

Diplomarbeit

DA676

Prüfgerät für Kfz-Elektronik

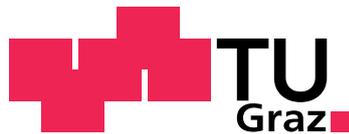
verfasst von:
Falco Kevin KOLAR

Institut für Elektronik
TU Graz

Betreuer:
Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gunter WINKLER

Instituts-Leiter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang PRIBYL

A - 8010 Graz, Inffeldgasse 12
Telefon: (+43 316) 873 - 7521
Telefax: (+43 316) 873 - 8020
<http://www.ife.tugraz.at>



Graz University of Technology

Graz, Januar 2011

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....

(date)

.....

(signature)

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....
(Unterschrift)

Abstract

The declared target of this diploma thesis was to design a testing device for a proprietary development of the Armament and Defence Technology Agency / Division for Electrical Engineering of the Armament Directorate of the Austrian Armed Forces and to build a prototype of this testing device for the automotive electronics of a recovery vehicle.

The starting point of all considerations in this work was the information provided by the schematics and the functional description of this existing automotive electronic system. Based on these the testing device should be implemented in such a way that the service crew would be able to check this module quickly, uncomplicated and automatically.

The framework for this development has been defined with the demands to use an external +24V-supply for this device and to implement this task based on a microcontroller-controlled circuit. Equally part of the task was the realization of a graphical user interface for a computer, by which the testing device should be controlled and a test protocol should be provided. Besides the development of these software packages, the task included the requirement to verify the functionality of the testing device by a deployed prototype of the automotive electronics to be tested and to provide a complete documentation of the development.

Within the implementation of the testing device and beside the simulation of all involved vehicle sensors, the input of all resulting output signals of the automotive electronics was of importance. Also the detection of the system clock of this electronic unit and the test of the +5V voltage regulators included in this electronic system under stress were of fundamental interest. Beside the detection of all the involved signal levels by the testing device itself, the operator should get visually informed, too. Also the functionalities of testing the lights and checking the ability to dim them had to be realized und got implemented as a semi-automatic procedure leaving the last confirmation to the operator, who informs the testing device about his decision at an appropriate point during the test sequence.

Kurzfassung

Im Zuge dieser Diplomarbeit war es erklärtes Ziel ein Prüfgerät für eine Eigenentwicklung des Amtes für Rüstung und Wehrtechnik (ARWT) / Abteilung Elektrotechnik der Rüstungsdirektion des Österreichischen Bundesheeres (ÖBH) zu entwickeln und dieses Prüfgerät für die Kfz-Elektronik eines Bergefahrzeuges in Form eines Prototypen zu realisieren.

Ausgangspunkt sämtlicher Überlegungen hierbei waren die bereitgestellten Schaltpläne sowie die Funktions-Beschreibung auf Grund derer dieses Prüfgerät umzusetzen war und mit dessen Hilfe im Rahmen von Service-Arbeiten die angesprochene Baugruppe schnell, unkompliziert und automatisiert zu überprüfen sein sollte.

Die Rahmenbedingungen für die Entwicklung wurden dabei mit der Vorgabe einer externen +24V-Versorgung des Gerätes und der Umsetzung der Aufgabenstellung auf Basis einer mikrocontroller-gesteuerten Schaltung umrissen. Ebenso umfasste der Auftrag die Anforderung an das Prüfgerät dieses über eine zu entwickelnde grafische Benutzer-Oberfläche am Computer steuern zu können und über den gesamten Prüfablauf ein Protokoll auf selbigem zur Verfügung zu stellen. Neben der Entwicklung dieser Software-Pakete umschloss die Aufgabenstellung ebenso den Test der Arbeitsergebnisse an Hand eines bereitgestellten Prototyps der zu überprüfenden Kfz-Elektronik, sowie die vollständige Dokumentation der Entwicklung.

Seitens der Realisierung des Prüfgerätes sind neben der Simulation aller beteiligten Fahrzeug-Sensoren die Aufnahme aller daraus resultierenden Ausgangs-Signale der Kfz-Elektronik im Mittelpunkt gestanden. Ebenso war es wichtig den System-Takt der zu prüfenden Elektronik-Einheit zu erfassen, sowie die in jener verbauten +5V-Spannungs-Regler einem Belastungstest zu unterziehen. Dabei sollten neben der Erfassung der Zustände der Signalpegel seitens des Prüfgerätes, dem Prüfer jene auch über weite Strecken optisch ersichtlich gemacht werden. Die ebenso umzusetzenden Funktionalitäten des Lampentests sowie der Kontrolle auf die Dimmbarkeit der Anzeigen wurden halbautomatisch definiert und die letzte Kontrolle bzw. Bestätigung derselben dem Prüfer zugeschrieben, welcher diese Informationen im Rahmen des Programm-Ablaufs dem System „Prüfgerät“ an geeigneter Stelle zukommen lässt.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich die Gelegenheit nutzen meinem Diplomarbeits-Betreuer Hrn. Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gunter WINKLER meinen herzlichsten Dank für seine umfassende Unterstützung auszudrücken. Auf seine Hilfe und seinen Rat konnte ich nicht nur im Rahmen des Entwurfs des gesamten Platinen-Systems „Prüfgerät“ zurückgreifen, vielmehr stand er mir auch im Zuge des Entwicklungs-Prozesses rund um die Schutzschaltungen hinsichtlich elektrostatischer Entladung stets hilfreich zur Seite. Größtes Lob gebührt ihm jedoch auch für die stete Bereitschaft mir auch kurzfristig beratend zur Seite zu stehen sowie für die Vielzahl an ergebnisreichen fachlichen Diskussionen die wir im Laufe der Diplomarbeit führten.

Ebenso gilt mein Dank Hrn. Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard STÖCKLER auf dessen Hilfe und fachlichen Rat ich im Zuge der Arbeiten am C167-Mikrocontroller-Board [1] stets zurückgreifen konnte und dessen Unterstützung mir dabei wertvollen Rückhalt bot.

Des Weiteren gilt es an dieser Stelle auch Hrn. Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter SÖSER zu erwähnen, dessen Assistenz speziell im Zuge der PSpice-Simulationen des Öfteren in Anspruch genommen wurde und welcher mir für diesbezügliche Fragen immer zur Verfügung stand.

Auch meinem Kollegen Hrn. Dipl.-Ing. Robert PILCH möchte ich für sein stets offenes Ohr und den vielfach fruchttragenden fachlichen Austausch meinen Dank angedeihen lassen.

Schließen möchte ich jedoch mit dem Dank an meine Eltern und meinen Bruder, welche mich im Laufe meiner schulischen Karriere sowie meiner gesamten Studienzzeit stets unterstützt haben, sowie an meinen persönlichen Freund und Kollegen Hrn. Dipl.-Ing. Martin MOISI und meine Freundin, welche mir ebenso im Zuge des Studiums und meiner Diplomarbeit zur Seite standen.

Inhaltsverzeichnis

1. Der Auftrag	1
1.1. Gefordertes Leistungsprofil des Prüfgerätes	1
1.1.1. Nachzubildende Strukturen	1
1.1.2. Umzusetzende Tests	2
1.1.3. Geforderte Spezifikationen	2
1.1.4. Vorgaben hinsichtlich der Bedienung	2
1.1.5. Gewünschter Lieferumfang	2
2. Der Platinen-Verband	5
2.1. Typisierung der Platinen und Leiterbahnen	5
2.1.1. Beschreibung der verwendeten Platinen	5
2.1.2. Auslegung der Leiterbahnen und Vias	6
2.2. Die System-Platinen	8
2.2.1. Allgemeines zu den System-Platinen	9
2.2.1.1. Die Schnittstellen der System-Platinen	9
2.2.1.2. Die ESD-Schutz-Grundstruktur der System-Platinen	9
2.2.2. Die Versorgungs-Platine	16
2.2.2.1. Aufgabenstellung	16
2.2.2.2. Versorgung des Prüfgerätes	16
2.2.2.3. ESD-Schutz und Absicherung	17
2.2.2.4. Versorgung des Prüflings	21
2.2.2.5. Spannungslevel „+24V“	22
2.2.2.6. Spannungslevel „+12V“	22
2.2.2.7. Spannungslevel „+8V“	30
2.2.2.8. Spannungslevel „+5V“	33
2.2.3. Die Eingangs-Strukturen	37
2.2.3.1. Auswertung der LED-Ausgänge des Prüflings	37
2.2.3.2. Auswertung der Instrumenten-Beleuchtung und des Warnsummers	40
2.2.4. Die Ausgangs-Strukturen	42
2.2.4.1. Ein-polige Ausgangs-Strukturen	43
2.2.4.2. Zwei-polige Ausgangs-Strukturen	49
2.2.5. Die Starter-Platine	52
2.2.5.1. Grundüberlegungen zur Starter-Elektrik	52
2.2.5.2. Die zugehörigen ESD-Schutz-Schaltungen	54

2.2.5.3.	Die Umlegung der Starter-Elektrik auf Elektronik-Ebene	54
2.2.5.4.	Der Sekundärkreis	61
2.2.6.	Die Mess-Platine	63
2.2.6.1.	Die Spannungs-Messung	63
2.2.6.2.	Die ESD-Schutz-Struktur der Spannungs-Eingänge	63
2.2.6.3.	Der Frequenz-Eingang	74
2.2.6.4.	Die Durchleitung des Dimm-Potentiometers	77
2.2.7.	Die Mikrocontroller-Platine	78
2.2.7.1.	Die Schnittstelle zwischen Platine und Mikrocontroller-Board	78
2.2.7.2.	Strukturen auf der Mikrocontroller-Platine	80
2.3.	Die Backplane-Platinen	85
2.4.	Die Frontplane-Platinen	86
2.4.1.	Schnittstellen zu den Systemplatinen	87
2.4.2.	Strukturen auf den Frontplane-Platinen	88
2.4.2.1.	Die Struktur der Anzeige der Eingangs-Pegel	88
2.4.2.2.	Die Strukturen der Anzeigen der Ausgangs-Pegel	89
2.4.2.3.	Anzeigen der Versorgungs-Spannungs-Ebenen	92
2.4.2.4.	Die hier ausgeführten Benutzer-Schnittstellen	94
2.5.	Die Adapter-Platinen	95
2.5.1.	Die Schnittstellen der Adapter-Platinen	95
2.5.2.	Strukturen auf den Adapter-Platinen	96
2.6.	Der Aufbau des Verbandes	98
3.	Das Mikrocontroller-Board	103
3.1.	Aufgabenstellung	103
3.2.	Verwendete Software-Pakete	103
3.2.1.	Programm-Einstellungen	104
3.2.1.1.	Konfiguration des Tera Term Pro Web	104
3.2.1.2.	Konfiguration des Keil μ Vision3	104
3.3.	Integrierte Hardware-Blöcke	105
3.3.1.	Konfiguration der DIP-Schalter am Mikrocontroller-Board	105
3.3.1.1.	Konfiguration des Hex-Lader-Modus	106
3.3.1.2.	Konfiguration des Applikations-Modus	106
3.4.	Laden eines neuen Applikations-Programms	106
3.5.	Ausführen eines Applikationsprogramms	108
3.5.1.	Manuelles Ausführen	108
3.5.2.	Automatisches Ausführen	109
3.6.	Die Mikrocontroller-Software	109
3.6.1.	Konfiguration des Mikrocontrollers	109
3.6.1.1.	START167.A66	110
3.6.1.2.	Pruefgeraet_Kfz-Elektronik_BPz_M578.c	110

3.6.2.	Globale Variablen und Unterprogramme, sowie die Interrupts .	113
3.6.2.1.	GlobaleVariablen.c	113
3.6.2.2.	Verzoegerungen.c	114
3.6.2.3.	Interrupts.c	114
3.6.3.	Serielle Kommunikation und diesbezügliche Datenaufbereitung	115
3.6.3.1.	Eingabe.c	115
3.6.3.2.	Ausgabe.c	116
3.6.4.	Generierung der Ausgangssignale und Erfassung der digitalen Eingangsspiegel	117
3.6.4.1.	StartUp.c	117
3.6.4.2.	Starter.c	118
3.6.4.3.	Hauptwarnleuchte.c	118
3.6.4.4.	Dimmer.c	119
3.6.5.	Messung der analogen Eingangsgrößen	119
3.6.5.1.	Messungen.c	119
4.	Die Benutzer-Oberfläche	123
4.1.	Die Identifikations-Datei	123
4.2.	Die Konfigurations-Datei	124
4.3.	Das VB-Programm	127
4.3.1.	Globale Variablen und Unterprogramme	127
4.3.1.1.	Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578.vbproj („My Project“)	128
4.3.1.2.	Begrueessungsbildschirm.vb	128
4.3.1.3.	Globale_Variablen.vb	129
4.3.1.4.	ApplicationEvents.vb	129
4.3.1.5.	Hintergrund.vb	129
4.3.2.	Vorgang der Identifikation	130
4.3.2.1.	Identifikation.vb	130
4.3.3.	Ablegen der Konfiguration	131
4.3.3.1.	Einlesen_Konfiguration.vb	131
4.3.4.	Abwicklung und Einlesen der Kommunikation	134
4.3.4.1.	Kommunikation.vb	134
4.3.4.2.	Einlesen_Kommunikation.vb	136
4.3.5.	Auswertung der Kommunikation	138
4.3.5.1.	Auswerten_Kommunikation.vb	138
4.3.6.	Anzeige der Test-Auswertung	139
4.3.6.1.	Pruefbericht.vb	140
4.3.6.2.	Ausgabe_Bildschirm.vb	141
4.3.7.	Erstellung des Test-Berichts als *.pdf-Datei	141
4.3.7.1.	Ausgabe_PDF.vb	142
5.	Schlussbetrachtung, Ausblick und Empfehlung	145

A. Anhang	149
A.1. Schaltpläne des Prüfgerätes	149
A.2. Pläne des C167-Mikrocontroller-Boards	212
A.3. ad Konfiguration des Keil μ Vision3	215
A.3.1. „Options for Target...“	215
A.3.2. „Components, Environment, Books...“	219
Tabellenverzeichnis	221
Abbildungsverzeichnis	223
Literaturverzeichnis	229

1. Der Auftrag

Im Rahmen dieser Diplomarbeit sollte ein Prüfgerät für die Kfz-Elektronik eines Bergfahrzeuges des Österreichischen Bundesheeres (ÖBH) entwickelt und als gehäuseloses, ausdokumentiertes Prototyp realisiert werden. Diese Elektronik-Einheit wiederum stellt eine Eigenentwicklung des Amtes für Rüstung und Wehrtechnik (ARWT) / Abteilung Elektrotechnik des Bundesheeres dar, welches der Rüstungsdirektion zuzuordnen ist, und vereint Teile der Steuerung der Fahrzeugfunktionen sowie der Anzeigefunktionen des Fahrzeuges, welches ein +24V-Bordnetz sein Eigen nennt. Im Zuge der Service-Arbeiten am Bergfahrzeug soll das zu entwickelnde Prüfgerät sodann die Möglichkeit bieten diese Baugruppe schnell und automatisiert überprüfen zu können um die Servicezeiten möglichst kurz zu halten. Ausgangspunkt der Entwicklung des Prüfgerätes war hierbei neben der Funktionsbeschreibung und den Schaltplänen, auch ein bereitgestellter Prototyp der Elektronik-Einheit des Bergfahrzeuges, an Hand dessen sich das Prüfgerät schlussendlich auch beweisen sollte. Im Rahmen jener waren dabei die seitens des Auftraggebers vorgegebene externe +24V-Versorgung des Gesamtsystems, sowie die Forderung nach einem „C“-programmierten Mikrocontroller als zentralem Steuerelement des Prüfgerätes zu berücksichtigen. Ebenso zu realisieren galt es eine grafische Benutzer-Oberfläche für den Computer auf Basis von „Visual-C Express“ oder „Visual-Basic Express“ von MICROSOFT, über welche das Prüfgerät gesteuert werden und die Protokollierung der Prüfergebnisse erfolgen sollte.

1.1. Gefordertes Leistungsprofil des Prüfgerätes

Unter den folgenden Punkten wird nun näher auf die zu realisierenden Strukturen und umzusetzenden Tests, wie auch auf die zu erfüllenden Spezifikationen sowie den gewünschten Lieferumfang eingegangen:

1.1.1. Nachzubildende Strukturen

Nachzuempfinden sind seitens des Prüfgerätes sämtliche beteiligte Fahrzeug-Sensoren und Geber, welche einerseits gegen Masse und/oder +24V schalten, andererseits aber auch Signal-Durchschaltungen sowie einen Potentiometer-Abgriff darstellen. Ebenso zu entwickeln waren passende Strukturen um die über weite Strecken pulswidenmodulierten Ausgangs-Signale der Kfz-Elektronik, welche großteils als +24V-Schaltgänge realisiert wurden, einlesen und auswerten zu können. Des Weiteren galt es das Prüfgerät in die Lage zu versetzen den 1kHz-Systemtakt der Kfz-Elektronik

(+5V-Pegel) zu erfassen sowie die beiden Spannungswandler der Fahrzeug-Elektronik, welche nominal +5,1V liefern, mit einem Strom von bis zu über 1000mA zu belasten und die gelieferten Ausgangs-Spannungen jener zu messen.

1.1.2. Umzusetzende Tests

Im Zuge der Entwicklung des Prüfgerätes sollte das Hauptaugenmerk der Realisierung von Kontrollmöglichkeiten folgender Hauptfunktionalitäten der Kfz-Elektronik des Bergfahrzeuges gelten:

- Startsequenzer inklusive der Verzögerungen und Sperren
- Hauptwarnleuchte inklusive Verriegelungen und Quittier-Funktion
- Spannungswandler von +24V auf +5,1V
- Dimmer und Lampentest

Weiter soll an dieser Stelle auf Wunsch des Auftraggebers jedoch nicht auf die umzusetzenden Aufträge eingegangen werden.

1.1.3. Geforderte Spezifikationen

Hinsichtlich der Anforderungen allgemeiner Natur an das Prüfgerät bestand die Vorgabe einer externen +24V-Versorgung, sowie jene des Betriebs desselben in weitgehender Labor-Umgebung. Ansonsten bestand nur noch die Forderung an die zu realisierende Spannungs-Messung einen Messbereich von +4,5V bis +5,5V aufzuspannen und im Bereich von +4,75V bis +5,25V die Spannung mit einer Genauigkeit von 2% zu erfassen.

1.1.4. Vorgaben hinsichtlich der Bedienung

Die Bedienung des Prüfgerätes sollte rein über eine zu entwickelnde grafische Oberfläche am, mittels RS232 oder USB angebundenen, Computer gesteuert werden. Über diese sollten sowohl alle Tests geschlossen wie auch einzeln durchgeführt werden können und sowohl am Bildschirm als auch in einer eigenen Datei protokolliert werden. Hierfür war vorgegeben, die zwecks Identifizierung nötigen Daten im Rahmen einer Initialisierungsdatei am PC zur Verfügung zu stellen, welche dann am Bildschirm ausgewählt werden können sollten.

1.1.5. Gewünschter Lieferumfang

Abschließend sollte ein funktionstüchtiger Prototyp ohne Gehäuse, ohne Netzteile oder mechanische Komponenten übergeben werden. Weiters sollten die Software-Pakete des Mikrocontrollers wie der PC-Software inklusive der dokumentierten Quelltexte übermittelt und natürlich auch eine umfassende Dokumentation des Prüfgerätes selbst dem Auftraggeber überantwortet werden.

2. Der Platinen-Verband

In diesem Kapitel sind sämtliche Überlegungen und Schaltungs-Dimensionierungen hinsichtlich der Umsetzung der Aufgabenstellung in greifbare Hardware zusammengefasst. So beschäftigen sich die folgenden Abschnitte sowohl mit allgemeingehaltenen Gedankengängen hinsichtlich der Material-Auswahl und der zu beachtenden Rahmenbedingungen, als auch mit der Auslegung jedes einzelnen Schaltungsabschnitts und der Auswahl aller kritischen Bauelemente sämtlicher gefertigten Platinen. Angesichts der einfachen Handhabung und der geringen Kosten fiel die Entscheidung hinsichtlich der Schaltplan-Erstellung und des Layout-Editors auf die auch seitens des Auftraggebers favorisierte Software, nämlich auf das Programm „EAGLE 4.16r1 Professional“ aus dem Hause CADSOFT COMPUTER GMBH¹.

2.1. Typisierung der Platinen und Leiterbahnen

Die Fertigung der Platinen wurde auf Grund der erreichten Komplexität und temporären Randbedingungen ausgelagert und bei der Firma BETA LAYOUT GMBH², auch bekannt unter der Bezeichnung ihrer Internet-Repräsentanz namens PCB-POOL, in Auftrag gegeben. Hierdurch wurde ebenso erreicht, dass die ausgelieferten Platinen bereits elektrisch getestet wurden, was als positiver Nebeneffekt dieser Entscheidung aufgefasst wurde.

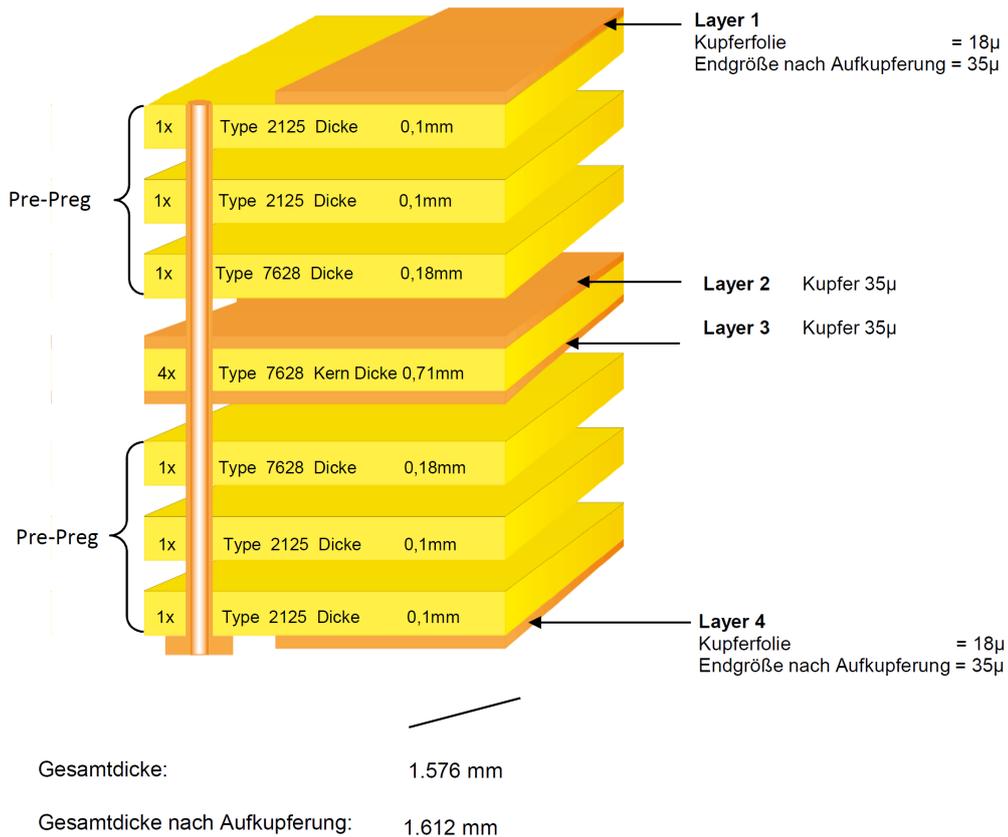
2.1.1. Beschreibung der verwendeten Platinen

Bereits zu Beginn der Arbeiten am Layout der Leiterplatten fiel die Entscheidung zu Gunsten der Ausführung derselben als vierlagige Multilayer-Platinen auf Grund der Vielzahl an zu realisierenden Strukturen pro Leiterplatte. Bezüglich der Geometrie stand von Anfang an fest, dass Platinen im Europakarten-Format (100mm x 160mm) für alle Leiterplatten Verwendung finden sollten um einen gewissen Grad der Standardisierung durch den gesamten Aufbau des Prüfgeräts hindurch aufrecht erhalten zu können.

Die Unterlagen des Herstellers, der BETA LAYOUT GMBH, geben dabei den Aufbau der gewählten vierlagigen Multilayer-Platinen folgendermaßen wieder:

¹CadSoft Computer GmbH, Pleidolfweg 15, D-84568 Pleiskirchen, Deutschland - Internet: <http://www.cadsoft.de>

²Beta LAYOUT GmbH, Im Aartal 14, D-65326 Aarbergen, Deutschland - Internet: <http://www.pcb-pool.com>



Toleranz +/- 0.1mm

Abbildung 2.1.: Theoretischer Aufbau der 4-lagigen Multilayer-Platine [2]

Weitere Details bezüglich der Fertigungseinschränkungen und der im Zuge des Layouts zu beachtenden Vorgaben sind der ebenfalls auf der Homepage des Unternehmens bereitgestellten technischen Dokumentation [3] zu entnehmen. Zur Verwendung im Rahmen der Layout-Arbeiten kamen jedoch die seitens des Auftraggebers überlassenen Design-Rules [4], welche die Vorgaben des Herstellers durchaus erfüllen.

2.1.2. Auslegung der Leiterbahnen und Vias

Unabhängig von den gerade beschriebenen technischen Einschränkungen seitens der Fertigung war es auch unabdingbar, die Strombelastbarkeit der Leiterbahnen sowie der Vias näher zu betrachten und gewissenhaft in den Layout-Prozess mit einzubinden. Hierzu hielt man sich an die Veröffentlichungen der diesbezüglichen elektrischen Bemessungsrichtlinien der Firma FECHNER-SCHULTE LEITERPLATTEN-TECHNIK GMBH³.

³fechner-schulte Leiterplattentechnik GmbH, Potsdamer Straße 10, D-30916 Isernhagen, Deutschland - Internet: <http://www.fs-leiterplatten.de>

So fand man sich sowohl mit den Vorgaben hinsichtlich der externen Spannungsversorgung des Prüfgeräts von +24V, welcher die höchste Spannungs-Ebene in selbem widerspiegelt, als auch mit den seitens des Auftraggebers vorgegebenen Design-Rules in folgender Tabelle der Mindestabstände der Leiterbahnen in der markierten ersten Zeile wieder:

Spannung zwischen den Leiterbahnen (V)	Mindestabstand mit Lötstopplack	
	(mm)	(mil)
0...30	0,25	10
31...50	0,38	15
51...100	0,5	20
101...150	0,5	20
151...300	0,76	30
301...500	1,52	60
>500	0,003 mm/V	0,12 mil/V

Tabelle 2.1.: Mindestabstände auf Leiterplatten [5]

Im Hinblick auf die zu erwartenden Ströme in den einzelnen Schaltungsteilen und der im zugeordneten Abschnitt 2.2.2.3 näher beschriebenen Auslegung der Sicherungen sowie dem Aufbau der Platinen, wie er in der Abbildung 2.1 dargestellt ist, erfolgte auf Grund der hier nun abgebildeten Aufstellung die Dimensionierung der Leiterbahnen:

Leiterbahnbreite		Strombelastbarkeit bei 35 µm in (A)
(mm)	(mil)	
0,1	4	0,5
0,2	8	1
0,5	20	2
1	40	4
1,5	60	5
2	80	6
4	160	10
6	240	14
10	400	21

Tabelle 2.2.: Strombelastbarkeit von Leiterbahnbreiten (vergleiche mit [5])

Auf Grund der obig gezeigten Randbedingungen und der seitens des Layout-Editors des Programms „EAGLE 4.16r1 Professional“ vorgeschlagenen Leiterbahnbreiten erfolgte in Hinblick auf die Nutzungsbereiche der jeweiligen Leiterbahn folgende Zuordnung:

Verwendungsbereich der Leiterbahnen	Leiterbahnbreite		Strombelastbarkeit bei 35 μm in (A)
	(mm)	(mil)	
Systeminterne Signal- Leitungen	0,41...1,02	16...40	1,67...4,0
Leiterbahnen der Ein- und Ausgangs-Strukturen	1,02	40	4,0
Masse-Ausführungen auf den Außen-Layern	1,78	70	5,5

Tabelle 2.3.: Aufgabenbezogene Leiterbahnbreiten-Definition

Aufbauend auf selbige Überlegungen wie bei der Auswahl der Leiterbahnbreite, wurde der Bohrdurchmesser für die Vias jedoch außerdem noch von der Betrachtung des Aufbaus des Prüfgeräts als Prototyp beeinflusst. Dadurch fiel die Wahl des Bohrdurchmessers mit 1mm bzw. 39,37mil deutlich größer aus, als die hier gezeigte Tabelle bezüglich der geforderten Strombelastungen vorgeben würde, um die Abnahme der Signale mittels Mess-Spitzen und etwaige spätere Anpassungen der Schaltungen zu erleichtern:

Bohrungsdurchmesser (mm)	zulässiger Strom (A)
0,2	1
0,3	2
0,4	2,5
0,5	3
0,6	3,5
0,7	4
0,8	5

Tabelle 2.4.: Strombelastbarkeit von Durchkontaktierungen (vergleiche mit [5])

2.2. Die System-Platinen

Unter dem Begriff der im Weiteren sogenannten „System-Platinen“, sind jene Platinen zusammengefasst, die die zentralen Aufgaben des Prüfgerätes übernehmen. Dazu zählen neben der Bereitstellung der Versorgung, die Umsetzung der Signalpegel sowie deren analoge Verknüpfungen, aber auch die Mess-Schaltungen und die Integration des Mikrocontroller-Boards. Auf die weiteren, zur Komplettierung des Prüfgerät-Systems nötigen Platinen, welche eine nicht minder wichtige Rolle übernehmen, wird in den entsprechenden Abschnitten der Dokumentation gesondert eingegangen.

2.2.1. Allgemeines zu den System-Platinen

Die folgenden Abschnitte beschreiben kurz die Gemeinsamkeiten der System-Platinen und gehen näher auf die auf allen Systemplatinen wiederkehrenden Strukturen ein.

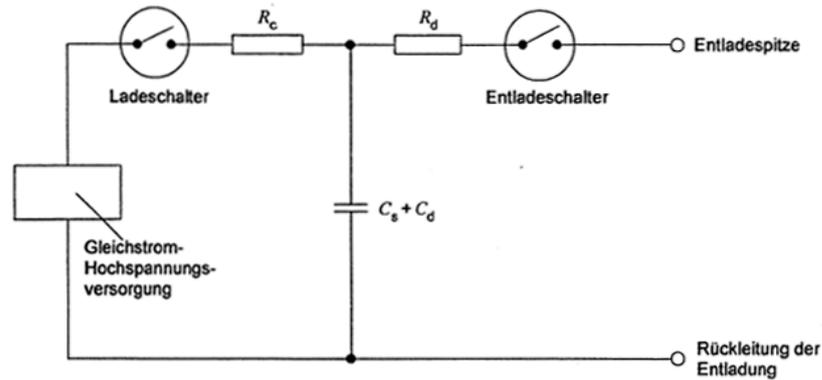
2.2.1.1. Die Schnittstellen der System-Platinen

Alle System-Platinen besitzen zwei kodierbare, stets gleich angeordnete 96-polige Messerleisten des Typs „0903 696 6921“ der Firma HARTING zur Verbindung dieser hin zu den Backplane-, sowie zu den Frontplane-Platinen. Die Möglichkeit der Kodierung könnte hierbei dazu genutzt werden um zu garantieren, dass die einzelnen System-Platinen jeweils nur in ihr ebenfalls kodierbares Gegenstück an der Frontplane steckbar sind und somit die richtige Zuordnung der Anzeige-Felder der Frontplane gegenüber den System-Platinen gegeben ist. Diese Möglichkeit steht zur Nachrüstung offen und wurde vorerst noch nicht umgesetzt. Bei den Backplane-Verbindungen kann die Kodierung entfallen, da sämtliche Steckplätze dieselben Signalzuordnungen der Anschluss-Pins aufweisen und somit keine dezitierte Verknüpfung der Steckplätze mit einzelnen System-Platinen notwendig ist.

Die System-Platinen tragen neben diesen Messerleisten noch jeweils ein bzw. zwei 9-polige Sub-D-Stecker des Typs „1-1634580-2“ der Firma TYCO ELECTRONICS, welche ähnlich den Messerleisten ebenso nahezu durchgängig gleich auf den System-Platinen positioniert sind. Einzige Ausnahme dabei bildet die Versorgungs-Platine bei deren Ausgestaltung aus Platzgründen ein wenig von dieser Direktive abgewichen werden musste. Diese Sub-D-Stecker dienen der Anbindung der Adapter-Platinen.

2.2.1.2. Die ESD-Schutz-Grundstruktur der System-Platinen

Entsprechend der Aufgabenstellung für das Prüfgerät galt es sicherzustellen, dass alle Schnittstellen einer ESD-Kontakt-Entladung im Ausmaß von 4kV, sowie einer Luft-Entladung im Ausmaß von 8kV, unter Anwendung des „Human-Body-Models“ entsprechend der Norm „ÖVE/ÖNORM - EN 61000-4-2: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 4-2: Prüf- und Messverfahren - Prüfung der Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität“ [6] standhalten können. Das diesem Modell zugrundeliegende Prinzipschaltbild gemäß der Norm „EN 61000-4-2“ [6] sei hier unter Angabe der zu verwendenden Bauteil-Werte gezeigt:



ANMERKUNG 1 C_d ist eine verteilte Kapazität, die zwischen dem Generator und seiner Umgebung vorhanden ist.

ANMERKUNG 2 $C_d + C_s$ hat einen typischen Wert von 150 pF.

ANMERKUNG 3 R_d hat einen typischen Wert von 330 Ω .

Abbildung 2.2.: Prinzipschaltbild eines ESD-Generators (Umsetzung des „Human-Body-Modells“) [6, S.13]

Zur Nachbildung des ESD-Generators, der ESD-Schutz-Grundstruktur, sowie der Simulation des Beschusses wurde das Simulations-Tool „PSPICE8.0 (Evaluation Version - July 1997)“ der MICROSIM CORPORATION⁴ in Anspruch genommen, auf welches sich auch alle folgenden PSpice-Modelle und Simulations-Ergebnisse in diesem Abschnitt beziehen. Hinsichtlich der Aufarbeitung der Modelle der einzelnen Bauelemente sowie der dahinterstehenden Überlegungen sei an dieser Stelle auf das Projekt „Untersuchungen von ESD-Schutzstrukturen“ [7] verwiesen, im Zuge dessen diese entstanden sind.

Um nun zu einem passenden ESD-Generator-Modell für die spätere Simulation des ESD-Beschusses zu gelangen, war es notwendig die beiden geforderten Generator-Entladearten hinsichtlich ihrer Nachbildbarkeit näher zu betrachten, woraus sich schlussendlich die Überlegung ergab, dass die Reproduzierbarkeit einer 8kV-Luft-Entladung nur eingeschränkt möglich ist und sich diese durch eine Worst-case-Abschätzung selbiger mittels einer ebenso starken Kontakt-Entladung hinsichtlich ihrer Folgen in der Schutz-Struktur bestmöglich abgebildet darstellt. Aus diesen Überlegungen, der veranschlagten Zuleitungs-Länge von mindestens 1cm hin zur zu beschießenden Schutz-Struktur, der Schleifen-Länge der ESD-Entladung von mindestens 50cm und der Faustformel des Induktivitäts-Belags einer Leiterbahn mit 10nH/cm heraus, entstand sodann folgendes Modell für die Nachbildung des ESD-Generators gemäß obiger Vorgaben sowie jener der Norm „EN 61000-4-2“ [6]:

⁴MicroSim Corporation, 20 Fairbanks, Irvine, CA 92718, USA

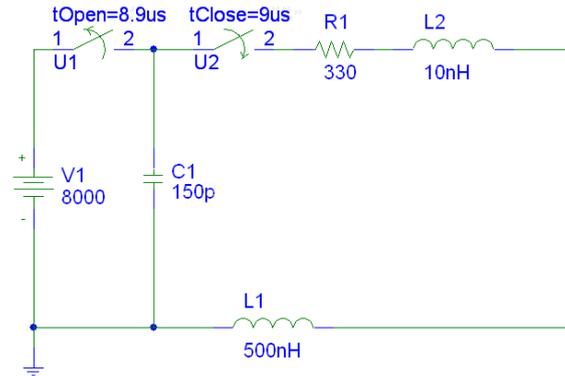


Abbildung 2.3.: PSpice-Modell des verwendeten ESD-Generators (inklusive Zuleitungs- und Schleifen-Induktivität)

Erschwerend kam hinzu, dass die Vorgabe seitens des Auftraggebers dabei die Verpflichtung zum Verzicht auf die Verwendung statisch sichtbarer Längselemente im Signalpfad umschloss, um die Signalpegel nicht zu verfälschen. Aus dieser Vorgabe seitens des Auftraggebers und der daraufhin getroffenen Entscheidung zu Gunsten der Verwendung des SMD-Ferrits „742792114“ von WUERTH ELEKTRONIK als einzigem Längs-Element im Rahmen dieser Schutz-Schaltung, ergab sich sodann ein weiterer Eckpunkt des Schaltungs-Konzepts in Form des maximalen Spitzenstroms durch den SMD-Ferrit, welcher durch Vergleich des zugehörigen Datenblattes [8, S.1] mit selbiger Angabe im Simulations-Programm „LTSpice IV“ (Version 4.09z) der LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION mit 3A definiert erscheint.

Als Ausgangs-Punkt der Entwicklung der ESD-Schutz-Grundstruktur wurden ebenso die „Maximum-Rating“-Angaben hinsichtlich der maximal erlaubten Drain-Source-Spannungen im Ausmaß von 60V der beiden seitens des Auftraggebers vorgegebenen Power MOSFETs der Typen „STN3NF06L“ [9, S.1] und „STN3PF06“ [10, S.3] von STMICROELECTRONICS zur Auslegung herangezogen. Um diese Maximal-Werte nicht auszureizen wurde beschlossen, dass die zu entwickelnde ESD-Schutzschaltung maximal 50V an deren Ausgang erlauben dürfe.

Unter dieser Prämisse entstand sodann die hier gezeigte ESD-Schutz-Grundstruktur die nahezu im Rahmen aller Signal-Schnittstellen der System-Platinen zum Einsatz kam und für einen Großteil der anderen die Ausgangs-Basis bildet:

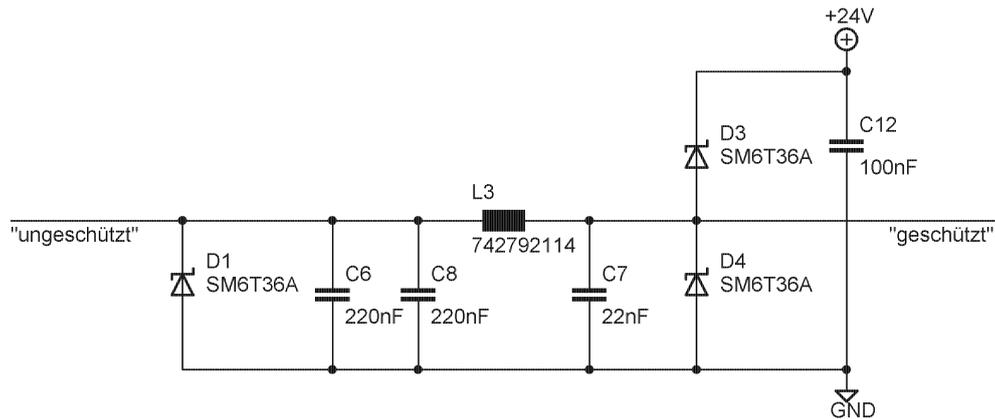


Abbildung 2.4.: ESD-Schutz-Grundstruktur der System-Platinen

Da die zu entwickelnde ESD-Schutz-Grundstruktur auf mehreren damals noch nicht näher bestimmten Platinen zum Einsatz kommen würden, war es notwendig bei der Simulation dieser Schutz-Schaltung auf die Unwegbarkeiten im Zuge des Platinen-Layouts und der dadurch hinzukommenden parasitären Effekte insoweit einzugehen, dass die Simulationen dieser Schutz-Struktur mittels des Programms „PSPICE8.0 (Evaluation Version - July 1997)“ möglichst einem Worst-case-Szenario gleichkommen sollten. Hieraus abgeleitet wurden sodann die Vorgaben, dass im Zuge der Simulation sämtliche „hilfreichen“ parasitären Längs-Induktivitäten der Schutz-Struktur hin zur geschützten Seite dieser Schaltung zu vernachlässigen und alle die Situation verschärfenden Induktivitäten hin zu den Bezugs-Potentialen mit 5nH zu veranschlagen seien, um der Faustformel des Induktivitäts-Belags einer Leiterbahn mit 10nH/cm und den absehbaren Zuleitungs-Induktivitäten Rechnung zu tragen.

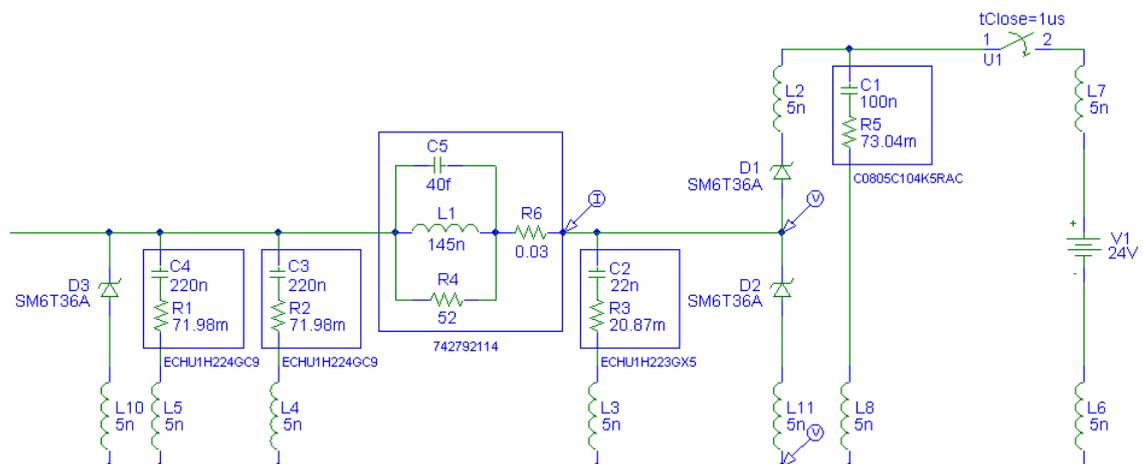


Abbildung 2.5.: PSpice-Modell der ESD-Schutz-Grundstruktur

Da wie gesagt, das Layout der Platinen und die dadurch erst in Erscheinung tretenden parasitären Effekte im Rahmen des hier in der Abbildung 2.5 gezeigten Modells der ESD-Schutz-Struktur noch nicht Berücksichtigung finden, wurde die zweite

zentrale Forderung in Bezug auf die zu erfüllenden Grenzwerte im Zusammenhang mit dem Beschluss der ESD-Schutz-Schaltung mit der Beschränkung des maximalen Spitzen-Stroms durch den SMD-Ferrit „742792114“ mit 1,5A deutlich unter jenem aus dem Bauteil-Datenblatt mit 3A veranschlagt.

Die diversen ESD-Szenarien der ESD-Schutz-Grundstruktur

Im Rahmen der Entwicklung dieser Schutz-Schaltung galt es drei verschiedene Betriebs-Zustände bzw. -Zustands-Übergänge näher zu betrachten und die Schaltung hinsichtlich der Folgen einer ESD-Entladung während derer umfassender zu untersuchen:

- **Prüfgerät allseitig getrennt**

Betrachtet man diesen Fall, so führt eine elektrostatische Entladung in den ungeschützten Pin der Schutz-Struktur zu einer Verschiebung der schwebenden Versorgung-Potentiale dieser Platine sowie der Ausbreitung dieser über die Gesamtheit des Platinen-Verbandes hinweg, wodurch es zu keiner kritischen Potentialdifferenz zwischen den Versorgung-Layern kommt.

- **Einschalten der externen Versorgung 8 μ s nach dem ESD-Ereignis**

In diesem Fall besteht zum Zeitpunkt der elektrostatischen Entladung bereits die Masse-Verbindung hin zum externen +24V-Netzgerät, die Versorgung des Prüfgerätes und somit der „+24V-Schiene“ jedoch wird erst kurz nach dem ESD-Ereignis hergestellt. Daraus ergibt sich einerseits der hier in der Abbildung 2.6 gezeigte Spannungs-Verlauf zwischen dem geschützten Ausgang der ESD-Schutz-Grundstruktur und der lokalen Masse während der ESD-Entladung bei der Zeitmarke von 1 μ s sowie dem Einschalten der +24V-Versorgung 8 μ s danach:

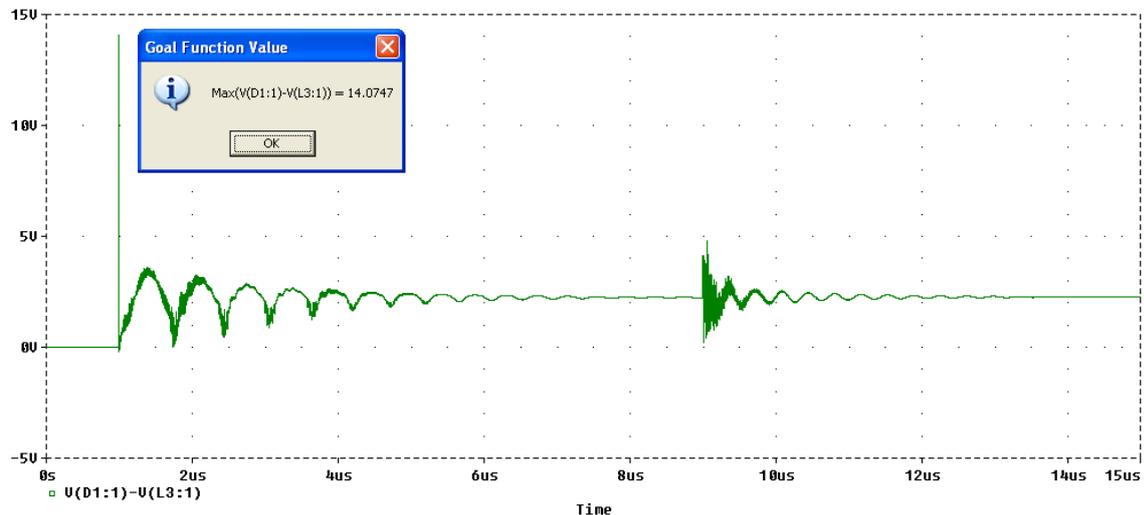


Abbildung 2.6.: Spannungs-Verlauf am Ausgang der ESD-Schutz-Grundstruktur gegenüber der lokalen Masse während des ESD-Ereignisses, sowie der darauf folgenden Versorgungs-Herstellung

Andererseits lässt sich aus obigen Vorgaben ebenso folgender Strom-Verlauf durch den SMD-Ferrit „742792114“ über diese Ereignisse hinweg beobachten:

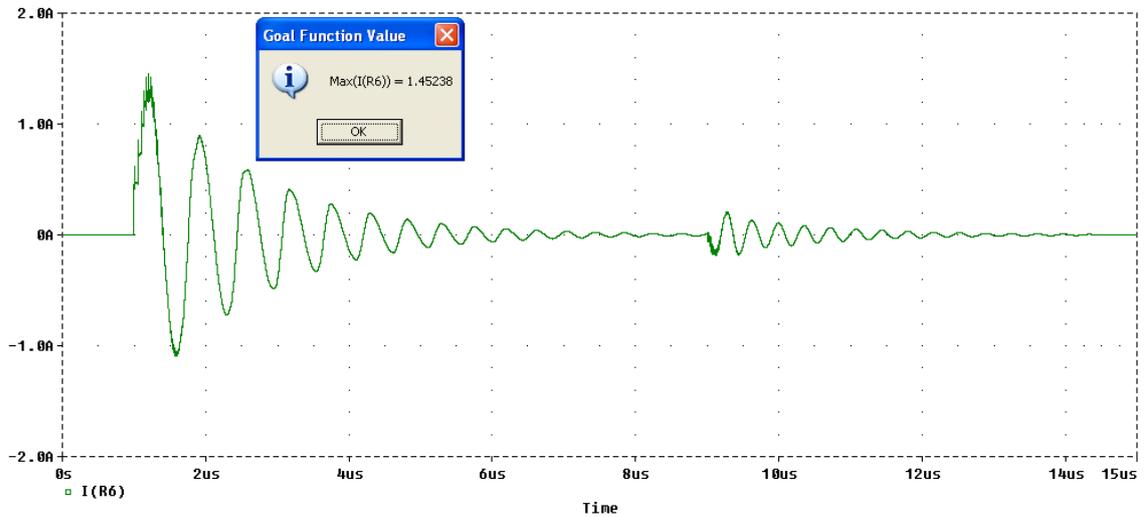


Abbildung 2.7.: Strom-Verlauf durch den SMD-Ferrit „742792114“ während des ESD-Ereignisses, sowie der darauf folgenden Versorgungs-Herstellung

Wie den beiden obigen Abbildungen unschwer zu entnehmen ist, wurden im Rahmen der Simulation in beiden Fällen die mit 50V und 1,5A festgelegten Grenzwerte nicht überschritten.

- **ESD-Ereignis 8 μ s nach dem Einschalten der externen Versorgung**
Fasst man diesen Fall ins Auge, so erkennt man, dass zum Zeitpunkt der elektrostatischen Entladung bereits die +24V-Versorgung des Prüfgerätes durch das externe Netzgerät besteht. Unter diesen Voraussetzungen bildet sich der Spannungs-Verlauf zwischen dem geschützten Ausgang der ESD-Schutz-Grundstruktur und der lokalen Masse über die Herstellung der Versorgung nach 1 μ s und das ESD-Ereignis nach 9 μ s folgendermaßen aus:

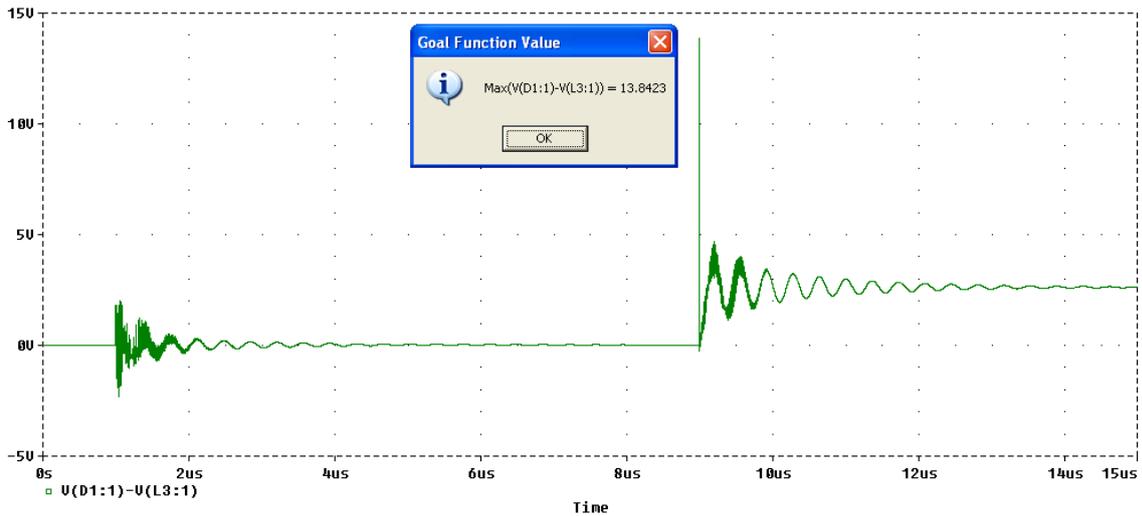


Abbildung 2.8.: Spannungs-Verlauf am Ausgang der ESD-Schutz-Grundstruktur gegenüber der lokalen Masse während der Versorgungs-Herstellung, sowie des darauf folgenden ESD-Ereignisses

Ebenso lässt sich folgender Verlauf des Stromes durch den SMD-Ferrit „742792-114“ über die beiden Ereignisse hinweg durch die Simulation mittels des Programms „PSPICE8.0 (Evaluation Version - July 1997)“ gewinnen:

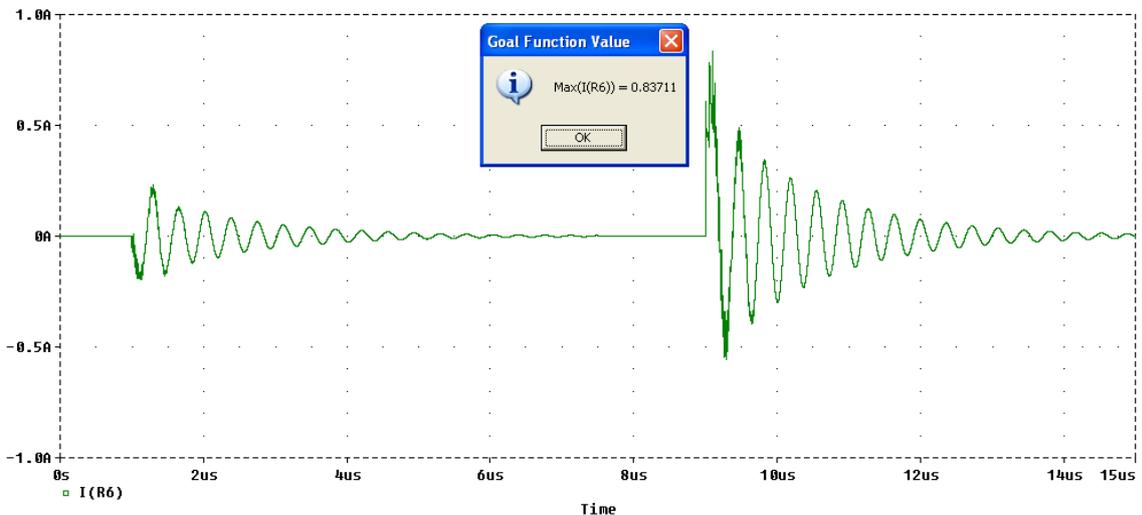


Abbildung 2.9.: Strom-Verlauf durch den SMD-Ferrit „742792114“ während der Versorgungs-Herstellung, sowie des darauf folgenden ESD-Ereignisses

Auch aus diesen zwei hier gezeigten Abbildungen ist ersichtlich, dass die Simulationen des Spannungs- sowie des Strom-Verlaufs keine Überschreitung der geforderten Grenzwerte von 50V bzw. 1,5A mit sich brachten.

Abschließend gilt es an dieser Stelle festzuhalten, dass auf folgenden Platinen neben dieser ESD-Schutz-Grundstruktur auch abweichende Strukturen zum Schutz freizugänglicher Schnittstellen des Prüfgerätes vor ESD-Ereignissen Realisierung fanden, um dortigen Besonderheiten der Signale und Strukturen gerecht zu werden:

- Versorgung
- Ein-/Ausgänge
- Messplatine

2.2.2. Die Versorgungs-Platine

2.2.2.1. Aufgabenstellung

Dieser Platine obliegt es die benötigten Spannungspegel in ausreichender Leistungstärke den einzelnen Systemplatinen zur Verfügung zu stellen und sowohl als zentraler Massepunkt, als auch Bezugspotential für den ESD-Schutz zu dienen. Ebenso fällt es dieser Platine anheim eine erste Absicherung sowohl für das Prüfgerät selbst, als auch für den daraus versorgten Prüfling darzustellen. Im Hinblick auf den Hochlauf des Prüfgerätes soll des Weiteren eine zeitliche Abstufung der zur Verfügung stehenden einzelnen Spannungspegel gewährleistet sein, um unter anderem sicher zu stellen, dass die Versorgungsspannungen an den einzelnen Schaltkreisen vor den Arbeitsspannungen anliegen.

2.2.2.2. Versorgung des Prüfgerätes

Der auftragsseitig geforderten Versorgung des Prüfgerätes mit +24V wurde natürlich entsprochen, des Weiteren jedoch floss in die Überlegungen die Berücksichtigung der Option des Betriebs des Prüfgerätes mittels der fahrzeugseitig maximal zu erwartenden Batteriespannung von +28V ein. Dementsprechend erfolgten auch die Berechnungen der Schaltungen des Prüfgerätes zusätzlich auch auf der Basis einer +28V-Versorgungs-Spannung um die ordnungsgemäße Funktion auch unter diesen Bedingungen gewährleisten zu können. Hinsichtlich der externen Versorgung sei festgehalten, dass die Funktionalität des Gesamtsystems „Prüfgerät“ inklusive Prüfling bei einer Strombegrenzung von 2A funktionell erhalten erscheint, eine genaue Erfassung der gesamten Strom-Aufnahme über die verschiedenen Testzyklen hinweg aber auf Grund fehlender Gerätschaft leider nicht möglich war.

Um nun die Versorgungsspannung der zentralen Versorgungsplatine des Prüfgerätes zuzuführen, wurde folgendem Konzept der Vorzug gewährt:

Als geräteseitige Schnittstelle wurden zwei isolierte 4mm-Einbaubuchsen (rot/schwarz) mit Lötanschlüssen der Typen „930176101“ und „930176100“ der Firma HIRSCHMANN gewählt. Das platinenseitige Gegenstück hierzu bildet eine zwei-polige Printklemme des Typs „1729128“ der Firma PHOENIX CONTACT, die mit den Einbaubuchsen über flexible Leitungen (1mm²/AWG17) verbunden wird.

2.2.2.3. ESD-Schutz und Absicherung

Im Rahmen der Auslegung der Versorgungs-Platine stand natürlich auch der Schutz des Prüfgerätes selbst sowie im Besonderen auch des Prüflings im Vordergrund. In Hinblick darauf standen von Anfang an Überlegungen über möglicherweise auftretender ESD-Entladungen als äußere Störungen, sowie defektbedingte Überlasten als systeminterne Störungen im Zentrum der Betrachtungen. Diese führten sodann zu folgender Realisierung, auf deren zugehörige Überlegungen in den folgenden Abschnitten eingegangen wird:

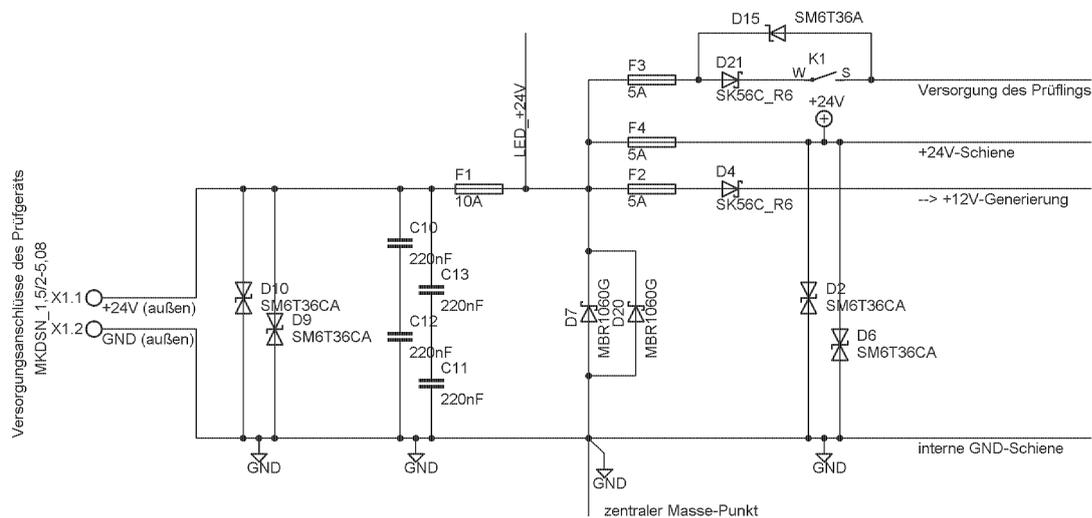


Abbildung 2.10.: Eingangsstufe der Versorgungs-Platine

ESD-Maßnahmen im Rahmen der Versorgung

In Bezug auf elektrostatische Entladungen am Prüfgerät waren drei verschiedene Betriebszustände zu unterscheiden und hinsichtlich der Auswirkungen von ESD-Entladungen während derselben zu analysieren:

- **Prüfgerät allseitig getrennt**
 In diesem Fall liegen auf der Versorgungs-Platine mehrere mögliche Eintrittsstellen für eine elektrostatische Entladung vor, die getrennt zu betrachten und zu berücksichtigen waren:
 - Entladung in

- * die Versorgungsanschlüsse „+24V (außen)“ und „GND (außen)“
- * die interne „+24V-Schiene“, sowie den zentralen Massepunkt

Eine Entladung in jeweils einen der beiden Spannungspfade führt zu einer Potentialverschiebung im unmittelbar betroffenen Zweig, wie auch zu einer Nachführung des frei schwebenden Potentials des anderen durch die bipolar ausgeführten Klemmdioden des Typs „SM6T36CA“, sowie durch die Glättungskondensatoren des Typs „ECHU1H224GC9“. Im Falle einer positiven Entladung in die GND-Schiene oder einer negativen Entladung in die „+24V-Schiene“, kommt noch die unterstützende Wirkung der Verpolschutzdioden des Typs „MBR1060G“ hinzu. Somit kommt es zu keiner kritischen Potentialdifferenz zwischen den Versorgungsanschlüssen, welche zu weiterführenden Beschädigungen am System führen könnte.

- Entladung in den Versorgungsanschluss des Prüflings
Kommt es zu einer ESD-Entladung in den offenen Versorgungsanschluss des Prüflings führt die eingesetzte Klemmdiode des Typs „SM6T36A“ dazu, dass die Überspannung an die ESD-Schutzelemente der Versorgungseinheit weitergeleitet wird und somit ein Überschlag am Relais-Kontakt verhindert wird. Den zweiten Versorgungs-Anschlusspunkt des Prüflings stellt der zentrale Massepunkt dar, dessen ESD-Verhalten schon im letzten Punkt besprochen wurde.

- **Prüfgerät in Betrieb (Prüfling angeschlossen)**

Unter diesen Voraussetzungen begrenzen sich auf Grund der belegten Anschlüsse die Eintrittspforten einer Entladung auf das Gehäuse, welches direkt mit dem Versorgungsanschluss „GND (außen)“ verbunden ist und somit eine direkte Ableitung in die externe Versorgung gewährleistet, und die ESD-Strukturen der einzelnen Systemplatinen, welche in die „+24V-Schiene“ bzw. in die „GND-Schiene“ ableiten und dort wie im vorherigen Punkt beschrieben abgearbeitet werden.

- **Prüfgerät versorgt, aber außer Betrieb (Prüfling getrennt)**

In diesem Fall bleiben als mögliche Eintrittspforten die offenen Steckverbindungen (Versorgungs- und Datenleitungen) in Richtung des Prüflings. Da die ESD-Schutzschaltungen der Ein- und Ausgänge gegen die „+24V-Schiene“ und die „GND-Schiene“ ableiten, sind diese schon betriebsbereit und arbeiten. Somit verbleibt nur noch die Versorgung des Prüflings als mögliche Gefahrenquelle, dem jedoch einerseits durch die direkte Verbindung des „GND“-Anschlusses mit dem zentralen Massepunkt begegnet, sowie andererseits durch die Klemmdiode des Typs „SM6T36A“ in der Versorgungsleitung entgegengetreten wurde, wodurch Überspannungen an die Schutzelemente der Versorgungseinrichtung weitergeleitet werden.

Die doppelte Ausführung der Schutzorgane, sprich der Klemmdioden „SM6T36CA“ sowie der Glättungskondensatoren „ECHU1H224GC9“ gründet im Anspruch, dass

beim Ausfall eines Bauteils die Schutzfunktion weiter gegeben sein muss. Die Serienschaltungen der Kondensatoren verhindern dabei, dass es im Fehlerfall eines Kondensators zu einem Kurzschluss der Versorgung kommt.

Überlegungen hinsichtlich der Absicherung

In Hinblick auf eine ausreichende Absicherung des Prüfgerätes wandte sich das Augenmerk verständlicherweise den zu erwartenden Stromaufnahmen der einzelnen Verbrauchergruppen zu. So stand schnell fest, dass die maximalen Stromaufnahmen folgendermaßen titulierte werden konnten:

- **Versorgung des Prüflings:**
Entsprechend den Unterlagen der Kfz-Elektronik [11] wird der Prüfling im eingebauten Zustand im Fahrzeug mit einem 2A-Sicherungsautomaten geschützt, über welchen leider keine weiteren Angaben hinsichtlich des Auslöse-Verhaltens dokumentiert sind.
- **„+24V-Schiene“:**
Diesem Spannungs-Zweig zugeordnet ist neben den Kfz-Elektrik-abbildenden +24V-Spannungs-Zuführungen auf den Adapter-Platinen, ebenso die Speisung eines Großteils der +24V-Ausgangs-Pegel sowie die Versorgung der Pegel-Visualisierungen auf den Frontplane-Platinen, wodurch sich in Summe eine absolute Maximal-Last an diesem Spannungs-Abzweig von 3A ergibt. Ebenso münden in diese Spannungs-Schiene alle gegen +24V gekoppelten ESD-Schutzstrukturen.
- **„+12V-Generierung“:**
Hinsichtlich der Betrachtung dieses Spannungs-Zweiges muss der weiteren Beschreibung dieser Platine schon ein wenig insoweit vorgegriffen werden, dass die hieraus abgeleitete +12V-Spannungs-Ebene 2,5A bereitstellen sollte.

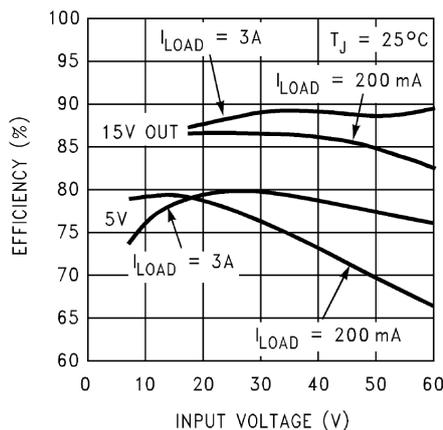


Abbildung 2.11.: Wirkungsgrad des Schaltreglers „LM2576HVT-ADJ LB03“ [12, S.8]

Gemäß obiger Abbildung 2.11 aus dem Datenblatt des hierfür genutzten Schaltreglers „LM2576HVT-ADJ LB03“ [12] ergibt sich der maximal bezogene Eingangs-Strom dieses Bauteils unter Miteinbeziehung des Wirkungsgrades des Schaltreglers von 85% bei +24V Eingangs-Spannung und 2,5A Laststrom folgendermaßen:

$$I_{IN} = \frac{1}{V_{IN}} \times \frac{V_{OUT} \times I_{OUT}}{\eta_{I_{OUT}}}$$

$$\begin{aligned}
 I_{IN} & \dots \text{Eingangs-Strom des Spannungsreglers} \dots [\text{ergibt sich zu } 1,471\text{A}] \\
 V_{IN} & \dots \text{Eingangs-Spannung des Spannungsreglers} \dots [+24\text{V}] \\
 V_{OUT} & \dots \text{gewählte Ausgangs-Spannung des Spannungsreglers} \\
 & \dots [\text{gewählt: } +12\text{V}] \\
 I_{OUT} & \dots \text{maximaler Laststrom des Spannungsreglers} \dots [\text{gewählt: } 2,5\text{A}] \\
 \eta_{I_{OUT}} & \dots \text{Wirkungsgrad des Spannungsreglers bei maximalem Laststrom} \\
 & [12, \text{S.8}] \dots [\text{ergibt sich zu } 0,85]
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Somit stand nach reiflicher Überlegung fest, dass die einzelnen Zweige der Teilsysteme einer ausreichenden Absicherung mit 5A-Sicherungen entgegensehen müssten um auch etwaigen Stromspitzen gegenüber gewappnet zu sein. Die Wahl der Bauform der Sicherungen bestimmte wiederum die Verfügbarkeit seitens mehrerer Hersteller sowie die Wartungsfreundlichkeit, wodurch schlussendlich die Entscheidung zu Gunsten der 5x20mm Feinsicherungen des Typs „flink“ fiel.

In Hinblick auf eine kaskadierte Abschaltung des jeweils defekt-behafteten +24V-Spannungs-Zweiges des Prüfgerätes wurde in die zentrale Spannungs-Speisung eine 5x20mm Feinsicherung des Typs 10A „flink“ eingesetzt.

Überlegungen hinsichtlich des Verpolschutzes

Im Hinblick auf den Fehlerfall der Verpolung der Versorgung des Prüfgerätes stand die Überlegung im Vordergrund das System „Prüfgerät“ möglichst gut zu schützen und etwaigen Problemen durch falsche Polaritäten an den Versorgungsschienen des Systems bereits im Vorfeld entschlossen entgegenzutreten. Somit kristallisierte sich im Laufe der Betrachtungen immer mehr die Variante heraus, bei falsch angelegter Polarität die Versorgung vom Prüfgerät zu trennen und somit jedweden schadbringenden Strom ins System gegen die geplante Flussrichtung von Grund auf zu unterbinden. Um trotzdem den ESD-Schutz aufrechterhalten zu können, fiel daher die Entscheidung den Verpolschutz durch gezieltes Kurzschließen falsch angelegter Polaritäten an den Versorgungsanschlüssen in Verbindung mit einer dadurch auslösenden Schmelzsicherung zu realisieren. Somit kann die Spannungsdifferenz

zwischen den Versorgungsspannungs-Schienen auf eine Diodenspannung herabgesetzt werden, da die „+24V-Schiene“ durch das Aufschmelzen der Sicherung ihren Bezug hinsichtlich des falsch gepolten Versorgungsanschlusses verliert. Zur Realisierung dieser Überlegung fiel dann die Entscheidung zu Gunsten der Schottky-Gleichrichter-Diode „MBR1060G“ in Verbindung mit der bereits obig erwähnten 10A-Feinsicherung (5x20mm) des Typs „flink“ um einerseits eine gewisse Gleichzeitigkeit der Versorgungsspitzen der dahinter liegenden und mit 5A abgesicherten Teilsysteme zu berücksichtigen, aber auch ein möglichst schnelles Auslösen im Fehlerfall gewährleisten zu können.

Um die Auswirkungen der somit nur mehr kurzzeitig anliegenden verpolten Versorgungsspannung weiter zu reduzieren, wurden zusätzlich noch Dioden des Typs „SK56C R6“ eingesetzt, um einen Stromfluss entgegen der geplanten Richtung in diesen Zweigen zu verhindern. Im Zweig der „+24V-Schiene“ wurde auf diese Maßnahme verzichtet, da diese die Last der ESD-Ableitung trägt.

2.2.2.4. Versorgung des Prüflings

Um gewährleisten zu können, dass das Prüfgerät bereits vollständig hochgefahren ist und somit dessen volle Funktionalität zur Verfügung steht, war es nötig zu gewährleisten den Prüfling erst mit der nötigen Verzögerung gegenüber dem Prüfgerät mit der erforderlichen Betriebsspannung zu beauftragen.

Die Wahl fiel hierbei auf die Durchschaltung der Versorgungsspannung an den Prüfling mittels eines Relais des Typs „G6B-1114P-US 5VDC“ dessen Ansteuerung direkt durch den Mikrocontroller des Prüfgerätes unter zur Hilfenahme eines n-Kanal-Power-MOSFETs des Typs „STN3NF06L“ erfolgt. Da hierzu die unterste zu generierende Versorgungsspannung von 5V verwendet wird und der Mikrocontroller bereits hochgefahren sein muss, steht dadurch fest, dass das Prüfgerät bereits voll einsatzbereit ist.

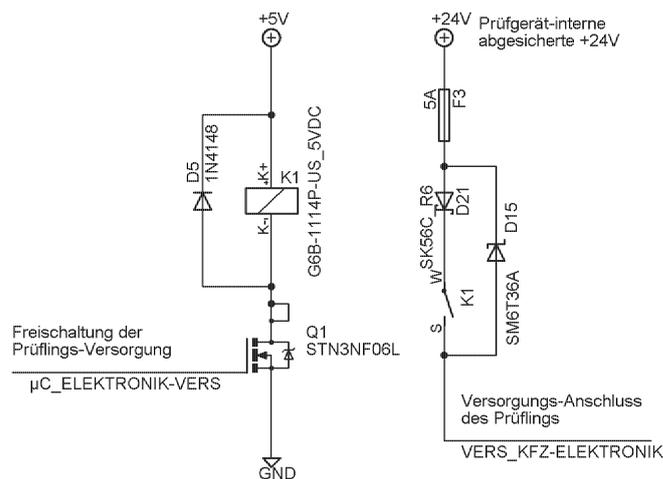


Abbildung 2.12.: Prüflings-Versorgung

2.2.2.5. Spannungslevel „+24V“

Die „+24V-Schiene“ wird direkt aus den internen +24V abgeleitet und stellt einerseits die Versorgung eines Großteils der Anzeigen dar, sowie andererseits auch jene der Mehrzahl der Ausgänge im Signal-Zustand „HIGH“. Weiters dient diese Spannungsebene als Ableitkanal der ESD-Schutzschaltungen an den Ein- und Ausgängen hin zu den Versorgungsanschlüssen. Ebenso aus dieser Schiene abgeleitet ist die Versorgung der Nachbildungen der Bordnetz-Anschlüsse des Prüflings, welche auf den Frontplane-Platinen des Prüfgerätes Realisierung fanden. Abgesichert ist diese Spannungs-Schiene mit einer 5A-Feinsicherung des Typs „flink“.

2.2.2.6. Spannungslevel „+12V“

Um die Weiterverarbeitung der Signale des Prüflings vornehmen und systemeigene Komponenten wie den Mikrocontroller versorgen zu können, war es nötig mehrere Spannungsebenen unter der der System-Versorgungsspannung von +24V einzuführen. Um hierbei ausschließen zu können, dass einzelne niedrigere Spannungslevel vor bzw. trotz des Ausfalls eines höheren zur Verfügung stehen, wurde in Hinsicht auf die Generierung der einzelnen Ebenen ein hierarchisches System gewählt.

An der Spitze dieser Kette steht natürlich die interne „+24V-Schiene“, welche mittels einer 5A-Feinsicherung des Typs „flink“ abgesichert von der Versorgung bereitgestellt wird. Aus dieser wird sodann die „+12V-Schiene“ mit Hilfe des Schaltreglers „LM2576HVT-ADJ LB03“ abgeleitet. Hier folgt nun gleich der Überblick über den nun weiter besprochenen Schaltungs-Abschnitt:

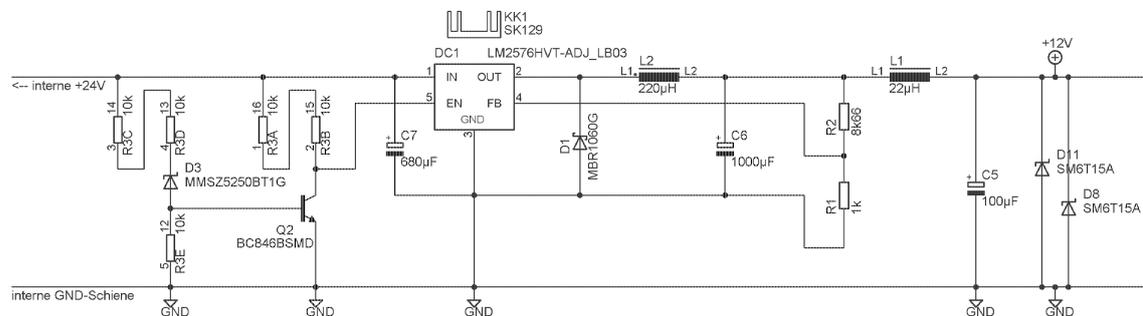


Abbildung 2.13.: Generierung der „+12V-Schiene“

Außen-Beschaltung des Spannungswandlers

Das zentrale Element in obiger Abbildung 2.13 bildet natürlich der Spannungswandler, auf dessen Außenbeschaltung an dieser Stelle nun hinsichtlich der Dimensionierung der einzelnen Bauelemente näher eingegangen wird:

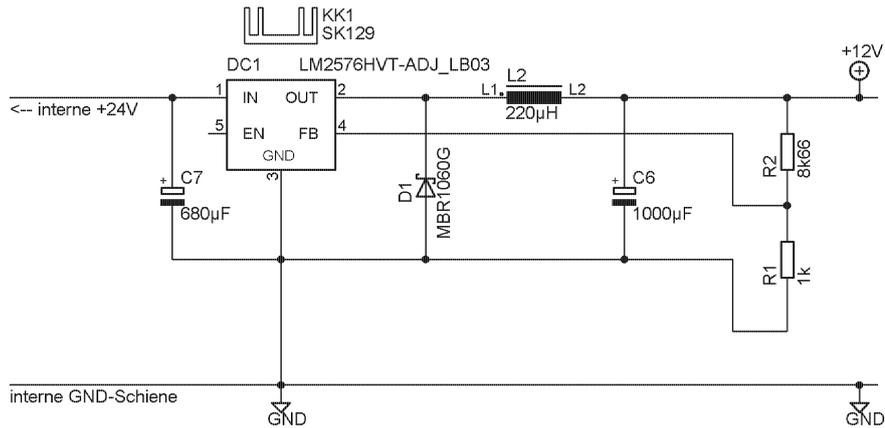


Abbildung 2.14.: LM2576-Grundbeschaltung

- **Berechnung der Ausgangs-Spannung V_{OUT}**

$$V_{OUT} = V_{REF} \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) [12, S.13]$$

V_{OUT} ... erwünschte Ausgangs-Spannung des Spannungsreglers ... [+12V]

V_{REF} ... Spannung der internen Band-Gap-Referenz ... [+1.23V] [12, S.13]

R_2 ... frei-wählbarer Widerstand ... [ergibt sich zu 8,66kΩ]

R_1 ... beschränkt-wählbarer Widerstand ($1k\Omega \leq R_1 \leq 5k\Omega$) [12, S.13]
 ... [gewählt: 1kΩ]

(2.2)

- **Auswahl der Induktivität**

$$E \times T = (V_{IN} - V_{OUT}) \times \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \times \frac{1000}{f_{SW} \text{ in kHz}} \text{ (V} \times \mu\text{s)} [12, S.14]$$

$E \times T$... Induktivitäts-Spannungs - μs - Konstante
 ... [ergibt sich zu 131,868 (V \times μs)]

V_{IN} ... max. Eingangs-Spannung ... [+28V]

V_{OUT} ... erwünschte Ausgangs-Spannung des Spannungsreglers ... [+12V]

f_{SW} ... Schaltfrequenz des Reglers ... [52kHz] [12, S.14]

(2.3)

Entsprechend der Auswahl-Hilfen der zugehörigen Dokumentation des Spannungsreglers [12, S.13,14] und der Annahme des maximalen Laststroms mit 2,5A fiel die Wahl auf die 220 μH Spule „14 224 35“ der Firma NEWPORT COMPONENTS.

• **Berechnung der Ausgangs-Kapazität C_{OUT}**

$$C_{OUT} (\mu\text{F}) \geq 13300 \times \frac{V_{IN}(Max)}{V_{OUT} \times L(\mu\text{H})} [12, S.14]$$

$$C_{OUT} \quad \dots \text{min. Ausgangs-Kapazität für Stabilität} \\ \dots [\text{ergibt sich zu } \geq 206,889 \mu\text{F}] \quad (2.4)$$

$$V_{IN}(Max) \quad \dots \text{max. Eingangs-Spannung } \dots [+28\text{V}]$$

$$V_{OUT} \quad \dots \text{erwünschte Ausgangs-Spannung des Spannungsreglers} \\ \dots [+12\text{V}]$$

$$L(\mu\text{H}) \quad \dots \text{gewählter Induktivitäts-Wert } \dots [220 \mu\text{H}]$$

Auf Grund der Empfehlungen im Datenblatt [12, S.14] zur Verwendung einer um ein Vielfaches höheren Kapazität fiel die Wahl auf die 1000 μF -Kapazität in Form des Aluminium-Elektrolyt-Kondensator „EEUFC1J102“ der Firma PANASONIC.

• **Auswahl der Diode und der Eingangs-Kapazität C_{IN}**

Entsprechend der weiteren Empfehlungen fiel die Entscheidung bezüglich der Diode welche mindestens das Strom-Limit des Reglers von rund 6A aushalten muss, zu Gunsten der Schottky-Diode „MBR1060G“ der Firma ON SEMI-CONDUCTOR. Ebenso fiel die Auswahl der Eingangskapazität auf Grund der ausreichend hohen Welligkeits-Einstufung auf den 680 μF bietenden Aluminium-Elektrolyt-Kondensator „EEUFC1J681“ der Firma PANASONIC.

