

# Diplomarbeit

Höhere Technische Bundeslehr- und Versuchsanstalt Salzburg  
Abteilung für Elektrotechnik

## Entwicklung eines emissionsfreien Sportmotorrades

### Entwicklung der Zentralsteuerung / Projektleitung

Martin Kronberger 5AHET Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) Johannes Ferner

### Entwicklung des Antriebssystems

Jakob Lackner 5AHET Betreuer: Prof. Dipl.-Ing. MBA Adolf Reinhart

### Entwicklung des Akkusystems

Simon Kern 5AHET Betreuer: Prof. Dipl.-Ing. Reinhold Benedikter

### Entwicklung der mechanischen Komponenten

Tobias Schmeisser 5AHET Betreuer: Prof. Dipl.-Ing. Peter Lindmoser

Höhere Technische Bundeslehr-  
und Versuchsanstalt Salzburg  
Itzlinger Hauptstraße 30  
A-5022 Salzburg  
[www.htl-salzburg.ac.at](http://www.htl-salzburg.ac.at)





## Eidesstaatliche Erklärung

Wir erklären an Eides statt, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht haben. Wir versichern, dass wir dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin oder einem Beurteiler) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt haben.

## Gendererklärung

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Diplomarbeit die Sprachform des generischen Maskulinums angewendet. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

---

Martin Kronberger

Ort, Datum

---

Jakob Lackner

Ort, Datum

---

Simon Kern

Ort, Datum

---

Tobias Schmeisser

Ort, Datum



# Vorwort

In immer mehr Großstädten werden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren verboten. Viele Motorräder und Autos können nicht mehr produziert werden, da sie die immer strenger werdenden Abgasnormen nicht mehr einhalten können und das Thema der Klimaerwärmung wird immer präsenter und immer mehr Menschen versuchen ihren „carbon footprint“ zu verkleinern.

Doch leider gibt es für Motorradfahrer zumeist keine wirklichen Möglichkeiten, um für ihr Hobby auf eine emissionsfreie Alternativen umzusteigen. Denn zumeist ist das Preis-Leistungsverhältnis, oder auch das Produkt selbst, nicht sehr einladend. Daher ist unser Ziel die Entwicklung in diesem Bereich voranzutreiben und dadurch den Markt zu vergrößern, wodurch immer mehr und bessere Produkte angeboten werden können.



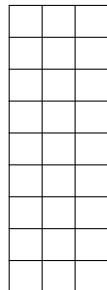
# Danksagung

TEXT DANKSAGUNG



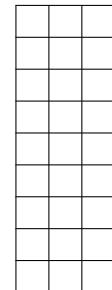
# DIPLOMARBEIT

## DOKUMENTATION



# DIPLOMA THESIS

## DOCUMENTATION





# Erklärung

Die unterfertigten Kandidaten haben gemäß §34 (3) SchUG im Verbindung mit §22 (1) Zi. 3 lit. b der Verordnung über die abschließenden Prüfungen in den berufsbildenden mittleren und höheren Schulen, BGBl. II Nr. 70 vom 24.02.2000 (Prüfungsordnung BMHS), die Ausarbeitung einer Diplomarbeit mit der umseitig angeführten Aufgabenstellung gewählt. Die Kandidaten nehmen zur Kenntnis, dass die Diplomarbeit in eigenständiger Weise und außerhalb des Unterrichtes zu bearbeiten und anzufertigen ist, wobei Ergebnisse des Unterrichtes mit einbezogen werden können. Die Abgabe der vollständigen Diplomarbeit hat bis spätestens

03.04.2020

beim zuständigen Betreuer zu erfolgen. Die Kandidaten nehmen weiters zur Kenntnis, dass gemäß §9 (6) der Prüfungsordnung BMHS nur der Schulleiter bis spätestens Ende des vorletzten Semesters den Abbruch einer Diplomarbeit anordnen kann, wenn diese aus nicht beim Prüfungskandidaten / bei den Prüfungskandidaten gelegenen Gründen nicht fertiggestellt werden kann.

Kandidaten / Kandidatinnen	Unterschrift
Martin Kronberger	
Jakob Lackner	
Simon Kern	
Tobias Schmeisser	

---

Prof. Dipl.-Ing. Reinhold Benedikter  
Prüfer

---

Prof. Dipl.-Ing. (FH) Johannes Ferner  
Prüfer

---

Prof. Dipl.-Ing. Adolf Reinhart, MBA  
Prüfer

---

Prof. Dipl.-Ing. Peter Lindmoser  
Prüfer

---

Prof. Dipl.-Ing. (FH) Roland Holzer  
Abteilungsvorstand

---

Dipl.-Ing. Dr.tech. Franz Landertshamer  
Direktor

# Inhaltsverzeichnis

<b>I Einführung</b>	<b>2</b>
1 Projektteam . . . . .	2
2 Projektbetreuer . . . . .	3
3 Aufgabeneinteilung . . . . .	3
<b>II Einleitung</b>	<b>5</b>
1 Motivation . . . . .	5
2 Zielsetzung . . . . .	5
3 Topologie des Gesamtsystems . . . . .	5
4 Leitfaden . . . . .	5
<b>III Stand der Technik</b>	<b>6</b>
1 Steuereinheiten . . . . .	6
1.1 Raspberry PI . . . . .	6
2 Bussysteme . . . . .	6
2.1 SPI Bus . . . . .	6
2.2 CAN Bus . . . . .	6
<b>IV Mechanische Umsetzung</b>	<b>7</b>
<b>V Human-Computer Interaction System</b>	<b>8</b>
1 Übersicht . . . . .	8
1.1 Grundfunktionen des Systems . . . . .	8
1.2 Steuereinheit . . . . .	9
1.3 Grundaufbau des Systems . . . . .	9
2 Spannungsversorgung . . . . .	10
2.1 Aufbau des Versorgungssystems . . . . .	10
2.1.1 12V Versorgungssystem . . . . .	10
2.1.2 5V Versorgungssystem . . . . .	10
2.1.3 Abschalten der Spannungswandler . . . . .	10
3 Steuerung der Peripherie . . . . .	11
3.1 Hardware . . . . .	11
3.1.1 Input . . . . .	11
3.1.2 Output . . . . .	12
3.2 Software . . . . .	12
3.2.1 gpiozero . . . . .	12
3.2.2 threading . . . . .	12
4 Benutzeroberfläche . . . . .	13
4.1 Hardware . . . . .	13
4.1.1 Befestigung . . . . .	14
4.2 Software . . . . .	14
4.2.1 Aufbau . . . . .	14
4.2.2 Nutzer / Berechtigungen . . . . .	15
4.3 Komponenten . . . . .	15
4.3.1 Navigations Menü . . . . .	15
4.3.2 Balken Anzeige . . . . .	16

4.3.3	Modus Anzeige . . . . .	16
4.3.4	Graph . . . . .	17
4.3.5	Weitere Komponenten . . . . .	17
4.4	Program Fenster . . . . .	18
4.4.1	Login . . . . .	18
4.4.2	Fahrdaten . . . . .	18
4.4.3	Akku- und Ladedaten . . . . .	19
4.4.4	Fahrdaten Diagnose . . . . .	19
4.4.5	Errors . . . . .	20
4.5	Realisierung der Benutzeroberfläche . . . . .	21
4.5.1	QML . . . . .	21
4.5.2	Qt-Quick . . . . .	21
4.5.3	Slots und Signals . . . . .	21
4.5.4	Bridge . . . . .	22
5	Kommunikation . . . . .	23
5.1	Hardware . . . . .	23
5.1.1	CAN-Modul . . . . .	23
5.1.2	Netzwerkstruktur . . . . .	23
5.2	Listener . . . . .	24
5.2.1	Receive Data . . . . .	24
6	Fahrdatenspeicher . . . . .	25
6.1	Datenbankstruktur . . . . .	25
6.1.1	Login System . . . . .	25
6.1.2	Motor Daten . . . . .	25
6.1.3	Akku Daten . . . . .	25
6.2	Handler . . . . .	25
6.2.1	SELECT Befehl . . . . .	25
6.2.2	INSERT Befehl . . . . .	25
<b>VI Antriebsstrang</b>		<b>26</b>
<b>VII Akku und Ladekonzept</b>		<b>27</b>
<b>VIII Ergebnis</b>		<b>28</b>
<b>A Arbeitsnachweis</b>		<b>29</b>
1 Zeitplan . . . . .		29
2 Kosten . . . . .		29
<b>B Programmcode</b>		<b>30</b>
<b>C CAD-Zeichnungen</b>		<b>31</b>
<b>D Schaltpläne</b>		<b>32</b>
<b>E Datenblätter</b>		<b>33</b>
0.1 Mean Well RSD-30H-5 . . . . .		34
0.2 Mean Well SD-350C-12 . . . . .		44
0.3 Raspberry Pi 4 Moddel B . . . . .		47
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>60</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>		<b>60</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>		<b>60</b>
<b>Codeverzeichnis</b>		<b>61</b>

# Kapitel I

## Einführung

### 1 Projektteam



Martin Kronberger



Jakob Lackner



Simon Kern



Schmeisser Tobias

## 2 Projektbetreuer

**Prof. Dipl.-Ing. Reinhold Benedikter**

unterstützte Jakob Lackner bei der Entwicklung des Akku- und Ladesystems

**Prof. Dipl.-Ing. (FH) Johannes Ferner**

unterstützte Martin Kronberger bei der Entwicklung des Human-Computer Interaction Systems

**Prof. Dipl.-Ing. Adolf Reinhart, MBA**

unterstützte Jakob Lackner bei der Entwicklung des Antriebssystems

**Prof. Dipl.-Ing. Peter Lindmoser**

unterstützte Tobias Schmeisser bei der Entwicklung der mechanischen Komponenten

## 3 Aufgabeneinteilung

**Martin Kronberger**

- Projektleitung
- Projektfindung und Projektplanung
- Projektaufteilung
- Erstellen der Einreichdokumente
- Entwickeln der Hardware des Human-Computer Interaction Systems
- Entwickeln der Software des Human-Computer Interaction Systems
- Planung und Umsetzung der elektrischen Installation
- Verfassen der Dokumentation

**Jakob Lackner**

- Projektfindung und Projektplanung
- Projektaufteilung
- Entwicklung des Antriebssystems
- Entwicklung der Software des Motorsteuergerätes
- Erstellen der Einreichdokumente
- Verfassen der Dokumentation

**Simon Kern**

- Projektfindung und Projektplanung
- Projektaufteilung
- Entwicklung des Akkusystems
- Erstellen der Einreichdokumente
- Verfassen der Dokumentation

**Tobias Schmeisser**

- Projektfindung und Projektplanung
- Projektaufteilung
- Entwicklung der mechanischen Komponenten
- Entwicklung der Getriebemechanik
- Erstellen der Einreichdokumente
- Verfassen der Dokumentation

## Kapitel II

# Einleitung

- 1 Motivation**
- 2 Zielsetzung**
- 3 Topologie des Gesamtsystems**
- 4 Leitfaden**

# Kapitel III

# Stand der Technik

## 1 Steuereinheiten

### 1.1 Raspberry PI

## 2 Bussysteme

### 2.1 SPI Bus

### 2.2 CAN Bus

## Kapitel IV

# Mechanische Umsetzung

# Kapitel V

# Human-Computer Interaction System

## 1 Übersicht

Das Human-Computer Interaction System ist, wie der Name schon sagt, die Komponente, welche als Schnittstelle zwischen dem Nutzer und dem gesamten elektrischen System dient. Durch es sollte die fehlerfreie Nutzung der Funktionen des Motorrades gewährleistet sein. Ebenso sollte es wichtige Fahrdaten und andere Informationen speichern und dem User anzeigen können. Wichtig ist das System, trotz der großen Komplexität, so intuitiv und nutzerfreundlich wie möglich zu gestalten.

### 1.1 Grundfunktionen des Systems

Die geplanten Funktionen des HCIS<sup>1</sup> lassen sich grob in vier Grundfunktionen einteilen.

- **Steuerung der Peripherie**

Die Schalter und Buttons am Lenker, welche zuvor über den Kabelbaum die Leuchten, Blinker und die Hupe gesteuert haben, werden nun über die General-purpose input/output (GPIO) des Raspberry Pi Mikrocomputers gesteuert.

- **Graphische Benutzeroberfläche**

Dient der Anzeige wichtiger Fahr- und Ladedaten, welche entweder in Echtzeit oder über die Datenbankschnittstelle abgerufen und graphisch angezeigt werden können.

- **Kommunikation mit den Steuereinheiten des Motorrades**

Über CAN-Bus werden Daten von dem Batterie Management Systems (BMS) und der Curtis Motorsteuerung empfangen und an die Benutzeroberfläche zur Anzeige und an die Datenbankschnittstelle zur Langzeitsicherung der Fahrdaten weiter gegeben.

- **Speichern der relevanten Fahrdaten über die Datenbankschnittstelle**

Die über den CAN-Bus empfangenen Daten werden sofort an die Datenbankschnittstelle (Handler) weitergegeben um die Daten für Datenauswertung und Testberichte zu speichern. Ebenso bezieht das Diagnosesystem der Benutzeroberfläche die Daten über diese Schnittstelle.

<sup>1</sup>Abkürzung: Human-Computer Interaction System

## 1.2 Steuereinheit

Als Basis zur Auswahl der Steuereinheit wurden die zuvor erläuterten Grundfunktionen herangezogen genommen. Die Ausgewählte Steuereinheit sollte diese erfüllen können und ebenso Potential zur Erweiterung der Funktionen bieten. Genauso wichtig war das eine große Flexibilität und Individualität erreicht werden kann, um nicht in der Umsetzung unserer Ideen eingeschränkt zu sein. Zur Auswahl standen verschiedene Speicherprogrammierbare Steuerungen und Mikrocomputer, doch letzten Endes überzeugte der Mikrocomputer Raspberry Pi.

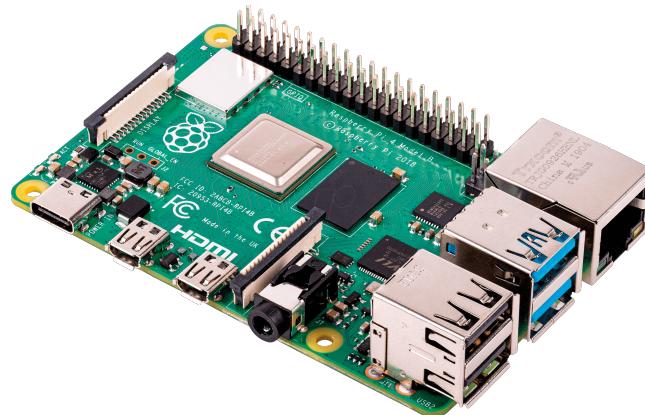


Abbildung V.1: Raspberry Pi - Steuereinheit des HCIS

## 1.3 Grundaufbau des Systems

In der Abbildung V.2 wird der Grundaufbau des Systems und die Datenverbindungen der folgenden Komponenten veranschaulicht.

