

**Westsächsische Hochschule Zwickau**

University of Applied Sciences  
Fakultät Elektrotechnik

## **DIPLOMARBEIT**

### **Zentralsteuergerät für ein straßenzugelassenes Rennsportfahrzeug**

zur Erlangung des

akademischen Grades

**Diplom-Ingenieur für Kraftfahrzeugelektronik (FH)**

eingereicht von

**Robert Pfeifer**

geb. am 14. Februar 1987

Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. Gerhard Temmel

Auftraggeber oder Firma: Apollo Automobil GmbH

Betreuer: Dipl. Ing. (FH) Christian Illig



# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	I
Abbildungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis .....	VII
Abkürzungsverzeichnis .....	VIII
Formelzeichen .....	IX
Danksagung .....	X
1. Einleitung .....	1
1.1. Das Unternehmen Apollo Automobil GmbH .....	1
1.2. Motivation .....	2
1.3. Zielsetzung .....	3
2. Stand der Technik .....	4
2.1. Motorsteuergerät .....	4
2.2. ABS Bosch, CAN Gateway .....	4
2.3. Anzeigensteuergerät, Dashboard, PCAN Micromix .....	5
2.4. Tanksteuergerät .....	5
2.5. Clifford Wegfahrsperr, Zentralverriegelungsmodul .....	5
2.6. Hubliftsteuergerät .....	6
2.7. Bewertung der bestehenden Komponenten .....	7
2.8. Anforderungen an das zu entwickelnde Steuergerät .....	8
3. Einflüsse und Anforderungen an die Steuergerätestwicklung .....	9
3.1. Richtlinien und Normen .....	9
3.1.1. ECE R10 – Funkentstörung .....	9
3.1.2. ECE R21 – Innenausstattung .....	10



3.1.3.	ECE R48 – Beleuchtung .....	10
3.1.4.	Qualifizierung der Bauteile .....	10
3.2.	Nicht elektrische Einflüsse .....	11
3.3.	Elektrische Einflüsse .....	11
3.3.1.	Störung der Betriebsspannung .....	11
3.3.2.	Elektromagnetische Verträglichkeit.....	12
4.	Planung und Entwicklung der Hardware.....	14
4.1.	Gehäuseauswahl.....	14
4.2.	Schaltungsentwurf .....	16
4.2.1.	Mikrocontroller .....	17
4.2.2.	CAN – Schnittstelle ABS, Fahrzeug .....	21
4.2.3.	LIN – Schnittstelle Scheibenwischer, Kühlwasserpumpen.....	23
4.2.4.	SPI – Bus, xy-Beschleunigungssensor, LED Treiber .....	24
4.2.5.	I <sup>2</sup> C Bus, Echtzeituhr, EEPROM, GIO Expander.....	25
4.2.6.	Sensoren.....	27
	Temperatur Sensoren .....	28
	Öldrucksensor, Öldruckschalter .....	29
	Tankstandssensor.....	30
	Schaltung analoge Eingangssignale .....	31
	Schaltung digitale Eingangssignale KW-HLS, Licht, Generator, Schalter .....	37
	Flüssigkeitsstand Bremsflüssigkeit, Scheibenwischwasser .....	40
4.2.7.	Hubliftsystem .....	41
4.2.8.	Zentralverriegelung .....	42
4.2.9.	Lichtüberwachung .....	44
4.2.10.	Fensterheber .....	46



4.2.11. Spannungsversorgung.....	47
Spannungsüberwachung Platine .....	49
4.3. Steckerverbinder .....	51
4.4. Platinen – Layout.....	53
5. Inbetriebnahme .....	57
5.1. Hardware.....	57
5.2. Software .....	59
5.2.1. HALCoGen.....	59
5.2.2. Code Composer Studio.....	61
5.3. Experimentelle Ergebnisse .....	62
6. Zusammenfassung und Ausblick.....	66
Literaturverzeichnis .....	XI
Verweise auf Normen .....	XII
Anhangsverzeichnis .....	XIII
Anhang 1: Pinbelegung TMS570LS0914PGE .....	XIV
Anhang 2: Schaltung Spannungsversorgung Zentralsteuergerät.....	XV
Anhang 3: Strombelastung Zentralsteuergerät .....	XVI
Anhang 4: Leiterplatte unten, Ansicht von oben, Massepolygone ausgeblendet	XVII
Anhang 5: Leiterplatte oben, Ansicht von oben, Massepolygone ausgeblendet	XVIII
Anhang 6: Platinenschraubverbinder .....	XIX
Anhang 7: Platinenprototypen Zentralsteuergerät, bestückt .....	XIX
Anhang 8: PAP Testprogramm Zentralsteuergerät .....	XX
Anhang 9: Test CAN-Matrix Zentralsteuergerät .....	XXI
Anhang 10: Zentralsteuergerät .....	XXII



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: vorhandene Steuergeräte Apollo N.....	3
Abbildung 2: li. altes Dashboard, re. Dashboard seit 2016 .....	5
Abbildung 3: Systemvernetzung Apollo N.....	7
Abbildung 4: Aluminiumgehäuse für Zentralsteuergerät.....	15
Abbildung 5: Mikrocontroller TMS570LS0914PGE .....	17
Abbildung 6: Spannungsversorgung TMS570LS0914PGE .....	19
Abbildung 7: Taktreferenz TMS570LS0914PGE .....	19
Abbildung 8: Schaltung Programmer TMS570LS0914PGE.....	20
Abbildung 9: Resetbeschaltung TMS570LS0914PGE.....	20
Abbildung 10: Schaltung CAN mit EMV Filter und Gleichtaktdrossel .....	21
Abbildung 11: Schaltung LIN .....	23
Abbildung 12: Schaltung Beschleunigungssensor MMA6901KQ .....	24
Abbildung 13: Schaltung LED-Treiber MAX6966.....	25
Abbildung 14: Schaltung Echtzeituhr (RTC) PCA85063.....	26
Abbildung 15: Schaltung EEPROM 24LC512.....	26
Abbildung 16: Schaltung GIO-Expander TCA9535.....	27
Abbildung 17: Bosch NTC M12-H, Kennlinie (vgl. Bosch Motorsport, 2017) .....	28
Abbildung 18: Bosch NTC M12-L , Kennlinie (vgl. Bosch Motorsport , 2017).....	29
Abbildung 19: Öldrucksensor, Kennlinie (vgl. Continental Automotive GmbH, 2017).....	29
Abbildung 20: Öldruckschalter einstellbar.....	30
Abbildung 21: Tauchrohrgeber, Kennlinie (vgl. Continental Automotive GmbH, 2017) .....	30
Abbildung 22: Schaltung analoge Eingangssignale.....	31
Abbildung 23: Kennlinien Ausgangsspannung, Bosch NTC M12-L.....	32



Abbildung 24: Kennlinien Spannungsteiler, Gesamtstrom, elektrische Leistung Bosch NTC M12-L .....	33
Abbildung 25: LTSpice Schaltung analoge Eingangssignale .....	34
Abbildung 26: LTSpice Simulation analoge Eingangssignale .....	35
Abbildung 27: LTSpice Schaltung analoge Eingangssignale mit Störquelle .....	35
Abbildung 28: LTSpice Simulation Schaltung analoge Eingangssignale mit Störung	36
Abbildung 29: Schaltung digitale Eingangssignale .....	37
Abbildung 30: LTSpice Schaltung digitale Eingangssignale .....	38
Abbildung 31: LTSpice Simulation digitale Eingangssignale .....	39
Abbildung 32: LTSpice Schaltung digitale Eingangssignale mit Störquelle .....	39
Abbildung 33: LTSpice Simulation digitale Eingangssignale mit Störung .....	39
Abbildung 34: Flüssigkeitsstandsensoren LS02 .....	40
Abbildung 35: OEM Scheibenwischerstandssensoren .....	40
Abbildung 36: Schaltung Scheibenwischerstand .....	41
Abbildung 37: Schaltung Zentralverriegelung .....	43
Abbildung 38: Schaltung Kaltlichtüberwachung .....	44
Abbildung 39: Ablendlichtkontrollleuchte Dashboard .....	45
Abbildung 40: Multiplexer IS-Leitungen High-Side-Schalter .....	45
Abbildung 41: Relais-Schaltung Fensterheber mit Stromüberwachung INA194 .....	46
Abbildung 42: Versorgungsspannung Echtzeituhr MCP1825S .....	49
Abbildung 43: Spannungsüberwachungsschaltung .....	50
Abbildung 44: Schaltung Supervisor TL7709ACD .....	51
Abbildung 45: Steckerverbinder Zentralsteuergerät .....	52
Abbildung 46: FreeCAD Skizze Leiterplatte unten und oben .....	53
Abbildung 47: Strombelastbarkeit bei Leiterbahnbreite von 70 µm .....	54
Abbildung 48: High-Side-Schalter U201/202, Polygone orange dargestellt .....	55



Abbildung 49: Platinenprototyp Zentralsteuergerät.....	57
Abbildung 50: Versuchsaufbau Zentralsteuergerät mit Ersatzteilen des Apollo N ....	58
Abbildung 51: HALCoGen Blockdiagramm TMS570LS0914 .....	59
Abbildung 52: Schaltung Scheibenwischwasserstand, zusätzlich R442.....	63
Abbildung 53: Busmaster, CAN-Nachrichten Zentralsteuergerät.....	65
Abbildung 54: Systemvernetzung Apollo N mit Zentralsteuergerät.....	66



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rechenwerte Kennlinie $R1 = 2 \text{ k}\Omega$ , ADC-Schaltung .....	33
Tabelle 2: HALCoGen Moduleinstellungen Zentralsteuergerät.....	60
Tabelle 3: ermittelte ADC-Werte Lichtüberwachung Standlicht .....	64



# Abkürzungsverzeichnis

ABS	Antiblockiersystem
ADC	Analog-Digital Umformer
AEC	Automotive Electronics Council
ARM	Advanced RISC Machine
ASG	Anzeigensteuergerät
ASIL	automotive safety integrity level
BGA	Ball-Grid-Array
CAN	Controller Area Network
CPU	Central Processing Unit
DMA	Direct-Memory-Access
eCap	Enhanced Capture
ECE	United Nations Economic Commission for Europe
EEPROM	electrically erasable programmable read-only memory
EG-FGV	Europäische Gemeinschaft - Fahrzeuggenehmigungsverordnung
ESD	Elektrostatische Entladung
EUB	elektrisch/elektronische Unterbaugruppe
Flexray	serielles, deterministisches und fehlertolerantes Feldbussystem
GPIO	General Purpose Input Output
HLS	Hubliftsystem
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
IC	Integrierter Schaltkreis
IP	International Protection
ISO	International Organization for Standardization
Kfz	Kraftfahrzeug
KW	Klaus Wolfarth - Gründer KW Suspensions
LED	light -emitting diode
LQFP	Low Profile Quad Flat Package
OEM	Original Equipment Manufacturer
OPV	Operationsverstärker
PCAN	PEAK Hersteller bezeichnung
PWM	Pulsweitenmodulation
RTC	Real-Time Clock
SPI	Serial Peripheral Interface
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
ZV	Zentralverriegelung



## Formelzeichen

$\Delta T$	Temperaturänderung
$b$	breite Leiterbahn
$B$	Materialkonstante für NTC-Widerstände
$h$	höhe Leiterbahn
$I_G$	Gesamtstrom
$I_L$	Verbraucher Strom
$I_Q$	Eigenstrombedarf
$K$	vorgegebener Faktor
$P_E$	elektrische Leistung
$R_{25}$	Sensorwiderstand bei 25°C
$R_G$	Gesamtwiderstand
$R_{NTC}$	Sensorwiderstand Temperaturabhängig
$U_A$	Ausgangsspannung
$U_{ADC}$	berechnete Spannung ADC
$U_{CC}$	Versorgungsspannung
$U_E$	Eingangsspannung
$U_G$	Gesamtspannung
$U_{Mess}$	Messspannung
$U_B$	Durchbruchspannung



## Danksagung

Die vorliegende Diplomarbeit entstand während meiner Tätigkeit als Diplomand bei der Apollo Automobil GmbH in Denkendorf. Ich bin sehr froh und dankbar, dass ich die Möglichkeit hatte, bei einem Supersportwagen Hersteller meine Diplomarbeit anfertigen zu können. In dieser Zeit konnte ich mein Wissen in der Kraftfahrzeugelektronik stark weiter entwickeln. Darüber hinaus konnte ich wertvolle Erfahrungen bei der Entwicklung, dem Aufbau und der Inbetriebnahme eines Steuergerätes gewinnen.

Einen besonderen Dank möchte ich an Dipl. Ing. (FH) Christian Illig richten für seine ausgezeichnete Betreuung seitens der Firma Apollo. Seine stets hilfsbereite und freundliche Art ermöglichte eine zielorientierte Zusammenarbeit.

Ich möchte auch meinem betreuenden Professor Dr.-Ing. Gerhard Temmel seitens der Fachhochschule in Zwickau für seine Unterstützung und Betreuung meiner Diplomarbeit danken.

Des Weiteren danke ich allen Mitarbeitern der Firma Apollo Automobil GmbH, die mich unterstützt und mir bei allen Fragestellungen weitergeholfen haben.

Ein letzter Dank geht an meine Familie und Freunde die mir während meiner Studienzeit stets zur Seite standen.

Allen erwähnten Personen wünsche ich für die Zukunft alles Gute.

Denkendorf im November 2017



# 1. Einleitung

Ein Rückblick auf zahlreiche Jahre erfolgreichen Automobilbaus verrät, dass sich von den Anfängen bis heute die Fahrzeuge zu hochmodernen Spitzenprodukten entwickelt haben. Optimierungen und Innovation prägen seit Anbruch der Mobilität das Bild. Heutzutage arbeiten in Deutschland rund 800.000 Menschen in oder für die Automobilbranche (Statista GmbH, 2017). Für viele von ihnen ist es an der Tagesordnung die Fahrzeuge im Hinblick auf Sicherheit, Kosteneffizienz und Umweltfreundlichkeit zu optimieren. In den vorangegangenen Jahren der Automobilgeschichte hat sich nicht nur die Technik weiterentwickelt, sondern insbesondere auch die Entwicklungsabläufe und die Lebenszyklen heutiger Fahrzeuge. Forschung und Entwicklung sowie Innovationen ermöglichten immer mehr Funktionen mit elektronischen Steuergeräten zu implementieren. Dadurch stieg die Zahl der im Fahrzeug verbauten Steuergeräte rapide an und der Verkabelungsaufwand unter den einzelnen Geräten wurde unbeherrschbar. Dies führte zur Entwicklung verschiedener Datenbussysteme, wie zum Beispiel CAN, LIN, Flexray. Auch die „Intelligenz“ der Steuergeräte ist stark fortgeschritten, sodass alle Sensoren nicht nur ausgewertet, sondern auch auf korrekte Funktion überwacht und aufgetretene Fehler protokolliert werden.

## 1.1. Das Unternehmen Apollo Automobil GmbH

Im Fokus dieser Arbeit liegt die Fahrzeugelektrik der neusten Generation des Apollo N. Dessen Hersteller, die Sportwagenmanufaktur Apollo Automobil GmbH wurde bereits im Jahr 2002 gegründet. Durch die Zusammenarbeit des Fahrzeugtuners MTM sowie des Rennwagenzulieferers Nitec Engineering sollte ein Rennwagen mit Straßenzulassung entwickelt werden. Im Jahr 2003 übernahm der ehemalige Audi-Motorsport-Chef Roland Gumpert die Projektleitung. Ein Jahr später entstand die GMG Sportwagenmanufaktur Altenburg. Bis zum Anlauf der Produktion des Apollos im Jahr 2005/2006 wurde der Name der Firma in Gumpert Sportwagenmanufaktur umbenannt. Aufgrund der geringen Nachfrage wurde im Jahr 2012 das



Insolvenzverfahren eingeleitet. Im Laufe der folgenden Jahre wurde durch Umstrukturierungen und unter Einbeziehung neuer Investoren die Effizienz des Unternehmens wiederhergestellt. Nach der Übernahme durch die chinesische Investorengruppe, Ideal Team Venture, firmierte die ehemalige GSM ab dem Jahr 2015 als Apollo Automobil GmbH mit Firmensitz im oberbayrischen Denkendorf. Auf dem Genfer Auto-Salon 2016 wurde der neue Apollo Arrow präsentiert. In Denkendorf werden aktuell die Entwicklungsarbeiten und die Fertigung des Apollo N (Gumpert Apollo Facelift) vorangetrieben. (vgl. Apollo Automobil GmbH, 2017)

## **1.2. Motivation**

Der Fortschritt in der Automobilelektronik geht auch an einem Supersportwagen nicht vorbei und erfordert eine stetige Aktualisierung der Elektronik. Um die gestiegenen Sicherheitsaspekte, die Überwachung der Systeme, die Ausgabe fahrzeugrelevanter Informationen für den Fahrer sowie umfassende Diagnosemöglichkeiten für den Entwicklungs- und Reparaturprozess ermöglichen zu können. Um diesen neuen Anforderungen genüge zu tragen ist es unabdingbar einzelne Fahrzeugkomponenten des Apollo N zu überholen und die elektrische Anlage zu modernisieren.

### 1.3. Zielsetzung

Ziel ist es aus einer Vielzahl vorhandener Steuergeräte (Abbildung 1), die teilweise nur zur Unterstützung eines anderen Steuergerätes vorhanden sind, ein Zentralsteuergerät zu entwickeln, welches den heutigen technischen Ansprüchen Genüge trägt. Für die Umsetzung der Arbeit sind neben der theoretischen Ausarbeitung ein Prototyp sowie eine Testsoftware der Kernfunktionen geplant. Neben dem im nächsten Kapitel beschriebenen aktuellen Stand der Technik ist auch die Bezugnahme auf Normen und Richtlinien essentiell, da das Fahrzeug eine Zulassung für den öffentlichen Straßenverkehr erhalten soll.



Abbildung 1: vorhandene Steuergeräte Apollo N



## 2. Stand der Technik

Der Apollo N besitzt aktuell 19 Steuergeräte. Die wesentliche Kommunikation im Fahrzeug findet mittels CAN-Bus statt. Dieser verbindet das Motorsteuergerät, das ABS, das Getriebesteuergerät und das Anzeigensteuergerät miteinander. Alle anderen Steuergeräte werden autark betrieben und bieten nur eine eingeschränkte Diagnosemöglichkeit zur Auswertung von Fehlverhalten.

### 2.1. Motorsteuergerät

Das verwendete Motorsteuergerät ist ein Originalteil des OEMs Audi. Hintergrund hierfür ist der im Apollo verbaute Audi RS6 V8 Biturbomotor. Verändert wurden hier die Kennfelder für die entsprechende Leistungssteigerung und Einhaltung der Abgasnormen. Das Motorsteuergerät erhält alle relevanten Motordaten direkt von den jeweiligen Sensoren und verarbeitet diese ohne Zuhilfenahme externer Hardware. Mittels CAN-Bus sowie On-Board-Diagnose (OBD) können verschiedene Motorparameter und Fehlercodes mitgelesen und ausgewertet werden.

### 2.2. ABS Bosch, CAN Gateway

Die ABS-Einheit besteht aus dem Hydraulikblock und einem Steuergerät, welches die Regelung der einzelnen Ventile bei einer ABS-Bremmung vollzieht. Da das von Bosch entwickelte ABS für den Einsatz in einem anderen Fahrzeug mit Mittelmotorkonzept entwickelt worden ist, sendet es die falschen CAN-Botschaften, um mit der Audi-CAN-Matrix kommunizieren zu können. Aus diesem Grund wurde von der Firma BFFT ein CAN-Gateway entwickelt, welches die benötigten CAN-Nachrichten konvertiert um die notwendigen Informationen dem Motorsteuergerät bereitstellen zu können.

## 2.3. Anzeigensteuergerät, Dashboard, PCAN Micromix



Abbildung 2: li. altes Dashboard, re. Dashboard seit 2016

Das Anzeigensteuergerät (ASG) dient der Auswertung verschiedener Analsignale wie Lade- und Öldruck, Drehzahl, Ladekontrolle sowie ABS-Fehler. Diese Signale werden aufbereitet und an die entsprechenden Anzeigeelemente im Dashboard weitergeleitet. Das ASG wurde bei der erstmaligen Konstruktion des Fahrzeuges hausintern entwickelt. Alle Anzeigeelemente werden direkt angesteuert und haben einen entsprechend großen Platz- sowie Verdrahtungsaufwand. Das seit 2016 verwendete Dashboard empfängt seine anzuzeigenden Befehle via CAN-Bus und gibt sie auf einem Display aus. Damit kann der Leitungsstrang reduziert und die Menge an Information für den Benutzer erhöht werden. Da aktuell nicht alle notwendigen Informationen auf dem CAN-Bus bereit stehen, wurde eine PCAN-Micromix-Steuergerät zur Auswertung verschiedener Sensordaten zwischengeschaltet. Diese wandelt die Analsignale in entsprechende CAN-Nachrichten um.

## 2.4. Tanksteuergerät

Das Tanksteuergerät wandelt den nichtlinearen Spannungsverlauf des Tauchrohrgebers, der durch die komplexe Form des Tanks entsteht, in einen linearen Anzeigeverlauf des VDO Instruments um.

## 2.5. Clifford Wegfahrsperr, Zentralverriegelungsmodul

Eine elektronische Wegfahrsperr ist seit dem 01. Januar 1998 Pflicht in jedem neu zugelassenen Kraftfahrzeug (§ 38a StVZO). Aus diesem Grund wurde auf eine



bereits vorhandene Wegfahrsperre der Firma Clifford zurückgegriffen. Diese unterbricht im aktiven Zustand die Zündung sowie die Kraftstoffversorgung, wodurch das Fahrzeug nicht gestartet werden kann. Die Steuerung erfolgt über eine Fernbedienung, welche die Wegfahrsperre auf aktiv oder inaktiv schaltet. Weiterhin gibt das Steuergerät ein Signal an das ZV-Modul, wodurch bei deaktivierter Wegfahrsperre die Türschlösser zur Öffnung freigegeben werden.

## **2.6. Hubliftsteuergerät**

Da der Apollo N für den Rennsporteinsetz konzipiert ist, besitzt er nur eine geringe Bodenfreiheit. Das von KW entwickelte Hubliftsystem (HLS) dient zur Erhöhung der Bodenfreiheit des Fahrzeuges. Um das Überfahren von Hindernissen, wie zum Beispiel Tempeschwellen, im Straßenverkehr ohne Beschädigungen des Fahrzeuges gewährleisten zu können, kann das Fahrzeug um circa fünf Zentimeter angehoben werden. Ab einer Geschwindigkeit von 80 km/h wird das Fahrzeug automatisch abgesenkt, um die Stabilität des Fahrwerkes zu garantieren. Angezeigt wird der aktuelle Status des HLS über einen beleuchteten Taster, der bei angehobenem Fahrzeug dauerhaft leuchtet und beim Anheben oder Absenken des Fahrzeuges mit einer Frequenz von 2 Hz blinkt.

## 2.7. Bewertung der bestehenden Komponenten

Derzeitig besteht durch die Verwendung von Vorschaltgeräten und vielen Einzelkomponenten ein erhöhter Platzbedarf. Die Verwendung zusätzlicher Stecker und Leitungsstränge bedingen einen erhöhten Montage- und Kostenaufwand. Durch die Einzelverdrahtung der Komponenten entstehen viele Fehlerpotentiale und zudem findet nur eine geringe Fehlerauswertung der Steuergeräte statt, sodass vorhandene Potentiale nicht voll ausgeschöpft werden können. In Abbildung 3 ist dargestellt, wie die Steuergeräte untereinander vernetzt sind und welche als Einzelsystem funktionieren. Beispielsweise wird die Lichtanlage nicht überwacht und kann bei Ausfall zu einem Sicherheitsrisiko im Straßenverkehr führen. Durch eine Überwachung und Fehlerausgabe an den Fahrer kann die Gefährdung minimiert werden. Weiterhin ist der Kühlwasserdurchfluss von der Motordrehzahl und einer elektrischen, unregelmäßigen Kühlpumpe abhängig und bietet somit erhebliches Optimierungspotential. Sowohl zum Schutz bei hohen Temperaturen als auch für das Erreichen der Betriebstemperatur bei niedrigen Temperaturen.

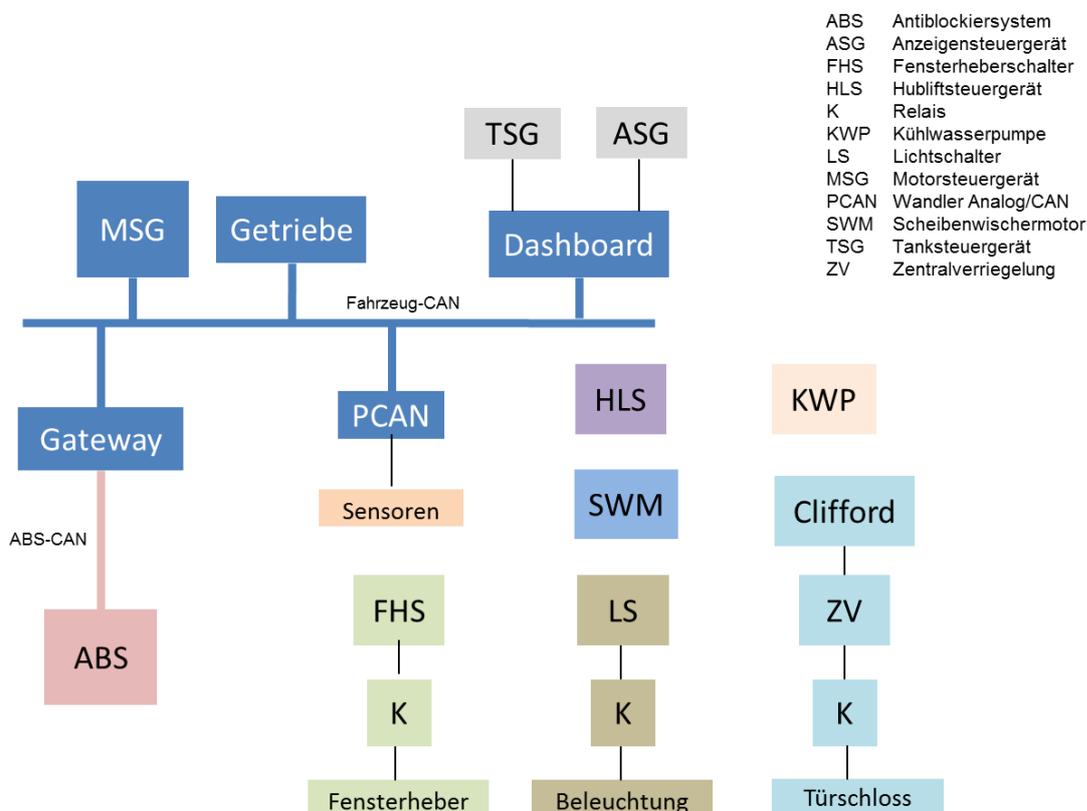


Abbildung 3: Systemvernetzung Apollo N

## 2.8. Anforderungen an das zu entwickelnde Steuergerät

Durch eine Optimierung der Elektronik im Fahrzeug mit Hilfe systemübergreifender Vernetzung im Sinne des heutigen Stands der Technik, können neue Diagnosemöglichkeiten geschaffen und die bestehenden Nachteile beseitigt werden.

