodendauer von $T = 20$ ms. Das erste Siebglied besitzt eine Zeitkonstante von $\tau_1 = 155$ ms und entspricht einer Grobglättung. Ein zweites Siebglied wurde zur Feinglättung dahintergeschaltet, dessen Zeitkonstante maximal $\tau_2 = 10$ ms beträgt. Die Zeitkonstante ist über den Regler R4 einstellbar.

Nach der Glättung ist dem Signal noch eine Spitze-Spitze-Störspannung von maximal 0,3 V überlagert. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass bei einem Signalwechsel von „kein Signal“ zu „Grün“ die gewählte Schaltung eine maximale Einschwingzeit von 0,5 sek besitzt.

Die gewählte Dimensionierung der Doppelsiebplatte ist hierbei ein Kompromiss zwischen der Einstellzeit und der verbleibenden Welligkeit.

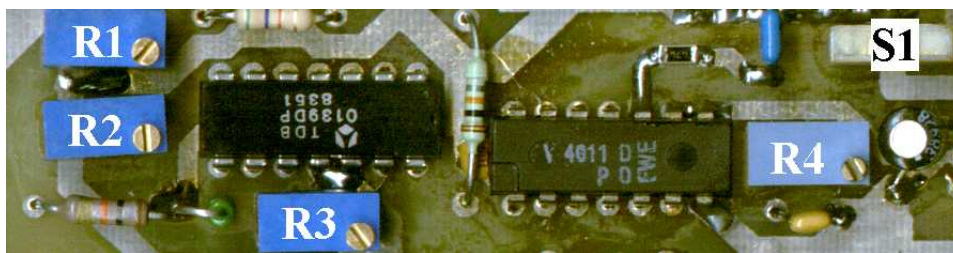
Die A/D-Wandlung zu 3×1 bit erfolgt mit der Hilfe von drei Operationsverstärkern, die als Komparatoren betrieben werden. NAND-Gatter kodieren die erzeugten 3 bit auf die gewünschten 2 Ausgangssignale.

Weil der Abstand zwischen den Schaltschwellen und dem gemittelten Signalpegel ausreichend gross ist, wurde bei der Beschaltung der Operationsverstärker auf Hysterese verzichtet. Das

empfangene Signal kann trotz der verbliebenen Restwelligkeit eindeutig zugeordnet werden. Sollten dauerhafte oder länger anhaltende Störungen dem Signal überlagert sein, so beginnt eines der Ausgangssignale bei Erreichen der Umschaltswelle zu schwingen. Dies erfolgt mit der Signalfrequenz (50 Hz) des Empfängersignales. Es ist möglich, die „Fehlerschwingungen“ im FPGA auszuwerten und dadurch die Störung zu erkennen.

Über einen Schalter auf der Basisplatine kann die Detektorschaltung abgeschaltet werden, um Strom zu sparen.

In Bild 4.8 ist die Leiterplatte dargestellt, wobei die regelbaren Widerstände und der Ein/Aus-Schalter gekennzeichnet sind.



- R1 Feineinstellung Referenzspannung 1 V
- R2 Feineinstellung Referenzspannung 3 V
- R3 Feineinstellung Referenzspannung 2 V
- R4 Einstellung Zeitkonstante τ_2 der zweiten Siebkette
- S1 Betriebsspannung für diesen Schaltungsteil

Bild 4.8: Schaltungsteil des Infrarotdetektors

4.4.4 Strichcode- und Radsensoren

Als Strichcode- und Radsensoren werden die bereits bewährten Infrarot-Reflexkoppler MB125 eingesetzt.

Schaltung

Die Grundschialtung ist für beide Baugruppen identisch und wurde aus den Unterlagen des ersten „ASIC-Autos“ übernommen. Unterschiede bestehen nur in der Dimensionierung der Sender- und Empfängerwiderstände.

Die bisher verwendeten Standardtransistoren SC236 wurden allerdings durch Darlingtontransistoren BC517 ersetzt. Ihre sehr hohe Stromverstärkung von ca. 30.000 belastet die Basis-Emitter-Spannung noch weniger und vereinfacht ausserdem die Dimensionierung (Transistor

schaltet immer voll durch). Die Sendedioden können jetzt unmittelbar durch den Anwenderschaltkreis paarweise aktiviert werden, wie in der Schaltung in Bild 4.9 zu sehen ist.

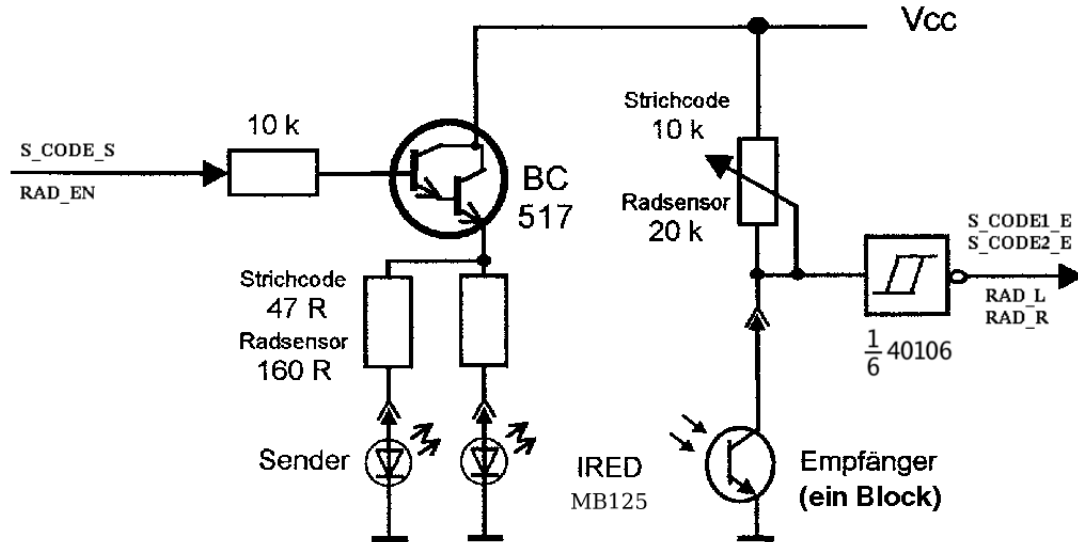


Bild 4.9: Schaltung der Sender und Empfänger für Strichcode- bzw. Radsensoren

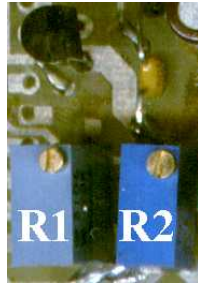
Die Strombegrenzung der Sendedioden erfolgt über einen in Reihe geschalteten Widerstand, welcher für den Strichcodeleser 47 Ω beträgt. Damit ergibt sich ein maximaler Sendestrom von ca. 60 mA während der Einschaltzeit der Sender. Die Übersteuerung ist notwendig, um den Code sicher aus ca. 1 cm Entfernung erkennen zu können. Um die IRED nicht zu beschädigen, sollte der Strichcodeleser pulsmoduliert mit dem Verhältnis 1:1 angesteuert werden.

Der Emittierreihenwiderstand für die Radsensoren beträgt 160 Ω. Daraus ergibt sich ein Sendestrom von ca. 20 mA, was aufgrund der kurzen Entfernung zur Reflexionsfläche von ca. 2,5 mm ausreicht. Ein Dauerbetrieb ist möglich.

Empfängerseitig kann der Arbeitspunkt über einen Regler eingestellt werden.

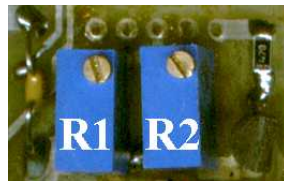
Leiterplatte

In den Bild 4.10 und 4.11 sind die Leiterplattenausschnitte für die Radsensoren und den Strichcodeleser zu finden. Dabei sind die regelbaren Widerstände gekennzeichnet und in ihrer Bedeutung erklärt.



- R1 Einstellung Empfindlichkeit Radsensor rechts
- R2 Einstellung Empfindlichkeit Radsensor links

Bild 4.10: Leiterplattenteil der Radsensoren



- R1 Einstellung Empfindlichkeit S_CODE2_E
- R2 Einstellung Empfindlichkeit S_CODE1_E

Bild 4.11: Leiterplattenteil des Strichcodelesers

4.4.5 Stosstangenauswertung

Jede Stosstange ist mit zwei Sensoren ausgestattet, um Kollisionen links und rechts erkennen zu können. Dafür werden Mikroschalter eingesetzt, wie in [5, Kapitel 3.2] beschrieben. Die Anzeige der Berührung erfolgt über grüne LED.

Die Schaltung für einen Taster ist in Bild 4.12 dargestellt¹.

Im Ruhezustand liefert die Schaltung einen Low-Pegel und die LED leuchtet. Wenn eine Kollision den Mikroschalter auslöst, dann erlischt die LED und es wird ein High-Pegel zurückgegeben.

¹Die Stosstangen-Schaltung wurde mehrfach überarbeitet und die entgeltliche Version erst nach dem Leiterplattenentwurf gefunden. Deshalb ist die Schaltung noch nicht auf der Grundleiterplatte aufgebaut, sondern vorerst direkt an den Stosstangen montiert.

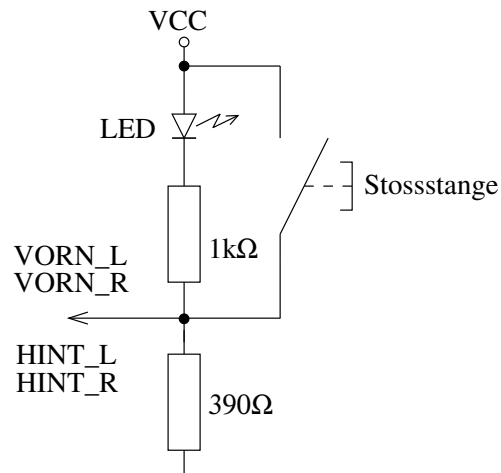


Bild 4.12: Schaltung der Stosstangenauswertung

4.5 Spannungsstabilisierung

Die Spannungsversorgung des „ASIC-Robos“ erfolgt über 6 R6 Akkuzellen. Diese stellen je nach Ladezustand eine Spannung von 6,5 V (leer) bis 8,5 V (voll) bereit. Die Schaltungen müssen jedoch immer mit einer konstanten Spannung von 5 V versorgt werden. Dafür dient die hier vorgestellte Schaltung zur Spannungsstabilisierung.

Schaltung

Für die Erzeugung einer stabilisierten Betriebsspannung wurde die in Bild 4.13 dargestellte Schaltung aus den Unterlagen zum „ASIC-Auto“ übernommen.

Das Regelungsprinzip der Stabilisierungsschaltung beruht auf Gegenkopplung. Abhängig von der Ausgangsspannung wird der Steuertransistor an der Basis des pnp-Transistors weiter geöffnet (VCC steigt) oder geschlossen (VCC sinkt). Die Veränderung des Emittor-Kollektor-Bahnwiderstandes führt dazu, dass sich die Ausgangsspannung auf den mittels Regler R2 eingestellten Wert einpegelt.

Um Regelspannungsschwingungen entgegenzuwirken, wurde ein 6,8 nF Kondensator an die Basis des Miniplasttransistors (Mittelabgriff des Reglers) geschalten.

Eine Z-Diode am Eingang als Überspannungs- bzw. Verpolungsschutz ist auf dieser Grundleiterplatte nicht notwendig. Für den Anschluss der Akkumulatoren wird ein verpolungssicherer Steckverbinder verwendet.