Deren Berechnung geht nach der Dokumentation [12, S.15,16] folgendermaßen vonstatten:

$$I_{Ripple} = 1.2 \times \frac{t_{ON}}{T} \times I_{LOAD}$$

wobei hier beim Abwärts-Regler gilt: $\frac{t_{ON}}{T} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$

$$I_{Ripple} \quad \dots \text{geforderte Welligkeits-Einstufung } \dots [\text{ergibt sich zu } 1,5\text{A}]$$

$$V_{OUT} \quad \dots \text{erwünschte Ausgangs-Spannung des Spannungsreglers } \dots [+12\text{V}]$$

$$V_{IN} \quad \dots \text{ordnungsgemäße Eingangs-Spannung } \dots [+24\text{V}]$$

$$I_{LOAD} \quad \dots \text{max. Laststrom } \dots [2,5\text{A}] \quad (2.5)$$

Realisierte Zusatzfunktionen

Der Spannungsregler LM2576 stellt einem aber auch noch weitere interessante Zusatzfunktionen in Aussicht von denen der Unterspannungs-Schutz ins Schaltungskonzept übernommen wurde, dessen Auslegung hier nun dargelegt wird:

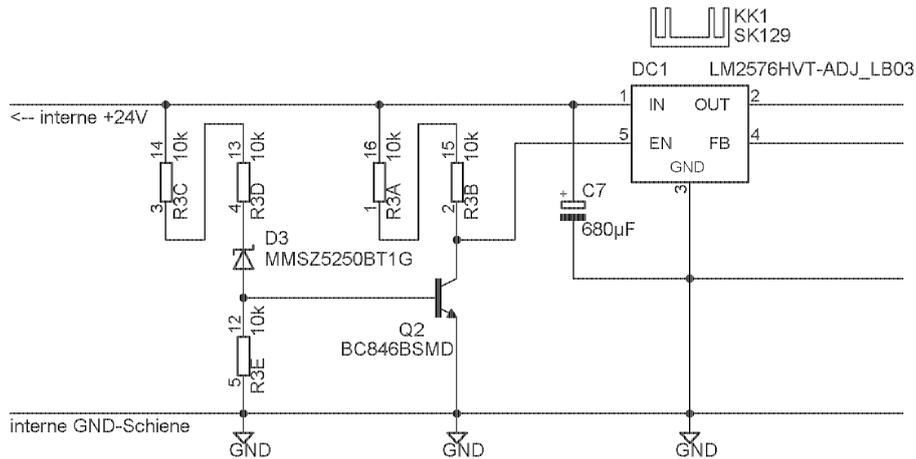


Abbildung 2.15.: Unterspannungs-Schutz-Schaltung des LM2576

Ausgehend von den Vorgaben der Widerstandswerte seitens des zugehörigen Dokumentations-Abschnittes [12, S.18] wurde diese Zusatzfunktion folgendermaßen dimensioniert:

$$V_{TH} = V_{Z1} + 2 \times V_{BE}(Q1)$$

V_{TH} ... Einschaltspannung des Reglers ... [ergibt sich zu +21,24V] (2.6)

V_{Z1} ... Zener-Spannung ... [+20V][13, S.3]

$V_{BE}(Q1)$... Basis-Emitter-Spannung ... [+0,62V][14, S.6]

Ebenfalls der Dokumentation [12, S.19] entnommen wurde die Empfehlung bezüglich eines LC-Filters um den Ausgangs-Ripple des Stromes zu reduzieren. Bevor nun die +12V den anderen Systemkomponenten zur Verfügung gestellt werden, ist sie noch durch zwei Klemmdioden des Typs „SM6T15A“ gegen Masse gebunden um Überspannungen begegnen zu können. Diese beiden Adaptionen sind nun hier dargestellt:

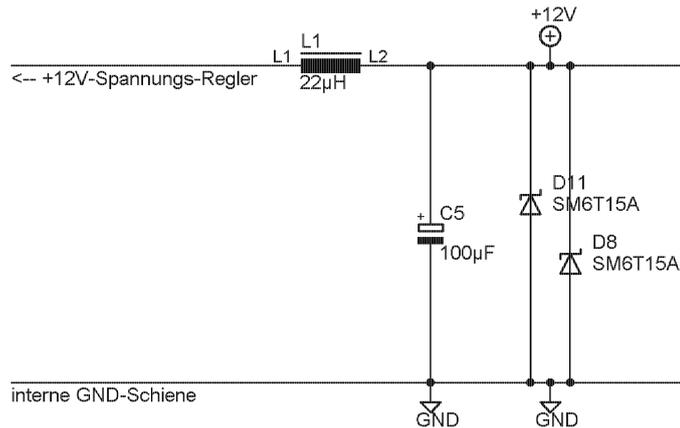


Abbildung 2.16.: Ripple-Filter und Überspannungsschutz der „+12V-Schiene“

Berechnung des Kühlkörpers

Abgeschlossen wurden die Betrachtungen des Spannungsreglers LM2576 durch die Überlegungen hinsichtlich eines nötigen Kühlkörpers. Die folgenden Formeln sind dabei ebenso der Dokumentation des Spannungsreglers [12, S.17] entnommen:

- **Berechnung der Verlustleistung P_D**

$$P_D = V_{IN} \times I_Q + \frac{V_O}{V_{IN}} \times I_{LOAD} \times V_{SAT} [12, S.17]$$

P_D	... Verlustleistung des Reglers ... [ergibt sich zu 2,759W]	
V_{IN}	... min. Eingangs-Spannung ... [+21,2V]	
I_Q	... max. Ruhestrom ... [10mA][12, S.5]	(2.7)
V_O	... gewählte Ausgangs-Spannung des Reglers ... [+12V]	
I_{LOAD}	... max. Laststrom ... [2,5A]	
V_{SAT}	... max. Sättigungs-Spannung bei Raumtemperatur ... [+1,8V][12, S.5]	

- **Berechnung der Temperatur-Erhöhung im Inneren des Spannungsreglers**

$$\Delta T_J = P_D \times \Theta_{JA} [12, S.17]$$

ΔT_J	... Temperatur-Erhöhung im Inneren ... [ergibt sich zu +179,335°C]	
P_D	... Verlustleistung des Reglers ... [2,759W]	
Θ_{JA}	... Wärme-Widerstand aus dem Inneren zur Umgebung ... [65°C/W][12, S.6]	(2.8)

- **Ermittlung der absoluten Temperatur im Inneren des Spannungsreglers**

$$T_J = \Delta T_J + T_A [12, S.17]$$

$$\begin{aligned} T_J & \dots \text{absolute Temperatur-Erh\u00f6hung im Inneren} & (2.9) \\ & \dots [\text{ergibt sich zu } +209,335^\circ\text{C}] \\ \Delta T_J & \dots \text{Temperatur-Erh\u00f6hung im Inneren} \dots [+179,335^\circ\text{C}] \\ T_A & \dots \text{max. Umgebungs-Temperatur} \dots [30^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

Daraus und aus der Empfehlung seitens der Dokumentation die maximal erlaubte Temperatur im Inneren von 125°C in der konservativen Herangehensweise zur Auslegung besser um weitere 15°C [12, S.17] zu unterschreiten, ergibt sich eindeutig die Notwendigkeit eines K\u00fchlk\u00f6rpers zur W\u00e4rme-Abfuhr. Mit dieser Vorgabe hinsichtlich der maximal erlaubten Temperatur-Erh\u00f6hung im Inneren des Spannungswandlers in Verbindung mit der maximalen Umgebungstemperatur von 30°C ergibt sich die Mindestanforderung an den K\u00fchlk\u00f6rper entsprechend folgender Umformung:

$$\Delta T_J = P_D \times (\Theta_{JC} + \Theta_{Interface} + \Theta_{Heatsink}) [12, S.17]$$

mittels Umformung ergibt sich:

$$\Theta_{Heatsink} \leq \frac{\Delta T_J}{P_D} - (\Theta_{JC} + \Theta_{Interface})$$

$$\begin{aligned} \Delta T_J & \dots \text{max. Temperatur-Erh\u00f6hung im Inneren} \dots [+80^\circ\text{C}] \\ P_D & \dots \text{Verlustleistung des Reglers} \dots [2,759\text{W}] \\ \Theta_{JC} & \dots \text{W\u00e4rme-Widerstand aus dem Inneren zum Geh\u00e4use} \dots [2^\circ\text{C/W}] \\ & [12, S.6] \\ \Theta_{Interface} & \dots \text{W\u00e4rme-Widerstand der Geh\u00e4use-K\u00fchlk\u00f6rper-Verbindung unter} \\ & \text{Verwendung von W\u00e4rmeleitpaste} \dots [0,5^\circ\text{C/W}] \\ \Theta_{Heatsink} & \dots \text{W\u00e4rme-Widerstand des K\u00fchlk\u00f6rpers} \\ & \dots [\text{ergibt sich zu max. } 26,496^\circ\text{C/W}] \end{aligned} \quad (2.10)$$

Gem\u00e4\u00df diesem Berechnungs-Ergebnis wurde sodann der K\u00fchlk\u00f6rper des Spannungswandlers als Exemplar des Typs „SK 129-25,4-STS-2“ des Herstellers FISHER spezifiziert, welcher mit seinem W\u00e4rme-Widerstand von $6,5^\circ\text{C/W}$ [15] die Anforderung bei Weitem erf\u00fcllt.

„+12V-Inverterspeisung“

Um ein ordnungsgemäßes Freischalten der nachfolgenden Spannungs-Ebenen garantieren zu können, war es notwendig die daran beteiligten Inverter „MC74HC14ADG“ aus den gerade erzeugten +12V heraus zu versorgen. Da die gewünschte Versorgungsspannung der gerade genannten Inverter jedoch bei +5V liegt, wurde es nötig sich der hier gezeigten Hilfsschaltung unter Verwendung der einstellbaren Spannungsreferenz des Typs „TL431ACD“ zu bedienen:

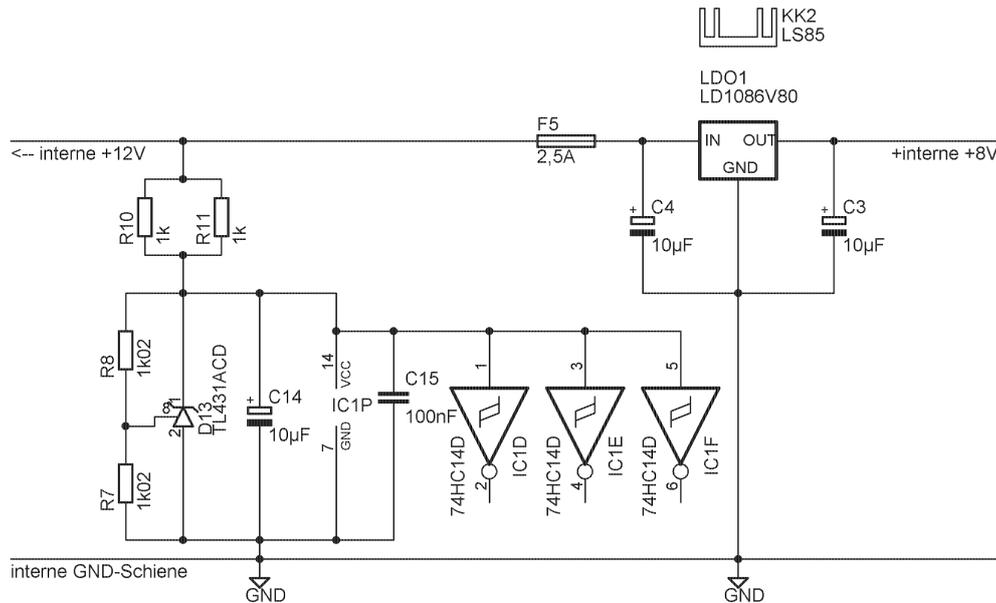


Abbildung 2.17.: „+12V-Inverterspeisung“

Die zugehörige Dimensionierung entstammt der Dokumentation des einstellbaren Präzisions-Shunt-Regulators „TL431“ [16, S.25] und sei hier gezeigt:

Unter Berücksichtigung der Vorgaben des Datenblattes hinsichtlich der Angabe des Referenz-Stroms im Ausmaß von $2\mu\text{A}$ [12, S.14], welcher das Spannungs-Verhältnis an den gewählten Einstell-Widerständen nicht beeinflussen soll, wurde der Strom im Einstell-Zweig mit rund 2mA angepeilt und die beteiligten Widerstände folgendermaßen gewählt um die gewünschte Ausgangs-Spannung von rund 5V für die Inverter-Versorgung bereitzustellen:

$$V_O = \left(1 + \frac{R_8}{R_7}\right) \times V_{ref} [16, S.25]$$

$$I_{Einstellzweig} = \frac{V_{ref}}{R_1 + R_2}$$

V_O	... eingestellte Ausgangs-Spannung ... [ergibt sich zu +4,99V]
R_8	... Einstell-Widerstand R8 ... [gewählt mit 1,02k Ω]
R_7	... Einstell-Widerstand R7 ... [gewählt mit 1,02k Ω]
V_{ref}	... interne Referenz-Spannung ... [+2.495V][16, S.14]
$I_{Einstellzweig}$	... Strom im Einstell-Zweig ... [ergibt sich zu 2.446mA]

(2.11)

Aus diesen Betrachtungen heraus und der Favorisierung des Kathoden-Anoden-Stroms im Ausmaß von 10mA seitens des Datenblattes [16, S.11] ergibt sich der Vorwiderstand gemäß folgendem Formalismus:

$$R_{VOR} = \frac{(V_I - V_0)}{(I_{Einstellzweig} + I_{KA})}$$

R_{VOR}	... Vorwiderstand des „TL431“-Bausteins ... [ergibt sich zu 563,233 Ω]
V_I	... Eingangs-Spannung ... [+12V]
V_O	... eingestellte Ausgangs-Spannung ... [+4,99V]
$I_{Einstellzweig}$	... Strom im Einstell-Zweig ... [2.446mA]
I_{KA}	... Kathoden-Anoden-Strom ... [gewählt mit 10mA]

(2.12)

Gewählt wurde daher eine Parallel-Schaltung aus zwei 1k Ω -Widerständen des Typs „RN73C2A1K0BTG“.

Der in der obigen Darstellung ebenfalls abgebildete Kondensator C14 stellt den Stützkondensator für die Ausgangs-Spannung dar und wurde deshalb in Form eines 10 μ F-Tantal-Kondensators des Typs „B45196H4106K209“ ausgeführt. Die Auswahl desselben erfolgte dabei mit Rücksichtnahme auf die hier gezeigten Stabilitäts-Bereiche beim veranschlagten Kathoden-Anoden-Strom von 10mA und der Betrachtung der Kathoden-Anoden-Spannungskurve von 5V:

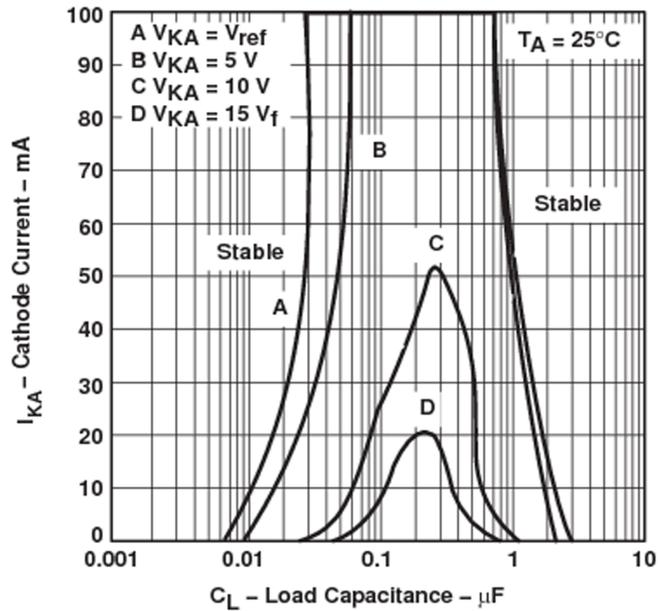


Abbildung 2.18.: Stabilitätsbereiche des Shunt-Regulators „TL431A“ [16, S.24]

2.2.2.7. Spannungslevel „+8V“

Zur Versorgung der Spannungsreferenzen war es notwendig zwischen der bereits generierten +12V-Schiene und der noch zu beschreibenden +5V-Ebene eine weitere einzuziehen. Hierbei fiel die Wahl auf den Spannungslevel von +8V, deren schaltungstechnische Realisierung hier nun beschrieben wird.

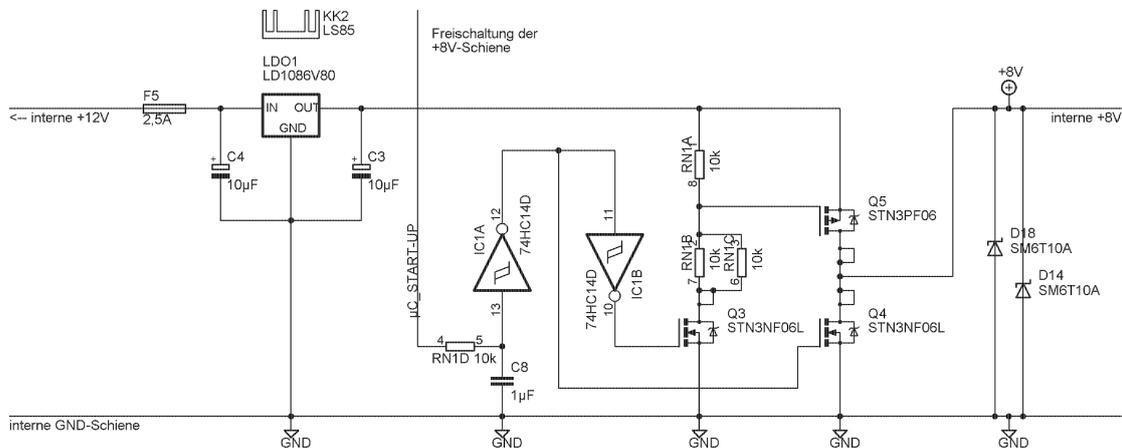


Abbildung 2.19.: Generierung der „+8V-Schiene“

Das zentrale Element hierbei stellt der Linearwandler des Typs „LD1086V80“ dar, der benutzt wird um aus den bereitgestellten +12V die gewünschten +8V abzuleiten. Um auch hierbei die Auswirkungen möglicher Fehlfunktionen eingrenzen zu können,

wurde in die Zuleitung zum Linearregler eine „2,5A“-Feinsicherung (flick) eingefügt.

Dem Linearregler selbst wurde ein Kühlkörper zugeordnet, dessen Auslegung hier weiter verfolgt werden kann:

- **Berechnung der Verlustleistung P_D**

$$P_D = (V_{IN} - V_{OUT}) \times (I_{LOAD})$$

$$\begin{aligned} P_D & \dots \text{Verlustleistung des Reglers} \dots [\text{ergibt sich zu } 6\text{W}] \\ V_{IN} & \dots \text{min. Eingangs-Spannung} \dots [+12\text{V}] \\ V_{OUT} & \dots \text{Ausgangs-Spannung des Reglers} \dots [+8\text{V}] \\ I_{LOAD} & \dots \text{max. Laststrom} \dots [1,5\text{A}][17, S.1] \end{aligned} \quad (2.13)$$

- **Berechnung der Temperatur-Erhöhung im Inneren des Spannungsreglers**

$$\Delta T_J = P_D \times \Theta_{JA}[12, S.17]$$

$$\begin{aligned} \Delta T_J & \dots \text{Temperatur-Erhöhung im Inneren} \dots [\text{ergibt sich zu } +300^\circ\text{C}] \\ P_D & \dots \text{Verlustleistung des Reglers} \dots [6\text{W}] \\ \Theta_{JA} & \dots \text{Wärme-Widerstand aus dem Inneren zur Umgebung} \\ & \dots [50^\circ\text{C/W}][17, S.2] \end{aligned} \quad (2.14)$$

- **Ermittlung der absoluten Temperatur im Inneren des Spannungsreglers**

$$T_J = \Delta T_J + T_A[12, S.17]$$

$$\begin{aligned} T_J & \dots \text{absolute Temperatur-Erhöhung im Inneren} \\ & \dots [\text{ergibt sich zu } +330^\circ\text{C}] \\ \Delta T_J & \dots \text{Temperatur-Erhöhung im Inneren} \dots [+300^\circ\text{C}] \\ T_A & \dots \text{max. Umgebungs-Temperatur} \dots [30^\circ\text{C}] \end{aligned} \quad (2.15)$$

Aus der maximal erlaubten Temperatur im Inneren des Reglers von 125°C [17, S.2] und der Entscheidung hierbei eine 15°C -Reserve einzuplanen, ergibt sich offensichtlich die Notwendigkeit der hier aufgetretenen Diskrepanz mit einem Kühlkörper zu begegnen. Unter Berücksichtigung einer maximalen Umgebungstemperatur von 30°C stellen sich die Anforderungen im Bezug auf den Kühlkörper folgendermaßen dar:

$$\Delta T_J = P_D \times (\Theta_{JC} + \Theta_{Interface} + \Theta_{Heatsink}) [12, S.17]$$

mittels Umformung ergibt sich:

$$\Theta_{Heatsink} \leq \frac{\Delta T_J}{P_D} - (\Theta_{JC} + \Theta_{Interface})$$

ΔT_J	... max. Temperatur-Erhöhung im Inneren ... [+80°C]
P_D	... Verlustleistung des Reglers ... [6W]
Θ_{JC}	... Wärme-Widerstand aus dem Inneren zum Gehäuse ... [3°C/W] [17, S.2]
$\Theta_{Interface}$	... Wärme-Widerstand der Gehäuse-Kühlkörper-Verbindung unter Verwendung von Wärmeleitpaste ... [0,5°C/W]
$\Theta_{Heatsink}$	... Wärme-Widerstand des Kühlkörpers ... [ergibt sich zu max. 9,833°C/W]

(2.16)

Auf Grund dieses Ergebnisses fiel dann die Wahl für den Kühlkörper dieses Reglers auf ein Exemplar des Typs „LS85“ der Firma ABL COMPONENTS, dessen Wärme-Widerstand von 7,1°C/W [18] für die Anwendung ausreichend erscheint.

Bevor nun jedoch die +8V dem System zur Verfügung stehen, muss noch seitens des Mikrocontrollers, welcher bereits aus der „+12V-Schiene“ gespeist wird, die Freigabe dieser Versorgungsschiene erfolgen, wodurch gewährleistet ist, dass der Mikrocontroller bereits vollständig hochgefahren und betriebsbereit ist. Um nun auch eine Verzögerung zwischen dem Durchschalten der +8V und der +5V zu erreichen, bedient man sich im Rahmen dieser Schaltung zweier verschieden dimensionierter RC-Glieder unter Vernachlässigung der Laufzeiten der Inverter. Die Dimensionierung des hiesigen RC-Gliedes sei hier gezeigt:

$$T_{RC+8V} = RN1D \times C8$$

T_{RC+8V}	... Lade-Konstante des +8V-RC-Gliedes ... [ergibt sich zu 10ms] (2.17)
$RN1D$	... Widerstand des RC-Gliedes ... [10kΩ]
$C8$	... Kondensator des RC-Gliedes ... [1µF]

Da mit Hilfe des +5V-versorgten Inverters die +8V-Ausgangsspannung nicht von der dazu gehörenden Schiene mittels des verwendeten Power-MOSFET des Typs „STN3PF06“ getrennt werden kann, da die Treshold-Spannung des letztgenannten nicht ausreichend unterschritten wird, war es notwendig diese zweistufige Lösung zur Unterbrechung der Verbindung zu verwenden:

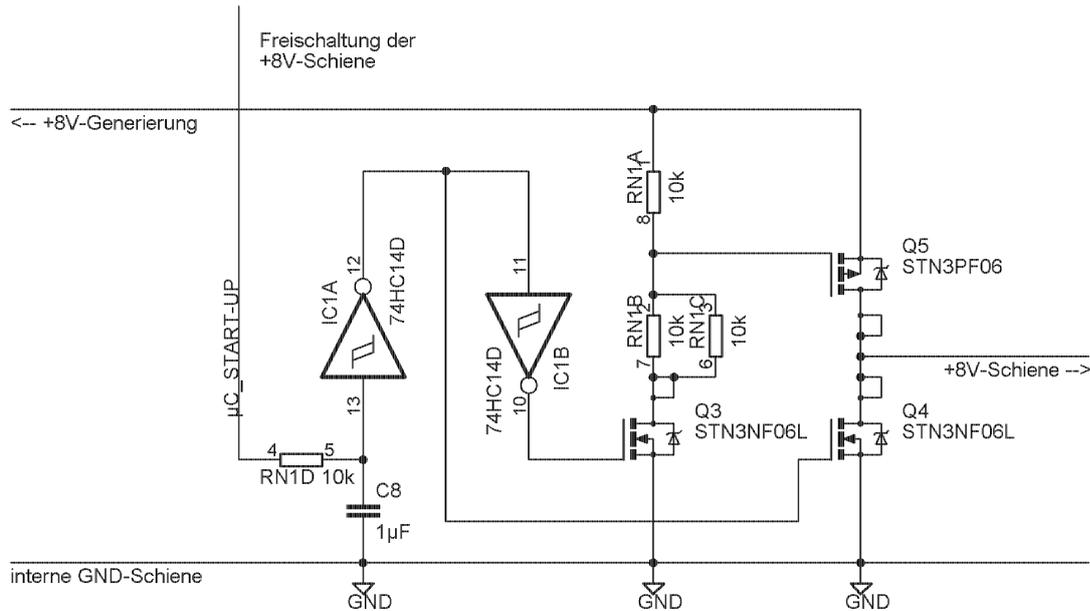


Abbildung 2.20.: Unterbrechung der +8V-Versorgung

Das Freischaltungs-Signal der +8V-Versorgung kommt vom Mikrocontroller und kann zwei Zustände annehmen auf die hier gesondert eingegangen werden soll:

- **Potential „ $\mu\text{C_START-UP}$ “ = 0V:**
 - IC1A-12=+5V \rightarrow (STN3NF06L- $V_{VGS(th)_max}$ =+2.8V [9, S.2]) \rightarrow Q4 leitet
 - IC1B-10=0V \rightarrow (STN3NF06L- $V_{VGS(th)_max}$ =+2.8V [9, S.2]) \rightarrow Q3 leitet nicht
 - Q5_G=+8V \rightarrow (STN3PF06- V_{VGS} =0V) \rightarrow Q5 leitet nicht
- **„ $\mu\text{C_START-UP}$ “ = +5V:**
 - IC1A-12=0V \rightarrow (STN3NF06L- $V_{VGS(th)_max}$ =+2.8V [9, S.2]) \rightarrow Q4 leitet nicht
 - IC1B-10=+5V \rightarrow (STN3NF06L- $V_{VGS(th)_max}$ =+2.8V [9, S.2]) \rightarrow Q3 leitet
 - Q5_G=+2V \rightarrow (STN3PF06- $V_{VGS(th)_max}$ =-4V [10, S.4]) \rightarrow Q5_{VGS}=-6V \rightarrow Q5 leitet

Um nun auch gegen mögliche Überspannungen auf der „+8V-Schiene“ gewappnet zu sein vervollständigen diesen Bereich der Versorgungsplatine noch zwei Klemmdioden des Typs „SM6T10A“.

2.2.2.8. Spannungslevel „+5V“

Zur Versorgung der Inverter des Typs „MC74HC14ADG“ sowie der Signal-Aufbereitung seitens der potentialgetrennten Eingänge war es notwendig eine +5V-Spannungsebene einzuführen.

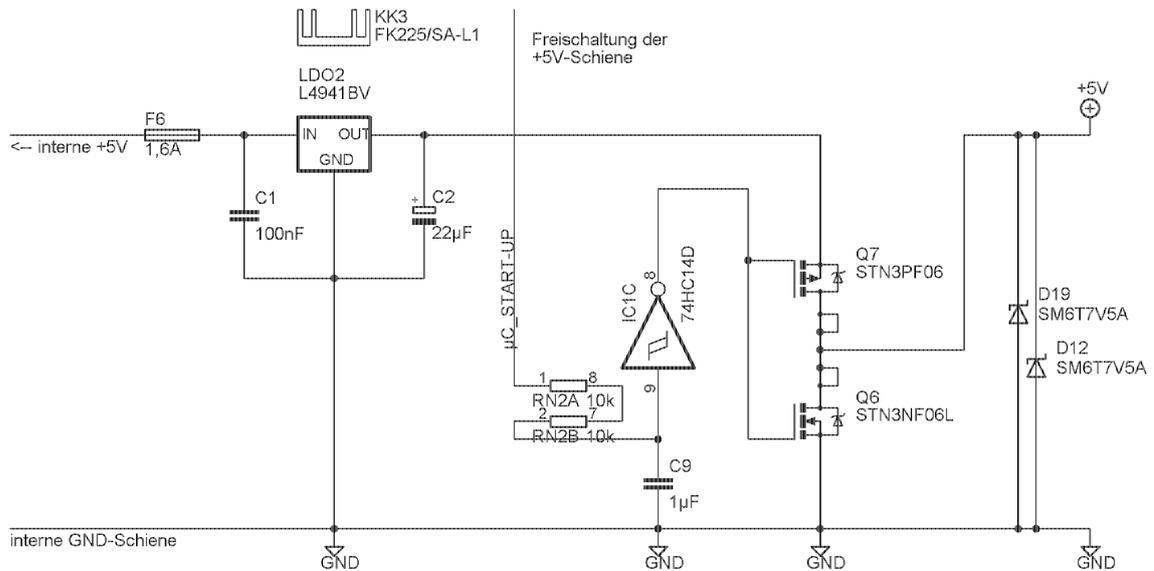


Abbildung 2.21.: Generierung der „+5V-Schiene“

In die Zuleitung der „+8V-Schiene“ zur Versorgung des hier verwendeten Linearreglers des Typs „L4941BV“ wurde eine Feinsicherung des Typs „fink“, diesmal in der Dimension von 1,6A eingefügt, um Fehlfunktionen gegebenenfalls begegnen zu können.

Auch hier war es nötig dem Linearregler einen Kühlkörper zur Seite zu stellen. Die hierfür nötigen Berechnungen und Überlegungen werden im Folgenden erläutert:

- **Berechnung der Verlustleistung P_D**

$$P_D = (V_{IN} - V_{OUT}) \times (I_{LOAD})$$

$$\begin{aligned}
 P_D & \dots \text{Verlustleistung des Reglers} \dots [\text{ergibt sich zu } 3\text{W}] \\
 V_{IN} & \dots \text{Eingangsspannung} \dots [+8\text{V}][17, S.6] \\
 V_{OUT} & \dots \text{Ausgangsspannung des Reglers} \dots [+5\text{V}][19, S.4] \\
 I_{LOAD} & \dots \text{max. Laststrom} \dots [1,0\text{A}][12, S.1]
 \end{aligned}
 \tag{2.18}$$

- **Berechnung der Temperatur-Erhöhung im Inneren des Spannungsreglers**

$$\Delta T_J = P_D \times \Theta_{JA}[12, S.17]$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_J & \dots \text{Temperatur-Erhöhung im Inneren} \dots [\text{ergibt sich zu } +150^\circ\text{C}] \\
 P_D & \dots \text{Verlustleistung des Reglers} \dots [3\text{W}] \\
 \Theta_{JA} & \dots \text{Wärme-Widerstand aus dem Inneren zur Umgebung} \\
 & \dots [50^\circ\text{C/W}][19, S.2]
 \end{aligned}
 \tag{2.19}$$

- **Ermittlung der absoluten Temperatur im Inneren des Spannungsreglers**

$$T_J = \Delta T_J + T_A [12, S.17]$$

$$\begin{aligned} T_J & \dots \text{absolute Temperatur-Erhöhung im Inneren} & (2.20) \\ & \dots [\text{ergibt sich zu } +180^\circ\text{C}] \\ \Delta T_J & \dots \text{Temperatur-Erhöhung im Inneren } \dots [+150^\circ\text{C}] \\ T_A & \dots \text{max. Umgebungs-Temperatur } \dots [30^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

Auf Grund der Vorgabe der maximal erlaubten Temperatur im Inneren des Reglers von 150°C [17, S.2] und der Überlegung eine 15°C -Reserve einzuplanen, wird deutlich, dass dem Linearregler ein Kühlkörper zugeordnet werden muss. In Hinblick auf die Annahme der maximalen Umgebungstemperatur von 30°C ergibt sich die weitere Dimensionierung des Kühlkörpers folgendermaßen:

$$\Delta T_J = P_D \times (\Theta_{JC} + \Theta_{Interface} + \Theta_{Heatsink}) [12, S.17]$$

mittels Umformung ergibt sich:

$$\Theta_{Heatsink} \leq \frac{\Delta T_J}{P_D} - (\Theta_{JC} + \Theta_{Interface})$$

$$\begin{aligned} \Delta T_J & \dots \text{max. Temperatur-Erhöhung im Inneren } \dots [+105^\circ\text{C}] \\ P_D & \dots \text{Verlustleistung des Reglers } \dots [3\text{W}] \\ \Theta_{JC} & \dots \text{Wärme-Widerstand aus dem Inneren zum Gehäuse} \\ & \dots [3^\circ\text{C/W}] [19, S.2] \\ \Theta_{Interface} & \dots \text{Wärme-Widerstand der Gehäuse-Kühlkörper-Verbindung unter} \\ & \text{Verwendung von Wärmeleitpaste } \dots [0,5^\circ\text{C/W}] \\ \Theta_{Heatsink} & \dots \text{Wärme-Widerstand des Kühlkörpers} \\ & \dots [\text{ergibt sich zu max. } 31,50^\circ\text{C/W}] \end{aligned} \quad (2.21)$$

Um nun den Linearregler ausreichend zu kühlen fiel die Entscheidung zu Gunsten des „FK 225/SA-L1“ der Firma FISHER, dessen Wärme-Widerstand von $9,9^\circ\text{C/W}$ [20, S.17] die Anforderungen bei Weitem erfüllt.

Zwischen der Erzeugung der $+5\text{V}$ und der zugeordneten Schiene liegt noch die Freigabe-Schaltung dieser Versorgungsschiene, welche vom Mikrocontroller gesteuert wird. Diese garantiert, dass der Mikrocontroller bereits ordnungsgemäß hochgefahren und die Verdoppelung des RC-Ladewiderstandes steht dafür ein, dass die Frei-

schaltung der +8V-Schiene bereits erfolgt ist. Die Auslegung des hier positionierten RC-Glieds sei hier gezeigt:

$$T_{RC+5V} = (RN2A + RN2B) \times C9$$

T_{RC+5V} ... Lade-Konstante des +5V-RC-Gliedes ... [ergibt sich zu 20ms] (2.22)

$RN2$ Widerstände des RC-Gliedes ... [10k Ω]

$C9$... Kondensator des RC-Gliedes ... [1 μ F]

Anders als bei der Freischaltung der +8V-Schiene genügen hier für die Ansteuerung der beiden Power-MOSFET die seitens des Inverters „MC74HC14ADG“ erreichbaren Ausgangspegel.

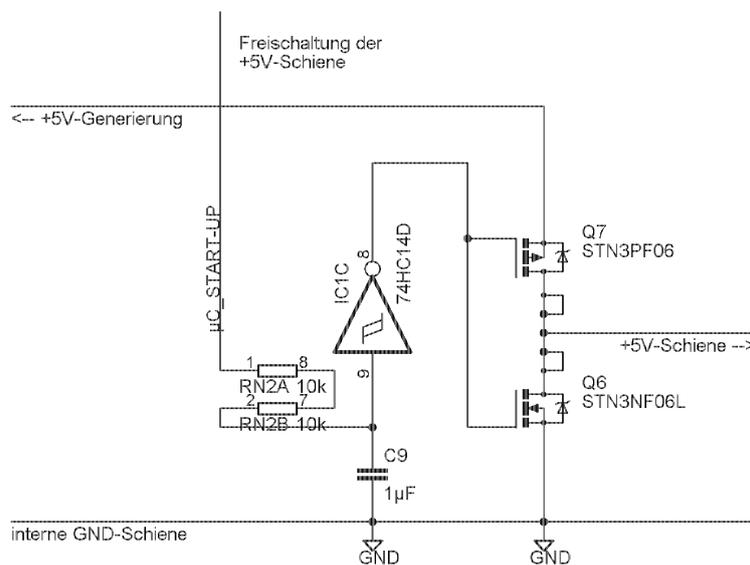


Abbildung 2.22.: Unterbrechung der +5V-Versorgung

Über die beiden Signalzustände der Steuerleitung des Mikrocontrollers und deren Konsequenzen sei hier berichtet:

- **Potential „ μ C_START-UP“ = 0V:**
 - IC1C-8=+5V \rightarrow (STN3NF06L- $V_{VGS(th)_{max}}=+2.8V$ [9, S.2]) \rightarrow Q6 leitet
 - Q7_G=+5V \rightarrow (STN3PF06- $V_{VGS}=0V$) \rightarrow Q7 leitet nicht
- **„ μ C_START-UP“ = +5V \rightarrow IC1C-8 = 0V:**
 - Q6_G=0V \rightarrow (STN3PF06- $V_{VGS}=0V$) \rightarrow Q6 leitet nicht
 - Q7_G=0V \rightarrow (STN3PF06- $V_{VGS(th)_{max}}=-4V$ [10, S.4]) \rightarrow Q7_{VGS}=-5V \rightarrow Q7 leitet

Um nun auch sicher zu gehen, dass etwaige Störungen auf dieser Versorgungsschiene nicht zu weitreichenden Schäden im System führen, wird diese durch den Verbau zweier Klemmdioden des Typs „SM6T7V5A“ geschützt.

2.2.3. Die Eingangs-Strukturen

Im Rahmen des Entwurfs des Prüfgerätes war es eines der primären Ziele die Funktionalität der Ausgänge des Prüflings genauer in Augenschein zu nehmen. Dabei sollten mit den im Folgenden beschriebenen Strukturen die im Fahrzeug eigentlich als Last gesehenen LED-Ausgänge und Instrumentenbeleuchtungen abgebildet und somit die Ausgänge des Prüflings getestet werden. So werden mit diesen Schaltungen hier fast alle Ausgangs-Lasten des Prüflings simuliert, einzig die Ausgangs-Strukturen der Kfz-Elektronik im Zusammenhang mit dem Starter werden noch gesondert im Abschnitt 2.2.5 beschrieben.

2.2.3.1. Auswertung der LED-Ausgänge des Prüflings

Im eingebauten Zustand der zu prüfenden Kfz-Elektronik werden die LED-Anzeigen mittels eines Opto-Kopplers in der Masseleitung der Anzeige-Einheit geschaltet, welche selbst die Verbindung der LED mit dem zugehörigen Vorwiderstand darstellt. Versorgt werden diese dabei aus der Kfz-Elektronik über den zugeordneten Stecker heraus. Somit wird sichergestellt, dass die Stecker sowohl Hin- und Rückstrom führen und die eingesetzte Ferritperle ungestört der Gleichtaktunterdrückung dienen kann. Zur Abbildung dessen splittet das Prüfgerät die seitens des Prüflings gelieferten steckerbezogenen Versorgungs-Spannungen auf die einzelnen Eingangs-Test-Strukturen auf und liefert somit den hier weiter beschriebenen Eingangs-Strukturen des Prüfgerätes jeweils bereits die seitens des Prüflings geschaltene Masse-Leitung sowie eine zugeordnete Versorgungs-Leitung. Näheres zur zugehörigen Adapter-Platine ist dem zugeordneten Kapitel 2.5 zu entnehmen.

Diese beiden Signale der Adapter-Platine treffen sodann auf die im Folgenden näher beschriebene und hier gezeigte Struktur zur Auswertung der LED-Ausgänge des Prüflings:

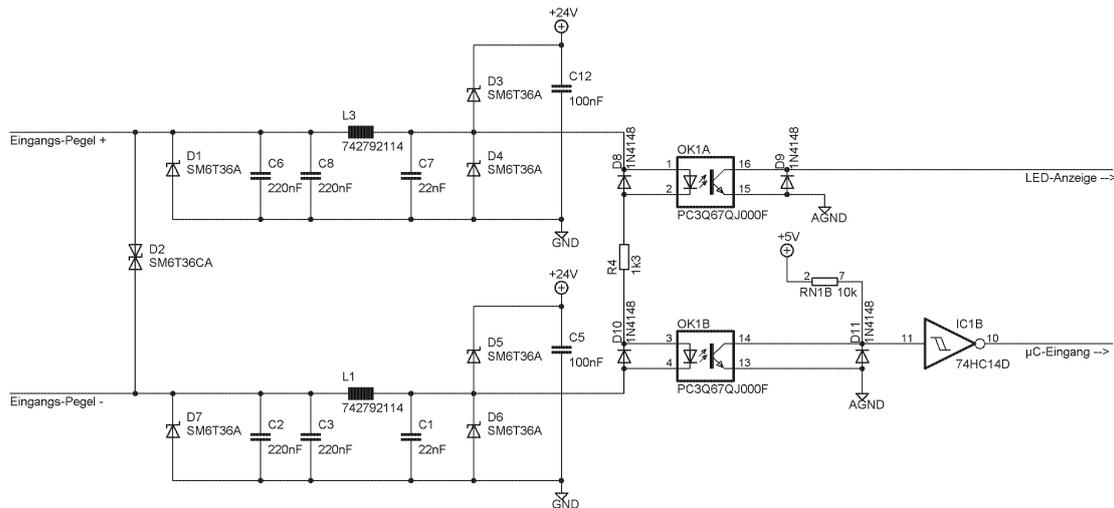


Abbildung 2.23.: 2-poliger Eingang

Diese Schaltung findet sich auf folgenden Platinen wieder und beschreibt die darauf realisierten Strukturen entsprechend der in Klammern gesetzten Angabe:

- Eingaenge_1 (vollständig)
- Eingaenge_2 (vollständig)
- Eingaenge_4 (vollständig)
- Ein-/Ausgaenge (größtenteils)

Zur weiteren Beschreibung und zur besseren Verständlichkeit dieser Schaltung wird diese nun in zwei, im Folgenden beschriebene, Funktionsbereiche unterteilt:

Die 2-polige Eingangs-Schutzstruktur

Der hier gezeigte Schaltungsabschnitt dient einzig dem ESD-Schutz der dahinter liegenden Signal-Aufbereitung. Wie man sieht setzt sich dieser aus zwei identischen Strukturen zusammen, sowie der Verkoppelung der beiden Zweige mittels der bidirektionalen ESD-Schutzdiode des Typs „SM6T36CA“. Näheres zu diesen beiden identen ESD-Schutzstrukturen ist dem Abschnitt 2.2.1.2 zu entnehmen, in welchem die ESD-Schutz-Grundstruktur eingehend erläutert wird.

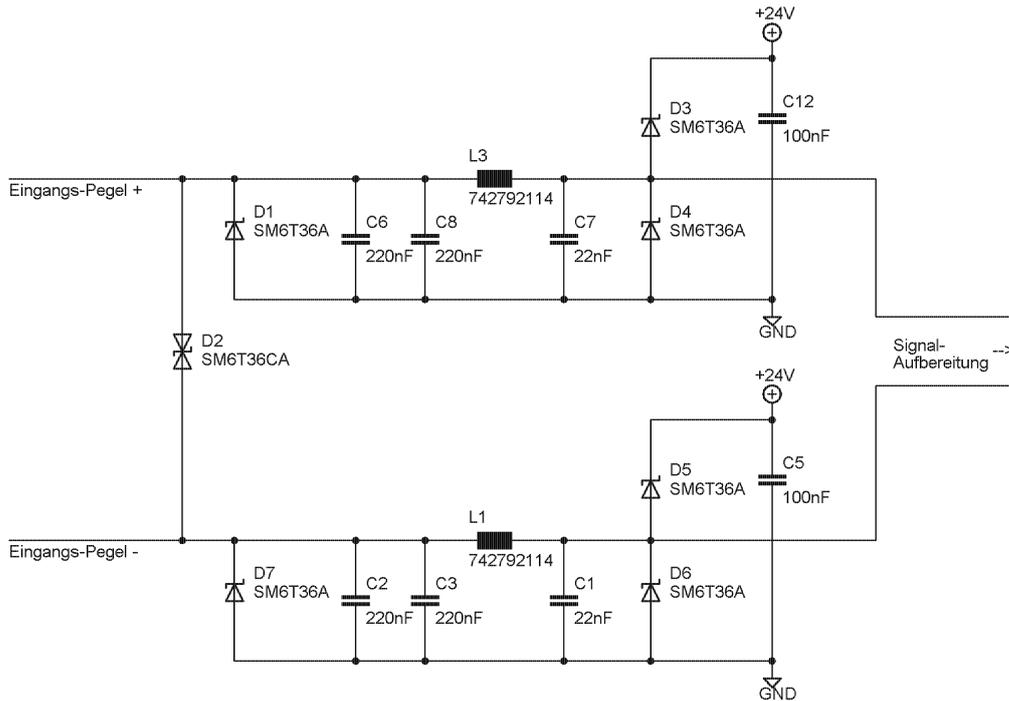


Abbildung 2.24.: 2-polige Eingangs-Schutzstruktur

Die 2-polige Signal-Aufbereitung

Der hier näher beschriebene Schaltungsabschnitt stellt nun das Kernstück der Auswertung der LED-Ausgänge des Prüflings dar, in der die bereits geschützten Eingangs-Pegel der Analyse zugeführt werden. Der „Eingangspegel +“ entspricht dabei der seitens des Prüfgerätes bereitgestellten Versorgungs-Spannung der jeweiligen LED-Einheit, der „Eingangs-Pegel -“ stellt die seitens des Prüflings geschaltene Masseleitung selbiger Einheit dar. Die Analyse hinsichtlich der richtigen Funktion der zu prüfenden Elektronik setzt nun voraus dieses Schalten der Masseleitung auswerten zu können. Dem kommt der hier gezeigte Schaltungsbereich insoweit nach, als dass die Potential-Differenz zwischen den beiden Pegeln mittels Opto-Koppler ausgewertet wird. Dabei dient der obere Opto-Koppler der Zuranzeigebringung der Potential-Differenz mittels der zugeordneten LED auf der Frontplane-Platine, der untere Opto-Koppler wertet selbige ebenfalls aus und liefert sodann die, mittels eines 10k Ω -Pull-up-Widerstand-Elements aus einem Widerstand-Array des Typs „CAY16-103J4LF“ und des mit 5V-versorgten Inverters des Typs „MC74HC14ADG“, digitalisierte Information an den Mikrocontroller.

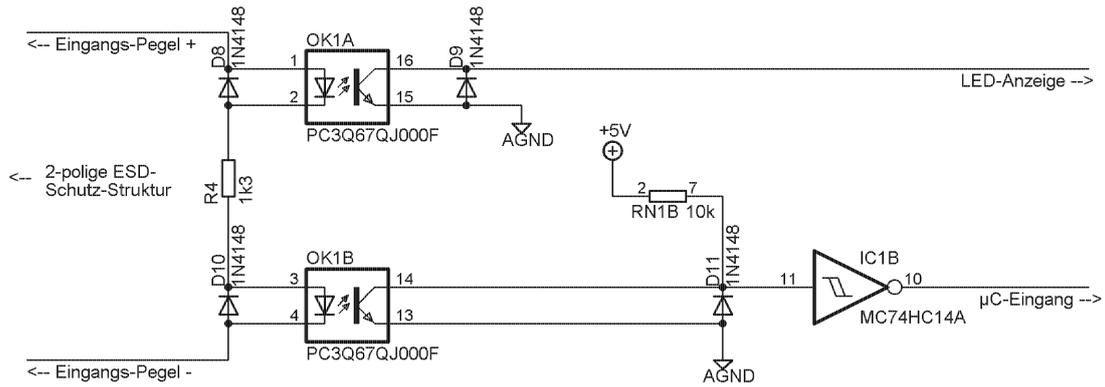


Abbildung 2.25.: 2-polige Signalaufbereitung

Zwischen den beiden Optokopplern ist der zur Auswertung der erwarteten Potential-Differenz nötige Vorwiderstand angesiedelt, dessen Dimensionierung folgendermaßen vor sich ging:

$$R4 = \frac{(V_{DIFF} - 2 \times V_{F-OPTO})}{I_{F-OPTO}}$$

$R4$	... Vorwiderstand der Auswertung ... [ergibt sich zu +1280,0Ω]
V_{DIFF}	... max. erwartete Spannungs-Differenz zwischend den Eingängen ... [+28V]
V_{F-OPTO}	... Spannungs-Abfall am Opto-Koppler-Eingang ... [+1,2V][21, S.4]
I_{F-OPTO}	... max. erwünschter Strom durch den Opto-Koppler-Eingang ... [20mA] [21, S.4]

(2.23)

Für die Umsetzung dieses Vorwiderstands fiel daher die Wahl auf das Bauteil „CFR50-J1K3“ von TYCO ELECTRONICS mit dem Widerstands-Wert von 1,3kΩ.

Die Dioden des Typs „1N4148“, welche anti-parallel zu den Optokoppler-Dioden und den Ausgangs-Kollektor-Emitter-Strecken der Opto-Koppler geschaltet wurden, schützen diese vor zu hohen Potential-Differenzen in Sperrrichtung.

2.2.3.2. Auswertung der Instrumenten-Beleuchtung und des Warnsummers

Der Aufbau der prüflingsseitigen Ausgänge zur Ansteuerung der Instrumentenbeleuchtung wie der Auslösung des Warnsummers unterscheidet sich von dem der LED-Ausgänge ein wenig. Und zwar liegt der gravierendste Unterschied gegenüber den LED-Ausgängen und den hier beschriebenen in der Zuführung der Versorgungsspannung. Wurde bei den LED-Ausgängen die Versorgung des Signalpfades noch

seitens des zugehörigen Prüfling-Steckers zur Verfügung gestellt, wird den hier beschriebenen Strukturen des Prüflings direkt die Versorgungs-Spannung des Fahrzeuges am Stecker zugeführt. Die zugehörige Masse der Instrumentenbeleuchtung liefert dann direkt das Instrument der Anzeige, wodurch klar wird, dass die stromkompensierte Versorgung der Kfz-Elektronik nicht zur Versorgung dieser Strukturen verwendet werden kann. Im Rahmen der Entwicklung des Prüfgerätes wurde dieser Besonderheit dahingehend Rechnung getragen, als dem Prüfling die Versorgung des Prüfgerätes seitens der zugehörigen Adapter-Platine anstelle der Fahrzeugversorgung über den Stecker zur Verfügung gestellt wird.

Darüber hinaus heben sich die hier verwendeten Strukturen zur Ansteuerung der Instrumentenbeleuchtung und des Warnsummers seitens der Kfz-Elektronik nur unwesentlich von denen der LED-Anzeigen ab. So unterscheidet sich jene des Warnsummers nur durch das Ersetzen der Beleuchtungs-Einheit durch die des Warnsummers während die Strukturen der Instrumenten-Beleuchtung auf Grund der seitens des Instruments zur Verfügung gestellten Masse-Verbindung nicht mehr in der Masse-Leitung geschaltet werden können, sondern der Schalter bei diesen in die Versorgungszuleitung wanderte.

Dadurch ergibt sich, dass zur Auswertung der Ansteuerung der Instrumentenbeleuchtung und des Warnsummers jeweils nur eine Signalleitung bereit steht, deren Signalzustand mittels folgender Struktur des Prüfgerätes ausgewertet wird:

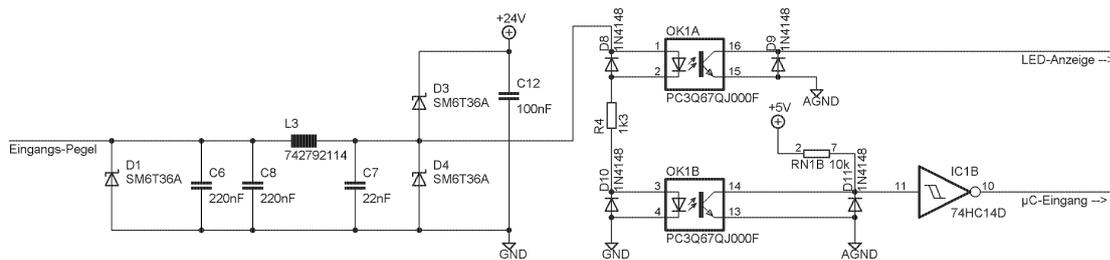


Abbildung 2.26.: 1-poliger Eingang

Diese Schaltung findet sich auf folgender Platine wieder und beschreibt die darauf realisierten Strukturen vollständig:

- Eingaenge_3

Zum besseren Verstehen teilt sich die Beschreibung dieser Struktur entsprechend der dabei zusammengefassten Funktionsbereiche in zwei ihnen zuzuordnende Teile:

Die 1-polige Eingangs-Schutzstruktur

Die hier im Rahmen der 1-poligen Eingangs-Struktur verwendete ESD-Schutz-Schaltung entspricht genau der im Abschnitt 2.2.1.2 besprochenen ESD-Schutz-Grundstruktur und somit sei für Näheres auf diesen Dokumentationsabschnitt verwiesen.

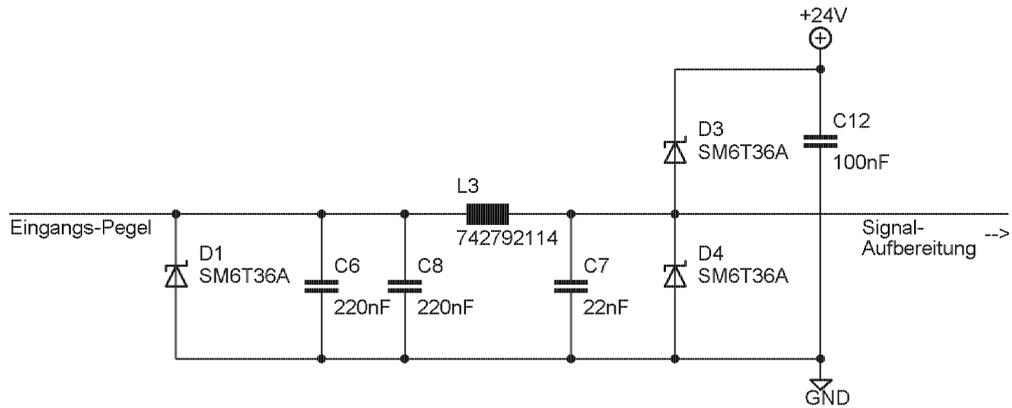


Abbildung 2.27.: 1-polige Eingangs-Schutzstruktur

Die 1-polige Signal-Aufbereitung

Auch dieser Schaltungsabschnitt wird schon als im Abschnitt 2.2.3.1 beschrieben betrachtet, da der einzige Unterschied dieser Schaltung hier gegenüber der dort beschriebenen in der Fixierung des dort „Eingangs-Pegel“-benannten Potentials auf GND-Potential liegt. Daher darf für weitere Erläuterungen auf diesen Abschnitt verwiesen werden.

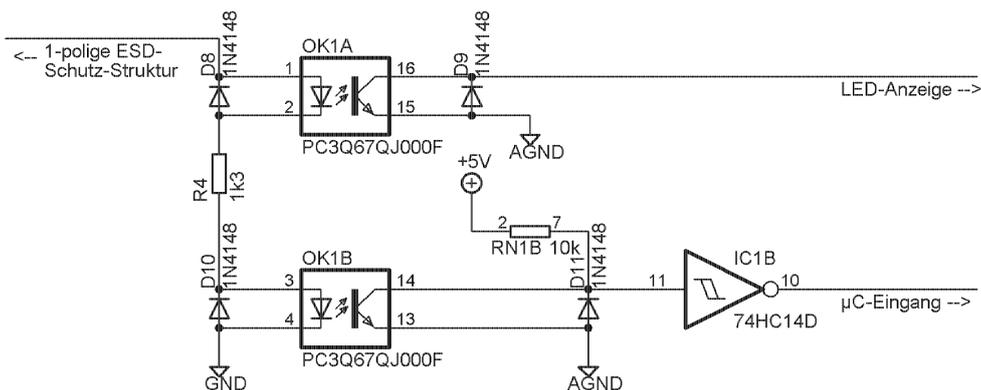


Abbildung 2.28.: 1-polige Signalaufbereitung

2.2.4. Die Ausgangs-Strukturen

Genau so wichtig wie die Auswertung der Ausgänge der Kfz-Elektronik war es auch die seitens des Prüflings erwarteten Eingangs-Signale entsprechend der zugeordneten Geber nachzubilden und dementsprechend die Elektronik passend zum jeweils erwünschten Simulationszustand mit diesen simulierten Geber-Signalen zu füttern. Die hier gezeigten Schaltungen übernehmen dabei die Abbildung der Sensoren, deren Ansteuerung der Mikrocontroller übernimmt. Wie hierbei auffallen wird, wurde an den Gates der verwendeten MOSFETs auf Pull-up- bzw. Pull-down-Widerstände auf Grund des Prototypen-Status und des Wunsches einzelne Platinen leicht prüfen

zu können verzichtet.

Im Folgenden sind die vier unterschiedlichen hier vorgestellten und im Rahmen des Prüfgeräts nachgebildeten Geber-Strukturen näher beschrieben:

Geber-Bezeichnung	Schalter verbindet die Signalleitung mit ...
Z/L-Struktur	keinem Potential direkt (Tristate) - oder - Masse
Z/H-Struktur	keinem Potential direkt (Tristate) - oder - +24V
H/L-Struktur	+24V - oder - Masse
C/NC-Struktur	der zweiten Signalleitung - oder - der zweiten Signalleitung nicht

Tabelle 2.5.: Verzeichnis der nachempfundenen Geber-Strukturen

Des Weiteren lassen sich die Ausgangs-Strukturen auch noch in ein- und zwei-polige Realisierungen unterteilen, welche Auswirkungen auf die jeweils verwendete ESD-Schutz-Struktur hat und somit die Beschreibung der Ausgangs-Strukturen in zwei Bereiche gliedert, die gesondert zu betrachten sind:

2.2.4.1. Ein-polige Ausgangs-Strukturen

Bezüglich aller einpoligen Eingangs-Strukturen seitens der Kfz-Elektronik ist festzuhalten, dass diese allesamt die Geber-Signale, die neben der Tristate-Stellung entweder die volle Batterie- und somit die Versorgungs-Spannung der Kfz-Elektronik wiedergeben oder eine Masse-Verbindung darstellen, mittels einer Opto-Koppler-Schaltung auswerten, die der Geber-Struktur-entsprechend einseitig an die Versorgungs-Spannung der Kfz-Elektronik oder an deren Masse angeschlossen ist.

Trotz dieser Unterschiede haben alle hier im Folgenden näher beschriebenen einpoligen Strukturen die hier gezeigte ESD-Schutz-Struktur gemeinsam:

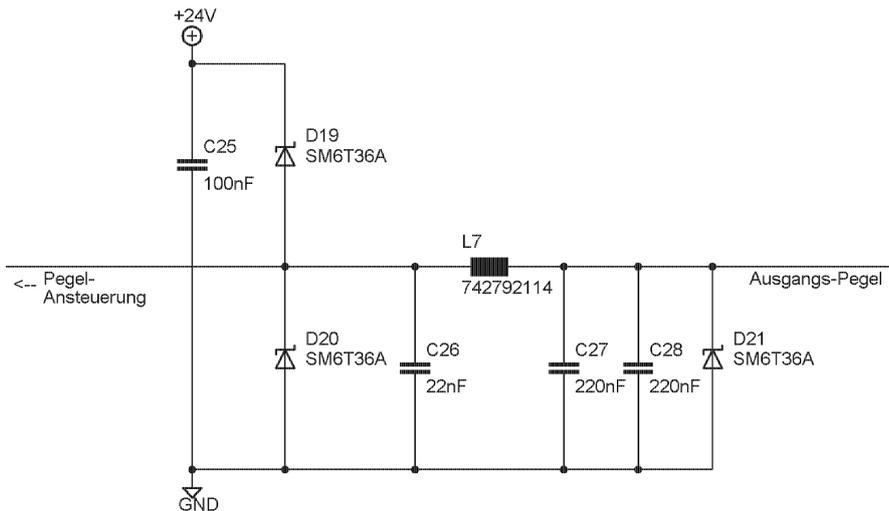


Abbildung 2.29.: Ausgangs-Schutzstruktur

Diese jedoch ist bereits im Abschnitt 2.2.1.2 näher beschrieben und daher sei an dieser Stelle für weitere Erläuterungen im Zusammenhang mit jener auf diesen verwiesen.

Die Z/L-Struktur

Die folgende Schaltung wurde für alle Geber der Kfz-Elektronik verwendet, deren Aufbau den Grundgedanken der „Tristate/Low-Schalter“-Struktur widerspiegelt.

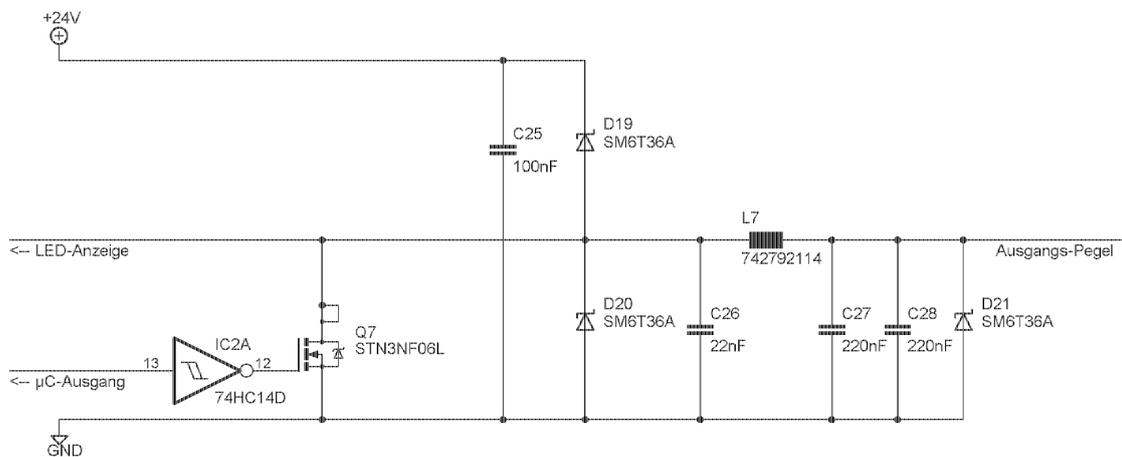


Abbildung 2.30.: Z/L-Ausgang

Ein Großteil der folgenden Platine wird durch diese Struktur dominiert:

- Ausgaenge_2

Das zentrale und funktionsgebende Element dieser Geber-Nachbildung stellt der Power-MOSFET des Typs „STN3NF06L“ dar, zu welchem zu bemerken ist, dass die-

ser im gesperrten Zustand entsprechend folgender Berechnung als Tristate-Zustand seitens des nachzubildenden Gebers gesehen werden kann:

$$R_{OFF-Q7} = \frac{V_{DS}}{I_{DSS}}$$

R_{OFF-Q7} ... min. Drain-Source-Widerstand des gesperrten MOSFET (2.24)
 ... [ergibt sich zu 60 MΩ]

V_{DS} ... max. Drain-Source-Spannung ... [+60V][9, S.1]

I_{DSS} ... max. Drain-Strom bei $V_{GS}=0$... [1μA][9, S.2]

Auf die gesamte den Geber nachbildende Struktur inklusive der Ansteuerung wird nun im Folgenden näher eingegangen:

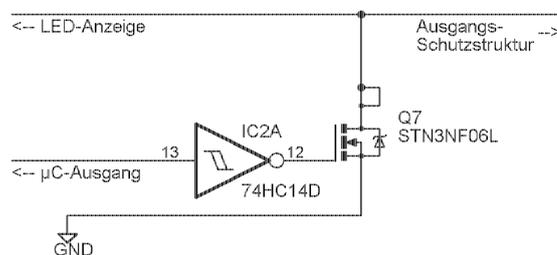


Abbildung 2.31.: Z/L-Struktur

Die Ansteuerung dieser Ausgangs-Struktur erfolgt direkt vom Mikrocontroller aus dessen binäres 5V-Ausgangs-Signal über den 5V-versorgten Inverter „MC74HC14-ADG“ den Power-MOSFET ansteuert. Auf Grund der Threshold-Spannung des MOSFET „STN3NF06L“ von maximal 2,8V [9, S.2] entscheidet somit der Pegel des Mikrocontroller-Ausgangs über den Zustand dieser Geber-Nachbildung. Der Inverter in dieser Schaltung dient dabei primär dazu, dass der potentialbestimmte Zustand des Gebers, dem des zugehörigen Mikrocontroller-Ausgangs entspricht. Seitens der Kfz-Elektronik wird zur Auswertung dieses Geber-Signals eine an die +24V- Versorgungs-Spannung gekoppelte Opto-Koppler-Schaltung verwendet. Dies ist speziell im Zusammenhang mit den Überlegungen hinsichtlich der prüfgerätseitigen Anzeige dieses Signalzustands auf der zugehörigen Frontplane von besonderer Bedeutung. Näher wird auf diese Thematik daher im Abschnitt 2.4.2.2 eingegangen.

Die Z/H-Struktur

Neben der eben beschriebenen „Tristate/Low-Struktur“ für Geber, ist natürlich auch deren Gegenstück in mehreren Signalgeber-Konzepten des Fahrzeugs realisiert. Auf deren hier gezeigte Nachbildung wird nun in diesem Abschnitt näher eingegangen.

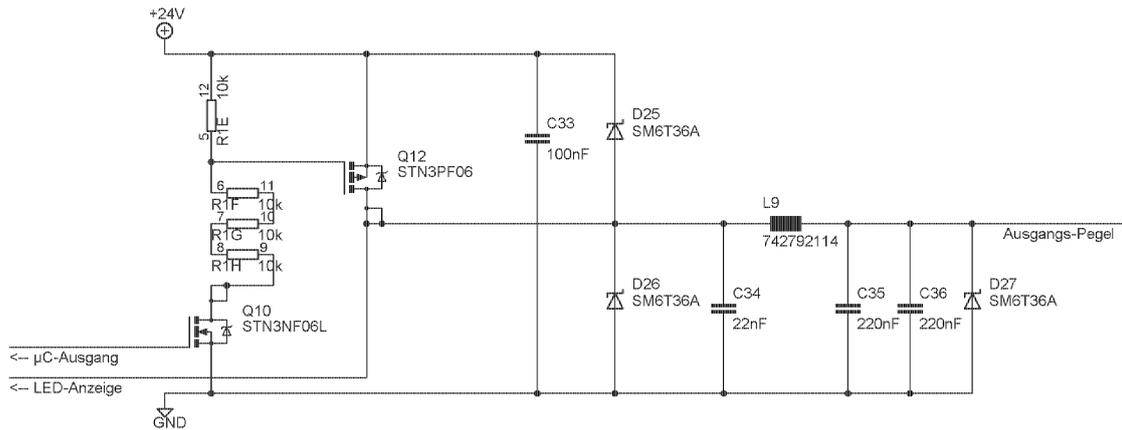


Abbildung 2.32.: Z/H-Ausgang

Verwendung findet diese Struktur auf folgenden Platinen, wobei die Angaben in Klammern einen Hinweis darauf geben, in wie weit die einzelnen Leiterplatten durch diese Struktur vereinnahmt werden:

- Ausgaenge_1 (vollständig)
- Ausgaenge_2 (teils)

Im nun in der Abbildung 2.33 gezeigten Kernbereich dieser Geber-Nachbildung, nachdem bezüglich der ESD-Schutz-Schaltung auf den Abschnitt 2.2.4.1 zu verweisen ist, stellt der POWER-MOSFET des Typs „STN3PF06“ das zentrale Schaltelement dar. Das dessen Drain-Source-Strecke im gesperrten Fall wirklich dem Tristate-Zustand gleichgesetzt werden kann, sei mit folgender Berechnung gezeigt:

$$R_{OFF-Q12} = \frac{V_{DS}}{I_{DSS}}$$

$$R_{OFF-Q12} \quad \dots \text{min. Drain-Source-Widerstand des gesperrten MOSFET} \quad (2.25) \\ \dots [\text{ergibt sich zu } 60 \text{ M}\Omega]$$

$$V_{DS} \quad \dots \text{max. Drain-Source-Spannung} \quad \dots [+60\text{V}][10, S.3]$$

$$I_{DSS} \quad \dots \text{max. Drain-Strom bei } V_{GS}=0 \quad \dots [1\mu\text{A}][10, S.4]$$

Auf die Funktionsweise dieser Ausgangs- sowie der zugehörigen Ansteuerungs-Struktur wird nun im Folgenden näher eingegangen:

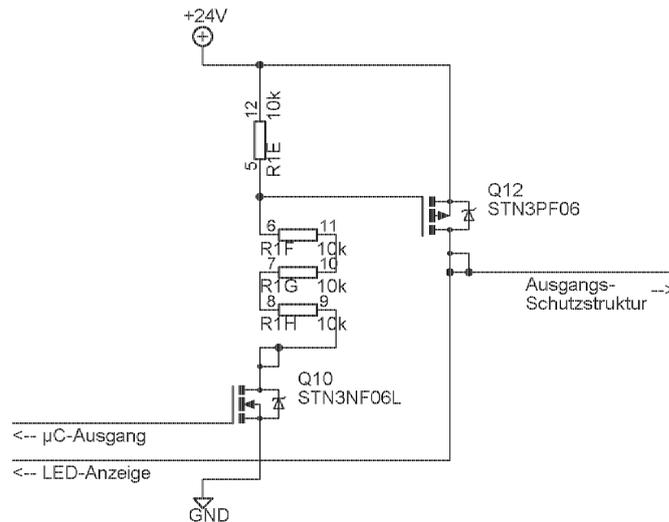


Abbildung 2.33.: Z/H-Struktur

Die Ansteuerung dieser Schaltung kann auf Grund der hierbei in Erscheinung tretenden Spannungen nicht mehr direkt vom Mikrocontroller übernommen werden und so ist es nötig hier eine Zwischenstufe zur Ansteuerung des eigentlichen Schaltelements, des MOSFET Q12, einzufügen. Begründet ist dies mit dem maximalen Ausgangspegel seitens des Mikrocontrollers von +5V und der zu schaltenden Versorgungsspannung mit einem Potential von +24V, wodurch ersichtlich wird, dass der Mikrocontroller allein die Drain-Source-Strecke des p-Kanal-Power-MOSFET Q12 des Typs „STN3PF06“ nicht zu sperren vermag, dessen Treshold-Spannung bei maximal -4V [10, S.4] liegt. Abhilfe wurde im Zuge dessen durch den n-Kanal-MOSFET Q10 des Typs „STN3NF06L“ und das Widerstands-Netzwerk R1 geschaffen, dessen Funktionalität sich folgendermaßen beschreiben lässt:

- **Potential des μC -Ausgangs = 0V:**

- $Q10_G = 0V \rightarrow (STN3NF06L - V_{GS} = 0V) \rightarrow Q10$ sperrt
- $\rightarrow Q12_G = +24V \rightarrow (STN3PF06 - V_{GS} = 0V) \rightarrow Q12$ sperrt
- \rightarrow „TRISTATE“

- **Potential des μC -Ausgangs = +5V:**

- $Q10_G = +5V \rightarrow (STN3NF06L - V_{GS(th)_max} = +2.8V [9, S.2]) \rightarrow Q10$ leitet
- $\rightarrow Q12_G = +18V \rightarrow (STN3PF06 - V_{GS(th)_max} = -4V [10, S.4]) \rightarrow Q12$ leitet
- \rightarrow „HIGH“

Ausgewertet wird das somit erzeugte Gebersignal seitens der Kfz-Elektronik mittels einer gegenüber Masse gebundenen Opto-Koppler-Schaltung, was speziell im Zusammenhang mit der Anzeige des generierten Ausgangs-Pegels auf der zugehörigen Frontplane-Platine von Interesse ist. Näheres hierzu ist der Dokumentation selbiger im Abschnitt 2.4.2.2 zu entnehmen.

Die H/L-Struktur

Diese Schaltung gibt alle Geber-Strukturen wieder, die ein Umschalten zwischen Masse und der Versorgungs-Spannung des Fahrzeuges verkörpern. Auf die hier gezeigte und dahingehend ausgelegte Schaltung zur Nachbildung dieses Geber-Verhaltens wird an dieser Stelle nun eingegangen, wobei hinsichtlich näherer Informationen bezüglich der ESD-Schutzstruktur auf den Abschnitt 2.2.1.2 verwiesen wird:

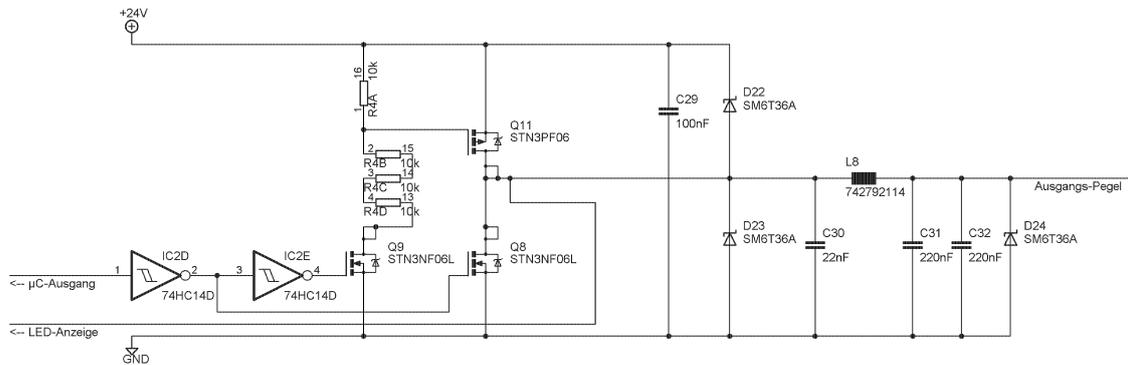


Abbildung 2.34.: H/L-Ausgang

Zuvor sei jedoch noch an dieser Stelle darauf verwiesen, dass diese Struktur mehrmals im Rahmen folgender Platine realisiert wurde:

- Ausgaenge_2

Das hier gezeigte Kernstück dieser Geber-Nachbildung stellt eigentlich einen Zusammenschluss der beiden bereits besprochenen einpoligen Ausgangs-Strukturen dar, in deren Verbindung der Tristate-Zustand entfällt und je nach Schalter-Position einer der Versorgungs-Pegel an den Eingang der Kfz-Elektronik weitergereicht wird:

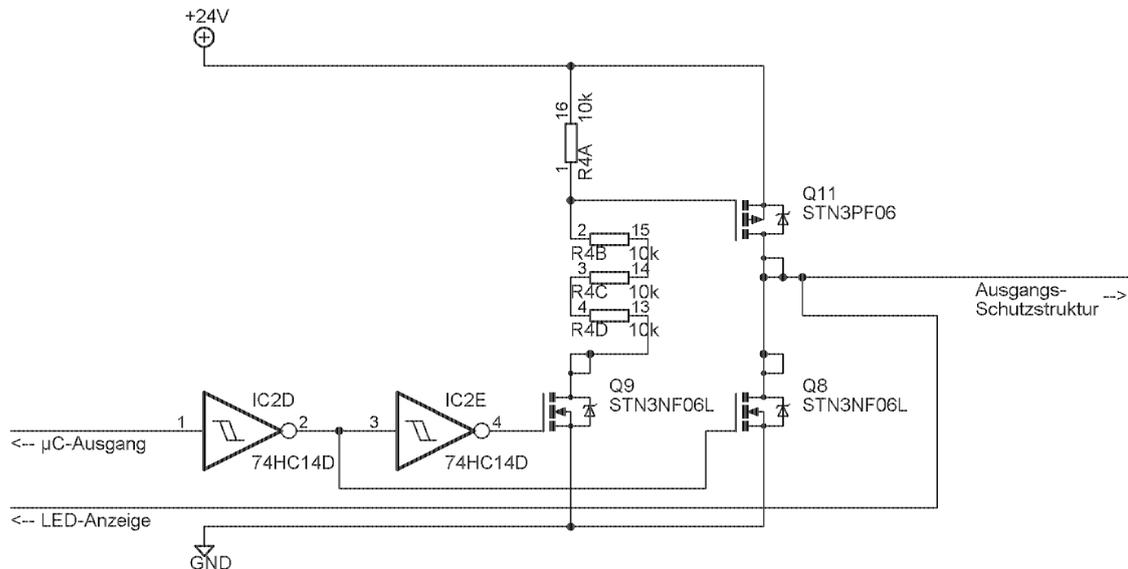


Abbildung 2.35.: H/L-Struktur

Die Ansteuerung dieser Struktur erfolgt hierbei seitens des Mikrocontrollers in Verbindung mit +5V-versorgten Invertern des Typs „MC74HC14A“ unter zu Hilfe-nahme der bereits bei der „H/L-Struktur“ verwendeten und im dortigen Abschnitt 2.2.4.1 beschriebenen Adapter-Schaltung zur Gate-Pegel-Steuerung des Power-MOS-FETs des Typs „STN3PF06“. Die Konsequenzen der beiden Mikrocontroller-Ausgangspegel bezüglich dieser Geber-Nachbildung seien hier nun kurz zusammengefasst:

- **Potential des μC -Ausgangs = 0V:**

IC2D-2=+5V \rightarrow (STN3NF06L- $V_{\text{GS(th)_max}}=+2.8\text{V}$ [9, S.2]) \rightarrow Q8 leitet
 \rightarrow „LOW“

IC2E-4=0V \rightarrow (STN3NF06L- $V_{\text{GS}}=0\text{V}$) \rightarrow Q9 sperrt \rightarrow Q11_G=+24V
 \rightarrow (STN3PF06- $V_{\text{GS}}=0\text{V}$) \rightarrow Q11 sperrt

- **Potential des μC -Ausgangs = +5V:**

IC2D-2=0V \rightarrow (STN3NF06L- $V_{\text{GS}}=0\text{V}$) \rightarrow Q8 sperrt

IC2E-4=+5V \rightarrow Q9_G=+5V \rightarrow (STN3NF06L- $V_{\text{GS(th)_max}}=+2.8\text{V}$ [9, S.2])

\rightarrow Q9 leitet \rightarrow Q11_G=+18V \rightarrow (STN3PF06- $V_{\text{GS(th)_max}}=-4\text{V}$ [10, S.4])

\rightarrow Q11 leitet \rightarrow „HIGH“

Ausgewertet werden die mittels dieser Geber-Nachbildung generierten Signale seitens der Kfz-Elektronik mittels masse-gekoppelten Opto-Koppler-Eingangs-Strukturen. Das ist speziell in Hinblick auf die Anzeige der Ausgangs-Pegel der hier erläuterten Schaltung auf der zugehörigen Frontplane-Platine von zentraler Bedeutung. Auf die hier angesprochene Problematik wird jedoch im entsprechenden Abschnitt 2.4.2.2 der Frontplane-Platinen-Dokumentation näher eingegangen.

2.2.4.2. Zwei-polige Ausgangs-Strukturen

Der hier gezeigte ESD-Schutz der zwei-poligen Ausgangs-Struktur setzt sich eigentlich aus zwei identen ESD-Schutz-Strukturen zusammen. Diese beiden sind noch durch eine unidirektionale ESD-Schutzdiode des Typs „SM6T7V5A“ verkoppelt, welche neben den „Entlade-Widerständen“ des Typs „CRG0805F1M0“ garantieren soll, dass sich etwaige ESD-Entladungs-Potentiale innerhalb der Schutzstruktur vor einer anschließenden Verbindung mit dem Prüfling bereits insoweit entladen haben, dass dortige +5V-versorgte Strukturen keinen Schaden mehr nehmen. Da die hier doppelt ausgeführte ESD-Schutz-Struktur in weiten Teilen bereits im Abschnitt 2.2.1.2 beschrieben wurde, wird an dieser Stelle auf diesen für weitere Ausführungen verwiesen.

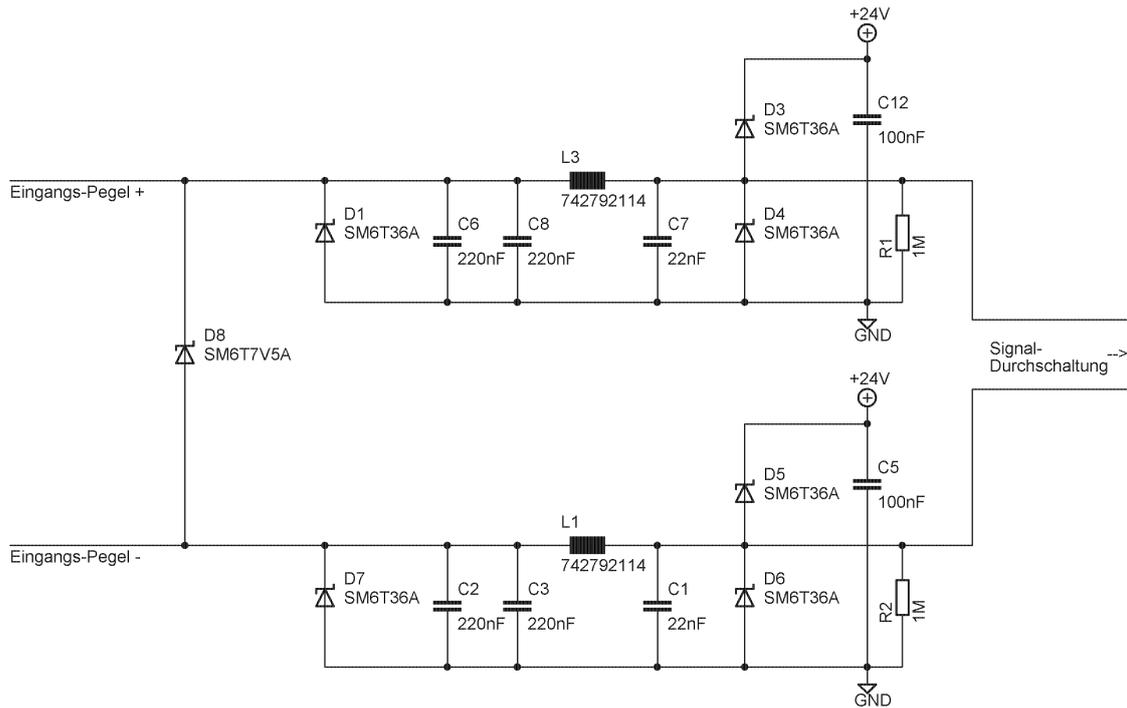


Abbildung 2.36.: 2-polige Ausgangs-Schutzstruktur

Die C/NC-Struktur

Diese Schaltung bildet das Geber-Verhalten eines öffnenden bzw. schließenden Schalters zwischen zwei Signalleitungen ab, deren Potentiale zwischen jenen der Versorgungsspannung liegen beziehungsweise diese maximal erreichen.