Mithilfe der technischen Abteilung konnten weitere Anforderungen an das Zentralsteuergerät abgeleitet werden. Somit entstehen aus dem Ist-Zustand der elektrischen Anlage und den Anforderungen der technischen Seite die folgenden zu implementierenden Funktionen:

- Einlesen analoger Signale verschiedener Sensoren wie Ladelufttemperatur, Kühlwassertemperatur (7x), Platinentemperatur, Bordnetzspannung, Sensorspannungsversorgung, Öldruck, Öltemperatur, Tankstand und Bremsdruck (2x)
- Einlesen von digitalen Schalterzuständen für Tür- und Haubenkontakte, Fensterheberschalter, Flüssigkeitsstände, Beleuchtungsanlage, Generatorzustand, KW HLS und WFS Zustand
- Steuerung und Überwachung der Beleuchtungsanlage mittels Strommessung
- Steuerung der Fensterheber inklusive Stromüberwachung
- Einlesen des Positionssignals des KW HLS
- Anbindung an Fahrzeug CAN für die Ausgabe der eingelesenen Sensoren und Schalter sowie Einlesen von verschiedenen Fahrzeuginformationen
- Anbindung an ABS CAN zum Einlesen der Nachrichten im BMW Format, Konvertierung der Nachrichten ins Audi Format, Ausgabe der Nachrichten auf Fahrzeug CAN
- LIN Schnittstelle für die zukünftige Anbindung von LIN gesteuerten Scheibenwischermotoren und Kühlwasserpumpen
- Bereitstellung der Beschleunigungswerte des Fahrzeuges in x und y Richtung über einen Beschleunigungssensor
- Integration eines nichtflüchtigen Speichers (EEPROM) für Konfigurationsparameter sowie Fehlereinträge
- LED Ansteuerung für Tasterbeleuchtung im Sportmodus
- Echtzeituhr für Anzeige am Dashboard sowie Zeitstempel für Fehlereinträge

## **3. Einflüsse und Anforderungen an die Steuergerätentwicklung**

Neben direkten technischen Anforderungen an die Fahrzeugelektrik sind auch eine Vielzahl an Richtlinien und Normen bei der Entwicklung von elektronischen Komponenten für Kraftfahrzeuge zu beachten. Im Folgenden werden die notwendigen Richtlinien, Normen sowie technische Anforderungen kurz erläutert.

### **3.1. Richtlinien und Normen**

Für die Zulassung im öffentlichen Straßenverkehr bedarf es einer amtlich anerkannten Abnahme des Gesamtfahrzeuges nach Richtlinie 2007/46/EG (vgl. BGBl. I S. 522). Um die Zulassung des Apollos zu erreichen wurde im Jahr 2005 eine Typgenehmigung als Kleinserie für die Fahrzeugklasse M1 erstellt. Im Laufe der Zeit wurden technische Änderungen am Fahrzeug vorgenommen, sodass diese Typgenehmigung keine Gültigkeit mehr besitzt. Aktuelle Fahrzeuge der Apollo Automobil GmbH werden, aufgrund der geringen Stückzahlen, durch eine Einzelabnahme nach § 13 EG-FGV zugelassen. Daraus ergibt sich als Anforderung für die Entwicklung und Implementierung eines neuen Steuergerätes die Einhaltung der ECE-Regelungen, um bei der Gesamtfahrzeugabnahme bestehen zu können. Das Steuergerät wird nicht einzeln zugelassen sondern im Gesamtfahrzeug getestet. Die Einordnung in die ISO 2626 (ASIL-Gruppen) entfällt, da keine Eingriffe in fahrzeugführende Einheiten vorgenommen werden. Alle aufgeführten Regelungen und Testverfahren werden bei der Entwicklung beachtet, wobei die Tests des Steuergerätes im Fahrzeug nicht Gegenstand der Arbeit sind. Im Folgenden werden einzuhaltende ECE-Richtlinien und Normen kurz beschrieben.

#### **3.1.1. ECE R10 – Funkentstörung**

In der Richtlinie ECE R10 werden die Grenzwerte verschiedener Funkstörimpulse sowie die Aussendung der Störung der EUB beschrieben. Weiterhin enthalten sind die Testimpulse 1 bis 7 (ISO7637-2) für Kraftfahrzeuge, die bei der Entwicklung der Schaltung beachtet werden müssen, da diese in jedem Bordnetz eines Kraftfahrzeuges entstehen können. Ohne entsprechende Schutzvorrichtungen

können diese Impulse erhebliche Schäden in den Bauteilen der Platine hervorrufen, welche zum Ausfall oder zu Fehlfunktionen des Systems führen würden.

### **3.1.2. ECE R21 – Innenausstattung**

In der Sicherheitsanforderung ECE R21 werden alle Teile der Innenausstattung (außer Spiegel) bezüglich ihres Aufbaus, ihrer Funktion und den entsprechenden Sicherheitsmerkmalen beschrieben. Für die Bedienung der Fensterheber sind im Abschnitt 5.8 der oben genannten Richtlinie wesentliche Bedien- und Sicherheitsmerkmale erläutert. Vorgeschrieben ist bei elektrisch betätigten Fensterhebern, dass sie nur geschlossen werden dürfen, wenn der Zündschlüssel in das Zündschloss gesteckt ist oder durch Dauerbetätigung eines außerhalb des Fahrzeuges angebrachten Schließsystems. Ferner dürfen elektrische Fenster nur automatisch schließen, wenn eine entsprechende Klemmkraft von 100 N nicht überstiegen wird. Ein automatischer Fensterlauf ist im Fahrzeugkonzept nicht vorgesehen, sodass diese Klemmkraft nicht ermittelt werden muss.

### **3.1.3. ECE R48 – Beleuchtung**

In Richtlinie ECE R48 wird beschrieben, wie eine Beleuchtungseinrichtung am Fahrzeug montiert, gesichert und beschaltet werden muss. Die elektrische Beschaltung der Leuchtmittel wird in den Abschnitten 5.11- 5.13 der oben genannten Richtlinie näher definiert. Darin heißt es, dass beispielsweise das Abblendlicht nur eingeschaltet werden darf, wenn das Standlicht aktiviert ist. Diese Funktion realisiert der Lichtschalter durch eine entsprechende Beschaltung der Leuchtmittel. Eine Einschaltkontrollleuchte für Abblend-, Fern-, Stand- und Nebelleuchten muss im Sichtbereich des Fahrers bereitgestellt werden.

### **3.1.4. Qualifizierung der Bauteile**

Um den hohen Qualitätsanforderungen im Automobilbereich im Hinblick auf Zuverlässigkeit, ESD und vielen weiteren Anforderungen gerecht zu werden, gibt es Bauteile die nach AEC Q100 (IC), AEC Q101 (diskrete Halbleiterbauelemente) und AEC Q200 (passive Bauelemente) qualifiziert werden. Das AEC ist eine US-amerikanische Organisation zur Standardisierung der Qualifizierung von Elektronikkomponenten in der Automobilzulieferindustrie. Diese Qualifizierung

beschreibt unter anderem den verwendbaren Temperaturbereich, beispielsweise von -40 bis 150 °C (Stufe 0), in dem die Bauteile in festgesetzten Toleranzen ihre Vorgabewerte erfüllen müssen. Unter anderem werden Tests für elektrostatische Entladung, Strahlenbelastungen und Haftfestigkeit durchgeführt.

### **3.2. Nicht elektrische Einflüsse**

In einem Kraftfahrzeug werden Bauteile besonders hoch beansprucht. Ein wesentlicher Faktor sind die wechselnden Temperaturverhältnisse der Außenluft und die Aufheizung durch die Motorabwärme und spätere Abkühlung bei Fahrzeugstillstand. Auch die Aufheizung des Innenraumes durch Sonneneinstrahlung ist nicht zu vernachlässigen, da hierbei Temperaturen von bis zu 70 °C entstehen können (vgl. Focus Online, 2015). Äußere Einflüsse wirken auch durch auftretende Schwingungen des Motors, des Antriebsstranges sowie das Abrollen der Reifen. Weiterhin ist auf die feste Montage aller Komponenten der Platine zu achten, da durch die Beschleunigungswerte höhere Kräfte entstehen und im Rennstreckeneinsatz die mechanischen Beanspruchungen deutlich höher sind, als im Straßenverkehr. Für die mechanischen Schwingungen werden die Testvorschriften in der ISO 16750 -3 beschrieben (vgl. Krüger, 2004 S. 77 ff.).

### **3.3. Elektrische Einflüsse**

In diesem Abschnitt werden elektrische Vorgänge, die in den Versorgungs- und Signalleitungen entstehen können, erläutert. Störungen können im Allgemeinen durch die Leitungen selbst oder aber über Strahlungen übertragen werden.

#### **3.3.1. Störung der Betriebsspannung**

Ein Bordnetz wird von einer Batterie und einem Generator versorgt. Diese Situation bezeichnet das Kraftfahrzeug auch als „Inselnetz“, da es keine stabile externe Spannungsversorgung besitzt. Aus diesem Grund wirken sich Laständerungen auf das komplette System aus. Hierbei kann die Betriebsspannung im Kaltstart bis auf 5 V sinken und bei einem Fehlverhalten des Generators bis auf 18 V ansteigen. Auch die unerlaubte Verwendung mit einer 24 V Batterie kann die Betriebsspannung bei einem Fremdstartversuch in einem 12 V System auf 24 V ansteigen lassen (Jump Start). Auf den Versorgungsleitungen können überlagerte Restschwingungen des

Drei-Phasen-Wechselstromgenerators übertragen werden. Außerdem kann die Bordspannung im Fahrzeug langsam einbrechen beziehungsweise langsam ansteigen. Dies kann ein unkontrolliertes An- und Ausschalten der Elektronik hervorrufen, was zu einem nicht definierten Zustand im System führt. Durch Verpolung der Versorgungsleitungen können elektronische Baugruppen ohne entsprechende Schutzschaltungen beschädigt werden. Bei Auftritt eines Kurzschlusses können Bauteile bei falscher Dimensionierung oder ohne Kurzschlusserkennung zerstört werden, da der Strom auf einen Maximalwert ansteigt und die thermische Belastung des Bauteils überschritten wird (ISO/DIS16750-2) (vgl. Krüger, 2004 S. 25 ff.).

### **3.3.2. Elektromagnetische Verträglichkeit**

Elektromagnetische Störungen können auf verschiedenen Wegen die Elektronik stören. Sie können galvanisch, kapazitiv, induktiv oder über ein elektromagnetisches Feld übertragen werden. Als Störquellen können zum Beispiel Relais, Magnetventile, Schalter, der Controller selbst aber auch getaktete Leitungen identifiziert werden. Beeinflussen können diese Störungen unter anderem Kabel, Sensoren, Radios oder andere elektronische Einrichtungen, was zu Fehlfunktionen bis hin zum Totalausfall des Systems führen kann.

Die am häufigsten auftretenden Störimpulse sind in der ISO 7637-2 beschrieben und wie folgt aufgebaut:

- Störimpuls 1 – Abschalten einer Induktivität  
Durch das plötzliche Abschalten der Induktivität versucht der Strom aufgrund des Induktionsgesetzes weiterzufließen. Für kurze Zeit baut sich ein Stromfluss über den parasitären Kapazitäten in den Verbindungen auf. Dieser führt zu einem hohen negativen Spannungsimpuls (bis -100 V) an der Induktivität, der sich auch bei den nachgeschalteten Bauteilen wiederfindet. Betroffen sind die Versorgungsanschlüsse, keine Sensorik oder Aktuatorik sofern sie direkt aus dem Steuergerät mit Energie versorgt werden.
- Störimpuls 2a – Stromabschaltung

Durch die entstehenden Transienten im Kabelstrang nach Abschalten eines höheren Stromes können auf den Leitungen Spannungsspitzen bis zu 50 V entstehen.

- Störimpuls 2b – Abschalten eines Kollektormotors

Da der Kollektormotor aufgrund seiner mechanischen Trägheit nach dem Abschalten kurz nachläuft, wirkt er als Generator und kann einen Spannungsimpuls bis zu 10 V generieren. Betroffen sind die Versorgungsleitungen des Motors und an ihnen angeschlossene Bauteile.

- Störimpuls 3 – Schaltvorgänge

Diese können durch Schalten von Lasten mit „Prellen“ des Schalters hervorgerufen werden. Da in den Verbindungen immer Leitungskapazitäten und Induktivitäten vorhanden sind, können aufgrund transienter Vorgänge Störimpulse entstehen.

Impuls 3a = negative Impulsgruppen bis -150 V

Impuls 3b = positive Impulsgruppen bis 150 V

Betroffen sind alle mit dem Schalter in Verbindung stehenden Leitungen.

- Störimpuls 4 – Anlassvorgang

Der hohe Stromverbrauch des Starters kann zu einem Spannungseinbruch in der Spannungsversorgung der Batterie führen. Verstärkt wird dieser Effekt durch niedrige Temperaturen und unzureichend geladene Batterien. Die Bordspannung kann kurzzeitig bis auf 5 V absinken, was die Spannungsversorgung eines Mikrocontrollers in einen kritischen Bereich bringt.

- Störimpuls 5 – Lastabwurf

Die Entstehung des Lastabwurfes kann zum Beispiel bei Trennung der Batterie während des Ladevorgangs durch den Generator entstehen. Der Regler des Generators benötigt eine gewisse Zeit, um den eingestellten Ladestrom zu reduzieren. Bis dies geschehen ist, fließt der überschüssige Strom in das Bordnetz und führt zu einer Spannungsüberhöhung von bis zu 87 V. Betroffen von diesem Effekt sind die Leitungen für die Spannungsversorgung der Steuergeräte.

## 4. Planung und Entwicklung der Hardware

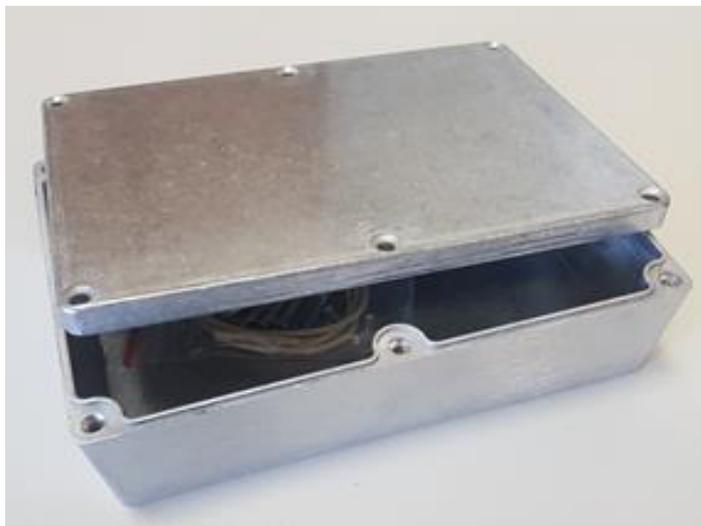
Das Kapitel beschreibt welche Sensoren und Schalter im Fahrzeug und im Zentralsteuergerät zum Einsatz kommen sowie die Auswahl des passenden Gehäuses für das Zentralsteuergerät. Weiterhin sind für die Planung und Entwicklung Kraftfahrzeug spezifischer Hardware die in Kapitel 3 erläuterten Einflüsse und Richtlinien umzusetzen. Dazu sind die vom Hersteller empfohlenen Beschaltungen der jeweiligen Schaltkreise mit einer Kraftfahrzeugtauglichen Schutzbeschaltung zu erweitern, um Schäden an den Bauteilen sowie dadurch entstehende Fehlfunktionen im Fahrzeug zu vermeiden. Zudem wird die Auswahl der Steckerverbinder definiert sowie die Bestimmung der Leiterplattengröße und die wichtigsten Designregeln in Bezug auf das Layout der Platine.

### 4.1. Gehäuseauswahl

Um eine Gehäuseauswahl treffen zu können, musste vorrangig der Einbauplatz im Fahrzeug bestimmt werden. Ein Einbau im Motorraum würde zu hohen thermischen Belastungen führen und eine IP-Schutzklasse gegen Spritzwasserschutz erfordern. Bei einer Platzierung im Innenraum entfällt diese Schutzklasse, da hier kein Spritzwasserschutz erforderlich ist. Zudem können die verwendeten Kabellängen reduziert werden. Im Innenraum wird die Elektronik den wechselnden Temperaturen durch Umgebungsluft, Sonneneinstrahlung und Klimaanlage ausgesetzt. Bei der Gehäuseauswahl sollte ein thermisch gut leitendes Material verwendet werden, um die entstehende Verlustleistung der Komponenten ableiten zu können. Mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $237 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  stellt Aluminium als Gehäusematerial den Werkstoff mit dem besten Preis-Leistungs-Verhältnis dar (vgl. Lumitos GmbH, 2017). Ein weiterer Vorteil eines Aluminiumgehäuses ist der Schutz gegen mechanische Einwirkungen auf die darin befindliche Elektronik. Darüber hinaus gewährleistet es eine bessere Abschirmung gegen elektromagnetische Einstrahlung und Ausstrahlung der Elektronik.

Für den Einbau im Fahrzeuginnenraum wurde der Platz unter der Armaturentafel im Beifahrerraum bestimmt, der eine maximale Größe von  $200\text{mm} \times 150\text{mm} \times 65\text{mm}$  zur Verfügung stellt. Am Anfang fiel die Wahl auf ein vorhandenes Gehäuse, welches bereits für das Klimasteuergerät eingesetzt wird. Jedoch erwies sich im Laufe des

Layouts dieses Gehäuse als zu klein, sodass ein Gehäuse desselben Typs mit den Abmessungen von 171mm x 121mm x 55mm zum Einsatz kommt (Abbildung 4). Alle anderen Gehäuse übersteigen die mögliche Einbaugröße oder müssten extra angefertigt werden. Aufgrund der geringen geplanten Stückzahl ist eine Sonderanfertigung nicht kosteneffizient. Die Bauhöhe des gewählten Gehäuses ermöglicht eine Platzierung der Bauteile auf zwei Platinen. Hinsichtlich des Layouts der einzelnen Platinen erweist sich dieser Aufbau als vorteilhaft, da alle Leistungsschalter auf der ersten und die Steuerungs- und Auswerteelektronik auf der zweiten Platine angeordnet werden können.



**Abbildung 4: Aluminiumgehäuse für Zentralsteuergerät**

## 4.2. Schaltungsentwurf

Für den Entwurf der Schaltungen ist zunächst eine Auswahl der benötigten Kernbauteile zu treffen. Die jeweilige minimale Beschaltung kann den Datenblättern des Herstellers entnommen und um eine kraftfahrzeugtaugliche Schutzbeschaltung erweitert werden.

Bei der Auswahl der Bauteile ist die Qualifizierung des AEC (Qualifizierung der Bauteile) zu beachten, um die bestmögliche Haltbarkeit und nötige Genauigkeit erreichen zu können.

Zur Ausarbeitung der Schaltungen wurde das Tool Circuit Maker verwendet. Das Programm wurde auf Basis von Altium erstellt und bietet eine Online Bibliothek, die von jedem Anwender durch Footprints und schematischen Zeichnungen erweitert werden kann. Da das Programm verhältnismäßig neu ist, sind nicht alle Bauteile enthalten und mussten zum Teil selbst erstellt werden.

Für die Simulation der Schaltungen wurde das frei nutzbare Tool LTSpice verwendet.

## 4.2.1. Mikrocontroller

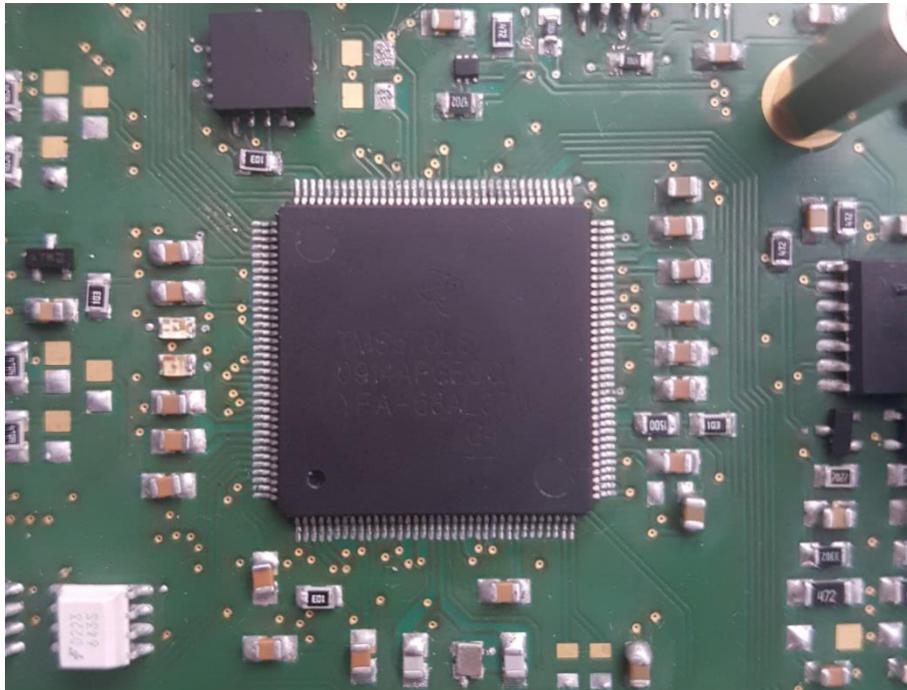


Abbildung 5: Mikrocontroller TMS570LS0914PGE

Die folgenden Anforderungen an den Mikrocontroller wurden aus den beschriebenen funktionalen Anforderungen in Kapitel 2.8 abgeleitet:

- Für Automobilbereich geeignet (vgl. Kapitel 3.1.4)
- Drei Highspeed CAN-Schnittstellen für ABS, Fahrzeug, Komfort nach ISO 11898-1
- Eine LIN Schnittstelle (2.0 oder höher) für Wasserpumpen und Scheibenwischermotoren
- SPI / I<sup>2</sup>C Schnittstelle für RTC, EEPROM, 2-Wege-Sensor
- Timer Eingang für KW HLS-LED
- Mindestens 16 AD -Kanäle
- Mindestens 20 GPIO-Ports
- Kein BGA- Package (Lötbarkeit erschwert)

Für das Zentralsteuergerät wird der TMS570LS0914-PGE verwendet. Die Mikrocontroller der Familie Hercules TMS570 sind auf der Basis des ARM Cortex-R4

aufgebaut und wurden mit zwei ARM Cortex-R4 Prozessoren speziell für Safety-Integrity-Level-3-Systeme (SIL3) nach IEC 61508 ausgelegt. Beide Prozessoren bearbeiten im Lock-Step-Verfahren das gleiche Programm und vergleichen in jedem CPU-Zyklus das Ergebnis über eine vorgegebene Logik. Bei Auftreten einer Abweichung kann ein vorher programmierter Ablauf zur Fehlerbehandlung durchgeführt werden, um einen sicherheitsunkritischen Zustand zu erreichen. Zudem werden Interrupts durch den verwendeten Cortex R4 mit besonders geringer Verzögerungszeit ausgelöst. Weiterhin können verschiedene Module wie beispielsweise die ADC-Module über DMA gesteuert werden und verringern so die Auslastung des Prozessors.

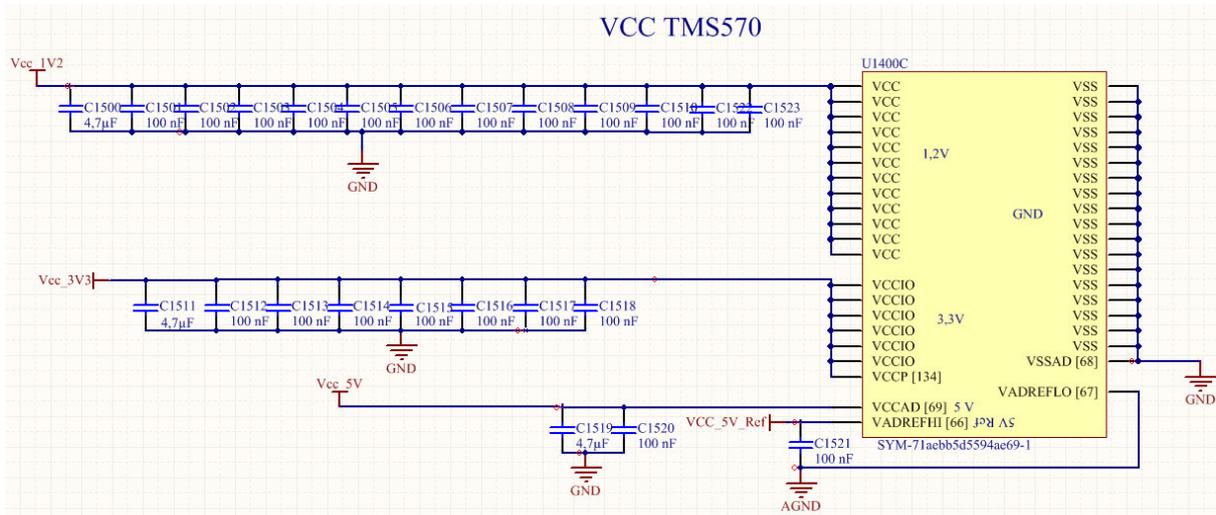
Der ausgewählte Mikrocontroller verfügt über alle notwendigen Anforderungen und kann bei Bedarf auch für andere beziehungsweise sicherheitskritische Anwendungen im Fahrzeug eingesetzt werden.

Die wichtigsten Daten des Mikrocontrollers:

- ARM Cortex – R4F CPU
- 160 MHz Taktfrequenz
- 1024 kB Flash Speicher
- 3 x CAN Highspeed, LIN, SPI, I<sup>2</sup>C
- 2 x 12 Bit ADC, 24 Kanäle
- 144 Pin LQFP Package
- PWM Eingang zur direkten Auswertung via Enhanced Capture (eCap) Modul
- 3,3 V und 1,2 V Spannungsversorgung
- -40 bis 125 °C
- 64 GPIO Pins

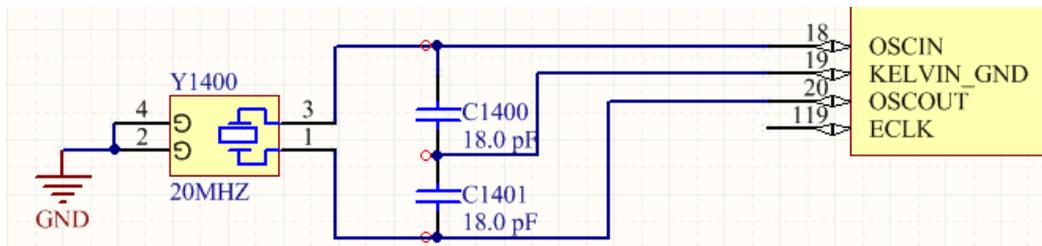
Zur besseren Übersichtlichkeit der Schaltpläne ist die Pinbelegung des Mikrocontrollers in vier einzelne schematische Darstellungen (vgl. Abbildung 6, Abbildung 8, Abbildung 10 sowie Anhang 1) untergliedert. Bei der Erstellung des Schaltplanes kann zunächst die Grundbeschaltungen für die Spannungsversorgung laut Datenblatt des Herstellers als Ausgangslage verwendet werden. Da ein IC impulsweise hohe Ströme ziehen kann benötigt er einen Puffer, um beeinträchtigende Auswirkungen auf seine Funktion oder Teile der Schaltung,

welche vom Controller gesteuert werden, zu verhindern. Die Pufferfunktion wird über Kondensatoren realisiert (Abbildung 6).



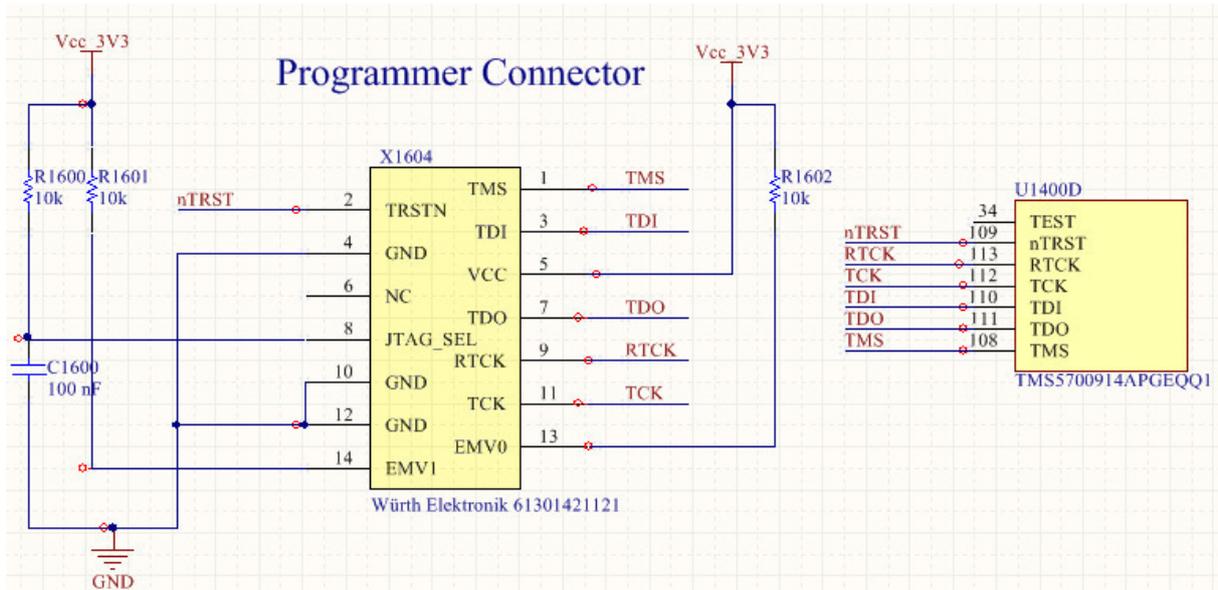
**Abbildung 6: Spannungsversorgung TMS570LS0914PGE**

Die externe Taktreferenz von 20 MHz ist an die entsprechenden Pins (Abbildung 7) anzuschließen. Zusammen mit einem im intern einstellbaren Multiplikator bildet dieser den Systemtakt der CPU.



