

Masterarbeit

# ***Entwicklung einer Motorsteuerung auf Basis des Infineon TC1797 Mikrocontrollers***

Durchgeführt am Institut für Elektronik an der Technischen Universität Graz



in Zusammenarbeit mit AVL List GmbH in Graz



von

Mario Oswald

An dieser Stelle möchte ich mich bedanken bei:

- Herrn DI Dr. Bernd Eichberger für die Betreuung der Arbeit seitens des Institutes für Elektronik an der TU Graz.
- Herrn DI Dr. Eduard Unger für die Möglichkeit und Betreuung der Arbeit seitens der AVL List GmbH.
- meinen Arbeitskollegen, allen voran Herrn DI(FH) Claus Lechner und Herrn DI Thomas Tscherning, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind sowie für ein hervorragendes Arbeitsklima verantwortlich waren.

Vor allem möchte ich mich hiermit bei meiner Familie für die großartige Unterstützung und Motivation während meines gesamten Studiums bedanken.

Besonders meiner Freundin Verena und ihrer Familie gilt an dieser Stelle auch mein ganz persönlicher Dank für die tatkräftige Unterstützung.

---

**Eidesstattliche Erklärung**

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

Graz, Jänner 2010

---

Unterschrift

---

## Kurzfassung

# Entwicklung einer Motorsteuerung auf Basis des Infineon TC1797 Mikrocontrollers

Die Motorsteuerung einer Verbrennungskraftmaschine nimmt eine zentrale Rolle bei deren Betrieb ein und ist für eine Vielzahl von Steuerungs- und Regelungsaufgaben des Antriebsstrangs verantwortlich. Die steigenden Anforderungen, vor allem seitens der Gesetzgebung hinsichtlich der Emissionen, erfordern eine ständige Optimierung und Weiterentwicklung der Motorenkonzepte und resultierend daraus hochleistungsfähige Motormanagement-Systeme. Um für aktuelle und zukünftige Funktionsentwicklungen im Bereich des Antriebsstrangs eine Hardware-Plattform zu besitzen, wird im Rahmen dieser Arbeit ein Motorsteuergerät für Ottomotoren mit bis zu acht Zylindern entwickelt.

Als konzeptionelle Basis der Entwicklung dient das bisherige Motorsteuergerät mit der Bezeichnung AVL RPEMS-NG, welches in Zusammenarbeit der Firmen AVL List GmbH und Infineon Technologies AG entstanden ist. Die im Zuge dieser Arbeit entwickelte Motorsteuerung mit der Bezeichnung AVL RPEMS FUTURE basiert dabei auf dem 32-bit Mikrocontroller TC1796 bzw. der pin-kompatiblen Weiterentwicklung TC1797 von Infineon und vereint alle erforderlichen Bausteine und Schaltungselemente auf einer Platine. Die wesentlichen Weiterentwicklungen betreffen die Integration der Direkteinspritzung, der Flexray Schnittstelle, der Hochdruckpumpenansteuerung, der Klopfkennung sowie der Breitband-Lambdasondenansteuerung. Darüber hinaus ist ein Platinenkonzept entwickelt worden, welches speziell den hohen Anforderungen hinsichtlich der Störsicherheit und der Kühlung erfüllt.

Der erfolgreiche Nachweis der Funktionalität erfolgte sowohl im Labor als auch an einem Versuchsfahrzeug.

Suchbegriffe: Motorsteuergerät, Motorsteuerung, TriCore, TC1796, TC1797

---

**Abstract**

## Development of an engine control unit based on Infineons TC1797 microcontroller

The engine control unit plays a primary role in the operation of a combustion engine and is responsible for a multitude of power train control functions. The increasing demands, particularly those of emissions legislation, call for the continuous optimisation as well as further development of engine concepts and as a result, in the development of high performance engine management systems. In order to establish a hardware platform for current and future power train function developments, this thesis concerns itself with the development of an engine control unit for gasoline engines with up to eight cylinders.

The preceding engine control unit, AVL RPEMS-NG, a joint development of AVL List GmbH and Infineon Technologies AG, serves as conceptual basis of the development work. The resulting engine management system, AVL RPEMS FUTURE, is based on the 32-bit microcontroller Infineon TC1796, respectively on the pin compatible enhancement of the Infineon TC1797 and units all necessary components and control elements on one circuit board. The essential improvements concern the integration of direct injection, the Flexray interface, the high pressure pump control, the knock detection as well as the broadband lambda sensor control. Furthermore, a circuit board concept, specially fulfilling the stringent demands with respect to interference resistance and cooling, was developed.

The functionality was verified on the test rig as well as in the vehicle.

Key words: Engine Management System, TriCore, TC1796, TC1797

# Inhaltsverzeichnis

|   |             |
|---|-------------|
| <b>INHALTSVERZEICHNIS.....</b>                                      | <b>VI</b>   |
| <b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</b>                                   | <b>IX</b>   |
| <b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>                                  | <b>XI</b>   |
| <b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>                                    | <b>XIII</b> |
| <b>1 EINLEITUNG.....</b>  | <b>1</b>    |
| 1.1    STAND DER TECHNIK .....                                      | 2           |
| <b>2 AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG.....</b>                      | <b>4</b>    |
| 2.1    FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN AN DAS MOTORSTEUERGERÄT.....       | 4           |
| 2.2    NICHTFUNKTIONALE ANFORDERUNGEN AN DAS MOTORSTEUERGERÄT ..... | 6           |
| 2.3    ANFORDERUNGEN AN DAS GEHÄUSE DES MOTORSTEUERGERÄTS .....     | 6           |
| 2.4    NACHWEIS DER FUNKTIONALITÄT .....                            | 6           |
| <b>3 HARDWARE .....</b>   | <b>8</b>    |
| 3.1    MIKROCONTROLLER .....  | 8           |
| 3.1.1    Anforderungen an den Mikrocontroller.....                  | 8           |
| 3.1.2    Auswahl und Beschreibung des Mikrocontrollers.....         | 10          |
| 3.1.2.1    Infineon TriCore TC1796/TC1797.....                      | 10          |
| 3.1.2.2    phyCORE-TC1796/-TC1797 Prozessormodul.....               | 13          |
| 3.2    SPANNUNGSVERSORGUNG .....                                    | 16          |
| 3.2.1    Anforderungen an die Spannungsversorgung.....              | 17          |
| 3.2.2    Realisierung der Spannungsversorgung.....                  | 18          |
| 3.2.2.1    Spannungsregler .....                                    | 18          |
| 3.2.2.2    EingangsfILTERstruktur .....                             | 22          |
| 3.3    CAN KOMMUNIKATION.....                                       | 23          |
| 3.3.1    Anforderungen an die CAN Kommunikation.....                | 23          |
| 3.3.2    Realisierung der CAN Kommunikation.....                    | 23          |
| 3.4    FLEXRAY KOMMUNIKATION .....                                  | 24          |
| 3.4.1    Anforderungen an die Flexray Kommunikation .....           | 24          |
| 3.4.2    Realisierung der Flexray Kommunikation.....                | 24          |
| 3.5    LEISTUNGSENDSTUFEN .....                                     | 25          |
| 3.5.1    Anforderungen an die Leistungsendstufen.....               | 26          |

---

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.5.2    | <i>Realisierung der Leistungsendstufen</i> .....  | 26 |
| 3.6      | LAMBDA-SONDEN AUSWERTUNG UND HEIZUNG .....  | 28 |
| 3.6.1    | <i>Anforderungen an die Auswertung und Heizung</i> .....                                  | 29 |
| 3.6.2    | <i>Realisierung der Auswertung für die Lambdasonden</i> .....                             | 29 |
| 3.6.2.1  | Zweipunkt-Lambdasonden .....  | 29 |
| 3.6.2.2  | Breitband-Lambdasonden .....  | 29 |
| 3.6.3    | <i>Realisierung der Heizung für die Lambdasonden</i> .....                                | 31 |
| 3.7      | DIREKTEINSPRITZUNG.....   | 32 |
| 3.7.1    | <i>Anforderungen an die Direkteinspritzung</i> .....                                      | 32 |
| 3.7.2    | <i>Realisierung der Direkteinspritzung</i> .....  | 33 |
| 3.8      | ANALOGUE SIGNALMESSUNG.....   | 35 |
| 3.8.1    | <i>Anforderung an die analoge Signalmessung</i> .....                                     | 35 |
| 3.8.2    | <i>Realisierung der analogen Signalmessung</i> .....                                      | 36 |
| 3.8.2.1  | Single-Ended Analogeingänge (Mikrocontroller).....  | 36 |
| 3.8.2.2  | Single-Ended Analogeingänge (externer Analog-to-Digital-Converter) .....                  | 38 |
| 3.8.2.3  | Differentielle Analogeingänge (Infineon Mikrocontroller) .....                            | 39 |
| 3.9      | SIGNALAUFBEREITUNG FÜR KURBEL- UND NOCKENWELLENSIGNAL .....                               | 40 |
| 3.9.1    | <i>Anforderungen an die Signalaufbereitung für Kurbel- und Nockenwellensignal</i> .....   | 40 |
| 3.9.2    | <i>Realisierung der Signalaufbereitung für Kurbelwellen- und Nockenwellensignal</i> ..... | 41 |
| 3.9.2.1  | Kurbelwellensignal.....   | 41 |
| 3.9.2.2  | Nockenwellensignal .....  | 42 |
| 3.10     | SIGNALAUFBEREITUNG FÜR DIGITALE EINGANGSSIGNALE.....                                      | 43 |
| 3.10.1   | <i>Anforderungen an die Signalaufbereitung für digitale Eingangssignale</i> .....         | 43 |
| 3.10.2   | <i>Realisierung der Signalaufbereitung für digitale Eingangssignale</i> .....             | 44 |
| 3.11     | ZÜNDUNG.....  | 45 |
| 3.11.1   | <i>Anforderung an die Schaltung zur Ansteuerung der Zündeinheit</i> .....                 | 46 |
| 3.11.2   | <i>Realisierung der Schaltung zur Ansteuerung der Zündeinheit</i> .....                   | 46 |
| 3.12     | DROSSELKLAPPENANSTEUERUNG .....   | 48 |
| 3.12.1   | <i>Anforderung an die Drosselklappenansteuerung</i> .....                                 | 48 |
| 3.12.2   | <i>Realisierung der Drosselklappenansteuerung</i> .....                                   | 48 |
| 3.13     | KLOPFERKENNUNG AM VERBRENNUNGSMOTOR.....  | 50 |
| 3.13.1   | <i>Anforderung an die Schaltung zur Klopferkennung</i> .....                              | 51 |
| 3.13.2   | <i>Realisierung der Schaltung zur Klopferkennung</i> .....                                | 51 |
| 3.14     | HOCHDRUCKPUMPE.....   | 52 |
| 3.14.1   | <i>Anforderung an die Ansteuerung der Hochdruckpumpe</i> .....                            | 53 |
| 3.14.2   | <i>Realisierung der Ansteuerung der Hochdruckpumpe</i> .....                              | 54 |
| 3.15     | AVL RPEMS FUTURE MOTHERBOARD .....  | 56 |
| 3.15.1   | <i>Anforderungen an das AVL RPEMS FUTURE Motherboard</i> .....                            | 56 |
| 3.15.2   | <i>Realisierung des AVL RPEMS FUTURE Motherboards</i> .....                               | 57 |
| 3.15.2.1 | Funktionale Aufteilung der Baugruppen auf der Leiterplatte.....                           | 57 |
| 3.15.2.2 | Platinenwahl.....   | 58 |

---

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.15.2.3 | Massekonzept .....  | 59        |
| 3.15.2.4 | EMV Maßnahmen .....   | 59        |
| <b>4</b> | <b>VERWENDETE SOFTWARE .....</b>                                | <b>60</b> |
| 4.1      | EAGLE 4.16R2 PROFESSIONAL .....                                 | 60        |
| 4.2      | DAVE (DIGITAL APPLICATION VIRTUAL ENGINEER) .....               | 61        |
| 4.3      | INCA (INTEGRATED CALIBRATION AND ACQUISITION ENVIRONMENT) ..... | 62        |
| 4.4      | ASCET-SD .....  | 63        |
| <b>5</b> | <b>INBETRIEBNAHME UND VERIFIKATION .....</b>                    | <b>65</b> |
| 5.1      | SPANNUNGSVERSORGUNG .....                                       | 66        |
| 5.2      | MIKROCONTROLLER UND CAN KOMMUNIKATION .....                     | 66        |
| 5.3      | KURBEL- UND NOCKENWELLENSIGNALE .....                           | 67        |
| 5.4      | ANALOGUE UND DIGITALE EINGANGSSIGNALE .....                     | 68        |
| 5.5      | LOW-SIDE SCHALTER .....   | 68        |
| 5.6      | DROSSELKLAPPENANSTEUERUNG .....                                 | 69        |
| 5.7      | ZÜNDUNG UND EINSPRITZUNG .....                                  | 72        |
| 5.8      | LAMBDA-SONDEN ANSTEUERUNG UND HEIZUNG .....                     | 73        |
| 5.9      | KLOPFERKENNUNG .....  | 73        |
| 5.10     | HOCHDRUCKPUMPENANSTEUERUNG .....                                | 73        |
| 5.11     | SYSTEMVERIFIKATION IM LABOR .....                               | 74        |
| 5.12     | SYSTEMVERIFIKATION IM VERSUCHSFAHRZEUG .....                    | 75        |
| <b>6</b> | <b>ERGEBNISSE .....</b>   | <b>78</b> |
| 6.1      | MOTHERBOARD .....   | 78        |
| 6.2      | GEHÄUSE .....   | 79        |
| 6.2.1    | Wanne .....   | 79        |
| 6.2.2    | Deckel .....  | 81        |
| 6.3      | LAYOUT .....  | 82        |
| <b>7</b> | <b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>                       | <b>86</b> |
|          | <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>                               | <b>88</b> |



## Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Erklärung  |
|-----------|--|
| ADC       | <u>A</u> nalog to <u>D</u> igital <u>C</u> onverter                    |
| AUDO      | <u>A</u> utomotive <u>U</u> nified <u>P</u> rocessor                   |
| AVL       | <u>A</u> nstalt für <u>V</u> erbrennungskraftmaschinen <u>L</u> ist    |
| CAN       | <u>C</u> ontroller <u>A</u> rea <u>N</u> etwork                        |
| CCP       | <u>C</u> AN <u>C</u> alibration <u>P</u> rotocol                       |
| CISC      | <u>C</u> omplex <u>I</u> nstruction <u>S</u> et <u>C</u> omputing      |
| CPU       | <u>C</u> entral <u>P</u> rocessing <u>U</u> nit                        |
| DAVE      | <u>D</u> igital <u>A</u> pplication <u>V</u> irtual <u>E</u> ngineer   |
| DCM       | <u>D</u> uty <u>C</u> ycle <u>M</u> easurement                         |
| DI        | <u>D</u> irect <u>I</u> njection                                       |
| DSP       | <u>D</u> igital <u>S</u> ignal <u>P</u> rocessor                       |
| ECU       | <u>E</u> ngine <u>C</u> ontrol <u>U</u> nit                            |
| EEPROM    | <u>E</u> lectrically <u>E</u> rasable <u>P</u> rogrammable <u>R</u> OM |
| EMV       | <u>E</u> lektromagnetische <u>V</u> erträglichkeit                     |
| FADC      | <u>F</u> ast <u>A</u> nalog to <u>D</u> igital <u>C</u> onverter       |
| FIR       | <u>F</u> inite <u>I</u> mpulse <u>R</u> esponse                        |
| GPIO      | <u>G</u> eneral <u>P</u> urpose <u>I</u> nput <u>O</u> utput           |
| GPTA      | <u>G</u> eneral <u>P</u> urpose <u>T</u> imer <u>A</u> rray            |
| HDEV      | <u>H</u> och <u>d</u> ruck <u>e</u> inspritz <u>v</u> entil            |
| HDP       | <u>H</u> och <u>d</u> ruck <u>p</u> umpe                               |

| Abkürzung | Erklärung  |
|-----------|--|
| IGBT      | <u>I</u> nsulated <u>G</u> ate <u>B</u> ipolar <u>T</u> ransistor                  |
| INCA      | <u>I</u> ntegrated <u>C</u> alibration and <u>A</u> cquisition System              |
| JTAG      | <u>J</u> oint <u>T</u> est <u>A</u> ction <u>G</u> roup                            |
| LSU       | <u>L</u> ambda <u>s</u> onde <u>U</u> niversal                                     |
| LTC       | <u>L</u> ocal <u>T</u> imer <u>C</u> ell   |
| NG        | <u>N</u> ext <u>G</u> eneration  |
| MSC       | <u>M</u> icro <u>S</u> econd <u>C</u> hannel                                       |
| PCB       | <u>P</u> rinted <u>C</u> ircuit <u>B</u> oard                                      |
| PORST     | <u>P</u> ower <u>O</u> N <u>R</u> eset   |
| PWM       | <u>P</u> uls <u>w</u> eiten <u>m</u> odulation                                     |
| RISC      | <u>R</u> educed <u>I</u> nstruction <u>S</u> et <u>C</u> omputing                  |
| ROM       | <u>R</u> ead <u>O</u> nly <u>M</u> emory   |
| RPEMS     | <u>R</u> apid <u>P</u> rototyping <u>E</u> ngine <u>M</u> anagement <u>S</u> ystem |
| SPI       | <u>S</u> erial <u>P</u> eripheral <u>I</u> nterface                                |
| SRAM      | <u>S</u> tatic <u>R</u> OM   |
| TTCAN     | <u>T</u> ime- <u>T</u> rigg <u>e</u> red <u>C</u> AN                               |
| UART      | <u>U</u> niversal <u>A</u> ynchronous <u>R</u> eceiver <u>T</u> ransmitter         |
| USB       | <u>U</u> niversal <u>S</u> erial <u>B</u> us                                       |

## Abbildungsverzeichnis

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| Abbildung 1.1  | Übersicht der Hardware einer Motorsteuerung (Quelle: [SAE 2005]).....          | 1  |
| Abbildung 1.2  | Systemübersicht Motormanagement-System (Quelle: [Bosch 2007]) .....            | 3  |
| Abbildung 3.1  | Infineon TriCore Architektur, Blockschaltbild (Quelle: [Infineon 2008a]).....  | 11 |
| Abbildung 3.2  | Oberseite des Prozessormoduls phyCORE-TC1796.....                              | 14 |
| Abbildung 3.3  | Unterseite des Prozessormoduls phyCORE-TC1796 .....                            | 14 |
| Abbildung 3.4  | Prozessormodul phyCORE-TC1796, Blockschaltbild (Quelle:[Phytec 2009]).....     | 15 |
| Abbildung 3.5  | Prozessormodul phyCORE-TC1796, Schaltplanauszug (Quelle: [Phytec 2008]) .....  | 16 |
| Abbildung 3.6  | Spannungsreglers TLE7368E, Blockschaltbild (Quelle: [Infineon 2007b]).....     | 20 |
| Abbildung 3.7  | Externe Beschaltung des Spannungsreglers TLE7368E .....                        | 21 |
| Abbildung 3.8  | Schaltung der Eingangfilterstruktur .....                                      | 22 |
| Abbildung 3.9  | CAN Transceiver TLE6250V33 mit Beschaltung.....                                | 24 |
| Abbildung 3.10 | Low-Side (oben) und High-Side Schalter (unten) (Quelle: [Borgeest 2007]) ..... | 25 |
| Abbildung 3.11 | Leistungsendstufe TLE6244X, Blockschaltbild (Quelle: [Infineon 2003]).....     | 27 |
| Abbildung 3.12 | Leistungsendstufe TLE6244X, Kennwerte (Quelle: [Infineon 2003]) .....          | 28 |
| Abbildung 3.13 | CJ125 Baustein, Blockschaltbild (Quelle:[Bosch 2006c]).....                    | 30 |
| Abbildung 3.14 | Leistungsendstufe TLE8102SG, Blockschaltbild (Quelle: [Infineon 2008b]) .....  | 31 |
| Abbildung 3.15 | Stromprofil der Direkteinspritzung (Quelle:[Bosch 2005]) .....                 | 33 |
| Abbildung 3.16 | CJ840 Baustein, Blockschaltbild (Quelle: [Bosch 2005]).....                    | 34 |
| Abbildung 3.17 | Eingangsschaltungsstruktur der analogen Messgrößen .....                       | 37 |
| Abbildung 3.18 | Schaltung der Umgebungsdruckmessung basierend auf dem Baustein KP125.....      | 38 |
| Abbildung 3.19 | Schaltung des externen Analog-to-Digital-Converters ADC108S102.....            | 39 |
| Abbildung 3.20 | Einleseschaltung des Kurbelwellensignals (induktiver und Hall-Sensor).....     | 41 |
| Abbildung 3.21 | CY30 Baustein, Blockschaltbild (Quelle: [Bosch 2006a]).....                    | 42 |
| Abbildung 3.22 | Eingangsschaltung der digitalen Eingangssignale.....                           | 44 |
| Abbildung 3.23 | Logikansteuerung der Zündung .....   | 46 |
| Abbildung 3.24 | Leistungsteil der Zündung .....  | 47 |
| Abbildung 3.25 | H-Brücke TLE7209R, Blockschaltbild (Quelle: [Infineon 2007a]) .....            | 49 |
| Abbildung 3.26 | H-Brücke TLE7209R, Wahrheitstabelle (Quelle: [Infineon 2007a]) .....           | 50 |
| Abbildung 3.27 | Klopfauswertebaustein CC196, Blockschaltbild (Quelle:[Bosch 2006b]) .....      | 52 |
| Abbildung 3.28 | Eingangsfiler des Klopfauswertebausteins CC196 .....                           | 52 |
| Abbildung 3.29 | Gemessenes Stromprofil einer HDP5 Hochdruckpumpe .....                         | 53 |
| Abbildung 3.30 | Ansteuerungssignale der Hochdruckpumpe.....                                    | 54 |

---

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| Abbildung 3.31 | Logikteil der Hochdruckpumpenansteuerung .....                           | 55 |
| Abbildung 3.32 | Leistungsteil der Hochdruckpumpenansteuerung.....                        | 55 |
| Abbildung 3.33 | Definition der gewählten Platine im Layoutprogramm.....                  | 58 |
| Abbildung 4.1  | Schaltplan-Editor des Programms EAGLE.....                               | 60 |
| Abbildung 4.2  | Layout-Editor des Programms EAGLE.....                                   | 61 |
| Abbildung 4.3  | Benutzeroberfläche des Mikrocontroller-Konfigurationstools DAVe .....    | 62 |
| Abbildung 4.4  | Benutzeroberfläche von INCA .....  | 63 |
| Abbildung 4.5  | Benutzeroberfläche des Projekteditors des ASCET-SD .....                 | 64 |
| Abbildung 5.1  | Break-Out Box .....  | 65 |
| Abbildung 5.2  | Signalgenerator für Kurbel- und Nockenwellensignale .....                | 67 |
| Abbildung 5.3  | Kurbel- und Nockenwellensignale (erzeugt mit Signalgenerator).....       | 68 |
| Abbildung 5.4  | PWM Ansteuerungssignale der Drosselklappe .....                          | 70 |
| Abbildung 5.5  | Analoge Messgröße der Drosselklappe mit MSC Bus aktiv (1 MBaud).....     | 71 |
| Abbildung 5.6  | Analoge Messgröße der Drosselklappe mit aktiven MSC Bus (18 MBaud).....  | 71 |
| Abbildung 5.7  | Zündungs- und Einspritzsignale des Mikrocontrollers.....                 | 72 |
| Abbildung 5.8  | Versuchsaufbau im Labor (Drosselklappe, Zündspülen und Lambdasonde)..... | 74 |
| Abbildung 5.9  | Versuchsaufbau im Labor der Direkteinspritzventile.....                  | 75 |
| Abbildung 5.10 | Systemverifikation mit dem Versuchsfahrzeug.....                         | 76 |
| Abbildung 5.11 | Ausschnitt aus den protokollierten Messgrößen im Versuchsfahrzeug .....  | 76 |
| Abbildung 6.1  | Oberseite des Motherboards .....   | 78 |
| Abbildung 6.2  | Unterseite des Motherboards .....  | 79 |
| Abbildung 6.3  | Wanne des Gehäuses von der Außenseite.....                               | 80 |
| Abbildung 6.4  | Wanne des Gehäuses von der Innenseite .....                              | 80 |
| Abbildung 6.5  | Deckel des Gehäuses von der Außenseite .....                             | 81 |
| Abbildung 6.6  | Deckel des Gehäuses von der Innenseite.....                              | 81 |
| Abbildung 6.7  | Top-Layer des Motherboards .....   | 82 |
| Abbildung 6.8  | Ground-Layer des Motherboards .....                                      | 83 |
| Abbildung 6.9  | Supply-Layer des Motherboards.....                                       | 84 |
| Abbildung 6.10 | Bottom-Layer des Motherboards .....                                      | 85 |

## Tabellenverzeichnis

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Tabelle 3.1 | Mindestanforderungen an den Mikrocontroller .....                   | 9  |
| Tabelle 3.2 | Erforderliche Spannungen für den Betrieb des Motorsteuergeräts..... | 17 |
| Tabelle 3.3 | Abschätzung der erforderlichen Leistungsendstufen .....             | 26 |
| Tabelle 3.4 | Überblick über die analogen Eingangsgrößen.....                     | 35 |
| Tabelle 3.5 | Überblick über die digitalen Eingangssignale .....                  | 43 |
| Tabelle 3.6 | Funktionale Aufteilung der Baugruppen .....                         | 57 |

# 1 Einleitung

Die Firma AVL List GmbH beschäftigt sich sowohl mit der Konstruktion und Entwicklung von Motoren- und Antriebsteilen als auch mit der Funktionsentwicklung im Bereich von modernen Verbrennungsmotoren und Elektroantrieben. Dabei stehen, gerade in den letzten Jahren bedingt durch Aspekte der Erderwärmung und der Rohölknappheit, Themen zur Reduktion von Emissionen und dem Wunsch nach geringerem Kraftstoffverbrauch sowie Entwicklungen im Bereich des Elektro- und Hybridfahrzeuges im Vordergrund. Um diese Themen dem aktuellen Stand der Technik gerecht behandeln zu können, bedarf es seitens der Software und Elektronik optimierter Regelalgorithmen sowie ausreichender Rechenleistung. Das Steuergerät stellt dabei das zentrale Element dar und ist für die Vielzahl von Steuerungs- und Regelungsaufgaben eines Antriebes verantwortlich. Damit dient es als Plattform für sämtliche Projekte im Bereich des Antriebsstranges und muss über ausreichende Ressourcen verfügen, um moderne Motoren mit all deren Sensoren und Aktuatoren echtzeitfähig betreiben zu können (Abbildung 1.1).

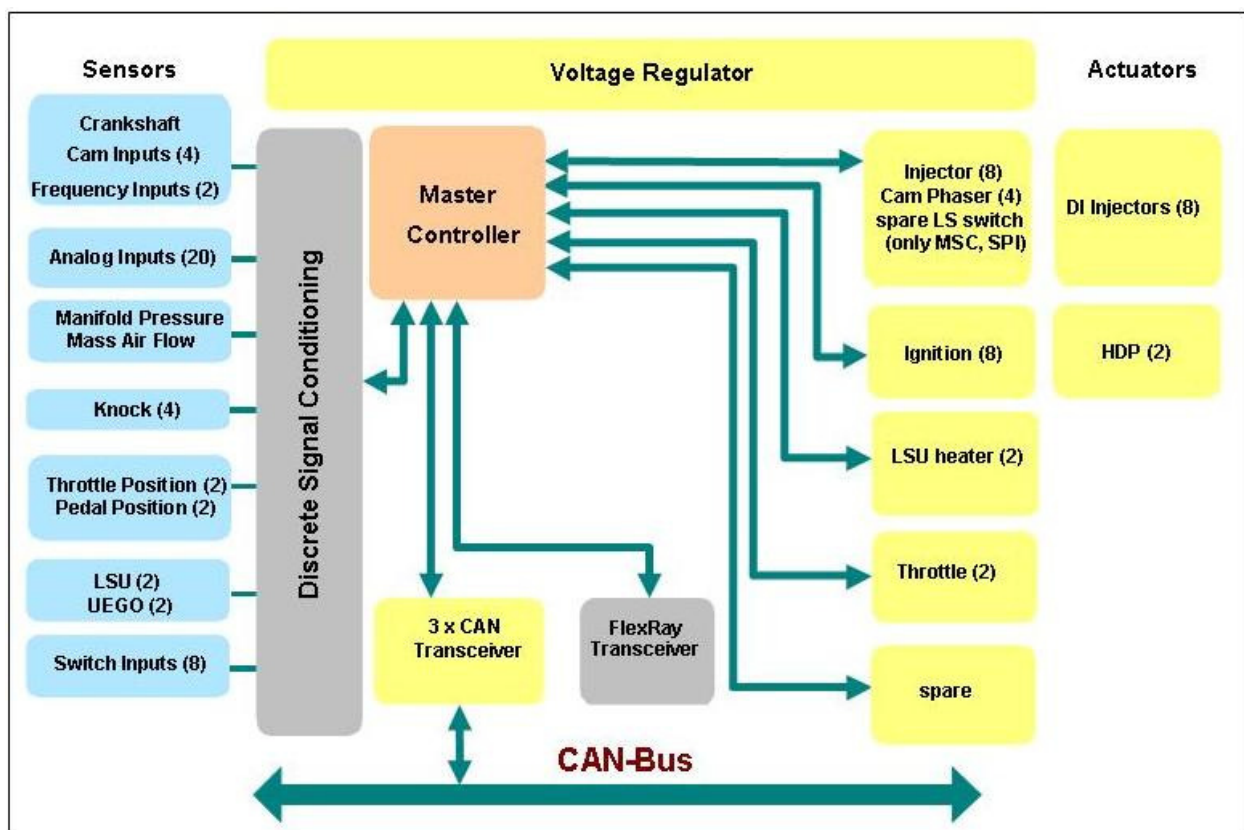


Abbildung 1.1 Übersicht der Hardware einer Motorsteuerung (Quelle: [SAE 2005])

Die AVL List GmbH hat als Basis bisheriger Entwicklungen ein Motorsteuergerät mit der Bezeichnung RPEMS-NG eingesetzt, welches aus der Zusammenarbeit mit der Firma Infineon Technologies AG entstanden ist. Aufgrund der stetigen Weiterentwicklung seitens der Motorentechnologie und den Verbrennungsverfahren und den damit verbundenen steigenden Anforderungen an die Motorsteuerung soll im Zuge dieser Arbeit ein Motorsteuergerät entwickelt werden, das den aktuellen Anforderungen entspricht.

## 1.1 Stand der Technik

In den Anfangsjahren der elektronischen Motorsteuerungen waren diese Einheiten noch gänzlich in analoger Technik ausgeführt und demnach sowohl in der Leistungsfähigkeit als auch in der Flexibilität erheblich eingeschränkt. Dabei wurden lediglich primäre Funktionen, wie etwa die Benzineinspritzung eines Verbrennungsmotors, realisiert. Über die letzten beiden Jahrzehnte, vor allem dank der rasanten Weiterentwicklung der Halbleitertechnik und dem Einzug des Mikrocontrollers, konnte die Integration weiterer Funktionalitäten in das Motorsteuergerät erfolgen. Sämtliche Funktionen wurden nunmehr zentral von einem leistungsstarken Mikrocontroller gesteuert, welcher die Steuerungslogik in Form einer frei programmierbaren Software gespeichert hält. Der funktionale Integrationsprozess moderner Mikrocontroller geht soweit, dass aktuelle Systeme fast gänzlich alle Steuerungs- und Regelungsfunktionalität in sich vereint haben und damit den Aufwand an externen Komponenten bei einem Motorsteuergerät auf ein Minimum reduzieren. Dieser Aspekt bringt, neben der Steigerung der Leistungsfähigkeit, einerseits Vorteile hinsichtlich der Kosten und andererseits erhöht die Minimierung der Komponentenanzahl die Zuverlässigkeit der Systeme. Auf der Grundlage dieser Leistungssteigerung können moderne Motormanagement-Systeme eine Vielzahl weitere Steuerungs- und Regelungsaufgaben eines Verbrennungsmotors übernehmen, die zu einer Effizienzsteigerung führen. Aktuelle Versionen integrieren, neben der Steuerung der Benzindirekteinspritzung, auch das Zündsystem mit Klopfregelung, die Lambdaregelung, die Ansteuerung der Hochdruckpumpen und viele weitere Systeme [Bosch 2007].

In Abbildung 1.2 ist eine Systemübersicht eines aktuellen Motormanagement-Systems dargestellt, bei dem ein direkteinspritzender Ottomotor mit einem Abgasturbolader und variablem Nockenwellentrieb betrieben wird und damit den gegenwärtigen Stand der Technik repräsentiert. Besonders die Realisierung der Direkteinspritzung beim Ottomotor mit der damit verbundenen Möglichkeit des Betriebs mit Schichtladung in Teillastpunkten wird in Zukunft von Bedeutung sein und muss dementsprechend von der Motorsteuerung unterstützt werden.

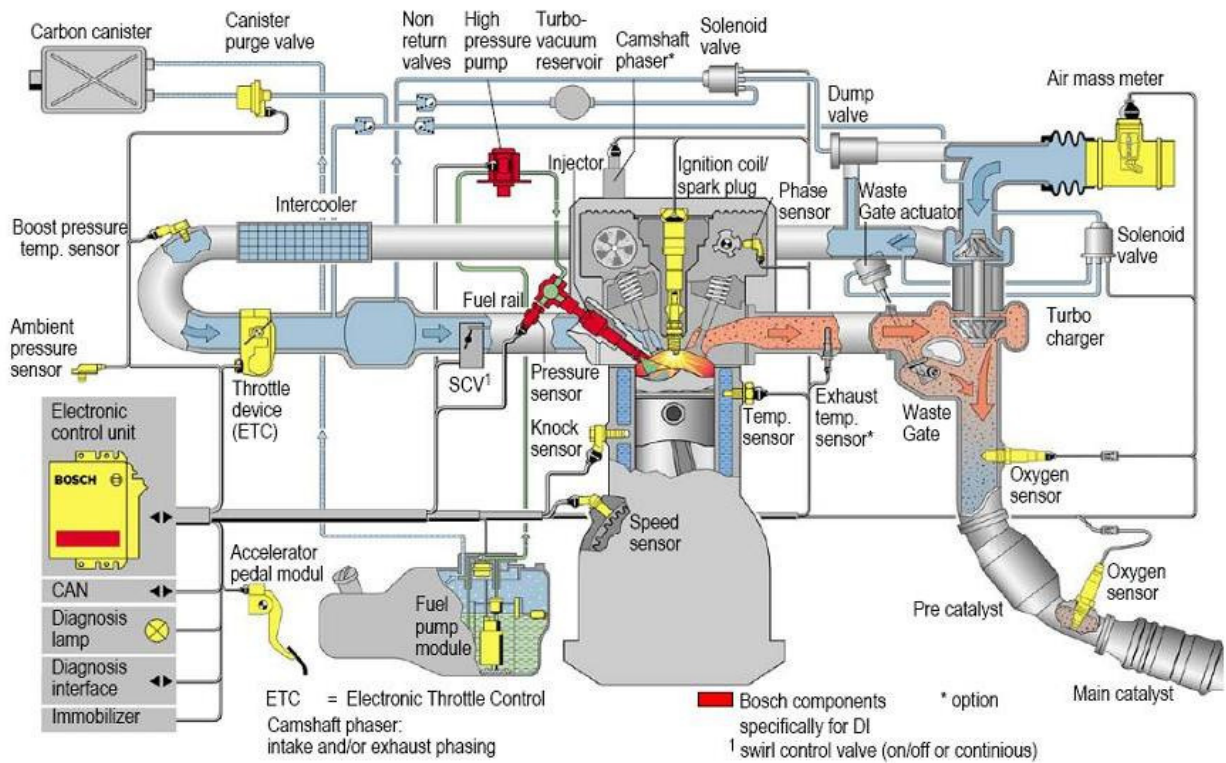


Abbildung 1.2 Systemübersicht Motormanagement-System (Quelle: [Bosch 2007])

Die Entwicklung der Leistungsfähigkeit von Motorsteuergeräten wird in den nächsten Jahren gewiss fortschreiten und damit die Möglichkeiten der realisierbaren Funktionalitäten erweitern. Ein Ziel dabei ist sicher die Umsetzung einer verbrennungsgeregelten Motorsteuerung, basierend auf einer echtzeitfähigen Zylinderdruckmessung, die eine weitere Senkung der Motorrohmissionen erwarten lässt. Darüber hinaus müssen die Strukturen und Komponenten zukünftiger Steuerungen auch auf den Prozess der Hybridisierung bzw. Elektrifizierung angepasst werden, da dieser Bereich mit Sicherheit in Zukunft zu den stark wachsenden Bereichen im Automobilsektor zählen wird.



## 2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Im Zuge dieser Arbeit soll ein Motorsteuergerät entwickelt werden, um Ottomotoren mit bis zu acht Zylindern sowohl stationär als auch dynamisch auf Motorenprüfständen wie auch direkt in Fahrzeugen betreiben zu können. Dabei ist das Motorsteuergerät mit steigenden Anforderungen seitens der Komplexität moderner Verbrennungsmotoren konfrontiert und muss über hinreichende Ressourcen verfügen, um diesen gerecht zu werden.

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit stellt dabei die Entwicklung, das Layout und der Aufbau des so genannten Motherboards (Trägerplatine; PCB) dar, welches die einzelnen Schaltungsteile und Funktionsgruppen zur Realisierung der jeweiligen geforderten Funktionalitäten integriert. Anschließend erfolgt eine Funktionsprüfung und Verifikation der entwickelten Hardware sowohl unter Laborbedingungen als auch am realen Verbrennungsmotor im Versuchsfahrzeug.

Das entwickelte Motorsteuergerät mit dem Namen AVL RPEMS FUTURE basiert dabei auf dem Vorgängermodell mit der Bezeichnung AVL RPEMS-NG und integriert darüber hinaus gesammelte Erfahrungen aus diversen Projekten aus dem Bereich der Elektronik für Motorsteuerungen.

### 2.1 Funktionale Anforderungen an das Motorsteuergerät

Das zu entwickelnde Motorsteuergerät soll grundsätzlich im PKW Bereich bei Versorgungsspannungen von +12V (Bordspannung) eingesetzt werden und darüber hinaus bei einem Umgebungstemperaturbereich von -20°C bis +85°C zuverlässig betrieben werden können. Neben diesen funktionalen Rahmenbedingungen beschreibt die folgende Auflistung die geforderten Funktionalitäten an das Motorsteuergerät:

- Das Motorsteuergerät AVL RPEMS FUTURE soll konzeptionell auf dem bisherigen Modell AVL RPEMS-NG basieren.
- Es soll sowohl der Mikrocontroller TC1796 von Infineon Technologies AG als auch die pinkompatible Weiterentwicklung TC1797 einsetzbar sein, um die vorhandene Softwarearchitektur nutzen zu können.
- Der Einsatz eines Mikrocontrollermoduls der Firma Phytex Messtechnik GmbH ist erwünscht.
- Das zu entwickelnde Motherboard soll das Mikrocontrollermodul, die Spannungsversorgung sowie alle erforderlichen Baugruppen zu Realisierung der hier genannten Funktionalitäten integrieren.

- 
- Mit dem Motorsteuergerät soll der Betrieb von Ottomotoren mit bis zu acht Zylindern unterstützt werden.
  - Die Spannungsversorgung auf dem Motherboard muss ausreichend dimensioniert werden, um alle Baugruppen auf der Trägerplatine sowie alle notwendigen Sensoren und Aktuatoren versorgen zu können.
  - Um eine entsprechende Schnittstelle zur Umgebung zu besitzen und eine Anbindung diverser Geräte im Fahrzeug ermöglichen zu können, muss das Steuergerät über drei CAN Schnittstellen verfügen. Des Weiteren ist eine zukünftige Unterstützung der Flexray Schnittstelle im Entwicklungsprozess zu berücksichtigen.
  - Die für den Betrieb eines Fahrzeuges erforderlichen Low-Side Schalter sind in ausreichender Anzahl auf dem Steuergerät zu integrieren. Dabei soll bei der Auswahl der Baugruppen sowie der Dimensionierung der Schaltung auf die maximal fließenden Ströme Rücksicht genommen werden.
  - Die Integration von Baugruppen zur Ansteuerung von zwei Breitband-Lambdasonden (sowohl vom Typ LSU4.2 als auch LSU4.9) sowie deren Heizung und die erforderliche Regelung sind auf dem Motherboard zu berücksichtigen.
  - Das Motorsteuergerät muss den Betrieb von bis zu acht saugrohreinspritzenden sowie auch acht direkteinspritzenden Injektoren unterstützen. Die dafür notwendigen Schaltungsteile, einschließlich der Hochspannungserzeugung, sind direkt auf dem Motherboard zu integrieren.
  - Bei Verbrennungsmotoren mit Direkteinspritzung kommt in der Regel eine Hochdruckpumpe zum Einsatz. Entsprechende Funktionsgruppen zur Ansteuerung von zwei Hochdruckpumpen sind daher auf dem Motorsteuergerät zu integrieren.
  - Für sämtliche analoge und digitale Messgrößen müssen ausreichende und störsichere Eingangsbeschaltungen integriert werden. Hierbei ist besonders acht zu geben, da die beiden verwendeten Mikrocontroller (TC1796 und TC1797) unterschiedliche Eingangsspannungsbereiche des Analogteils aufweisen. Dieser Aspekt ist in der Phase der Schaltungsdimensionierung zu berücksichtigen.
  - Der Umgebungsdruck muss mit einem entsprechenden Sensor direkt auf dem Motorsteuergerät gemessen werden.
  - Das Motorsteuergerät muss die Möglichkeit besitzen, bis zu vier Nockenwellensignale auswerten zu können. Darüber hinaus soll sowohl die Verwendung eines induktiven als auch eines hallsensor-basierten Kurbelwellensignals unterstützt werden.
  - Um für zukünftige Anforderungen an den Betrieb von Verbrennungsmotoren vorbereitet zu sein, muss das Motorsteuergerät mit DCM-Messgruppen ausgestattet sein.
  - Neben der Einspritzung muss das Motorsteuergerät auch die Baugruppen zur Ansteuerung von bis zu acht Zündeinheiten unterstützen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sowohl Fahrzeuge mit

konventionellen Zündspülen als auch mit „intelligenten“ Zündsystemen (integrierte Ansteuerungsschaltung) zum Einsatz kommen können.