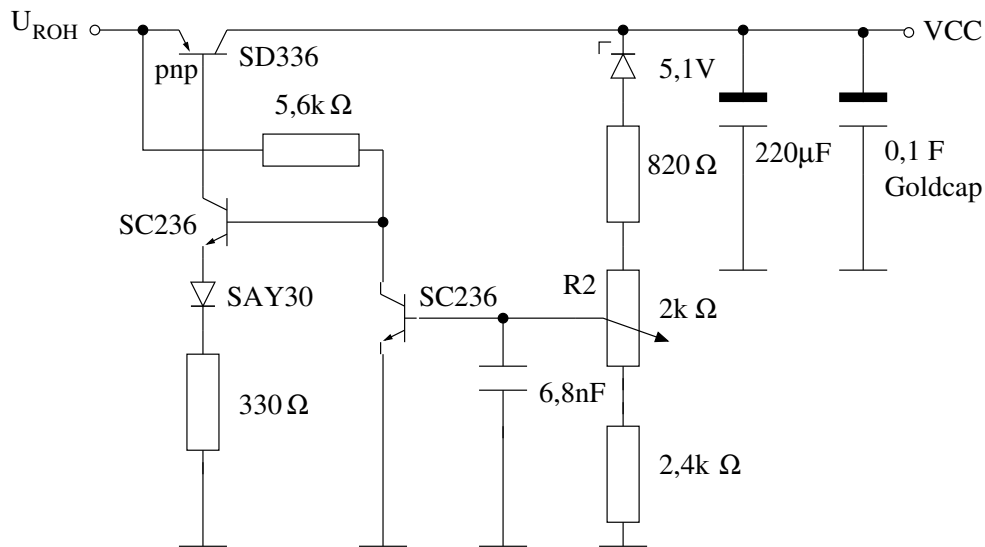


Bild 4.13: Schaltung der Spannungsstabilisierung (auf Modulleiterplatte LP1)

Um Spannungseinbrüche beim Anlaufen der Antriebsmotoren sowie der Servos zu verhindern, wurde ein Kondensator mit hoher Kapazität bei kleiner Bauform am Ausgang der Schaltung eingesetzt.

Unterspannungsanzeige

Die Schaltung für die Unterspannungsanzeige ist in Bild 4.14 dargestellt. Die Signal-LED für unzureichende Akkuspannung ist selbst-blinkend und befindet sich auf der Basisplatte.

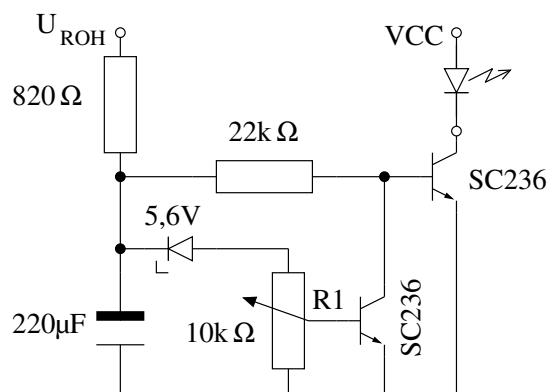


Bild 4.14: Schaltung der Unterspannungsanzeige (auf Modulleiterplatte LP1)

Über einer 5,6 V Z-Diode wird die Akkuspannung gemessen. Die Schwellspannung lässt sich mittels des Reglers R1 sehr genau einstellen. Der nachfolgende Transistor negiert lediglich das Signal des ersten und passt dadurch die Schaltung bezüglich der Bedeutung von Leuchten und nicht-Leuchten an. Die LED blinkt somit bei schwacher Akku-Spannung und signalisiert, dass der Akku geladen werden muss.

Um die gesamte Teilschaltung unempfindlicher gegenüber kurzzeitigen Schwankungen der Akkuspannung zu machen, puffert ein 220 μF Kondensator nochmals die Spannung über der Z-Diode. Durch diesen Pufferkondensator werden auch Fehlauflösungen der Unterspannungsanzeige vermieden, welche sonst unter hoher Last auftreten könnten.

Leiterplatte

Die Modul-Leiterplatte LP1 ist in Bild 4.15 dargestellt. Die regelbaren Widerstände sind gekennzeichnet.



- R1 Einstellung der Schaltschwelle für die Unterspannungsanzeige
- R2 Einstellung der Ausgangsspannung

Bild 4.15: Modul-Leiterplatte LP1 zur Spannungsstabilisierung

4.6 Ansteuerung der Fahrmotoren

Die Drehzahl des Fahrmotors wird durch das Tastverhältnis des Motorsignals bestimmt. Im „ASIC-Robo“ werden zwei unabhängige Motoren genutzt, weshalb die in Bild 4.16 gezeichnete Schaltung doppelt vorhanden ist.

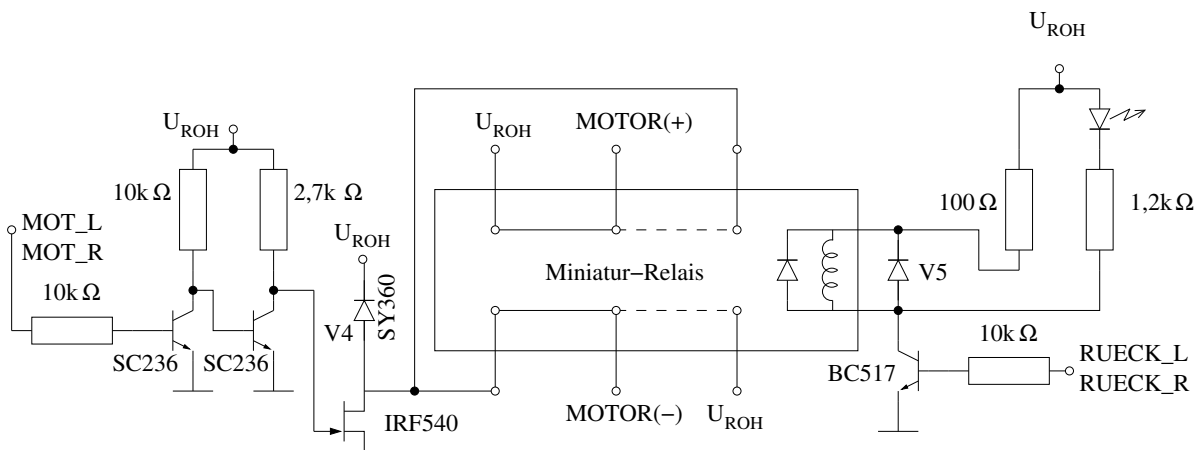


Bild 4.16: Schaltung für die Ansteuerung eines Fahrmotors (auf Modulleiterplatte LP2)

Das Motorsignal ist High-Aktiv. Der auch auf High-Pegel durchschaltende n-Kanal-Leistungs-MOSFET IRF540 für den Motor könnte nun theoretisch direkt aus dem Ausgang des Anwenderschaltkreises getrieben werden.

Der Fahrmotor und dessen Leistungs-MOSFET werden allerdings unmittelbar mit der Akkuspannung versorgt, weil hier grössere Ströme zur Verfügung stehen. Eine Stabilisierung der Spannung ist hierfür nicht notwendig.

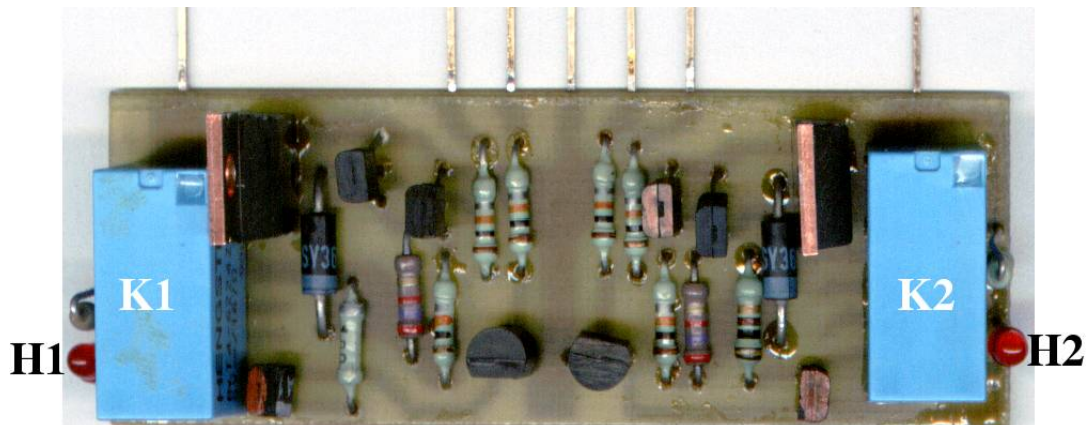
Würde man das Gate des Leistungs-MOSFET nur mit 4,8 V aus dem Anwenderschaltkreis ansteuern und nicht mit der vollen Akkuspannung von ca. 6,5 V, so könnte der Transistor nicht vollständig durchschalten und es entstünde eine Verlustleistung auf Grund des erhöhten Bahnwiderstandes.

Im Testaufbau wurde ein dynamischer Bahnwiderstand des IRF540 von $0,2 \Omega$ bei 4,8 V Gate-Spannung und 830 mA Motorstrom gemessen. Der typische Bahnwiderstand von $0,077 \Omega$ (laut Datenblatt) wird erst bei höheren Gatespannungen erreicht. Deshalb ist es notwendig, die Ansteuerspannung an die Akkuspannung anzugleichen. Ein Transistor-Doppel-Inverter übernimmt diese Aufgabe.

Die Diode V4 garantiert einen definierten High-Pegel am Drain-Anschluss des IRF540, wenn der Transistor sperrt.

Um die Drehrichtung der Räder umschalten zu können, wurde ein Miniaturrelais mit zwei getrennten Umschaltern eingesetzt. Dieses wird durch einen Darlingtontransistor BC517 angesteuert und dessen Zustand mit einer LED angezeigt. Die Diode V5 dient hierbei dem Schutz des Relais.

Die Modul-Leiterplatte LP2 ist in Bild 4.17 dargestellt, wobei die Leuchtdioden zur Rückfahranzeige gekennzeichnet sind.



- H1 Rückfahranzeige Motor links
- H2 Rückfahranzeige Motor rechts
- K1 Relais Motor links
- K2 Relais Motor rechts

Bild 4.17: Modul-Leiterplatte LP2 zur Fahrmotoransteuerung

4.7 Fahrspurabtastung

Das Prinzip der Fahrspurabtastung, die Sensoranordnung und Bezeichnung ist in [5, Kapitel 3.1] vorgestellt.

Es wurde dort auch schon auf das Signalspiel der Fahrspur-Sende-IREDD eingegangen. Ansteuerung, Auswertung und Digitalisierung erfolgen im Zeitmultiplexverfahren. Dies ermöglicht die gepulste Ansteuerung mit dem doppelten Maximalstrom, um die Erkennungsleistung der Sensoren zu verbessern. Durch die Multiplex-Ansteuerung wird auch ein Übersprechen der Nachbarempfänger verhindert.

Das in Bild 4.18 dargestellte 4-Bit-Schieberegister mit nachgeschalteten Stromverstärkerstufen erzeugt die Aktivierungssignale der Sendele-LED. Die Fahrspur wird einmal innerhalb eines

Servogrundtaktes von 12,8 ms abgetastet, was einem Durchschieben einer „1“ entspricht. Der Schiebetakt UT_5 hat eine Periodendauer von 1,6 ms.

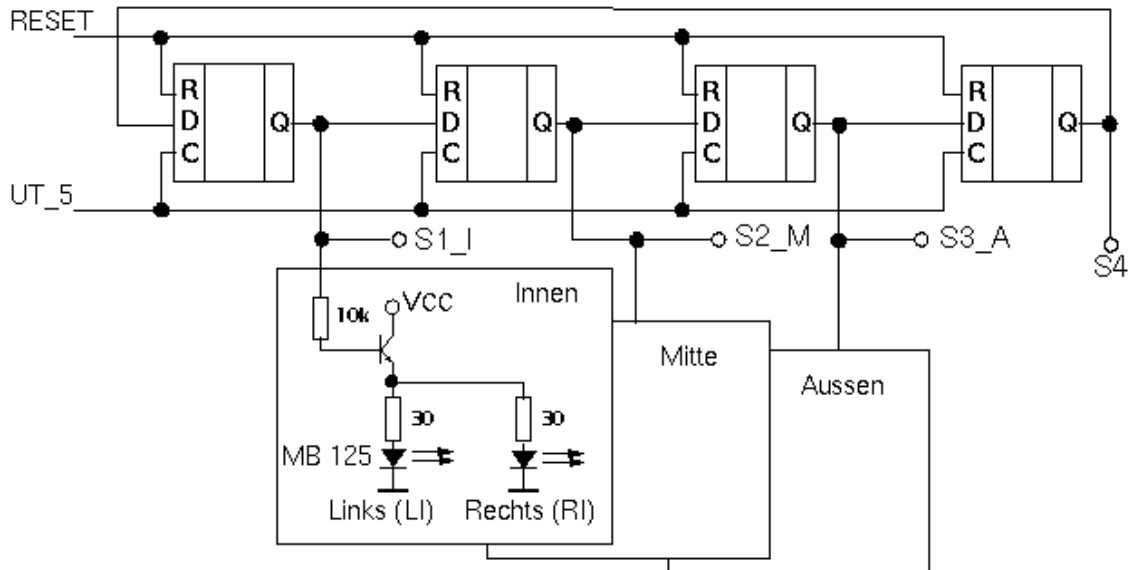


Bild 4.18: Ansteuerung der Infrarotsender zur Fahrspurabtastung (auf Modulleiterplatte LP3)

Um eine optimale Anpassung an die verwendete Fahrspur bzw. an die Reflexionseigenschaften des verwendeten Materials zu gewährleisten, wurde der Arbeitspunkt der Empfänger-Fototransistoren einstellbar gestaltet. Das empfangene Analogsignal wird über einen A/D-Wandler (Triggerschaltkreis) geführt und mit den entsprechenden Sendersignalen des Schieberegisters verknüpft, um Fremdlicht- und Übersprecheinflüsse auszublenden.