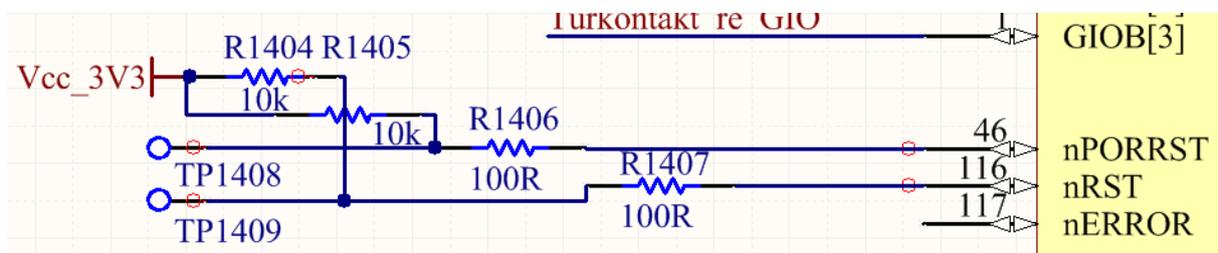
**Abbildung 7: Taktreferenz TMS570LS0914PGE**

Für die Programmierung des Mikrocontrollers ist ein Programmer erforderlich. Mit dem XDS 100v2 und der Software Code Composer Studio von Texas Instruments kann über die entsprechenden Pins die Programmierung realisiert werden (vgl. Abbildung 8 S.20). Die Beschaltung der Anschlüsse kann aus dem Herstellerdatenblatt entnommen und mit den entsprechenden Bauteilen bestückt werden.



**Abbildung 8: Schaltung Programmer TMS570LS0914PGE**

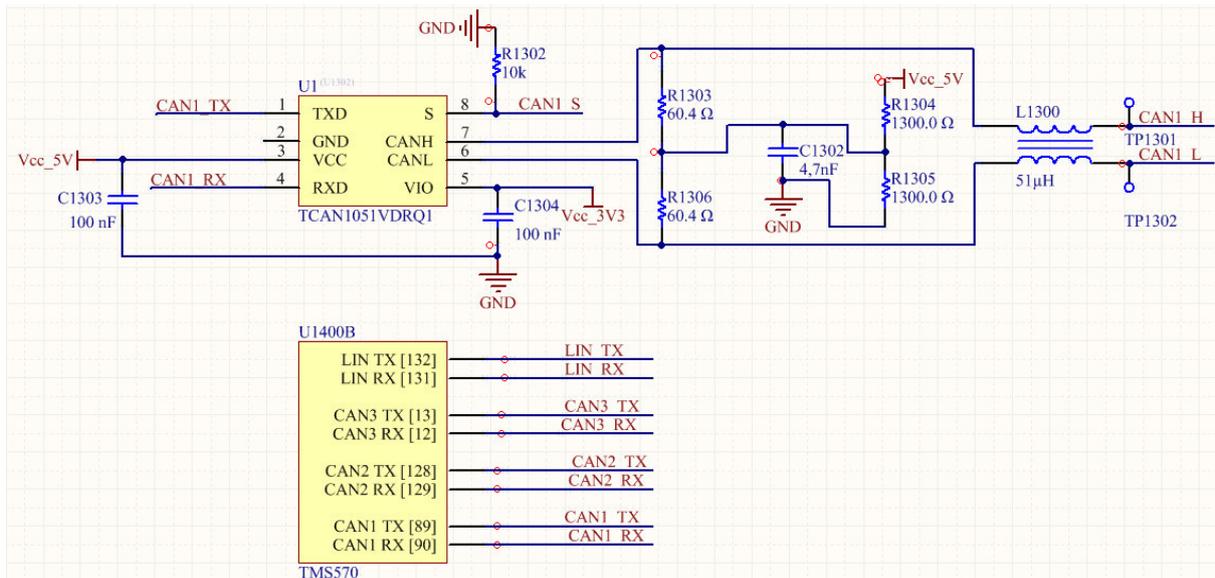
Die beiden Reset Pins (Abbildung 9) für den Mikrocontroller können über einen Testpunkt (TP) auf Masse gezogen werden, um im Teststadium eventuell notwendige Resets durchführen zu können. Die beiden Pins werden über einen 10 kOhm Pullup-Widerstand mit 3.3 V verbunden, um einen definierten Zustand am Reseteingang des Controllers zu erzeugen.



**Abbildung 9: Resetbeschaltung TMS570LS0914PGE**

Alle weiteren Verbindungen der GPIO-Pins (vgl. Anhang 1) werden in den folgenden Kapiteln beschrieben und sind der jeweiligen Baugruppe zugeordnet.

## 4.2.2. CAN – Schnittstelle ABS, Fahrzeug



**Abbildung 10: Schaltung CAN mit EMV Filter und Gleichtaktdrossel**

Für den Aufbau eines CAN-Teilnehmers wird ein CAN-fähiger Mikrocontroller (TMS570) sowie ein CAN-Transceiver benötigt. Als Transceiver wird der TCAN 1051 V von Texas Instruments verwendet. Dieser wurde für den speziellen Einsatz im Automobil entwickelt und erfüllt die Qualifizierung nach AEC Q100 Standards und der ISO 11898-2. Der standardisierte Spannungsbereich des Highspeed CAN-Bus liegt zwischen 1,5 V für CAN-Low und 3,5 V für CAN-High. Es gibt verschiedene Versionen des TCAN 1051. Die hier zu verwendende Version, TCAN 1051 V, hat eine zweite Spannungsversorgung, welche die Spannungspegel der Busleitungen zum Controller auf das Niveau des Controllers von 3,3 V senkt. Ohne diese Niveauverschiebung würde der Transceiver bis zu 4,8 V an den Controller senden. Dieser Wert liegt in der Toleranz des Controllers, stellt aber die Obergrenze dar. An den Versorgungsleitungen sind die, laut Herstellerdatenblatt empfohlenen, Abblockkondensatoren von 100 nF anzuwenden. Über den Anschluss S an Pin 8 kann der Transceiver in den Ruhemodus versetzt werden, sodass er keine Nachrichten empfangen oder senden kann und somit den Datenbus nicht beeinflusst. Die Übertragungsgeschwindigkeit wird durch den Einsatz von OEM-Steuergeräten im Fahrzeug vorgegeben und beträgt 500 kbit/s. Diese wird über die Software des



Controllers eingestellt. Der CAN-Transceiver hat eine maximale Übertragungsrate von 2 Mbit/s, dies ermöglicht einen zukünftigen Einsatz in CAN-FD Netzwerken.

Ein weiteres wichtiges Merkmal für die fehlerfreie Übertragung der Daten ist die Terminierung der CAN-High- und CAN-Low-Leitung. Laut ISO 11898-2 wird an jedem Leitungsende des Netzwerkes ein Abschlusswiderstand zwischen 95 – 140 Ohm eingesetzt. Gemäß der Literatur eines Versuchs der Westsächsischen Hochschule Zwickau zur CAN Entstörung (vgl. Dipl.-Ing. L. Claus, Dipl.-Ing. B. Körber), erwies sich die Stützschialtung zur Entstörung von CAN-Leitungen als störsicherer. Diese beinhaltet einen Kondensator zwischen den beiden 60 Ohm Widerständen, der mit jeweils einem 1,3 kOhm Widerstand gegen Masse und Treiberspannung gestützt wird. Weiterhin wird eine Gleichtaktdrossel mit 51  $\mu$ H eingesetzt. Diese dämpft asymmetrische Störungen auf den CAN-Leitungen und erhöht die Übertragungssicherheit im Netzwerk. Da alle CAN-Netzwerke gleich aufgebaut sind, kann die Schaltung für alle drei CAN-Schnittstellen gleichermaßen verwendet werden.

### 4.2.3. LIN – Schnittstelle Scheibenwischer, Kühlwasserpumpen

Für die Kommunikation mit Aktoren und Sensoren im Automobilbereich hat sich der LIN-Bus als gängiges Übertragungsmedium herausgestellt. Der Standard eines LIN-Busses wird in der ISO 17982-1 definiert. Der aktuellste Stand ist die Version LIN 2.2A. Der Mikrocontroller kann nach dem Standard des LIN-Protokolls 1.3, 2.0 und 2.1 arbeiten. Gängige Wasserpumpen und Scheibenwischermotoren arbeiten ebenfalls nach diesem Standard und sind somit kompatibel.

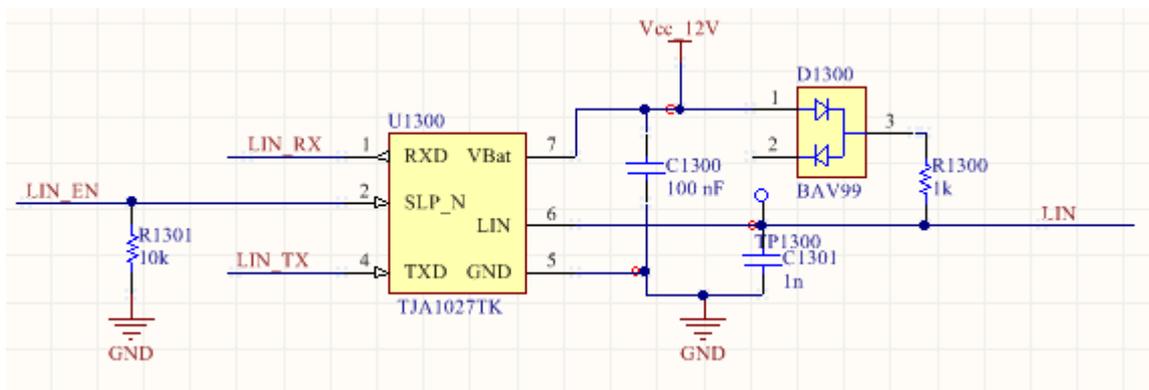


Abbildung 11: Schaltung LIN

Für den Aufbau eines LIN-Teilnehmers, in diesem Fall des Masters, wird zusätzlich zu dem LIN-fähigen Mikrocontroller ein LIN-Transceiver benötigt. Der Controller sendet über den LINTX-Pin Daten zum Transceiver und empfängt über den LINRX-Pin Daten des Transceivers. Da der LIN ein Eindrahtbus ist, werden die RX- und TX-Signale auf den LIN-Netzwerkausgang des Transceivers übersetzt und können mit einer maximalen Geschwindigkeit von 20 kbit/s übertragen werden. Der verwendete Transceiver TJA 1027 kann über einen an Pin 2 befindlichen Eingang SLP (Sleep), durch Aufschalten von 3,3 V in den Ruhezustand versetzt werden. Um diesen Eingang zu jeder Zeit in einem definierten Zustand zu halten, wurde zusätzlich ein 10 kOhm Pulldown-Widerstand eingesetzt. Versorgt wird der LIN-Transceiver über 12 V und einen 100 nF großen Abblockkondensator. Die Spannungen des LIN-Bus betragen im rezessiven Zustand 12 V und im dominanten Zustand ca. 0,7 V. Die LIN Leitung wird, wie laut Datenblatt des Transceivers empfohlen, mit einem Pullup Widerstand von 1 kOhm und einer Diode gegen 12 V geschaltet. Da das Steuergerät als Master fungieren soll, ist die Verwendung (laut Datenblatt des Herstellers) eines zusätzlichen 1 nF Kondensators (Abbildung 11, C1301) empfohlen.

#### 4.2.4. SPI – Bus, xy-Beschleunigungssensor, LED Treiber

Der Beschleunigungssensor in diesem Steuergerät soll für die Anzeige der G-Kräfte im neuen Dashboard eingesetzt werden. Die Auswahl der Sensoren beschränkt sich auf wenige Exemplare mit AEC Q100 Qualifizierung. Genutzt wird der MMA6901KQ von NXP Semiconductors. Dieser Sensor kommuniziert mittels SPI mit dem TMS570 und verfügt über einen Auswertebereich von  $\pm 5$  G mit einer Auflösung von 4,91 mG/digit. Versorgt wird der Sensor mit einer Spannung von 3,3 V und einem 100 nF großen Abblockkondensator. Die weitere Beschaltung erfolgt gemäß Herstellerdatenblatt. Der Controller bietet für jeden SPI fünf Chipselect (CS) Ausgänge, die für die verschiedenen angeschlossenen Buspartner zur Aktivierung der Kommunikation dienen. Somit kann nur ein Teilnehmer im Netzwerk senden oder empfangen. Für die Aktivierung der Kommunikation wird der CS-Pin auf 0 V geschaltet. Zur Gewährleistung eines definierten Zustandes im ausgeschalteten Modus wird der Pin über einen 10 kOhm Pullup-Widerstand auf 3,3 V gesetzt.

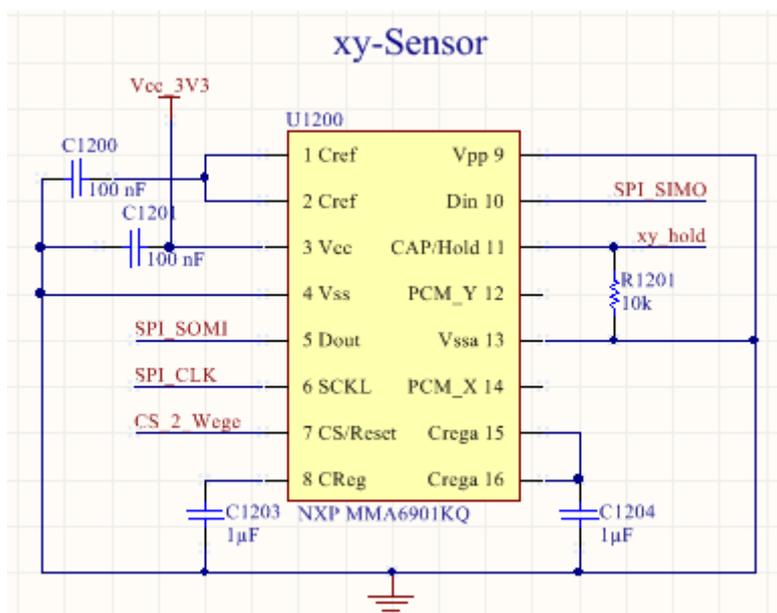


Abbildung 12: Schaltung Beschleunigungssensor MMA6901KQ

Ein weiterer Teilnehmer im SPI-Bus ist ein LED-Treiber, der MAX6966AEE von Maxim Integrated. Dieser kann bis zu neun LEDs ansteuern. Gesteuert wird hierbei die Masseseite der LED. Die Schaltung aller Ausgänge kann simultan oder individuell erfolgen und zudem auf einen konstanten Strom oder auf ein PWM-Signal eingestellt werden. Diese Eigenschaft wird benötigt, um diverse Funktionen auch optisch

darstellen zu können. Versorgt wird der Treiber über 3,3 V mit einem 100 nF Kondensator. Weiterhin kann der Treiber auch als Ausgang verwendet werden und schaltet über einen separaten Pin bei Aktivierung der LED die Spannungsversorgung über MOSFETs (Abbildung 13, Q1200) zu. Das hat den Vorteil, dass die Spannungsversorgung der LED nicht permanent anliegen muss beispielsweise um Kontaktkorrosion oder Fehlanwendung bei Reparaturarbeiten und dadurch entstehende Kurzschlüsse zu vermeiden.

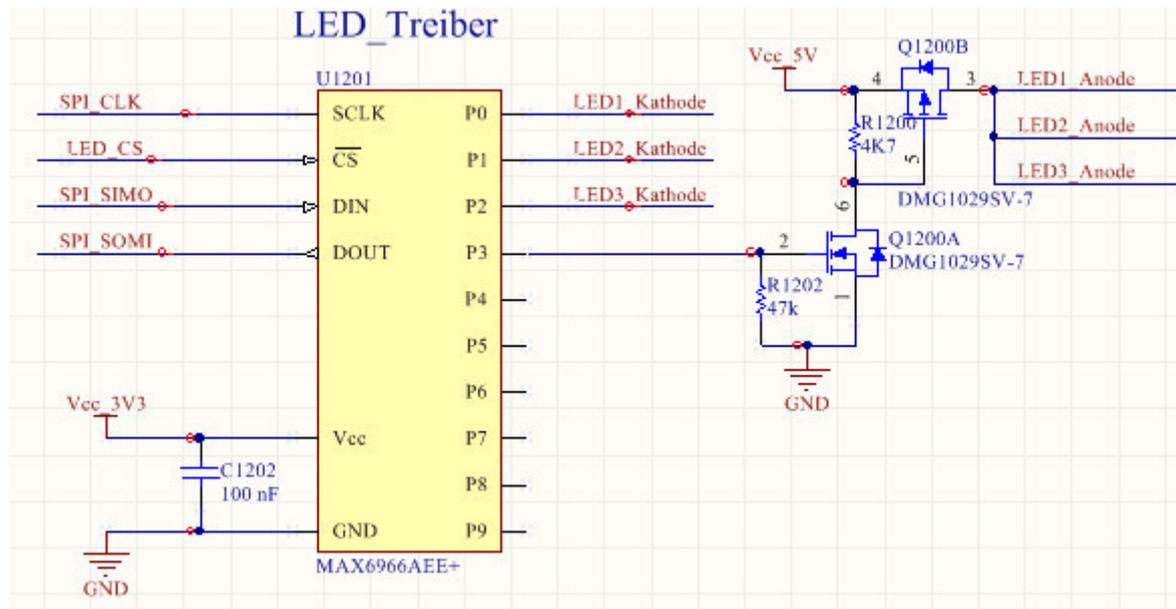


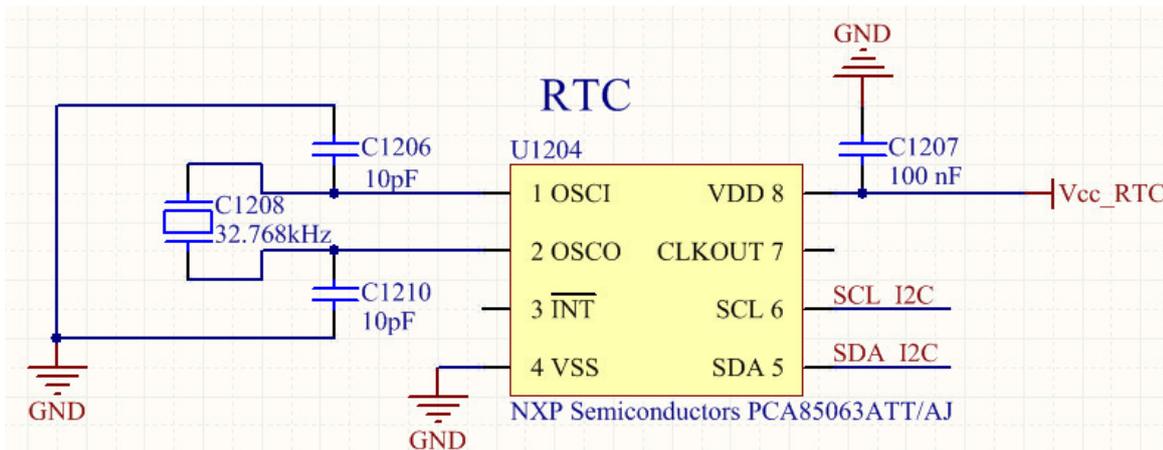
Abbildung 13: Schaltung LED-Treiber MAX6966

#### 4.2.5. I<sup>2</sup>C Bus, Echtzeituhr, EEPROM, GIO Expander

Der I<sup>2</sup>C Bus wird für die Kommunikation zwischen dem Mikrocontroller, der Echtzeituhr, eines externen Speichers und eines GIO Expander genutzt. Der Bus benötigt für die Kommunikation zwei Leitungen - Signal Clock (SCL) und Signal Data (SDA). Die jeweiligen Adressen der Teilnehmer sind von den Herstellern vorgegeben oder können über Pins definiert werden. Der Bus arbeitet nach dem Master/Slave- oder Master/Master-Prinzip. Beide Datenleitungen werden durch einen Pullup-Widerstand von 4,7 kOhm auf 3,3 V gezogen.

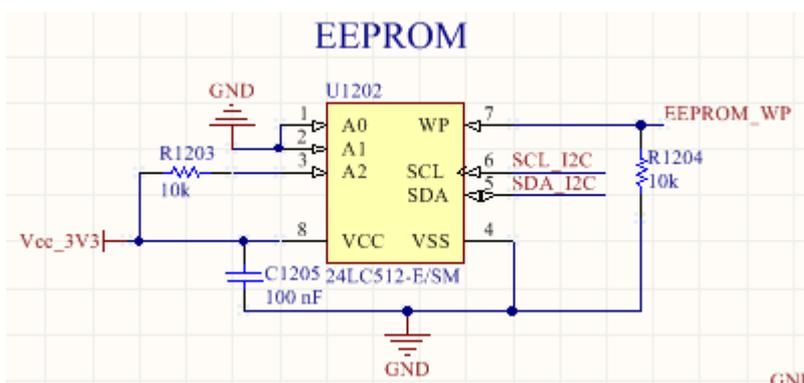
Die Echtzeituhr PCA85063A wird für die Anzeige der Uhrzeit und des Datums im Dashboard benötigt. Darüber hinaus können auch zeitgesteuerte Interrupts eingestellt und über den Pin 3 (INT) ausgegeben werden. Die Spannungsversorgung erfolgt über separate 3,3 V und einen 100 nF Abblockkondensator, welche an

Klemme 30 des Fahrzeuges angeschlossen ist. Dadurch erübrigt sich eine erneute Einstellung nach einem Zündungsreset. Ein extern angeschlossener Quarz mit 32,768 kHz bildet eine Taktreferenz für die Echtzeituhr. Die beiden Leitungen SCL und SDA sind direkt an das Netzwerk des I<sup>2</sup>C angeschlossen.



**Abbildung 14: Schaltung Echtzeituhr (RTC) PCA85063**

Der EEPROM hat eine Größe von 512 kbit und wird als externer Speicher für Daten verwendet. Die Spannungsversorgung von 3,3 V wird über einen 100 nF Kondensator gepuffert. Der Anschluss an das I<sup>2</sup>C Netzwerk erfolgt über Pin 5 (SDA) und Pin 6 (SCL). Für die Adressvergabe stehen weitere 3 Pins zur Verfügung, die gegen Betriebsspannung oder Masse geschlossen werden können. Pin 7 ist mit dem Mikrocontroller verbunden und kann bei Aktivierung im High-Zustand den Schreibschutz auf dem EEPROM aktivieren.



**Abbildung 15: Schaltung EEPROM 24LC512**

Ein weiterer Teilnehmer am I<sup>2</sup>C-Bus ist ein GIO-Expander (Abbildung 16). Dieser wird eingesetzt, da der Mikrocontroller nicht genügend interruptfähige GPIOs besitzt. Der GIO- Expander TCA9535-Q1 verfügt über 16 Eingänge. Sobald einer der Eingänge seinen Zustand wechselt, löst der Expander ein Interrupt aus und teilt dies über den Pin 1 dem Mikrocontroller mit. Pin 1 INT ist über einen 10kOhm Pullup-Widerstand an 3,3 V angeschlossen, sodass er stets einen definierten Zustand einnimmt. Der Mikrocontroller kann über die SDA- und SCL-Leitung den Status der einzelnen Pins abfragen. Die Versorgungsspannung wird über einen 100 nF großen Kondensator gepuffert und beträgt 3,3 V.

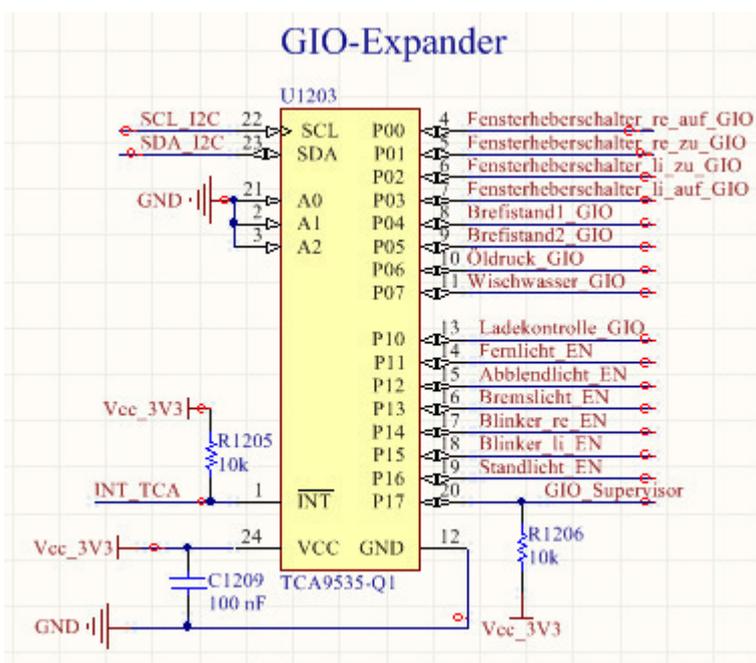


Abbildung 16: Schaltung GIO-Expander TCA9535

#### 4.2.6. Sensoren

Für eine ständige Kontrolle der wichtigsten Parameter im Fahrzeug sind weitere Sensoren erforderlich. Diese Sensoren dienen der Überwachung der Kühlwassertemperaturen, der Ladelufttemperatur, der Öltemperatur, der Bremsflüssigkeitsstände, des Wischwasserstandes, des Öldrucks und des Tankstandes. Die Auswertung der Sensoren erfolgt im Mikrocontroller und wird mittels CAN-Bus an das Dashboard übertragen.

## Temperatur Sensoren

Bei der Auswahl der Temperatursensoren mussten folgende Anforderungen beachtet werden:

- Im freien Handel verfügbar, geringer Preis
- Öl- und Kühlwasserbeständig (Anzahl verschiedener Bauteile gering halten)
- Steckanschluss (Vermeidung von Korrosion, separate Masserückführung zur Vermeidung von Masseschleifen)
- Messbereich bis 150 °C
- Widerstandskennlinie, B-Wert

Die von den Fahrzeugherstellern eingesetzten Sensoren sind leicht beschaffbar und preisgünstig, bieten aber keinerlei technische Informationen auf dem freien Markt. Die von Bosch Motorsport entwickelten Sensoren NTC M12-H und -L erfüllen alle Anforderung. Der NTC M12-H ist für Flüssigkeitsmessungen spezifiziert und bietet einen Messbereich von -30 bis 150 °C.

