

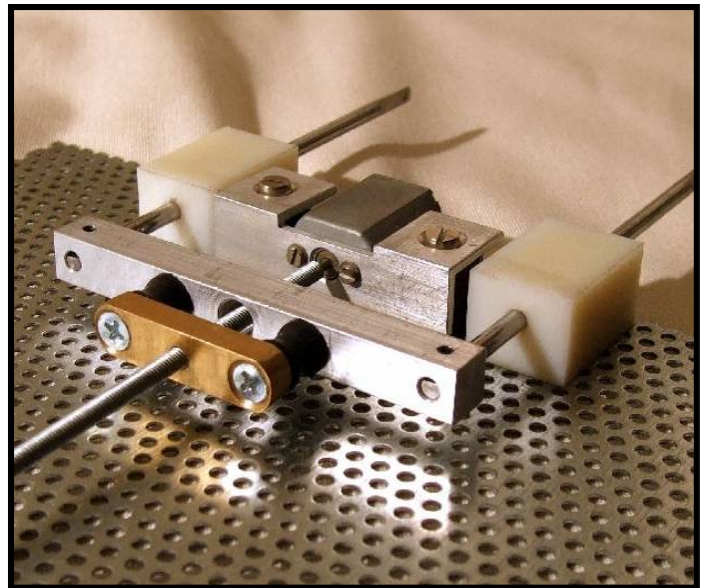
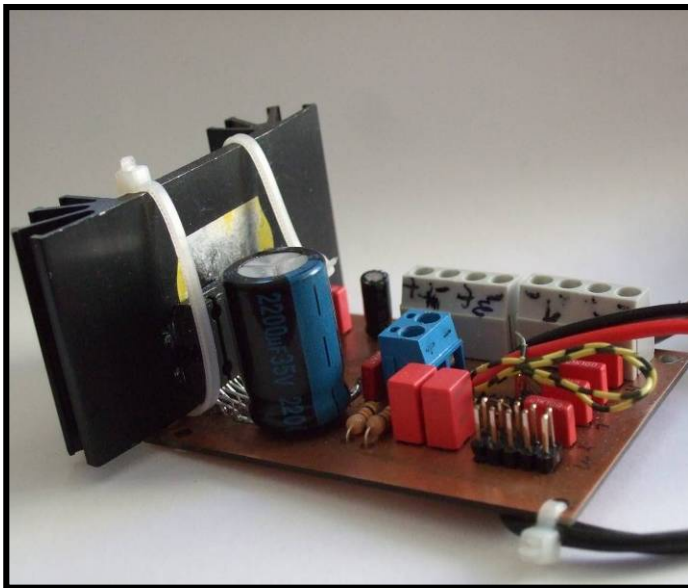
Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

FB MMT , Studiengang Mechatronik

Studienarbeit

Projekt: „movil navigation“

Teilprojekte: - „Audio-Verstärker-Modul“
 - „Lineareinheit“



Wintersemester 2008/09

vorgelegt von: Alexander Wollmann (21365)

Betreuender Dozent: Prof. Dr. Michael C. Wilhelm

Weitere Betreuer: Dipl.-Ing. Bernhard Beck

Vorwort und Danksagung

Die Möglichkeiten einer Einzelperson, eine Aufgabe in einer bestimmten Zeit als Einzelleistung zu erledigen, stoßen ab einem gewissen Umfang an ihre Grenzen. Soll ein umfangreiches Projekt dennoch in einer vorgegebenen Zeit erfüllt werden, ist die Beteiligung von mehreren Personen, also die Gründung eines Teams, unumgänglich. Die grundsätzliche Idee hierbei ist, eine Gesamtaufgabe in mehrere Einzelaufgaben zu unterteilen, welche von den jeweiligen Teammitgliedern bearbeitet werden, sodass in Summe die Gesamtaufgabe gelöst werden kann.

Besonders die Herausforderung, sich an eine Aufgabe zu wagen, die allein niemals bewältigt werden kann und diese im Team zu lösen, war für mich sehr reizvoll und hat mich zur Mitarbeit an diesem Projekt bewegt.

Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass für eine erfolgreiche Teamarbeit nicht nur die Fähigkeit einer Person, die ihr übertragene Aufgabe zu lösen maßgeblich ist sondern vielmehr auch deren Wille und Bereitschaft, sich mit dieser auseinanderzusetzen, ja sich in gewissem Maße mir ihr zu identifizieren und sich dafür zu begeistern. Besonders wenn für die Bewertung der Arbeit nicht die Leistung einzelner Teammitglieder sondern die Leistung des gesamten Teams als Grundlage dient, muss diese Bereitschaft als Voraussetzung angenommen werden.

Zynische Zungen behaupten, der Terminus „Team“ wäre ein Akronym für „toll, ein anderer macht's“, eine Aussage, die problemlos durch eine erfolgreiche Teamarbeit widerlegt werden kann und damit den Zyniker Lügen straft. Aber Polemik ist an dieser Stelle unangebracht. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass eine umfangreiche Studienarbeit ohne die Unterstützung eines Teams, in dem sich alle Mitglieder ihren Fähigkeiten entsprechend einbringen und dabei sowohl den Gesamtumfang des Projekts als auch den Fortschritt desselben nicht aus den Augen verlieren, nicht befriedigend gelöst werden kann.

Ich bedanke mich bei Herrn Professor Michael C. Wilhelm für das entgegengebrachte Vertrauen, die Betreuung unserer Studienarbeit und die Bereitstellung eines Raumes, in dem wir uns ungestört der Arbeit an dieser widmen konnten.

Besonderer Dank geht an dieser Stelle auch an Herrn Dipl. Ing. Bernhard Beck, Herrn Dipl. Ing. Oliver Stumpf und Herrn Dipl. Ing. Wolfgang Pluschke, die uns als weitere Betreuer hilfreich zur Seite standen und für unsere Fragen stets ein offenes Ohr hatten.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei unseren Sponsoren, namentlich Herrn Ralph Bender (Fa. Bergmann & Hillebrand), Herrn Frank Gerzen (Fa. Fischer Elektronik), Herrn Tobias Jerzembek (Fa. Würth Elektronik), Herrn Helmut Steyer (Firma Mabuchi Motors) sowie Herrn Hans-Peter Schmidt (Fa. Krämer Automotive). Neben der materiellen Unterstützung in Form von Lochblechen, Motoren, Beispielgeräten und Leiterplatten wären ohne Ihre Beratung und das dabei vermittelte Fachwissen viele Probleme bei der Bearbeitung meiner Teilaufgaben nicht oder nur sehr schwer lösbar gewesen.

Bedanken möchte ich mich auch bei den zahlreichen hier namentlich nicht genannten Sponsoren, die meine Teammitglieder bei der Lösung ihrer Teilaufgaben durch Samples oder Fachwissen unterstützt haben.

Auch die Betriebsbesichtigungen, zu denen wir bei den Firmen Krämer und Würth eingeladen wurden, haben mir neue, praktische Eindrücke und Einsichten vermittelt, die sonst nur schwer zu gewinnen sind und verdienen an dieser Stelle Anerkennung.

Karlsruhe, 13.03.2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
2	Teilprojekt Audio-Verstärker-Modul.....	8
2.1	Projektdefinition.....	8
2.1.1	Problemstellung.....	8
2.1.2	Aufgabenstellung.....	8
2.1.3	Stand der Technik.....	9
2.1.4	Mindmap.....	10
2.2	Projektplanung.....	11
2.2.1	Objektorientierter Projektstrukturplan.....	11
2.2.2	Beschreibung der Bauelemente.....	12
2.2.3	Kombinierter Projektstrukturplan.....	13
2.2.4	Beschreibung der Vorgänge.....	14
2.3	Konstruktive Planung.....	17
2.3.1	Anforderungsliste.....	17
2.3.2	Black-Box.....	19
2.3.3	Auswahl des Verstärkerbausteins.....	19
2.3.3.1	Grenzdaten.....	21
2.3.3.2	Blockschaltbild.....	21
2.3.3.3	Elektrische Eigenschaften.....	22
2.4	Ausarbeitung.....	23
2.4.1	Schaltplan.....	23
2.4.2	Layout.....	24
2.4.2.1	Prototyp.....	24
2.4.2.2	Endversion.....	25
2.4.3	Pinbelegungsplan Audio-Verstärker-Modul Version 1.10.....	26
2.5	Inbetriebnahme und Testprozesse.....	27
2.5.1	Inbetriebnahme des Prototypen.....	27
2.5.2	Verbesserungen.....	28
2.5.3	Ausblick.....	29
2.6	Fertige Flachbaugruppe.....	30
3	Teilprojekt Lineareinheit.....	31
3.1	Projektdefinition.....	31

3.1.1	Problemstellung.....	31
3.1.2	Aufgabenstellung.....	31
3.1.3	Stand der Technik	31
3.1.4	Mindmap	33
3.2	Projektplanung.....	34
3.2.1	Objektorientierter Projektstrukturplan.....	34
3.2.2	Beschreibung der Bauelemente.....	35
3.2.3	Kombinierter Projektstrukturplan.....	37
3.2.4	Beschreibung der Vorgänge.....	38
3.3	Konstruktive Planung.....	42
3.3.1	Anforderungsliste	42
3.3.2	Black-Box.....	45
3.3.3	Bauteilauswahl	46
3.3.3.1	Motor	46
3.3.3.1.1	Technische Daten Mabuchi FF-130SH	47
3.3.3.2	Motortreiber.....	48
3.3.3.2.1	Grenzdaten LB1641.....	48
3.3.3.2.2	Blockschaltbild LB1641	49
3.3.3.2.3	Wahrheitstabelle LB1641	49
3.3.3.3	Dämpfungselemente.....	50
3.4	Ausarbeitung Elektronik	51
3.4.1	Schaltplan.....	51
3.4.2	Layout	52
3.4.3	Pinbelegungsplan Motortreiber.....	53
3.4.4	Inbetriebnahme der Baugruppe	53
3.4.5	Verbesserungen	54
3.4.6	Ausblick.....	54
3.5	Ausarbeitung Mechanik.....	56
3.5.1	Einzelkomponenten	56
3.5.1.1	Linearlager	56
3.5.1.2	Führungen.....	57
3.5.1.3	Spindel.....	58
3.5.1.4	Spindelmutter	59
3.5.1.5	Querstange.....	60

3.5.1.6	Motorhalter	61
3.6	Inbetriebnahme und Testprozesse	62
3.6.1	Montage der Baugruppe	62
3.6.2	Inbetriebnahme der Baugruppe	63
3.6.3	Verbesserungen	63
3.6.4	Ausblick	64
3.6.5	Fertige Baugruppe	65
4	Tabellenverzeichnis	67
5	Abbildungsverzeichnis	67
6	Quellenverzeichnis	69
7	Anhang	70
7.1	Technische Zeichnungen	70
7.2	Datenblätter	70

1 Einleitung

Ziel der Studienarbeit „movil“ ist die Planung, Entwicklung und Fertigung von drei Prototypen eines „Car-PC“. Die Idee hinter diesem Projekt ist es, ein Gerät zu entwickeln das neben den herkömmlichen Funktionen eines Autoradios auch Steuer- und Regelaufgaben übernehmen kann und über eine Online-Anbindung, z.B. über WLAN oder GPRS verfügt.

Hierbei soll auf standardisierte Elektronik- und Mechanikkomponenten zurückgegriffen werden, um eine schnelle Entwicklung und kostengünstige Fertigung zu ermöglichen. Voraussetzung hierbei ist selbstverständlich die Eignung der Komponenten für den Einsatz im KFZ-Innenraum, was eine sorgfältige Selektion der Bauteile erfordert.

Das Gesamtsystem soll mit einem hohen Betriebssystem wie Windows oder Linux betrieben werden, falls möglich soll Open Source Software verwendet werden. Als Mensch-Produkt-Schnittstelle ist neben Funktionstasten und einer Sliderfläche der Einsatz eines Touch-Screens geplant, das Informationen an den Benutzer übermitteln und diese von ihm empfangen kann.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden die beiden Teilprojekte „Audio-Verstärker-Modul“ und „Lineareinheit“ beschrieben.

2 Teilprojekt Audio-Verstärker-Modul

2.1 Projektdefinition

Es soll ein modulares und erweiterbares Gerät entwickelt werden, welches am Radioanschluss eines Automobils (ISO10487) eigenständig funktionsfähig ist und die Hardwarebasis aus Standardkomponenten für ein höheres Betriebssystem wie Linux oder Windows bereitstellt. Die Bedienung soll über den integrierten Touchscreen, Funktionstasten und einer Sliderfläche erfolgen.

Die Entwicklung des Systems wird auf fünf Personen mit unterschiedlichen Schwerpunkten aufgeteilt.

2.1.1 Problemstellung

Für die Studienarbeit „movil“ existiert noch kein funktionsfähiges Audio-Verstärker-Modul.

2.1.2 Aufgabenstellung

Es soll ein ausreichend dimensioniertes Audio-Verstärker-Modul entwickelt, gefertigt und getestet werden. Bei der Auslegung des Moduls sind insbesondere die beengten Platzverhältnisse im inneren des Gehäuses sowie die Wärmeentwicklung zu berücksichtigen.

Im Einzelnen sind die folgenden Punkte zu bearbeiten:

- Spezifikationen definieren
- Auswahl geeigneter Bauteile
- Erstellung von Schaltplan und Layout
- Beschaffung von Leiterplatte und Bauteilen
- Bestücken der Leiterplatte
- Inbetriebnahme und Testen der Leiterplatte
- Dokumentation zu diesen Teilaufgaben

2.1.3 Stand der Technik

In vielen Geräten der Consumer-Elektronik wie beispielsweise mp3-Playern, Radioweckern oder Autoradios kommen Audio-Verstärker zum Einsatz. Dabei wird, zumeist aus Kostengründen, auf einen diskreten Aufbau der Verstärkerschaltung verzichtet.

Vielmehr wird auf hochintegrierte Verstärkerchips zurückgegriffen, die neben dem eigentlichen Verstärker auch verschiedene Schutz- und Logikschaltungen enthalten können. Die externe Beschaltung des Verstärkers kann somit minimiert werden.

Die interne Schaltungstechnik im Verstärkerchip ist im Allgemeinen herstellerseitig bewährt und bereits optimiert. Dadurch können Probleme bei der Schaltungsauslegung sowie ein meist langwieriger Optimierungsprozess bereits im Vorfeld vermieden werden.

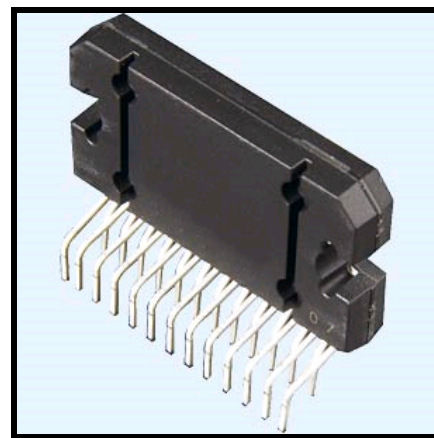
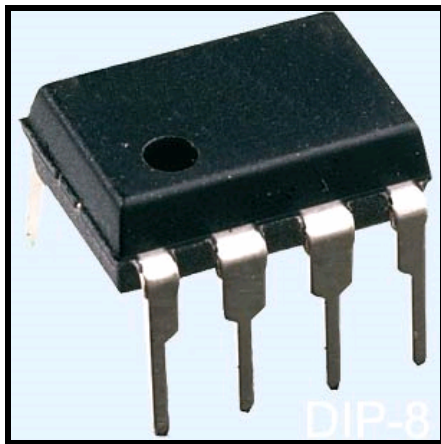


Abbildung 1: Verstärker unterschiedlicher Ausgangsleistung: 1,8W (links), 4x45W (rechts)

2.1.4 Mindmap

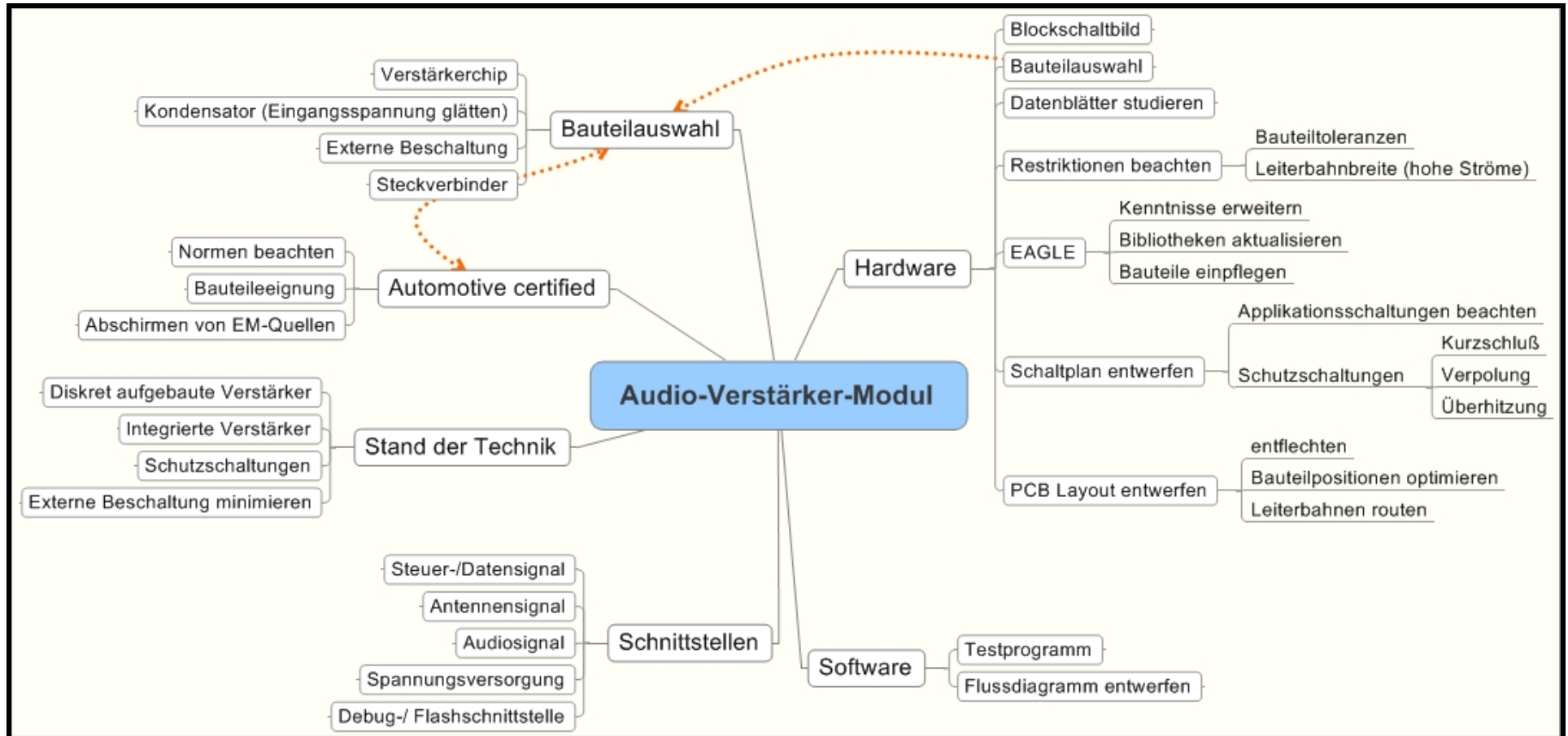


Abbildung 2: Mindmap für Audio-Verstärker-Modul

2.2 Projektplanung

2.2.1 Objektorientierter Projektstrukturplan

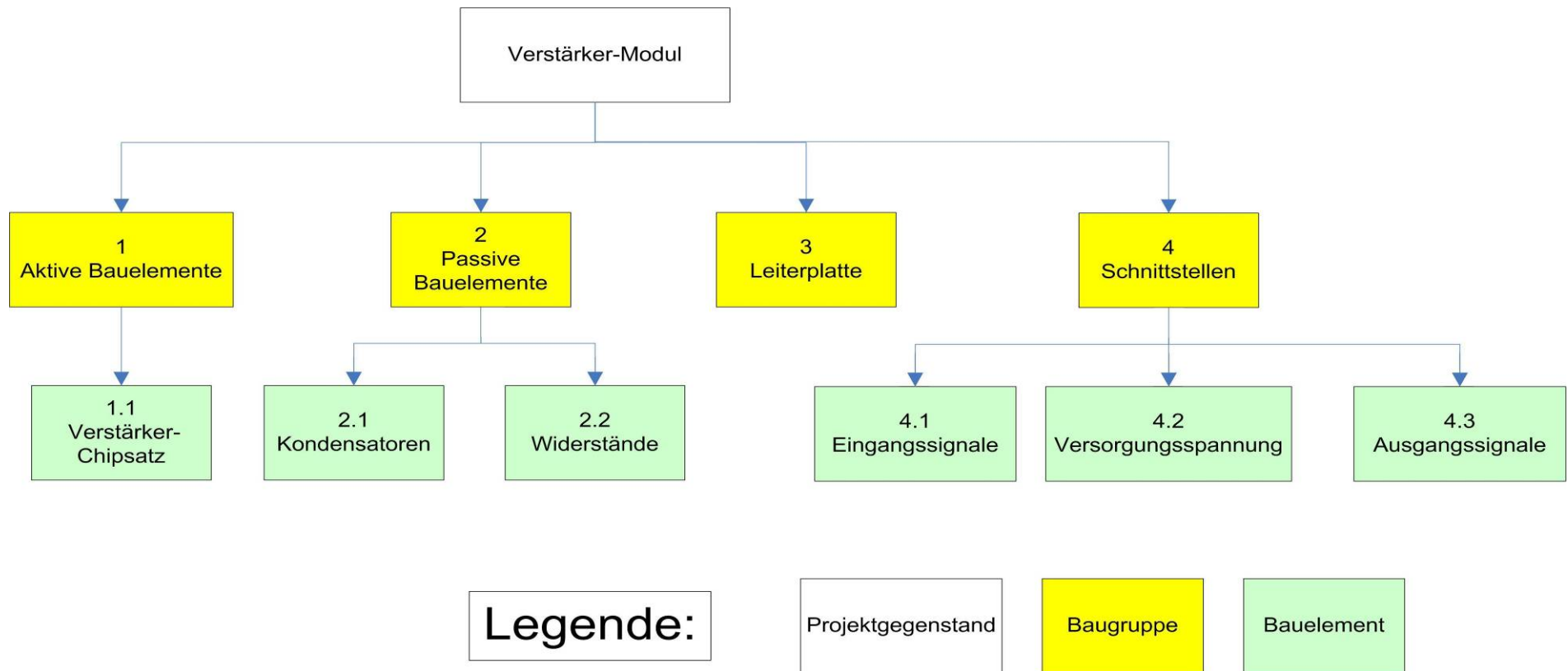


Abbildung 3: Objektorientierter Projektstrukturplan für Audio-Verstärker-Modul

2.2.2 Beschreibung der Bauelemente

Folgende Bauelemente stellen die wesentlichen Komponenten des Audio-Verstärker-Moduls dar, die bei der Projektplanung zu berücksichtigen sind.