- Das Motorsteuergerät muss die Ansteuerung von zwei Drosselklappen unterstützen (EGAS).
- Um moderne Verbrennungsmotoren in optimalen Betriebspunkten betreiben zu können, ist der Einsatz von Klopfkennungssystemen unerlässlich. Vom Motorsteuergerät ist die Unterstützung von vier Klopfensoren gefordert.
- Zur Verbindung mit dem Kabelbaum soll eine automotiv-taugliche Stiftleiste verwendet werden.

## 2.2 Nichtfunktionale Anforderungen an das Motorsteuergerät

Neben den funktionalen Anforderungen an das Motorsteuergerät wurden auch nichtfunktionale Anforderungen definiert.

- Im Zuge der Layouterstellung ist auf eine möglichst kompakte Größe des Motherboards zu achten.
- Das Layout soll so gestaltet werden, dass eine automatische Bestückung der Platine möglich ist.

## 2.3 Anforderungen an das Gehäuse des Motorsteuergeräts

Neben dem Motherboard selbst ist ein passendes Gehäuse in Zusammenarbeit mit der Konstruktionsabteilung zu entwickeln und ein erster Prototyp fertigen zu lassen. Folgende aufgelistete Punkte sind dabei zu beachten:

- Das Gehäuse muss das Motherboard vollständig umschließen, um einen Schutz gegen widrige Umgebungseinflüsse (Wärme, Schmutz, Vibrationen,...) im Motorraum zu bieten.
- Aufgrund der relativ hohen Umgebungstemperaturen beim Einsatz des Motorsteuergerätes im Motorraum muss über eine Kühlung der Leistungsbaulemente über das Gehäuse nachgedacht werden.
- Das Gehäuse sollte die Möglichkeit einer Abdichtung besitzen, jedoch muss auf einen erforderlichen Mechanismus zum Druckausgleich (bezüglich Drucksensor am Motherboard) Rücksicht genommen werden.

## 2.4 Nachweis der Funktionalität

Nach der Entwicklung und dem Aufbau eines Prototyps muss das Motorsteuergerät entsprechend analysiert und verifiziert werden.

---

Einerseits erfolgt in der ersten Phase eine Funktionsprüfung und Verifikation unter Laborbedingungen. Dazu soll das Motorsteuergerät im Labor aufgebaut werden und die für den Betrieb erforderlichen Eingangssignale (z.B. Kurbelwellensignal oder Nockenwellensignal) simuliert werden. Ausgangsseitig hingegen sollten die entsprechenden Aktuatoren (z.B. Drosselklappe, Einspritzventile, Zündspulen,...) angeschlossen werden und das Motorsteuergerät unter verschiedenen Betriebspunkten getestet werden. In dieser ersten Testphase liegt der Fokus vor allem auf den funktionalen Aspekten der einzelnen Baugruppen.

Nach einer erfolgreichen Verifikation des Motorsteuergeräts unter Laborbedingungen erfolgt die Integration in das Versuchsfahrzeug. Dabei soll das Steuergerät hinsichtlich der Auswirkungen von negativen Umgebungseinflüssen analysiert werden, da weitaus mehr Störgrößen gleichzeitig auf das System einwirken als im Vergleich bei der Verifikation unter Laborbedingungen. Bei den ungewollten Einflüssen handelt es sich primär um elektromagnetische Einwirkungen sowie der erhöhten Umgebungstemperatur.

## 3 Hardware

Im folgenden Kapitel erfolgt eine sukzessive Beschreibung der einzelnen Hardware-Einheiten beginnend bei dem zentralen Kernstück, dem Mikrocontroller, bis hin zu Funktionsgruppen wie etwa Zündung und Einspritzung und endet beim finalen Punkt dieses Kapitels, der Gesamtintegration der einzelnen Funktionen auf dem Motherboard. Dabei wird jeweils auf die entsprechenden Anforderungen der einzelnen zu realisierenden Funktion genau eingegangen und die Auswahl bzw. Dimensionierung der gewählten Schaltung im Detail beschrieben.

Als konzeptionelle Basis des im Zuge dieser Arbeit entwickelten Motorsteuergeräts dient das Entwicklungssteuergerät mit der firmeninternen Bezeichnung AVL RPEMS-NG. Dieses dient bis dato als Hardware-Plattform für Projekte im Bereich der Funktionsentwicklung für den Antriebsstrang. Dabei handelt es sich um eine Partnerschaftsentwicklung zwischen der Firma AVL List GmbH und Infineon Technologies AG, welches auf dem Mikrocontroller TC1796 dieser Halbleiterfirma basiert.

Aus dieser Tatsache begründet sich die funktionale Anforderung an die Wahl des Mikrocontrollers auf den Infineon TC1796 bzw. TC1797, da softwareseitige Synergieeffekte genutzt werden können. Zwischen dem Vorgängermodell und dem hier entwickelten Motorsteuergerät ist lediglich eine Anpassung der Software hinsichtlich der Low-Level Treiber erforderlich.

Zum Anschluss aller Leitungen an das Motorsteuergerät wird ein 154-poliger Stecker der Firma Robert Bosch GmbH gewählt. Dieser ist speziell für Motorsteuergeräte konzipiert worden und besitzt entsprechende Pins für Leitungen mit erhöhtem Stromfluss (Versorgung, Zündung, Einspritzung, Drosselklappenansteuerung).

### 3.1 Mikrocontroller

Der Mikrocontroller stellt bei einer Motorsteuerung das Herzstück dar und muss über entsprechend hohe Rechenleistungsfähigkeit und integrierte Ressourcen verfügen, um den steigenden Anforderungen an die Datenverarbeitung gerecht zu werden. Gerade bei einer Motorsteuerung tritt dieser Gesichtspunkt wesentlich in den Vordergrund, da bei dieser Mikrocontrolleranwendung die harte Echtzeitfähigkeit in Verbindung mit der großen Anzahl an parallelen Eingangsgrößen sowie der Vielzahl an gleichzeitig anzusteuern den Aktuatoren entscheidend ist.

### 3.1.1 Anforderungen an den Mikrocontroller

Ausgehend von einer möglichst hohen Rechenleistung sowie einem effektiven Befehlssatz sind bei der Auswahl des Mikrocontrollers vor allem die integrierten Peripherie-Komponenten entscheidend. Dadurch kann der externe Schaltungsaufwand auf ein Minimum reduziert werden, um einerseits Kosten zu sparen und andererseits den Entwicklungsaufwand sowie die Fehleranfälligkeit möglichst gering zu halten.

Folgender Mindestbedarf an Peripherie-Komponenten ergibt sich aus den funktionalen Anforderungen des Motorsteuergeräts für den Mikrocontroller (Tabelle 3.1).

| Benötigte Peripheriekomponente | Anzahl, Funktion                                  |
|--------------------------------|---|
| CAN Interface                  | 3x  |
| Flexray Interface              | 2x  |
| Analoge Eingänge               | 4x für Lambdasondensignal                         |
|                                | 1x für Stromregelung der Lambdaheizung            |
|                                | 18x für diverse Sensoren                          |
| Schnelle analoge Eingänge      | 4x differentieller Eingang                        |
| Digitale Eingänge/Ausgänge     | 4x für Spannungsregler                            |
|                                | 2x für Low-Side Schalter                          |
|                                | 2x für Direkteinspritzung                         |
|                                | 10x für diverse Sensoren                          |
|                                | 2x für Drosselklappen                             |
| Capture-Compare Eingänge       | 4x für Nockenwellenpositionserfassung             |
|                                | 1x für Kurbelwellenpositionserfassung             |
|                                | 6x für Duty-Cycle Messungen (DCM)                 |
| Capture-Compare Ausgänge       | 8x für Zündung                                    |
|                                | 8x für Direkteinspritzung                         |
|                                | 4x für Hochdruckpumpe                             |
|                                | 1x für Klopfregelung                              |
| Capture-Compare Module         | mindestens 8 für Low-Side Schalter                |
| PWM Ausgänge                   | 1x für Hochdruckpumpe                             |
|                                | 2x für Lambdaheizung                              |
|                                | 4x für Drosselklappe                              |
| PWM Module                     | mindestens 10 für Low-Side Schalter               |
| SPI Interface                  | 2x  |
|                                | 6x Chip-Select Leitungen                          |
| High-Speed Schnittstelle       | 1x Kommunikation mit Low-Side Schalter Bausteinen |

Tabelle 3.1 Mindestanforderungen an den Mikrocontroller

Ergänzend zu Tabelle 3.1 sollte erwähnt werden, dass die Ressourcen „Capture-Compare Module“ und „PWM Module“ entsprechende äquivalente Funktionalitäten zu „Capture-Compare Ausgänge“ und „PWM Ausgänge“ darstellen, jedoch diese Signale nicht an jeweils einem physikalischen Pin aus dem Mikrocontroller herausgeführt werden, sondern über eine High-Speed Schnittstelle übertragen werden (siehe auch Kapitel 3.5).

### 3.1.2 Auswahl und Beschreibung des Mikrocontrollers

Aufgrund der im vorherigem Kapitel erläuternden Anforderungen an den Mikrocontroller und dem Wunsch, Synergieeffekte bezüglich der Software zwischen AVL RPEMS-NG und AVL RPEMS FUTURE nutzen zu wollen, wurde der Mikrocontroller TC1796 bzw. dessen Weiterentwicklung TC1797 der TriCore Generation der Firma Infineon Technologies AG ausgewählt. Beide Derivate werden im gleichen Gehäuse (BGA-416) ausgeliefert und sind pincompatibel, somit können beide Typen mit Anpassungen der externen Beschaltung eingesetzt werden.

Bei dem Mikrocontroller TC1797 handelt es sich um eine evolutionäre, pincompatible Weiterentwicklung des sich etablierten TC1796 Derivates. Neben einer Vielzahl von rudimentären Änderungen, hierbei wird für genauere Betrachtungen auf [Infineon 2009] verwiesen, gibt es zwei Hauptunterschiede, auf die während der Schaltplanerstellung eingegangen werden muss. Der erste ist die Integration zweier Flexray Schnittstellen in den Mikrocontroller. Somit besteht mit dieser Einheit die Möglichkeit, hinsichtlich zukünftiger Anforderungen der Fahrzeugbussysteme auf neuestem Stand der Technik zu sein. Bei dem zweiten Unterschied handelt es sich um den erlaubten Spannungsbereich der Referenzspannung der beiden Analog-to-Digital-Converter. Der TC1796 Mikrocontroller unterstützt eine maximale Spannung von +3.3V und folglich muss bei den analogen Sensoren, die typischerweise Werte zwischen 0V und +5V ausgeben, ein Spannungsteiler integriert werden, um den gesamten Wertebereich erfassen zu können. Bei dem Mikrocontroller TC1797 sind analoge Referenzspannungen bis zu +5V zulässig.

In weiterer Folge wurde auch entschieden, den Mikrocontroller selbst nicht in das Motherboard zu integrieren sondern stattdessen auf ein Mikrocontrollermodul der Firma Phytex Messtechnik GmbH zu setzen. Der Grund für diese Entscheidung liegt dabei in der einfacheren Integration des TC1796/TC1797 in das Motherboard. Somit bedient man sich der gesamten Funktionalität des Infineon Mikrocontrollers, umgeht jedoch die relativ komplexe Integration in die eigene Platine. Alleine schon die Tatsache, dass man für die Integration eines derartigen Bausteines in die Platine mindestens acht bis zehn Layer benötigen würde, zeigt den erheblichen Aufwand, der den Rahmen dieser Arbeit bei weitem übersteigen würde.

#### 3.1.2.1 Infineon TriCore TC1796/TC1797

Bei dem 32-bit Mikrocontroller TC1796 bzw. dessen pincompatiblen Weiterentwicklung TC1797 handelt es sich um die leistungsstärkste Variante der AUO-NG Mikrocontroller-Familie basierend auf der TriCore Technologie. Diese Mikrocontroller sind speziell für automobiler Anwendungen entwickelt worden und besitzen, neben einem leistungsfähigen Rechenkern, alle erforderlichen Peripherieressourcen, um Verbrennungsmotoren betreiben zu können. Abbildung 3.1 zeigt das Blockschaltbild des ausgewählten Mikrocontrollers.

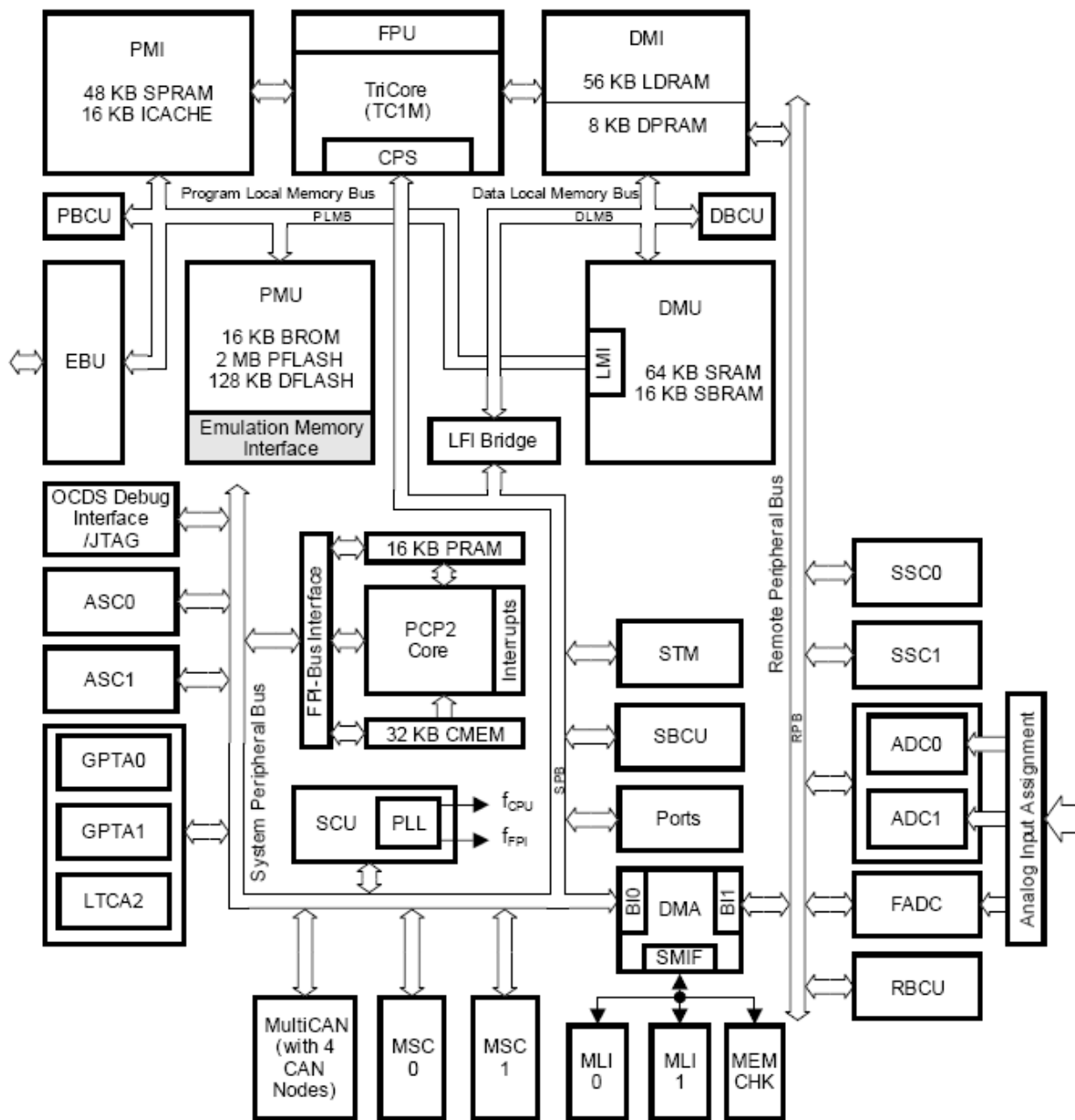


Abbildung 3.1 Infineon TriCore Architektur, Blockschaltbild (Quelle: [Infineon 2008a])

Bezug nehmend auf das Infineon Datenblatt [Infineon 2009] zeichnet sich dieser Mikrocontroller vor allem durch folgende Leistungsmerkmale aus:

- 150Mhz TriCore Prozessor

Bei dem Prozessor handelt es sich um eine Integration eines RISC-, CISC- und DSP-Cores in einem einzigen Chip unter der Verwendung einer superskalaren Prozessorarchitektur mit einem 4-stufigen Pipelining. Diese Struktur ermöglicht die Vorteile der individuellen Architekturen zu nutzen und somit auf die unterschiedlichen Anforderungen an den Mikrocontroller einer Motorsteuerung einzugehen. Darüber hinaus kann die relativ hohe Taktfrequenz über den gesamten, im automobilen Sektor spezifizierten, Temperaturbereich eingesetzt werden.



➤ 2 MByte Flashspeicher

Aufgrund der beträchtlichen Größe des integrierten Flashspeichers lassen sich anwendungstypische Programme einer Motorsteuerung ohne externen Speicher unterbringen und somit kann auf weitere externe Speicherbausteine verzichtet werden.

➤ 2 Micro Second Bus Interfaces (MSC)

Mit dieser neuartigen, von Infineon spezifizierten, seriellen Hochgeschwindigkeitsschnittstelle [Infineon 2005] lassen sich externe Leistungsendstufen (z.B. Low-Side Schalter) mit nur wenigen Leitungen ansprechen und eine echtzeitfähige Kommunikation bereitstellen. Dabei unterstützt dieses Bussystem die Möglichkeit einer Verknüpfung der Busdatenregister mit den GPTA Einheiten des Mikrocontrollers. Dadurch verringert sich der Leitungsaufwand auf der Platine erheblich und ermöglicht darüber hinaus ein flexibles Multiplexen von Timer-Modulen mit den angeschlossenen Bausteinen, um einfach und schnell auf individuelle Applikationen eingehen zu können.

➤ 2 GPTA Einheiten

Diese Einheiten stellen eine Vielzahl von Timern und Capture-Compare Funktionalitäten zur Verfügung, die flexibel miteinander kombiniert werden können, um vielfältige Signalmess- sowie Signalerzeugungseinheiten generieren zu können. Diese komplexe Einheit stellt dabei das funktionale Zentrum des Motorsteuergeräts dar, da sowohl essentielle Messgrößen wie Kurbelwellen- und Nockenwellensignale damit gemessen werden als auch die Ausgangssignale der Zündung und Einspritzung damit generiert werden. Darüber hinaus wird mit dieser Einheit eine Vielzahl von PWM Signalen erzeugt, die für die Ansteuerung von diversen Aktuatoren (z.B. Drosselklappe oder Hochdruckpumpe) unverzichtbar sind.

➤ 3 Analog-to-Digital-Converter (ADC)

Zur Verfügung gestellt werden dreimal 16 Kanäle mit einer wählbaren Auflösung von 8-, 10- oder 12-Bit sowie einer integrierten Sample&Hold Einheit. Diese Eingänge sind dabei primär für single-ended Messgrößen gedacht und bieten bei einer 10-Bit Auflösung eine Konvertierungszeit im Bereich von 2-3µs.

➤ 1 Fast-Analog-to-Digital-Converter (FADC)

Diese Einheit stellt dem Anwender vier differentielle analoge Eingangskanäle zur Verfügung und ermöglicht Konvertierungszeiten unter 500 ns. Die Umwandlung bedient sich dem Verfahren der sukzessiven Approximation.

➤ 123 allgemeine digitale I/O Pins

➤ Versorgungsspannung

Der Mikrocontroller benötigt als Versorgung sowohl +1.5V (Core Voltage) als auch +3.3V (I/O Voltage).

➤ Flexray Modul (exklusiv beim Infineon TC1797)

Dabei wurden zwei Flexray Schnittstellen, spezifiziert nach v2.1, in den weiterentwickelten Mikrocontroller TC1797 integriert. Um diese beiden Schnittstellen, mit einer Geschwindigkeit von bis zu 10MBit/s, nutzen zu können, sind externe Bus-Treiber notwendig.

➤ MultICAN Controller

Der MultiCAN Controller verfügt über vier unabhängige CAN Einheiten, die nach CAN V2.0B spezifiziert sind. Dabei werden Standard Frames mit 11-Bit Identifiers sowie Extended Frames mit 29-Bit Identifiers unterstützt. Darüber hinaus ist einer der vier CAN Knoten mit der TTCAN Funktionalität ausgestattet, um für zukünftige Einsatzgebiete vorbereitet zu sein.

### 3.1.2.2 phyCORE-TC1796/-TC1797 Prozessormodul

Bei dem phyCORE-TC1796 bzw. dem phyCORE-TC1797 Prozessormodul (in weiterer Folge als „phyCORE Modul“ bezeichnet) handelt es sich um ein Mikrocontrollerboard der „phyCORE Single Board Computer“ Familie der Firma Phytex Messtechnik GmbH [Phytex 2009]. Dieses Modul integriert, abgesehen von dem Mikrocontroller TC1796 bzw. TC1797, alle erforderlichen Baugruppen auf einer kompakten Trägerplatine, um mit geringem Aufwand auf sämtlichen gewünschten Ressourcen Zugriff zu haben und sich dabei auf die eigene Applikation fokussieren zu können.

Das kompakte Design des phyCORE Moduls wird durch eine moderne Multilayer Technologie sowie der Verwendung von 0402-Package Bauelementen erreicht und ermöglicht dadurch den Einsatz in platzkritischen Anwendungsfällen.

Die Integration des phyCORE Moduls in die Anwenderplatine erfolgt über zwei 160-polige Steckverbindungen, die eine Einbindung des Prozessormoduls in die eigene Anwendung wie einen „großen Chip“ ermöglichen.

Als Spannungsversorgung benötigt das phyCORE Modul eine +3.3V Versorgung mit einer typischen Stromaufnahme kleiner als 400mA. Die Prozessorkernspannung von +1.5V wird auf dem Mikrocontrollermodul selbst generiert und verringert damit weiter die Integrationsanforderungen an die Trägerplatine.

Abbildung 3.2 zeigt das phyCORE Modul von der Oberseite und Abbildung 3.3 von der Unterseite.

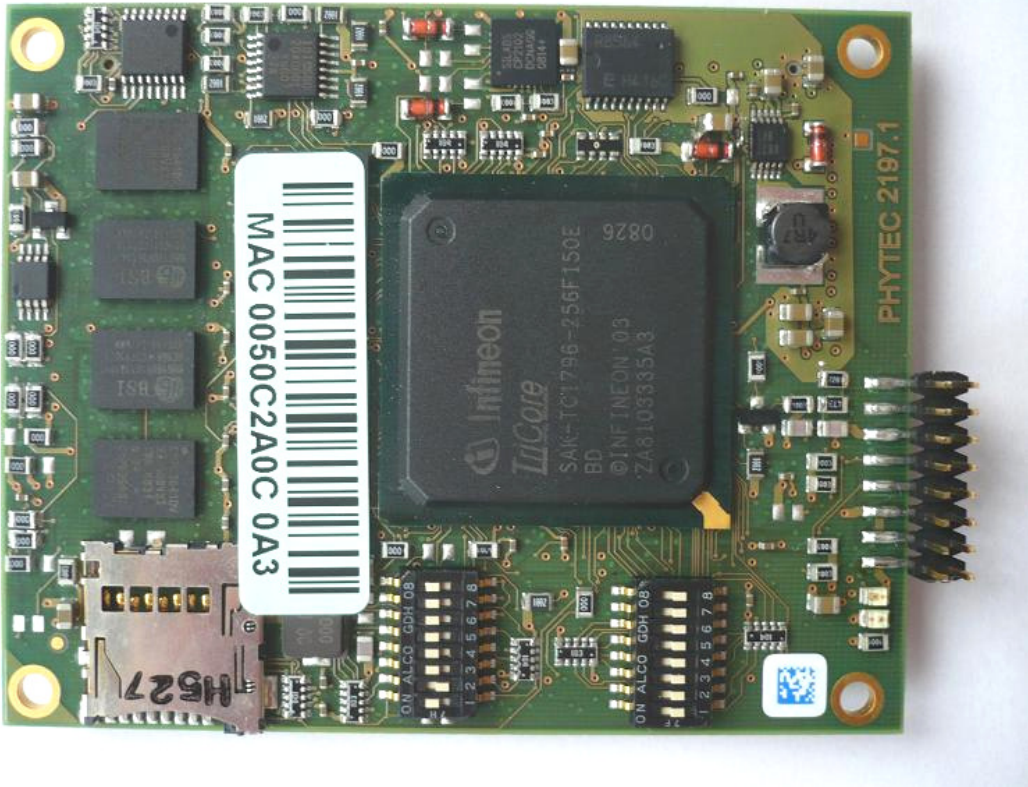


Abbildung 3.2 Oberseite des Prozessormoduls phyCORE-TC1796



Abbildung 3.3 Unterseite des Prozessormoduls phyCORE-TC1796

Neben der Integration des Infineon Mikrocontrollers sind am eingesetzten Prozessormodul folgende Hardware Einheiten integriert:

- SRAM (2 banks): 8 MByte Maximum
- Flash-ROM: 64 MByte Intel Strata Flash Maximum
- SPI Memory: wahlweise 32 Kbyte EEPROM oder 2 MByte Flash
- 2 I<sup>2</sup>C Bus Controller
- I<sup>2</sup>C Real-Time-Clock mit Kalender- und Alarmfunktion
- Ethernet Controller mit HW TCP/IP Stack (10/100 MBit)
- Optionale USB-to-UART Bridge
- UART: RS232 Transceiver für zwei Kanäle
- MultiCAN: vier CAN Transceiver (Baustein: SN64HVD23x)
- JTAG/Debug Schnittstelle

In Abbildung 3.4 ist das Blockdiagramm des phyCORE Moduls dargestellt.

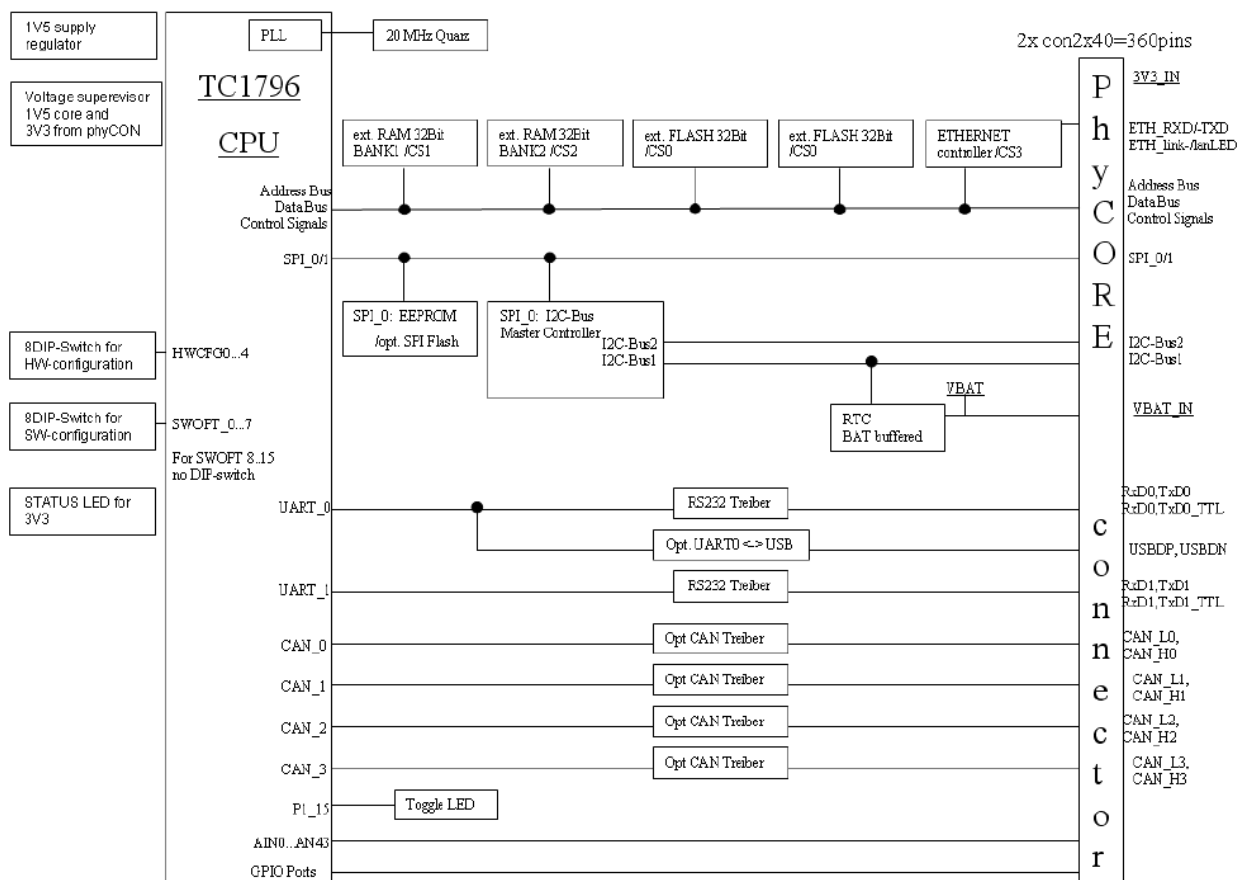


Abbildung 3.4 Prozessormodul phyCORE-TC1796, Blockschaltbild (Quelle:[Phytec 2009])



bidirektionalen Unterdrückung und Filterung von Störungen durch den Anschluss am Bordnetz konfrontiert ist. Darüber hinaus sollte die Eigenverlustleistung auch möglichst gering sein, um in der Bilanz der Gesamtwärmeentwicklung der Schaltung einen möglichst kleinen Beitrag zu leisten.

### 3.2.1 Anforderungen an die Spannungsversorgung

Die primäre Aufgabe der Spannungsversorgung ist die Erzeugung der für den Betrieb der einzelnen Bausteine und Schaltungsteile erforderlichen Versorgungsspannung unter Berücksichtigung der einzelnen maximalen Stromaufnahme.

Folgende Versorgungsspannungen (mit den entsprechenden Bausteinen und Schaltungsteilen aufgelistet) werden für das Motorsteuergerät benötigt (Tabelle 3.2).

| +3.3V         | +5V                  | +5V Sensoren (1)                             | +5V Sensoren (2)                         | +12V   |
|---------------|----------------------|--|--|--|
| phyCORE Modul | TLE6250V33           | Spannungsversorgung für externe Sensoren     | Spannungsversorgung für externe Sensoren | TLE6244X                                     |
| TLE6250V33    | ADC108S102           |  |  | CJ125  |
| ADC108S102    | TLE6244X             | Pull-Up Widerstände für analoge Eingänge     |  | DC/DC-Konverter                              |
|               | CJ125                |  |  | TLE7209R                                     |
|               | TLE8102SG            | Pull-Up Widerstände für Nockenwelleneingänge |  | Pull-Up Widerstände für DCM Eingänge         |
|               | CJ840                |  |  |  |
|               | KP125                | Pull-Up Widerstand für Kurbelwelleneingang   |  | Pull-Up Widerstände für digitale Eingänge    |
|               | CY30B                |  |  |  |
|               | TLE7209R             |  |  | Pull-Up Widerstände für Nockenwelleneingänge |
|               | CC196                |  |  |  |
|               | 2MHz Quarzoszillator |  |  | Pull-Up Widerstand für Kurbelwelleneingang   |
|               | div. Logikgatter     |  |  |  |
|               |                      |  |  | div. Freilaufdioden                          |

Tabelle 3.2 Erforderliche Spannungen für den Betrieb des Motorsteuergeräts

Bezug nehmend auf Tabelle 3.2 ist anzumerken, dass die Bausteine TLE6250V33 und ADC108S102 einen +5V Spannungsanschluss zur Versorgung des Bausteines sowie einen +3.3V Anschluss für die Versorgung des Logik- bzw. Kommunikationsschaltungsteils besitzen. Damit wird es dem Anwender ermöglicht, die Pegel für die Kommunikationsleitungen zum Mikrocontroller (z.B. SPI Schnittstelle) festzulegen und somit eine +3.3V kompatible Schnittstelle bereit zu stellen.

Die beiden +5V Versorgungen für externe Sensoren müssen entkoppelt von der Hauptversorgung sein, da mögliche Störeinträge oder Kurzschlüsse auf diesen Leitungen die Funktionalität des Motorsteuergeräts in keiner Weise beeinträchtigen dürfen. Bei einer gemeinsamen Versorgung könnte sonst etwa ein defekter Sensor das gesamte Motorsteuergerät außer Betrieb setzen.

Um eine geeignete Spannungsversorgung auswählen und dimensionieren zu können, muss davor auf den maximalen Stromverbrauch der einzelnen Bausteine und Schaltungsteile eingegangen werden. Ansonsten kann es in extremen Betriebspunkten zu einer Fehlfunktion aufgrund eines unterversorgten Bausteins oder Schaltungseinheit kommen.

Eine weitere wichtige Aufgabenstellung der Spannungsversorgungseinheit ist die bidirektionale Filterung von Störungen am Motorsteuergerät. Das Motorsteuergerät bzw. dessen Spannungsversorgung wird direkt von der Fahrzeugbatterie (+12V) versorgt und hängt somit an derselben Versorgungsleitung wie viele andere Verbraucher am Bordnetz. Aufgrund dieser Tatsache kann es zu Störeinflüssen des Bordnetzes auf das Motorsteuergerät kommen bzw. kann das Motorsteuergerät Störungen verursachen, die sich negativ auf andere Funktionsgruppen am Bordnetz auswirken. Folglich muss eine entsprechende Filterstruktur am Eingang des Versorgungsteiles berücksichtigt werden.

Die Spannungsversorgung soll ebenfalls eine Steuerlogik besitzen, die es ermöglicht, das Motorsteuergerät über das Zündsignal (Klemme 15) einzuschalten, um eine dauerhafte Aktivierung des Motorsteuergeräts zu unterbinden und damit den Ruhestromverbrauch eines Fahrzeuges deutlich zu senken. Darüber hinaus ist es von Vorteil, die Spannungserzeugung mit Hilfe eines Steuersignals des Mikrocontrollers auch nach dem Deaktivieren des Zündsignals aktiv halten zu können, um beim Abschalten des Motorsteuergeräts noch Daten abspeichern zu können und dann selbst ein gezieltes Hinunterfahren durchführen zu können.

## **3.2.2 Realisierung der Spannungsversorgung**

### **3.2.2.1 Spannungsregler**

Bevor ein geeigneter Spannungsregler ausgewählt werden kann, wurden die maximal fließenden Ströme der jeweiligen Versorgungsspannung aller Bausteine und Schaltungsteile auf dem Motorsteuergerät aufsummiert. Dies ergab einen Maximalwert von 500mA bei der +5V Versorgung und von 1250mA bei der +3.3V Versorgung, wobei bei der letzteren Spannung den Hauptanteil von 1200mA das phyCORE Modul verursacht. Laut Datenblatt besitzt dieses jedoch eine typische Stromaufnahme von unter 400mA, was auch Messungen bestätigt haben. Die beiden +5V Versorgungsspannungen für externe Sensoren sollten Ströme in der Größenordnung von jeweils 50mA zur Verfügung stellen können.

Zur Realisierung der Spannungsversorgung unter den gestellten Anforderungen wird ein intelligenter Spannungsregler mit der Bezeichnung TLE7368E der Firma Infineon Technologies AG eingesetzt. Dabei handelt es sich um einen multifunktionalen Leistungsspannungsregler, der speziell für die Versorgung und Überwachung von 32-Bit Mikrocontrollerschaltungen in +12V Bordnetzen konzipiert wurde. Bezug nehmend auf das Datenblatt [Infineon 2007b] basiert dieser Regler auf einem Buck Converter (Step-Down Converter), mit dem auf eine Spannung von +5.5V vorgeregelt wird. Diese Spannung versorgt anschließend zwei lineare Reglerstufen mit einer Ausgangsspannung von +5V, eine mit wahlweise +2.6V oder +3.3V sowie zwei Spannungsfolgern, welche die beiden +5V Versorgungsspannungen für externe

Sensoren generieren. Darüber hinaus besitzt der Baustein die Möglichkeit zur Erzeugung einer +1.5V Spannung mit Hilfe eines vom Baustein geregelten externen NPN Transistor. Dieser Aufbau der Spannungserzeugung ermöglicht eine geringe Verlustleistung und damit Wärmeentwicklung bis hinauf zu hohen Umgebungstemperaturen, wie sie in einem Motorsteuergerät entstehen. Im Folgenden werden die wichtigsten Kennwerte des Spannungsreglers aufgelistet [Infineon 2007b]:

- breiter Eingangsspannungsbereich: < 4.5V bis zu 45V
- Temperaturbereich: -40°C bis +150°C
- integrierter Buck Converter: 5.5V / 2.5A
- interne Spannungsregler:
  - 5V  $\pm$ 2%, 800mA Strombegrenzung
  - 3.3V  $\pm$ 2% oder 2.6V  $\pm$ 2% (auswählbar), 700mA Strombegrenzung
- integrierte Reglerlogik zur Ansteuerung eines externen NPN Transistors
  - +1.5V  $\pm$ 2%
- 2 interne Regler zur Erzeugung von Spannungen zur Versorgung von externen Sensoren
  - +5V, 105mA
  - +5V, 50mA
- Strombegrenzung bei allen Ausgängen
- Übertemperaturschutz

Weiters verfügt der Spannungsregler über eine integrierte Watchdog Einheit (Window Watchdog), die eine funktionale Überwachung eines Mikrocontrollers ermöglicht. Dabei erwartet der TLE7368 Baustein eine periodische fallende Flanke am WDI Eingang und reagiert beim Fehlen dieses Signals mit dem Rücksetzen des WDO Ausganges (beim fehlerfreien Betrieb auf High). Beide Anschlüsse wurden mit einem freien GPIO Pin des Mikrocontrollers verbunden, um diese Funktionalität softwaremäßig realisieren zu können.

Bei den beiden +5V Spannungen für die Versorgung von externen Sensoren (Ausgänge Q\_T1 und Q\_T2) handelt es sich um die Erfüllung einer Anforderung an Motorsteuergeräte, welche besagt, dass externe Sensoren mit einer von der Hauptversorgung entkoppelten Spannungsversorgung betrieben werden müssen.

In Abbildung 3.6 wird das Konzept des Spannungsreglers mit Hilfe des Blockschaltbildes graphisch veranschaulicht.