Dies erfolgt über eine Torschaltung, deren Ausgang mit der jeweiligen LED zur Fahrspuranzeige verbunden ist und auf den Steckverbinder C2 (siehe Seite 12) geführt wird.

Bild 4.19 zeigt beispielhaft die Schaltung des Empfängerteils für den linken inneren Sensor. Das Ausgangssignal ist Low-Aktiv, d. h. die blaue Kontroll-LED leuchtet bei Schwarzerkennung. Sowohl das Schieberegister für die Ansteuerung als auch die Torschaltung für den Empfang sind im PZ 5032-Schaltkreis (siehe Seite 22) integriert.

Die Modul-Leiterplatte LP3 ist in Bild 4.20 dargestellt, wobei die vorhandenen Regler und Anzeigen gekennzeichnet und erklärt sind.

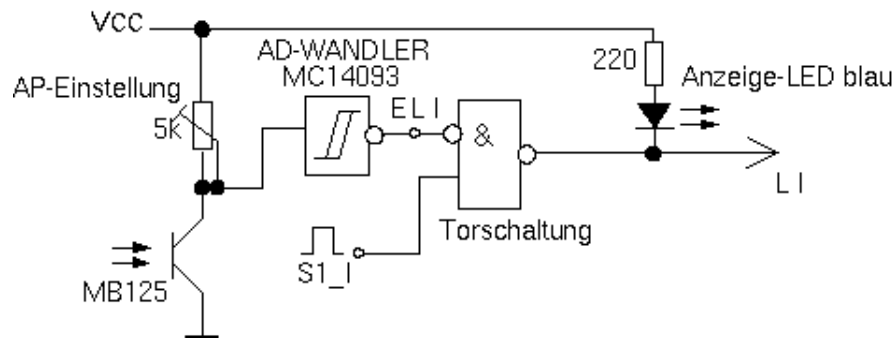
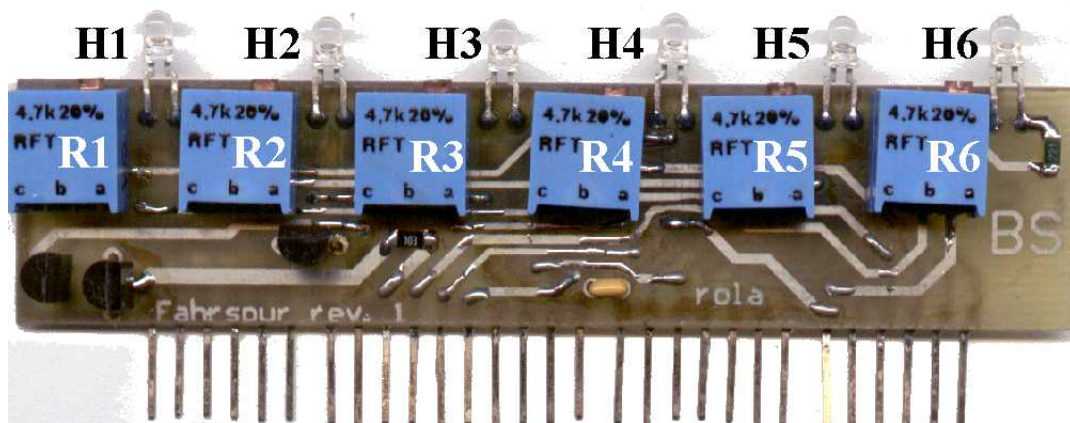


Bild 4.19: Empfängerschaltung der Fahrspurabtastung am Beispiel LI (auf Modulleiterplatte LP3)



- R1 Einstellung Empfindlichkeit Sensor rechts Aussen
- R2 Einstellung Empfindlichkeit Sensor rechts Mitte
- R3 Einstellung Empfindlichkeit Sensor rechts Innen
- R4 Einstellung Empfindlichkeit Sensor links Innen
- R5 Einstellung Empfindlichkeit Sensor links Mitte
- R6 Einstellung Empfindlichkeit Sensor links Aussen
- H1 Anzeige Sensor rechts Aussen
- H2 Anzeige Sensor rechts Mitte
- H3 Anzeige Sensor rechts Innen
- H4 Anzeige Sensor links Innen
- H5 Anzeige Sensor links Mitte
- H6 Anzeige Sensor links Aussen

Bild 4.20: Modul-Leiterplatte LP3 zur Fahrspurabtastung

4.8 Entfernungsbestimmung

Im „ASIC-Robo“ können zwei Entfernungssensoren gleichzeitig betrieben werden, was den Einsatz von zwei unabhängigen Schaltungen erfordert. Beide Schaltungen haben den gleichen Aufbau, weshalb sich die Darstellung hier stellvertretend auf eine davon beschränkt. Die verwendeten Sensoren sind in [5, Kapitel 3.4] beschrieben.

Der Entfernungssensor liefert ein analoges Signal, das digital aufbereitet wird.

Die gewählte Realisierung teilt das Sensorsignal in 4 Stufen ein, die als *Nah*, *Mittel*, *Fern* und *kein Objekt* bezeichnet werden.

Durch die Beschränkung auf nur vier Entfernungsbereiche ist die Schaltung für die Signalaufbereitung einfach und platzsparend zu realisieren. Auch spricht die begrenzte Anzahl an verfügbaren Anschlusspins am FPGA für eine Realisierung mit wenigen Signalleitungen.

Vier Entfernungsbereiche erscheinen in Bezug auf die gestellten Aufgaben als ausreichend. Schliesslich muss jede zusätzliche Information mit steigendem Aufwand ausgewertet werden, weshalb eine höhere Auflösung nicht automatisch auch eine Leistungssteigerung bedeutet.

Die Zustandskodierung erfolgt über Schwellwertschalter, wobei jeder Entfernungsschwelle eine separate Leitung zugeordnet wurde.

Durch eine binäre Umkodierung hätte eine Leitung eingespart werden können, worauf aber verzichtet wurde, weil der dafür zu betreibende Aufwand hier nicht gerechtfertigt wäre.

Ob die Beschränkung auf die vier gewählten Entfernungsbereiche richtig ist, wird sich im praktischen Einsatz zeigen.

Signalwerte

Die generierten Signale sind Low-Aktiv, die Zuordnung und typische Entfernungsbereiche sind in Tabelle 4.2 aufgeführt.

Entfernung Farbe LED	Fern grün	Mittel gelb	Nah rot	Bereich
kein Objekt	1	1	1	über 60 cm
Fern	0	1	1	30 - 60 cm
Mittel	0	0	1	15 - 30 cm
Nah	0	0	0	bis 15 cm

Tabelle 4.2: Kodierung der Ausgangssignale mit Entfernungsbereich

Die Anzeige der Entfernung erfolgt über LED auf der Teil-Leiterplatte LP4, wie auch in Bild 4.22 auf Seite 42 zu sehen ist.

Realisierung

Die Digitalisierung des analogen Sensor-Wertes erfolgt durch Operationsverstärker, die als Komparatoren betrieben werden.

Jedes Signal (Fern, Mittel, Nah) wird über einen eigenen OPV (Operationsverstärker) generiert. Für den Feinabgleich ist die Referenzspannung über einen Regler kalibrierbar. In Bild 4.21 ist die Beschaltung für einen Komparator dargestellt.

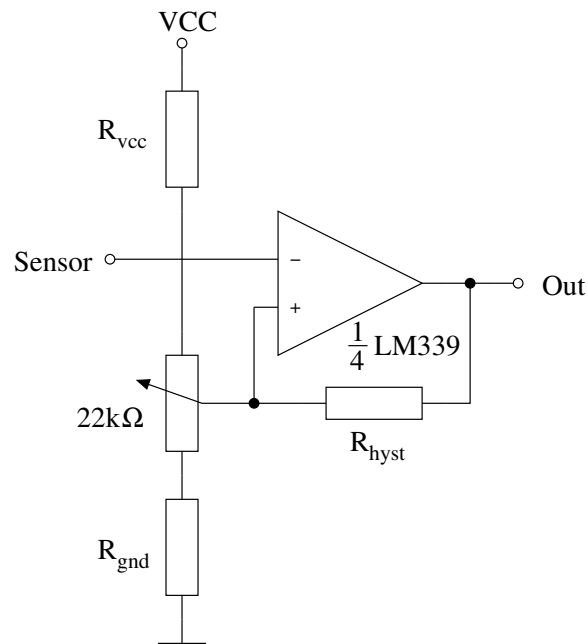


Bild 4.21: Beschaltung eines Komparators

Die dabei verwendeten Widerstandswerte sind in Tabelle 4.3 aufgeführt.

	$R_{vcc} / k\Omega$	$R_{hyst} / k\Omega$	$R_{gnd} / k\Omega$
Nah	51	150	27
Mittel	68	180	10
Fern	82	150	0

Tabelle 4.3: Widerstandswerte für die Komparatorblöcke

Die zwei einschränkenden Widerstände R_{vcc} und R_{hyst} für die Referenzspannung sind so gewählt worden, dass der Gesamtwiderstand immer ungefähr $100\text{ k}\Omega$ beträgt. Damit lassen sich folgende Entfernungsbereiche für die einzelnen Schaltschwellen einstellen:

Nah: 10 bis 20 cm (1,4 bis 2,4 V)

Mittel: 17 bis 65 cm (0,5 bis 1,6 V)

Fern: 30 bis 80 cm (0 bis 1,0 V)

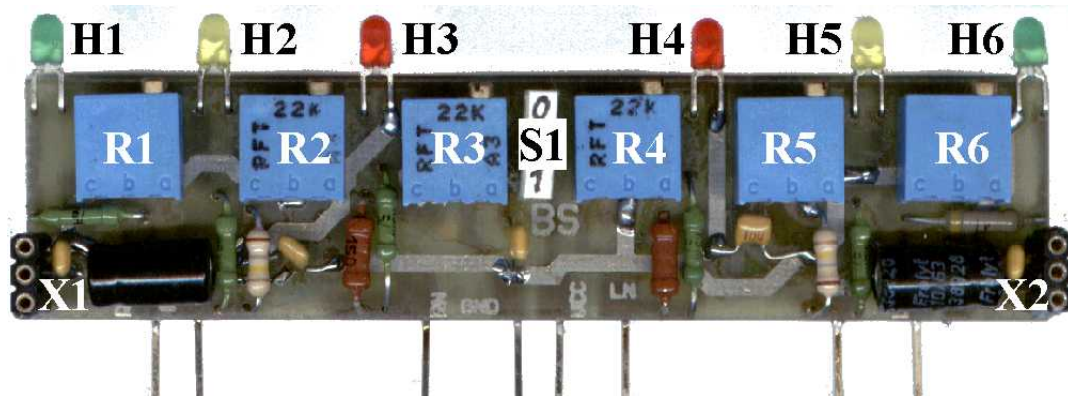
Die OPVs verfügen über keine Hysterese-Eigenschaft im Umschaltpunkt, weshalb die Komparatoren beim Erreichen der jeweiligen Umschaltspannung zu schwingen beginnen. Dieses Verhalten kann zu Problemen bei der zuverlässigen Erkennung der Entfernung führen, sowie Störungen in anderen Schaltungsteilen verursachen.

Deshalb wurde mit Hilfe der Widerstände R_{hyst} eine zusätzliche Hysterese-Maßnahme hinzugefügt. Die eingesetzten Widerstände müssen einerseits so gross sein, dass auch bei stärkerer Belastung kein unkontrolliertes hochfrequentes Schwingen der Signale auftritt. Andererseits sollten die Widerstandswerte gering genug sein, um den Hysteresebereich (bezogen auf die Entfernung) so klein wie möglich zu halten. Die hier aufgeführten Werte stellen einen empirisch ermittelten Kompromiss aus beiden Forderungen dar.

Eine andere Realisierung, die in die nähere Auswahl einbezogen wurde, war der Einsatz eines n -bit A/D-Wandlers anstatt der Komparatorschaltung.