Index	Vorgang	Beschreibung
1.1	Verstärker-Chipsatz	Ein kräftiger, gut klingender Audio-Verstärker ist für das Entertainment-System natürlich unerlässlich. Dabei muss der Verstärkerchip neben kompakten Maßen und einer ausreichenden Ausgangsleistung über gute Klangeigenschaften verfügen. Diese äußern sich z.B. durch ein geringes Grundrauschen und einen niedrigen Klirrfaktor.
2.1	Kondensatoren	Die Kondensatoren für die externe Beschaltung müssen hinsichtlich Wert, Toleranzen und Spannungsfestigkeit ausgewählt werden. Vor allem bei den Kondensatoren, die im Eingangssignalpfad liegen, ist darauf zu achten dass Bauteile mit einem sehr engen Toleranzbereich gewählt werden.
2.2	Widerstände	Die Widerstände für die externe Beschaltung der aktiven Bauteile müssen mit geeigneten Werten und Toleranzen ausgewählt werden.
4.1	Eingangssignale	Es ist ein geeigneter Connector für alle Eingangssignale auszuwählen.
4.2	Versorgungsspannung	Um das Audio-Verstärker-Modul mit Spannung zu versorgen, muss ein geeigneter Connector ausgesucht werden. Hierbei sind insbesondere die zu erwartenden hohen Ströme zu berücksichtigen.
4.3	Ausgangssignale	Auch hier muss bei der Wahl des Steckverbinders berücksichtigt werden, dass hohe Ströme auftreten können.

Tabelle 1: Beschreibung der Bauelemente des objektorientierten PSP für Audio-Verstärker-Modul

2.2.3 Kombiniertes Projektstrukturplan

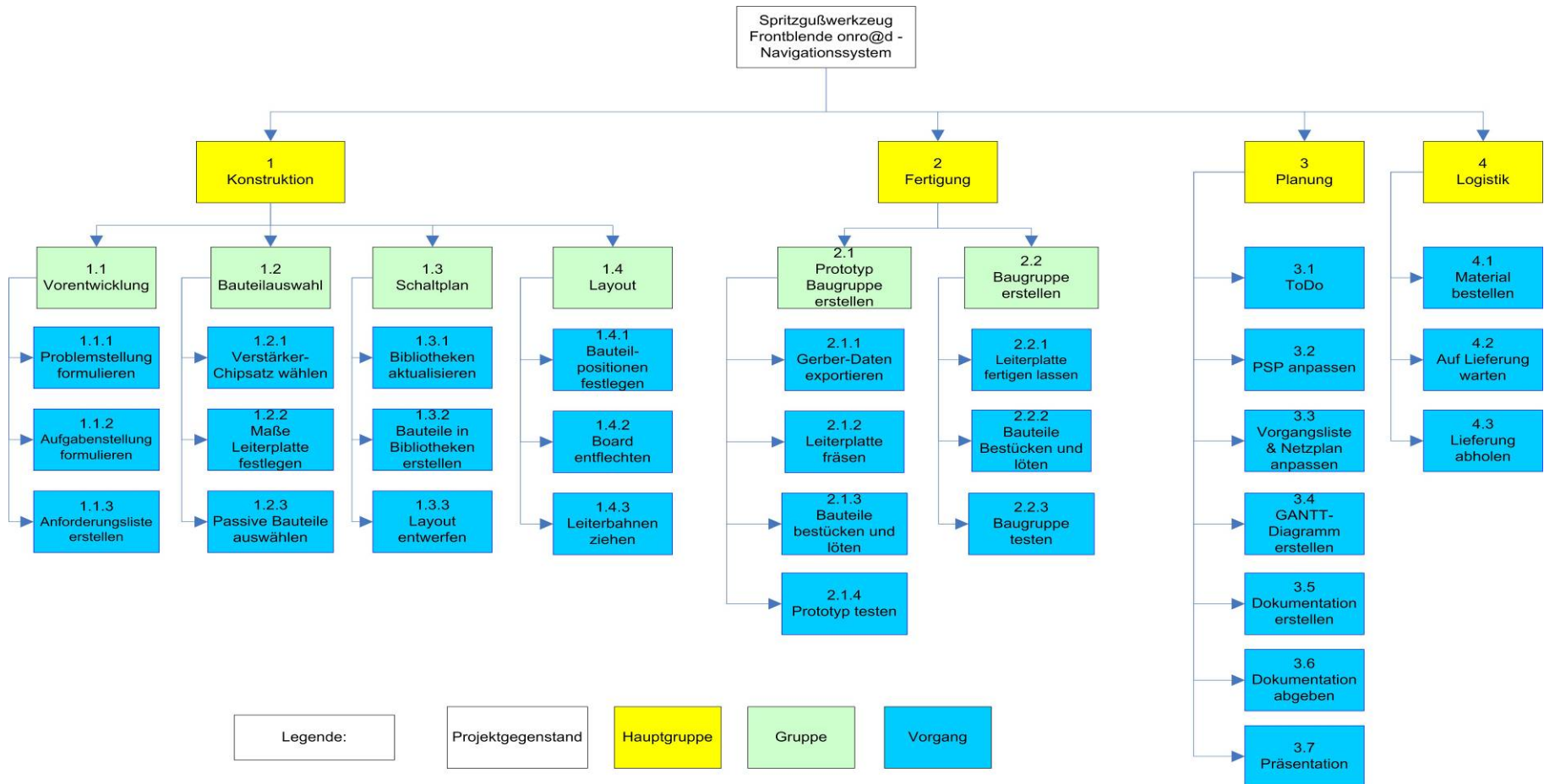


Abbildung 4: Kombiniertes Projektstrukturplan für Audio-Verstärker-Modul

2.2.4 Beschreibung der Vorgänge

Nachfolgend sind die Vorgänge aus dem kombinierten PSP aufgeführt und genauer beschrieben:

Index	Vorgang	Beschreibung
1.1.1	Problemstellung formulieren	Hier wird die Problemstellung definiert.
1.1.2	Aufgabenstellung formulieren	Hier wird die Aufgabenstellung des Projektes definiert und klar abgegrenzt.
1.1.3	Anforderungsliste erstellen	Aus der Aufgabenstellung ergeben sich die Anforderungen, die in der Anforderungsliste festgehalten werden.
1.2.1	Verstärker-Chipsatz auswählen	Es ist ein geeigneter Verstärker-Chipsatz mit vorgegebener Applikationsschaltung auszuwählen und zu beschaffen.
1.2.2	Maße Leiterplatte festlegen	Die Maße der Leiterplatte werden nach dem verfügbaren Platz in der Konstruktion angepasst.
1.2.3	Passive Bauteile auswählen	Die passiven Bauteile müssen entsprechend der vorgegebenen Werte und Toleranzen ausgewählt werden.
1.3.1	Bibliotheken aktualisieren	Vorhandene Bibliotheken der eingesetzten Bauteile in die CAD-Software Eagle einbinden.
1.3.2	Bauteile in Bibliotheken erstellen	Wenn für die eingesetzten Bauteile keine Bibliotheken vorliegen, müssen diese manuell erstellt werden.
1.3.3	Layout entwerfen	Mittels CAD-Software Eagle wird das Schaltplan-Layout erstellt.
1.4.1	Bauteilpositionen festlegen	Die Bauteile sollten so angeordnet werden, damit die vorgegebene Fläche optimal ausgenutzt werden kann.

Index	Vorgang	Beschreibung
1.4.2	Board entflechten	Verbinden sämtlicher Anschlüsse der Bauelemente, so dass nach Möglichkeit keine Überschneidungen entstehen.
1.4.3	Leiterbahnen ziehen	Die Leiterbahnen müssen so geführt werden, dass nach Möglichkeit keine Kreuzungen entstehen. Lassen sich diese nicht vermeiden, werden ein mehrlagiges Layout und/oder Brücken benötigt.
2.1.1	Gerber-Daten exportieren	Aus den fertigen Layout-Daten werden Gerber-Daten exportiert, die zur Fertigung und Bestückung der Leiterplatte verwendet werden können.
2.1.2	Leiterplatte fräsen	Anhand der erstellten Gerber-Daten können Leiterbahnen, Lötpads und Vias aus einem Leiterplatten-Rohling gefräst werden.
2.1.3	Bauteile bestücken und löten	Nun erfolgt das Bestücken der Platine mit den entsprechenden Bauteilen, welche im Anschluß mit den dafür vorgesehenen Pads verlötet werden.
2.1.4	Prototyp testen	Der aufgebaute Prototyp kann nun auf seine Funktionsfähigkeit getestet werden. Bei auftretenden Problemen sind entsprechende Änderungen in Schaltplan und / oder Layout vorzunehmen.
2.2.1	Leiterplatte fertigen lassen	Arbeitet die Baugruppe fehlerfrei, kann nun die Endversion gefertigt werden.
2.2.2	Bauteile bestücken und löten	Siehe 2.1.3
2.2.3	Baugruppe testen	Siehe 2.1.4
3.1	ToDo	Der Ablaufplan wird je nach Reihenfolge erstellt.
3.2	PSP anpassen	Sämtliche Änderungen im Projektverlauf werden berücksichtigt und in den PSP aktualisiert.

Index	Vorgang	Beschreibung
3.3	Vorgangsliste und Netzplan anpassen	Auf Basis der geänderten Projektstrukturpläne ist die Vorgangsliste zu aktualisieren.
3.4	GANTT-Diagramm erstellen	Im GANTT- Diagramm werden die Aktivitäten des Projekts in die erste Spalte einer Tabelle eingetragen. In der ersten Zeile der Tabelle wird die Zeitachse dargestellt.
3.5	Dokumentation erstellen	Über die gesamte Projektphase wird entsprechend der Richtlinien eine ausführliche Dokumentation erstellt.
3.6	Dokumentation abgeben	Die Abgabe der Dokumentation hat fristgerecht beim betreuenden Professor zu erfolgen.
3.7	Präsentation	Die Präsentation soll anhand der Dokumentation erstellt werden. Es sollen alle wesentlichen Teile eingefügt und erläutert werden.
4.1	Material bestellen	Die zur Realisierung des Projektes benötigten Bauteile werden selektiert und möglichst zeitnah bestellt.
4.2	Auf Lieferung warten	Lange Lieferzeiten müssen berücksichtigt werden.
4.3	Lieferung abholen	Die Lieferung muss abgeholt und kontrolliert werden.

Tabelle 2: Beschreibung der Vorgänge des kombinierten PSP für Audio-Verstärker-Modul

2.3 Konstruktive Planung

2.3.1 Anforderungsliste

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft Fakultät: MMT Prof. Dr. Michael Wilhelm				Anforderungsliste für - Verstärker-Modul -				Studienarbeit - Projekt „movil“ Teilprojekt: Verstärker-Modul Alexander Wollmann Auftragsnummer: WS 2008/2009			
Organisations-Daten		Prozess-Daten		Anforderungen				Wert - Daten			
Nummer	Name	Art	Phase					Mindest-Erfüllung	SOLL-Erfüllung	Ideal-Erfüllung	Maßeinheit
Physikalisch-Technische Eigenschaften											
F01		J/N		Leiterplattenmaterial: FR4							
F02		F		Anzahl Layer	2	2	1	Layer			
F03		F		Länge Leiterplatte	90	75	65	mm			
F04		F		Breite Leiterplatte	70	60	55	mm			
F05		J/N		Betrieb als Endstufe (fester Verstärkungsfaktor)							
F06		F		Anzahl Kanäle	2	4	4	Stück			
F07		F		Ausgangsleistung pro Kanal	20	35	50	Watt			
F08		F		Maximale, typische Verlustleistung	40	30	26	Watt			
F09		J/N		Maximale Versorgungsspannung	15	16	18	V			
F10		F		Typische Versorgungsspannung: 12 V							
F11		J/N		Kühlkörper	2,5	2	0,5	°C/W			
F12		J/N		Verbindung Signalteil: Stiftleisten, 2x5, Raster 2,54 mm							
F13		F		Verbindung Leistungsteil: Stiftleisten, 1x4, Raster 3,92 mm							
F14		F		Kabelquerschnitt Leistungsteil	0,5	0,75	1,5	mm ²			
F15		W		Geringes Rauschen							
F16		W		Niedriger Klirrfaktor							
F17		J/N		Schutzschaltung gegen Kurzschluss							
F18		W		Schutzschaltung gegen Überhitzung							

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft Fakultät: MMT Prof. Dr. Michael Wilhelm		Anforderungsliste für - Verstärker-Modul -		Studienarbeit - Projekt „movil“ Teilprojekt: Verstärker-Modul Alexander Wollmann Auftragsnummer: WS 2008/2009											
Organisations- Daten Nummer Name		Prozess- Daten Art Phase		Anforderungen				Wert - Daten Mindest- Erfüllung SOLL- Erfüllung Ideal- Erfüllung Maßeinheit							
				Technologie											
T01		J/N		Platinenlayout in Eagle											
T02		J/N		Bauteile in THT-Bauweise											
T03		J/N		Einsatz vorhandener Applikationsschaltungen											
T04		W		Verwendung von bleifreiem Zinn											
T05		F		Art der Fertigung (A=Fräsen, B=Ätzen)				A		B		B		-	
				Wirtschaftlichkeit											
W01		F		Bauteilkosten				60		50		20		€	
W02		J/N		Fertigstellung Ende WS08/09											
W03		W		Herstellung an der Hochschule Karlsruhe											
W04		J/N		Nutzung vorhandener Ressourcen											
				Mensch-Produkt-Beziehungen											
M01		J/N		Einsatz: Studienarbeit – Projekt „movil“											
Anforderungsarten: J/N-Ja/Nein; F-Forderungen; W-Wunsch; Konstruktionsphase: P-Prinzip; K-Konzept; E-Entwurf; A–Ausarbeitung Namenskürzel der Mitarbeiter: Wo = Wollmann, Alexander															
Ersetzt Ausgabe vom 25.01.2009 Version: 2 Bearbeiter: Wo								Ausgabe:		Datum: 28.01.2009		Version: 3 Blatt 2 von 2			

Tabelle 3: Anforderungsliste für Audio-Verstärker-Modul

2.3.2 Black-Box

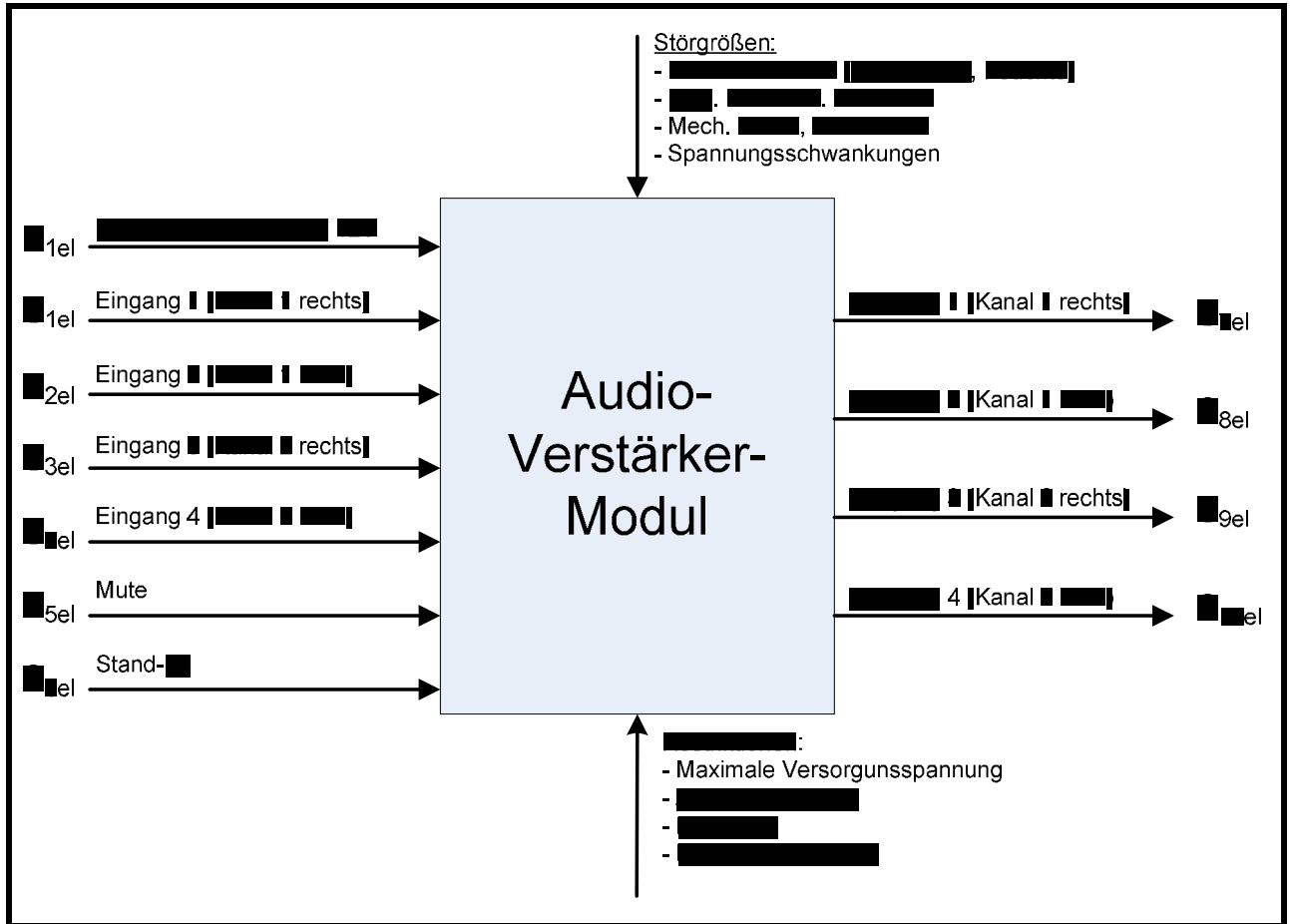


Abbildung 5: Black-Box Audio-Verstärker-Modul

2.3.3 Auswahl des Verstärkerbausteins

Um eine ausreichende Ausgangsleistung zur Verfügung zu stellen und das Verstärkermodul zugleich möglichst kompakt zu gestalten, wurde der Verstärkerbaustein TDA7560 von ST Microelectronics gewählt, der speziell für den Einsatz in Autoradios entwickelt wurde. Die MOSFET-Endstufe liefert maximal 4x30 Watt Sinus an 4Ω, eine für Standardanwendungen großzügig bemessene Leistung. Zudem arbeitet der Verstärker im Class AB-Betrieb, hat also sehr gute Klangeigenschaften. Diese äußern sich z.B. durch ein sehr geringes Grundrauschen („Brummen“) und einen niedrigen Klirrfaktor. Vergleichbare Class B-Verstärker haben zwar einen höheren Wirkungsgrad, jedoch sind Rauschen und Klirrfaktor teilweise um den Faktor 10 höher!

Der Baustein kann über Logikeingänge stumm geschaltet („mute“) und in einen Stand-By-Betrieb versetzt werden. Letztgenannte Funktion kann dazu verwendet werden, den Verstärker bei Nichtgebrauch abzuschalten; dies senkt die Leistungsaufnahme des Gesamtsystems und verhindert gleichzeitig eine unnötige Erwärmung des Verstärkerbausteins.