- Raspberry Pi - Die Steuereinheit des Systems.  
Kommuniziert über CAN-Bus mit den anderen Steuerkomponenten des Motorrades.
- User Input - Die vorhandenen Schalter am Lenker des Motorrads werden direkt mit den Eingängen des Raspberry Pis verbunden.
- Peripherie - Die Grundkomponenten des Motorrades wie Scheinwerfer oder Hupe. Diese werden über Relais, welche an die Ausgänge des Raspberry Pis angeschlossen sind, gesteuert.
- Dashboard - Der Bildschirm zur Anzeige der verarbeiteten Informationen. Dieser wird über HDMI und USB mit dem Raspberry Pi verbunden.

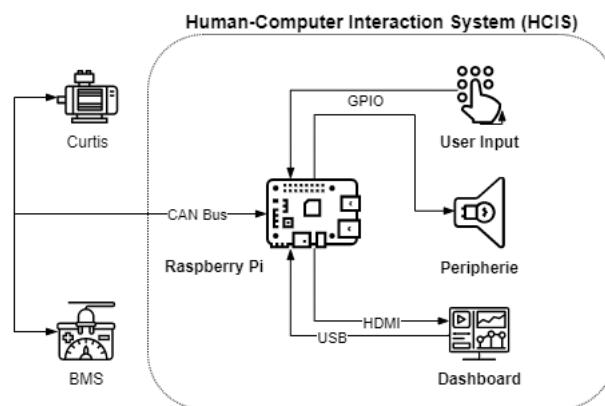


Abbildung V.2: Grundaufbau des Human-Computer Interaction Systems

Nicht in der Abbildung dargestellt ist die Versorgung der einzelnen Komponenten, welche in dem folgenden Abschnitt noch genauer erläutert wird.

## 2 Spannungsversorgung

### 2.1 Aufbau des Versorgungssystems

Das Versorgungssystem des Motorrades besteht aus zwei Spannungsebenen: Einer 12V Ebene zur Versorgung der Peripherie des Motorrades und einer 5V Ebene, welche nur den Raspberry Pi und seine Komponenten beinhaltet. Diese Ebenen werden durch DC-DC Wandler erzeugt, welche direkt an den Akku des Motorrades angeschlossen werden.

Wichtig hierbei ist, dass alle ausgewählten Spannungswandler über einen Kurzschluss- und Überstrom-Schutz verfügen. Dies macht es uns möglich diese Versorgungssysteme, solange die Drähte auch nach dem maximalen Strom der Spannungswandler dimensioniert wurden, ohne jegliche Leistungs- und Überstrom-Schutzorgane aufzubauen. Die Spannungswandler schalten bei jeglichen Fehlern ab und verbrennen die überschüssige Leistung über einen eingebauten Widerstand. Sobald der Fehler behoben wurde, schalten sich die Spannungswandler automatisch wieder ein.

#### 2.1.1 12V Versorgungssystem

Um den Spannungswandler dimensionieren zu können mussten vorher alle Bauteile, welche über die 12V versorgt werden sollten, zusammengefasst werden, um die mindestens benötigte Leistung des Spannungswandlers zu errechnen.

Bauteilbezeichnung	Spannung	Leistung
Tagfahrlicht	12V	10W
Abblendlicht	12V	10W
Aufblendlicht	12V	20W
Hupe	12V	10W
Rücklicht	12V	21W
Kennzeichenbeleuchtung	12V	5W
Blinker links	12V	2 x 10W
Blinker rechts	12V	2 x 10W
Bildschirm	12V	12W
<b>Gesamt</b>	<b>12V</b>	<b>128W</b>

Tabelle V.1: Berechnung der Leistung des 12V-Systems

Der Spannungswandler wurde nun nach der größt möglichen Leistung, welche auftritt wenn alle Bauteile gleichzeitig auf Höchstleistung betrieben werden, ausgelegt. Diese maximale Leistung beträgt, wie in der Tabelle V.1 zu sehen, 128 Watt. Um noch Ausbaumöglichkeiten zu gewährleisten und uns nicht dem Leistungslimit des Wandlers zu nähern, haben wir uns für einen 48V-12V, 300 Watt DC-DC Wandler von Mean Well <sup>2</sup> entschieden.

#### 2.1.2 5V Versorgungssystem

Die Leistung des Raspberry Pis ist mit einem Maximum von 6.2 Watt sehr klein und daher ist die Wahl des Spannungswandlers in diesem Fall nicht wirklich davon abhängig. Auch die Komponenten, welche angeschlossen werden, haben grundsätzlich keine erwähnenswerte Wirkleistung und müssen daher nicht genau berechnet werden. Nun entschied nur mehr das Preis-Leistungs-Verhältnis sowie die Ausfallsicherheit des Spannungswandlers die Wahl. Daher haben wir uns für einen 48V-5V, 30 Watt DC-DC Wandler von Meanwell <sup>3</sup> entschieden.

#### 2.1.3 Abschalten der Spannungswandler

Das Abschalten der Spannungswandler ist nicht notwendig, da diese - wie schon im Abschnitt 2.1 erklärt - bei einem anliegenden Fehler automatisch abschalten. Ebenso wird beim Abschalten des Motorrades über die BMS jegliches andere Bauteil von der Spannungsversorgung getrennt. Was die Spannungswandler vom Entladen des Akkus abhält.

<sup>2</sup>Datenblatt: siehe Anhang 0.2

<sup>3</sup>Datenblatt: siehe Anhang 0.1

### 3 Steuerung der Peripherie

Die Grundfunktionen wie Beleuchtung, Hupe und Blinker werden hier als Peripherie bezeichnet. Diese sollten so einfach wie möglich und vom Lenker aus zu bedienen sein. Ebenso müssen sie verlässlich gesteuert werden können. Daher haben wir uns entschieden diese Funktionen ebenso über den Raspberry Pi zu steuern, da dieser bei einem Fehler der Motorsteuerung über den eingebauten Puffer gespeist werden kann und daher diese wichtigen Funktionen bis zu einem sicheren Stillstand weiter betrieben und gesteuert werden können.

Dennoch ist in der Plan in Zukunft die Motorsteuerung, welche ebenso in der Lage wäre die Ausgänge abhängig von den Eingängen zu schalten, diese Aufgabe übernehmen zu lassen, solange die Ausfallsicherheit ebenso gegeben wäre. Der Vorteil dieser Methode ist die Schaffung einer Zentralen Steuereinheit, welche alle Steueraufgaben in einem Bauteil vereinen kann.

#### 3.1 Hardware

##### 3.1.1 Input

Man kann einen GPIO Pin entweder als Eingang oder als Ausgang betreiben. Als Eingang kann er die Zustände High und Low einnehmen. Zum Beispiel von einem Schalter oder Taster. In der Regel beschaltet man die GPIOs des Raspberry Pis mit Widerständen, um Eingänge auf einen definierten Pegel zu setzen oder um den Strom zu begrenzen. Standardmäßig werden 10k Widerstände benutzt. Ob Pullup oder Pulldown ist grundsätzlich gleichgültig. Wir benutzen für das Einlesen der Eingänge 10k Pulldown Widerstände, um nicht immer eine Spannung an den Eingängen des Raspberry Pis anliegen zu haben.

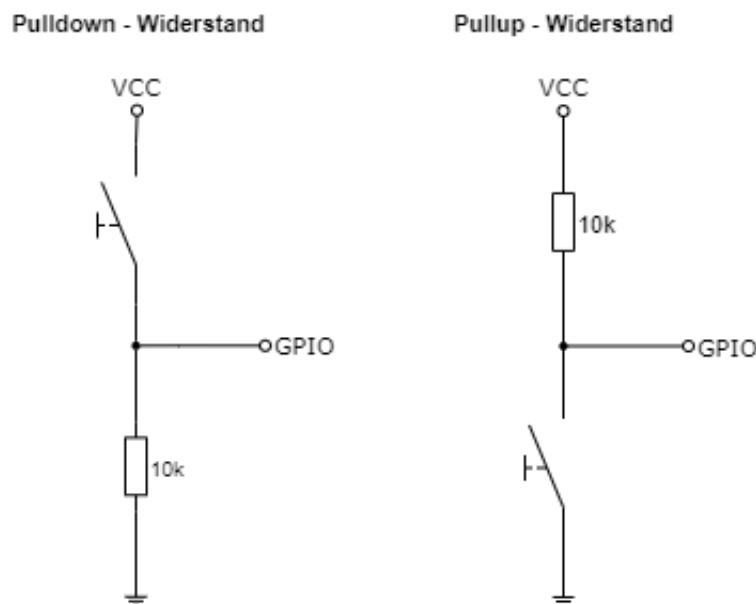


Abbildung V.3: Anschlussplan Eingänge

##### Pullup Widerstand

Bei dem Nutzen eines Pullup Widerstands wird der GPIO Pin mit einem Widerstand auf die Spannung von VCC gezogen. Der Grundzustand des Eingangs ist dann High. Mit einem Schalter oder Taster wird der Eingang dann gegen Ground gezogen. Das heißt er hat solange der Schalter geschlossen ist, liegt das Massepotential am Eingang an..

##### Pulldown Widerstand

Bei dem Nutzen eines Pulldown Widerstands wird der GPIO Pin mit einem Widerstand auf die Spannung von Ground gezogen. Der Grundzustand des Eingangs ist dann Low. Mit einem Schalter oder Taster wird der Eingang dann gegen VCC gezogen. Das heißt er hat solange der Schalter geschlossen ist, liegt das Versorgungspotential am Eingang an.

### 3.1.2 Output

Hierbei werden die GPIOs als Ausgang verwendet. Sie sind verbunden mit den Eingängen eines 4 Channel Relais Moduls, welches über die 5V direkt von dem Raspberry Pi gespeist wird. Hiermit ist es nun möglich die 12V der Peripherie zu schalten und

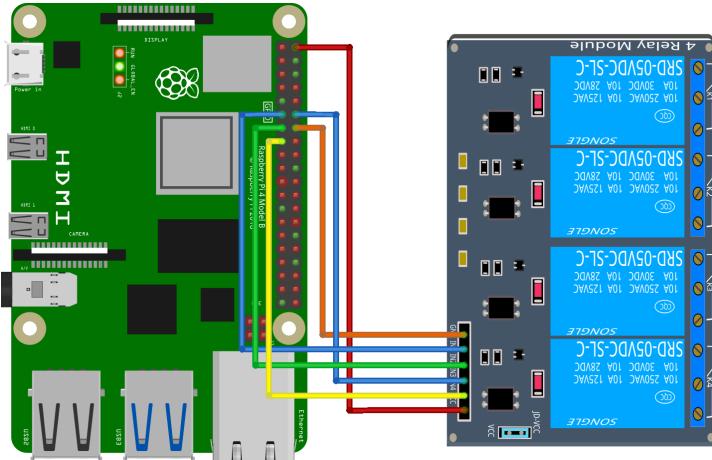


Abbildung V.4: Anschlussplan Relais

## 3.2 Software

Wichtig bei der Programmierung war in diesem Fall die dauerhafte Verfügbarkeit der Grundfunktionen sowie die einfache Integrierbarkeit von alten und neuen Bauteilen. Dies wurde erreicht durch die Anwendung verschiedener Bibliotheken.

Die Wichtigsten in dieser Anwendung waren:

### 3.2.1 gpiozero

Eine Bibliothek, welche das einfache und schnelle Integrieren neuer Ein- oder Ausgänge ermöglicht. Dadurch können schnell und einfach Änderungen an dem Steuerverhalten der Peripherie gemacht werden. Hierzu kann die Klasse Button und DigitalOutputDevice verwendet werden. Dieser können Parameter wie die gewünschte Debounce Zeit und verwendete Pull-Widerstände übergeben werden. Es werden nur drei Zeilen Code benötigt um einen Aus- oder Eingang zu definieren und anzusteuern<sup>4</sup>

### 3.2.2 threading

Eine Bibliothek, welche es ermöglicht, einen eigenen Thread<sup>5</sup> für das Programm zu öffnen, wodurch die Anwendung ohne Einflüsse oder Unterbrechungen anderer Programme weiter arbeiten kann. Der folgende Programmcode zeigt einen Ausschnitt der Klasse zum Steuern der GPIOs.

```
def start(self):
    self.thread=Thread(target=self.runner)
    self.thread.daemon=True
    self.thread.start()
```

Code Listing V.1: Code Starten eines Threads

In diesem Beispiel wird ein Demon Thread erzeugt und gestartet. Das bedeutet dieser Thread wird beim schließen des Programmes automatisch mitgeschlossen und muss dadurch nicht mehr überwacht werden. Das Target ist die Funktion, welche unabhängig ausgeführt werden soll.

<sup>4</sup>siehe: Anhang

<sup>5</sup>gleichzeitig laufende Aufgabe

## 4 Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche stellt die Verbindung zwischen dem Nutzer und dem Motorrad dar. Sie sollte während der Fahrt die Instrumententafel des Motorrades ersetzen und dem Nutzer die wichtigsten Fahrinformationen anzeigen. Sobald das Motorrad zum Stillstand gekommen ist, wird es möglich Einstellungen zu ändern und die aufgezeichneten Fahrdaten anzeigen zu lassen. Ebenso können der Akkuladestatus und Informationen über Fehler im System entnommen werden.

### 4.1 Hardware

Zur Anzeige und Bedienung wird ein 11.6 Zoll kapazitives Touch LCD Display verwendet. Es besitzt eine Full HD Auflösung (1920x1080), was für eine professionelle Darstellung essentiell ist. Ebenso hat es ein schützendes ABS Gehäuse, welches trotz fehlender IPxx Zertifizierung das Abdichten ermöglicht. Die Versorgungsspannung beträgt 12V, was ident zu den anderen Komponenten am Motorrad ist und daher die Versorgung sehr vereinfacht, es kann also über den gleichen Spannungswandler versorgt werden.