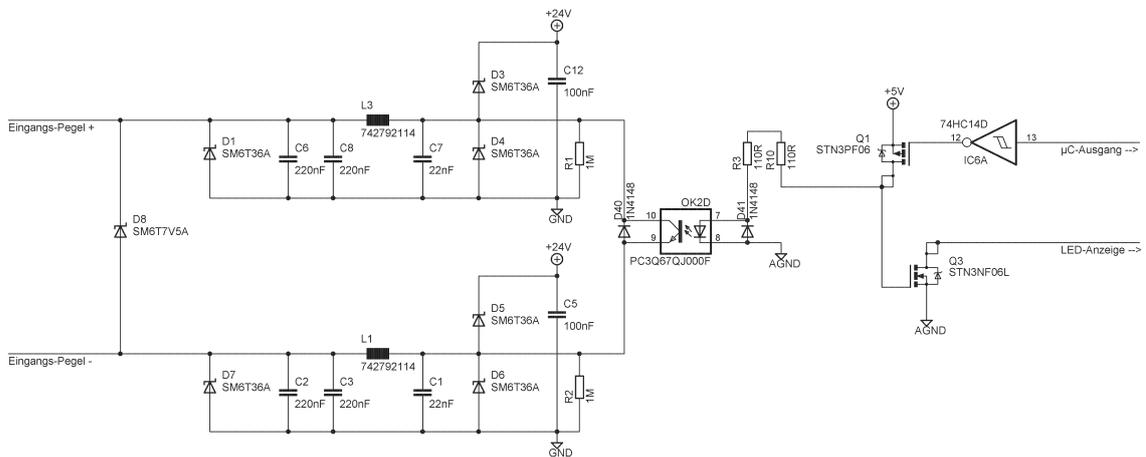


Abbildung 2.37.: C/NC-Ausgang

Umgesetzt wurde diese Struktur im Rahmen folgender Platine:

- Ein-/Ausgaenge

Diesmal steht im Mittelpunkt dieser Schaltung der Opto-Koppler als Schaltelement. Um zu zeigen, dass dieser seiner Aufgabe auch gewachsen ist, hier die Berechnung des Kollektor-Emitter-Widerstands im sperrenden Zustand:

$$R_{OFF-OK2D} = \frac{V_{CE}}{I_{CE0}}$$

- $R_{OFF-OK2D}$... min. Drain-Source-Widerstand des gesperrten MOSFET
 ... [ergibt sich zu 500M Ω] (2.26)
- V_{CE} ... hierzu dokumentierte Kollektor-Emitter-Spannung
 ... [+50V][21, S.4]
- I_{CE0} ... max. Kollektor-Emitter-Strom bei $V_{CE}=+50V$, $I_F=0A$
 ... [100nA][21, S.4]

Auf die hier gezeigte Geber-nachbildende Struktur wird im folgenden Absatz näher eingegangen:

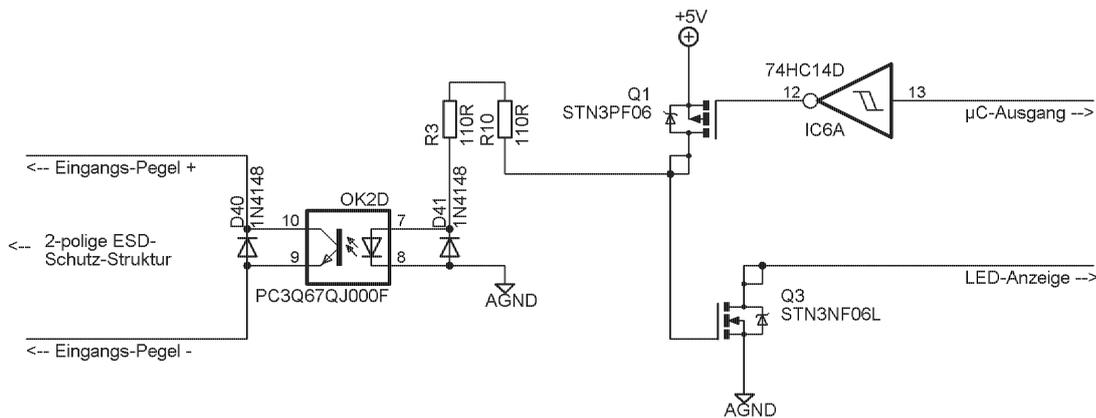


Abbildung 2.38.: C/NC-Struktur

Die Ansteuerung des Opto-Kopplers erfolgt indirekt über den zugehörigen Mikrocontroller-Ausgang. Die Auswirkungen der Mikrocontroller-Pegel auf den Schalter-Zustand der Kollektor-Emitter-Strecke des Opto-Kopplers seien hier gezeigt:

- **Potential des μC -Ausgangs = 0V:**
 $IC6A-12=+5V \rightarrow Q1_G=+5V \rightarrow Q1$ sperrt $\rightarrow Q1_D=AGND$
 $\rightarrow OK2D_{IF}=0A \rightarrow$ Kollektor-Emitter-Strecke OK2D sperrt
- **Potential des μC -Ausgangs = +5V:**
 $IC6A-12=0V \rightarrow Q1_G=0V \rightarrow (STN3PF06-V_{GS(th)}_{max}=-4V [10, S.4])$
 $\rightarrow Q1$ leitet $\rightarrow Q1_D=+5V \rightarrow OK2D_{IF}=20mA \rightarrow$ Kollektor-Emitter-Strecke OK2D leitet

Die hierbei im zweiten Fall unterschlagene Berechnung des Opto-Koppler-Diodenstroms sei hier nun nachgereicht:

$$I_F = \frac{(V_{Q1-D} - V_F)}{(R10 + R3)}$$

I_F ... Diodenstrom des Opto-Kopplers ... [ergibt sich zu 17,272mA]
 V_{Q1-D} ... Spannung am Drain-Anschluss des MOSFETs Q1 ... [+5V]
 V_F ... Spannungsabfall an der Diode des Opto-Kopplers bei $I_F=20\text{mA}$
 ... [+1.2V][21, S.4]
 $R10$... Kohleschichtwiderstand des Typs „CFR50J110R“ ... [110Ω]
 $R3$... Kohleschichtwiderstand des Typs „CFR50J110R“ ... [110Ω]

(2.27)

Die zugehörige Anzeige auf der Frontplane-Platine wird ebenfalls über den Drain-Pegel des MOSFET Q1 mittels des n-Kanal-MOSFET Q3 gesteuert:

- **Q1_D = AGND:**
 →Q1_G=AGND →Q1 sperrt
- **Q1_D = +5V:**
 →(STN3NF06L- $V_{GS(th)_max}=+2.8\text{V}$ [9, S.2]) →Q3 leitet

Weiteres zur Anzeige des Zustands dieser Geber-Nachbildung ist dem zugehörigen Abschnitt 2.4.2.2 der Frontplane-Dokumentation zu entnehmen.

2.2.5. Die Starter-Platine

Um die für dieses, wie für jedes andere Fahrzeug wichtige Funktion des Starters prüfen zu können, war es notwendig im Rahmen des Systementwurfs Teile der Kfz-Elektrik in Hinblick auf ihre Funktionalität nachzubilden. Über die gewohnte Reaktion des „normalen“ Autos hinaus, hat es im Rahmen dieser Kfz-Elektronik dem Lenker beim Fall des Versagens der Kfz-Elektronik trotzdem möglich zu sein, das Fahrzeug in Betrieb zu nehmen, auch wenn in dieser Situation nicht alle Funktionalitäten hinsichtlich Sicherheits- und Prüfschaltungen zur Verfügung stehen. Um sicherzustellen, dass dem Lenker der Ausfall der Kfz-Elektronik bewusst ist und bei einem etwaigen Start die Schutzschaltungen außer Funktion gestellt sind, ist es in diesem Falle des Elektronik-Versagens nötig den Notstartschalter zu betätigen um den Startvorgang einleiten zu können.

2.2.5.1. Grundüberlegungen zur Starter-Elektrik

Die nun im Rahmen der Überprüfung der Kfz-Elektronik zu testende Funktionalität des Starters und des Notstarts erforderte die Nachbildung der fahrzeugseitigen

Elektrik. Die also im Zuge der Planung des Prüfgerätes zu entwerfende Abbildung der Kfz-Elektrik hat somit folgende Struktur wiederzugeben:

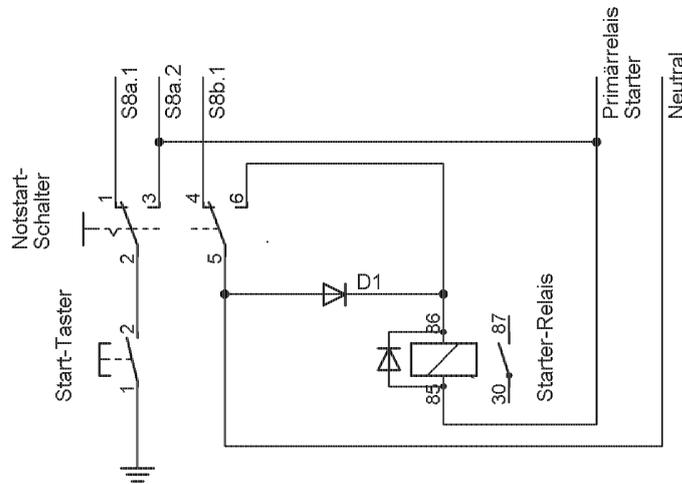


Abbildung 2.39.: Nachbildung der Starter-Elektrik

Von spezieller Bedeutung bei der Nachempfindung der Starter-Elektronik war es die einzelnen beteiligten Signale hinsichtlich ihrer Bedeutung im Rahmen beider Startvorgänge zu analysieren und entsprechend der dadurch gewonnenen Erkenntnisse die Ersatzschaltung auf dieser Platine zu realisieren. Um dieser Analyse Genüge zu tun und die Entsprechungen der Klemmen-Bezeichnungen des Fahrzeugs seitens der Signal-Bezeichnungen des Prüfgerätes aufzuzeigen, hier diese kurze tabellarische Ausführung:

Klemmen-Bezeichnung (Kfz-Elektronik)	Signal-Richtung (aus Prüfgerät-Sicht)	Signal-Bezeichnung (Prüfgerät)
S8a.1	Ausgang	Starter-Taster
S8a.2	Ausgang	Notstartschalter
S8b.1	Ausgang	Neutral
Primärrelais Starter	Eingang	Primärrelais_ Starter

Tabelle 2.6.: Gegenüberstellung der Signal-Bezeichnungen

Natürlich stand neben der Nachbildung der zentralen Elemente, wie des Starter-Taster oder des Starter-Relais, vor allem die Signalaufbereitung der, der Kfz-Elektronik zugeführten wie der von ihr abgegriffenen Signale im Mittelpunkt der hier dokumentierten Überlegungen. Auf Grund der Komplexität der dadurch entstandenen Schaltung wird diese entsprechend ihren Funktions-Gruppen in drei Teilen in den folgenden Abschnitten beschrieben.

2.2.5.2. Die zugehörigen ESD-Schutz-Schaltungen

Die folgende Abbildung zeigt die ESD-Schutz-Strukturen der im Rahmen des Starters involvierten Ein- und Ausgänge des Prüfgerätes:

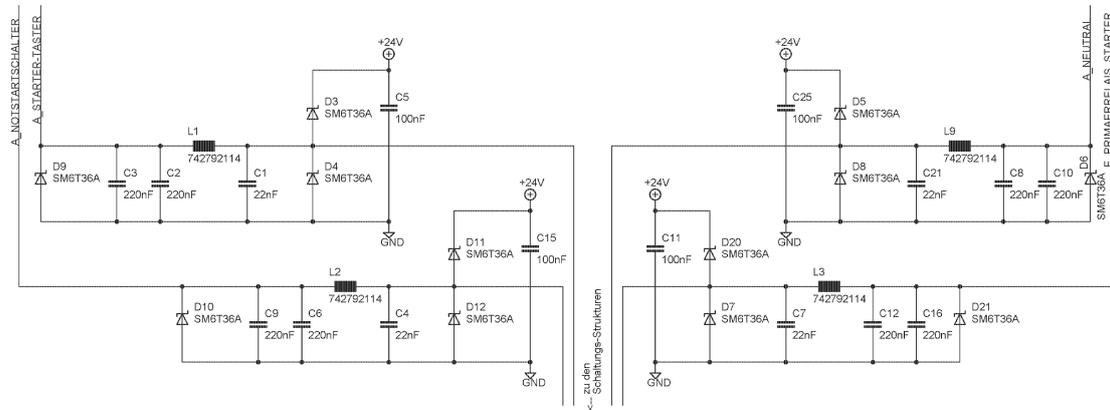


Abbildung 2.40.: Die ESD-Schutz-Strukturen

Wie zu sehen ist, entsprechen diese der bereits im Abschnitt 2.2.1.2 ausgiebig diskutierten und im Rahmen dieser Arbeit entstandenen ESD-Schutz-Grundstruktur. Daher sei an dieser Stelle auch auf diesen Abschnitt für weitere Ausführungen verwiesen.

2.2.5.3. Die Umlegung der Starter-Elektrik auf Elektronik-Ebene

Der hier gezeigte Schaltungs Ausschnitt stellt das eigentliche Kernstück der Umlegung der Starter-Elektrik des Fahrzeugs auf Elektronik-Ebene dar:

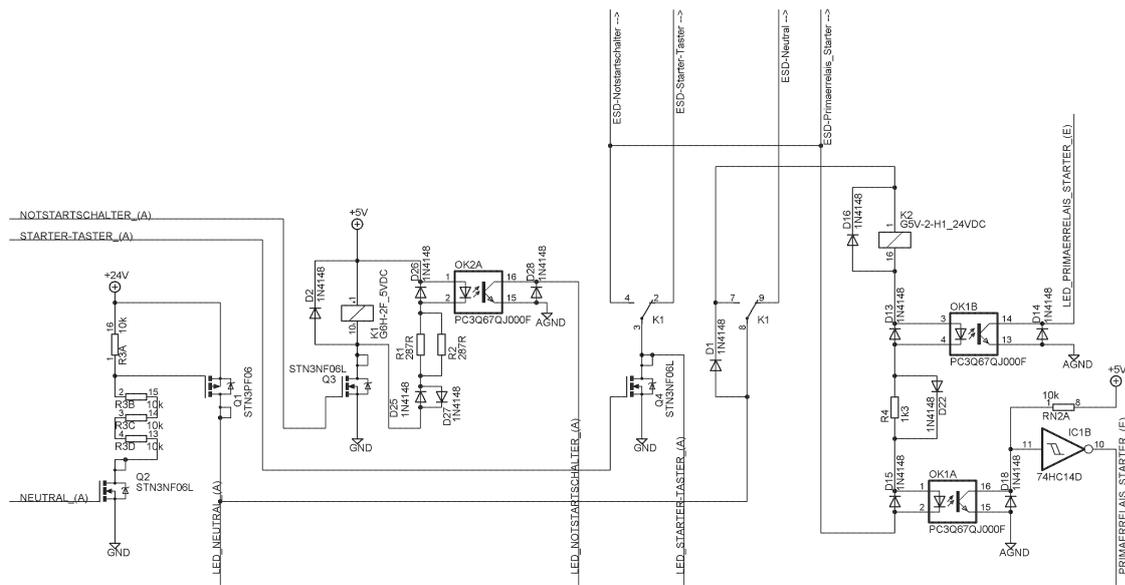


Abbildung 2.41.: Umlegung der Starter-Nachbildung

Darin gezeigt sind neben der Nachbildung des Starter-Tasters auch die Umsetzung des Notstartschalters, die Abbildung des Primärrelais des Starters, sowie auch die Signalabgriffe zur Darstellung der Signalzustände an den Anzeigen der zugehörigen Frontplane-Platine. Im Rahmen der folgenden Abschnitte wird auf die einzelnen Bereiche dieser Schaltung getrennt näher eingegangen:

Die Nachbildung des Notstartschalters

Die Nachempfindung des mechanischen Schalters im Fahrzeug zur Auslösung eines etwaigen notwendigen Notstarts, führte im Zuge der Umlegung der Kfz-Elektrik auf Elektronik-Ebene zu der hier nun gezeigten Ausgestaltung dieses Schaltungsabschnittes:

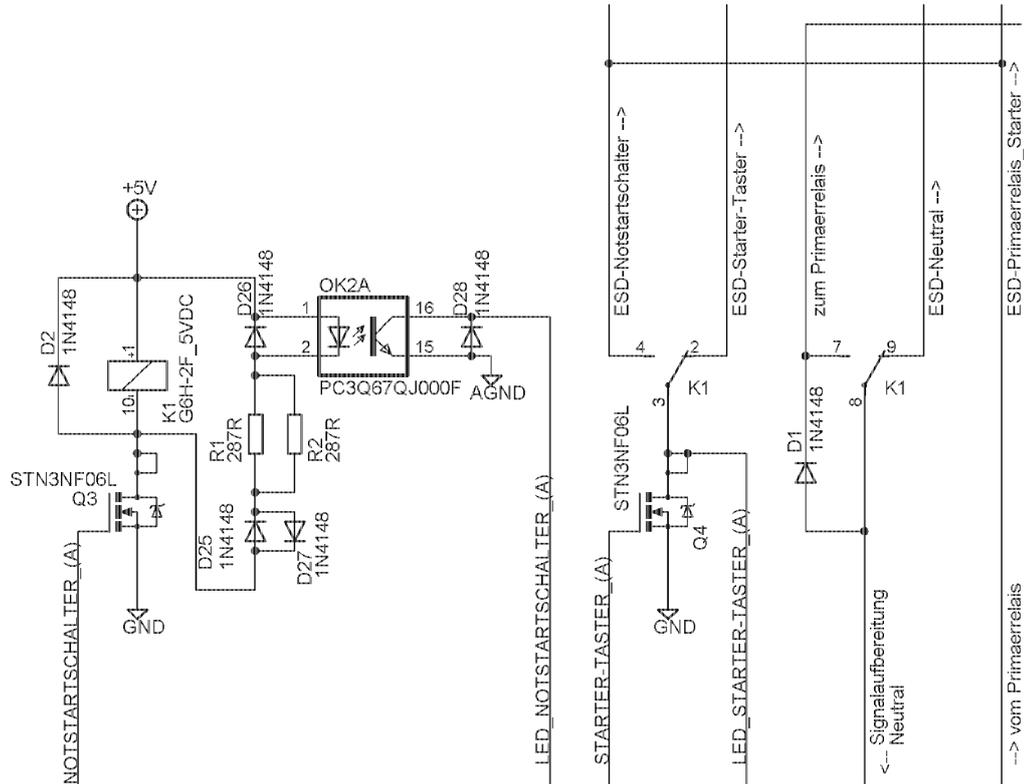


Abbildung 2.42.: Nachbildung des Notstartschalters

Darin übernimmt das Relais K1 die Funktion des mechanischen Schalters, dessen Ansteuerung direkt über den Mikrocontroller erfolgt und dessen Signalbeaufschlagung über den Opto-Koppler im zugeordneten Bereich der Frontplane-Platine zur Anzeige gebracht wird. So stellt sich die Funktionalität dieser Nachbildung des Notstartschalters folgendermaßen dar:

- **Potential des μC -Ausgangs = 0V:**
 - $Q3_G=0\text{V} \rightarrow Q3_D=+5\text{V}$
 - $\rightarrow I_{K1}=0\text{A} \rightarrow \text{NOTSTART nicht aktiviert}$
 - $\rightarrow I_{F-OK2A}=0\text{A} \rightarrow \text{Kollektor-Emitter-Strecke OK2A sperrt}$

- **Potential des μC -Ausgangs = +5V:**
 - $Q3_G=+5\text{V} \rightarrow Q3_D=\text{GND}$
 - $\rightarrow I_{K1}=28,1\text{mA}$ [22, S.2] $\rightarrow \text{NOTSTART aktiviert}$
 - $\rightarrow I_{F-OK2A}=20\text{mA}$ [21, S.4] $\rightarrow \text{Kollektor-Emitter-Strecke OK2A leitet}$

Die im Zuge der obigen Erläuterungen unterschlagene Berechnung des Opto-Koppler-

Diodenstroms sei hier nun nachgereicht:

$$I_{F-OK2A} = \frac{(+5V - V_{F-OK2A} - V_{F-1N4148})}{(R1||R2)}$$

- I_{F-OK2A} ... Diodenstrom des Opto-Kopplers ... [ergibt sich zu 19,512mA]
 - V_{F-OK2A} ... Spannungsabfall an der Diode des Opto-Kopplers bei $I_F=20mA$
... [+1.2V][21, S.4]
 - $V_{F-1N4148}$... Spannungsabfall an einer 1N4148-Diode $I_F=10mA$
... [+1V][23, S.3]
 - $R1$... Widerstand des Typs „RN73C2A287RBTG“ ... [287Ω]
 - $R2$... Widerstand des Typs „RN73C2A287RBTG“ ... [287Ω]
- (2.28)

Die Diode D2 dient dabei dem Relais K1 als Freilaufdiode. Weiteres zur Darstellung des mittels Opto-Koppler erfassten Steuerzustandes ist dem zugeordneten Abschnitt 2.4.2.1 der Frontplane-Dokumentation zu entnehmen.

Die Nachbildung des Starter-Tasters

Die hier gezeigte Schaltung ersetzt im Rahmen des Prüfgerätes den im Fahrzeug verbauten Taster zum Einleiten des Starts des Motors:

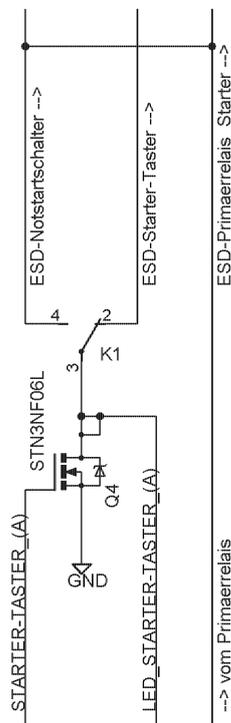


Abbildung 2.43.: Nachbildung des Starter-Tasters

Im Rahmen der Elektronik übernimmt diese Funktion der MOSFET Q4 des Typs „STN3NF06L“ ($V_{GS(th)_max} = +2.8V$ [9, S.2]) der direkt über den zugehörigen Mikrocontroller-Ausgang angesteuert wird. So schafft dieser für die Dauer des +5V-Pulses auf der Mikrocontroller-Leitung eine leitende Verbindung gegen GND wodurch ein Startvorgang ausgelöst werden kann, solange die entsprechenden anderen Rahmenbedingungen hierfür gegeben sind. Ebenso eingezeichnet ist der Abgriff des Starter-Zustandes welcher zur Anzeige desselben verwendet wird. Hierzu sei für Näheres jedoch auf den entsprechenden Abschnitt 2.4.2.2 der zugehörigen Frontplane-Dokumentation verwiesen.

Aufbereitung des Signals „Neutral“

Die hier gezeigte Schaltung bildet die Grundstruktur des Gebers des Leerlauf-Signals des Fahrzeuges nach. Der Struktur dieses Ausgangs des Prüfgerätes nach lässt sich diese eindeutig als „Z/H-Struktur“ identifizieren, wodurch für weiterführende Informationen bezüglich der Grundfunktion jener auf die Erläuterungen der einpoligen Ausgangs-Strukturen im Abschnitt 2.2.4.1 verwiesen sei.

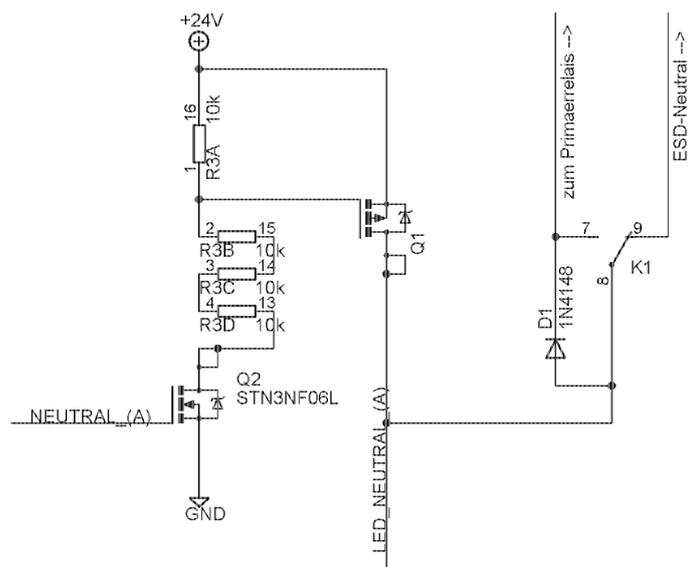


Abbildung 2.44.: Aufbereitung des Signals „Neutral“

Hinsichtlich des Abgriffs des generierten Ausgangs-Signals zur Anzeige des Signal-Zustandes widme man sich am Besten den zugehörigen Ausführungen über den entsprechenden Frontplane-Bereich im Abschnitt 2.4.2.2.

Nachbildung der Primärrelais-Ansteuerung

In dieser Abbildung hier ist jener Schaltungsabschnitt dargestellt, welcher für die Hauptfunktionalität dieser Platine, das Einleiten des Startvorganges, verantwortlich zeichnet:

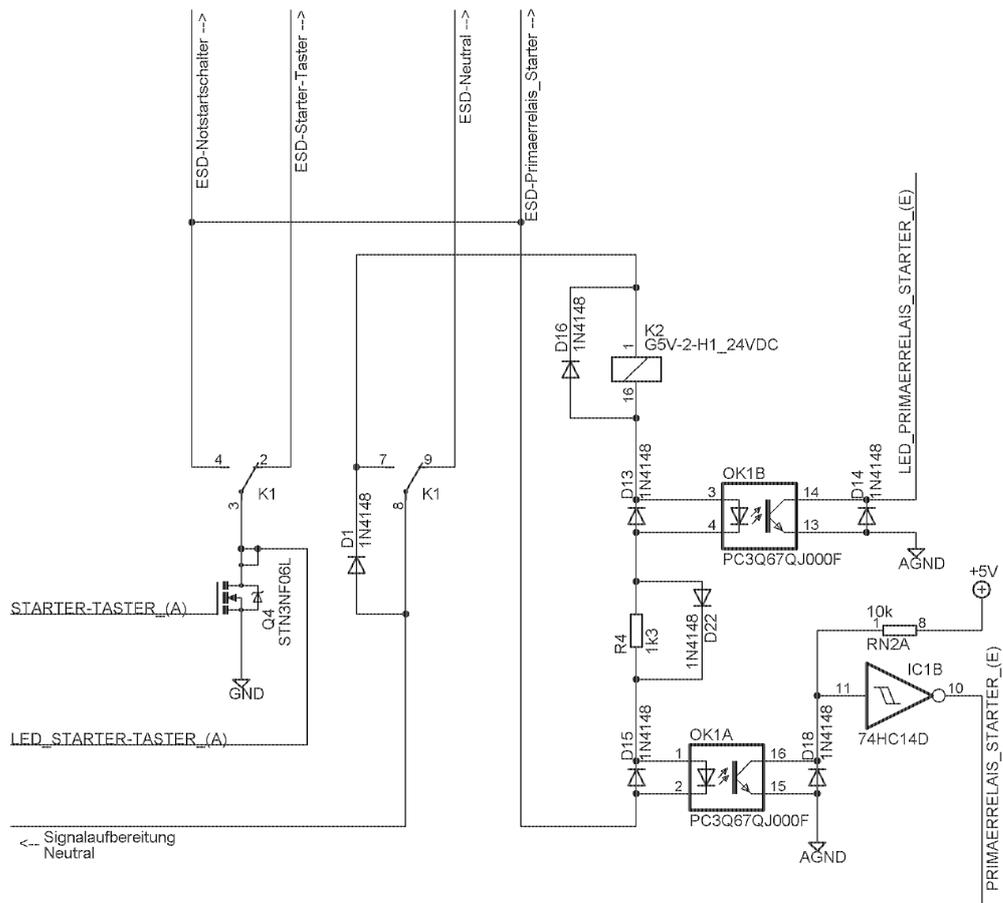


Abbildung 2.45.: Nachbildung der Primärrelais-Ansteuerung

Auf die Funktion dieses Schaltungsbereichs inklusive der Signalabgriffe zur Anzeige und Digitalisierung des Steuer-Zustands am Primärrelais wird hier nun geschlossen eingegangen:

- **Das normale Startverhalten**

Gleich zu Anfang sei festgehalten, dass die folgende Beschreibung auf obiger Abbildung und den darin enthaltenen Schalterstellungen beruht. Als Grundvoraussetzung zur Einleitung des Startvorganges muss die Signalaufbereitung des Leerlaufgeber-Signals einen +24V-Pegel liefern, welcher sich über die somit leitende Diode D1 hin zum Primärrelais des Starters mit der Bezeichnung K2 ausbreitet. Dieses Potential pflanzt sich sodann über die beiden Opto-Koppler-Dioden und die Parallelschaltung der 1N4148-Diode D22 und des Widerstandes R4 über die ESD-Schutzschaltung der Bezeichnung „Primärrelais_Starter“ zum gleichnamigen Eingang des Prüflings aus, welcher bei Betätigung des Starter-Tasters und Erfüllung aller Startvoraussetzungen gegen Masse gezogen wird.

- **Der Notstart**

Wird der Notstartschalter betätigt, zieht das Relais K1 an und führt zum Umschalten der zugehörigen und oben sichtbaren Schaltkontakte. Dadurch pflanzt sich der Spannungspfad für den Notstart, ausgehend vom eigentlich fahrzeugseitig-versorgten Geber des Leerlaufs, welcher bei diesem +24V liefert, über den Relais-Kontakt K1-7 über das Primärrelais und die Auswerte-Strukturen zum Relais-Kontakt K1-4 fort, über welchen sich der Pegel bis an den Starter-Taster ausbreitet und durch dessen Betätigung es zum Auslösen des Notstarts unter Ausschluss der Kfz-Elektronik kommt.

In beiden Fällen ergibt sich somit über den eben beschriebenen jeweiligen Spannungspfad hinweg folgender Stromfluss, sowie der hier aufgezeigte Spannungsabfall an der Spule des Primärrelais:

$$V_{K2} = +24V - (2 \times V_{F-OK}) - (2 \times V_{F-1N4148})$$

$$I_{K2} = \frac{V_{K2}}{R_{K2}}$$

V_{K2}	... Spannungsabfall am Primärrelais des Starters ... [ergibt sich zu 19,6V]	
$+ 24V$	... Versorgungs-Spannung des Prüfgerätes ... [+24V]	
V_{F-OK}	... Spannungsabfall an der Diode des Opto-Kopplers bei $I_F=20mA$... [+1,2V][21, S.4]	(2.29)
$V_{F-1N4148}$	... Spannungsabfall an einer 1N4148-Diode $I_F=10mA$... [+1V][23, S.3]	
I_{K2}	... Stromfluss durch die Spule des Primärrelais ... [ergibt sich zu 6,806mA]	
R_{K2}	... Widerstand der Spule des Primärrelais ... [2880Ω][24, S.2]	

Begründet ist die aufrechterhaltene Funktionalität des Relais trotz der beträchtlichen Spannungsabfälle und der Reduktion der Spulenspannung auf 19,6V mit der Definition der wirksamen minimalen Spulen-Spannung im Umfang von 75% des Spulen-Spannungs-Ratings [24, S.2], welches sich somit zu +18V ergibt, wodurch deutlich wird, dass die der Relais-Spule zur Verfügung stehende Spannung von +19,6V durchaus ausreicht. Das der Diodenstrom in den Opto-Kopplern mit 6,806mA durchaus ausreicht, zeigt folgendes Diagramm aus dem zugehörigen Datenblatt [21]:

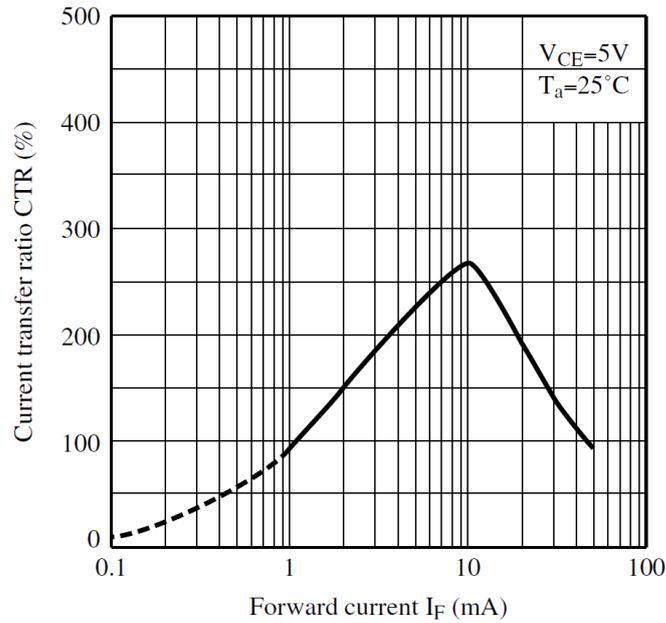


Abbildung 2.46.: Current Transfer Ratio des Opto-Kopplers [21, S.7]

2.2.5.4. Der Sekundärkreis

Dieser Schaltungsabschnitt dient rein der Auswertung und stellt keine Schaltungsnachbildung mit direktem Bezug zur Fahrzeug-Elektrik dar. Vielmehr wertet diese Schaltung aus, ob das Primärrelais K2 des Starters auch wirklich angezogen hat und dessen Kontakt in dem hier gezeigten Schaltkreis auch geschlossen hat:

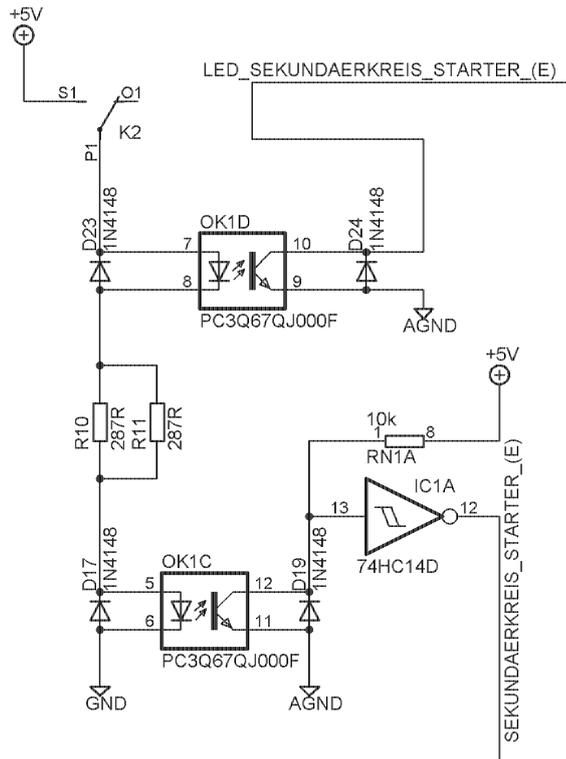


Abbildung 2.47.: Der Sekundärkreis

Ist dies der Fall, so fließt über die Opto-Koppler-Dioden und die Widerstände der Strom I_{F-OPTO} gegen GND. Das wiederum führt über die beiden Opto-Koppler einerseits zur Anzeige des Schaltzustandes des Primärrelais durch den oberen, sowie andererseits zur Meldung desselben durch den unteren an den Mikrocontroller mittels eines $10k\Omega$ -Pull-up-Widerstand-Elements aus einem Array des Typs „CAY16-103J4LF“ in Verbindung mit dem 5V-versorgten Inverter des Typs „MC74HC14ADG“. Die Dimensionierung des erforderlichen Vorwiderstandes, der zwischen den Opto-Kopplern zu liegen kam, ist hier zu sehen:

$$R_{VOR} = \frac{(+5V - 2 \times V_{F-OPTO})}{I_{F-OPTO}}$$

R_{VOR}	... Vorwiderstand der Auswertung ... [ergibt sich zu 130Ω]
$+5V$	... Versorgungs-Spannung des Sekundärkreises ... [$+5V$]
V_{F-OPTO}	... Spannungs-Abfall am Opto-Koppler-Eingang ... [$+1,2V$][21, S.4]
I_{F-OPTO}	... max. erwünschter Strom durch den Opto-Koppler-Eingang ... [$20mA$][21, S.4]

(2.30)

Für die Umsetzung dieses Vorwiderstandes fiel daher die Wahl auf die Parallel-

Schaltung zweier Bauteile des Typs „RN73C2A287RBTG“ mit dem Widerstandswert von 287Ω , woraus sich ein Vorwiderstands-Wert von $143,5\Omega$ ergibt.

2.2.6. Die Mess-Platine

Auf dieser Platine wurden alle analog-auszuwertenden Ausgänge der Kfz-Elektronik zusammengefasst. So umschließt die Beschreibung dieser Leiterplatte neben der Aufarbeitung der umfangreichen Strukturen zur Spannungs-Messung an den entsprechenden Ausgängen der Fahrzeug-Elektronik, auch die Erfassung des System-Takts der Kfz-Elektronik, sowie die Durchleitung der entsprechenden Signal-Leitungen hin zum ausgelagerten Dimm-Potentiometer. Näher eingegangen wird auf die jeweils zugehörigen Strukturen nun im Folgenden:

2.2.6.1. Die Spannungs-Messung

Die Aufgabenstellung für das Prüfgerät umfasste ebenso den Auftrag, die beiden internen Spannungs-Quellen der Kfz-Elektronik unter einer Belastung von bis zu über 1000mA auf ihre Spannungs-Stabilität hin zu überprüfen, woraufhin beschlossen wurde diese auf bis zu 2000mA anwachsen zu lassen. Die Vorgaben hierzu sahen vor, dass die beiden $+5\text{V}$ -Quellen der Fahrzeug-Elektronik über externe Widerstände zusätzlich zu belasten seien und die Messung der beiden zugeordneten Spannungs-Ausgänge zwischen $+4,5\text{V}$ und $+5,5\text{V}$ zu funktionieren und im Bereich zwischen $+4,75\text{V}$ und $+5,25\text{V}$ mit einer Genauigkeit von 2% zu erfolgen habe. Da diese Spannungs-Ausgänge jedoch auf Grund der stromkompensierten Drosseln in der Versorgungs-Einheit der Kfz-Elektronik als schwebend und nicht direkt als an die Versorgungs-Masse gekoppelt zu betrachten sind, musste eine galvanische Trennung dieser Mess-Eingänge gegenüber der Mess-Schaltung realisiert werden, auf die näher im folgenden Abschnitt 2.2.6.2 eingegangen wird.

2.2.6.2. Die ESD-Schutz-Struktur der Spannungs-Eingänge

Im Rahmen des Schutzes der Eingänge des Last-, wie des Mess-Kreises, vor ESD-Ereignissen war es nötig, die bereits im Abschnitt 2.2.1.2 näher besprochene ESD-Schutz-Grundstruktur ein wenig zu ergänzen.

Ein Grund hierfür besteht in den schwebenden Potentialen der Eingangs-Leitungen, wodurch sicherzustellen war, dass einerseits die Potential-Differenz zwischen den zwei jeweils einander zu zuordnenden Signalpfaden nicht zu groß wird, sowie andererseits sich keiner der Signalpfade zu weit vom Bezugs-Potential entfernt. Die Dimensionierungs-Grundlage für die verwendeten Schutz-Dioden des Typs „SM6T-7V5A“ bildete der maximal zu erwartende Signalpegel von $5,5\text{V}$ ebenso wie die Versorgungs-Spannung des Switched-Capacitor-Bausteins „LTC1043CSW#PBF“ im Ausmaß von $+12\text{V}$.

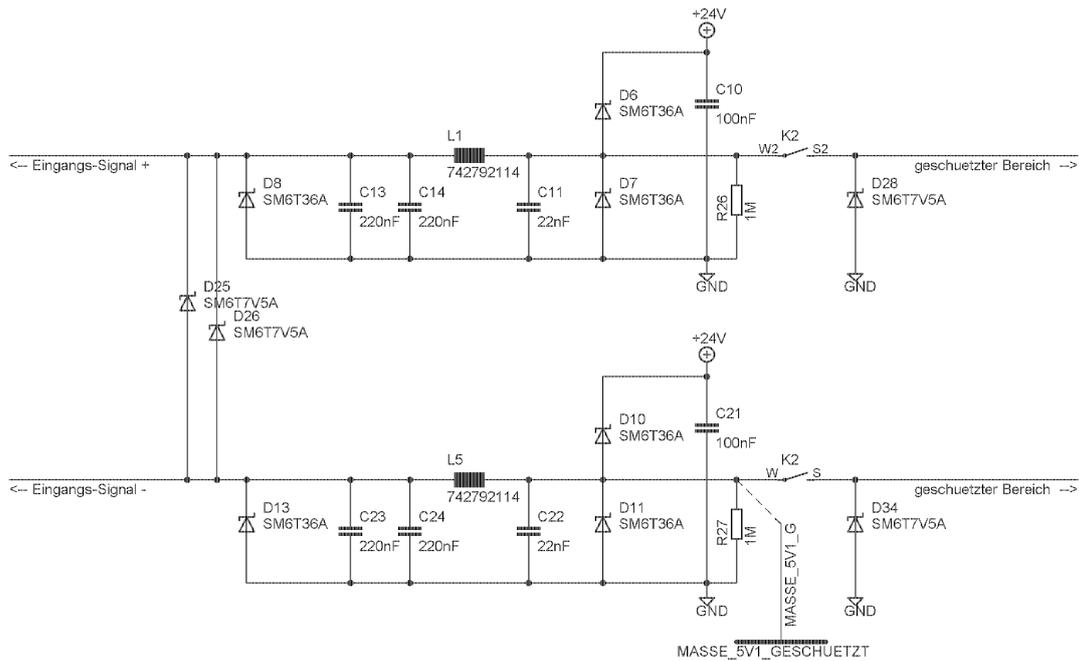


Abbildung 2.48.: ESD-Schutz-Struktur der Spannungs-Eingänge

Die Beibehaltung der Schutzdioden des Typs „SM6T36A“ gegenüber der „+24V-Schiene“ und gegenüber „GND“ gründet auf der Überlegung, dass die Ableitung der ESD-Impulse direkt in die Versorgungs-Potentiale erfolgen sollte, um diesen Störungen möglichst schnell beikommen zu können und nicht weitere Versorgungsebenen durch die Ableitung von Störungen in diese zu „verunreinigen“.

Des Weiteren wurde den ESD-Schutz-Grundstrukturen jeweils ein Potential-Ableit-Widerstand im Ausmaß von $1\text{M}\Omega$ zugefügt um sicherzustellen, dass sich das Potential der Signalpfade nach einem ESD-Ereignis abbauen kann und nicht die Ansprechspannung der Schutzdioden an diesen Strukturen länger aufrecht bleibt und so beim Anschluss der Kfz-Elektronik dann in diese entlädt.

Ebenfalls in dieser Darstellung bereits mitabgebildet sind hier die Kontakte der Durchschalt-Relais, welche sicherstellen, dass stets nur einer der Lastabgriffe und der dazugehörige Messkreis geschlossen sind. Auf die zugehörigen Relais und auf die Ansteuerung derselben wird im folgenden Abschnitt 2.2.6.2 noch näher eingegangen. Der letzte zu bemerkende Punkt zu dieser Abbildung betrifft den im unteren Bereich des Bildes eingezeichneten Abzweig der ESD-geschützten Masse, welcher den Signalpfad der Frequenz-Messung hin zum zugehörigen Spannungs-Ausgang „Masse_5V1“ der Kfz-Elektronik schließt.

Die Ansteuerung der beiden Kreise

Da im Zuge der Messung den +5V-Spannungs-Quellen der Kfz-Elektronik jeweils derselbe Last- und Mess-Kreis Verwendung finden sollte, war es nötig die Ansteuerung der die Signale durchschaltenden Relais dermaßen auszuführen, dass stets nur eine Quelle sowohl Durchgriff zum Last- bzw. zum Messkreis haben kann. Erreicht

wurde dies durch die Beaufschlagung der beiden n-Kanal-MOSFETs, welche die Spulen der Relais gegenüber Masse trennen, mit jeweils einem nicht invertierten und einem invertierten Signal seitens des Mikrocontrollers, welcher über dieses den Abgriffswechsel steuert.

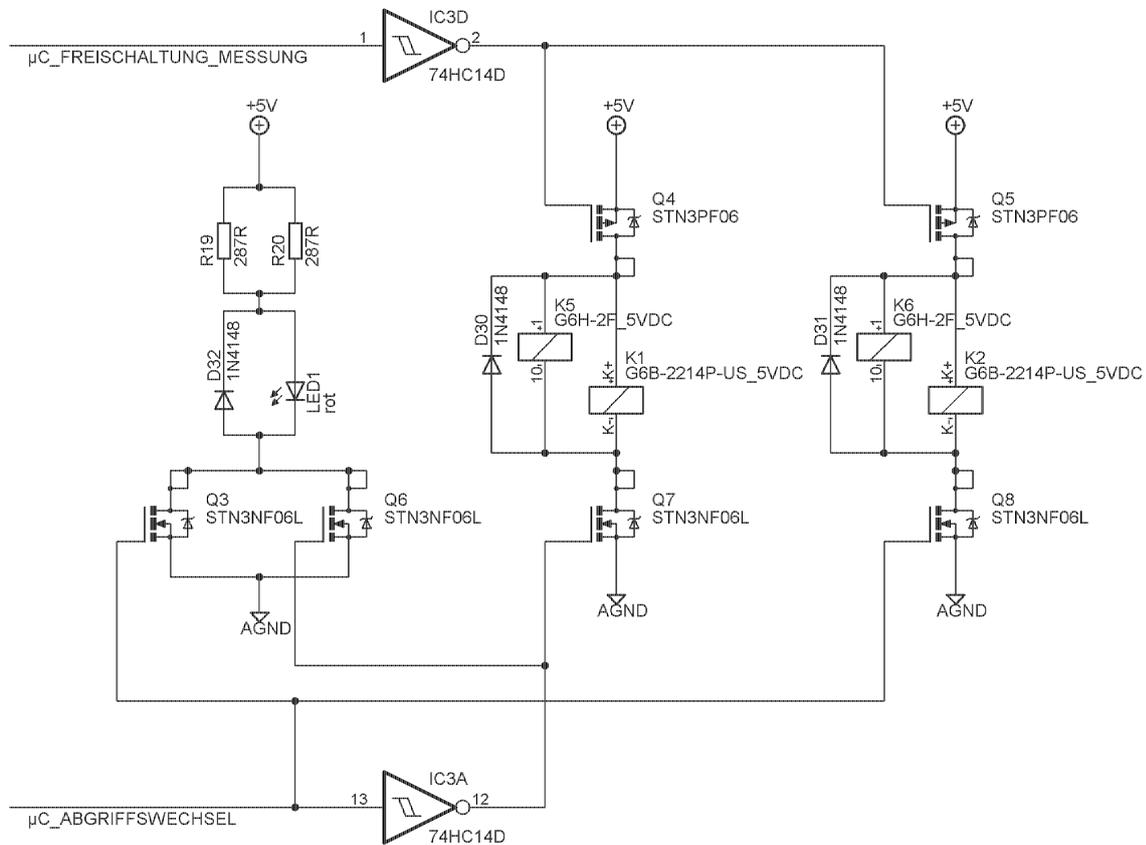


Abbildung 2.49.: Die Ansteuerung der Kreise

Wie dieser Abbildung 2.49 zu entnehmen ist, muss jedoch der Mikrocontroller erst das Signal zur Freischaltung der Messung entsprechend setzen, bevor ein Schließen der Relais-Kontakte überhaupt möglich ist. Sind jedoch alle Voraussetzungen erfüllt und die jeweilige Verbindung gegen Masse hergestellt, dient das Relais des Typs „G6B-2214P-US_5DC“ der Firma OMRON der Durchschaltung des Lastkreises und das Relais des Typs „G6H-2-F 5DC“ selbigen Herstellers dem Durchschalten des zugehörigen Messkreises zur Umsetzung des Vier-Leiter-Messsystems.

Zur optischen Kontrolle der Spannungs-Messung wurde parallel eine Schaltung zur Anzeige der Aktivierung derselben realisiert deren Dimensionierung hier nun kurz dargelegt sei:

$$R_{VOR} = \frac{+5V - V_{F-LED-rot}}{I_{F-LED-rot}}$$

$$\begin{aligned}
 R_{VOR} & \dots \text{Vorwiderstand der Erfassung} \dots [\text{ergibt sich zu } 157,5\Omega] \\
 + 5V & \dots \text{Eingangs-Spannung} \dots [+12V] \\
 V_{F-LED-rot} & \dots \text{Spannungsabfall an der roten LED } I_F=20\text{mA} \\
 & \dots [+1,85V][25, S.2] \\
 I_{F-LED-rot} & \dots \text{angepeilter Stromfluss durch die LED} \dots [20\text{mA}][25, S.2]
 \end{aligned}
 \tag{2.31}$$

Zur Realisierung dieses Wertes wurde eine Parallel-Schaltung zweier 287Ω -Widerstände des Typs „RN73C2A287RBTG“ von TYCO ELECTRONICS gewählt, wodurch sich ein Vorwiderstand von $143,5\Omega$ ergibt.

Der Lastkreis

Die Aufgabe dieser hier gezeigten Schaltung besteht darin, je nach Schalter-Stellung der Relais, eine der beiden zu prüfenden internen Spannungsquellen der Kfz-Elektronik mit bis zu 2000mA unter Vernachlässigung der Leitungs-Verluste zu belasten, um zu überprüfen, ob die gelieferte Ausgangs-Spannung angesichts dieser Last nicht zu sehr zusammenbricht. Um eben diese Anhaltungspunkte zur Belastbarkeit der Quellen zu gewinnen, wurde vereinbart, jeweils vier Belastungsfälle näher zu betrachten auf die nun an Hand der zugehörigen Schaltung näher eingegangen werden soll:

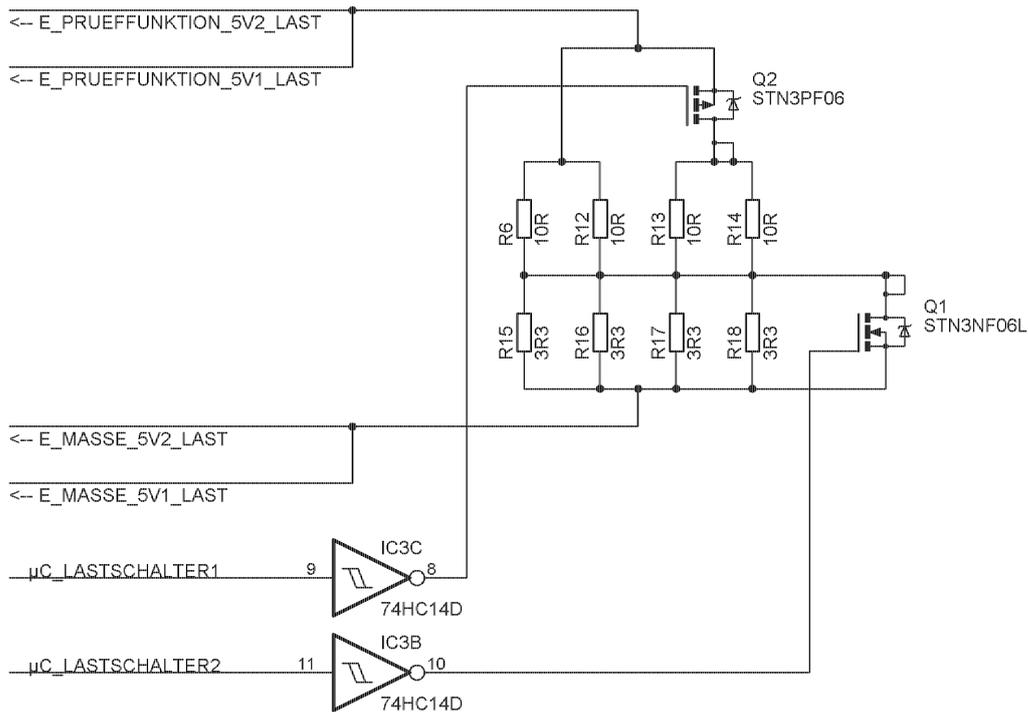


Abbildung 2.50.: Der Lastkreis der Spannungs-Messung

Wie hier zu sehen, setzt sich die Last aus einem Widerstands-Netzwerk zusammen, dessen einzelne Zweige zur Lastvariation durch den Mikrocontroller frei geschaltet bzw. gesperrt werden können. Die sich jeweils ergebenden Belastungsfälle unter Vernachlässigung der Leitungswiderstände sind hier zusammengefasst und im Folgenden näher beschrieben:

Fall	Q2	Q1	R_{Last} (Ω)	I_{Last} (A)
1	sperrt	sperrt	5,825	0,858
2	sperrt	leitet	5,0	1,0
3	leitet	sperrt	3,325	1,5
4	leitet	leitet	2,5	2,0

Tabelle 2.7.: Lastkonfigurationen der Spannungs-Messung

Die zugehörigen Berechnungen zu dieser Tabelle folgen nun hier:

Fall 1:

$$R_{Last-1} = (10\Omega || 10\Omega) + (3, 3\Omega || 3, 3\Omega || 3, 3\Omega || 3, \Omega)$$

$$I_{Last-1} = \frac{U_{Quelle}}{R_{Last-1}} \tag{2.32}$$

R_{Last-1} ... Belastung im „Fall 1“ ... [ergibt sich zu 5,825Ω]
 I_{Last-1} ... Strom im „Fall 1“ bei U_{Quelle} ... [ergibt sich zu 0,858A]
 U_{Quelle} ... veranschlagte Ausgangs-Spannung der Quelle ... [+5V]

Fall 2:

$$R_{Last-2} = (10\Omega || 10\Omega)$$

$$I_{Last-2} = \frac{U_{Quelle}}{R_{Last-2}} \tag{2.33}$$

R_{Last-2} ... Belastung im „Fall 2“ ... [ergibt sich zu 5,0Ω]
 I_{Last-2} ... Strom im „Fall 2“ bei U_{Quelle} ... [ergibt sich zu 1,0A]
 U_{Quelle} ... veranschlagte Ausgangs-Spannung der Quelle ... [+5V]

Fall 3:

$$R_{Last-3} = (10\Omega || 10\Omega || 10\Omega || 10\Omega) + (3, 3\Omega || 3, 3\Omega || 3, 3\Omega || 3, 3\Omega)$$

$$I_{Last-3} = \frac{U_{Quelle}}{R_{Last-3}} \tag{2.34}$$

R_{Last-3} ... Belastung im „Fall 3“ ... [ergibt sich zu 3,325Ω]
 I_{Last-3} ... Strom im „Fall 3“ bei U_{Quelle} ... [ergibt sich zu 1,5A]
 U_{Quelle} ... veranschlagte Ausgangs-Spannung der Quelle ... [+5V]

Fall 4:

$$R_{Last-4} = (10\Omega || 10\Omega || 10\Omega || 10\Omega)$$

$$I_{Last-4} = \frac{U_{Quelle}}{R_{Last-4}} \tag{2.35}$$

- R_{Last-4} ... Belastung im „Fall 4“ ... [ergibt sich zu 2,5Ω]
- I_{Last-4} ... Strom im „Fall 4“ bei U_{Quelle} ... [ergibt sich zu 2,0A]
- U_{Quelle} ... veranschlagte Ausgangs-Spannung der Quelle ... [+5V]

Wie bereits erwähnt bieten die hier gezeigten Berechnungen des Stroms nur Anhaltspunkte, da die Leitungs-Widerstände vernachlässigt wurden und bei den vorliegenden Verhältnissen von großem Last-Strom und kleinen Last-Widerständen diese durchaus Einfluss haben.

Der Messkreis und die Mess-Signalaufbereitung

Da die zu bestimmenden Ausgangs-Spannungen der Kfz-Elektronik, wie bereits erwähnt, nicht direkt an die Versorgungs-Potentiale desselben gebunden und somit als über diesen schwebend zu betrachten sind, war auch im Rahmen der Messung derselben auf eine galvanische Trennung der Potential-Zuführung hin zur Spannungserfassung zu achten.

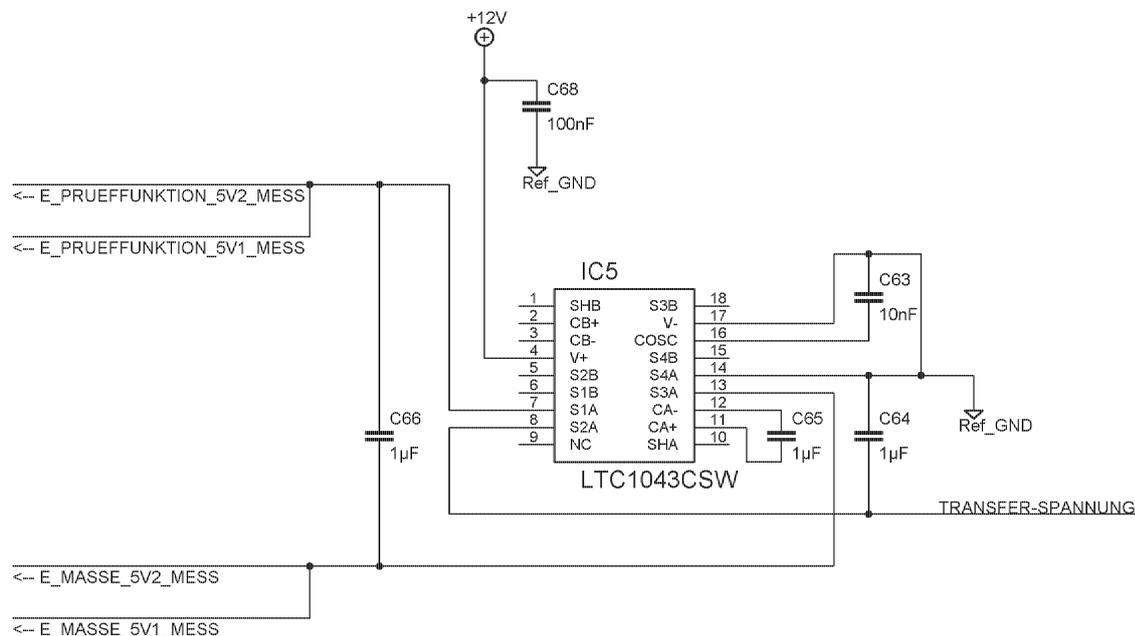


Abbildung 2.51.: Der Messkreis der Spannungs-Messung

Wie hier gezeigt wurde dieser Forderung durch die Verwendung des Switched-Capacitor-Bausteins „LTC1043CSW#PBF“ nachgekommen, deren Ausgangs-Spannung dann an die folgende Struktur zur Signal-Aufbereitung weitergegeben wurde:

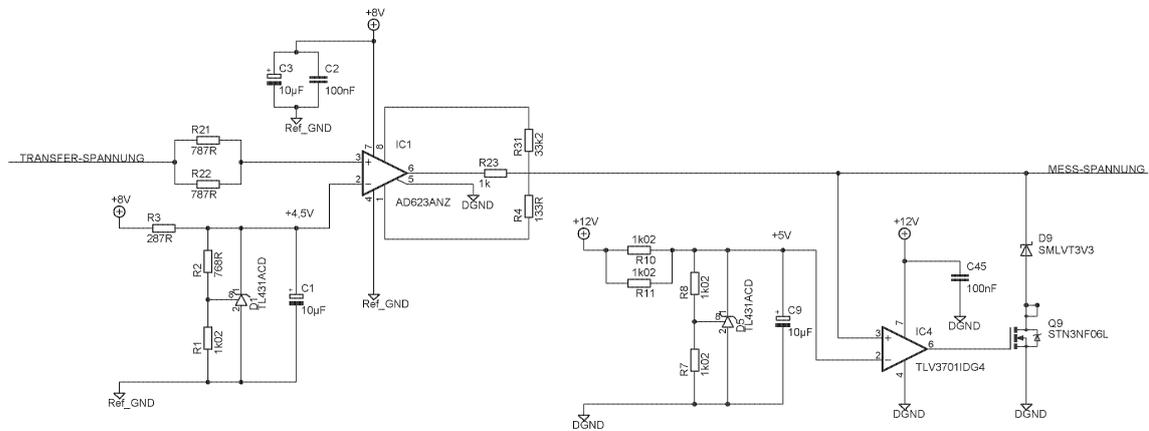


Abbildung 2.52.: Signal-Aufbereitung der Spannungs-Messung

Das Herzstück der ersten Stufe dieser Schaltung bildet der Instrumentierungs-Verstärker des Typs „AD623ANZ“, der verwendet wird um das zu erfassende Eingangssignal, welches im Bereich von +4,5V bis +5,5V ausgewertet werden soll, dem Messbereich des A/D-Umsetzers des Mikrocontroller-Boards von 0V bis +5V [26, S.58, 47] bzw. genauer gesagt der externen Referenz-Spannung von +4,941V (siehe Abschnitt 2.2.7.2) anzupassen. Hierzu wird von der, seitens des Switched-Capacitors aufgenommenen Eingangs-Spannungs-Differenz eine eigens dafür bereitgestellte Referenz-Spannung abgezogen, die in etwa der unteren zu messenden Potential-Differenz entspricht, und die Differenz der beiden Eingangssignale am Instrumentierungs-Verstärker sodann mit dem Faktor „4“ verstärkt um den Messbereich des A/D-Umsetzers bestmöglich nutzen zu können.

Doch nun vorerst ein wenig mehr zu den einzelnen Strukturen rund um den Instrumentierungs-Verstärker:

- **Die Widerstände R21 und R22**

Diese beiden dienen der Begrenzung des Eingangs-Stroms in den Instrumentierungs-Verstärker hinein, sollte der davor liegende Switched-Capacitor-Baustein defekt werden und dessen Versorgungs-Spannung im Ausmaß von +12V an seinem Ausgang zu liegen kommen. Die Bestimmung der Widerstände orientiert sich an der Vorgabe des Datenblatts des zu schützenden Bausteins „AD623ANZ“ bezüglich der Formel zur Dimensionierung der Eingangs-Schutzstrukturen:

$$R_{LIM} = \frac{V_{OVER} - (V_S + 0,7V)}{10mA} [27, S.12]$$

$$\begin{aligned} R_{LIM} & \dots \text{benötigter Vorwiderstand am Eingang} \dots [\text{ergibt sich zu } 330\Omega] \\ V_{OVER} & \dots \text{erwartete Fehlerspannung am Eingang} \dots [+12V] \\ V_S & \dots \text{Versorgungs-Spannung des Bausteins} \dots [+8V] \end{aligned} \quad (2.36)$$

Umgesetzt wurde diese Schutz-Struktur in Form einer Parallelschaltung zweier Widerstände des Typs „RN73C2A787RBTG“ von TYCO ELECTRONICS mit dem Widerstands-Wert von 787Ω .

- **Die Generierung der +4,4V-Spannungs-Referenz**

Die hier nun folgende Dimensionierung dieses Schaltungs-Bereichs entstammt in weiten Teilen den Dokumentations-Unterlagen des einstellbaren Präzisions-Shunt-Regulators „TL431“ [16, S.25]:

Wie in diesen Unterlagen festgehalten, ist der Referenz-Strom mit $2\mu A$ [16, S.14] anzunehmen und natürlich soll dieser das Spannungs-Verhältnis der Einstell-Widerstände nicht beeinflussen, wodurch im Einstellzweig ein Strom von $2mA$ angepeilt wurde. Die diesbezügliche Berechnung sowie jene der Einstell-Widerstände zur Generierung der gewünschten Referenz-Spannung von $+4,4V$ sei hier nun gezeigt:

$$V_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times V_{ref} [16, S.25]$$

$$I_{Einstellzweig} = \frac{V_{ref}}{R_2 + R_1}$$

$$\begin{aligned} V_O & \dots \text{eingestellte Ausgangs-Spannung} \dots [\text{ergibt sich zu } +4,374V] \\ R_2 & \dots \text{Einstell-Widerstand R2} \dots [\text{gewählt mit } 768\Omega] \\ R_1 & \dots \text{Einstell-Widerstand R1} \dots [\text{gewählt mit } 1,02k\Omega] \\ V_{ref} & \dots \text{interne Referenz-Spannung} \dots [+2.495V] [16, S.14] \\ I_{Einstellzweig} & \dots \text{Strom im Einstell-Zweig} \dots [\text{ergibt sich zu } 2.446mA] \end{aligned} \quad (2.37)$$

Aus der hier gezeigten Berechnung und der Festlegung des Kathoden-Anoden-Stroms mit $10mA$ [16, S.11] ergibt sich der benötigte Vorwiderstand gemäß folgendem Formalismus:

$$R_{VOR} = \frac{(+8V - V_0)}{(I_{Einstellzweig} + I_{KA})}$$

R_{VOR}	... Vorwiderstand des „TL431“-Bausteins	
	... [ergibt sich zu 291,338Ω]	(2.38)
$+ 8V$	... Eingangsspannung ... [+8V]	
V_O	... eingestellte Ausgangs-Spannung ... [+4,374V]	
$I_{Einstellzweig}$	... Strom im Einstell-Zweig ... [2.446mA]	
I_{KA}	... Kathoden-Anoden-Strom ... [gewählt mit 10mA]	

Umgesetzt wurde dieser Vorwiderstand sodann durch den 287Ω-Widerstand des Typs „RN73C2A287RBTG“ von TYCO ELECTRONICS.

Für den Stützkondensator C1 der Ausgangs-Spannung des Referenz-Bausteins fiel die Wahl auf einen 10µF-Tantal-Kondensator des Typs „B45196H4106K209“. Der Kapazitätswert desselben ergibt sich dabei aus dem geplanten Kathoden-Anoden-Strom, der Ausgangs-Spannung des Bausteins und den in der Abbildung 2.18 dargestellten Stabilitäts-Bereichen desselben.

- **Die Widerstände R31 und R4**

Diese beiden dienen der Einstellung der Verstärkung der Spannungs-Differenz zwischen den beiden Eingängen, gemäß folgender, der Dokumentation des Instrumentierungs-Verstärkers entnommenen Formel des Abschnitts „Gain Selection“ [27, S.11]:

$$R_G = \frac{100k\Omega}{G - 1} [27, S.11]$$

R_G	... Einstell-Widerstand der Verstärkung ... [ergibt sich zu 33,333kΩ]	
G	... gewünschter Verstärkungs-Faktor ... [4]	(2.39)

Umgesetzt wurde dieser gewünschte Wert des Einstell-Widerstandes durch die Serien-Schaltung zweier Widerstände mit den Bezeichnungen „RN73C2A33K2-BTG“ und „RN73C2A133RBTG“, welche beide dem Hause TYCO ELECTRONICS entstammen.

- **Der Widerstand R23**

Dieser Widerstand dient einerseits dazu, den „Regelkreis“ des Instrumentierungs-Verstärkers angesichts kapazitiver Belastung desselben stabil zu halten und ein

Schwingen der gelieferten Ausgangs-Spannung zu verhindern, sowie andererseits zur Strombegrenzung im Falle des Ansprechens der im Folgenden noch beschriebenen Schutzstruktur.

Wie obigem Schaltbild in der Abbildung 2.52 zu entnehmen ist, schließt sich an den Ausgang des Instrumentierungs-Verstärkers noch ein weiteres Schaltungs-Gebilde an, auf welches ich hier nun näher eingehen möchte:

Und zwar handelt es sich dabei um eine Schutzbeschaltung, welche verhindern soll, dass eine wie auch immer geartete Fehlfunktion im Messkreis zum Auftreten einer Überspannung am Eingang des A/D-Umsetzers des Mikrocontroller-Boards führt. Dazu wird die Ausgangs-Spannung des Instrumentierungs-Verstärkers, welche sogleich die Eingangs-Spannung des A/D-Umsetzers darstellt, mit einer +5V-Referenz verglichen und sollte die Mess-Spannung über dieser Referenz liegen, wird die Mess-Spannung mittels des MOSFETs Q9 des Typs „STN3NF06L“ und der Zener-Diode D9 des Typs „SMLVT3V3“ auf +3,3V gegenüber der Bezugsmasse begrenzt. Zum Abgleich der Mess-Spannung gegenüber der Referenz-Spannung kommt dabei ein Komparator des Typs „TLV3701IDG4“ von TEXAS INSTRUMENTS zum Einsatz.

Die Dimensionierung der Referenz-Spannung-Quelle ist dabei wiederum den Dokumentations-Unterlagen des einstellbaren Präzisions-Shunt-Regulators „TL431“ [16, S.25] entnommen:

Unter dem Gesichtspunkt der Definition des Referenz-Stroms mit 2µA [16, S.14] und dem Wunsch, dadurch das Spannungs-Verhältnis an den Einstell-Widerständen nicht zu beeinflussen, wurde der Strom im Einstellzweig mit 2mA festgesetzt. Die Berechnung der Einstell-Widerstände für den gewünschten Referenz-Spannungs-Wert von +5V sei unter anderem hier nun gezeigt:

$$V_O = \left(1 + \frac{R8}{R7}\right) \times V_{ref} [16, S.25]$$

$$I_{Einstellzweig} = \frac{V_{ref}}{R2 + R1}$$

V_O	... eingestellte Ausgangs-Spannung ... [ergibt sich zu +4,99V]
$R8$	... Einstell-Widerstand R8 ... [gewählt mit 1,02kΩ]
$R7$	... Einstell-Widerstand R7 ... [gewählt mit 1,02kΩ]
V_{ref}	... interne Referenz-Spannung ... [+2.495V][16, S.14]
$I_{Einstellzweig}$	... Strom im Einstell-Zweig ... [ergibt sich zu 2.446mA]

(2.40)

Die Wahl dieses Spannungs-Referenz-Wertes mit +5V gründet zum einen auf der externen Referenz-Spannung des A/D-Umsetzers des Mikrocontroller-Boards im Umfang von +4,941V (siehe 2.2.7.2) sowie zum anderen auf den Datenblatt-Angaben

zum A/D-Umsetzer selbst [26, S.58&S.47], welche darauf verweisen, dass ein Überschreiten der +5V-Versorgungs-Spannung des Mikrocontrollers zu unterbinden ist.

Aus der obigen Berechnung des Stroms im Einstellzweig und der Definition des Kathoden-Anoden-Stroms mit 10mA [16, S.11] errechnet sich der nötige Vorwiderstand des Referenzbausteins gegenüber der „+12V-Schiene“, welche zur Sicherstellung der Komparator-Funktionalität vor dem Einschalten des +8V-versorgten Instrumentierungs-Verstärkers gewählt wurde, folgendermaßen:

$$R_{VOR} = \frac{(+12V - V_0)}{(I_{Einstellzweig} + I_{KA})}$$

R_{VOR}	... Vorwiderstand des „TL431“-Bausteins ... [ergibt sich zu 563,233Ω]
$+ 12V$	... Eingangs-Spannung ... [+12V]
V_0	... eingestellte Ausgangs-Spannung ... [+4,99V]
$I_{Einstellzweig}$	... Strom im Einstell-Zweig ... [2.446mA]
I_{KA}	... Kathoden-Anoden-Strom ... [gewählt mit 10mA]

(2.41)

Zur Realisierung dieses gerade berechneten Vorwiderstandes wiederum wurden zwei Widerstände des Typs „RN73C2A1K02BTG“ parallel geschaltet, wodurch sich ein Widerstands-Wert von 510Ω ergibt.

Angesichts der Ausgangs-Spannung der Referenz, dem Kathoden-Anoden-Strom desselbigen und der in der Abbildung 2.18 dargestellten Stabilitäts-Bereiche, wurde als Stützkondensator für die Referenz-Spannung ein 10µF-Tantal-Kondensator des Typs „B45196H4106K209“ veranschlagt.

2.2.6.3. Der Frequenz-Eingang

Von zentraler Bedeutung im Rahmen der Entwicklung dieses Prüfgerätes war es, zu einer geeigneten Schaltung zur Erfassung des System-Takts der Kfz-Elektronik zu gelangen. Einerseits war dies nötig um die Frequenz des mit 1kHz veranschlagten System-Takts zu erfassen und diese somit kontrollieren zu können, da sich von diesem Signal alle Zeit- und Frequenz-Referenzen innerhalb der zu prüfenden Fahrzeug-Elektronik ableiten, andererseits war die Erfassung desselben zur Auswertung der pulsweitenmodulierten Eingangs-Signale von Nöten. Die gesamte hierfür zuständige Eingangs-Struktur wird im Folgenden beschrieben und ist hier in ihrer Gesamtheit dargestellt:

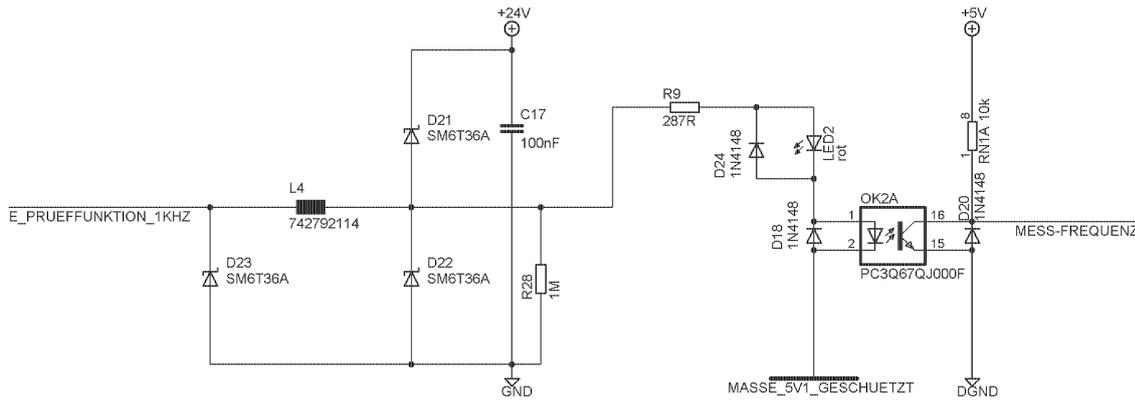


Abbildung 2.53.: Der Frequenz-Eingang

Die ESD-Schutz-Schaltung des Frequenz-Eingangs

Da die entwickelte ESD-Schutz-Grundstruktur, die im Abschnitt 2.2.1.2 näher beschrieben ist, eine viel zu hohe kapazitive Last für den Frequenz-Ausgang der Kfz-Elektronik darstellt, welcher in Form eines Inverters des Typs „74HCT14D“ und eines 39Ω-Serien-Widerstands realisiert wurde, musste hierfür eine neue Struktur entwickelt werden, die hier gezeigt ist:

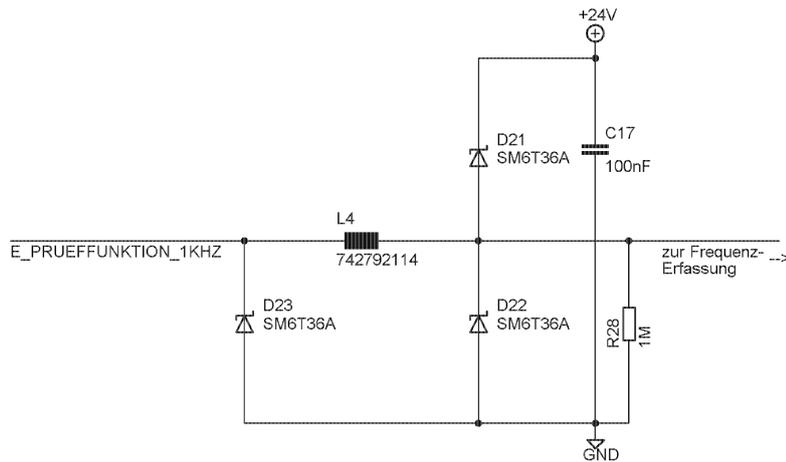


Abbildung 2.54.: Die ESD-Schutz-Struktur des Frequenz-Eingangs

Den kritischen Punkt im Rahmen dieser Schaltung stellen dabei die parasitären Kapazitäten der Schutzdioden des Typs „SM6T36A“ dar, welche im Zeitpunkt der Signalfanken einem Kurzschluss gleichkommen und in diesem Fall der Ausgangs-Strom aus dem Inverter-Ausgang einzig durch den 39Ω-Serien-Widerstand begrenzt und dessen Änderungs-Geschwindigkeit durch die Leitungs-Induktivität eingeschränkt wird. Somit war es wichtig die kapazitive Belastung des Inverters möglichst zu minimieren.

Die dadurch in Kauf genommene höhere Spannungs-Spitze am Ausgang der Schutz-Struktur im Falle einer ESD-Entladung kann durch die folgende Schaltung zur Er-

fassung des System-Takts durchaus abgefangen werden. Der $1M\Omega$ -Widerstand gegen Masse, welcher den Abschluss dieser ESD-Schutz-Struktur bildet, dient der Entladung derselben, um sicherzustellen, dass sich die Schutz-Struktur nach einem ESD-Ereignis selbst schnell entladen kann, um beim späteren Anschließen des Prüflings nicht die Ansprech-Spannung der Schutzdioden an den $+5V$ -versorgten Inverter-Ausgang anzulegen, die dort einer Überspannung gleichkommen würde.

Die Erfassung des System-Takts

Der hier nun gezeigte Schaltungs-Abschnitt dient der Erfassung des System-Takts:

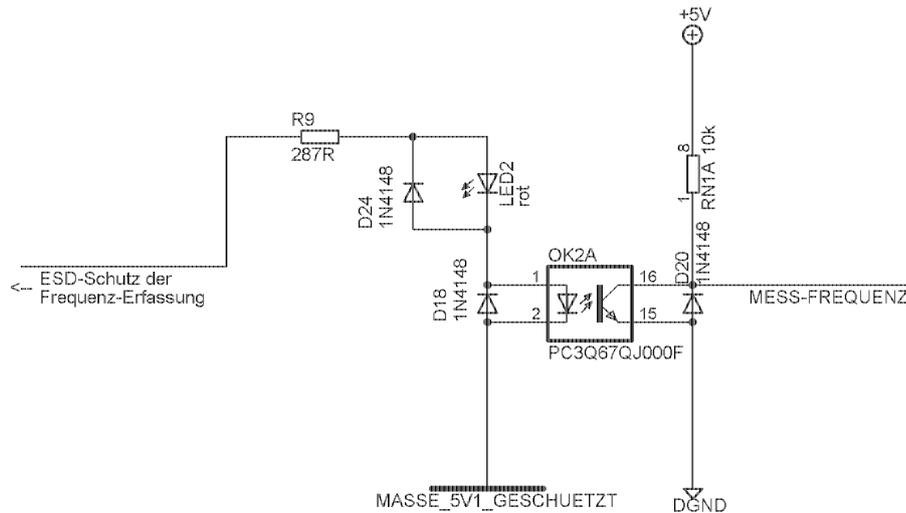


Abbildung 2.55.: Die Frequenz-Erfassung

Wie im Rahmen aller anderen Signal-Eingänge besteht auch bei diesem die galvanische Trennung zwischen dem Signalpfad des System-Takts seitens der Kfz-Elektronik und dem der zur Auswertung desselben verwendet wird. Da der Auftraggeber diesem Signalausgang eine maximale Stromlast im Ausmaß von 10mA zuschreibt, wurde die Dimensionierung der Eingangs-Struktur für einen Strom von 7,5mA und gemäß folgender Berechnung vorgenommen:

$$R_{VOR} = \frac{V_{p-Takt} - V_{F-LED-rot} - V_{F-LED}}{I_{F-LED}}$$

- R_{VOR} ... Vorwiderstand der Erfassung ... [ergibt sich zu 266,667Ω]
 V_{p-Takt} ... HIGH-Pegel des System-Takts ... [+5V]
 $V_{F-LED-rot}$... Spannungsabfall an der roten LED $I_F=7,5mA$
 ... [+1,75V][25, S.3]
 V_{F-LED} ... Spannungsabfall an der LED bei I_{F-LED} ... [+1,25V][28, S.6]
 I_{F-LED} ... angepeilter Stromfluss durch die LED ... [7,5mA][28, S.6]
- (2.42)

Zur Realisierung der Schaltung wurde sodann ein 287Ω-Widerstand mit der Bezeichnung „RN73C2A287RBTG“ von TYCO ELECTRONICS gewählt.