Desweiteren ist es möglich, den Verstärker ausgangsseitig an 2Ω zu betreiben, z.B um mehrere Lautsprecher parallel an einem Ausgang zu betreiben. Dies ist im Automotive-Bereich nicht unüblich und führt bei vielen Verstärkern zu einer erheblichen Verschlechterung der Klangeigenschaften oder sogar zur Zerstörung des Bauteils.

Der TDA7560 verfügt zudem über vielfältige Schutzschaltungen, z.B. gegen Kurzschluß und Überhitzung. Wird eine zu niedrige Versorgungsspannung erkannt (beispielsweise beim Starten des Motors), schaltet der Verstärker automatisch stumm. Dadurch kann ein „Knacken“ der Lautsprecher oder gar eine Zerstörung derselben wirkungsvoll verhindert werden.

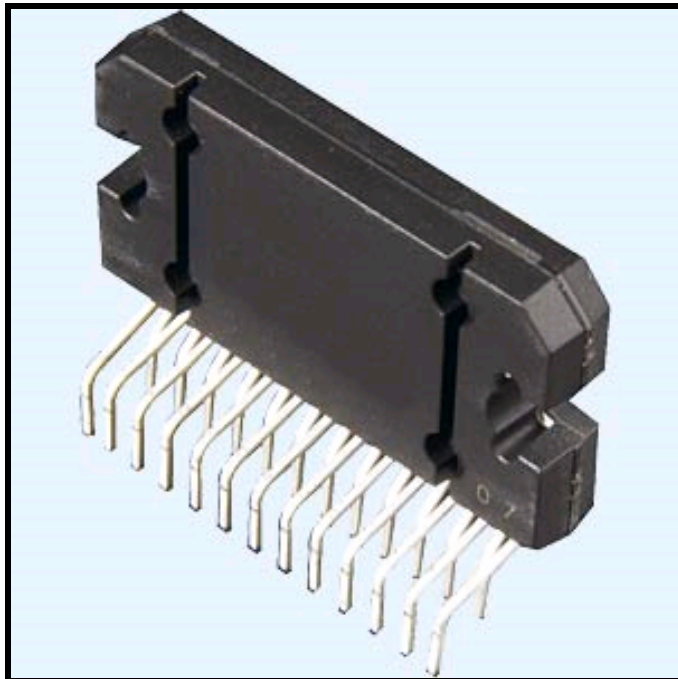


Abbildung 6: TDA 7560

2.3.3.1 Grenzdaten

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	Operating Supply Voltage	18	V
$V_{CC(DC)}$	DC Supply Voltage	28	V
$V_{CC(pk)}$	Peak Supply Voltage ($t = 50ms$)	50	V
I_o	Output Peak Current: Repetitive (Duty Cycle 10% at $f = 10Hz$) Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	9	A
		10	A
P_{tot}	Power dissipation, ($T_{case} = 70^\circ C$)	80	W
T_j	Junction Temperature	150	$^\circ C$
T_{stg}	Storage Temperature	- 55 to 150	$^\circ C$

Abbildung 7: Grenzdaten TDA 7560

2.3.3.2 Blockschaltbild

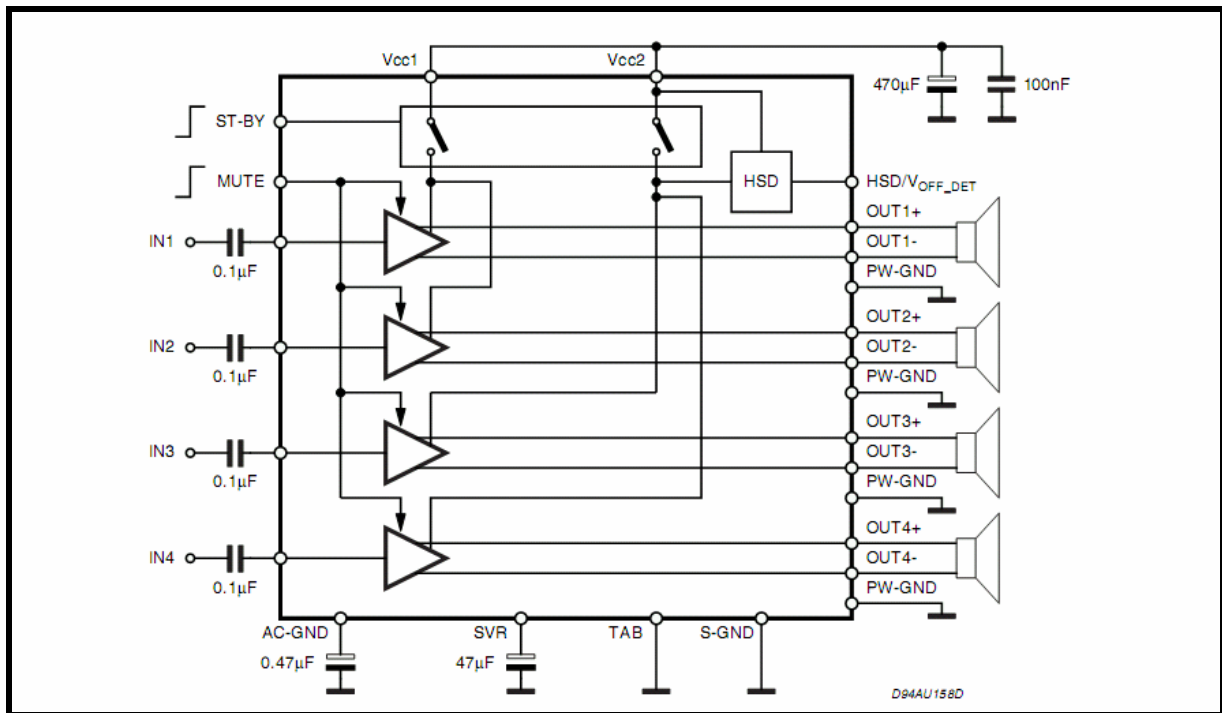


Abbildung 8: Blockschaltbild TDA 7560

2.3.3.3 Elektrische Eigenschaften

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{q1}	Quiescent Current	$R_L = \infty$	120	200	320	mA
V_{OS}	Output Offset Voltage	Play Mode			± 60	mV
dV_{OS}	During mute ON/OFF output offset voltage				± 60	mV
G_V	Voltage Gain		25	26	27	dB
dG_V	Channel Gain Unbalance				± 1	dB
P_o	Output Power	$V_S = 13.2V$; THD = 10%	23	25		W
		$V_S = 13.2V$; THD = 1%	16	19		W
		$V_S = 14.4V$; THD = 10%	28	30		W
		$V_S = 14.4V$; THD = 1%	20	23		W
		$V_S = 13.2V$; THD = 10%, 2 Ω	42	45		W
		$V_S = 13.2V$; THD = 1%, 2 Ω	32	34		W
$P_{o\ EIAJ}$	EIAJ Output Power (*)	$V_S = 13.7V$; $R_L = 4\Omega$	41	45		W
		$V_S = 13.7V$; $R_L = 2\Omega$		77		W
$P_{o\ max.}$	Max. Output Power (*)	$V_S = 14.4V$; $R_L = 4\Omega$		50		W
		$V_S = 14.4V$; $R_L = 2\Omega$		80		W
THD	Distortion	$P_o = 4W$		0.006	0.05	%
		$P_o = 15W$; $R_L = 2\Omega$		0.015	0.07	%
e_{No}	Output Noise	*A* Weighted Bw = 20Hz to 20KHz		35 50	50 70	μV μV
SVR	Supply Voltage Rejection	$f = 100Hz$; $V_r = 1V_{rms}$	50	70		dB
f_{ch}	High Cut-Off Frequency	$P_o = 0.5W$	100	300		KHz
R_i	Input Impedance		80	100	120	K Ω
C_T	Cross Talk	$f = 1KHz$ $P_o = 4W$	60	70	-	dB
		$f = 10KHz$ $P_o = 4W$		60	-	dB
I_{SS}	St-By Current Consumption	$V_{S-By} = 1.5V$			75	μA
I_{pin4}	St-by pin Current	$V_{St-By} = 1.5V$ to 3.5V			± 10	μA
$V_{SS\ out}$	St-By Out Threshold Voltage	(Amp: ON)	3.5			V
$V_{SS\ in}$	St-By in Threshold Voltage	(Amp: OFF)			1.5	V
A_M	Mute Attenuation	$P_{Oref} = 4W$	80	90		dB
$V_{M\ out}$	Mute Out Threshold Voltage	(Amp: Play)	3.5			V
$V_{M\ in}$	Mute In Threshold Voltage	(Amp: Mute)			1.5	V
$V_{AM\ in}$	V_S Automute Threshold	(Amp: Mute) Att $\geq 80dB$; $P_{Oref} = 4W$	6.5	7		V
		(Amp: Play) Att $< 0.1dB$; $P_o = 0.5W$		7.5	8	V
I_{pin22}	Muting Pin Current	$V_{MUTE} = 1.5V$ (Sourced Current)	7	12	18	μA
		$V_{MUTE} = 3.5V$	-5		18	μA
HSD SECTION						
$V_{dropout}$	Dropout Voltage	$I_o = 0.35A$; $V_S = 9$ to 16V		0.25	0.6	V
I_{prot}	Current Limits		400		800	mA
OFFSET DETECTOR SECTION						
V_{M_ON}	Mute Voltage for DC offset detection enabled	$V_{stby} = 5V$	8			V
V_{M_OFF}					6	V
V_{OFF}	Detected Differential Output Offset	$V_{stby} = 5V$; $V_{mute} = 8V$	± 2	± 3	± 4	V
V_{25_T}	Pin 25 Voltage for Detection = TRUE	$V_{stby} = 5V$; $V_{mute} = 8V$ $V_{OFF} > \pm 4V$	0		1.5	V
V_{25_F}	Pin 25 Voltage for Detection = FALSE	$V_{stby} = 5V$; $V_{mute} = 8V$ $V_{OFF} > \pm 2V$	12			V

Tabelle 4: Elektrische Eigenschaften TDA 7560

2.4 Ausarbeitung

2.4.1 Schaltplan

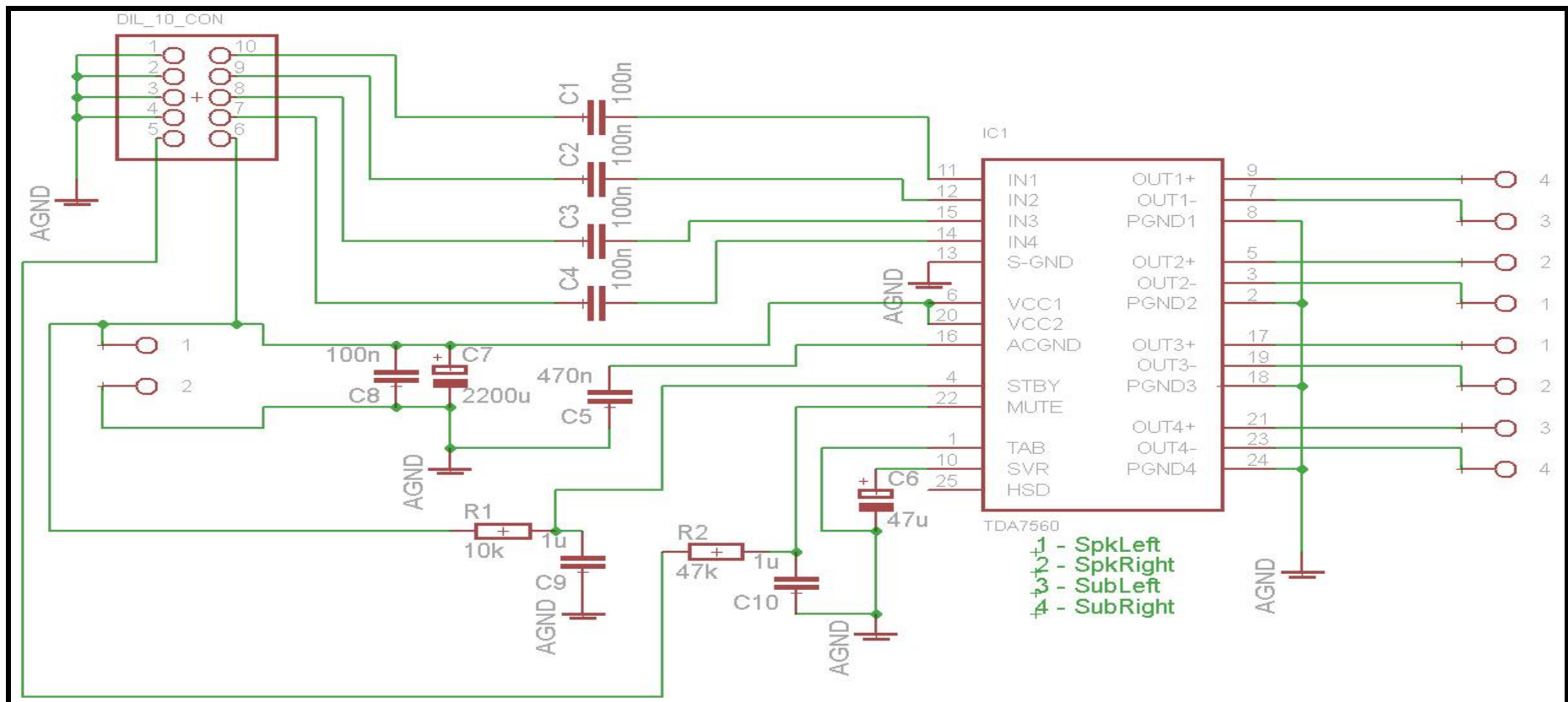


Abbildung 9: Schaltplan Audio-Verstärker-Modul

2.4.2 Layout

2.4.2.1 Prototyp

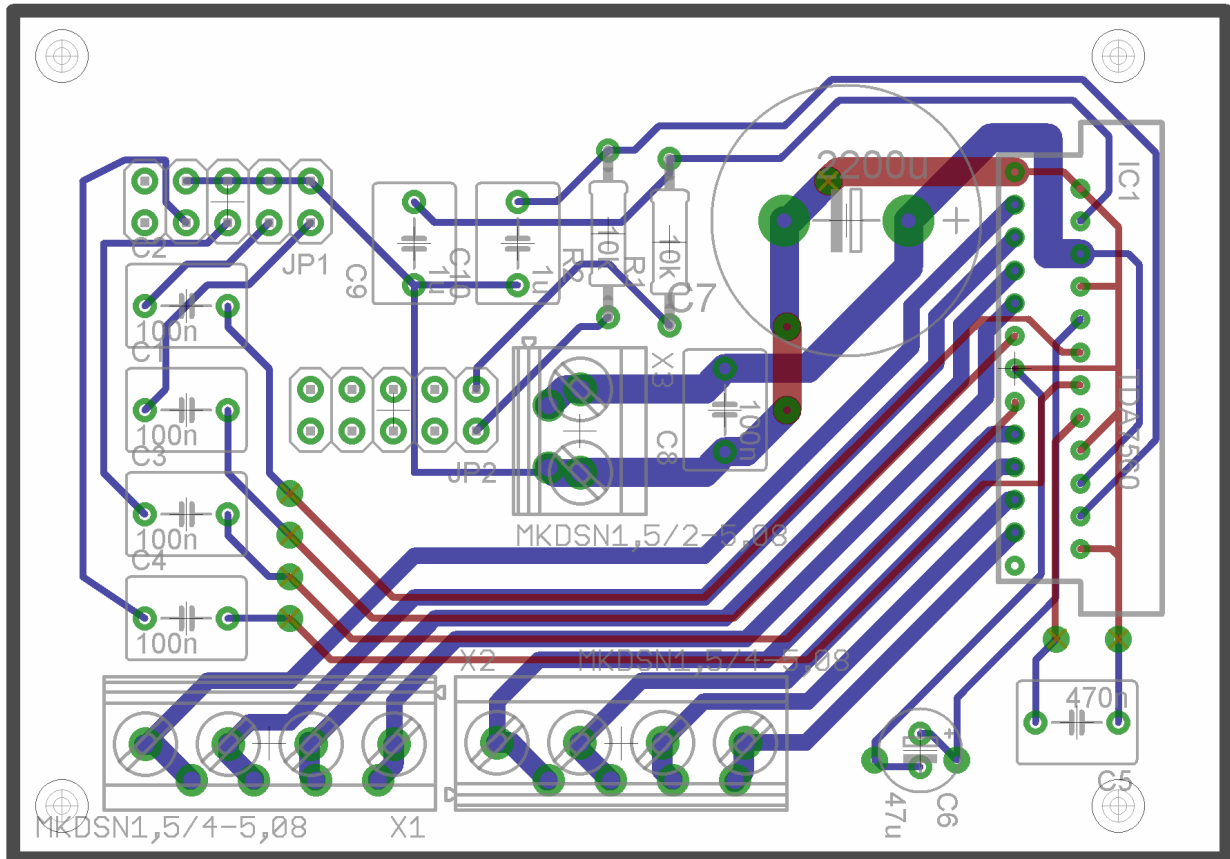


Abbildung 10: Layout Audio-Verstärker-Modul – Prototyp (Version 1.7)

Die Leiterplatte ist zweilagig ausgeführt, um die benötigten kompakten Abmaße zu erreichen. Für den Leistungsteil sind breite Leiterbahnen und Stecker mit größerem Rastermaß vorgesehen, um die zu erwartenden hohen Ströme verlustfrei zu übertragen. Die Standby- und Mute-Funktion werden über das Mikrocomputer-Modul angesprochen. So kann der Verstärker stumm geschaltet werden, während das System hochgefahren wird, ein lästiges „Knacken“ beim Einschalten wird dadurch vermieden.

2.4.2.2 Endversion

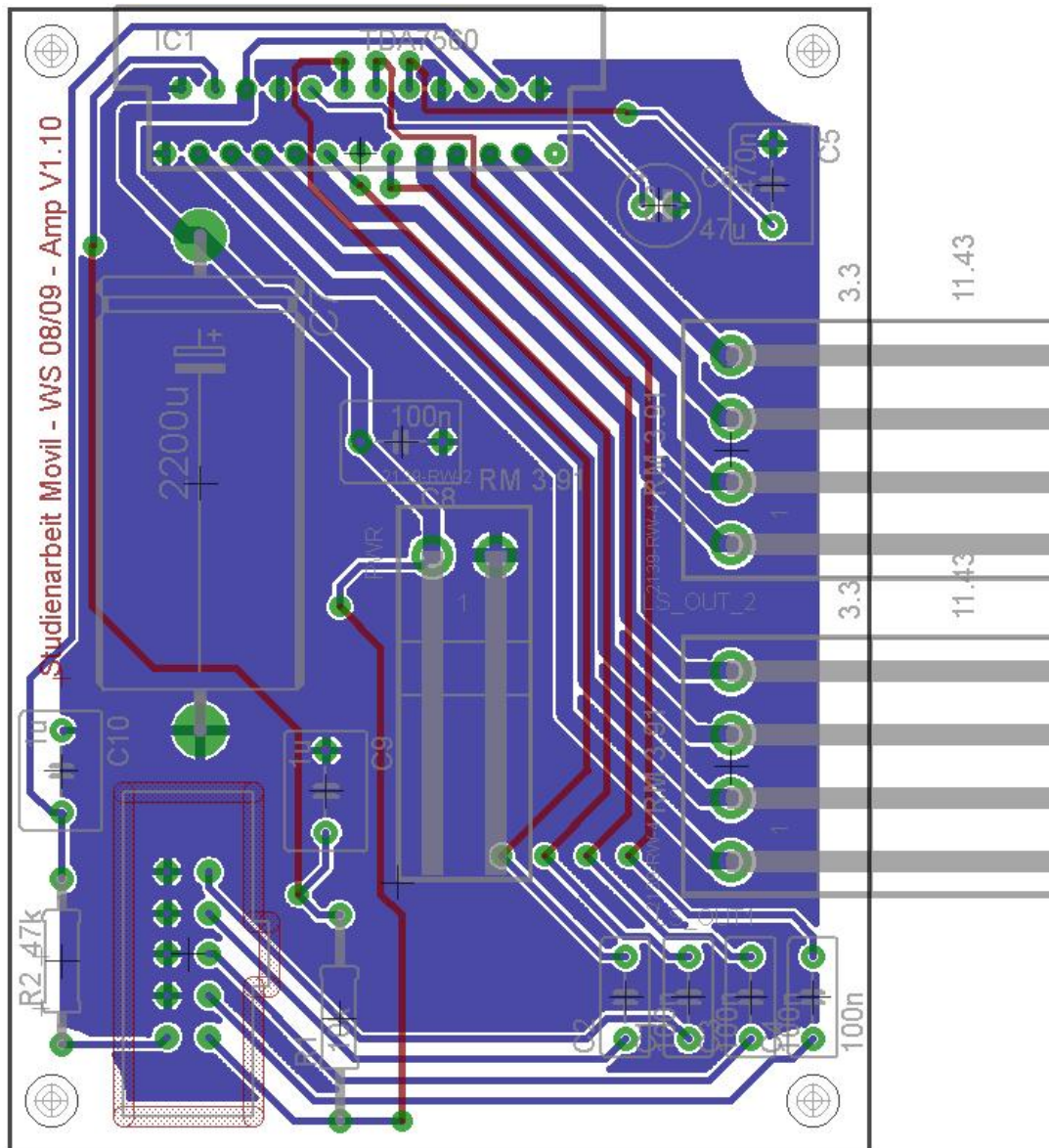
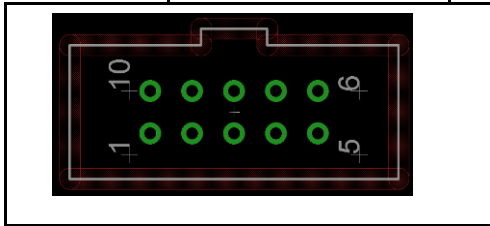


Abbildung 11: Layout Audio-Verstärker-Modul – Endversion (Version 1.10)

Die Endversion des Audio-Verstärker-Moduls beinhaltet einige Änderungen, auf diese wird im Abschnitt 2.5.2 näher eingegangen.