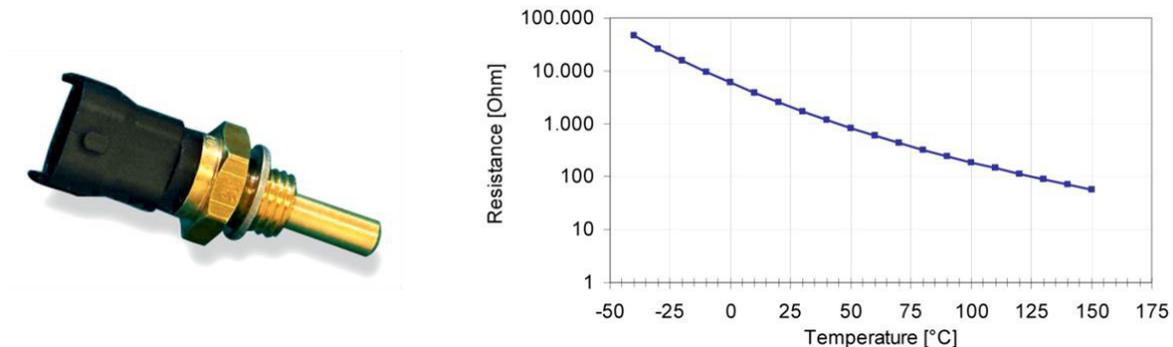


Abbildung 17: Bosch NTC M12-H, Kennlinie (vgl. Bosch Motorsport, 2017)

Der NTC M12-L ist für Lufttemperaturmessungen spezifiziert und bietet einen Messbereich von -30 bis 140 °C.

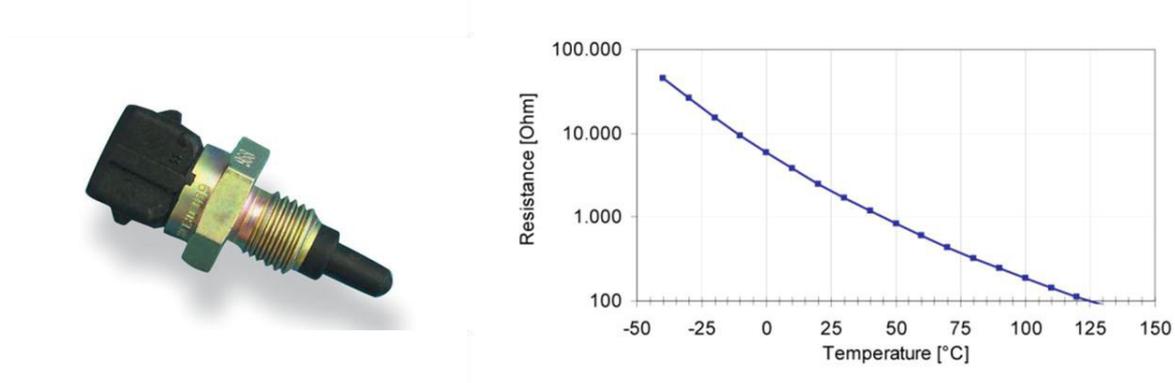


Abbildung 18: Bosch NTC M12-L , Kennlinie (vgl. Bosch Motorsport , 2017)

### Öldrucksensor, Öldruckschalter

Als Öldrucksensor kommt ein VDO-Sensor mit einem Messbereich von 0 bis 10 Bar zum Einsatz. Dieser ist bereits im Fahrzeug vorhanden und kann beibehalten werden.

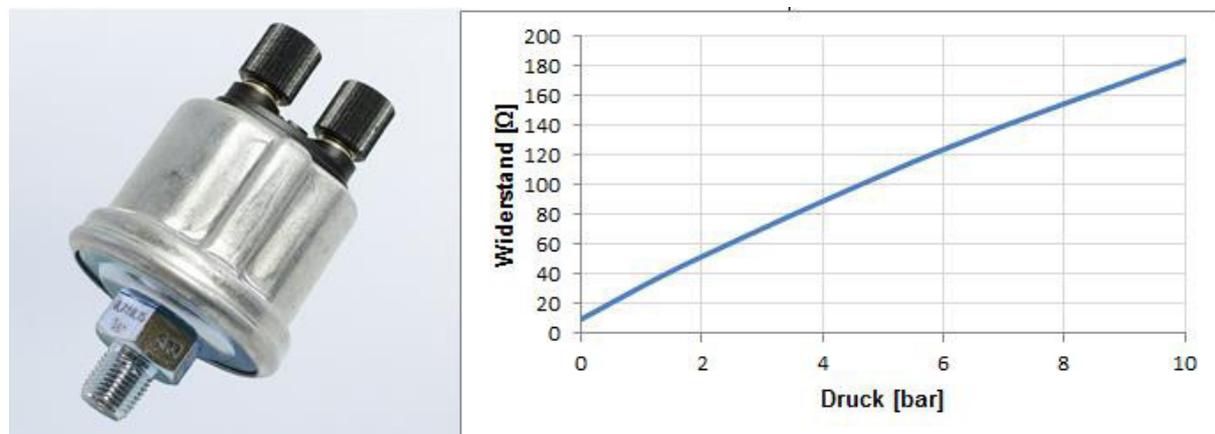


Abbildung 19: Öldrucksensor, Kennlinie (vgl. Continental Automotive GmbH, 2017)

Zusätzlich wurde ein Öldruckschalter für eine Öldruckwarnlampe implementiert. Da der Öldrucksensor das Dreifache des Öldruckschalters kostet, wird bei der Auslieferung des Fahrzeuges nur der Öldruckschalter montiert. Für Diagnosearbeiten kann dieser gegen den Öldrucksensor ausgetauscht werden. Der verwendete Öldruckschalter ist einstellbar von 1,03 bis 3,45 Bar. Der Schalter öffnet je nach eingestelltem Druck den Schaltkreis, wodurch der Controller erkennen kann, ob der Pin auf 0 V liegt oder über einen Pullup-Widerstand auf 3,3 V gezogen wird.



Abbildung 20: Öldruckschalter einstellbar

### **Tankstandssensor**

Der Geber für den Tankstand ist ein VDO Tauchrohrgeber. Dieser wird beibehalten, da eine Änderung einen hohen konstruktiven Aufwand des Tanks mit sich bringt. Der Tank wurde mit diesem Geber bereits ausgelitert und eine Kennlinie erstellt.

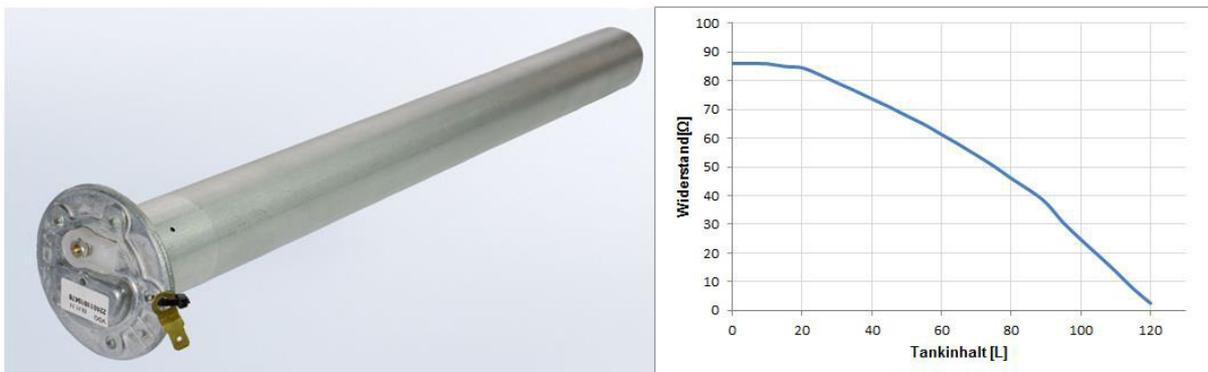


Abbildung 21: Tauchrohrgeber, Kennlinie (vgl. Continental Automotive GmbH, 2017)

## Schaltung analoge Eingangssignale

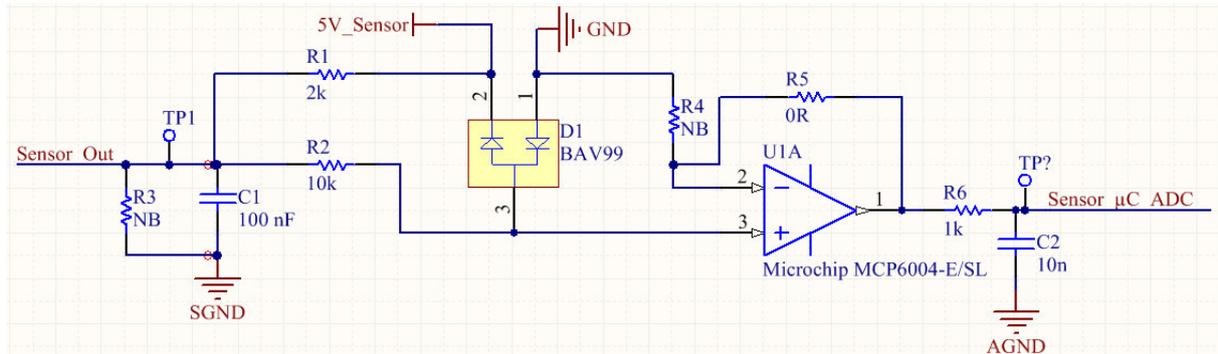


Abbildung 22: Schaltung analoge Eingangssignale

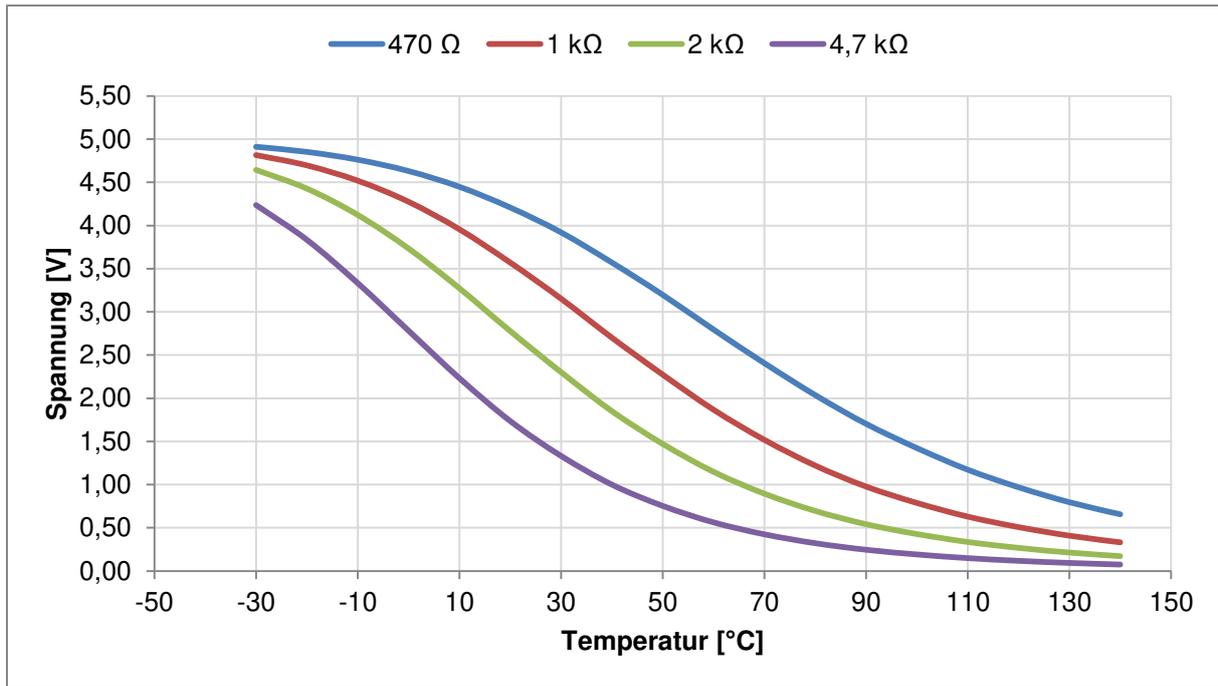
Um die veränderlichen Widerstandswerte der verschiedenen Sensoren erfassen zu können, ist eine Spannungsteilerschaltung (Abbildung 22, exemplarisch) zu entwerfen. Die Schaltung wird mit 5 V versorgt. Der Spannungsteiler wird aus dem Widerstand R1 und dem jeweiligen Sensorwiderstand gebildet. Am Beispiel des Ladelufttemperatursensors (Abbildung 18), wird als Ausgangspunkt für die Bestimmung von R1 zuerst der wesentliche Temperaturbereich (30 bis 100 °C) festgelegt. Der Mittelwert dieses Temperaturbereiches liegt bei 65 °C. Laut Datenblatt des Herstellers hat der NTC hier einen Widerstand von circa 470 Ω. Mit diesem Widerstand wird eine Kennlinie der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) mithilfe der Spannungsteilerregel (Formel 1) erstellt und mit weiteren Widerständen verglichen.

$$U_A = \frac{U_{CC}}{R_{Sensor} + R_1} \cdot R_{Sensor} \quad (1)$$

mit:  $U_{CC} = 5 \text{ V}$

$R_{Sensor}$  = Werte laut Herstellerdatenblatt für verschiedene Temperaturen

$R_1 = 470 \text{ } \Omega, 1000 \text{ } \Omega, 2000 \text{ } \Omega, 4700 \text{ } \Omega$



**Abbildung 23: Kennlinien Ausgangsspannung, Bosch NTC M12-L**

Wenn  $R_1$   $470 \Omega$  beträgt, ist eine gute Auflösung über den gewünschten Temperaturbereich vorhanden, da der Verlauf der Kennlinie im Bereich von  $30$  bis  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  annähernd linear ist. Eine ausreichende Auflösung zur Auswertung der Spannung mittels des ADC wird bei Einsatz eines  $2 \text{ k}\Omega$  Widerstands erreicht. Vorteil des höheren Widerstandes ist, dass die Schaltung, die Spannungsversorgung und der Sensor mit weniger Strom belastet werden. Somit entsteht weniger Wärme in den Bauteilen und die Eigenerwärmung des NTC wird ebenso gemindert. In den folgenden beiden Diagrammen (Abbildung 24, Tabelle 1, S.32) wird dieses Verhalten dargestellt. Berechnet werden diese Kennlinien mit Hilfe des Ohm'schen Gesetzes (Formel 2) und der Formel zur Berechnung der elektrischen Leistung (Formel 3).

$$U = R \cdot I \quad \rightarrow \quad I_G = \frac{U_E}{R_G} \quad (2)$$

mit:  $U_E = U_{CC} = 5V$

$$R_G = R_1 + R_{\text{Sensor}}$$

$$P_E = I_G \cdot U_A \quad (3)$$

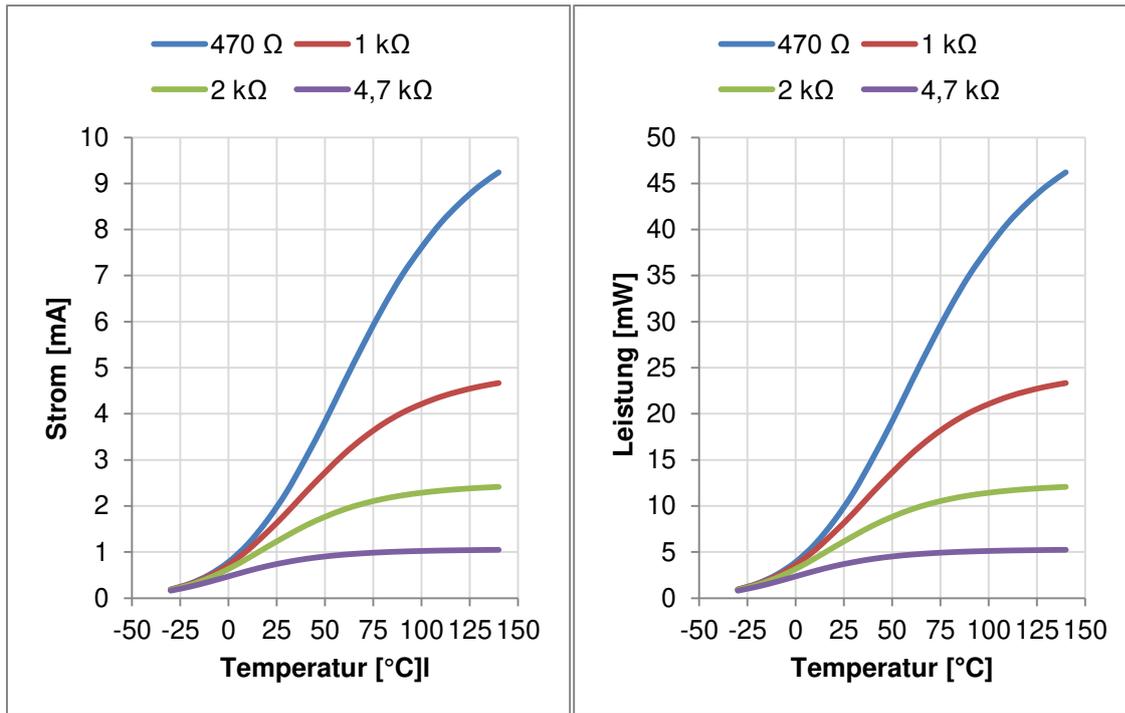


Abbildung 24: Kennlinien Spannungsteiler, Gesamtstrom, elektrische Leistung Bosch NTC M12-L

Temperatur [°C]	Widerstand [Ω]	Spannung [V]	Strom [mA]	Leistung [mW]
-30	26114	4,64	0,18	0,83
-20	15462	4,43	0,29	1,27
-10	9397	4,12	0,44	1,81
0	5896	3,73	0,63	2,36
10	3792	3,27	0,86	2,83
20	2500	2,78	1,11	3,09
30	1707	2,30	1,35	3,11
40	1175	1,85	1,57	2,91
50	834	1,47	1,76	2,60
60	596	1,15	1,93	2,21
70	436	0,89	2,05	1,84
80	323	0,70	2,15	1,50
90	243	0,54	2,23	1,21
100	187	0,43	2,29	0,98
110	144	0,34	2,33	0,78
120	113	0,27	2,37	0,63
130	89	0,21	2,39	0,51
140	71	0,17	2,41	0,41

Tabelle 1: Rechenwerte Kennlinie R1 = 2 kΩ, ADC-Schaltung

Die Sensorspannung ( $U_A$ ) wird dann über einen strombegrenzenden Widerstand R2 an den Operationsverstärker MCP 6004 weitergeleitet (vgl. Abbildung 22). Dieser wird als Spannungsfolger mit der Verstärkung 1 eingesetzt und dient dem Schutz des Mikrocontrollers vor Überspannungen und zu hohen Strömen. Die Verstärkung kann bei Bedarf durch Veränderung der beiden Widerstände R4 und R5 angepasst werden. Die Ausgangsspannung ( $U_A$ ) des Operationsverstärkers ergibt sich wie folgt:

$$U_A = U_E \cdot \left(1 + \frac{R5}{R4}\right) \quad (4)$$

Zum Schutz der Schaltung wird auf der Eingangsseite des OPV jeweils eine Diode gegen Masse und eine gegen Plus geschaltet. Diese leiten die negativen und positiven Störimpulse ab (ISO 7637-2 Impuls 1,2 und 5). Weiterhin dient der Kondensator C1 zum Schutz gegen die Impulse 3a und 3b (ISO 7637-2). Die Spannungsversorgung des OPV beträgt an der positiven Versorgung 5 V und an der negativen Versorgung 0 V. Somit ist der komplette Spannungsbereich des ADC von 5 V nutzbar (vgl. Krüger, 2004 S. 127 ff.).

Für die Simulation der entwickelten Schaltung in LTSpice, ist zunächst der Aufbau nachzubilden (Abbildung 25). Da nicht alle real verwendeten Bauteile vorhanden sind, werden parameterähnliche Bauteile eingesetzt. Der Bosch NTC M12-L wird mittels der veränderlichen Variablen NTC simuliert.

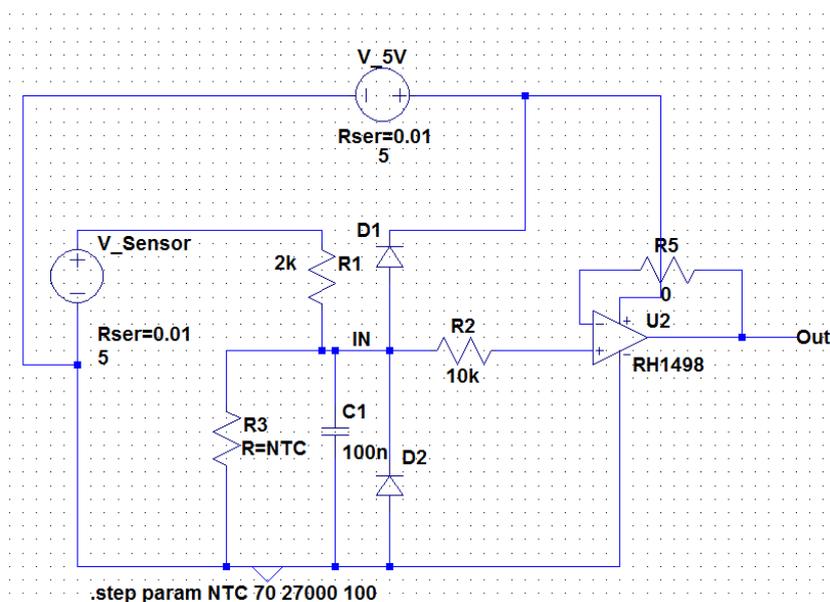


Abbildung 25: LTSpice Schaltung analoge Eingangssignale

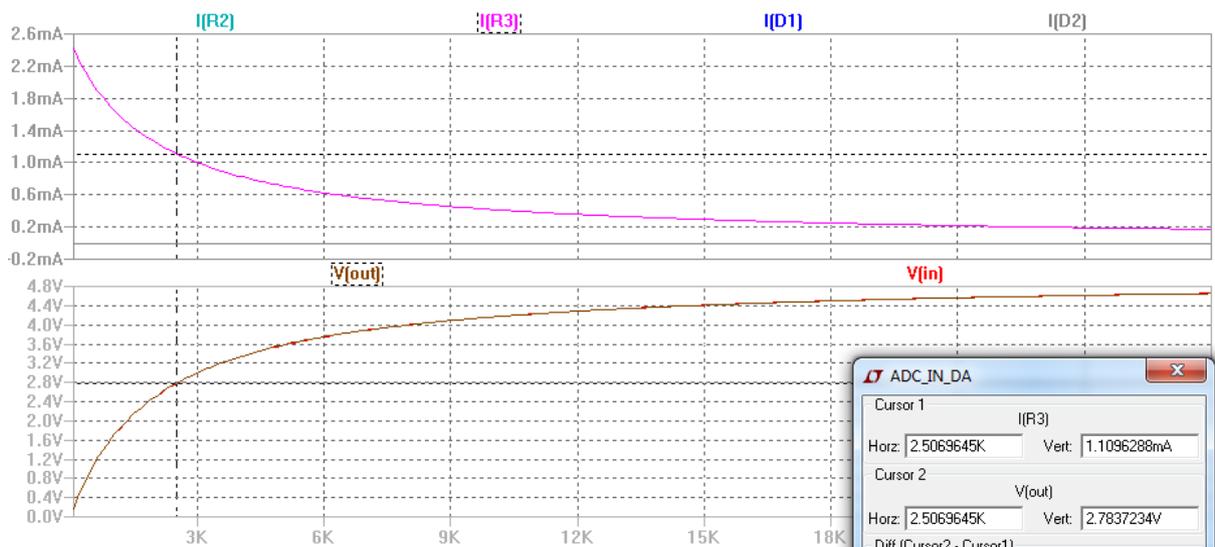


Abbildung 26: LTSpice Simulation analoge Eingangssignale

Als Resultat der Simulation in Abbildung 26 wird festgestellt, dass sich die Schaltung, wie in Abbildung 23 und Abbildung 24 errechnet, verhält. Bezugnehmend auf die Werte aus Tabelle 1 und denen der Simulation (Cursor 1 und 2) sind die Werte identisch. Bei einem Widerstand (NTC) von 2,5 k $\Omega$  ergeben sich eine Ausgangsspannung von circa 2,78 V und ein Strom von circa 1,11 mA durch den Spannungsteiler.

Für die Überprüfung der Schaltung hinsichtlich der in Kapitel 3.3 beschriebenen elektrischen Einflüsse, ist die Beschaltung um eine Störquelle (Abbildung 27, V1) zu erweitern. Diese wird mit den Daten des Impulses 3a parametrisiert. Der NTC Widerstand wird auf einen festen Wert von 2,5 k $\Omega$  eingestellt. Hierdurch ist eine Veränderung des Messwertes aufgrund der Störquelle besser erkennbar.