Abbildung V.5: Touch Panel Maße

Die Auflösung und die Größe des Touch Panels wirkt sich stark auf das Design der Benutzeroberfläche aus. Es muss die Größe der Icons und der anderen Designelemente so angepasst werden, dass sie einerseits gut ersichtlich und andererseits einfach über Touch zu bedienen sind.

Touchdisplay

#### 4.1.1 Befestigung

Besser: In das Gehäuse des Touchpanels sind M4 Verschraubungen in einem Raster von 75mmx75mm integriert und kann daher einfach an Wänden oder Platten verschraubt werden. Um den Bildschirm nun in einer ähnlichen Position wie die Instrumententafel zu befestigen wurde eine 100mm x 210mm x 1.5mm Aluminium Platte - wie in der Abbildung zu sehen - gebogen und mit Löchern versehen. Um diese Halterung nun an dem Motorrad zu befestigen werden die Verschraubungen der alten Instrumententafel verwendet.



Abbildung V.6: Befestigung des Displays

#### 4.2 Software

Bevor die Software für die Benutzeroberfläche verfasst wurde, mussten das Design, die Funktionen sowie die angezeigten Informationen geplant werden, um einen reibungslosen Workflow beim Entwickeln des Front-Ends zu gewährleisten. Design Elemente wurden zuvor in Adobe Illustrator vorgefertigt. In den folgenden Seiten wird das Ergebnis dieses Prozesses erläutert.

##### 4.2.1 Aufbau

Die nachfolgende Abbildung zeigt den grundsätzlichen Programmaufbau der Benutzeroberfläche. Die einzelnen Fenster werden als Tabelle mit ihren angezeigten Informationen dargestellt. Dies ist wichtig da jede dieser Informationen vom Back-End an das Front-End gesendet werden müssen. Ebenso sind in den letzten Zeilen der Tabellen die QML-Elemente zur Navigation zwischen den einzelnen Fenstern niedergeschrieben. Diese müssen auch schon in der frühen Phase der Entwicklung der Benutzeroberfläche definiert werden.

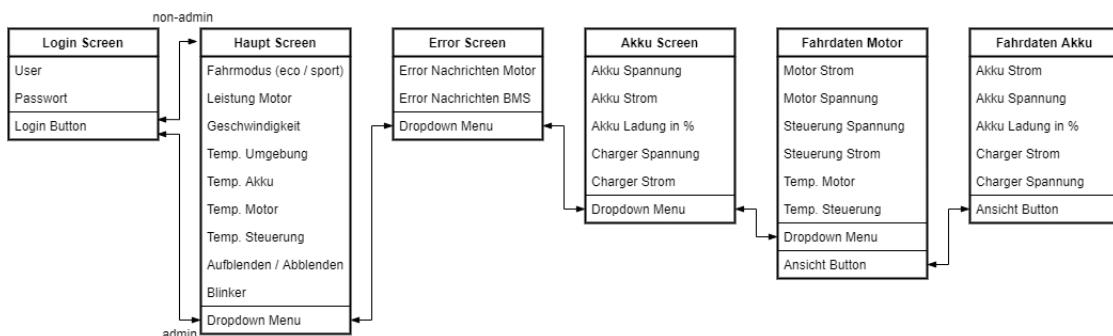


Abbildung V.7: Aufbau der Graphischen Benutzeroberfläche

#### 4.2.2 Nutzer / Berechtigungen

### 4.3 Komponenten

Komponenten sind wiederverwendbare, gekapselte QML-Elemente mit genau definierten Schnittstellen. Komponenten werden häufig durch Komponentendateien definiert, das heißt durch QML-Dateien. Wichtig ist dabei die Definierung von Schnittstellen sowie Properties und Signals.

#### Properties

Einer Property eines Objektes kann ein statischer Wert zugewiesen werden, der konstant bleibt, bis ihm explizit ein neuer Wert zugewiesen wird. Um QML und seine integrierte Unterstützung für dynamisches Objektverhalten optimal zu nutzen, verwenden die meisten QML-Objekte jedoch Propertybindings.

Propertybindings sind eine Kernfunktion von QML, mit der Beziehungen zwischen verschiedenen Objekteigenschaften festgelegt werden können. Wenn sich die Abhängigkeiten einer Property im Wert ändern, wird die Eigenschaft automatisch gemäß der angegebenen Beziehung aktualisiert. Hinter den Kulissen überwacht die QML-Engine die Abhängigkeiten der Eigenschaft. Wenn eine Änderung erkannt wird, wertet die QML-Engine den Bindungsausdruck erneut aus und wendet das neue Ergebnis auf die Eigenschaft an.

#### JavaScript-Funktionen

Programmlogik kann auch in JavaScript-Funktionen definiert werden. Diese können in QML-Dokumenten definiert und von Signalhandlern, Eigenschaftsbindungen oder Funktionen in anderen QML-Objekten aufgerufen werden. Solche Methoden werden häufig als Inline-JavaScript-Funktionen bezeichnet, da ihre Implementierung im QML-Dokument statt in einer externen JavaScript-Datei enthalten ist.

#### 4.3.1 Navigations Menü

Das Navigations-Menü ist ein Dropdown-Menü, welches zur Navigation zwischen den verschiedenen Pages benutzt wird. Sobald man sich eingeloggt hat wird das Menü angezeigt und die einzelnen Untermenüs können aufgerufen werden. Das Menü wird abhängig von den Berechtigungen des Benutzers angepasst.



Abbildung V.8: GUI Komponente - Navigation Menu

#### Buttons

Die Navigation wird über das QML-Element Mousearea, welche direkt über den Icons der einzelnen Navigationselemente platziert wurde, gesteuert. Nun kann mit dem Befehl onClicked eine Funktion aufgerufen werden, welche das gewünschte Fenster sichtbar macht, sowie das Navigations Menü wieder nach oben fahren lässt.

In dieser Funktion wird ebenso die Berechtigung des Nutzers über eine Globale Variable, welche beim Anmelden durch ein Signal gesetzt wird, abgefragt. Falls die Berechtigung die ausgewählte Funktion nicht zulässt wird ein Informationstext ausgegeben und das Menü wiederum geschlossen.

#### Logout

Wird der Logout-Button gedrückt, werden die Anmelde-Informationen zurückgesetzt und dem Nutzer wird wieder das Login Fenster angezeigt, wo er sich nun mit anderen Anmelde-Informationen einloggen kann.

### 4.3.2 Balken Anzeige

Die Komponente Balken Anzeige wird in der Benutzeroberfläche zur Visualisierung verschiedener Daten verwendet. Mit ihr können diese übersichtlicher dargestellt werden. Diese Komponente wird in mehreren QML-Dateien verwendet, daher sind Properties zur Anpassung notwendig. Die wichtigsten davon sind:

- Wert - Der aktuelle Wert, welcher am Balken angezeigt werden sollte.
- Anfangswinkel - Der Winkel an dem der Balken entspringt.
- maximaler Wert - Der maximal zu erreichende Wert. Dieser bestimmt die Länge des Hintergrundbalkens
- Hintergrundfarbe - Farbe des Hintergrundbalkens (in der Abbildung grau)
- Balkenfarbe - Farbe des Anzeigebalkens (in der Abbildung blau)

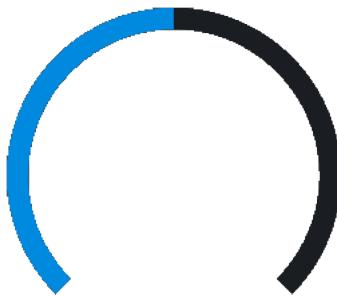


Abbildung V.9: GUI Komponente - Balken Anzeige

Über ein *Signal* kann nun über das Back-End der Wert des Balkens verändert werden und in Echtzeit angezeigt werden.