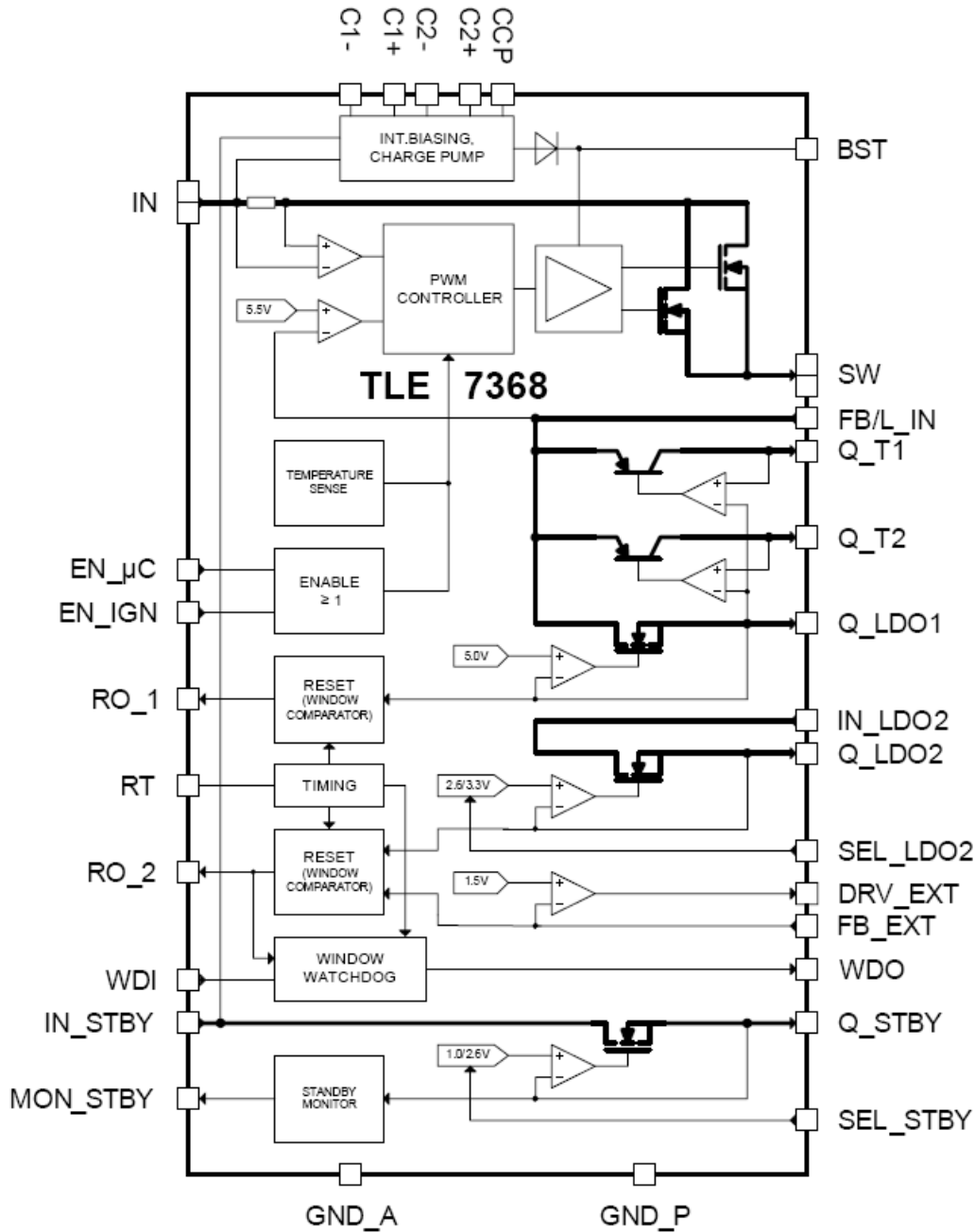


Abbildung 3.6 Spannungsreglers TLE7368E, Blockschaltbild (Quelle: [Infineon 2007b])

In dem Blockschaltbild in Abbildung 3.6 entspricht dabei Q\_LDO1 dem +5V Ausgang und Q\_LDO2 dem +3.3V Ausgang, der mittels der Rückführung dieser Ausgangsspannung auf den Pin SEL\_LDO2 gewählt wurde (Pin SEL\_LDO2 auf GND würde diesen Ausgang auf +2.6V regeln).

Dieser Spannungsregler besitzt die beiden Steuereingänge EN\_μC (enable input microcontroller) und EN\_IGN (enable input ignition line), welche intern ODER verknüpft sind und ein wahlweises Aktivieren des Bausteines ermöglichen.

Der Baustein weist eine interne Überwachungsschaltung der erzeugten Spannungssignale auf, welche mit zwei Reset-Anschlusspins (RO\_1, RO\_2) ausgeführt sind. Diese Leitungen werden an die globale

Reset-Leitung des Mikrocontrollers (PORST) angeschlossen und bei einer Unter- oder Überschreitung der entsprechenden Schwellwerte wird ein Reset ausgelöst. Damit wird ein Fehlverhalten angeschlossener Bausteine aufgrund falscher Versorgungsspannungswerte verhindert.

Für eine genauere Funktionsbeschreibung der hier angeführten Punkte bzw. der anderen Schaltungsteile des Spannungsreglers wird an dieser Stelle auf das Datenblatt [Infineon 2007b] verwiesen.

In der folgenden Abbildung 3.7 sieht man die Schaltung des eingesetzten Spannungsreglers TLE7368.

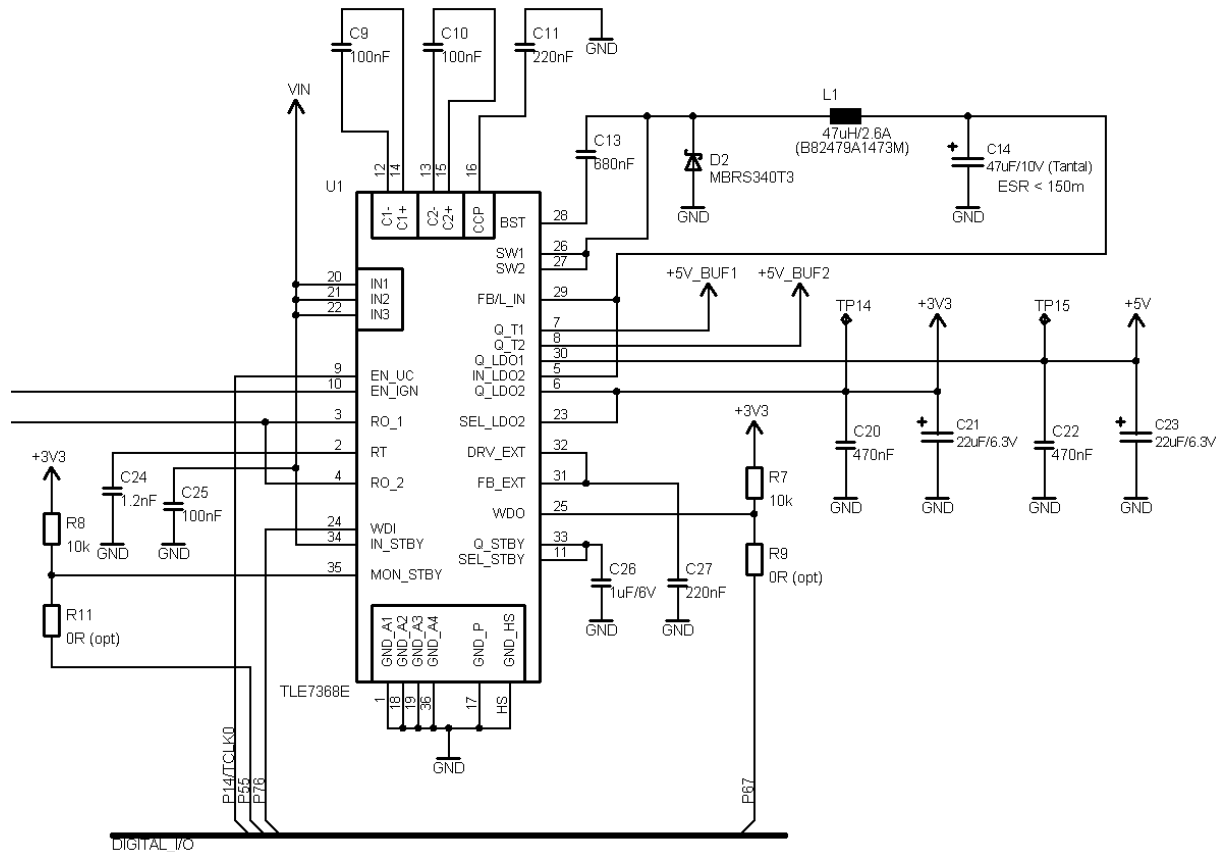


Abbildung 3.7 Externe Beschaltung des Spannungsreglers TLE7368E

Bei der Dimensionierung der Beschaltung des TLE7368E wurden die Applikationsempfehlungen aus dem Datenblatt [Infineon 2007b] verwendet. Für den Buck Converter ergeben sich dabei folgende Forderungen:

- Buck Induktivität:  $18\mu\text{H} < L < 220\mu\text{H}$
- Buck Ausgangskapazität:  $C > 20\mu\text{F}$
- ESR der Ausgangskapazität:  $\text{ESR}_C < 150\text{m}\Omega$

Alle Ausgangsspannungen des Reglers werden jeweils sowohl mit einem  $22\mu\text{F}$  Tantalcondensator als auch mit einem  $470\text{nF}$  Keramikkondensator beschalten, um bei hochdynamischen Stromaufnahmen angeschlossener Bausteine eine konstante Spannung liefern zu können.

Da die +1.5V Spannung für den Mikrocontroller direkt auf dem phyCORE Modul aus der +3.3V Spannung erzeugt wird, ist eine Verwendung der integrierten Kontrolllogik mit einem entsprechenden externen Transistor nicht erforderlich.

### 3.2.2.2 Eingangfilterstruktur

Das Ziel der Eingangfilterstruktur ist einerseits das bidirektionale Entkoppeln von Störgrößen und andererseits das Stützen der Versorgungsspannung des Motorsteuergeräts. Darüber hinaus soll diese Schaltung zu große auftretende Spannungen, aufgrund einer Fehlfunktion, gegen Masse kurzschließen sowie einen Verpolungsschutz aufweisen. Diese Funktionen wurden in der Schaltung in Abbildung 3.8 realisiert.

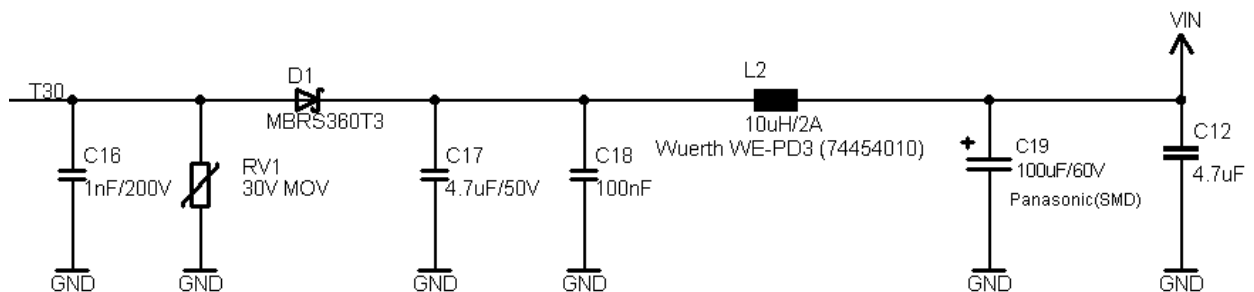


Abbildung 3.8 Schaltung der Eingangfilterstruktur

An der linken Seite der Schaltung, der Eingangsseite, wird die +12V Versorgung des Motorsteuergeräts (Klemme 30) angeschlossen. Direkt am Eingang befindet sich ein HF-Abblockkondensator. Anschließend folgt ein 30V Varistor, der die maximale Eingangsspannung begrenzt, um eventuelle Schäden am Spannungsregler zu verhindern. Die Diode D1 dient dem Verpolungsschutz. Anschließend folgt ein LC-Tiefpassfilter 2.Ordnung (40 dB/Dek.) zur Unterdrückung auftretender Störungen. Die Grenzfrequenz in beiden Richtungen ist dabei in Formel 3.1 berechnet worden.

$$C_p = C_{17} // C_{18} = C_{12} // C_{15} = 4,7 * 10^{-6} + 100 * 10^{-9} = 4,8 \mu F$$

$$f_G = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L_2 * C_p}} = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{10 * 10^{-6} * 4,8 * 10^{-6}}} = \underline{\underline{22,972 \text{ kHz}}}$$

Formel 3.1 Grenzfrequenz des Tiefpassfilters 2.Ordnung

### 3.3 CAN Kommunikation

Bei der CAN Schnittstelle handelt es sich um eine im Fahrzeugbereich etablierte Schnittstelle der Firma Robert Bosch GmbH, welche auf einem ereignisgesteuerten Verbindungssystem mit einer maximalen Übertragungsgeschwindigkeit von 1 MBit/s beruht. In der physikalischen Schicht basiert die Kommunikation auf einer Zweidrahtleitung und einem CAN-spezifischen Abschlusswiderstand von  $120\Omega$ . Für genauere Details zu dieser Schnittstelle wird an dieser Stelle auf [Bosch 2007] verwiesen.

#### 3.3.1 Anforderungen an die CAN Kommunikation

Die primäre Anforderung an die CAN Kommunikation bei der Entwicklung dieses Motorsteuergeräts liegt in der Integration von zumindest drei CAN Schnittstellen, sowohl seitens des Busprotokolls wie auch der zusätzlich erforderlichen Treiberbausteine. Die Anzahl der notwendigen CAN Schnittstellen begründet sich dabei in der Tatsache, dass moderne Fahrzeuge, neben einem getrennten Bussystem für den Antriebsstrang sowie den weiteren Steuergeräten im Fahrzeug, oftmals eine autonome CAN Schnittstelle für die Programmierung und Überwachung des Steuergeräts benötigen.

Darüber hinaus sollte bei den Überlegungen zur Entwicklung und Dimensionierung der CAN Schnittstelle auch entsprechende Entstörmaßnahmen, sowohl bezüglich Gleichtakt- als auch Gegentaktstörungen, vorgesehen werden.

#### 3.3.2 Realisierung der CAN Kommunikation

Wie in Kapitel 3.1.2.1 näher erläutert, verfügt der zum Einsatz kommende Mikrocontroller über vier unabhängige CAN Knoten nach CAN V2.0B Spezifikation. Darüber hinaus sind auf dem phyCORE Modul vier CAN Treiber des Typs SN65HVD23x integriert und ermöglichen damit die geforderte Funktionalität der Schnittstellen.

Am phyCORE Modul besteht zusätzlich die Möglichkeit, die integrierten CAN Treiber mit Hilfe eines Jumpers zu überbrücken und damit die Bussignale direkt vom Mikrocontrollermodul über die beiden Verbindungsstecker auf das Motherboard zu führen und externe Treiberbausteine anzuschließen. Diese Möglichkeit wird bei dem zu entwickelten Motorsteuergerät vorgesehen, um während der Verifikationsphase des Motorsteuergeräts die Option zu besitzen, auf die etablierten CAN Treiber des Typs TLE6250V33 wechseln zu können. Diese redundante Maßnahme wird damit begründet, dass die CAN Schnittstelle eine essentielle Funktionalität während der Entwicklung und dem Betrieb eines Motorsteuergeräts darstellt und bereits positive Erfahrungen in der Firma AVL List GmbH mit den TLE6250V33 CAN Treibern gemacht wurden.

In Abbildung 3.9 ist die Schaltung eines CAN Treibers sowie die Beschaltung zur Entstörung der Leitungen dargestellt.

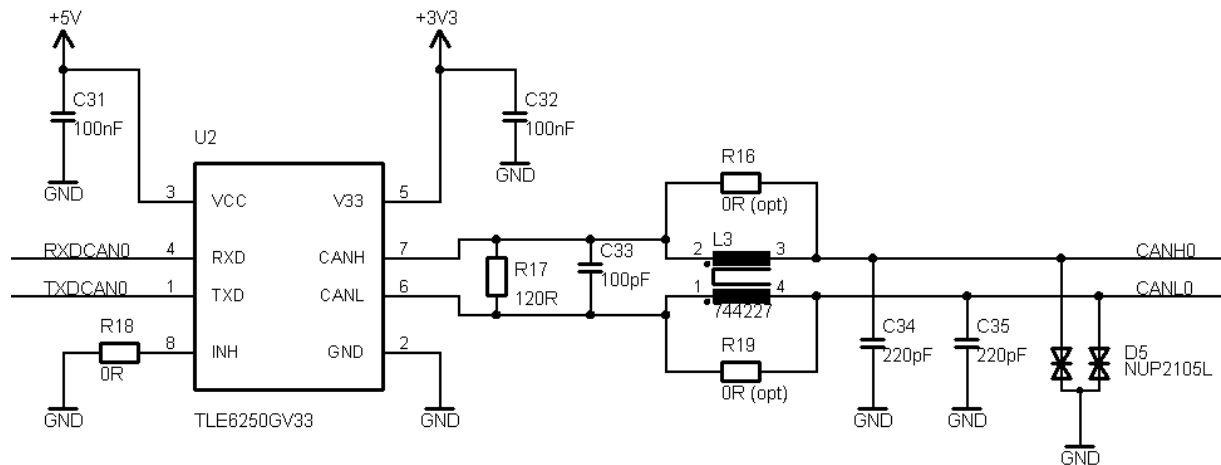


Abbildung 3.9 CAN Transceiver TLE6250V33 mit Beschaltung

In der Schaltung in Abbildung 3.9 ist parallel zu den CAN Leitungen (CANL und CANH) der 120Ω Abschlusswiderstand zu erkennen. Die Beschaltung zur Störunterdrückung wurde gemäß [Würth 2000] dimensioniert, wobei der Kondensator C33 hochfrequente symmetrische Störungen kurzschließt und die Kondensatoren C34 und C35 asymmetrische Störungen reduzieren. Bei der Spule L3 handelt es sich um eine stromkompensierte Drossel. Die Doppeldiode D5 dient als spannungsbegrenzendes Element und schützt den CAN Treiber vor Beschädigungen aufgrund von Überspannungen.

### 3.4 Flexray Kommunikation

Bei der Flexray Schnittstelle handelt es sich um ein zukünftiges Bussystem für die Steuerungs- und Regelungstechnik im Automobilbereich, welches die etablierte CAN Schnittstelle ablösen soll. Der entscheidende Vorteil liegt bei diesem System in der garantierten Einhaltung von Übertragungseigenschaften (deterministisches Verhalten), hohen Übertragungsraten (maximal 10 MBit/s) sowie einem fehlertoleranten Design. Für genauere Informationen wird an dieser Stelle auf [Bosch 2007] verwiesen.

#### 3.4.1 Anforderungen an die Flexray Kommunikation

Da die Flexray Schnittstelle zum jetzigen Zeitpunkt nur sehr vereinzelt in Serienfahrzeugen eingesetzt wird, sollen bei der Entwicklung dieses Motorsteuergeräts die entsprechenden Busleitungen nur auf einer Stiftleiste auf dem Motherboard geführt werden. Somit besteht die Möglichkeit, die erforderlichen Schnittstellentreiber nachträglich integrieren zu können.

#### 3.4.2 Realisierung der Flexray Kommunikation

Entsprechend den Anforderungen in Kapitel 3.4.1. wurden alle erforderlichen Leitungen für die Kommunikation der beiden Flexray Schnittstellen auf eine Stiftleiste am Motherboard gelegt. Weiters

wurde in der Phase des Layouts darauf geachtet, dass im Bereich der Stiftleiste genügend Platz für die Integration einer zusätzlichen Platine mit den Treiberbausteinen ist.

### 3.5 Leistungsendstufen

Zu den Hauptaufgaben des Motorsteuergerätes gehört, neben dem Einlesen verschiedenster Messgrößen und der echtzeitfähigen Datenverarbeitung, vor allem die Ansteuerung der Vielzahl an Aktuatoren (z.B. Motorkühler, Wasserpumpe, Benzinpumpe) im Fahrzeug. Bezug nehmend auf [Borgeest 2007] haben heute die Leistungshalbleiter in diesem Bereich die Relais zur Gänze abgelöst. Die Vorteile der auf Silizium basierenden Schalter liegen dabei in der höheren Zuverlässigkeit, der kleineren Verlustleistung, der zum Teil kürzeren Schaltzeiten sowie vor allem der geringeren Kosten, welcher Aspekt in der modernen Entwicklungsphase einen majoritären Anspruch erhebt.

Bei der Realisierung von Leistungsendstufen kommen grundsätzlich zwei verschiedene Varianten in Betracht, der Low-Side Schalter und der High-Side Schalter. Beim ersteren Konzept wird die Last gegen Masse durchgeschaltet, beim zweiten wird die Last gegen die Versorgungsspannung durchgeschaltet [Borgeest 2007]. In Abbildung 3.10 sind diese beiden Varianten graphisch dargestellt.

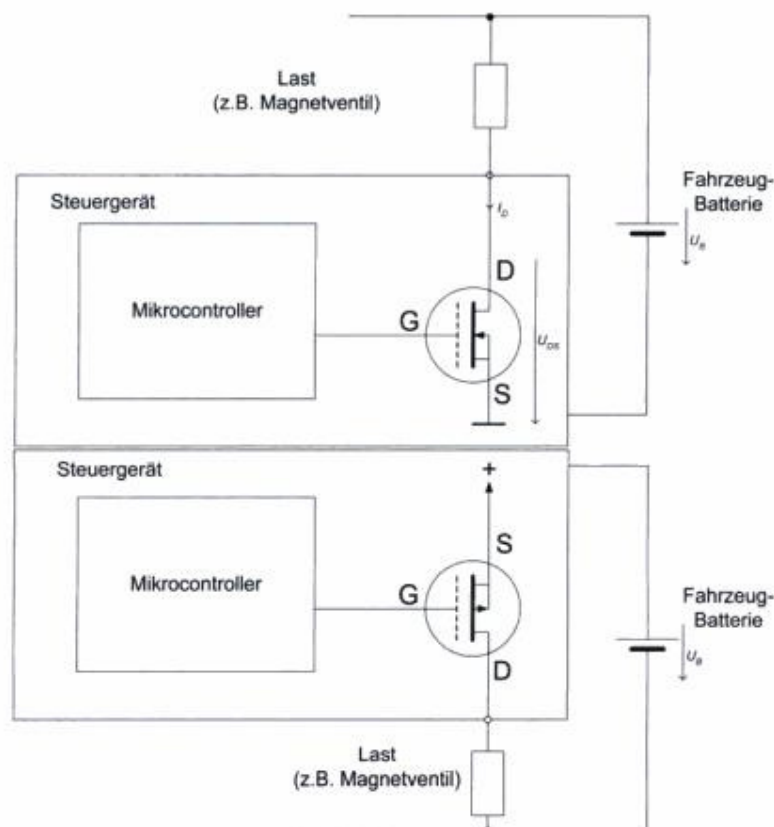


Abbildung 3.10 Low-Side (oben) und High-Side Schalter (unten) (Quelle: [Borgeest 2007])

Im automobilen Bereich hat sich heutzutage der Low-Side Schalter durchgesetzt, da bei dieser Variante ein n-Kanal FET zum Einsatz kommen kann und dieser grundsätzlich kostengünstiger sowie, mit

denselben geforderten Kennwerten, leichter erhältlich ist als ein entsprechender p-Kanal FET. Laut [Borgeest 2007] ist es möglich, einen n-Kanal FET als High-Side Schalter zu verwenden, jedoch wären in diesem Fall weitere Schaltungsteile für einen Schaltwandler oder eine Ladungspumpe erforderlich.

### 3.5.1 Anforderungen an die Leistungsendstufen

Bezug nehmend auf Kapitel 3.5 kommen bei dem zu entwickelnden Motorsteuergerät auf Halbleiter basierende Low-Side Schalter als Leistungsendstufen zum Einsatz.

Diese müssen neben allgemeinen Anforderungen, wie etwa einer möglichst geringen Wärmeentwicklung oder einem kompakten Design, vor allem eine ausreichend große Strombelastbarkeit für die angeschlossenen Aktuatoren aufweisen. Darüber hinaus sind laut [Bosch 2007] diese Leistungsendstufen gegenüber Kurzschlüssen gegen die Fahrzeugmasse und der Versorgungsspannung sowie einer elektrischen oder thermischen Überlastung zu schützen.

Da es sich bei dieser Entwicklung um ein 8-Zylinder Motorsteuergerät handelt, muss eine ausreichende Anzahl von Leistungsendstufen integriert werden, um alle möglichen Aktuatoren eines Fahrzeuges ansteuern zu können. In der Tabelle 3.3 ist eine Abschätzung über die Anzahl sowie die Verwendung von Leistungsendstufen in einem 8-Zylinder Fahrzeug gegeben.

| Aktuator                            | Anzahl der Leistungsendstufen |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| Injektoren für Saugrohreinspritzung | 8                             |
| Nockenwellenverstellventil          | 4                             |
| Motorlüfter                         | 2                             |
| Wasserpumpe                         | 1                             |
| Benzinvordruckpumpe                 | 2                             |
| Elektroventil für Wastegate         | 2                             |
| Tankentlüftung                      | 1                             |
| Ladedruckregelung                   | 1                             |
| Abgasrückführung                    | 1                             |

Tabelle 3.3 Abschätzung der erforderlichen Leistungsendstufen

Somit sollten zumindest 25 Low-Side Schalter, unter der Berücksichtigung einiger Reserve-Leistungsendstufen für zukünftige Anwendungen, in das Steuergerät integriert werden.

### 3.5.2 Realisierung der Leistungsendstufen

Entsprechend den Anforderungen an die Leistungsendstufen kommen zwei intelligente Leistungsendstufenbausteine zum Einsatz. Die Wahl ist dabei auf den TLE6244X von Infineon gefallen, der in einem Halbleiterbaustein 18 Leistungsendstufen (Low-Side Schalter) integriert und über folgende Eigenschaften verfügt [Infineon 2003]:

- integrierte Kurzschlussüberwachung aller Endstufen

- Übertemperaturüberwachung des Bausteins
- Überspannungsschutz aller Endstufen
- SPI Schnittstelle zur Konfiguration und Diagnose
- MSC Schnittstelle zur seriellen Ansteuerung aller Endstufen im  $\mu\text{s}$ -Bereich
- kompatibel mit +3.3V Mikrocontrollern

In Abbildung 3.11 ist das Blockschaltbild des TLE6244X Bausteins dargestellt.

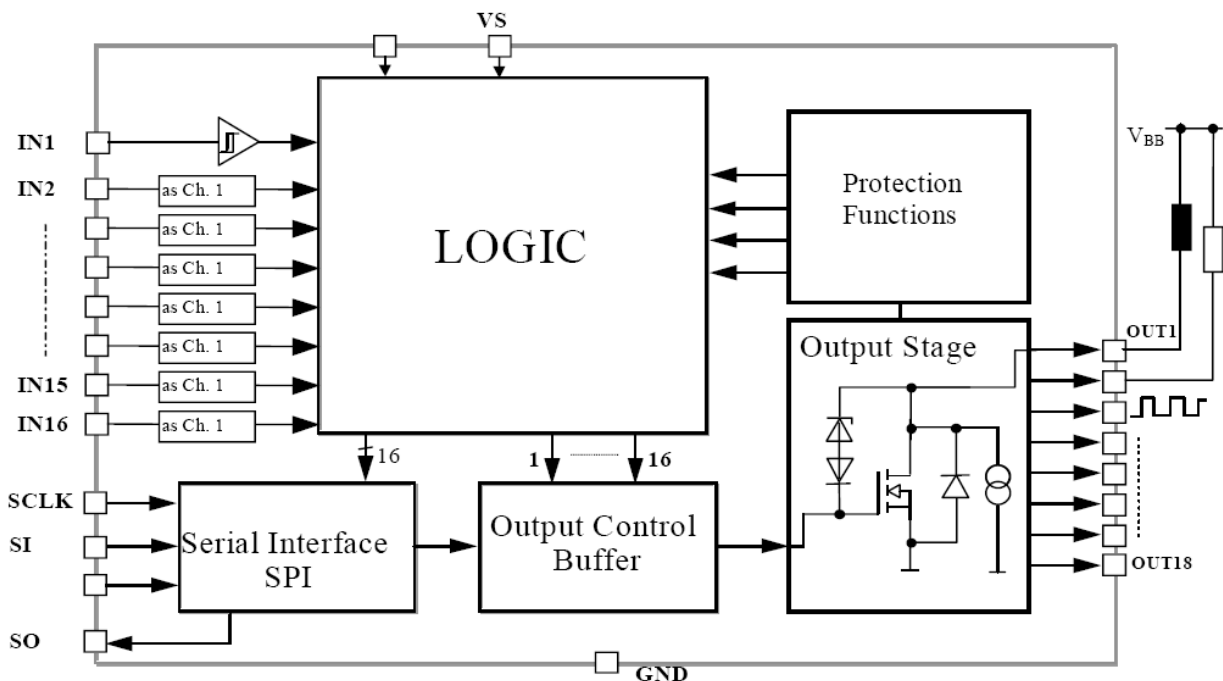


Abbildung 3.11 Leistungsendstufe TLE6244X, Blockschaltbild (Quelle: [Infineon 2003])

Besonders die Integration der MSC Schnittstelle in diesem Baustein sei an dieser Stelle hervorzuheben und näher zu erläutern. Dabei handelt es sich um eine serielle, synchrone Datenübertragung mit einer maximalen Übertragungsgeschwindigkeit von 37.5 MBit/s. Damit bekommt der Entwickler die Möglichkeit, die einzelnen Leistungsendstufen des Bausteines über lediglich drei Leitungen (Clock, Data, Enable) anzusteuern. Neben einer erheblichen Einsparung an zu führenden Leitungen auf der Platine ergeben sich durch den Einsatz der MSC Schnittstelle weitere Vorteile bezüglich der Flexibilität. In der GPA Einheit erzeugte Signale, wie etwa für die Einspritzung oder Zündung, können nun nicht nur an eine Leistungsendstufe geführt werden wie bei einer hard-wired Ausführung, sondern flexibel je nach Anwendung mit verschiedenen Leistungsendstufen verschaltet werden. Für genauere Informationen wird an dieser Stelle auf [Infineon 2005] verwiesen.

Die folgende Abbildung 3.12 beschreibt die zur Verfügung stehenden Endstufen mit den jeweiligen Kennwerten.



|                 | Nominal Current | $R_{on,max}$ at $T_J = 25^\circ\text{C}$ | static current limitation enabled by SPI | Clamping |
|-----------------|-----------------|--|--|----------|
| OUT1, 2, 5, 6   | 2.2A            | 400m $\Omega$                            | -  | 70V      |
| OUT3, OUT4      | 2.2A            | 380m $\Omega$                            | -  | 70V      |
| OUT7, OUT8      | 1.1A            | 780m $\Omega$                            | -  | 45V      |
| OUT9, OUT10     | 2.2A            | 380m $\Omega$                            | X  | 45V      |
| OUT11...OUT14   | 2.2A            | 380m $\Omega$                            | -  | 45V      |
| OUT15, OUT16    | 3.0A            | 280m $\Omega$                            | X  | 45V      |
| OUT17, OUT18 *) | 1.1A            | 780m $\Omega$                            | X  | 45V      |

Abbildung 3.12 Leistungsendstufe TLE6244X, Kennwerte (Quelle: [Infineon 2003])

Mit dem Einsatz zweier TLE6244X Bausteine stehen theoretisch 36 Leistungsendstufen (Low-Side Schalter) zur Verfügung. Aufgrund der Anforderung einer möglichst kompakten Platine sowie der geforderten Mindestanzahl von 25 Leistungsendstufen wurden nur 30 implementiert, was jedoch die diesbezüglichen Anforderungen an moderne Fahrzeuge abdeckt.

Die Stromaufnahmewerte zwischen 1.1A und 3.0A entsprechen dabei Anforderungen typischer Aktuatoren. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Leistungsendstufen parallel zu schalten, um bei atypischen Anwendungsfällen eine entsprechende Lösung zu besitzen.

### 3.6 Lambdasonden Auswertung und Heizung

Bei modernen Verbrennungsmotoren mit immer strengeren Abgasgesetznormen und steigenden Anforderungen an einen geringen Kraftstoffverbrauch ist der Betrieb eines Ottomotors ohne Lambda-Regelung nicht mehr denkbar. Je nach Motortyp kommen eine oder mehrere Lambdasonden zum Einsatz, wobei man grundsätzlich zwischen zwei verschiedenen Typen unterscheidet [Bosch 2007]:

- Zweipunkt-Lambdasonde

Eine sprungförmige Kennlinie dieser Sonden erlaubt eine Gemischregelung auf  $\lambda = 1$ .

- Breitband-Lambdasonde (LSU)

Diese Lambdasonde erlaubt nicht nur im stöchiometrischen Punkt bei  $\lambda = 1$ , sondern auch im mageren ( $\lambda > 1$ ) und fetten ( $\lambda < 1$ ) Bereich den Lambdawert genau zu messen.

Außerdem verfügen Lambdasonden über einen integrierten Heizer, der die Sonde auf eine Betriebstemperatur von 650°C...900°C erwärmt. Dies ist von entscheidender Bedeutung, da Lambdasonden nur in diesem Bereich ein plausibles Signal ausgeben und darüber hinaus wird der Einfluss der Abgastemperatur durch den Einsatz des Heizers stark minimiert [Bosch 2007].

Für genauere Informationen über Lambdasonden wird an dieser Stelle auf [Bosch 2007] verwiesen.

### **3.6.1 Anforderungen an die Auswertung und Heizung**

Das Motorsteuergerät soll die schaltungstechnischen Ressourcen besitzen, um sowohl zwei Zweipunkt-Lambdasonden sowie zwei Breitband-Lambdasonden mit allen dafür relevanten Funktionen ansteuern und regeln zu können.

Bei der Verwendung der Breitband-Lambdasonden soll bei der Dimensionierung darauf Rücksicht genommen werden, dass sowohl Sonden vom Typ LSU4.2 als auch vom Typ LSU4.9 zum Einsatz kommen können.

Weiters soll eine Baugruppe auf dem Motorsteuergerät integriert werden, welche die Ansteuerung von zwei Lambdasonden Heizungen ermöglicht.

### **3.6.2 Realisierung der Auswertung für die Lambdasonden**

Bei der Realisierung der Heizungsregelung für die Lambdasonden muss grundsätzlich zwischen der erforderlichen Schaltung für Zweipunkt-Lambdasonden und der für Breitband-Lambdasonden unterschieden werden, da sich die Signale zur Ansteuerung und die Messgrößen deutlich voneinander unterscheiden.

#### **3.6.2.1 Zweipunkt-Lambdasonden**

Zweipunkt-Lambdasonden geben eine analoge Spannung als Messgröße entsprechend dem aktuellen Lambdawert aus und benötigen keine externe Spannungsversorgung (Sonden basieren auf dem Nernst-Prinzip). Diese Spannung wird gleich den anderen analogen Eingangsgrößen gemessen und im Mikrocontroller weiterverarbeitet. Für die Eingangsschaltungsstruktur wird an dieser Stelle auf das Kapitel 3.8 verwiesen.

Der Heizwiderstand einer Zweipunkt-Lambdasonde besitzt ein PTC-Verhalten, sodass eine externe Regelung und Temperaturmessung nicht notwendig ist. Die Ansteuerung erfolgt dabei über einen Low-Side Schalter, der entsprechend dem minimalen Heizwiderstand dimensioniert werden muss.

#### **3.6.2.2 Breitband-Lambdasonden**

Zur Auswertung und Ansteuerung der Breitband-Lambdasonden werden zwei Bausteine des Typs CJ125 von der Firma Robert Bosch GmbH eingesetzt. Dieser Baustein ist speziell für den Einsatz in Motorsteuerungen und den Betrieb von Breitband-Lambdasonden vom Typ LSU4.x entwickelt worden und stellt den aktuellen Stand der Technik dar. Abbildung 3.13 zeigt das Blockschaltbild des CJ125 Bausteins.

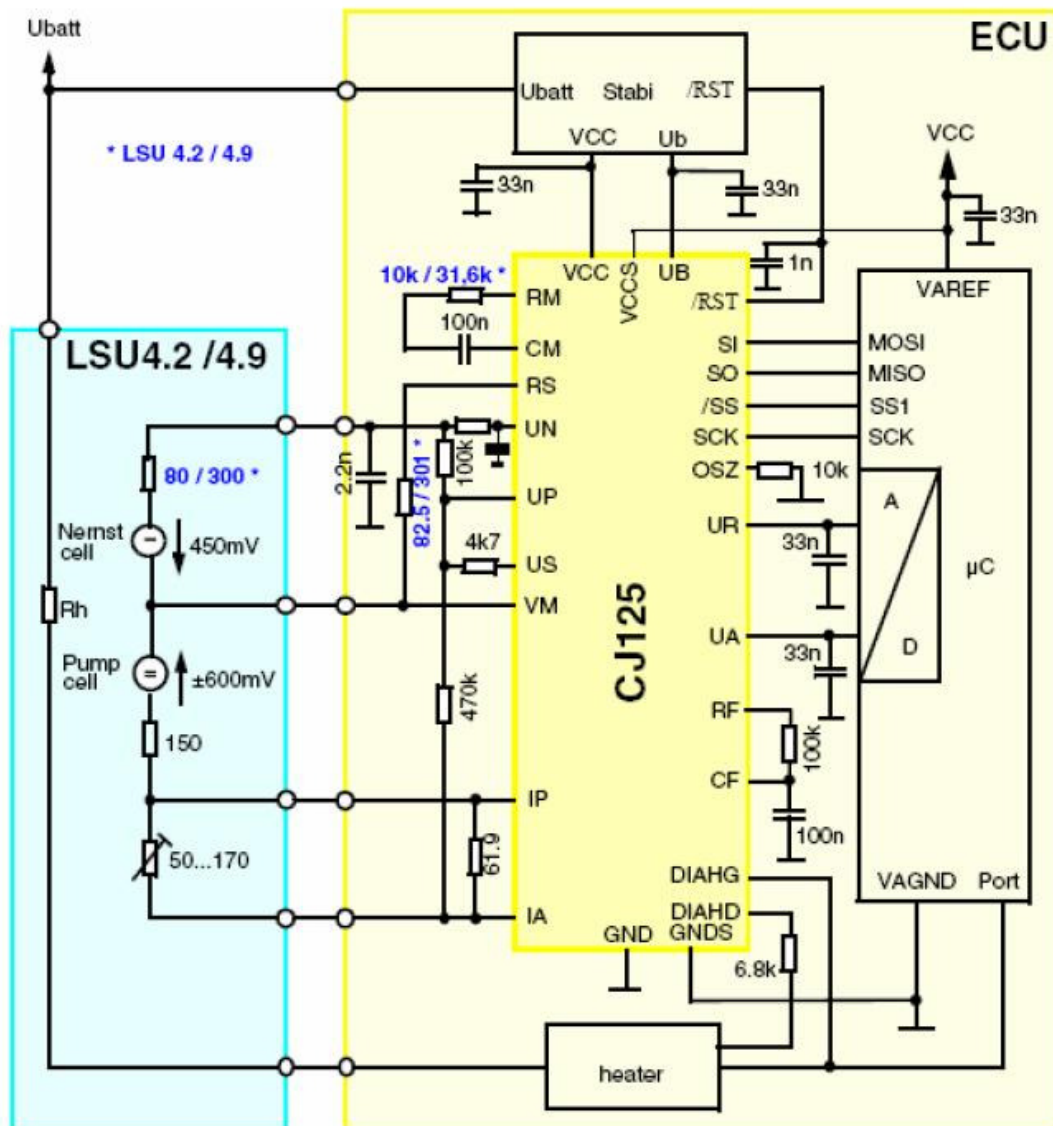


Abbildung 3.13 CJ125 Baustein, Blockschaltbild (Quelle:[Bosch 2006c])

Wie in Abbildung 3.13 ersichtlich, übernimmt der intelligente Baustein sowohl die Regelung der Nernst-Konzentrationszelle der Lambdasonde als auch die Ansteuerung der Sauerstoff-Pumpzelle. Die Kommunikation und Konfiguration erfolgt mit Hilfe der SPI Schnittstelle und muss in der Initialisierungsphase des Motorsteuergeräts erfolgen. Im laufenden Betrieb gibt der Baustein einerseits den aktuellen Lambdawert ( $U_a$ ) und andererseits die aktuelle Temperatur der Sonde ( $U_r$ ) aus.

Die Steuerung des Heizers für die Lambdasonde muss, wie im Blockschaltbild in Abbildung 3.13 dargestellt, extern erfolgen. Dazu folgt eine genauere Beschreibung im Kapitel 3.6.3.

Die Beschaltung des CJ125 Bausteins erfolgt gemäß [Bosch 2006c] und wurde im Zuge von anderen Projekte in der Firma AVL List GmbH schon als erfolgreich verifiziert. Bei der Dimensionierung der Beschaltung des Bausteines ist zu beachten, dass die Widerstände mit den blauen Doppelbezeichnungen so zu wählen sind, dass sie mit dem benutzten Lambdasondentyp (entweder LSU4.2 oder LSU4.9) übereinstimmen.

### 3.6.3 Realisierung der Heizung für die Lambdasonden

Der geschlossene Temperaturregelkreis der Lambdasonden Heizung erfolgt zum einen über die Ansteuerung des Heizelements der Lambdasonde mit einem Low-Side Schalter und zum anderen über das Einlesen der Sondentemperatur mit Hilfe des CJ125 Bausteins.

Da der Heizwiderstand von Breitband-Lambdasonden bei niedrigen Temperaturen kleiner  $4\Omega$  ist, kann die Ansteuerung aufgrund der erwartenden Stromstärke nicht mit dem ASIC TLE6244 erfolgen. Zum Einsatz kommt der Baustein TLE8102SG von der Firma Infineon Technologies AG, der zwei Low-Side Schalter integriert hat, Ströme bis 5A schalten kann und speziell für die Ansteuerung von PWM Anwendungen im automobilen Bereich entwickelt wurde [Infineon 2008b]. Der Baustein zeichnet sich vor allem durch folgende Eigenschaften aus:

- zwei Low-Side Schalter ( $R_{on} = 360m\Omega$ )
- kontinuierliche Strommessung der Ausgänge (Möglichkeit der Stromregelung)
- interner Überlastungsschutz (programmierbar)
- integrierte Strombegrenzung
- erkennt Kurzschlüsse gegen Masse
- SPI Schnittstelle (für Konfiguration und Diagnose)

In der Abbildung 3.14 ist das Blockschaltbild des TLE8102SG Bausteins dargestellt.