Die Verwendung von Standardschaltkreisen macht weitere Entwurfsarbeit überflüssig, jedoch wäre keine externe Kalibrierung der einzelnen Schaltschwellen mehr möglich gewesen. Durch die nichtlineare Kennlinie des Sensors wäre die Signalauswertung mit hohem Aufwand verbunden, weshalb trotz der möglichen feineren Auflösung diese Realisierung verworfen wurde.

Die Modul-Leiterplatte LP4 ist in Bild 4.22 dargestellt, wobei die vorhandenen Regler und Anzeigen gekennzeichnet und erklärt sind. Die Belegung der Anschlüsse X1 und X2 ist im Anhang auf Seite 62 zu finden.



- R1 Einstellung Schaltschwelle rechter Sensor Fern
- R2 Einstellung Schaltschwelle rechter Sensor Mittel
- R3 Einstellung Schaltschwelle rechter Sensor Nah
- R4 Einstellung Schaltschwelle linker Sensor Nah
- R5 Einstellung Schaltschwelle linker Sensor Mittel
- R6 Einstellung Schaltschwelle linker Sensor Fern
- H1 Anzeige rechter Sensor Fern
- H2 Anzeige rechter Sensor Mittel
- H3 Anzeige rechter Sensor Nah
- H4 Anzeige linker Sensor Nah
- H5 Anzeige linker Sensor Mittel
- H6 Anzeige linker Sensor Fern
- S1 Betriebsspannung für diesen Schaltungsteil
- X1 Anschluss rechter Sensor
- X2 Anschluss linker Sensor

Bild 4.22: Modul-Leiterplatte LP4 zur Entfernungsbestimmung

5 Anwenderplatine

5.1 Der FPGA

Der Xilinx-FPGA XC4010E ist die Hauptkomponente der Anwenderplatine. Die Pinbelegung des Schaltkreises ist in Bild 5.1 dargestellt.

Die Bedeutung aller globalen Signale, ist auf Seite 13 beschrieben.

Darüber hinaus werden folgende Signale nur auf der Anwenderleiterplatine verwendet:

SERVO_L	Servo zum Schwenken des linken Entfernungssensors (in Fahrtrichtung betrachtet)
SERVO_R	Servo zum Schwenken des rechten Entfernungssensors (in Fahrtrichtung betrachtet)
ROT, GRUEN	Signale des Infrarotdetektors für Team „Rot“ und Team „Grün“; siehe Punkt „Infrarotsensor-Statusanzeige“ auf Seite 45
LCD_D0..3, LCD_RS, LCD_E, LCD_RW	Interface zu dem Anzeigemodul, welches in [5, Kapitel 3.5] beschrieben ist
TP1..4	Testpunkte und Schalter
TP5, TP6	Testpunkte und Anzeige Konfigurationsvorgang
DONE, DIN, CCLK	Interface zu dem Konfigurations-EEPROM; siehe nächstes Kapitel und Bild 5.2
/PROGRAM	manuelle Konfiguration auslösen

Weiter Informationen über den XC4010E können in [4] nachgelesen werden, wo auch ausführlich auf die hier nicht erwähnten Pins eingegangen wird.

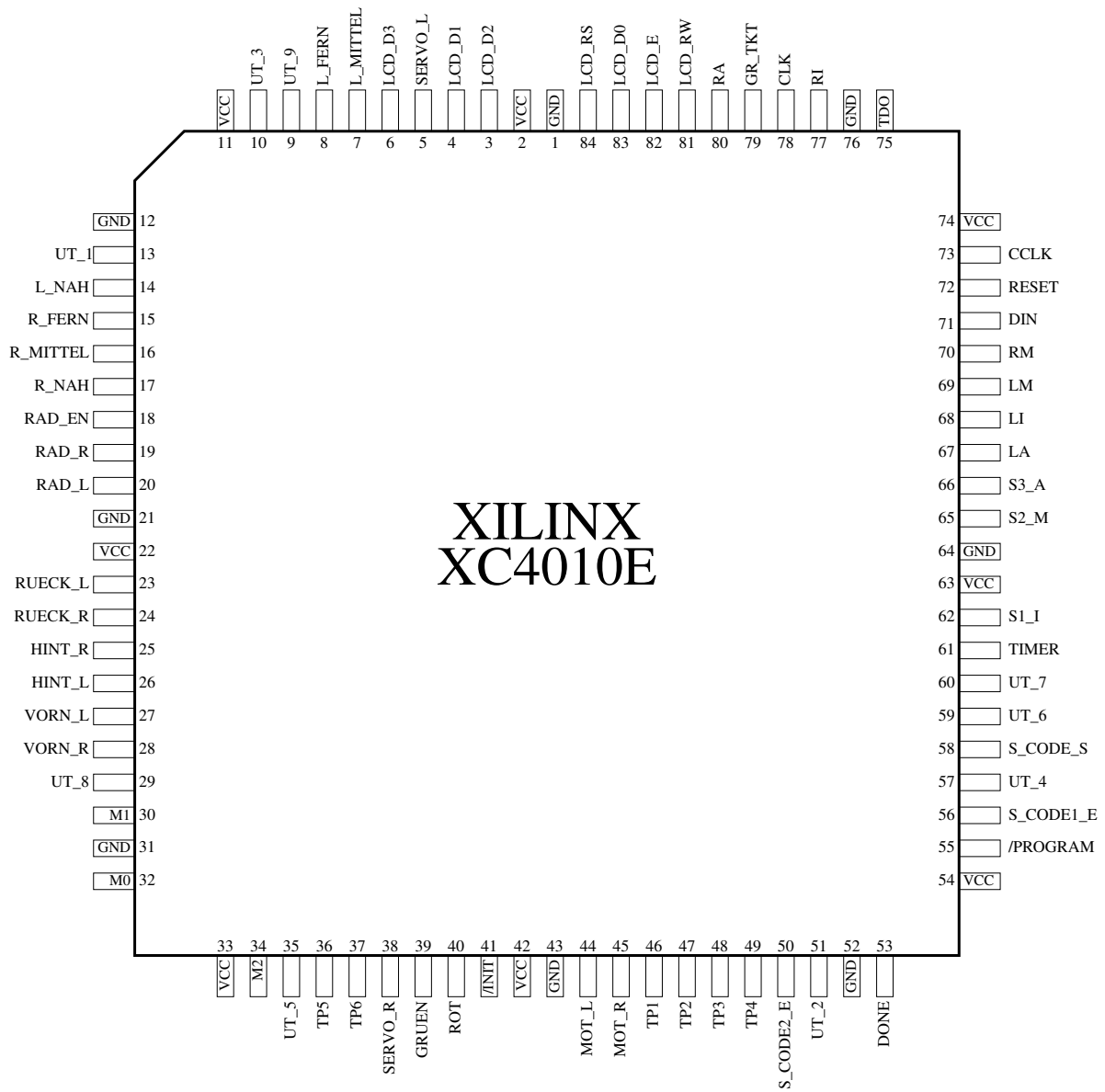


Bild 5.1: Pinbelegung des FPGA XC4010E

5.2 Weitere Beschaltung

Neben dem FPGA befinden sich noch folgende Komponenten auf der Anwenderplatine:

Konfigurations-EEPROM Der EEPROM-Schaltkreis für die Konfigurationsdaten ist mit der Steckerbuchse für das Download-Kabel und einem Umschalter verbunden, der zwischen FPGA-Konfigurieren und EEPROM-Laden auswählt. Die in Bild 5.2 abgebildete Programmierschaltung ist aus [1] entnommen.

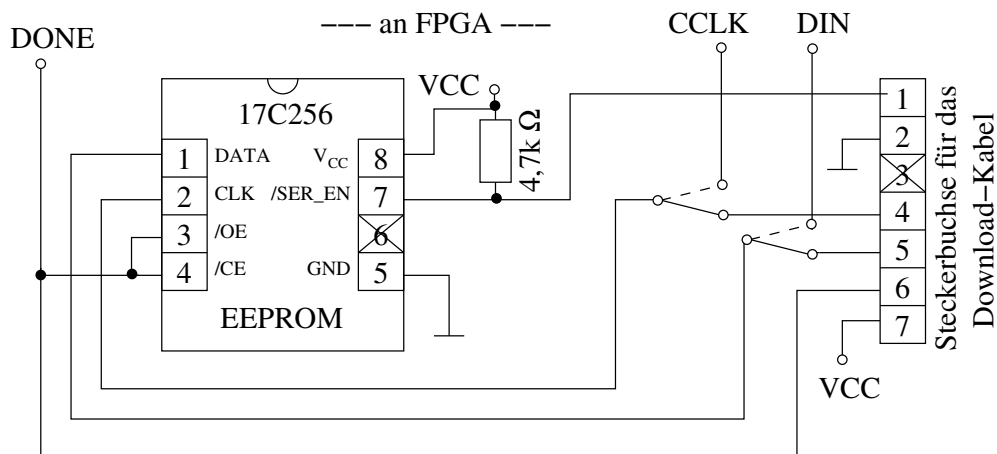


Bild 5.2: Konfigurationsschaltung mit EEPROM

Vier Testpunkte Diese sind als Anzeige nutzbar, wobei die Ansteuerung High-Aktiv erfolgt. Über den dazugehörigen Schalter können diese auch als Input-Pins benutzt werden. Sie sind an die Pins 46 bis 49 angeschlossen. Die verwendete Schaltung ist in Bild 5.3 dargestellt.

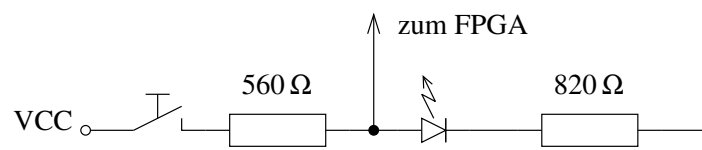


Bild 5.3: Schaltung für einen Testpunkt zur Aus- und Eingabe

Programmier-LED Zwei LED zeigen den Konfigurationsvorgang an. Nach der Konfiguration können diese als Anzeigepunkte verwendet werden.

Dabei ist das Pin 36 (TP5) High-Aktiv, das Pin 37 (TP6) Low-Aktiv anzusteuern.

Infrarotsensor-Statusanzeige Das Ergebnis des Infrarotdetektors wird von zwei LED angezeigt, die Team „Rot“ und Team „Grün“ symbolisieren. Über eine Jumperbank ist die

Zuordnung zwischen Sensor und Anwenderplatine vertauschbar. Damit ist es möglich, unabhängig von der Teamzuteilung im „Roboking“-Wettbewerb die gewünschte Teamfarbe umzustellen. Man braucht seinen Entwurf zum Reagieren auf die „Labyrinth-Bojen“ nicht zu ändern.

Die möglichen Jumperbelegungen sind in Bild 5.4 aufgeführt.

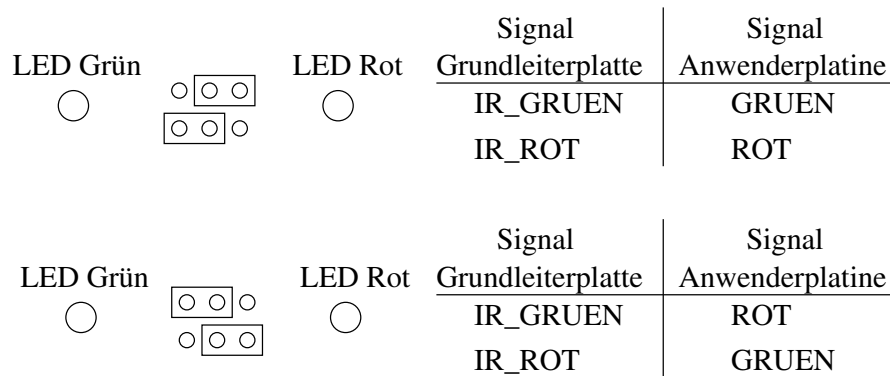


Bild 5.4: Jumperbelegung für die Infrarotsensor-Statusanzeige

Reset-Taster High-Aktives Reset-Signal.

Programm-Taster Low-Aktives Programmier-Signal zum Rekonfigurieren des FPGA.

Messpunkte Mehrere Antastpunkte für die LED, Motoren, Servos und Masse ermöglichen eine einfache Kontrolle der Signale und bequemes Anklemmen der Messkabel.

Vier Aktivierungsschalter Über je einen Schalter kann der Signalweg für beide Fahrmotoren und die zwei Servos, welche die Entfernungsdetektoren tragen, unterbrochen werden. Im Testbetrieb ist somit eine Beschädigung der Aktoren durch falsche Ansteuerung ausgeschlossen, die Signale liegen aber trotzdem an den Messpunkten an.