### 4.3.3 Modus Anzeige

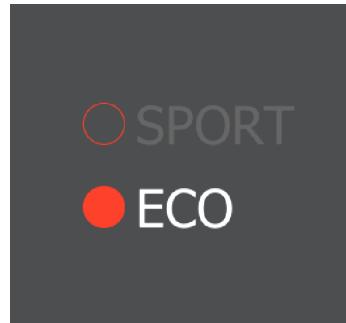


Abbildung V.10: GUI Komponente - Modus Anzeige

#### 4.3.4 Graph

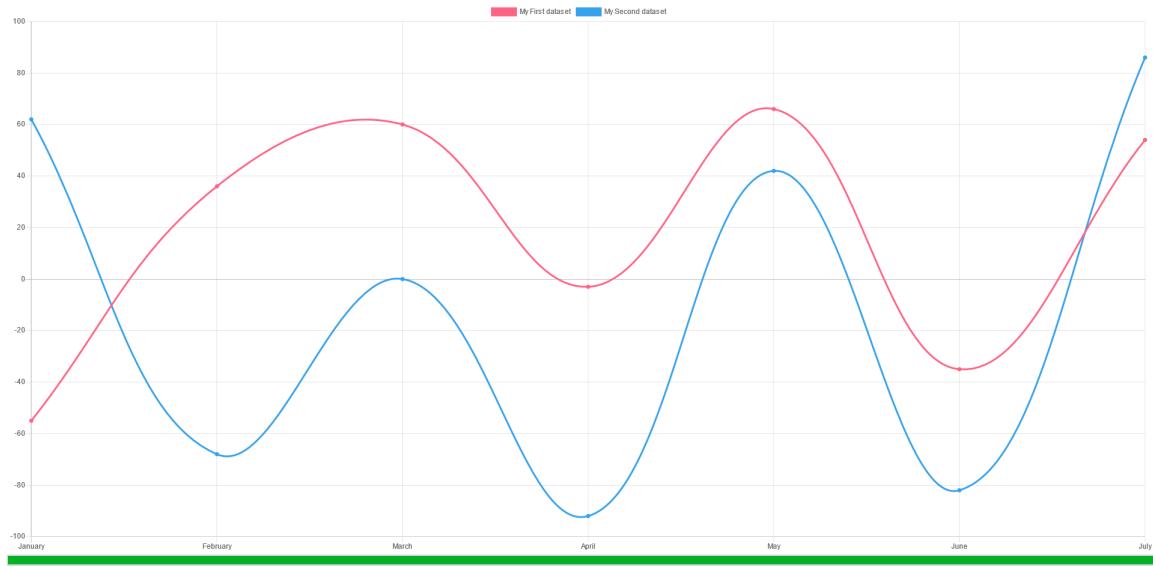


Abbildung V.11: GUI Komponente - Graph

#### 4.3.5 Weitere Komponenten

## 4.4 Program Fenster

### 4.4.1 Login



Abbildung V.12: GUI Fenster - Login Menu

### 4.4.2 Fahrdaten

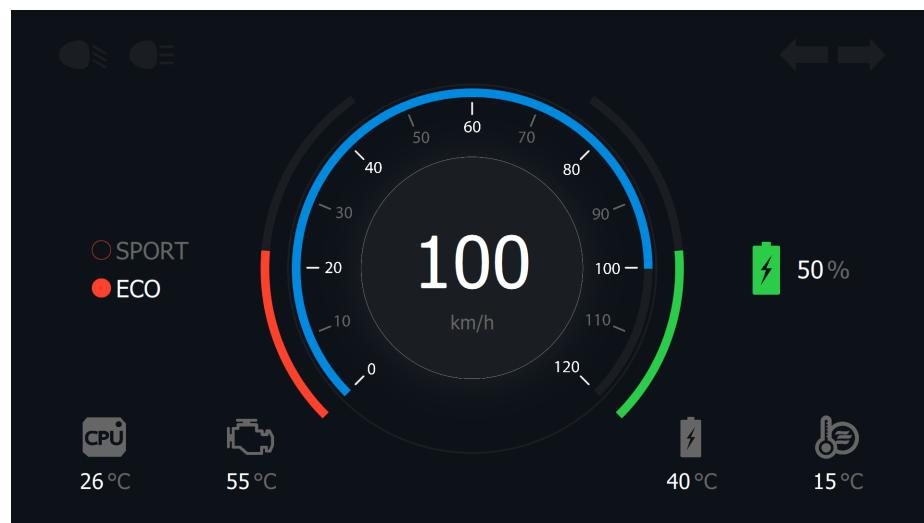


Abbildung V.13: GUI Fenster - Fahrdaten

#### 4.4.3 Akku- und Ladedaten

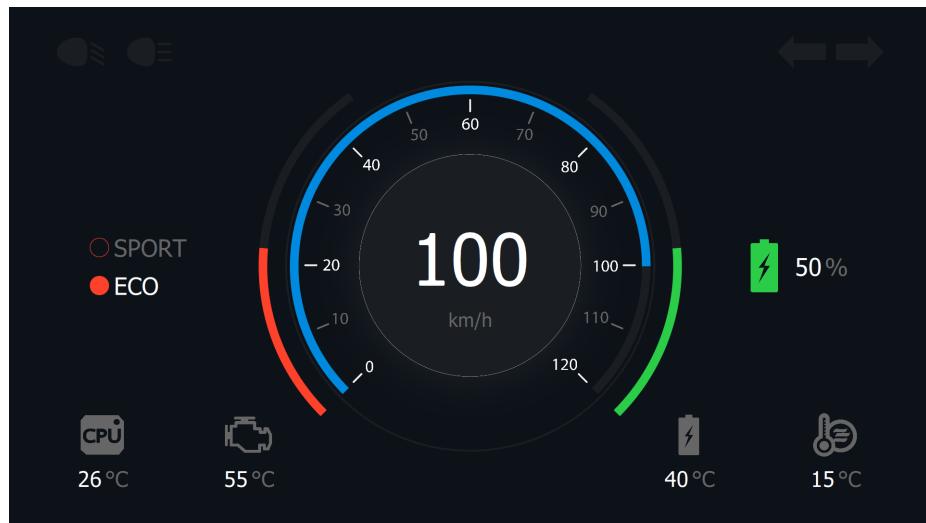


Abbildung V.14: GUI Fenster - Akkudaten

#### 4.4.4 Fahrdaten Diagnose

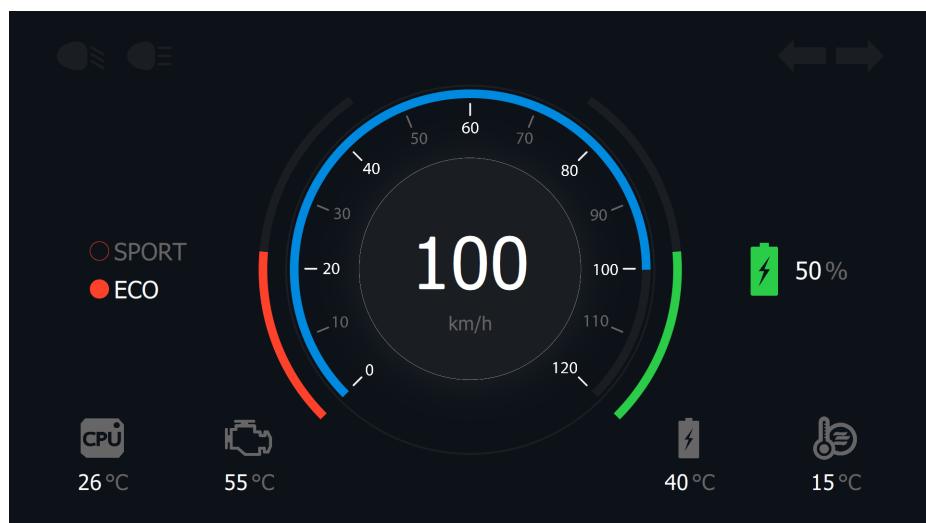


Abbildung V.15: GUI Fenster - Fahrdaten Diagnose

#### 4.4.5 Errors

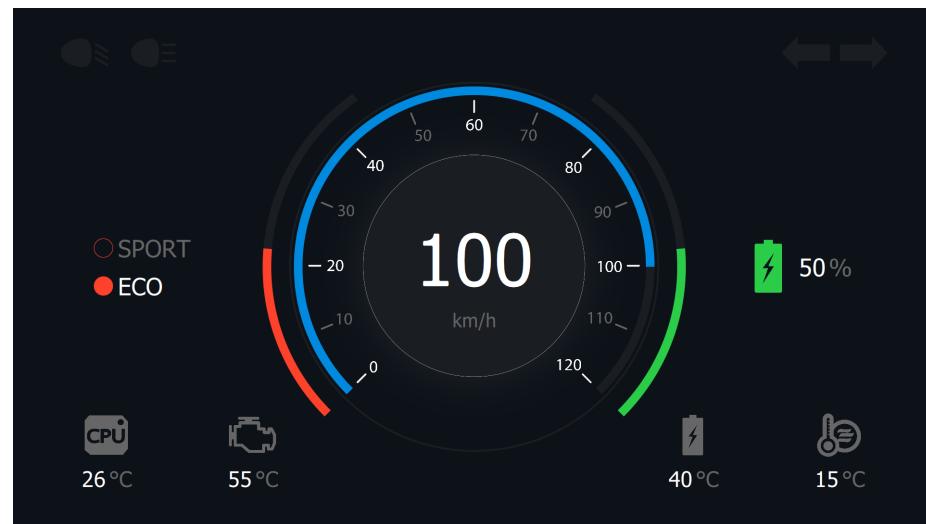


Abbildung V.16: GUI Fenster - Error List

## 4.5 Realisierung der Benutzeroberfläche

### 4.5.1 QML

QML<sup>6</sup> ist eine deklarative Sprache, mit der Benutzeroberflächen anhand ihrer visuellen Komponenten und ihrer Interaktion und Beziehung zueinander beschrieben werden können. Es ist eine gut lesbare Sprache, die entwickelt wurde, um die dynamische Verbindung von Komponenten zu ermöglichen und die einfache Wiederverwendung und Anpassung von Komponenten innerhalb einer Benutzeroberfläche erlaubt. Es bietet Syntax mit Unterstützung für JavaScript-Ausdrücke in Kombination mit dynamischen Eigenschaftsverbindungen.

### 4.5.2 Qt-Quick

Das Qt-Quick-Modul ist die Standardbibliothek zum schreiben von QML-Anwendungen. Während das QML-Modul die Engine und die Sprachinfrastruktur bereitstellt, bietet das Qt Quick-Modul alle grundlegenden Typen, die zum Erstellen von Benutzeroberflächen mit QML erforderlich sind. Es bietet eine visuelle Zeichenfläche und Typen zum Erstellen und Animieren visueller Komponenten, zum Empfangen von Benutzereingaben, zum Erstellen von Datenmodellen und Ansichten sowie zum verzögerten Objektinstanziieren. Es können problemlos flüssige, animierte Benutzeroberflächen in QML erstellt werden. Diese Benutzeroberflächen können mit beliebigen Back-End Bibliotheken verbunden werden.

### 4.5.3 Slots und Signals

Slots und Signals werden in QML zur ereignisgesteuerten Kommunikation zwischen Front-End und Back-End verwendet. In der folgenden Illustration wird diese anhand eines einfachen Beispiels erklärt.

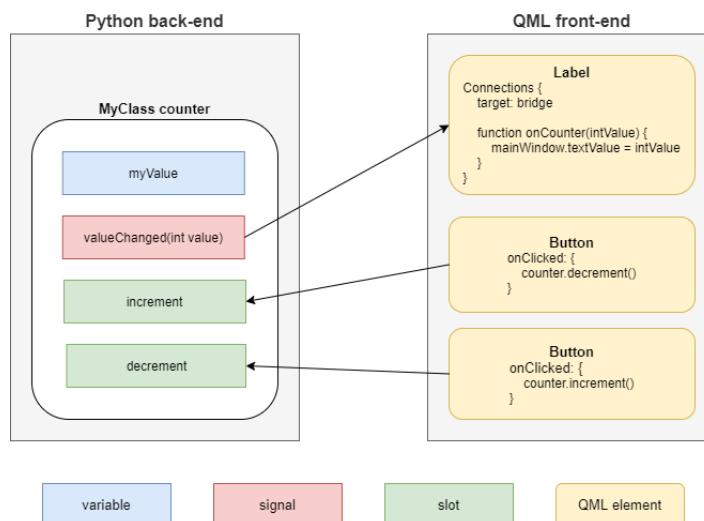


Abbildung V.17: Slots und Signals Konzept

### Signale

Diese können als Mitteilungen angesehen werden, welche über das Aufrufen der `signal.emit` Funktion vom Back-End an das Front-End gesendet wird. Im Front-End wird wiederum eine eigens definierte Funktion benötigt um dem Wert einem Property eines QML Elements zuzuweisen.

### Slots

Slots sind Call-Back Funktionen, welche im Back-End definiert werden und sind über die Bridge Class mit dem Front-End verknüpft. Dadurch können diese Funktionen im Front-End aufgerufen und mit Signalen verbunden werden. Sie stellen daher die wichtigste Verbindung zwischen dem Programm und der Benutzeroberfläche dar.

<sup>6</sup>Qt Modeling Language

#### 4.5.4 Bridge

## 5 Kommunikation

Um Daten zwischen den mehreren Steuereinheiten des Motorrades zu versenden, muss eine Echtzeit-Kommunikation über ein Bussystem gewährleistet werden. Die Entscheidung ist auf das Controller Area Network Bussystem (CAN-Bus) gefallen. Ausschlaggebend für diese Entscheidung war der Curtis Motorcontroller, dieser verfügt über eine serielle Schnittstelle (RS-232) sowie ein CAN-System. Für unserer Anwendung bietet das CAN-System eine größere Ausbaufähigkeit sowie größere Übertragungsraten, weshalb wir uns letztendlich auch dafür entschieden haben.

### 5.1 Hardware

#### 5.1.1 CAN-Modul

Da der Raspberry Pi selbst nicht über ein CAN-System verfügt, erfolgt der Anschluss an die Busleitung über ein externes CAN-Modul, welches über das Serial Peripheral Interface (SPI) mit dem Raspberry Pi kommuniziert, welches wie folgt angeschlossen werden muss:

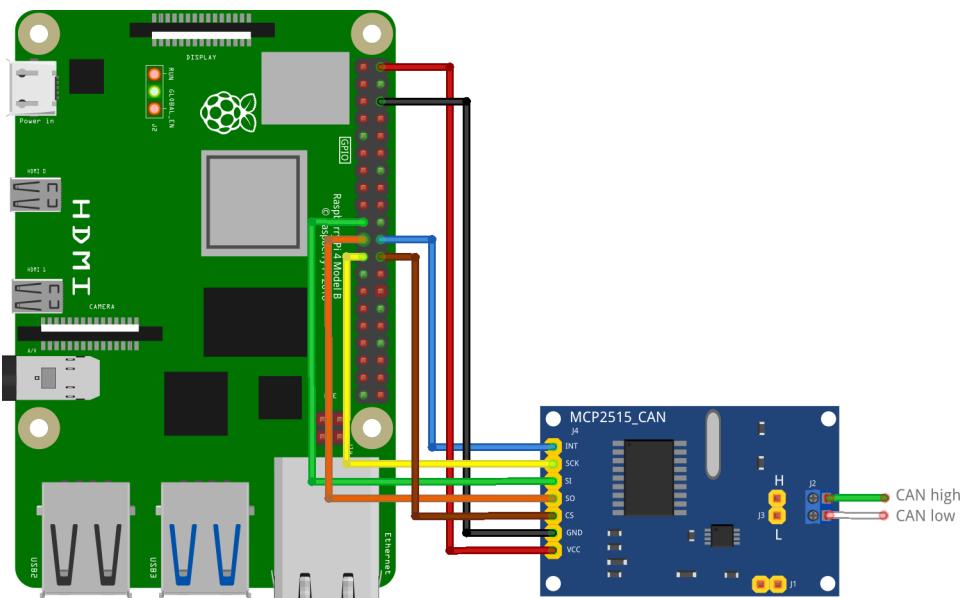


Abbildung V.18: Anschlussplan CAN-Modul

Die Kommunikation wird über zwei Komponenten ermöglicht. Einen MCP2562 Transceiver, welcher für die Verarbeitung der Nachrichten zuständig ist und ein MCP2515 CAN Interface, welches die Daten zwischenspeichert und sich um das Versenden der Nachrichten kümmert. Gemeinsam mit dem Mikrocomputer ergibt dies nun einen CAN Node, welcher fähig ist Nachrichten zu versenden und zu empfangen.

#### 5.1.2 Netzwerkstruktur

Ein CAN-Netzwerk wird standardmäßig als Bus- oder Sternkopplung aufgebaut. Wir haben uns bewusst für die Bustopologie entschieden, da Sternkopplungen nur in bestimmten Anwendungen Gebrauch finden und noch dazu markante Nachteile besitzt.

Es müsste zum Beispiel eine zentrale Steuereinheit den Nachrichtenverkehr steuern, ebenso gibt uns die niedrige Anzahl an Teilnehmern im Netzwerk nicht einmal die Möglichkeit ein anderes System zu verwenden. Erst wenn wir in Zukunft das CAN-Netzwerk um Sensoren und Aktoren erweitern würden, müsste weitere Zeit in die Planung des Netzwerks investiert werden.

## 5.2 Listener

Die Listener Class ist dafür zuständig den Datenverkehr am Bus zu überwachen und geordnet an die Datenbankschnittstelle (Fetcher) sowie die Schnittstelle zum Front-End (Bridge) weiterzugeben.

### 5.2.1 Receive Data

## 6 Fahrdatenspeicher

### 6.1 Datenbankstruktur

6.1.1 Login System

6.1.2 Motor Daten

6.1.3 Akku Daten

### 6.2 Handler

6.2.1 SELECT Befehl

6.2.2 INSERT Befehl

## Kapitel VI

# Antriebsstrang

## Kapitel VII

# Akku und Ladekonzept

# Kapitel VIII

# Endergebnis

## Anhang A

# Arbeitsnachweis

**1 Zeitplan**

**2 Kosten**

## Anhang B

# Programmcode

## Anhang C

# CAD-Zeichnungen

## Anhang D

# Schaltpläne

## Anhang E

# Datenblätter

## 0.1 Mean Well RSD-30H-5



30W Reliable Railway DC-DC Converter

**RSD-30 series**

### ■ Features

- Compliance to EN50155 and EN45545-2 railway standard
- Ultra compact and 1U low profile(25mm)
- 4:1 wide input range
- No minimum load required
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage / Input reverse polarity
- 4000VDC I/O isolation (reinforced isolation)
- Half encapsulated , cooling by free air convection
- -40~+70°C wide working temperature
- Built-in constant current limiting circuit
- LED indicator for power on
- 3 years warranty

### ■ Applications

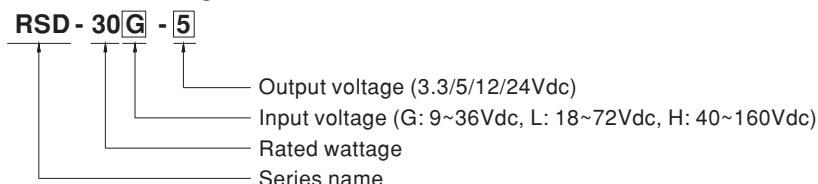
- Bus,tram,metro or railway system
- Wireless network
- Telecom or datacom system
- Highly vibrating, highly dusty, extremely low or high temperature harsh environment

### ■ Description

RSD-30 is a 30W enclosed type DC-DC reliable railway converter. This series is compliant with EN50155/IEC60571 railway standard, constituting three types of models with 4:1 wide but different input ranges 9~36V/18~72V/40~160V, suitable for railway and all kinds of transportation systems exploiting the frequently used standard input voltages such as 12V, 24V, 36V, 48V, 72V, 96V and 110V. Various output voltages, 3.3V, 5V, 12V and 24V are available for selection.

This series has the capability of working under -40~+70°C, low ripple and noise, supreme EMC characteristics, 4KVDC I/P-OP, low enclosure profile 25mm and an interior with semi-potted silicone. It does not only well fits the in-car systems or the facilities by rails for railway, trams and buses but also can be used in the harsh environment with high vibration, high dust, extremely low or high temperature, etc.