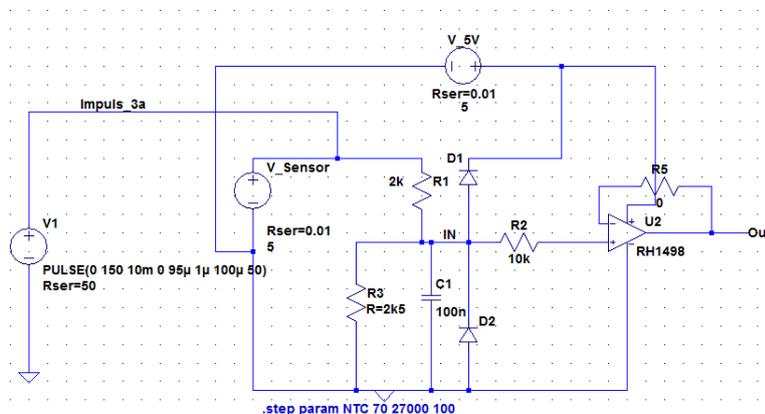


Abbildung 27: LTSpice Schaltung analoge Eingangssignale mit Störquelle

Wie in der nachfolgenden Abbildung 28 erkennbar, wird der Störimpuls, von bis zu 150 V, über die Diode D1 auf circa 5 V abgedämpft. Somit kann eine erhöhte Spannung nicht zum Zerstören der nachgeschalteten Bauteile führen. Eine Beschädigung durch Erwärmung kann ebenso ausgeschlossen werden, da die Strombelastung nicht steigt. Die Verfälschung des Messsignales  $V(in)$  beträgt, gemäß Cursor 1 und 2, 8,62 mV ( $U_{Mess}$ ). Bei einer ADC-Auflösung von 12 Bit und einer Betriebsspannung von 5 V ( $U_{CC}$ ), wird die resultierende Temperatur um 0,3 °C verfälscht (Formel 5). Da der Sensor bei 25 °C eine Toleranz von  $\pm 1,4$  °C aufweist, kann diese Abweichung vernachlässigt werden. Bei Aufschalten des Störimpuls 3b, der eine negative Spannung enthält, wirkt sich die Abweichung negativ auf das Messsignal und verfälscht den Wert, auf -0,3 °C (Formel 5).

$$T = \frac{U_{Mess}}{\frac{U_{CC}}{2^{ADC\ Auflösung}}} \cdot \frac{\Delta T}{2^{ADC\ Auflösung}} \quad (5)$$

mit:  $\Delta T = -30$  bis  $140$  °C =  $170$  °C

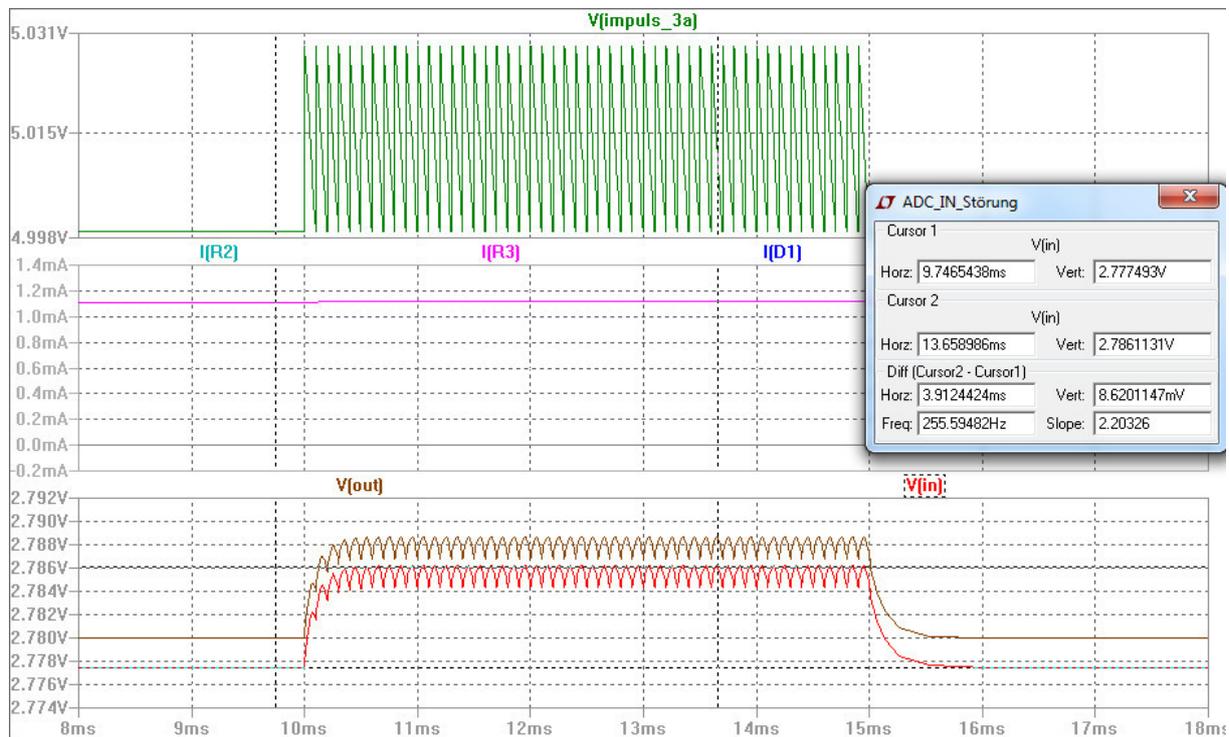


Abbildung 28: LTSpice Simulation Schaltung analoge Eingangssignale mit Störung

## Schaltung digitale Eingangssignale KW-HLS, Licht, Generator, Schalter

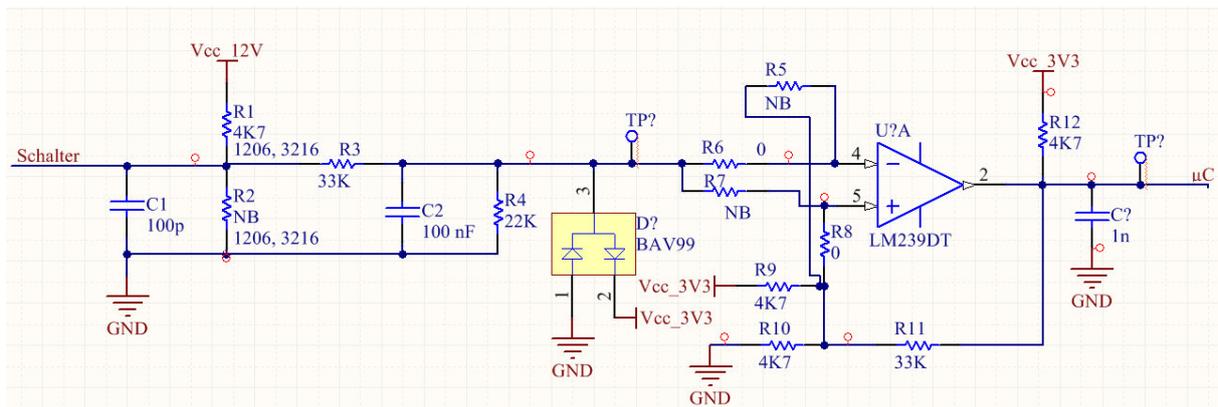


Abbildung 29: Schaltung digitale Eingangssignale

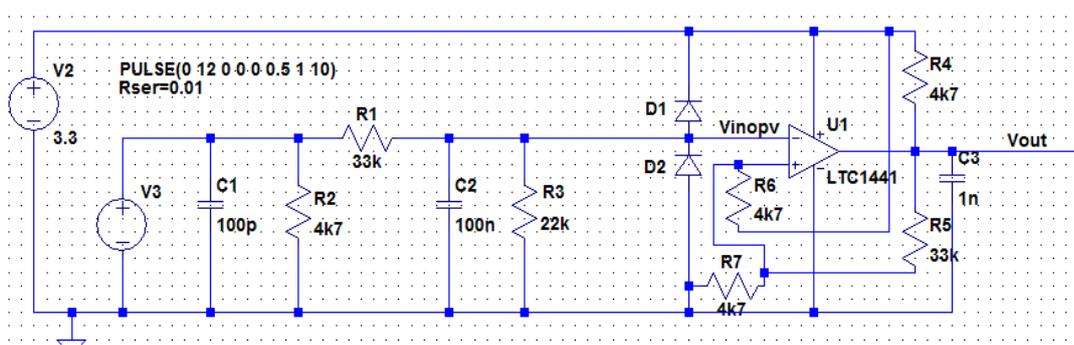
Für die Auswertung verschiedener Schalterzustände ist eine Schutzschaltung (Abbildung 29) notwendig, da der Mikrocontroller an den GPIO-Eingängen mit maximal 20 mA und 4.6 V belastet werden darf. Die Eingangssignale können sowohl 0 V als auch 12 V aufweisen. Aufgrund dieser Anforderungen und den in Kapitel 3.3 beschriebenen möglichen Störungen, können die Eingangssignale nicht direkt an den Mikrocontroller weitergegeben werden. Eine Konvertierung der Eingangssignale ist notwendig. Das Eingangssignal kann je nach Verwendung mit einem Pullup- oder Pulldown-Widerstand ausgerüstet sein. Diese Widerstände realisieren einen stets definierten Zustand des Signals, unabhängig vom Defekt eines Schalters oder einer getrennten Verbindung. Die Kondensatoren C1 und C2 dienen dem Schutz vor den Impulsen 3a und 3b. R3 und R4 bilden einen Spannungsteiler und reduzieren die Eingangsspannung. Die verwendeten Dioden BAV 99 fungieren als Ableitdioden und gegen die Impulse 1, 2 und 5. Der verwendete OPV LM239DT agiert als invertierender Komparator (Vergleicher). Die Eingangsspannung von 3,3 V am positiven Eingang, wird durch einen Spannungsteiler aus R9 und R10 halbiert. Wenn die Eingangsspannung am negativen Eingang den Wert von circa 1,65 V überschreitet, schaltet der OPV die Ausgangsspannung auf 0 V (Low). Beim Unterschreiten von 1,65 V schaltet der OPV die Ausgangsspannung auf 3,3 V (High). Diese Ausgangsspannungen werden durch Anlegen von 3,3 V an der positiven und 0 V an der negativen Versorgungsspannung des OPV erreicht. Die Widerstände R5 – R8 dienen der Nutzung des Komparators als invertierender oder nicht invertierender OPV. Durch diese variable Verschaltung, können die Eingangssignale am

Mikrocontroller so angepasst werden, dass alle Eingangssignale der Schalter (12 V oder 0 V) den gleichen Zustand am Controller besitzen. Das erleichtert die Programmierung, da alle Signale mit 3,3 V als aktiv und alle Signale mit 0 V als inaktiv bezeichnet werden.

Mit dieser Schaltung werden folgende Eingangssignale konvertiert:

- Heckklappen-, Frontklappen- und Türkontakte
- Öldruckschalter und Bremsflüssigkeitsstände
- KW-HLS
- Generatorsignal
- Rückfahrlicht, Nebelschlussleuchte, Kennzeichenlicht, Blinker, Fernlicht, Abblendlicht, Standlicht, Bremslicht und Tagfahrlicht
- Fensterheberschalter
- Clifford Alarmanlage/ Wegfahrsperr

Für die Simulation der entwickelten Schaltung in LTSpice, ist zunächst der Aufbau nachzubilden (Abbildung 30). Da nicht alle real verwendeten Bauteile vorhanden sind, werden parameterähnliche Bauteile eingesetzt. Als Eingangssignal wird eine Spannung von 12V, beispielsweise das Lichtschaltersignal für Abblendlicht, verwendet. Dieses wird von der Spannungsquelle V3 erzeugt.



**Abbildung 30: LTSpice Schaltung digitale Eingangssignale**

In der Simulation (Abbildung 31 S.39) wird anschaulich dargestellt, wie sich die Schaltung bei aufschalten eines 12 V Signals verhält. Die Eingangsspannung (vinopv) wird über den Spannungsteiler auf circa 4 V reduziert und schützt den OPV vor Überspannung. Darüber hinaus erfolgt bei circa 1,6 V ein Pegelwechsel der

Ausgangsspannung (out) von Low auf High und ist invertiert zum Eingangssignal.



Abbildung 31: LTSpice Simulation digitale Eingangssignale

Für die Überprüfung der Schaltung hinsichtlich der in Kapitel 3.3 beschriebenen elektrischen Einflüsse, ist die Beschaltung um eine Störquelle (Abbildung 32, V1) zu erweitern. Diese wird mit den Daten des Impulses 5 parametrisiert, da die Eingangssignale vom Fahrzeugbordnetz versorgt werden.

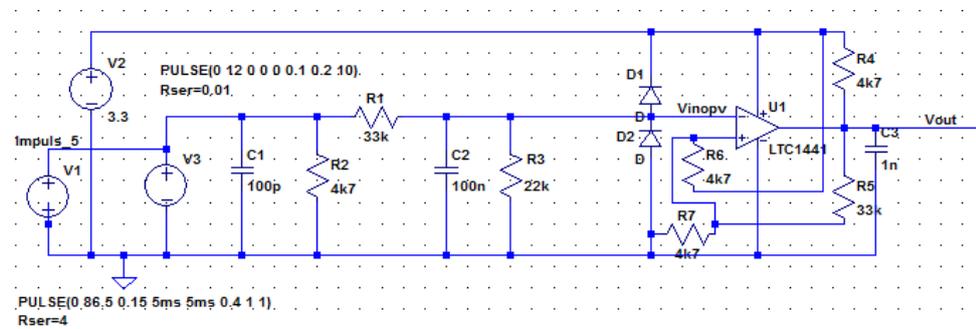


Abbildung 32: LTSpice Schaltung digitale Eingangssignale mit Störquelle

Bei der Simulation (Abbildung 33) mit Störquelle (V1) ist festzustellen, dass die Schaltung, obgleich eine Spannung von bis zu 87 V zugeschalten wird, keine Veränderung in ihrem Verhalten zeigt. Einzig eine Anhebung des Low-Signales, während der Störung, ist zu verzeichnen.



Abbildung 33: LTSpice Simulation digitale Eingangssignale mit Störung

### **Flüssigkeitsstand Bremsflüssigkeit, Scheibenwischwasser**

Der Apollo N besitzt zwei identische Bremsflüssigkeitsbehälter, jeweils einen für den vorderen und einen für den hinteren Bremskreis. Der Bremsflüssigkeitsstand der beiden Behälter soll beim Unterschreiten einer Grenze optisch durch eine Warnlampe im Dashboard angezeigt werden. Für diese Zwecke genügt ein bremsflüssigkeitsbeständiger Schwimmerschalter. Ein weiteres Kriterium ist das, durch den Behälter vorgegebene, Tiefenmaß des Schwimmers. Eingesetzt wird der LS02-1A66-PA-500W von Standex Meder Electronics. Die Funktion des Schalters beruht auf einem Reedkontakt, der durch magnetische Kräfte des Schwimmers betätigt wird. Der Typ A Schalter ist geöffnet, wenn der Bremsflüssigkeitsstand ausreichend ist und der Schwimmer sich über der Schaltschwelle befindet. Sobald der Mindeststand unterschritten wird, schließt der Schwimmer den Schaltkreis und legt den Pin des Controllers über die Schutzschaltung (Abbildung 29) auf Masse.



**Abbildung 34: Flüssigkeitsstandsensoren LS02**

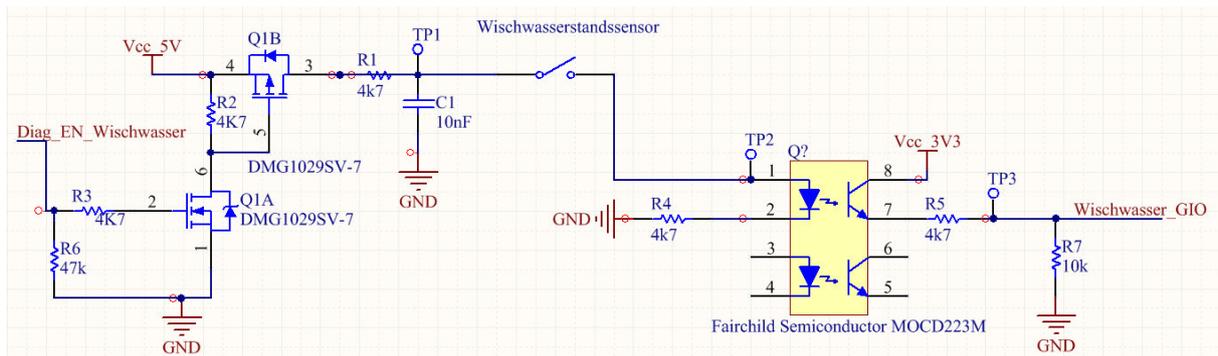
Im Fahrzeug wird ein Scheibenwischwasserbehälter aus dem VW Konzern eingesetzt. Dieser besitzt eine Bohrung für die Aufnahme des originalen Füllstandsensors.



**Abbildung 35: OEM Scheibenwischwasserstandssensor**

Der Sensor besteht aus zwei Metallkontakten, die offen im Behälter hängen. Wenn sich diese beiden Kontakte in leitender Flüssigkeit befinden, kann ein Strom fließen.

Zur Auswertung dieses Vorgangs wird eine LED in einem Optokoppler geschaltet. Dieser schaltet eine angelegte Spannung von 3,3 V auf den Eingang des Mikrocontrollers, sobald ein Strom fließt. Wenn der Behälter leer ist, schaltet der Optokoppler nicht und der Pin wird im Mikrocontroller über einen Pulldown-Widerstand auf 0 V gelegt. Der Sensor wird über eine vom Mikrocontroller gesteuerte Transistorschaltung mit Spannung versorgt, sodass keine permanente Versorgungsspannung am Sensor anliegt. Diese Vorgehensweise spart Energie und vermeidet zusätzlich Kontaktkorrosion an den Metallkontakten.



**Abbildung 36: Schaltung Scheibenwischwasserstand**

#### 4.2.7. Hubliftsystem

Das Hubliftsystem (HLS) von KW Suspensions kann das Fahrzeug um ca. 5 cm anheben. Die Steuerung erfolgt mittels Taster im Fahrzeug, der eine LED als Anzeige des aktuellen Zustandes besitzt. Da das HLS-Steuergerät keine weitere Ausgabe von Informationen bereitstellt, wird das Ansteuersignal der LED ausgewertet. Folgende Zustände kann die LED einnehmen:

- LED an – Fahrzeug angehoben
- LED aus – Fahrzeug abgeseht
- LED blinkt mit 2 Hz – Fahrzeug wird abgeseht oder angehoben

Der TMS 570 besitzt ein eCAP-Modul. Hiermit lassen sich Frequenzen eines Digitalsignals ermitteln. Mit dessen Hilfe kann der aktuelle Zustand des HLS erkannt werden. Der eingelesene Wert wird weiterverarbeitet und im Dashboard angezeigt. Das digitale Eingangssignal wird über die Schutzbeschaltung (Abbildung 29 S.36) zum Schutz des Mikrocontrollers konvertiert.

#### 4.2.8. Zentralverriegelung

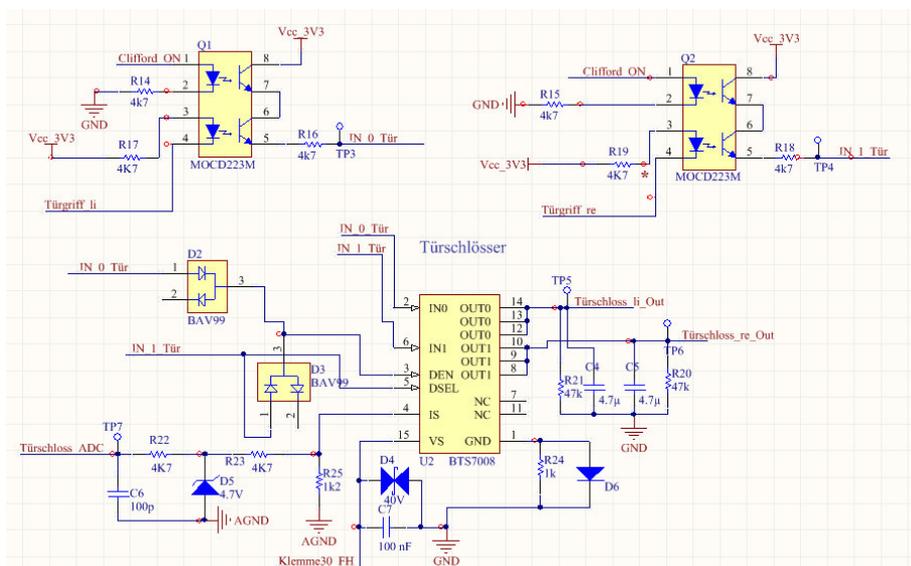
Die Zentralverriegelung besteht aus drei wesentlichen Elementen: den Türschlössern, den Türgriffschaltern und der Clifford Alarmanlage. Die Türschlösser sind original Audi Ersatzteile und werden bevorzugt im Kofferraum eingesetzt. Der Vorteil dieses Systems ist es, dass die Schlösser nicht verriegelt werden müssen, da sie im stromlosen Zustand selbstsperrend sind. Die Türschlösser werden in zwei Stufen freigeschaltet. Die erste Stufe wird durch die Clifford Alarmanlage gesteuert. Wird diese deaktiviert, gibt sie ein Signal an den Optokoppler MOCD223M (Abbildung 37 S.43). Sobald der Türgriff betätigt wird, wird die zweite Stufe des Optokopplers durchgeschaltet und die angelegte Spannung von 3,3 V kann die High-Side-Schalter BTS 7708 ansteuern. Der Schalter versorgt das Türschloss solange mit Energie, wie der Türgriff betätigt ist. Die Ausgangssignale der Optokoppler werden an den Mikrocontroller weitergeleitet.

Bei der Wahl der Ansteuerung der Türschlösser stehen zwei Alternativen zur Auswahl. Die Schaltung über Low-Side- oder High-Side-Schalter. Nachteil der Low-Side-Schaltung ist eine permanente 12 V Versorgung am Bauteil. Bei einem Kurzschluss des Versorgungskabels kann es zum Auslösen der Sicherung und im schlimmsten Fall zu einem Kabelbrand führen. Feuchtigkeit und schlecht gekapselte Verbindungen begünstigen außerdem eine elektrochemische Korrosion der Kontakte, welche unter Umständen zu einer schlecht leitenden Verbindung führt. Bei einer High-Side-Ansteuerung liegt das Türschloss permanent an Masse und Plus wird zugeschaltet, somit ist es im Ruhezustand spannungsfrei. Aus diesem Grund werden High-Side-Schalter der BTS-Reihe verwendet. Die Anforderungen an den Schalter sind:

- Maximale Stromabgabe von 5 A
- Überwachung der Stromaufnahme
- Abschaltung des Schalters bei Kurzschluss oder Übertemperatur

Mit diesem Schalter entfallen jeweils eine Sicherung und ein Relais. Der BTS 7008 2EPA bietet zudem zwei Ausgangskanäle, die separat überwacht werden können. Aufgrund eines vorhandenen Überspannungsschutzes im Schalter wird die Versorgungsspannung direkt aus dem Fahrzeugbordnetz Klemme 30 bezogen.

Einen ergänzenden Schutz bietet Ableitdiode D4. Die Masseverbindung wird mit der Diode D6 und einem Widerstand R24 gegen Überspannung und Verpolung geschützt. An die Lastausgänge (Out0, Out1) werden 47 kΩ Widerstände und 4,7 μF Kondensatoren angeschlossen. Die Pulldown-Widerstände bieten zudem einen höheren Schutz gegen elektromagnetisches Rauschen. Die Kondensatoren dämpfen die möglichen auftretenden Störungen von außen, wie zum Beispiel elektrostatische Entladung (vgl. Datenblatt BTS7008). Wenn am Pin DEN (Diagnostic enable) eine Spannung größer 2 V anliegt, wird der Diagnosemodus der IS-Leitung (Sense current) auf Kanal 0 aktiv geschaltet. Sobald an den Pins DEN und DSEL eine Spannung größer 2 V anliegt, wird der Kanal 1 ausgewertet. Beide Pins werden vom Mikrocontroller für alle High-Side-Schalter simultan geschaltet, um die Anzahl der verwendeten Mikrocontrollereingänge zu reduzieren. An die IS-Leitung ist ein 1,2 kΩ Messwiderstand angeschlossen. Dieser treibt einen Strom, der proportional zum Lastausgang ist und damit eine Messspannung auf der Diagnoseleitung zum Mikrocontroller voran. Der ADC-Eingang des Mikrocontrollers wird mit einer Ableitdiode gegen Überspannung geschützt. Mit den Reihenwiderständen wird der maximale Strom auf 1 mA begrenzt.



**Abbildung 37: Schaltung Zentralverriegelung**

#### 4.2.9. Lichtüberwachung

Da das Prinzip der High-Side-Schaltung auch bei den Leuchten angewandt werden soll, wird hier auf speziell für Kraftfahrzeugbeleuchtung entwickelte Schalter zurückgegriffen. Die Funktion der verschiedenen Schalter unterscheidet sich prinzipiell nicht von der in Kapitel 4.2.8 erläuterten Variante. Lediglich der Schaltertyp wurde dem Strombedarf der Leuchtmittel angepasst. Es gibt speziell entwickelte Schalter für 5 bis 65 Watt Lampen in einfacher oder doppelter Ausführung. Die einfache Ausführung reduziert die Wärmeentwicklung des Schalters, bedingt aber einen höheren Schaltungsaufwand bei der Außenbeschaltung, da für jedes Leuchtmittel ein einzelner Schalter verwendet werden muss. Zur Reduzierung der Bauteile wird auf einen Schalter mit zwei Kanälen zurückgegriffen.

Bei der Überwachung der Beleuchtungsanlage bieten sich zwei Varianten an. Zum einen die Überwachung im aktiven Zustand (Warmstromüberwachung) sowie die Kontrolle im inaktiven Zustand (Kaltstromüberwachung). Für die Lichtüberwachung wurde zunächst eine Warmstromüberwachung geplant. Das bedeutet, dass der Strom, den eine Glühlampe/LED im aktiven Zustand verbraucht, über den IS PIN gemessen wird. Der Nachteil dieser Methode ist, dass Leuchten wie Nebelschluss oder Fernlicht, die selten benutzt werden, auch selten kontrolliert werden. Deshalb wurde zusätzlich zur Warmstromüberwachung eine Kaltstromüberwachung bei ausgeschalteten Leuchten hinzugefügt. Ein abschaltbarer Diagnosewiderstand von 1,5 K $\Omega$  (Abbildung 38, R2) wird auf die Ausgangsleitung des Schalters geschaltet. Der Widerstand liegt an 12 V an und wirkt als Pullup-Widerstand, sobald ein Leuchtmittel einen höheren Widerstand (zum Beispiel defekter Glühlampendraht) aufweist. Der BTS erkennt intern die Spannung von 12 V und schaltet die IS-Leitung auf 12 V.

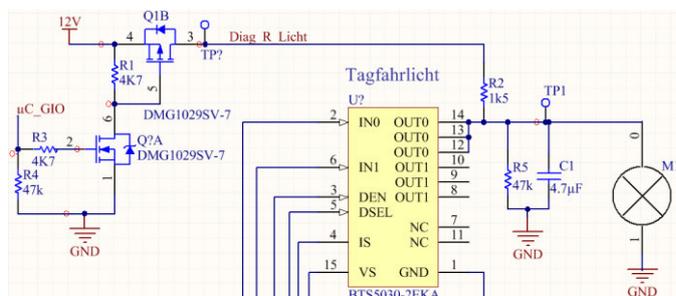


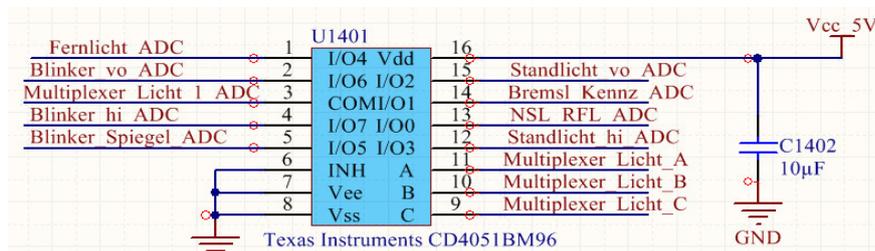
Abbildung 38: Schaltung Kaltlichtüberwachung

Die vorgeschriebenen Einschaltkontrollleuchten (vgl. ECE-R48) werden über ein Symbol im Dashboard realisiert.



**Abbildung 39: Ablendlichtkontrollleuchte Dashboard**

Da die vorhandene Anzahl von ADC-Eingängen am Mikrocontroller nicht ausreicht, wird für die Auswertung der IS-Leitung der Lichtanlage ein Multiplexer (Abbildung 40) eingesetzt. Der CD4051BM96 ist von Texas Instruments und stellt acht Kanäle zur Verfügung. Versorgt wird der IC über 5 V und einen 100 nF Abblockkondensator. Die acht Eingangssignale der verschiedenen High-Side-Schalter können im Mikrocontroller einzeln über einen ADC-Eingang ausgewertet werden. Die Umschaltung des Multiplexers erfolgt über Pin 9, 10 und 11 und wird über GIO-Ausgänge des Mikrocontrollers gesteuert.

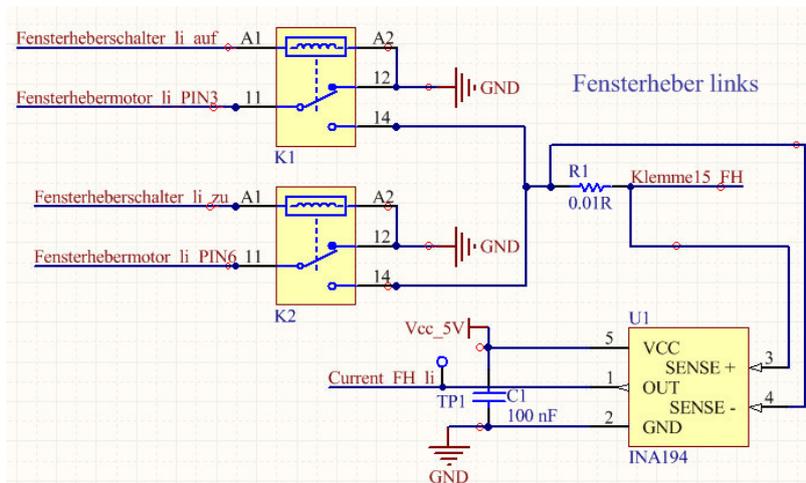


**Abbildung 40: Multiplexer IS-Leitungen High-Side-Schalter**

Die Auswertung der Eingangssignale des Lichtschalters wird vom Controller via Interruptsteuerung eingelesen und mittels CAN an das Dashboard weitergeleitet.

Die Blinkerschaltung im Fahrzeug wird von einem Blinkrelais gesteuert und schaltet über den Lenkstockschalter jeweils den linken oder rechten Kreis der Blinkanlage zu. Nachteilig ist, dass bei Ausfall einer Lampe nicht genau definiert werden kann welche defekt ist. Um diesem Aspekt entgegenzuwirken wird der Kreis aufgetrennt und die Vorderen-, Hinteren- und Spiegelblinker separat von einzelnen Schaltern gesteuert. Es ergibt sich ein erhöhter Bauteileaufwand, jedoch wird die Überwachungsfunktion deutlich verbessert.