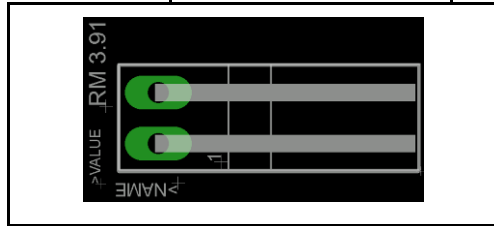
2.4.3 Pinbelegungsplan Audio-Verstärker-Modul Version 1.10

Name:	SIG_AMP
Anz. Pins:	10
Bibliothek:	DIL_10_Plug
	Bild:



Pin:	Signal
1	AGND
2	AGND
3	AGND
4	AGND
5	Mute
6	VCC
7	IN4
8	IN3
9	IN2
10	IN1

Name:	PWR
Anz. Pins:	2
Bibliothek:	molex_series_2139
	Bild:



Pin:	Signal
1	VCC
2	AGND
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Name:	LS_OUT1
Anz. Pins:	4
Bibliothek:	molex_series_2139
	Bild:



Pin:	Signal
1	OUT2-
2	OUT2+
3	OUT1-
4	OUT1+

Name:	LS_OUT2
Anz. Pins:	4
Bibliothek:	molex_series_2139
	Bild:



Pin:	Signal
1	OUT3+
2	OUT3-
3	OUT4+
4	OUT4-

Tabelle 5: Pinbelegungsplan Audio-Verstärker

2.5 Inbetriebnahme und Testprozesse

2.5.1 Inbetriebnahme des Prototypen

Nach dem Fräsen der Prototypenplatine wurde diese bestückt. Trotz mehrfacher Überarbeitung des Layouts traten hierbei Probleme auf, insbesondere beim Verlöten des TDA 7560 Verstärkerbausteins. Einige der rückseitigen Anschlüsse des Bausteins waren in der Version 1.7 direkt auf das Top-Layer gelegt, waren jedoch vom Gehäuse verdeckt und somit nur schwer zugänglich. Dies erschwerte sowohl das Verlöten der Anschlüsse als auch eine Kontrolle der Lötstellen. Bei einem ersten Test der Baugruppe war nur einer der vier Ausgänge vollkommen funktionsfähig, die restlichen drei Ausgänge wiesen ein starkes Brummen auf bzw. lieferten überhaupt kein Ausgangssignal.

Nach eingehender Fehlersuche konnte das Problem lokalisiert werden. Jeder der Ausgänge hat eine zusätzliche Masseverbindung, diese ist Teil der Kurzschlussicherung. Wird hier ein Offset erkannt vermutet die interne Logik einen Kurzschluss der Ausgangsklemmen und schaltet den Verstärker automatisch in den Standby-Betrieb. Ein Test mit dem Durchgangsmesser zeigte zwar eine bestehende Verbindung an, bei einer weiteren Überprüfung stellte sich jedoch heraus, dass die Masseverbindungen der nicht funktionierenden Ausgänge einen geringen Übergangswiderstand von wenigen Ω aufwiesen. Dieser Widerstand war offensichtlich ausreichend, um die Kurzschlussicherung auszulösen und den Baustein abzuschalten.

Aus o.g. Gründen war eine Überprüfung der Lötstellen nur sehr schwer möglich, weshalb an zwei der drei fehlerhaften Ausgänge Lötbrücken angebracht werden mussten. Nachdem durch diese Maßnahme eine einwandfreie Masseverbindung hergestellt war, funktionierten alle vier Ausgänge sowie die Standby- und Mute-Funktion wie gewünscht.

2.5.2 Verbesserungen

Die beim Test des Prototypen aufgetretenen Probleme führten zu einigen Änderungen in der Version 1.10 des Schaltungslayouts. Zusätzlich wurden einige weitere Verbesserungen vorgenommen:

- Um alle Anschlüsse des Verstärkerbausteins an der Unterseite verlöten zu können, wurden an kritischen Stellen Vias eingefügt.
- Einfügen einer Ground-Plane, um überall eine sichere Masseverbindung zu gewährleisten und den Verdrahtungsaufwand zu verringern.
- Beim Kondensator C10 wurde statt einer radialen eine axiale Bauform gewählt, um die Höhe der Baugruppe zu reduzieren und eine mögliche Kollision mit den unter der Verstärkerbaugruppe montierten Mechanikkomponenten im Vorfeld zu vermeiden. Aufgrund der Größe von C10 musste das Layout nochmals stark überarbeitet werden.
- Die provisorischen Anschlussklemmen wurden durch entsprechende Steckverbinder ersetzt.

2.5.3 Ausblick

In späteren Versionen könnte durch die Verwendung von SMD-Bauteilen für die externe Beschaltung die Packungsdichte weiter erhöht werden. Sinnvoll wäre dieser Schritt vor allem in Einheit mit einer doppelseitigen Bestückung, da ein Großteil des Bottom-Layers ungenutzt ist bzw. für die Ground-Plane verwendet wird.

Desweiteren wäre, als grundsätzlich anderes Konzept, der Aufbau einer digitalen Endstufe denkbar. Derartige Verstärker arbeiten mit einem Wirkungsgrad von bis zu 90%, was zu einer erheblich geringeren Erwärmung führt. Ein hierfür geeigneter Baustein wäre beispielsweise der TAS5110 des Herstellers Texas Instruments. Da diese Verstärker jedoch nicht für den Automotive-Bereich konzipiert sind, benötigen sie z.B. eine weitaus höhere Versorgungsspannung, die im Vorfeld mit einem Step-Up-Wandler erzeugt werden müsste. Dies könnte wiederum Probleme durch EMV-Belastung mit sich ziehen. Des Weiteren ist die Verwendung von digitalen Verstärkern eigentlich nur dann sinnvoll, wenn ausschließlich digitale Audiosignale verwendet werden. Soll optional auch mit herkömmlichen, analogen Signalen gearbeitet werden, muss dem Verstärker zunächst ein A/D-Wandler vorgeschaltet werden. Die Vorteile eines solchen Aufbaus müssen somit mit einem enorm vergrößerten Schaltungsaufwand erkaufte werden.

Eine Ausnahme stellt hier der Baustein Baustein TDA7801 von ST Microelectronics dar, der sehr interessant für kommende Projekte sein dürfte. Es handelt sich hierbei um eine für den Automobilbereich entwickelte 4-Kanal-Endstufe. Es ist bereits ein A/D-Wandler integriert, der den Betrieb des Verstärkers auch an analogen Audioquellen ermöglicht. Leider ist dieser Baustein z.Zt. noch in der Entwicklungsphase und noch nicht auf dem Markt erhältlich.

Datenblätter zu den o.g. Alternativlösungen finden sich unter Abschnitt 7.2 im Anhang.

2.6 Fertige Flachbaugruppe

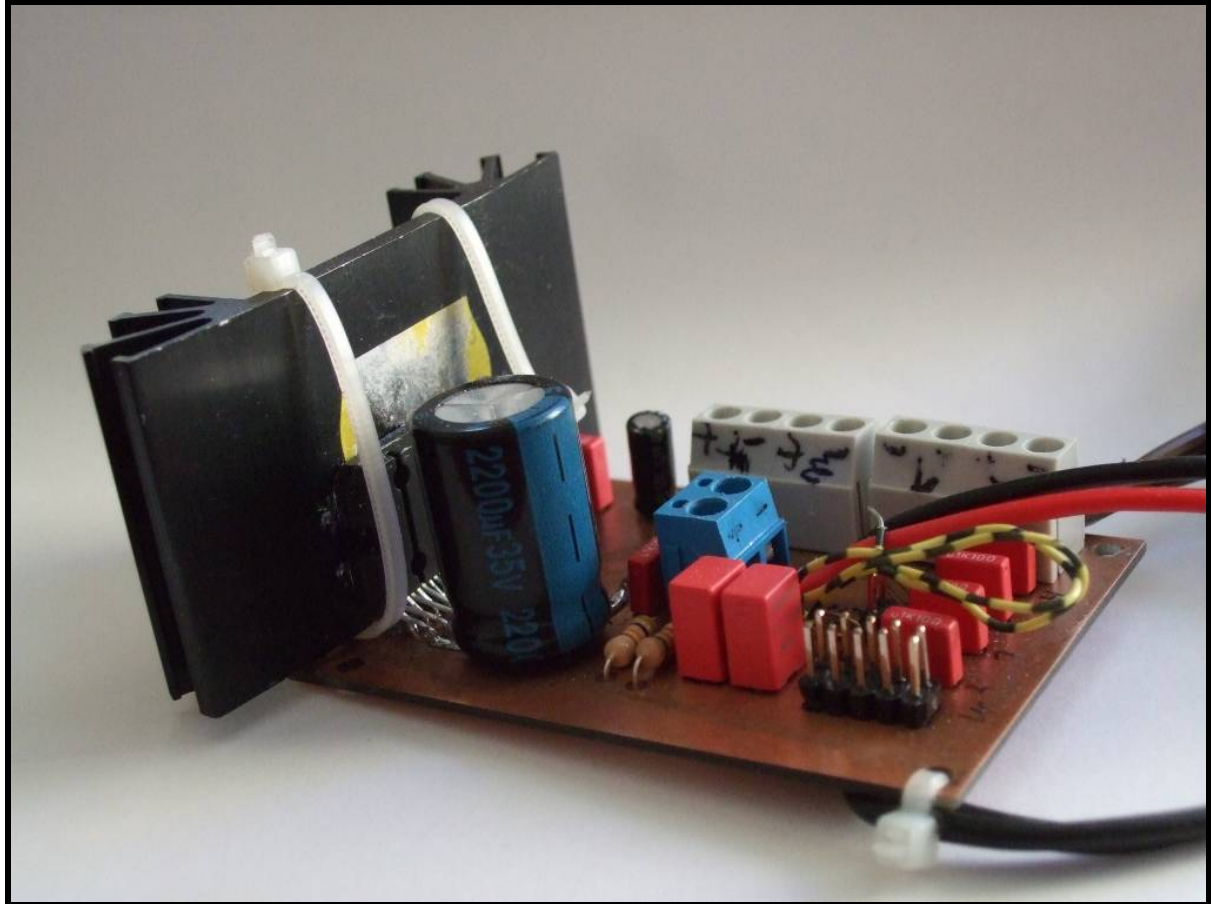


Abbildung 12: Audio-Verstärker-Modul Version 1.7 (Prototyp)

3 Teilprojekt Lineareinheit

3.1 Projektdefinition

3.1.1 Problemstellung

CD-Laufwerk und Kartenleser des Car-PC sind vom Display verdeckt. Um Zugang zu diesen zu erhalten, muss das Display mittels einer geeigneten Lineareinheit verschoben werden. Derzeit existiert noch kein derartiger Aufbau.

3.1.2 Aufgabenstellung

Für die Studienarbeit „movil“ soll eine geeignete Lineareinheit entwickelt, gefertigt, aufgebaut und getestet werden. Sie muss über einen ausreichenden Verfahrweg verfügen und darf den restlichen Aufbau durch ihren Betrieb nicht negativ beeinflussen.

3.1.3 Stand der Technik

Lineareinheiten oder Linearsteller kommen in vielfältigen, jedoch meist sehr spezialisierten Anwendungen zum Einsatz. Ihr Einsatzbereich reicht von Stellern zur Bewegung des Abtastlasers in CD/DVD-Laufwerken über Einheiten zur Leuchtweitenregulierung in Kraftfahrzeugen bis hin zu Achsen in CNC-Bearbeitungszentren.



Abbildung 13: Piezoelektrische Lineareinheit, z.B. zur nm-genauen Positionierung

Sie sind zunächst grundsätzlich anhand des zugrunde liegenden Wirkprinzips zu unterscheiden. So kann die Linearbewegung beispielsweise mechanisch (z.B. durch eine Feder), pneumatisch, hydraulisch, magnetisch oder (piezo)elektrisch erfolgen. Weitere Kriterien sind der mögliche Verfahrenweg, die Schubkraft sowie die Präzision der Bewegung. Hinzu kommen noch Eigenschaften wie Maße, Gewicht und Preis.

Eine umfangreiche Recherche im Internet, bei verschiedenen Herstellern und auf zwei Fachmessen zeigte leider, dass eine für uns geeignete Lineareinheit auf dem Markt vermutlich nicht verfügbar ist. Die entscheidenden, gegensätzlichen Kriterien waren hier der mögliche Verfahrenweg sowie die Maße des Linearmoduls. Module mit geeigneten Maßen verfügten über einen viel zu geringen Verfahrenweg; bei ausreichendem Verfahrenweg entsprachen die Abmaße nicht mehr unseren Vorgaben.



Abbildung 14: Lineareinheit z.B. für Lüfterklappensteuerung in KFZ

Dieser Verdacht erhärtete sich bei der Untersuchung mehrerer CD-Laufwerke und eines Autoradios mit schwenkbarem Frontdisplay; bei diesen Anwendungen hat die Konstruktion der Lineareinheit ähnliche Anforderungen zu erfüllen. Es zeigte sich, dass in allen Geräten teilweise sehr aufwendige Individuallösungen realisiert wurden.

Insbesondere die Konstruktion der Motor-Getriebe-Einheit sowie der Führungen wurde meistens mit komplexen Spritzguss- oder Formblechteilen ermöglicht. Da derart gestaltete Teile in einer Prototypenfertigung nur schwierig herzustellen sind, entschieden wir uns für eine den Anforderungen entsprechende, einfach zu fertigende Lösung.

3.1.4 Mindmap

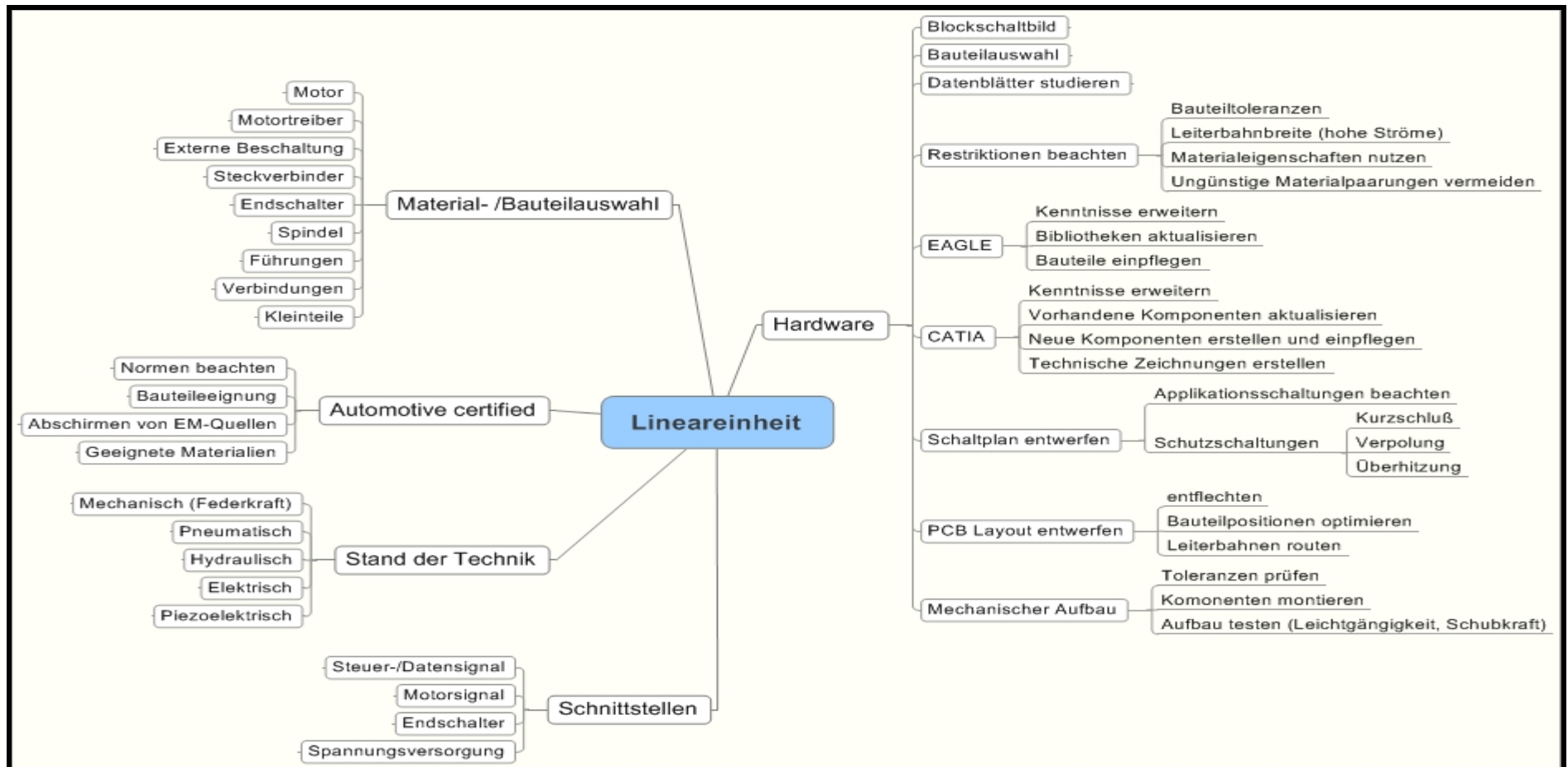


Abbildung 15: Mindmap Lineareinheit

3.2 Projektplanung

3.2.1 Objektorientierter Projektstrukturplan

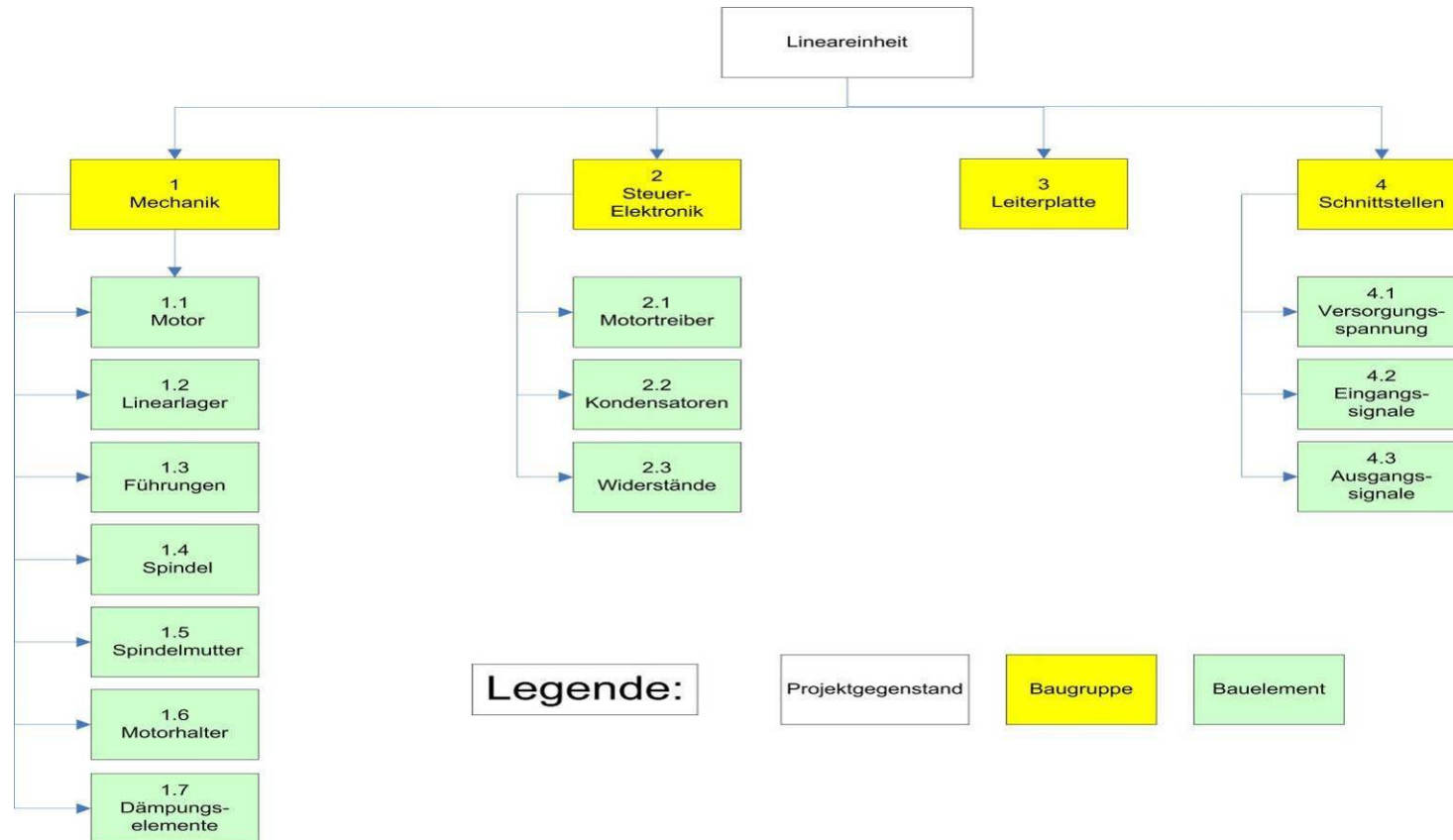


Abbildung 16: Objektorientierter Projektstrukturplan für Lineareinheit

3.2.2 Beschreibung der Bauelemente

Folgende Bauelemente stellen die wesentlichen Komponenten der Lineareinheit dar, die bei der Projektplanung zu berücksichtigen sind.