### ■ Model Encoding



File Name:RSD-30-SPEC 2017-02-22



30W Reliable Railway DC-DC Converter

**RSD-30 series****SPECIFICATION**

MODEL	RSD-30G-3.3	RSD-30G-5	RSD-30G-12	RSD-30G-24	RSD-30L-3.3	RSD-30L-5	RSD-30L-12	RSD-30L-24								
OUTPUT	<b>DC VOLTAGE</b>	3.3V	5V	12V	24V	3.3V	5V	12V	24V							
	<b>RATED CURRENT</b>	6A	6A	2.5A	1.25A	6A	6A	2.5A	1.25A							
	<b>CURRENT RANGE</b>	0 ~ 6A	0 ~ 6A	0 ~ 2.5A	0 ~ 1.25A	0 ~ 6A	0 ~ 6A	0 ~ 2.5A	0 ~ 1.25A							
	<b>RATED POWER</b>	19.8W	30W	30W	30W	19.8W	30W	30W	30W							
	<b>RIPPLE &amp; NOISE (max.) Note.2</b>	70mVp-p	70mVp-p	60mVp-p	50mVp-p	70mVp-p	70mVp-p	60mVp-p	50mVp-p							
	<b>VOLTAGE TOLERANCE Note.3</b>	±2.0%	±2.0%	±2.0%	±2.0%	±2.0%	±2.0%	±2.0%	±2.0%							
	<b>LINE REGULATION</b>	±0.5%	±0.5%	±0.3%	±0.2%	±0.5%	±0.5%	±0.3%	±0.2%							
	<b>LOAD REGULATION</b>	±0.5%	±0.5%	±0.3%	±0.2%	±0.5%	±0.5%	±0.3%	±0.2%							
	<b>SETUP, RISE TIME</b>	120ms, 85ms at full load														
<b>HOLD UP TIME (Typ.)</b>		G type comply with S1 level(3ms) @full load, S2 level(10ms) @80% load; L type comply with S2 level(10ms) @full load														
INPUT	<b>VOLTAGE RANGE CONTINUOUS</b>	9 ~ 36VDC				18 ~ 72VDC										
	<b>EFFICIENCY (Typ.)</b>	84%	85%	86.5%	89%	84%	86%	90%	91%							
	<b>DC CURRENT (Typ.)</b>	1.1A/24V				0.52A/48V	0.8A/48V									
	<b>INRUSH CURRENT (Typ.)</b>	20A/24VDC				20A/48VDC										
PROTECTION	<b>OVERLOAD</b>	105 ~ 135% rated output power														
		Protection type : Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed														
	<b>OVER VOLTAGE</b>	3.8 ~ 4.5V	5.75 ~ 7V	13.8 ~ 16.2V	27.6 ~ 32.4V	3.8 ~ 4.5V	5.75 ~ 7V	13.8 ~ 16.2V	27.6 ~ 32.4V							
ENVIRONMENT	<b>WORKING TEMP.</b>	-40 ~ +55°C (no derating) ; +70°C @ 60% load by free air convection ; +70°C (no derating with external base plate)														
	<b>WORKING HUMIDITY</b>	5 ~ 95% RH non-condensing														
	<b>STORAGE TEMP., HUMIDITY</b>	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH non-condensing														
	<b>TEMP. COEFFICIENT</b>	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)														
	<b>VIBRATION</b>	10 ~ 500Hz, 5G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes ; Mounting : compliance to IEC61373														
SAFETY & EMC (Note 4)	<b>SAFETY STANDARDS</b>	Meet IEC60950-1 (LVD)														
	<b>WITHSTAND VOLTAGE</b>	I/P-O/P:4KVDC I/P-FG:2.5KVDC O/P-FG:2.5KVDC														
	<b>ISOLATION RESISTANCE</b>	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH														
	<b>EMC EMISSION</b>	<b>Parameter</b>	<b>Standard</b>	<b>Test Level / Note</b>												
		Conducted	EN55032	Class A												
		Radiated	EN55032	Class B												
		Harmonic Current	EN6100-3-2	Class A												
		Voltage Flicker	EN6100-3-3	-----												
	<b>EMC IMMUNITY</b>	<b>Parameter</b>	<b>Standard</b>	<b>Test Level / Note</b>												
		ESD	EN61000-4-2	Level 3, ±8KV air ; Level 3, ±6KV contact												
		Radiated Field	EN61000-4-3	Level X												
		EFT / Burst	EN61000-4-4	Level 3, 2KV at power												
		Surge	EN61000-4-5	Level 3, 1KV Line-Line, Level 3, 2KV Line-Earth												
		Conducted	EN61000-4-6	Level 3												
	<b>RAILWAY STANDARD</b>	Compliance to EN45545-2 for fire protection ; Meet EN50155 / IEC60571 including IEC61373 for shock & vibration, EN50121-3-2 for EMC														
OTHERS	<b>MTBF</b>	396.9K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)														
	<b>DIMENSION</b>	113*60*25mm (L*W*H)														
	<b>PACKING</b>	0.25Kg; 56pcs/15Kg/0.83CUFT														
<b>NOTE</b>	1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 24.48VDC input, rated load and 25°C of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor. 3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation. 4. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. All the EMC tests are been executed by mounting the unit on a 360mm*360mm metal plate with 1mm of thickness. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives. For guidance on how to perform these EMC tests, please refer to "EMI testing of component power supplies." (as available on <a href="http://www.meanwell.com">http://www.meanwell.com</a> ) 5. Strongly recommended that external output capacitance should not exceed 5000uF.															



30W Reliable Railway DC-DC Converter

**RSD-30 series****SPECIFICATION**

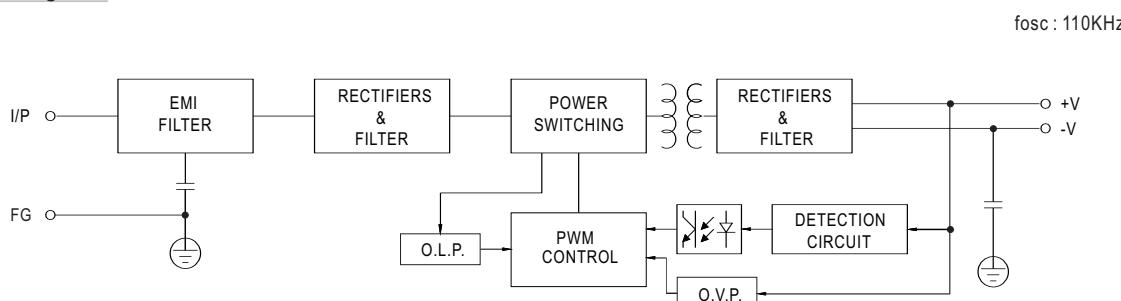
MODEL	RSD-30H-3.3	RSD-30H-5	RSD-30H-12	RSD-30H-24
OUTPUT	DC VOLTAGE	3.3V	5V	12V
	RATED CURRENT	6A	6A	2.5A
	CURRENT RANGE	0 ~ 6A	0 ~ 6A	0 ~ 2.5A
	RATED POWER	19.8W	30W	30W
	RIPLE & NOISE (max.) Note.2	70mVp-p	70mVp-p	60mVp-p
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±2.0%	±2.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.3%
	LOAD REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.3%
	SETUP, RISE TIME	120ms, 85ms at full load		
	HOLD UP TIME (Typ.)	H-type comply with S2 level(10ms) @ full load		
INPUT	VOLTAGE RANGE CONTINUOUS	40 ~ 160VDC		
	EFFICIENCY (Typ.)	87%	89%	89%
	DC CURRENT (Typ.)	0.23A/110V	0.35A/110V	
	INRUSH CURRENT (Typ.)	20A/110VDC		
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 135% rated output power Protection type : Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed		
		3.8 ~ 4.5V	5.75 ~ 7V	13.8 ~ 16.2V
ENVIRONMENT	OVER VOLTAGE	27.6 ~ 32.4V Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover		
SAFETY & EMC (Note 4)	WORKING TEMP.	-40 ~ +55°C (no derating) ; +70°C @ 60% load by free air convection ; +70°C (no derating with external base plate)		
	WORKING HUMIDITY	5 ~ 95% RH non-condensing		
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH non-condensing		
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)		
	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 5G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes ; Mounting : compliance to IEC61373		
	SAFETY STANDARDS	Meet IEC60950-1 (LVD)		
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:4KVDC I/P-FG:2.5KVDC O/P-FG:2.5KVDC		
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH		
	EMC EMISSION	Parameter	Standard	Test Level / Note
		Conducted	EN55032	Class A
		Radiated	EN55032	Class B
		Harmonic Current	EN6100-3-2	Class A
	EMC IMMUNITY	Voltage Flicker	EN6100-3-3	-----
		Parameter	Standard	Test Level / Note
		ESD	EN61000-4-2	Level 3, ±8KV air ; Level 3, ±6KV contact
		Radiated Field	EN61000-4-3	Level X
		EFT / Burst	EN61000-4-4	Level 3, 2KV at power Level 4, 2KV at signal
		Surge	EN61000-4-5	Level 3, 1KV Line-Line, Level 3, 2KV Line-Earth
		Conducted	EN61000-4-6	Level 3
	RAILWAY STANDARD	Compliance to EN45545-2 for fire protection ; Meet EN50155 / IEC60571 including IEC61373 for shock & vibration, EN50121-3-2 for EMC		
OTHERS	MTBF	396.9K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)		
	DIMENSION	113*60*25mm (L*W*H)		
	PACKING	0.25Kg; 56pcs/15Kg/0.83CUFT		
NOTE	1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 110VDC input, rated load and 25°C of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor. 3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation. 4. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. All the EMC tests are been executed by mounting the unit on a 360mm*360mm metal plate with 1mm of thickness. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives. For guidance on how to perform these EMC tests, please refer to "EMI testing of component power supplies." (as available on <a href="http://www.meanwell.com">http://www.meanwell.com</a> ) 5. Strongly recommended that external output capacitance should not exceed 5000uF.			



30W Reliable Railway DC-DC Converter

**RSD-30 series**

### ■ Block Diagram



### ■ Input Fuse

There is one fuse connected in series to the positive input line, which is used to protect against abnormal surge. Fuse specifications of each model are shown as below.

Type	Fuse Type	Reference and Rating
G	Time-Lag	CONQUE MST, 6.3A, 250V
L	Time-Lag	CONQUE MST, 3.15A, 250V
H	Time-Lag	CONQUE MST, 2A, 250V

### ■ Input Reverse Polarity Protection

There is a MOSFET connected in series to the negative input line. If the input polarity is connected reversely, the MOSFET opens and there will be no output to protect the unit.

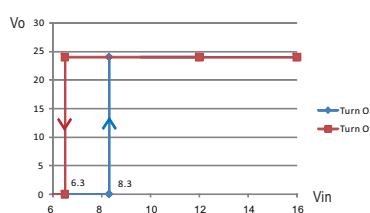
### ■ Input Range and Transient Ability

The series has a wide range input capability. With  $\pm 40\%$  of rated input voltage, it can withstand that for 1 second.

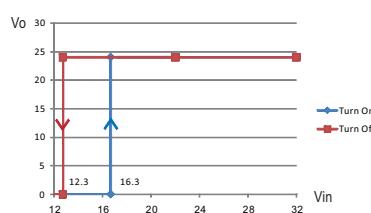
### ■ Input Under-Voltage Protection

If input voltage drops below  $V_{min}$ , the internal control IC shuts down and there is no output voltage. It recovers automatically when input voltage reaches above  $V_{min}$ , please refer to the curve below.

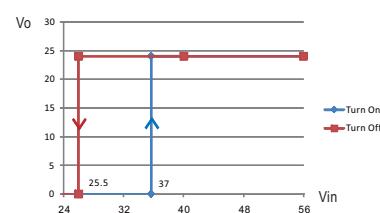
RSD-30G-24



RSD-30L-24



RSD-30H-24



### ■ Inrush Current

Inrush current is suppressed by a resistor during the initial start-up, and then the resistor is bypassed by a MOSFET to reduce power consumption after accomplishing the start-up.



30W Reliable Railway DC-DC Converter

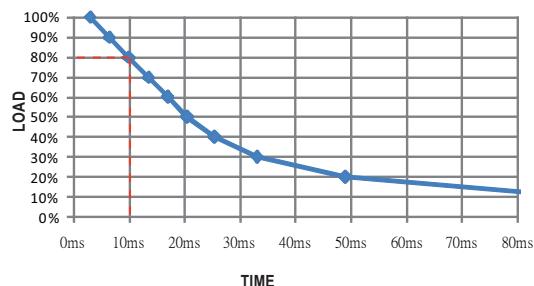
**RSD-30 series**

### ■ Hold-up Time

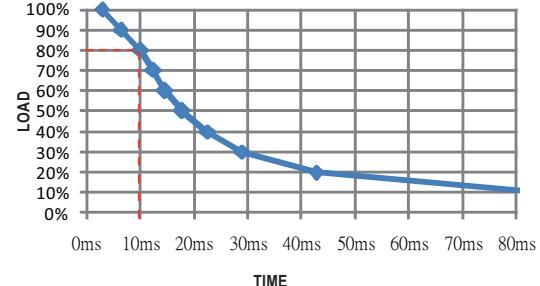
H type is in compliance with S2 level (10ms), while G and L types are in compliance with S1 level (3ms) at full load output condition.

To fulfil the requirements of S2 level (10ms), G types require de-rating their output load to 80%, please refer to the curve diagrams below.

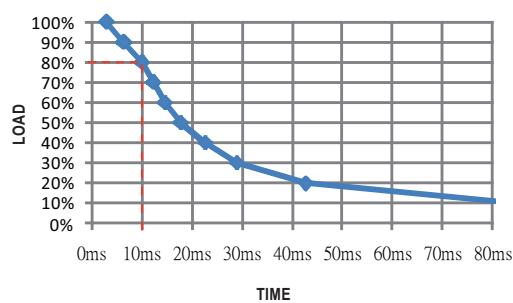
RSD-30G-3.3



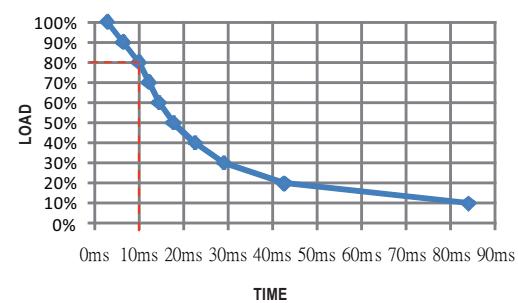
RSD-30G-5



RSD-30G-12



RSD-30G-24



### ■ Output Voltage Adjustment

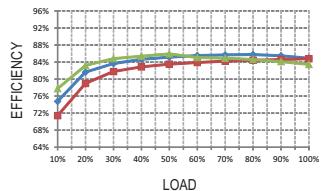
This function is optional, which the standard product does not have it. If you do need the function, please contact MW for details.

## 30W Reliable Railway DC-DC Converter

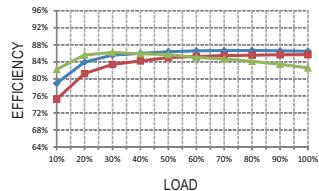
### Efficiency vs Load & Vin Curve

The efficiency vs load & Vin curves of each model are shown as below.