## 4.2.10. Fensterheber



**Abbildung 41: Relaischaltung Fensterheber mit Stromüberwachung INA194**

Die im Fahrzeug eingesetzten Fensterhebermotoren sind als Gleichstrommaschine aufgebaut. Angesteuert werden diese über eine Relaischaltung mit jeweils einem zweistufigen Fensterheberschalter. Um die Bewegungsrichtung der Fensterheber umzukehren, muss die Drehrichtung der Gleichstrommotoren geändert und somit die beiden Pole der Wicklung vertauscht werden. Dazu werden zwei Relais pro Motor benötigt, deren Zusammenschaltung mit einer H-Brückenschaltung vergleichbar ist. Für die Einhaltung der in Kapitel 3.1.2 beschriebenen Richtlinie ECE R21, wird die Fensterheberschaltung von Klemme 15 des Fahrzeuges versorgt, somit ist gewährleistet, dass die Betätigung nur bei gestecktem Zündschlüssel und aktivierter Klemme 15 erfolgen kann. Die Fensterheberschalter steuern mit der Stellung eins das Relais K1, damit liegt Pin 3 des Motors auf Plus und Pin 6 auf Masse. Wenn der Fensterheberschalter in Stellung zwei gebracht wird, zieht Relais K2 an und schaltet Pin 6 auf Plus. Nun liegt Pin 3 auf Masse. Da die Fensterhebermotoren einen Anlaufstrom von 10 A haben, müssen die Relais dementsprechend dimensioniert werden. Zur Auswahl kommt ein 16 A Leistungsrelais RTD14012 der Firma TE Connectivity.

Für die Stromüberwachung sollte ein möglichst kleiner Messwiderstand (Abbildung 41, R1) verwendet werden, um die maximalen Verluste so gering wie möglich zu halten. Der niedrige Widerstand bedingt bei einem Strom von 1 A jedoch ebenfalls eine sehr geringe Messspannung von 0,01 V. Um das Messsignal zu verstärken

muss ein OPV eingesetzt werden. Da bei einem OPV immer eine Außenbeschaltung notwendig ist, wird auf einen fertigen Baustein (INA194) zurückgegriffen, um den Bestückungsaufwand auf der Platine zu verringern. Seine beiden Messanschlüsse SENSE+ und SENSE- messen den Spannungsabfall über dem Messwiderstand und verstärken diese um das 50-fache. Die Ausgabe der Spannung erfolgt an Pin 1 des Bauteils und wird vom ADC-Eingang des Mikrocontrollers erfasst. Versorgt wird der IC mit 5 V und einem 100 nF großen Abblockkondensator.

Die Fensterheberschaltersignale werden zusätzlich über die Eingangsschutzschaltung an den Mikrocontroller weitergeleitet, um ein Startsignal für die Strommessung der Fensterhebermotoren bereitstellen zu können.

#### **4.2.11. Spannungsversorgung**

Als Spannungsversorgung (Anhang 2) für das Steuergerät dient die Klemme 15 des Fahrzeuges. Da diese Verbindung direkt mit dem Bordnetz verbunden ist, unterliegt sie den Einflüssen der in Kapitel 3.3. aufgelisteten Eigenschaften eines Kraftfahrzeugbordnetzes und bedarf eines gesonderten Schutzes. Als erstes Bauteil in der Versorgung kommt ein High-Side-Switch (BTS 443P) zum Einsatz. Dieser wird, sobald die Klemme 15 über das Zündschloss aktiviert wird, eingeschalten. In der Versorgungsleitung des Schalters befinden sich drei unterschiedlich große Abblockkondensatoren. Sobald der Pin-IN auf Masse geschaltet und die Klemme 15 auf 5 V angestiegen ist, beginnt der Schalter den Ausgang freizugeben und die Spannung weiterzuleiten. Bei Verpolung der Versorgungsleitung wird der Schalter nicht aktiviert, da die Diode an Pin 2 das Einschalten verhindert. Zusätzlich ist die MOSFET-Schaltung im Schalter so aufgebaut, dass sie bei Verpolung selbstständig abschaltet.

Zudem bietet der BTS443P weitere wichtige Eigenschaften:

- Strombegrenzung bis 65 A
- Überspannungsschutz, Load-Dump
- Übertemperaturschutz
- Kurzschlussabschaltung
- ESD Schutz bis 4 kV, EMC optimiert
- 16 mΩ Durchgangswiderstand im „An“ Zustand (geringe Wärmeentwicklung)

An dem Ausgang des Schalters wurde eine 18 V Ableitdiode platziert, um Spannungsspitzen im weiteren Netz zu unterdrücken. Nachfolgend werden drei weitere Abblockkondensatoren sowie zwei 100 µF große Pufferkondensatoren eingesetzt. Diese werden benötigt, um Schwankungen im Bordnetz auszugleichen und den nachfolgenden Buck-Regulator konstant zu versorgen. Der LM2576 konvertiert 12 auf 5 V und ist auf bis zu 3 A Dauerstrom ausgelegt. Die Eingangsspannung kann auf bis zu 40 V ansteigen bevor es zu einer Abschaltung kommt. Dieser Regulator ist bis zu 2 kV ESD geschützt und bietet eine Ausgangsspannung von 5 V ±4%. Die theoretische, anhand aller Bauteile berechnete, Stromaufnahme der Schaltung beläuft sich auf circa 1,3 A (Anhang 3) und erhitzt den Buck-Regulator im Betrieb nur minimal. Zum Schutz der nachfolgenden Schaltung ist eine stromspitzenbegrenzende Induktivität von 100 µH und eine Schottky Diode nachgeschaltet. Weitere benötigte Spannung wie 1,2 V, 3,3 V und die 5 V-Sensorversorgung werden über sogenannte Low-Dropout-Regler (LDO) realisiert. Diese sind in der Lage Ausgangsspannungen zu regeln, die nur knapp (100 bis 200 mV) unter der Eingangsspannung liegen. Ein wichtiger Aspekt ist die Verwendung von Abblockkondensatoren am Ein- sowie Ausgang des LDO. Speziell am Ausgang des LDO trägt dieser Kondensator dazu bei den Einschwingvorgang zu glätten. Die Schwingungen entstehen aufgrund der Gegenkopplungen im Aufbau des Reglers. Für die Referenzspannung des ADC im Mikrocontroller kommt ein LM4040 zum Einsatz. Dem Grunde nach handelt es sich um eine schnelle und präzise Z-Diode mit einer Spannungstoleranz von 0,1%. Ein wichtiger Bestandteil der Beschaltung ist der verwendete Vorwiderstand. Laut Datenblatt des Herstellers muss der Widerstand an den benötigten Strom angepasst werden, um eine stabile Spannung von 5 V zu erzielen. Im Datenblatt wird der Widerstand wie folgt berechnet:

$$R = \frac{U_{CC} - U_B}{I_L + I_Q} \quad (6)$$

mit:  $U_{CC} = 12V$

$$U_B = 5V$$

$$I_L = 6 \text{ mA} = 0,006 \text{ A (lt. TMS570 Datenblatt)}$$

$$I_Q = 60 \mu\text{A} = 0,00006 \text{ A}$$

Es ergibt sich ein berechneter Widerstand R von 1155  $\Omega$ .

Aufgrund der Vielzahl verwendeter Bauteile in der Schaltung wird ein bereits eingesetzter 1,2 k $\Omega$  Widerstand verwendet, sodass die maximale Strombelastung von 15 mA nicht überschritten und die Anzahl der verschiedenen Bauteile nicht weiter vergrößert wird.

Für die Echtzeituhr (RTC) ist eine zusätzliche Spannungsversorgung über die Klemme 30 des Apollo N notwendig. Zum Einsatz kommt hierbei ein MCP1790 mit einer Ausgangsspannung von 3,3 V. Der Spannungsregler beherrscht alle im Kraftfahrzeug wichtigen Schutzfunktionen wie beispielsweise Load-Dump oder Kurzschlussüberwachung. Zusätzlich wird der Eingang über einen P-Kanal-Transistor vor Verpolung und mit einer 18 V Z-Diode vor Überspannung geschützt.

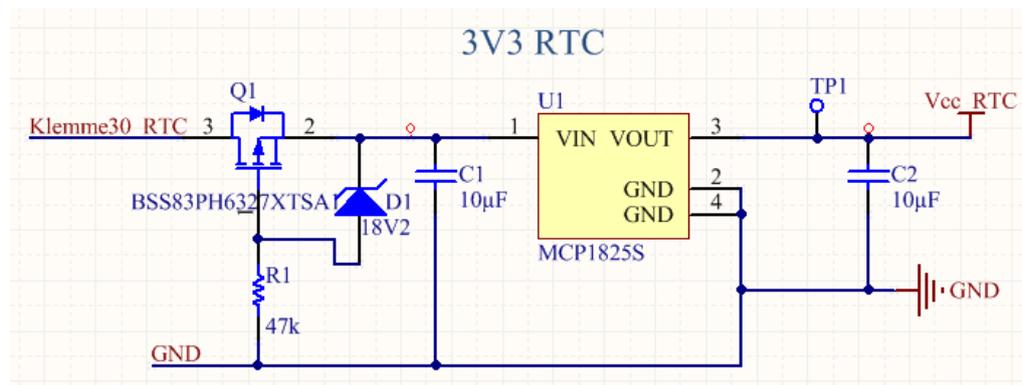


Abbildung 42: Versorgungsspannung Echtzeituhr MCP1825S

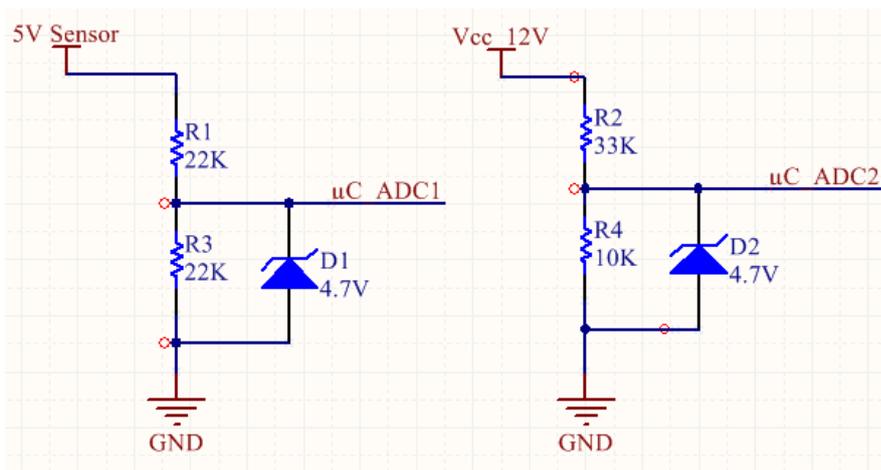
## Spannungsüberwachung Platine

Damit die einwandfreie Funktion der Sensoren im Fahrzeug gewährleistet werden kann, wird die Sensorversorgung separat überwacht (Abbildung 43, S.50). Bei auftretenden Abweichungen kann mit der Software eine Fehlerberechnung, der eingelesenen ADC-Werte, durchgeführt werden. Auch bei Spannungseinbrüchen oder Überspannungen stellt der Controller das Fehlverhalten fest und hinterlegt einen Fehlercode. Geschützt wird der ADC-Eingang vor Überspannung mithilfe eines Spannungsteilers, welcher das Spannungsverhältnis am Eingangspin halbiert. Da

nur ein sehr geringer Strom fließt, entstehen hierbei keine nennenswerten Verluste. Eine 4,7 V Z-Diode dient zusätzlich als Überspannungsschutz.

Um auftretende Schwankungen im Bordnetz erkennen zu können, wird auch die 12 V Versorgung nach der Schutzschaltung kontrolliert. Bei dieser Schaltung ist der Spannungsteiler verändert, sodass circa ein Viertel der Eingangsspannung am ADC-Eingang anliegt. Bei einer Betriebsspannung ( $U_{CC}$ ) von 14 V ergibt sich eine rechnerische Ausgangsspannung ( $U_A$ ) von 3,26 V.

$$U_A = \frac{U_{CC}}{R_2 + R_4} \cdot R_2 \quad (7)$$



**Abbildung 43: Spannungsüberwachungsschaltung**

Um die wichtigsten Parameter des Dashboards sicher nach Abschalten der Zündung (Klemme 15) auf dem EEPROM speichern zu können, ist ergänzend zu der Spannungsüberwachung von 12 V ein sogenannter „Supervisor“ vorgesehen. Anwendung findet der TL7709ACD (Abbildung 44 S.51). Dieser wechselt den Pegel auf der RESET-Leitung bei 7,6 V und ruft im Mikrocontroller einen Interrupt aus. Der TL lässt eine maximale Eingangsspannung von 20 V zu und wird am 12 V Sensoranschluss zusätzlich mit einer 18 V Z-Diode geschützt. Mit dem Kondensator am CT-Pin lässt sich die Zeitverzögerung nach Unterschreiten der 7,6 V und dem Pegelwechsel des RESET-Pins einstellen. Laut Datenblatt beläuft sich die

Zeitverzögerung mit einem 100 nF Kondensator auf 1,3 ms. Die Versorgung des IC erfolgt mittels 5 V und eines 100 nF Abblockkondensators.

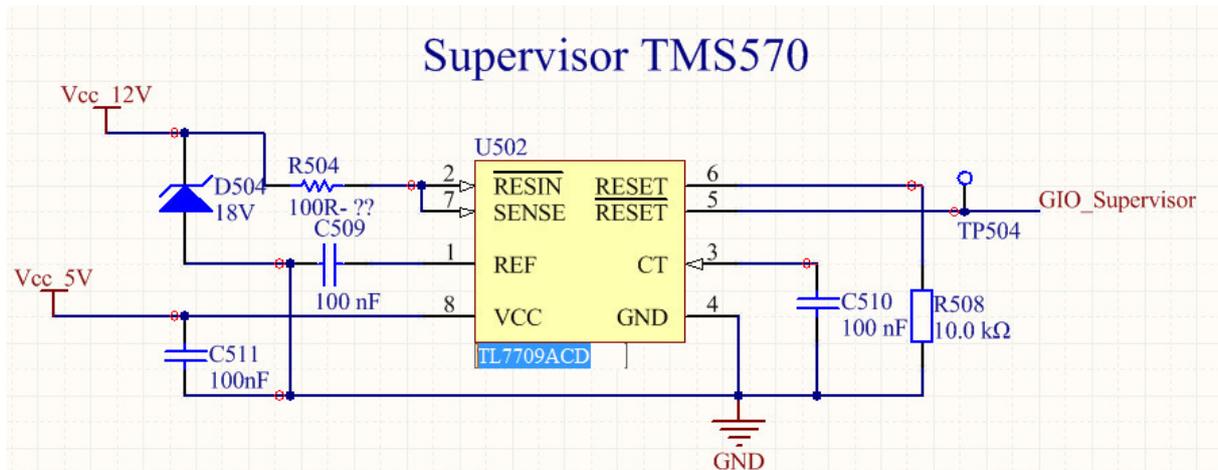


Abbildung 44: Schaltung Supervisor TL7709ACD

### 4.3. Steckerverbinder

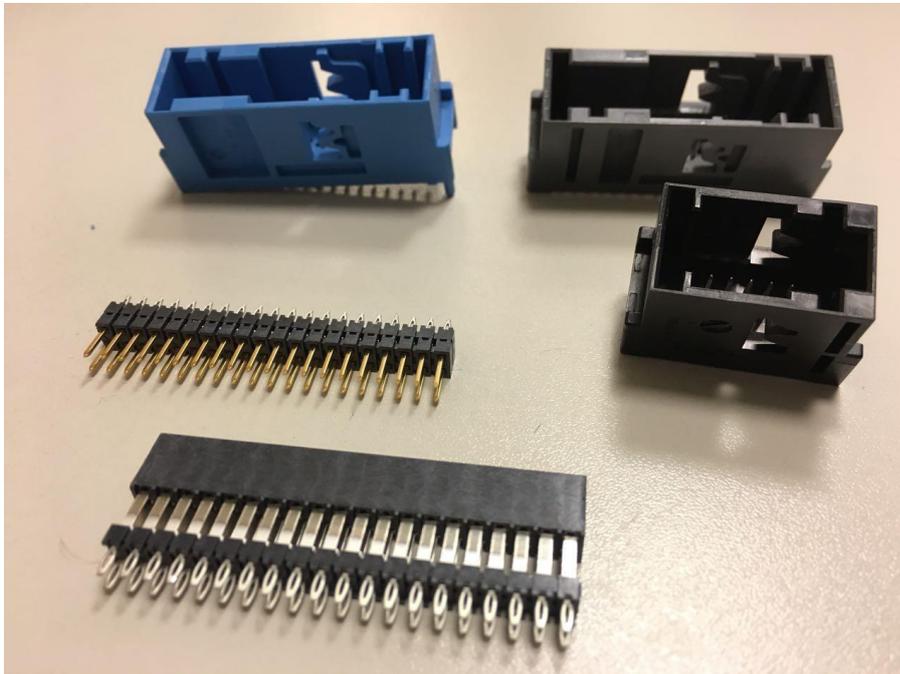
Die Steckerauswahl (Abbildung 45 S.52) erfolgt zum Ende des Schaltplanentwurfs, sobald die detaillierten Anschlusszahlen und Strombelastungen der einzelnen Pins bekannt sind. Nachdem anfänglich ein einzelner Stecker geplant wurde, ergibt sich nunmehr durch die Trennung der Platinen die Anwendung mehrerer Stecker. Wichtige Kriterien für die Auswahl sind die Temperaturbeständigkeit, die Baugröße, die Pinanzahl, die Reihenanzahl, die Kodierung optisch gleicher Stecker und ob vorhandene Crimpwerkzeuge weiterverwendbar sind.

Für die untere Platine mit den größeren Verbrauchern bis zu 7 A pro Pin Dauerbelastung, wird ein 34-poliger Stecker, der Super Seal Serie von TE-Connectivity (6437288-1), ausgewählt (vgl. Anhang 7). Dieser ist temperaturbeständig von -40 bis 125 °C und kann Dauerbelastungen von bis zu 10 A pro Pin übertragen. Der vom Hersteller maximale getestete Spitzenstrom über 5 s beläuft sich auf 170 A.

Aufgrund der Anordnung der Bauteile und der geringen Platzverhältnisse sind für die obere Platine mehrere Stecker notwendig. Hierbei wird der 32- und 12-polige Stecker der MQS Reihe von TE-Connectivity verwendet. Diese Stecker sind temperaturbeständig und können pro Pin bis zu 3 A übertragen. Auch sind unterschiedliche Pins für verschiedene Leiterquerschnitte (0,35 bis 1 mm<sup>2</sup>) verfügbar.

Der zwölfpolige Stecker ist explizit geplant um, bei der Anordnung der Bus-System-Bauteile auf der Platine, eine möglichst große Distanz zu möglichen Störquellen zu realisieren.

Für die Board-to-Board Verbindung wird ein von Samtec entwickelter und für den Spezialfall anpassbarer Pinheader ausgewählt. Der Header ist bezüglich Pin- und Reihenanzahl sowie Höhe spezifizierbar. Aus den Bauteilhöhen der unteren Platine ergibt sich ein Mindestabstand von 16 mm zur oberen Platine. Gesichert wird dieses Stecksystem durch schraubbare Platinenverbinder (Anhang 6), die gleichzeitig eine Masseverbindung sowie eine Wärmeableitung an das Gehäuse darstellen.



**Abbildung 45: Steckerverbinder Zentralsteuergerät**

## 4.4. Platinen – Layout

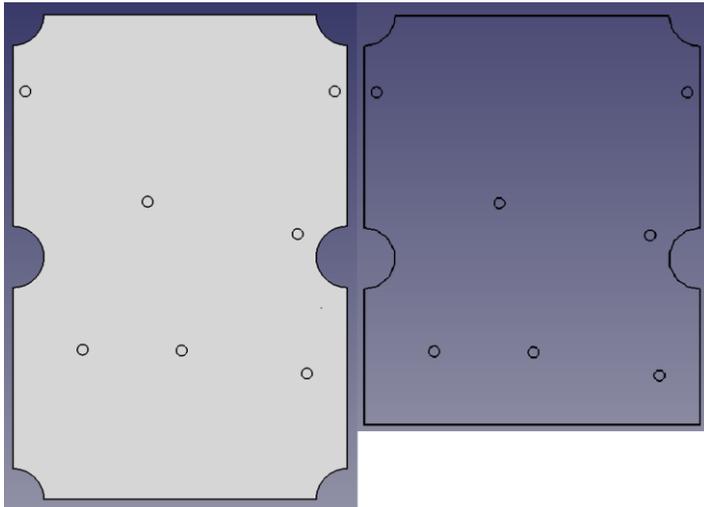


Abbildung 46: FreeCAD Skizze Leiterplatte unten und oben

Ausgangspunkt für die Planung der Platinen sind die zugrunde zu legenden Abmaße. Diese sind aus den Innenmaßen des Gehäuses abgeleitet und nutzen so das Gehäuse optimal aus. Die obere Platine ist um die Länge des verbauten Steckers auf der unteren Platine zu verkürzen, damit Kollisionen zwischen Platine und Bauteilen verhindert werden. Eine Platzierung oberhalb des Steckers ist nicht sinnvoll, da die Bauteile mit dem Gehäusedeckel kollidieren würden. Der Platinenabstand zueinander ergibt sich aus dem höchsten Bauteil der unteren Platine und dem gegenüberstehenden Bauteil der oberen Platine zuzüglich eines Sicherheitsabstandes. Die Platinenform wird mit FreeCAD erstellt (Abbildung 46) und kann in Circuit Maker importiert werden, sodass die Platinenmaße exakt mit dem Entwurf übereinstimmen. Der Lagenaufbau wird auf sechs Lagen festgelegt. Dies vereinfacht die Trennung von Spannungsversorgungs-, Masse-, Signal- und Busleitungen.

Beim Erstellen der Schaltpläne werden verschiedene Netzklassen definiert. Sie unterscheiden sich im Hinblick auf die Einstellungen für die verwendeten Leiterbahnbreiten sowie Via-Größen und vereinfachen das Routing, da die gewählten Einstellungen beim Routen automatisch bedient werden. Die größten Verbraucher sind das Ablend- und Fernlicht sowie die Fensterheber. Das Fernlicht ist als Xenon Brenner ausgeführt, weshalb der Anlaufstrom für circa 10 s einen Spitzenwert von 20

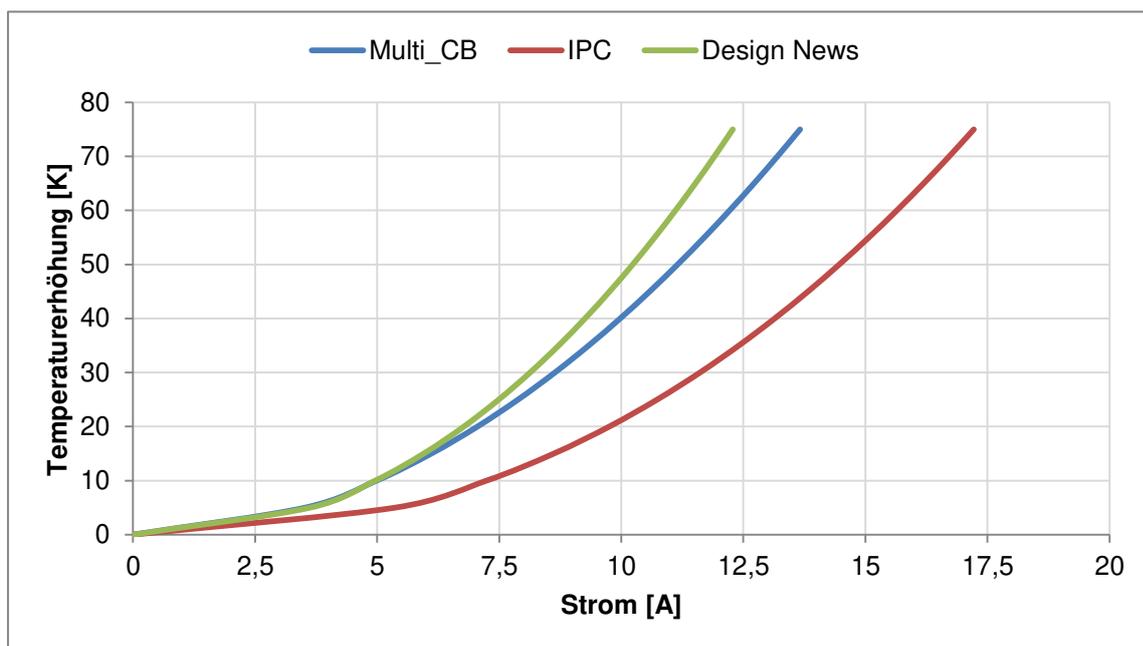
A einnimmt und mit fortschreitender Betriebsdauer auf 7 A abfällt. Die Fensterheber benötigen einen Anlaufstrom von 8 A pro Seite und fallen auf 2 A ab. Demzufolge ist der größte Dauerverbraucher das Abblendlicht mit circa 11 A bei 14 V Betriebsspannung. Für die Auslegung der Leiterbahnen wurden die angegebenen Formeln von Multi-CB miteinander verglichen. (vgl. Multi Leiterplatten GmbH, 2017)

$$\text{Multi-CB: } I[A] = K \cdot h[\text{mm}]^{0,5} \cdot b[\text{mm}]^{0,64} \cdot \Delta T[\text{K}]^{0,5} \quad (8)$$

$$\text{IPC: } I[A] = 9,6 \cdot A[\text{mm}^2]^{0,68} \cdot \Delta T[\text{K}]^{0,43} \quad (9)$$

$$\text{Design News: } I[A] = 6,4 \cdot A[\text{mm}^2]^{0,69} \cdot \Delta T[\text{K}]^{0,45} \quad (10)$$

mit:  $K = 3,6$   
 $b = 2,5 \text{ mm}$   
 $h = 0,07 \text{ mm}$



**Abbildung 47: Strombelastbarkeit bei Leiterbahnbreite von 70  $\mu\text{m}$**

Abbildung 47 kann entnommen werden, dass die Ergebnisse erheblich voneinander abweichen. Für die Layoutplanung wird die Formel der Design News verwendet, welche bei 10 A Belastung eine Temperaturerhöhung von 45 °C hervorruft. Es handelt sich hierbei um den schlimmsten anzunehmenden Fall und würde selbst bei



Für die Positionierung ist zunächst die Platzierung der Stecker der unteren Platine sowie den Relais der Fensterheber umzusetzen, da diese eine möglichst große Entfernung zu allen digitalen Baugruppen aufweisen sollen. Auf der unteren Platine befindet sich die Spannungsversorgung für 12 V und 5 V sowie deren Kondensatoren. Alle Schalter, für die Steuerung der Leuchten und Türschlösser, sind in größtmöglichen Abständen zueinander auf der unteren Platine zu platzieren und mit Polygonen zur Wärmeableitungen zu versehen. Auf der oberen Platine befinden sich die übrigen Spannungsversorgungen und Bauteile der Schaltungen. Der Mikrocontroller sowie die Busteilnehmer und deren Außenbeschaltung sind so dicht wie möglich zusammen anzuordnen, um Störungen möglichst gering zu halten.

Zudem gilt es beim Routing die entsprechenden Layoutregeln des Platinenherstellers zu beachten, andernfalls können Fertigungsprobleme zu Fehlfunktionen der Schaltungen führen.

Auf allen Lagen( außer der Versorgungslage) sind Massepolygone zur Abschirmung von Störungen und zur Reduzierung von Massewegen positioniert. Zu berücksichtigen sind auch die verschiedenen Massen von Analog-, Digital- und Sensorschaltungen. Hintergrund der getrennten Massen ist die Nutzung von digitalen Schaltungen, die mit steilen Flanken und schnellem Schalten zum Rauschen führen können und eine Anlogschaltung stören würden. Die Massen werden an einem Punkt gezielt zusammengeführt, um Masseschleifen zu verhindern, Störungen zu unterdrücken und ein gemeinsames Potential zu realisieren.

Die beiden Layouts der Leiterplatten befinden sich im Anhang 4 und 5. Zur besseren Übersicht sind die Massepolygone auf allen Lagen ausgeblendet.

## 5. Inbetriebnahme

In diesem Kapitel wird die Inbetriebnahme der bereits vollständig entwickelten Hardware beschrieben. Zudem wird die zur Überprüfung notwendige Software kurz erläutert und ein Test mit realen Bauteilen durchgeführt.