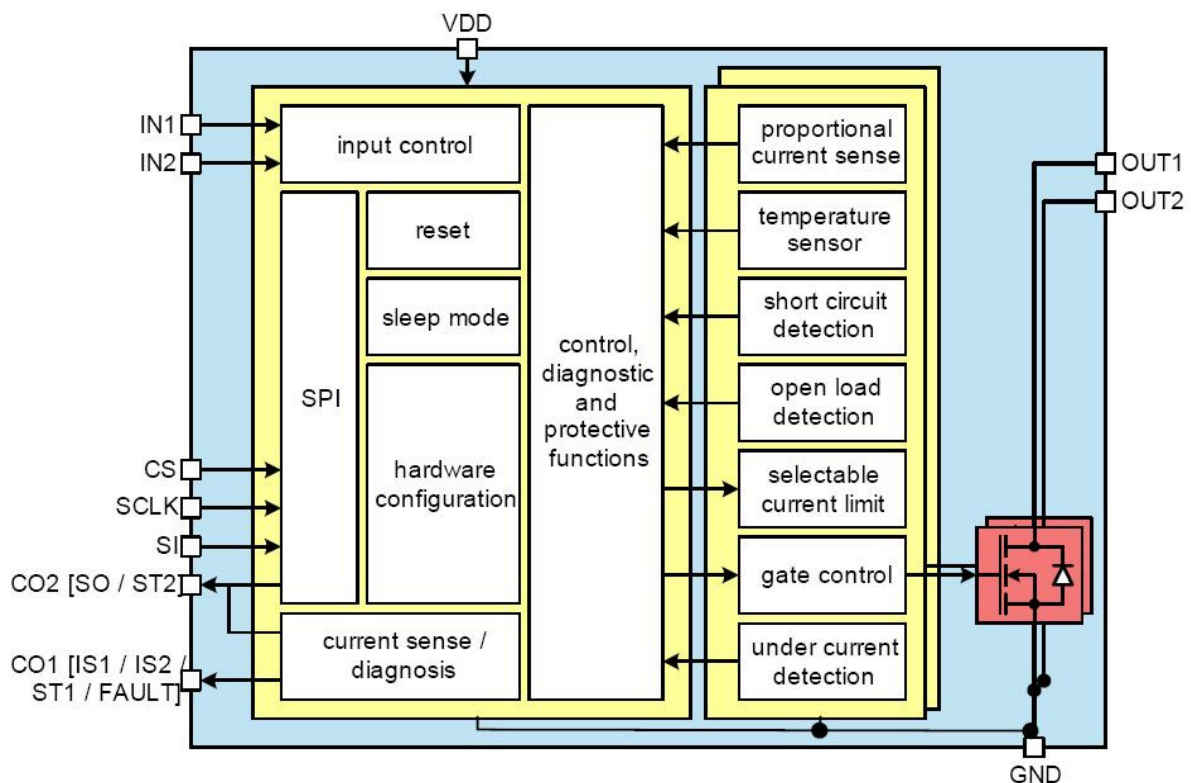


Abbildung 3.14 Leistungsendstufe TLE8102SG, Blockschaltbild (Quelle: [Infineon 2008b])

## 3.7 Direkteinspritzung

Moderne Ottomotoren sind immer öfter mit dem Konzept der Direkteinspritzung ausgestattet, bei dem der Kraftstoff nicht wie bei konventionellen Benzinmotoren in das Saugrohr, sondern direkt in den Zylinder eingespritzt wird. Dieses Verfahren wird schon seit Jahren bei Dieselmotoren eingesetzt und wird in den nächsten Jahren auch im Bereich der Benzinmotoren zu einem Standard führen. Grundsätzlich ergeben sich durch diese innere Gemischbildung unter anderem folgende Vorteile [Eichlseder 2008]:

- Möglichkeit eines inhomogenen Schichtbetriebs bei bestimmten, meist Teillastbetriebspunkten
- höhere Verbrennungsdynamik
- die Verdampfungswärme ist im Brennraum aufzubringen, daher erfolgt eine Kühlung durch den Kraftstoff (höhere Klopfgrenze und damit höheres Verdichtungsverhältnis möglich)
- weniger Spülverluste (vor allem beim gleichzeitigen Einsatz eines Turboladers)
- genauere Dosierbarkeit des Kraftstoffes und damit eine exaktere Regelung des Gemisches, da im Gegensatz zu einer Saugrohreinspritzung kein Kraftstoff im Saugrohr verdunsten kann

All diese Maßnahmen dienen dabei dem Gedanken der Verbrauchsoptimierung, der Verbesserung des Abgasverhaltens sowie der Fahrdynamik. Der Hauptnachteil der Direkteinspritzung liegt im Bereich der Kosten für das relativ aufwändige System.

Für weitere Details zum Thema Direkteinspritzung wird an dieser Stelle auf [Basshuysen 2008] verwiesen.

### 3.7.1 Anforderungen an die Direkteinspritzung

Die Hauptanforderung an die Schaltung der Direkteinspritzung liegt in der Integration von Baugruppen zur Ansteuerung von acht Hochdruckeinspritzventilen. Die Herausforderungen liegen dabei einerseits in der Realisierung des in Abbildung 3.15 geforderten, konfigurierbaren Stromprofils, welches zur Ansteuerung der eingesetzten Injektoren notwendig ist, sowie andererseits in der Integration der Schaltung zur Erzeugung der Hochspannung, welche für die schnellen Öffnungszeiten (Booster phase) der Hochdruckeinspritzventile unverzichtbar ist.

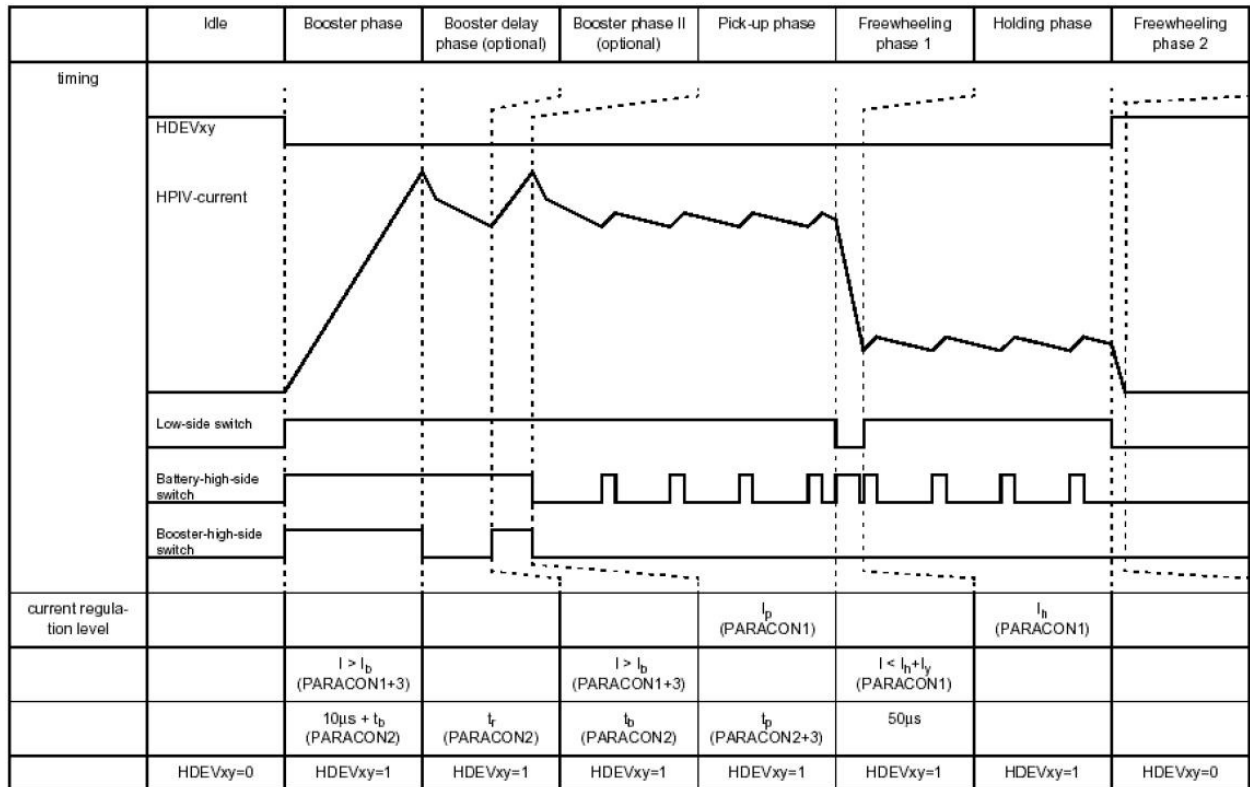


Abbildung 3.15 Stromprofil der Direkteinspritzung (Quelle:[Bosch 2005])

Der Kurvenverlauf „HPIV-current“ in Abbildung 3.15 zeigt das erforderliche Stromprofil zur Ansteuerung des Hochdruckeinspritzventils und wurde aus dem Datenblatt des Bausteins CJ840 entnommen [Bosch 2005]. Der Injektor (Magnetventil) wird während der Boostphase durch den Booststrom geöffnet, der von den elektrischen Eigenschaften der ohmsch-induktiven Last abhängig ist. Aufgrund der Trägheit des mechanischen Systems muss der Injektor anfänglich mit einem höheren Strom angesteuert werden („Booster phase“ und „Pick-up phase“), um die Öffnungszeit zu minimieren. Ist der Injektor einmal geöffnet, wird durch die Zeit und Charakteristik der „Holding phase“ die Einspritzdauer bestimmt.

### 3.7.2 Realisierung der Direkteinspritzung

Die Funktion der Direkteinspritzung wird mit dem Einsatz von zwei Bausteinen mit der Bezeichnung CJ840 der Firma Robert Bosch GmbH realisiert, welche gemäß [Bosch 2005] jeweils die Ansteuerung von vier Hochdruckeinspritzventilen auf zwei unterschiedlichen Zylinderbänken unterstützen. Wie in dem Blockschaltbild des ASIC's in Abbildung 3.16 ersichtlich, erfolgt die Ansteuerung einer Zylinderbank sowohl mit einem High-Side Schalter für die Batteriespannung (Holding-Phase) als auch mit einem High-Side Schalter für die Boost-Spannung (Boost-Phase). Darüber hinaus verfügt der Baustein über vier integrierte Low-Side Schalter zur Auswahl einer der beiden Hochdruckventile jeder Zylinderbank.

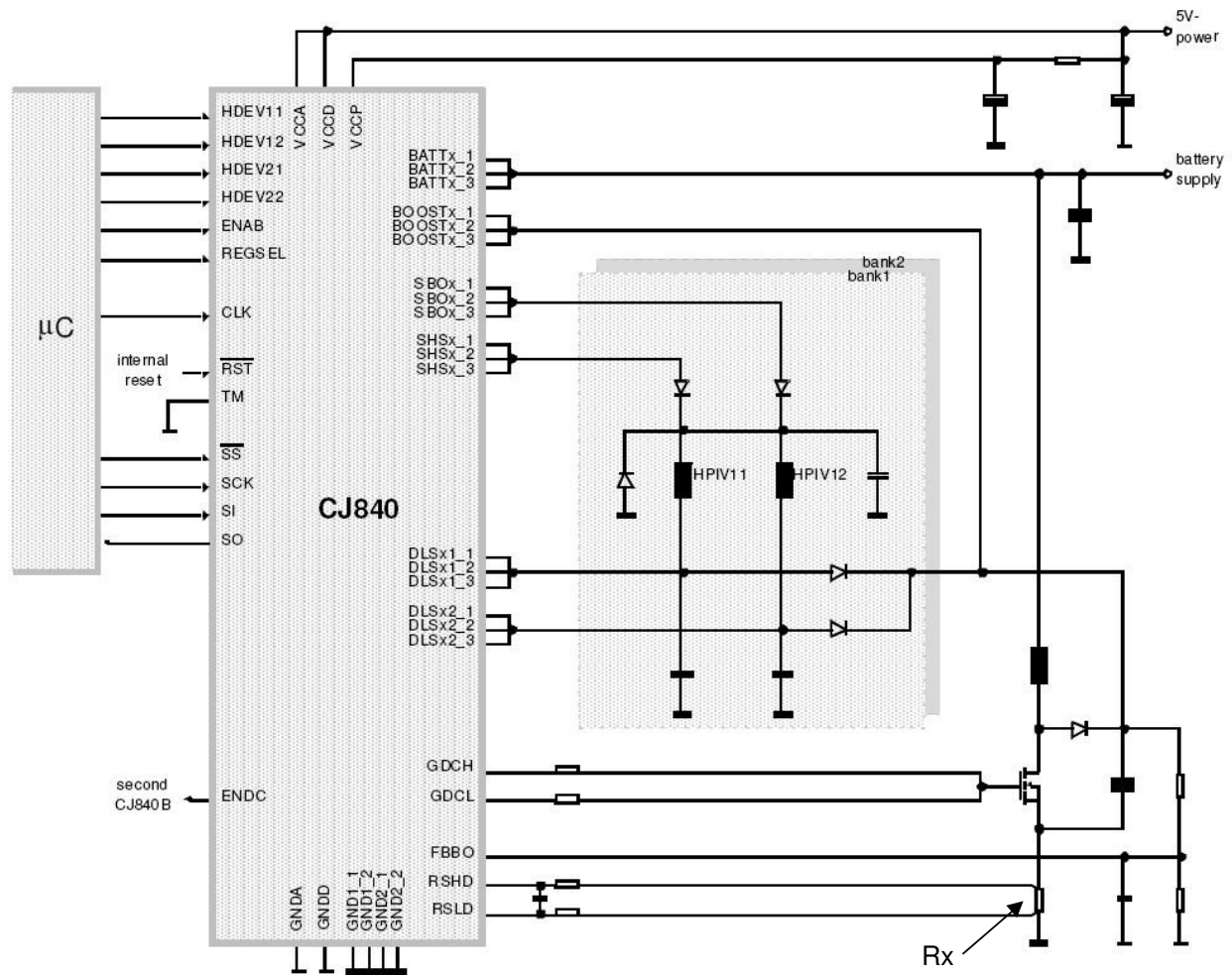


Abbildung 3.16 CJ840 Baustein, Blockschaltbild (Quelle: [Bosch 2005])

Die Erzeugung der Boost-Spannung von etwa +65V wird mit einem DC/DC-Konverter realisiert, dessen Ansteuerung und Regelung ebenfalls der intelligente CJ840 Baustein übernimmt. Dabei kommt ein Step-Up Konverter zum Einsatz, dessen Schalttransistor über die Ausgänge GDCH und GDCL angesteuert wird. Der fließende Strom wird über den Spannungsabfall des Shunt-Widerstands Rx mit Hilfe der Eingänge RSHD und RSLD gemessen.

Die einzelnen Injektoren werden mit den active-low Leitungen HDEVxx angesteuert. Eine Konfiguration des gewünschten Stromprofils sowie eine Diagnose aller Strompfade wird über die integrierte SPI Schnittstelle realisiert.

Auf genauere Details der Funktionalität des CJ840 sowie der Dimensionierung des DC/DC-Konverters kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden, da zu diesem ASIC eine Geheimhaltungserklärung zwischen der Robert Bosch GmbH sowie der AVL List GmbH besteht.

## 3.8 Analoge Signalmessung

Die analoge Signalmessung nimmt eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung und Dimensionierung eines Motorsteuergeräts ein, da eine Vielzahl von essentiellen Sensoren im Antriebsstrang den Messwert in Form einer analogen Größe ausgeben und vorhandene Regelkreise im Motorsteuergerät auf diesen Werten basieren (Beispiel: Heizungsregelung der Lambdasonden). Im Gegensatz zu digitalen Schaltsignalen oder PWM Signalen sind diese Messgrößen um ein Vielfaches sensibler gegenüber einwirkenden Störgrößen und dieser Aspekt muss dementsprechend in der Entwicklungsphase berücksichtigt werden.

### 3.8.1 Anforderung an die analoge Signalmessung

In der Tabelle 3.4 wird ein Überblick über die erforderlichen analogen Eingangsgrößen gegeben und basiert dabei auf den gewonnenen Erkenntnissen im Einsatz von Motorsteuergeräten der Firma AVL List GmbH. Diese Tabelle dient zugleich der Ermittlung und Ressourcenreservierung der analogen Eingangspins am Mikrocontroller.

| Abkürzung         | Bezeichnung / Funktion  | Anzahl |
|-------------------|---|--------|
| MAP               | Saugrohrdruck ( <u>M</u> anifold <u>A</u> ir <u>P</u> ressure)                | 1      |
| MAF               | Luftmassenmesser ( <u>M</u> ass <u>A</u> ir <u>F</u> low)                     | 1      |
| PEDAL_POS         | Fahrpedalsensor   | 2      |
| COOLANT_TEMP      | Kühlmitteltemperatur  | 1      |
| IAT               | Ansauglufttemperatur ( <u>I</u> ntake <u>A</u> ir <u>T</u> emperature)        | 1      |
| EOT               | Motoröltemperatur ( <u>E</u> ngine <u>O</u> il <u>T</u> emperature)           | 1      |
| TOT               | Getriebeöltemperatur ( <u>T</u> ransmission <u>O</u> il <u>T</u> emperature)  | 1      |
| A/C_PRESSURE      | Klimakompressordruck  | 1      |
| PWRSTEER_PRESSURE | Servolenkungsdruck  | 1      |
| TANKPRESSURE      | Druck im Tank   | 1      |
| FUELRAILPRESSURE  | Raildrucksensor   | 1      |
| ETC_TPS           | Drosselklappenstellung ( <u>E</u> lectronic <u>T</u> hrottle <u>C</u> ontrol) | 2      |
| HEGO_ANA          | Lambdawert der Zweipunktlambdasonde   | 2      |
| T15               | Klemme 15 Spannungsmessung  | 1      |
| AMBIENT_PRESSURE  | Umgebungsdruck  | 1      |
| UA                | Lambdawert der Breitbandlambdasonde   | 2      |
| UR                | Temperatur der Breitbandlambdasonde   | 2      |
| TLE8102SG         | Strommessung am TLE8102SG Baustein  | 1      |

Tabelle 3.4 Überblick über die analogen Eingangsgrößen

Bei den analogen Eingangsgrößen Fahrpedalsensor und Drosselklappenstellung handelt es sich um sicherheitsrelevante Funktionen, die eine redundante Messgrößenerfassung verlangen. Somit kann bei einer Fehlfunktion beliebiger Art zumindest ein Betriebszustand eingestellt werden, der ein möglichst geringes Risiko darstellt (z.B. Drosselklappe geschlossen, um ein ungewolltes Beschleunigen des Fahrzeuges zu verhindern).



Bezug nehmend auf Tabelle 3.4 ergibt sich eine Anforderung von mindestens 23 analogen Messgrößenerfassungen (analoger single-ended Eingangspin am Mikrocontroller plus die entsprechende Eingangsschaltung). Darüber hinaus sollten je nach Möglichkeit weitere analoge Eingangspins für zukünftige Erweiterungen eingeplant sowie vorhandene differentielle Analogeingänge des Mikrocontrollers nutzbar gemacht werden.

Die allgemeinen Anforderungen an die Eingangsschaltungsstruktur sind in folgender Auflistung zusammengefasst:

- Anpassung des Spannungsbereichs

Die analoge Eingangsgröße des Sensors (0V...+5V) sollte so angepasst werden, dass diese sowohl mit dem Mikrocontroller TC1796 als auch mit dem TC1797 über deren gesamten Eingangsspannungsbereich gemessen werden kann.

- Strombegrenzung

Das Eingangssignal soll entsprechend der maximalen Vorgaben des Mikrocontrollers strombegrenzt werden.

- Störunterdrückung bzw. Filterung

Entsprechende schaltungstechnische Maßnahmen zur Störunterdrückung bzw. Filterung bei den analogen Eingangsgrößen sollen vorgesehen werden.

- Pull-Device

Jeder analoge Eingang soll auf dem Motherboard sowohl wahlweise mit einem Pull-Up als auch mit einem Pull-Down Widerstand zu bestücken sein, um auf verschiedene Sensorenausführungen eingehen zu können.

### **3.8.2 Realisierung der analogen Signalmessung**

Bei der Auswahl der Schaltungselemente sowie deren Dimensionierung wird auf [Krüger 2008] sowie auf bisherige Erfahrungen der Firma AVL List GmbH Bezug genommen.

#### **3.8.2.1 Single-Ended Analogeingänge (Mikrocontroller)**

Bei den single-ended Analogeingängen handelt es sich um Eingangsgrößen, die sich betragsmäßig auf die gemeinsame Masse beziehen und für die Signalübertragung nur eine Leitung, neben der Bezugsmasse, benötigen. Der Vorteil dabei ist der minimale Leitungsaufwand, dem steht dabei der Nachteil einer leichteren Störbeeinflussbarkeit gegenüber. Im Allgemeinen sind alle gängigen analogen Eingangssignale, sowie sie auch in Tabelle 3.4 aufgelistet sind, als single-ended Variante ausgeführt.

Der eingesetzte Mikrocontroller bietet grundsätzlich die Möglichkeit der Verwendung von 43 analogen Eingängen an, jedoch können an dieser Stelle nur 21 aufgrund der Doppelbelegung am Prozessormodul verwendet werden.

Abbildung 3.17 zeigt einen Schaltplanausschnitt mit der Eingangsschaltungsstruktur für die analoge Messgröße „COOLANT\_TEMP“. Die Beschaltung der anderen analogen Messgrößen sieht dabei äquivalent aus.

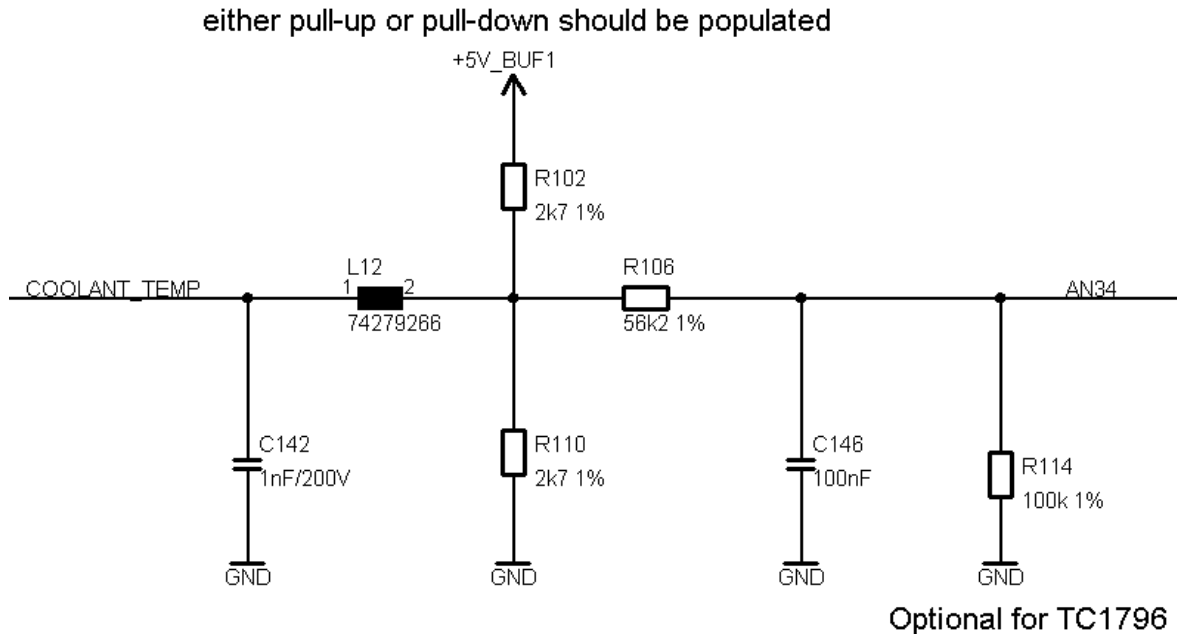


Abbildung 3.17 Eingangsschaltungsstruktur der analogen Messgrößen

Direkt am Analogeingang des Motorsteuergeräts ist ein 1nF/200V Keramikkondensator angebracht, damit hochfrequente Störungen direkt auf Masse abgeleitet werden. Danach folgt ein EMV-Ferrit der Firma Würth, um die Dynamik von schnellen Stromänderungen zu begrenzen und überlagerte Störgrößen zu dämpfen. Anschließend befinden sich sowohl ein Pull-Up als auch ein Pull-Down Widerstand im Schaltplan, um auf beide verschiedenen Sensorausführungen vorbereitet zu sein. Bei der Inbetriebnahme des Motorsteuergeräts muss einer der beiden entsprechend der sensorseitigen Konfiguration (z.B. 2.7kΩ Widerstand) bestückt werden. Die darauf folgende Widerstandskombination aus Serien- und Parallelwiderstand stellt einen Spannungsteiler dar, der einerseits als Strombegrenzung wirkt (56.2kΩ Serienwiderstand) und bei der gleichzeitigen Bestückung des 100kΩ Parallelwiderstands die Eingangsspannung bei +5V auf +3.3V hinunterteilt. Somit ist eine schaltungstechnische Bestückermaßnahme vorgesehen, die sowohl die Gegebenheiten des Infineon TC1796 als auch die des TC1797 berücksichtigt. Zu dem 100kΩ Widerstand befindet sich zusätzlich ein paralleler 100nF Keramikkondensator, der mit dem Serienwiderstand einen RC-Tiefpass darstellt, um Störungen zu filtern.

Für die analoge Messung des Umgebungsdruckes befindet sich direkt am Motherboard ein Sensorbaustein mit der Bezeichnung KP125 von Infineon. Dabei handelt es sich um einen IC, der den absoluten Luftdruck messen kann und diesen als analoge Messgröße ausgibt [Infineon 2007c]. Die Beschaltung wurde laut Datenblatt vorgenommen und ist in Abbildung 3.18 dargestellt.

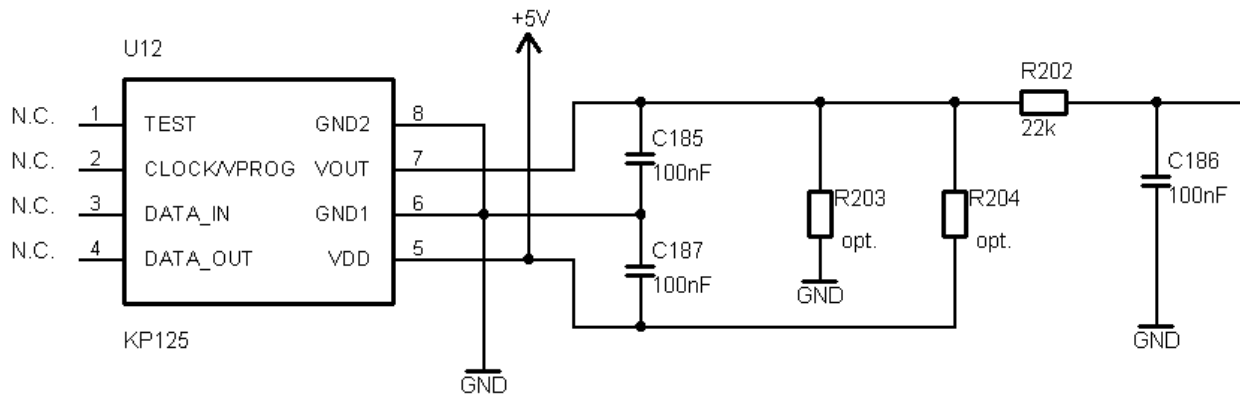


Abbildung 3.18 Schaltung der Umgebungsdruckmessung basierend auf dem Baustein KP125

### 3.8.2.2 Single-Ended Analogeingänge (externer Analog-to-Digital-Converter)

Aufgrund der im Kapitel 3.1.2.2 erläuterten Umstände, dass es bei dem phyCORE Modul zu einer Doppelbelegung von analogen Eingängen und GPIO Pins kommt, stehen insgesamt nur 21 analoge Eingänge seitens des Mikrocontrollers zur Verfügung. Da jedoch zumindest 23 Eingänge notwendig sind und darüber hinaus noch welche als Reserve für zukünftige Anwendungen mit einzuplanen sind, wurde an dieser Stelle entschieden, einen zusätzlichen externen Analog-to-Digital-Converter einzusetzen.

Zur Anwendung kommt dabei ein 8 Kanal Analog-to-Digital-Converter mit der Bezeichnung ADC108S102 der Firma National Semiconductors, der über eine eigene SPI Schnittstelle (SPI 1) angeschlossen wird und kontinuierlich die analogen Daten an den Mikrocontroller sendet [National 2005]. Der Baustein zeichnet sich dabei durch folgende Eigenschaften aus:

- Konvertierungsraten bis zu 1 MSPS
- basiert auf dem Verfahren der sukzessiven Approximation
- +3.3V  $\mu$ C-kompatibel durch eigene Spannungsversorgung für die Schnittstelle

Abbildung 3.19 zeigt die Schaltung des eingesetzten Bausteins. Der Schaltplanausschnitt zeigt aus Platzgründen nicht die Eingangsschaltungen der einzelnen Kanäle, die sich jedoch mit denen der analogen Eingangskanäle des Mikrocontrollers decken.

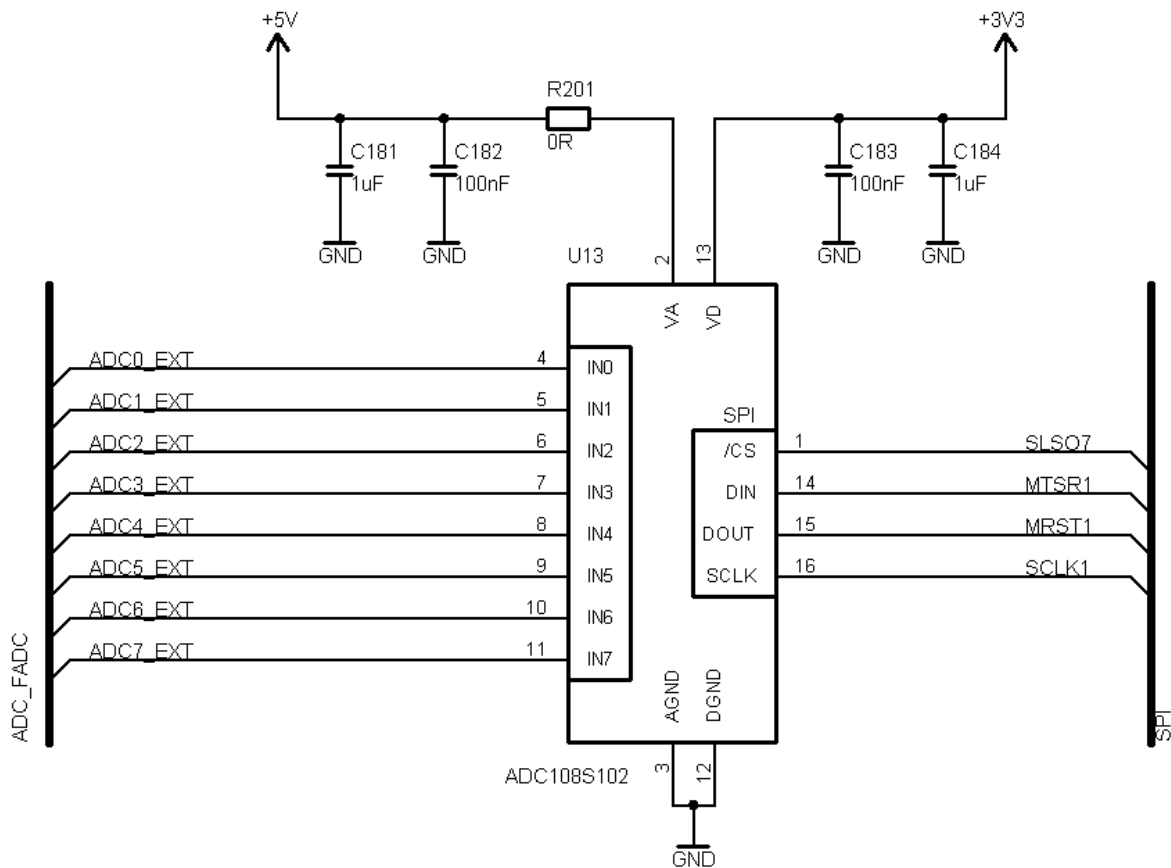


Abbildung 3.19 Schaltung des externen Analog-to-Digital-Converters ADC108S102

### 3.8.2.3 Differentielle Analogeingänge (Infineon Mikrocontroller)

Bezug nehmend auf die Beschreibung der Eigenschaften des Mikrocontrollers im Kapitel 3.1.2.1 besitzt dieser, neben drei single-ended ADC Modulen mit insgesamt 43 analogen Eingangsmöglichkeiten, auch ein FADC Modul. Dieses bietet dem Entwickler die Möglichkeit der Verwendung von entweder acht single-ended oder vier differentiellen Eingangspins mit einer Konvertierungszeit unter 500ns. Die Beschaltung dieser Eingänge ist wiederum äquivalent mit denen der analogen Eingänge des Mikrocontrollers (siehe Kapitel 3.8.2.1).

Typische Anwendungsfälle sind Applikationen, die auf einer sehr schnellen analogen Messgrößenerfassung basieren (z.B. Zylinderdruckmessung) oder Messungen von differentiellen Eingangssignalen (z.B. Klopfensorsignalen).

## 3.9 Signalaufbereitung für Kurbel- und Nockenwellensignal

Die Kurbel- und Nockenwellensignale sind eine der wichtigsten Messgrößen im gesamten Motormanagementsystem, da sich daraus weitere wesentliche Informationen für eine Vielzahl von Aktuatoren, wie etwa der Zündung und Einspritzung, berechnen.

Gemäß [Bosch 2007] müssen an der Kurbelwelle mit Hilfe eines Sensorprinzips grundsätzlich zwei verschiedene Informationsarten gleichzeitig bestimmt werden – einerseits die aktuelle Motordrehzahl und andererseits die Ermittlung der Kurbelwellenstellung, um in weiterer Folge die momentane Position der Motorkolben ermitteln zu können. Zum Einsatz kommt ein auf der Kurbelwelle montiertes Impulsrad sowie ein induktiver oder Hall-Sensor im Kurbelwellengehäuse, die durch einen minimalen Luftspalt voneinander getrennt sind. Das Ausgangssignal ist dabei im zeitlichen Abstand der Flanken indirekt-proportional zur Drehzahl. Laut [Bosch 2007] hängt die Anzahl der Zähne oder Pole des Impulsrades vom Anwendungsfall ab. Ein üblicher Wert bei gängigen Ottomotoren ist ein Impulsrad mit einer 60er-Teilung, wobei an einer Stelle zwei Zähne zur Bestimmung der absoluten Kurbelwellenstellung ausgelassen werden (60-2 Kurbelwellenimpulsrad).

Gemäß [Bosch 2007] ist die Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle um 1:2 untersetzt, somit dreht sich diese mit der halben Motordrehzahl. Die Bestimmung der absoluten Position der Nockenwelle ist von entscheidender Wichtigkeit, da ihre Stellung Auskunft gibt, ob der entsprechende Zylinder sich in der Verdichtungsphase oder der Ausstoßphase, bezogen auf den 4-Takt Betrieb, befindet. Für genauere Informationen zu diesen Messprinzipen und den verschiedenen Sensorausführungen wird an dieser Stelle auf [Bosch 2007] verwiesen.

### 3.9.1 Anforderungen an die Signalaufbereitung für Kurbel- und Nockenwellensignal

Das zu entwickelnde Motorsteuergerät soll die konfigurierbare Möglichkeit besitzen, sowohl ein auf dem induktiven als auch ein auf dem Hall-Effekt basiertes Sensorsignal einlesen und verarbeiten zu können. Entsprechend dieser Anforderung sollen dafür erforderliche Schaltungsteile auf dem Motherboard integriert werden. Speziell bei dem induktiven Messprinzip ist zu beachten, dass ein differentielles Signal mit relativ hohen Spannungen (bis zu 100V) zu erwarten ist und dieses einer geeigneten Dämpfung und Anpassung zu unterziehen ist. Bei dem auf dem Hall-Effekt basierenden Sensorsignal ist eine wahlweise Bestückung eines Pull-Up Widerstandes auf +5V und +12V vorzusehen sowie auf den maximalen Eingangsstrom des Mikrocontrollerpins zu achten.

Die schaltungstechnischen Anforderungen an die Sensorsignale der Nockenwelle entsprechen, aufgrund des äquivalenten Messprinzips, jenen des Kurbelwellensignals. Weiters ist zu beachten, dass die Möglichkeit zum Einlesen von vier Nockenwellensignalen vorhanden sein muss. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass moderne Motoren sowohl bei beiden Einlass- als auch bei beiden Auslassnockenwellen mit Phasensensoren zur Positionsbestimmung ausgestattet sind.

Bei allen Eingangssignalbeschaltungen ist eine ausreichende Entstörung und Stördämpfung zu integrieren.

### 3.9.2 Realisierung der Signalaufbereitung für Kurbelwellen- und Nockenwellensignal

Bei der Realisierung der Signalaufbereitung wird grundsätzlich zwischen den Funktionen des Kurbelwellen- und Nockenwellensignals unterschieden.

#### 3.9.2.1 Kurbelwellensignal

Bei dem Schaltungsteil zur Anpassung des Kurbelwellensensorsignals muss eine entsprechende Maßnahme zur Konfigurierbarkeit der beiden verschiedenen Signaltypen integriert werden. In Abbildung 3.20 ist die Schaltung zum Einlesen der beiden möglichen Kurbelwellensignale dargestellt.

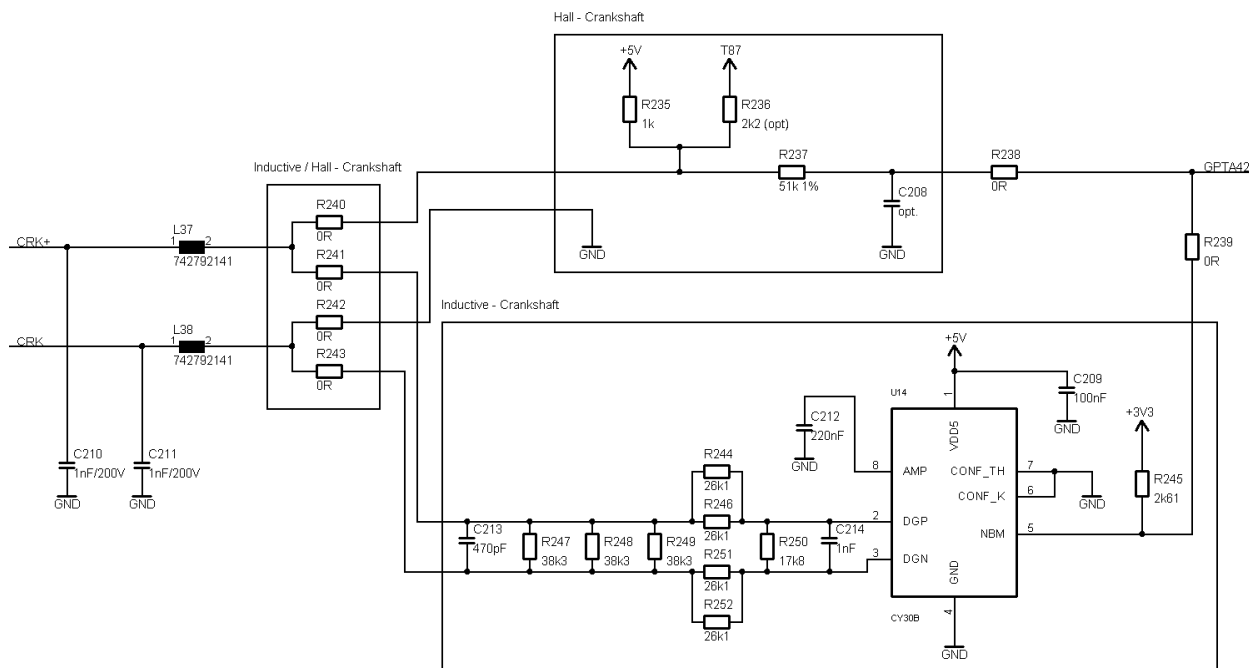


Abbildung 3.20 Einleseschaltung des Kurbelwellensignals (induktiver und Hall-Sensor)

Die sechs 0Ω-Widerstände (R238, R239, R240, R241, R242, R243) legen das Kurbelwellensignal entweder am Schaltungsteil für das Hall-Signal (roter, oberer Rahmen) oder am Schaltungsteil für das induktive Signal (roter, unterer Rahmen) an. Mit diesen Widerständen kann das Motorsteuergerät, je nach Motorenvariante, konfiguriert werden.