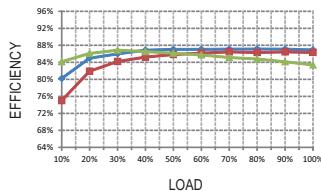
RSD-30G-3.3



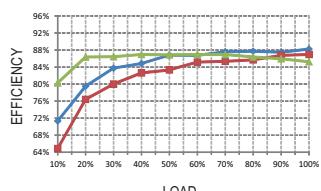
RSD-30G-5



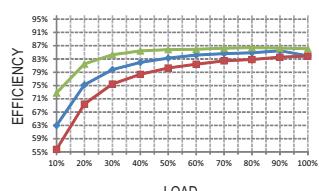
RSD-30G-12



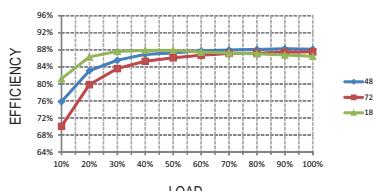
RSD-30G-24



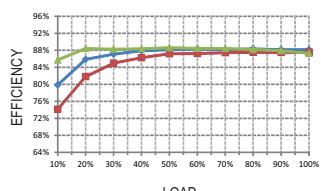
RSD-30L-3.3



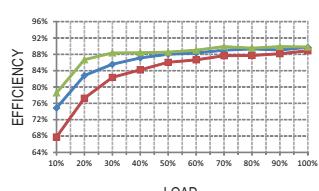
RSD-30L-5



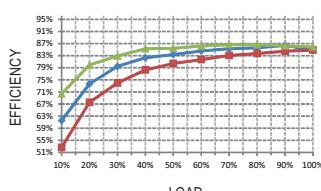
RSD-30L-12



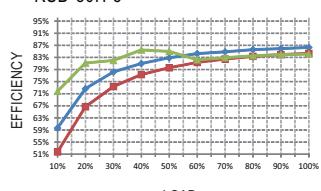
RSD-30L-24



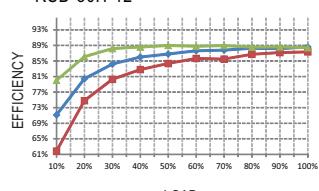
RSD-30H-3.3



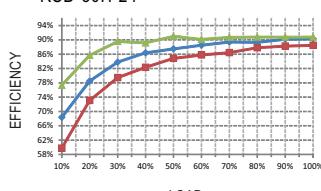
RSD-30H-5



RSD-30H-12



RSD-30H-24

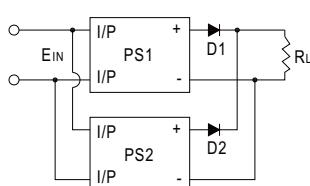


### Parallel and Series Connection

#### A. Operation in Parallel

Since RSD-30 series don't have built-in parallel circuit, it can only use external circuits to achieve the redundant operation but not increase the current rating.

- Add a diode at the positive-output of each power supply (as shown as below), the current rating of the diode should be larger than the maximum output current rating and attached to a suitable heat sink. This is only for redundant use (increase the reliability of the system) and users have to check suitability of the circuit by themselves.

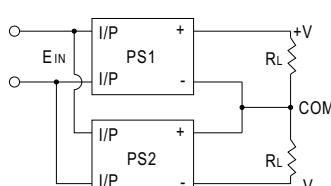


- When using S.P.S. in parallel connection, the leakage current will increase at the same time. This could pose as a shock hazard for the user. So please contact the supplier if you have this kind of application.

#### B. Operation in Series

RSD-30 can be operated in series. Here are the methods of doing it:

- Positive and negative terminals are connected as shown as below. According to the connection, you can get the positive and negative output voltages for your loads.

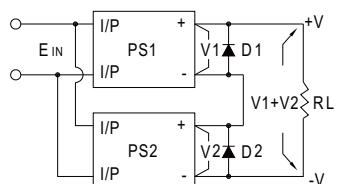




## 30W Reliable Railway DC-DC Converter

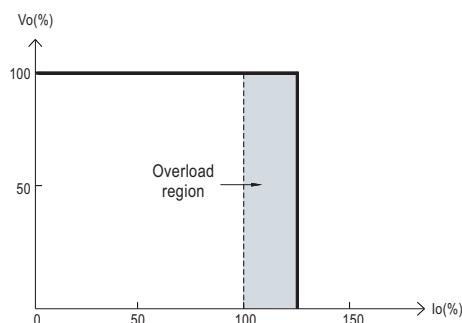
## RSD-30 series

2.Increase the output voltage (current does not change). Because RSD-30 series have no reverse blocking diode in the unit, you should add an external blocking diode to prevent the damage of every unit while starting up. The voltage rating of the external diode should be larger than  $V_1+V_2$  (as shown as below).



### ■ Overload Protection

If the output draw up to 105~135% of its output power rating, the converter will go into overload protection which is constant current mode. After the faulty condition is removed, it will recover automatically. Please refer to the diagram below for the detail operation characteristic. Please note that it's not suitable to operate within the overload region continuously, or it may cause to over temperature and reduce the life of the power supply unit or even damage it.



### ■ Over Voltage Protection

The converter shuts off to protect itself when the output voltage drawn exceeds 115~140% of its output rating. It must be repowered on to recover.

### ■ LED Indicator

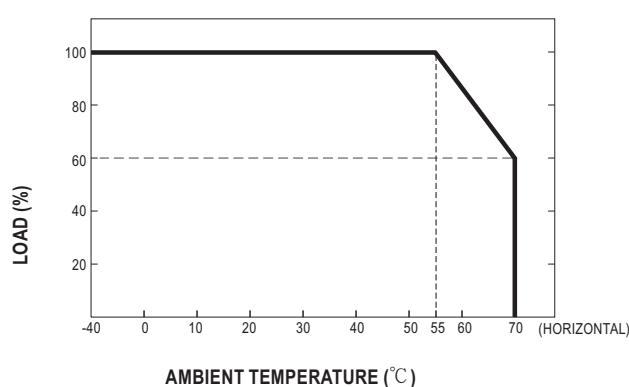
Equipped with a built-in LED indicator, the converter provides an easy way for users to check its condition through the LED indicator.

Green : normal operation; No signal: no power or failure.

### ■ Derating Curve

#### a.Single unit operation

If the unit has no iron plate mounted on its bottom, the maximum ambient temperature for the unit will be 55°C as operating under full load condition. It requires de-rating output current when ambient temperature is between 55~70°C, please refer to the de-rating curve as below.

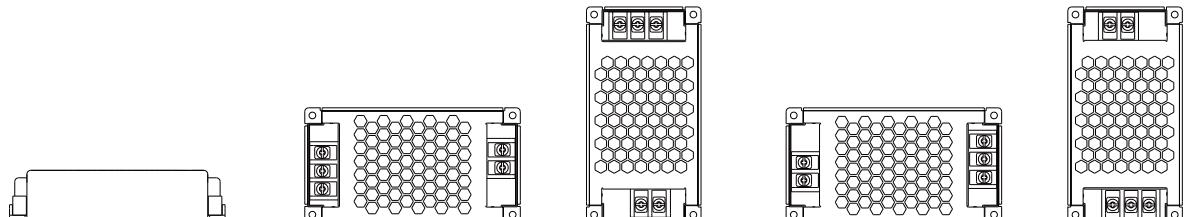




30W Reliable Railway DC-DC Converter

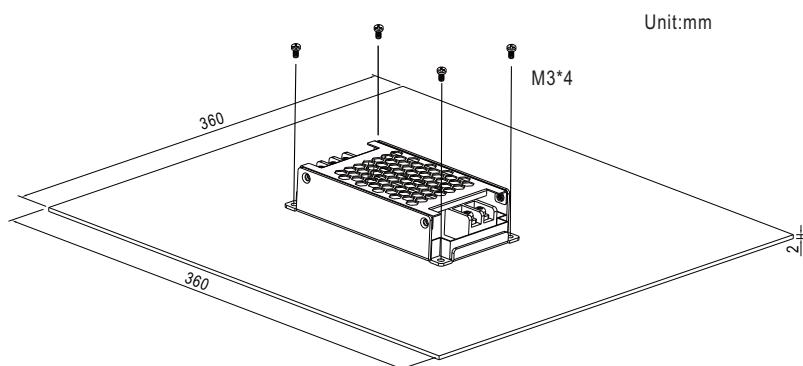
**RSD-30 series**

Suitable installation methods are shown as below. Since RSD-30 is a semi-potted model, its thermal performances for the following installation methods are similar and share the same derating curve.

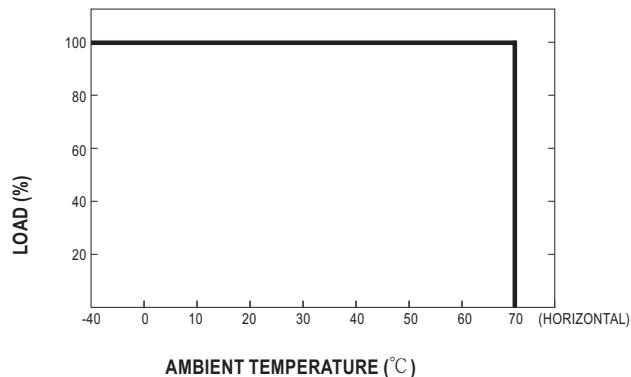


#### b. Operate with additional iron plate

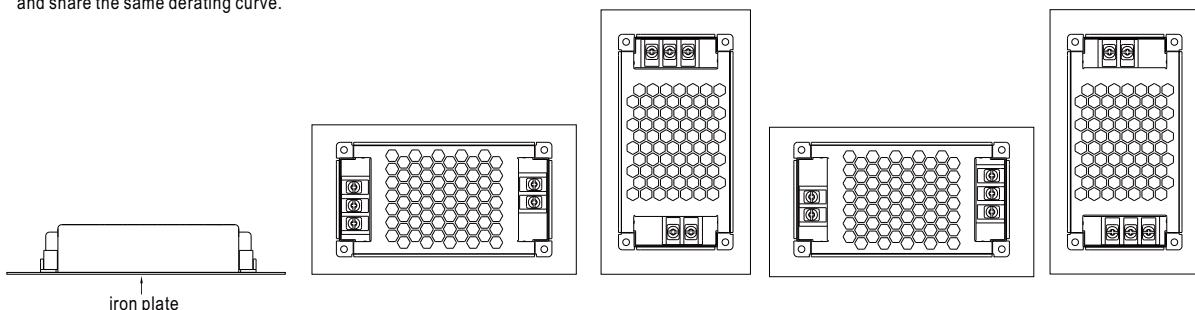
If it is necessary to fulfil the requirements of EN50155 TX level that operate the unit fully-loaded at 70°C, RSD-30 series must be installed onto an iron plate on the bottom. The size of the suggested iron plate is shown as below. In order for optimal thermal performance, the iron plate must have an even & smooth surface and RSD-30 series must be firmly mounted at the center of the iron plate.



The load vs ambient temperature curve is shown as below.



Suitable installation methods are shown as below. Since RSD-30 is a semi-potted model, its thermal performances for the following installation methods are similar and share the same derating curve.





30W Reliable Railway DC-DC Converter

**RSD-30 series**

### ■ Immunity to Environmental Conditions

Test method	Standard	Test conditions	Status
Cooling Test	EN 50155 section 12.2.3 (Column 2, Class TX) EN 60068-2-1	Temperature: -40°C Dwell Time: 2 hrs/cycle	No damage
Dry Heat Test	EN 50155 section 12.2.4 (Column 2, Class TX) EN 50155 section 12.2.4 (Column 3, Class TX & Column 4, Class TX) EN 60068-2-2	Temperature: 70°C / 85°C Duration: 6 hrs / 10min	PASS
Damp Heat Test, Cyclic	EN 50155 section 12.2.5 EN 60068-2-30	Temperature: 25°C ~ 55°C Humidity: 90% ~ 100% RH Duration: 48 hrs	PASS
Vibration Test	EN 50155 section 12.2.11 EN 61373	Temperature: 19°C Humidity: 65% Duration: 10 mins	PASS
Increased Vibration Test	EN 50155 section 12.2.11 EN 61373	Temperature: 19°C Humidity: 65% Duration: 5 hrs	PASS
Shock Test	EN 50155 section 12.2.11 EN 61373	Temperature: 21 ± 3°C Humidity: 65 ± 5% Duration: 30ms * 18	PASS
Low Temperature Storage Test	EN 50155 section 12.2.3 (Column 2, Class TX) EN 60068-2-1	Temperature: -40°C Dwell Time: 16 hrs	PASS
Salt Mist Test	EN 50155 section 12.2.10 (Class ST4)	Temperature: 35°C ± 2°C Duration: 96 hrs	PASS

### ■ EN45545-2 Fire Test Conditions

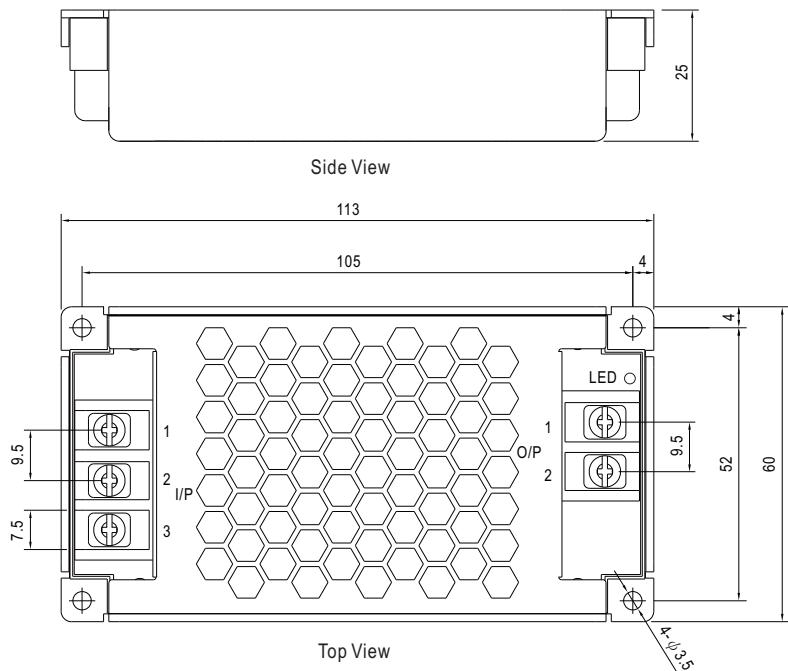
Test Items		Hazard Level			
Items		Standard	HL1	HL2	
R24	Oxygen index test	EN 45545-2:2013+A1:2015 EN ISO 4589-2:1996	PASS	PASS	PASS
R25	Glow-wire test	EN 45545-2:2013+A1:2015 EN 60695-2-11:2000	PASS	PASS	PASS
R26	Vertical flame test	EN 45545-2:2013+A1:2015 EN 60695-11:2003	PASS	PASS	PASS