### 5.1. Hardware

Zur Überprüfung der entwickelten Schaltungen können einzelne Baugruppen unter Verwendung eines Steckbretts kontrolliert werden. Da, aufgrund der entstandenen hohen Komplexität im Verbund der Baugruppen, diese Methode nur begrenzt angewendet werden kann, ist der Test an einem Platinenprototyp (Abbildung 49) zu bevorzugen. Dieser wird, mithilfe der aus Circuit-Maker erstellten ODB++ Daten, durch Multi-Circuit-Boards gefertigt.

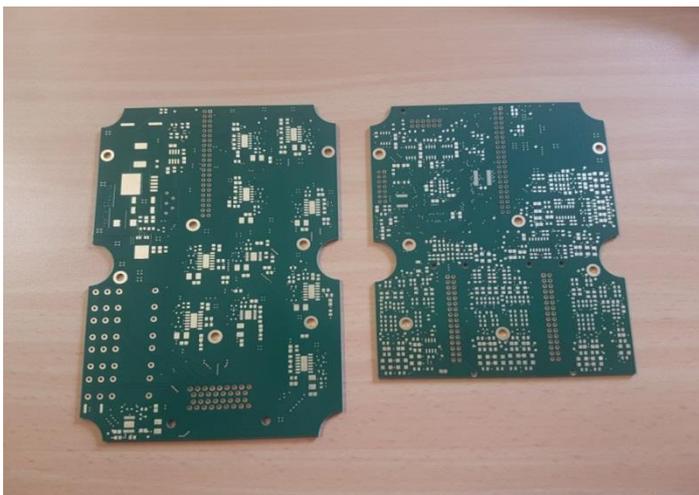


Abbildung 49: Platinenprototyp Zentralsteuergerät

Nach der Bestückung dieser Prototypen (Anhang 7), durch das Weichlötverfahren, ist die untere Platine einzeln auf Fehlverhalten und Funktion zu testen. Hierzu sind die Spannungsversorgung von 5 und 12 V zu überprüfen und anschließend das Verhalten der High-Side-Schalter und der Relais. Im ersten Schritt ist der Test mit einer geringen Last, beispielsweise einer 5 W Lampe durchzuführen. Nach dieser fehlerfreien Funktionsprüfung wird der Test mit den Frontscheinwerfern des Apollo N wiederholt, um die im Fahrzeug entstehenden Belastungen realitätsgetreu zu

simulieren. Hierfür sind Fern-, Abblend- und Standlicht sowie die vorderen Blinkerlampen zu beschalten.

Für die Inbetriebnahme der oberen Platine empfiehlt es sich beide Prototypen mittels der Steckverbindung (Header) zu verbinden und die Funktion im Verbund zu analysieren, da die Spannungsversorgung von der unteren Platine bereitgestellt wird. Im Steuergerät können anschließend folgende Schaltungen überprüft werden:

- Spannungsversorgungen 5 V Sensor, 5 V Referenz, 3,3 V sowie 1,2 V
- Eingangssignale Tür- und Haubenkontakte, Fensterheberschalter, Flüssigkeitsstände, Beleuchtungsanlage, Generatorzustand und WFS Zustand)
- ADC-Kanäle 12 V Spannung, 5 V Sensorversorgung, Ladeluft-, Wasser- und Platinentemperatur
- Bussysteme CAN, SPI und i<sup>2</sup>C
- Ansteuerung der High-Side-Schalter und Relais mithilfe der Eingangssignale

In diesem Stadium werden sowohl die Funktion der Schaltung, des Steckers als auch der Übertragungswege festgestellt. Für einen Test der Hardware, in Verbindung mit dem Mikrocontroller, ist eine Software sowie ein Versuchsaufbau (Abbildung 50) notwendig.



Abbildung 50: Versuchsaufbau Zentralsteuergerät mit Ersatzteilen des Apollo N

## 5.2. Software

Um die wesentlichen Funktionen des Steuergerätes zu testen, ist die Programmierung des Mikrocontrollers notwendig. Die Software soll den Betrieb des CAN-Bus, des SPI (LED Treiber) und des I<sup>2</sup>C (GIO Expander) aufzeigen. Weiterhin sollen Sensordaten (Temperatur, Tankstand, Lichtüberwachung) erfasst, GPIOs abgefragt und diese Informationen verarbeitet und über CAN ausgegeben werden.

### 5.2.1. HALCoGen

Mit dem HALCoGen (Hardware Abstraction Layer Code Generator) kann die Grundeinstellung von Mikrocontrollern der Hercules Familie durchgeführt werden. Dies beinhaltet die Aktivierung und Einstellungen des Systemtakts, der integrierten Module (beispielsweise CAN und SPI) sowie der Interrupts und Ports (Abbildung 51 S.61). HALCoGen integriert automatisch Interruptfunktionen die beim Auslösen aufgerufen werden und den vom Benutzer erstellten Code abarbeiten. Weiterhin werden Sicherheitsfunktionen wie beispielsweise die Verwendung beider Prozessoren und deren Plausibilität hinzugefügt.

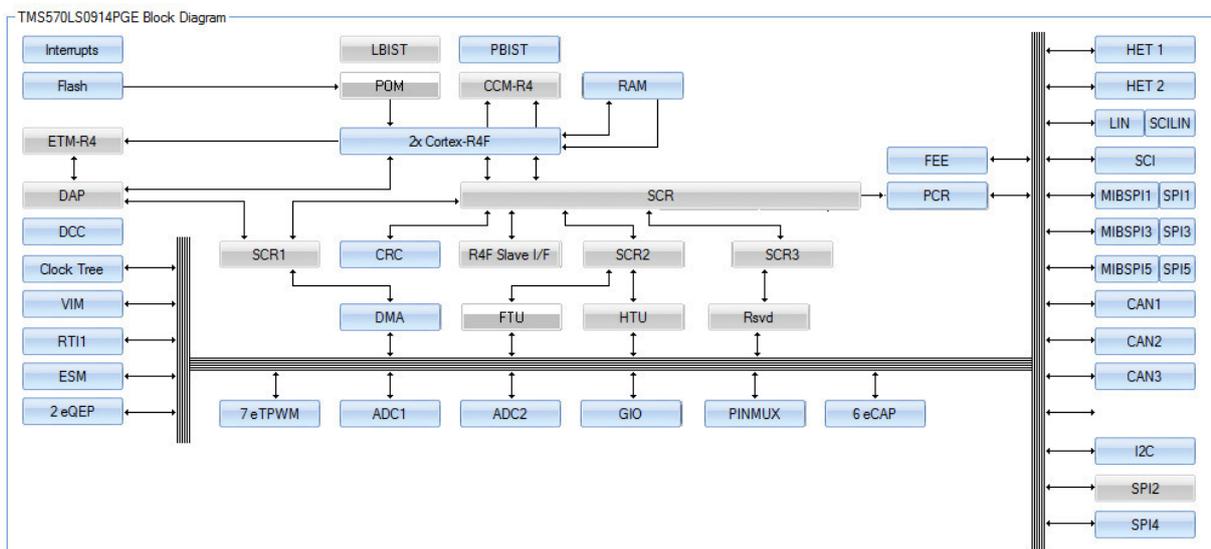


Abbildung 51: HALCoGen Blockdiagramm TMS570LS0914

Die Anforderungen an die Module ergeben sich aus den Fahrzeugparametern, den Herstellerdaten der Bauteile sowie den selbstdefinierten Einstellung. Für das Testprogramm sind folgende Module zu aktivieren und parametrieren:

RTI (Real Time Interrupt) Modul	Definition zeitgesteuerter Interruptauslösung, Interrupt 0: 20 ms, Interrupt 1: 100 ms
GPIO Modul	Definition interner Portmultiplexer für GIOA und GIOB Pins, Interrupteinstellungen
CAN Modul	Aktivierung CAN Modul 1, Übertragungsrate 500 kbit/s Definition Nachrichten: 0x600 - 0x604, 8 Byte Datenlänge Definition Empfangsnachricht: 0x622, 8 Byte Datenlänge, Interrupt bei Eintreffen
I <sup>2</sup> C Modul	Übertragungsrate 100 kHz, Master-Modus mit 7 Bit Adressierung, Datenlänge 8 Bit
SPI Modul	Aktivierung SPI Modul 1, Übertragungsrate 30 MHz, Datenpakete 1, Datenlänge 16 Bit, Taktleitung halbe Periode verspätet (Definition laut Hersteller LED- Treiber)
HET Modul	Definition HET-Multiplexer, HET1-Pin 12/14 als Ausgangspin, Startzustand Low
ADC 1 / 2 Modul	Start Auslesevorgang bei RTI-Interrupt 0, Auflösung 12 Bit, Datenspeichergröße 16 Bit Aktivierung ADC Kanäle für Tankstand, Abblendlicht, Standlicht, Versorgungsspannung 12 V, Sensorspannung, Platinentemperatur, Wassertemperatur, Ladelufttemperatur
DCC (Dual Clock Comperator) Modul	Vergleich Prozessortakt, Oszillatortakt Interrupt bei Abweichungen

**Tabelle 2: HALCoGen Moduleinstellungen Zentralsteuergerät**

Nachdem der Code generiert ist, kann dieser an Code Composer Studio übertragen werden.

## 5.2.2. Code Composer Studio

Mit Code Composer Studio wird die Abhandlung des Programms sowie der Interrupts geschrieben. In Anhang 8 wird der Ablauf des Codes als Programmablaufplan (PAP) dargestellt.

Am Beispiel des Lufttemperatursensors wird die Auswertung eines ADC-Wertes dargestellt. Der Wertebereich des ADC liegt zwischen 0 und 4096 ( $2^{12}$  Bit). Jeder Wert steht dabei für eine bestimmte Spannung.

$$U_{ADC} = \frac{U_{CC}}{2^{ADC \text{ Auflösung}}} \cdot ADC \text{ Wert} \quad (11)$$

$$\text{mit: } U_{CC} = 5 \text{ V}$$

Mit diesem Spannungswert kann, über die Formel des Spannungsteilers (Formel 12), der Widerstandswert des NTC errechnet werden.

$$R_{NTC} = \frac{R_1 \cdot U_{ADC}}{U_1} \quad (12)$$

$$\text{mit: } R_1 = 2000 \ \Omega$$

$$U_1 = U_{CC} - U_{ADC}$$

Das Verhalten eines NTC-Widerstandes wird mithilfe eines B-Wertes (B) beschrieben. Dieser ist mittels Widerstandskennlinie des Herstellers (Abbildung 18 S.29) zu ermitteln. Zur Berechnung ist die Näherungsformel zum NTC-Verhalten (vgl. Matthes, 2017 S. 7), nach B (Formel 14) umzustellen.

$$R_{100} = R_{25}^{B \cdot \left( \frac{1}{T_{100}} - \frac{1}{T_{25}} \right)} \quad (13)$$

$$B = \ln \left( \frac{R_{25}}{R_{100}} \right) \cdot \frac{T_{25} \cdot T_{100}}{T_{100} - T_{25}} \quad (14)$$

$$\text{mit: } R_{25} = 2500 \ \Omega$$

$$R_{100} = 187 \ \Omega$$

$$T_{25} [\text{K}] = 298,15 \text{ K}$$

$$T_{100} [\text{K}] = 373,15 \text{ K}$$

Zur Ermittlung des Temperaturwertes ist Formel 13 umzustellen. Um das Ergebnis in Grad Celsius ausgeben zu können, ist die Umrechnung von Kelvin einzubinden.

$$T_{ADC} = \frac{T_{25}}{1 - \ln\left(\frac{R_1}{R_{NTC}}\right) \cdot \frac{T_1}{B}} - K \quad (15)$$

mit:  $K = 273,15 \text{ K}$

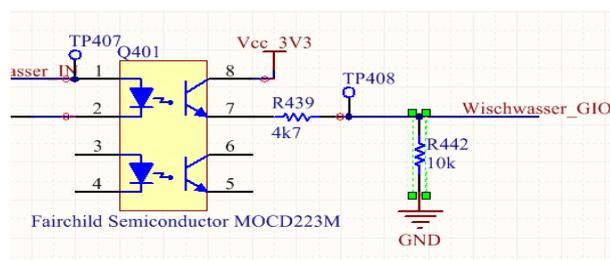
Die ausgewerteten Daten werden entsprechend einer CAN-Matrix (Anhang 9) hinterlegt und anschließend übertragen.

### 5.3. Experimentelle Ergebnisse

Die untere Platine wird zunächst einzeln auf die Versorgungsspannungen von 12 V und 5 V geprüft (vgl. Anhang 2). Anschließend werden die High-Side-Schalter (Licht und Türschlösser) sowie die Fensterheberrelais zugeschaltet und die Ausgangskanäle mit einer 5 W Lampe belastet. Da kein Fehlverhalten der Ausgangssignale und Beschaltungen festgestellt wird, kann der Test mit den Scheinwerfern des Apollo N fortgesetzt werden. Beschalten sind nun die vorderen Stand-, Abblend-, Fern- sowie Blinklichtlampen. Bei Start des Versuchs hat die Platine eine Temperatur (Raumtemperatur) von 21 °C. Bei einem Gesamtstrom von 22 A und einer Betriebsspannung von 12 V erwärmt sich die Platine um 30 °C. Eine Einzelbegutachtung des Abblendlichtes, mit einem Strom von 10 A bei 12 V Betriebsspannung, führt zu einer Temperaturerhöhung der Leiterbahn (2,5 mm) um 20 °C. Der berechnete Wert im Abschnitt 4.4 beträgt 45 °C (Design News). Dementsprechend sind die Leiterbahnen und Kühlflächen der High-Side-Schalter ausreichend dimensioniert und führen nicht zu einer Überhitzung der Leiterbahnen oder Bauteile. Die Formel zur Berechnung der Leiterbahnbreite nach IPC zeigt in diesem Fall ein realistischeres Ergebnis. Die Überdimensionierung der Leiterbahnen ermöglicht zudem höhere Reserven bei größerer Strombelastung durch beispielsweise auftretende Kurzschlüsse.

Durch den Verbund der Platinen zu einem Steuergerät werden zunächst die Spannungsversorgungen (5 V Sensor, 5 V Referenz, 3,3 V sowie 1,2 V) der oberen Platine überprüft (vgl. Anhang 2). Anschließend können die Eingangsschaltungen

(Tür- und Haubenkontakte, Fensterheberschalter, Flüssigkeitsstände, Beleuchtungsanlage, Generatorzustand und WFS Zustand) durch Aufschalten von 0 V beziehungsweise 12 V überprüft werden. Mit Hilfe eines Multimeters werden die Eingangsspannungen der GPIOs gemessen. Diese dürfen laut Herstellerdatenblatt einen Spannungsbereich zwischen -0,3 und 0,8 V für Low sowie 2 bis 3,6 V für High aufweisen. Die Messwerte der Eingangssignale liegen für Low bei 0 V und für High bei 3,2 V. Somit sind diese im Toleranzbereich und zudem wie in Abbildung 31 (S.39) simuliert. Bei der Überprüfung des Wischwasserstandeingangspins am Mikrocontroller tritt aufgrund eines fehlenden Pulldown-Widerstandes ein undefinierter Zustand auf. Der Spannungswert im Low-Zustand ist größer 1,6 V. Eine korrekte Auswertung in diesem Zustand ist nicht möglich. Um die Funktionsweise dennoch testen zu können, kann hilfsweise der fehlende Pulldown-Widerstand platziert werden. In Abbildung 52 ist der fehlende Widerstand hinzugefügt.



**Abbildung 52: Schaltung Scheibenwischerstand, zusätzlich R442**

Mit dem Versuchsaufbau (Abbildung 50 S.60) können weitere Tests der Hardware und Software vorgenommen werden. Im Folgenden werden Beispiele zur Überprüfung des Zentralsteuergerätes näher definiert. Anhand dieser Vorgehensweisen können alle anderen im Versuchsaufbau integrierten Komponenten überprüft werden.

Die Überprüfung der Beleuchtungsanlage und deren Überwachung wird anhand des Standlichts dargestellt. Das Standlicht wird mittels Lichtschalter eingeschaltet. Das Aufleuchten der Lampen beweist die Funktionalität der Eingangsschaltung sowie der Ausgabeschaltung (High-Side-Schalter). Die Auswertung der Lichtüberwachung wird über den auf Pin 15 durchgeschalteten Multiplexer am ADC1-Kanal 1 realisiert. Zusätzlich wird für die Analyse des Lichtschalters der Schaltzustand mithilfe des GPIO-Expanders via I<sup>2</sup>C ausgelesen.

Der ADC-Wert kann für eine 5 W Standlichtlampe folgende im Betrieb ermittelte Werte annehmen:

Standlicht	Glühlampe	ADC-Wert
Aktiv	Intakt	175
Aktiv	Defekt	45
Inaktiv	Intakt	20
Inaktiv	Defekt	1900

**Tabelle 3: ermittelte ADC-Werte Lichtüberwachung Standlicht**

Mit den Zuständen und Werten aus Tabelle 3 kann im Mikrocontroller eindeutig definiert werden wann eine Glühlampe defekt oder intakt ist. Diese Vorgehensweise kann für alle anderen Leuchtmittel zur Diagnose eingesetzt werden.

Die Auswertung eines ADC-Wertes des Temperatursensors kann mithilfe der in Kapitel 5.2.2 beschriebenen Berechnung durchgeführt werden. Eine funktionstüchtige Schaltung stellt mit dem angeschlossenen NTC M12-L die zu erwartende Raumtemperatur von 21 °C dar (Abbildung 53, Ladelufttemperatur).

Die durch HALCoGen definierten und mithilfe des Mikrocontrollers beschriebenen sowie gesendeten CAN-Nachrichten können mit einem CAN-Tool, wie beispielsweise Busmaster, empfangen und auf Vollständigkeit kontrolliert werden (Abbildung 53 S.65). Eine zusätzliche Funktion des Tools ist die Simulation von CAN-Nachrichten (0x622) zur Überprüfung des Empfangs im Steuergerät. Mit diesem Test kann mittels der Nachricht 0x622 das Rückfahrlicht eingeschaltet werden.

Time	Tx/Rx	Channel	Msg	ID	Message	DLC	Data Byte(s)
10:18:05:5075	Rx	1	s	0x601	Spannungen	8	39 2F 16 14 00 00 00 00
		0x2F39	12.089		V		
		0x1416	5.142		V		
10:18:05:5077	Rx	1	s	0x602	GIO_Exp...	8	00 00 00 00 00 00 00 00
		Abblendlicht	0x0	0			
		Standlicht	0x0	0			
		Blinker_li	0x0	0			
		Blinker_re	0x0	0			
		FH_li_zu	0x0	0			
		FH_li_auf	0x0	0			
		FH_re_zu	0x0	0			
		FH_re_auf	0x0	0			
10:18:05:5080	Rx	1	s	0x603	Kontakte	8	00 00 00 00 56 00 00 00
10:18:05:5083	Rx	1	s	0x604	Abblend...	8	00 00 00 00 00 00 00 00
		Abblendlicht_li_kalt	0x0	0			
		Abblendlicht_re_kalt	0x0	0			
		Abblendlicht_li_war	0x0	0			
		Abblendlicht_re_warm	0x0	0			
		Standlicht_vo_li_kalt	0x0	0			
		Standlicht_vo_re_kalt	0x0	0			
		Standlicht_vo_li_warm	0x0	0			
		Standlicht_vo_re_warm	0x0	0			
10:18:05:5072	Rx	1	s	0x600	Tempera...	8	19 00 15 00 15 00 00 00
		Board	0x19	25		°C	
		Ladeluft	0x15	21		°C	
		Motoroel	0x15	21		°C	
10:18:05:5904	Tx	1	s	0x622	Senden	8	00 00 00 00 00 00 00 00
		RFL	0x0	0			
		R_Diagnose	0x0	0			

**Abbildung 53: Busmaster, CAN-Nachrichten Zentralsteuergerät**

Zur Überprüfung der Fensterheberschaltung sind im Testaufbau die originalen, im Apollo N verbauten, Fensterheberschalter montiert. Die Schalter steuern vier 5 W Glühlampen an und simulieren die Fensterhebermotoren durch eine optische Anzeige (Abbildung 50 S.60). Sobald der linke Fensterheberschalter das Signal Scheibe senken sendet, leuchtet die untere linke Kontrolllampe auf.

Der Bremsflüssigkeitsstand wird mit dem Sensor LS02 außerhalb des Bremsflüssigkeitsbehälters simuliert (Abbildung 50 S.60). Sobald der Schwimmer seine Endlage (unten) verlässt, schließt der Schalter und der Eingangspin am Mikrocontroller wird auf Masse gezogen. Somit ist eindeutig definierbar, ab wann der Bremsflüssigkeitsstand zu niedrig ist.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Mit Abschluss des Kapitels Inbetriebnahme ist ein funktionstüchtiges Zentralsteuergerät entstanden, welches die erforderlichen Kernfunktionen bereitstellt und für weitere Testdurchläufe im Fahrzeug zur Verfügung steht (Anhang 10). Durch die Einbringung, der in Kapitel 4 erläuterten Funktionen und der daraus entstandenen Zusammenführung verschiedener Einzelsysteme, ist eine erheblich gesteigerte Vernetzung aller beteiligten Komponenten entstanden. Besonders hervorzuheben ist die Verbesserung der Diagnosemöglichkeiten aller Einzelkomponenten sowie die dadurch minimierte Anzahl an Fehlerquellen, welche sich aufgrund der optimierten Kommunikation im System und der Rationalisierung ineffizienter Hardwarekomponenten ergibt. Beim Vergleich von Abbildung 54 mit Abbildung 3 wird offensichtlich, dass alle vorgegebenen Subsysteme über das Zentralsteuergerät gesteuert beziehungsweise überwacht werden können.

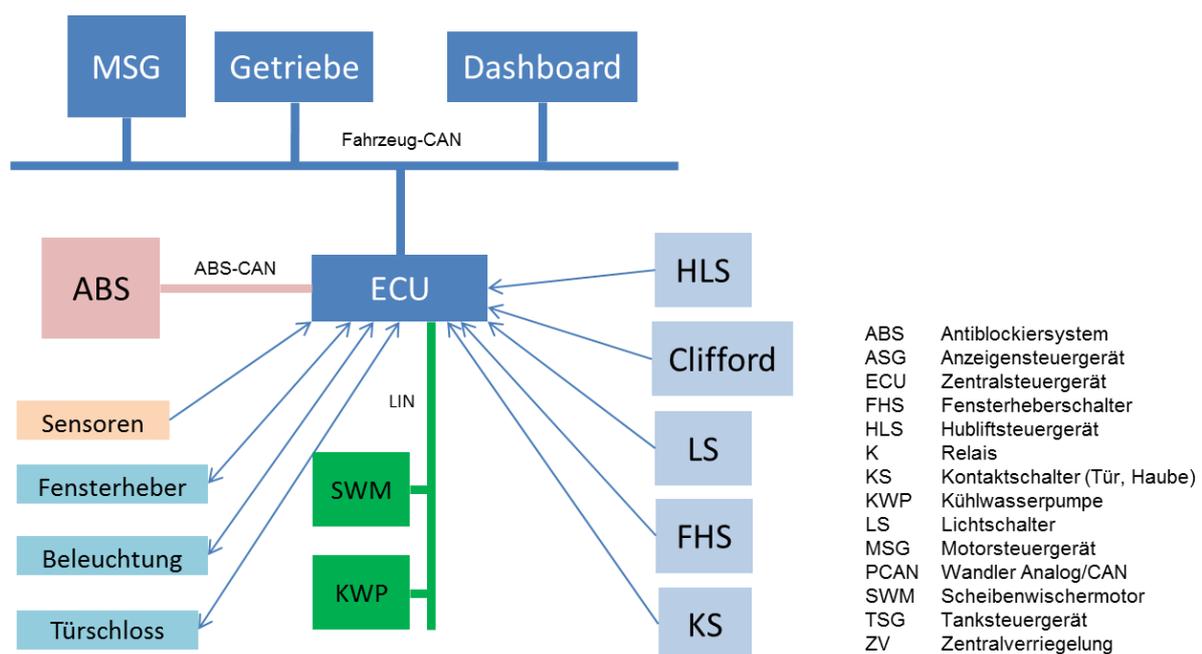


Abbildung 54: Systemvernetzung Apollo N mit Zentralsteuergerät

Die Verringerung der fremdproduzierten Steuergeräte ermöglicht die Einsparung teilebezogener Ressourcen, bei zeitgleicher Erhöhung der Individualisierungsmöglichkeiten durch hausinterne Prozesse.

Zukunftsorientiert wurde bereits bei der Erarbeitung des Layouts eine Erweiterungsmöglichkeit für zusätzliche Sensoren und Eingangssignale technisch bereitgestellt. Je nach Anwendungsfall können die bereits integrierten Reserveschaltungen individuell bestückt werden.

Anstatt einer komplexen Fehlersuche ermöglicht die Einführung von Fehlercodes im Steuergerät eine erweiterte Auswertungsfunktion zur Eingrenzung der Störung. Eine optische Datenausgabe im Dashboard ist mittels direkter Anbindung an das CAN-Netzwerk realisierbar.

Durch die Verwendung LIN-fähiger Kühlwasserpumpen und im Steuergerät integrierter Auswerteschaltungen für bis zu sieben Temperatursensoren, kann das System effizient auf Wärmeeinflüsse reagieren, sodass das Kühlswassersystem des Motors bestmöglich reguliert wird.

Für eine weitere Verwendung des konstruierten Steuergeräts, vor allem zu umfangreichen Testzwecken, ist die Substitution des provisorischen Pulldown-Widerstandes (vgl. Abbildung 52 S.63) am Wischwassereingang durch eine endgültige Lösung sinnvoll.

Nachfolgende vollwertige Tests im Fahrzeug können weitere Fehler durch Störungen im Bordnetz oder Strahlungen aufzeigen. Durch die Optimierung des Leiterplattenlayouts oder durch geeignete Filtermaßnahmen wäre in diesem Fall eine Reduzierung der Defizite leicht umzusetzen.

Aufgrund der geringen Wärmeentwicklung und der verwendeten Bauteile im 0805-Format, kann das Steuergerät bei Bedarf auch platzsparender dimensioniert werden.

## Literaturverzeichnis

**Dipl.-Ing. L. Claus, Dipl.-Ing. B. Körber.** CAN (High Speed); EMV-Eigenschaften von Fahrzeugtopologien, Treiberbausteinen und Entstörkomponenten. Westsächsische Hochschule Zwickau : s.n.

**Apollo Automobil GmbH. 2017.** *Firmengeschichte*. Denkendorf : s.n., 2017.

**Bosch Motorsport . 2017.** www.Bosch-Motorsport.com. [Online] 14. März 2017. [Zitat vom: 18. August 2017.] [http://www.bosch-motorsport.com/media/catalog\\_resources/Temperature\\_Sensor\\_NTC\\_M12-L\\_Datasheet\\_51\\_en\\_2782650379pdf.pdf](http://www.bosch-motorsport.com/media/catalog_resources/Temperature_Sensor_NTC_M12-L_Datasheet_51_en_2782650379pdf.pdf).

**Bosch Motorsport. 2017.** www.Bosch-Motorsport.com. [Online] 14. März 2017. [Zitat vom: 18. August 2017.] [http://www.bosch-motorsport.de/media/catalog\\_resources/Temperature\\_Sensor\\_NTC\\_M12-H\\_Datasheet\\_51\\_en\\_2782610059pdf.pdf](http://www.bosch-motorsport.de/media/catalog_resources/Temperature_Sensor_NTC_M12-H_Datasheet_51_en_2782610059pdf.pdf).

**Continental Automotive GmbH. 2017.** www.vdo-shop.de. [Online] 2017. [Zitat vom: 22. September 2018.] [https://www.vdo-shop.de/de\\_DE/item/224-011-000-500G/Kraftstoff-Tauchrohrgeber-Metall-Standard-500-mm-Lochkreisdurchmesser-54-mm.html](https://www.vdo-shop.de/de_DE/item/224-011-000-500G/Kraftstoff-Tauchrohrgeber-Metall-Standard-500-mm-Lochkreisdurchmesser-54-mm.html).