Die Beschaltung des auf dem Hall-Effekt basierenden Kurbelwellensignals sieht eine wahlweise Bestückung des Pull-Up Widerstands auf +5V oder +12V vor. Danach folgt ein Strombegrenzungswiderstand (Eingangsstrom des Mikrocontrollers sollte kleiner 500µA sein) sowie eine Bestückungsoption für einen parallelen Keramikkondensator, um bei gegebenenfalls auftretenden Störungen einen RC-Tiefpass einsetzen zu können.

Wird im Fahrzeug ein induktiver Kurbelwellensensor eingesetzt, so kommt der Schaltungsteil mit dem speziell dafür entwickelten Baustein CY30 der Firma Robert Bosch GmbH zum Einsatz. Bei diesem IC handelt es sich um einen Signalauswertungsbaustein für den Einsatz von potentialfreien Eingangssignalen eines induktiven Sensors. In Abbildung 3.21 ist dessen Blockschaltbild dargestellt.

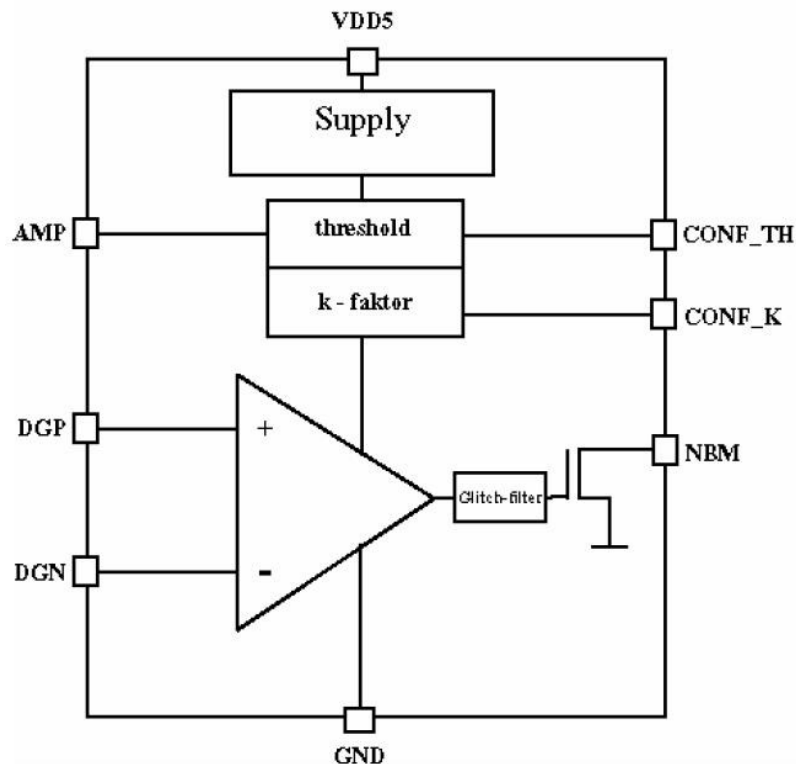


Abbildung 3.21 CY30 Baustein, Blockschaltbild (Quelle: [Bosch 2006a])

Gemäß [Bosch 2006a] besteht der Baustein primär aus einem Komparator, an dessen beiden Eingängen DGP und DGN das differentielle Kurbelwellensignal angeschlossen wird. Mit einem positiven induktiven Signal, welches den über den AMP-Eingang einstellbaren Grenzwert überschreitet, wird der Ausgang des Bausteins (NBM) auf logisch 1 gesetzt (Open-Collector Ausgang). Bei einem negativen Durchschreiten des Grenzwertes wird der Ausgang wieder zurückgesetzt. Integriert in den IC befindet sich ein Glitch-Filter, welcher kurze, unerwünschte Störungen herausfiltert.

Der Baustein besitzt zwar eine interne Diodenschutzstruktur zur Begrenzung der maximalen Eingangsspannung, im Datenblatt wird jedoch darüber hinaus empfohlen, ein symmetrisches Eingangsdämpfungsglied zu verwenden. Bei der Dimensionierung des Dämpfungsglieds wird auf das Datenblatt verwiesen, welches jedoch nicht frei erhältlich ist (Geheimhaltungserklärung zwischen der Firma Robert Bosch GmbH und AVL List GmbH).

### 3.9.2.2 Nockenwellensignal

Die Schaltung zur Signalaufbereitung der Nockenwellensignale entspricht der des Schaltungsteiles des Kurbelwellensignals für die Verwendung von Hall-basierenden Sensoren. Somit wird an dieser Stelle zur Erklärung der Schaltung auf das Kapitel 3.9.2.1. verwiesen.

## 3.10 Signalaufbereitung für digitale Eingangssignale

Der Bereich der binären digitalen Eingangssignale ist charakteristisch für ihre beiden Signalzustände von logisch 0 (Low) sowie logisch 1 (High) und der sich dadurch ergebende relativ große Störabstand zwischen den binären Zuständen. In dieser Gruppe unterscheidet man zwischen zwei Signaltypen, die sich aufgrund der Art der Informationsübertragung unterscheiden. Einerseits gibt es digitale Signale, die ihre Information über die Pegelzustände übertragen. Das Hauptanwendungsgebiet liegt dabei in der niederfrequenten Informationsübertragung von eintretenden Ereignissen im Fahrzeug, wie dies etwa diverse Schalter (z.B. Kupplungspedalschalter oder Bremspedalschalter) realisieren. Andererseits gibt es digitale pulsförmige Eingangssignale, die die Information über das Tastverhältnis einer konstanten Frequenz oder in der Periodendauer übertragen. Ein typischer Anwendungsfall ist dabei der digitale Luftmassenmesser. Dieser zweiten Gruppe der digitalen Eingangssignale kommt in der Zukunft eine steigende Bedeutung zuteil, da sie, im Gegensatz zu analogen oder konventionellen digitalen Signalen, eine schnellere und sicherere Informationsübertragung bereitstellen.

### 3.10.1 Anforderungen an die Signalaufbereitung für digitale Eingangssignale

In der Tabelle 3.5 wird ein Überblick über die erforderlichen digitalen Eingangsgrößen gegeben. Diese basiert auf den gewonnenen Erkenntnissen im Einsatz von Motorsteuergeräten der Firma AVL List GmbH. Die Tabelle dient zugleich der Ermittlung und Ressourcenreservierung der digitalen Eingangspins am Mikrocontroller.

| Abkürzung | Bezeichnung / Funktion                   | Anzahl |
|-----------|--|--------|
| BRAKE_SW  | Bremspedalschalter                       | 2      |
| AC_ON     | Klimakompressor                          | 1      |
| CLUTCH    | Kupplungsschalter                        | 1      |
| CRUISE_SW | Fahrzustandsanzeige                      | 1      |
| HEGO_DIG  | Zweipunkt-Lambdasonde                    | 2      |
| SWA       | Reserveeingang #1                        | 1      |
| SWB       | Reserveeingang #2                        | 1      |
| SWC       | Reserveeingang #3                        | 1      |
| DCM 1-6   | Eingang zum Messen des Tastverhältnisses | 6      |

Tabelle 3.5 Überblick über die digitalen Eingangssignale

Bezug nehmend auf Tabelle 3.5 ergibt sich eine Anforderung von acht digitalen Eingängen zur Messung von auf Pegelzuständen basierenden Größen, wobei hier drei als Reserve eingeplant sind. Weiters sollen sechs Eingangsstrukturen zur Messung von auf dem Tastverhältnis oder der Periodendauer basierenden Größen integriert werden, um für zukünftige Anforderungen gerüstet zu sein.

Die allgemeinen Anforderungen an die Eingangsschaltungsstruktur sind in folgender Auflistung zusammengefasst, wobei diese für beide Typen von digitalen Eingangssignalen (Informationsübertragung im Signalpegel oder im Tastverhältnis) äquivalent sind:



- Anpassung des Spannungsbereiches

Die digitalen Eingangssignale befinden sich, aufgrund deren Sensorversorgung vom Bordnetz, im High-Pegel auf +12V und müssen dementsprechend mit Hilfe einer geeigneten Beschaltung auf mikrocontroller-kompatible Werte hinuntergeteilt werden.

- Strombegrenzung

Das Eingangssignal soll entsprechend der maximalen Vorgaben des Mikrocontrollers strombegrenzt werden.

- Störunterdrückung bzw. Störfilterung

Entsprechende schaltungstechnische Maßnahmen zur Störunterdrückung bzw. Filterung bei den digitalen Eingangsgrößen sollen vorgesehen werden.

- Pull-Device

Jeder digitale Eingang soll auf dem Motherboard sowohl wahlweise mit einem Pull-Up als auch mit einem Pull-Down Widerstand zu bestücken sein, um auf verschiedene Sensorenausführungen eingehen zu können.

### 3.10.2 Realisierung der Signalaufbereitung für digitale Eingangssignale

Bei der Auswahl der Schaltungselemente sowie deren Dimensionierung wird auf [Krüger 2008] sowie auf bisherige Erfahrungen der Firma AVL List GmbH Bezug genommen.

Um allen vier Anforderungen an die Signalaufbereitung digitaler Eingangssignale nach 3.10.1 nachzukommen, wird die in Abbildung 3.22 gezeigte Eingangsschaltung eingesetzt. Bei dieser Abbildung ist die Eingangsbeschaltung von dem digitalen Eingang „BRAKE\_SW“ dargestellt, diese ist jedoch für alle anderen digitalen Eingänge äquivalent.

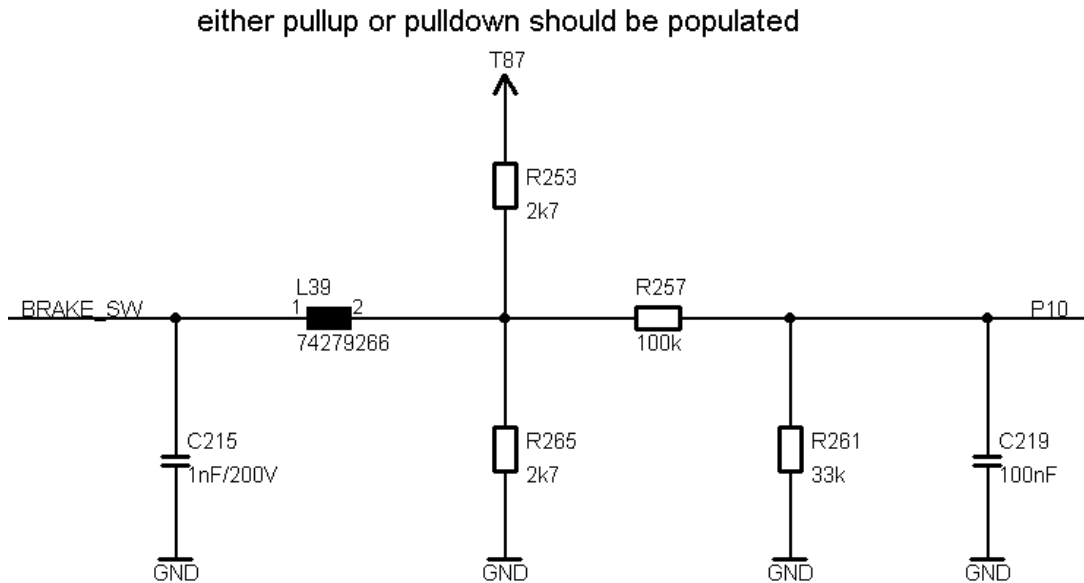


Abbildung 3.22 Eingangsschaltung der digitalen Eingangssignale

Direkt am Eingang der digitalen Messgröße am Motorsteuergerät ist ein 1nF/200V Keramikkondensator angebracht, damit hochfrequente Störungen direkt auf Masse abgeleitet werden. Danach folgt ein EMV-Ferrit der Firma Würth, um die Dynamik von schnellen Stromänderungen zu begrenzen und überlagerte Störgrößen zu dämpfen. Anschließend befinden sich sowohl ein Pull-Up als auch ein Pull-Down Widerstand im Schaltplan, um auf beide verschiedenen Sensorausführungen vorbereitet zu sein. Bei der Inbetriebnahme des Motorsteuergeräts muss einer der beiden entsprechend der sensorseitigen Konfiguration (z.B. 2.7kΩ Widerstand) bestückt werden. Die darauf folgende Widerstandskombination aus Serien- und Parallelwiderstand stellt einen Spannungsteiler dar, der einerseits als Strombegrenzung wirkt (100kΩ Serienwiderstand) und gleichzeitig die Eingangsspannung von +12V auf +3V hinunterteilt. Zu dem 33kΩ Widerstand befindet sich zusätzlich ein paralleler 100nF Keramikkondensator, der mit dem Serienwiderstand einen RC-Tiefpass darstellt, um Störungen zu filtern.

Die beiden verschiedenen Typen von digitalen Eingangssignalen unterscheiden sich in weiterer Folge von den Anschlusspins am Mikrocontroller sowie an den dahinter befindlichen Hardware-Einheiten. Bei den pegelbasierenden Eingängen kann die Spannung einfach über einen GPIO Pin eingelesen werden. Dagegen muss der Eingangsanschluss bei einer auf dem Tastverhältnis basierenden Größe mit der GPTA Einheit des Mikrocontrollers verbunden sein und eine DCM-Zelle benutzt werden.

Für genauere Informationen zu der Verwendung von DCM-Zellen wird an dieser Stelle auf [Infineon 2009] verwiesen.

### 3.11 Zündung

Bei der Zündung handelt es sich um eine primäre Hauptaufgabe beim Betrieb von Ottomotoren, die dafür verantwortlich ist, dass das verdichtete Luft-Kraftstoff-Gemisch im richtigen Zeitpunkt entzündet und es

folglich zu einer Verbrennung im Zylinder kommt. Bei modernen Fahrzeugen kommen heutzutage hauptsächlich zwei verschiedene Varianten zum Einsatz. Einerseits findet man konservative Zündsysteme in Fahrzeugen vor, die lediglich aus der Zündspule sowie der Zündkerze bestehen und es einer Leistungsansteuerung dieser Einheit seitens des Motorsteuergeräts bedarf. Andererseits befinden sich bereits Zündsysteme am Markt, bei denen die Zündspulenansteuerung direkt in der Zündspule (smart coil) integriert ist und diese mit einem leistungslosen Logiksignal angesteuert werden muss.

Die Zündeinheit ist sowohl ein sicherheitsrelevanter wie auch ein abgasrelevanter Teil des Fahrzeuges und muss mit spezieller Sorgfalt entwickelt werden. „Eine unter allen Umständen sicher arbeitende Zündung ist Voraussetzung für den einwandfreien Betrieb des Katalysators beim Kraftfahrzeug. Zündaussetzer führen zur Schädigung oder Zerstörung des Katalysators wegen Überhitzung bei der Nachverbrennung des unverbrannten Gemischs“ [Brasseur 2008].

Für weiterführende Informationen zu den Themen Aufbau der Zündeinheit, Gemischentflammung oder Zündzeitpunkt wird an dieser Stelle auf [Brasseur 2008] verwiesen.

### **3.11.1 Anforderung an die Schaltung zur Ansteuerung der Zündeinheit**

Die allgemeine Anforderung an die Zündung bei der Entwicklung des Motorsteuergeräts liegt in der Integration von entsprechenden Schaltungseinheiten zur Ansteuerung von acht Zündeinheiten (Betrieb eines 8-Zylinder Motors). Dabei ist zu beachten, dass diese Einheiten die konfigurierbare Möglichkeit besitzen sollen, sowohl direkt Zündspulen mittels der Integration von entsprechender Leistungselektronik (Halbleiterschalter sind Stand der Technik) ansteuern zu können als auch die einfache Ausgabe der Logik-Zündsignale zur Ansteuerung von am Motor integrierten Zündsystemen unterstützen sollen.

Bei der Integration der Halbleiterleistungselektronik auf dem Motherboard ist vor allem auf einen genügend großen Störabstand zu sensiblen Baugruppen zu achten. Aufgrund der relativ großen Stromspitzen bei einer aktiven Zündung kann es zu einer negativen Beeinflussung von Schaltungsteilen (z.B. Analogteil) kommen. Die Grundlage für diese Anforderung bilden dabei gewonnene Erfahrungen der Firma AVL List GmbH im Bereich der Motorsteuerungen.

Darüber hinaus soll bei der Motorsteuerung ein Enable-Signal definiert werden, welches beim Setzen die gesamte Zündeinheit (sowie die Einheit zur Ansteuerung der Drosselklappen) aktiviert und beim Rücksetzen diese Einheiten deaktiviert. Dieses Signal wird benötigt, um die Zünd- sowie Drosselklappeneinheit in der Initialisierungsphase sowie bei undefinierten Betriebszuständen in einen definierten, sicheren Zustand zu bringen.

### **3.11.2 Realisierung der Schaltung zur Ansteuerung der Zündeinheit**

Die Schaltung der Zündeinheit lässt sich grundsätzlich in zwei verschiedene Bereiche aufteilen – dem Logikteil und dem Leistungsteil.

Die Schaltung des Logikteils ist in Abbildung 3.23 dargestellt und umfasst dabei die Ansteuerung einer Zündeinheit. Die Schaltung für die sieben anderen Zündeinheiten sieht dabei äquivalent aus.

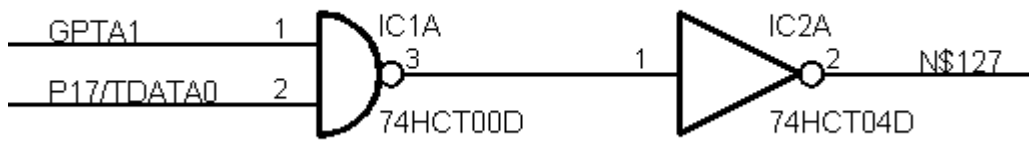


Abbildung 3.23 Logikansteuerung der Zündung

Das Zündsignal (active-high) wird von der GPTA Einheit des Mikrocontrollers erzeugt und ist in der Abbildung 3.23 mit GPTA1 bezeichnet. Das geforderte Enable-Signal (active-high) wird über den digitalen Ausgangspin P17 des  $\mu\text{C}$  realisiert. Diese beiden Signale werden in weiterer Folge mit einem NAND Gatter (74HCT00D) und einem Inverter (74HCT04D) gemäß Abbildung 3.23 verbunden. Bei beiden Logikgattern wird die HCT Variante verwendet, da diese bei einer +5V Versorgung ein +3.3V Signal des Mikrocontrollers als High erkennen und damit gleichermaßen  $\mu\text{C}$ -kompatibel sind und eine Pegelwandlung von +3.3V auf +5V zur Ansteuerung der IGBT's durchführen. Bei einem gesetzten Enable-Signal wird somit das Zündsignal unverändert durchgeführt, bei einem rückgesetzten Enable-Signal bleibt das Ausgangssignal des Logikteils auf Low und die Zündung in weiterer Folge deaktiviert. Das hierbei generierte Ausgangssignal steuert den Leistungsteil in Abbildung 3.24 an, der wieder den entsprechenden Schaltungsteil der ersten Zündeinheit darstellt.

Die Widerstände R293 und R294 in Abbildung 3.24 (Leistungsteil der Zündung) dienen der Umschaltung der Konfiguration der Zündschaltung. Wenn eine Zündspule direkt mit dem Leistungsteil des Motorsteuergeräts angesteuert werden soll, darf der Widerstand R293 nicht bestückt sein und der Widerstand R294 muss bestückt werden. Wenn die Zündeinheit am Motor direkt mit dem Logiksignal angesteuert werden soll, dann muss die Bestückung umgekehrt sein (R293 bestückt; R294 nicht bestückt). Der Widerstand R294 dient weiters zur Strombegrenzung des Logiksignals. Der hochohmige Widerstand R295 befindet sich zwischen dem Gate-Anschluss des IGBT's und der Masse und dient zum Absaugen der Ladungen und damit dem Erreichen eines definierten Zustandes zu jedem Zeitpunkt (verhindert ein „Floaten“ des Gates).

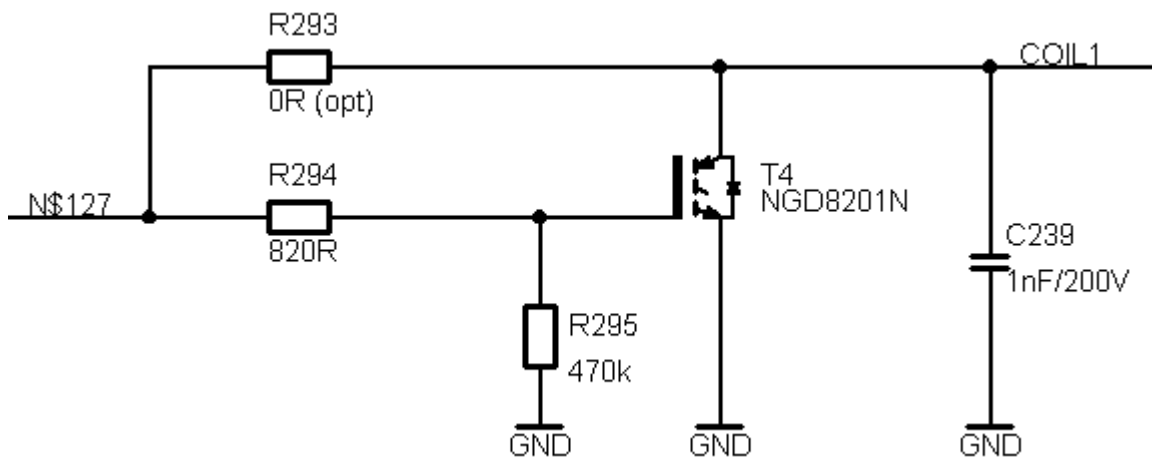


Abbildung 3.24 Leistungsteil der Zündung

Als Leistungsschalter zur Ansteuerung der Zündspule wird ein IGBT mit der Bezeichnung NGD8201N der Firma ON Semiconductor eingesetzt [ON 2006]. Dieser Transistor wurde speziell für die Ansteuerung von Zündspulen entwickelt und kombiniert dabei die Vorteile eines MOSFET's (leistungslose Ansteuerung mit Logikpegeln) mit den Vorteilen des bipolaren Transistors (geringere Verluste beim Schalten hoher Spannungen in Verbindung mit großen Strömen). Gemäß [ON 2006] zeichnet sich dieser IGBT durch folgende Eigenschaften aus:

- Kollektor-Emitter Spannung: 440V
- maximaler Kollektorstrom: 20A (kontinuierlich), 50A (gepulst)
- kontinuierlicher Gate-Strom: 1mA
- DPAK Gehäuse

Gerade das sehr kompakte DPAK Gehäuse des verwendeten IGBT bringt Vorteile bezüglich des benötigten Platzes der acht Transistoren auf der Leiterplatte im Gegensatz zu den sonst üblichen TO220 oder D<sup>2</sup>PAK Gehäusetypen.

## 3.12 Drosselklappenansteuerung

Beim Ottomotor erfolgt die Regelung der Motorleistung über die in den Zylinder eingebrachte Luft- und Kraftstoffmenge (Gemischmenge). Je nach Betriebspunkt und dem vorgegebenen bzw. errechneten Drehmomentwunsch wird dazu eine Drosselklappe im Ansaugtrakt mehr oder weniger geöffnet, um die Luftmenge zu regeln. Die Einspritzmenge des Kraftstoffes wird parallel dazu über die Einspritzdauer und dessen Druck auf das gewünschte Gemischverhältnis hin gesteuert. Die Regelung der Drosselklappenstellung erfolgt dabei aktuatorenseitig über die Ansteuerung eines Gleichstrommotors und sensorseitig über das Einlesen der Klappenstellung ( $0^\circ \dots 90^\circ$ ) durch eine analoge Messgröße. Mit Hilfe dieses Regelkreises und einen geeigneten implementierten Regelalgorithmus im Motorsteuergerät lässt sich die Drosselklappe sehr genau und präzise auf gewünschte Werte und Dynamiken regeln.

### 3.12.1 Anforderung an die Drosselklappenansteuerung

Die Hauptanforderung an die Implementierung der Drosselklappenansteuerung liegt in der Integration einer Schaltung zum Betrieb von zwei Drosselklappen (Gleichstrommotoren). Dabei ist zu beachten, dass ein 2-Quadranten-Betrieb zur Ansteuerung einer Drosselklappe notwendig ist, da eine hochdynamische Regelung der Klappenposition den Betrieb des Elektromotors in beide Richtungen voraussetzt.

Darüber hinaus handelt es sich bei der Drosselklappenregelung um eine sicherheitsrelevante Funktion im Antriebsstrang, sodass eine redundante Messgrößenerfassung der aktuellen Klappenposition erforderlich ist. Weiters sollen die beiden Drosselklappenansteuerungen einerseits über das Enable-Signal, welches ebenfalls die Zündung einschaltet, aktiviert werden können und andererseits jeweils ein eigenes Disable-Signal besitzen.

### 3.12.2 Realisierung der Drosselklappenansteuerung

In modernen Motorsteuerungen erfolgt die Realisierung der Drosselklappenansteuerung und in weiterer Folge die Ansteuerung des Gleichstrommotors mit Hilfe einer H-Brücke (auch Vierquadrantensteller genannt).

In diesem Motorsteuergerät kommt der Baustein TLE7209R von der Firma Infineon Technologies AG zum Einsatz, der eine integrierte H-Brücke aufweist und über folgende Eigenschaften verfügt [Infineon 2007a]:

- Versorgungsspannung: +5V bis +28V
- kontinuierlicher Laststrom: 5A
- maximale Ausgangsschaltfrequenz: 30kHz
- TTL-/CMOS-kompatible Eingänge
- Übertemperaturschutz

In Abbildung 3.25 ist das Blockschaltbild des TLE7209R dargestellt, von dem jeweils ein Baustein zur Ansteuerung einer Drosselklappe zum Einsatz kommt.

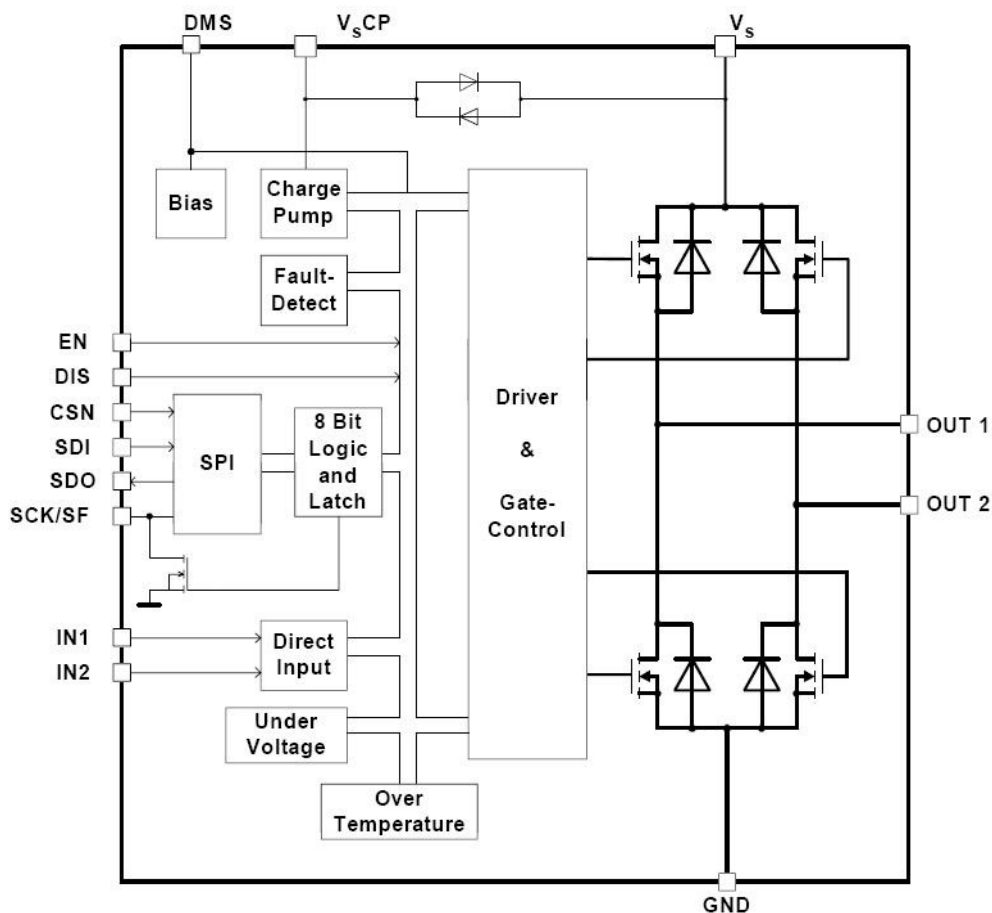


Abbildung 3.25 H-Brücke TLE7209R, Blockschaltbild (Quelle: [Infineon 2007a])

Bezug nehmend auf das Blockschaltbild in Abbildung 3.25 verfügt der TLE7209R Baustein über zwei Eingänge (EN und DIS) für das Aktivieren bzw. Deaktivieren des IC's sowie über eine integrierte SPI Schnittstelle, um den Baustein konfigurieren und eine laufende Diagnose im Betrieb durchzuführen zu können. Der Gleichstrommotor (der Drosselklappenmotor) ist an den Ausgängen OUT1 und OUT2 angeschlossen und wird über die beiden Eingänge IN1 und IN2 gesteuert. An den beiden Eingangspins des TLE7209R Bausteins ist dabei jeweils ein PWM Signal mit einer Frequenz von 10kHz angeschlossen. Die Regelung der Drosselklappenstellung erfolgt dabei über das Tastverhältnis der beiden Signale. Abbildung 3.26 gibt mit Hilfe einer Wahrheitstabelle einen genaueren Aufschluss über die Ansteuerungslogik der H-Brücke [Infineon 2007a].

| Pos.                      | DIS | EN | IN1 | IN2 | OUT1 | OUT2 | SF <sup>1)</sup> |
|---------------------------|-----|----|-----|-----|------|------|------------------|
| 1. Forward                | L   | H  | H   | L   | H    | L    | H                |
| 2. Reverse                | L   | H  | L   | H   | L    | H    | H                |
| 3. Free-wheeling low      | L   | H  | L   | L   | L    | L    | H                |
| 4. Free-wheeling high     | L   | H  | H   | H   | H    | H    | H                |
| 5. Disable                | H   | X  | X   | X   | Z    | Z    | L                |
| 6. Enable                 | X   | L  | X   | X   | Z    | Z    | L                |
| 7. IN1 disconnected       | L   | H  | Z   | X   | H    | X    | H                |
| 8. IN2 disconnected       | L   | H  | X   | Z   | X    | H    | H                |
| 9. DIS disconnected       | Z   | X  | X   | X   | Z    | Z    | L                |
| 10. EN disconnected       | X   | Z  | X   | X   | Z    | Z    | L                |
| 11. Current limit. active | L   | H  | X   | X   | Z    | Z    | H                |
| 12. Under Voltage         | X   | X  | X   | X   | Z    | Z    | L                |
| 13. Over-temperature      | X   | X  | X   | X   | Z    | Z    | L                |
| 14. Over-current          | X   | X  | X   | X   | Z    | Z    | L                |

Abbildung 3.26 H-Brücke TLE7209R, Wahrheitstabelle (Quelle: [Infineon 2007a])

In der Wahrheitstabelle in Abbildung 3.26 kann man erkennen, dass grundsätzlich eine aktive Ansteuerung des Gleichstrommotors der Drosselklappe nur bei richtigem Setzen bzw. Rücksetzen der Steuerleitungen (EN und DIS) möglich ist. In diesem Modus können mit den beiden Ansteuerungsleitungen IN1 und IN2 über ein geregeltes Tastverhältnis beliebige Klappenpositionen eingestellt werden. In dieser Tabelle ist ebenfalls zu erkennen, dass der intelligente Baustein im Falle eines nicht erlaubten Betriebspunktes (zu geringe Spannung; zu große Temperatur; Stromstärke zu groß) die Ausgänge auf Tristate schaltet. Dieses Verhalten führt bei dieser sicherheitsrelevanten Funktionalität, wie es die Drosselklappe darstellt, zu einem möglichst sicheren Zustand, da die Drosselklappe im nicht bestromten Zustand automatisch schließt (mechanische Schließung).

### 3.13 Klopfkennung am Verbrennungsmotor

Unter Klopfen bzw. einer klopfenden Verbrennung versteht man einen abnormalen Verbrennungsvorgang, bei dem es zu einer plötzlichen Selbstentzündung im noch unverbrannten Gemisch kommt. Der Grund dafür ist, dass reaktionsfreudige Verbrennungszwischenprodukte mit steigender Temperatur und steigendem Druck sich schon vor dem eigentlichen Erreichen der Flammenfront entzünden können [Eichlseder 2008]. Diese klopfenden Verbrennungen sind durch einen steilen Anstieg des Druckverlaufes am Verbrennungsende mit Hilfe eines entsprechenden Sensors detektierbar und müssen unterbunden werden, da sie bei dauerhaftem Auftreten zu Beschädigungen am Verbrennungsmotor führen. Der allgemeine Grund für den Betrieb des Ottomotors nahe an der Klopfgrenze liegt daran, dass der höchste Wirkungsgrad in diesem Bereich erzielt werden kann.

Gemäß [Bosch 2007] handelt es sich bei diesen Klopfensoren im eigentlichen Sinn um Beschleunigungssensoren zum Erfassen von Körperschallschwingungen. Diese Sensoren werden je nach Motortyp (ausschlaggebend ist vor allem die Zylinderanzahl und die Bauform) in verschiedenen Anzahlen und Positionen am Motorgehäuse fest verschraubt und liefern bei auftretendem Klopfen signifikante Signale, die am Motorsteuergerät ausgewertet und dann entsprechende Maßnahmen (z.B. Zündungszeitpunkt nach „spät“ verlegen) gesetzt werden können.

Für genauere Informationen wird an dieser Stelle auf [Niklas 2008] und [Eichlseder 2008] verwiesen.

#### 3.13.1 Anforderung an die Schaltung zur Klopfkennung

Das Motorsteuergerät soll über eine integrierte Klopfkennung verfügen, die bis zu vier Klopfensoren anschließen und auswerten kann. Dabei soll die Schaltung zur Erkennung einer klopfenden Verbrennung auch eine entsprechende Filterung vorsehen, um Fehlerkennungen zu vermeiden, da diese einen negativen Einfluss auf den optimalen Betrieb von Ottomotoren haben.

#### 3.13.2 Realisierung der Schaltung zur Klopfkennung

Bezug nehmend auf [Niklas 2008] wird zur Klopfkennung der etablierte Baustein CC196 der Firma Robert Bosch GmbH eingesetzt. Bei diesem IC handelt es sich gemäß [Bosch 2006b] um einen ASIC, der speziell für die Auswertung analoger Signale von piezoelektrischen Klopfensoren im Einsatz von Ottomotoren konzipiert wurde. Der CC196 zeichnet sich vor allem durch folgende Eigenschaften aus:

- 4 differentielle Eingänge für Klopfensoren
- programmierbare Verstärkung
- programmierbares FIR-Filter
- integrierte Diagnose Einheit



- Erkennung von kurzgeschlossenen Eingängen
- Serielle Schnittstelle (SPI kompatibel)
- 10 Bit ADC

In Abbildung 3.27 ist das Blockschaftbild des CC196 Bausteins dargestellt. Die integrierte Signalaufbereitung besteht aus einem Mux gefolgt von einem Anti-Aliasing Filter (bewirkt eine Bandbreitenbegrenzung) sowie einem Gleichrichter. Das damit aufbereitete analoge Signal wird mit einem 10 Bit Analog-to-Digital-Converter in ein digitales Signal umgewandelt, welches anschließend in einem programmierbaren FIR-Filter nach Anwenderwünschen gefiltert werden kann. Das erhaltene Signal wird dann über die SPI Schnittstelle an den Mikrocontroller übertragen, der entsprechend der übermittelten Information auf den aktuellen Betriebspunkt der Verbrennung Einfluss nehmen kann.

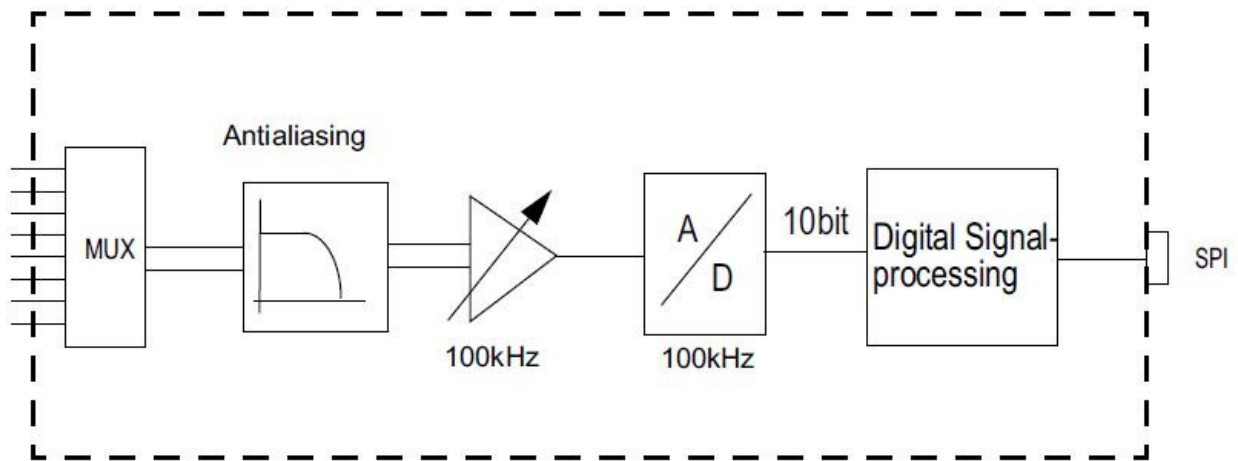


Abbildung 3.27 Klopfuswertebaustein CC196, Blockschaftbild (Quelle:[Bosch 2006b])

Die Eingangsfilterschaltung zwischen Klopfsensor und ASIC ist in Abbildung 3.28 dargestellt. Bei der Auswahl und Dimensionierung wird auf [Niklas 2008] verwiesen.

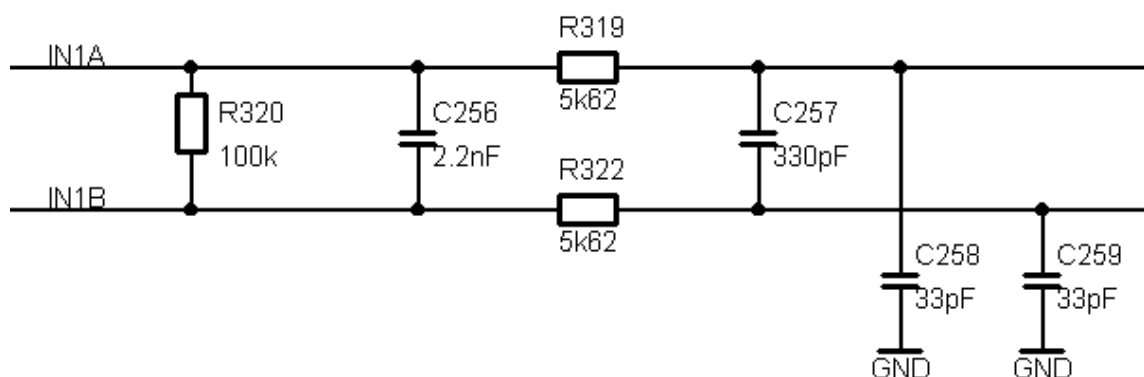


Abbildung 3.28 Eingangsfiler des Klopfuswertebausteins CC196

## 3.14 Hochdruckpumpe

Konventionelle Ottomotoren mit einer Saugrohreinspritzung benötigen zur Bereitstellung des Kraftstoffes am Einspritzventil eine Vordruckpumpe, die den Kraftstoff mit einem durchschnittlichen Druck von unter 10 bar bereitstellt. Dieser Druck ist relativ gering, da der Kraftstoff beim Einspritzvorgang in der Regel genug Zeit hat, sich mit der Luft zu einem möglichst homogenen, zündfähigen Gemisch zu verbinden.

Im Gegensatz dazu bedarf es bei einer Direkteinspritzung eines weitaus höheren Drucks des einzuspritzenden Kraftstoffes, da einerseits die Einspritzdauer durch die Dauer des Ansaugtaktes im homogenen Betrieb begrenzt wird und andererseits der hohe Druck für eine entsprechend homogene Gemischbildung verantwortlich ist (Verwirbelung und innere Gemischbildung aufgrund der hohen kinetischen Energie des eingespritzten Kraftstoffes).

Dieser hohe Druck bei der Direkteinspritzung wird durch die Verwendung einer Hochdruckpumpe (HDP) erreicht, die Kraftstoffdrücke bei Ottomotoren von bis zu 200 bar bereitstellen muss.

### 3.14.1 Anforderung an die Ansteuerung der Hochdruckpumpe

Die Anforderung an die Entwicklung des Motorsteuergeräts liegt in der schaltungstechnischen Integration für die Ansteuerung von zwei Hochdruckpumpen des Typs HDP5.