2.2.6.4. Die Durchleitung des Dimm-Potentiometers

Ebenso im Rahmen dieser Platine realisiert wurde die Durchleitung des im zugehörigen Frontplane-Abschnitt verbauten Ersatzes des sich im Fahrzeug befindlichen Dimm-Potentiometers für die Helligkeit der Anzeigen. Da dieser auf Grund der gewählten Bauform, insbesondere des Kunststoff-Gehäuses, und der Vorgabe das noch zu fertigende Gehäuse in Metall auszuführen, für ESD-Entladungen keinen geeigneten Angriffspunkt bietet, muss die Durchleitung hin zur Frontplane primär gegen ESD-Ereignisse an den zugehörigen Anschlüssen auf der Adapter-Platine geschützt werden.

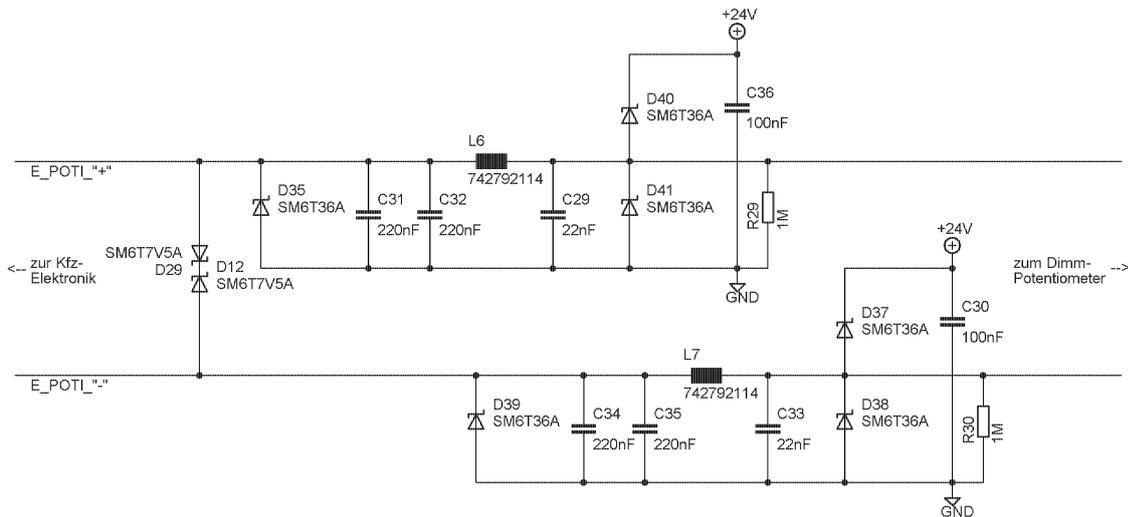


Abbildung 2.56.: Der ESD-Schutz des Dimm-Potentiometers

Wie hier gezeigt, setzt sich auch diese Schutz-Struktur über weite Teile aus der bereits im Abschnitt 2.2.1.2 beschriebenen ESD-Schutz-Grundstruktur zusammen, auf deren Beschreibung für nähere Informationen an dieser Stelle verwiesen sei. Ergänzt wird diese durch das Einsetzen zweier antiseriell eingefügter ESD-Schutzdioden zwischen die beiden Zweige. Bei der Auswahl der Ansprech-Spannungen dieser beiden Dioden galt das besondere Augenmerk dem +5V-versorgten PWM-Baustein seitens der Fahrzeug-Elektronik an welchen das Dimm-Potentiometer angeschlossen ist.

2.2.7. Die Mikrocontroller-Platine

Da im Zuge dieser Entwicklung das bereits an der TU Graz vorhandene und in Verwendungen stehende C167-Mikrocontroller-Board [1], dessen Schalt- und Layout-Pläne im Abschnitt A.2 des Anhangs dokumentiert sind, das Kernstück des Prüfgerätes bilden sollte, war es nötig eine passende Schnittstelle zur Integration desselben in den Platinen-Verband des Prüfgerätes zu schaffen. Diese Schnittstelle wiederum sollte eine definierte Plattform bilden, auf deren Basis eine spätere Aufrüstungen oder Umrüstung auf einen anderen Mikrocontroller leicht erfolgen kann. Daher fiel die Wahl für die Realisierung dieser Schnittstelle hin zum Mikrocontroller-Board auf die Ausführung dieser in Form einer eigenen Platine im Europakarten-Format, da somit zum Beispiel bei der Umstellung auf einen anderen Mikrocontroller einzig diese Trägerplatine neu zu designen wäre, das gesamte restliche System aber unverändert bestehen bleiben könnte.

2.2.7.1. Die Schnittstelle zwischen Platine und Mikrocontroller-Board

Im Zuge der Auslegung dieser Träger-Platine war es natürlich nötig, die bereits bestehende Schnittstelle seitens des Mikrocontroller-Boards platinenseitig mit einem passenden Gegenstück zu komplettieren.

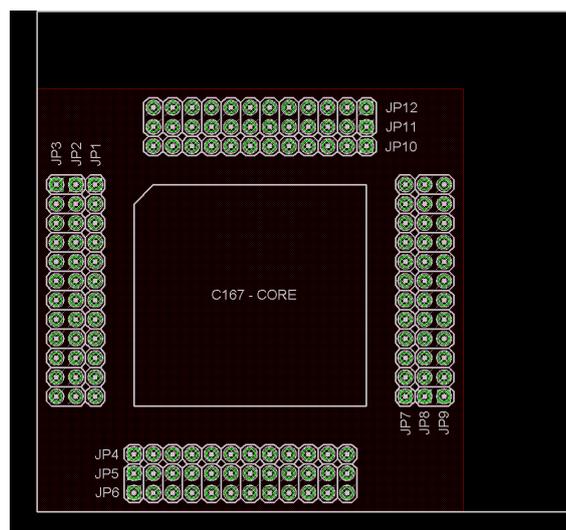


Abbildung 2.57.: Layout der Schnittstelle des Mikrocontroller-Boards [29]

Hierzu war es unerlässlich, die genaue Positionierung der bereitgestellten Pins des Mikrocontroller-Boards im Verhältnis zu dessen Grenzen, sowie deren Lage gegeneinander, eingehender zu studieren. Das Ergebnis dieser Untersuchungen war die Erkenntnis, dass die Pins seitens des Mikrocontroller-Boards in einem 0,1inch-Raster angeordnet sind. Die globalen Positionen gegenüber den Grenzen des Mikrocontroller-Boards konnten aus der bereitgestellten Layout-Datei des Projektes „L1668“ [29] übernommen werden, welches obig auch abgebildet ist.

Zur Aufnahme derselben wurde sodann die Schnittstelle seitens der Träger-Platine mittels Stiftleisten der Typen „W81136T3825RC“ (1-reihig) sowie „W82172T3825RC“ (2-reihig) jeweils der Firma RS COMPONENTS realisiert.

Zur Integration der somit physikalisch definierten Schnittstelle hin zum Mikrocontroller-Board in die Schaltpläne dieses Projekts, wurde im Anschluss sogleich das hier nun folgende Symbol, aus den bereitgestellten Schematic-Unterlagen [29] des Projektes „L1668“ generiert, welches ebenso die Anschlussbelegung seitens des Mikrocontrollers selbst wiedergibt:

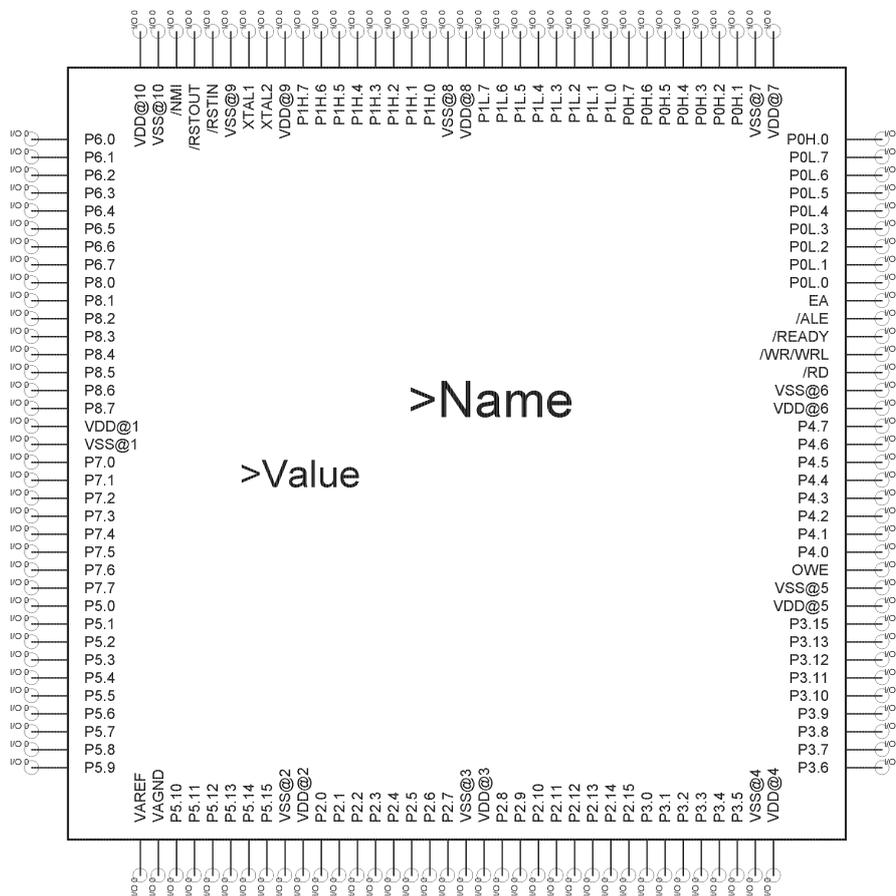


Abbildung 2.58.: Schematic der Schnittstelle des Mikrocontroller-Boards (extrahiert aus [29])

Zur Versorgung des Mikrocontroller-Boards mussten zusätzlich noch ein zweipoliger Klemmblock des Typs „1729128“ (bzw. „MKDSN 1,5/2-5,08“) der Firma PHOENIX CONTACT auf der Trägerplatine, sowie eine zum Anschluss am Mikrocontroller-Board passende zweipolige Buchsenleiste des Typs „3-640441-2“ von TYCO ELECTRONICS vorgesehen werden, um die Versorgungs-Spannung von der Träger-Platine auf den Versorgungs-Anschluss des Mikrocontroller-Boards übertragen zu können.

2.2.7.2. Strukturen auf der Mikrocontroller-Platine

Auf der Träger-Platine selbst waren wiederum einige weitere Strukturen nötig um unter anderem einzelne Signale dem Mikrocontroller-Board entsprechend aufzubereiten bzw. zu filtern, diesem nötige Referenz-Spannungen zur Verfügung zu stellen und die serielle Kommunikation zu ermöglichen. So soll im Folgenden auf die einzelnen Strukturen gesondert eingegangen werden:

Bereitstellung der Referenz zur Spannungs-Messung

So war die folgende Schaltung nötig, um dem A/D-Umsetzer des Mikrocontrollers eine möglichst unabhängige, sowie von der Versorgung und deren Schwankungen entkoppelte, Referenzspannung von rund +4,95V bereit zu stellen. Wie dem Schaltplan zu entnehmen ist, steuert dabei der Mikrocontroller selbst die Aktivierung der Referenzspannung, die wiederum aus einer eigenen „+12V-Schiene“ gespeist wird, die nur Referenzquellen und sensiblen Bauelementen vorbehalten ist.

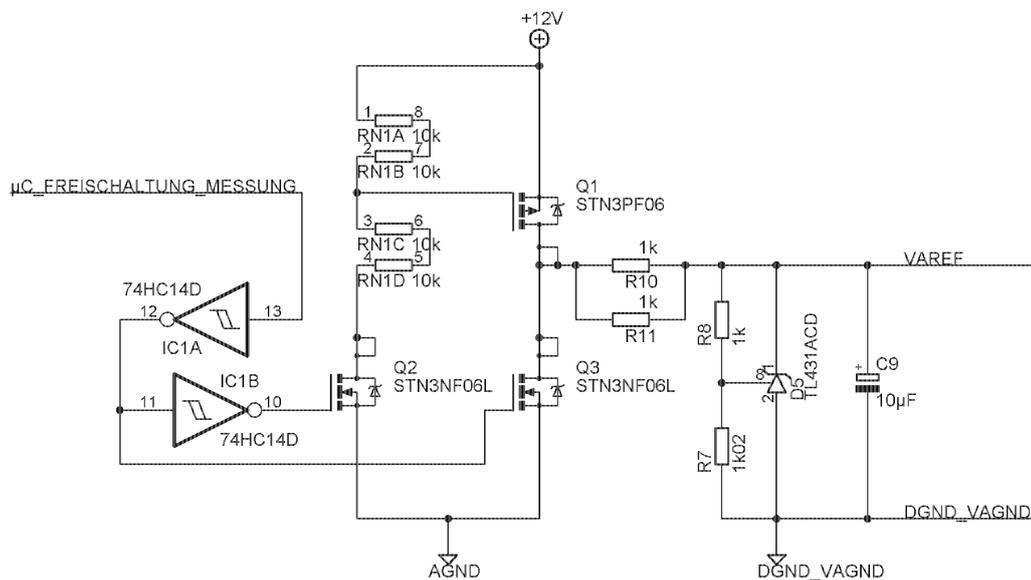


Abbildung 2.59.: Generierung der Referenz des A/D-Umsetzers

Die Generierung der Referenzspannung aus der „+12V-Schiene“ heraus, geschieht unter Verwendung der einstellbaren Spannungsreferenz des Typs „TL431ACD“ der Firma TEXAS INSTRUMENTS. Die zugehörige Dimensionierung entstammt der

Dokumentation des einstellbaren Präzisions-Shunt-Regulators TL431 [16, S.25] und sei hier gezeigt:

In Hinblick auf die Angabe des Referenz-Stroms mit $2\mu\text{A}$ [16, S.14] seitens des Datenblattes und den Wunsch, dass das Spannungs-Verhältnis dadurch an den Einstell-Widerständen nicht beeinflusst werde, wurde im Einstellzweig ein Strom von 2mA ins Auge gefasst. Die diesbezügliche Berechnung sowie jene der Einstell-Widerstände zur Generierung der „+5V-Referenz“ für den A/D-Umsetzer des Mikrocontrollers sei hier gezeigt:

$$V_O = \left(1 + \frac{R8}{R7}\right) \times V_{ref} [16, S.25]$$

$$I_{Einstellzweig} = \frac{V_{ref}}{R7 + R8}$$

V_O	... eingestellte Ausgangs-Spannung ... [ergibt sich zu +4,941V]
$R8$	... Einstell-Widerstand R8 ... [gewählt mit 1,00k Ω]
$R7$	... Einstell-Widerstand R7 ... [gewählt mit 1,02k Ω]
V_{ref}	... interne Referenz-Spannung ... [+2.495V][16, S.14]
$I_{Einstellzweig}$	... Strom im Einstell-Zweig ... [ergibt sich zu 2.446mA]

(2.43)

Die Auswahl der Ausgangs-Spannung dieser Schaltung, die zugleich die Referenz für den A/D-Umsetzer des Mikrocontrollers darstellt, entfiel auf diesen Spannungswert von knapp unter +4,95V, um sicherzustellen, dass der A/D-Wandler durch Ausgabe des Maximal-Wertes eine nahende Auslösung der vorgelagerten und auf der Mess-Platine realisierten Schutz-Struktur, wie im Abschnitt 2.2.6.2 beschrieben, melden kann.

Über die Freigabe der Versorgung dieser Struktur entscheidet der Mikrocontroller um zu garantieren, dass das Mikrocontroller-Board selbst bereits betriebsbereit und somit voll versorgt ist, bevor die im Rahmen dieser Schaltung generierte Referenz-Spannung auf den Eingangs-Pin des Mikrocontrollers trifft. Zur Freigabe der Generierung werden dabei +5V-versorgte Inverter des Typs „MC74HC14A“, sowie eine Abwandlung der bereits beschriebenen „H/L-Ausgangs-Struktur“, welche im Abschnitt 2.2.4.1 näher beschrieben ist, genutzt. An dieser Stelle deshalb nur kurz der Überblick über die Auswirkungen der beiden Mikrocontroller-Ausgangspegel bezüglich der Referenzspannungs-Generierung:

- **Potential des μC -Ausgangs = 0V:**

IC1A-12=+5V \rightarrow (STN3NF06L- $V_{\text{GS(th)max}}=+2.8\text{V}$ [9, S.2]) \rightarrow Q3 leitet
 \rightarrow Generierung deaktiviert

IC1B-10=0V \rightarrow (STN3NF06L- $V_{\text{GS}}=0\text{V}$) \rightarrow Q2 sperrt \rightarrow Q1_G=+12V
 \rightarrow (STN3PF06- $V_{\text{GS}}=0\text{V}$) \rightarrow Q1 sperrt

- **Potential des μC -Ausgangs = +5V:**

IC1A-12=0V \rightarrow (STN3NF06L- $V_{\text{GS}}=0\text{V}$) \rightarrow Q3 sperrt

IC2E-4=+5V \rightarrow Q9_G=+5V \rightarrow (STN3NF06L- $V_{\text{GS(th)max}}=+2.8\text{V}$ [9, S.2])

\rightarrow Q2 leitet \rightarrow Q1_G=+6V \rightarrow (STN3PF06- $V_{\text{GS(th)max}}=-4\text{V}$ [10, S.4])

\rightarrow Q1 leitet \rightarrow Generierung versorgt

Aus obigen Überlegungen und der Auswahl des Kathoden-Anoden-Stroms im Umfang von 10mA [16, S.11] ergibt sich der zu realisierende Vorwiderstand folgendermaßen:

$$R_{VOR} = \frac{(+12V - V_0)}{(I_{Einstellzweig} + I_{KA})}$$

R_{VOR}	... Vorwiderstand des „TL431“-Bausteins ... [ergibt sich zu 567,170 Ω]
$+ 12V$	... Eingangs-Spannung ... [+12V]
V_0	... eingestellte Ausgangs-Spannung ... [+4,941V]
$I_{Einstellzweig}$	... Strom im Einstell-Zweig ... [2.446mA]
I_{KA}	... Kathoden-Anoden-Strom ... [gewählt mit 10mA]

(2.44)

Gewählt wurde daher eine Parallel-Schaltung aus zwei 1k Ω -Widerständen des Typs „RN73C2A1K0BTG“.

Der ebenfalls obig abgebildete Stützkondensator C9 der Ausgangs-Spannung wurde in Form eines 10 μF -Tantal-Kondensators des Typs „B45196H4106K209“ ausgeführt. Die Auswahl dieses Kapazitätswertes erfolgte dabei im Einklang mit den in der Abbildung 2.18 darstellten Stabilitäts-Bereichen, den veranschlagten Kathoden-Anoden-Strom und der zugehörigen Spannung über den Referenz-Baustein.

Eingangs-Filter der Spannungs-Messung

Um etwaig eingekoppelte Störfrequenzen von der zu messenden Spannung abzuschneiden, wurde möglichst knapp vor der Übergabe dieses Signals an den Mess-Eingang des Mikrocontroller-Boards der hier gezeigte Tiefpass-Filter eingefügt:

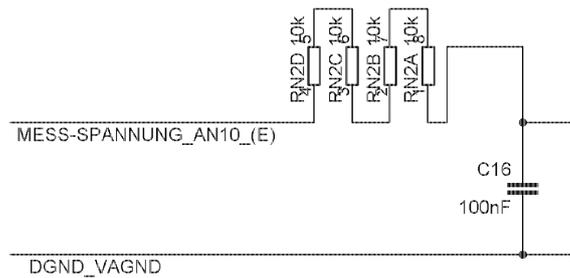


Abbildung 2.60.: Eingangs-Filter der Spannungs-Messung

Die somit realisierte Grenzfrequenz dieses Filters berechnet sich folgendermaßen:

$$f_g = \frac{1}{2 \times \pi \times RN2 \times C16}$$

$$\begin{aligned}
 f_g & \dots \text{Grenzfrequenz des Filters} \dots [\text{ergibt sich zu } 39,789\text{Hz}] & (2.45) \\
 RN2 & \dots \text{Widerstand des Filters} \dots [40\text{k}\Omega] \\
 C16 & \dots \text{Kapazität des Filters} \dots [100\text{nF}]
 \end{aligned}$$

Die serielle Schnittstelle

Da im verbauten Zustand die direkt am Mikrocontroller-Board verbaute serielle Schnittstelle dem Prüfer nicht mehr zugänglich ist und das Mikrocontroller-Board nur die Steuer- und Signal-Leitungen hin zum Treiber-Baustein über die Schnittstelle zur Träger-Platine zur Verfügung stellt, war es nötig einen weiteren Treiber-Baustein auf der Trägerplatine zu platzieren, welcher die Signale sodann an die RS232-Schnittstelle auf der zugehörigen Frontplane-Platine sendet von wo sie an den PC weitergeleitet werden bzw. die Signale vom PC entgegengenommen und an den Mikrocontroller weitergegeben werden.

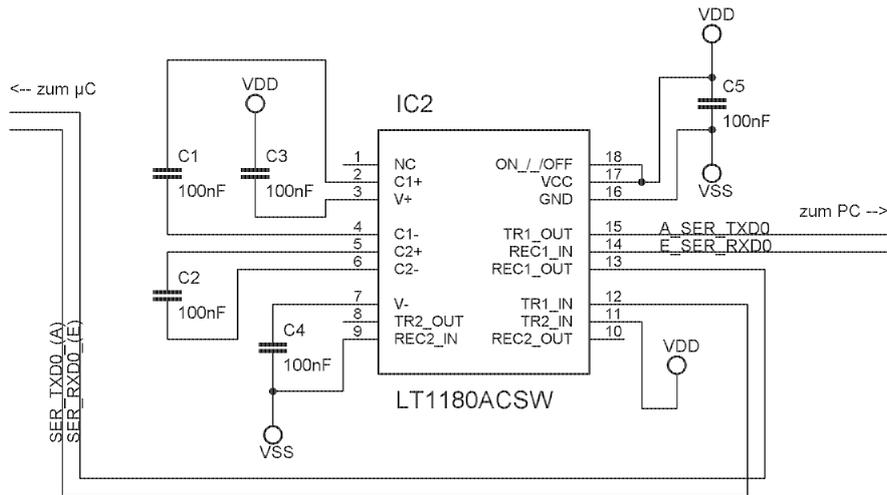


Abbildung 2.61.: Serielle Schnittstelle des Mikrocontrollers

Da die beiden Treiber-Bausteine nicht parallel zu betreiben sind, war sicherzustellen, dass ab dem Einsetzen des Treiberbausteins „LT1180ACSW#PBF“ der Firma LINEAR TECHNOLOGY auf der Träger-Platine jener auf dem Mikrocontroller-Board von den Signalleitungen getrennt ist. Die Versorgung des Treiber-Bausteins übernimmt aber weiterhin das Mikrocontroller-Board mittels der über die Schnittstelle zur Träger-Platine übertragenen Versorgungspegel „VDD“ und „VSS“ um etwaigen Signal-Pegel-Verschiebungen entgegenzuwirken.

Der „fünfte“ Layer der Mikrocontroller-Platine

Da im Rahmen der Mikrocontroller-Platine im Besonderen auf die EMV-Kriterien geachtet und im Speziellen danach getrachtet wurde etwaigen derartigen Störungen möglichst entgegenzuwirken, wurde bei deren Auslegung unter anderem besonderes Augenmerk auf eine durchgängige Masse-Fläche Wert gelegt um die Antennen-Bildung möglichst einzuschränken. Über weite Strecken war es möglich den stellenweise perforierten außenliegenden Masse-Layer durch in andere Layer ausgelagerte Masse-Inseln wieder zu schließen. In einzelnen Bereichen jedoch gelang das leider nicht, wodurch man dazu überging, in diesen speziellen Fällen einen „fünften“ Layer zu eröffnen, welcher durch 0Ω -Widerstände realisiert wurde, die als Brücken über Einschnitte im Masse-Layer eingesetzt wurden.

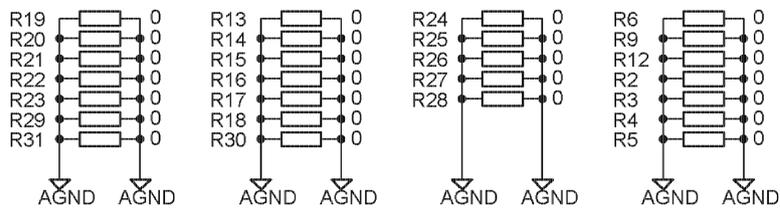


Abbildung 2.62.: Der „fünfte Layer“ der Mikrocontroller-Platine

Die Selector-Schaltungen

Da dem Nutzer des verwendeten Mikrocontrollers „C167CR-LM“ leider nicht ausreichend digital-verwendbare Ein- und Ausgänge zur Verfügung stehen um sämtliche benötigten Schnittstellen gleichzeitig bedienen zu können, war es notwendig, dahingehend eine andere Lösung ins Auge zu fassen. So wurde entschieden, dass die Ausgänge direkt zu bedienen seien, während es im Rahmen der Eingänge durchaus verzeihlich wäre nicht alle ständig direkt mit dem Mikrocontroller verbunden zu wissen. So entstand die Idee, dass man sich im Zuge der Zuleitung der ausgelesenen Eingangszustände hin zum Mikrocontroller, durchaus mehrerer einstufiger Selector-Schaltungen bedienen könnte, die vom Mikrocontroller aus angesteuert werden, um somit in zwei aufeinander folgenden Schritten schließlich alle Eingangszustände einlesen zu können. Hier gezeigt ist nun eine dieser Selector-Schaltungen des Typs „SN74HC157DRG4“ der Firma TEXAS INSTRUMENTS um die Funktion näher darzulegen:

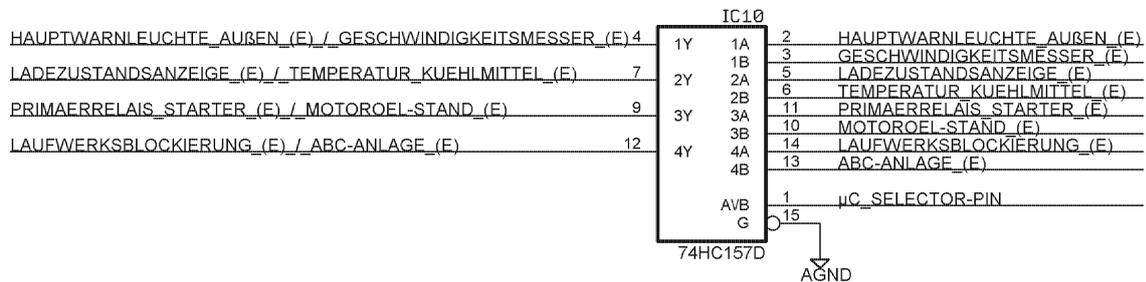


Abbildung 2.63.: Die Selector-Schaltung

Hier ein kurzes Beispiel zur Erklärung gemäß den Ausführungen in der Dokumentation des Selector-Bausteines [30, S.2,3]:

- **Potential der μ C-Selector-Pins = 0V:**
→IC10-4, der Ausgang hin zum Mikrocontroller, gibt IC10-2, das Eingangssignal „Hauptwarnleuchte_außen_(E)“ wieder ...
- **Potential der μ C-Selector-Pins = +5V:**
→IC10-4, der Ausgang hin zum Mikrocontroller, gibt IC10-3, das Eingangssignal „Geschwindigkeitsmesser_(E)“ wieder ...

2.3. Die Backplane-Platinen

Um allen System-Platinen die Versorgungs-Spannungen und die notwendigen Signalzustände zuführen bzw. diese abgreifen zu können, war es nötig eine Verbindung zwischen allen System-Platinen mittels einer Backplane zu schaffen. Auf Grund der Vielzahl der zu verbindenden System-Platinen, deren räumlichen Ausdehnungen

und der hohen Anzahl von 96 weiterzugebenden Signalen war es notwendig hierfür zwei vierlagige Platinen im Europakarten-Format zu verwenden. Dadurch wurde ebenso die Option geschaffen eine möglichst gute Schirmung der darüberliegenden System-Platinen gegenüber externer Störungen zu erreichen, indem die hinsichtlich der Systemorientierung „außenliegenden“ Bottom-Layer der Backplane-Platinen als masseführende Schichten ausgeführt wurden.

Die Anbindungen der System-Platinen wie die Verbindung zwischen den beiden Backplane-Platinen erfolgte gemäß den hier angeführten Beschreibungen:

- **Schnittstellen zu den System-Platinen**

Die Anbindung der System-Platinen hin zur Backplane erfolgte mittels eines 96-poligen Flachbandkabels des Typs „TFC-30-96C“ der Firma YAMAICHI in Verbindung mit den zugehörigen dreireihigen Steckern des Typs „FNS13-09600-00BF“ derselben Firma. Somit war die Positionierung der Stecker auf der Backplane gegenüber der Position der System-Platinen nicht mehr von vornherein definiert, sondern konnte in Grenzen frei gewählt werden, wobei eine gute händische Erreichbarkeit der einzelnen Steckverbindungen hinsichtlich einer möglichst barrierefreien Montage wie Demontage im Vordergrund stand. Seitens der Backplane-Platinen werden die Schneidklemm-Stecker des Flachbandkabels durch die 96-poligen Stecker des Typs „0973 196 6903“ der Firma HARTING aufgenommen. Für die Anschlüsse der Systemplatinen hin zum Flachbandkabel kamen dabei Messerleisten des Typs „0903 696 6921“ ebenfalls von der Firma HARTING zum Einsatz.

- **Schnittstelle zwischen den Backplane-Platinen**

Um nunmehr die Signalpegel zwischen den Platinen der Backplane zu übertragen, war es nötig auch diese untereinander zu verbinden. Hierbei fiel die Wahl auf eine stabile Verbindung mittels der Federleiste „0973 296 6801“ (Bauform „R“), sowie der Messerleiste „0903 696 6921“ (Bauform „C“), welche beide von HARTING produziert werden. Obwohl die hierbei verwendeten Steckerleisten verschiedenen Bauformen entstammen, sind diese miteinander steckkompatibel, was auch seitens des Herstellers bestätigt wurde.

2.4. Die Frontplane-Platinen

Um die unabhängig von den Mikrocontroller-Signalen erfassten Signalpegel an den Ein- und Ausgangs-Strukturen dem Systemnutzer optisch sichtbar zu machen, sowie die benötigten Eingabe-Schnittstellen, wie das Dimm-Potentiometer und die Computerschnittstelle herauszuführen, war es nötig, das System des Prüfgerätes durch eine Frontplane zu ergänzen. Auf Grund der hohen Anzahl von Systemplatinen und des dadurch erhöhten Platzbedarfs war es notwendig zwei individuell an die zugehörigen System-Platinen angepasste Frontplane-Platinen zu realisieren.

2.4.1. Schnittstellen zu den Systemplatinen

Als Schnittstellen zu den Systemplatinen wurden hier die kodierbaren 96-poligen Federleisten „0903 796 6825“ von HARTING verwendet, um die Option zu schaffen, einem fälschlichen Einsetzen der Systemplatinen an einem ihnen nicht zugedachten Steckplatz entgegenzuwirken und so sicherzugehen, dass nur die richtige Systemplatine an das ihr zugedachte Anzeigefeld gesteckt werden kann.

Hinsichtlich der Positionierung der jeweiligen Schnittstellen zu den Systemplatinen standen folgende Überlegungen im Vordergrund:

- **Einteilung der Platine „Frontplane_1“**
Die Aufteilung der „Frontplane_1“ konnte auf Grund der geringen vertikalen Ausdehnung der zugehörigen Systemplatinen - namentlich der Eingangsplatinen, der Ein-/Ausgangs-Platine sowie der Starter-Platine - relativ freizügig definiert werden, sodass bei dieser ein gleich bleibender Abstand gewählt wurde, wodurch die verfügbare Fläche bestmöglich genutzt erschien.
- **Einteilung der Platine „Frontplane_2“**
Die Schnittstellen-Positionierung auf dieser Platine wurde durch die benötigten Freiräume der zugehörigen Systemplatinen weitestgehend vorgegeben. Ebenso definierte die Funktionalität der jeweiligen Platinen bereits im Groben die Reihenfolge der Schnittstellen auf der Frontplane-Platine.

So stand fest, dass die Ausgangsplatinen auf Grund ihrer Exposition hinsichtlich möglicher ESD-Ereignisse durch den zentralen Masseknoten auf der Versorgungsplatine nach Möglichkeit von der Messplatine sowie der den Mikrocontroller-tragenden Platine getrennt sein sollte. Da selbiges für die Eingangsplatinen der „Frontplane_1“ gilt, war somit die Integration der Ausgangsplatinen in unmittelbarer Nähe zum Verbindungsstecker zur „Frontplane_1“ definiert, auf welche sodann die Versorgungs-, die Mess- und die Mikrocontrollerplatine entsprechend der hier beschriebenen Reihung folgen. So sollte damit gewährleistet werden, dass der zentrale Masseknoten auf der Versorgungsplatine ESD-bedingte Ableitströme vor der Messplatine und der Mikrocontrollerplatine abfangen würde und mögliche ESD-Ereignisse an der Messplatine unmittelbar in die Systemversorgung abgeführt werden würden.

In Hinblick auf die gewählten Abstände der Schnittstellen musste hierbei speziell auf die vertikalen Ausdehnungen der Platinen Rücksicht genommen werden. So war besonders zu beachten, dass die Versorgungsplatine auf Grund der Spule L2 des Typs „14 224 35“ von NEWPORT COMPONENTS auf der Platinen-Unterseite eines minimalen Abstandes von 15mm und auf Grund der Kühlkörper auf der Platinenoberseite eines Minimalabstandes von 25,4mm zu jeder anderen Platine bedarf.

Um nun diesen Vorgaben gerecht werden zu können und trotzdem mit zwei Frontplane-Platinen im Europakarten-Format ein Auslangen zu finden, musste

jedoch der Kompromiss eingegangen werden, dass das Mikrocontroller-Board, montiert auf dessen Träger-Platine, über den seitlichen Rand der „Frontplane_2“ hinausragt, da sie mit dem dort verbauten Spannungsregler eine vertikale Ausdehnung von rund 35mm gegenüber der Oberfläche der Träger-Platine erreicht.

2.4.2. Strukturen auf den Frontplane-Platinen

Entsprechend der unterschiedlichen Strukturen der Applikationsbereiche (der Eingänge, der Ausgänge, usw. . . .) war auch hinsichtlich der Anzeigen hier der Schritt zu verschiedenen Strukturen zu setzen. Ebenso zu unterscheiden waren dabei die diversen Ausführungsvarianten im Zusammenhang mit den notwendigerweise verschiedenen Ausgangsrealisierungen (siehe Abschnitt 2.2.4). Um eine möglichst weitgehende Trennung zwischen den einzelnen den Systemplatinen zugeordneten Bereichen auf den Frontplane-Platinen zu erreichen, wurde jedem dieser Abschnitte die benötigten Versorgungspotentiale über die zugehörige Systemplatine zugeführt und auf jegliche Verbindungen derer untereinander auf der Frontplane verzichtet.

2.4.2.1. Die Struktur der Anzeige der Eingangs-Pegel

Der hier als zentrales Element der Stromfluss-Analyse eingesetzte Opto-Koppler des Typs „PC3Q67QJ000F“ bringt gleich einige hier wichtige Eigenschaften, die für seine Auswahl sprachen, mit. So ist durch dessen Einsatz einerseits die Beeinflussung des Signal-Kreises durch den Anzeige-Kreis ausgeschlossen, und andererseits bringt diese Potential-Trennung gleich den Vorteil mit sich, dass der Abgriff der Anzeige-Information auf der „Primärseite“ des Opto-Kopplers nahe der +24V-Versorgungsspannung erfolgen kann, während die dadurch gesteuerte Schaltfunktion der „Sekundärseite“ nahe am Potential AGND erfolgt.

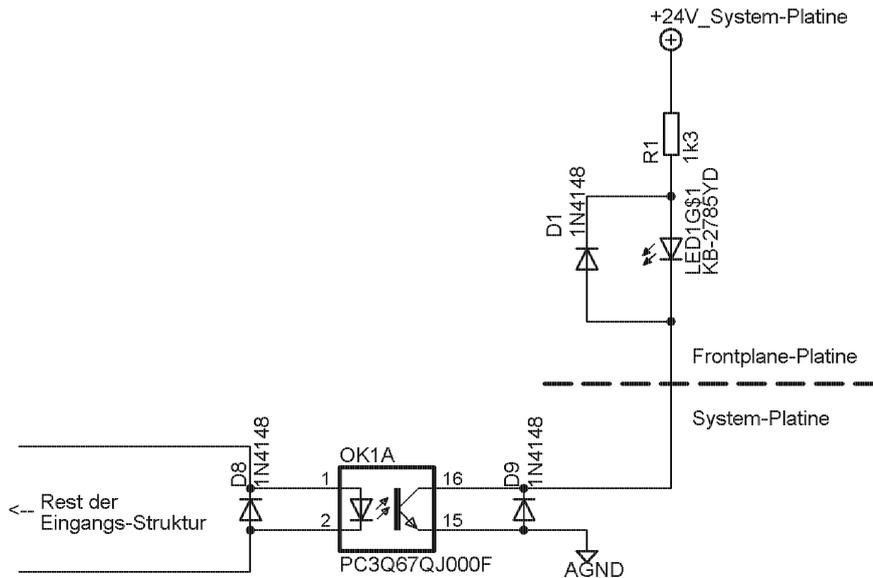


Abbildung 2.64.: Struktur der Anzeige der Eingangs-Pegel

Der Anzeigeteil auf der Frontplane selbst ergab sich hinsichtlich der Dimensionierung der Bauteile folgendermaßen:

Auf Grund des absehbaren geringen Platzangebotes auf der zugehörigen Frontplane-Platine, sowie der leichteren Anpassung einer Frontabdeckung des gesamten Platinen-Verbandes fiel die Entscheidung zu Gunsten der Verwendung von LED-Balken des Typs „KB-2785YD“ von KINGBRIGHT. Danach ging es an die Dimensionierung des jeweils nötigen Vorwiderstandes:

$$R1 = \frac{+24V - V_{F-LED}}{I_{F-LED}}$$

$R1$... Vorwiderstand der Anzeige ... [ergibt sich zu 1095Ω] (2.46)

$+24V$... Versorgungs-Spannung des Prüfgerätes ... [$+24V$]

V_{F-LED} ... Spannungsabfall an der LED bei I_{F-LED} ... [$+2,1V$][31, S.2]

I_{F-LED} ... angepeilter Stromfluss durch die LED ... [$20mA$][31, S.2]

Auf Grund der jedoch maximalen Versorgungs-Spannung von $+28V$ wurde als Vorwiderstand ein Widerstands-Wert von $1,3k\Omega$ gewählt und in Form eines Widerstandes des Typs „CFR50J1K3“ von TYCO ELECTRONICS realisiert.

2.4.2.2. Die Strukturen der Anzeigen der Ausgangs-Pegel

Entsprechend der verschiedenen Ausgangsstrukturen waren deren Unterschiede auch im Lichte der Planung der Anzeigen genauer zu betrachten. So wurde deutlich, dass trotz der vier unterschiedlichen Ausgangsstrukturen hier nur zwei verschiedene Schaltungen nötig sind:

- **Anzeige-Struktur für Ausgänge der „T/L“- und der „C/NC“-Struktur**
In dieser Struktur wird der ausgegebene Pegel, seitens der Ausgabe-Struktur gegenüber der zugehörigen System-Platine zur Verfügung gestellten Versorgungsspannung von +24V, mittels der hier gezeigten Schaltung zur Anzeige gebracht:

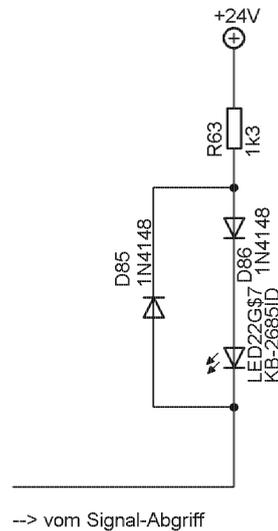


Abbildung 2.65.: Anzeige gegen +24V

Wie hier gezeigt muss der Ausgang eine leitende Verbindung gegenüber GND darstellen um die Anzeige zum Leuchten zu bringen. Zwar unterläuft diese Anzeige-Struktur somit die Geber-Nachbildung hinsichtlich des Tristate-Zustandes, da aber die Fahrzeug-Elektronik den Pegel mittels einer gegen deren +24V-Versorgung geklemmten Opto-Koppler-Schaltung auswertet, bleibt die Funktionalität der gesamten Prüfgerät-Strukturen aber vollauf erhalten.

Speziell an dieser Stelle wird nochmals darauf hingewiesen, dass es sich bei dieser Entwicklung um einen Prototypen handelt und somit die direkte Anzeige der Ausgangs-Pegel und nicht der mikrocontrollerseitigen Signale durchaus als Investition in die Überprüfbarkeit der richtigen Funktion des Prüfgerätes angesehen werden kann.

- **Anzeige-Struktur für Ausgänge der „T/H“- und der „H/L“- Struktur**
Im Rahmen dieser Schaltung wird der ausgegebene Pegel seitens der Ausgabe-Struktur gegenüber dem von der System-Platine bereitgestellten GND-Pegel zur Anzeige gebracht. Hierzu wird folgende Schaltung verwendet:

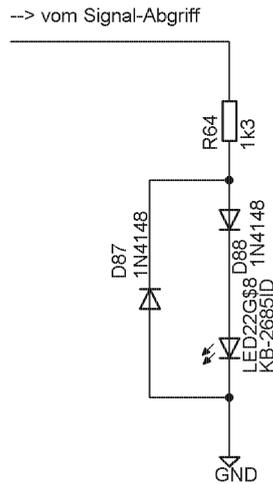


Abbildung 2.66.: Anzeige gegen GND

Wie der Schaltung hier zu entnehmen ist, muss der Ausgang auf der zugehörigen System-Platine eine leitende Verbindung gegenüber den +24V darstellen, um die Anzeige zum Leuchten anzuregen. Auch in diesem Fall gilt zwar, dass diese Form der zur Anzeigebringung die strenge Definition der Geber-Nachbildung hinsichtlich des Tristate-Zustandes unterläuft, da aber die Auswertung des Ausgangs-Pegels seitens der Kfz-Elektronik mittels einer an GND geklemmten Opto-Koppler-Schaltung erfolgt, bleibt die Funktionalität der Gesamtheit der Prüfgerät-Strukturen insgesamt gewahrt.

Speziell an dieser Stelle wird nochmals darauf hingewiesen, dass es sich bei dieser Entwicklung um einen Prototypen handelt und somit die direkte Anzeige der Pegel und nicht der mikrocontrollerseitigen Signale durchaus als Investition in die Überprüfbarkeit der richtigen Funktion des Prüfgerätes angesehen werden kann.

Wie man jedoch sieht, bedingen die zu erwartenden Signalzustände der Ausgänge gegenüber dem Bezugspotential bzw. der Versorgungsspannung nur eine einmalige Dimensionierung der Anzeigen, da der Potentialverlauf in beiden Fällen über die Anzeige-Elemente einheitlich verläuft. Nachdem die Wahl auf den LED-Balken des Typs „KB-2685ID“ von KINGBRIGHT gefallen war, ging die Dimensionierung des Vorwiderstandes folgendermaßen vor sich:

$$R_{VOR} = \frac{V_{Vers} - V_{F-1N4148} - V_{F-LED}}{I_{F-LED}}$$

- R_{VOR} ... Vorwiderstand der Anzeige ... [ergibt sich zu 1050Ω]
 V_{Vers} ... Spannungs-Differenz der Versorgung des Prüfgerätes ... [+24V]
 $V_{F-1N4148}$... Spannungsabfall an einer 1N4148-Diode $I_F=10\text{mA}$
 ... [+1V][23, S.3]
 V_{F-LED} ... Spannungsabfall an der LED bei I_{F-LED} ... [+2,0V][28, S.2]
 I_{F-LED} ... angepeilter Stromfluss durch die LED ... [20mA][28, S.2]
- (2.47)

Da immer die maximale Versorgungs-Spannung von +28V im Hinterkopf zu behalten war, wurde ein Widerstands-Wert von 1,3kΩ gewählt und in Form eines Widerstandes des Typs „CFR50J1K3“ von TYCO ELECTRONICS realisiert.

2.4.2.3. Anzeigen der Versorgungs-Spannungsebenen

Hinsichtlich der Versorgungs-Platine wurde ins Auge gefasst, die Verfügbarkeit der einzelnen Spannungspegel, speziell in Hinblick auf die Verzögerungen und Abhängigkeiten während des Einschaltens, dem Nutzer ersichtlich zu machen.

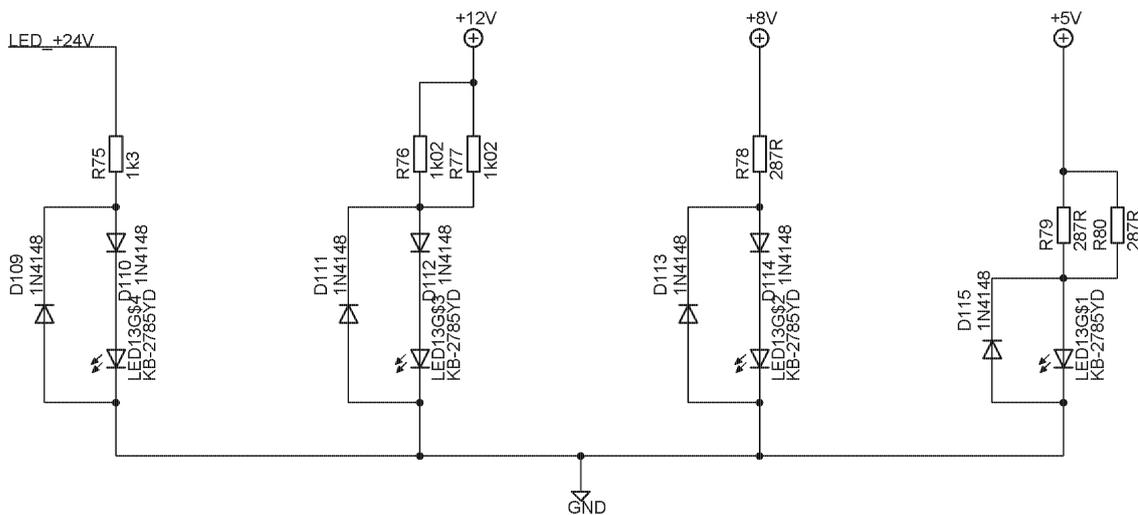


Abbildung 2.67.: Anzeigen der Versorgungs-Spannungsebenen

Wie hier zu sehen, konnten an sich stets dieselben Strukturen zur Anwendung gelangen. Die Anpassung an die Spannungspegel der verschiedenen Spannungsebenen erfolgte dabei über die Vorwiderstände. Die notwendigen Berechnungen hierzu wurden folgendermaßen durchgeführt:

- **Anzeige der „+24V-Spannungs-Schiene“**

Berechnung des zugehörigen Vor-Widerstandes:

$$R_{VOR-24V} = \frac{V_{Vers-24V} - V_{F-1N4148} - V_{F-LED}}{I_{F-LED}}$$

$$\begin{aligned} R_{VOR-24V} & \dots \text{Vorwiderstand der Anzeige} \dots [\text{ergibt sich zu } 1045\Omega] \\ V_{Vers-24V} & \dots \text{Pegel der „+24V-Versorgungs-Schiene“} \dots [+24V] \\ V_{F-1N4148} & \dots \text{Spannungsabfall an einer 1N4148-Diode } I_F=10\text{mA} \\ & \dots [+1V][23, S.3] \\ V_{F-LED} & \dots \text{Spannungsabfall an der LED bei } I_{F-LED} \dots [+2,1V][31, S.2] \\ I_{F-LED} & \dots \text{angepeilter Stromfluss durch die LED} \dots [20\text{mA}][31, S.2] \end{aligned} \quad (2.48)$$

Auf Grund der maximalen Versorgungs-Spannung von +28V wurde ein Widerstands-Wert von 1,3kΩ gewählt und in Form eines Widerstandes des Typs „CFR50J1K3“ von TYCO ELECTRONICS realisiert.

- **Anzeige der „+12V-Spannungs-Schiene“**

Berechnung des zugehörigen Vor-Widerstandes:

$$R_{VOR-12V} = \frac{V_{Vers-12V} - V_{F-1N4148} - V_{F-LED}}{I_{F-LED}}$$

$$\begin{aligned} R_{VOR-12V} & \dots \text{Vorwiderstand der Anzeige} \dots [\text{ergibt sich zu } 445\Omega] \\ V_{Vers-12V} & \dots \text{Pegel der „+12V-Versorgungs-Schiene“} \dots [+12V] \\ V_{F-1N4148} & \dots \text{Spannungsabfall an einer 1N4148-Diode } I_F=10\text{mA} \\ & \dots [+1V][23, S.3] \\ V_{F-LED} & \dots \text{Spannungsabfall an der LED bei } I_{F-LED} \dots [+2,1V][31, S.2] \\ I_{F-LED} & \dots \text{angepeilter Stromfluss durch die LED} \dots [20\text{mA}][31, S.2] \end{aligned} \quad (2.49)$$

Realisiert wurde dieser Vorwiderstand durch die Parallelschaltung zweier Widerstände des Typs „RN73C2A1K02BTG“ von TYCO ELECTRONICS mit jeweils einem Widerstandswert von 1,02kΩ.

- **Anzeige der „+8V-Spannungs-Schiene“**

Berechnung des zugehörigen Vor-Widerstandes:

$$R_{VOR-8V} = \frac{V_{Vers-8V} - V_{F-1N4148} - V_{F-LED}}{I_{F-LED}}$$

$$\begin{aligned} R_{VOR-8V} & \dots \text{Vorwiderstand der Anzeige} \dots [\text{ergibt sich zu } 245\Omega] \\ V_{Vers-8V} & \dots \text{Pegel der „+8V-Versorgungs-Schiene“} \dots [+8V] \\ V_{F-1N4148} & \dots \text{Spannungsabfall an einer 1N4148-Diode } I_F=10\text{mA} \\ & \dots [+1V][23, S.3] \\ V_{F-LED} & \dots \text{Spannungsabfall an der LED bei } I_{F-LED} \dots [+2,1V][31, S.2] \\ I_{F-LED} & \dots \text{angepeilter Stromfluss durch die LED} \dots [20\text{mA}][31, S.2] \end{aligned} \tag{2.50}$$

Ausgeführt wurde der Vorwiderstand dieser Schaltung in Form eines Widerstandes des Typs „RN73C2A287RBTG“ von TYCO ELECTRONICS, dem ein Widerstandswert von 287Ω zuzuschreiben ist.

- **Anzeige der „+5V-Spannungs-Schiene“**

Berechnung des zugehörigen Vor-Widerstandes:

$$R_{VOR-5V} = \frac{V_{Vers-5V} - V_{F-LED}}{I_{F-LED}}$$

$$\begin{aligned} R_{VOR-5V} & \dots \text{Vorwiderstand der Anzeige} \dots [\text{ergibt sich zu } 145\Omega] \\ V_{Vers-5V} & \dots \text{Pegel der „+5V-Versorgungs-Schiene“} \dots [+5V] \\ V_{F-LED} & \dots \text{Spannungsabfall an der LED bei } I_{F-LED} \dots [+2,1V][31, S.2] \\ I_{F-LED} & \dots \text{angepeilter Stromfluss durch die LED} \dots [20\text{mA}][31, S.2] \end{aligned} \tag{2.51}$$

Realisiert wurde der hier verlangte Vorwiderstand durch die Parallel-Schaltung zweier 287Ω -wertiger Widerstände des Typs „RN73C2A287RBTG“ von TYCO ELECTRONICS.

2.4.2.4. Die hier ausgeführten Benutzer-Schnittstellen

Über die Anzeige-Einheiten der Frontplane-Platinen hinaus befinden sich auf der Platine „Frontplane_2“ noch zwei Schnittstellen, die nun hier vorgestellt werden sollen:

Das Dimm-Potentiometer

Das hier ausgeführte Potentiometer des Typs „3310Y-1-503L“ von BOURNS ersetzt

jenes im Fahrzeug verbaute, welches hier wie da zur Dimmung der Anzeige-Helligkeit verwendet wird, da die Ansteuerung der Anzeigen seitens der Kfz-Elektronik pulsweitenmoduliert erfolgt und auch diese Funktionalität natürlich im Rahmen des Tests mittels des Prüfgerätes näher betrachtet werden soll.

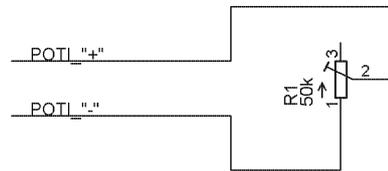


Abbildung 2.68.: Das Dimm-Potentiometer

Die serielle Schnittstelle des Prüfgerätes

Die hier gezeigte 9-polige D-Sub-Federleiste des Typs „09661117501“ der Firma HARTING stellt den Anschluss der seriellen Schnittstelle des Prüfgerätes zur Anbindung des PCs dar, über welche die Prüfergebnisse der Kfz-Elektronik zur weiteren Auswertung an den Computer übermittelt und die Prüfaufträge an das Prüfgerät gesendet werden.

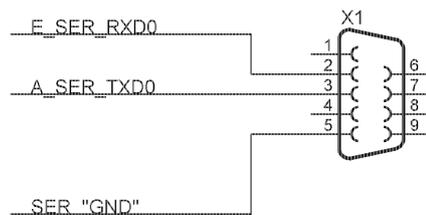


Abbildung 2.69.: Die serielle Schnittstelle des Prüfgerätes

2.5. Die Adapter-Platinen

Diese Platinen stellen weitgehend die Schnittstelle der System-Platinen gegenüber der Kfz-Elektronik dar und dienen hauptsächlich dazu die Signale aus der zu prüfenden Elektronik-Einheit auf die einzelnen Eingangs-Strukturen innerhalb des Prüfgerätes zu verteilen bzw. die Ausgangs-Signale des Prüfgerätes den zugehörigen Eingängen der Kfz-Elektronik zuzuführen. Die beiden Innen-Layer dieser Platinen führen die Versorgungs-Pegel des Prüfgerätes um einerseits diese den entsprechenden Strukturen zur Verfügung stellen zu können, sowie die dahinterliegenden System-Platinen gegenüber externen Stör-Feldern möglichst gut zu schirmen.

2.5.1. Die Schnittstellen der Adapter-Platinen

Im Rahmen dieser Platinen war es notwendig so einiges an Schnittstellen zu realisieren. So mussten die Schnittstellen hin zu den System-Platinen, sowie hin zur Kfz-Elektronik umgesetzt und auch noch eine Verbindung zwischen den beiden Adapter-

Platinen geschaffen werden. Näheres zu den jeweiligen Umsetzungen dieser Vorgaben ist den folgenden Absätzen zu entnehmen:

- **Schnittstellen zu den System-Platinen**

Die Anbindungen hin zu den „innenliegenden“ System-Platinen wurden mittels 9-poligen Sub-D-Steckern des Typs „09 66 151 6512“ der Firma HARTING realisiert. Die Platzierung dieser Schnittstellen richtete sich dabei nach den bereits platzierten Schnittstellen auf den jeweiligen System-Platinen und den zugehörigen Steckverbindungen dieser auf den Frontplane-Platinen. Näheres zu diesen letztgenannten Schnittstellen-Anordnungen ist dem zugehörigen Abschnitt 2.4.1 der Dokumentation der Frontplane-Platinen zu entnehmen.

- **Schnittstellen zur Kfz-Elektronik**

Für diese Schnittstellen hin zu den Anschluss-Leitungen der Kfz-Elektronik wurden ebenfalls Sub-D-Stecker verwendet, deren Pin-Anzahl sich jeweils nach der zu realisierenden Kontakt-Anzahl sowie deren Strombelag richtete. So kamen dabei folgende Stecker-Typen der Firma HARTING zum Einsatz:

- „09 66 351 6512“ (Buchse, 25-polig)
- „09 66 251 6512“ (Buchse, 15-polig)
- „09 66 151 6512“ (Buchse, 9-polig)
- „09 65 261 6712“ (Stecker, 15-polig)
- „09 65 161 6712“ (Stecker, 9-polig)

Ausgerichtet wurden diese Schnittstellen dabei auf den Adapter-Platinen, entsprechend den kürzest-möglichen Signalwegen hin zu den jeweils zugehörigen Steckern, in Richtung der jeweiligen System-Platine.

- **Schnittstellen zwischen den Adapter-Platinen**

Zur großflächigen Verbindung der beiden Adapter-Platinen in Hinblick auf die Aufrechterhaltung geschlossener Versorgungs-Flächen zu Schirmungs-Zwecken sowie der Übertragung einzelner Signale wurden zwei 96-polige Stecker der Firma HARTING gewählt. Dabei kam neben der Federleiste des Typs „0973 296 6801“ (Bauform „R“) die Messerleiste des Typs „0903 696 6921“ (Bauform „C“) zum Einsatz, wobei seitens des Herstellers die Kompatibilität der beiden gewährleistet wurde.

2.5.2. Strukturen auf den Adapter-Platinen

Hauptaufgabe dieser Platinen ist die Bereitstellung der Schnittstellen zwischen den System-Platinen und den Steckerbelegungen seitens der Kfz-Elektronik. Über diese Funktion des Auskreuzens der Signale hinaus übernehmen diese Platinen außerdem die Aufgabe der Verteilung bzw. der Bereitstellung der den Signalen zugeordneten Versorgungs-Spannungen, auf welche in den nächsten Abschnitten näher eingegangen wird.

- **Adapter-Bereiche der LED-Ausgänge des Prüflings**

Die diesen Ausgängen der Kfz-Elektronik zugeordneten Stecker stellen bereits die Versorgungs-Spannung für die angeschlossenen LED-Anzeigen über einzelne Pins zur Verfügung, die auf diesen Platinen nun auf die einzelnen zugeordneten Eingangs-Strukturen verteilt wird. Näheres zu dieser Ausgangs-Struktur ist dem Abschnitt 2.2.3.1 dieser Dokumentation zu entnehmen, welcher sich mit der Auswertung der LED-Ausgänge des Prüflings beschäftigt.

- **Adapter-Bereiche der Instrumenten-Beleuchtung und des Warnsummers**

Diese Strukturen der Kfz-Elektronik werden im eingebauten Zustand über die zugeordneten Stecker aus der Elektrik heraus mit der Versorgungs-Spannung des Fahrzeugs versorgt. Um dies nachzuempfinden versorgt das Prüfgerät diese Strukturen über die zugehörigen Stecker auf den Adapter-Platinen direkt mit der Versorgungs-Spannung aus dem Prüfgerät heraus. Weiterführendes über diese Strukturen findet man im zugeordneten Dokumentations-Abschnitt 2.2.3.2.

- **Adapter-Bereiche der Ausgangs-Strukturen des Prüfgerätes**

Ist zur Auswertung des jeweiligen Ausgangs-Pegels des Prüfgerätes seitens der Kfz-Elektronik eine Verbindung der dortigen Opto-Koppler-Schaltung zur Versorgungs-Spannung nötig, so ist diese im verbauten Zustand über den zugehörigen Stecker über die Fahrzeug-Elektrik mit dieser verbunden. Im Zuge der Entwicklung des Prüfgerätes wurde beschlossen, diese Versorgung der Auswerte-Struktur in der Kfz-Elektronik über die Adapter-Platinen sicherzustellen. Für weiterführende Informationen in Bezug auf die Ausgangs-Strukturen des Prüfgerätes bediene man sich dem Abschnitt 2.2.4 dieser Dokumentation.

2.6. Der Aufbau des Verbandes

In diesem Abschnitt nun soll eine Übersicht über die räumliche Anordnung der einzelnen Platinen im Gesamtverband gegeben werden. Hierfür folgen nun Darstellungen des Verbandes aus verschiedenen Perspektiven im Rahmen welcher alle Platinen namentlich gekennzeichnet werden:

In folgender Abbildung 2.70 ist die Frontalansicht des Prüfgerätes dargestellt, an Hand welcher folgende vier Platinen zu identifizieren sind:

Frontplane_2 (links)

(rechts) **Frontplane_1**

Backplane_2 (links unten)

(rechts unten) **Backplane_1**

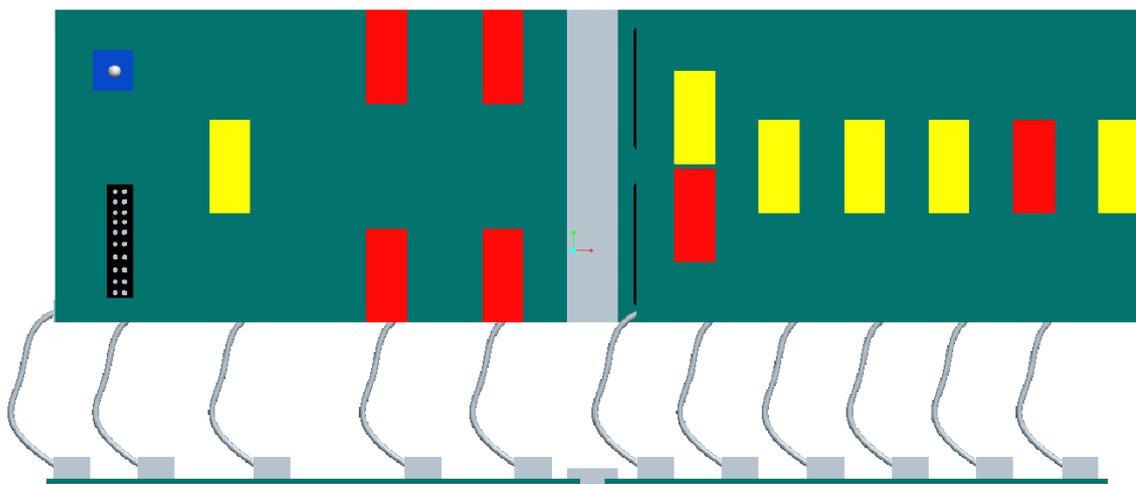


Abbildung 2.70.: Frontalansicht des Prüfgerätes (© KOLAR Costa)

Die Positionierung der folgenden beiden Platinen ist in der hier gezeigten Abbildung 2.71, welche die Rückansicht des Prüfgerätes wiedergibt, dargelegt:

Adapter_1 (links)

(rechts) **Adapter_2**

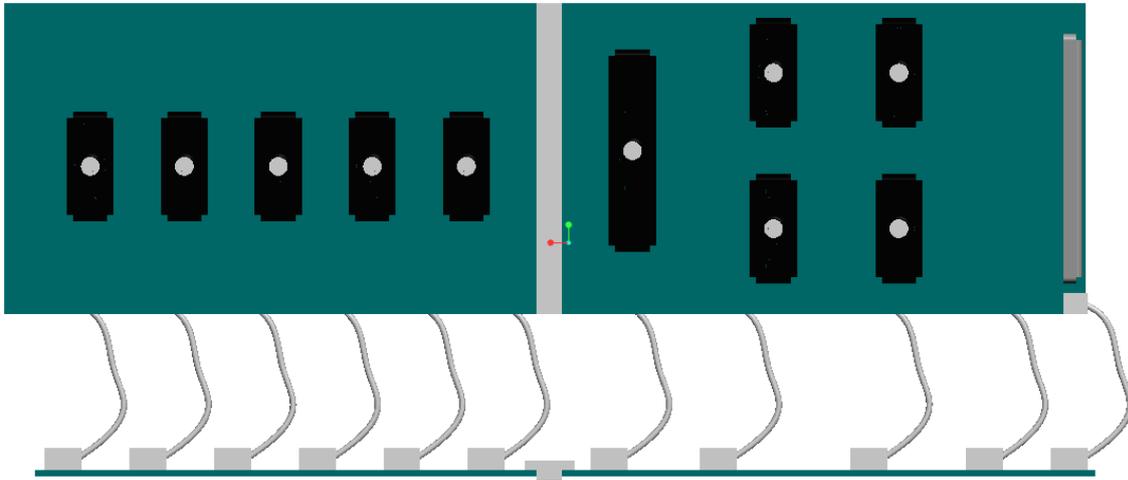


Abbildung 2.71.: Rückansicht des Prüfgerätes (© KOLAR Costa)

In der hier dargestellten Abbildung 2.72 ist die Topansicht des Prüfgerätes abgebildet, an Hand welcher die Anordnung der Systemplatinen im Folgenden wiedergegeben wird:

von links nach rechts

Mikrocontrollerplatine

Messplatine

Versorgung

Ausgaenge_2

Ausgaenge_1

Starter

Ein-__Ausgaenge

Eingaenge_4

Eingaenge_3

Eingaenge_2

Eingaenge_1

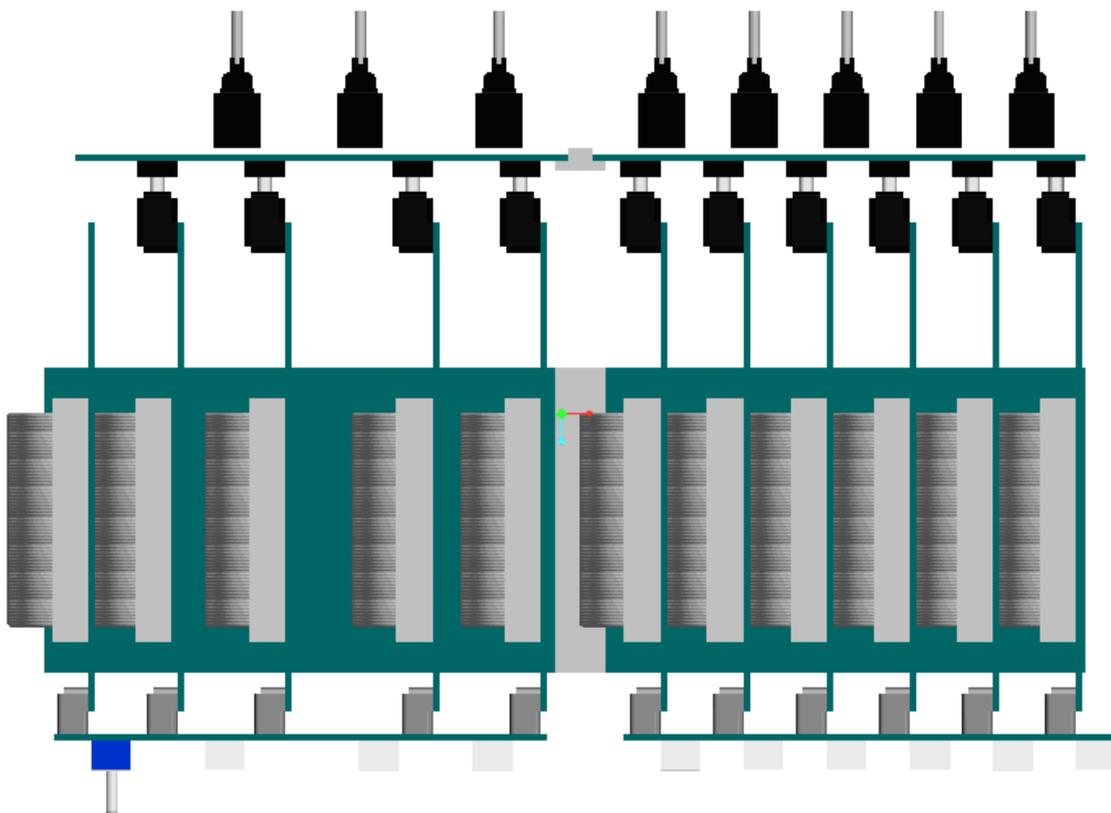


Abbildung 2.72.: Topansicht des Prüfgerätes (© KOLAR Costa)

An dieser Stelle ist noch abschließend in der Abbildung 2.73 eine Seitenansicht des Prüfgerätes dargestellt:

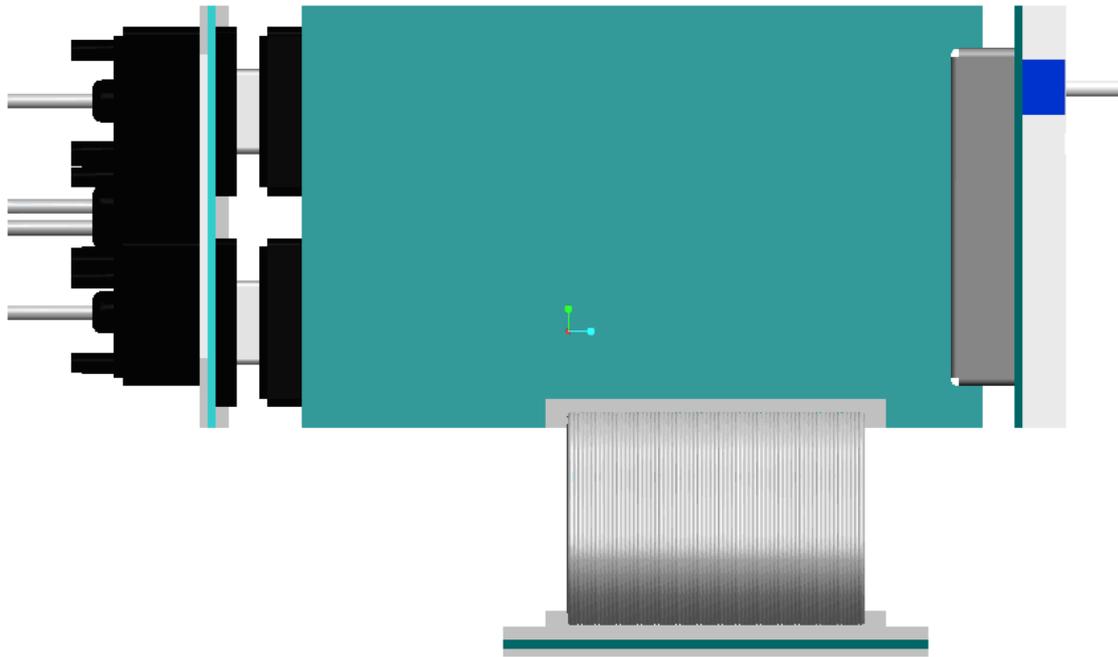


Abbildung 2.73.: Seitenansicht des Prüfgerätes (© KOLAR Costa)

3. Das Mikrocontroller-Board

3.1. Aufgabenstellung

Im Zuge der Nutzung des Mikrocontrollers als zentrales Steuerelement galt es sogleich mehrere Aufgabenbereiche abzudecken. So sollte neben der Generierung der für die Kfz-Elektronik erforderlichen Gebersignale auch die Messwertaufbereitung, der daraus resultierenden Ausgangssignale seitens der Kfz-Elektronik, im Rahmen der Mikrocontroller-Nutzung realisiert und die Kommunikation mit dem PC ausgearbeitet werden.

So gliedert sich auch die weitere Beschreibung der einzelnen Tätigkeitsbereiche gemäß der umfassenden Aufgaben entsprechend vielschichtig:

- Konfiguration des Mikrocontrollers C167
- Kommunikation mit dem PC
- Generierung der Gebersignale
- Pegelerfassung an den digitalen Ausgängen der Kfz-Elektronik
- Messung der Systemtakt-Frequenz der Kfz-Elektronik
- Belastungstest der Spannungsquellen der Kfz-Elektronik
- usw.

Da im Rahmen der damit in Zusammenhang stehenden Software-Nutzung neben der Kompilierung und dem Linken auch die Einstellungen seitens Keil μ Vision3 eine große Rolle spielen, sowie auch eine sachgemäße Konfiguration des Terminalprogramms einziger Garant für eine funktionelle Kommunikation zwischen dem Mikrocontroller und dem PC ist, wird im Folgenden zuerst auf diese Einstellungen eingegangen, bevor sich die Dokumentation wieder dem Mikrocontroller-Board selbst zuwendet.

3.2. Verwendete Software-Pakete

Auf Grund der Vorgabe der Verwendung einer frei verfügbaren, kostenlosen Software zur Programmerstellung für den verwendeten Mikrocontroller C167 fiel die Wahl auf die Evaluierungsversion von „Keil μ Vision3“ (V3.30a) aus dem Hause KEIL¹

¹Keil - An ARM Company, 4965 Preston Park Road, Suite 650, Plano, TX 75093, USA - Internet: <http://www.keil.com>

sowie auf die Programmiersprache C. Mit der Wahl der Evaluierungsversion ging aber auch die Vorwegnahme der Beschränkung des Objekt-Codes auf 4kByte einher. Näheres zu den Einschränkungen der Evaluierungsversion sind der Internet-Seite [32] zu entnehmen.

Zum Laden des Applikations-Programmes im erstellten Standard Intel HEX-Format fiel die Wahl auf „Tera Term Pro Web“ (Version 3.1.3) der Firma AYERA TECHNOLOGIES INC.², obwohl auch jedes andere Terminalprogramm wie zum Beispiel „HyperTerminal“ (Version 5.1) von MICROSOFT³ zur Anwendung kommen kann.

3.2.1. Programm-Einstellungen

3.2.1.1. Konfiguration des Tera Term Pro Web

Zum Aufbau einer funktionierenden Übertragungsverbindung zwischen dem Mikrocontroller und dem PC ist gleich nach dem Aufruf des Programms die Art der Verbindung näher zu spezifizieren, da dieses Programm neben der seriellen Schnittstelle auch den Verbindungsaufbau über TCP/IP zur Auswahl stellt. Im Rahmen dieses Projekts wird hierbei jedoch die Wahl zu Gunsten der entsprechenden seriellen Schnittstelle getroffen, deren Verhalten unter „Setup“ / „Serial port..“ näher bestimmt werden kann. Die hier zu treffenden Einstellungen richten sich teils nun nach der gewünschten Tätigkeit, so muss zwischen dem Laden des C-Programmes in Standard Intel HEX-Format und dem Ausführen des Programms unter Verwendung eines Terminalprogrammes unterschieden werden. Demnach sind jeweils folgende Einstellungen zu wählen:

	Programm laden	Programm ausführen
Port:	ausgewählte Schnittstelle	
Baud-Rate:	9600	
Data:	8 bit	
Parity:	none	even
Stop:	1 bit	
Flow control:	none	
Transmit delay:	0 msec/char & 0 msec/line	

Tabelle 3.1.: Konfiguration der Seriellen Schnittstelle im Tera Term Pro Web

3.2.1.2. Konfiguration des Keil μ Vision3

Um den ganzen Funktionsumfang dieses durchaus mächtigen Werkzeugs nutzen zu können sind im Rahmen der Erstellung eines neuen Projekts ein paar Einstellungen vorwegzunehmen. Im Gegenzug dazu erhält man sodann eine Projekt-Datei, die

²Ayera Technologies Inc., 801 Tenth Street, Suite 602, Modesto, CA 95354, USA - Internet: <http://www.ayera.com>

³Microsoft Corporation - <http://www.microsoft.com>

neben den Quellcode-Dateien ebenso sämtliche Einstellungen sowohl für den Compiler, den Assembler, den Linker, als auch unter anderem den Debugger, wie den im Rahmen dieser Arbeit nicht genutzten Flash Loader, enthält.

Orientierung für die in dieser Phase der Projekterstellung notwendigen Schritte bietet die seitens Keil zur Verfügung gestellte Kurzanleitung [33]. So erfolgt im Rahmen des Anlegens eines neuen Projekts neben der Definition des verwendeten Mikrocontrollers, in diesem Fall des C167CR-LM von Infineon und der angepeilten Taktfrequenz, auch die Festlegung vieler weiterer Optionen des Entwicklungs-Tools. Diese Einstellungen können natürlich auch nachträglich über „Options for Target...“ im Menü „Project“ eingesehen und verändert werden. Näheres hierzu ist dem entsprechenden Abschnitt A.3.1 des Anhangs zu entnehmen.

Ebenso wichtig ist es alle C-Files dem Projekt auch zuzuordnen. Hierzu bedient man sich „Components, Environment, Books...“ im Menü „Project“. Dort sind dann dem Unterpunkt „Files“ alle projektrelevanten C-Files sowie die mikrocontrollerspezifische Start-Datei, in unserem Fall namens „START167.A66“, zu benennen. Diese und andere Einstellmöglichkeiten in diesem Menüpunkt entnehme man abermals dem entsprechenden Abschnitt A.3.2 des Anhangs.

3.3. Integrierte Hardware-Blöcke

Ausgangspunkt der Überlegungen bezüglich der Auswahl des zentralen Steuerungselements des Prüfgerätes war die Favorisierung eines bereits allen Parteien bekannten und wohl erprobten Mikrocontrollers. Auf Grund der guten Erfahrungen und ausreichend vorhandenen Ressourcen hinsichtlich der umfassenden Aufgabenstellung fiel sodann die Wahl der Projektpartner auf das bereits am Institut vorhandene und vielseitig in Verwendung stehende Mikrocontroller-Board rund um den „C167CR-LM“ von INFINEON. Nähere Informationen zum Mikrocontroller selbst sind dem zugehörigen Datenblatt [26] zu entnehmen, während das Mikrocontroller-Board näher in der zugehörigen Dokumentation [1] beschrieben ist.

3.3.1. Konfiguration der DIP-Schalter am Mikrocontroller-Board

Um den Mikrocontroller bestmöglich an die gestellten Anforderungen anpassen zu können, wurde im Zuge der Entwicklung des Mikrocontroller-Boards dahingehend darauf Rücksicht genommen, indem acht DIP-Schalter auf der Trägerplatine integriert wurden, die einem eine Vielzahl an Konfigurationsmöglichkeiten freistellen. Näheres dazu ist dem zugehörigen Abschnitt der Dokumentation [1] zu entnehmen. Die zwei im Zusammenhang mit diesem Projekt verwendeten Konfigurationen werden in den folgenden Unterkapiteln unter Anführung der jeweiligen Funktionalität näher beschrieben.

3.3.1.1. Konfiguration des Hex-Lader-Modus

Nach der Erstellung eines neuen Applikations-Programmes für das Mikrocontroller-Board, muss dieses noch vom PC in den Flash-Speicher des Boards übertragen werden. Hierzu ist es neben den vorwiegend software-technischen Vorgängen, welche näher im Kapitel 3.5 beschrieben werden, ebenfalls notwendig hardwareseitig die entsprechenden Voraussetzungen zu schaffen. Die hierzu nötigen Einstellungen an den DIP-Schaltern des Mikrocontroller-Boards sind daher der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen:

DIP-Schalter	Stellung	Konfigurations-Bereich	Konsequenz
Sw1	EIN	Chip-Select-Leitungen	Zwei: /CS1 .. /CS0
Sw2	AUS	Segment-Adressleitungen: verfügbarer Adressbereich:	Zwei: A17 .. A16 256 kByte
Sw3	AUS		
Sw4	AUS	CPU-Frequenz	$f_{\text{XTAL}} * 4 = 16\text{MHz}$
Sw5	AUS		
Sw6	AUS		
Sw7	AUS	Operations-Modus	Hex-Lader-Modus
Sw8	AUS		

Tabelle 3.2.: Konfiguration des Hex-Lader-Modus

3.3.1.2. Konfiguration des Applikations-Modus

Im Zuge der Anwendung eines bereits geladenen Applikationsprogrammes sind folgende Konfigurationen im Rahmen dieses Projektes seitens der DIP-Schalter am Mikrocontroller-Board zu wählen um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten:

DIP-Schalter	Stellung	Konfigurations-Bereich	Konsequenz
Sw1	EIN	Chip-Select-Leitungen	Zwei: /CS1 .. /CS0
Sw2	AUS	Segment-Adressleitungen: verfügbarer Adressbereich:	Zwei: A17 .. A16 256 kByte
Sw3	AUS		
Sw4	X	CPU-Frequenz	$f_{\text{XTAL}} * 1 = 4\text{MHz}$
Sw5	X		
Sw6	EIN		
Sw7	EIN	Operations-Modus	Applikations-Modus
Sw8	AUS		

Tabelle 3.3.: Konfiguration des Applikations-Modus

3.4. Laden eines neuen Applikations-Programms

Wurde mit Hilfe von Keil μ Vision3 und den Unterlagen zum Mikrocontroller C167 in Form des Handbuchs [34] und des Datenblatts [26] das gewünschte C-Programm

erstellt und mittels „Rebuild all target files“ die entsprechende HEX-Datei gewonnen, muss diese noch in den Flash-Speicher des Mikrocontroller-Boards übertragen werden. Hierzu erfolgt die Konfigurierung des Boards entsprechend dem Kapitel 3.3.1.1. Außerdem sind folgende Veränderungen an der Hardware für das Laden des Applikationsprogramms vorzunehmen:

- die Trennung der Backplane-Verbindung hin zur Trägerplatine
- die Trennung der Versorgungsverbindung zwischen dem Mikrocontroller-Board und der Trägerplatine

Nach dem Öffnen des Terminal-Programms und dem Einrichten der seriellen Verbindung gemäß den obigen Konfiguration-Vorgaben (siehe Abschnitt 3.2.1.1) stelle man die Spannungs-Versorgung alleinig des Mikrocontroller-Boards entsprechend der zugehörigen Dokumentation [1, S.2-8] im Umfang von mindestens 8V und einer Strombegrenzung von rund 1A sicher. Daraufhin meldet sich der Mikrocontroller im Hex-Lader-Modus beim Terminal-Programm (Einstellungen der seriellen Schnittstelle: 9600,8,N,1 !):

```
1  
2 # Hex Loader Vers.: Jul 04 2001  
3 # (daaaaa, s, :...)  
4
```

Listing 3.1: Meldung des Mikrocontrollers im Hex-Lader-Modus

Mittels des Menü-Punkts „Send file...“ im Menü „File“ überträgt man sodann die gerade erstellte Applikation im HEX-Format, also die Datei mit der Endung „.H86“, an das Mikrocontroller-Board wo diese im Flash-Speicher abgelegt wird. Näheres zur Programm-Ablage im Flash-Speicher ist der Dokumentation des Mikrocontroller-Board [1, S.2-8,2-9] zu entnehmen.