Index	Vorgang	Beschreibung
1.1	Motor	Es muss ein geeigneter Motor zum Antrieb der Lineareinheit ausgewählt werden. Die wichtigsten Bewertungskriterien für dieses Bauelement sind Größe, Drehzahl und Drehmoment
1.2	Linearlager	Eine präzise Linearlagerung sorgt für einen spielfreien Lauf des Linearmoduls
1.3	Führungen	Die Führungen laufen in den Linearlagern und müssen hinsichtlich Funktionalität und einfacher Fertigbarkeit konstruiert werden.
1.4	Spindel	Die Spindel wandelt die rotatorische Bewegung des Motors in eine translatorische Bewegung um.
1.5	Spindelmutter	Die Spindelmutter dient als Gegenstück zu Spindel. Hier ist auf eine reibungsarme Materialpaarung zu achten.
1.6	Motorhalter	Um den Motor sicher zu befestigen, wird ein passender Motorhalter benötigt
1.7	Dämpfungselemente	Das Gehäuse soll mechanisch von der Lineareinheit entkoppelt werden, um störende Vibrationen zu vermeiden. Hierfür werden geeignete Dämpfungselemente benötigt.
2.1	Motortreiber	Der Motortreiber steuert den Rechts- /Linkslauf des Motors.
2.2	Kondensatoren	Die Kondensatoren für die externe Beschaltung müssen hinsichtlich Wert, Toleranzen und Spannungsfestigkeit ausgewählt werden.

Index	Vorgang	Beschreibung
2.3	Widerstände	Die Widerstände für die externe Beschaltung der aktiven Bauteile müssen mit geeigneten Werten und Toleranzen ausgewählt werden.
4.1	Versorgungsspannung	Um den Motortreiber mit Spannung zu versorgen, muss ein geeigneter Connector ausgesucht werden.
4.2	Eingangssignale	Es ist ein geeigneter Connector für alle Eingangssignale auszuwählen.
4.3	Ausgangssignale	Siehe 4.2

Tabelle 6: Beschreibung der Bauelemente des objektorientierten PSP für Lineareinheit

3.2.3 Kombiniertes Projektstrukturplan

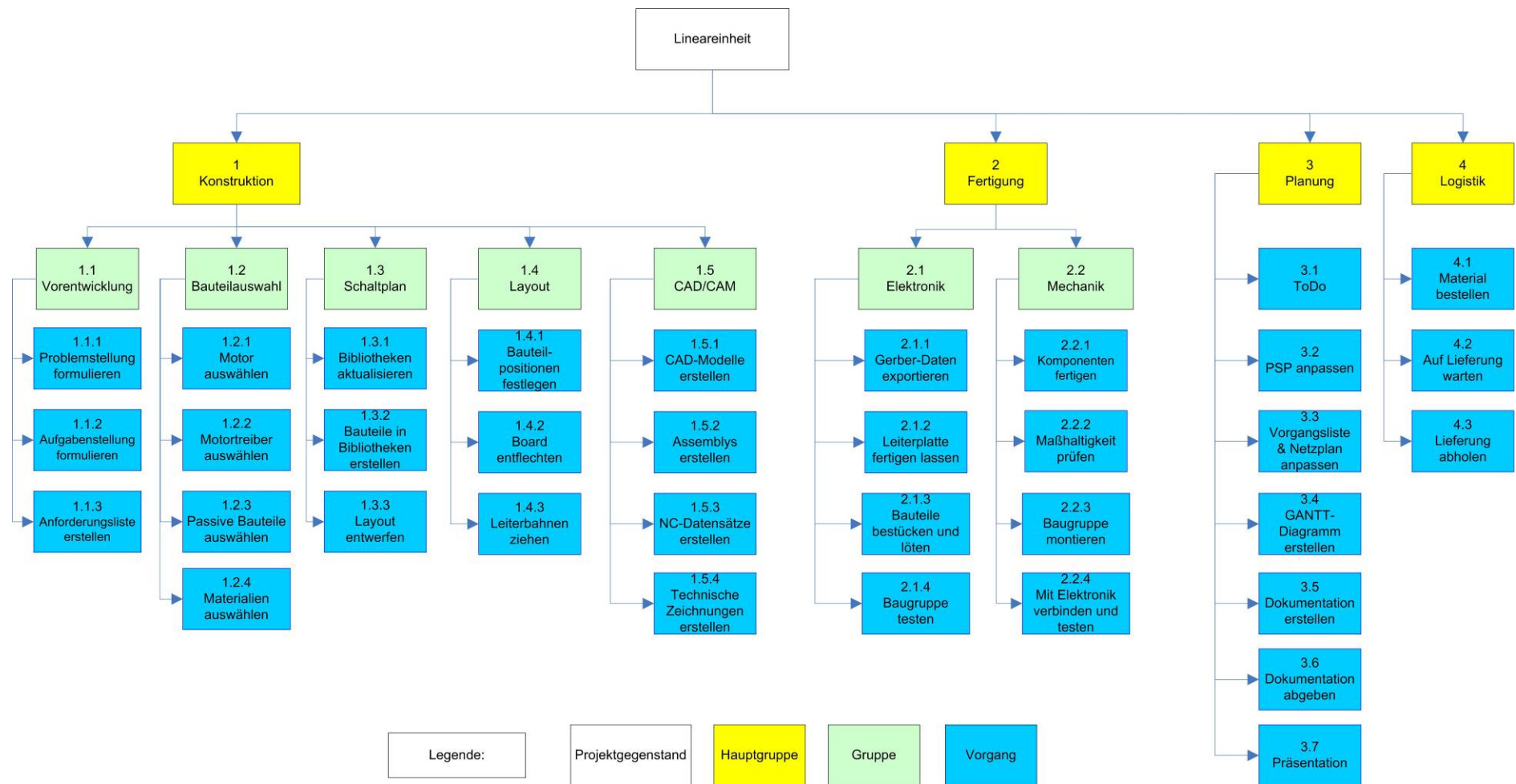


Abbildung 17: Kombiniertes PSP für Lineareinheit

3.2.4 Beschreibung der Vorgänge

Nachfolgend sind die Vorgänge aus dem kombinierten PSP aufgeführt und genauer beschrieben:

Index	Vorgang	Beschreibung
1.1.1	Problemstellung formulieren	Hier wird die Problemstellung definiert.
1.1.2	Aufgabenstellung formulieren	Hier wird die Aufgabenstellung des Projektes definiert und klar abgegrenzt.
1.1.3	Anforderungsliste erstellen	Aus der Aufgabenstellung ergeben sich die Anforderungen, die in der Anforderungsliste festgehalten werden.
1.2.1	Motor auswählen	Es muss ein geeigneter Motor zum Antrieb der Lineareinheit ausgewählt werden. Die wichtigsten Bewertungskriterien für dieses Bauelement sind Größe, Drehzahl und Drehmoment
1.2.2	Motortreiber auswählen	Um den Rechts- /Linkslauf des Motors zu steuern, wird ein passender Treiberbaustein benötigt. Er muss binär ansteuerbar sein und die vom Motor benötigte Leistung bereitstellen können.
1.2.3	Passive Bauteile auswählen	Die passiven Bauteile müssen entsprechend der vorgegebenen Werte und Toleranzen ausgewählt werden.
1.2.4	Materialien auswählen	Die Materialien für die Einzelkomponenten der Lineareinheit müssen entsprechend ihres Einsatzbereiches ausgewählt werden.
1.3.1	Bibliotheken aktualisieren	Vorhandene Bibliotheken der eingesetzten Bauteile in die CAD-Software Eagle einbinden.

Index	Vorgang	Beschreibung
1.3.2	Bauteile in Bibliotheken erstellen	Wenn für die eingesetzten Bauteile keine Bibliotheken vorliegen, müssen diese manuell erstellt werden.
1.3.3	Layout entwerfen	Mittels CAD-Software Eagle wird das Schaltplan-Layout erstellt.
1.4.1	Bauteilpositionen festlegen	Die Bauteile sollten so angeordnet werden, damit die vorgegebene Fläche optimal ausgenutzt werden kann.
1.4.2	Board entflechten	Verbinden sämtlicher Anschlüsse der Bauelemente, so dass nach Möglichkeit keine Überschneidungen entstehen.
1.4.3	Leiterbahnen ziehen	Die Leiterbahnen müssen so geführt werden, dass nach Möglichkeit keine Kreuzungen entstehen. Lassen sich diese nicht vermeiden, werden ein mehrlagiges Layout und/oder Brücken benötigt.
1.5.1	CAD-Modelle erstellen	Die Einzelkomponenten müssen in einem geeigneten CAD-Programm erstellt werden.
1.5.2	Assebls erstellen	Die angefertigten CAD-Modelle der Einzelkomponenten können nun in einem Assembly zu einer Baugruppe zusammengefügt werden. Somit ergibt sich ein CAD-Modell des Gesamtaufbaus.
1.5.2	NC-Datensätze erstellen	Falls das verwendete CAD-Programm über ein CAM-Modul verfügt, können direkt aus dem Modell die Datensätze für die Fertigung auf einer CNC-Fräse erstellt werden.

Index	Vorgang	Beschreibung
1.5.3	Technische Zeichnungen erstellen	Für die Fertigung der Einzelteile werden technische Zeichnungen benötigt. Diese können im Normalfall ebenfalls direkt im CAD-Programm erstellt werden.
2.1.1	Gerber-Daten exportieren	Aus den fertigen Schaltplan-Layout werden Gerber-Daten exportiert, die zur Fertigung und Bestückung der Leiterplatte verwendet werden können.
2.1.2	Leiterplatte fertigen lassen	Anhand der erstellten Gerber-Daten können Leiterbahnen, Löt pads und Vias aus einem Leiterplatten-Rohling gefertigt werden.
2.1.3	Bauteile bestücken und löten	Nun erfolgt das Bestücken der Platine mit den entsprechenden Bauteilen, welche im Anschluß mit den dafür vorgesehenen Pads verlötet werden.
2.1.4	Baugruppe testen	Die aufgebaute Baugruppe kann nun auf ihre Funktionsfähigkeit hin getestet werden. Bei auftretenden Problemen sind entsprechende Änderungen in Schaltplan und / oder Layout vorzunehmen.
2.2.1	Komponenten fertigen	Anhand der technischen Zeichnungen und/oder NC-Datensätze werden nun die Einzelteile gefertigt.
2.2.2	Maßhaltigkeit prüfen	Bevor die Komponenten eingebaut werden können, muss überprüft werden ob die angegebenen Toleranzbereiche eingehalten wurden.
2.2.3	Baugruppe montieren	Nun kann die Montage der Baugruppe erfolgen.

Index	Vorgang	Beschreibung
2.2.4	Mit Elektronik verbinden und testen	Zuletzt wird die Mechanikbaugruppe mit der Elektronikbaugruppe verbunden und die Funktion des Gesamtsystems überprüft.
3.1	ToDo	Der Ablaufplan wird je nach Reihenfolge erstellt.
3.2	PSP anpassen	Sämtliche Änderungen im Projektverlauf werden berücksichtigt und in den PSP aktualisiert.
3.3	Vorgangliste und Netzplan anpassen	Auf Basis der geänderten Projektstrukturpläne ist die Vorgangliste zu aktualisieren.
3.4	GANTT-Diagramm erstellen	Im GANTT- Diagramm werden die Aktivitäten des Projekts in die erste Spalte einer Tabelle eingetragen. In der ersten Zeile der Tabelle wird die Zeitachse dargestellt.
3.5	Dokumentation erstellen	Über die gesamte Projektphase wird entsprechend der Richtlinien eine ausführliche Dokumentation erstellt.
3.6	Dokumentation abgeben	Die Abgabe der Dokumentation hat fristgerecht beim betreuenden Professor zu erfolgen.
3.7	Präsentation	Die Präsentation soll anhand der Dokumentation erstellt werden. Es sollen alle wesentlichen Teile eingefügt und erläutert werden.
4.1	Material bestellen	Die zur Realisierung des Projektes benötigten Bauteile werden selektiert und möglichst zeitnah bestellt.
4.2	Auf Lieferung warten	Lange Lieferzeiten müssen berücksichtigt werden.
4.3	Lieferung abholen	Die Lieferung muss abgeholt und kontrolliert werden.

Tabelle 7: Beschreibung der Vorgänge des kombinierten PSP für Lineareinheit

3.3 Konstruktive Planung

3.3.1 Anforderungsliste

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft Fakultät: MMT Prof. Dr. Michael Wilhelm				Anforderungsliste für - Lineareinheit -				Studienarbeit - Projekt „movil“ Teilprojekt: Lineareinheit Alexander Wollmann Auftragsnummer: WS 2008/2009			
Organisations-Daten		Prozess-Daten		Anforderungen				Wert - Daten			
Nummer	Name	Art	Phase					Mindest-Erfüllung	SOLL-Erfüllung	Ideal-Erfüllung	Maßeinheit
Physikalisch-Technische Eigenschaften Gesamtaufbau											
F01		F		Länge	150	120	80	mm			
F02		F		Breite	100	80	60	mm			
F03		F		Höhe	30	23	16	mm			
F04		F		Verfahrweg	80	60	40	mm			
F05		F		Schubkraft	200	500	1500	mN			
F06		F		Steigung Spindel	0,4	0,7	1,0	-			
F07		F		Schmierung: A=Öl /Fett / Silikon / PTFE, B=Selbstschmierend	A	B	B	-			
F08		W		Wartungsfrei							
F09		F		Lagerung: A=Linearkugellager, B=Gleitbuchsen, C=Im Material	A	B	C	-			
F10		J/N		Typische Versorgungsspannung: 12 V							
F11		F		Kühlung: A=Aktive Kühlung, B=Kühlkörper, C=Rein passiv	A	B	C	-			
F12		W		Schutzschaltung gegen Kurzschluss							
F13		W		Drehzahlerfassung							
F14		W		Drehzahlregelung							
F15		W		Niedriges Betriebsgeräusch							

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft Fakultät: MMT Prof. Dr. Michael Wilhelm		Anforderungsliste für - Lineareinheit -		Studienarbeit - Projekt „movil“ Teilprojekt: Lineareinheit Alexander Wollmann Auftragsnummer: WS 2008/2009							
Organisations-Daten		Prozess-Daten		Wert - Daten							
Nummer	Name	Art	Phase	Anforderungen				Mindest-Erfüllung	SOLL-Erfüllung	Ideal-Erfüllung	Maßeinheit
Physikalisch-Technische Eigenschaften											
Motor											
F16		W		Kontaktierung über Lötösen							
F17		J/N		Typische Versorgungsspannung: 12 V							
F18		W		Interne Entstörung							
F19		J/N		Geeignet für Automotive-Anwendungen							
F20		F		Maximale Stromaufnahme				500	1000	2000	mA
F21		F		Typ. Stromaufnahme unter Last				100	150	200	mA
F22		F		Typ. Drehmoment unter Last				0,5	1,0	2,0	mNm
F23		F		Typ. Drehzahl unter Last				8000	6000	4000	min ⁻¹
F24		W		Breites Drehmomentband							
F25		F		Höhe				25	20	15	mm
F26		F		Breite				30	25	20	mm
F27		F		Tiefe				35	30	25	mm
F28		W		Gewinde zur Befestigung							
F28		W		Geringes axiales Spiel der Motorwelle							
F28		W		Geräuscharmer Lauf							
Technologie											
T01		J/N		Platinenlayout in Eagle							
T02		J/N		Bauteile in THT-Bauweise							
T03		J/N		Einsatz vorhandener Applikationsschaltungen							
T04		W		Verwendung von bleifreiem Zinn							
T05		F		Art der Fertigung (A=Fräsen, B=Ätzen)				A	B	B	-
T06		W		Fertigung der mech. Bauteile in der Werkstatt der HSKA							

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft Fakultät: MMT Prof. Dr. Michael Wilhelm		Anforderungsliste für - Lineareinheit -		Studienarbeit - Projekt „movil“ Teilprojekt: Lineareinheit Alexander Wollmann Auftragsnummer: WS 2008/2009							
Organisations- Daten Nummer Name		Prozess- Daten Art Phase		Anforderungen				Wert - Daten Mindest- Erfüllung SOLL- Erfüllung Ideal- Erfüllung Maßeinheit			
W01 W02 W03 W04		F J/N W J/N		Wirtschaftlichkeit Bauteilkosten Fertigstellung Ende WS08/09 Herstellung an der Hochschule Karlsruhe Nutzung vorhandener Ressourcen				40 25 10 €			
M01		J/N		Mensch-Produkt-Beziehungen Einsatz: Studienarbeit – Projekt „movil“							
Anforderungsarten: J/N-Ja/Nein; F-Forderungen; W-Wunsch; Konstruktionsphase: P-Prinzip; K-Konzept; E-Entwurf; A-Ausarbeitung Namenskürzel der Mitarbeiter: Wo = Wollmann, Alexander											
Ersetzt Ausgabe vom 14.12.2008 Version: 3 Bearbeiter: Wo								Ausgabe: Datum: 18.12.2008 Version: 4 Blatt 3 von 3			

Tabelle 8: Anforderungsliste Lineareinheit

3.3.2 Black-Box

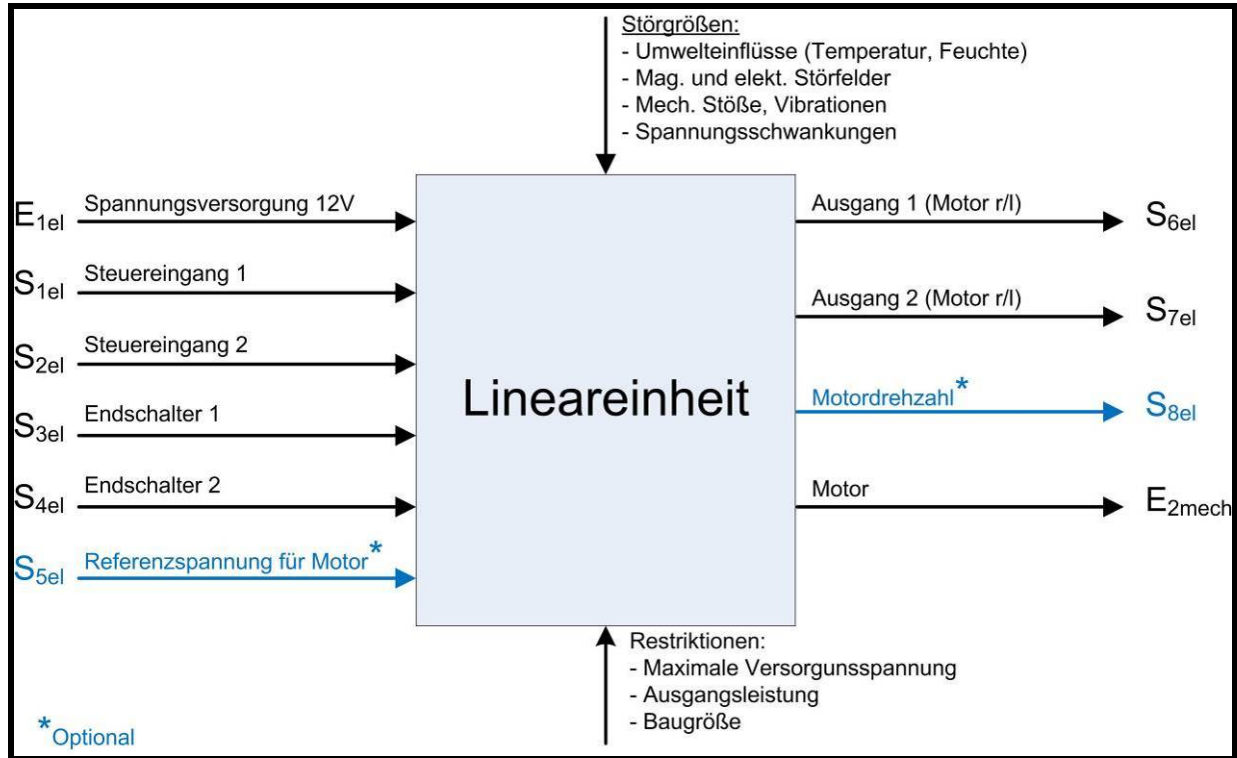


Abbildung 18: Black-Box Lineareinheit

3.3.3 Bauteilauswahl

3.3.3.1 Motor

Die Wahl des Motors gestaltete sich als sehr schwierig da er mehrere, gegensätzliche Eigenschaften in sich vereinen sollte. Der Motor musste trotz geringer Baugröße eine niedrige Nenndrehzahl aufweisen, da kein zusätzliches Getriebe vorgesehen war. Auf die Eigenkonstruktion eines Getriebes sollte aufgrund einer einfachen Herstellbarkeit verzichtet werden, für im Handel erhältliche Anbaugesetze war der verfügbare Raum nicht ausreichend.