Anschluss für Anzeige Über zwei Steckerleisten können die in [5, Kapitel 3.5] vorgestellten Anzeigemodule auf die Anwenderplatine gesteckt werden. Eine zuschaltbare Hintergrundbeleuchtung und ein Kontrastregler vervollständigen den Anzeigeblock.

Anschlusstecker Stecker für die Servos zur Entfernungsmessung, das Download-Kabel und die Anzeige. Der Infrarot-Detektor kann ebenfalls steckbar montiert werden.

5.3 Leiterplatte

Die Leiterplatte ist in Bild 5.5 dargestellt¹. Anschlüsse, Anzeigen und Einstellregler sind gekennzeichnet und ihre Bedeutung aufgeführt.

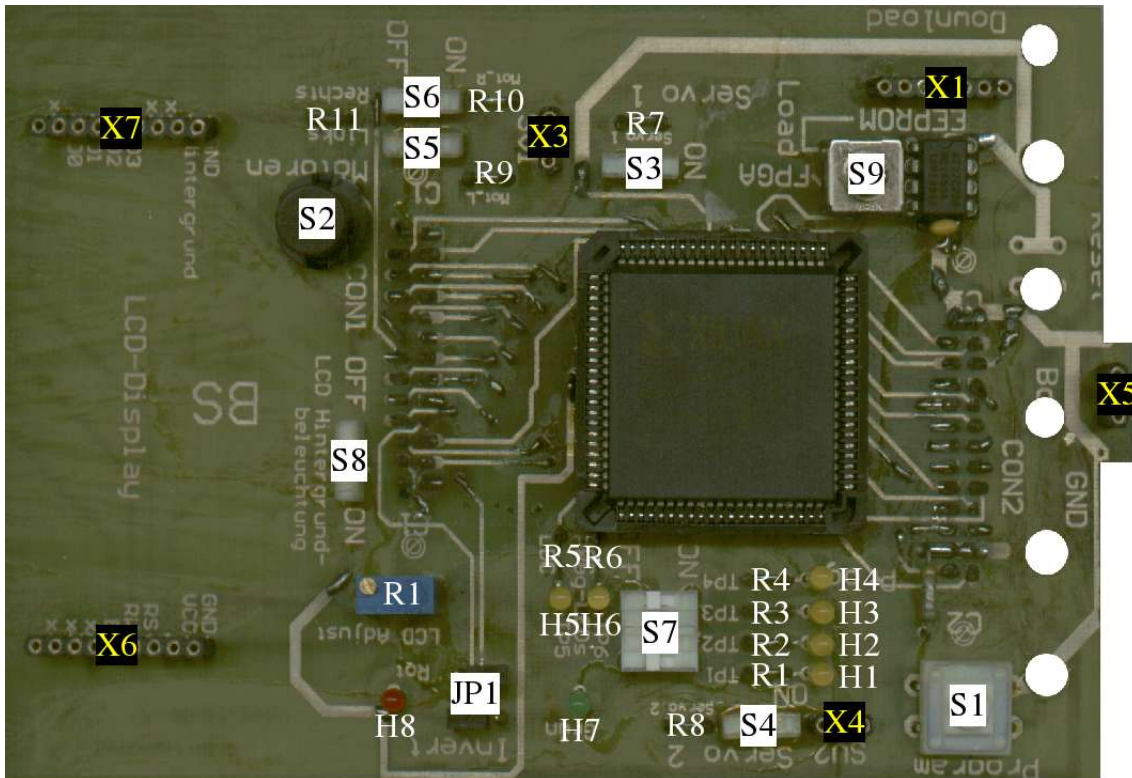


Bild 5.5: Anwenderplatine

R1	Kontrasteinstellung der Anzeige
S1	Programm-Taster
S2	Reset-Taster
S3	Aktivierungsschalter für linken Servo
S4	Aktivierungsschalter für rechten Servo
S5	Aktivierungsschalter für linken Motor
S6	Aktivierungsschalter für rechten Motor
S7	Schalter für die Testpunkte (4 DIL-Schalter)
S8	Aktivierungsschalter für die Hintergrundbeleuchtung der Anzeige

¹Dem aufmerksamen Leser wird aufgefallen sein, dass die Darstellung der Leiterplatte von dem Bestückungsplan im Anhang abweicht. Die Ursache liegt darin, dass einige Fehler beim Aufbau des Prototypen behoben werden mussten, um diesen fertigen zu können.

S9	Umschalter EEPROM/FPGA laden
JP1	Jumperbank für Infrarotdetektor-Zuordnung
H1..4	Testpunkt-LED 1..4
H5	Programm-LED und Testpunkt 5
H6	Programm-LED und Testpunkt 6
H7	Team „Grün“ (Infrarot-Sensor)
H8	Team „Rot“ (Infrarot-Sensor)
X1	Anschluss Download-Kabel
X2	Bezeichner nicht vergeben
X3	Anschluss linker Servo
X4	Anschluss rechter Servo
X5	Anschluss Infrarot-Sensor
X6	Anschluss Anzeige (Pin 1 bis 9)
X7	Anschluss Anzeige (Pin 10 bis 18)
R1..6	Anmesspunkte Testpunkte 1..6
R7	Anmesspunkt linker Servo
R8	Anmesspunkt rechter Servo
R9	Anmesspunkt linker Motor
R10	Anmesspunkt rechter Motor
R11	Anmesspunkt Masse

Die Belegung der Anschlüsse X1 bis X5 ist im Anhang auf Seite 66 zu finden.

5.4 Konfiguration des FPGA-Schaltkreises

Der FPGA bezieht seine Konfigurationsdaten aus dem EEPROM auf der Anwenderplatine.

Um die Programmierdaten in den nichtflüchtigen Speicher zu übertragen, sind folgende Schritte auszuführen:

- Download-Kabel vom „ASIC-Robo“ abziehen
- Schalter auf Stellung „FPGA-Konfig“
- „ASIC-Robo“ einschalten
- Schalter auf Stellung „EEPROM laden“
- Download-Kabel anstecken
- Programmieren mit dem Kommando
`eeprog -w -t 128 datei.bin`
- Optional: Vergleich auf fehlerfreie Übertragung mit dem Kommando
`eeprog -f -t 128 datei.bin`
- Download-Kabel abziehen
- Schalter auf Stellung „FPGA-Konfig“
- Programm-Taster betätigen

Der FPGA wird in der Schalterstellung „FPGA-Konfig“ mit dem Inhalt des EEPROM konfiguriert. Der Vorgang wird durch Anlegen der Versorgungsspannung automatisch ausgelöst, durch Betätigen des Programm-Tasters ist eine manuelle Rekonfiguration möglich.

5.5 Funktionstests

Um Funktion und Zusammenspiel der Komponenten des „ASIC-Robos“ zu testen, wurden nach der Montage mehrere Testprogramme erstellt.

Sie wurden mit dem Entwurfstool „LogIC2“ der Firma ISDATA entwickelt. Folgende Funktionen wurden dabei einzeln getestet und dann in einem Projekt vereint:

- Motoransteuerung
- Lenkung
- Stosstangen vorn und hinten
- Strichcodeleser
- LED-Anzeige
- LCD-Anzeige

Mit dem resultierenden Design kann der Roboter der Fahrspur des „ASIC-Autos“ folgen. Ein Frontalstoss oder das Überfahren des Strichkodes „7“ führt zum kurzen Rückwärtsfahren und einer 180° - Wendung auf der Stelle.

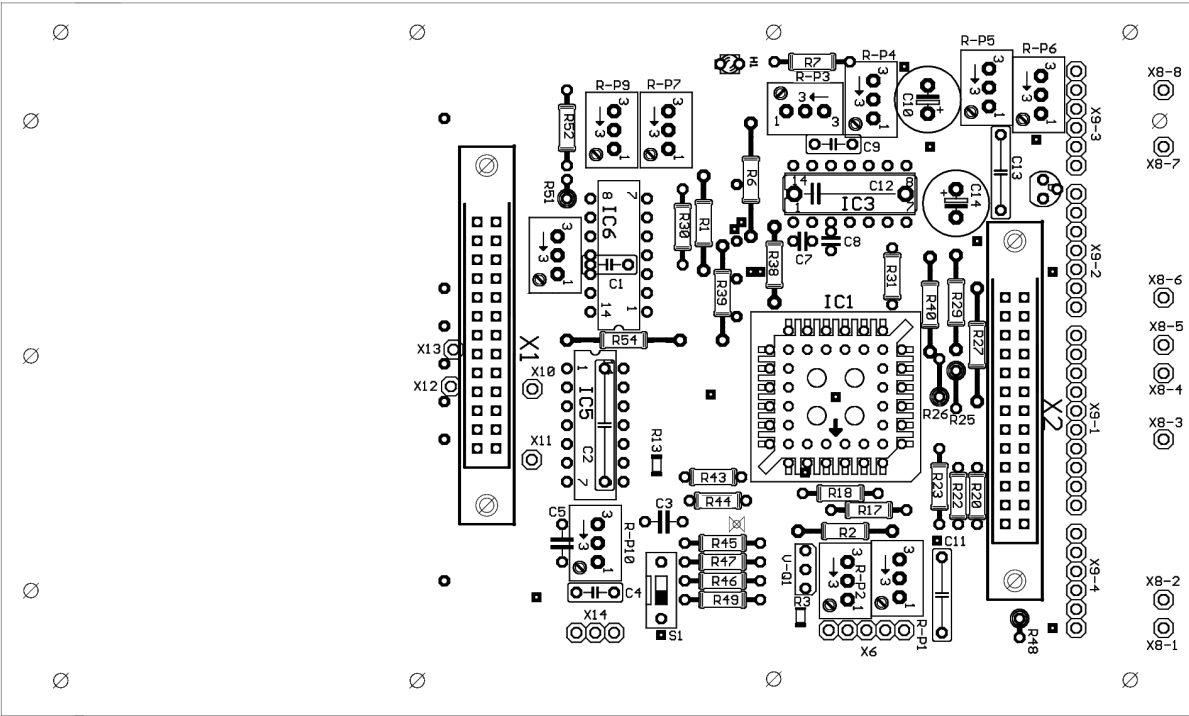
Anhang A

Leiterplattenpläne

A.1 Basisplatine

Bestückungsplan

Bestückungsseite



Anschlüsse und Drahtverbindungen

- X3 Motorplatine
- X4 Spannungsstabilisierungsplatine
- X6 Verbindung zu Strichcodeleser
 - Pin 1: Masse (an C11)
 - Pin 2: Empfang von S-CODE2_E
 - Pin 3: Empfang von S-CODE1_E
 - Pin 4: Sendesignal eines Strichcodelesers
 - Pin 5: Sendesignal eines Strichcodelesers (an R3)
- X8 Entfernungsplatine
- X9 Fahrspurplatine
- X10 Empfang Stossstange vorne links
- X11 Empfang Stossstange vorne rechts
- X12 Empfang Stossstange hinten links
- X13 Empfang Stossstange hinten rechts
- X50 Ansteuerung eines Rad-Sensors
- X51 Ansteuerung eines Rad-Sensors
- X52 Empfang Rad-Sensor links
- X53 Empfang Rad-Sensor rechts
- X54 Masse für Rad-Sensoren

Anmerkung:

Pin 4 und Pin 5 von X6 sind beide mit S_CODE_S verbunden.

X50 und X51 sind beide mit RAD_EN verbunden.