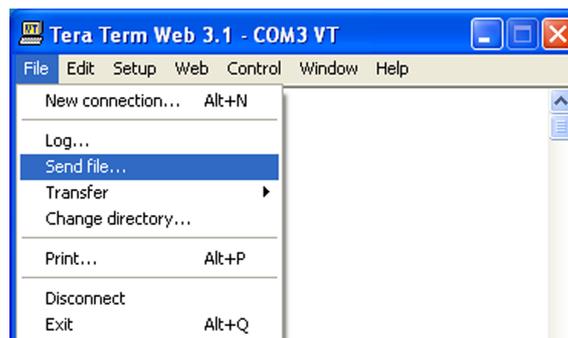


Abbildung 3.1.: „Tera Term Pro Web“ - „Send File...“

```
1
2 # Hex Loader Vers.: Jul 04 2001
3 # (daaaaa, s, :...)
4
5 # Loaded! #
6
```

Listing 3.2: Meldung des Mikrocontrollers nach erfolgtem Laden der Applikation

3.5. Ausführen eines Applikationsprogramms

Um ein geladenes Applikations-Programm auszuführen gibt es zwei Wege, wobei der eine durch den manuellen Aufruf des Programms unter der Konfiguration des Hex-Laders und der andere durch den automatischen im Applikations-Modus des Mikrocontroller-Boards dargestellt wird.

3.5.1. Manuelles Ausführen

Nach dem Hochfahren bzw. manuellen Reset des Mikrocontroller-Boards in der Konfiguration des Hex-Laders sowie nach dem Laden des Applikations-Programms in den Flash-Speicher desselben, besteht die Möglichkeit des manuellen Starts des Programms. Hierzu bedarf es der Eingabe und Übermittlung des Zeichens „s“ über die PC-Tastatur an den Mikrocontroller nach Meldung desselben im Rahmen der Kommunikation über die serielle Schnittstelle.

```
1
2 # Hex Loader Vers.: Jul 04 2001
3 # (daaaaa, s, :...)
4
5 # Loaded! #
6
7
8 # Hex Loader Vers.: Jul 04 2001
9 # (daaaaa, s, :...)
10
11 # Starting Application #
12
13
14 Auswahl des Tests:
15 0..Start-Up
16
17 1..Alle Bereiche
18 2..Starter
19 3..Hauptwarnleuchte
20 4..Dimmer
21 5..1kHz-Systemtakt
22 6..Interne Netzgeraete
23
```

Listing 3.3: Meldung des Mikrocontrollers nach manuellem Start der Applikation

3.5.2. Automatisches Ausführen

Nach der Konfiguration des Mikrocontroller-Boards im Applikations-Modus führt sowohl das Hochfahren als auch der manuelle Reset des Boards zum unmittelbaren Ausführen des im Flash abgelegten Applikations-Programms.

```
1
2 Auswahl des Tests :
3 0.. Start-Up
4
5 1.. Alle Bereiche
6 2.. Starter
7 3.. Hauptwarnleuchte
8 4.. Dimmer
9 5.. 1kHz-Systemtakt
10 6.. Interne Netzgeraete
11
```

Listing 3.4: Meldung des Mikrocontrollers im Applikations-Modus

3.6. Die Mikrocontroller-Software

Zu Gunsten der Übersicht und der leichteren Zuordnung der Tätigkeitsabschnitte wurde das im Rahmen dieser Arbeit entstandene C-Programm in eine Vielzahl von Unterprogrammen heruntergebrochen. Ebenso gab die Beschränkung der Evaluierungsversion Anlass zu diesem Schritt um eine möglichst geringe Code-Redundanz innerhalb des Programms für das Mikrocontroller-Board zu erreichen. Dementsprechend gliedert sich die folgende Dokumentation in folgende Bereiche:

- Konfiguration des Mikrocontrollers
- Globale Variablen und Unterprogramme, sowie die Interrupts
- Serielle Kommunikation und diesbezügliche Datenaufbereitung
- Generierung der Ausgangssignale und Erfassung der digitalen Eingangspegel
- Messung der analogen Eingangsgrößen

3.6.1. Konfiguration des Mikrocontrollers

In der folgenden Tabelle sind die hierbei hauptsächlich beteiligten Dateien, sowie die jeweils darin enthaltenen primären Funktionsblöcke enthalten:

Datei-Name	Inhalt
START167.A66	Start-Up-Sequenz des C167 - Teil des C166-Compiler-Pakets - - Copyright KEIL ELEKTRONIK GmbH -, Aktivierung des Hardware-Watchdogs
Pruefgeraet_ Kfz-Elektronik_ BPz_M578.c	Hauptprogramm Definition der Eingangs-Pegel-Schwelle, Definition der Ausgangs-Anstiegs- und -Abfallzeiten, Konfiguration und Initialisierung der Ports, Konfiguration der Funktionsblöcke

Tabelle 3.4.: Hauptdateien zur Konfiguration des Mikrocontrollers

3.6.1.1. START167.A66

Diese Datei beinhaltet den Startup-Code für den verwendeten Mikrocontroller C167, welcher jeweils sofort nach dem Reset ausgeführt wird und Definitionen zur Konfiguration der Hardware des Mikrocontrollers sowie der Laufzeitumgebung enthält. Näheres hierzu ist der Inline-Dokumentation bzw. der entsprechend Beschreibung dieser Datei auf der Homepage von „Keil Elektronik GmbH & Keil Software, Inc.“ [35] zu entnehmen.

3.6.1.2. Pruefgeraet_Kfz-Elektronik_BPz_M578.c

In dieser Datei erfolgt ein Großteil der projektbezogenen Einstellungen und Register-Initialisierungen hinsichtlich der in Verwendung stehenden Komponenten des Mikrocontrollers. So beschäftigt sich der erste Abschnitt dieser Datei mit den Vorgaben hinsichtlich der zu verwendenden Schaltschwellen der digitalen Eingänge und den Anstiegs- wie Abfallzeiten der digitalen Ausgänge. Näheres hierzu ist dem entsprechenden Kapitel der Mikrocontroller-Dokumentation [34, Kap.7.1,7.2] zu entnehmen.

```
void main (void)
```

Hierin bildet die Definition der digitalen Ein- und Ausgänge als solche und deren Initialisierung den ersten Abschnitt, welcher durch die Vorgaben hinsichtlich der gewünschten Ausgangsstruktur ergänzt wird. Näher beschrieben sind die zur Verfügung stehenden Ports im Kapitel „7 Parallel Ports“ der Dokumentation des Mikrocontrollers [34, Kap.7].

Dem folgt die Initialisierung der seriellen Schnittstelle unter Festlegung und Konfiguration der zu verwendenden Pins, des gewünschten Übertragungsformates, der Übertragungsgeschwindigkeit und der abzufragenden

Fehlervarianten. Die Berechnung des Vorsetzwertes des zugehörigen Registers zur Umsetzung der gewünschten Baudrate erfolgte dabei entsprechend folgender Vorgabe in der Dokumentation des Mikrocontrollers :

$$S0BG \text{ bzw. } S0BRL = \frac{f_{CPU}}{16 \times (2 + \langle S0BRS \rangle) \times B_{Async}} - 1 \quad [34, \text{S.11-11}]$$

$S0BG$	... Baudratengenerator-/Reload-Register
$S0BRL$	... Inhalt des Reload-Registers als „13-Bit Unsigned-Integer“
f_{CPU}	... Taktfrequenz der CPU
$\langle S0BRS \rangle$	... Baudraten-Selektion-Bit
B_{Async}	... Baudrate der asynchronen Übertragung

(3.1)

Für Weiterführendes siehe Kapitel „11 The Asynchronous/Synchronous Serial Interface“ der Mikrocontroller-Dokumentation [34, Kap.11]. (Hierbei anzumerken ist, dass die Simulation der Applikation im Keil μ Vision3 nur unter Ausschluss der Fehlerüberprüfungen zielführend ist!)

Der nächste Abschnitt beschäftigt sich mit der Konfiguration der ebenso in Gebrauch stehenden Capture-/Compare-Timer T0 und T1. Neben der Konfiguration der beiden steht hierbei vor allem das Vorsetzen der Register zur Bestimmung der Laufzeit bis zum Overflow im Mittelpunkt. So wird der Timer T0 als interne Zeitbasis im Ausmaß von 0,1s und der Timer T1 mit einer Laufzeit von 2s definiert, wobei letzterer zur Bedienung des Watchdog-Timers genutzt wird. Der Vorsetzwert der Timer wurde dabei gemäß folgender Berechnungsvorschrift im zugehörigen Kapitel der Mikrocontroller-Dokumentation [34, S.15-6] abgeleitet:

$$P_{Tx} = \frac{(2^{16} - \langle TxREL \rangle) \times 2^{(\langle TxI \rangle + 3)}}{f_{CPU}}$$

ergibt umgeformt:

$$\langle TxREL \rangle = 2^{16} - \frac{P_{Tx} \times f_{CPU}}{2^{(\langle TxI \rangle + 3)}}$$

P_{Tx}	... Periode zwischen zwei aufeinanderfolgende Overflows
$\langle TxREL \rangle$	... Reload-Register von Tx
$\langle TxI \rangle$	... Vorteiler-Option der Eingangsfrequenz von Tx
f_{CPU}	... Taktfrequenz der CPU

(3.2)

Näheres zur Konfiguration dieser Timer ist der Dokumentation im Abschnitt „15 The Capture/Compare Units“ [34, Kap.15] zu entnehmen.

Der nachfolgende Abschnitt beschäftigt sich mit den Einstellungen des Timers T3 der General-Purpose-Unit GPT1, welcher im Rahmen der Frequenzmessung genutzt wird. Hierbei wird dieser Timer zur Zeitmessung und Frequenzableitung auf Basis der vorher geteilten CPU-Taktfrequenz in seinem vollen Register-Umfang von 16Bit genutzt. Die resultierende Eingangsfrequenz des Timers T3 sowie die daraus folgende Auflösung ergibt sich entsprechend den Formeln in der zugehörigen Dokumentation [34, S.10-5] folgendermaßen:

$$f_{T3} = \frac{f_{CPU}}{8 \times 2^{\langle T3I \rangle}}$$

$$r_{T3}[\mu\text{s}] = \frac{8 \times 2^{\langle T3I \rangle}}{f_{CPU}[\text{MHz}]}$$

(3.3)

f_{T3}	... Eingangsfrequenz des Timers T3
f_{CPU}	... Taktfrequenz der CPU
$\langle T3I \rangle$	... Teilungsquotient der CPU-Taktfrequenz
r_{T3}	... zeitliche Auflösung des Timers T3

Näheres zu diesem General-Purpose-Timer entnehme man dem zugehörigen Kapitel „10 The General Purpose Timer Units“ der Dokumentation des Mikrocontrollers [34, Kap.10].

Beschlossen wird dieser Block der Konfigurationen durch die Einstellung des benötigten A/D-Umsetzers. Neben der Festlegung des verwendeten Kanals und der Umsetzungs-Einstellungen, werden hierbei auch die Sample-Time und die Umsetzungs-Zeit festgelegt. Hierbei bestimmt die Wahl der Sample-Time die Zeitspanne welche den Eingangs-Kapazitäten des A/D-Wandlers zur Verfügung steht um sich auf die zu messende Eingangsspannung aufzuladen. Mit der Definition der zur Verfügung stehenden Umsetzungszeit wiederum hat man Einfluss auf die Lade- und Entlade-Ströme der internen Kapazitäten des A/D-Umsetzers, der sich der sukzessiven Approximation bedient um die Mess-Spannung bestmöglich abzubilden. Entsprechend dieser Überlegungen und den Empfehlungen seitens der zugehörigen Mikrocontroller-Dokumentation [34, S.17-12,17-13] wurden die diesbezüglichen Entscheidungen getroffen und im Rahmen der Konfiguration des A/D-Umsetzers umgesetzt. Abschließend wurde noch das Ausgabe-Register auf Null gesetzt. Weitere Informationen zu dieser Funktionalität des Mikrocontrollers ist dem zugeordneten Kapitel „17 The Analog/Digital Converter“ der Mikrocontroller-Dokumentation [34, Kap.17] zu entnehmen.

Abgeschlossen wird diese Funktion durch die Freigabe der Interrupts sowie dem erstmaligen Bedienen des Watchdogs, auf welches der Aufruf des Auswahl-Menüs folgt und diese Funktion letztlich beschließt.

3.6.2. Globale Variablen und Unterprogramme, sowie die Interrupts

In der folgenden Tabelle sind die hierbei hauptsächlich beteiligten Dateien, sowie die jeweils darin enthaltenen primären Funktionsblöcke enthalten:

Datei-Name	Inhalt
GlobaleVariablen.c	Ablage der globalen Variablen, Ablage der zeitlichen Parameter
Verzoegerungen.c	Zeitbasisorientierte Programm-Unterbrechung, Zeitlich variable Programmunterbrechung
Interrupts.c	Ableitung der Zeitbasis, Bedienung des Watchdogs, div. Fehlermeldungen

Tabelle 3.5.: Hauptdateien zur Ablage globaler Variablen und Unterfunktionen

3.6.2.1. GlobaleVariablen.c

Innerhalb dieser Datei finden neben den Variablen, welche in mehreren anderen Dateien der Applikation Verwendung finden, auch die Verzögerungszeiten, welche

innerhalb der Kfz-Elektronik von Belang sind ihren Platz. Die Angaben zu Letzteren erfolgen dabei in Vielfachen der prüfgerät-internen Zeitbasis.

3.6.2.2. Verzögerungen.c

`void Verzögerung (void)`

In dieser Funktion wurde die Generierung einer Programmunterbrechung im Ausmaß der internen Zeitbasis in den Vordergrund gestellt. Erreicht wird dies durch das Abwarten des Overflow-Interrupts des vorgesetzten Capture-/Compare-Timers T0. Der Inhalt dieser Funktion stellt sich nun dermaßen dar, dass der Timer T0 beim Sprung in diese angehalten, vorgesetzt, der Timer wieder gestartet und das Erreichen des Overflow-Interrupts abgewartet wird, bevor diese Funktion wieder verlassen wird.

`void Delay (unsigned int delaytime)`

Mit dem Sprung in diese Funktion wird der aufrufende Programmabschnitt in seiner Abarbeitung für ein ganzzahlig Vielfaches der internen Zeitbasis von 0,1s unterbrochen. Der bestimmende Faktor hierbei wird dieser Funktion als Parameter übergeben.

3.6.2.3. Interrupts.c

`void Interrupt_Zeitbasis (void) interrupt 0x20`

Die Auslösung des Overflow-Interrupts des Capture-/Compare-Timers T0 führt im Rahmen dieser Interrupt-Routine einzig zum Setzen des Indikators, welcher dann die Information über dieses Ereignis weiterträgt.

`void ASC0_Error (void) interrupt 0x2C`

Kommt es im Rahmen der Kommunikation über die serielle Schnittstelle ASC0 zu einem Fehler, wird dieser über die serielle Schnittstelle gemeldet, das Programm unterbrochen und das Auswahl-Menü aufgerufen. Auslösende Fehler dabei sind entsprechend dem zugehörigen Kapitel in der Dokumentation des Mikrocontrollers [34, S.11-3,11-4] folgende:

- Parity Error
- Framing Error
- Overrun Error

```
void Service_WatchdogTimer (void) interrupt 0x21
```

Durch den Überlauf des Capture-/Compare-Timers T1 wird diese Interrupt-Routine ausgelöst, wodurch das Watchdog-Timer-Kontrollregister, entsprechend der Notiz im Kapitel der Dokumentation des Mikrocontrollers [34, S.13-5], erneut definiert und der Watchdog bedient wird.

```
void Timer3_Overflow (void) interrupt 0x23
```

Wird dieser Interrupt durch den Überlauf des Timers T3, welcher dem General-Purpose-Timer-Block GPT1 zugeordnet ist, aufgerufen, gibt dieser eine Fehlermeldung über die serielle Schnittstelle aus, unterbricht das Programm und ruft das Auswahl-Menü auf.

3.6.3. Serielle Kommunikation und diesbezügliche Datenaufbereitung

In der folgenden Tabelle sind die hierbei hauptsächlich beteiligten Dateien, sowie die jeweils darin enthaltenen primären Funktionsblöcke enthalten:

Datei-Name	Inhalt
Eingabe.c	Ausgabe des Auswahl-Menüs, Einlesen der Eingabe-Informationen, Ansteuern der gewünschten Funktionalität
Ausgabe.c	Einlesen der digitalen Eingangs-Signale, Serielle Ausgabe der digitalen Eingangs-Signale

Tabelle 3.6.: Hauptdateien der seriellen Kommunikation

3.6.3.1. Eingabe.c

```
void Menue (void)
```

Im Rahmen dieser Funktion wird das Auswahl-Menü hinsichtlich der auszuführenden Tests über die serielle Schnittstelle ausgegeben und das Einlesen der Antwort des Prüfers sowie der Identifikationsdaten veranlasst. Die Eingabe wird sodann auf Gültigkeit getestet bevor es zum Aufruf der Ausführung des bzw. der angewählten Tests kommt.

```
void SerielleEinlesen (void)
```

Innerhalb dieser Funktion wird die Eingabe des Prüfers hinsichtlich der Test-Auswahl, die Identifikationsdaten des Prüfgerätes, sowie des Tests

bezüglich des Startzeitpunktes der Testauftragserteilung eingelesen. Diese Funktion überprüft weiters ob auf Grund der Eingabe ein Software-Reset seitens des Mikrocontrollers durchzuführen ist.

`void EingabeAusfuehren (void)`

Im Zuge dieses Abschnitts werden die bisherigen Eingaben hinsichtlich der Identifikationsdaten und der Testauswahl ausgegeben, der ausgewählte Test aufgerufen und nach Abarbeitung desselben dieser durch das Testende-Zeichen abgeschlossen.

3.6.3.2. Ausgabe.c

`void Output_Input (unsigned char upid[2])`

Im Rahmen dieser Funktion wird einerseits das Einlesen und Auswerten der digitalen Eingangs-Signale, sowie andererseits die Ausgabe der Identifikationsdaten des Tests und der erfassten Pegel veranlasst.

`void Input_Auswerten (void)`

Dieser Code-Abschnitt löst das Einlesen der digitalen Pegel an den definierten Eingängen unter Ansteuerung und Berücksichtigung beider Stellungen der vorgelagerten Selector-Bausteine, sowie die Übernahme der geprüften Eingangspegel aus der untergeordneten Funktion aus.

`void Input_Einlesen (void)`

Diese Funktion dient dazu, die digitalen Eingangspegel eines jeden Eingangs zweifach abzutasten um kurzzeitige Störungen gleich im Rahmen der Erfassung auszusieben. Hierzu wird der Eingangszustand zum ersten Mal nach dem Abfallen des ebenso erfassten Systemtakts der Kfz-Elektronik eingelesen, sowie ein zweites Mal nach der steigenden Flanke desselben. Daraufhin werden die zwei Messungen miteinander verglichen und nur bei übereinstimmendem Erfassen eines HIGH-Pegels wird dieser zur weiteren Verarbeitung übernommen.

`void Output_binaer (unsigned char outputid, unsigned char length)`

Im Rahmen dieses Abschnitts erfolgt die Ausgabe der eingelesenen und geprüften Eingangspegel über die serielle Schnittstelle unter Einführung der gewünschten Formatierung in achtstelligen Binär-Blöcken.

3.6.4. Generierung der Ausgangssignale und Erfassung der digitalen Eingangspegel

In der folgenden Tabelle sind die hierbei hauptsächlich beteiligten Dateien, sowie die jeweils darin enthaltenen primären Funktionsblöcke enthalten:

Datei-Name	Inhalt
StartUp.c	Hochfahren des Prüfgeräts, Hochfahren des Prüflings, Kontrolle der Funktion der Anzeigen, Kontrolle der Signalpfade, Kontrolle der Grundfunktionen
Starter.c	Test der Starter-Funktionalität
Hauptwarnleuchte.c	Test der Hauptwarnleuchten-Funktionalität
Dimmer.c	Test der Dimmer-Funktionalität

Tabelle 3.7.: Hauptdateien der Generierung der Ausgangssignale und Erfassung der digitalen Eingangspegel

3.6.4.1. StartUp.c

`void StartUp_Pruefgeraet (void)`

Im Rahmen dieser Funktion erfolgt ein geordnetes Hochfahren des Prüflings unter Miteinbeziehung der Tests sowohl der Signalpfade des Prüflings im Zuge eines Eingangs-Lampentests seitens des Prüfgeräts, als auch des Systemtakts und der internen Spannungsquellen des Prüflings, gefolgt von einer Überprüfung der Stände- und Hauptschalter-Kontrolle der zu prüfenden Kfz-Elektronik.

`void Staendekontrolle (void)`

Diese Funktion umschreibt die Kontrolle der Erfassung des Motoröl-Stands wie des Kühlwasser-Stands, die beide nur im Rahmen der Aktivierung der Hauptschalter-Stufe 2 erfasst werden sollen. Dabei wird einerseits überprüft ob eine spätere Änderung der Pegel auch wirklich keine Auswirkung auf die Anzeigen hat und ob andererseits die Pegel auch richtig erkannt werden.

`void Hauptschalterkontrolle (void)`

Den Umfang dieses Code-Blocks stellt die Überprüfung der Erfassung des laufenden Motors seitens des Prüflings dar, indem die Voraussetzungen für das Erlöschen der damit verknüpften Anzeige der Hauptschalterkontrolle zuerst partiell, dann vollständig erfüllt werden.

3.6.4.2. Starter.c

`void TestStarter (void)`

Im Rahmen dieser Funktion wird die Starter-Elektronik des Prüflings unter die Lupe genommen. So wird im ersten Abschnitt dieses Code-Blocks die Logik zur Verknüpfung der Startvoraussetzungen sowie der Schutz gegen zufällige Berührung des Starter-Tasters getestet. Ebenso werden im Zuge dessen die Schaltungsblöcke zur Pegelverzögerung sowie jene zur Definition der minimalen und maximalen Betätigungsdauer des Starter-Tasters in Hinblick auf ihre Funktionalität kontrolliert. Abgeschlossen wird dieser erste Abschnitt durch den Versuch in den laufenden Motor hineinzustarten.

Der zweite Abschnitt dieser Funktion wird durch die Kontrolle der minimalen und maximalen Betätigungsdauer eröffnet. Dem schließt sich die Simulation des kurzzeitigen Verlusts sowohl der Generator-Leistung als auch des Motoröl-Drucks während eines simulierten Start-Vorgangs an. Gefolgt wird dieser Test durch die Kontrolle der Abkühldauer des Starters. Abgeschlossen wird diese Funktion durch die Kontrolle des Starters hinsichtlich seines Verhaltens beim Startversuch nach der Inbetriebnahme, nach dem Abstellen des Motors sowie im Rahmen eines Notstarts.

3.6.4.3. Hauptwarnleuchte.c

`void TestHauptwarnleuchte (void)`

Im Rahmen dieser Funktion erfolgt die Überprüfung der der Hauptwarnleuchte zugeordneten Schaltungsteile des Prüflings. So erfolgt im ersten Abschnitt dieses Code-Blocks die Generierung aller auslösenden Ereignisse sowie die Kontrolle der Verriegelungen im Hinblick auf die optische Anzeige im Außenbereich des Fahrzeugs. Hinzu kommt dabei die Auswertung der manuellen Quittierung des akustischen Alarms. Im Zuge dessen wird neben der reinen Funktionalität der Quittierung auch der Zeitrahmen der Blindschaltung kontrolliert. Ebenso werden die Auswirkungen der Quittierung während des noch anliegenden Alarms ausgewertet und die Reaktion auf einen neuen Alarm analysiert. Der zweite Teil dieser Funktion widmet sich der Kontrolle der Blindschaltung der Hauptwarnleuchte im Zuge der Inbetriebnahme des Prüflings, im Zuge eines normalen Startvorgangs sowie eines Notstarts.

`void Quittier_Taster (void)`

Diese Unterfunktion beinhaltet die Simulation der Betätigung des Quittier-Tasters im Ausmaß der Dauer der internen Zeitbasis.

3.6.4.4. Dimmer.c

```
void TestDimmer (void)
```

Im Zuge dieser Funktion erfolgt die Abfrage auf die Steuerbarkeit der Anzeighelligkeit. Dies geschieht dreifach um neben der Funktionalität auch die Verriegelungen im Zuge des Lampentests und der Tarnlicht-Aktivierung zu testen. Das Ergebnis wird nach dem Abschluss der Prüfroutine hieraus direkt ausgegeben.

```
void AbfrageRegler (unsigned char Dimmertest)
```

Hierin realisiert ist die Kommunikation des Mikrocontrollers mit dem Prüfer bezüglich des Tests der Dimmer-Funktionalität. Im Zuge dieser erfolgt die Nachfrage an den Prüfer ob sich die Anzeighelligkeit mittels des hierfür vorgesehenen Potentiometers variieren lässt und die Ablage der auf Stimmigkeit überprüften Antwort desselben.

3.6.5. Messung der analogen Eingangsgrößen

In der folgenden Tabelle sind die hierbei hauptsächlich beteiligten Dateien, sowie die jeweils darin enthaltenen primären Funktionsblöcke enthalten:

Datei-Name	Inhalt
Messungen.c	Frequenz-Messung Spannungs-Messung

Tabelle 3.8.: Hauptdatei der Messung der analogen Eingangsgrößen

3.6.5.1. Messungen.c

```
void Frequenzmessung (void)
```

Dieser Code-Abschnitt spiegelt die Funktionalität der Erfassung des Systemtakts des Prüflings wider, im Zuge derer mit Hilfe des Timers T3 die Periodendauer des Eingangssignals am Messeingang ermittelt wird. Hierzu wird eingangs das Timer-Register auf Null gesetzt und die nächste fallende Flanke abgewartet, bevor der Timer T3 gestartet wird. Angehalten wird der Timer erst wieder bei der Detektion der nächsten fallenden Flanke am Messeingang, woraufhin der erreichte Zählerstand über die serielle Schnittstelle zur weiteren Verarbeitung ausgegeben wird. Zur Verbildlichung des Mess-Vorgangs hier eine kleine Skizze:

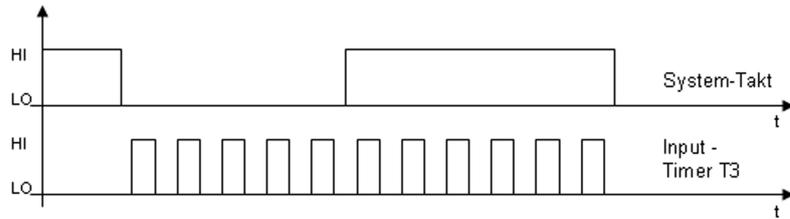


Abbildung 3.2.: Erfassung der Systemtakt-Frequenz

Die Messung der Periodendauer erfolgt ebenso wie die Ausgabe des erreichten Zählerstands insgesamt zehnmal. Die Berechnung der Frequenz aus der jeweils gemessenen Periodendauer erfolgt in Verbindung mit der Formel 3.3 auf diese Weise:

$$f_{gem} = \frac{f_{CPU}}{(8 \times 2^{\langle T3I \rangle}) \times T3}$$

f_{gem}	... Gemessene Systemtakt-Frequenz des Prüflings
f_{CPU}	... Taktfrequenz der CPU
$\langle T3I \rangle$	... Divisor der CPU-Taktfrequenz des Mikrocontrollers
$T3$	... Zählerstand des Timers T3

(3.4)

void Spannungsmessung (void)

Im Rahmen dieser Funktion erfolgt die Erfassung der Ausgangsspannungen der beiden im Prüfling verbauten Schaltnetzteile in vier verschiedenen Belastungsfällen. Hierzu werden die zwei seitens des Prüflings zur Verfügung gestellten Messausgänge mit einer steigenden Belastungen konfrontiert und in jedem dieser Fälle werden zehn Messpunkte aufgenommen und die Mess-Äquivalente über die serielle Schnittstelle ausgegeben bevor den Belastungswiderständen eine Abkühlphase zugestanden wird. So folgt der Veranlassung der Aufnahme aller Messpunkte des einen Schaltnetzteils sodann der Auftrag zur Erfassung des Verhaltens des zweiten Schaltnetzteils in den definierten Belastungsfällen. Zur Berechnung der erfassten und in Äquivalenten ausgegebenen Spannungswerte folge man dieser Formel:

$$U_{gem} = ADC_{ref} \times \left(\frac{\text{Ausgabe}}{1024} \right)$$

U_{gem} ... erfasster Spannungswert des Prüflings-Schaltnetzteils

ADC_{ref} ... Referenz-Spannung des A/D-Wandlers

Ausgabe ... ausgegebenes Spannungs-Äquivalent

(3.5)

```
unsigned int ADC_Messung (void)
```

Dieser kurze Code-Block dient zur eigentlichen Erfassung der Mess-Spannung am entsprechenden Eingang des Mikrocontrollers. Hierin wird die Messung ausgelöst, die Messdauer, welche sich aus der Erfassungszeit-spanne und der Umfassungsdauer zusammensetzt, abgewartet und der für die weitere Verarbeitung interessante Abschnitt des Ergebnis-Registers ausgelesen. Wie der letzte Satz schon vermuten lässt bedient man sich im Zuge der Spannungserfassung mittels des mikrocontrollereigenen A/D-Umsetzers einer sukzessiven Approximation mit vorgeschaltener Sample&Hold-Stufe und einer Auflösung von 10Bit. Näheres hierzu ist dem zugeordneten Kapitel „17 The Analog/Digital Converter“ in der Mikrocontroller-Dokumentation [34, Kap.17] zu entnehmen.

4. Die Benutzer-Oberfläche

Zur einfacheren Steuerung und zur besseren Bedienbarkeit des Prüfgerätes wurde im Rahmen des Auftrags eine grafische Benutzeroberfläche gefordert, zu deren Realisierung „Visual Basic 2010 Express“ der Firma MICROSOFT¹ verwendet wurde. Der Grund hierzu lag einerseits am freien Zugang zu dieser Software sowie andererseits an seiner einfachen Struktur, durch welche dieses Programm seitens des Auftraggebers favourisiert wurde. Zu den Aufgaben des hiermit zu erstellenden Programms zählen neben der Ansteuerung des Prüfgeräts ebenso die Auswertung der gewonnenen Daten sowie die Erstellung des Prüfprotokolls. Im Rahmen dessen müssen dieser Software auf der einen Seite Daten hinsichtlich der Prüfungsformalitäten und der geprüften Elektronik-Einheit zur Verfügung gestellt, sowie auf der anderen Seite auch Informationen über das erwünschte und zu überprüfende Verhalten der Kfz-Elektronik zugänglich gemacht werden. Dementsprechend ist auch die Dokumentation desselben in folgende grobe Bereiche gegliedert:

- Die Identifikations-Datei
- Die Konfigurations-Datei
- Das VB-Programm

4.1. Die Identifikations-Datei

Diese Datei bietet durch seine Definition als freigegebene Text-Datei (*.txt) der Gruppe der Prüfer die Möglichkeit selbstständig Informationen in das Prüfsystem einzubringen. So steht ihnen unter anderem die Option offen eigenständig neu hinzugekommene Prüfer im System anzumelden beziehungsweise ihrer Einheit unvermittelt zugewiesene zu prüfende Elektroneinheiten sowie neu hinzugestoßene Prüfgeräte im Prüfprogramm zu registrieren. Für die richtige Interpretation der darin enthaltenen Daten sorgt jeweils das erste Zeichen der Zeile. Die jeweils resultierende Zuordnung ist folgender Tabelle zu entnehmen:

¹Microsoft Corporation - <http://www.microsoft.com>

Indikator	Zeileninhalt	Beispiel
%	Pfad der Konfigurationsdatei	%C://Dokumente und ...
&	Name des PDF-Druckers	&PDFCreator
?	Prüfgerät-ID und die zugehörige interne Referenz-Spannung, sowie der Bezug der Spannungs-Messung	?Pruefgeraet1, 4.451, 4.99
\$	Eintragung eines Prüfers	\$Pruefer2
@	Bezeichnung einer Einheit	@Einheit3
#	Seriennummer einer Kfz-Elektronik	#001

Tabelle 4.1.: Aufbau der VB-Identifikations-Datei

Alle Zeilen die mit anderen als den hier aufgeführten Zeichen beginnen, werden als Kommentarzeilen betrachtet und nicht weiter interpretiert.

4.2. Die Konfigurations-Datei

Diese Datei beinhaltet eigentlich das Herzstück der Auswertung der während der Prüfung ermittelten Daten. In ihr sind sämtliche Fehlerdefinitionen welche von Belang für die jeweilige Prüfung erscheinen hinterlegt um im Rahmen der Ausführung des Programms eingelesen und den Prüfergebnissen gegenübergestellt zu werden. So wird im Zuge der Programmausführung dann die jeweilige hierin abgespeicherte Fehlerdefinition dem ermittelten Wert gegenübergestellt und bei Entsprechung der Fehler zur Ansicht gebracht und durch die zugeordnete Fehlerbeschreibung weiter kommentiert. Im Gegensatz zur Identifikations-Datei, die ungeschützt und als frei zugängliche Textdatei (*.txt) konzipiert wurde, fiel im Zuge der Definition dieser Datei die Entscheidung zu Gunsten der Ablegung derselben als geschützte Initialisierungs-Datei (*.ini) unter Umsetzung eigener Struktur-Vorstellungen. Trotz dieser entscheidenden Unterschiede verbindet die beiden Dateien der Interpretationsansatz hinsichtlich des Einlesens der hinterlegten Daten. Die Zuordnung der Inhalte der einzelnen Zeilen der Konfigurations-Datei erfolgt ebenfalls gemäß dem jeweils ersten Zeichen der jeweiligen Zeile entsprechend folgender Tabelle:

Indikator	Zeileninhalt	Beispiel
\$	CPU-Taktfrequenz und RS232-Paramter	\$4000000,9600,8,2,1
&	Erlaubte Grenzwerte der Messungen	&850.0,1150.0,4.5,5.5
%	Kennzeichnung eines neuen Test-Bereichs	%Start-Up
@	Eintragung eines neuen Tests	@0_0.1,Kontrolle auf ...
#	Fehler-Definition & Fehler-Beschreibung	#0,1,Die Anzeige ...

Tabelle 4.2.: Aufbau der VB-Konfigurations-Datei

Alle Zeilen die mit anderen Zeichen beginnen, als den hier angeführten, werden als

Kommentare betrachtet und nicht weiter verarbeitet.

Hier nun die weitere Aufarbeitung der durch die Indikatoren angezeigten Zeileninhalte:

- **CPU-Taktfrequenz und RS232-Parameter**

Dieser Textabschnitt enthält Informationen über die verwendete CPU-Taktfrequenz seitens des Mikrocontroller-Boards. Ebenso enthält diese Zeile Informationen zur Konfiguration der seriellen Schnittstelle entsprechend den VB-eigenen Konfigurations-Parameter für die Komponente „SerialPort“.

Angabe	Beschreibung
\$4000000,9600,8,2,1	Angabe der CPU-Taktfrequenz [Hz]
\$4000000,9600,8,2,1	Angabe der zu verwendenden Baudrate
\$4000000,9600,8,2,1	Festlegung der Anzahl an Datenbits
\$4000000,9600,8,2,1	Angabe der zu verwendenden Parität (2=“even“)
\$4000000,9600,8,2,1	Definition der Anzahl an Stoppbits

Tabelle 4.3.: Angaben zur CPU-Taktfrequenz und der RS232-Konfiguration in der VB-Konfigurations-Datei

- **Erlaubte Grenzwerte der Messungen**

In diesem Definitionsblock sind die unteren wie oberen erlaubten Grenzwerte für die Messung des Systemtakts, sowie der belasteten Schaltnetzteile hinterlegt auf die im Rahmen der Auswertung der Frequenz- bzw. Spannungs-Messungen zurückgegriffen wird.

Angabe	Beschreibung
&850.0,1150.0,4.5,5.5	Angabe der min. erlaubten Systemtakt-Frequenz [Hz]
&850.0,1150.0,4.5,5.5	Angabe der max. erlaubten Systemtakt-Frequenz [Hz]
\$850.0,1150.0,4.5,5.5	Angabe der min. erlaubten Schaltnetzteil-Spannung [V]
\$850.0,1150.0,4.5,5.5	Angabe der max. erlaubten Schaltnetzteil-Spannung [V]

Tabelle 4.4.: Angabe der Grenzwerte der Messungen in der VB-Konfigurations-Datei

- **Kennzeichnung eines neuen Test-Bereichs**

Durch diese Zeile erfolgt die Eröffnung eines neuen Testbereichs im Zuge des zeilenweisen Einlesens dieser Konfigurations-Datei durch das VB-Programm, welcher alle folgenden Tests bis hin zur nächsten Eröffnungszeile eines neuen Testbereichs zugerechnet werden.

Angabe	Beschreibung
<code>%Start-Up</code>	Bezeichnung des Testbereichs

Tabelle 4.5.: Überschrift eines Test-Bereichs in der VB-Konfigurations-Datei

- **Eintragung eines neuen Tests**

Diese Zeile leitet das Einlesen der Fehlerdefinitionen eines neuen Tests aus der Konfigurations-Datei ein. Alle folgenden Zeilen bis hin zum nächsten Auftreten des Indikators eines neuen Tests bzw. Testbereichs, werden durch das VB-Programm als Fehlerdefinitionen diesem Test zugerechnet.

Angabe	Beschreibung
<code>@0_0.1,Kontrolle auf ...</code>	Identifikator des Tests
<code>@0_0.1,Kontrolle auf ...</code>	Beschreibung des Tests

Tabelle 4.6.: Aufbau des Test-Eintrags in der VB-Konfigurations-Datei

An dieser Stelle hier auch gleich die Erklärung der Zusammensetzung des Identifikators der Tests. Und zwar verbergen sich hinter der Kodierung folgende Informationen:

Angabe	Beschreibung
<code>0_0.1</code>	Angabe des Testbereichs
<code>0_0.1</code>	Identifikation des Tests innerhalb des Testbereichs
<code>0_0.1</code>	Identifikation der eingelesenen Pins, sowie der Selector-Stellung

Tabelle 4.7.: Aufbau des Test-Identifikators

- **Fehler-Definition**

Angabe	Beschreibung
<code>#0,1,Die Anzeige ...</code>	Position des beschriebenen Bits im zugeordneten Port-Register
<code>#0,1,Die Anzeige ...</code>	Logischer Zustand dieses Bits im Fehlerfall bzw. Grenzwert für Messwerte
<code>#0,1,Die Anzeige ...</code>	Beschreibung des Fehlers

Tabelle 4.8.: Aufbau der Fehler-Definition in der VB-Konfigurations-Datei

4.3. Das VB-Programm

Mit Hilfe des Programms „Microsoft Visual Basic 2010 Express“ sollte einerseits eine grafische Benutzeroberfläche sowie andererseits die Interpretation der mittels Prüfgerät gewonnenen Daten unter Zuhilfenahme der eben besprochenen Identifikations- und der Konfigurations-Datei realisiert werden. Zu Gunsten der besseren Übersicht gliedert sich die weitere Beschreibung dieses Programms auf Grund der Vielzahl seiner Funktionalitäten in folgende Bereiche auf die dann gesondert eingegangen wird:

- Globale Variablen und Unterprogramme
- Vorgang der Identifikation
- Ablegen der Konfiguration
- Abwicklung und Einlesen der Kommunikation
- Auswertung der Kommunikation
- Anzeige der Test-Auswertung
- Erstellung des Test-Berichts als *.pdf-Datei

4.3.1. Globale Variablen und Unterprogramme

In diesen Bereich fällt neben der Ablage aller global zugänglich abzulegender Variablen auch die Definition des Programmverhaltens nach dem Aufruf sowie die Festlegungen globaler Funktionalitäten. Folgende Dateien umfassen diese Funktionalitäten:

Datei-Name	Inhalt
Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578.vbproj („My Project“)	Angaben zu den Projekt-Einstellungen
Begruessungsbildschirm.vb	Angabe des Projekt-Titels, sowie der Versions-Nummer, Ablage des Copyrights
Globale_Variablen.vb	Ablage der globalen Variablen und Einstellungen
ApplicationEvents.vb	Definition der Anzeige-Dauer des Begrüßungs-Bildschirms, Suchen der Identifikations-Datei
Hintergrund.vb	Definition des Farbverlaufs innerhalb der Programmfenster

Tabelle 4.9.: Dateien globaler Funktionalität im VB-Programm

4.3.1.1. Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578.vbproj („My Project“)

Im Rahmen dieses Abschnitts möchte ich an dieser Stelle nur auf die Registerkarte „Anwendung“ dieser zentralen Maske des Projekt-Designers zur Festlegung der Projekt-Eigenschaften näher eingehen. Unter dieser werden unter anderem neben der Auswahl des Assemblynamens, sowie des Anwendungstyps auch die Informationen über den zu verwendenden Begrüßungsbildschirm und das Startformular hinterlegt, wie man folgender Abbildung entnehmen kann:

The screenshot displays the 'Anwendung' (Application) settings page in Visual Studio. On the left is a navigation pane with options: Kompilieren, Debuggen, Verweise, Ressourcen, Einstellungen, Signierung, My-Erweiterungen, Sicherheit, and Veröffentlichern. The main area contains the following settings:

- Assemblyname:** Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578
- Stamnamespace:** Pruefgeraet
- Anwendungstyp:** Windows Forms-Anwendung
- Symbol:** (Standardsymbol)
- Startformular:** Identifikation
- Buttons: Assemblyinformationen..., Windows-Einstellungen anzeigen
- Anwendungsframework aktivieren
- Eigenschaften des Windows-Anwendungsframeworks:**
 - Visuelle XP-Stile aktivieren
 - Einzelinstanzanwendung erstellen
 - My.Settings beim Herunterfahren speichern
- Authentifizierungsmodus:** Windows
- Modus für das Herunterfahren:** Beim Schließen des letzten Formulars
- Begrüßungsbildschirm:** Begruessungsbildschirm
- Button: Anwendungsereignisse anzeigen

Abbildung 4.1.: Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578.vbproj („My Project“)

4.3.1.2. Begruessungsbildschirm.vb

Dieses Formular wird bereits als Vorlage seitens des Programms „Microsoft Visual Basic 2010 Express“ bereitgestellt und dient der Anpassung des Begrüßungsbildschirms, welcher während des Ladens des Programms wiedergegeben wird.

Begrüßungsbildschirm_Load

In dieser Funktion wird neben dem anzuzeigenden Titel der Applikation auch die Form der Wiedergabe der Versions-Nummer sowie des Copyrights festgelegt.

4.3.1.3. Globale_Variablen.vb

In diesem Formular sind alle Variablen zusammengefasst auf die ein globaler Zugriff erwünscht ist. So finden sich hierin neben den Ablagen der Prüfer-Eingaben auch eine Vielzahl an Variablen zur Ablage der aus der Konfigurations-Datei ausgelesenen Einstellungen, sowie Variablen zur programminternen Informationsübertragung zwischen verschiedenen Modulen. Ebenfalls hierin definiert ist aber auch der Pfad unter welchem sich das Programm die Ablage der Identifikations-Datei erwartet, sowie die Einbindung der seriellen Schnittstelle als Komponente und des zur Nutzung derselben nötigen Delegates.

4.3.1.4. ApplicationEvents.vb

Auch dieses Formular bietet das Programm, ähnlich dem Begrüßungsbildschirm, schon in seiner Grundkonfiguration dem Nutzer an, weshalb auch hierin nur projektbezogene Variationen vorgenommen wurden.

OnInitialize

Im Rahmen dieser Funktion wurde neben der Anzeigedauer des Begrüßungsbildschirms auch die Überprüfung des, als globale Variable abgelegten, Pfades der Identifikations-Datei realisiert.

4.3.1.5. Hintergrund.vb

Im Zuge des gleichnamigen Moduls wurde hier das Layout aller Fenster des Programms mit Ausnahme des Begrüßungsbildschirms definiert.

Hintergrund

In dieser Funktion erfolgt neben der Definition der Basisfarbe des Hintergrunds auch der Aufruf der Generierung des Farbverlaufs desselben. Ebenso ist darin die Anpassung des dadurch generierten Hintergrund-Farbverlaufs an die jeweilige Größe des Fensters festgehalten.

Farbverlauf

Die hierin umgesetzte Funktionalität sorgt für die zunehmende Überdeckung der Basisfarbe des Hintergrundes mit fortschreitender vertikaler Bildposition, durch die Steigerung der Deckkraft der zweiten zugewiesenen Farbe für den Hintergrund.

4.3.2. Vorgang der Identifikation

Diesem Bereich sind neben dem Einlesen der Identifikations-Datei und der Ablage der Informationen darin, die Abfrage der freien COM-Schnittstellen sowie die Speicherung der seitens des Prüfers bekanntgegebenen Informationen zuzuordnen. Diesen Vorgängen ist folgende Datei zugeordnet:

Datei-Name	Inhalt
Identifikation.vb	Analyse und Import der Identifikations-Datei Einlesen der verfügbaren COM-Schnittstellen Veranlassen des Einlesens der Konfigurations-Datei Einlesen der getroffenen Auswahl und Einträge

Tabelle 4.10.: Dateien des Identifikations-Vorgangs im VB-Programm

4.3.2.1. Identifikation.vb

Die bereits oben kurz angesprochenen Inhalte sind den einzelnen Funktionen folgendermaßen zuzuordnen:

Identifikation_Load

Hierin erfolgt das zeilenweise Einlesen der Identifikationsdatei und die Ablage der daraus gewonnenen Informationen entsprechend dem ersten Zeichen der Zeile gemäß den Ausführungen im Abschnitt 4.1 der Identifikations-Datei mit der angeschlossenen Zuordnungstabelle 4.1 der Führungszeichen. Abgerundet wird diese Funktion durch den Aufruf des Einlesens aller freien COM-Schnittstellen sowie der Veranlassung des Einlesens der Konfigurations-Datei. Abgeschlossen wird dieser Code-Abschnitt dann durch die Ausgabe der PC-Zeit zur Bestätigung seitens des Prüfers zur Gewinnung eines Zeitstempels für den folgenden Test-Auftrag.

COMSchnittstellenEinlesen

Hierin wird versucht alle am PC angemeldeten COM-Schnittstellen zu öffnen um zu überprüfen, welche nicht bereits belegt sind, woraufhin diese dann im zugeordneten Listenfeld der Eingabemaske dem Prüfer zur Auswahl dargestellt werden.

butWeiter_Click()

Diese Funktion umfasst das Einlesen der seitens des Prüfers in der zugeordneten Eingabemaske getroffenen Auswahl und Einträgen sowie die

Überprüfung auf Vollständigkeit der Abarbeitung dieses Eingabefensters da zuvor keine Weiterleitung an die nächste Maske gestattet wird.

`txtProtokollID_Enter()`

Mit Hilfe dieser Code-Zeile wird lediglich die Eingabeaufforderung aus dem betreffenden Feld gelöscht und die ungestörte Eintragung der Identifikation des Protokolls in selbiges ermöglicht.

4.3.3. Ablegen der Konfiguration

Diesem Bereich und seinen Funktionalitäten sind folgende Dateien zuzuordnen:

Datei-Name	Inhalt
<code>Einlesen_Konfiguration.vb</code>	Analyse der Konfigurations-Datei Einlesen der Konfigurations-Datei

Tabelle 4.11.: Dateien der Konfigurations-Ablage im VB-Programm

4.3.3.1. Einlesen_Konfiguration.vb

Diese Datei umschließt folgende Funktionen:

`TestkonfigurationEinlesen`

Hierin erfolgt von zentraler Stelle aus der Aufruf der Analyse sowie der Anstoß zur Ablage der Daten der Konfigurations-Datei.

`AnalyseKonfiguration`

Diese Funktion liest die Konfigurations-Datei zeilenweise unter Berücksichtigung des definierten Trennzeichens sowie unter Vernachlässigung leerer oder als Kommentar gekennzeichnete Zeilen ein und analysiert die Verzeichnis-Struktur sowie den Platzbedarf der einzelnen Abschnitte und deponiert diese Informationen für die weitere Verarbeitung auf Modul-Ebene. Hinzu kommt dabei noch das Einlesen der Informationen über die seitens des Mikrocontrollers verwendete Taktfrequenz sowie der Vorgaben hinsichtlich der Einstellungen der seriellen Schnittstelle. Ebenso erfasst werden hierbei die Definitionen bezüglich der oberen und unteren erlaubten Grenzwerte der Frequenz- bzw. Spannungs-Messung.

KonfigurationAblegen

Im Rahmen dieser Funktion wird die seitens der Analyse der Konfigurations-Datei gewonnene Kenntnis der Verzeichnis-Struktur derselben dazu genutzt, diese nachzubilden und mit den entsprechenden Informationen zu füllen. Dies geschieht durch ein abermaliges zeilenweises Einlesen der Konfigurations-Datei unter Übertragung der dadurch gewonnenen Informationen gemäß dem ersten Zeichen der Zeile und ihrer Positionierung in der Datei in die nachgebildete Verzeichnis-Struktur. Die Zuordnung der Zeilen erfolgt dabei gemäß der Dokumentation der Konfigurations-Datei im Abschnitt 4.2 bzw. der darin enthaltenen Korrespondenz-Tabelle 4.2.

Hierzu folgende Skizze der somit geschaffenen Verzeichnis-Struktur im Speicher des Programms:

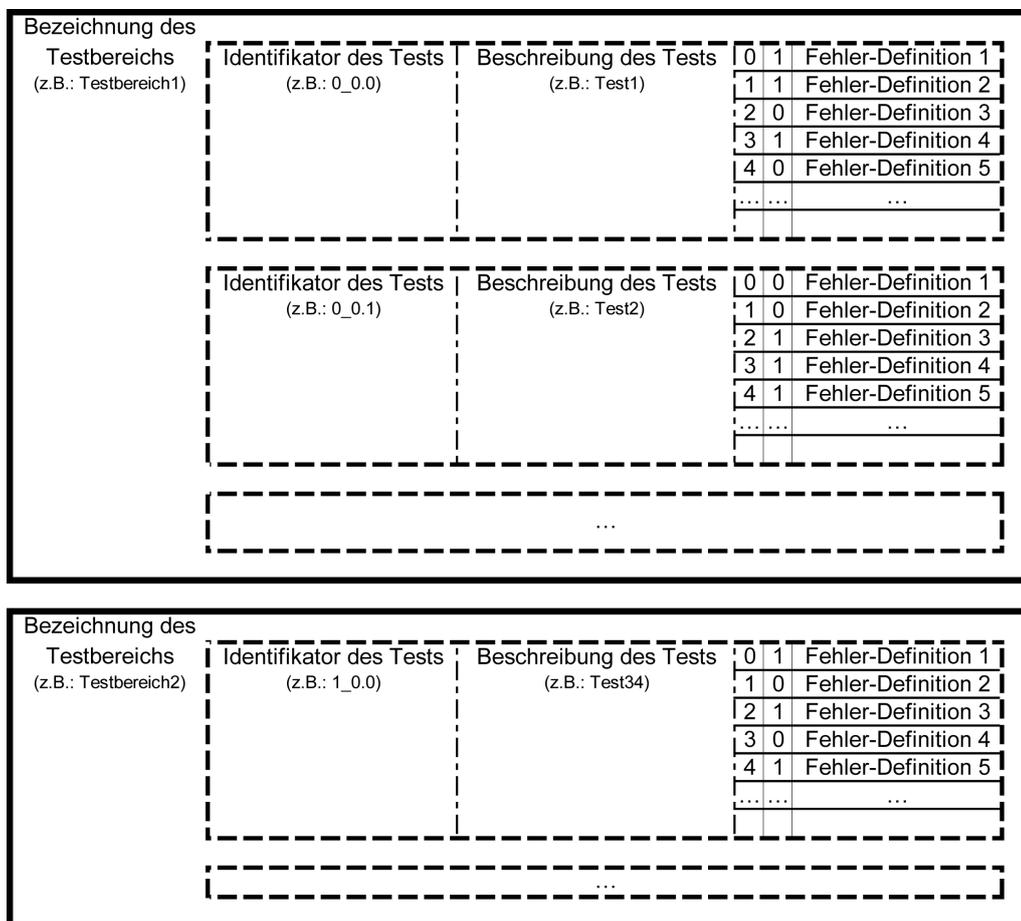


Abbildung 4.2.: Umlegung der Konfigurations-Datei in den Speicher des VB-Programms

Um nun diesen Vorgang besser verständlich zu machen, sei an dieser Stelle folgendes Beispiel angeführt um die Summe der Funktionalitäten der gerade beschriebenen

Code-Abschnitte in ihrem Resultat aufzuzeigen:

So führt dieses Beispiel des Inhalts einer Konfigurations-Datei ...

```
1
2 Bekanntgabe der Mikrocontroller-Taktfrequenz und der Einstellungen der seriellen
   Schnittstelle
3   Baudrate, Datenbit-Anzahl, Paritätsangabe (2=Even), Stopbit-Anzahl
4   \$4000000,9600,8,2,1
5
6 Angabe zu den unteren und oberen erlaubten Grenzwerten
7   des Systemtakts [Hz] und der gelieferten Spannungen [V] der Schaltnetzteile
8   &850.0,1150.0,4.5,5.5
9
10  -----
11  \%Start-Up
12
13  @0_0,Kontrolle auf angezeigte Fehlermeldungen im Ausgangszustand "MotorAus" [
   P5_LO]
14  \#0,0,Die Anzeige "Getriebeoel-Druck" leuchtet nicht!
15  \#1,0,Die Hauptschalterkontrolle leuchtet nicht!
16  ...
17
18  -----
19  \%Frequenz- und Spannungs-Messungen
20
21  @5_0, Kontrolle des Systemtakts
22  \#0,850.0,Der ermittelte Systemtakt unterschreitet die Vorgabe der Untergrenze von
   850Hz!
23  \#1,1150.0,Der ermittelte Systemtakt ueberschreitet die Vorgabe der Obergrenze von
   1150Hz!
24
25  @5_1, Kontrolle des Schaltnetzteils 5V2 - Lastwiderstand = 5.825 Ohm
26  \#10,4.5,Die ermittelte Spannung unterschreitet die Vorgabe von 4.5V!
27  \#11,5.5,Die ermittelte Spannung ueberschreitet die Vorgabe von 5.5V!
28  ...
29
```

Listing 4.1: Beispiel für einen Ausschnitt aus einer Konfigurations-Datei

... zu folgendem Abbild im Speicher des Programms:

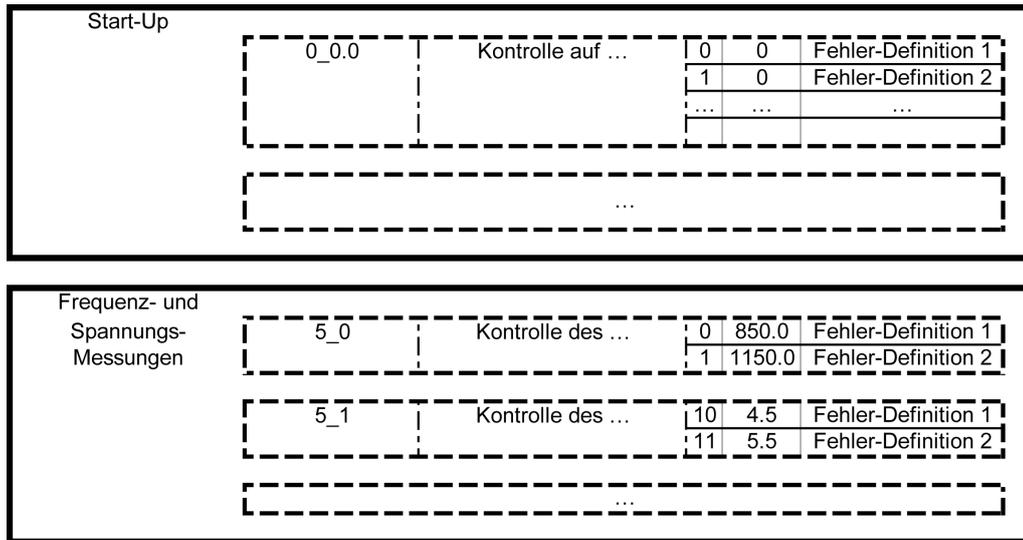


Abbildung 4.3.: Speicherabbild der angenommenen Konfigurations-Datei

4.3.4. Abwicklung und Einlesen der Kommunikation

Diesem Bereich der Interaktion zwischen dem Prüfgerät und dem Prüfling sind folgende Dateien zuzurechnen:

Datei-Name	Inhalt
Kommunikation.vb	Konfiguration der ausgewählten Schnittstelle Reaktion auf Schnittstellen-Ereignisse Senden der Steuersignale an den Prüfling Navigation zwischen den Masken
Einlesen_Kommunikation.vb	Analyse der Kommunikation Ablegen der Kommunikation

Tabelle 4.12.: Dateien der seriellen Kommunikation des VB-Programms

4.3.4.1. Kommunikation.vb

Im Rahmen dieser Code-Abschnitte wird hauptsächlich auf die Verwaltung der seriellen Schnittstellen-Kommunikation sowie auf die Funktionen der Steuerelemente der zugehörigen Maske näher eingegangen:

DatenEmpfangen

Dieser Codeabschnitt stellt die Reaktion auf den Empfang von seriell empfangenen Daten dar.

`UpdatetxtEmpfangen`

Hierin erfolgt das eigentliche Einlesen der an der seriellen Schnittstelle eingetroffenen Daten, sowie deren Zwischenspeicherung und Ausgabe am Bildschirm.

`butSenden_Click`

Diese Funktion veranlasst das Senden des Inhalts des Eingabe-Bereichs, sowie der Identität des Prüfgerätes und der aktuellen PC-Zeit über die serielle Schnittstelle an den Prüfling. Der Inhalt des Eingabe-Bereichs und dessen Übertragung wird dabei zur Auswahl des durchzuführenden Tests sowie der Behandlung der Eingabeaufforderungen seitens des Prüfgerätes verwendet.

`butLoeschen_Click`

Im Rahmen dieser Funktion erfolgt die Löschung des Anzeige-Bereichs der seriellen Schnittstelle und die Übermittlung des Befehls zur erneuten Anzeige des Auswahl-Menüs an das Prüfgerät.

`butAuswerten_Click`

Hierin ist der Aufruf zum Einlesen der Kommunikation aus dem Anzeige-Bereich in den Speicher des Programms, sowie die Weiterleitung des Fokus an die Maske zur Darstellung der ausgewerteten Kommunikation ausgearbeitet.

`Kommunikation_Load`

In diesem Code-Bereich werden die aus der Konfigurations-Datei eingelesenen Parameter der seriellen Schnittstelle, der in der Identifikations-Maske ausgewählten Schnittstelle zugewiesen und diese zur Kommunikation des Programms mit dem Prüfgerät geöffnet.

`Kommunikation_FormClosing`

Wird diese Funktion aufgerufen, wird die serielle Schnittstelle geschlossen und diese Ressource zur weiteren Verwendung im System wieder freigegeben.

`txtSenden_Click`

Diese Funktion garantiert die richtige Positionierung des Cursors beim Erreichen des Eingabe-Bereichs zur sofortigen Übernahme der einstelligen numerischen Eingabe.

`Kommunikation_Shown`

Im Rahmen dieser Funktion wird sichergestellt, dass beim Aufruf dieser Maske der Anzeigebereich der seriellen Kommunikation geleert wird und das Prüfgerät aufgefordert wird das Auswahl-Menü der verschiedenen Tests auszugeben.

`butZurueck_Click`

Diese Funktion bietet die Möglichkeit auf die Eingabe-Maske der Identifikation zurückzukehren um etwaige Änderungen an der getroffenen Auswahl vornehmen zu können.

4.3.4.2. Einlesen_Kommunikation.vb

Dieser Datei wiederum sind folgende Funktionalitäten zugeordnet:

`KommunikationEinlesen`

Hierin wird von zentraler Stelle aus sowohl die Analyse als auch das Ablegen der auszuwertenden Kommunikation veranlasst.

`AnalyseKommunikation`

Im Rahmen dieser Funktion wird der gesamte Inhalt des Anzeigebereichs der seriell erfolgten Kommunikation eingelesen und die Anzahl der relevanten Zeilen für die weitere Verarbeitung an Hand des jeweils ersten Zeichens der Zeile ermittelt.

`KommunikationAblegen`

Im Zuge dieses Code-Blocks wird die eingelesene Kommunikation entsprechend dem jeweils ersten Zeichen der Zeile auf Relevanz geprüft und bei solcher der weiteren Verarbeitung zugeführt. Im Zuge dieser werden dann die jeweiligen Zeilen entsprechend der zugeordneten Trennzeichen aufgebrochen und die einzelnen Teilbereiche der Zeile zur weiteren Auswertung abgelegt.

Um nun die Funktionalitäten dieses Moduls leichter verständlich zu machen hier nun ein kurzes Beispiel zur Veranschaulichung der Umlegung der Kommunikation in den Programmspeicher:

So führt dieser Kommunikations-Mitschnitt ...

```

1
2 MENUE:
3 0.. Start-Up
4 1.. Alle Tests
5 2.. Starter
6 3.. Hauptwarnleuchte
7 4.. Dimmer
8 5.. Systemtakt
9 6.. Schaltnetzteile
10
11 Eingabe:1
12 Pruefgeraet:Pruefgeraet1
13 Zeitstempel:14.11.2010 18:26:32
14
15 @Pruefgeraet1
16 @2,14.11.2010 18:26:32
17 \#5_0=453.0,449.0,448.0,448.0,453.0,446.0,448.0,450.0,453.0,448.0,
18 \#2_0.0=10010111 01000101
19 \#2_0.1=11101001
20 ...
21 \$Ende
22
23 @Pruefgeraet1
24 @3,14.11.2010 18:26:32
25 \#5_0=449.0,449.0,450.0,448.0,451.0,447.0,449.0,450.0,452.0,451.0,
26 \#3_0.0=00011100 00110010
27 ...
28 \$Ende
29

```

Listing 4.2: Beispiel für einen Kommunikations-Mitschnitt

... zu folgendem Abbild desselben im Speicher des Programms:

@Pruefgeraet1	2	14.11.2010 18:26:32																
#5_0	453.0	449.0	448.0	448.0	453.0	446.0	448.0	450.0	453.0	448.0								
#2_0.0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1		
#2_0.1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	0	1	0	0	1		
...	...																	
\$Ende	-----																	
@Pruefgeraet1	3	14.11.2010 18:26:32																
#5_0	449.0	449.0	450.0	448.0	451.0	447.0	449.0	450.0	452.0	451.0								
#3_0.0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0		
...	...																	
\$Ende																		

Abbildung 4.4.: Speicherabbild des angenommenen Kommunikations-Mitschnitts

4.3.5. Auswertung der Kommunikation

Diesem Abschnitt des VB-Programms, welcher sich im Speziellen mit der Aufarbeitung der bereits eingelesenen und verarbeiteten Kommunikation beschäftigt, sind folgende Dateien zuzurechnen:

Datei-Name	Inhalt
Auswerten_Kommunikation.vb	Auswertung der Testergebnisse Erfassung und Berechnung der Mess-Ergebnisse Aufbau der Ergebnis-Übersicht

Tabelle 4.13.: Dateien zur Auswertung der Kommunikation des VB-Programms

4.3.5.1. Auswerten_Kommunikation.vb

Dieser Datei wohnt nur folgende Funktion zum Abgleich der Testergebnisse mit den Fehlerdefinitionen, sowie der Aufbereitung der Ergebnisse inne:

KommunikationAuswerten

Diese Funktion wird durch die Erfassung aller Test-Identifikatoren, welche aus der Konfigurations-Datei eingelesen und im Speicher abgelegt wurden, unter Berücksichtigung des jeweiligen Testbereichs und der Position des zugeordneten Tests im selben eröffnet. Dem folgt sodann die eigentliche Auswertung der Kommunikation in Verbindung mit den aus der Konfigurations-Datei importierten Fehlerdefinitionen. So wird nun jede eingelesene Kommunikationszeile mit Informationsgehalt wiederum entsprechend dem ersten Zeichen der Zeile den jeweiligen weiteren Verarbeitungsschritten zugeführt. Während dabei der Header und das abschließende Ende-Zeichen der Testnachrichten einfach in das resultierende Array im Programmspeicher übernommen werden, stellt sich die Aufarbeitung der eigentlichen Testresultate schwieriger dar. So wird bei letztgenannter nach erfolgter Suche des Testkürzels in den aus der Konfigurations-Datei gewonnen Daten zuerst der Testbereich, sowie die dem Test zugeordnete Beschreibung ausgelesen und in dem der Auswertung zugeschriebenen Array abgelegt. Handelt es sich bei den auszuwertenden Daten um keine Messergebnisse werden die dem Test zugeschriebenen Fehlerdefinitionen und Fehlerbeschreibungen ausgelesen und der eingelesenen Kommunikation gegenübergestellt. Kommt es im Zuge dieses Abgleichs zu einer Übereinstimmung, wird dieser somit positiv erkannte Fehler in dem diesen Test zugeordneten Array-Bereich nebst der zugehörigen Fehlerbeschreibung festgehalten. Stellen die auszuwertenden Daten jedoch Messwerte dar, so werden diese entsprechend der Positions-Marke der Fehler-Definition der Frequenz- bzw. der Spannungsmessung

zugeordnet und die übertragene Messinformation in die jeweils erwünschten Messergebnisse umgerechnet. Dem folgt noch die Mittelwert-, sowie die Maximal- und Minimal-Wertbestimmung über die jeweils zehn aufgenommenen Messwerte, welche ebenfalls ausgegeben und somit im Array der Kommunikations-Auswertung abgelegt werden.

Zur Verdeutlichung der im Rahmen dieser Auswertung gewonnenen Ergebnisse und der damit verknüpften Ablage-Struktur hier eine kleine schematische Darstellung der Abbildung der Kommunikations-Auswertung im Speicher des Programms:

@Pruefgeraet1:	2	14.11.2010 18:26:32		
#Testbereich1	Beschreibung des Tests	Mittelwert	Minimal-Wert	Maximal-Wert
		0	1	Fehler-Definition 1
		1		"checked"
	
#Testbereich1	Beschreibung des Tests	Mittelwert	Minimal-Wert	Maximal-Wert
		0		"checked"
		1	1	Fehler-Definition 2
	
#Testbereich2	Beschreibung des Tests	Mittelwert	Minimal-Wert	Maximal-Wert
		0	0	Fehler-Definition 1
		1	1	Fehler-Definition 2
	
...
\$Ende				
@Pruefgeraet1:	3	14.11.2010 18:26:32		
#Testbereich9	Beschreibung des Tests	Mittelwert	Minimal-Wert	Maximal-Wert
		0		"checked"
		1		"checked"
	
...
\$Ende				

Abbildung 4.5.: Schematisches Speicherabbild der Kommunikations-Auswertung

4.3.6. Anzeige der Test-Auswertung

Der Zuranzeigebringung der Ergebnisse der Kommunikations-Auswertung sind folgende Dateien zuzurechnen:

Datei-Name	Inhalt
Pruefbericht.vb	Verwaltung der gleichnamigen Maske
Ausgabe_Bildschirm.vb	Ausgabe der allgemeinen Test-Informationen Formatierung der Ausgabe der Auswertungs-Ergebnisse Zusammenfassung der Testergebnisse Überprüfung der Messergebnisse

Tabelle 4.14.: Dateien zur Anzeige des Auswertungs-Ergebnisses des VB-Programms

4.3.6.1. Pruefbericht.vb

Die folgenden Dateien widmen sich weitgehend der Verwaltung der Maske zur Anzeige des Auswertungs-Ergebnisses der Kommunikation:

Pruefbericht_Load

Diese Funktion veranlasst einerseits die Auswertung der Kommunikation, sowie andererseits die Bildschirm-Ausgabe des dabei erzielten Ergebnisses.

butBeenden_Click

Im Zentrum dieses Code-Blocks steht die Funktionalität des Beendens des Programms nach entsprechender Bestätigung der dahingehenden Nachfrage.

butBerichtErstellen_Click

Mit Hilfe dieser Funktion wird die Erstellung des Berichts im *.pdf-Format vorbereitet indem die Bildschirmausgabe der Auswertung der Kommunikation erfasst und die Erstellung der *.pdf-Datei veranlasst wird.

butNeuerTest_Click

Im Rahmen dieser Code-Zeilen wird dem Prüfer die Möglichkeit geboten zur Maske der Kommunikation zwischen Prüfgerät und Prüfling zurück-zukehren und einen neuen Test in Auftrag zu geben.

Nachfrage

Diese als Unterprogramm in Nutzung stehende Funktion stellt die Nachfrage bezüglich des Verzichts auf die Berichterstellung im *.pdf-Format dar, welche sowohl beim Beenden des Programms sowie auch bei der Rückkehr zur Kommunikations-Maske aufgerufen wird.

4.3.6.2. Ausgabe_Bildschirm.vb

Bildschirmausgabe

Im Zuge der Abarbeitung dieser Funktion werden zuallererst die allgemeinen Test-Informationen, wie unter anderem die Identitäten des Prüfers, des Prüfgeräts und der geprüften Elektronik-Einheit, an die Ausgabe-Maske zur Darstellung der Auswertung übergeben und diese zur Anzeige gebracht. Dem folgt die Ausgabe der Auswertungs-Ergebnisse über deren Formatierung wiederum das erste Zeichen, diesmal jedoch der ersten Zelle der jeweiligen Zeile des zugeordneten Arrays im Speicher entscheidet. An Hand dieses Zeichens entscheidet sich dann zum Beispiel die Einfügung der Trennlinie zwischen den veranlassten und nunmehr ausgewerteten Tests sowie die Ausgabe der Zusammenfassung der Ergebnisse dieses Testbereichs. Ansonsten veranlasst diese Funktion die Analyse der Tests auf erkannte Fehler und bringt diese gegebenenfalls zur Anzeige bzw. ergänzt die Ausgabe der Test-Beschreibungen durch die Bestätigung der festgestellten fehlerfreien Funktion. So erfolgt neben der Ausgabe aller abgeleiteten Größen der aufgenommenen Messreihen auch die Überprüfung dieser gegenüber den erlaubten Grenzwerten, sowie die Darstellung der dabei erzielten Ergebnisse im Rahmen dieser Funktion.

4.3.7. Erstellung des Test-Berichts als *.pdf-Datei

Diesem Bereich zur Umsetzung der Bildschirm-Ausgabe der Ergebnisse der Auswertung der Kommunikation in einem Bericht in *.pdf-Format sind folgende Dateien zuzuordnen:

Datei-Name	Inhalt
Ausgabe_PDF.vb	Analyse der Bildschirm-Ausgabe Verzweigung der Seitenerstellung Ausgabe der ersten Seite des Berichts Ausgabe aller Folge-Seiten

Tabelle 4.15.: Dateien zur Berichtserstellung im *.pdf-Format des VB-Programms

4.3.7.1. Ausgabe_PDF.vb

Dieser Datei zur Umsetzung der Ausgabe des Auswertungs-Ergebnisses der Kommunikation vom Bildschirm hin in ein PDF-Dokument wohnen folgende Funktionen inne:

PDFErstellen

Der Aufruf dieser Funktion führt neben der Übernahme des seitens der Identifikations-Datei bekanntgegebenen PDF-Druckers und der ersten grundlegenden Eigenschaften wie der Seitenränder, des Dokumentennamens und des Druckzeitpunktes, zur Berechnung der zum Drucken der gesamten Auswertung der Kommunikation nötigen Seitenanzahl. Beschlossen wird diese Funktion durch den Aufruf des dem Druckvorgang zugeordneten Handlers.

PrintDocument_PrintPage

Die Funktionalität hierin besteht in der Steuerung des Druckvorganges über mehrere Seiten hinweg. So erfolgt gemäß der Seitennummer die Verzweigung der weiteren Verarbeitung im Hinblick auf die Unterscheidung der Formatierung und Ausgestaltung der ersten gegenüber allen folgenden Seiten.

ErsteSeite

Die Ausführung dieser Funktion zur Erstellung der ersten Seite einer jeden Berichterstellung beginnt mit der Definition der zugeordneten Seitenbereiche sowie der Ausgabe der Kopfzeile. Diesem folgt die Wiedergabe der allgemeinen Testinformationen wie der Identität des Prüfers, des Prüfgerätes sowie unter anderem der Kennung des Prüflings, wobei diese einzig der jeweils ersten Seite der Ausgabe vorbehalten ist. Darauf folgt sodann die Ausgabe des eigentlichen Testberichtes im zugeordneten Bereich wobei die Formatierung der jeweiligen Zeile von ihrer Position im Testbereich abhängig ist. Beschlossen wird die Seitenerstellung schließlich durch die Ausgabe der Fußzeile.

Fortsetzung

Kommt es zum Aufruf dieses Code-Blockes, welcher jeglicher Fortsetzungsseite zuzuordnen ist, beginnt der Seitenaufbau mit der Formatierung der Seitenbereiche. Der Wiedergabe der Kopfzeile folgt sodann die Fortsetzung der Ausgabe der Auswertungs-Ergebnisse der Kommunikation bis

entweder die Ausgabe ausgeschlossen oder die Seite voll ist. Die Erstellung der Seite wird unabhängig davon jedenfalls durch die Veranlassung des Druckes der Fußzeile beschlossen.

5. Schlussbetrachtung, Ausblick und Empfehlung

Abschließend kann zusammenfassend festgehalten werden, dass der Auftrag zur Entwicklung eines Prüfgerätes für die Kfz-Elektronik eines Bergfahrzeuges des Österreichischen Bundesheers (ÖBH) allein auf Grund der vorliegenden Schaltpläne und der Funktions-Beschreibung vollauf erfüllt und dessen volle Funktionstüchtigkeit an Hand des bereitgestellten Prototypen der zu prüfenden Kfz-Elektronik auch bewiesen werden konnte. So konnten erfolgreich sämtliche Fahrzeug-Sensoren nachgebildet, mittels Mikrocontroller angesteuert und die Reaktionen der dadurch animierten Fahrzeug-Elektronik erfasst, zur Anzeige gebracht und ausgewertet werden. Ebenso ist es gelungen die geforderte grafische Oberfläche zur Steuerung des Prüfgerätes zu erstellen und die Protokollierung der Ergebnisse mittels dieser umzusetzen. Des Weiteren sei festgehalten, dass auch das Anforderungs-Profil hinsichtlich der Frequenz-Erfassung und Spannungs-Messung unter Last erfüllt und sowohl die volle Funktionstüchtigkeit des Lampentests wie der Dimmer-Kontrollfunktion vermerkt werden darf.

Als nächste Schritte hin zur vollständigen Qualifizierung des Prüfgerätes sind neben weiterführenden thermischen Betrachtungen hinsichtlich des Lastkreises der Spannungs-Erfassung, auch Logs der Stromaufnahme des Gesamtsystems „Prüfgerät“ über die einzelnen Tests hinweg und weitere messtechnisch-begleitete ESD-Beschüsse des Prüfsystems nach fachgerechter Fassung desselben in ein Metall-Gehäuse ins Auge zu fassen.

Obwohl bereits der volle Umfang der seitens des Prüfgerätes geforderten Funktionen am Prototypen zu beobachten ist, sei an dieser Stelle ebenso auf einige mögliche weitere Schritte im Rahmen der Weiterentwicklung des Prüfgerätes hingewiesen:

- Ergänzung der Beschaltung der MOSFETs der Ausgangs-Strukturen durch Pull-up- bzw. Pull-down-Widerstände
- Verwendung einer anderen bzw. vollwertigen Version der Entwicklungs-Umgebung für das Mikrocontroller-Programm um die Einschränkung des Umfangs des Objekt-Codes zu umgehen
- Umstieg von der Verwendung des Mikrocontroller-Boards auf einen reinen Mikrocontroller mit ausreichenden Ressourcen hinsichtlich internem Speicher und der digitalen Ein-/Ausgänge

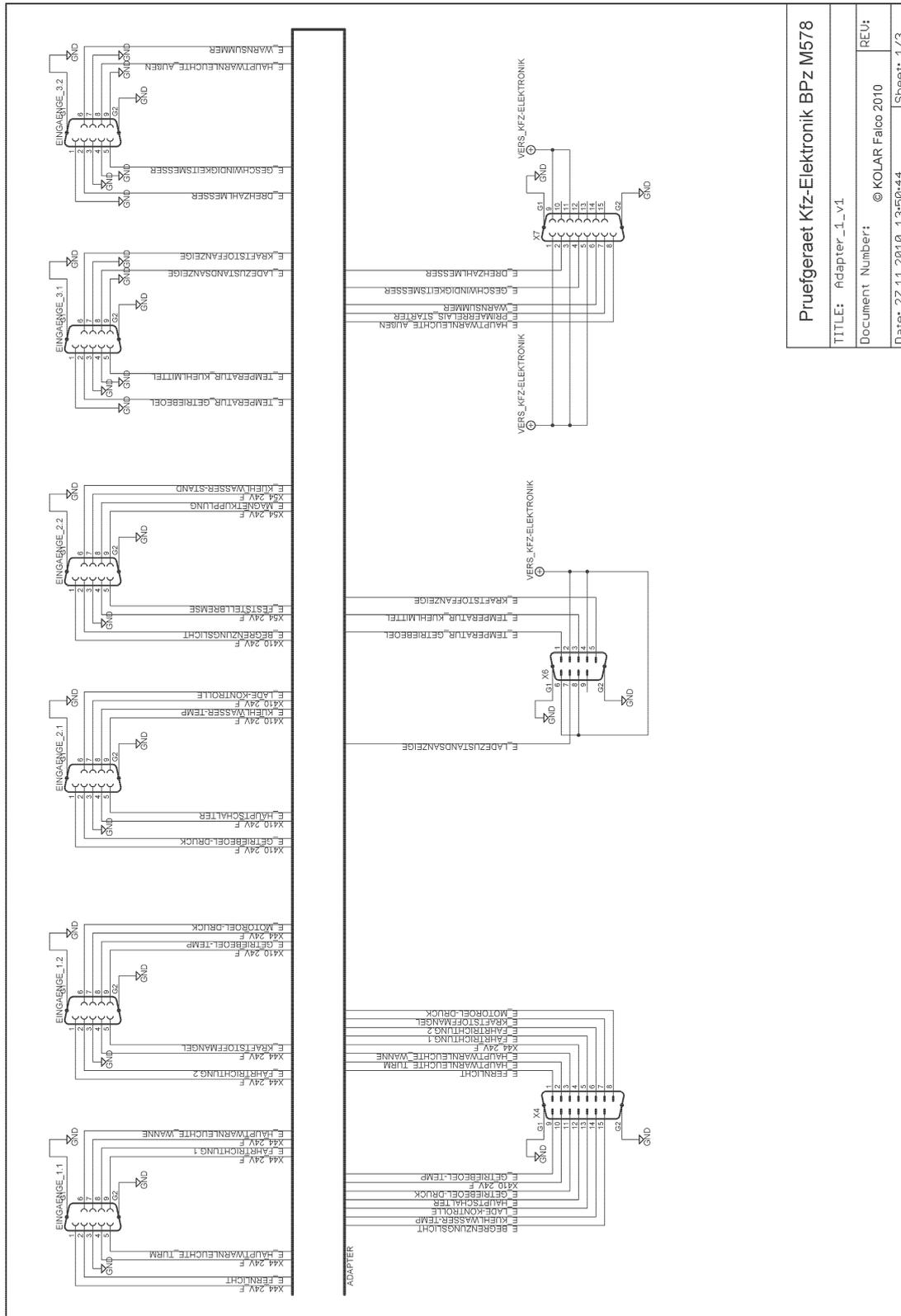
- Abweichung vom Verzicht auf statisch-sichtbare Längselemente im Rahmen der ESD-Schutz-Strukturen zu Gunsten kompakterer Ausführungen derselben
- In Verbindung mit der letzten Empfehlung wäre auch abzuwägen ob nicht der Umstieg auf „schwächere“ MOSFETs als die vorgegebenen und der Wechsel auf Platinen mit sechs bzw. acht Layern empfehlenswert wäre, wodurch die Adapter-Platinen womöglich entfallen könnten.
- Des Weiteren wäre für jegliche Weiterentwicklung des Mikrocontroller-Programmes und der Konfigurations-Datei eine Abbildung der zu prüfenden Kfz-Elektronik in Software äußerst hilfreich.