—. 2017. www.vdo-shop.de. [Online] 2017. [Zitat vom: 10. Oktober 2018.] [https://www.vdo-shop.de/de\\_DE/item/360-081-030-015C/Drucksensor-10-bar-1-8-27-NPTF.html](https://www.vdo-shop.de/de_DE/item/360-081-030-015C/Drucksensor-10-bar-1-8-27-NPTF.html).

**Focus Online. 2015.** <http://www.focus.de>. [Online] 22. Juli 2015. [Zitat vom: 16. September 2017.] [http://www.focus.de/auto/ratgeber/sicherheit/hitze-tabelle-50-grad-nach-zehn-minuten-so-schnell-kochen-kinder-im-auto\\_id\\_4830150.html](http://www.focus.de/auto/ratgeber/sicherheit/hitze-tabelle-50-grad-nach-zehn-minuten-so-schnell-kochen-kinder-im-auto_id_4830150.html).

**Krüger, Manfred. 2004.** *Grundlagen der Kraftfahrzeugelektronik 2. Auflage*. s.l. : Hanser, 2004.

**Lumitos GmbH. 2017.** www.chemie.de. [Online] 2017. [Zitat vom: 11. August 2017.] <http://www.chemie.de/lexikon/W%C3%A4rmeleitf%C3%A4higkeit.html>.

**Matthes, Prof. Dr. Wolfgang. 2017.** www.controllersandpc.de. [Online] 2017. [Zitat vom: 10. Oktober 2018.] [http://www.controllersandpcs.de/lehrarchiv/pdfs/elektronik/pass01\\_03x.pdf](http://www.controllersandpcs.de/lehrarchiv/pdfs/elektronik/pass01_03x.pdf).

**Multi Leiterplatten GmbH. 2017.** <https://www.multi-circuit-boards.eu>. [Online] 2017. [Zitat vom: 19. September 2017.] <https://www.multi-circuit-boards.eu/leiterplatten-design-hilfe/oberflaeche/leiterbahn-strombelastbarkeit.html>.

**Statista GmbH. 2017.** Beschäftigte in der deutschen Automobilindustrie in den Jahren 2005 bis 2016. [Online] 2017. [Zitat vom: 18. Oktober 2017.]



<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/30703/umfrage/beschaefigtigszahl-in-der-automobilindustrie/>.

## **Verweise auf Normen**

### **ISO 7637**

Road vehicles – Electrical disturbance by conduction and coupling –  
Part 2: Passenger cars and light commercial vehicles with nominal 24 V Supply  
Voltage, Electrical transient conduction along supply lines only

### **ECE R10**

Amtsblatt der Europäischen Union vom 17.2.2017

Regelung Nr. 10 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa  
(UNECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge  
hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit [2017/260]

### **ECE R20**

Amtsblatt der Europäischen Union vom 16.7.2008

Regelung Nr. 21 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa  
(UN/ECE) — Einheitliche Vorschriften für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen  
hinsichtlich ihrer Innenausstattung.

### **ECE R48**

Amtsblatt der Europäischen Union vom 30.09.2016

Regelung Nr. 48 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa  
(UN/ECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen  
hinsichtlich des Anbaus der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen [2016/1723]

### **ISO/DIS 16 750**

Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic  
equipment

Part 2: Electrical Loads

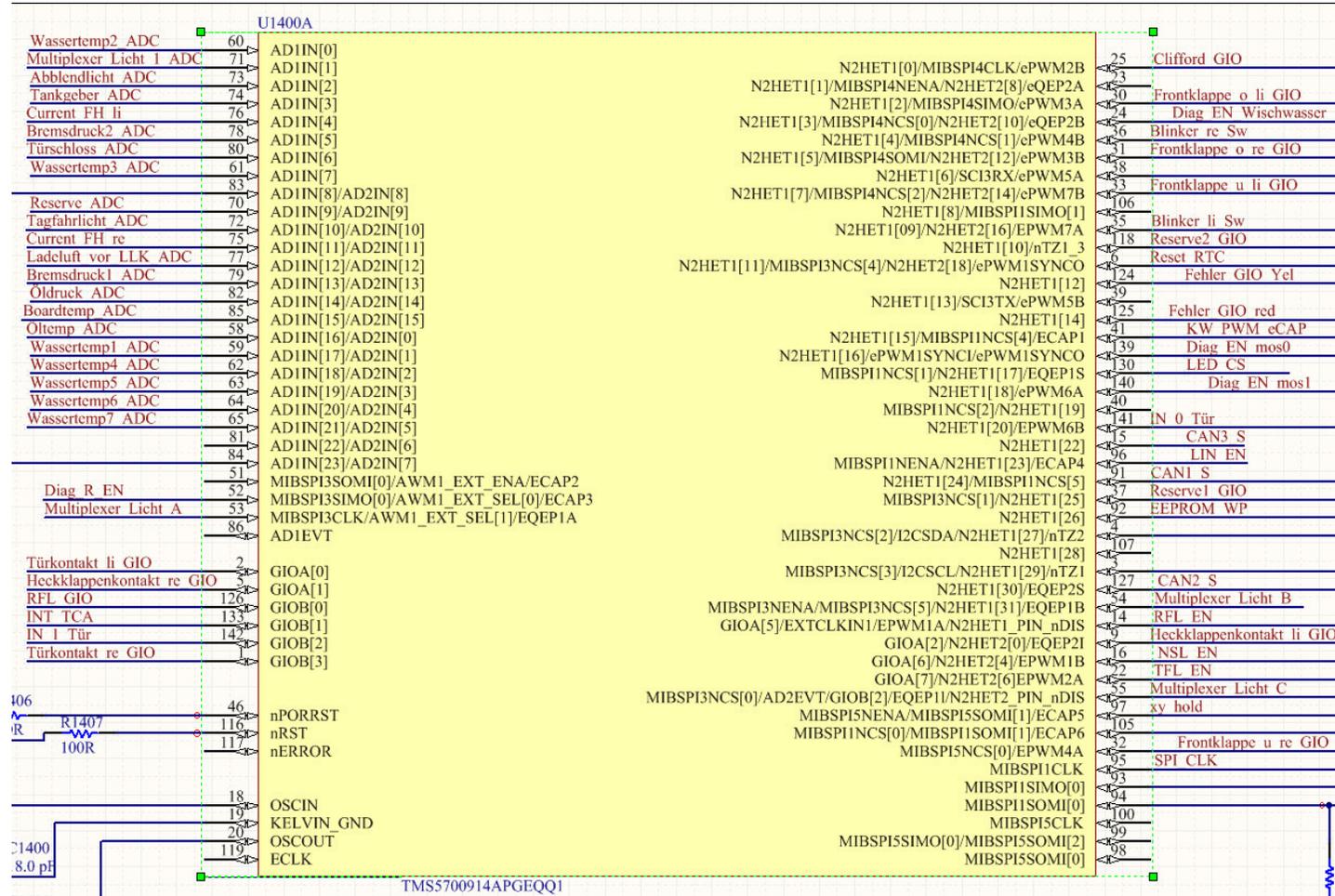


## Anhangsverzeichnis

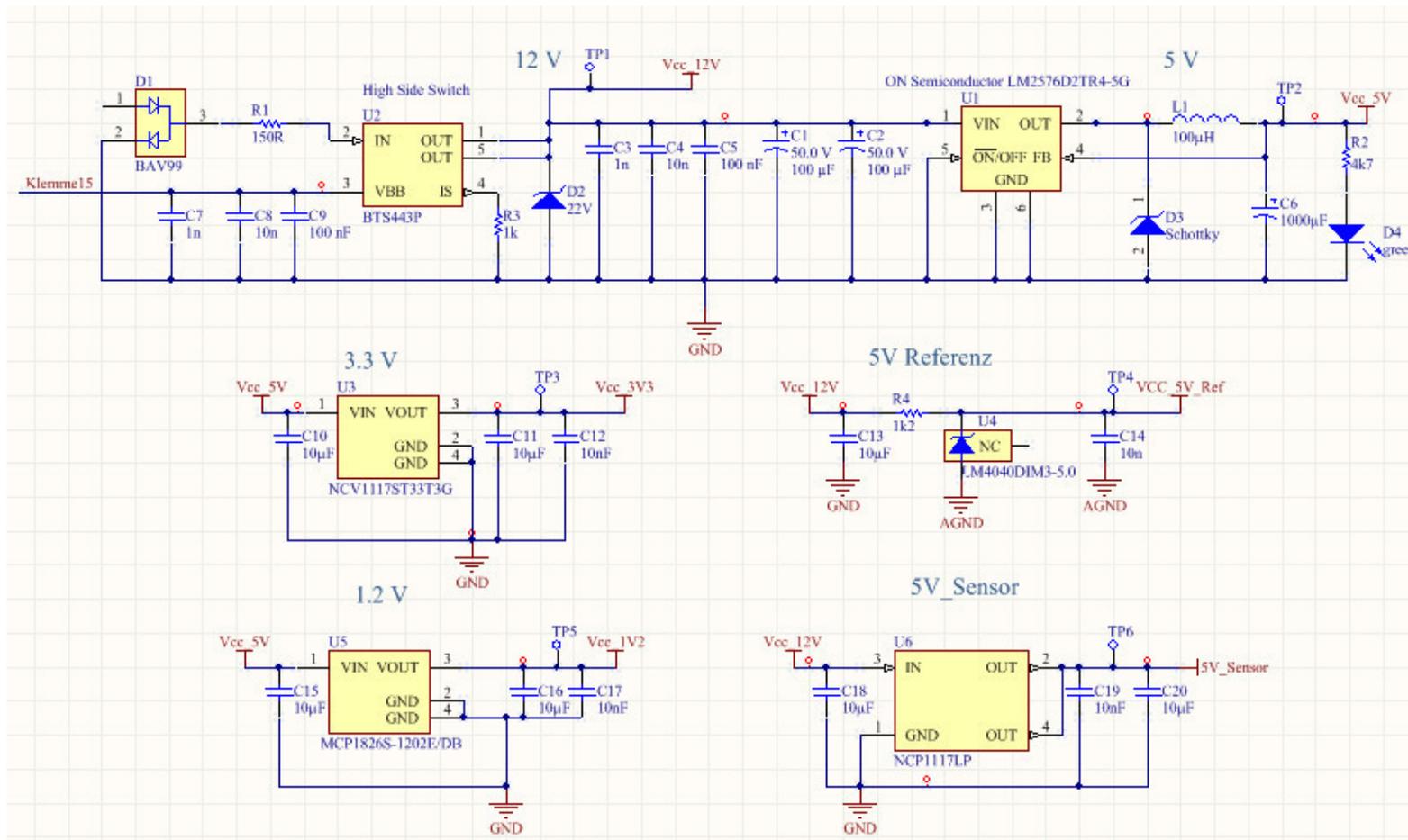
Anhang 1: Pinbelegung TMS570LS0914PGE .....	XIV
Anhang 2: Schaltung Spannungsversorgung Zentralsteuergerät .....	XV
Anhang 3: Strombelastung Zentralsteuergerät .....	XVI
Anhang 4: Leiterplatte unten, Ansicht von oben, Massepolygone ausgeblendet....	XVII
Anhang 5: Leiterplatte oben, Ansicht von oben, Massepolygone ausgeblendet....	XVIII
Anhang 6: Platinenschraubverbinder.....	XIX
Anhang 7: Platinenprototypen Zentralsteuergerät, bestückt.....	XIX
Anhang 8: PAP Testprogramm Zentralsteuergerät.....	XX
Anhang 9: Test CAN-Matrix Zentralsteuergerät.....	XXI
Anhang 10: Zentralsteuergerät .....	XXII



## Anhang 1: Pinbelegung TMS570LS0914PGE



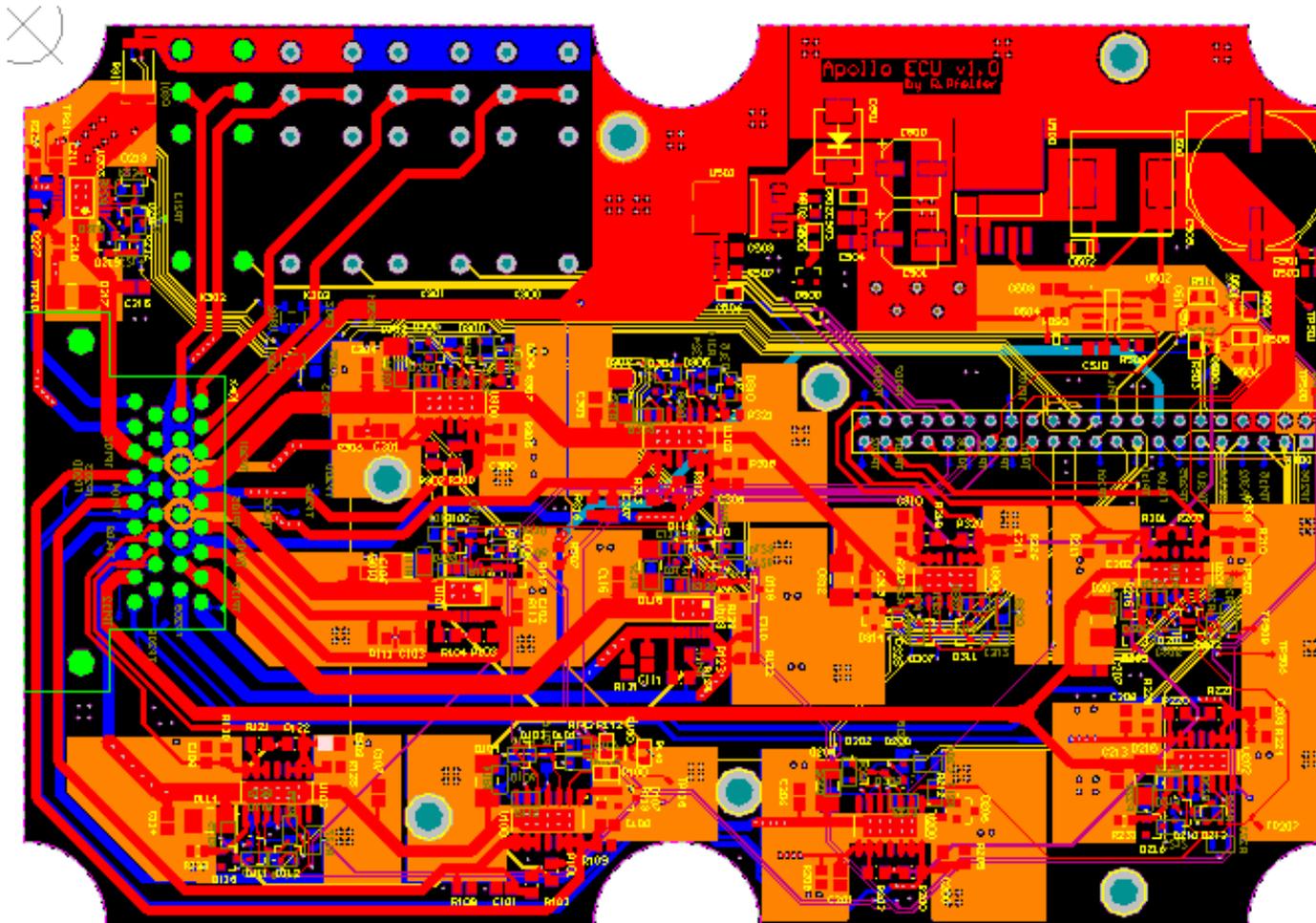
## Anhang 2: Schaltung Spannungsversorgung Zentralsteuergerät



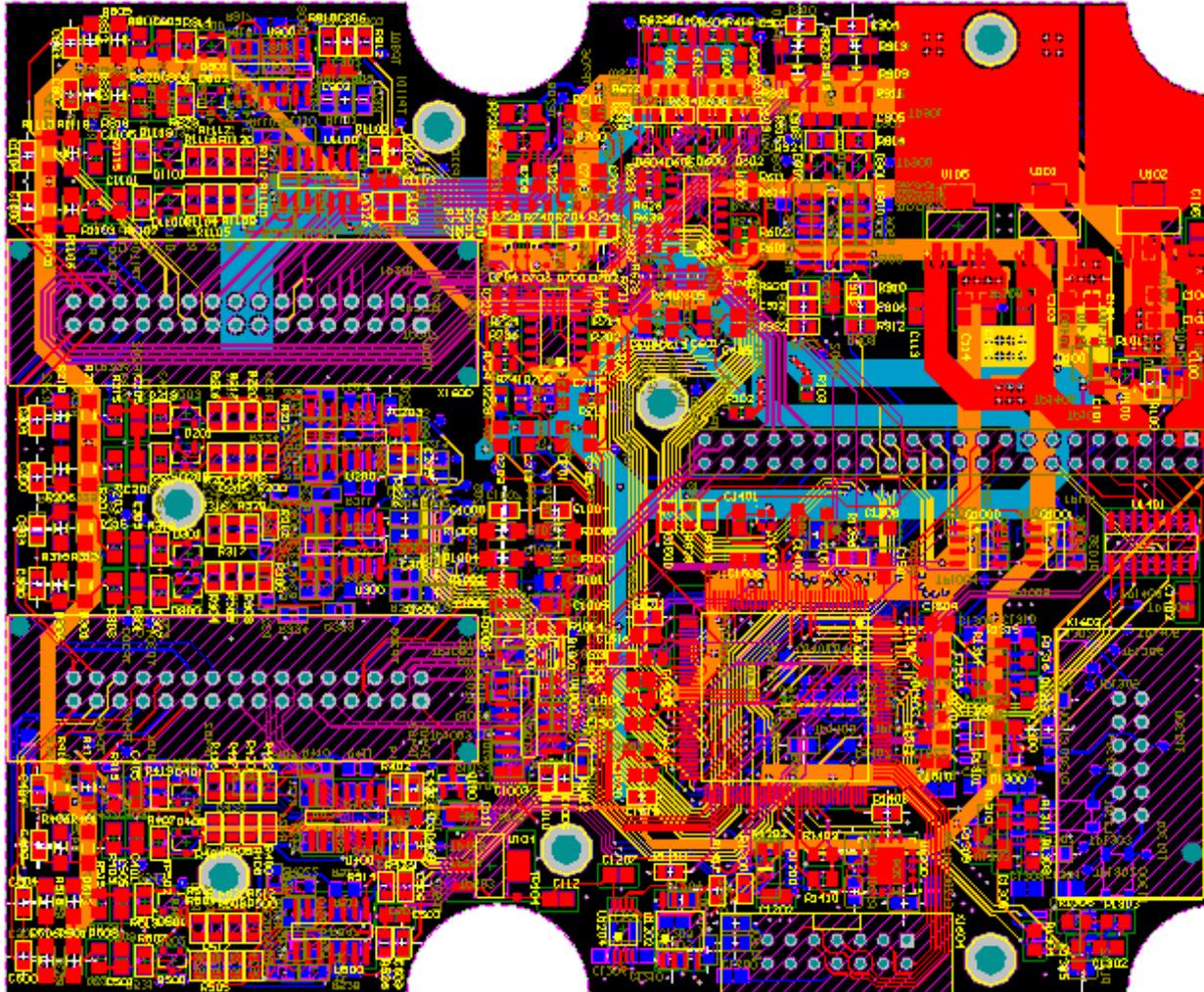
### Anhang 3: Strombelastung Zentralsteuergerät

Verbraucher			Anzahl	Bezeichnung	Strom [mA]	
12V BTS443P 1,32	5V LM2576 1,14	3,3V NCV1117ST33 1,05	LED Board	3	LED	10
			TMS570	1	Controller	700
			MMA6901	1	2 Wege	8
			24LC512	1	EEPROM	5
			LM239DT	8	OPV	1
			TCA9535	1	GIO Expander	20
			TCAN1051	3	CAN Transceiver	70
			MAX6966	1	LED Treiber	60
			MOCD223M	3	Optokoppler	2
	1,2V MCP1826S	TMS570	1	Controller		
		TL7709ACD	1	Supervisor	2	
		DMG1029SV-7	3		30	
		INA194	2	IC-OPV	1	
		CD4051	1	Multiplexer	0,05	
		MCP6004	2	OPV	0,1	
		5V Sensor	NCP1117LP	1		200
5V Referenz	LM4040	1	U Referenz	6		
TJA1027		1	LIN Transceiver.	2		
TCAN 1051		3	CAN Transceiver			
Klemme30	3,3V RTC	MCP1825S	1		0,5	

## Anhang 4: Leiterplatte unten, Ansicht von oben, Massepolygone ausgeblendet



## Anhang 5: Leiterplatte oben, Ansicht von oben, Massepolygone ausgeblendet

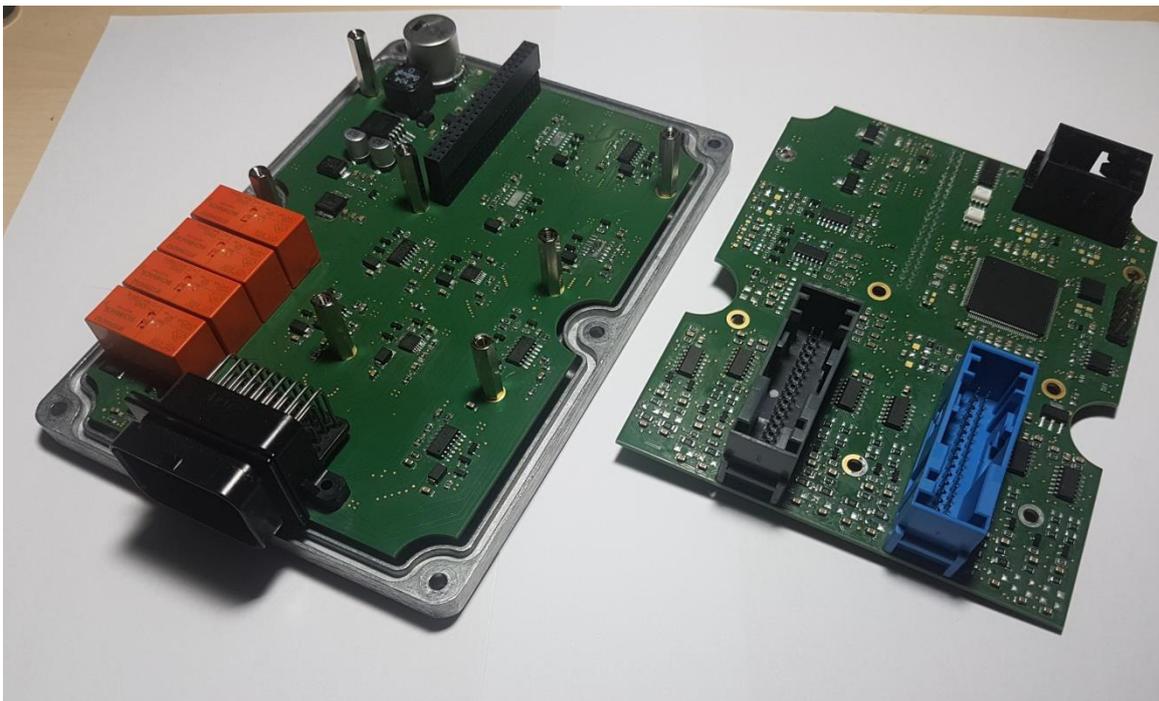




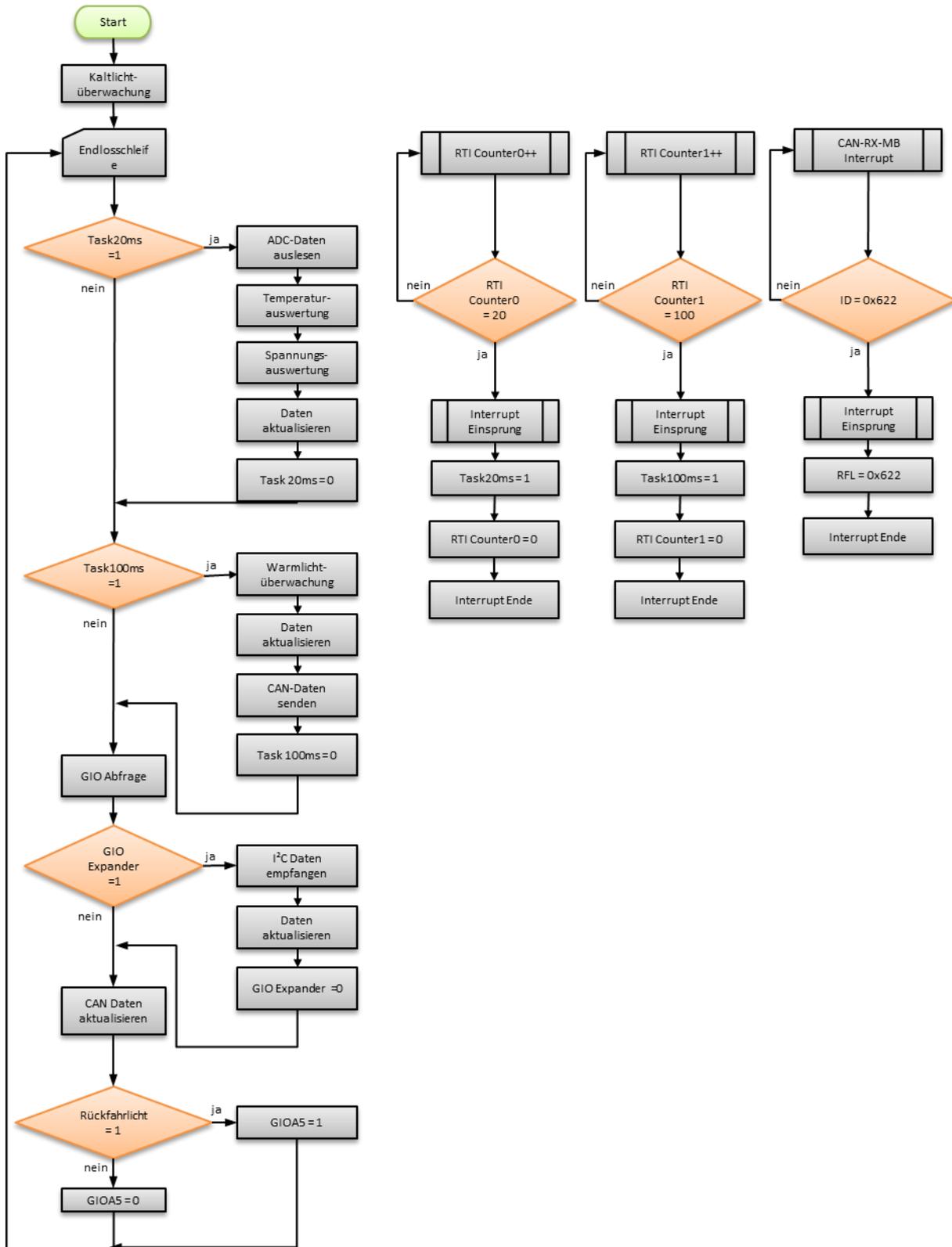
## Anhang 6: Platinenschraubverbinder



## Anhang 7: Platinenprototypen Zentralsteuergerät, bestückt



## Anhang 8: PAP Testprogramm Zentralsteuergerät



## Anhang 9: Test CAN-Matrix Zentralsteuergerät

Botschaft	Identifizier [hex]	Datenlänge [Byte]	Zykluszeit [ms]	Byte								Werte- bereich
				7	6	5	4	3	2	1	0	
Temperaturen	0x600	8	100	ADC Ladelufttemp		Kühlwasser		Ladeluft		Board		0-65536
Spannungen	0x601	8	100	Tankstand		Sensorspannung		Bordnetzspannung				0-65536
GIO Expander	0x602	8	100	FH re auf	FH re zu	FH li auf	FH li zu	Blinker re	Blinker li	Standlicht	Abblendlicht	0, 1
Kontakte	0x603	8	100					Türschlos.re	Türschl.li	WFS	Bremsfl.stand	0, 1
Licht vorn	0x604	8	100	Standl.re warm	Standl.li warm	Standl.re kalt	Standl.li kalt	Abblendl.re warm	Abblendl.li warm	Abblendl.re kalt	Abblendl.li kalt	0, 1
Senden	0x622	8	100							R_Diagnose	RFL	0, 1

## Anhang 10: Zentralsteuergerät