Die Ansteuerung der HDP5 Hochdruckpumpe ist in Abbildung 3.29 als Messung des Stromprofils sowie des Ansteuerungssignals dargestellt. Diese Messung wurde in einem Fahrzeug mit dieser Art von Hochdruckpumpe gemacht und eine entsprechende Schaltung, die eine selbe Ansteuerung ermöglicht, soll integriert werden. Der gelbe Signalverlauf stellt dabei die Stromaufnahme des Magnetventils dar und der blaue Signalverlauf die Spannung (Low-Side Schalter).

Zu beachten ist, dass sowohl die Dauer der Stromanstiegsphase (Abbildung 3.29; gelbes Signal; steigender Strom am Beginn) sowie die Dauer der Haltephase (Abbildung 3.29; gelbes Signal; alternierendes Sägezahnsignal) konfigurierbar gemacht werden sollen.

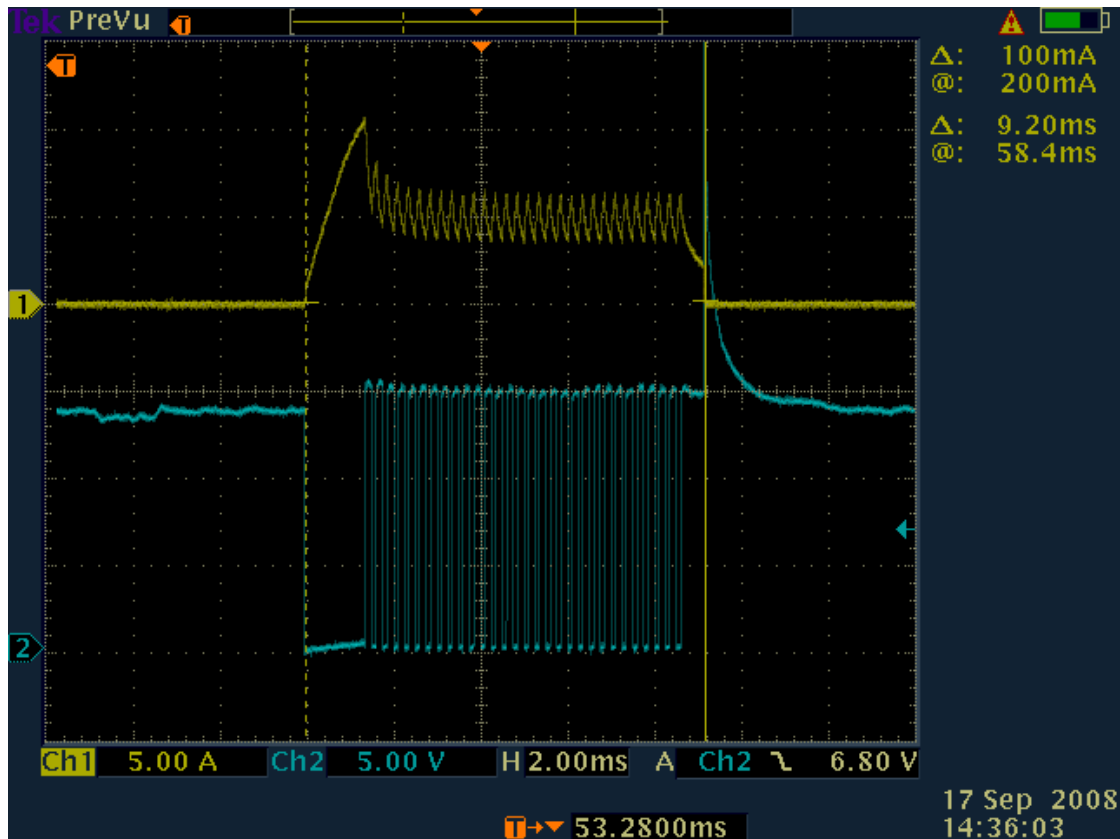


Abbildung 3.29 Gemessenes Stromprofil einer HDP5 Hochdruckpumpe

Wie in Abbildung 3.29 ersichtlich, beträgt der maximale Strom in der Stromanstiegsphase etwa 12A und der Haltestrom etwa 5A. Diese Charakteristiken der Ansteuerung sollen in die Schaltungsdimensionierung mit aufgenommen werden.

### 3.14.2 Realisierung der Ansteuerung der Hochdruckpumpe

Die Entwicklung der Schaltung zur Ansteuerung der Hochdruckpumpe teilt sich in zwei verschiedene Bereiche auf - der Ansteuerungslogik und dem Teil der Leistungselektronik.

Zur Realisierung der geforderten Ansteuerung werden insgesamt drei Ausgangssignale des Mikrocontrollers definiert, die logisch miteinander verknüpft sind und den integrierten Leistungsschalter ansteuern. Die drei Signale sind wie folgt definiert:

- *HDP\_Enable*

Dieses winkelbasierende Signal ist während der gesamten Ansteuerungsphase auf High und aktiviert die Ansteuerung der Hochdruckpumpe.

- *HDP\_Boost*

Dieses zeitbasierende Signal ist durchgehend während der Stromanstiegsphase (Boost-Phase) auf High gesetzt und aktiviert den Leistungsteil zum schnellen Anstieg und Ansteuerung des Magnetventils.

- *HDP\_Hold*

Dieses zeitbasierende Signal ist nur während der Stromhaltephase (Hold-Phase) aktiviert und steuert die Induktivität in der Hochdruckpumpe mit einem PWM Signal an, um den Strom über das Tastverhältnis auf einem relativ konstanten Wert zu halten.

Alle drei Signale werden in der GPTA Einheit des Mikrocontrollers erzeugt und sind in Abbildung 3.30 angezeigt.

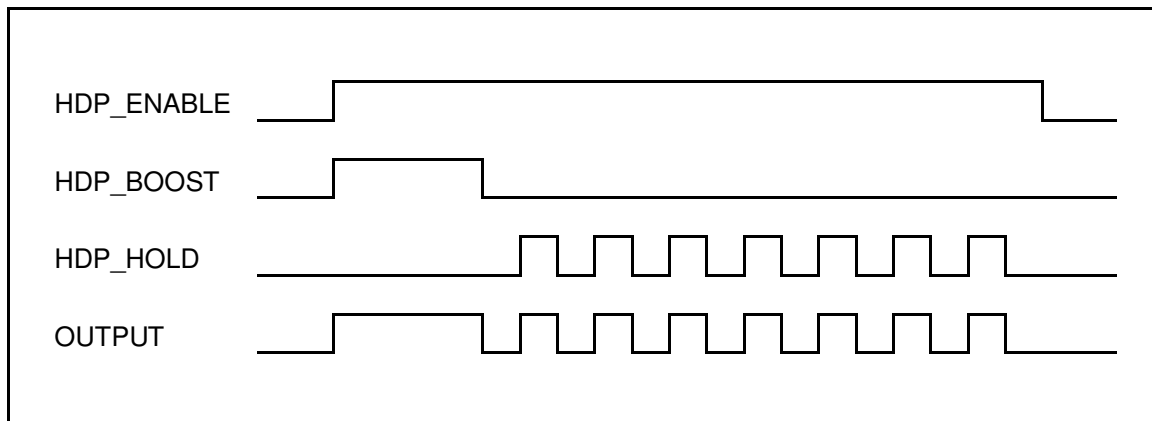


Abbildung 3.30 Ansteuerungssignale der Hochdruckpumpe

Die beiden Signale HDP\_BOOST und HDP\_HOLD werden miteinander logisch ODER verknüpft und das daraus generierte Signal mit HDP\_ENABLE logisch UND verknüpft, um das gewünschte Ansteuerungssignal (OUTPUT) zu erhalten. Durch Vereinfachung kann man diese Kombinatorik mit drei NOR Gattern realisieren, sodass nur ein Baustein des Typs 74HCT02D zum Einsatz kommt (Abbildung 3.31).

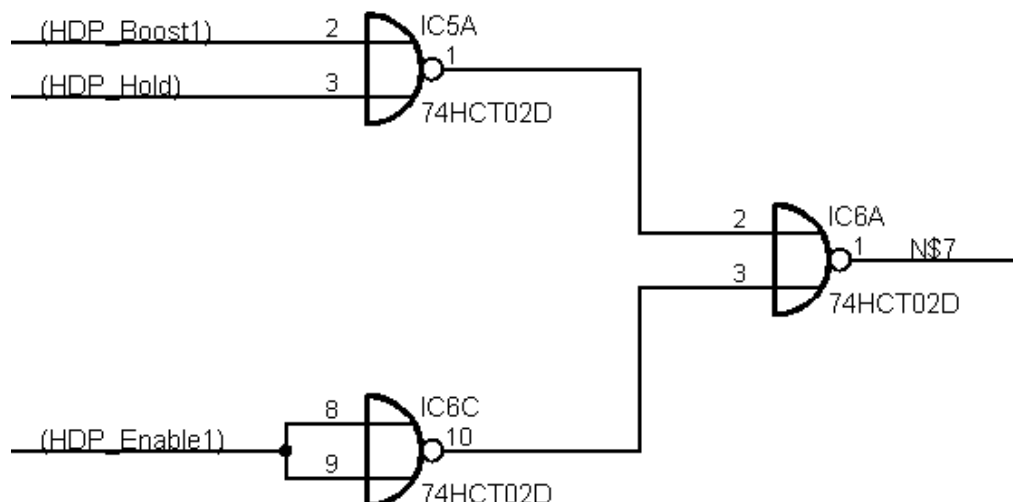


Abbildung 3.31 Logikteil der Hochdruckpumpenansteuerung

Als Leistungsschalter wird, wie im Bereich der Motorsteuerungen üblich, ein Low-Side Schalter verwendet. Dieser wird durch einen n-Kanal MOSFET des Typs STB40NF10 der Firma ST

Microelectronics realisiert. Gemäß dem Stromprofil in Abbildung 3.29 ist dieser mit einem kontinuierlichen Drainstrom von 35A (bei 100°C) ausreichend dimensioniert. Für genauere Informationen zu dem eingesetzten MOSFET wird an dieser Stelle auf [ST 2006] verwiesen.

In Abbildung 3.32 ist die Schaltung des Leistungsteils zur Ansteuerung der Hochdruckpumpe dargestellt.

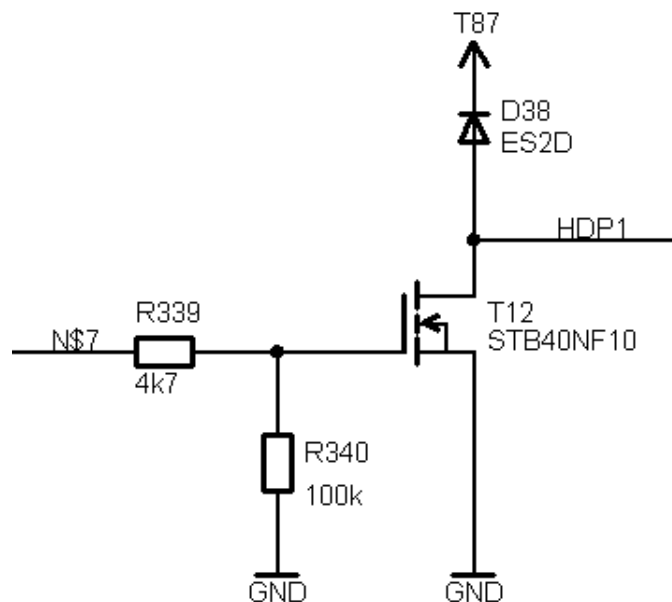


Abbildung 3.32 Leistungsteil der Hochdruckpumpenansteuerung

Gemäß Abbildung 3.32 wird bei der eingesetzten Schaltung eine Freilaufdiode des Typs ES2D verwendet, um die auftretende hohe Spannung beim Abschalten der ohmsch-induktiven Last zu begrenzen und Schäden am Transistor zu vermeiden.

## 3.15 AVL RPEMS FUTURE Motherboard

In diesem Kapitel wird die Trägerplatine (Motherboard) des zu entwickelnden Motorsteuergeräts beschrieben, welche alle in dem Kapitel 3 beschriebenen Hardware Teile auf sich vereint und damit eine Gesamtintegration aller für den Betrieb eines Verbrennungsmotors notwendigen Baugruppen darstellt.

Darüber hinaus stellt das Motherboard die Schnittstelle zu sämtlichen verwendeten Sensoren und Aktuatoren im Antriebsstrang dar und muss auch auf die EMV Thematik im Zuge der gesamten Entwicklung eingehen.

### 3.15.1 Anforderungen an das AVL RPEMS FUTURE Motherboard

Die Anforderungen an das Motherboard sind, neben der implizierten Forderung der Gesamtintegration aller notwendigen Baugruppen, vor allem auf folgende Schwerpunkte gerichtet:

- Funktionale Aufteilung der Baugruppen auf der Leiterplatte

Die Aufteilung der Baugruppen auf der Leiterplatte hinsichtlich funktionaler Gesichtspunkte ist laut [Franz 2008] von entscheidender Bedeutung bei der Entwicklung eines elektronischen Geräts. Dies trifft vor allem bei Systemen wie einer Motorsteuerung zu, die viele unterschiedliche Baugruppen integriert haben, welche sich untereinander negativ beeinflussen können.

- Platinenauswahl

Bei der Platinenauswahl muss eine Entscheidung bezüglich der Anzahl an verwendeten Schichten (Layern) sowie deren Anordnung zueinander getroffen werden. Entsprechend der integrierten Baugruppen und deren Komplexitätsgrad sowie den geforderten EMV Bestimmungen muss eine Konfiguration ausgewählt werden, die den Anforderungen entsprechend nachkommt, jedoch die Kosten und den Entwicklungsaufwand auch möglichst gering hält.

- Massekonzept

Für die gesamte Schaltungs- und Leiterplattenentwicklung muss ein Massekonzept überlegt werden, welches den funktionalen Anforderungen der einzelnen Baugruppen entspricht sowie eine optimale Störsicherheit zwischen den Baugruppen und den Umgebungseinflüssen gewährleistet.

- EMV Maßnahmen

Bei der Leiterplattenentwicklung sollen ausreichende Maßnahmen zur Verbesserung der Störsicherheit integriert werden. Das Hauptaugenmerk dabei ist vor allem auf die zu minimierende Störeinwirkung über die Anschlussleitungen am Motorsteuergerät zu legen, sodass die negativen elektromagnetischen Umgebungseinflüsse auf die Schaltung auf ein Minimum reduziert werden können.

Die Leiterplatte sollte auch möglichst kompakt entwickelt werden, um in weiterer Folge das Gehäuse platz sparend konstruieren zu können.

### **3.15.2 Realisierung des AVL RPEMS FUTURE Motherboards**

Bei der Gesamtintegration aller Funktionseinheiten auf die Trägerplatine im Zuge der Erstellung des Layouts wurde besonderes auf die funktionale Aufteilung auf der Leiterplatte, die Platinenwahl, das Massekonzept und der notwendigen EMV Maßnahmen gesetzt, da es sich bei diesen Anforderungen um kritische Punkte handelt, die den Erfolg dieser Entwicklung deutlich mitentscheiden können. Durchdachte Lösungen und Konzepte in diesen Bereichen verbessern die Stabilität des Motorsteuergeräts und vermeiden das Auftreten von nichtdeterministischem Verhalten in kritischen Betriebspunkten (z.B. elektromagnetischer Einfluss auf das Motorsteuergerät aufgrund einer starken Strahlung ausgelöst durch das Vorbeifahren bei einem Mobilfunkmasten).

### 3.15.2.1 Funktionale Aufteilung der Baugruppen auf der Leiterplatte

Gemäß [Franz 2008] ist eine funktionale Aufteilung der einzelnen Baugruppen auf der Leiterplatte eine der ersten und zugleich wichtigsten Maßnahmen bei dem Entwurf elektronischer Geräte, da es keine bessere Maßnahme zur Störunterdrückung und Filterung gibt, als die Quelle der Störung zu unterbinden. Und da bei der elektromagnetischen Beeinflussung zwischen den einzelnen Baugruppen auf einer Platine oftmals die Lokalität zwischen den einzelnen Baugruppen sich als Gefahrenquelle herausstellt, sollte dieser Aspekt schon im Ansatz der Designphase der Platine Einzug halten.

Im ersten Schritt ist es somit von entscheidender Bedeutung, die einzelnen Funktionsgruppen nach deren Störempfindlichkeit sowie deren Potential zur Störaussendung zu definieren und aufbauend auf diesen gewonnenen Informationen die Aufteilung der Baugruppen auf der Platine vorzunehmen. Dabei handelt es sich um einen iterativen Prozess, der durch mehrmaliges Reviewing und unter Einbeziehung der realisierbaren Möglichkeiten zu einem Konzept für die Erstellung der Leiterplatte kommen lässt. Konkret wurden zu Beginn die Baugruppen in Spannungserzeugung, Signalteil und Leistungsteil eingeteilt. Die Zuteilung zu diesen gewählten Gruppen ist in Tabelle 3.6 ersichtlich.

| Spannungserzeugung    | Signalteil                       | Leistungsteil              |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------------|
| TLE7368 + Beschaltung | CAN Treiber + Entstörung         | Low-Side Schalter          |
|                       | Lambdasonden Auswertung          | Lambdasonden Heizung       |
|                       | Prozessormodul                   | Direkteinspritzung + DC/DC |
|                       | Analoge Signalaufbereitung       | Zündung                    |
|                       | Signalaufbereitung (Kurbelwelle) | H-Brücken (Drosselklappen) |
|                       | Signalaufbereitung (Nockenwelle) | Hochdruckpumpenansteuerung |
|                       | Digitale Signalaufbereitung      |                            |
|                       | Klopferkennung                   |                            |

Tabelle 3.6 Funktionale Aufteilung der Baugruppen

Diese drei Hauptbereiche wurden so weit als möglich voneinander entfernt platziert, um eine gegenseitige Beeinflussung zu vermeiden. Weiters werden in der Gruppe des Signalteils die analoge Signalaufbereitung sowie die Klopferkennung als Schaltungsteile mit einer besonders hohen Störempfindlichkeit definiert und dementsprechend auf der Leiterplatte platziert. Als Schaltungsteile, von denen ein erhöhtes Potential an Störaussendung auf andere Baugruppen zu erwarten ist, sind in erster Linie alle Bausteine mit einer hochfrequenten Schnittstelle (MSC oder SPI) sowie die CAN Treiber angesprochen. Diese wurden mit genügendem Abstand zu empfindlichen Funktionsgruppen platziert.

### 3.15.2.2 Platinenwahl

In Anbetracht der Anzahl an funktionalen Schaltungsteilen und den Anforderungen an die Störsicherheit wurde entschieden, eine Platine mit vier Layern einzusetzen. Der Grund dafür ist, dass eine Platine mit nur zwei Layern es wahrscheinlich nicht ermöglicht hätte, alle Versorgungs- und Signalleitungen unter

Einbeziehung der EMV Anforderungen erfolgreich zu verlegen. Der Einsatz von vier Layern bei der Platine ermöglicht darüber hinaus die Definition eines Masse- sowie eines Versorgungslayers. Dies resultiert, neben der Verbesserung der Störbeeinflussbarkeit, auch in einem strukturelleren und übersichtlicheren Aufbau.

In Abbildung 3.33 ist die eingesetzte Platine, sowie sie im Layoutprogramm definiert wurde, dargestellt.

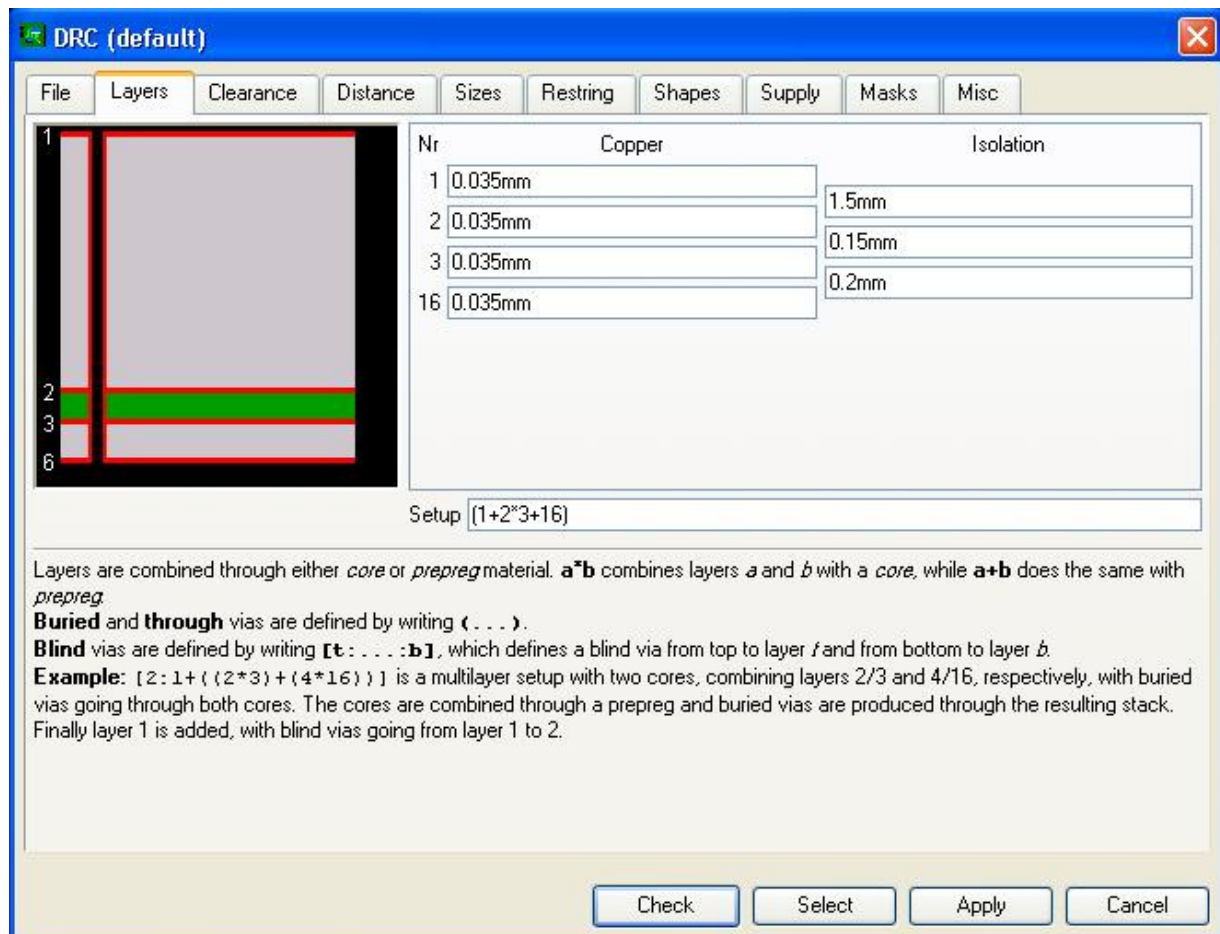


Abbildung 3.33 Definition der gewählten Platine im Layoutprogramm

Der oberste Layer (Top-Layer) und der unterste Layer (Bottom-Layer) werden dabei als Signal-Layer verwendet. Auf dem Top-Layer werden speziell die kritischen Signale (z.B. SPI oder MSC Leitungen, CAN Leitungen,...) geführt, da der benachbarte Layer als Masse ausgeführt ist und dadurch eine störende Beeinflussung dieser Signale auf andere Baugruppen minimiert wird. Der dritte Layer wird als Versorgungslayer verwendet und dient zur Führung aller Versorgungsspannungsleitungen zu den entsprechenden Schaltungsteilen und Bausteinen.

### 3.15.2.3 Massekonzept

Bezug nehmend auf [Franz 2008] besteht bei dem Begriff der Masse das konzeptionelle Problem der Vereinigung von zwei widersprüchlichen Aufgaben. Einerseits soll die Masse ein einheitliches Bezugspotential für sämtliche Schaltungsteile auf der Platine bereitstellen, damit jedes Signal sowohl bei



der Quelle als auch bei der Senke dasselbe Potential hat. Andererseits soll die Masse aber auch die Funktion des Potentialausgleichs, also des Rückleiters für Signalströme und systemfremde Ströme, übernehmen. Diese beiden Forderungen stehen im Widerspruch, da es automatisch zu Spannungsabfällen auf dem Bezugspotential kommt, wenn dieses als Potentialausgleich genutzt wird, da die Masse keine unendlich kleine Impedanz besitzt.

Um diese parasitären Auswirkungen der widersprüchlichen Aufgaben möglichst gering zu halten, wird in diesem Motorsteuergerät eine gemeinsame Masse für alle Schaltungsteile verwendet. Um eine möglichst niedrige Impedanz dieser Masse zu allen Schaltungsteilen zu ermöglichen, wird eine gesamte Innenlage der Platine als Masseschicht ausgeführt. Somit kann von jeder Baugruppe direkt und sehr niederimpedant mit Hilfe einer Durchkontaktierung eine Verbindung zur Masse hergestellt werden.

Dieses Massekonzept, in Verbindung mit der entsprechend getroffenen funktionalen Aufteilung der Baugruppen, ermöglicht ein Minimum der gegenseitigen Beeinflussung und stellt die Grundlage für einen störsicheren Betrieb des Motorsteuergeräts dar.

#### **3.15.2.4 EMV Maßnahmen**

Die funktionale Aufteilung der einzelnen Baugruppen auf der Platine sowie das Konzept der gemeinsamen Masse durch eine eigene Masselage dienen vor allem der Verhinderung der Erzeugung von eigenen Störungen sowie der gegenseitigen Beeinflussung auf der Platine. Die in diesem Kapitel besprochenen EMV Maßnahmen dienen dagegen hauptsächlich der Abschirmung von Störungen von außerhalb des Motorsteuergeräts sowie deren Filterung und Dämpfung.

Grundsätzlich wurden hierbei zwei verschiedene Maßnahmen getroffen, die durch entsprechende Bauelemente realisiert wurden. Einerseits wurde an allen Signalleitungen, die auf den Stecker geführt werden, ein kleiner Keramikkondensator (1nF/200V) gegen Masse geschaltet, um hochfrequente Störungen direkt auf die Masse und damit einer niederimpedanten Senke abzuleiten. Andererseits wurde in den analogen und digitalen Signaleingängen ein EMV Ferrit der Firma Würth verbaut, um die Dynamik von schnellen Stromänderungen zu begrenzen und damit überlagerte Störgrößen zu dämpfen. Bei beiden Maßnahmen ist es von entscheidender Bedeutung, dass diese Bauelemente möglichst nahe am Stecker und damit am Anschluss zur Platine platziert werden, damit auftretende Störungen schon dort auf die Masse abgeleitet werden können und somit der Störeinfluss auf andere Baugruppen auf ein Minimum reduziert werden kann.

## 4 Verwendete Software

In diesem Kapitel wird die im Zuge der Durchführung dieser Arbeit verwendete Software aufgelistet und eine kurze Beschreibung dazu gegeben.

### 4.1 EAGLE 4.16r2 Professional

Bei dem Programm EAGLE der Firma Cadsoft handelt es sich um ein Tool zur Erstellung eines Schaltplans sowie des dazugehörigen Layouts. Dabei hat der Anwender die Möglichkeit, seinen individuellen Schaltplan zu zeichnen und basierend darauf ein Layout zu generieren, welches bezüglich der Bauteile sowie allen Verbindungen konsistent zum Schaltplan ist. In Abbildung 4.1 ist der Schaltplan-Editor und in Abbildung 4.2 der Layout-Editor des Programms EAGLE dargestellt.

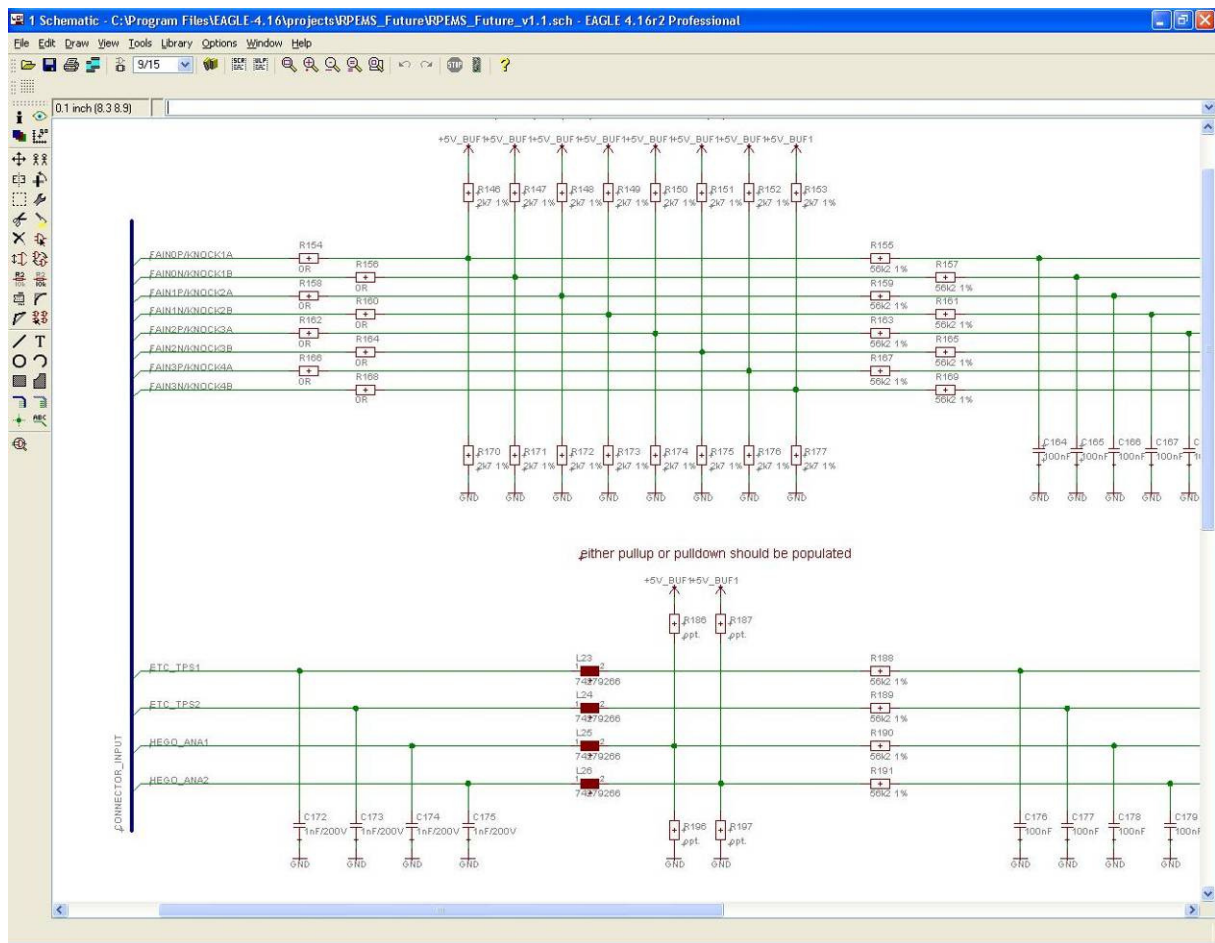


Abbildung 4.1 Schaltplan-Editor des Programms EAGLE

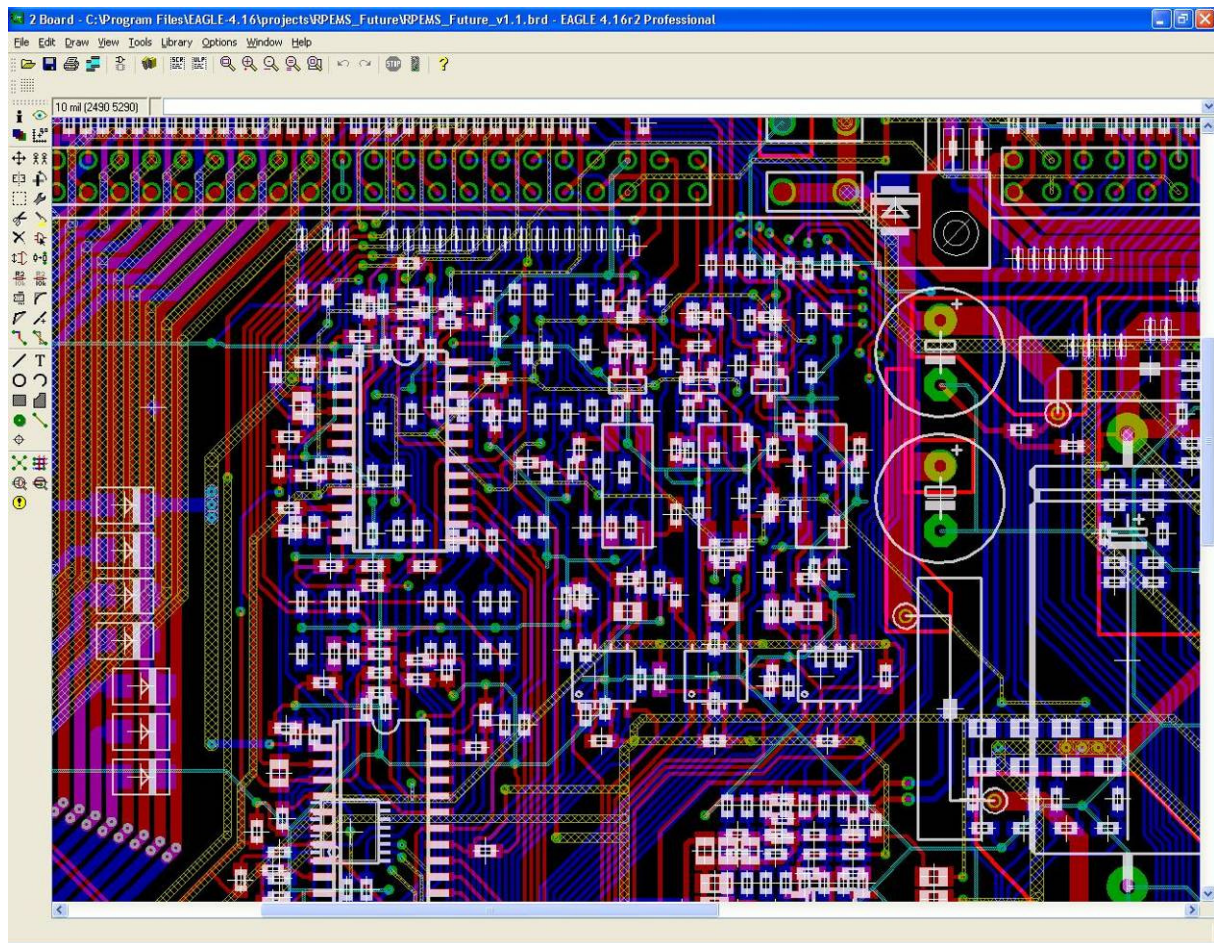


Abbildung 4.2 Layout-Editor des Programms EAGLE

## 4.2 DAvE (Digital Application virtual Engineer)

Mit dem frei erhältlichen Tool DAvE der Firma Infineon wird ein Programm zur Verfügung gestellt, mit dem der Entwickler die Möglichkeit der graphischen Konfiguration des eingesetzten Mikrocontrollers hat. Gerade bei sehr komplexen Derivaten mit unzähligen Konfigurationsmöglichkeiten, wie es die TriCore Architekturreihe darstellt, ist ein graphisches Konfigurieren aller verwendeten Hardwareeinheiten bei weitem komfortabler und lässt darüber hinaus spätere Adaptierungen leichter und nachvollziehbarer durchführen. Abbildung 4.3 zeigt die Benutzeroberfläche des DAvE Programms.

Nach der gewünschten Konfiguration aller notwendigen Funktionsblöcke kann der dazu entsprechende Programmcode in Form von „.c“ und „.h“ Dateien ausgegeben werden, die entweder direkt in die Softwareentwicklungsumgebung eingebunden werden können oder nur Codesequenzen daraus entnommen und entsprechend verwendet werden.

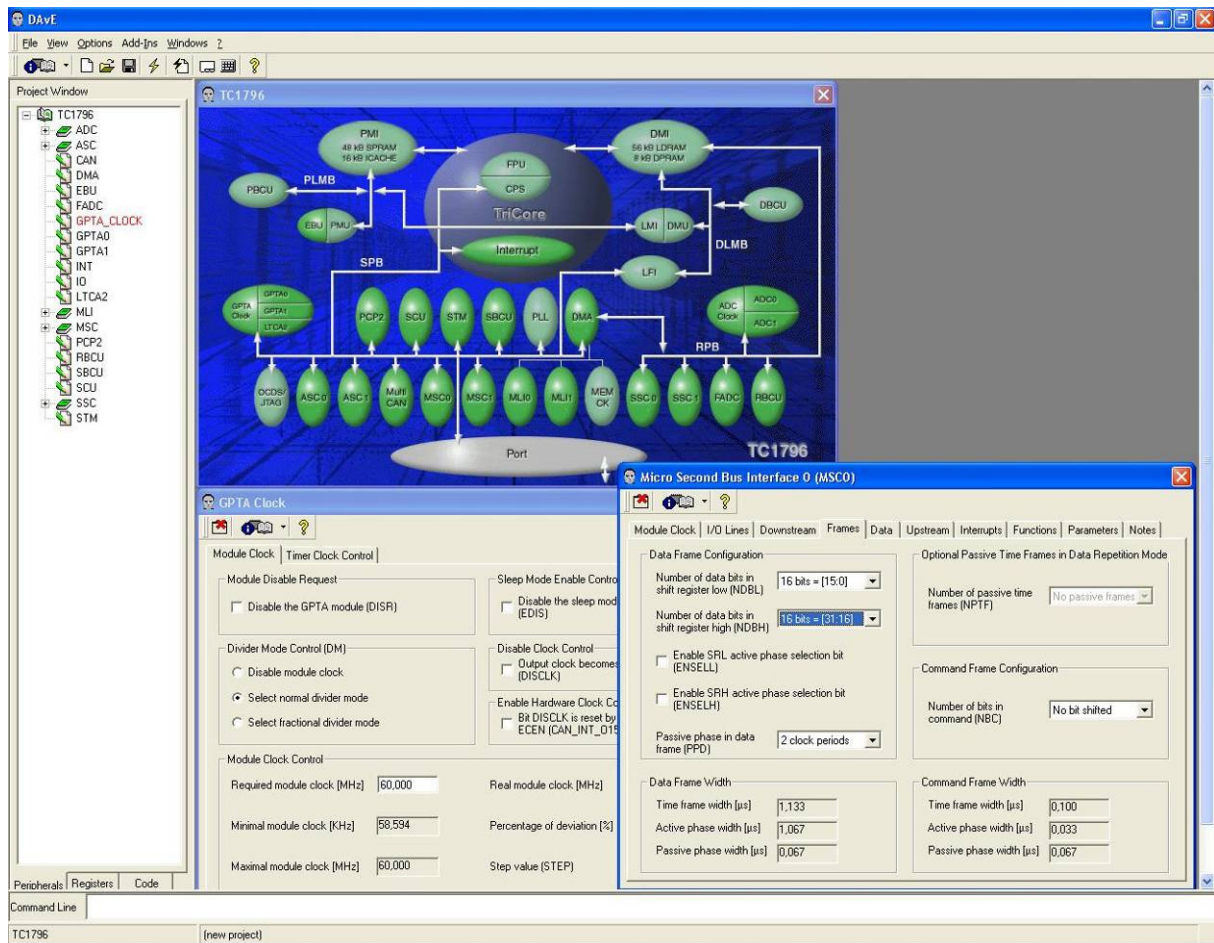


Abbildung 4.3 Benutzeroberfläche des Mikrocontroller-Konfigurationstools DAVe

Die Erfahrung hat gezeigt, dass es sehr sinnvoll ist, während der gesamten Entwicklung ein Dave-Konfigurationsfile anzulegen und alle Änderungen darin nachzuziehen. Damit erhält man eine graphische Referenz des eingesetzten Systems.

### 4.3 INCA (Integrated Calibration and Acquisition Environment)

Bei dem Tool INCA handelt es sich um ein Mess- und Applikationsprogramm der Firma ETAS, welches das einfache Programmieren (Flashen des Mikrocontrollers) des Motorsteuergeräts während des Betriebs ermöglicht. Außerdem bietet es dem Anwender die Möglichkeit, zur Laufzeit auf alle im Prozessor verfügbaren Parameter, Kennlinien und Kennfelder zuzugreifen, diese zu messen sowie online zu adaptieren. Der Zugriff auf den Mikrocontroller erfolgt dabei mit Hilfe der CAN Schnittstelle basierend auf dem CCP Protokoll. In Abbildung 4.4 ist die Benutzeroberfläche von INCA dargestellt.