Übliche DC-Kleinmotoren in der von uns gewünschten Größe laufen bei einer Lastdrehzahl von ca. 12.000-20.000 min^{-1} , die von uns geforderte, maximale Lastdrehzahl war 6000 min^{-1} . Schrittmotoren, DC-Präzisionsmotoren und Brushlessmotoren erfüllten diese Anforderungen zwar, waren für unseren Einsatzzweck jedoch überdimensioniert und viel zu teuer.

Zudem gelten für den Betrieb im KFZ-Innenraum strenge Richtlinien bezüglich Entstörung, EMV-Emissionen usw.

Nach eingehender Recherche und Beratung durch die Firmen Johnson Motors, Saia, Faulhaber, Mabuchi und Igarashi fiel die Wahl auf das Modell FF-130SH der Firma Mabuchi, von dem uns auch mehrere Samples zur Verfügung gestellt wurden.

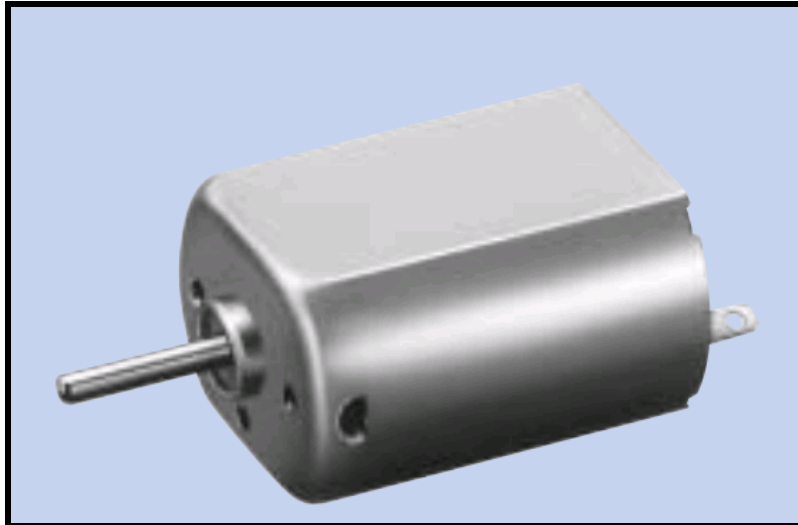


Abbildung 19: Mabuchi FF-130SH

Der Motor wurde für den Einsatz in CD-Playern und Navigationssystemen entwickelt und ist für den Einsatz in Automotive-Anwendungen zertifiziert. Er ist gekapselt und bereits intern entstört. Statt Kohlebürsten wurden hier Metallschleifer verwendet, um eine Funkenstrecke an den Bürsten im Lauf zu vermeiden und somit die EMV-Richtlinien für den Betrieb im KFZ-Innenraum zu erfüllen.

3.3.3.1.1 Technische Daten Mabuchi FF-130SH

MODEL	VOLTAGE		NO LOAD		AT MAXIMUM EFFICIENCY					STALL		
	OPERATING RANGE	NOMINAL	SPEED	CURRENT	SPEED	CURRENT	TORQUE		OUTPUT	TORQUE		CURRENT
			r/min	A	r/min	A	mN-m	g-cm	W	mN-m	g-cm	A
FF-130RH-15210	1~4	3V CONSTANT	5400	0.045	4280	0.17	0.57	5.8	0.26	2.74	28	0.65
FF-130SH-11340	3~12	7.5V CONSTANT	6100	0.033	4920	0.14	1.06	10.9	0.55	5.49	56	0.57
FF-130SH-14230	2.5~10.0	3V CONSTANT	3600	0.037	2850	0.14	0.74	7.5	0.22	3.53	36	0.53

Tabelle 9: Technische Daten Mabuchi FF-130SH

Der Motor kann über einen weiten Spannungsbereich betrieben werden und hat einen breiten Verlauf des Drehmomentbandes. Im Vergleich mit Motoren anderer Hersteller zeichnete er sich zudem noch durch ein sehr geringes Laufgeräusch aus.

3.3.3.2 Motortreiber

Um den Rechts- /Linkslauf des Motors zu steuern wurde auf einen integrierten Treiberbaustein für DC-Motoren zurückgegriffen. Diese Bauteile sind in vielfältigen Ausführungen und Leistungsklassen erhältlich. Im Normalfall besteht ein solcher Treiberbaustein aus einer H-Brücke, mit deren Hilfe die Ausgänge wechselseitig vertauscht werden können. Zusätzlich sind meistens diverse Schutzschaltungen sowie eine interne Logik vorhanden, die die Ansteuerung des Treibers ermöglicht und oftmals auch weitere Funktionen bereitstellt.

Die Wahl fiel auf den Baustein LB1641 von Sanyo Electronic. Der Treiber wird über zwei Logikeingänge angesteuert und ist für die Leistungsaufnahme des verwendeten Motors ausreichend dimensioniert.



Abbildung 20: Sanyo LB1641

Zwar werden vom selben Hersteller Treiberbausteine mit weitaus höherer Funktionenvielfalt angeboten; der gewählte Baustein war jedoch für unseren Einsatzzweck vollkommen ausreichend. Der einfache Aufbau in Verbindung mit einer überschaubaren externen Beschaltung erlaubte eine schnelle Inbetriebnahme und Integration des Motortreibers.

3.3.3.2.1 Grenzdaten LB1641

Parameter	Symbol	Conditions	Ratings	Unit
Maximum supply voltage	$V_{CC\ max}$		18	V
Input voltage	V_{IN}		-0.3 to V_{CC}	V
Output current	I_{OUT}		±1.6	A
Allowable power dissipation	$P_d\ max$		1.2	W
Operating temperature	T_{opr}		-25 to +75	°C
Storage temperature	T_{stg}		-55 to +125	°C

Tabelle 10: Grenzdaten LB1641

3.3.3.2.2 Blockschaltbild LB1641

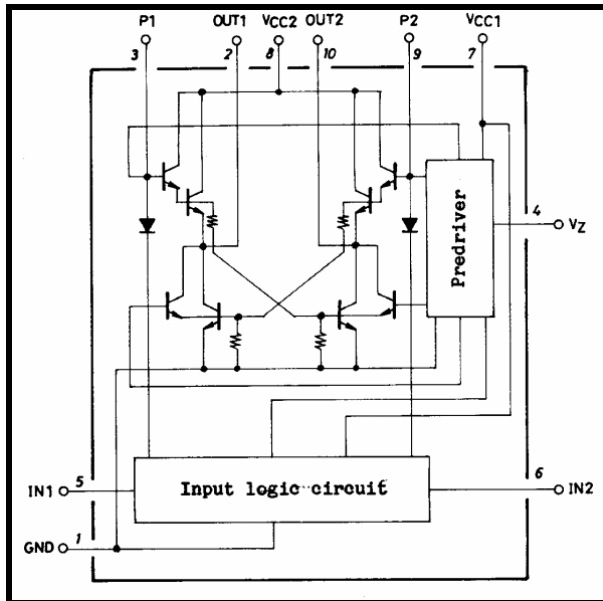


Abbildung 21: Blochschtbild LB1641

Der Baustein verfügt über eine sehr nützliche Zusatzfunktion: An Pin 4 (V_Z) kann eine Referenzspannung angelegt werden, über welche die Betriebsspannung des Motors definiert wird. Diese Funktion ist unabhängig von der Versorgungsspannung. Sie erlaubt zum einen den gleichmäßigen Betrieb des Motors selbst bei schwankender Versorgungsspannung. Zum anderen könnte dieser Eingang zur Realisierung einer Drehzahlregelung verwendet werden, da über ihn die Spannung am Motor und somit auch die Drehzahl dynamisch verändert werden kann.

3.3.3.2.3 Wahrheitstabelle LB1641

Input		Output		Operation
IN1	IN2	OUT1	OUT2	
0	0	0	0	Braking
1	0	1	0	Forward (reverse) drive
0	1	0	1	Reverse (forward) drive
1	1	0	0	Braking

Tabelle 11: Wahrheitstabelle LB1641

3.3.3.3 Dämpfungselemente

Um Form- und Lageabweichungen im Spindeltrieb ausgleichen zu können und die Lineareinheit mechanisch von Gehäuse zu entkoppeln, wurden Gummi-Metall-Puffer verwendet.

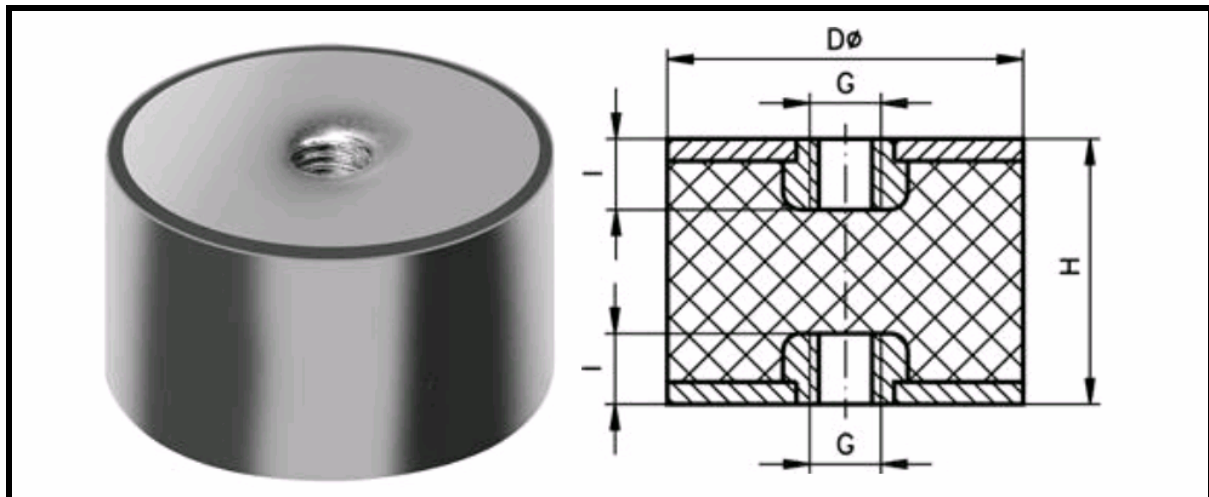


Abbildung 22: Dämpfungselemente

Die Metallteile der Dämpfungselemente bestehen aus Baustahl St37, die Gummitteile sind aus Naturkautschuk gefertigt und haben eine Härte von 55 Shore.

3.4 Ausarbeitung Elektronik

3.4.1 Schaltplan

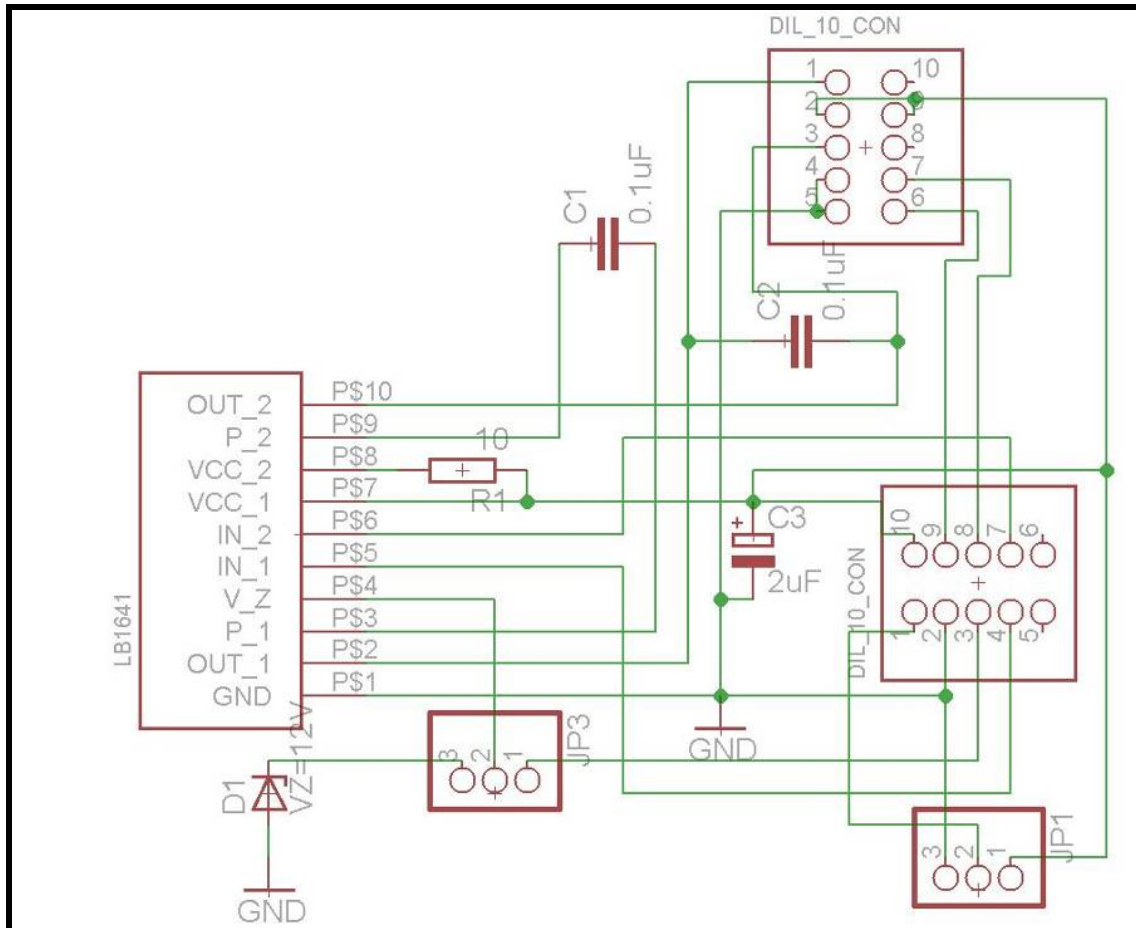


Abbildung 23: Schaltplan Motortreiber

Die Schaltung ist sehr einfach aufgebaut, neben der externen Beschaltung für den LB1641 Treiberbaustein sind Kondensatoren zur Glättung sowie zwei 10-Polige Steckverbinder vorgesehen. Über JP3 kann zwischen einer festen Referenzspannung, vorgegeben durch D1 oder eine variable, extern vorgegebene Referenzspannung umgeschaltet werden. Zusätzlich kann über die Stiftleiste JP1 ein optionaler Drehzahlsensor angeschlossen werden.

3.4.2 Layout

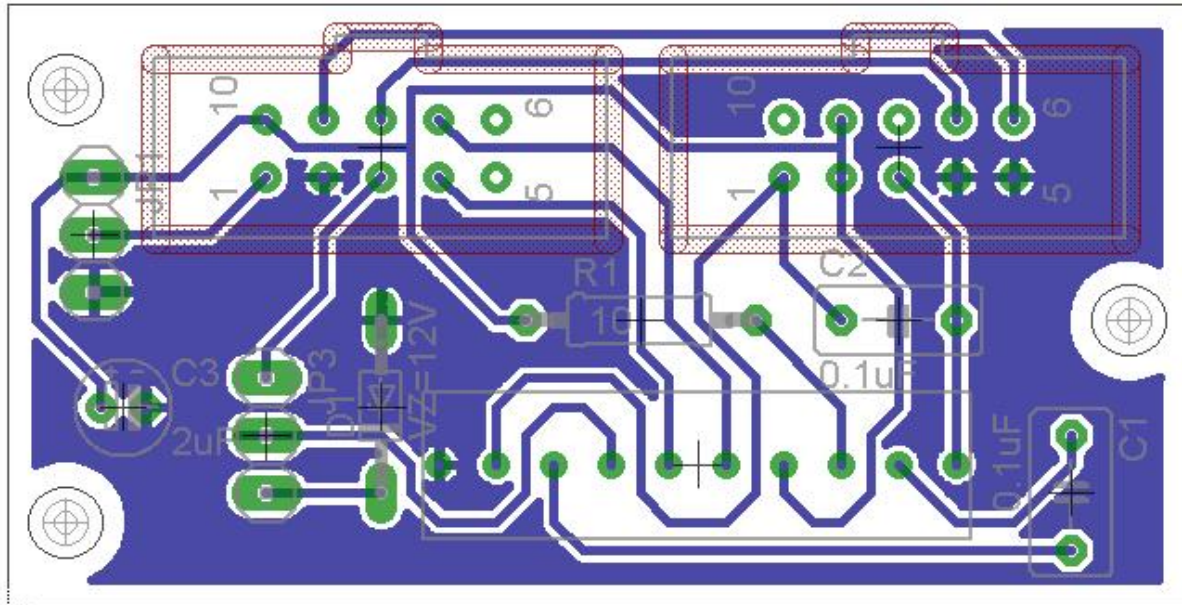
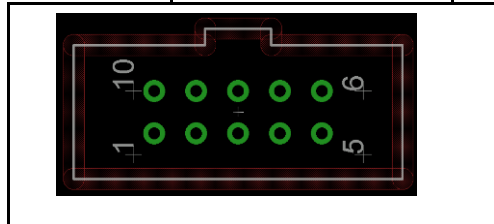


Abbildung 24: Layout Motortreiber

Das Layout konnte wegen des einfachen Schaltungsaufbaus einlagig ausgeführt werden. Auch hier wurde mit einer Ground-Plane gearbeitet, um den Verdrahtungsaufwand zu verringern und an den entsprechenden Stellen eine sichere Masseverbindung zu gewährleisten.

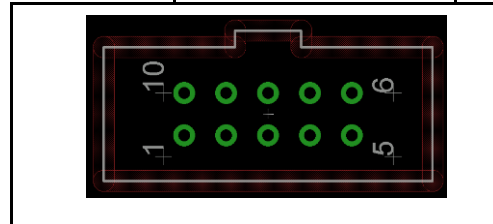
3.4.3 Pinbelegungsplan Motortreiber

Name:	CON_SIG
Anz. Pins:	10
Bibliothek:	DIL_10_Plug
	Bild:



Pin:	Signal
1	RPM (NC)
2	GND
3	VST
4	IN1
5	NC
6	NC
7	IN2
8	SW2
9	SW1
10	VCC

Name:	CON_MOT
Anz. Pins:	10
Bibliothek:	DIL_10_Plug
	Bild:



Pin:	Signal
1	OUT1
2	VCC
3	OUT2
4	GND
5	GND
6	SW1
7	SW2
8	NC
9	VCC
10	NC

Tabelle 12: Pinbelegungsplan Motortreiber

3.4.4 Inbetriebnahme der Baugruppe

Bei einem ersten Aufbau auf dem Steckbrett funktionierte die Baugruppe zwar problemlos, jedoch zeigten einige der getesteten Motoren keinen gleichmäßigen Lauf. Dieses Problem konnte jedoch mit Glättungskondensatoren an der Vorsorgungsspannung und an den Ausgängen des LB1641 Treiberbausteins schnell beseitigt werden. Diese notwendigen Änderungen wurden anschließend in den Schaltplan (siehe Abbildung 23: Schaltplan Motortreiber) eingepflegt, um derartige Probleme bei der fertigen Baugruppe zu vermeiden.

3.4.5 Verbesserungen

Hinsichtlich der Funktionalität des Motortreibers gibt es keine Verbesserungsvorschläge, da dieser die an ihn gestellten Anforderungen voll erfüllt. Lediglich die passiven Bauteile könnten durch SMD-Bauteile ersetzt werden. Da jedoch Treiberbaustein sowie die beiden Steckverbinder den Großteil der Leiterplattenfläche benötigen und eine solche Änderung auch die Notwendigkeit eines doppelseitigen Layouts mit sich zieht, sollten die Vor- und Nachteile einer derartigen Änderung sorgfältig geprüft werden.

3.4.6 Ausblick

Eine sinnvolle Erweiterung der Funktionalität des Motortreibers wäre eine Drehzahlregelung des Angeschlossenen Motors. Zum einen könnte damit ein vollkommen gleichmäßiger Lauf der Lineareinheit erzielt werden, z.B. wenn beim Öffnungsvorgang gegen das Display gedrückt wird oder bei abweichenden Reibungswiderständen in der Linearführung. Zum anderen könnte auf die verbauten Endschalter verzichtet werden, wenn der Motor über die Anzahl der Wellendrehungen positioniert wird.