X8 = X8-1, X8-2, . . . , X8-8

X9 = X9-1, X9-2, X9-3, X9-4

Folgende Verbindungen sind mit Hilfe eines Kabels zusätzlich herzustellen:

X20-X21, X20-X22, X20-X23 (Versorgungsspannung)

X30-X31, X30-X32, X30-X33, X30-X34 (Masseleitung)

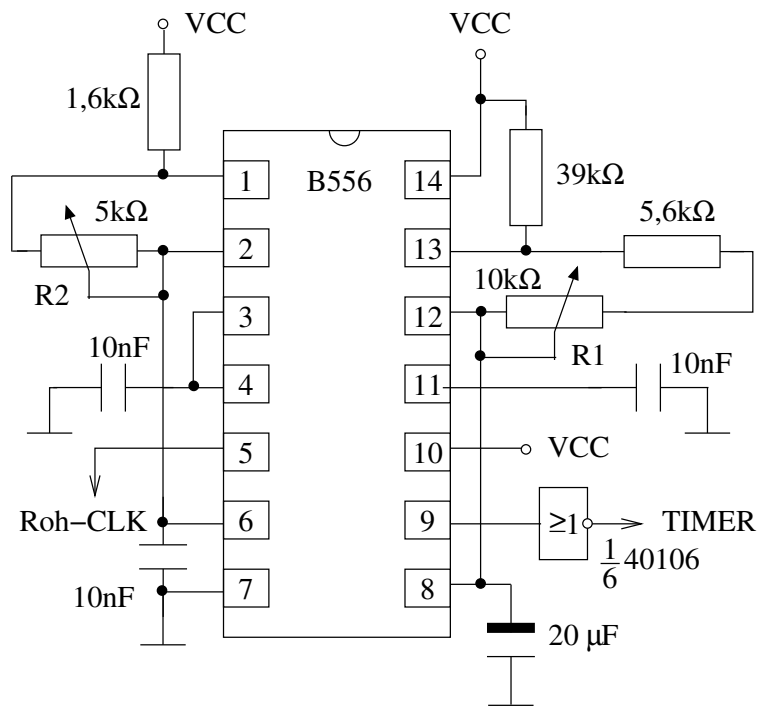
X40-X43, X41-X42 (Anschluss Infrarotsensor auf Anwenderplatine)

Stückliste

Lfd. Nr.	Stk.	Kurzzeichen	Benennung	Wert, Bemerkung
1	1	X4	Spannungsstabilisierung	Teil-Leiterplatte
2	1	X3	Motor-Treiber	Teil-Leiterplatte
3	1	X8	Entfernungserkennung	Teil-Leiterplatte
4	1	X9	Fahrspurerkennung	Teil-Leiterplatte
5	2	X1, X2	Steckerleiste 2x13, female	
6	1	IC1	Fassung PLCC-S44	für PZ 5032
7	1	IC1	CPLD PZ 5032	
8	2	IC2, IC4	Hex Schmitt Trigger (SMD) 40106	
9	1	IC3	Timer Generator B556 (DIL)	
10	1	IC5	Quad 2-Gate NAND 4011 (DIL)	
11	1	IC6	Quad OPV LM339 (DIL) bzw. TDB Q139D	
12	7	C7, C8, C9, C15, C16, C17, C18	Kondensator	10 nF, Primär als Block-C an PZ 5032
13	6	C1, C2, C5, C11, C12, C13	Kondensator	100 nF, Primär als Block-C
14	1	C3	Kondensator	330 nF
15	1	C10	Elektrolyt-Kondensator	20 μ F
16	2	C4, C14	Elektrolyt-Kondensator	47 μ F
17	1	R-P3	Regelbarer Widerstand, stehend	5 k Ω
18	3	R-P1, R-P2, R-P4	Regelbarer Widerstand, stehend	10 k Ω
19	2	R-P5, R-P6	Regelbarer Widerstand, stehend	20 k Ω
20	3	R-P7, R-P8, R-P9	Regelbarer Widerstand, stehend	22 k Ω
21	1	R-P10	Regelbarer Widerstand, stehend	100 k Ω
22	3	R3, R4, R16	Widerstand SMD	47 Ω
23	2	R11, R12	Widerstand SMD	160 Ω

Lfd. Nr.	Stk.	Kurzzeichen	Benennung	Wert, Bemerkung
24	1	R9	Widerstand SMD	220 Ω
25	1	R1	Widerstand	1,6 k Ω
26	1	R5	Widerstand SMD	1,6 k Ω
27	1	R7	Widerstand	5,6 k Ω
28	17	R10, R14, R19, R21, R24, R28, R32, R33, R34, R35, R36, R37, R41, R42, R50, R53, R55	Widerstand SMD	10 k Ω
29	23	R2, R17, R18, R20, R22, R23, R25, R26, R27, R29, R31, R38, R39, R40, R43, R44, R45, R46, R47, R48, R49, R52, R54	Widerstand	10 k Ω
30	1	R51	Widerstand	30 k Ω
31	1	R6	Widerstand	39 k Ω
32	1	R8	Widerstand SMD	51 k Ω
33	1	R30	Widerstand	58 k Ω
34	1	R13	Widerstand SMD	470 k Ω
35	1	S1	DIL-Schalter	
36	1	H1	LED, selbstblinkend, rot	
37	2	V-Q1, V-Q2	Darlington-Transistor BC517	

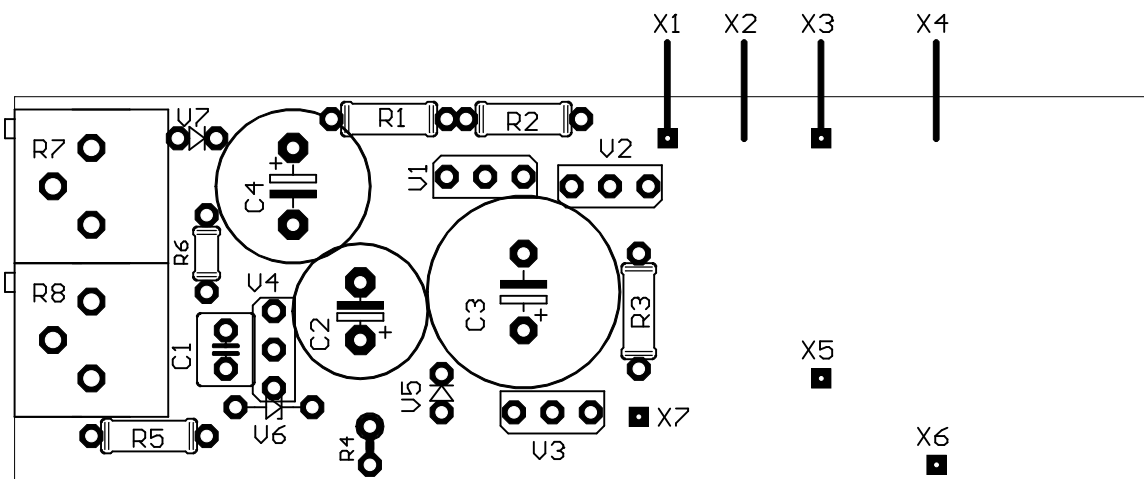
Randbeschriftung des B556-Oszillator-Schaltkreises



A.2 Spannungsstabilisierung

Bestückungsplan

Bestückseite



Anschluss des Leistungstransistors

V8 wird auf ein Kühlblech montiert und per Draht an die Leiterplatte angelötet

X5 Kollektor

X6 Emitter

X7 Basis

Das Kühlblech wird auf die freie Fläche der
Leiterplatte montiert.

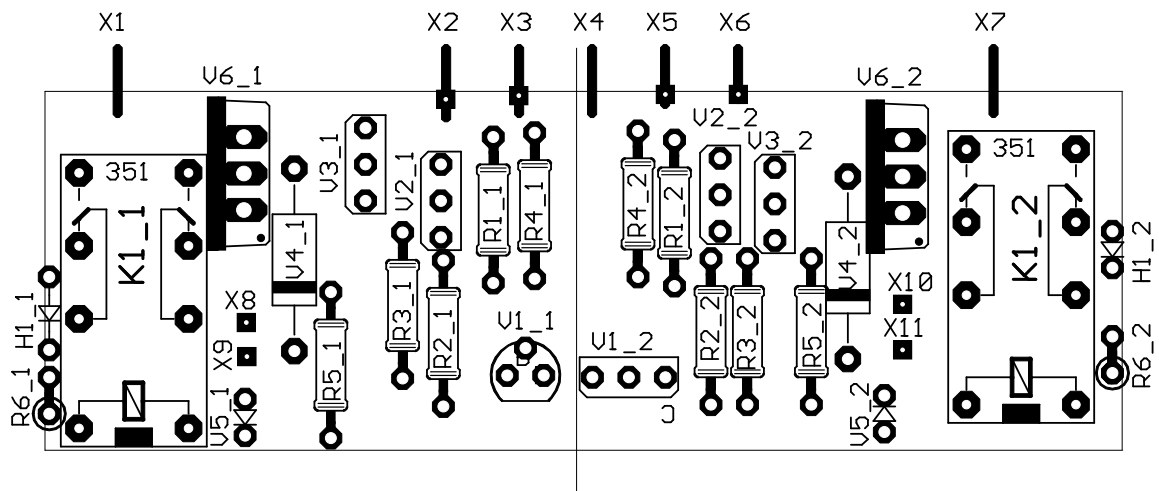
Stückliste

Lfd. Nr.	Stk.	Kurzzeichen	Benennung	Wert, Bemerkung
1	4	X1, X2, X3, X4	Pin-Stifte	Anschluss an Basis- LP
2	1	E	Kühlblech	für Leistungs-Transistor
3	1	V8	Leistungs-Transistor pnp SD336	
4	4	V1, V2, V3, V4	Transistor npn SC236	
5	1	V5	Diode SAY30	
6	1	V6	Z-Diode	5,1 V
7	1	V7	Z-Diode	5,6 V
8	1	C1	Kondensator	6,8 nF
9	2	C2, C4	Elektrolyt-Kondensator	220 μ F
10	1	C3	Elektrolyt-Kondensator	0,1 F, Gold-Cap
11	1	R8	Regelbarer Widerstand, liegend	2 k Ω
12	1	R7	Regelbarer Widerstand, liegend	10 k Ω
13	1	R3	Widerstand	330 Ω
14	2	R1, R5	Widerstand	820 Ω
15	1	R6	Widerstand	2,4 k Ω
16	1	R4	Widerstand	5,6 k Ω
17	1	R2	Widerstand	22 k Ω

A.3 Motortreiber

Bestückungsplan

Bestückseite



Anschluss der Motoren

- X8 Motor 1 Pluspol (linker Motor)
- X9 Motor 1 Minuspol (linker Motor)
- X10 Motor 2 Minuspol (rechter Motor)
- X11 Motor 2 Pluspol (rechter Motor)

Stückliste

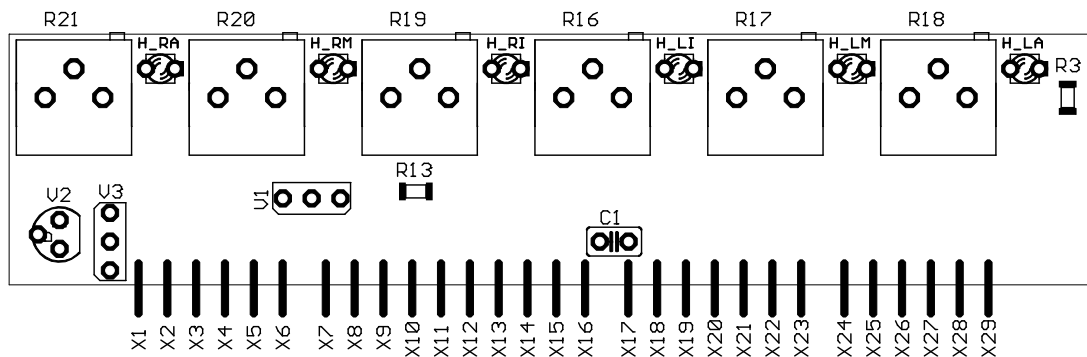
Lfd. Nr.	Stk.	Kurzzeichen	Benennung	Wert, Bemerkung
1	7	X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7	Pin-Stifte	Anschluss an Basis- LP
2	2	K1_1, K1_2	Relais 5V, Doppelschaltatz	
3	4	V2_1, V2_2, V3_1, V3_2	Transistor npn SC236	
4	2	V1_1, V1_2	Darlington-Transistor BC517	

Lfd. Nr.	Stk.	Kurzzeichen	Benennung	Wert, Bemerkung
5	2	V6_1, V6_2	MOS-Leistungstransistor IRF540	
6	2	H1_1, H1_2	LED, rot	Rückfahr-Anzeige
7	2	V4_1, V4_2	Diode SY360	Schutz für Motor
8	2	V5_1, V5_2	Diode	Schutz für Relais
9	2	R5_1, R5_2	Widerstand	100 Ω
10	2	R6_1, R6_2	Widerstand	1,2 k Ω
11	2	R3_1, R3_2	Widerstand	2,4 k Ω
12	6	R1_1, R1_2, R2_1, R2_2, R4_1, R4_2	Widerstand	10 k Ω