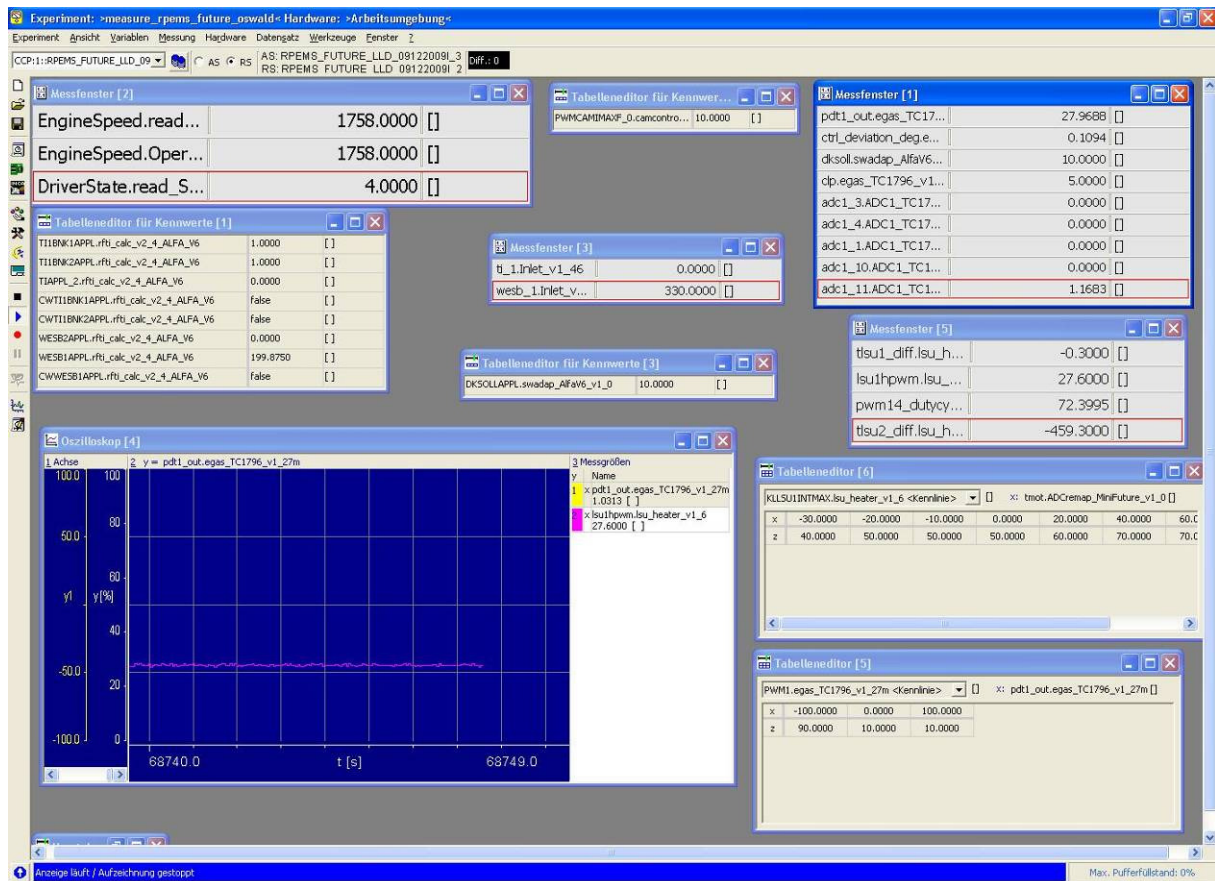


Abbildung 4.4 Benutzeroberfläche von INCA

INCA hat sich im Zuge der Motorsteuerungsentwicklung, neben der Aufgabe der Programmierung jeweiliger neuer Programmstände, vor allem durch die Funktion des Messens verschiedenster Systemgrößen als äußerst hilfreich erwiesen. Während der Phase der sukzessiven Inbetriebnahme konnte damit oftmals die korrekte Funktionalität nachgewiesen werden, was mit konventionellen Messungen (Oszilloskop) nur mit erheblichem zeitlichem Mehraufwand möglich gewesen wäre.

## 4.4 ASCET-SD

Bei ASCET-SD handelt es sich um ein Programm der Firma ETAS zur Entwicklung von beliebigen Funktionen für Motorsteuerungen sowohl auf HLL-Code als auch auf graphischer Basis. Im Zuge dieser Arbeit wurde jedoch die Möglichkeit der Funktionsentwicklung dieses Tools nicht benutzt und somit wird an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen. Sehr hilfreich hat sich jedoch für die Hardware-Inbetriebnahme der Projekteditor dieses Programms erwiesen, der die verwendeten Module (z.B. ADC, EGAS, PWM,...) sowie die zeitliche Gliederung und Ausführung des Gesamtprojekts verwaltet. Damit ist es möglich, einzelne Module in generierten Programmständen zu aktivieren bzw. deaktivieren, um auftretende Fehler funktional eingrenzen zu können sowie neu aufgebaute Schaltungsteile autonom testen zu können. In Abbildung 4.5 ist die Benutzeroberfläche des Projekteditors dargestellt, wobei in der

linken Spalte alle verwendeten Module dieses Projekts aufgelistet sind. Im rechten Fenster befinden sich die Tasks mit den zugeordneten Prozessen.

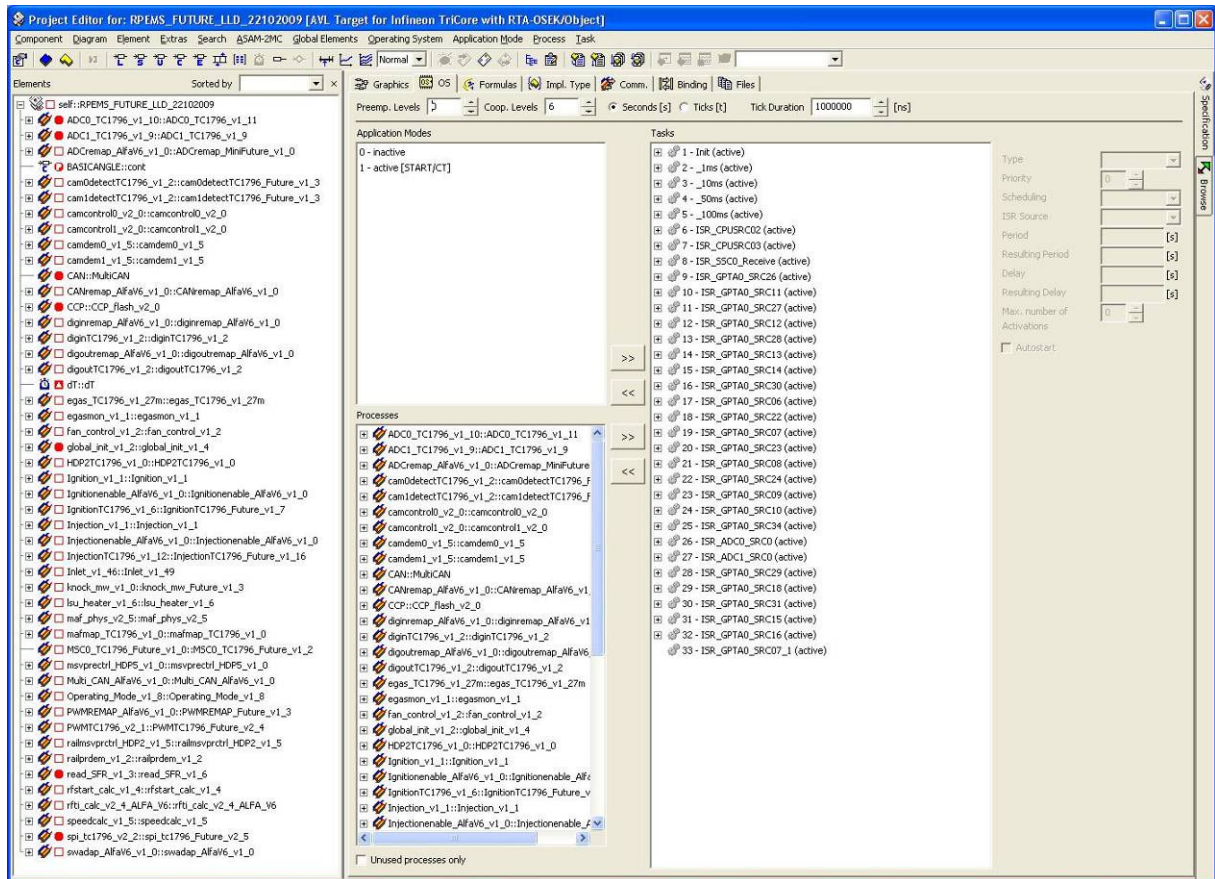


Abbildung 4.5 Benutzeroberfläche des Projekteditors des ASCET-SD

## 5 Inbetriebnahme und Verifikation

Nach der Erstellung des Schaltplans und des Layouts wurde die gefertigte Platine sukzessive bestückt und die Funktionalität der einzelnen Schaltungsteile sowie des Gesamtsystems verifiziert. Gerade bei einer komplexen Platine mit vielen unterschiedlichen Schaltungselementen, wie es dieses Motorsteuergerät darstellt, ist eine schrittweise Inbetriebnahme der einzelnen Schaltungsteile notwendig, da bei einem gleichzeitigen Aufbau verschiedener Baugruppen ein Fehler nur erschwert lokalisiert werden kann. Die Reihenfolge der Inbetriebnahme entspricht der Abfolge der Überschriften in diesem Kapitel und resultiert dabei zum Teil aus der vorhandenen Notwendigkeit bestimmter Schaltungsteile, um andere betreiben und verifizieren zu können.

Um die Inbetriebnahme sowie das allgemeine Arbeiten mit dem Motorsteuergerät im Labor zu erleichtern, wurde eine so genannte Break-Out Box eingesetzt (Abbildung 5.1). Dabei werden alle Anschlüsse des Steuergerätesteckers auf eine Metallbox hinausgeführt, um einfach und bequem mit 4mm Bananen-Buchsen auf alle Anschlüsse Zugriff zu erlangen.



Abbildung 5.1 Break-Out Box

Der erste Prototyp des Motorsteuergeräts wird dabei als 4-Zylinder Variante aufgebaut, da im realen Versuchsfahrzeug ein 4-Zylinder Motor eingebaut ist (Mini Cooper S; Reihenvierzylinder) und man einerseits die Fehlermöglichkeiten gering halten und andererseits eine schnelle Verifikation im Fahrzeug durchführen möchte.

## 5.1 Spannungsversorgung

Die Inbetriebnahme der Spannungsversorgung stellt den ersten Punkt bei dem Aufbau der Platine dar und wird durch das Auflöten des TLE7368E Spannungsreglers mit seiner Peripheriebeschaltung bestimmt. Die erwarteten Spannungen wurden mit Hilfe der auf dem Motherboard befindlichen LED's (eine für jede der vier Spannungen) angezeigt und darüber hinaus mit einem Oszilloskop hinsichtlich quantitativer (Höhe der Spannungen) sowie qualitativer (Verzerrungen und Überlagerung auf den Spannungen) Eigenschaften überprüft und als funktionierend bewertet. Auch das Aktivieren bzw. Deaktivieren der Versorgung mittels dem Klemme 15 Signal funktionierte wie erwartet.

## 5.2 Mikrocontroller und CAN Kommunikation

Die Inbetriebnahme des Prozessormoduls auf dem Motherboard stellt die Integration des Kernstücks des Motorsteuergeräts dar und wurde in Verbindung mit der CAN Kommunikation durchgeführt, da damit der einfache Zugriff auf den Prozessor realisiert und eine rasche Verifikation durchgeführt werden konnte.

Dazu wurden die Verbindungsstecker des phyCORE Moduls sowie die CAN Treiber mit ihrer erforderlichen Beschaltung auf dem Motherboard aufgelötet, das Prozessormodul integriert und anschließend versorgt. Die Inbetriebnahme des Prozessormoduls und damit das einwandfreie Funktionieren der CAN Kommunikation konnte unmittelbar nachgewiesen werden, indem über das Tool INCA eine Kommunikation mit dem Prozessor aufgebaut werden konnte sowie dessen Programmierung erfolgreich durchgeführt wurde.

Bei laufender CAN Verbindung wurde ein nichtdeterministisches Resetieren des Mikrocontrollers beobachtet, welches von dem Spannungsüberwachungsbaustein am phyCORE Modul ausgelöst wurde. Nach Rücksprache mit der Herstellerfirma des Prozessormoduls handelte es sich dabei um eine falsche Dimensionierung des Überwachungsbausteins. Dadurch hat dieser schon bei kleinen Spannungsschwankungen ausgelöst, die auf dynamische Vorgänge der CAN Kommunikation zurückzuführen waren. Nach dem Einsatz der adaptierten Version des phyCORE Moduls war dieses Problem gelöst.

Die Stromaufnahme des phyCORE Moduls liegt bei etwa 230mA und damit innerhalb der Spezifikation des Herstellers (typische Stromaufnahme < 400mA).



### 5.3 Kurbel- und Nockenwellensignale

Zur Inbetriebnahme der Kurbel- und Nockenwellenfunktionalitäten wurde ein von der Firma AVL List GmbH entwickelter Signalgenerator eingesetzt, der je nach Konfiguration ein Kurbelwellensignal und bis zu vier Nockenwellensignale erzeugen kann (Abbildung 5.2).



Abbildung 5.2 Signalgenerator für Kurbel- und Nockenwellensignale

Die Konfiguration wird dabei über ein EEPROM im Signalgenerator realisiert, welches über ein spezielles Tool programmiert werden kann. Darüber hinaus können die Spannungspegel aller Ausgangssignale mittels integrierter Potentiometer angepasst werden.

Die damit erzeugten Signale für die Verifikation dieses Funktionsteils sind in Abbildung 5.3 dargestellt. Das gelbe Signal entspricht dem Kurbelwellensignal und simuliert ein 60-2 Geberrad. Bei dem blauen Signal handelt es sich um das Nockenwellensignal, welches über eine Nocke verfügt. In dieser Abbildung ist auch gut die 1:2 Untersetzung zwischen Kurbelwelle und Nockenwelle zu erkennen. Die eingestellte Motordrehzahl liegt bei 1000 Umdrehungen pro Minute.

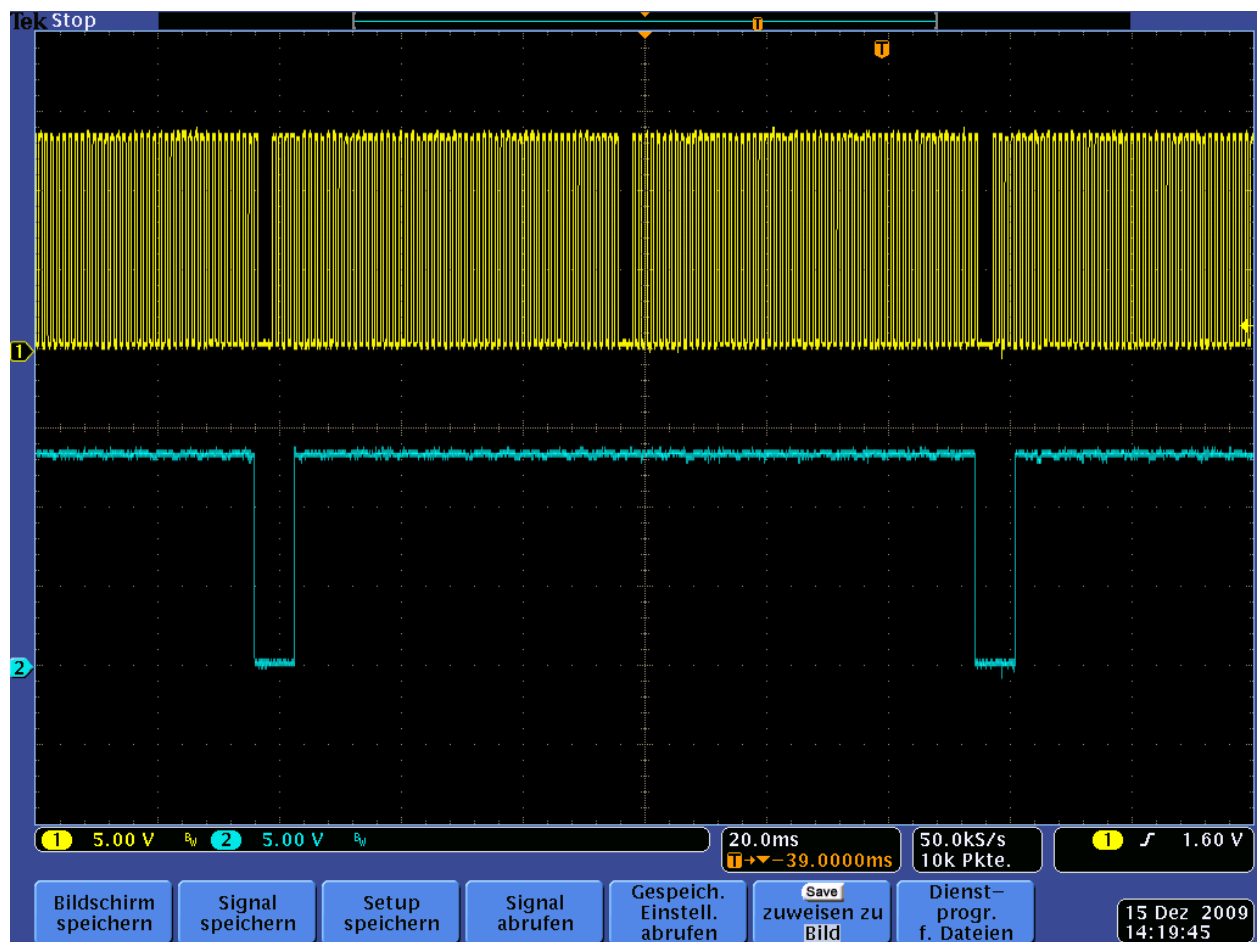


Abbildung 5.3 Kurbel- und Nockenwellensignale (erzeugt mit Signalgenerator)

Dass die generierten Signale richtig eingelesen und vom Mikrocontroller verarbeitet werden, wurde mit dem Tool INCA überprüft.

## 5.4 Analoge und digitale Eingangssignale

Die Funktionalität der analogen und digitalen Eingangssignale wurde verifiziert, indem an den entsprechenden Eingängen mit Hilfe von einstellbaren Spannungsquellen Werte angelegt und diese am Mikrocontroller ausgelesen wurden. Beim Auslesen verwendete man das Tool INCA, mit dem man auf die einzelnen analogen Abtastwerte sowie der digitalen Zustände einzelner Eingangspins Zugriff hat.

Bei der Verifikation der analogen Eingänge lag das Hauptaugenmerk neben dem Einlesen des richtigen Wertes auf deren Signalqualität. Diese ist von entscheidender Bedeutung, da geschlossene Regelschleifen (wie etwa bei der Drosselklappenregelung) auf ein störungsfreies, analoges Eingangssignal angewiesen sind und die Qualität der Regelung davon abhängt.

## 5.5 Low-Side Schalter

Die Inbetriebnahme der beiden 18-fach Low-Side Leistungsendstufen (TLE6244X) wurde, neben der eigentlichen Überprüfung der Funktionalität, mit spezieller Fokussierung auf deren störenden Einfluss auf andere Schaltungsteile durchgeführt, da diese über eine Kommunikation sowohl über den SPI als auch über den schnellen MSC Bus verfügen.

Die eigentliche Funktionsüberprüfung der beiden Bausteine fiel positiv aus und die einwandfreie Funktionalität aller Ausgänge wurde mit dem Anschließen von Aktuatoren an deren Ausgänge sowie am Oszilloskop überprüft.

Die Vermutung einer störenden Beeinflussung der hochfrequenten Bussignale hat sich als richtig herausgestellt und resultiert in einer überlagerten Störung der analogen Eingänge. Der Grund für diese negative Beeinflussung liegt in der unter Kapitel 3.1.2.2. erläuterten Tatsache, dass am phyCORE Modul der Großteil der analogen Eingänge mit diversen Portleitungen zusammen geschaltet sind. Bei Verwendung der Portleitungen werden diese aber nicht von dem Analogteil entkoppelt, sondern die analogen Eingänge „hören“ mit. Bei der Entwicklung des Prozessormoduls wurde dabei anscheinend nicht beachtet, dass die Busleitungen der MSC Kommunikation genau an diesen Portleitungen herausgeführt werden und resultierend daraus erfolgt eine Einkopplung der hochfrequenten Bussignale in den analogen Schaltungsteil des Mikrocontrollers.

Grundsätzlich wäre bei der Planung des Motorsteuergeräts ein Bustakt von 16 MHz bei der MSC Kommunikation angedacht gewesen, um jeden Low-Side Schalter mit einer Zeit von  $2\mu\text{s}$  takten zu können. Aufgrund der Tatsache der störenden Beeinflussung wurde der Bustakt auf 1 MHz reduziert, was die auftretenden Störeinkopplungen auf ein vertretbares Minimum reduziert und ein noch immer ausreichend schnelles Update der Low-Side Schalter von etwa  $32\mu\text{s}$  gewährleistet.

## 5.6 Drosselklappenansteuerung

Die Inbetriebnahme der Drosselklappenansteuerung erfolgte durch die Integration der H-Brücke (TLE7209R) auf dem Motherboard und dem Anschluss einer gängigen Drosselklappe der Firma Robert Bosch GmbH. Die Regelung der Drosselklappenstellung konnte mit Hilfe des Tools INCA nachgewiesen werden, wobei hier auf den systeminternen Parameter „DKSOLL“ (Drosselklappenstellung Sollwert) zugegriffen und verschiedene Betriebspunkte eingestellt, analysiert und verifiziert wurden. In Abbildung 5.4 sind die beiden Ansteuerungssignale der Drosselklappe bei einer Öffnung von 10% dargestellt. Man kann hier gut erkennen, dass die beiden Zweige der H-Brücke von dem Regler mit einem unterschiedlichen Tastverhältnis angesteuert werden. Da der Regler die Tastverhältnisse dynamisch verändert, stellt diese Abbildung nur eine Momentaufnahme der Regelung dar.

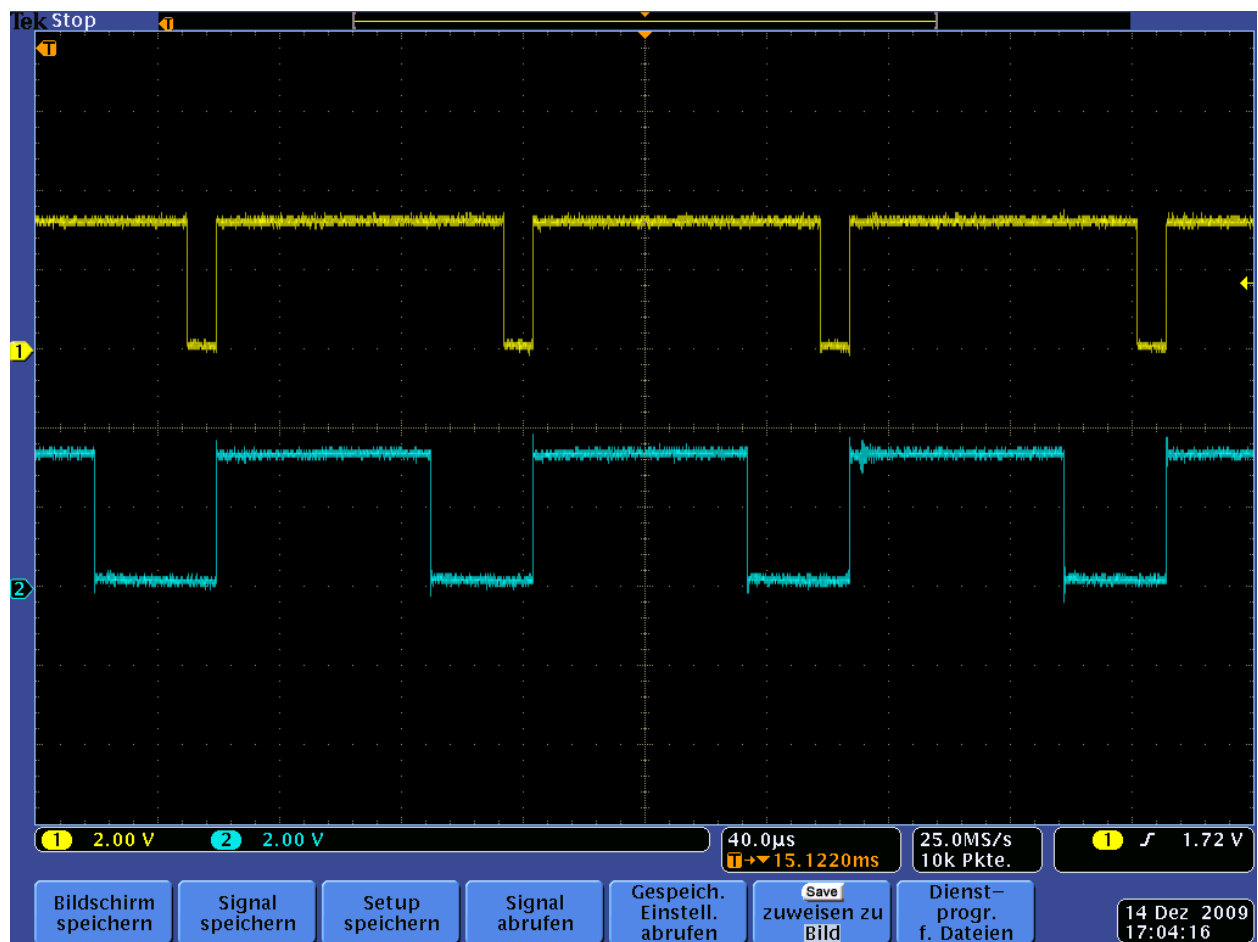


Abbildung 5.4 PWM Ansteuerungssignale der Drosselklappe

Bei genauerer Analyse der Regelung wurde eine signifikant größere Regelabweichung im Vergleich zum Vorgängermotorsteuergerät AVL RPEMS-NG festgestellt. Bei weiteren Messungen hat sich als Ursache wiederum der störende Einfluss der MSC Kommunikation auf den Analogteil herausgestellt, da die auftretende Regelabweichung mit der dem Analogsignal überlagerten Störgröße korreliert. Mit Hilfe von Messungen des Tools INCA wurde eine Korrelation zwischen der auftretenden Störgröße der analogen Signale und dem Bustakt der MSC Schnittstelle festgestellt. Analog zu der im Kapitel 5.5 beschriebenen Maßnahme, der Reduktion des Bustakts, wurde der Störeinfluss auf ein vertretbares Minimum reduziert. In Abbildung 5.5 ist die analoge Messgröße der Drosselklappe mit einer MSC Baudrate von 1 MBaud, in Abbildung 5.6 mit einer Baudrate von 18 MBaud dargestellt. Dabei ist deutlich die Minimierung der Störbeeinflussung aufgrund der MSC Schnittstelle festzustellen, die in einer Erhöhung der Regelabweichung resultiert.

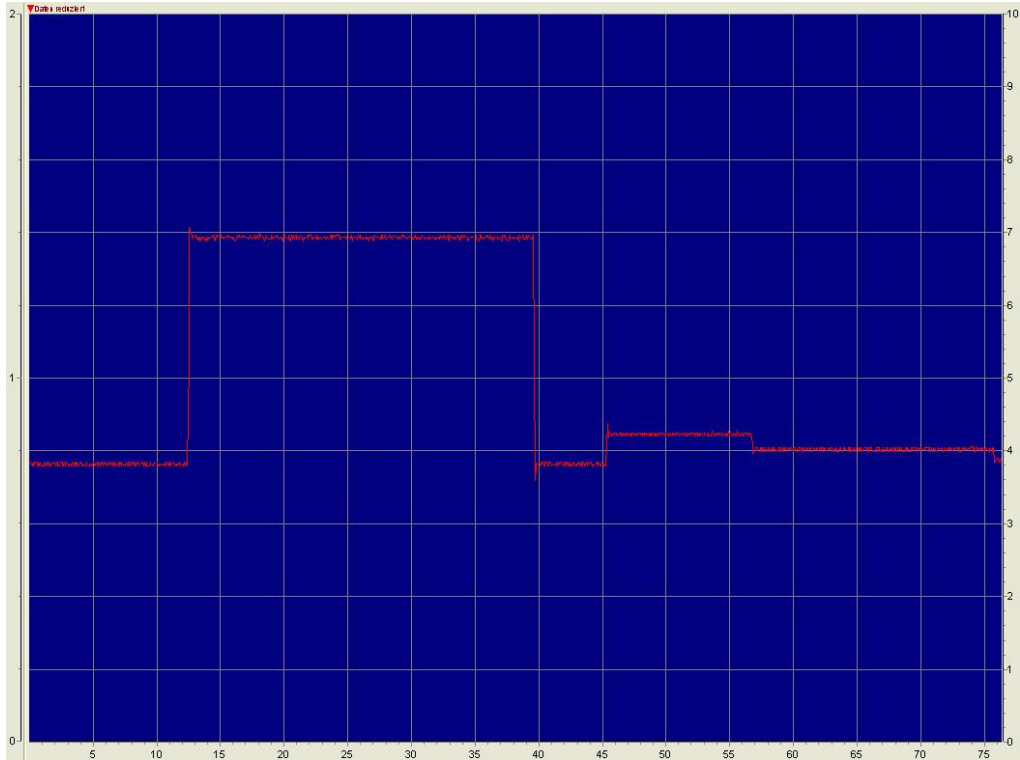


Abbildung 5.5 Analoge Messgröße der Drosselklappe mit MSC Bus aktiv (1 Mbaud)

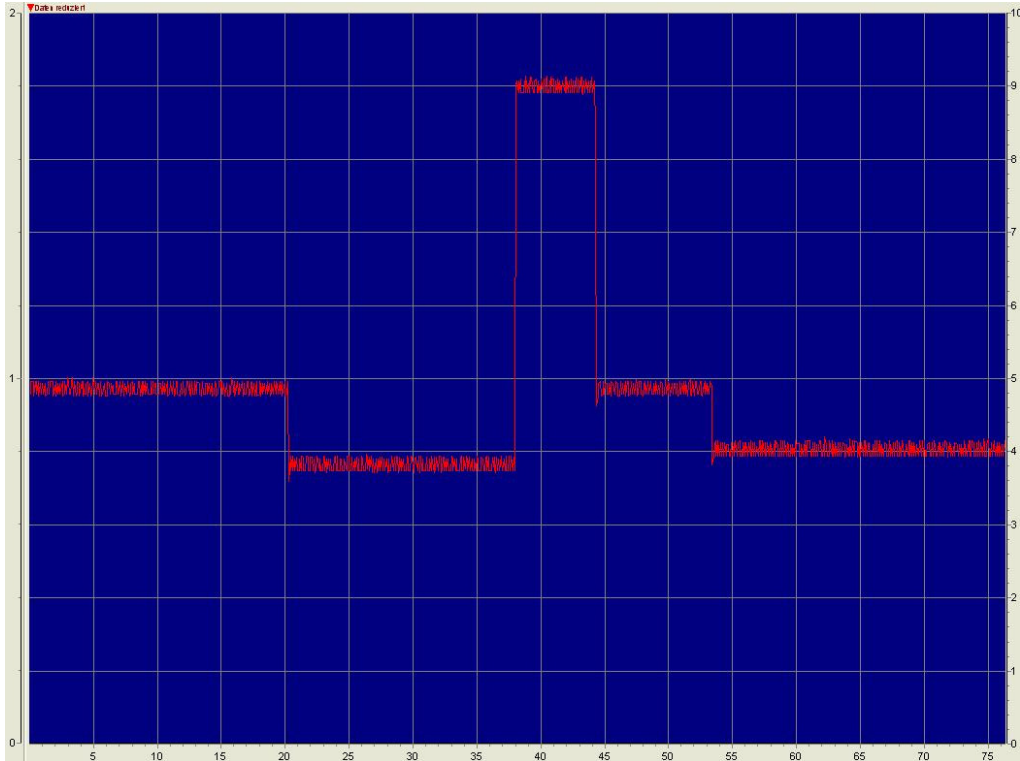


Abbildung 5.6 Analoge Messgröße der Drosselklappe mit aktiven MSC Bus (18 Mbaud)

## 5.7 Zündung und Einspritzung

Bei der Inbetriebnahme der Zündung und Einspritzung wurden, vor dem Auflöten der Leistungsbaulemente auf der Platine, zuerst die vom Mikrocontroller erzeugten Ansteuerungssignale verifiziert. Dabei ist vor allem sichergestellt worden, dass die Zündungssignale vom Typ active-high und die Einspritzsignale vom Typ active-low sind, da es ansonsten zu dauerhaftem Aktivieren und eventuellen Beschädigungen der entsprechenden Baugruppen gekommen wäre. In Abbildung 5.7 sind die Ansteuerungssignale dargestellt. Bei den Signalen 0 bis 3 handelt es sich um die Zündungssignale in geometrischer Zylinderreihenfolge (Zylinder 1 bis Zylinder 4), wobei man gut die Zündreihenfolge von 1-3-4-2 des eingesetzten Vierzylindermotors erkennen kann. Das Signal 4 stellt das Einspritzsignal des geometrisch ersten Zylinders, das Signal 5 das des geometrisch zweiten Zylinders, das Signal 6 das des geometrisch vierten Zylinders und das Signal 7 stellt das Einspritzsignal des geometrisch dritten Zylinders dar.

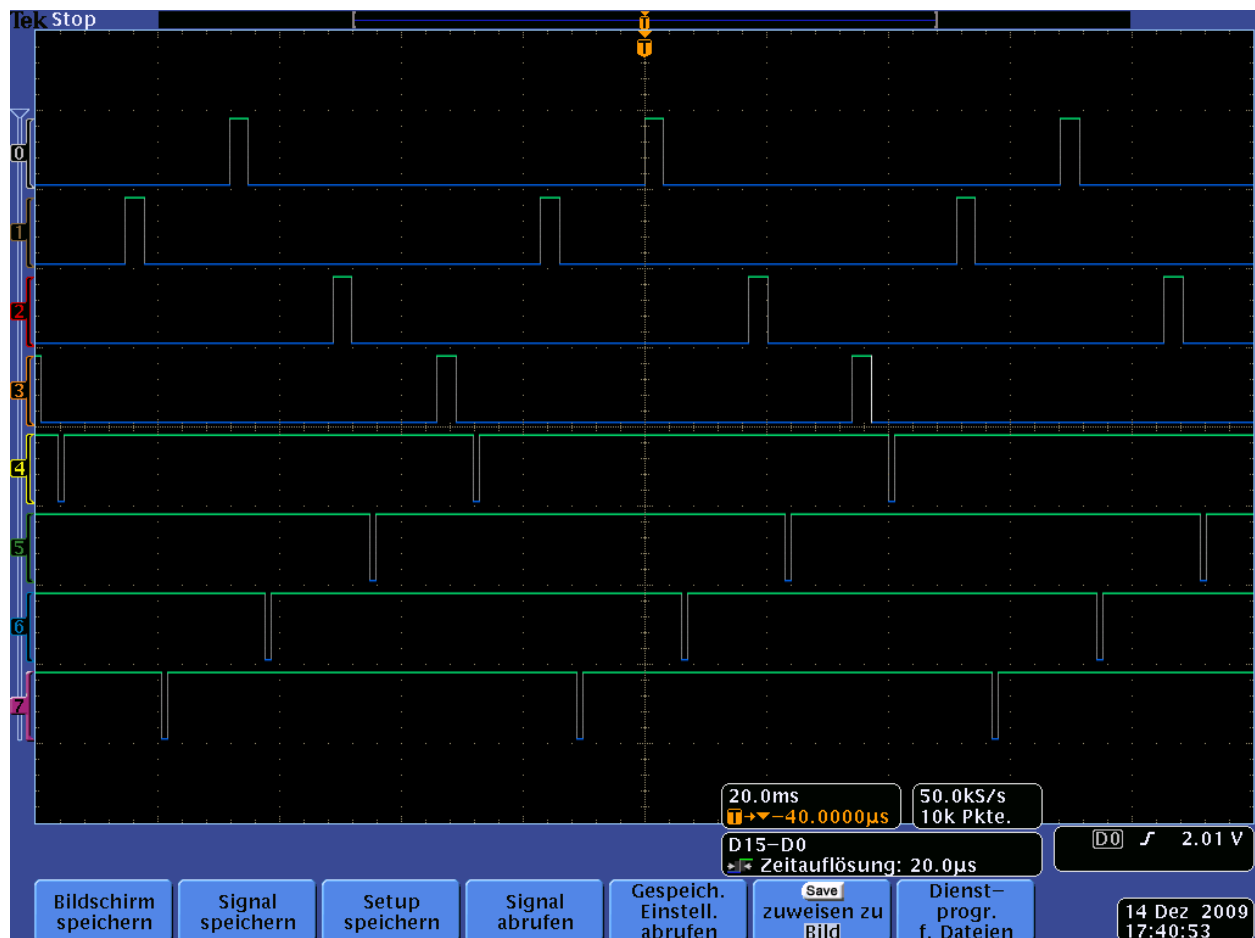


Abbildung 5.7 Zündungs- und Einspritzsignale des Mikrocontrollers

Anschließend wurden am Motorsteuergerät vier Zündspulen inklusive der Zündkerzen und vier Hochdruckeinspritzventile angeschlossen, um den realen Betrieb dieser Einheiten zu simulieren. Bei der Verifikation dieser beiden Funktionen traten keine Komplikationen auf und ein einwandfreies Arbeiten über den gesamten Drehzahlbereich konnte festgestellt werden. Einzig die Wärmeentwicklung der

Zündungstransistoren (IGBT's) war bei hohen Drehzahlen größer als erwartet, sodass Daueruntersuchungen bei diesen Betriebspunkten auf den Einsatz im Gehäuse und damit auf die Kühlanbindung im Zuge der Gesamtverifikation verschoben werden mussten.

## 5.8 Lambdasonden Ansteuerung und Heizung

Die Inbetriebnahme der Lambdasonden-Funktionalität begrenzt sich in diesem Fall auf den Betrieb (Regelung und Heizung) einer Breitband-Lambdasonde. Einerseits begründet wird dies durch den Einsatz dieses Sondentyps im Versuchsfahrzeug und andererseits, da sich der Betrieb einer Zweipunkt-Lambdasonde auf das Einlesen eines analogen Spannungswertes reduziert und dies bereits im Kapitel 5.4 verifiziert wurde.

Die Inbetriebnahme der Ansteuerung des Lambdasondenbausteins (CJ125) sowie der Lambdasonden Heizung erfolgte in einem Schritt, da eine typische Lambdasonde erst ab einer Betriebstemperatur von etwa 600°C richtig arbeitet.

Nach der Integration der erforderlichen Schaltungselemente wurde eine Breitband-Lambdasonde vom Typ LSU4.9 angeschlossen und das Motorsteuergerät versorgt. Mit dem Tool INCA konnte der integrierte Temperaturregelkreis erfolgreich verifiziert werden. Eine Verifikation des Lambdawertes konnte unter Laborbedingungen nur insofern erfolgen, dass der CJ125 Baustein einen Analogwert für das magerste messbare Gemisch ausgegeben hat.

## 5.9 Klopfkennung

Die Inbetriebnahme des Schaltungsteils zur Klopfkennung beschränkt sich auf die elektrische Verifikation sowie die Überprüfung der einwandfreien Kommunikation mit dem CC196 Baustein über SPI, da kein Simulator für Klopfsignale zur Verfügung gestanden ist. Soweit überprüfbar funktioniert diese Baugruppe wie gefordert.

## 5.10 Hochdruckpumpenansteuerung

Die Inbetriebnahme des Schaltungsteils zur Ansteuerung der Hochdruckpumpe beschränkt sich auf die elektrische Verifikation, da die Adaptierung des entsprechenden Low-Level Treibers zum Zeitpunkt der Verifikation dieses Motorsteuergeräts noch nicht erfolgt ist. Soweit überprüfbar funktioniert diese Baugruppe wie gefordert.

Dass der Funktionsteil der Hochdruckpumpenansteuerung zum Zeitpunkt der Systemverifikation im Versuchsfahrzeug nicht einsatzbereit ist, ergibt keine Einschränkung, da die HDP im Versuchsfahrzeug Mini Cooper S konzeptionell über einen Low-Side Schalter angesteuert wird.

## 5.11 Systemverifikation im Labor

Bei der Systemverifikation unter Laborbedingungen wurde das Motherboard mit Vollbestückung zum Betrieb eines 4-Zylinder Motors aufgebaut und das erste Mal im Gehäuse betrieben, um eine ausreichende Kühlung aller notwendigen Bauelemente zu gewährleisten. Bei diesem Test wurden alle für den primären Betrieb eines Motorsteuergeräts notwendigen Sensoren und Aktuatoren simuliert oder angeschlossen, um ein möglichst reales Verhalten nachzubilden. Das Hauptaugenmerk dieser Verifikation ist dabei auf der gegenseitigen Beeinflussung der einzelnen Funktionsteile gelegen, da neben der Einspritzung und Zündung auch das erste Mal die Drosselklappen- sowie die Lambdasondenregelung gleichzeitig aktiv gewesen sind. Der Aufbau der Drosselklappe, der Zündspulen mit den Zündkerzen sowie der Breitband-Lambdasonde zur Systemverifikation im Labor wird in Abbildung 5.8 gezeigt.