Hierzu wäre es zuerst vonnöten, die momentane Drehzahl der Spindel zu erfassen. Dies könnte beispielsweise durch eine auf der Spindel montierte Codierscheibe erfolgen, die in einer Gabellichtschranke läuft. Für derartige Anwendungen gibt es auf dem Markt bereits fertig aufgebaute Module.

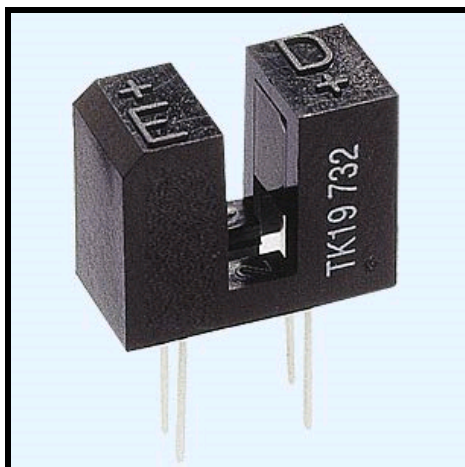


Abbildung 25: Gabellichtschranke Vishay TCST 1103

Die Lichtschranke könnte auf einer zusätzlichen Leiterplatte montiert und über der auf der Motorwelle laufenden Codierscheibe positioniert werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Mögliches Schaltplan- und Platinenlayout für einen solchen Aufbau.

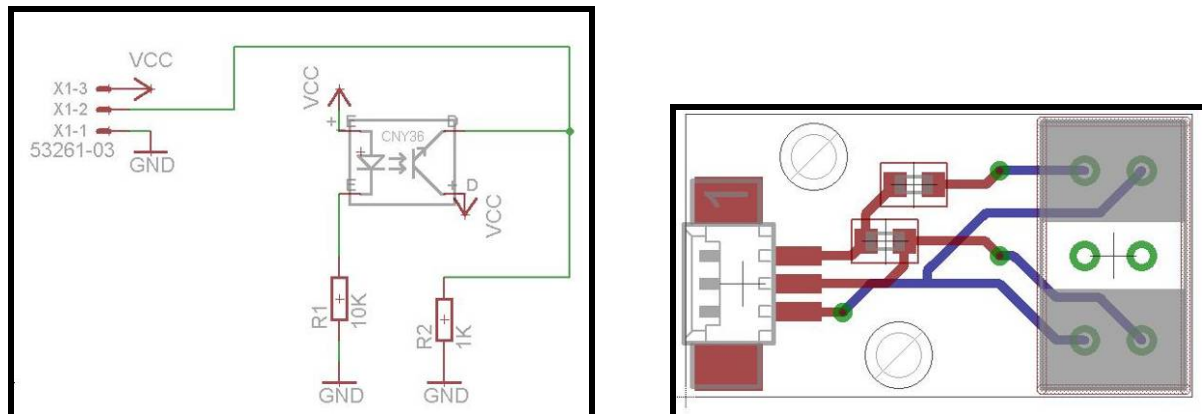


Abbildung 26: Schaltplan und Layout einer zusätzlichen Gabellichtschranke

Diese Zusatzplatine könnte direkt an der dafür vorgesehenen Stiftleiste JP1 des Motortreibers angeschlossen werden (Siehe Abbildung 23: Schaltplan Motortreiber). Die Signalauswertung und nachfolgende Drehzahlregelung könnte über einen Mikrocontroller oder direkt über ein passendes Motortreiber-Modul erfolgen.

Geeignet hierfür wäre beispielsweise der Baustein LB11947 von Sanyo Semiconductor Co. Dieser Treiberbaustein verfügt über einen internen Regler, der über ein PWM-Signal kontrolliert wird. Würde das von der Lichtschranke erzeugte, drehzahlabhängige Signal in ein PWM-Signal gewandelt, könnte damit direkt der Treiberbaustein angesprochen und somit eine Drehzahlregelung direkt auf dem Motortreiber-Modul realisiert werden. Leider ist o.g. Treiberbaustein nur sehr schwer zu beziehen, eventuell lassen sich aber direkt beim Hersteller Samples anfragen.

3.5 Ausarbeitung Mechanik

3.5.1 Einzelkomponenten

3.5.1.1 Linearlager

Die Linearlagerung wurde mittels zwei Lagerböcken realisiert. Als Material wurde aufgrund der guten Gleiteigenschaften POM gewählt, die Lagerböcke wurden jedoch ausreichend groß dimensioniert, um bei Bedarf Messinggleitbuchsen einpressen zu können.

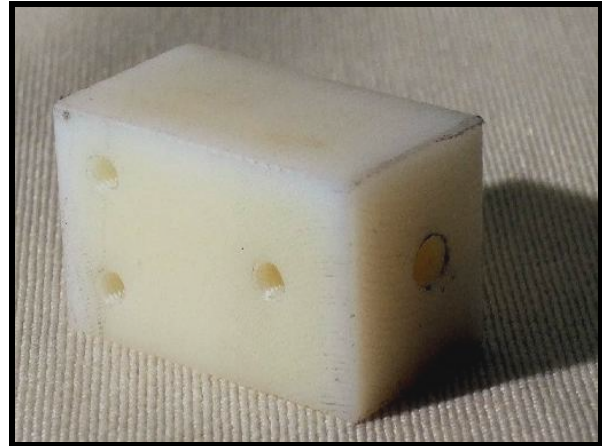
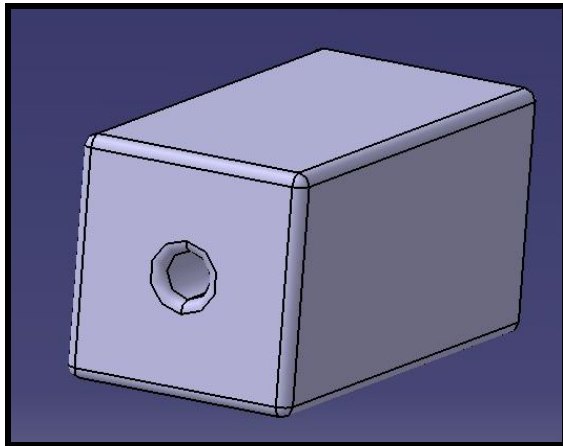


Abbildung 27: Lagerbock. Links CAD-Modell , rechts fertiges Bauteil

Um einen präzisen Lauf zu gewährleisten und die Reibungsverluste zu minimieren, wurde die Bohrung auf Maß ausgerieben. Zur Befestigung sind an der Unterseite drei Gewinde M3 angebracht. Diese können bei Bedarf aufgebohrt werden, wenn die Lagerböcke nach dem Ausrichten vernietet werden sollen.

3.5.1.2 Führungen

Zur Führung des Linearmoduls wurde auf Rundstangen mit einem Durchmesser von 4 mm zurückgegriffen. Die Stangen sind aus geschliffenem und poliertem Silberstahl nach DIN 175.

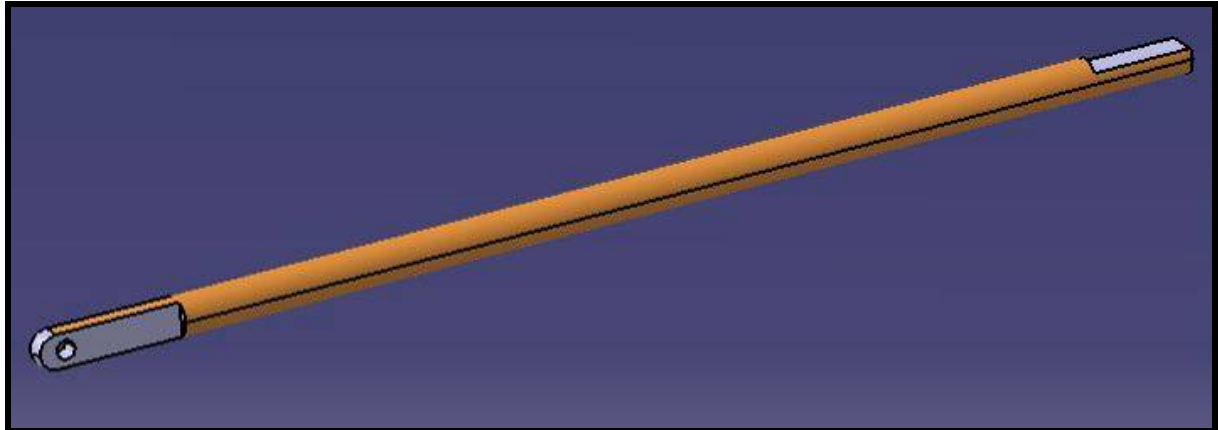


Abbildung 28: Führung - CAD-Modell



Abbildung 29: Führung - Fertiges Baueil

Die Führungen werden mittels einer Querstange verbunden und greifen an der Vorderseite in eine Gabelaufnahme am Displayrahmen; dort werden sie durch das Querloch mit einem Zylinderstift verbunden. Um die Aufnahme genau auszurichten, ist eine zu dieser 90° versetzte Planfläche am anderen Ende der Führung vorgesehen.

3.5.1.3 Spindel

Es kam eine Gewindestange M4 x 0,7 nach DIN 975 aus Stahl der Festigkeit 4.6 zum Einsatz. Hierbei wurde darauf geachtet, ein gerolltes und kein geschnittenes Gewinde zu verwenden, um die Reibungsverluste im Spindeltrieb möglichst gering zu halten. Die Spindel wurde auf das erforderliche Maß abgedreht und angefast. Zur Verbindung mit der Motorwelle wurden mehrere Konzepte in Betracht gezogen, z.B. mittels Feder- Gelenk- oder Ausgleichskupplung.



Abbildung 30: Ausgleichskupplung (links) und Gelenkkupplung (rechts)

Durch den Einsatz einer solchen Kupplung hätten zwar die Montage erleichtert und geringe Form- und/oder Lageabweichungen ausgeglichen werden können, jedoch waren diese Kupplungen zumeist nicht für den Wellendurchmesser des verwendeten Motors verfügbar. Zudem sprachen ein hoher Preis sowie die Baulänge gegen die Verwendung einer solchen Kupplung.



Abbildung 31: Spindel, fertiges Bauteil

Es wurde daher entschieden, die Spindel direkt auf der Motorwelle zu montieren. Hierfür wurde die diese stirnseitig mit einer Passbohrung versehen, um die Motorwelle aufstecken zu können. Die Montage erfolgte mit hochfestem Lagerkleber vom Typ Loctite 638. Um dennoch geringe Form- und Lageabweichungen ausgleichen zu können, wurden Motor und Spindelmutter elastisch in Gummipuffern gelagert.

3.5.1.4 Spindelmutter

Die Spindelmutter ist das Gegenstück zu der unter 3.5.1.3 genannten Spindel. Sie wird aus Messing gefertigt, um mit der Stahlspindel eine reibungsarme Materialpaarung zu erhalten.

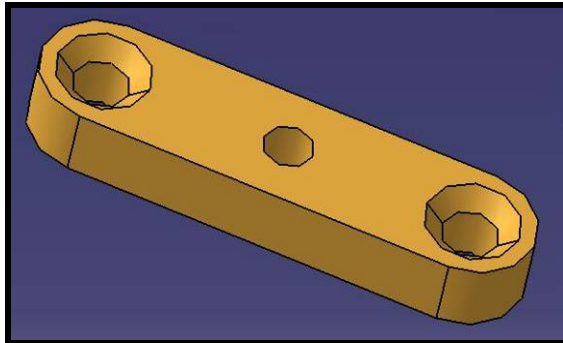


Abbildung 32: Spindelmutter. Links CAD-Modell, rechts fertiges Bauteil

Die Spindelmutter wird mit Senkkopfschrauben über zwei Dämpfungselemente an der Querstange befestigt.

3.5.1.5 Querstange

Um die beiden Führungen zu verbinden und auszurichten, wird eine Querstange benötigt. An ihr wird auch über zwei Gummidämpfer die Spindelmutter befestigt, für die Spindel selbst ist ein ausreichend großer Durchbruch vorgesehen. Da Aluminium für diesen Anwendungszweck ausreichende Materialeigenschaften besitzt, wurde die Querstange aus diesem Material gefertigt.

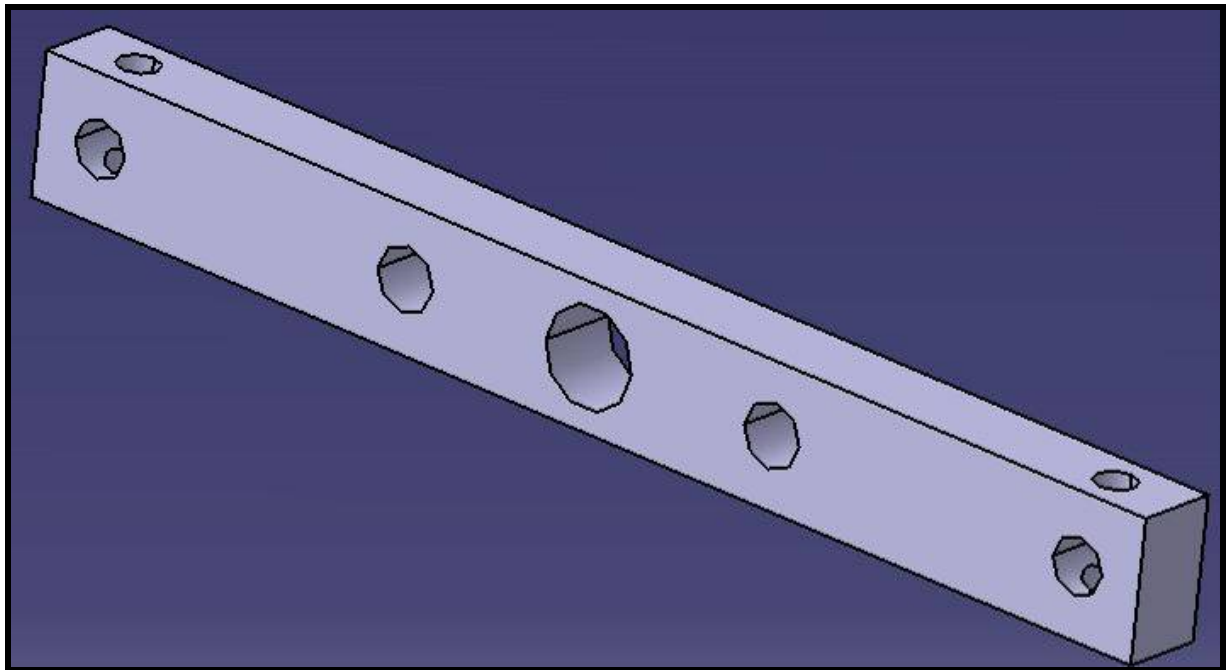


Abbildung 33: Querstange, CAD-Modell

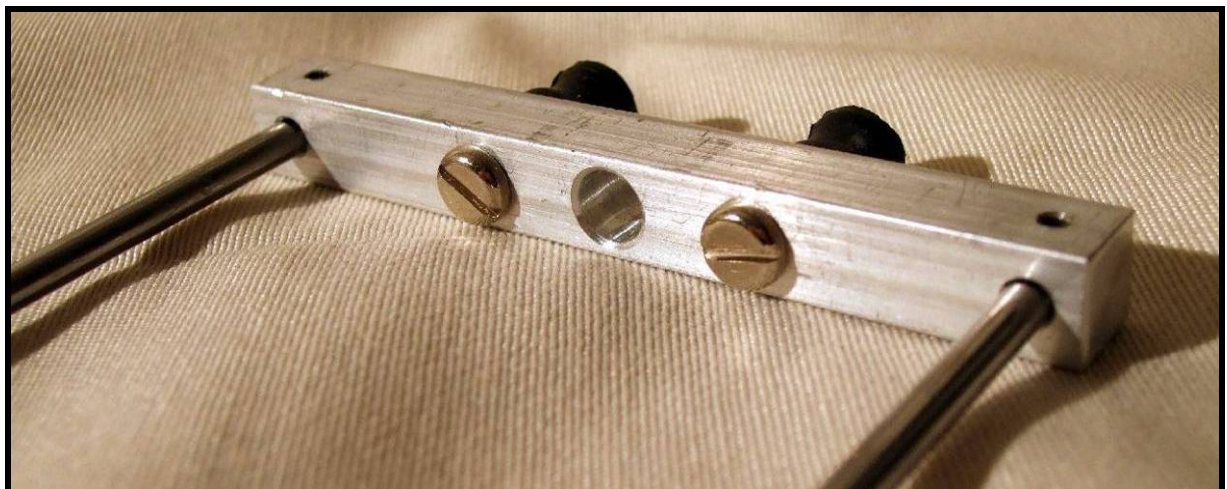


Abbildung 34: Querstange, fertiges Bauteil

In obiger Abbildung sind bereits die Gummidämpfer montiert und die Führungen mittels Madenschrauben fixiert.

3.5.1.6 Motorhalter

An die Konstruktion des Motorhaltes wurden mehrere Anforderungen gestellt. Zum einen sollte er eine einfache Montage und Ausrichtung des Motors ermöglichen, zum anderen musste er eine Aufnahme für die zur Entkopplung des Motors benötigten Gummipuffer enthalten. Außerdem sollte er hinsichtlich einer einfachen Fertigung konstruiert sein.

Es wurde eine Konstruktion gewählt, bei der als Rohling auf einen Aluminiumwinkel der Maße 15x15x2 mm zurückgegriffen werden konnte.

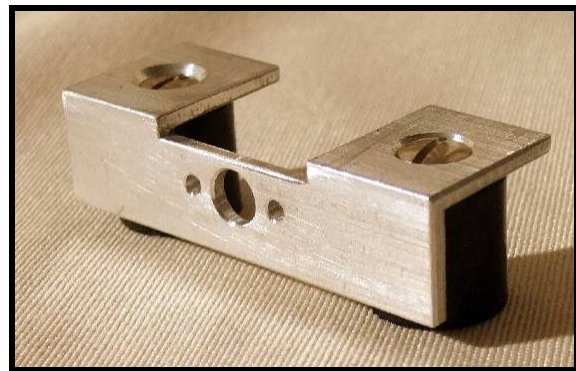
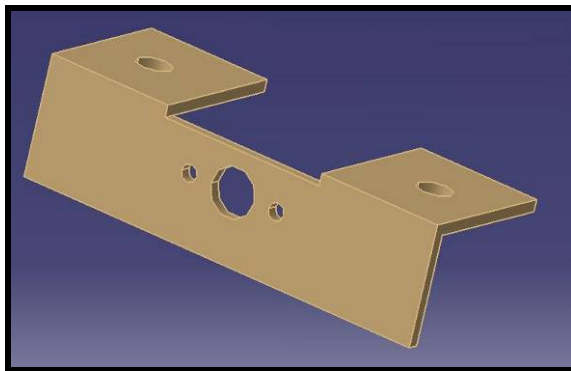


Abbildung 35: Motorhalter. Links CAD-Modell, rechts fertiges Bauteil

Die Aufnahme in der Mitte des Motorhalters dient zur Passgenauen Aufnahme und Ausrichtung des Motors, welcher an dieser Stelle einen Steg am Gehäuse aufweist. In obiger Abbildung sind bereits die Dämpfungselemente zur Entkopplung des Motors montiert.

Die technischen Zeichnungen zu allen Bauteilen des Abschnitts 3.5 finden sich im Anhang unter Abschnitt 7.1.

3.6 Inbetriebnahme und Testprozesse

3.6.1 Montage der Baugruppe

Die Montage der einzelnen Bauteile erfolgte auf einem Lochblech mit einem Lochdurchmesser von 3 mm, einem Lochabstand von 5 mm und zueinander versetzten Lochreihen (Rv 3-5). Das Lochblech wurde verwendet, um die gesamte Lineareinheit bei Bedarf in einem definierten Raster verschieben zu können.

Die Montage war ohne Probleme möglich, lediglich die Lagerböcke wiesen zunächst einen viel zu hohen Reibungswiderstand auf. Es zeigte sich, dass das Kernloch eines der Befestigungsgewinde entgegen der Vorgaben in der technischen Zeichnung bis zur Lagerfläche durchbohrt worden war. Der dabei entstandene Grat führte zu einer erhöhten Reibung im Lager. Nach einem erneuten Ausreiben der Lagerböcke war dieses Problem beseitigt. Alle anderen Bauteile waren den Zeichnungen entsprechend gefertigt, waren maßhaltig und erfüllten die an sie gestellten Anforderungen.

Zuerst wurden die Lagerböcke auf der Grundplatte grob ausgerichtet und befestigt. Anschließend wurden die Führungen in die Querstange eingeschoben, auf einer Planfläche ausgerichtet und mit Madenschrauben verklemmt. Danach erfolgte die Befestigung von Spindelmutter und Gummidämpfern an der Querstange. Anhand dieses Aufbaus konnten die Lagerböcke auf Leichtgängigkeit getestet, fein ausgerichtet und endgültig befestigt werden.