30W Reliable Railway DC-DC Converter

**RSD-30 series****■ Mechanical Specification**

Case No.253A Unit:mm



Input Terminal Pin No. Assignment :

Pin No.	Assignment
1	DC INPUT V+
2	DC INPUT V-
3	FG $\pm$

Output Terminal Pin No. Assignment :

Pin No.	Assignment
1	DC OUTPUT -V
2	DC OUTPUT +V

**■ Installation Manual**Please refer to : <http://www.meanwell.com/manual.html>

File Name:RSD-30-SPEC 2017-02-22

## 0.2 Mean Well SD-350C-12



350W Single Output DC-DC Converter

SD-350 series



■ Features :

- 2:1 wide input range
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage / Over temperature
- 1500VAC I/O isolation
- Forced air cooling by built-in DC Fan
- 100% full load burn-in test
- 24V and 48V input voltage design refer to LVD
- 2 years warranty



EN62368-1



IEC62368-1



### SPECIFICATION

MODEL	SD-350B				SD-350C					
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V	12V	24V	48V	5V	12V	24V	48V	
	RATED CURRENT	57A	27.5A	14.6A	7.3A	60A	27.5A	14.6A	7.3A	
	CURRENT RANGE	0 ~ 57A	0 ~ 27.5A	0 ~ 14.6A	0 ~ 7.3A	0 ~ 60A	0 ~ 27.5A	0 ~ 14.6A	0 ~ 7.3A	
	RATED POWER	285W	330W	350.4W	350.4W	300W	330W	350.4W	350.4W	
	ripple & noise (max.) Note.2	100mVp-p	120mVp-p	150mVp-p	200mVp-p	100mVp-p	120mVp-p	150mVp-p	200mVp-p	
	VOLTAGE ADJ. RANGE	4.5 ~ 5.5VDC	11 ~ 16VDC	23 ~ 30VDC	43 ~ 53VDC	4.5 ~ 5.5VDC	11 ~ 16VDC	23 ~ 30VDC	43 ~ 53VDC	
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	
	LINER REGULATION	±0.5%	±0.3%	±0.2%	±0.2%	±0.5%	±0.3%	±0.2%	±0.2%	
	LOAD REGULATION	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	
INPUT	SETUP, RISE TIME	300ms, 50ms at full load								
	VOLTAGE RANGE	B:19 ~ 36VDC	C:36 ~ 72VDC	D:72 ~ 144VDC						
	EFFICIENCY (Typ.)	74%	80%	80%	84%	76%	81%	81%	82%	
	DC CURRENT (Typ.)	14.4A/24V	16A/24V	17.6A/24V	17.6A/24V	7.6A/48V	8.8A/48V	9.0A/48V	9.0A/48V	
	INRUSH CURRENT (Typ.)	C:45A/48VDC D:45A/96VDC								
	PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 135% rated output power Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover							
		OVER VOLTAGE	5.75 ~ 6.75V	16.8 ~ 20V	31.5 ~ 37.5V	53 ~ 65V	5.75 ~ 6.75V	16.8 ~ 20V	31.5 ~ 37.5V	53 ~ 65V
	OVER TEMPERATURE	Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover								
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-20 ~ +60°C (Refer to "Derating Curve")								
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing								
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH								
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)								
	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes								
SAFETY & EMC (Note 4)	SAFETY STANDARDS	IEC62368-1 CB approved by TUV (for D type only), EAC TP TC 004 approved								
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:1.5KVAC I/P-FG:2KVAC O/P-FG:0.5KVAC								
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25°C/ 70% RH								
	EMC EMISSION	Compliance to EN55032 (CISPR32) Class B, EAC TP TC 020								
OTHERS	EMC IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2,3,4,6,8, light industry level, criteria A, EAC TP TC 020								
	MTBF	209.4 hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)								
	DIMENSION	215*115*50mm (L*W*H)								
NOTE	PACKING	1.1Kg; 12pcs/14.4Kg/0.92CUFT								
1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 24,48,96VDC input, rated load and 25°C of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor. 3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation. 4. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. All the EMC tests are been executed by mounting the unit on a 360mm*360mm metal plate with 1mm of thickness. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives. For guidance on how to perform these EMC tests, please refer to "EMI testing of component power supplies." (as available on <a href="http://www.meanwell.com">http://www.meanwell.com</a> ) 5. The ambient temperature derating of 3.5°C/1000m with fanless models and of 5°C/1000m with fan models for operating altitude higher than 2000m(6500ft)										

File Name:SD-350-SPEC 2020-03-37



350W Single Output DC-DC Converter

**SD-350 series**

## ■ Features :

- 2:1 wide input range
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage / Over temperature
- 1500VAC I/O isolation
- Forced air cooling by built-in DC Fan
- 100% full load burn-in test
- 24V(B) and 48V(C) input voltage design refer to LVD
- 2 years warranty

**CB** (for D type only)  
IEC62368-1**SPECIFICATION**

MODEL	SD-350D			
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V	12V	24V
	RATED CURRENT	60A	29.2A	14.6A
	CURRENT RANGE	0 ~ 60A	0 ~ 29.2A	0 ~ 14.6A
	RATED POWER	300W	350.4W	350.4W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	100mVp-p	120mVp-p	150mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	4.5 ~ 5.5VDC	11 ~ 16VDC	23 ~ 30VDC
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.3%	±0.2%
	LOAD REGULATION	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	SETUP, RISE TIME	300ms, 50ms at full load		
INPUT	VOLTAGE RANGE	B:19 ~ 36VDC	C:36 ~ 72VDC	D:72 ~ 144VDC
	EFFICIENCY (Typ.)	78%	83%	87%
	DC CURRENT (Typ.)	6A/96V	6A/96V	6A/96V
	INRUSH CURRENT (Typ.)	C:45A/48VDC	D:45A/96VDC	
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 135% rated output power		
		Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover		
	OVER VOLTAGE	5.75 ~ 6.75V	16.8 ~ 20V	31.5 ~ 37.5V
		Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover		
ENVIRONMENT	OVER TEMPERATURE	Shut down o/p voltage, recovers automatically after temperature goes down		
	WORKING TEMP.	-20 ~ +60°C (Refer to "Derating Curve")		
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing		
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH		
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)		
SAFETY & EMC (Note 4)	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min./cycle, 60min. each along X, Y, Z axes		
	SAFETY STANDARDS	IEC62368-1 CB approved by TUV (for D type only), EAC TP TC 004 approved		
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:1.5KVAC	I/P-FG:2KVAC	O/P-FG:0.5KVAC
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH		
	EMC EMISSION	Compliance to EN55022 (CISPR22) Class B, EAC TP TC 020		
OTHERS	EMC IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2,3,4,6,8, light industry level, criteria A, EAC TP TC 020		
	MTBF	209.4K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)		
	DIMENSION	215*115*50mm (L*W*H)		
NOTE	PACKING	1.1Kg; 12pcs/14.4Kg/0.92CUFT		
	1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 24,48,96VDC input, rated load and 25°C of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor. 3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation. 4. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. All the EMC tests are been executed by mounting the unit on a 360mm*360mm metal plate with 1mm of thickness. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives. For guidance on how to perform these EMC tests, please refer to "EMI testing of component power supplies." (as available on <a href="http://www.meanwell.com">http://www.meanwell.com</a> ) 5. The ambient temperature derating of 3.5°C/1000m with fanless models and of 5°C/1000m with fan models for operating altitude higher than 2000m(6500ft).			

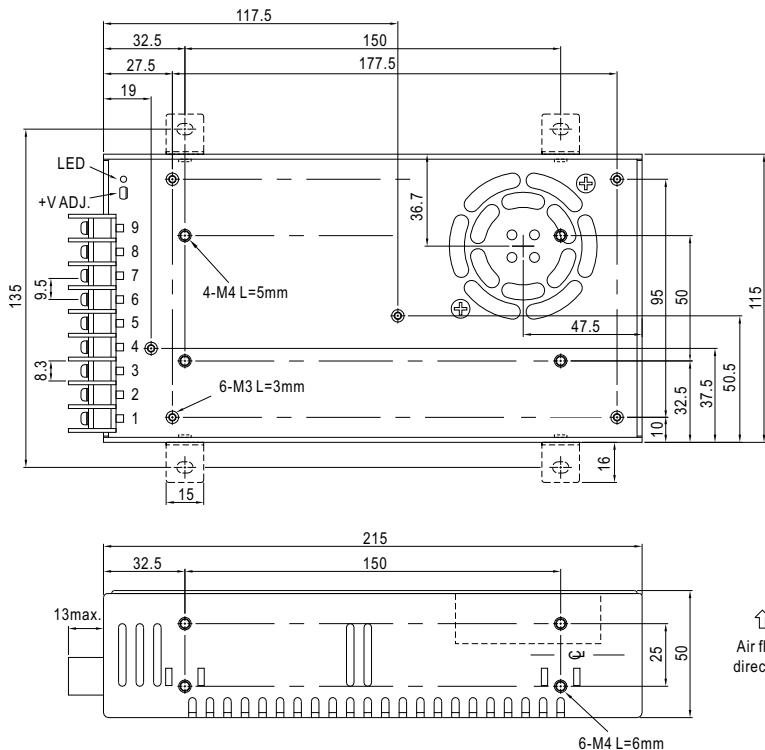


## 350W Single Output DC-DC Converter

## SD-350 series

## ■ Mechanical Specification

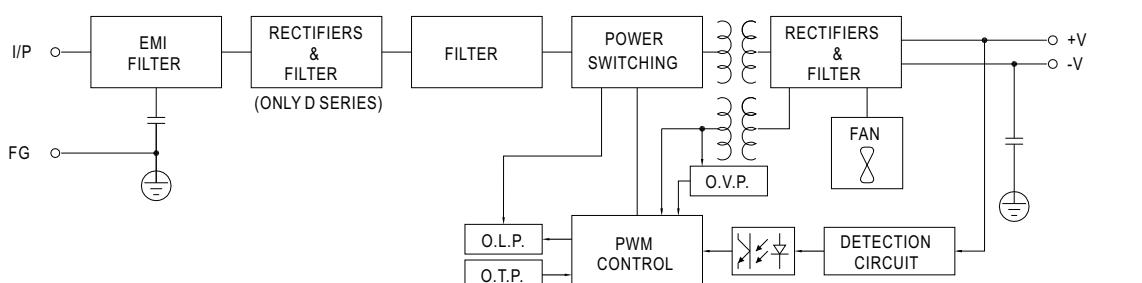
Case No. 912B Unit:mm



## Terminal Pin No. Assignment:

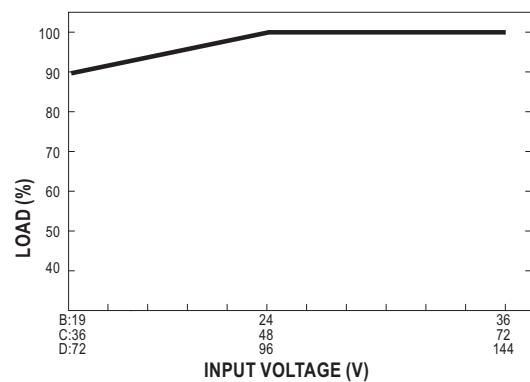
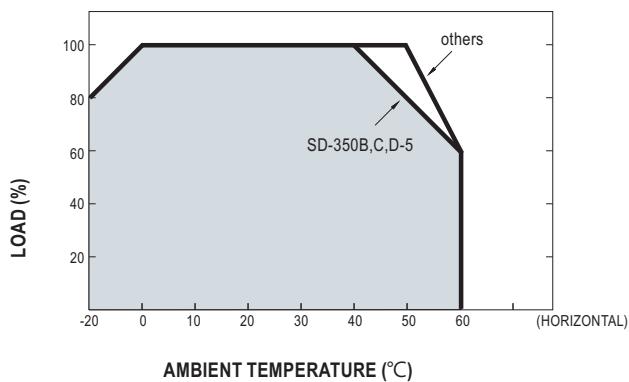
Pin No.	Assignment	Pin No.	Assignment
1	DC INPUT V+	4,5,6	DC OUTPUT V-
2	DC INPUT V-	7,8,9	DC OUTPUT V+
3	FG $\pm$		

## ■ Block Diagram



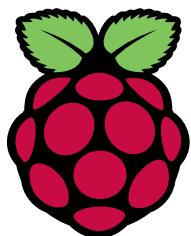
## ■ Derating Curve

## ■ Static Characteristics



## 0.3 Raspberry Pi 4 Model B

### DATASHEET



## Raspberry Pi 4 Model B

**Release 1**

**June 2019**

**Copyright 2019 Raspberry Pi (Trading) Ltd. All rights reserved.**



Raspberry Pi 4 Model B Datasheet  
Copyright Raspberry Pi (Trading) Ltd. 2019

Table 1: Release History

Release	Date	Description
1	21/06/2019	First release

The latest release of this document can be found at <https://www.raspberrypi.org>



## Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Features</b>	<b>6</b>
2.1	Hardware . . . . .	6
2.2	Interfaces . . . . .	6
2.3	Software . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Mechanical Specification</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Electrical Specification</b>	<b>7</b>
4.1	Power Requirements . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Peripherals</b>	<b>9</b>
5.1	GPIO Interface . . . . .	9
5.1.1	GPIO Pin Assignments . . . . .	9
5.1.2	GPIO Alternate Functions . . . . .	10
5.1.3	Display Parallel Interface (DPI) . . . . .	11
5.1.4	SD/SDIO Interface . . . . .	11
5.2	Camera and Display Interfaces . . . . .	11
5.3	USB . . . . .	11
5.4	HDMI . . . . .	11
5.5	Audio and Composite (TV Out) . . . . .	11
5.6	Temperature Range and Thermals . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Availability</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Support</b>	<b>12</b>



Raspberry Pi 4 Model B Datasheet  
Copyright Raspberry Pi (Trading) Ltd. 2019

## List of Figures

1	Mechanical Dimensions . . . . .	7
2	Digital IO Characteristics . . . . .	8
3	GPIO Connector Pinout . . . . .	9



## List of Tables

1	Release History . . . . .	1
2	Absolute Maximum Ratings . . . . .	8
3	DC Characteristics . . . . .	8
4	Digital I/O Pin AC Characteristics . . . . .	8
5	Raspberry Pi 4 GPIO Alternate Functions . . . . .	10



Raspberry Pi 4 Model B Datasheet  
Copyright Raspberry Pi (Trading) Ltd. 2019

## 1 Introduction

The Raspberry Pi 4 Model B (Pi4B) is the first of a new generation of Raspberry Pi computers supporting more RAM and with significantly enhanced CPU, GPU and I/O performance; all within a similar form factor, power envelope and cost as the previous generation Raspberry Pi 3B+.