A. Anhang

A.1. Schaltpläne des Prüfgerätes

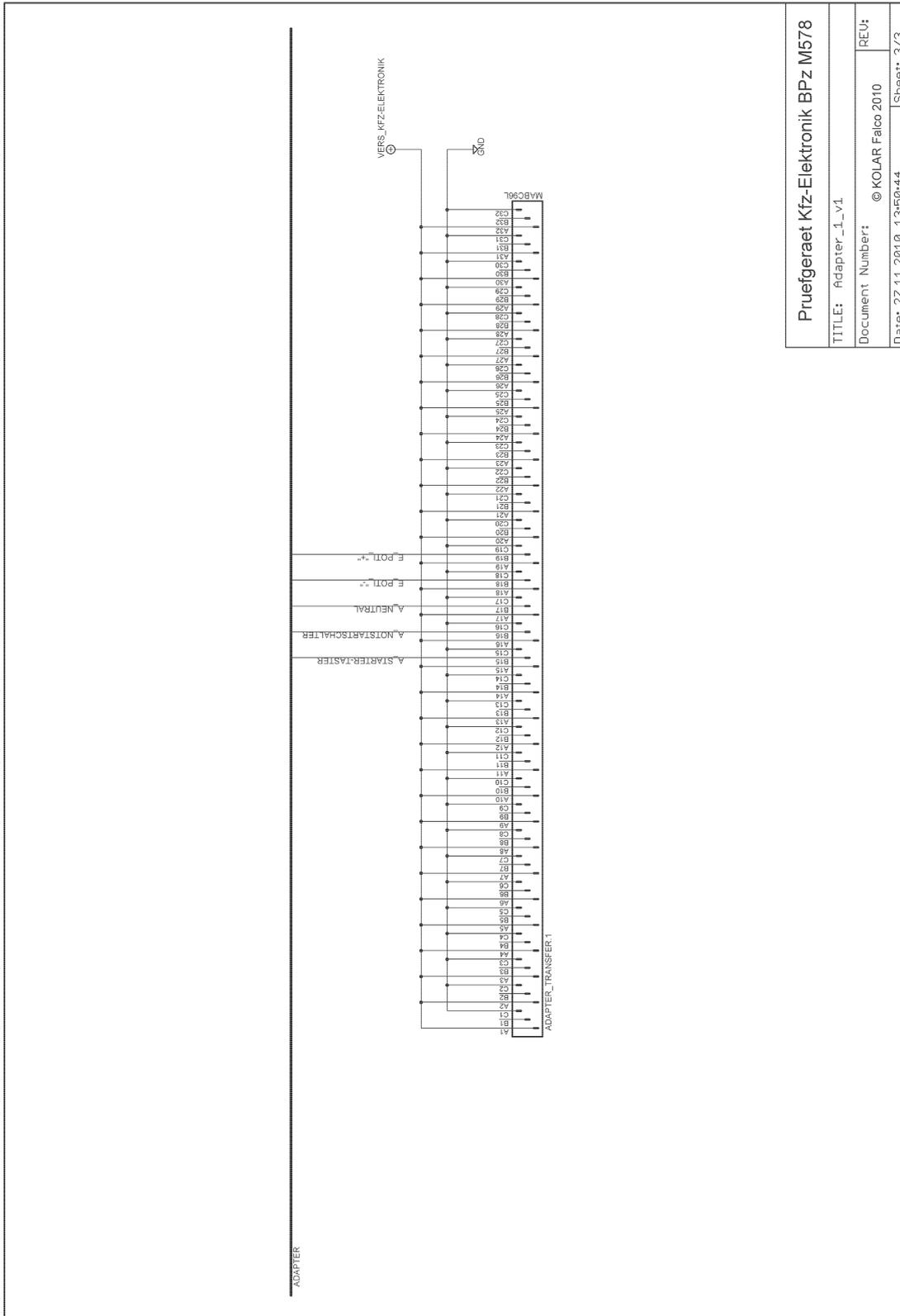
Auf den folgenden Seiten sind alle Schaltpläne sämtlicher Platinen des Prüfgerätes in alphabetischer Reihenfolge der Platinen-Bezeichnungen, wie sie auch hier aufgeführt sind, abgebildet:

- Adapter_1
- Adapter_2
- Ausgaenge_1
- Ausgaenge_2
- Backplane_1
- Backplane_2
- Ein-_Ausgaenge
- Eingaenge_1
- Eingaenge_2
- Eingaenge_3
- Eingaenge_4
- Frontplane_1
- Frontplane_2
- Messplatine
- Mikrocontrollerplatine
- Starter
- Versorgung



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Adapter_1_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 27.11.2010 13:50:44	Sheet: 1/3

Abbildung A.1.: Schaltplan „Adapter_1_v1“ (Seite 1/3)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Adapter_1_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 27.11.2010 13:50:44	Sheet: 3/3

Abbildung A.3.: Schaltplan „Adapter_1_v1“ (Seite 3/3)

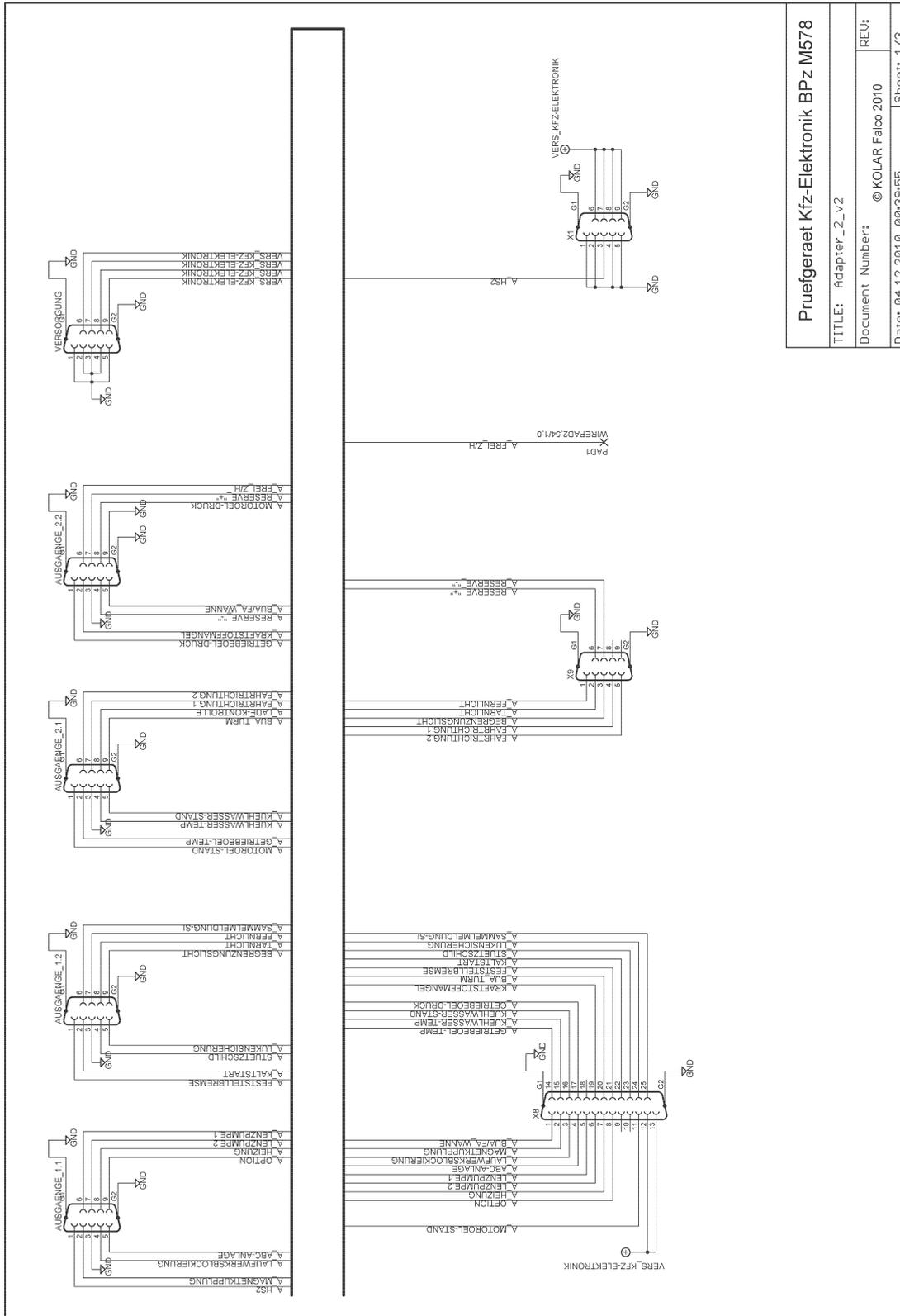
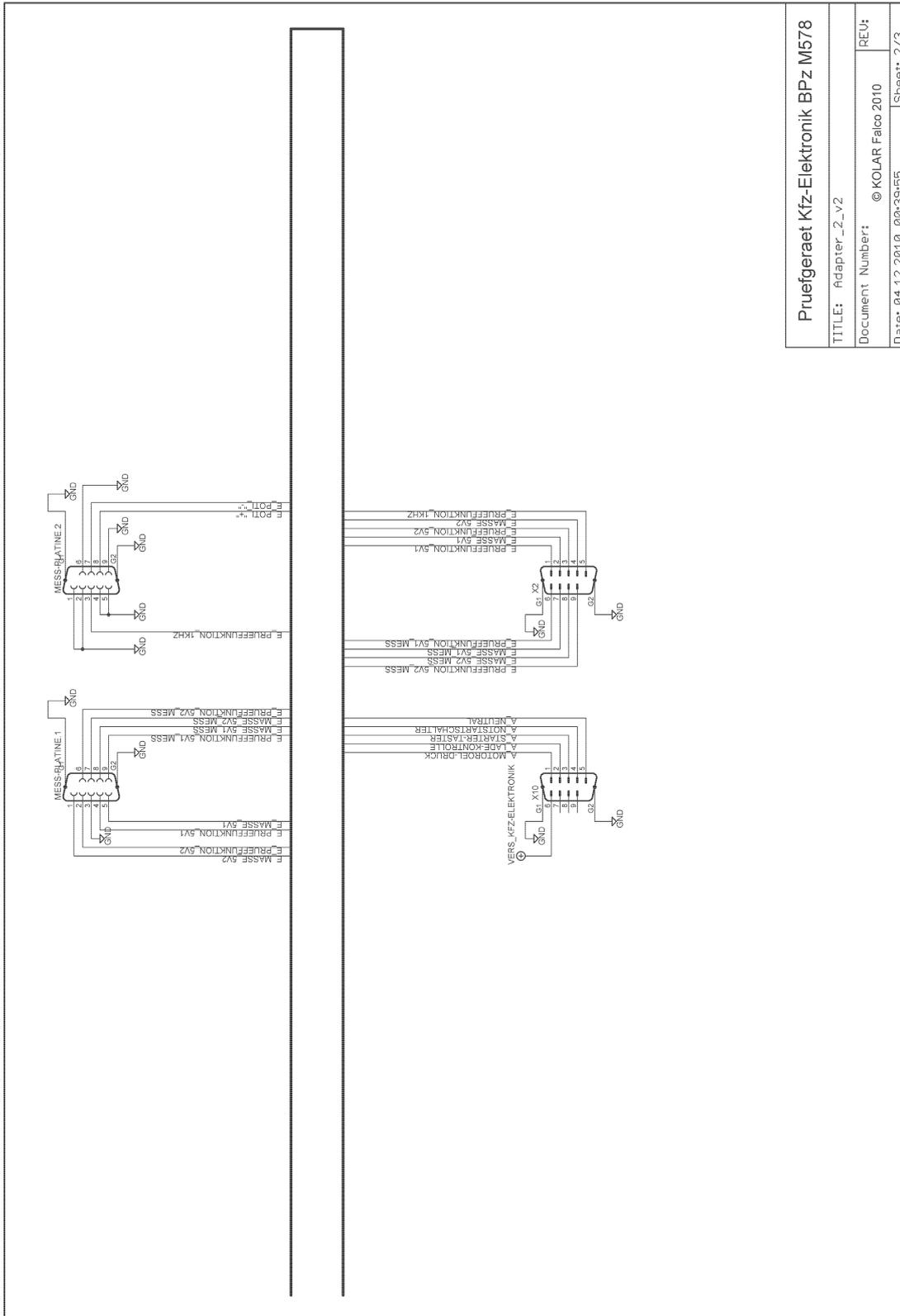
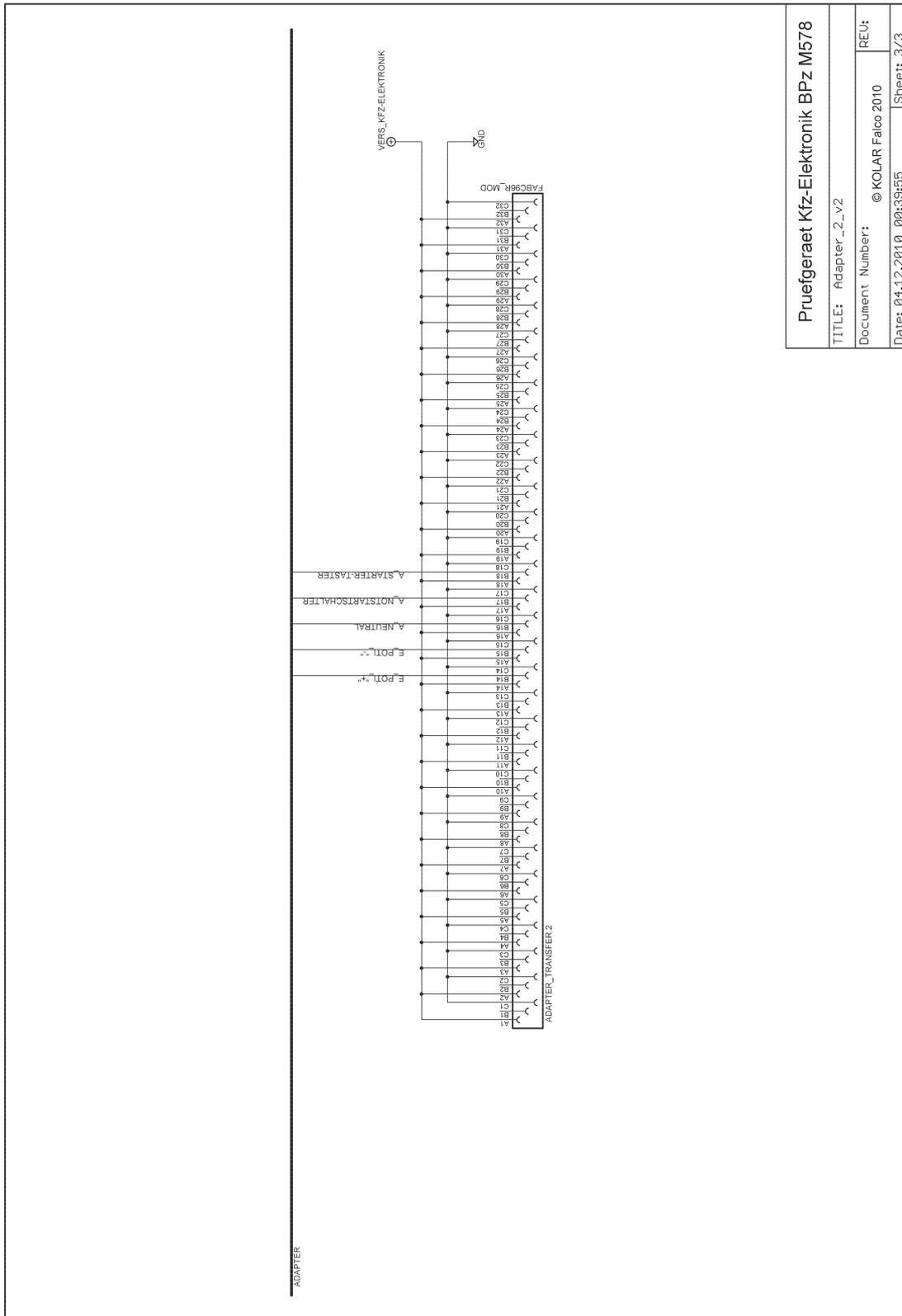


Abbildung A.4.: Schaltplan „Adapter_2_v2“ (Seite 1/3)



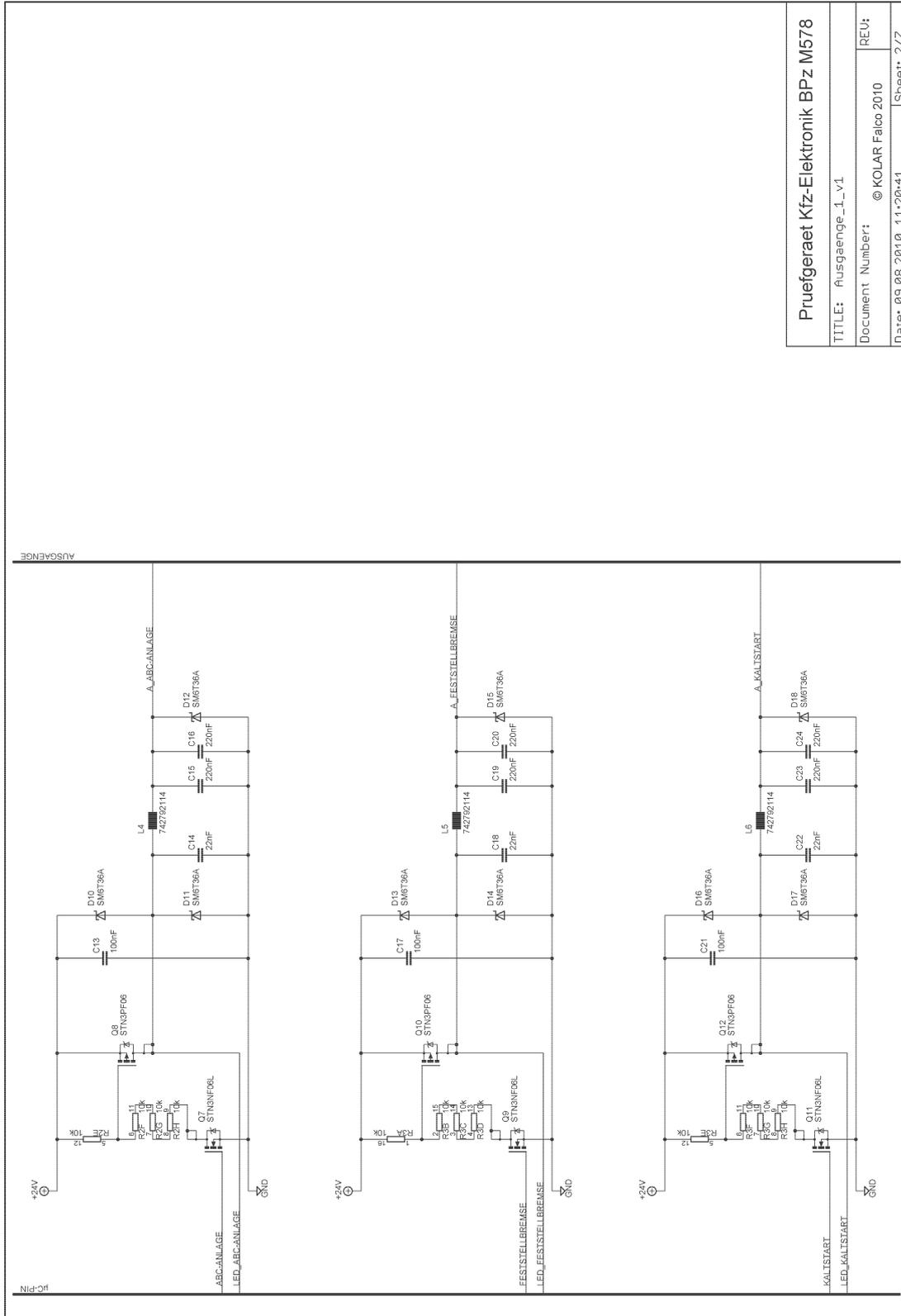
Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Adapter_2_v2	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 04.12.2010 00:39:55	Sheet: 2/3

Abbildung A.5.: Schaltplan „Adapter_2_v2“ (Seite 2/3)



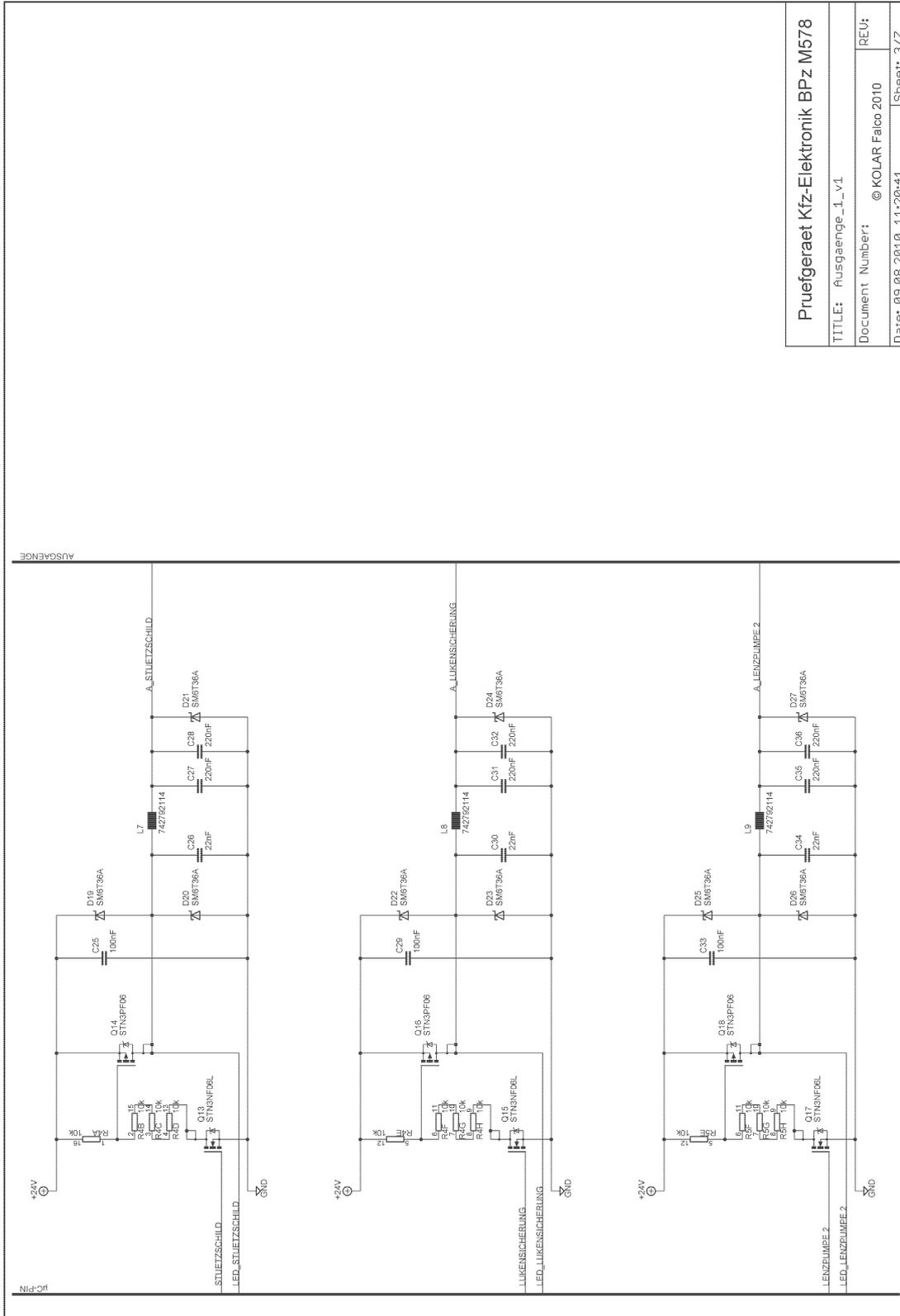
Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Adapter_2_v2	REV:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 04.12.2010 00:39:55	Sheet: 3/3

Abbildung A.6.: Schaltplan „Adapter_2_v2“ (Seite 3/3)



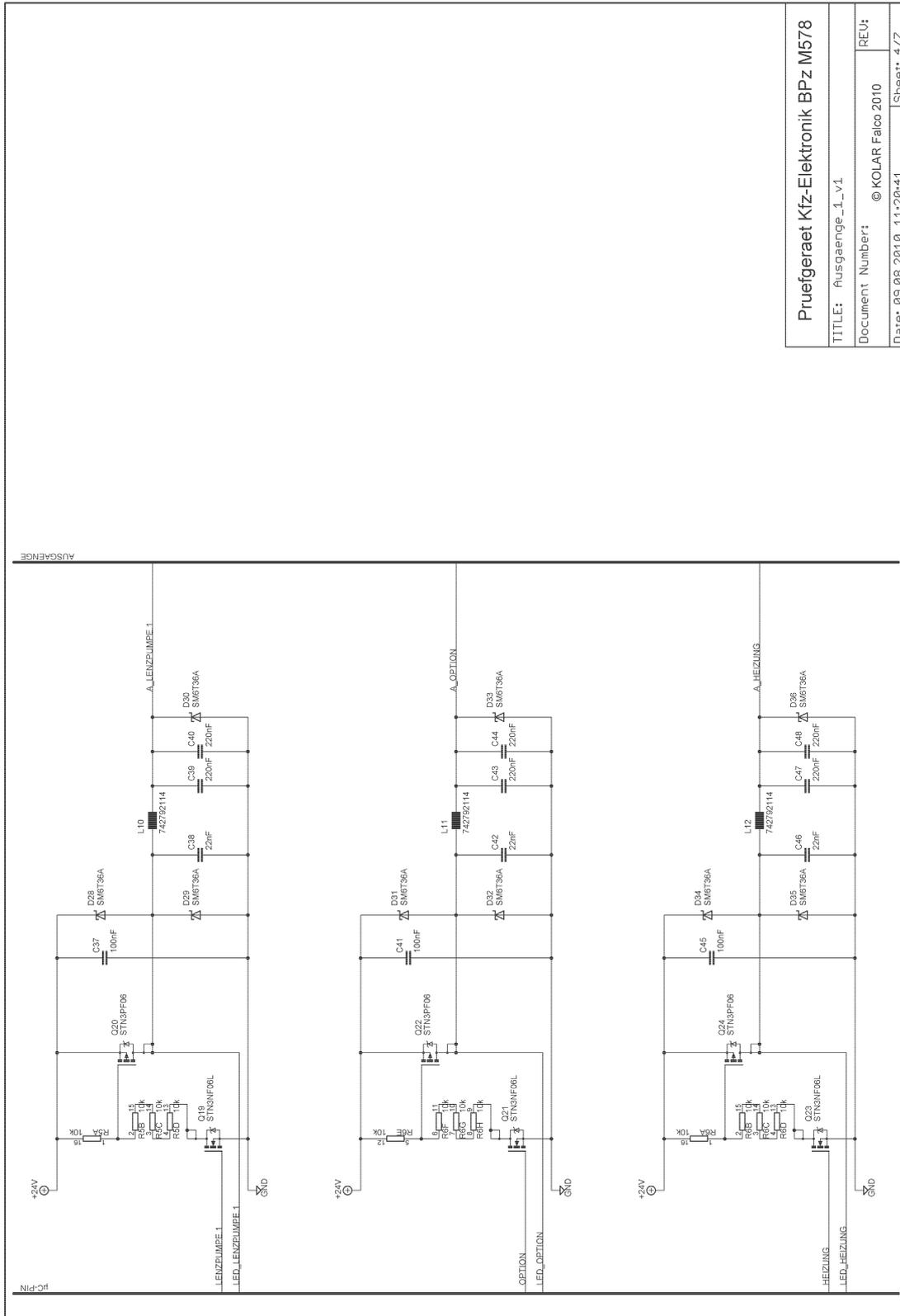
Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Ausgaenge_1_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 09.08.2010 11:20:41	Sheet: 2/7

Abbildung A.8.: Schaltplan „Ausgaenge_1_v1“ (Seite 2/7)



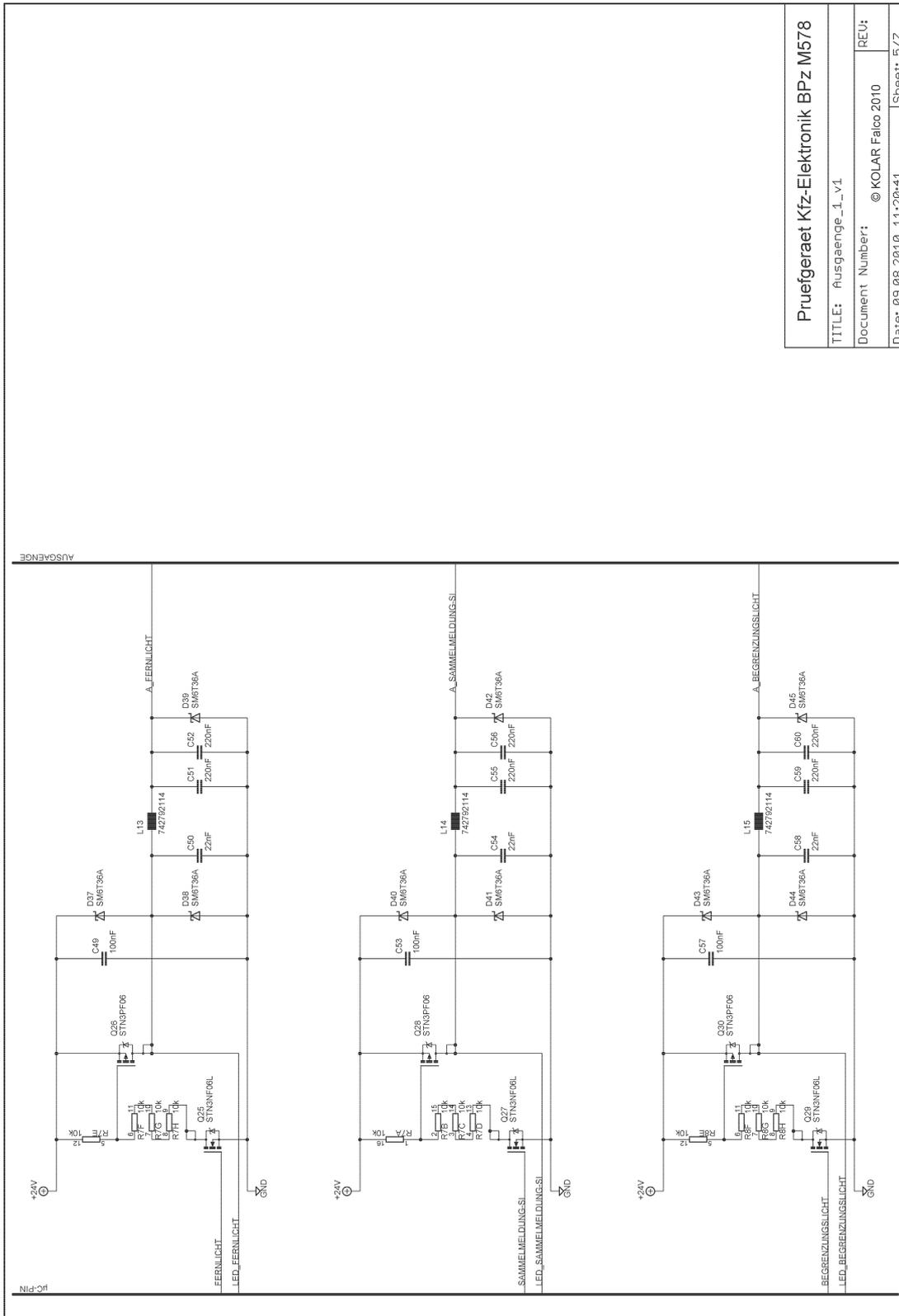
Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Ausgaenge_1_v1	
Document Number: © KOLAR Falco 2010	REU:
Date: 09.08.2010 11:20:41	Sheet: 3/7

Abbildung A.9.: Schaltplan „Ausgaenge_1_v1“ (Seite 3/7)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Ausgaenge_1_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 09.08.2010 11:20:41	Sheet: 4/7

Abbildung A.10.: Schaltplan „Ausgaenge_1_v1“ (Seite 4/7)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Ausgaenge_1_v1	
Document Number: © KOLAR Falco 2010	REU:
Date: 09.08.2010 11:20:41	Sheet: 5/7

Abbildung A.11.: Schaltplan „Ausgaenge_1_v1“ (Seite 5/7)

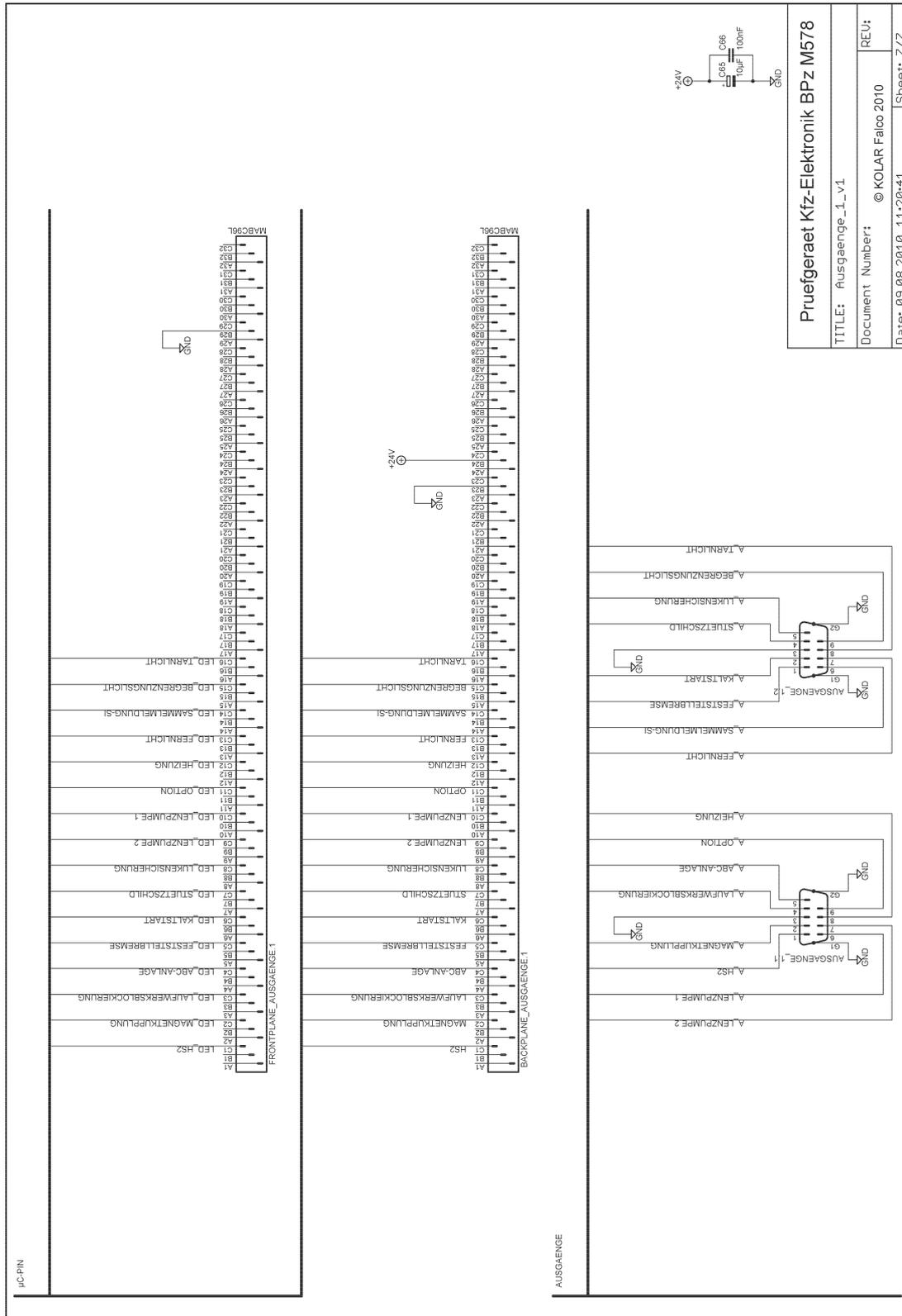
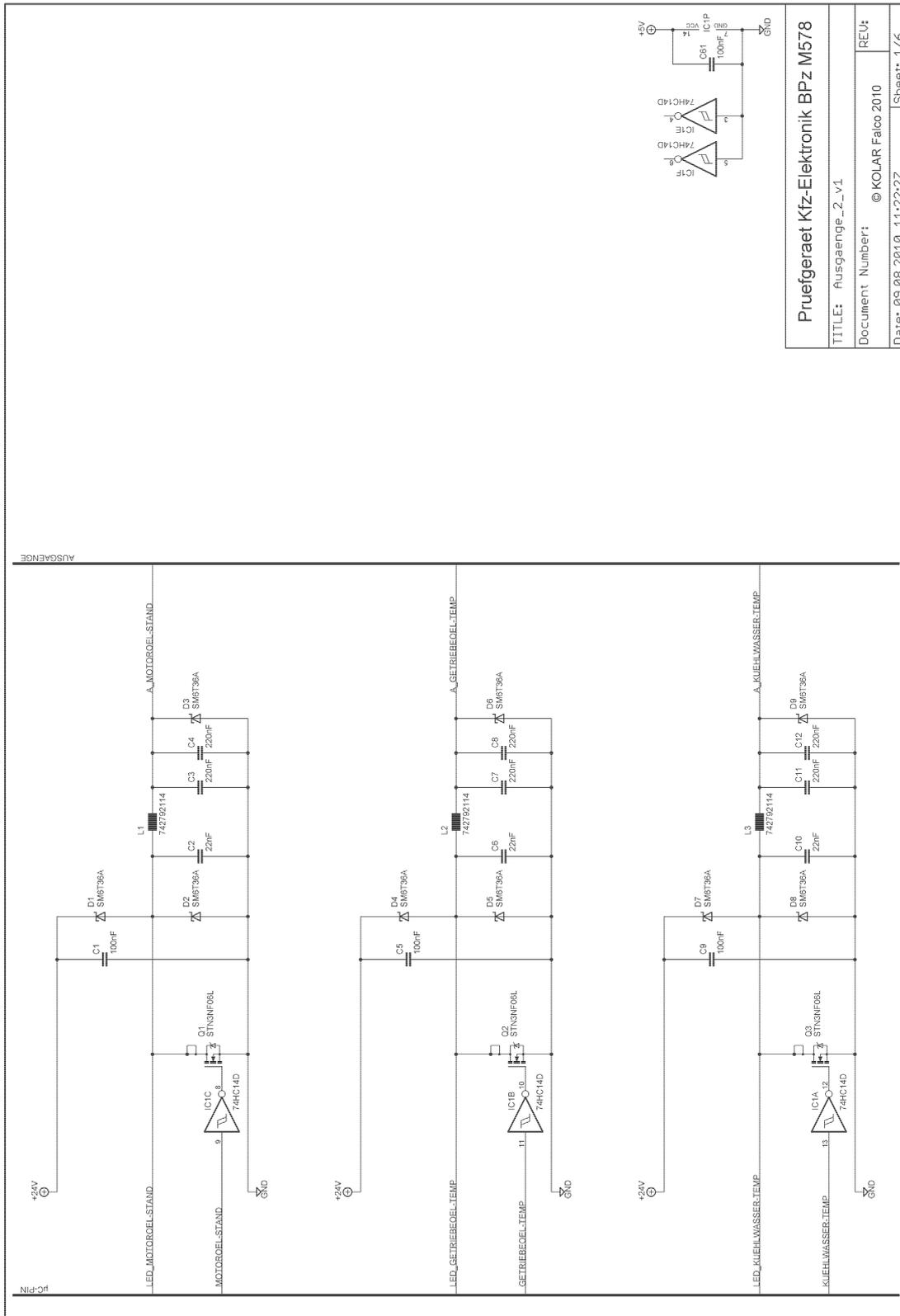
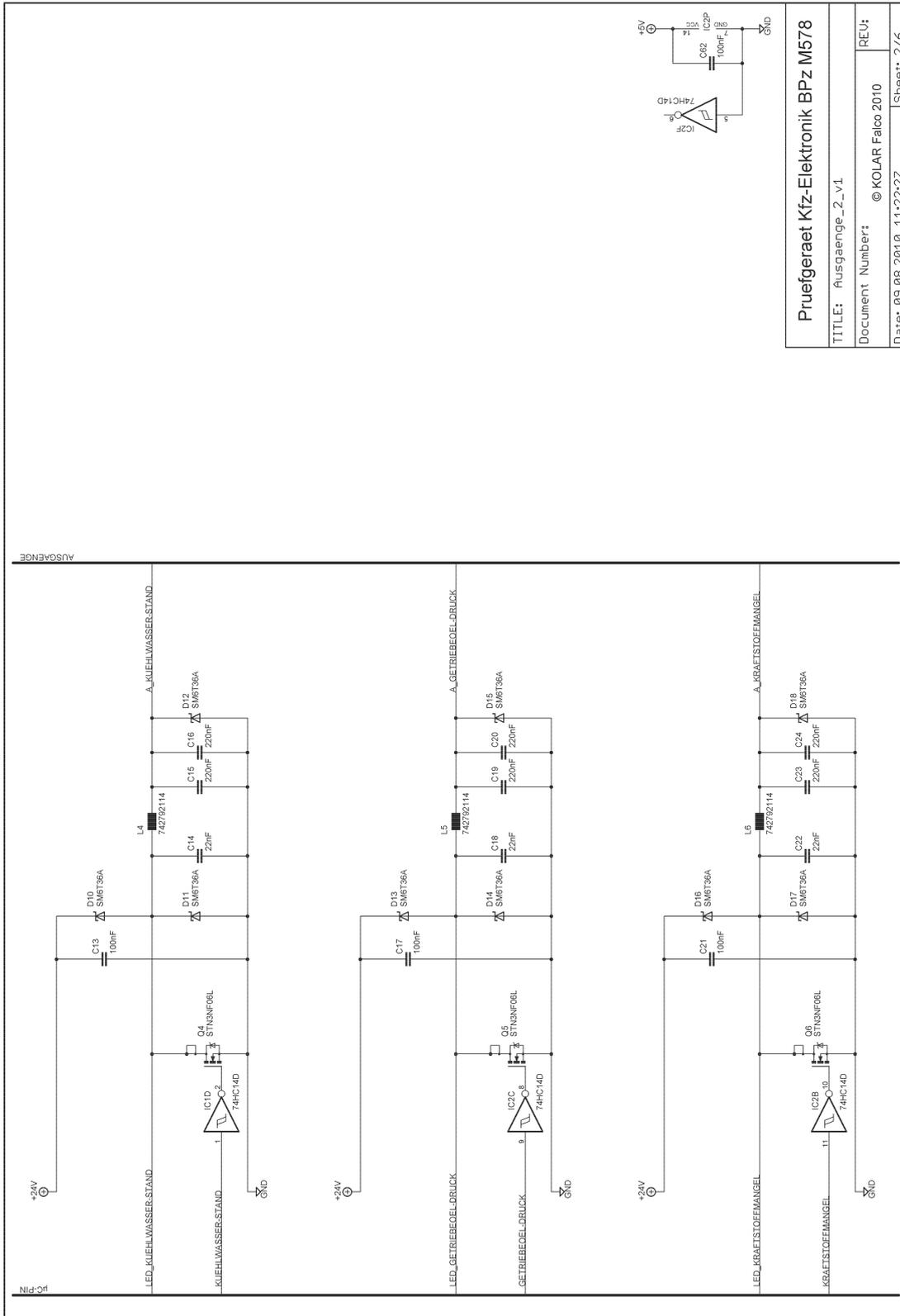


Abbildung A.13.: Schaltplan „Ausgaenge_1_v1“ (Seite 7/7)



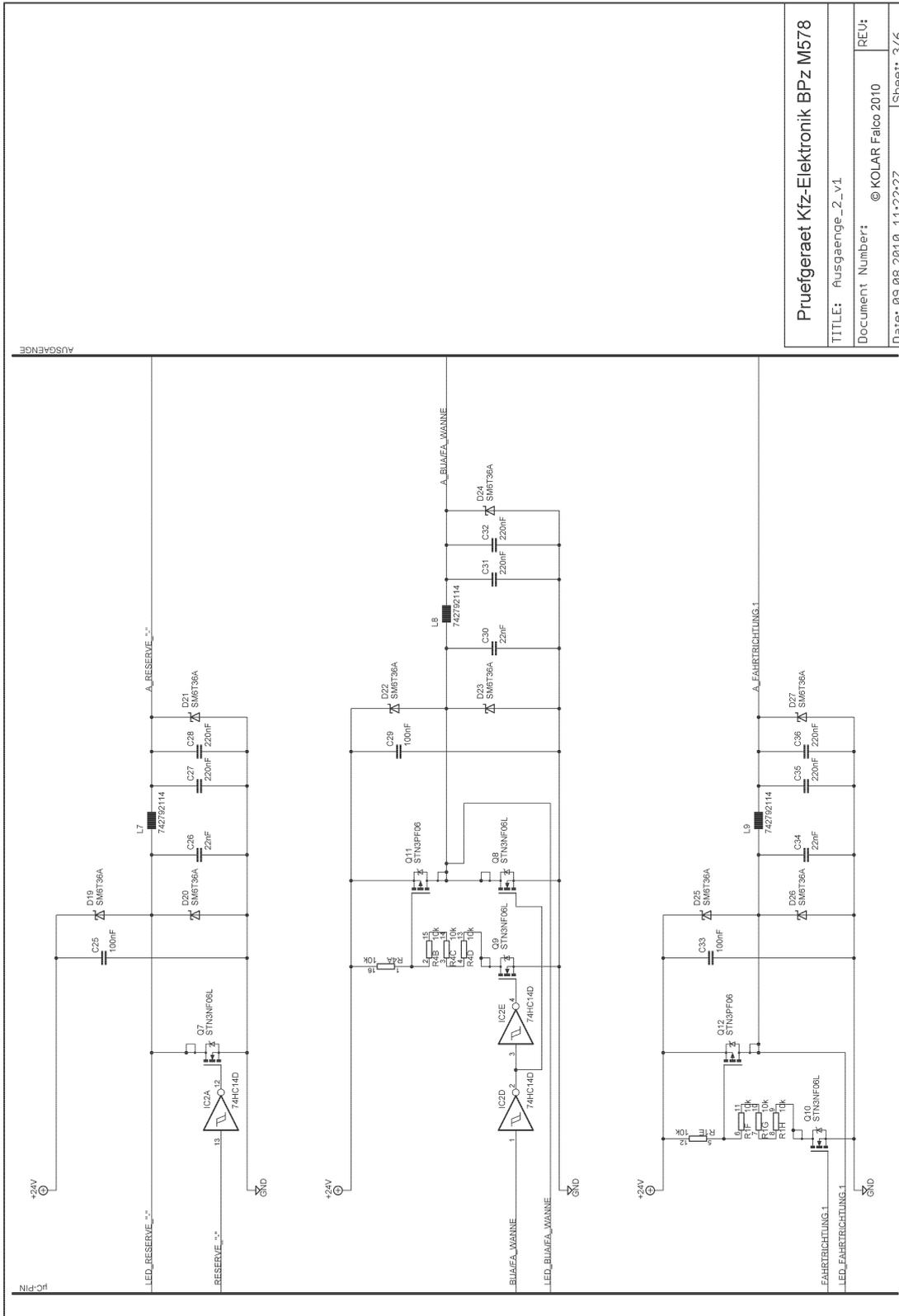
Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Ausgaenge_2_v1	
Document Number: © KOLAR Falco 2010	REV: 1
Date: 05.08.2010 11:22:27	Sheet: 1/6

Abbildung A.14.: Schaltplan „Ausgaenge_2_v1“ (Seite 1/6)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Ausgaenge_2_v1	
Document Number:	© KOLAR Falco 2010
REU:	
Date:	09.08.2010 11:22:27
Sheet:	2/6

Abbildung A.15.: Schaltplan „Ausgaenge_2_v1“ (Seite 2/6)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Ausgaenge_2_v1	
Document Number:	© KOLAR Falco 2010
Date: 09.08.2010 11:22:27	Sheet: 3/6

Abbildung A.16.: Schaltplan „Ausgaenge_2_v1“ (Seite 3/6)

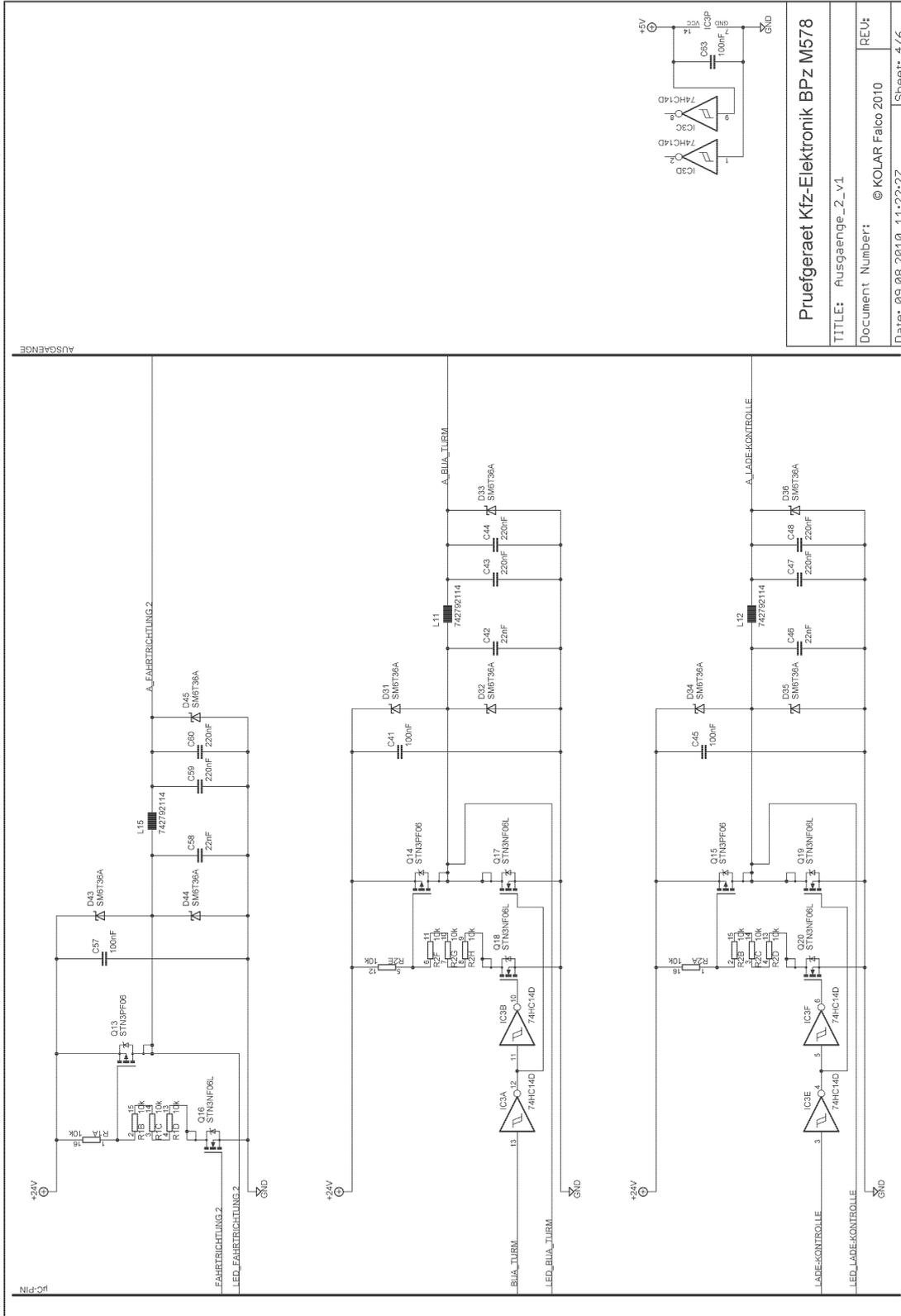


Abbildung A.17.: Schaltplan „Ausgange_2_v1“ (Seite 4/6)

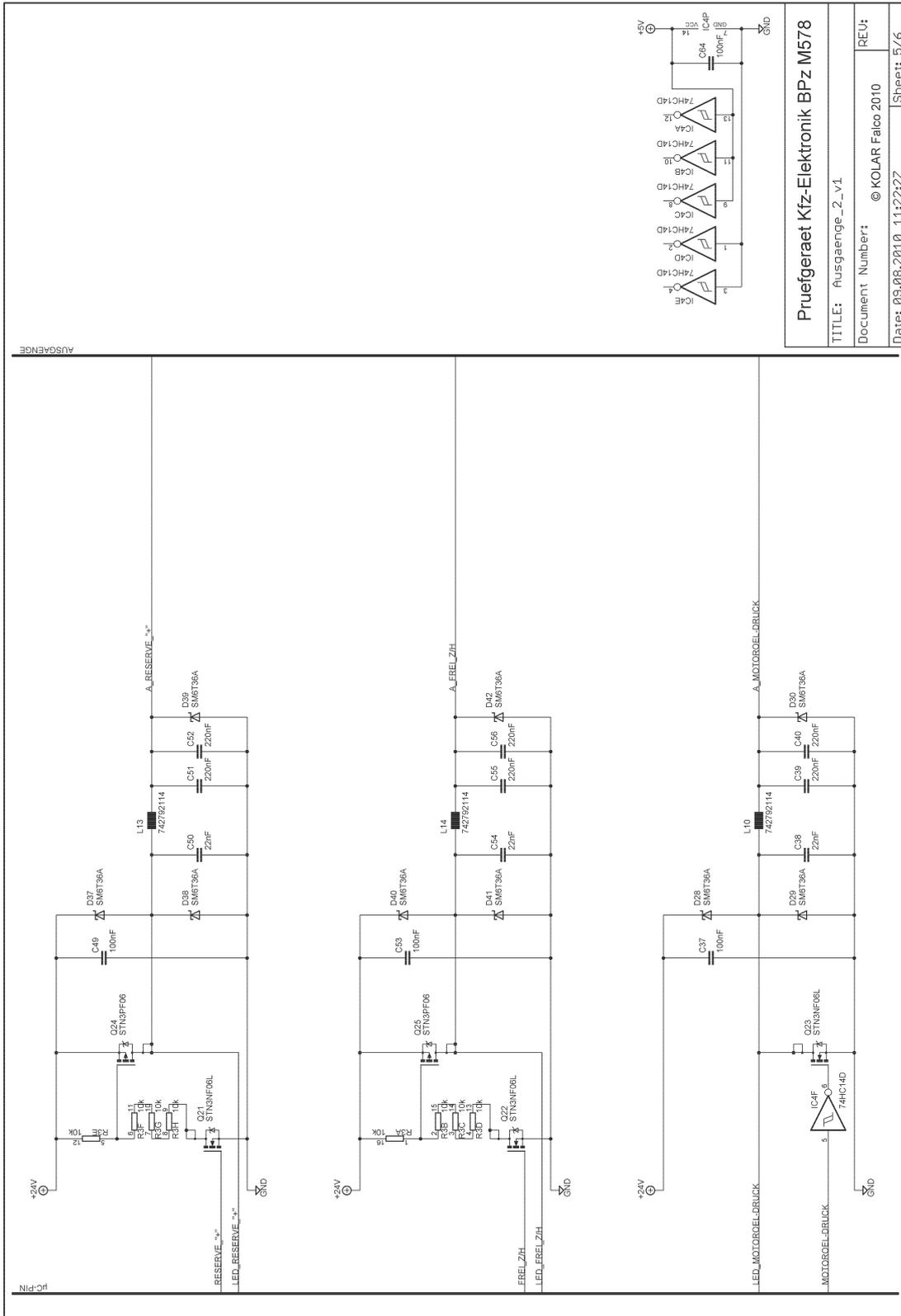


Abbildung A.18.: Schaltplan „Ausgaenge_2_v1“ (Seite 5/6)

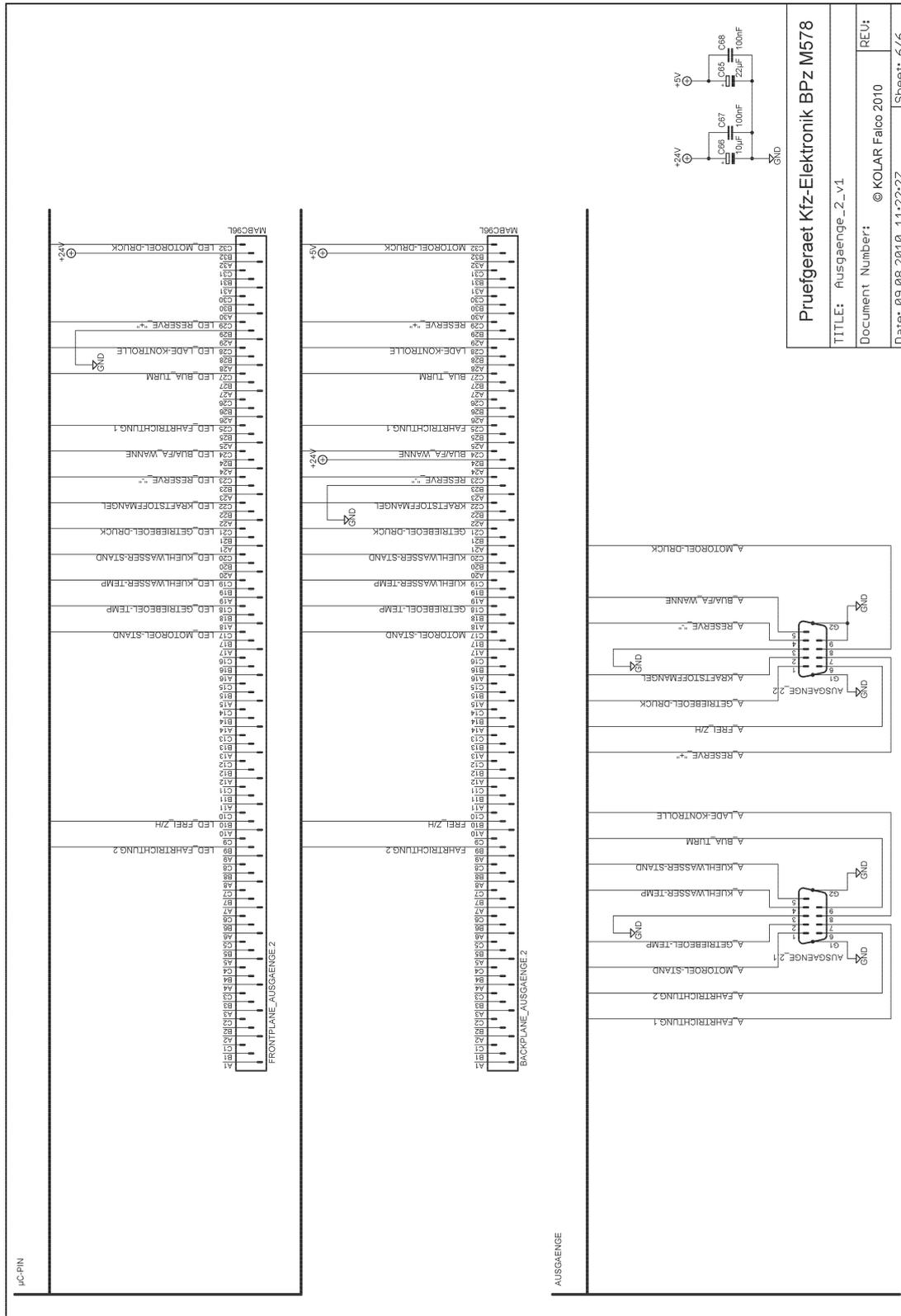


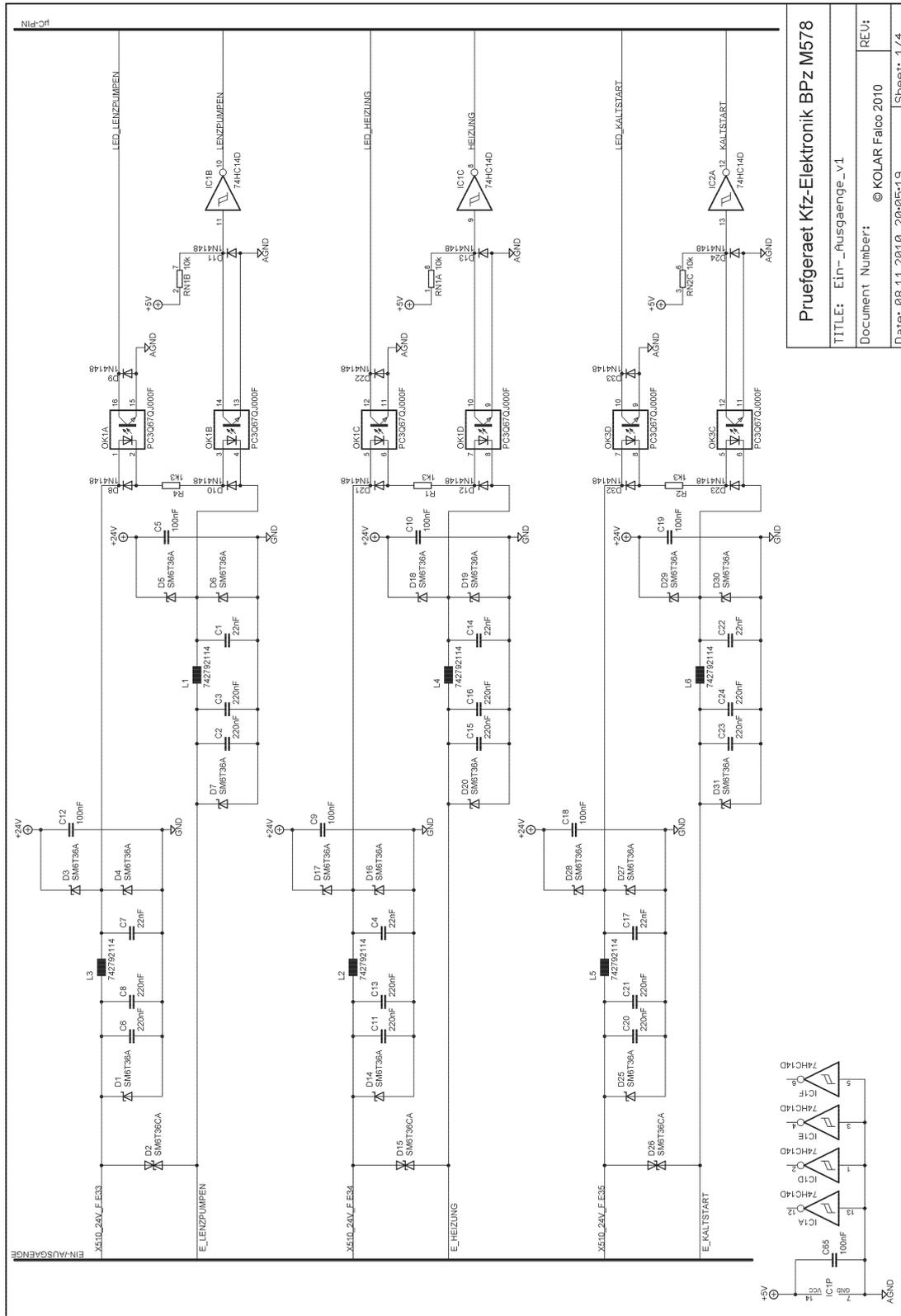
Abbildung A.19.: Schaltplan „Ausgaenge_2_v1“ (Seite 6/6)

A.1. Schaltpläne des Prüfgerätes

BACKPLANE_MESSPLATINE		BACKPLANE_MESSPLATINE		BACKPLANE_MESSPLATINE	
A1	HSSZ (A)	A1	HSSZ (A)	A1	HSSZ (A)
B1	LENZUMPELN (E)	B1	LENZUMPELN (E)	B1	LENZUMPELN (E)
A2	MAGNETKUPPLUNG (A)	A2	MAGNETKUPPLUNG (A)	A2	MAGNETKUPPLUNG (A)
B2	HEIZUNG (E)	B2	HEIZUNG (E)	B2	HEIZUNG (E)
A3	LAUFWERKSBLÖCKIERUNG (A)	A3	LAUFWERKSBLÖCKIERUNG (A)	A3	LAUFWERKSBLÖCKIERUNG (A)
B3	KALZSTART (E)	B3	KALZSTART (E)	B3	KALZSTART (E)
A4	ABG-ANLAGE (A)	A4	ABG-ANLAGE (A)	A4	ABG-ANLAGE (A)
B4	LÜKENSICHERUNG (E)	B4	LÜKENSICHERUNG (E)	B4	LÜKENSICHERUNG (E)
A5	FESTSTELLREINSE (A)	A5	FESTSTELLREINSE (A)	A5	FESTSTELLREINSE (A)
B5	LAMPENTEST (A)	B5	LAMPENTEST (A)	B5	LAMPENTEST (A)
A6	KALZSTART (A)	A6	KALZSTART (A)	A6	KALZSTART (A)
B6	QUILLER-TASTER (A)	B6	QUILLER-TASTER (A)	B6	QUILLER-TASTER (A)
A7	STUETZSCHILD (A)	A7	STUETZSCHILD (A)	A7	STUETZSCHILD (A)
B7	SCHALTER 'HWAALREI' (A)	B7	SCHALTER 'HWAALREI' (A)	B7	SCHALTER 'HWAALREI' (A)
A8	LÜKENSICHERUNG (A)	A8	LÜKENSICHERUNG (A)	A8	LÜKENSICHERUNG (A)
B8	FREI (E)	B8	FREI (E)	B8	FREI (E)
A9	LENZUMPEL 2 (A)	A9	LENZUMPEL 2 (A)	A9	LENZUMPEL 2 (A)
B9	FAHRTRICHTUNG 2 (A)	B9	FAHRTRICHTUNG 2 (A)	B9	FAHRTRICHTUNG 2 (A)
A10	LENZUMPEL 1 (A)	A10	LENZUMPEL 1 (A)	A10	LENZUMPEL 1 (A)
B10	FREI 2 (A)	B10	FREI 2 (A)	B10	FREI 2 (A)
A11	OPTION (A)	A11	OPTION (A)	A11	OPTION (A)
B11	IC-FREISCHALTUNG_MESSUNG	B11	IC-FREISCHALTUNG_MESSUNG	B11	IC-FREISCHALTUNG_MESSUNG
A12	HEIZUNG (A)	A12	HEIZUNG (A)	A12	HEIZUNG (A)
B12	IC-LASTSCHALTER	B12	IC-LASTSCHALTER	B12	IC-LASTSCHALTER
A13	FERNLICHT (A)	A13	FERNLICHT (A)	A13	FERNLICHT (A)
B13	IC-ASTSCHALTER	B13	IC-ASTSCHALTER	B13	IC-ASTSCHALTER
A14	SAMMELMELDUNG(S) (A)	A14	SAMMELMELDUNG(S) (A)	A14	SAMMELMELDUNG(S) (A)
B14	IC-ABGREGULATOR	B14	IC-ABGREGULATOR	B14	IC-ABGREGULATOR
A15	BEGRENZUNGSLICHT (A)	A15	BEGRENZUNGSLICHT (A)	A15	BEGRENZUNGSLICHT (A)
B15	IC-ABGREGULATOR	B15	IC-ABGREGULATOR	B15	IC-ABGREGULATOR
A16	TARNLICHT (A)	A16	TARNLICHT (A)	A16	TARNLICHT (A)
B16	IC-ABGREGULATOR	B16	IC-ABGREGULATOR	B16	IC-ABGREGULATOR
A17	MOTOROL-STAND (A)	A17	MOTOROL-STAND (A)	A17	MOTOROL-STAND (A)
B17	TEMPERATUR_GETRIEBEOL (E)	B17	TEMPERATUR_GETRIEBEOL (E)	B17	TEMPERATUR_GETRIEBEOL (E)
A18	GETRIEBEOL-TEMP (A)	A18	GETRIEBEOL-TEMP (A)	A18	GETRIEBEOL-TEMP (A)
B18	TEMPERATUR_KUEHMITTEL (E)	B18	TEMPERATUR_KUEHMITTEL (E)	B18	TEMPERATUR_KUEHMITTEL (E)
A19	KUEHLWASSER-TEMP (A)	A19	KUEHLWASSER-TEMP (A)	A19	KUEHLWASSER-TEMP (A)
B19	KRAFTSTOFFANZEIGE (E)	B19	KRAFTSTOFFANZEIGE (E)	B19	KRAFTSTOFFANZEIGE (E)
A20	KUEHLWASSER-STAND (A)	A20	KUEHLWASSER-STAND (A)	A20	KUEHLWASSER-STAND (A)
B20	LADENZUSTANDSANZEIGE (E)	B20	LADENZUSTANDSANZEIGE (E)	B20	LADENZUSTANDSANZEIGE (E)
A21	GETRIEBEOL-DRUCK (A)	A21	GETRIEBEOL-DRUCK (A)	A21	GETRIEBEOL-DRUCK (A)
B21	DREHZAHLMESSER (E)	B21	DREHZAHLMESSER (E)	B21	DREHZAHLMESSER (E)
A22	KRAFTSTOFFMANGEL (A)	A22	KRAFTSTOFFMANGEL (A)	A22	KRAFTSTOFFMANGEL (A)
B22	GESCHWINDIGKEITSMESSER (E)	B22	GESCHWINDIGKEITSMESSER (E)	B22	GESCHWINDIGKEITSMESSER (E)
A23	RESERVE_2 (A)	A23	RESERVE_2 (A)	A23	RESERVE_2 (A)
B23	WARNSUMMER (E)	B23	WARNSUMMER (E)	B23	WARNSUMMER (E)
A24	BUMFA_WANNE (A)	A24	BUMFA_WANNE (A)	A24	BUMFA_WANNE (A)
B24	HAUPTWARNLEUCHE_AUBEN (E)	B24	HAUPTWARNLEUCHE_AUBEN (E)	B24	HAUPTWARNLEUCHE_AUBEN (E)
A25	FAHRTRICHTUNG 1 (A)	A25	FAHRTRICHTUNG 1 (A)	A25	FAHRTRICHTUNG 1 (A)
B25	STUETZSCHILD (E)	B25	STUETZSCHILD (E)	B25	STUETZSCHILD (E)
A26	NEUWAERUNG (E)	A26	NEUWAERUNG (E)	A26	NEUWAERUNG (E)
B26	LAUFWERKSBLÖCKIERUNG (E)	B26	LAUFWERKSBLÖCKIERUNG (E)	B26	LAUFWERKSBLÖCKIERUNG (E)
A27	BUMFA_WANNE (A)	A27	BUMFA_WANNE (A)	A27	BUMFA_WANNE (A)
B27	LADENKONTROLLE (A)	B27	LADENKONTROLLE (A)	B27	LADENKONTROLLE (A)
A28	ABG-ANLAGE (E)	A28	ABG-ANLAGE (E)	A28	ABG-ANLAGE (E)
B28	DREH-TASTER (A)	B28	DREH-TASTER (A)	B28	DREH-TASTER (A)
A29	SAMMELMELDUNG(S) (E)	A29	SAMMELMELDUNG(S) (E)	A29	SAMMELMELDUNG(S) (E)
B29	PRIMAERRELAIS_STARTER (E)	B29	PRIMAERRELAIS_STARTER (E)	B29	PRIMAERRELAIS_STARTER (E)
A30	QUILLER-TASTER (A)	A30	QUILLER-TASTER (A)	A30	QUILLER-TASTER (A)
B30	SEKUNDAERREIS_STARTER (E)	B30	SEKUNDAERREIS_STARTER (E)	B30	SEKUNDAERREIS_STARTER (E)
A31	AGND	A31	AGND	A31	AGND
B31	MOTOROL-DRUCK (A)	B31	MOTOROL-DRUCK (A)	B31	MOTOROL-DRUCK (A)
A32	AGND	A32	AGND	A32	AGND
B32	MOTOROL-STAND (E)	B32	MOTOROL-STAND (E)	B32	MOTOROL-STAND (E)
A33	AGND	A33	AGND	A33	AGND
B33	MOTOROL-STAND (E)	B33	MOTOROL-STAND (E)	B33	MOTOROL-STAND (E)

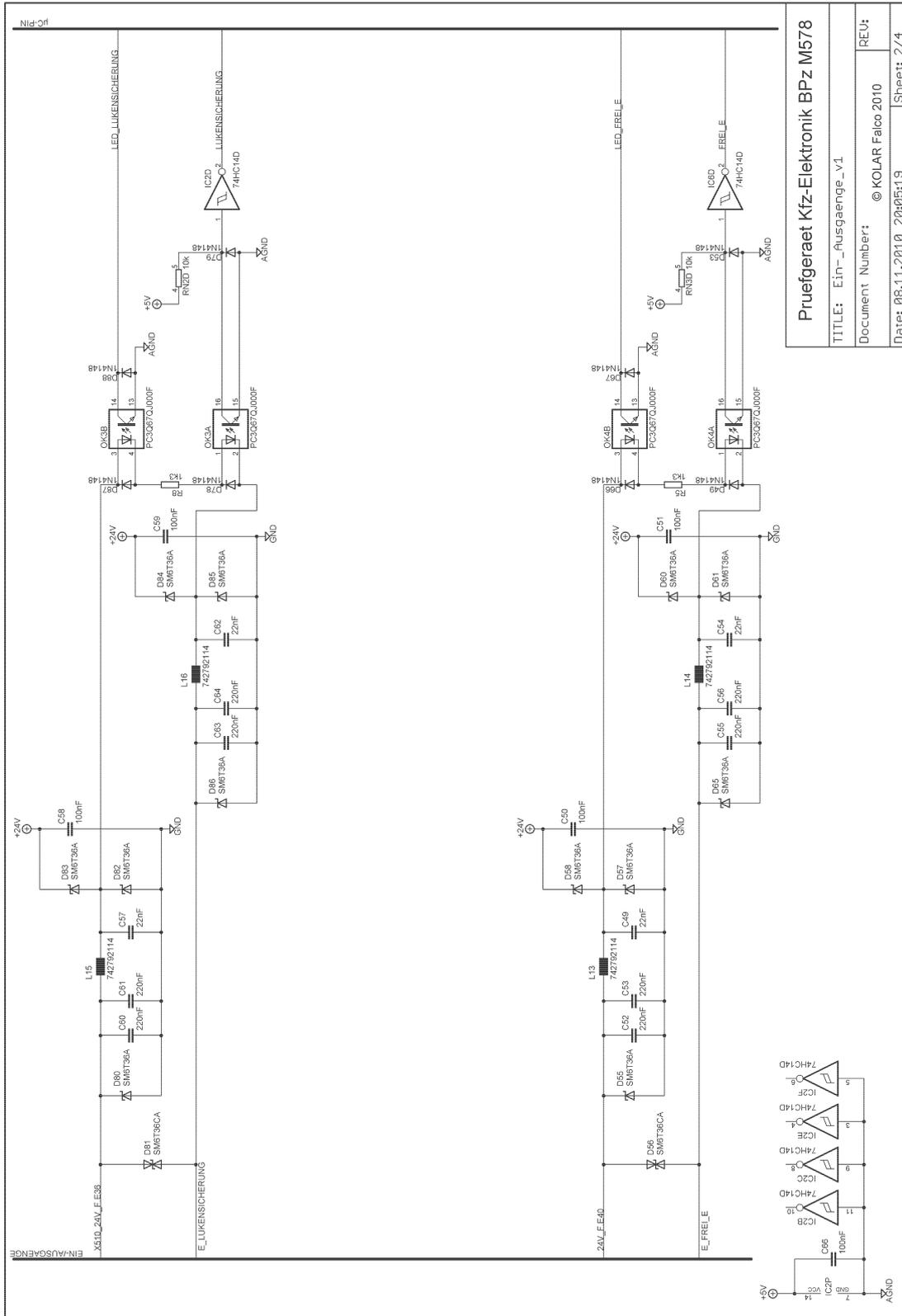
Abbildung A.24.: Schaltplan „Backplane_2_v1“ (Seite 2/2)

Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578
 Document Number: © KOLAR Falco 2010
 Date: 08.11.2010 20:02:15
 Sheet: 2/2



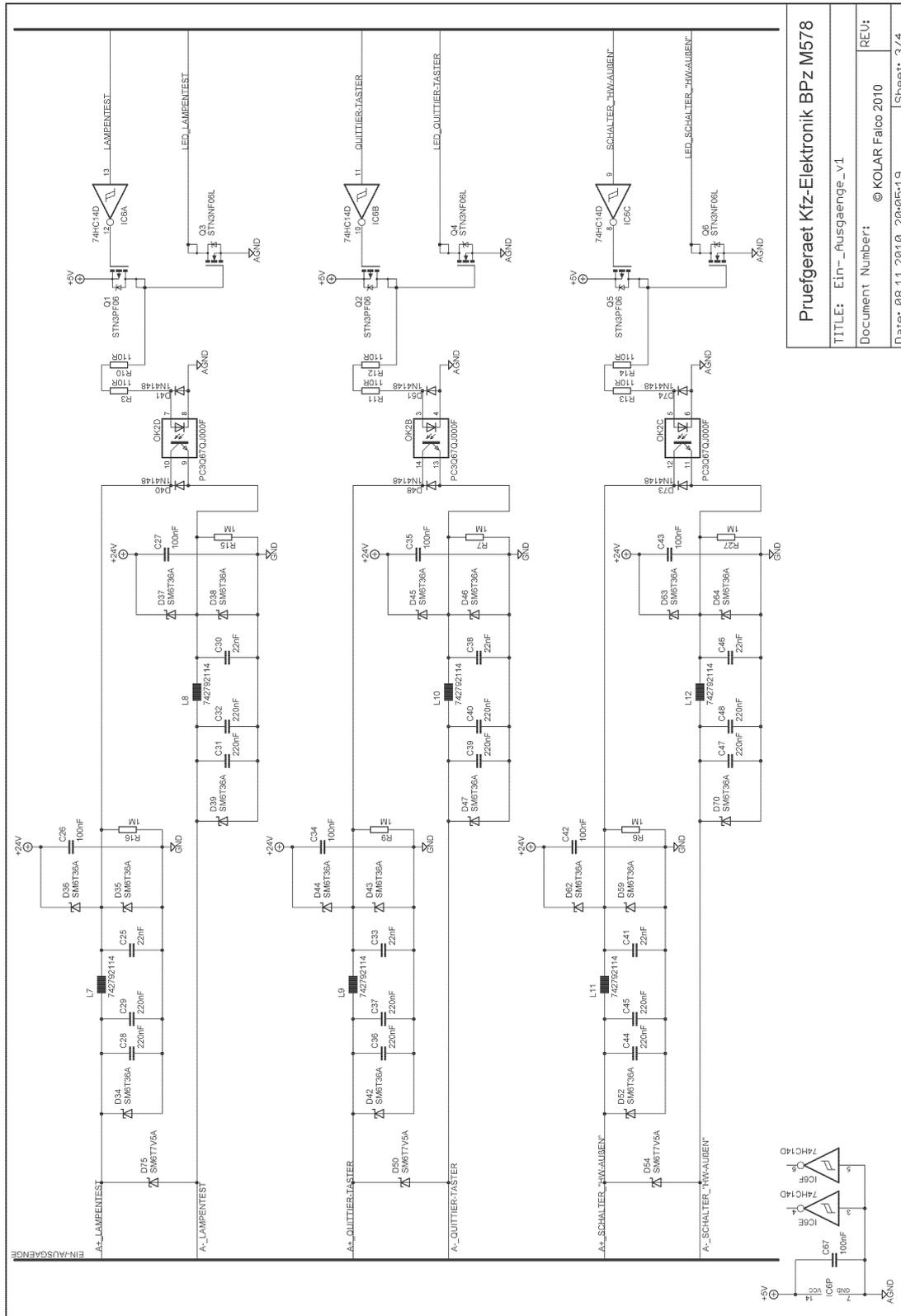
Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Ein_Ausgaenge_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 08.11.2010 20:05:19	Sheet: 1/4

Abbildung A.25.: Schaltplan „Ein_Ausgaenge_v1“ (Seite 1/4)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Ein-_Ausgaenge_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 06.11.2010 20:05:19	Sheet: 2/4

Abbildung A.26.: Schaltplan „Ein-_Ausgaenge_v1“ (Seite 2/4)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Ein- Ausgaenge_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 08.11.2010 20:05:19	Sheet: 3/4

Abbildung A.27.: Schaltplan „Ein- Ausgaenge_v1“ (Seite 3/4)