Abbildung 5.8 Versuchsaufbau im Labor (Drosselklappe, Zündspulen und Lambdasonde)



In Abbildung 5.9 sind die angeschlossenen Direkteinspritzventile dargestellt. Diese befinden sich in einer Plastikbox, da sie während der Verifikationsphase im Labor geölt werden mussten, um nicht beschädigt zu werden.

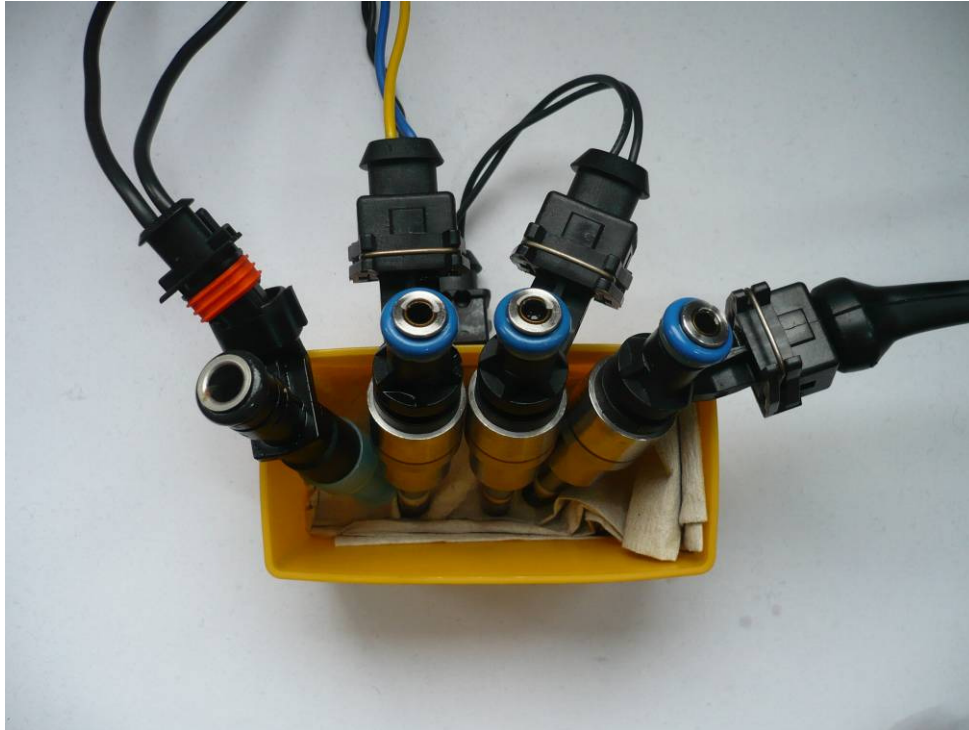


Abbildung 5.9 Versuchsaufbau im Labor der Direkteinspritzventile

Der Systemverifikationstest im Labor hat gezeigt, dass das Motorsteuergerät wie gewünscht funktioniert und es durch das gleichzeitige Arbeiten aller Funktionsteile zu keiner negativen gegenseitigen Beeinflussung kommt. Die Wärmeentwicklung der Platine lässt aufgrund der Temperaturmessung der Kühlflächen am Gehäuse ( $n = 3000 \text{ U/min} \rightarrow T = 45^\circ\text{C}$ ) auf eine ausreichende Kühlung schließen. Dieser Test bildet damit die Grundlage für weiterführende Untersuchungen im Versuchsfahrzeug.

## 5.12 Systemverifikation im Versuchsfahrzeug

Nach der erfolgreichen Systemverifikation unter Laborbedingungen wurde das Motorsteuergerät in das Versuchsfahrzeug integriert. Bei dem Versuchsfahrzeug handelt es sich um einen Mini Cooper S mit einem 4-Zylinder-Reihenmotor mit Turboaufladung (Abbildung 5.10).

Nach einigen Anpassungen, vor allem bezüglich der richtigen Steckerbelegung der Sensoren und Aktuatoren im Fahrzeug, konnte das Versuchsfahrzeug in Betrieb genommen werden. Dabei wurde mit dem Tool INCA eine Verbindung zum Motorsteuergerät aufgebaut und alle für den Betrieb relevanten Größen überwacht und protokolliert. Das Fahrzeug ist beim ersten Startversuch angesprungen und der Motor ist wie erwartet gelaufen.



Abbildung 5.10 Systemverifikation mit dem Versuchsfahrzeug

In Abbildung 5.11 ist eine Momentaufnahme einiger der protokollierten Messgrößen dargestellt. Der Motor liegt zu diesem Zeitpunkt im Leerlauf.

| Messfenster [2]             |          |     |
|-----------------------------|----------|-----|
| EngineSpeed.read_SFR_v1_3   | 790.0000 | [ ] |
| periodin0mean_corr.mafma... | 477.0000 | [ ] |

| Messfenster [8]             |          |     |
|-----------------------------|----------|-----|
| aped1.ADCremap_MiniFut...   | 0.0000   | [ ] |
| tpsact1.ADCremap_MiniF...   | 5.5000   | [ ] |
| rcraw.maf_phys_v2_5         | 28.9900  | [ ] |
| teng.ADCremap_MiniFutu...   | 77.0000  | [ ] |
| tair.ADCremap_MiniFuture... | 24.7000  | [ ] |
| pboost.ADCremap_MiniFu...   | 975.0000 | [ ] |
| pintake.ADCremap_MiniFu...  | 519.0000 | [ ] |
| saout.igncoord_v2_0         | -5.6192  | [ ] |
| prail.ADCremap_MiniFutur... | 49.9000  | [ ] |
| mairhfm.maf_phys_v2_5       | 14.2000  | [ ] |
| lambdadem.lamd_v2_0         | 1.0000   | [ ] |
| tsu1.ADCremap_MiniFutu...   | 739.7000 | [ ] |
| lambda1.ADCremap_MiniF...   | 1.0340   | [ ] |
| C_clutch.diginremap_Alfa... | true     | [ ] |
| tpsdem.chrgctrl_turbo_v...  | 5.4688   | [ ] |

| Messfenster [6]    |  |     |
|--------------------|--|-----|
| digout0.digoutr... |  | [ ] |
| digout1.digoutr... |  | [ ] |
| digout2.digoutr... |  | [ ] |
| digout3.digoutr... |  | [ ] |
| digout4.digoutr... |  | [ ] |
| digout5.digoutr... |  | [ ] |
| digout6.digoutr... |  | [ ] |
| digout7.digoutr... |  | [ ] |
| digout8.digoutr... |  | [ ] |
| digout10.digout... |  | [ ] |
| B_FuelPump.O...    |  | [ ] |
| C_antpump.bo...    |  | [ ] |
| C_fan1.fan_co...   |  | [ ] |
| B_starteren.sta... |  | [ ] |

Abbildung 5.11 Ausschnitt aus den protokollierten Messgrößen im Versuchsfahrzeug

Folgende Parameter sind aus Abbildung 5.11 ersichtlich:

- *EngineSpeed*  
Motordrehzahl in Umdrehungen pro Minute (aktuell: 790 U/min).
- *teng*  
Motortemperatur (aktuell: 77 °C).
- *tair*  
Ansauglufttemperatur (aktuell: 24.7 °C).
- *pboost*  
Ladedruck vor Drosselklappe (aktuell: 975 mbar).
- *pintake*  
Saugrohrdruck (aktuell: 519 mbar).
- *prail*  
Druck im Benzin-Hochdruckrail (aktuell: 49.9 bar).
- *mairhfm*  
Luftmassenstrom des HFM-Sensors (aktuell: 14.2 kg/h).
- *lambdadem / lambda1*  
Die Kenngröße „lambdadem“ zeigt den aktuell geforderten Lambdawert (1.0) an und „lambda1“ zeigt den realen Lambdawert (1.034) an.

Die hier gezeigten Kennwerte sowie die anderen protokollierten Kennwerte haben während der Verifikationsphase unter verschiedenen Betriebspunkten gezeigt, dass das Motorsteuergerät den gestellten Anforderungen entspricht.

## 6 Ergebnisse

Die Inbetriebnahme und die Verifikation (Kapitel 5) haben die einwandfreie Funktionalität aller einzelnen Baugruppen sowie des Gesamtsystems entsprechend der gestellten Anforderungen, sowohl funktionale als auch nichtfunktionale, nachgewiesen.

In diesem Kapitel wird das im Zuge dieser Arbeit konstruierte Motorsteuergerät sowie das gefräste Gehäuse graphisch dargestellt.

### 6.1 Motherboard

In Abbildung 6.1 ist die Oberseite des Motherboards und in Abbildung 6.2 ist die Unterseite des Motherboards dargestellt.



Abbildung 6.1 Oberseite des Motherboards

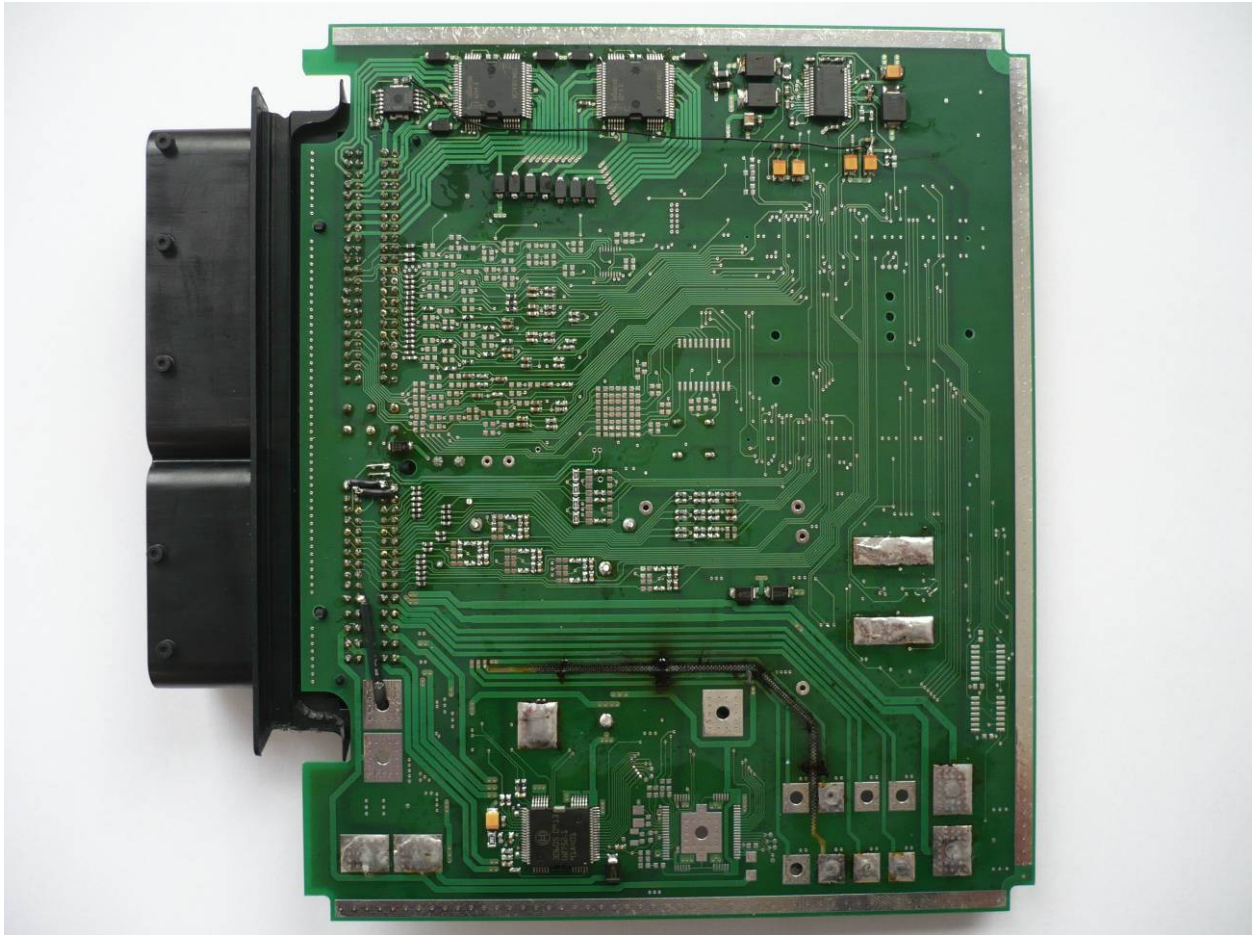


Abbildung 6.2 Unterseite des Motherboards

## 6.2 Gehäuse

Das konstruierte Gehäuse besteht aus zwei Teilen, der Wanne und dem Deckel. Das Motherboard wird mit der Oberseite voraus in die Wanne gesteckt und der Deckel verschließt das Motorsteuergerät auf der Unterseite der Platine.

Im Inneren der beiden Gehäuseteile befinden sich Kühlstege, die über isolierte Wärmeleitfolien mit entsprechenden Bereichen der Platine verbunden sind, um die Wärme der Leistungsbausteine abzuleiten.

### 6.2.1 Wanne

In Abbildung 6.3 ist die Wanne des Gehäuses von der Außenseite und in Abbildung 6.4 ist die Wanne des Gehäuses von der Innenseite dargestellt.

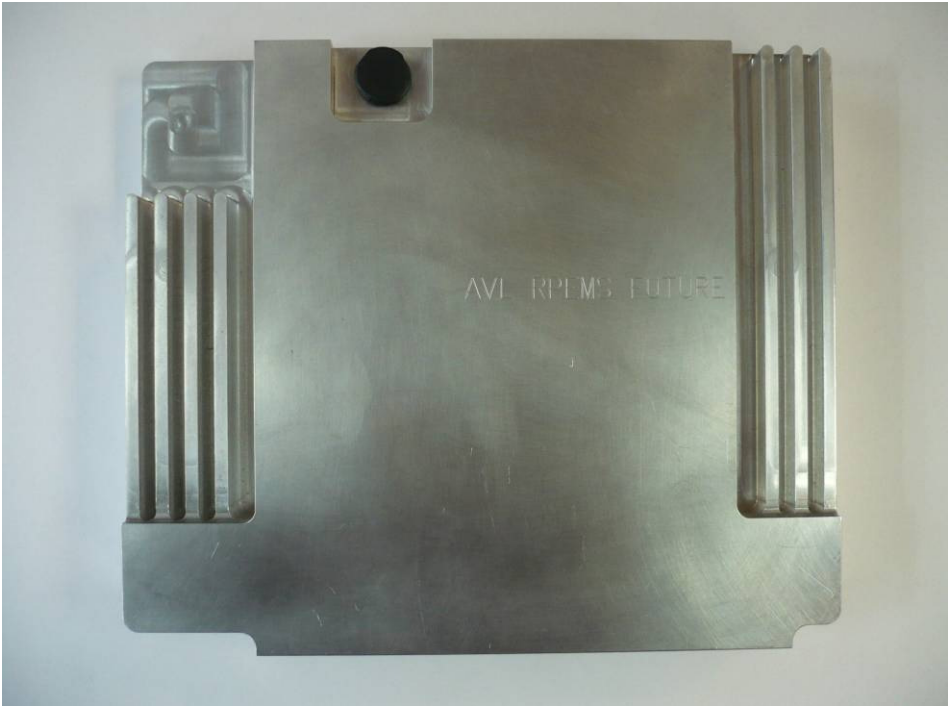


Abbildung 6.3 Wanne des Gehäuses von der Außenseite



Abbildung 6.4 Wanne des Gehäuses von der Innenseite

## 6.2.2 Deckel

In Abbildung 6.5 ist der Deckel des Gehäuses von der Außenseite und in Abbildung 6.6 ist der Deckel des Gehäuses von der Innenseite dargestellt.



Abbildung 6.5 Deckel des Gehäuses von der Außenseite



Abbildung 6.6 Deckel des Gehäuses von der Innenseite

## 6.3 Layout

In Abbildung 6.7 ist der Top-Layer des Motherboards dargestellt.

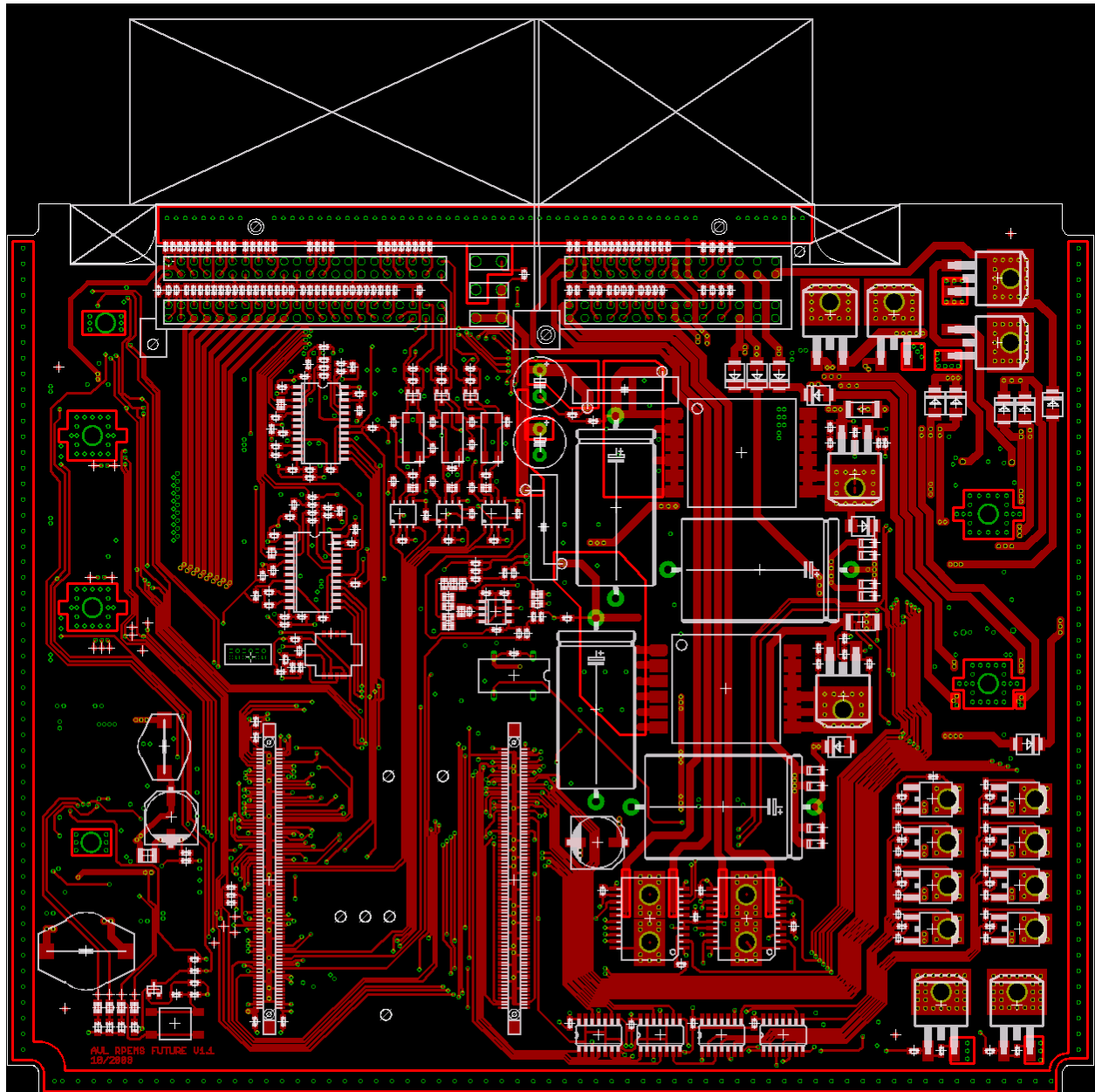


Abbildung 6.7 Top-Layer des Motherboards



In Abbildung 6.8 ist der Ground-Layer des Motherboards dargestellt.

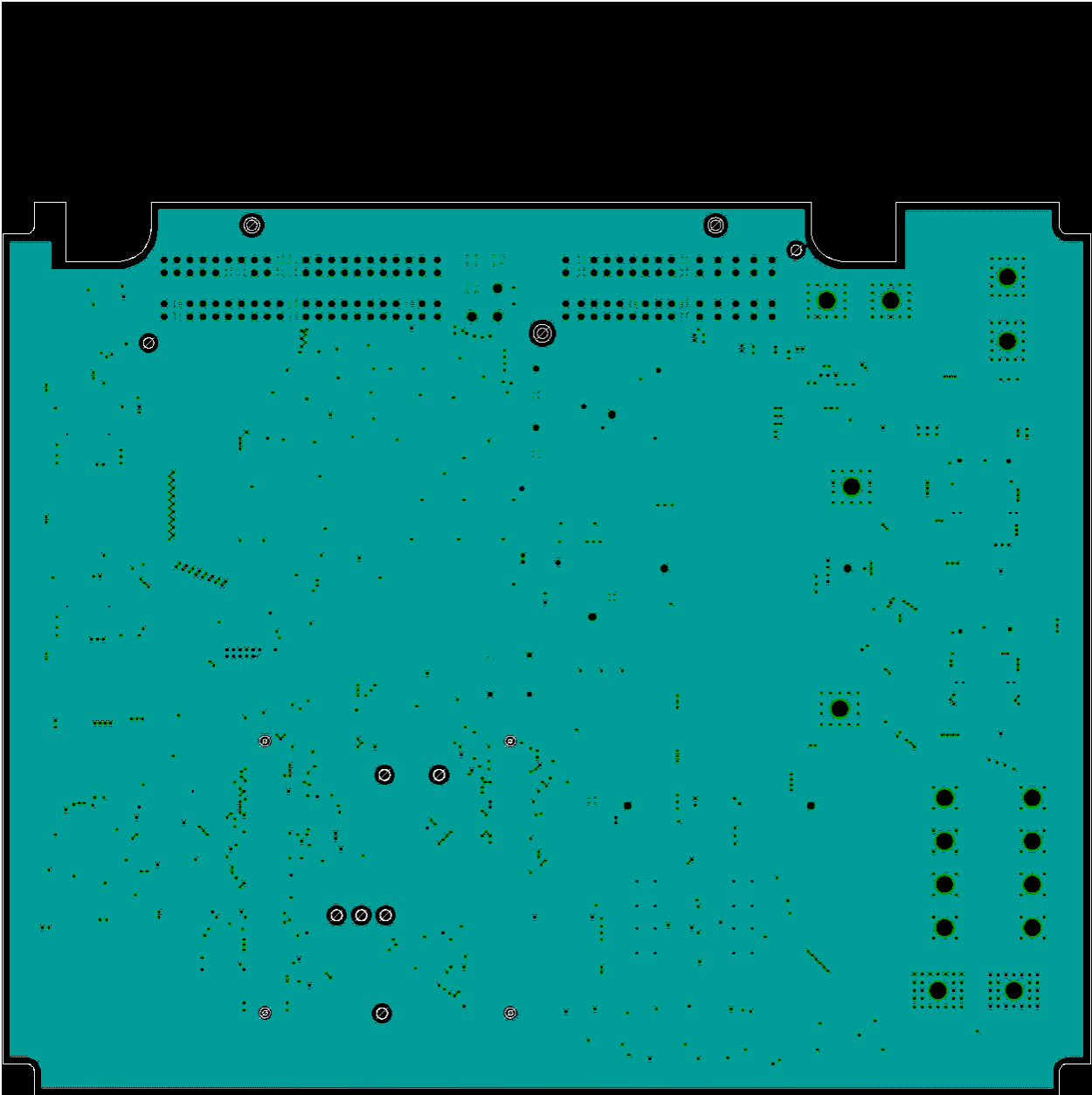


Abbildung 6.8 Ground-Layer des Motherboards

In Abbildung 6.9 ist der Supply-Layer des Motherboards dargestellt.

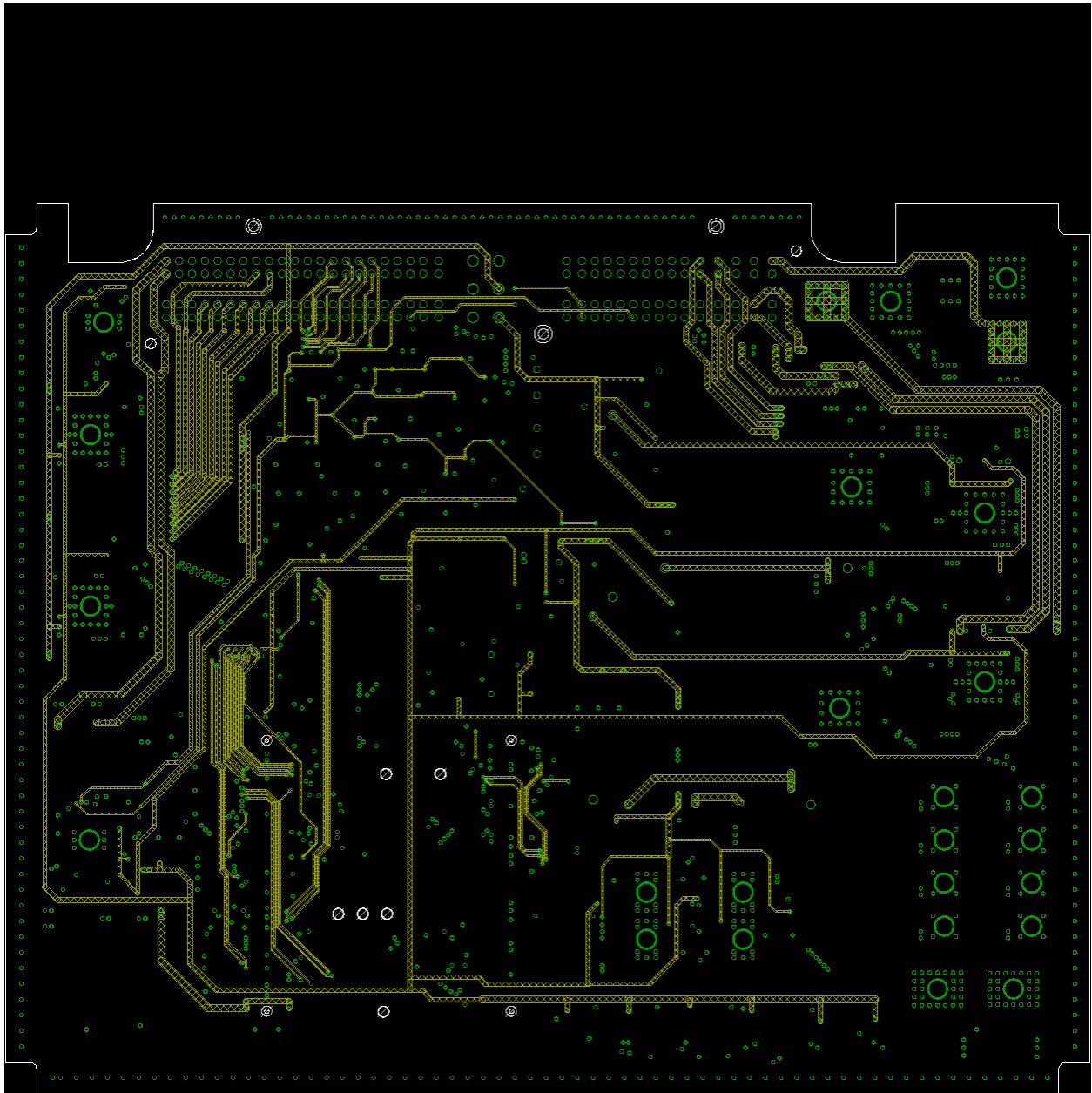


Abbildung 6.9 Supply-Layer des Motherboards

In Abbildung 6.10 ist der Bottom-Layer des Motherboards dargestellt.

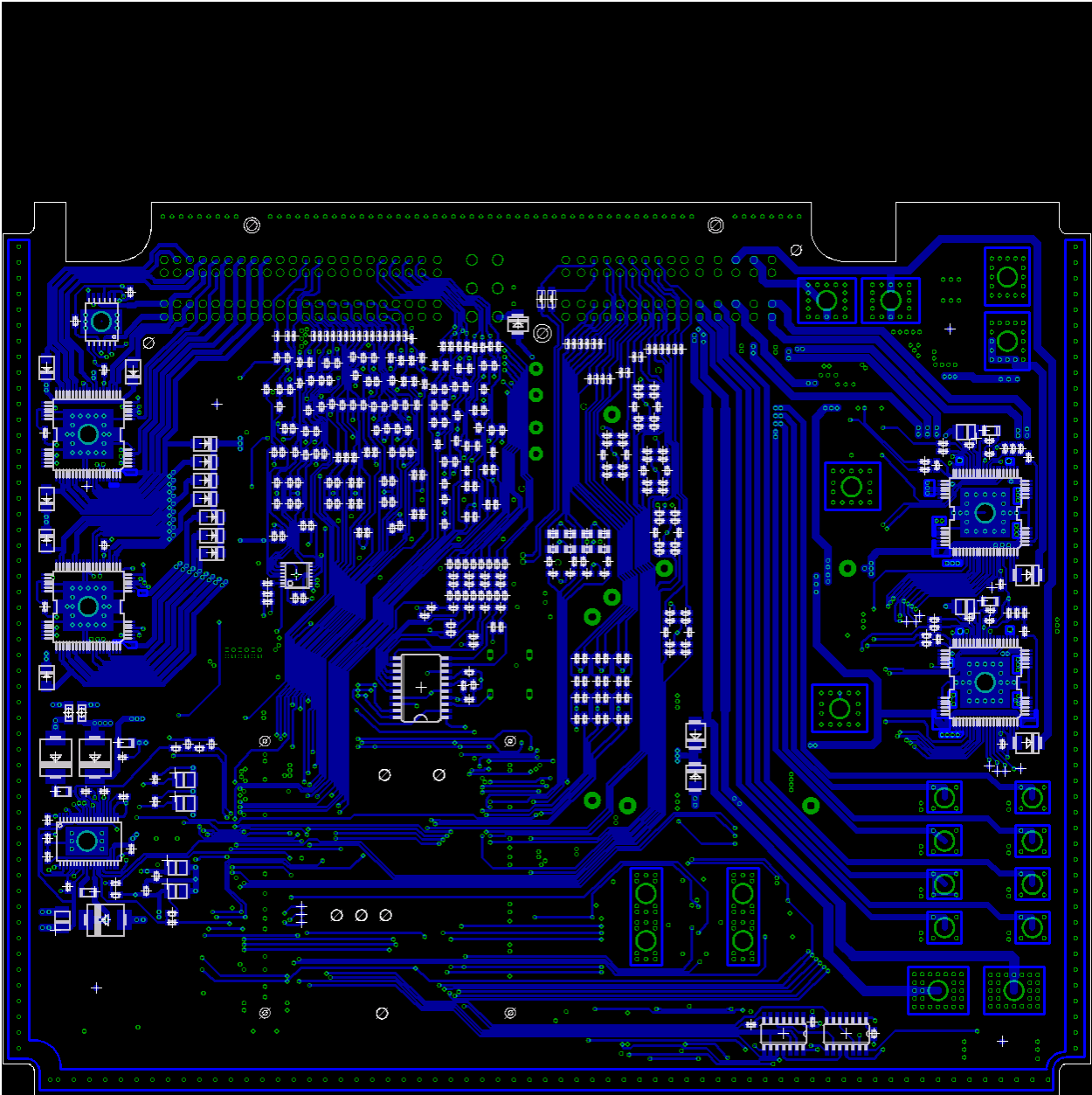


Abbildung 6.10 Bottom-Layer des Motherboards

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Basierend auf dem bisherigen Entwicklungssteuergerät mit der Bezeichnung AVLRPEMS-NG und gewonnenen Erfahrungen aus diversen Projekten und Diplomarbeiten wurde im Zuge dieser Arbeit ein eigenes Motorsteuergerät (AVL RPEMS FUTURE) entwickelt und der erste Prototyp aufgebaut. Ein primäres Ziel dabei war die Integration aller erforderlichen Einheiten in einem Gerät, da bisher verwendete (zugekaufte) Systeme diese Eigenschaft nicht aufwiesen. Zusätzlich zur Platine, dem Motherboard des Motorsteuergeräts, sollte noch in Zusammenarbeit mit der Konstruktionsabteilung ein geeignetes Gehäuse entwickelt und gefertigt werden. Als Mikrocontroller sollte der Typ TC1796 bzw. dessen pincompatible Erweiterung TC1797 von Infineon eingesetzt werden, um softwareseitige Synergieeffekte mit dem bisherigen eingesetzten Gerät nutzen zu können.

Beginnend mit einer Analyse ist festgestellt worden, welche grundsätzlichen Funktionen zu integrieren sind, um aktuelle und zukünftige Ottomotoren mit bis zu acht Zylindern mit all deren Sensoren und Aktuatoren betreiben zu können. Für alle erforderlichen Funktionen wurden passende Bausteine und Schaltungsteile ausgewählt und dimensioniert, resultierend in dem Schaltplan. Der Integrationsprozess des geforderten Mikrocontrollers TC1796/TC1797 von Infineon in das Motherboard stellte sich während dieser Phase als äußerst komplex heraus, sodass ein Prozessormodul der Firma Phytex zum Einsatz gekommen ist. Dieses lässt eine einfachere Integration des gewünschten Mikrocontrollers in das Motherboard zu. Anschließend, nach der Fertigstellung des Schaltplans, wurde ein Konzept zur Integration aller Baugruppen auf einer Platine erstellt. Dabei wurde vor allem auf eine funktionale Aufteilung auf der Leiterplatte und eine Minimierung der gegenseitigen Störbeeinflussung geachtet, da diese Aspekte entscheidend zur Stabilität und dem sicheren Betrieb des Motorsteuergeräts beitragen. Als kritisch wurden die Integration des Bausteins zur Direkteinspritzung (CJ840C) mit der erforderlichen Hochspannungserzeugung (DC/DC-Converter), die Zündungstreiber sowie die hochfrequenten Übertragungsschnittstellen eingestuft, da diese ein erhöhtes Maß an Störaussendung auf der Platine verursachen. Im Gegenzug dazu musste auf den Analogteil besondere Rücksicht genommen werden, da dieser sensibel auf einwirkende Störgrößen reagiert. Unter diesen Aspekten wurde eine Platine entworfen, gefertigt und der erste Prototyp sukzessive aufgebaut.

In der folgenden Verifikationsphase wurde das Motorsteuergerät zuerst unter Laborbedingungen mit simulierten Eingangssignalen und bereits realen angeschlossenen Aktuatoren ausführlich getestet. Nach diesen erfolgreichen Tests wurde bei einem Versuchsfahrzeug (Mini Cooper S, 1.6l Turbomotor mit Direkteinspritzung) das originale Motorsteuergerät durch das neu entwickelte ersetzt und eine Systemverifikation unter realen Bedingungen durchgeführt. Diese Tests ergaben ebenfalls ein zufriedenstellendes Ergebnis.

Aktuell befindet sich das Motorsteuergerät weiterhin im Einsatz im Versuchsfahrzeug. An dieser Stelle ist es nun wichtig, das Motorsteuergerät in möglichst zahlreichen Betriebszuständen und unter vielen verschiedenen Bedienungen zu verifizieren, um weitere Erfahrungen sammeln zu können.

Grundsätzlich ist das Motorsteuergerät vollständig einsatzfähig, jedoch wären Änderungen im Zuge einer Weiterentwicklung denkbar.

Die Verwendung des Prozessormoduls der Firma Phytex bringt zwar erhebliche Vorteile bezüglich des Integrationsaufwands, jedoch ergeben sich daraus auch zwei größere Nachteile (einerseits die Doppelbelegung von Pins und andererseits die störende Kopplung des MSC Busses mit dem Analogteil). Eventuell sollte mit der Firma Phytex über eine Verbesserung deren Platine gesprochen werden oder über eine Integration des Mikrocontrollers selbst in das Motherboard nachgedacht werden.

Die Ansteuerungssignale der Zündung sollten, äquivalent zur Direkteinspritzung, anstatt active-high ebenfalls als active-low ausgeführt werden. Grundsätzlich werden die Zündsignale zwar im Zuge der Initialisierungsphase auf Low gesetzt, jedoch befinden sich die entsprechenden Pins nach einem Reset für eine gewisse Zeit in der Konfiguration „INPUT PULL-UP“ und aktivieren damit sämtliche Leistungsendstufen.

Weiters wäre die Untersuchung des Motorsteuergeräts an einem akkreditierten EMV Prüfstand von großem Interesse. Dabei könnte ermittelt werden, wie das Gerät sich unter einwirkenden Störungen verhält sowie welche Schaltungsteile als erstes und am stärksten gestört werden.

## Literaturverzeichnis

- [BASSHUYSEN 2008] Richard van Basshuysen  
Ottomotoren mit Direkteinspritzung, 1.Auflage  
Vieweg-Teubner, 9-2008
- [BORGEEST 2007] Kai Borgeest  
Elektronik in der Fahrzeugtechnik, 1.Auflage  
Vieweg+Teubner, 12-2007
- [BOSCH 2005] Robert Bosch GmbH  
Specification CJ840C  
Reutlingen, 05-2005
- [BOSCH 2006A] Robert Bosch GmbH  
Product Information Sensor Interface – CY30  
Reutlingen, 02-2006
- [BOSCH 2006B] Robert Bosch GmbH  
Product Information CC196  
Reutlingen, 03-2006
- [BOSCH 2006C] Robert Bosch GmbH  
Product Information Lambda Probe Interface IC – CJ125  
Reutlingen, 04-2006
- [BOSCH 2007] Robert Bosch GmbH  
Autoelektrik Autoelektronik, 5.Auflage  
Robert Bosch GmbH, Plochingen, 01-2007
- [BRASSEUR 2008] Georg Brasseur

- 
- Skriptum zur Vorlesung Kraftfahrzeugmesstechnik  
Institut für Elektrische Messtechnik, 2008
- EICHLSEDER 2008] Helmut Eichlseder  
Skriptum Kolbenmaschinen, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und  
Thermodynamik, 09-2008
- [FRANZ 2008] Joachim Franz  
EMV Störsicherer Aufbau elektronischer Schaltungen, 3.Auflage  
Vieweg+Teubner, 2008
- [INFINEON 2003] Infineon Technologies AG  
TLE6244X - 18 Channel Smart Lowside Switch V4.2  
Infineon Technologies AG, München, 08-2003
- [INFINEON 2005] Infineon Technologies AG  
TriCore – Connecting Low-Side Switch TLE6244X to Microcontroller  
TC1796 using the Microsecond Bus V1.0  
Infineon Technologies AG, München, 03-2005
- [INFINEON 2007A] Infineon Technologies AG  
7A H-Bridge for DC-Motor Applications Rev. 1.4  
Infineon Technologies AG, München, 04-2007
- [INFINEON 2007B] Infineon Technologies AG  
TLE7368 Next Generation Micro Controller Supply Rev. 1.1  
Infineon Technologies AG, München, 11-2007
- [INFINEON 2007C] Infineon Technologies AG  
KP125 Absolute Pressure Sensor Rev. 2.14  
Infineon Technologies AG, München, 11-2007
- [INFINEON 2008A] Infineon Technologies AG  
TC1796 32-Bit Single-Chip Microcontroller Data Sheet V1.0  
Infineon Technologies AG, München, 04-2008
- [INFINEON 2008B] Infineon Technologies AG

- 
- TLE8102SG Smart Dual Channel Powertrain Switch V1.3  
Infineon Technologies AG, München, 04-2008
- [INFINEON 2009] Infineon Technologies AG  
TC1797 32-Bit Single-Chip Microcontroller Data Sheet V1.0  
Infineon Technologies AG, München, 01-2009
- [KRÜGER 2008] Manfred Krüger  
Grundlagen der Kraftfahrzeugelektronik, 2.Auflage  
Hanser, 2008
- [NATIONAL 2005] National Semiconductors Corporation  
Datasheet ADC108S102  
National Semiconductors Corporation, 11-2005
- [NIKLAS 2008] Christian Niklas  
Entwicklung einer Klopfkennung für die AVL Motorsteuerung AVL-  
RPEMS-NG-Gasoline  
AVL List GmbH, 11-2008
- [ON 2006] ON Semiconductor  
NGD8201N Ignition IGBT, Datasheet  
ON Semiconductor, 08-2006
- [PHYTEC 2008] PHYTEC Messtechnik GmbH  
phyCORE-TC1796, Schaltplan (KSP-0150-1-003)  
PHYTEC Messtechnik GmbH, Mainz, 10-2008
- [PHYTEC 2009] PHYTEC Messtechnik GmbH  
phyCORE-TC1796 Hardware Manual  
PHYTEC Messtechnik GmbH, Mainz, 03-2009
- [SAE 2005] Simon Brewerton, Patrick Leteinturier (Infineon Technologies AG)  
SAE 2005-01-0062, Rapid Gasoline Powertrain System Design and  
Evaluation Using a Powertrain Starter Kit  
SAE International 2005



- 
- [ST 2006] STMicroelectronics  
STB40NF10 Rev. 12  
STMicroelectronics, 06-2006
- [WÜRTH 2000] Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG  
Trilogie der Induktivitäten – Applikationshandbuch  
Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG, Waldenburg, 2000