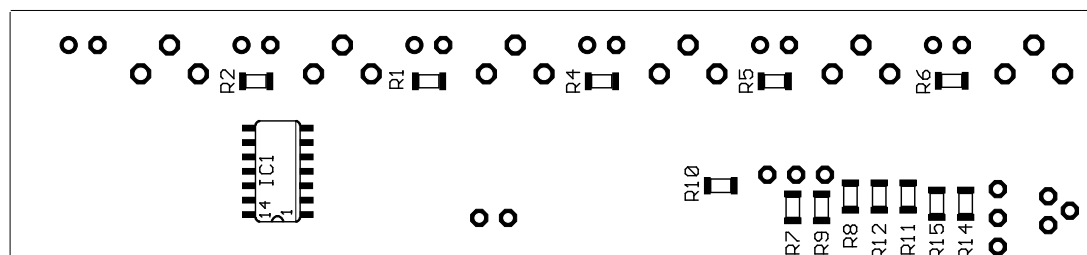
A.4 Fahrspur-Leiterplatte

Bestückungsplan

Bestückseite



Leiterseite



Anschlüsse

X1	Ansteuerung Sendediode links Aussen
X2	Ansteuerung Sendediode rechts Aussen
X3	Ansteuerung Sendediode links Mitte
X4	Ansteuerung Sendediode rechts Mitte
X5	Ansteuerung Sendediode links Innen
X6	Ansteuerung Sendediode rechts Innen
X19	Empfang Fahrspurdioden links Innen
X21	Empfang Fahrspurdioden links Mitte
X23	Empfang Fahrspurdioden links Aussen
X24	Empfang Fahrspurdioden rechts Aussen
X26	Empfang Fahrspurdioden rechts Mitte
X28	Empfang Fahrspurdioden rechts Innen

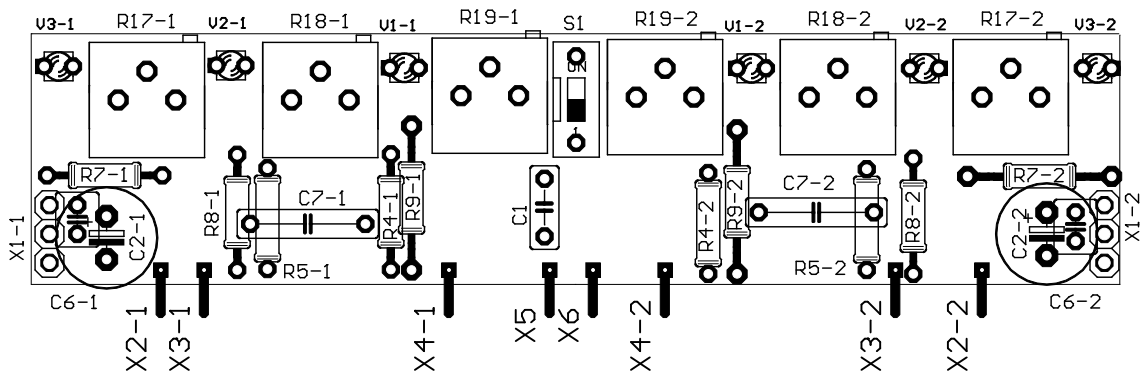
Stückliste

Lfd. Nr.	Stk.	Kurzzeichen	Benennung	Wert, Bemerkung
1	29	X1, X2, ..., X29	Pin-Stifte	Anschluss an Basis-LP
2	1	IC1	Hex Schmitt Trigger (SMD) 40106	
3	3	V1, V2, V3	Darlington-Transistor BC517	
4	1	C1	Kondensator	100 nF, Block-C
5	6	H_RA, H_RM, H_RI, H_LA, H_LM, H_LI	Low Current LED, blau	
6	6	R16, R17, R18, R19, R20, R21	Regelbarer Widerstand, liegend	5 k Ω
7	6	R8, R9, R11, R12, R14, R15	Widerstand SMD	30 Ω
8	6	R1, R2, R3, R4, R5, R6	Widerstand SMD	330 Ω
9	3	R7, R10, R13	Widerstand SMD	10 k Ω

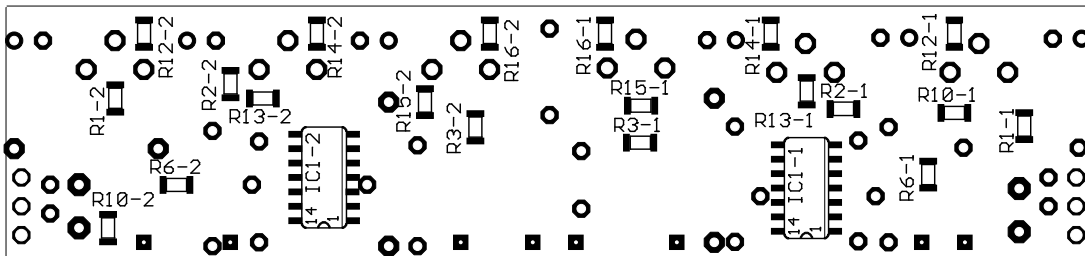
A.5 Entfernungs-Leiterplatte

Bestückungsplan

Bestückseite



Leiterseite



Anschlüsse

- X1-1 Verbindung zu rechten Entfernungssensor
 Pin 1: Masse (an R7-1)
 Pin 2: Sensorsignal
 Pin 3: Betriebsspannung (an Platinenrand)
- X1-2 Verbindung zu linken Entfernungssensor
 Pin 1: Masse (an R7-2)
 Pin 2: Sensorsignal
 Pin 3: Betriebsspannung (an Platinenrand)
- X2-1 Signal rechts Fern
- X3-1 Signal rechts Mittel
- X4-1 Signal rechts Nah
- X2-2 Signal links Fern
- X3-2 Signal links Mittel
- X4-2 Signal links Nah

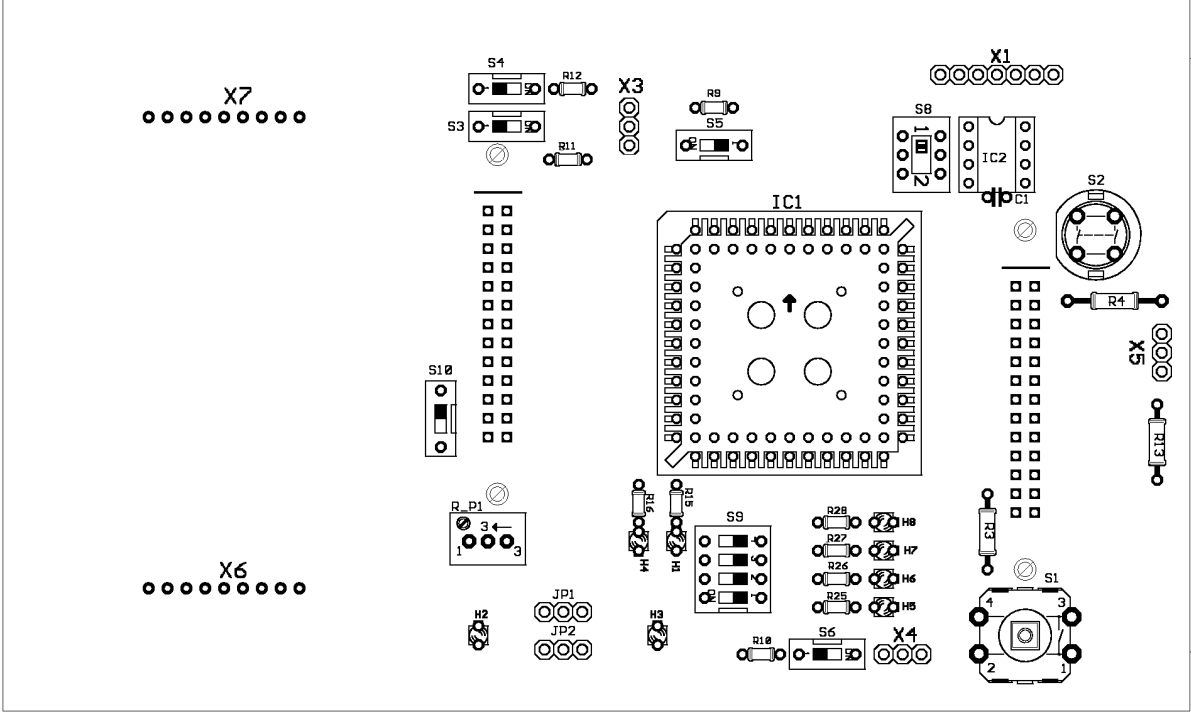
Stückliste

Lfd. Nr.	Stk.	Kurzzeichen	Benennung	Wert, Bemerkung
1	8	X2-1, X2-2, X3-1, X3-2, X4-1, X4-2, X5, X6	Pin-Stifte	Anschluss an Basis-LP
2	2	IC1-1, IC1-2	Quad OPV LM339 (SMD)	
3	3	IC1, C7-1, C7-2	Kondensator	100 nF, Block-C
4	2	C6-1, C6-2	Kondensator	100 nF, Glättung Signal
5	2	C2-1, C2-2	Elektrolyt-Kondensator	10 μ F, Glättung für Sensor
6	6	R17-1, R17-2, R18-1, R18-2, R19-1, R19-2	Regelbarer Widerstand, liegend	22 k Ω
7	2	R10-1, R10-2	Drahtbrücke SMD	0 Ω
8	6	R7-1, R7-2, R8-1, R8-2, R9-1, R9-2	Widerstand	1,6 k Ω
9	2	R13-1, R13-2	Widerstand SMD	10 k Ω

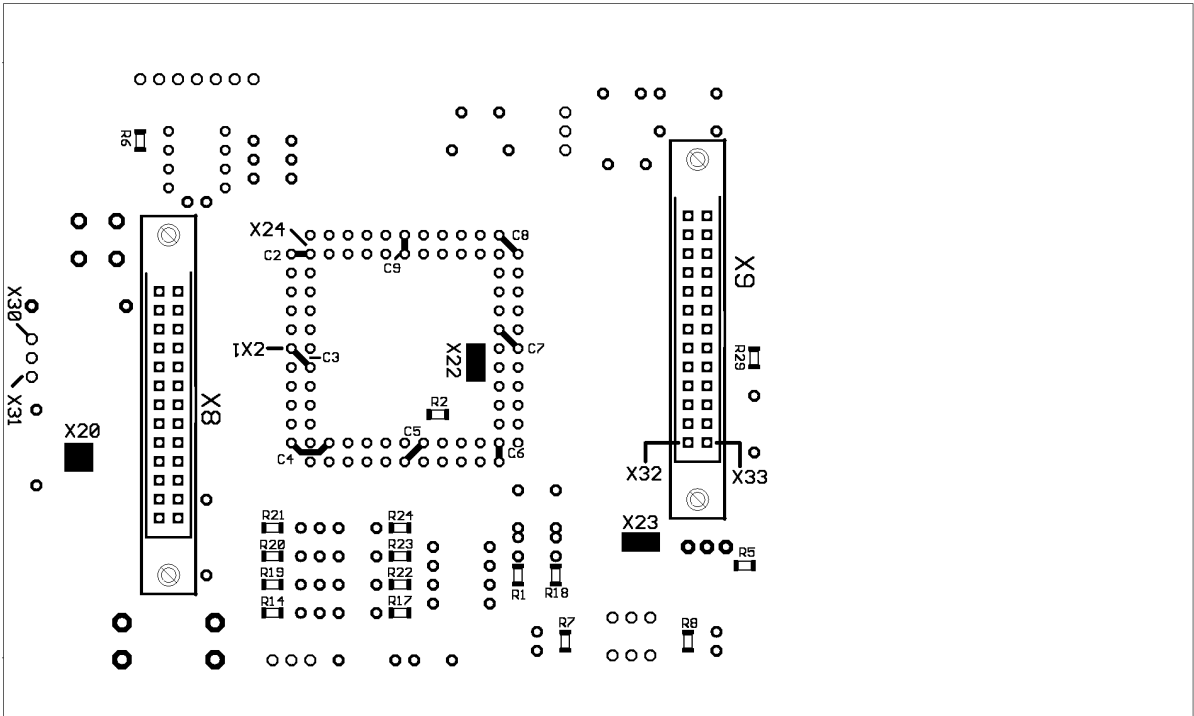
Lfd. Nr.	Stk.	Kurzzeichen	Benennung	Wert, Bemerkung
10	2	R15-1, R15-2	Widerstand SMD	27 k Ω
11	2	R16-1, R16-2	Widerstand SMD	51 k Ω
12	2	R14-1, R14-2	Widerstand SMD	68 k Ω
13	2	R12-1, R12-2	Widerstand SMD	82 k Ω
14	2	R4-1, R4-2	Widerstand	150 k Ω
15	6	R1-1, R1-2, R3-1, R3-1, R6-1, R6-2	Widerstand SMD	150 k Ω
16	2	R2-1, R2-2	Widerstand SMD	180 k Ω
17	2	R5-1, R5-2	Widerstand	180 k Ω
18	2	V1-1, V1-2	Low Current LED, rot	
19	2	V2-1, V2-2	Low Current LED, gelb	
10	2	V3-1, V3-2	Low Current LED, grün	
21	2	X1-1, X1-2	Pinhead-Connector 3x1, female	
22	1	S1	DIL-Schalter	

A.6 Anwenderplatine

Bestückseite



Leiterseite



Anschlüsse und Drahtverbindungen

X1 Download-Steckverbinder für den EEPROM

Pin 1: Serial Enable (an Umschalter)

Pin 2: Masse

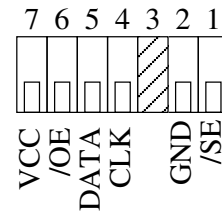
Pin 3: frei

Pin 4: Clock

Pin 5: Data

Pin 6: Output Enable und Chip Enable

Pin 7: Betriebsspannung (an Fahrzeugfront)



Sicht von Fahrzeugseite

X3 Verbindung zu Servo für linken Entfernungssensor

Pin 1: Masse (an R11)

Pin 2: Betriebsspannung

Pin 3: Servosignal (an Platinenrand)

X4 Verbindung zu Servo für rechten Entfernungssensor

Pin 1: Masse (an S6)

Pin 2: Betriebsspannung

Pin 3: Servosignal (an S1)

X5 Anschluss Infrarot-Sensor (ggf. angelötet)

Pin 1: Betriebsspannung des Sensors (an R4)

Pin 2: Masse

Pin 3: Sensorsignal (R13)

X6 Anschluss Display (Pin 1 bis 9)

X7 Anschluss Display (Pin 10 bis 18)

Mit den zwei Jumperbänken JP1 und JP2 kann die Zuordnung des Infrarotdetektors beeinflusst werden. So werden je nach Stellung die Farben direkt zugeordnet, oder in ihrer Bedeutung getauscht (Rot wird zu Grün und Grün zu Rot).