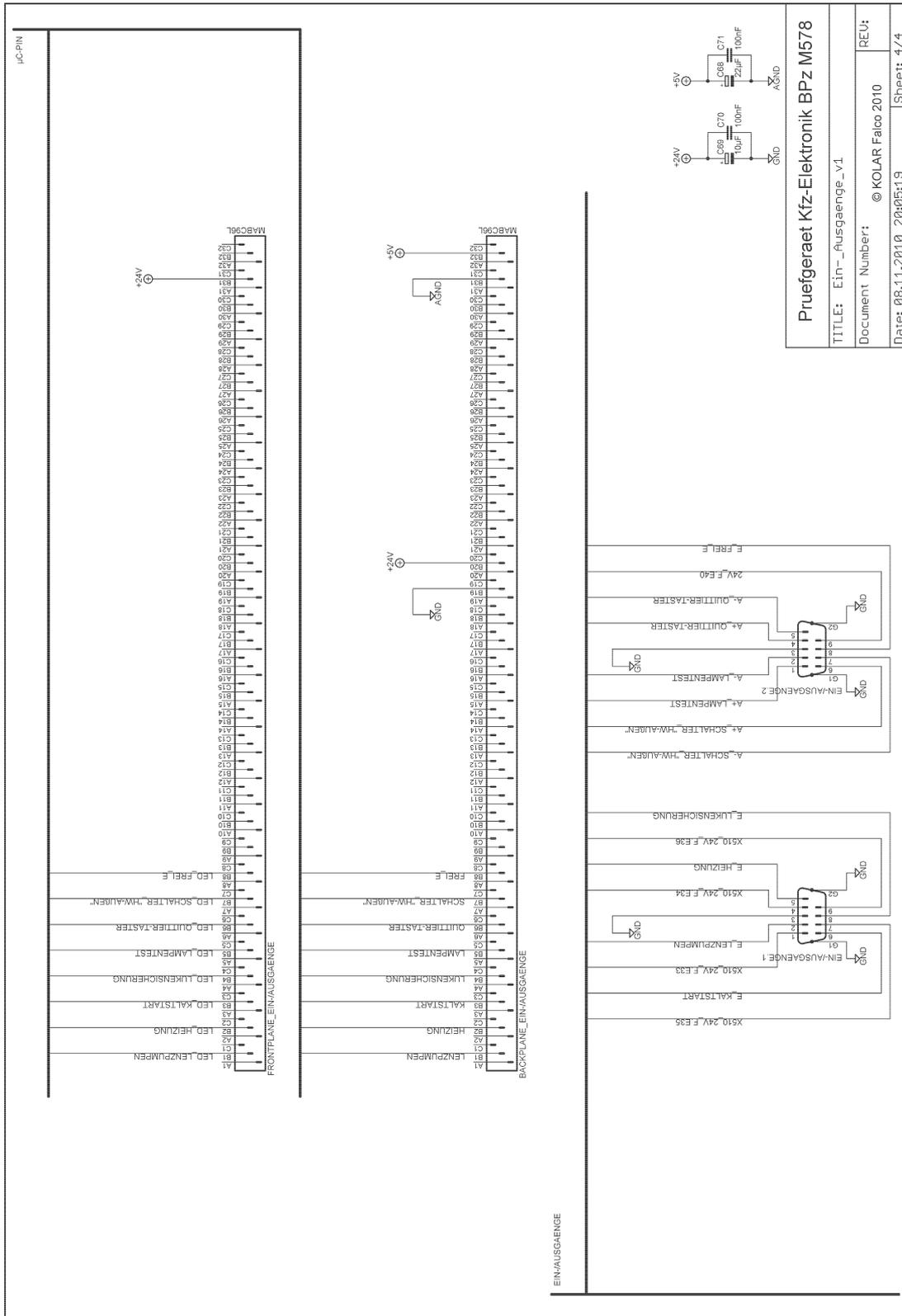
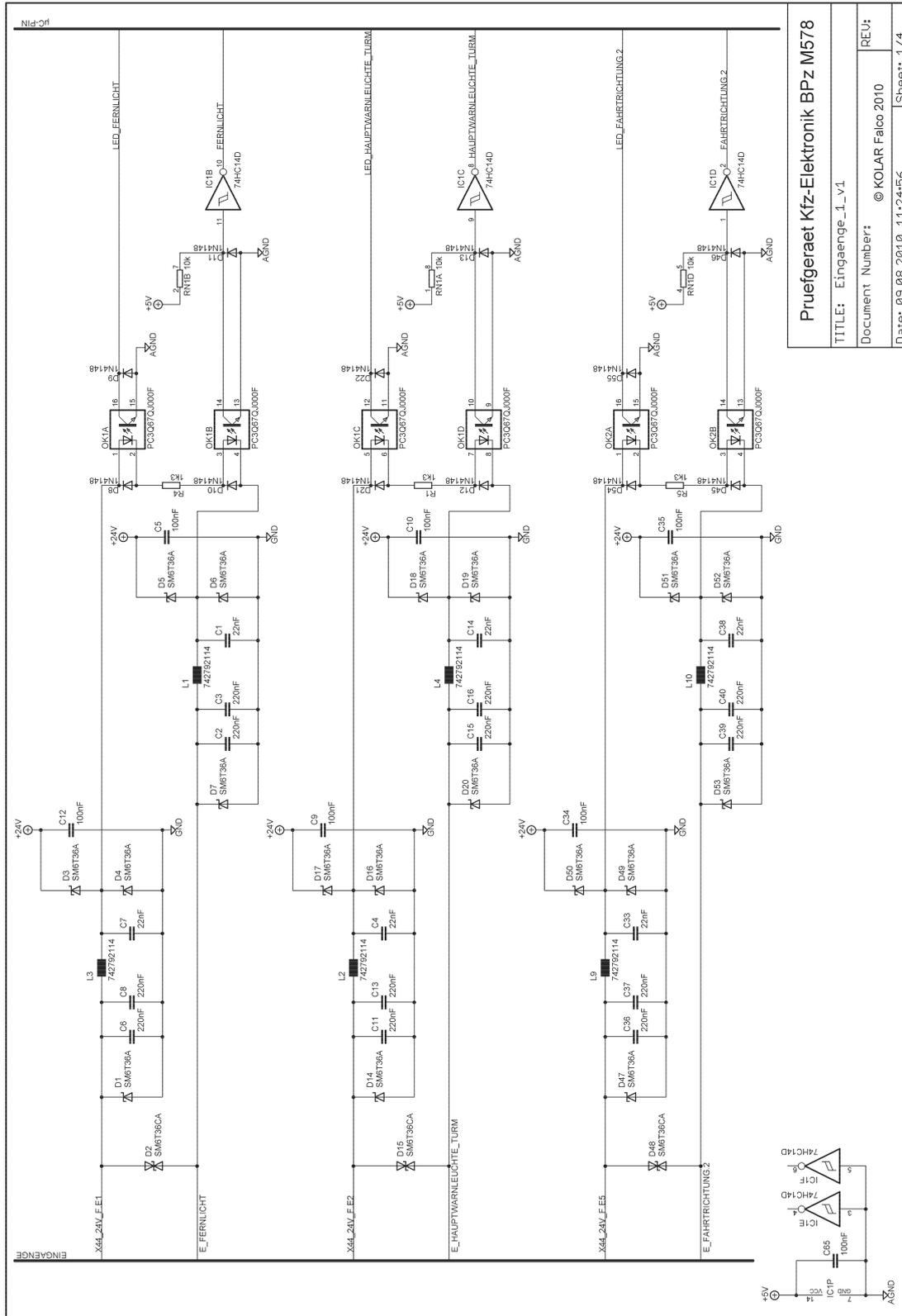
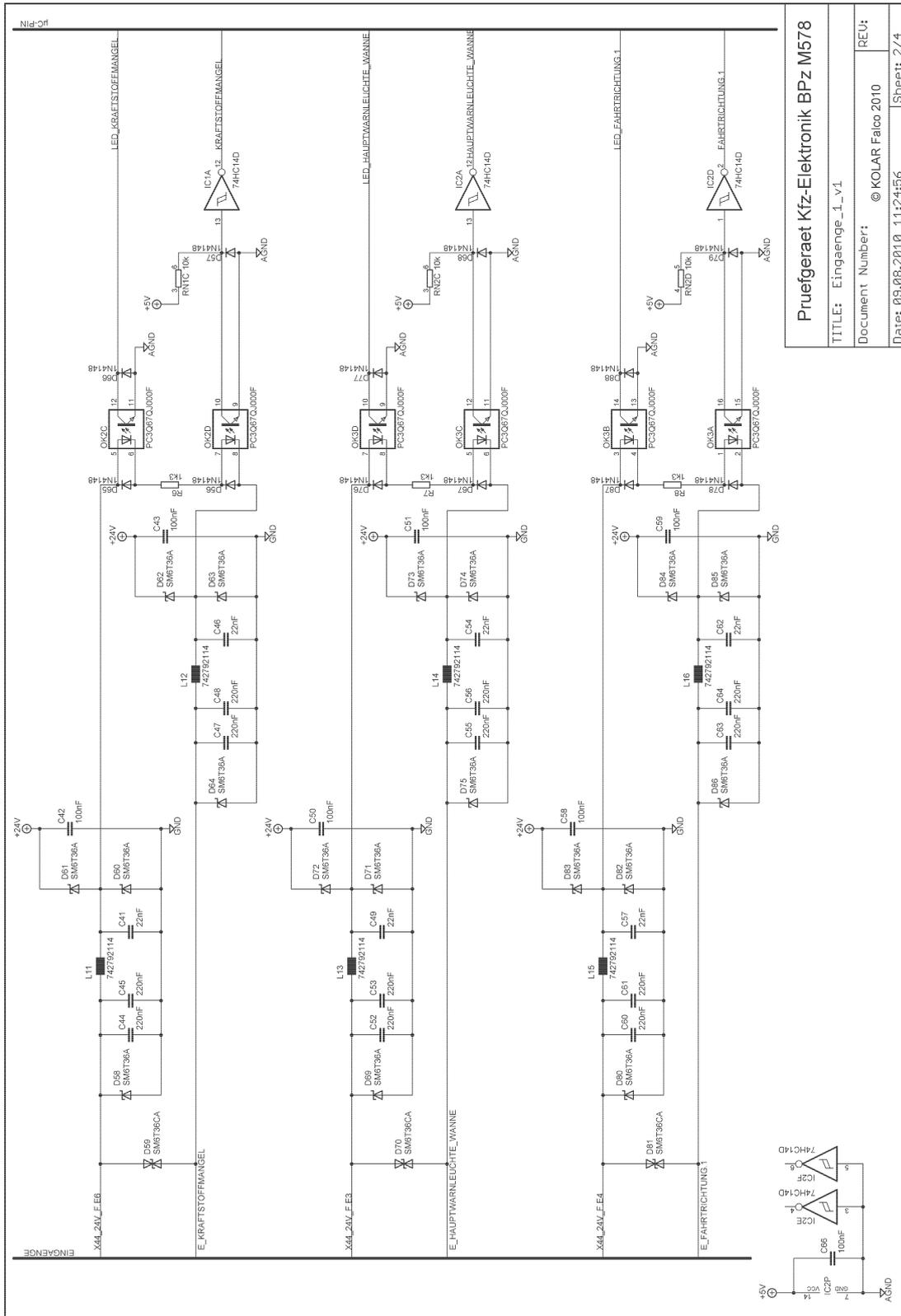


Abbildung A.28.: Schaltplan „Ein_Ausgaenge_v1“ (Seite 4/4)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Eingaenge_1_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 09.08.2010 11:24:56	Sheet: 1/4

Abbildung A.29.: Schaltplan „Eingaenge_1_v1“ (Seite 1/4)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Eingaenge_1_v1	REV: 1
Document Number: © KOLAR Falco 2010	REU: 1
Date: 09.08.2010 11:24:55	Sheet: 2/4

Abbildung A.30.: Schaltplan „Eingaenge_1_v1“ (Seite 2/4)

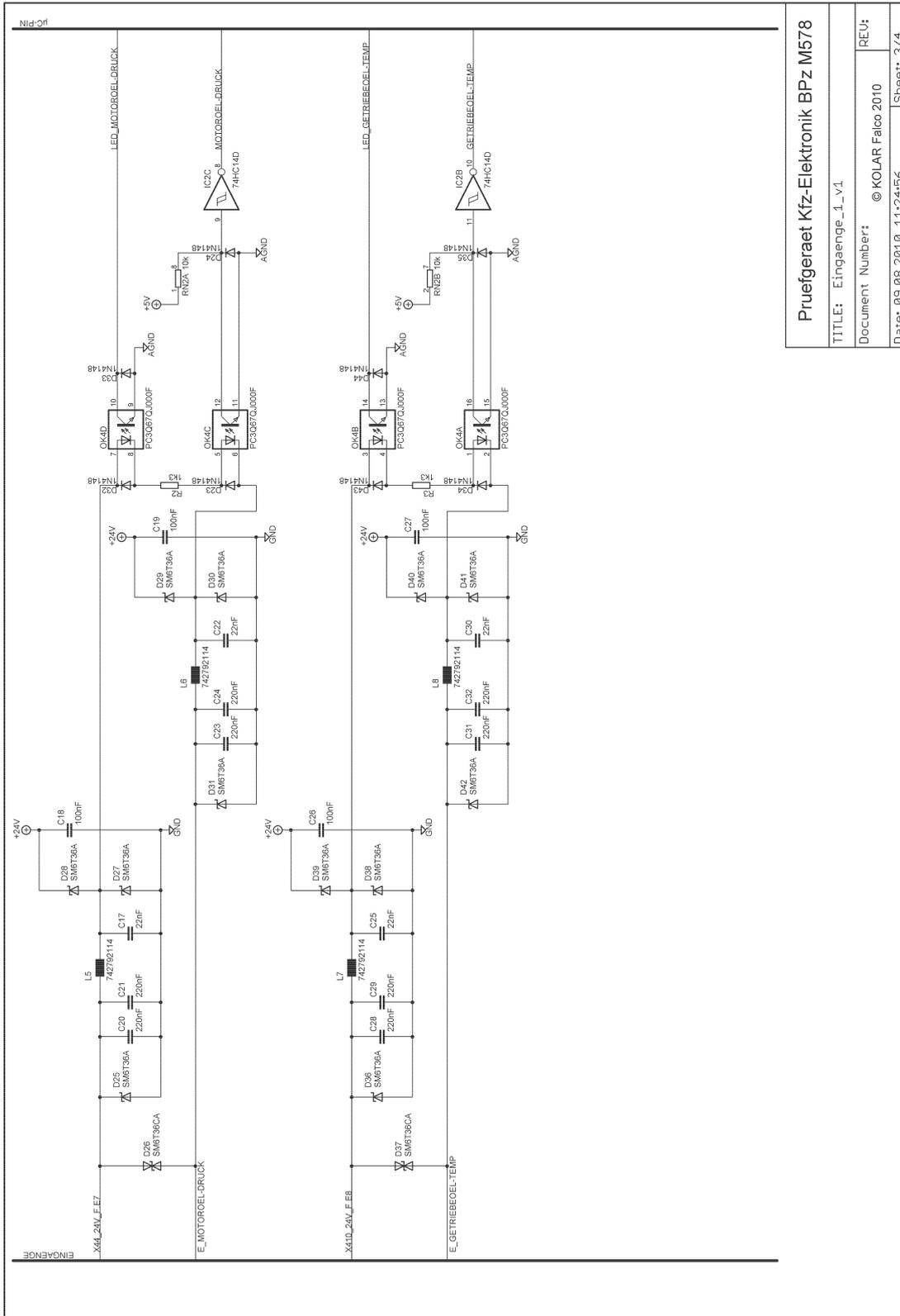
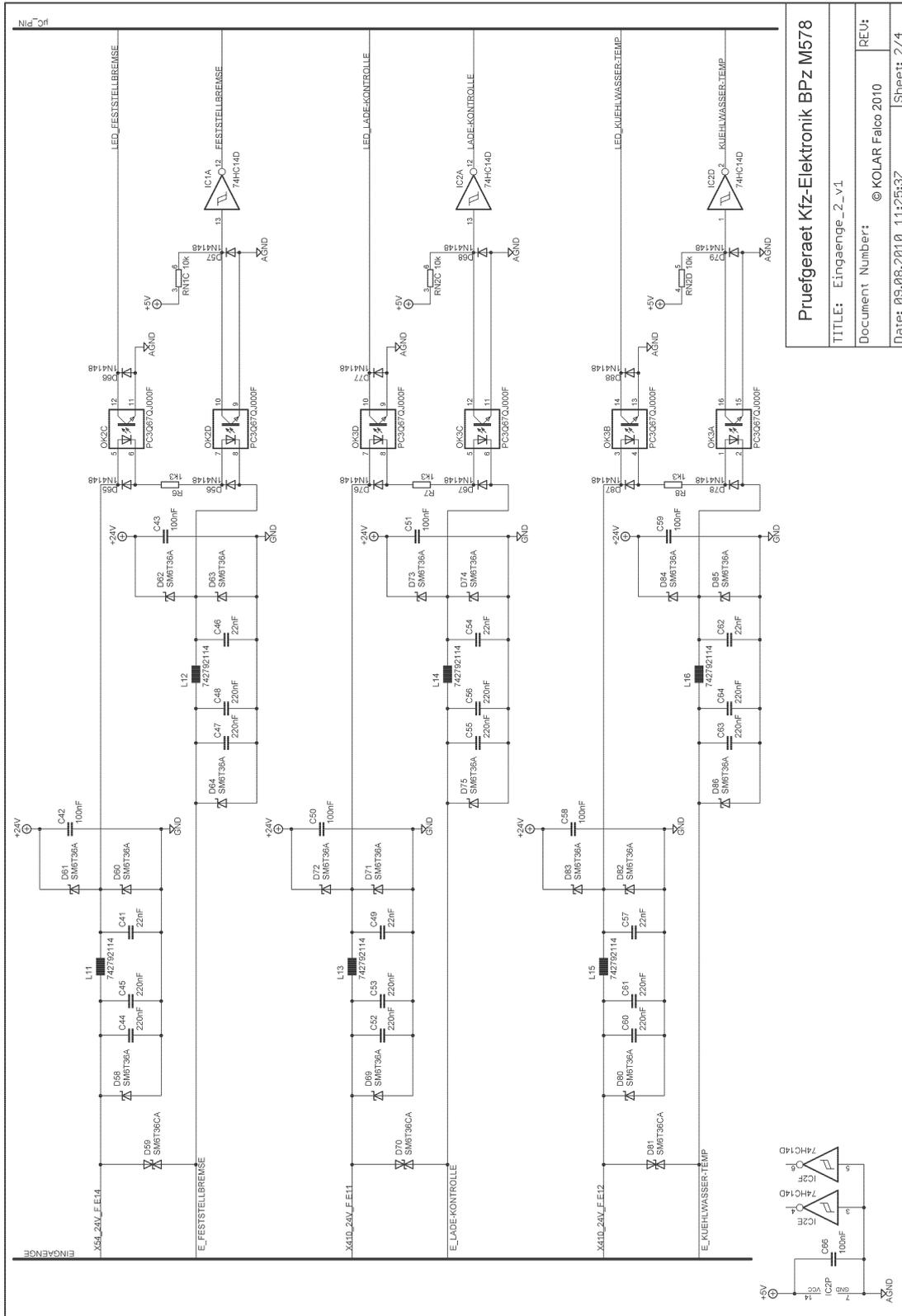


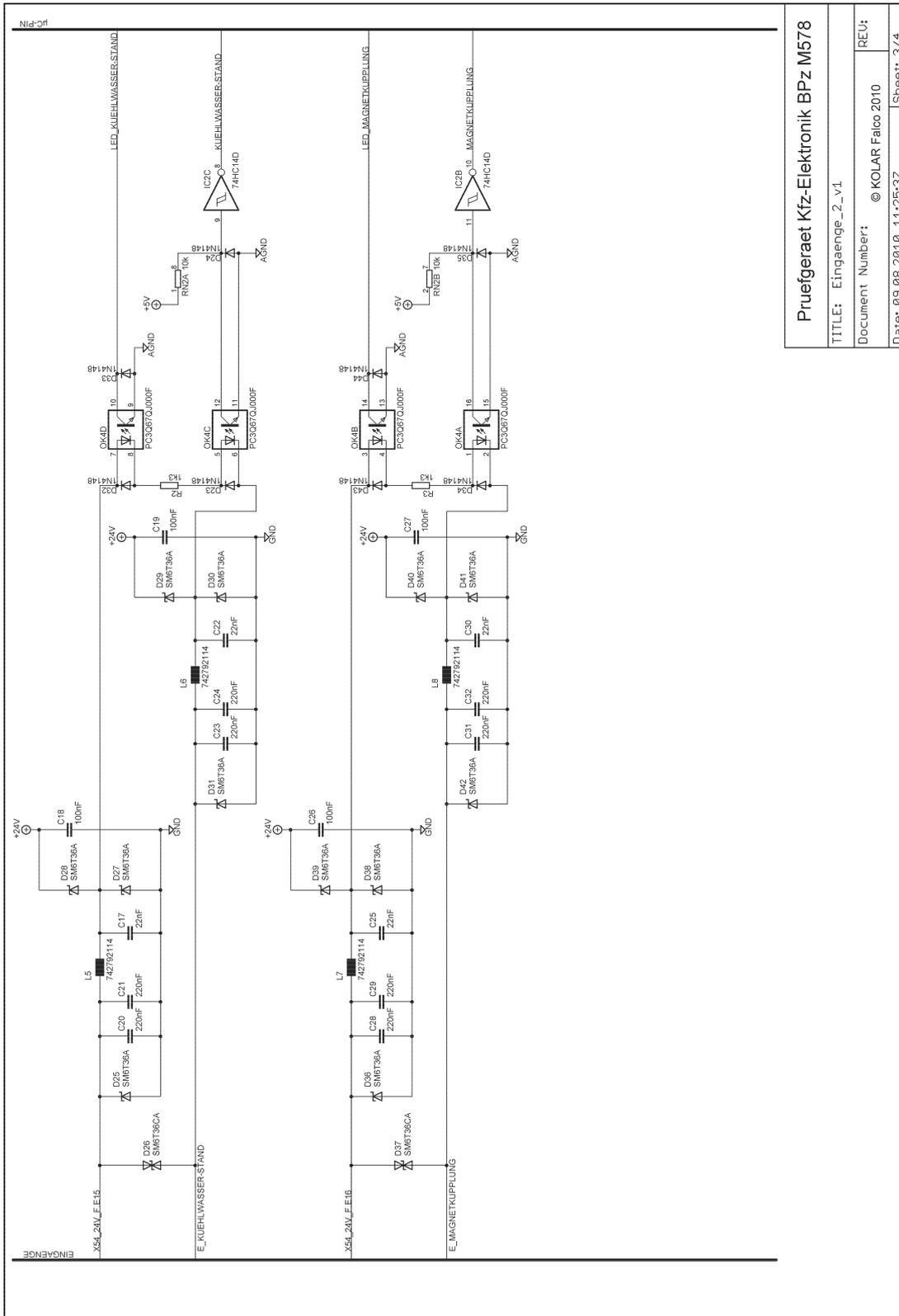
Abbildung A.31.: Schaltplan „Eingaenge_1_v1“ (Seite 3/4)

Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Eingaenge_1_v1	
Document Number:	© KOLAR Falco 2010
REU:	
Date:	09.08.2010 11:24:56
Sheet:	3/4



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Eingaenge_2_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 09.08.2010 11:25:37	Sheet: 2/4

Abbildung A.34.: Schaltplan „Eingaenge_2_v1“ (Seite 2/4)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Eingaenge_2_v1	
Document Number:	© KOLAR Falco 2010
REU:	
Date:	09.08.2010 11:25:37
Sheet:	3/4

Abbildung A.35.: Schaltplan „Eingaenge_2_v1“ (Seite 3/4)

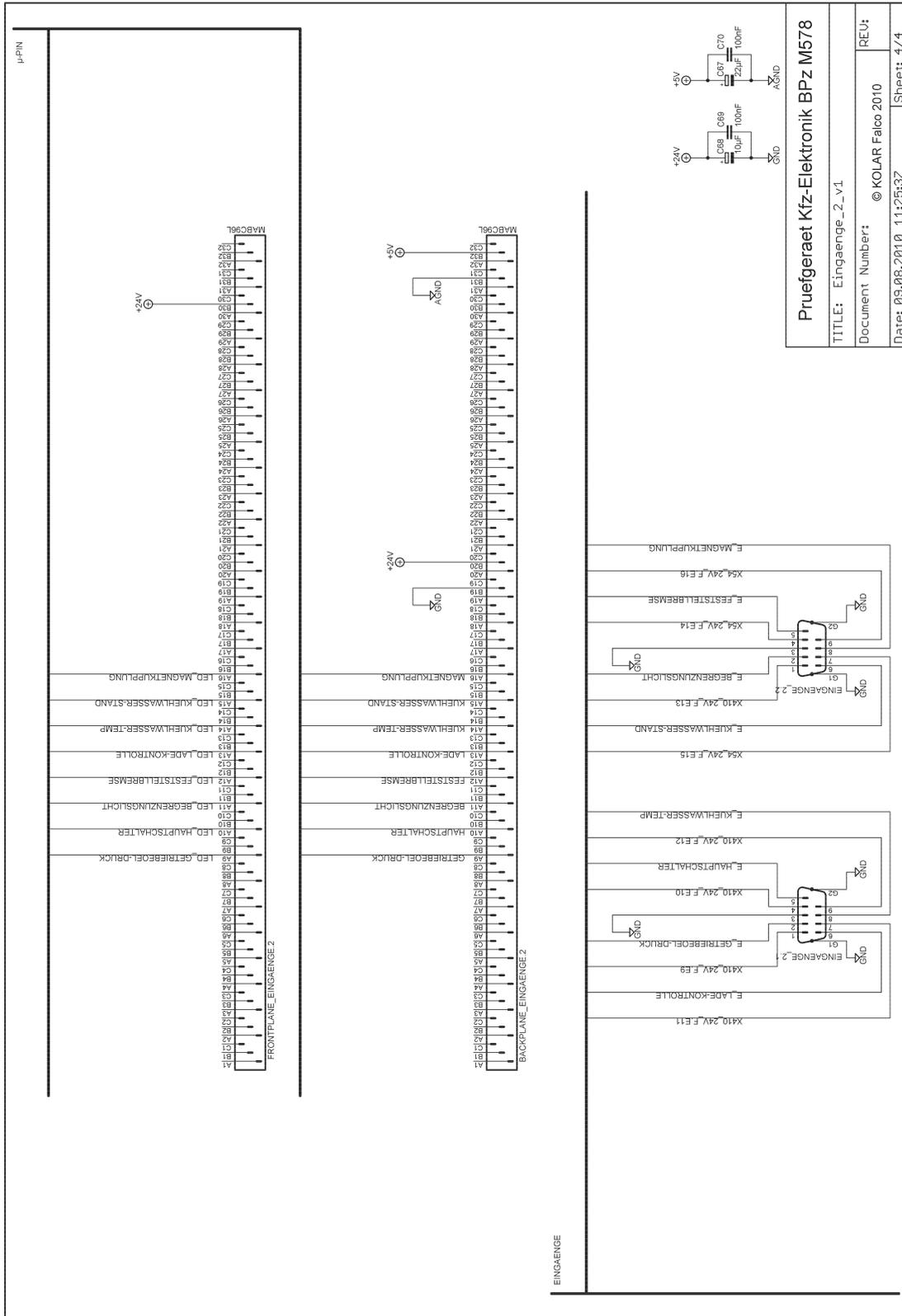
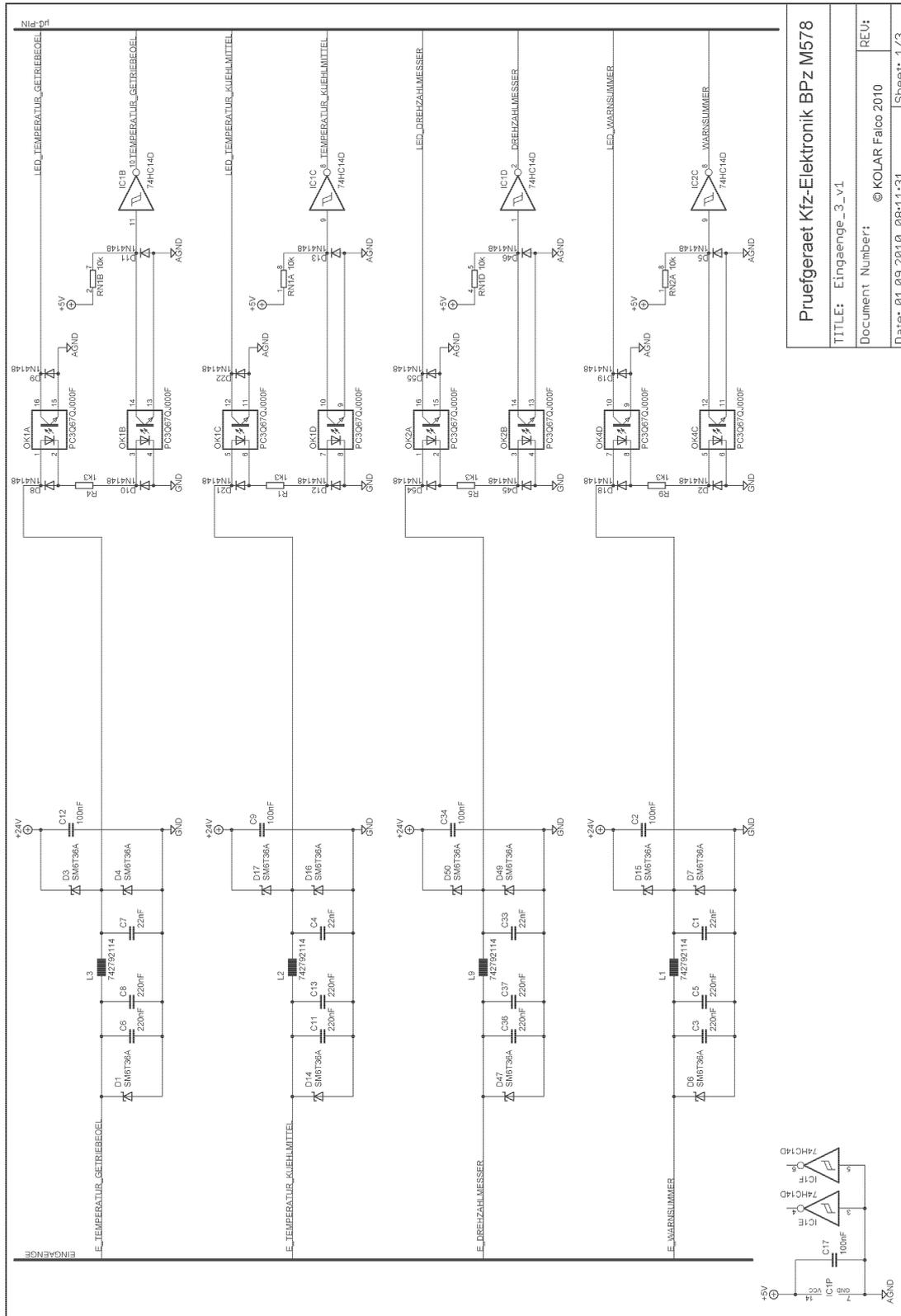


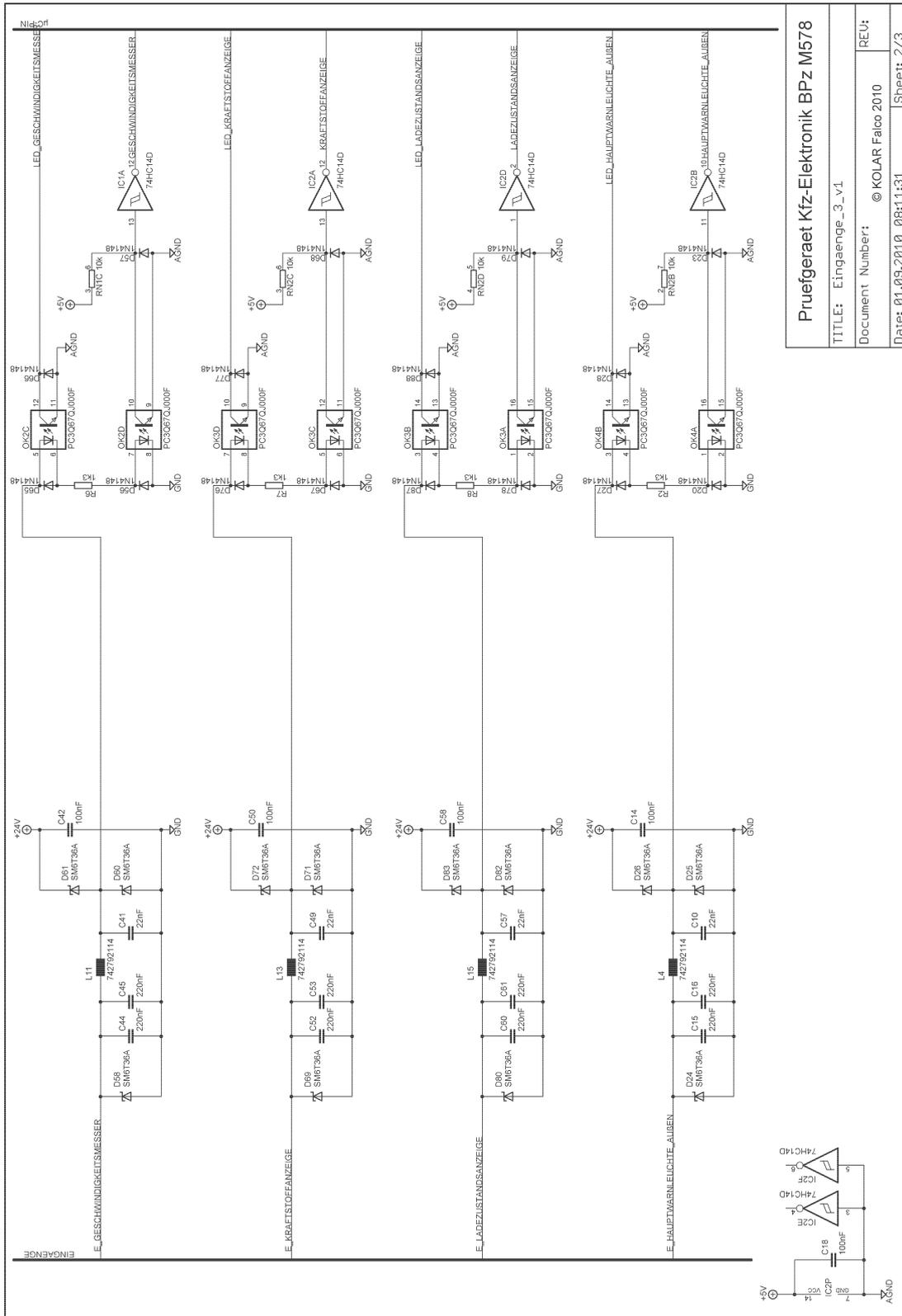
Abbildung A.36.: Schaltplan „Eingaenge_2_v1“ (Seite 4/4)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Eingänge_3_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 01.09.2010 08:11:31	Sheet: 1/3

Abbildung A.37.: Schaltplan „Eingänge_3_v1“ (Seite 1/3)

A.1. Schaltpläne des Prüfgerätes



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Eingaenge_3_v1	REV:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	Sheet: 2/3
Date: 01.09.2010 08:11:31	

Abbildung A.38.: Schaltplan „Eingaenge_3_v1“ (Seite 2/3)

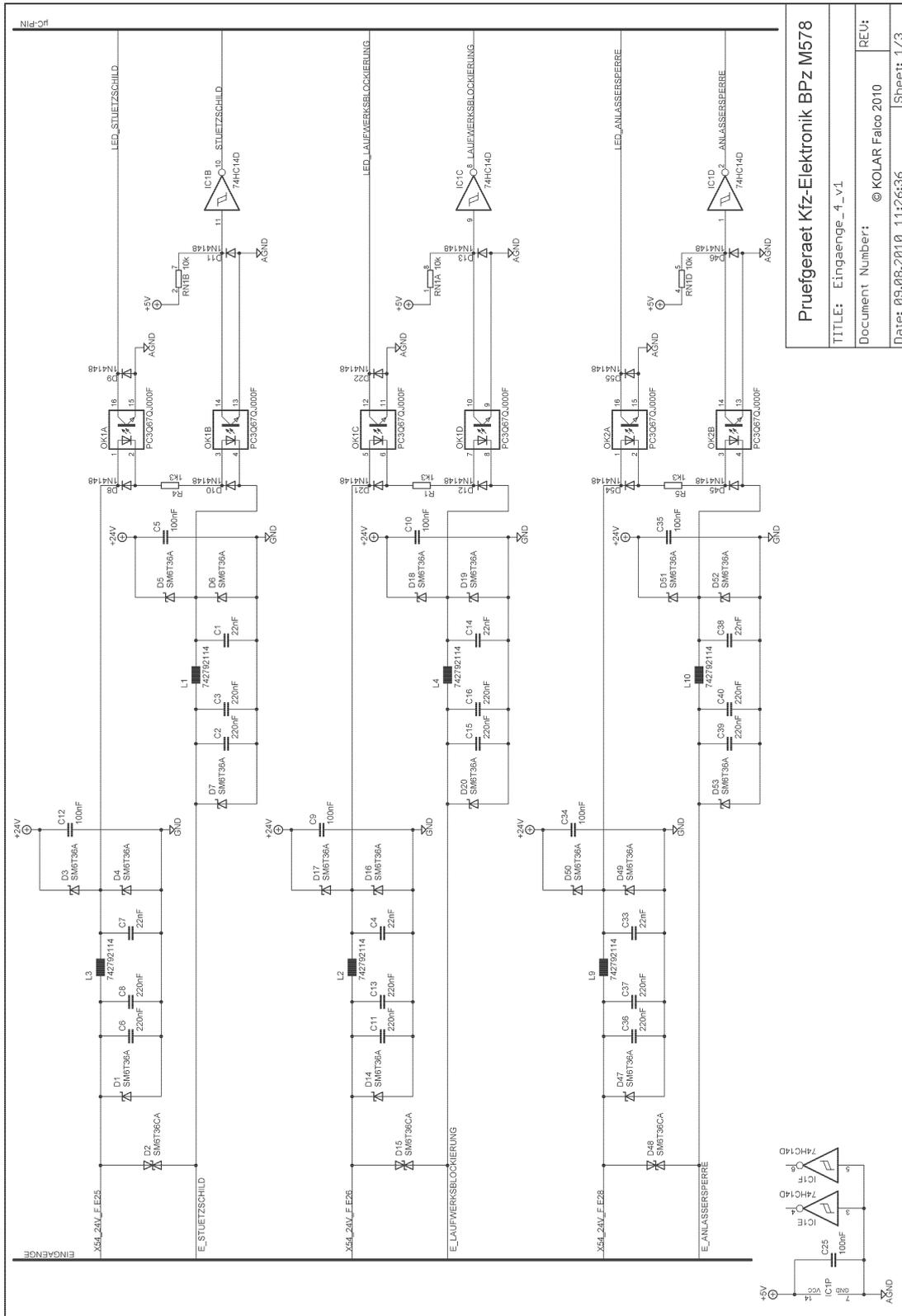
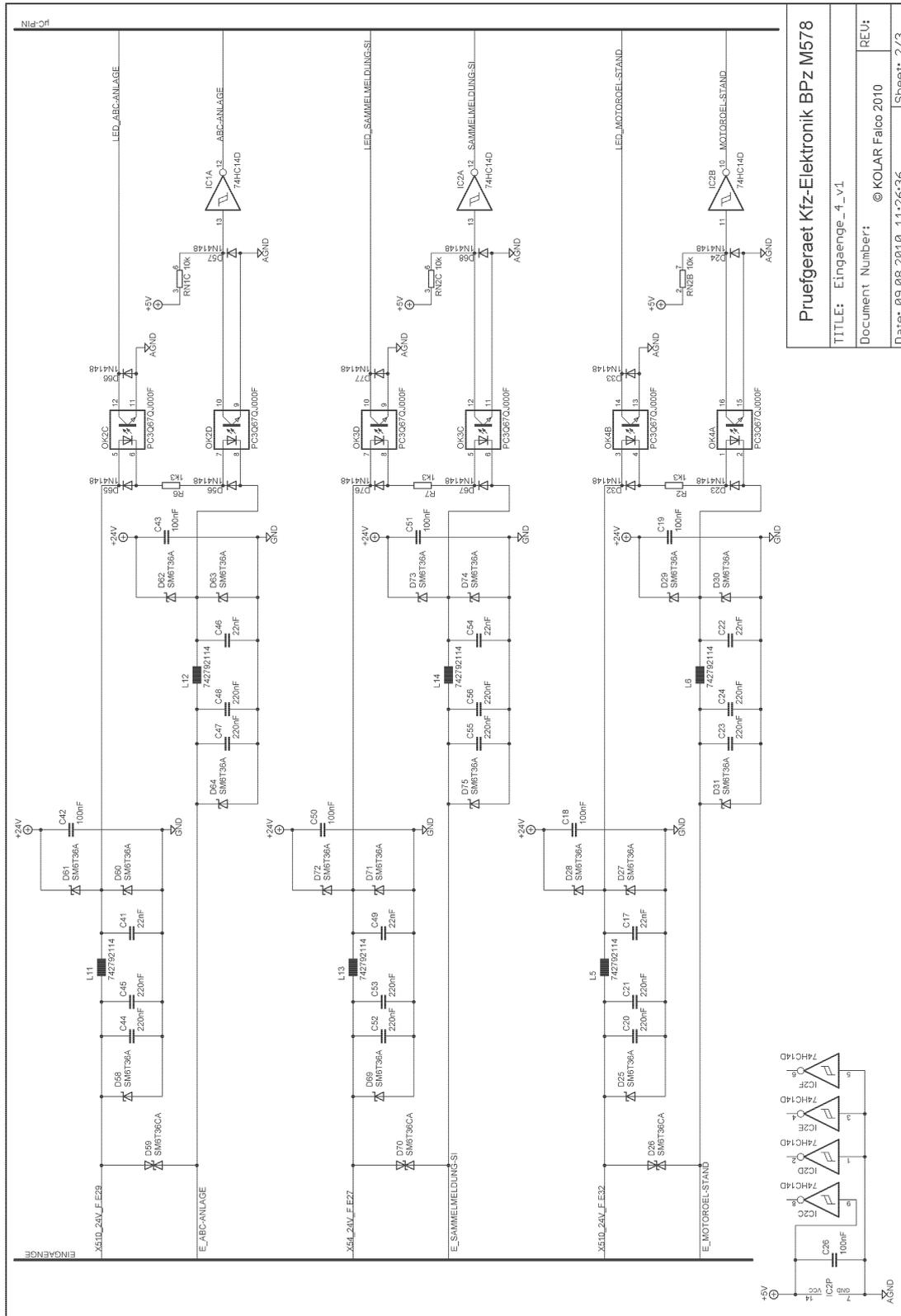


Abbildung A.40.: Schaltplan „Eingänge_4_v1“ (Seite 1/3)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Eingänge_4_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 09.08.2010 11:26:36	Sheet: 2/3

Abbildung A.41.: Schaltplan „Eingänge_4_v1“ (Seite 2/3)

A.1. Schaltpläne des Prüfgerätes

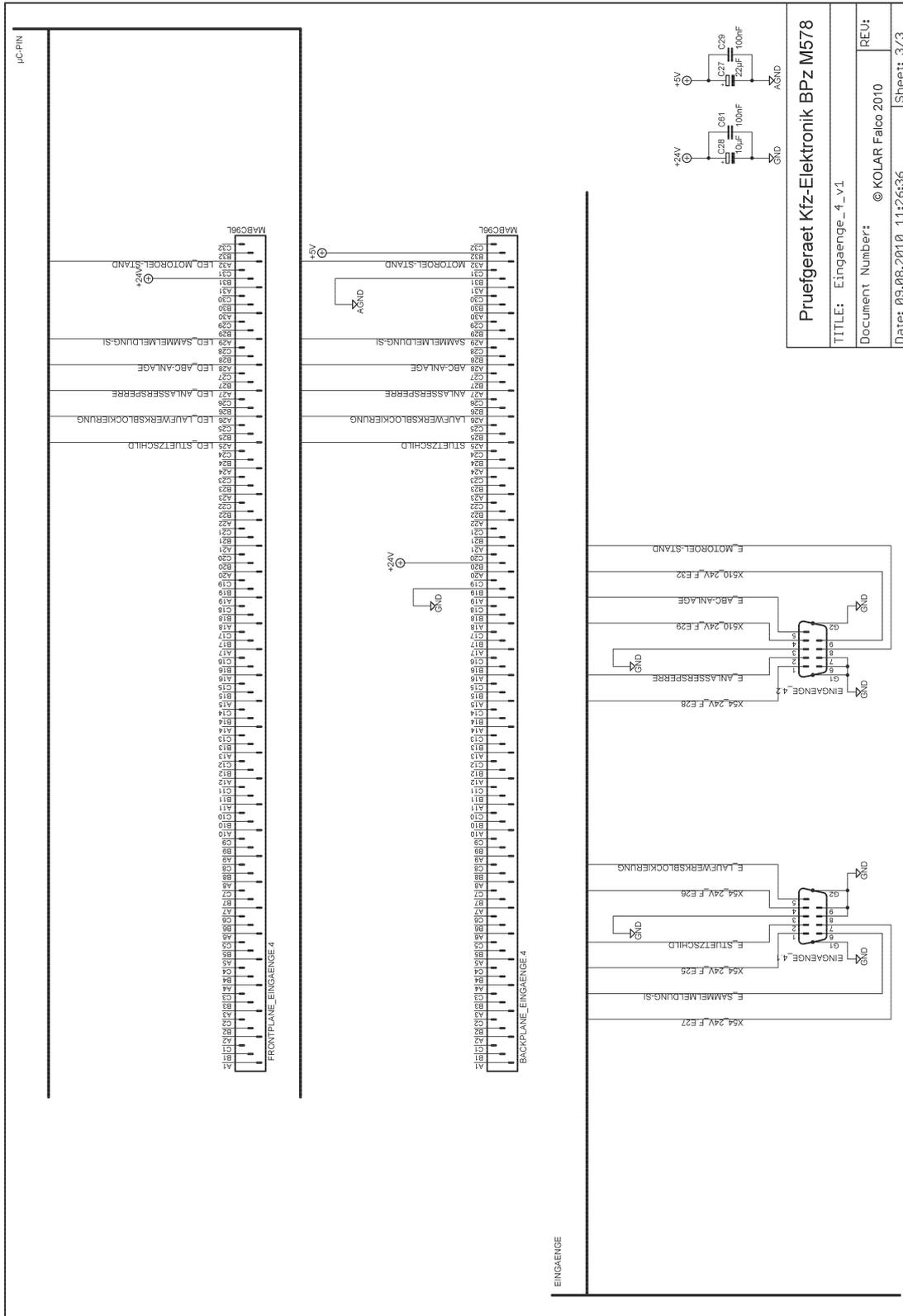
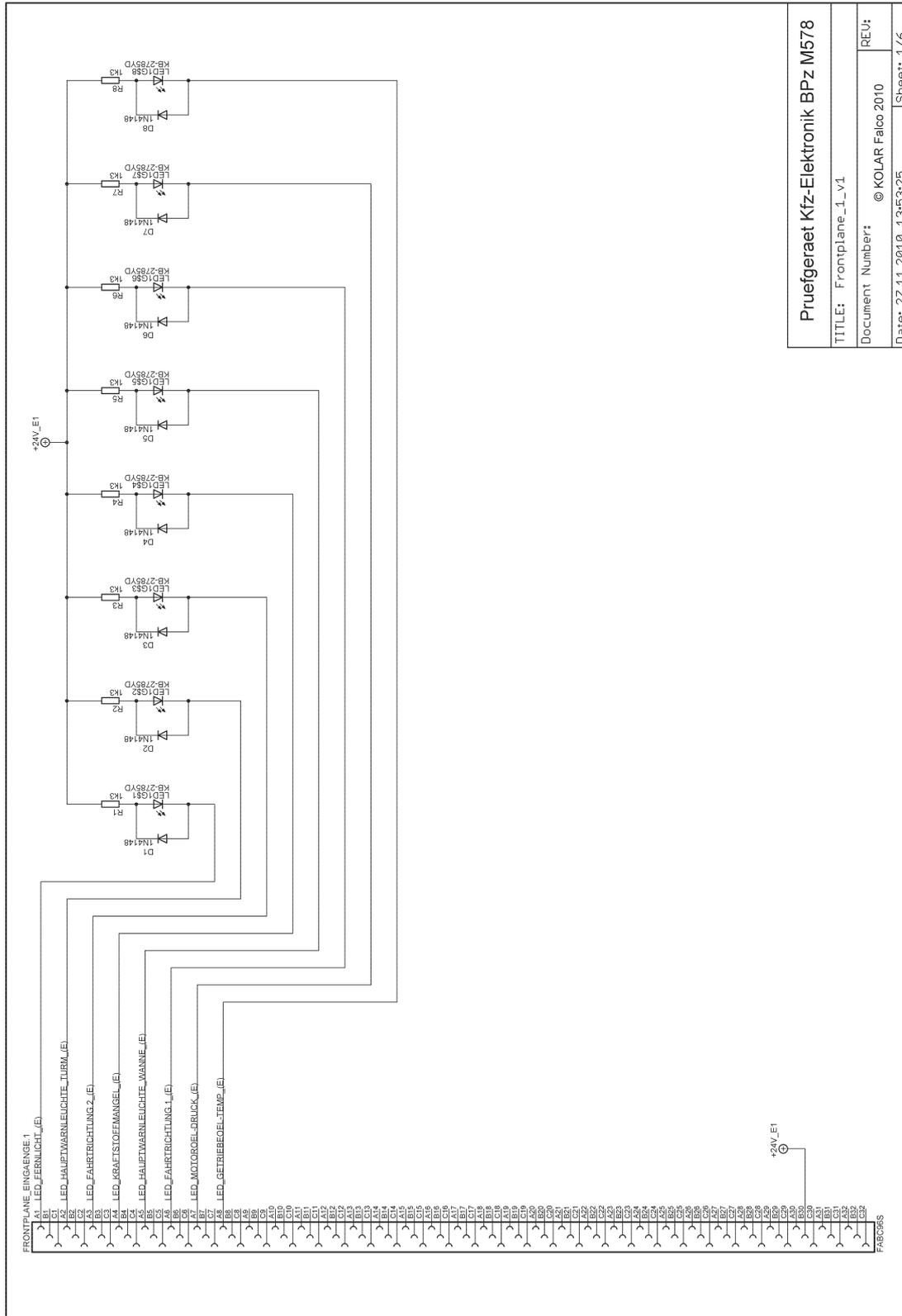


Abbildung A.42.: Schaltplan „Eingaenge_4_v1“ (Seite 3/3)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE:	Frontplane_1_v1
Document Number:	© KOLAR Falco 2010
REU:	
Date:	27.11.2010 13:53:25
Sheet:	1/6

Abbildung A.43.: Schaltplan „Frontplane_1_v1“ (Seite 1/6)

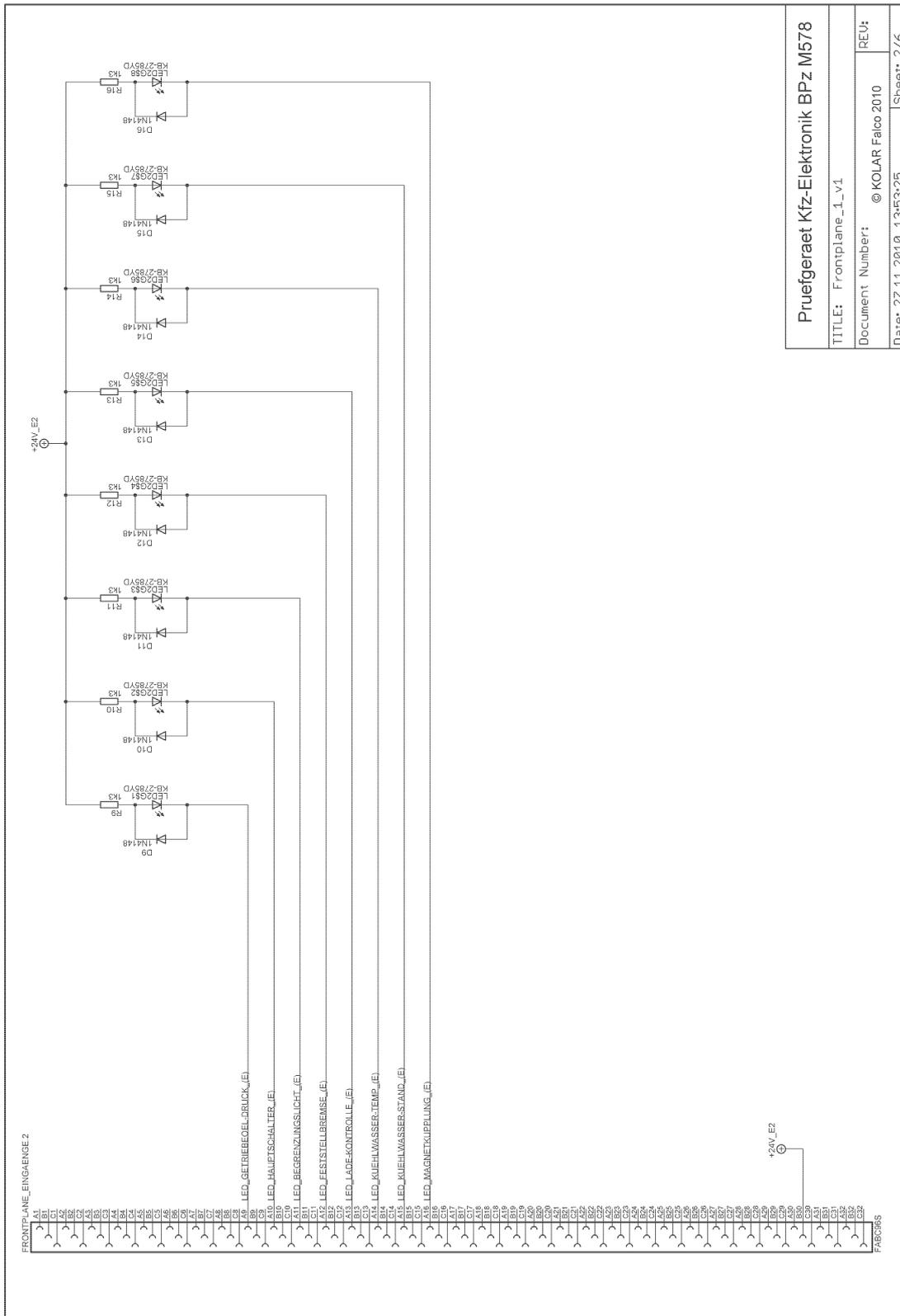
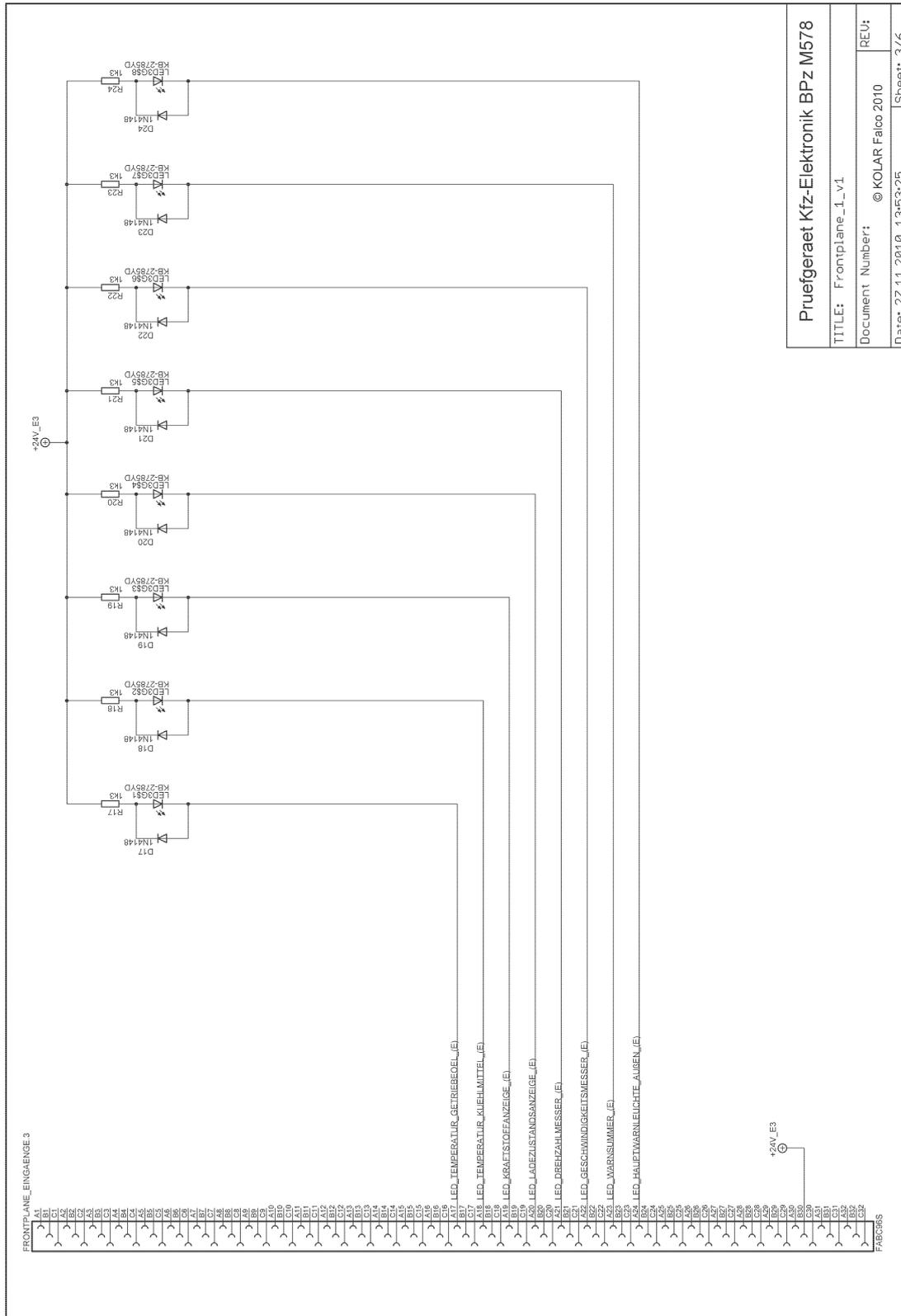


Abbildung A.44.: Schaltplan „Frontplane_1_v1“ (Seite 2/6)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Frontplane_1_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 27.11.2010 13:53:25	Sheet: 3/6

Abbildung A.45.: Schaltplan „Frontplane_1_v1“ (Seite 3/6)

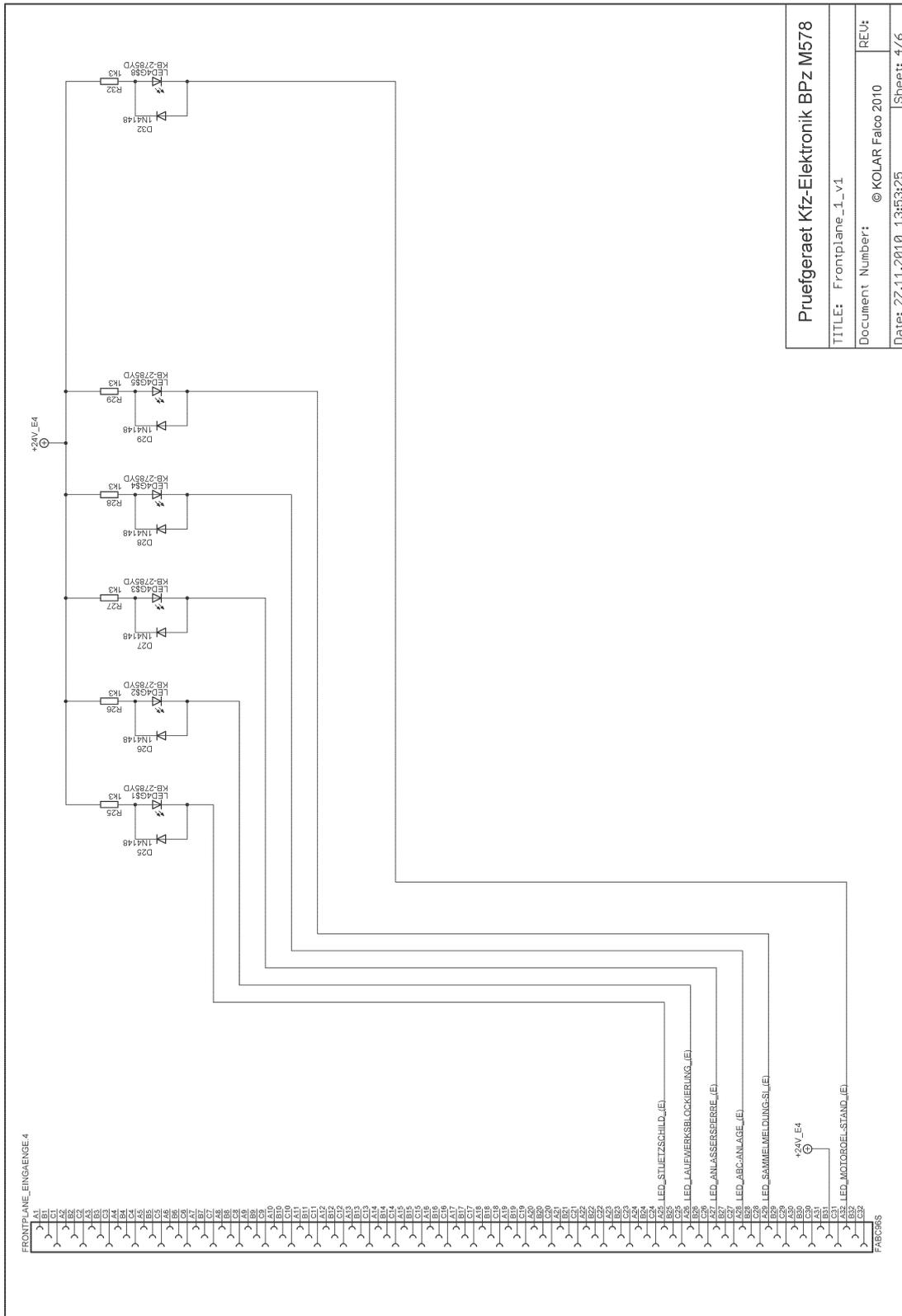


Abbildung A.46.: Schaltplan „Frontplane_1_v1“ (Seite 4/6)

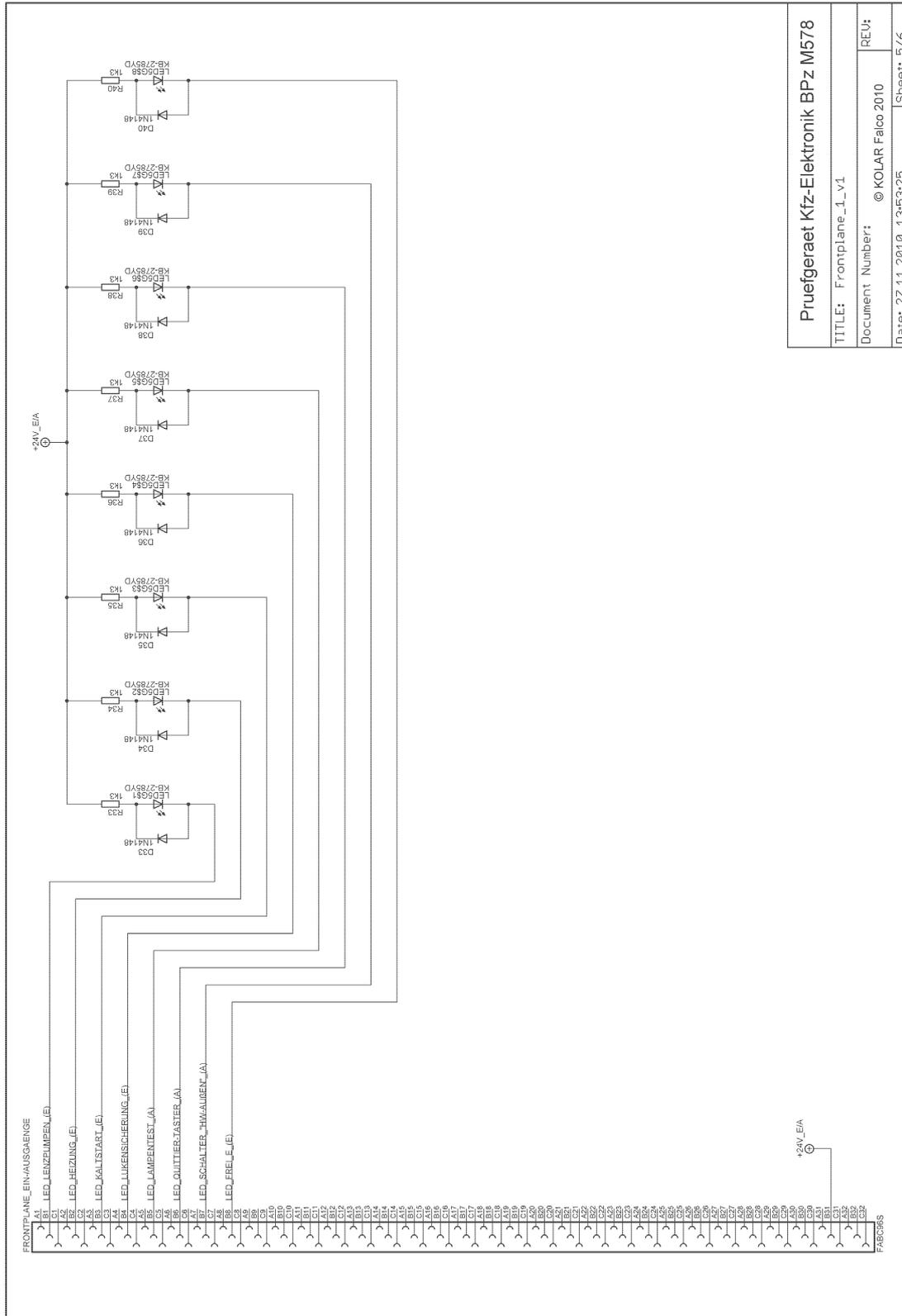


Abbildung A.47.: Schaltplan „Frontplane_1_v1“ (Seite 5/6)

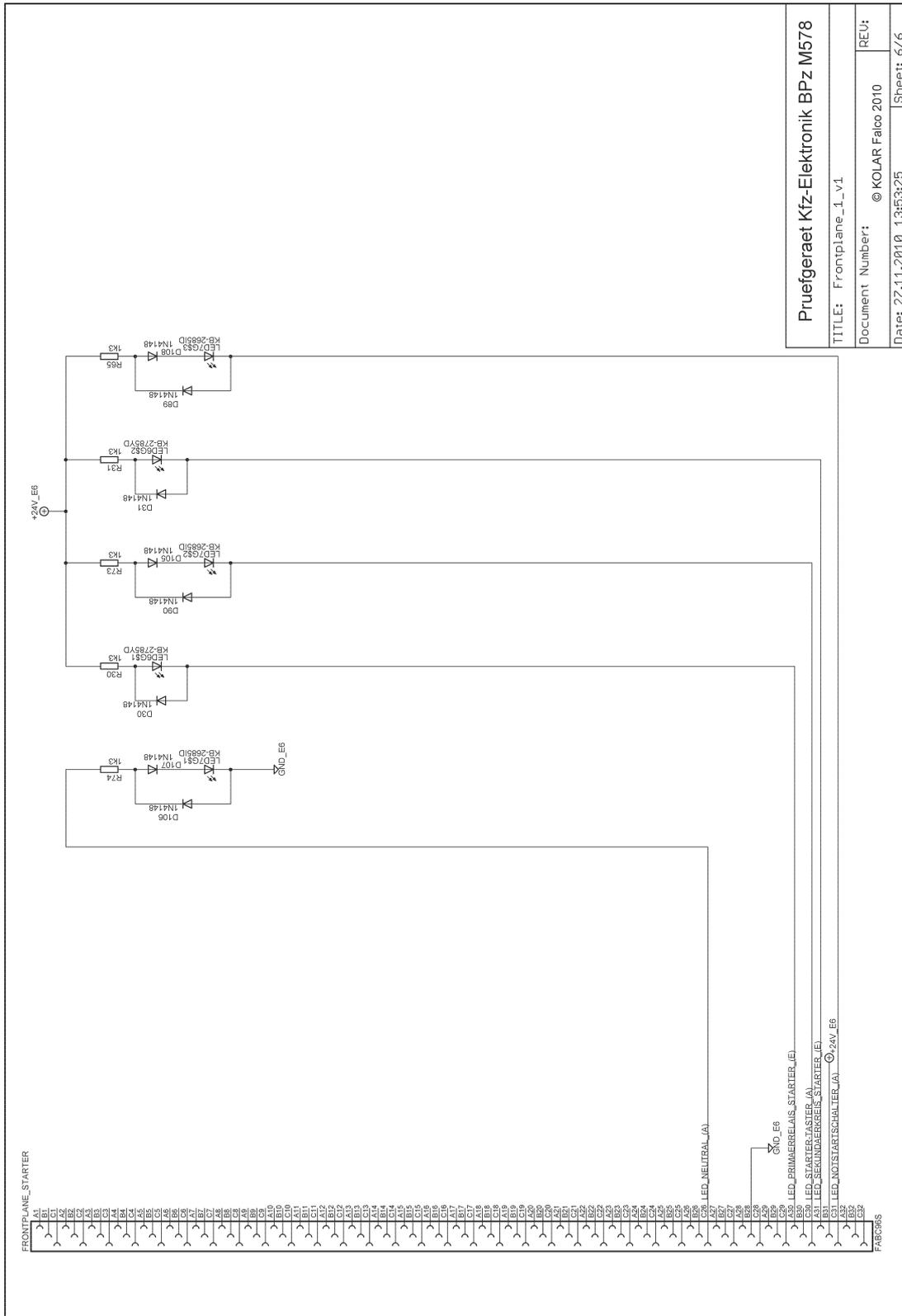


Abbildung A.48.: Schaltplan „Frontplane_1_v1“ (Seite 6/6)

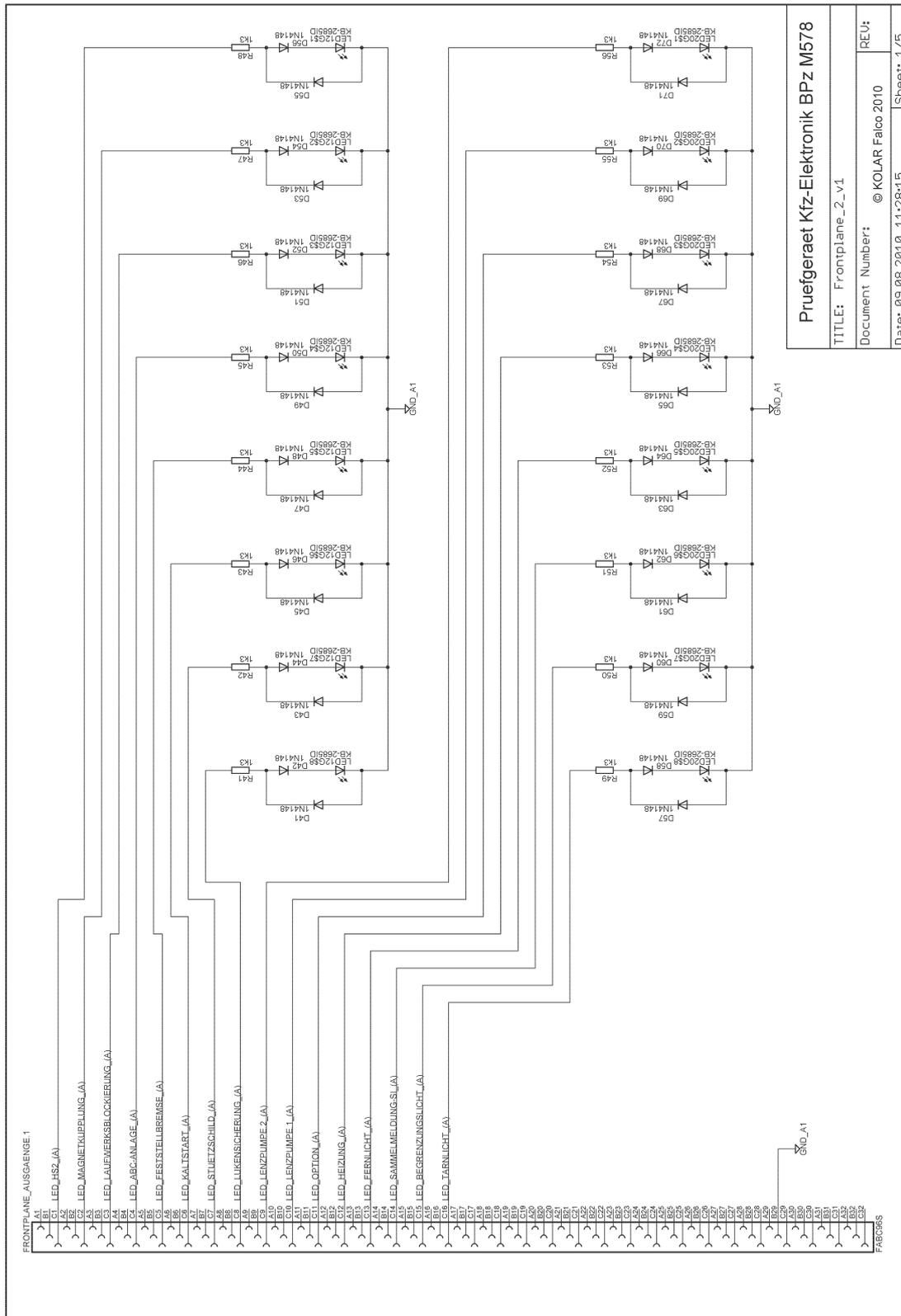


Abbildung A.49.: Schaltplan „Frontplane_2_v1“ (Seite 1/5)

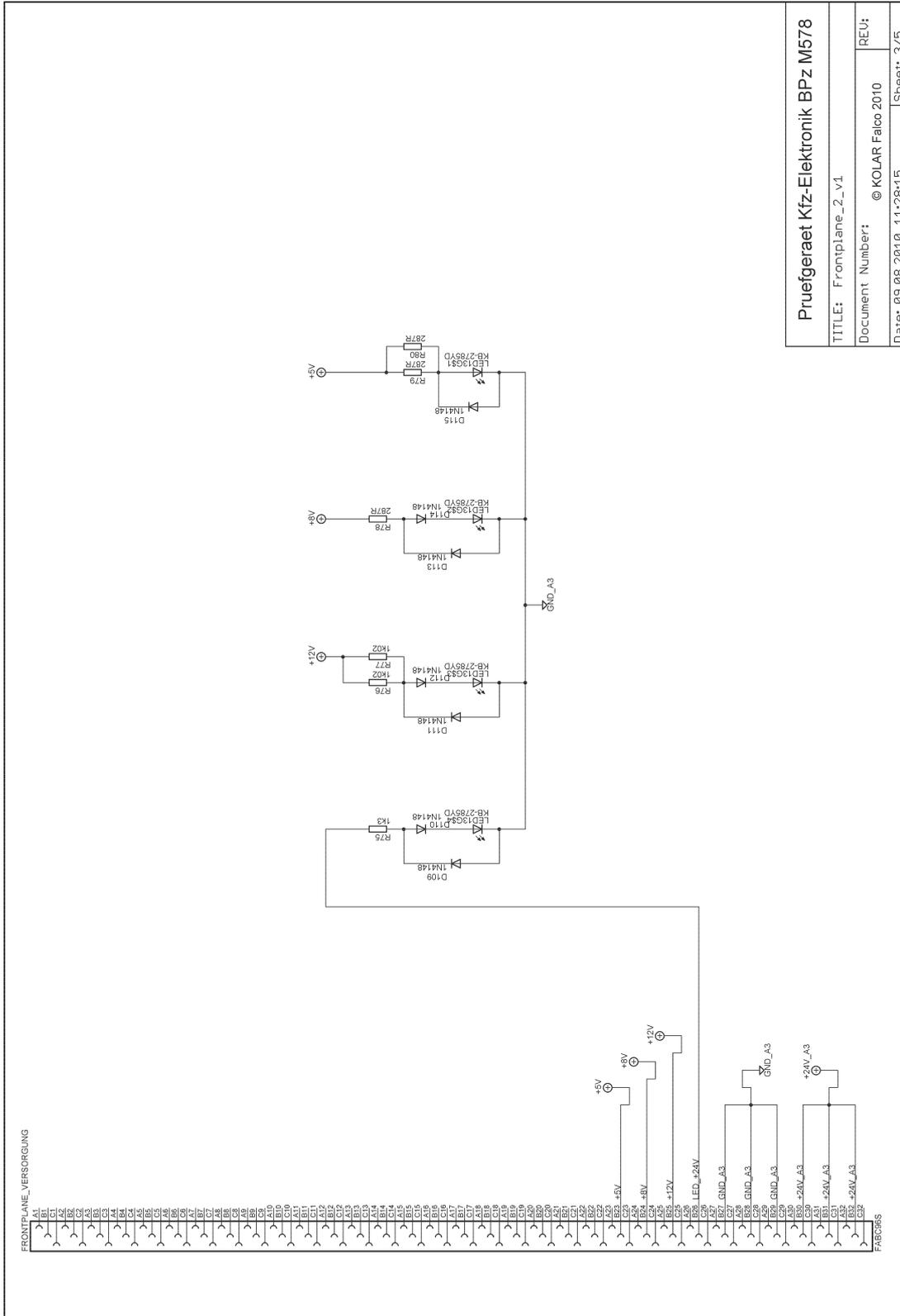
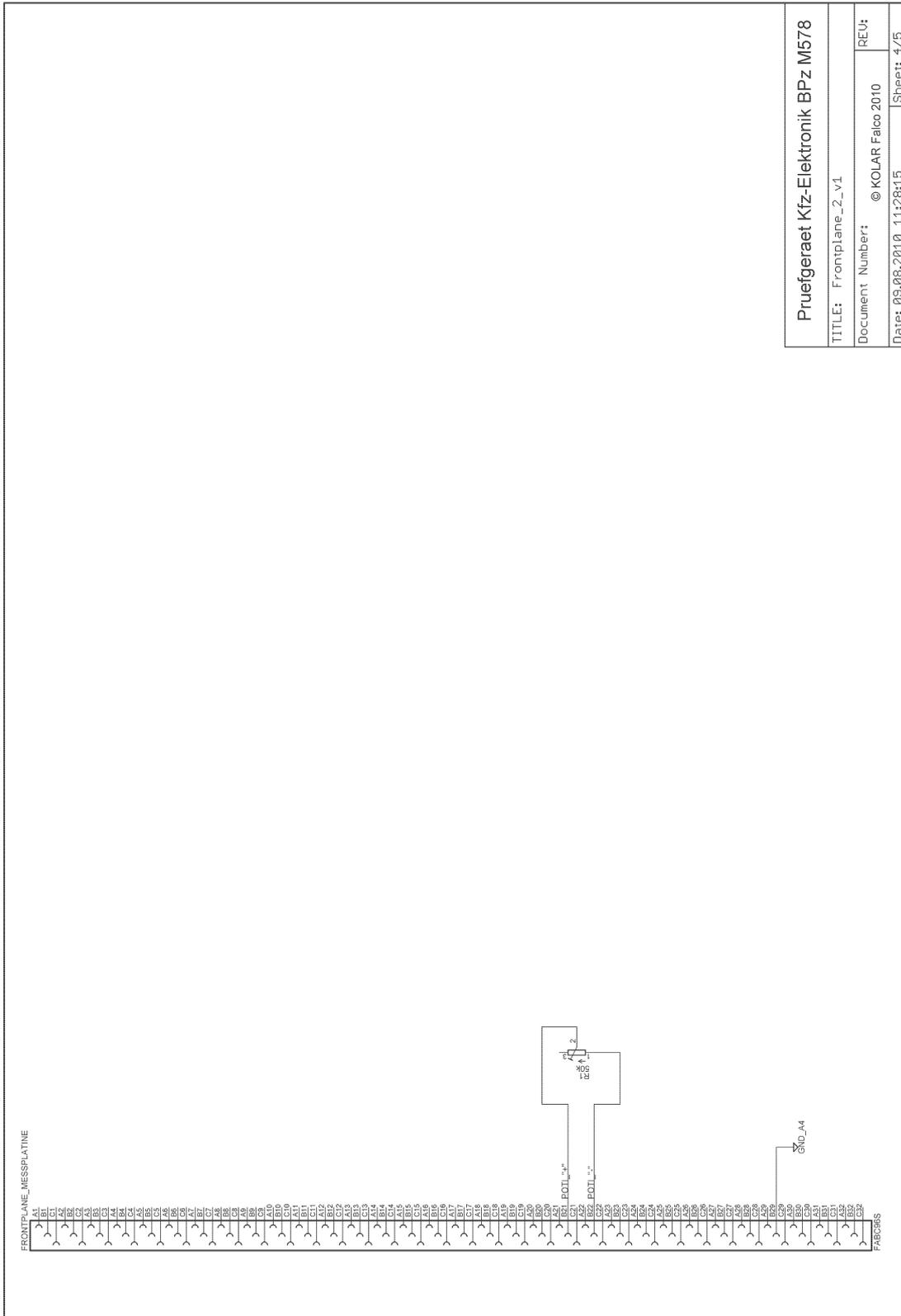
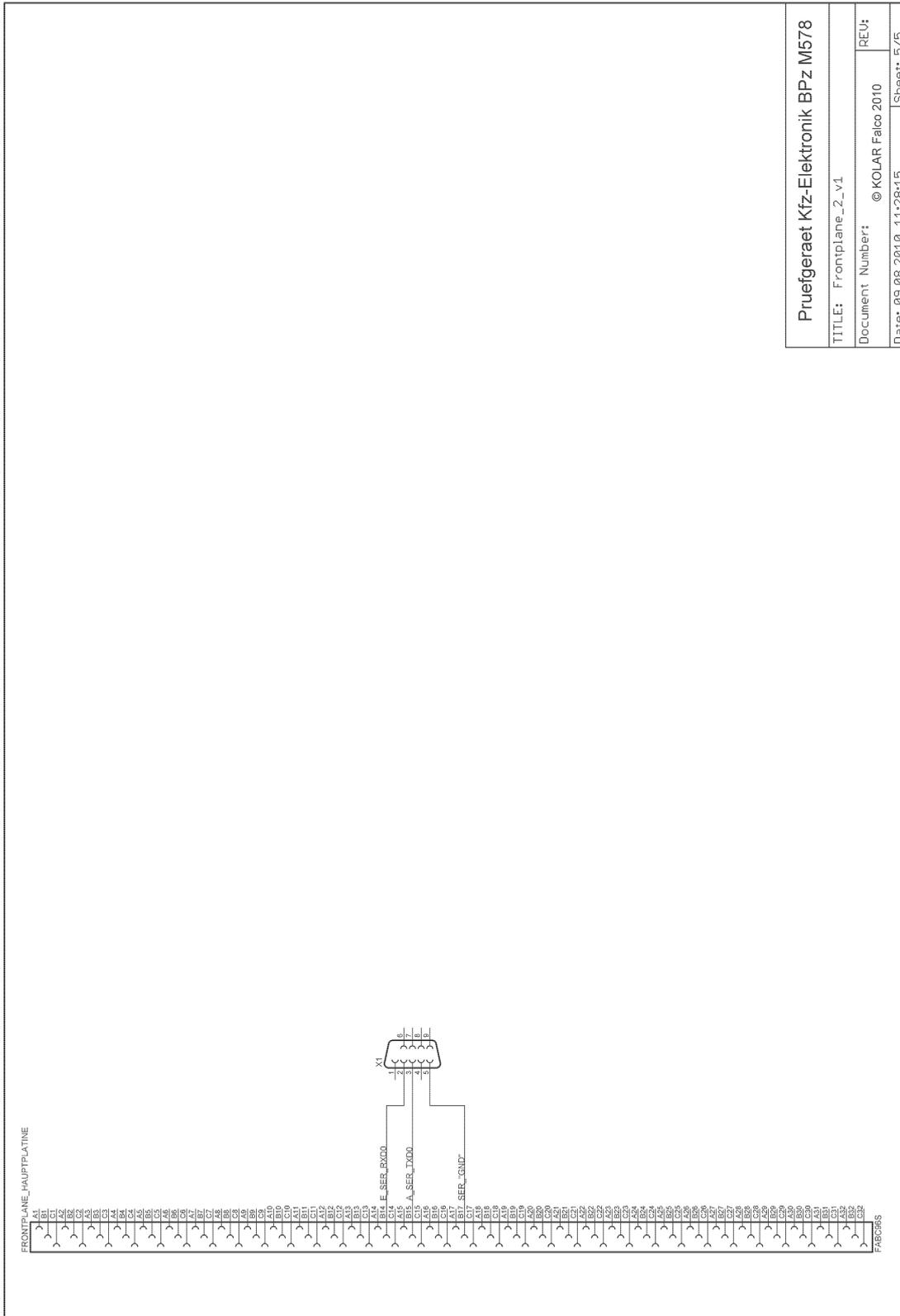