Nachdem am Motorhalter die Gummidämpfer montiert waren, konnte dieser mittels zwei Schrauben M2 am Motor befestigt werden. Anschließend erfolgte die Ausrichtung und Verschraubung auf der Grundplatte. Danach wurden die Führungen in die Lagerböcke geschoben und die Spindel in die Spindelmutter geschraubt. Zuletzt wurde die elektrische Verbindung zwischen Motor und Motortreiber hergestellt.

Zur Schmierung von Spindeltrieb und Lagerung wurde Silikonöl verwendet, um ein Aufquellen der Lagerböcke aus POM zu verhindern.

3.6.2 Inbetriebnahme der Baugruppe

Bei einem ersten Testlauf funktionierte die Lineareinheit vollkommen zufrieden stellend. Der Steller zeigte einen gleichmäßigen Lauf, Vorwärts- und Rückwärtsfahrt waren in jeder Position ohne ein Verkanten in den Führungen möglich. Auch die Schubleistung war ausreichend, bei einer Motorspannung von 9 Volt konnte ein Gewicht von 500 g problemlos senkrecht angehoben werden. Auch die Entkopplung durch die Gummidämpfer war ausreichend und Vibrationen kaum festzustellen.

3.6.3 Verbesserungen

Nachfolgend einige Verbesserungsvorschläge für die einzelnen Bauteile:

- Linearlager (3.5.1.1): Entfernen von überflüssigem Material, z.B. durch seitliches Abfräsen (Erzeugen eines T-Profiles)
- Spindel (3.5.1.3): Verwenden einer geschliffenen Spindel, um Reibungsverluste weiter zu minimieren
- Spindelmutter (3.5.1.4): Entfernen von überflüssigem Material, z.B. durch Fräsen von zwei Taschen zwischen den Befestigungsbohrungen. Dadurch könnten die Lagerböcke entlastet werden.
- Querstange (3.5.1.5): Auch hier könnte Überflüssiges Material entfernt werden, um die Lagerböcke weiter zu entlasten.
- Allgemein: Abdecken der Lineareinheit mit einer Blech- oder Kunststoffblende, um Kontakt zu den darüberliegenden Baugruppen und/oder Kabeln zu vermeiden.

3.6.4 Ausblick

Das hier dargestellte Konzept wurde vor allem hinsichtlich einer einfachen Fertigung optimiert. Sollen bei der Konstruktion andere Aspekte wie eine Reduzierung der Kosten oder der Anzahl der Einzelbauteile in den Vordergrund treten, muss das Konzept vermutlich stark überarbeitet oder komplett neu erstellt werden.

So wäre es beispielsweise möglich, auf die verwendeten Lagerböcke zu verzichten und eine Lagerung direkt an den Innenwänden des Gehäuses, z.B. durch passgenaue Formpressteile aus Stahlblech, zu realisieren. Eine andere Möglichkeit wäre ein spritzgegossener Kunststoff-Führungsschlitten, mittels Zweikomponenten-Spritzgussverfahren könnten auch die gleitenden Bereiche hinsichtlich des Materials optimiert werden.

Auch der Motor nebst Spindeltrieb könnte durch eine Getriebekonstruktion, z.B. ein Schneckengetriebe, aus der Mitte des Antriebs an den Rand versetzt werden, was im Mittelteil Platz für weitere Baugruppen schaffen würde.

Derartige Änderungen erfordern jedoch eine vollständige Integration sämtlicher Baugruppen des Komplettsystems, die bei einem Prototypenaubau nicht oder nur sehr schwer realisiert werden kann. Hinzu kommen hohe Kosten für Konstruktion und Fertigung der für die Herstellung der Einzelteile benötigten Maschinen und Werkzeuge; ein derartiges Konzept erscheint somit eher für eine Serien- oder Großserienproduktion geeignet.

3.6.5 Fertige Baugruppe

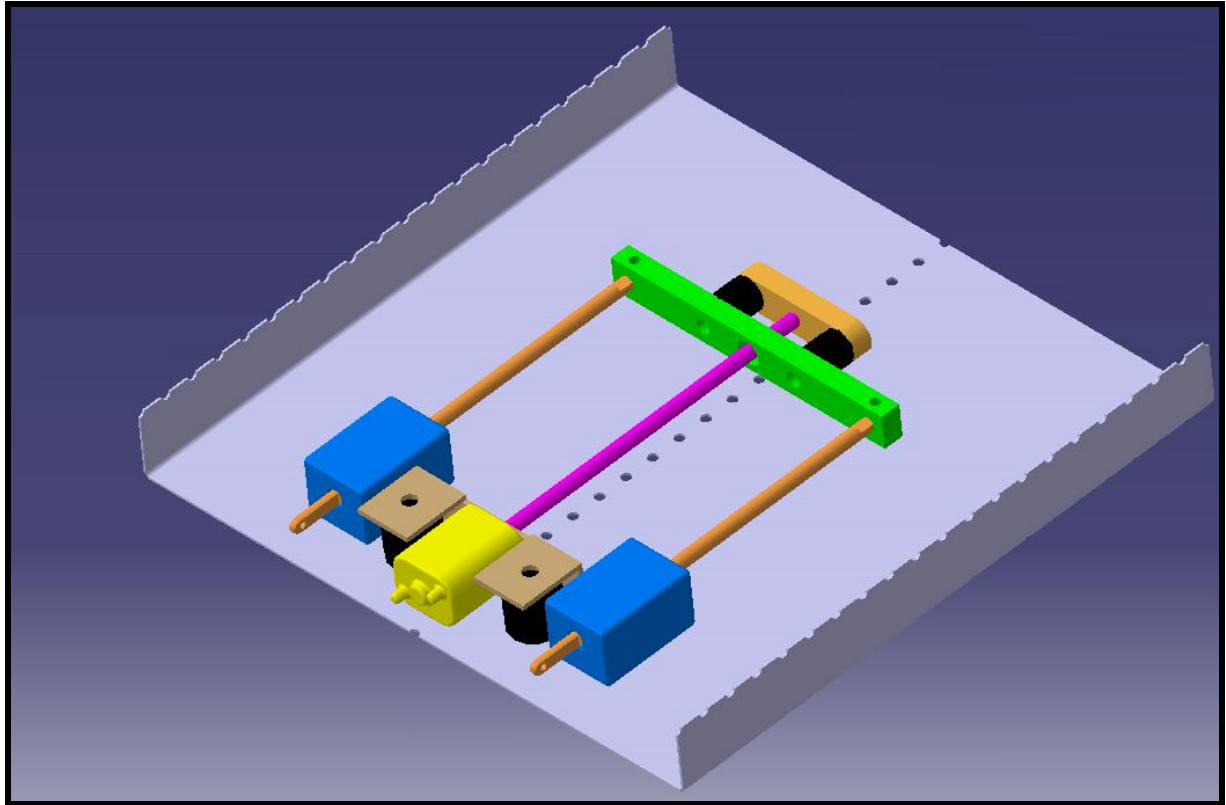


Abbildung 36: Lineareinheit, CAD-Modell

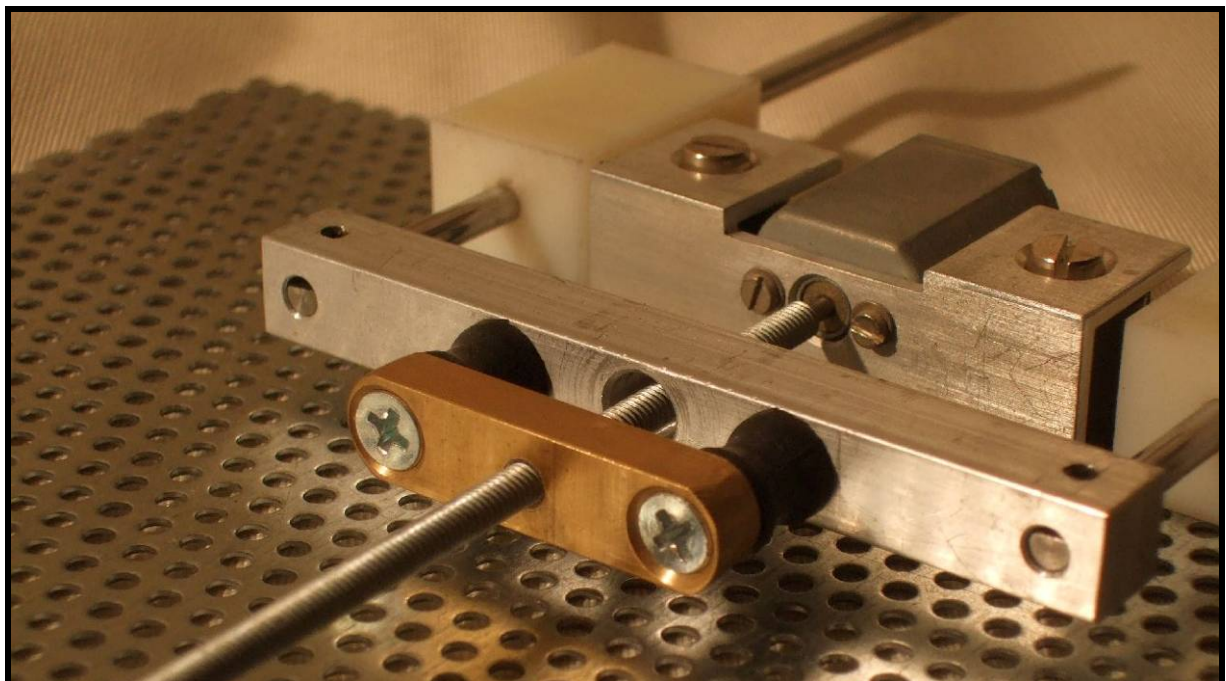


Abbildung 37: Lineareinheit, fertige Baugruppe, Detailansicht

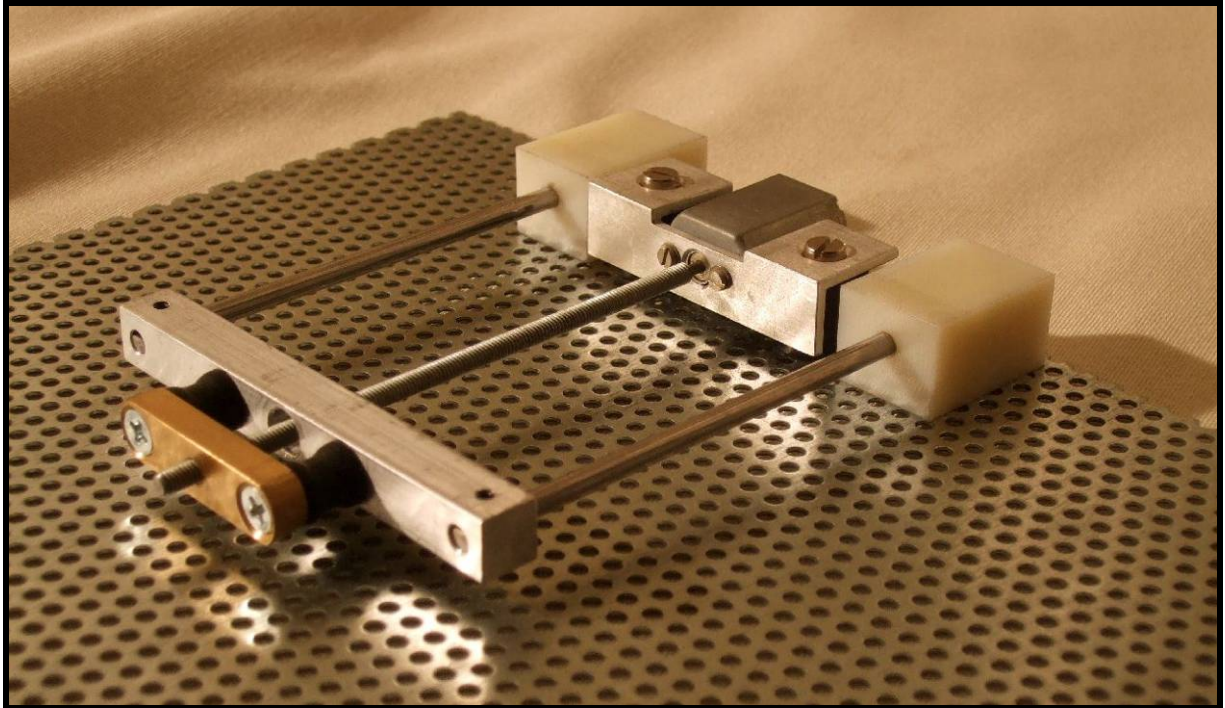


Abbildung 38: Lineareinheit, fertige Baugruppe, geschlossen

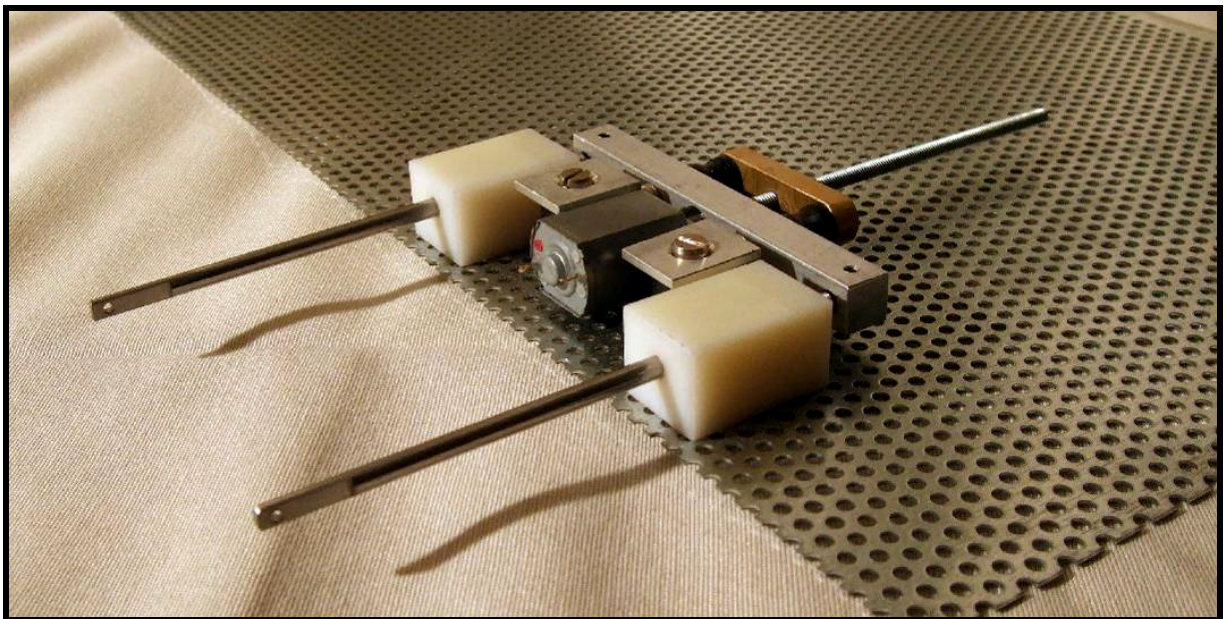


Abbildung 39: Lineareinheit, fertige Baugruppe, geöffnet

4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschreibung der Bauelemente des objektorientierten PSP	12
Tabelle 2: Beschreibung der Vorgänge des kombinierten PSP für Audio-Verstärker-Modul...	16
Tabelle 3: Anforderungsliste für Audio-Verstärker-Modul.....	18
Tabelle 4: Elektrische Eigenschaften TDA 7560	22
Tabelle 5: Pinbelegungsplan Audio-Verstärker.....	26
Tabelle 6: Beschreibung der Bauelemente des objektorientierten PSP für Lineareinheit	36
Tabelle 7: Beschreibung der Vorgänge des kombinierten PSP für Lineareinheit	41
Tabelle 8: Anforderungsliste Lineareinheit	44
Tabelle 9: Technische Daten Mabuchi FF-130SH	47
Tabelle 10: Grenzdaten LB1641	48
Tabelle 11: Wahrheitstabelle LB1641	49
Tabelle 12: Pinbelegungsplan Motortreiber	53

5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verstärker unterschiedlicher Ausgangsleistung: 1,8W (links), 4x45W (rechts)...	9
Abbildung 2: Mindmap für Audio-Verstärker-Modul.....	10
Abbildung 3: Objektorientierter Projektstrukturplan für Audio-Verstärker-Modul.....	11
Abbildung 4: Kombiniertes Projektstrukturplan für Audio-Verstärker-Modul.....	13
Abbildung 5: Black-Box Audio-Verstärker-Modul	19
Abbildung 6: TDA 7560.....	20
Abbildung 7: Grenzdaten TDA 7560	21
Abbildung 8: Blockschaltbild TDA 7560.....	21
Abbildung 9: Schaltplan Audio-Verstärker-Modul	23
Abbildung 10: Layout Audio-Verstärker-Modul – Prototyp (Version 1.7).....	24
Abbildung 11: Layout Audio-Verstärker-Modul – Endversion (Version 1.10)	25
Abbildung 12: Audio-Verstärker-Modul Version 1.7 (Prototyp)	30
Abbildung 13: Piezoelektrische Lineareinheit, z.B. zur nm-genauen Positionierung	31
Abbildung 14: Lineareinheit z.B. für Lüfterklappensteuerung in KFZ	32
Abbildung 15: Mindmap Lineareinheit.....	33
Abbildung 16: Objektorientierter Projektstrukturplan für Lineareinheit.....	34

Abbildung 17: Kombiniertes PSP für Lineareinheit	37
Abbildung 18: Black-Box Lineareinheit	45
Abbildung 19: Mabuchi FF-130SH	47
Abbildung 20: Sanyo LB1641	48
Abbildung 21: Blochscharbild LB1641	49
Abbildung 22: Dämpfungselemente	50
Abbildung 23: Schaltplan Motortreiber	51
Abbildung 24: Layout Motortreiber	52
Abbildung 25: Gabellichtschranke Vishay TCST 1103	54
Abbildung 26: Schaltplan und Layout einer zusätzlichen Gabellichtschranke	55
Abbildung 27: Lagerbock. Links CAD-Modell , rechts fertiges Bauteil	56
Abbildung 28: Führung - CAD-Modell	57
Abbildung 29: Führung - Fertiges Baueil	57
Abbildung 30: Ausgleichkupplung (links) und Gelenkkupplung (rechts)	58
Abbildung 31: Spindel, fertiges Bauteil	58
Abbildung 32: Spindelmutter. Links CAD-Modell, rechts fertiges Bauteil	59
Abbildung 33: Querstange, CAD-Modell	60
Abbildung 34: Querstange, fertiges Bauteil	60
Abbildung 35: Motorhalter. Links CAD-Modell, rechts fertiges Bauteil	61
Abbildung 36: Lineareinheit, CAD-Modell	65
Abbildung 37: Lineareinheit, fertige Baugruppe, Detailansicht	65
Abbildung 38: Lineareinheit, fertige Baugruppe, geschlossen	66
Abbildung 39: Lineareinheit, fertige Baugruppe, geöffnet	66

6 Quellenverzeichnis

1. Fischer, Ulrich u.a.: Tabellenbuch Metall, ISBN: 3-8085-1722-0
2. Grünhaupt, Ulrich: Script Optoelektronik, Hochschule Karlsruhe
3. Hoffmann, Michael. u.a.: CAD/CAM mit CATIA V5, ISBN: 3-446-22959-0
4. Rembold, Rudolf W.: Einstieg in CATIA V5, ISBN: 3-446-40974-2
5. Sontheimer, Robert: Audio-Schaltungstechnik, ISBN: 3-895761-54-0
6. Turuta, Eugene: Integrated Audio Amplifiers, ISBN: 3-937469-18-4
7. www.buehlermotor.de
8. www.cad.de
9. www.cadsoft.de
10. www.digikey.com
11. www.fauhlhaber.de
12. www.fischer-elektronik.de
13. www.igarashi.de
14. www.johnsonmotor.com
15. www.mabuchi-motor.co.jp
16. www.maedler.de
17. www.molex.com
18. www.nxp.com
19. www.rohm.com
20. www.saia-motor.com
21. www.semiconductor-sanyo.com
22. www.st.com
23. www.wegertseder.de

7 Anhang

7.1 Technische Zeichnungen

1. Linearlager (3.5.1.1)
2. Führungen (3.5.1.2)
3. Spindel (3.5.1.3)
4. Spindelmutter (3.5.1.4)
5. Querstange (3.5.1.5)
6. Motorhalter (3.5.1.6)

7.2 Datenblätter

1. BA6209 (ROHM Semiconductors Co., Alternative zu 3)
2. LB11947 (Sanyo Electronic Co., Alternative zu 3)
3. LB1641 (Sanyo Electronic Co.)
4. LB1643 (Sanyo Electronic Co., Alternative zu 3)
5. Mabuchi FC-140RE (Mabuchi Motor Co., Alternative zu 6)
6. Mabuchi FF-130SH (Mabuchi Motor Co.)
7. TAS5110 (Texas Instruments)
8. TDA7385 (ST Microelectronics, Alternative zu 9)
9. TDA7560 (ST Microelectronics)
10. TDA7801 (ST Microelectronics, noch nicht erhältlich)
11. TDA8571 (Philips Semiconductors, Alternative zu 9)
12. Vishay TCST 1103