Dafür sind die Jumper gegeneinander versetzt aufzustecken, wie auf Seite 46 zu sehen ist.

Folgende Verbindungen sich mit Hilfe eines Kabels zusätzlich herzustellen:

X20-X21, X20-X22, X20-X23, X20-X24 (Masseleitung)

X30-X33, X31-X32 (Anschluss Infrarotsensor)

Stückliste

Lfd. Nr.	Stk.	Kurzzeichen	Benennung	Wert, Bemerkung
1	2	X8, X9	Steckerleiste 2x13, male	
2	3	X3, X4, X5	Pinhead-Connector 3x1, female	
3	1	X1	Pinhead-Connector 7x1, female	
4	2	X6, X7	Pinhead-Connector 9x1, female	
5	2	JP1, JP2	Jumper und Jumperstifte (je 3)	
6	1	IC1	Fassung PLCC-S84	für FPGA
7	1	IC2	Fassung DIP-08	für EEPROM
8	1	IC1	Xilinx FPGA XC4010E	
9	1	IC2	5V Konfigurations-EEPROM AT17C256	
10	8	C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9	Kondensator	10 nF, Block-C
11	1	C1	Kondensator	100 nF, Block-C
12	1	R_P1	Regelbarer Widerstand, stehend	100 k Ω
13	11	R9, R10, R11, R12, R13, R15, R16, R25, R26, R27, R28	Widerstand	0 Ω , Drahtbrücke als Messpunkt
14	1	R18	Widerstand SMD	470 Ω
15	4	R17, R22, R23, R24	Widerstand SMD	560 Ω
16	4	R14, R19, R20, R21	Widerstand SMD	820 Ω
17	1	R1	Widerstand SMD	1 k Ω
18	2	R7, R8	Widerstand SMD	1,6 k Ω
19	1	R29	Widerstand SMD	15 Ω , LCD Hinter- grundbeleuchtung
20	1	R3	Widerstand	4,7 k Ω

Lfd. Nr.	Stk.	Kurzzeichen	Benennung	Wert, Bemerkung
21	1	R6	Widerstand SMD	4,7 k Ω
22	1	R4	Widerstand	8,2 k Ω
23	1	R2	Widerstand SMD	10 k Ω
24	1	R5	Widerstand SMD	220 k Ω
25	1	S1	Druck-Taster DIL RACON12	
26	1	S2	Druck-Taster ISOSTAT4	
27	1	S8	Doppel-Umschalter MS-621	
28	5	S3, S4, S5, S6, S10	DIL-Schalter (einfach)	
29	1	S9	4fach DIL-Schalter	
30	6	H1, H4, H5, H6, H7, H8	Low Current LED, gelb	Testpunkte
31	1	H2	Low Current LED, rot	Team „Rot“
32	1	H3	Low Current LED, grün	Team „Grün“

Anhang B

Inhalt CD-ROM

Die der Studienarbeit beigelegte CD-ROM hat folgenden Inhalt:

- Studienarbeit als PDF
- Latex-Quellcode der Studienarbeit
- Eagle 3.55r3 Studentenversion Installationsdateien
- Schalt- und Leiterplattenpläne sowie Layout für Eagle

Literaturverzeichnis

- [1] Bretschneider, Rajko: *FPGA-basiertes Modul zur Steuerung sechsbeiniger Laufmaschinen*. Studienarb. Technische Universität Chemnitz, 2001
- [2] Bretschneider, Rajko: *Praktikum ASIC-Auto*. Chemnitz: Internet 2004-07-01 (http://www.infotech.tu-chemnitz.de/~gerlach/ASIC_Auto/auto.html)
- [3] Datenblatt *PZ5032 32 macrocell CPLD*. Philips Semiconductors, 1997
- [4] Datenbuch *The Programmable Logic Data Book*. Xilinx, 1998
- [5] Kriesten, Daniel: *Entwurf und Aufbau eines FPGA-basierten, autonomen Roboterfahrzeugs*. Studienarb. Technische Universität Chemnitz, 2004
- [6] o. V.: *RoboKing*. Chemnitz: Internet 2004-07-01 (<http://www.roboking.de>)
- [7] Schucknecht, Torsten: *Aufbau der zweiten ASIC - Auto - Grundleiterplatte*. Studienarb. Technische Universität Chemnitz, 1997
- [8] Uhlig, Joachim: *Einsatz anwenderprogrammierbarer Schaltkreise zur Steuerung eines Roboterfahrzeugs*. Praktikumsanleitung Schaltkreisentwurf Technische Universität Chemnitz, 2001

Extras

Änderungen für zukünftige Entwürfe

Zweck des Kapitels

In diesem Kapitel sind alle Punkte aufgeführt, die während des Aufbauprozesses der elektrischen Komponenten und beim praktischen Einsatz aufgefallen sind.

Dabei handelt es sich einerseits um Fehler im Entwurf, andererseits um Verbesserungs- oder Änderungsvorschläge. Die hier angesprochenen Punkte sollten im nächsten Iterationsschritt der „ASIC-Robo“-Entwicklung berücksichtigt werden.

Allgemein

- Durchkontaktierungen unter den Steckverbindern beseitigen
- Steckverbinder auf DIN-Raster umstellen (bisher im Zoll-Raster)
- Für „Massenproduktion“ der zweilagigen Platinen Pläne für die Durchkontaktierungen anfertigen

Basisplatine

- Pull-Down-Widerstände der Stossstangen-Schalter und ggf. Anzeige-LED's auf die Leiterplatte verlagern (bisher direkt am Schalter positioniert)
- Für Unterspannungsanzeige (Blink-LED) Vorwiderstand entfernen
- Beachten, dass bei der Herstellung weiterer Leiterplatten die Maskenfolien beider Seiten nicht mehr zueinander verschoben sind
- Kein Anlöten von nach oben gerichteten Modul-Leiterplatten auf der Bestückseite möglich (d. h. zu Leiterzügen auf der Bestückseite ist unmittelbar kein Kontakt vorhanden)
- Anmesspunkt für Masse vorsehen
- Bei deaktiviertem Infrarotsensor (Schalter) leuchten die rote und grüne Status-LED auf der Anwenderplatine durch Rückkopplung mit Selbstspeisung des NAND-Schaltkreises (somit wird kein Strom gespart und das Leuchten irritiert)
Entweder Schalter komplett entfernen oder Schaltung so umbauen, dass LED im deaktivierten Zustand nicht leuchten.

- Ein-/Aus-Schalter auf der Basisplatine so befestigen, dass dieser seitlich herausragt (bisher zum Einbau im Fahrgestell vorgesehen)
Schalterplatz beim Platinenzuschnitt freilassen (Ausbuchtung)
- Für Ladestecker ebenfalls eine Ausbuchtung auf der Platine vorsehen, gegenüber dem Ein-/Ausschalter.
- Block-Kondensatoren am PZ 5032 auf Notwendigkeit hin untersuchen und ggf. weglassen oder enger löten.
- Umordnen der Anschlüsse an den Steckverbindern C1 und C2
C1:B5 tauschen mit C1:B6
Umordnen der Fahrspur-Signale RI, RM, RA, LI, LM, LA, so dass jeweils die linken und die rechten Signale logisch zueinander angeordnet sind.
- Leiterplattenbeschriftung auf rechte Fahrtrichtung umstellen (d. h. konsistent mit der Dokumentation in der Studienarbeit)

Modul-Leiterplatten

- Keine Durchkontaktierungen unter den Anlötstellen für die Pinstifte vorsehen
- Bei Entwurf darauf achten, dass keine Konflikte mit anderen Leiterplatten (z. B. Verdecken von Bohrlöchern, Berühren von Bauelementen) entstehen

Motortreiber

- Rückfahr-LED so versetzen, dass diese nicht von Radbefestigungen verdeckt werden und in die Blickrichtung strahlen
- Rückfahr-LED heller leuchten lassen
- Wenn möglich den Strom für die geschalteten Rückfahr-Relais reduzieren (bisher benötigt jedes Relais ungefähr 30 mA)
- Pull-Down-Widerstände von ca. 10 k Ω an S_CODE_S, RAD_EN, RUECK_L und RUECK_R vorsehen, da unprogrammierte Pins am FPGA auf High-Potential liegen)

Anwenderplatine

- Platine kürzen, da Fahrspur- und Entfernungsplatinen verdeckt werden
- Steckerleisten für die Anzeige müssen ersetzt werden durch den Typ EO B200-9, da der Pinabstand falsch ist
- Tiefpass für IR-Detektor-Versorgungsspannung von der Grundleiterplatte ganz nah an Sensor verlegen
- Leiterzüge für Anschluss des Infrarot-Sensors auf Leiterplatte unterbringen (bisher Drahtverbindung)

- An einigen Stellen fehlen Durchkontaktierungen
- Verbindung Block-Kondensator zu EEPROM-Fassung auf Leiterseite herstellen
- Maskenfolien im Bereich des FPGA enthalten Kurzschlüsse (ausgedruckte Kommentarebenen, die nicht für den Druck vorgesehen waren, erzeugen Verbindungen)
- Schalterbeschriftung des Prog-Schalters tauschen (ist verdreht)
- Programmierschalter durch Schalter ohne Ruheposition ersetzen
- Mehr Platz für den Download-Stecker schaffen
- Schalter und Antastpunkte für Fahrmotoren versetzen (bisher linker Motor rechts und rechter Motor links)
- ON/OFF-Beschriftung der DIL-Schalter für die Testpunkte verschieben, da diese von der FPGA-Fassung teilweise verdeckt werden
- Ersetzen der DIL-Schalter durch größere Schalter, die besser bedienbar sind
- Leiterplattenbeschriftung auf rechte Fahrtrichtung umstellen (d. h. konsistent mit der Dokumentation in der Studienarbeit)

Nicht im Text ausgewiesene Quellen

Die Studienarbeit baut auf einer Fülle von schon vorliegenden Material auf. Um jedoch den Textfluss durch überzählige Verweise auf andere Quellen nicht unnötig zu unterbrechen und einen geschlossenen Text zu ermöglichen, wurde vom dem Betreuer und Bearbeiter der Studienarbeit vereinbart, einige Quellen zu überarbeiten und in den Text einzubinden. Die davon betroffenen Kapitel mit ihrer Quelle sind hier ausgewiesen.

Kapitel 3.3 Im Text abgeleitet aus [8, Kapitel 3]

Kapitel 4.4.1 In Text und Bildern abgeleitet aus [7, Kapitel 4.6]

Kapitel 4.4.2 In Text und Bildern abgeleitet aus [7, Kapitel 4.3 und 4.4]

Kapitel 4.4.4 In Text und Bildern abgeleitet aus [7, Kapitel 4.7.1]

Kapitel 4.5 Im Text abgeleitet aus [8, Kapitel 4.1 und 4.10]

Kapitel 4.6 Im Text abgeleitet aus [8, Kapitel 4.8]