Abbildung A.51.: Schaltplan „Frontplane_2_v1“ (Seite 3/5)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Frontplane_2_v1	
Document Number:	© KOLAR Falco 2010
Date: 09.08.2010 11:28:15	REU: Sheet: 4/5

Abbildung A.52.: Schaltplan „Frontplane_2_v1“ (Seite 4/5)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Frontplane_2_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	Date: 09.08.2010 11:28:15
Sheet: 5/5	

Abbildung A.53.: Schaltplan „Frontplane_2_v1“ (Seite 5/5)

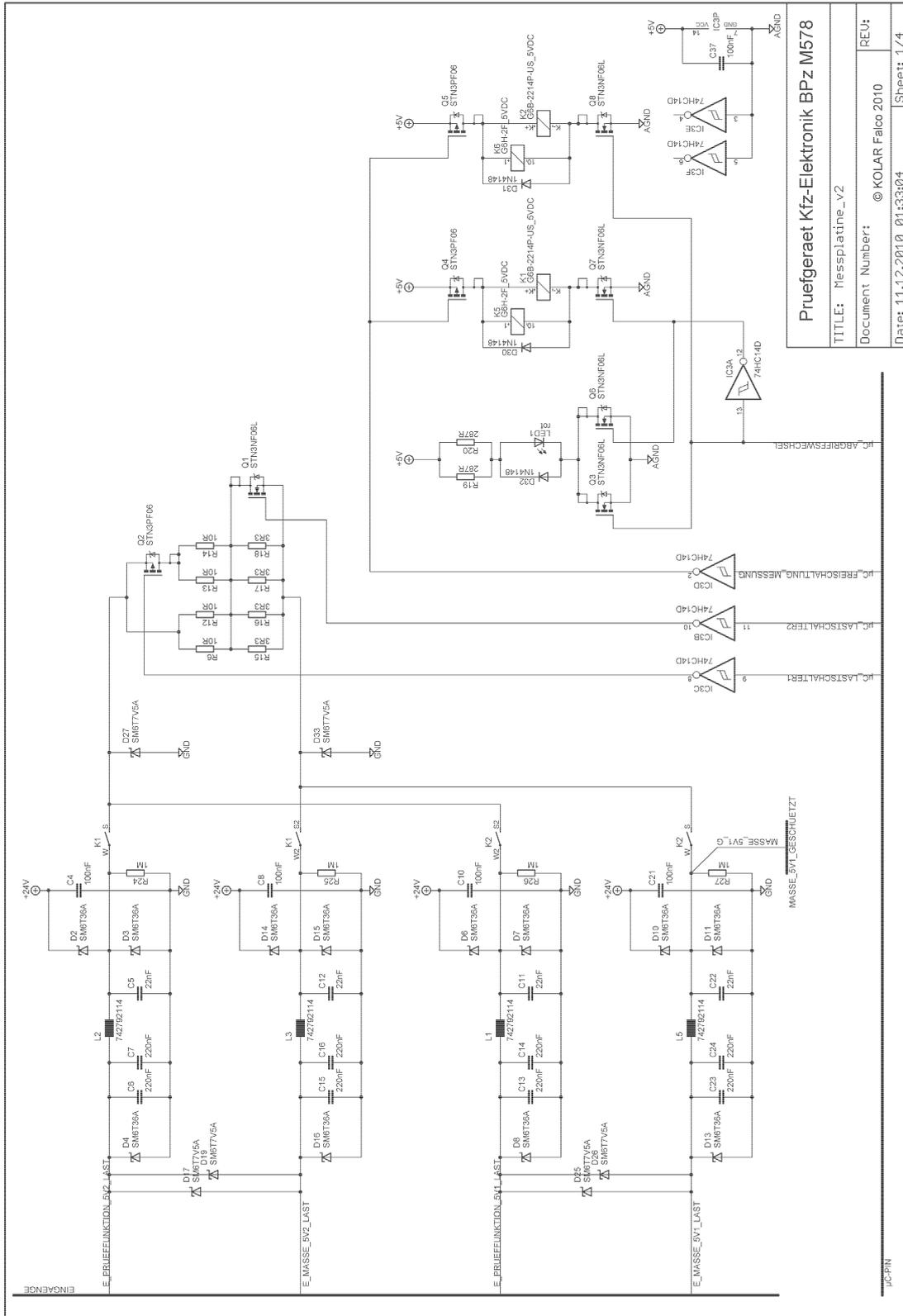


Abbildung A.54.: Schaltplan „Messplatine_v2“ (Seite 1/4)

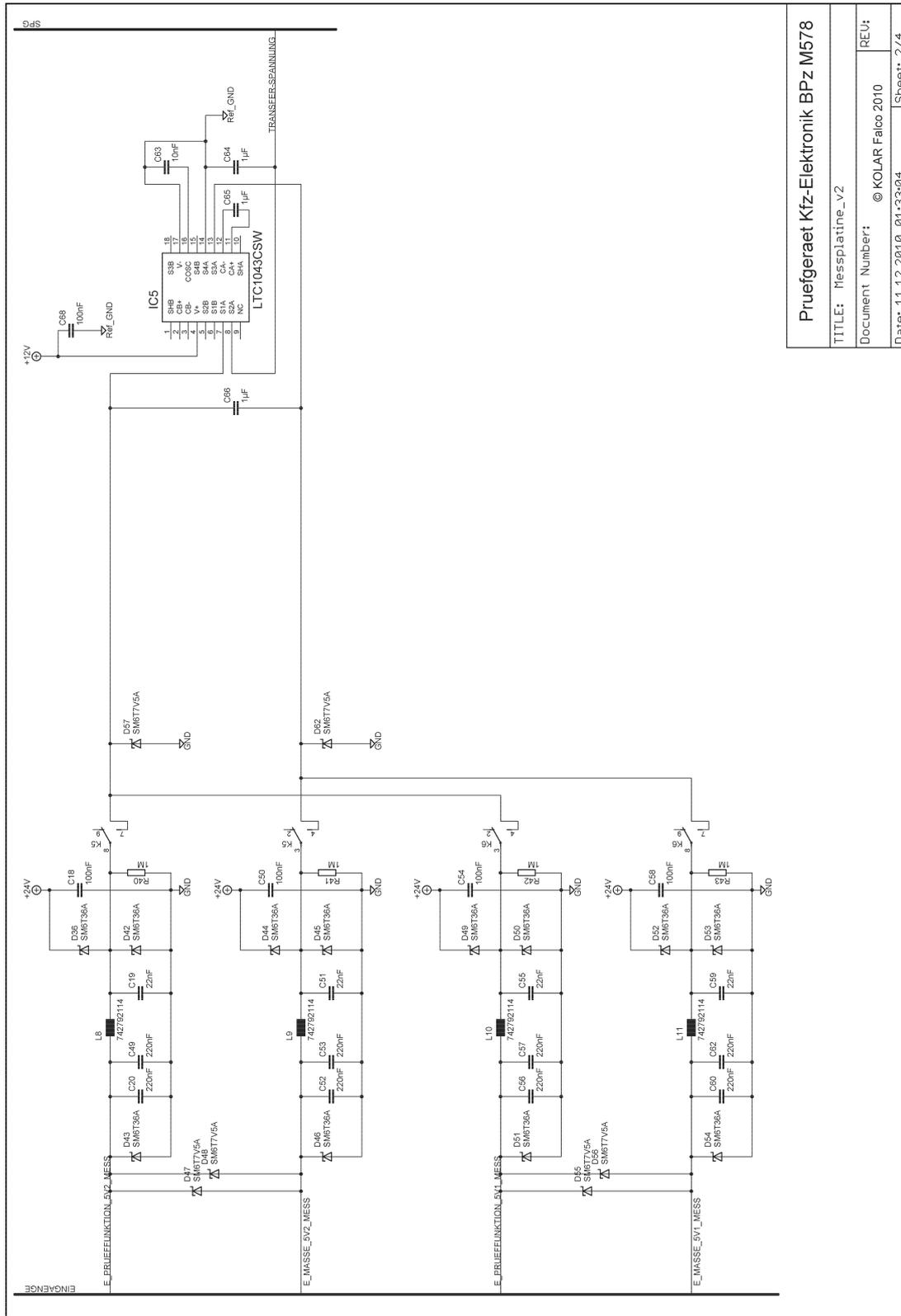
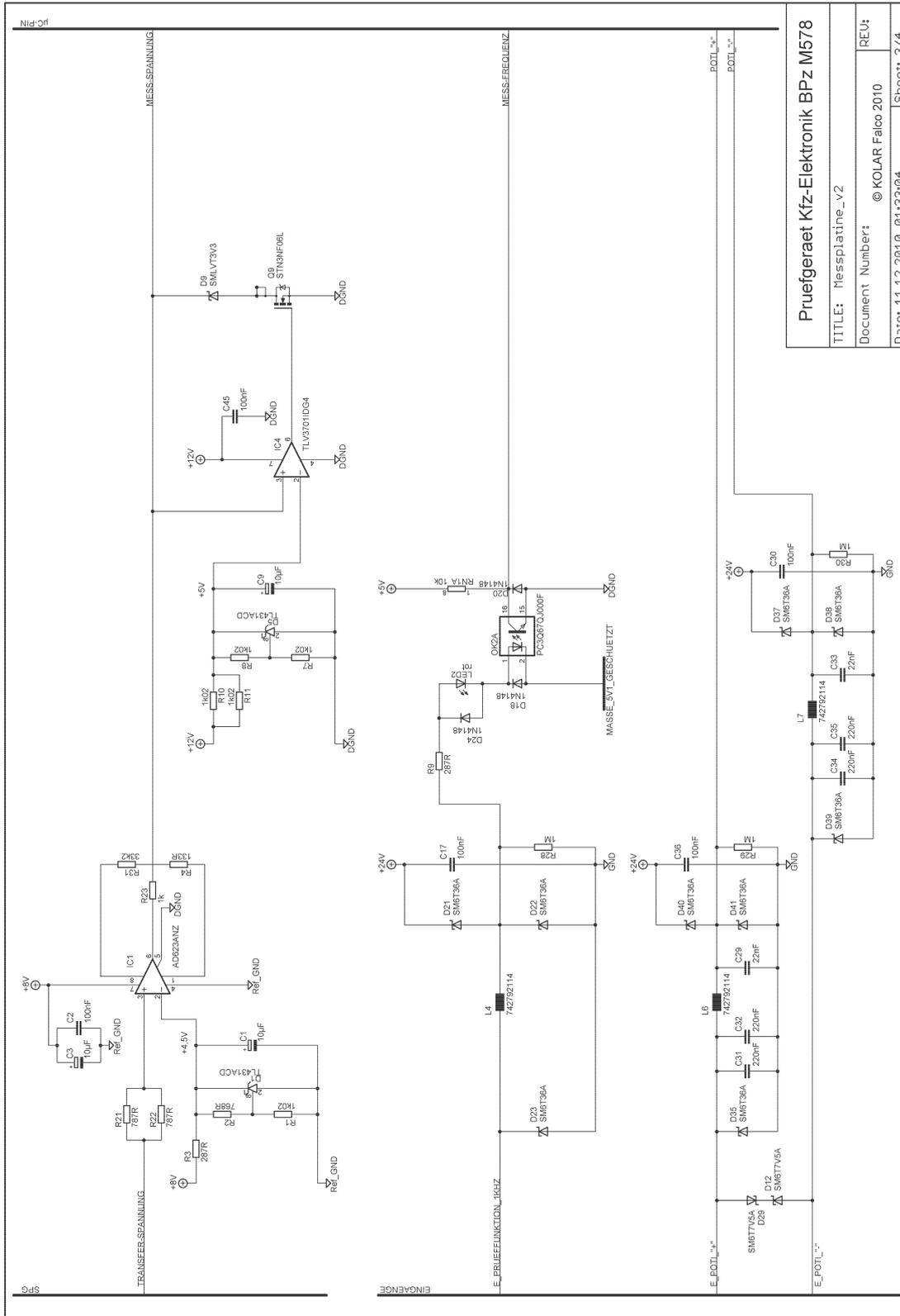


Abbildung A.55.: Schaltplan „Messplatine_v2“ (Seite 2/4)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Messplatine_v2	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 1.1.2.2010 01:33:04	Sheet: 3/4

Abbildung A.56.: Schaltplan „Messplatine_v2“ (Seite 3/4)

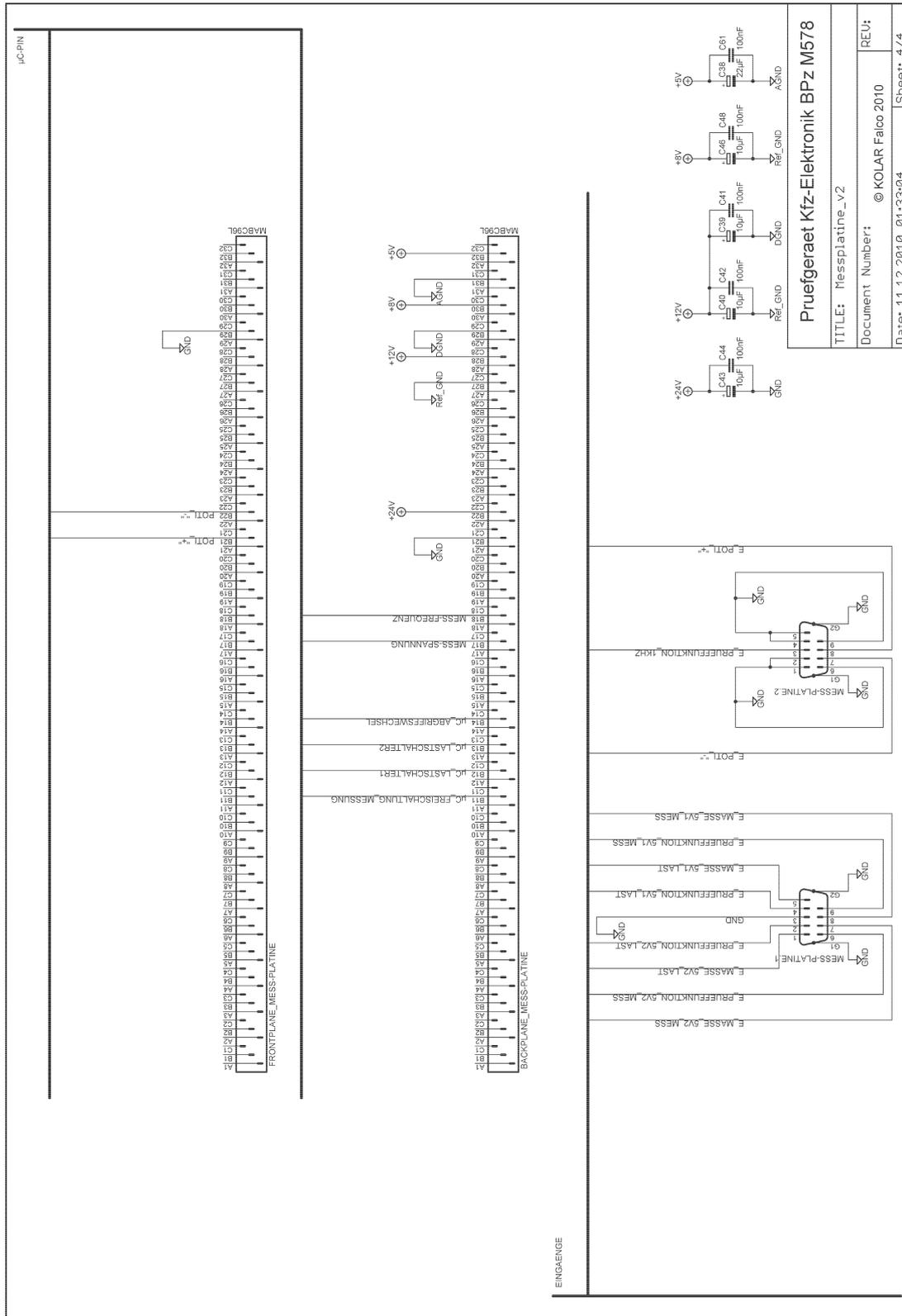
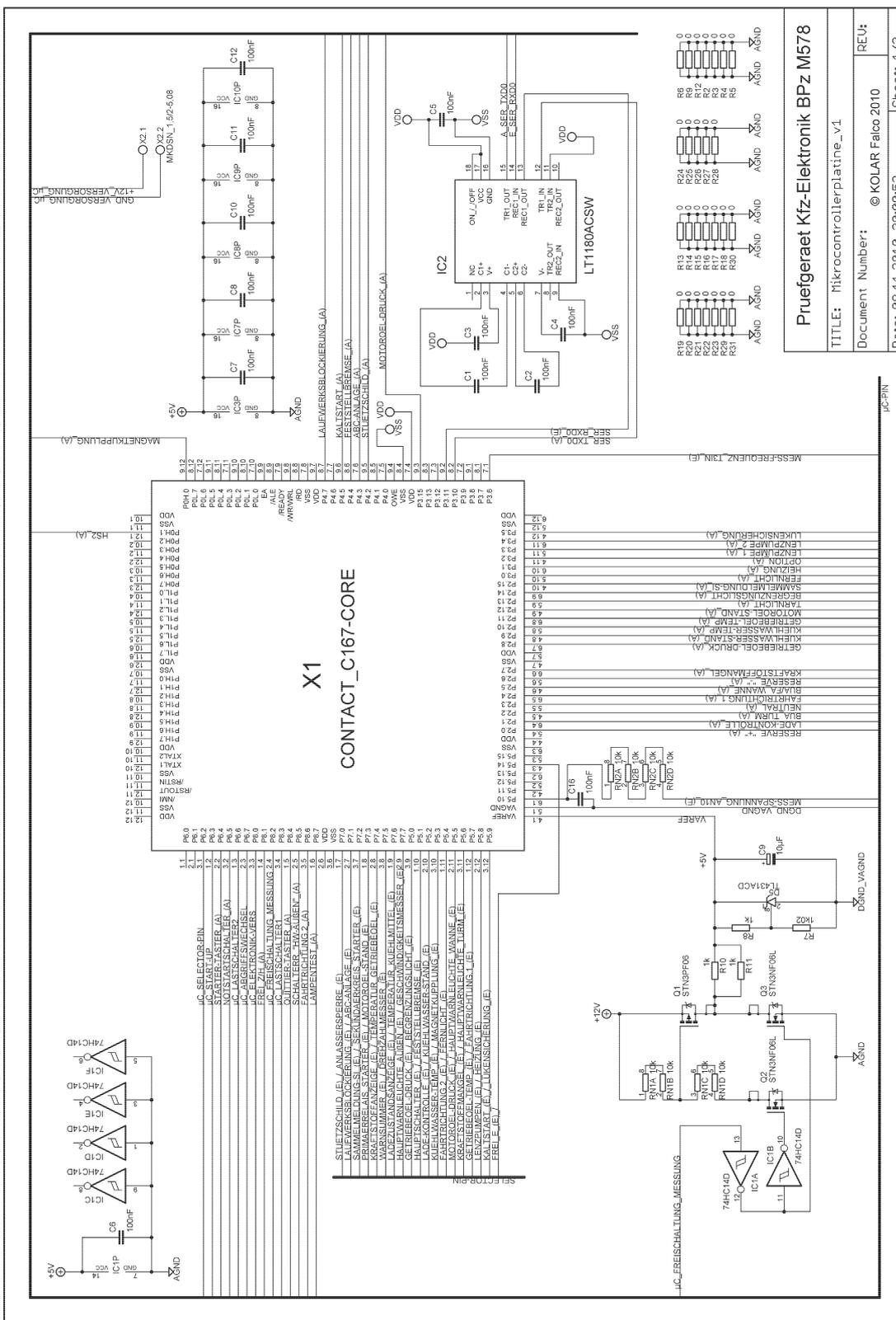
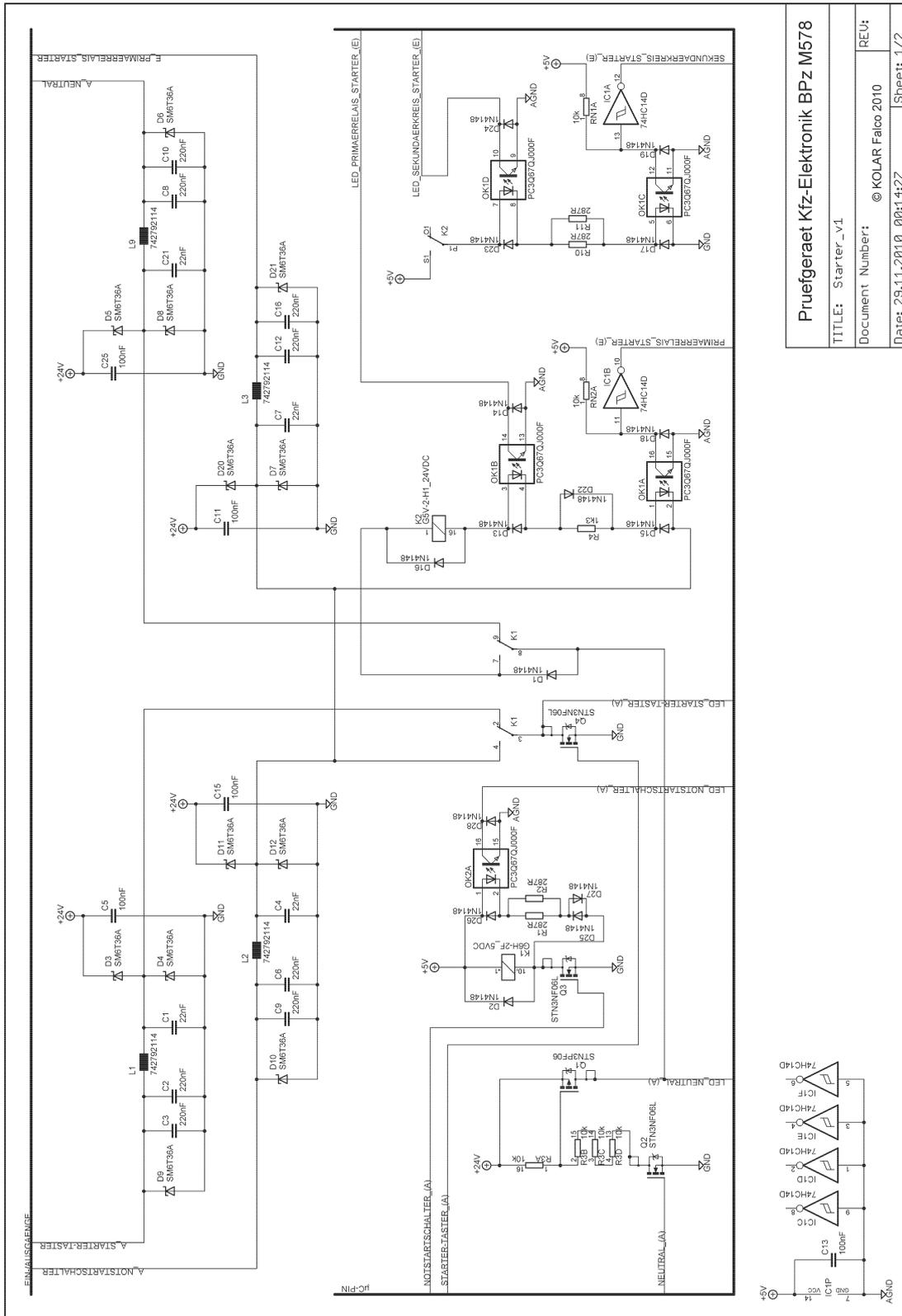


Abbildung A.57.: Schaltplan „Messplatine_v2“ (Seite 4/4)



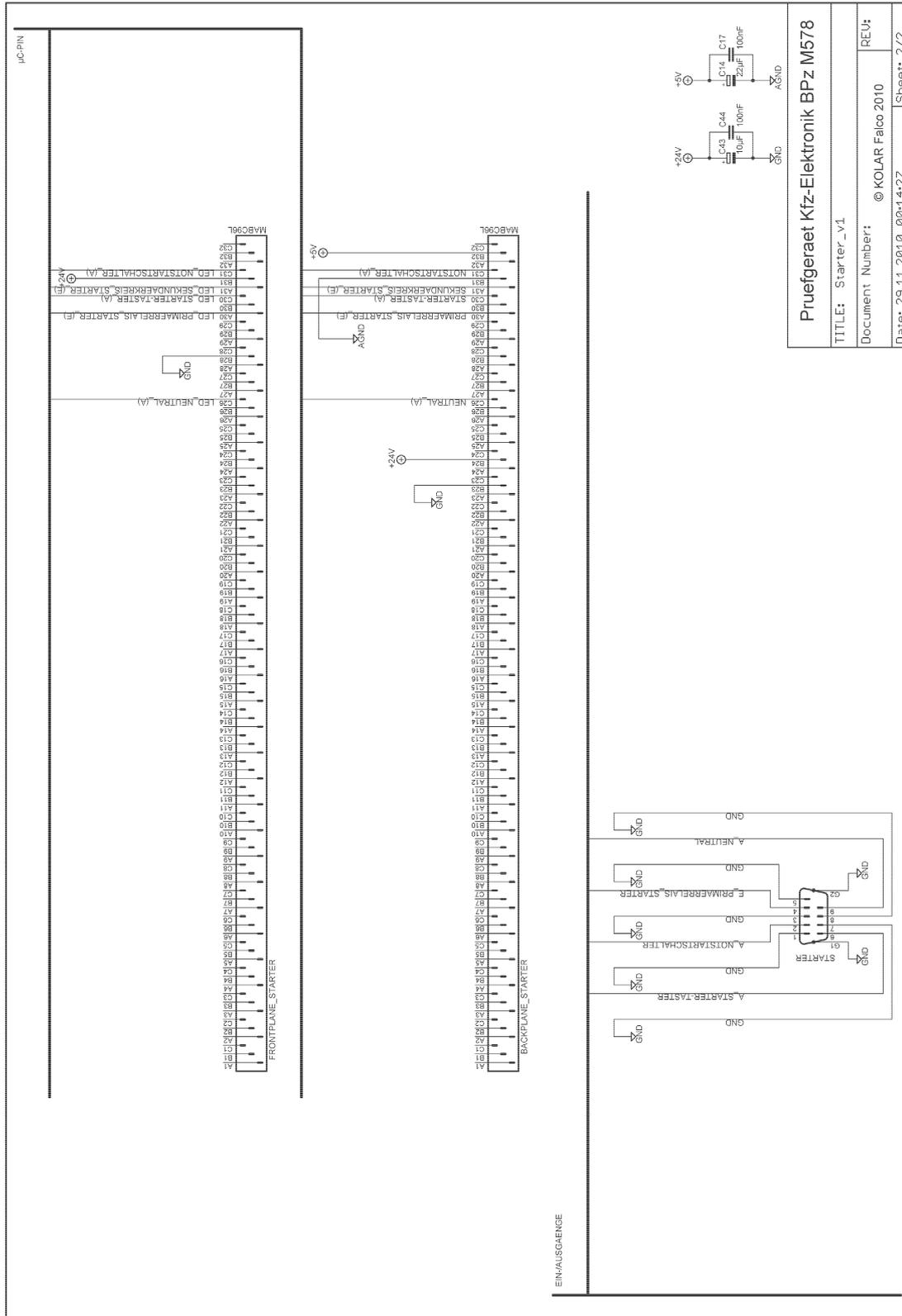
Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578
 TITLE: Mikrocontrollerplatine_v1
 Document Number: © KOLAR Falco 2010
 Date: 08.11.2010 20:00:52
 Sheet: 1/2

Abbildung A.58.: Schaltplan „Mikrocontrollerplatine_v1“ (Seite 1/2)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578	
TITLE: Starter_v1	REU:
Document Number: © KOLAR Falco 2010	
Date: 29.11.2010 00:14:27	Sheet: 1/2

Abbildung A.60.: Schaltplan „Starter_v1“ (Seite 1/2)



Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578
 TITLE: Starter_v1
 Document Number: © KOLAR Falco 2010 REU:
 Date: 29.11.2010 08:14:27 Sheet: 2/2

Abbildung A.61.: Schaltplan „Starter_v1“ (Seite 2/2)

A.1. Schaltpläne des Prüfgerätes

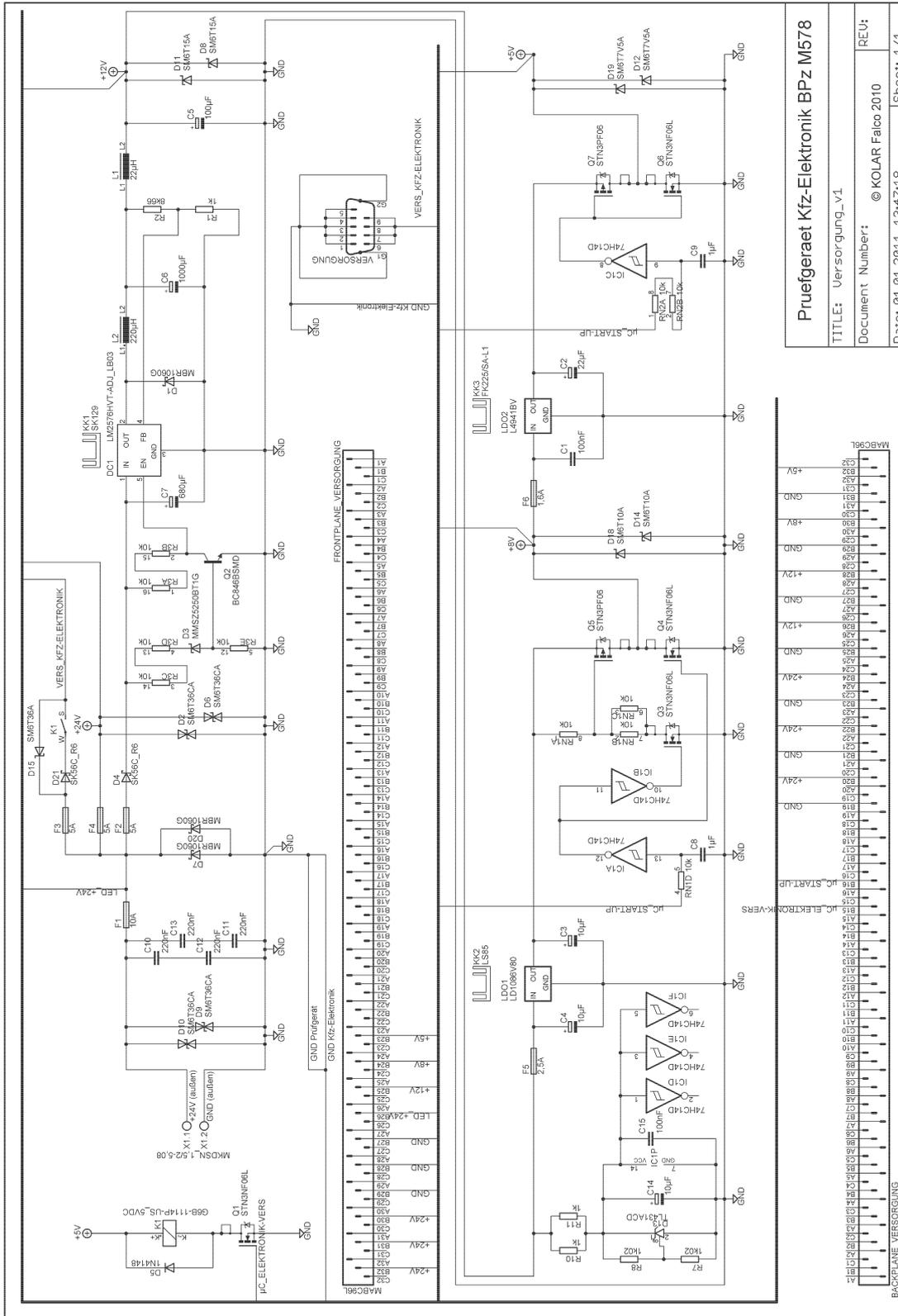
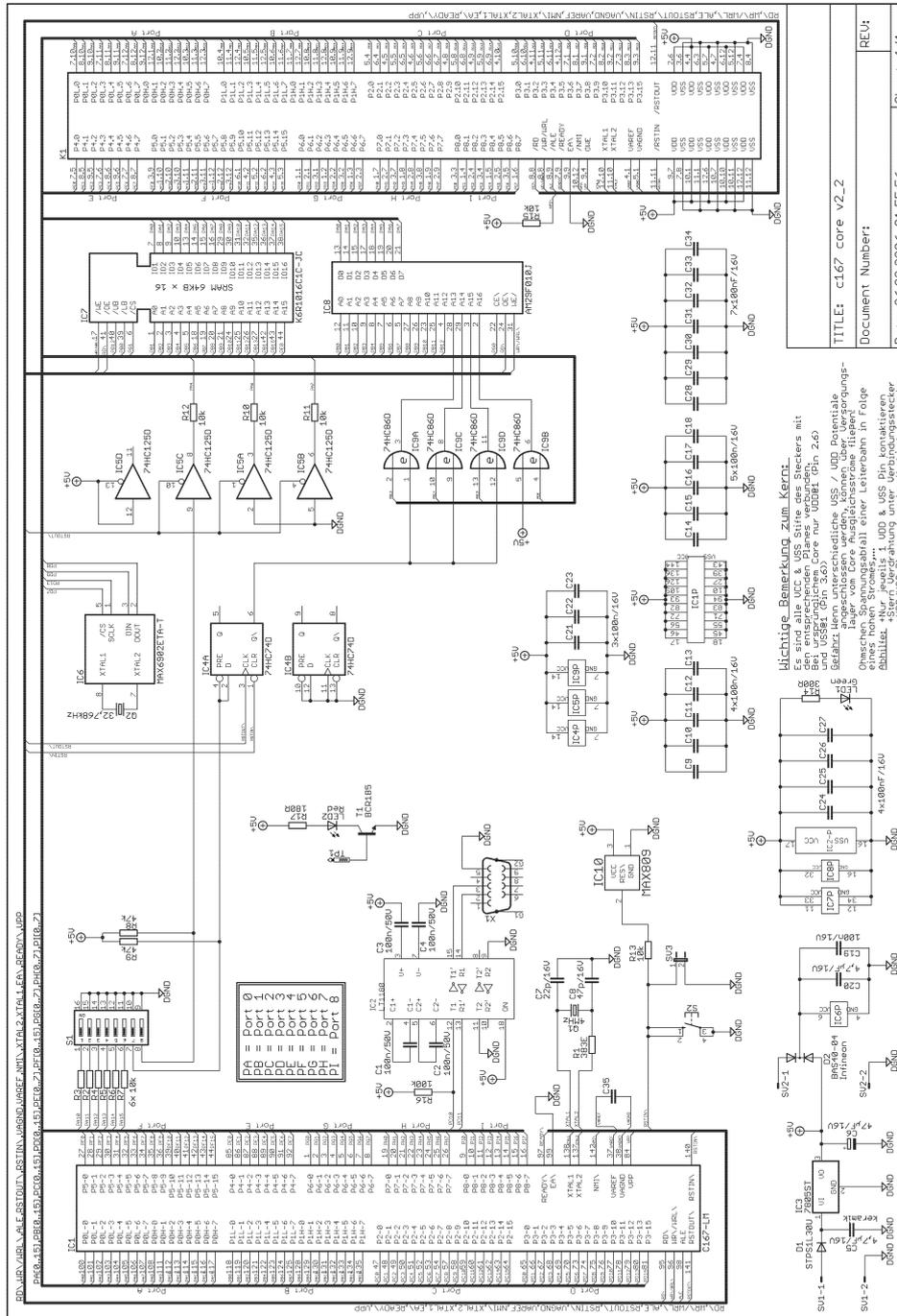


Abbildung A.62.: Schaltplan „Versorgung_v1“

A.2. Pläne des C167-Mikrocontroller-Boards

In diesem Abschnitt sind der Schaltplan und die Layout-Pläne des C167-Mikrocontroller-Boards enthalten [1]:



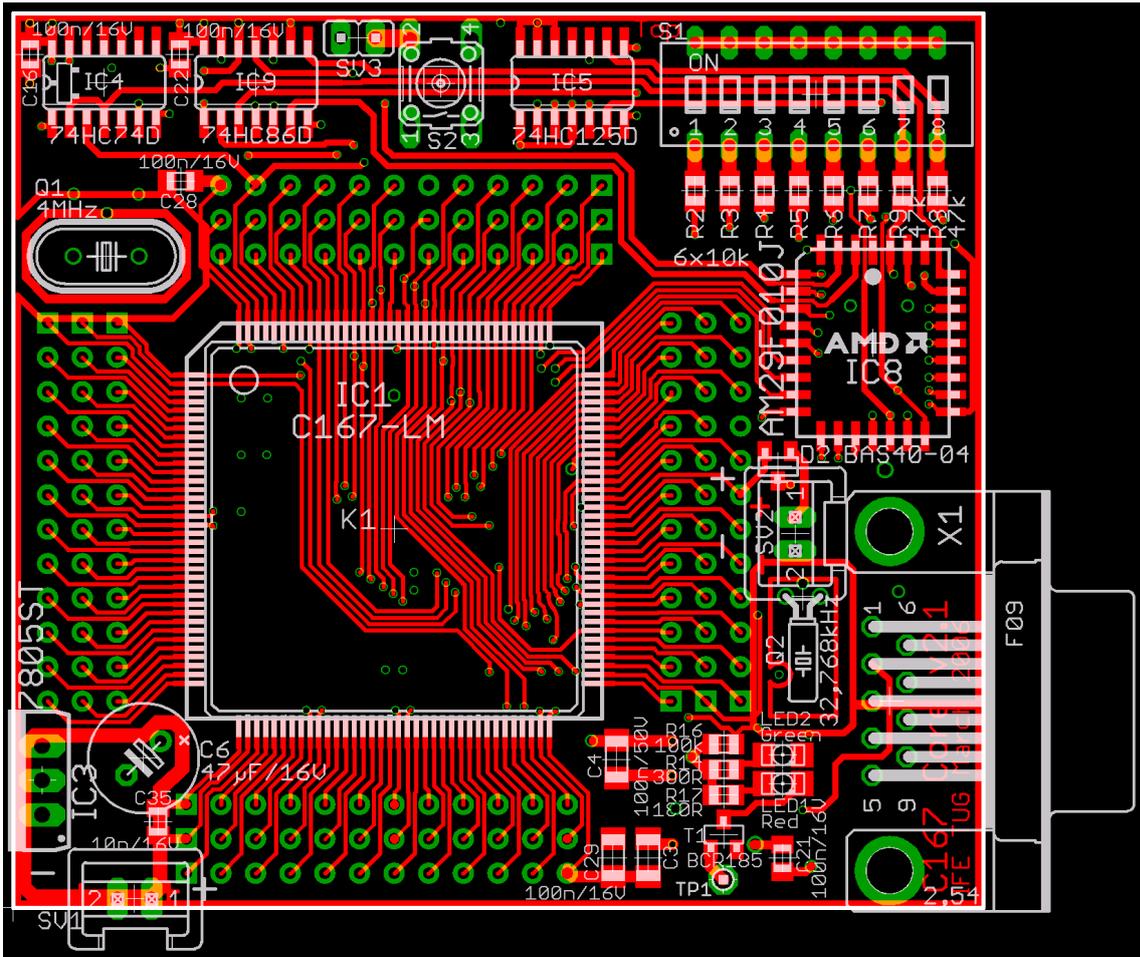


Abbildung A.64.: Top-Layer des C167-Mikrocontroller-Boards [37]

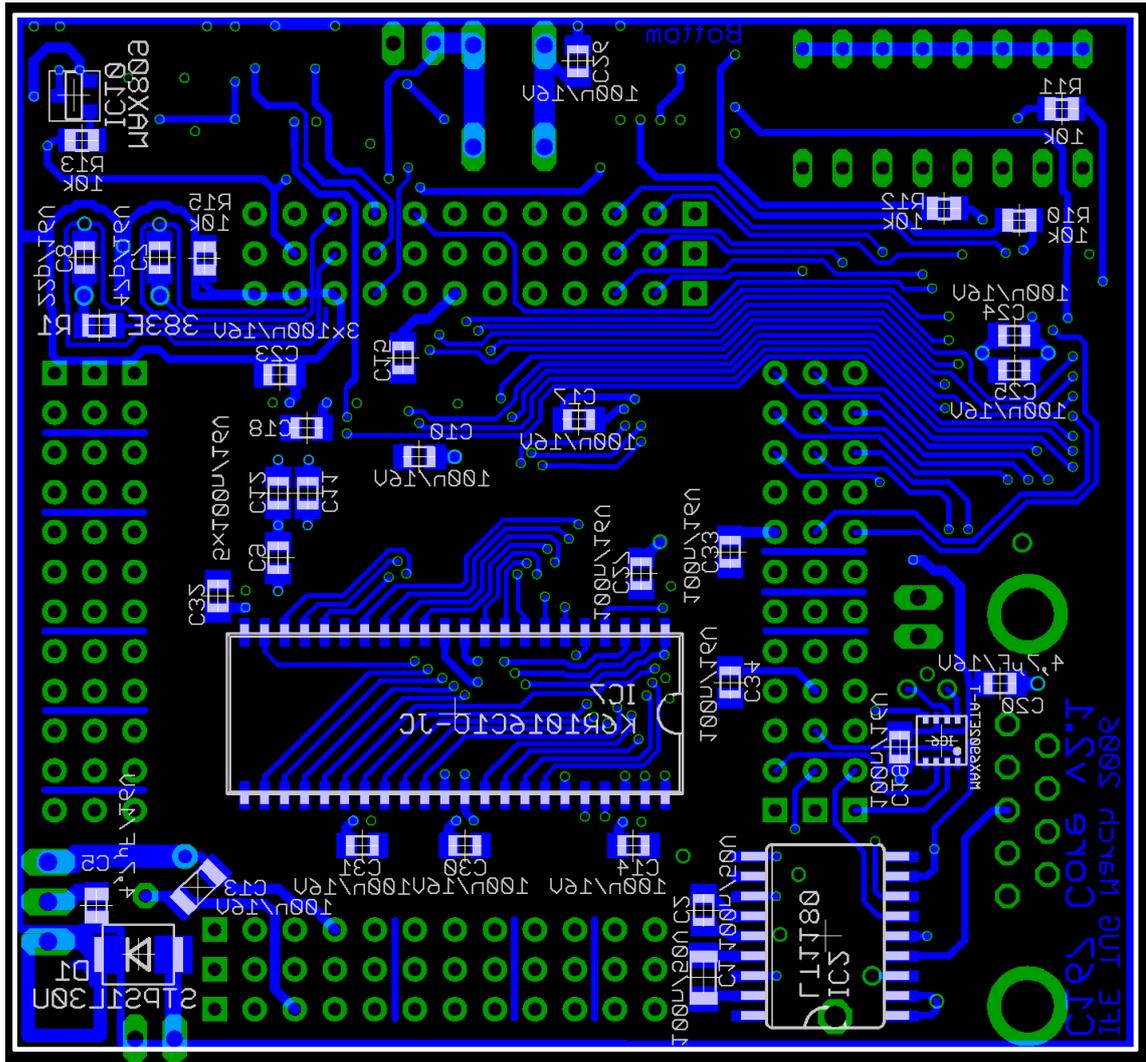


Abbildung A.65.: Bottom-Layer des C167-Mikrocontroller-Boards [37]

A.3. ad Konfiguration des Keil μ Vision3

A.3.1. „Options for Target...“

An dieser Stelle folgt nun eine kleine Übersicht über die in „Options for Target...“ im Menü „Project“ zusammengefassten Einstellungsmöglichkeiten sowie die im Rahmen dieses Projektes zu wählenden Definitionen und Optionen:

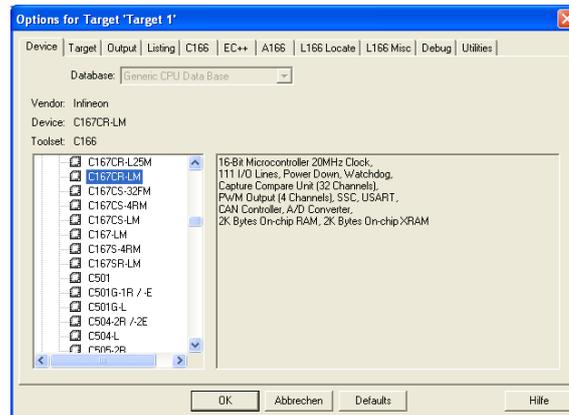


Abbildung A.66.: „Options for Target / Device“

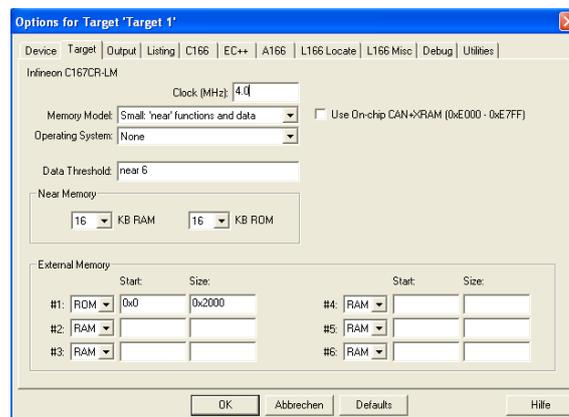


Abbildung A.67.: „Options for Target / Target“

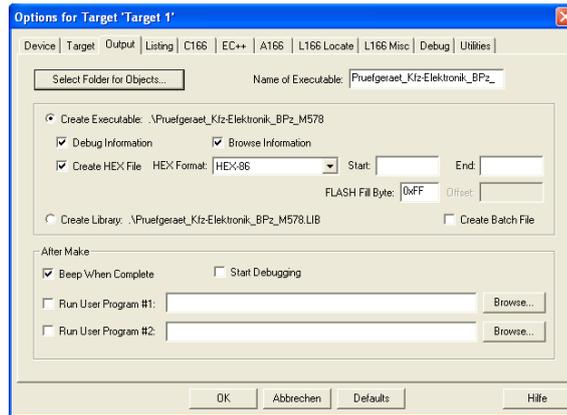


Abbildung A.68.: „Options for Target / Output“

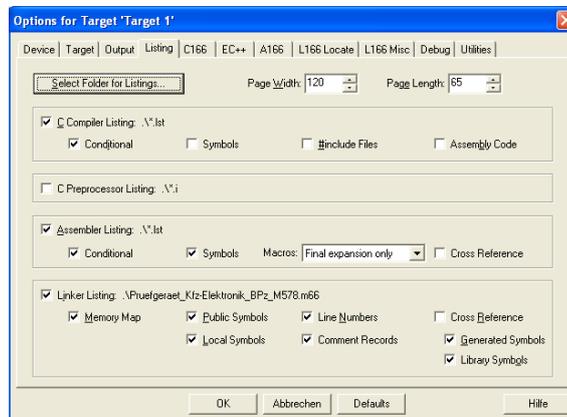


Abbildung A.69.: „Options for Target / Listing“

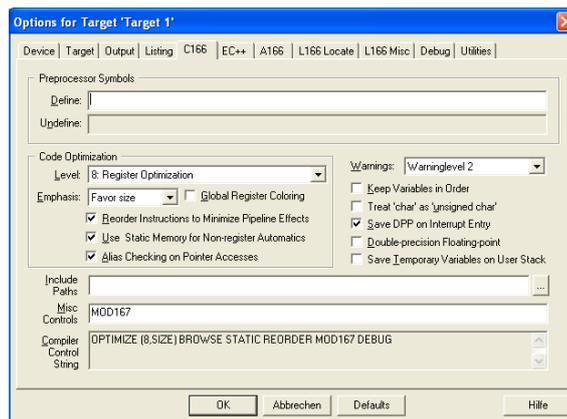


Abbildung A.70.: „Options for Target / C166“

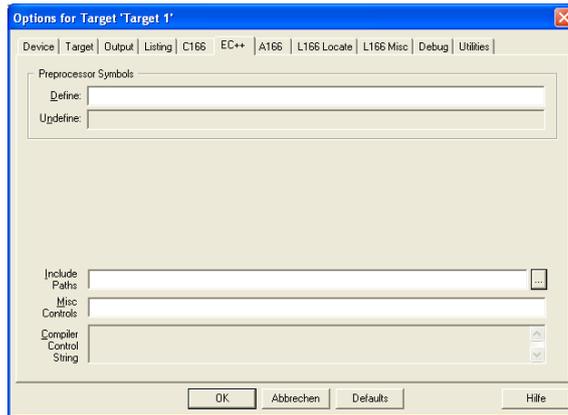


Abbildung A.71.: „Options for Target / EC++“

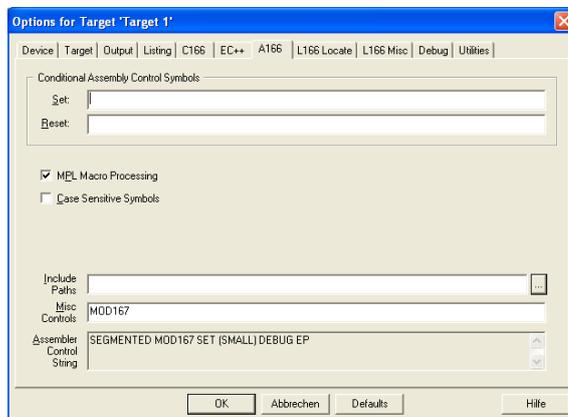


Abbildung A.72.: „Options for Target / A166“

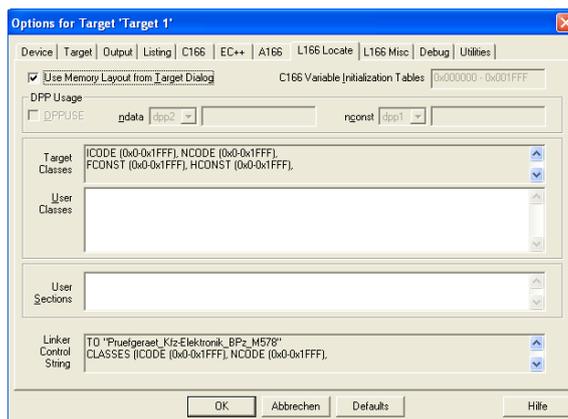


Abbildung A.73.: „Options for Target / L166 Locate“

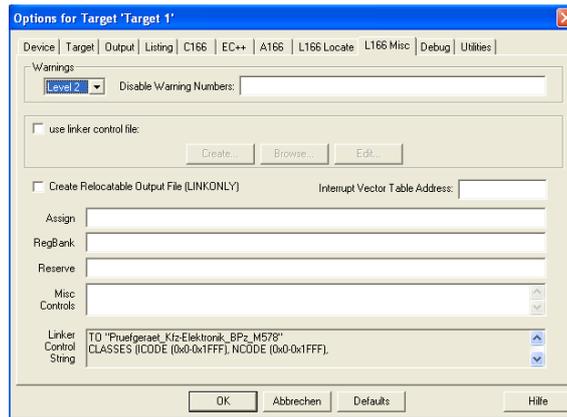


Abbildung A.74.: „Options for Target / L166 Misc“

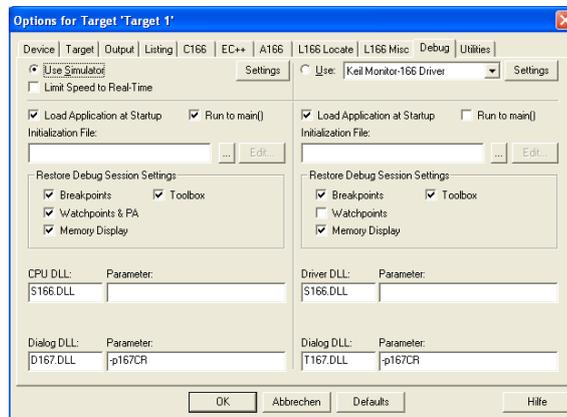


Abbildung A.75.: „Options for Target / Debug“

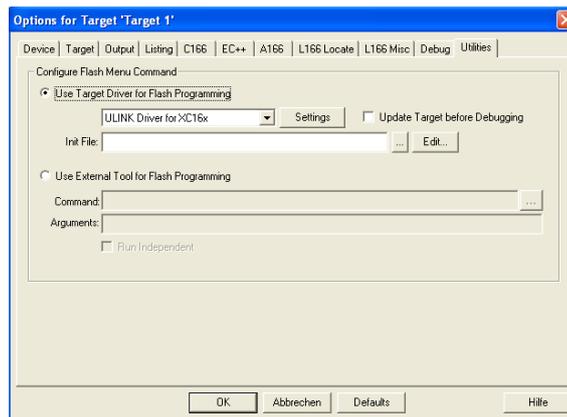


Abbildung A.76.: „Options for Target / Utilities“

A.3.2. „Components, Environment, Books...“

Hier folgt nun eine kleine Übersicht über die in „Components, Environment, Books...“ im Menü „Project“ zusammengefassten Einstellmöglichkeiten sowie die im Rahmen dieses Projektes zu wählenden Definitionen und Optionen:

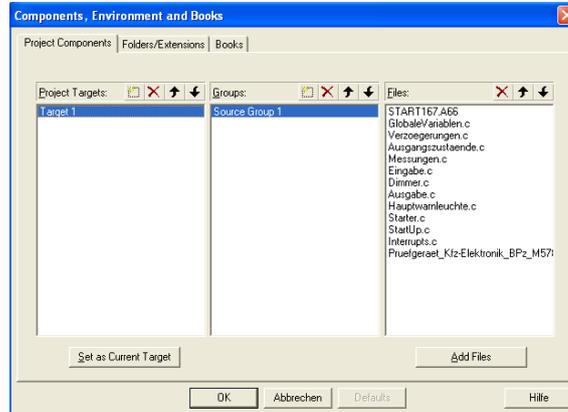


Abbildung A.77.: „Components, Environment, Books... / Project Components“

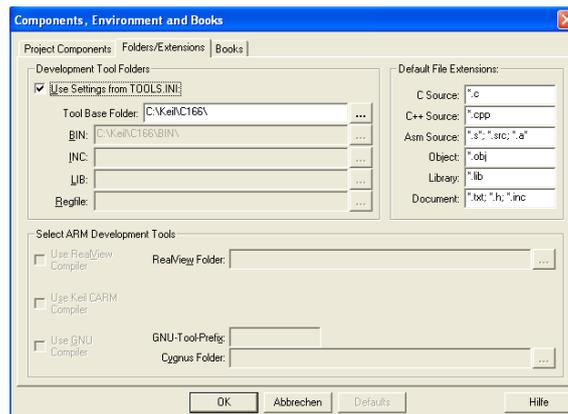


Abbildung A.78.: „Components, Environment, Books... / Folders/Extensions“

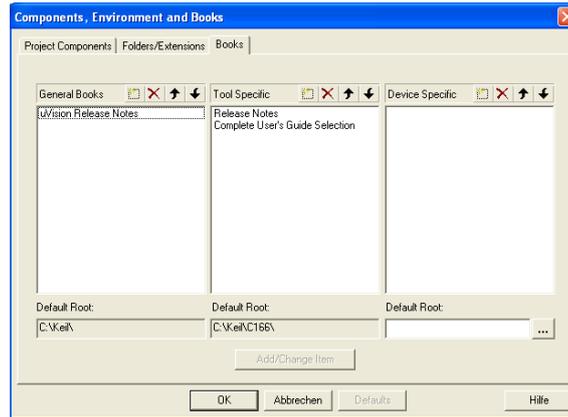


Abbildung A.79.: „Components, Environment, Books... / Books“

Tabellenverzeichnis

2.1. Mindestabstände auf Leiterplatten [5]	7
2.2. Strombelastbarkeit von Leiterbahnbreiten (vergleiche mit [5])	7
2.3. Aufgabenbezogene Leiterbahnbreiten-Definition	8
2.4. Strombelastbarkeit von Durchkontaktierungen (vergleiche mit [5])	8
2.5. Verzeichnis der nachempfundenen Geber-Strukturen	43
2.6. Gegenüberstellung der Signal-Bezeichnungen	53
2.7. Lastkonfigurationen der Spannungs-Messung	67
3.1. Konfiguration der Seriellen Schnittstelle im Tera Term Pro Web	104
3.2. Konfiguration des Hex-Lader-Modus	106
3.3. Konfiguration des Applikations-Modus	106
3.4. Hauptdateien zur Konfiguration des Mikrocontrollers	110
3.5. Hauptdateien zur Ablage globaler Variablen und Unterfunktionen	113
3.6. Hauptdateien der seriellen Kommunikation	115
3.7. Hauptdateien der Generierung der Ausgangssignale und Erfassung der digitalen Eingangspegel	117
3.8. Hauptdatei der Messung der analogen Eingangsgrößen	119
4.1. Aufbau der VB-Identifikations-Datei	124
4.2. Aufbau der VB-Konfigurations-Datei	124
4.3. Angaben zur CPU-Taktfrequenz und der RS232-Konfiguration in der VB-Konfigurations-Datei	125
4.4. Angabe der Grenzwerte der Messungen in der VB-Konfigurations-Datei	125
4.5. Überschrift eines Test-Bereichs in der VB-Konfigurations-Datei	126
4.6. Aufbau des Test-Eintrags in der VB-Konfigurations-Datei	126
4.7. Aufbau des Test-Identifikators	126
4.8. Aufbau der Fehler-Definition in der VB-Konfigurations-Datei	126
4.9. Dateien globaler Funktionalität im VB-Programm	127
4.10. Dateien des Identifikations-Vorgangs im VB-Programm	130
4.11. Dateien der Konfigurations-Ablage im VB-Programm	131
4.12. Dateien der seriellen Kommunikation des VB-Programms	134
4.13. Dateien zur Auswertung der Kommunikation des VB-Programms	138
4.14. Dateien zur Anzeige des Auswertungs-Ergebnisses des VB-Programms	139
4.15. Dateien zur Berichtserstellung im *.pdf-Format des VB-Programms	141

Abbildungsverzeichnis

2.1. Theoretischer Aufbau der 4-lagigen Multilayer-Platine [2]	6
2.2. Prinzipschaltbild eines ESD-Generators (Umsetzung des „Human-Body-Models“) [6, S.13]	10
2.3. PSpice-Modell des verwendeten ESD-Generators (inklusive Zuleitungs- und Schleifen-Induktivität)	11
2.4. ESD-Schutz-Grundstruktur der System-Platinen	12
2.5. PSpice-Modell der ESD-Schutz-Grundstruktur	12
2.6. Spannungs-Verlauf am Ausgang der ESD-Schutz-Grundstruktur gegenüber der lokalen Masse während des ESD-Ereignisses, sowie der darauf folgenden Versorgungs-Herstellung	13
2.7. Strom-Verlauf durch den SMD-Ferrit „742792114“ während des ESD-Ereignisses, sowie der darauf folgenden Versorgungs-Herstellung	14
2.8. Spannungs-Verlauf am Ausgang der ESD-Schutz-Grundstruktur gegenüber der lokalen Masse während der Versorgungs-Herstellung, sowie des darauf folgenden ESD-Ereignisses	15
2.9. Strom-Verlauf durch den SMD-Ferrit „742792114“ während der Versorgungs-Herstellung, sowie des darauf folgenden ESD-Ereignisses	15
2.10. Eingangsstufe der Versorgungs-Platine	17
2.11. Wirkungsgrad des Schaltreglers „LM2576HVT-ADJ LB03“ [12, S.8]	19
2.12. Prüflings-Versorgung	21
2.13. Generierung der „+12V-Schiene“	22
2.14. LM2576-Grundbeschaltung	23
2.15. Unterspannungs-Schutz-Schaltung des LM2576	25
2.16. Ripple-Filter und Überspannungsschutz der „+12V-Schiene“	26
2.17. „+12V-Inverterspeisung“	28
2.18. Stabilitätsbereiche des Shunt-Regulators „TL431A“ [16, S.24]	30
2.19. Generierung der „+8V-Schiene“	30
2.20. Unterbrechung der +8V-Versorgung	33
2.21. Generierung der „+5V-Schiene“	34
2.22. Unterbrechung der +5V-Versorgung	36
2.23. 2-poliger Eingang	38
2.24. 2-polige Eingangs-Schutzstruktur	39
2.25. 2-polige Signalaufbereitung	40
2.26. 1-poliger Eingang	41
2.27. 1-polige Eingangs-Schutzstruktur	42
2.28. 1-polige Signalaufbereitung	42

2.29. Ausgangs-Schutzstruktur	44
2.30. Z/L-Ausgang	44
2.31. Z/L-Struktur	45
2.32. Z/H-Ausgang	46
2.33. Z/H-Struktur	47
2.34. H/L-Ausgang	48
2.35. H/L-Struktur	48
2.36. 2-polige Ausgangs-Schutzstruktur	50
2.37. C/NC-Ausgang	50
2.38. C/NC-Struktur	51
2.39. Nachbildung der Starter-Elektrik	53
2.40. Die ESD-Schutz-Strukturen	54
2.41. Umlegung der Starter-Nachbildung	55
2.42. Nachbildung des Notstartschalters	56
2.43. Nachbildung des Starter-Tasters	57
2.44. Aufbereitung des Signals „Neutral“	58
2.45. Nachbildung der Primärrelais-Ansteuerung	59
2.46. Current Transfer Ratio des Opto-Kopplers [21, S.7]	61
2.47. Der Sekundärkreis	62
2.48. ESD-Schutz-Struktur der Spannungs-Eingänge	64
2.49. Die Ansteuerung der Kreise	65
2.50. Der Lastkreis der Spannungs-Messung	67
2.51. Der Messkreis der Spannungs-Messung	69
2.52. Signal-Aufbereitung der Spannungs-Messung	70
2.53. Der Frequenz-Eingang	75
2.54. Die ESD-Schutz-Struktur des Frequenz-Eingangs	75
2.55. Die Frequenz-Erfassung	76
2.56. Der ESD-Schutz des Dimm-Potentiometers	77
2.57. Layout der Schnittstelle des Mikrocontroller-Boards [29]	78
2.58. Schematic der Schnittstelle des Mikrocontroller-Boards (extrahiert aus [29])	79
2.59. Generierung der Referenz des A/D-Umsetzers	80
2.60. Eingangs-Filter der Spannungs-Messung	83
2.61. Serielle Schnittstelle des Mikrocontrollers	84
2.62. Der „fünfte Layer“ der Mikrocontroller-Platine	84
2.63. Die Selector-Schaltung	85
2.64. Struktur der Anzeige der Eingangs-Pegel	89
2.65. Anzeige gegen +24V	90
2.66. Anzeige gegen GND	91
2.67. Anzeigen der Versorgungs-Spannungs-Ebenen	92
2.68. Das Dimm-Potentiometer	95
2.69. Die serielle Schnittstelle des Prüfgerätes	95
2.70. Frontalansicht des Prüfgerätes (© KOLAR Costa)	98
2.71. Rückansicht des Prüfgerätes (© KOLAR Costa)	99

2.72. Topansicht des Prüfgerätes (© KOLAR Costa)	100
2.73. Seitenansicht des Prüfgerätes (© KOLAR Costa)	101
3.1. „Tera Term Pro Web“ - „Send File...“	107
3.2. Erfassung der Systemtakt-Frequenz	120
4.1. Pruefgeraet Kfz-Elektronik BPz M578.vbproj („My Project“)	128
4.2. Umlegung der Konfigurations-Datei in den Speicher des VB-Programms	132
4.3. Speicherabbild der angenommenen Konfigurations-Datei	134
4.4. Speicherabbild des angenommenen Kommunikations-Mitschnitts	137
4.5. Schematisches Speicherabbild der Kommunikations-Auswertung	139
A.1. Schaltplan „Adapter_1_v1“ (Seite 1/3)	150
A.2. Schaltplan „Adapter_1_v1“ (Seite 2/3)	151
A.3. Schaltplan „Adapter_1_v1“ (Seite 3/3)	152
A.4. Schaltplan „Adapter_2_v2“ (Seite 1/3)	153
A.5. Schaltplan „Adapter_2_v2“ (Seite 2/3)	154
A.6. Schaltplan „Adapter_2_v2“ (Seite 3/3)	155
A.7. Schaltplan „Ausgaenge_1_v1“ (Seite 1/7)	156
A.8. Schaltplan „Ausgaenge_1_v1“ (Seite 2/7)	157
A.9. Schaltplan „Ausgaenge_1_v1“ (Seite 3/7)	158
A.10.Schaltplan „Ausgaenge_1_v1“ (Seite 4/7)	159
A.11.Schaltplan „Ausgaenge_1_v1“ (Seite 5/7)	160
A.12.Schaltplan „Ausgaenge_1_v1“ (Seite 6/7)	161
A.13.Schaltplan „Ausgaenge_1_v1“ (Seite 7/7)	162
A.14.Schaltplan „Ausgaenge_2_v1“ (Seite 1/6)	163
A.15.Schaltplan „Ausgaenge_2_v1“ (Seite 2/6)	164
A.16.Schaltplan „Ausgaenge_2_v1“ (Seite 3/6)	165
A.17.Schaltplan „Ausgaenge_2_v1“ (Seite 4/6)	166
A.18.Schaltplan „Ausgaenge_2_v1“ (Seite 5/6)	167
A.19.Schaltplan „Ausgaenge_2_v1“ (Seite 6/6)	168
A.20.Schaltplan „Backplane_1_v1“ (Seite 1/3)	169
A.21.Schaltplan „Backplane_1_v1“ (Seite 2/3)	170
A.22.Schaltplan „Backplane_1_v1“ (Seite 3/3)	171
A.23.Schaltplan „Backplane_2_v1“ (Seite 1/2)	172
A.24.Schaltplan „Backplane_2_v1“ (Seite 2/2)	173
A.25.Schaltplan „Ein-_Ausgaenge_v1“ (Seite 1/4)	174
A.26.Schaltplan „Ein-_Ausgaengegaenge_v1“ (Seite 2/4)	175
A.27.Schaltplan „Ein-_Ausgaenge_v1“ (Seite 3/4)	176
A.28.Schaltplan „Ein-_Ausgaenge_v1“ (Seite 4/4)	177
A.29.Schaltplan „Eingaenge_1_v1“ (Seite 1/4)	178
A.30.Schaltplan „Eingaenge_1_v1“ (Seite 2/4)	179
A.31.Schaltplan „Eingaenge_1_v1“ (Seite 3/4)	180
A.32.Schaltplan „Eingaenge_1_v1“ (Seite 4/4)	181

A.33.Schaltplan „Eingaenge_2_v1“ (Seite 1/4)	182
A.34.Schaltplan „Eingaenge_2_v1“ (Seite 2/4)	183
A.35.Schaltplan „Eingaenge_2_v1“ (Seite 3/4)	184
A.36.Schaltplan „Eingaenge_2_v1“ (Seite 4/4)	185
A.37.Schaltplan „Eingaenge_3_v1“ (Seite 1/3)	186
A.38.Schaltplan „Eingaenge_3_v1“ (Seite 2/3)	187
A.39.Schaltplan „Eingaenge_3_v1“ (Seite 3/3)	188
A.40.Schaltplan „Eingaenge_4_v1“ (Seite 1/3)	189
A.41.Schaltplan „Eingaenge_4_v1“ (Seite 2/3)	190
A.42.Schaltplan „Eingaenge_4_v1“ (Seite 3/3)	191
A.43.Schaltplan „Frontplane_1_v1“ (Seite 1/6)	192
A.44.Schaltplan „Frontplane_1_v1“ (Seite 2/6)	193
A.45.Schaltplan „Frontplane_1_v1“ (Seite 3/6)	194
A.46.Schaltplan „Frontplane_1_v1“ (Seite 4/6)	195
A.47.Schaltplan „Frontplane_1_v1“ (Seite 5/6)	196
A.48.Schaltplan „Frontplane_1_v1“ (Seite 6/6)	197
A.49.Schaltplan „Frontplane_2_v1“ (Seite 1/5)	198
A.50.Schaltplan „Frontplane_2_v1“ (Seite 2/5)	199
A.51.Schaltplan „Frontplane_2_v1“ (Seite 3/5)	200
A.52.Schaltplan „Frontplane_2_v1“ (Seite 4/5)	201
A.53.Schaltplan „Frontplane_2_v1“ (Seite 5/5)	202
A.54.Schaltplan „Messplatine_v2“ (Seite 1/4)	203
A.55.Schaltplan „Messplatine_v2“ (Seite 2/4)	204
A.56.Schaltplan „Messplatine_v2“ (Seite 3/4)	205
A.57.Schaltplan „Messplatine_v2“ (Seite 4/4)	206
A.58.Schaltplan „Mikrocontrollerplatine_v1“ (Seite 1/2)	207
A.59.Schaltplan „Mikrocontrollerplatine_v1“ (Seite 2/2)	208
A.60.Schaltplan „Starter_v1“ (Seite 1/2)	209
A.61.Schaltplan „Starter_v1“ (Seite 2/2)	210
A.62.Schaltplan „Versorgung_v1“	211
A.63.Schaltplan des C167-Mikrocontroller-Boards [36]	212
A.64.Top-Layer des C167-Mikrocontroller-Boards [37]	213
A.65.Bottom-Layer des C167-Mikrocontroller-Boards [37]	214
A.66.„Options for Target / Device“	215
A.67.„Options for Target / Target“	215
A.68.„Options for Target / Output“	216
A.69.„Options for Target / Listing“	216
A.70.„Options for Target / C166“	216
A.71.„Options for Target / EC++“	217
A.72.„Options for Target / A166“	217
A.73.„Options for Target / L166 Locate“	217
A.74.„Options for Target / L166 Misc“	218
A.75.„Options for Target / Debug“	218
A.76.„Options for Target / Utilities“	218

A.77., „Components, Environment, Books... / Project Components“ 219
A.78., „Components, Environment, Books... / Folders/Extensions“ 219
A.79., „Components, Environment, Books... / Books“ 220

Literaturverzeichnis

- [1] Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Robert Röhler, “Ein Entwicklungskern für den Microcontroller C167CR – LM,” Institut für Elektronik, TU Graz, September 2001.
- [2] Beta LAYOUT GmbH, “Theoretischer Lagenaufbau ML 4,” Im Aartal 14, 65326 Aarbergen, Deutschland, 2009, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: http://www.leiterplattenservice.com/download/spezifikation/deu_cms004_ml4.pdf
- [3] —, “Technik,” Im Aartal 14, 65326 Aarbergen, Deutschland, 2010, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: http://www.leiterplattenservice.com/download/spezifikation/deu_cms010_technik.pdf
- [4] Dipl.-Ing. TÜRK, Mjr (ARWT/ET), “M578_4layer.dru,” letzte Änderung: Freitag, 23. November 2007, 14:12:18.
- [5] fechner-schulte Leiterplattentechnik GmbH, “Layout Tipps / elektrische Bemessungsrichtlinien,” Potsdamer Straße 10, 30916 Isernhagen, Deutschland, Mai 2010, Stand Nov. 2010. [Online]. Available: http://www.fs-leiterplatten.de/html/el__bemessung.html
- [6] Austrian Standards Institute and Österreichischer Verband für Elektrotechnik (ÖVE), “ÖVE/ÖNORM - EN 61000-4-2: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 4-2: Prüf- und Messverfahren - Prüfung der Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität,” ÖVE/ÖNORM - EN 61000-4-2: Ausgabe 2010-02-01, Heinestraße 38, 1020 Wien, Februar 2010. [Online]. Available: <http://www.as-plus.at>
- [7] F. K. Kolar, “Untersuchungen von ESD-Schutzstrukturen,” Seminar/Projekt Elektronik, Technische Universität Graz - Institut für Elektronik, Inffeldgasse 12, 8010 Graz, Dezember 2010.
- [8] Würth Elektronik GmbH & Co. KG, “742792114,” Max-Eyth-Strasse 1 - 3, D-74638 Waldenburg, Deutschland, Dezember 2000, Stand Dez. 2010. [Online]. Available: <http://katalog.we-online.de/kataloge/eisos/media/pdf/742792114.pdf>
- [9] STMicroelectronics, “STN3NF06L,” Oktober 2003, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0478/0900766b8047858d.pdf>

- [10] —, “STN3PF06,” Mai 2007, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0977/0900766b80977342.pdf>
- [11] Dipl.-Ing. TÜRK, Mjr (ARWT/ET), “Design Spezifikation (DS) Kfz-Elektronik BPz M578 VS1,” März 2009, Version: P2 (23 03 09) - Thema: Umfang und Funktion der Kfz-Elektronik M578.
- [12] National Semiconductor Corporation, “LM2576/LM2576HV Series,” August 2004, Stand: Okt. 2010. [Online]. Available: <http://www.national.com/ds/LM/LM2576.pdf>
- [13] ON Semiconductor, “MMSZ5221BT1 Series,” Januar 2006, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/078e/0900766b8078eb3b.pdf>
- [14] Infineon Technologies AG, “BC846...BC850,” St.-Martin-Strasse 53, D-81541 München, Deutschland, November 2001, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0026/0900766b80026ae6.pdf>
- [15] Fischer Elektronik, “SK 129 Heatsink Specification,” Hirschstettner Straße 19-21/K, 1220 Wien, 2009, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/001c/0900766b8001c2b7.pdf>
- [16] Texas Instruments Incorporated, “Tl431-tl432 adjustable precision shunt regulators,” Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265, USA, Mai 2005, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0623/0900766b806238fa.pdf>
- [17] STMicroelectronics, “LD1086,” Mai 2000, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0030/0900766b800302b8.pdf>
- [18] ABL (Aluminium Components) Ltd, “LS85_LS90 Heatsink Product Data,” Premier House, Valepits Road, Garretts Green Ind. Estate, Garretts Green, Birmingham, B33 0TD, United Kingdom, 2009, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0029/0900766b80029964.pdf>
- [19] STMicroelectronics, “L4941,” Januar 2004, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0028/0900766b80028b0b.pdf>
- [20] Fischer Elektronik, “FK 225 Heatsink Specification,” Hirschstettner Straße 19-21/K, 1220 Wien, 2009, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/001c/0900766b8001c2c1.pdf>

- [21] SHARP Corporation, “PC3Q67QJ000F Series,” Juni 2005, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0a71/0900766b80a71c3c.pdf>
- [22] OMRON Corporation, “OMRON PCB Relay G6H,” Stand: Jun. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/002b/0900766b8002b93d.pdf>
- [23] Philips Semiconductors, “1N4148; 1N4448 High-speed diodes,” August 2004, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0733/0900766b8073396f.pdf>
- [24] OMRON Corporation, “Text PCB Signal Relay – G5V-2,” Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/00b6/0900766b800b6d76.pdf>
- [25] Kingbright Elec. Co., Ltd., “T-1 3/4 (5mm) Super Bright LED Lamps Data Sheet,” September 2001, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/01fe/0900766b801fef56.pdf>
- [26] Infineon Technologies AG, *Data Sheet C167CR*, 2001st ed. St.-Martin-Strasse 53, D-81541 München, Deutschland: Infineon Technologies AG, Juli 2001, vol. 3.2.
- [27] Analog Devices, Inc., “Instrumentation Amplifier AD623 (Rev.C),” 1999, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/077f/0900766b8077ffe7.pdf>
- [28] Kingbright Elec. Co., Ltd., “Kingbright KB-2685ID,” Juli 2007, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0b78/0900766b80b78e6b.pdf>
- [29] T. Sailer, “L1668 - Analoge Schaltungstechnik, Labor - Übung Sensorinterface,” Oktober 2004, C167-Schnittstelle - Board and Schematic.
- [30] Texas Instruments Incorporated, “SN54HC157,” Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265, USA, September 2003, Stand: Okt. 2010. [Online]. Available: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/sn54hc157.pdf>
- [31] Kingbright Elec. Co., Ltd., “Kingbright KB-2785YD,” Juli 2007, Stand: Nov. 2010. [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0b78/0900766b80b78f57.pdf>
- [32] Keil Elektronik GmbH & Keil Software, Inc., “Limitations,” Keil Elektronik GmbH & Keil Software, Inc., Bretonischer Ring 15, 85630 Grasbrunn, Deutschland - 1501 10th Street, Suite 110, Plano, Texas 75074, USA, 2010, Stand: Okt. 2010. [Online]. Available: <http://www.keil.com/demo/limits.asp>

- [33] —, “Keil μ Vision3 IDE and Debugger Quick Start,” Keil Elektronik GmbH & Keil Software, Inc., Bretonischer Ring 15, 85630 Grasbrunn, Deutschland - 1501 10th Street, Suite 110, Plano, Texas 75074, USA, Juli 2007, Stand: Sept. 2010. [Online]. Available: <http://www.keil.com/product/brochures/uv3.pdf>
- [34] Infineon Technologies AG, *User's Manual C167CR*, 2000th ed. St.-Martin-Strasse 53, D-81541 München, Deutschland: Infineon Technologies AG, März 2000, vol. 3.1.
- [35] Keil Elektronik GmbH & Keil Software, Inc., “START167.A66,” Keil Elektronik GmbH & Keil Software, Inc., Bretonischer Ring 15, 85630 Grasbrunn, Deutschland - 1501 10th Street, Suite 110, Plano, Texas 75074, USA, 2010, Stand: Okt. 2010. [Online]. Available: http://www.keil.com/support/man/docs/c166/c166_ap_start167_a66.htm
- [36] Technische Universität Graz - Institut für Elektronik, “C167_v2_2 Schematic,” März 2006, Eagle-Schematic-File.
- [37] —, “C167_v2_2 Board,” März 2006, Eagle-Board-File.