The Pi4B is available with either 1, 2 and 4 Gigabytes of LPDDR4 SDRAM.



## 2 Features

### 2.1 Hardware

- Quad core 64-bit ARM-Cortex A72 running at 1.5GHz
- 1, 2 and 4 Gigabyte LPDDR4 RAM options
- H.265 (HEVC) hardware decode (up to 4Kp60)
- H.264 hardware decode (up to 1080p60)
- VideoCore VI 3D Graphics
- Supports dual HDMI display output up to 4Kp60

### 2.2 Interfaces

- 802.11 b/g/n/ac Wireless LAN
- Bluetooth 5.0 with BLE
- 1x SD Card
- 2x micro-HDMI ports supporting dual displays up to 4Kp60 resolution
- 2x USB2 ports
- 2x USB3 ports
- 1x Gigabit Ethernet port (supports PoE with add-on PoE HAT)
- 1x Raspberry Pi camera port (2-lane MIPI CSI)
- 1x Raspberry Pi display port (2-lane MIPI DSI)
- 28x user GPIO supporting various interface options:
  - Up to 6x UART
  - Up to 6x I2C
  - Up to 5x SPI
  - 1x SDIO interface
  - 1x DPI (Parallel RGB Display)
  - 1x PCM
  - Up to 2x PWM channels
  - Up to 3x GPCLK outputs



### 2.3 Software

- ARMv8 Instruction Set
- Mature Linux software stack
- Actively developed and maintained
  - Recent Linux kernel support
  - Many drivers upstreamed
  - Stable and well supported userland
  - Availability of GPU functions using standard APIs

## 3 Mechanical Specification

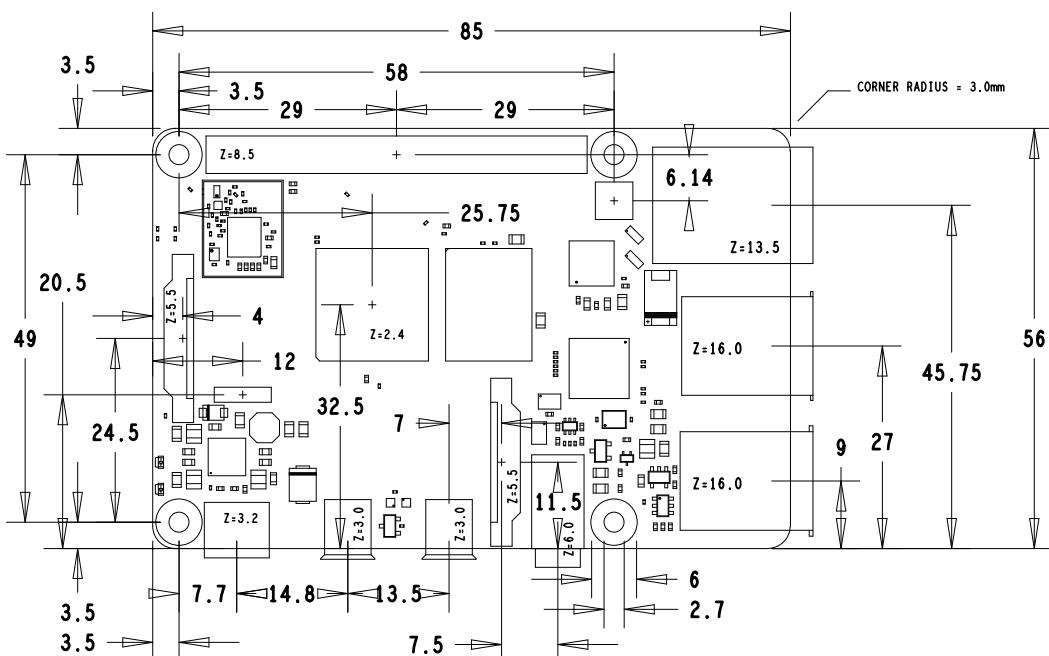


Figure 1: Mechanical Dimensions

## 4 Electrical Specification

**Caution!** Stresses above those listed in Table 2 may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device under these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.



Symbol	Parameter	Minimum	Maximum	Unit
VIN	5V Input Voltage	-0.5	6.0	V

Table 2: Absolute Maximum Ratings

Please note that VDD\_IO is the GPIO bank voltage which is tied to the on-board 3.3V supply rail.

Symbol	Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Unit
$V_{IL}$	Input low voltage <sup>a</sup>	$VDD\_IO = 3.3V$	-	-	TBD	V
$V_{IH}$	Input high voltage <sup>a</sup>	$VDD\_IO = 3.3V$	TBD	-	-	V
$I_{IL}$	Input leakage current	$TA = +85^{\circ}C$	-	-	TBD	$\mu A$
$C_{IN}$	Input capacitance	-	-	TBD	-	pF
$V_{OL}$	Output low voltage <sup>b</sup>	$VDD\_IO = 3.3V, IOL = -2mA$	-	-	TBD	V
$V_{OH}$	Output high voltage <sup>b</sup>	$VDD\_IO = 3.3V, IOH = 2mA$	TBD	-	-	V
$I_{OL}$	Output low current <sup>c</sup>	$VDD\_IO = 3.3V, VO = 0.4V$	TBD	-	-	mA
$I_{OH}$	Output high current <sup>c</sup>	$VDD\_IO = 3.3V, VO = 2.3V$	TBD	-	-	mA
$R_{PU}$	Pullup resistor	-	TBD	-	TBD	k $\Omega$
$R_{PD}$	Pulldown resistor	-	TBD	-	TBD	k $\Omega$

<sup>a</sup> Hysteresis enabled

<sup>b</sup> Default drive strength (8mA)

<sup>c</sup> Maximum drive strength (16mA)

Table 3: DC Characteristics

Pin Name	Symbol	Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Digital outputs	$t_{rise}$	10-90% rise time <sup>a</sup>	-	TBD	-	ns
Digital outputs	$t_{fall}$	90-10% fall time <sup>a</sup>	-	TBD	-	ns

<sup>a</sup> Default drive strength,  $CL = 5pF, VDD\_IO = 3.3V$

Table 4: Digital I/O Pin AC Characteristics



Figure 2: Digital IO Characteristics



## 4.1 Power Requirements

The Pi4B requires a good quality USB-C power supply capable of delivering 5V at 3A. If attached downstream USB devices consume less than 500mA, a 5V, 2.5A supply may be used.

## 5 Peripherals

### 5.1 GPIO Interface

The Pi4B makes 28 BCM2711 GPIOs available via a standard Raspberry Pi 40-pin header. This header is backwards compatible with all previous Raspberry Pi boards with a 40-way header.

#### 5.1.1 GPIO Pin Assignments

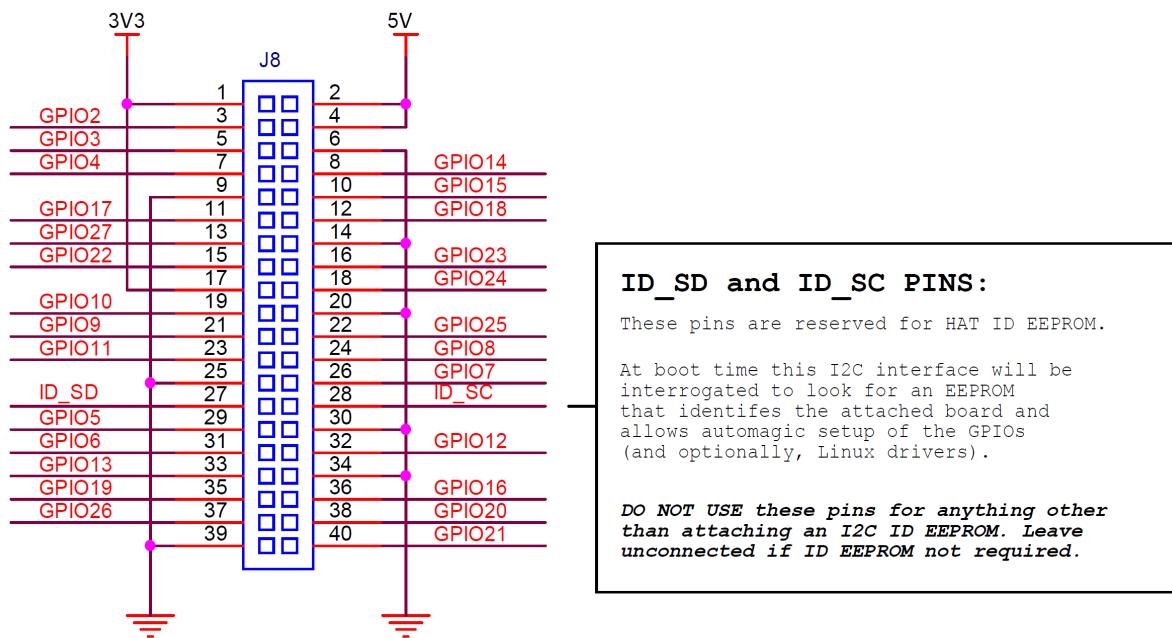


Figure 3: GPIO Connector Pinout

As well as being able to be used as straightforward software controlled input and output (with programmable pulls), GPIO pins can be switched (multiplexed) into various other modes backed by dedicated peripheral blocks such as I2C, UART and SPI.

In addition to the standard peripheral options found on legacy Pis, extra I2C, UART and SPI peripherals have been added to the BCM2711 chip and are available as further mux options on the Pi4. This gives users much more flexibility when attaching add-on hardware as compared to older models.



### 5.1.2 GPIO Alternate Functions

<b>Default</b>							
<b>GPIO</b>	<b>Pull</b>	<b>ALT0</b>	<b>ALT1</b>	<b>ALT2</b>	<b>ALT3</b>	<b>ALT4</b>	<b>ALT5</b>
0	High	SDA0	SA5	PCLK	SPI3_CE0_N	TXD2	SDA6
1	High	SCL0	SA4	DE	SPI3_MISO	RXD2	SCL6
2	High	SDA1	SA3	LCD_VSYNC	SPI3_MOSI	CTS2	SDA3
3	High	SCL1	SA2	LCD_HSYNC	SPI3_SCLK	RTS2	SCL3
4	High	GPCLK0	SA1	DPI_D0	SPI4_CE0_N	TXD3	SDA3
5	High	GPCLK1	SA0	DPI_D1	SPI4_MISO	RXD3	SCL3
6	High	GPCLK2	SOE_N	DPI_D2	SPI4_MOSI	CTS3	SDA4
7	High	SPI0_CE1_N	SWE_N	DPI_D3	SPI4_SCLK	RTS3	SCL4
8	High	SPI0_CE0_N	SD0	DPI_D4	-	TXD4	SDA4
9	Low	SPI0_MISO	SD1	DPI_D5	-	RXD4	SCL4
10	Low	SPI0_MOSI	SD2	DPI_D6	-	CTS4	SDA5
11	Low	SPI0_SCLK	SD3	DPI_D7	-	RTS4	SCL5
12	Low	PWM0	SD4	DPI_D8	SPI5_CE0_N	TXD5	SDA5
13	Low	PWM1	SD5	DPI_D9	SPI5_MISO	RXD5	SCL5
14	Low	TXD0	SD6	DPI_D10	SPI5_MOSI	CTS5	TXD1
15	Low	RXD0	SD7	DPI_D11	SPI5_SCLK	RTS5	RXD1
16	Low	FL0	SD8	DPI_D12	CTS0	SPI1_CE2_N	CTS1
17	Low	FL1	SD9	DPI_D13	RTS0	SPI1_CE1_N	RTS1
18	Low	PCM_CLK	SD10	DPI_D14	SPI6_CE0_N	SPI1_CE0_N	PWM0
19	Low	PCM_FS	SD11	DPI_D15	SPI6_MISO	SPI1_MISO	PWM1
20	Low	PCM_DIN	SD12	DPI_D16	SPI6_MOSI	SPI1_MOSI	GPCLK0
21	Low	PCM_DOUT	SD13	DPI_D17	SPI6_SCLK	SPI1_SCLK	GPCLK1
22	Low	SD0_CLK	SD14	DPI_D18	SD1_CLK	ARM_TRST	SDA6
23	Low	SD0_CMD	SD15	DPI_D19	SD1_CMD	ARM_RTCK	SCL6
24	Low	SD0_DAT0	SD16	DPI_D20	SD1_DAT0	ARM_TDO	SPI3_CE1_N
25	Low	SD0_DAT1	SD17	DPI_D21	SD1_DAT1	ARM_TCK	SPI4_CE1_N
26	Low	SD0_DAT2	TE0	DPI_D22	SD1_DAT2	ARM_TDI	SPI5_CE1_N
27	Low	SD0_DAT3	TE1	DPI_D23	SD1_DAT3	ARM_TMS	SPI6_CE1_N

Table 5: Raspberry Pi 4 GPIO Alternate Functions

Table 5 details the default pin pull state and available alternate GPIO functions. Most of these alternate peripheral functions are described in detail in the BCM2711 Peripherals Specification document which can be downloaded from the hardware documentation section of the website.



### 5.1.3 Display Parallel Interface (DPI)

A standard parallel RGB (DPI) interface is available the GPIOs. This up-to-24-bit parallel interface can support a secondary display.

### 5.1.4 SD/SDIO Interface

The Pi4B has a dedicated SD card socket which supports 1.8V, DDR50 mode (at a peak bandwidth of 50 Megabytes / sec). In addition, a legacy SDIO interface is available on the GPIO pins.

## 5.2 Camera and Display Interfaces

The Pi4B has 1x Raspberry Pi 2-lane MIPI CSI Camera and 1x Raspberry Pi 2-lane MIPI DSI Display connector. These connectors are backwards compatible with legacy Raspberry Pi boards, and support all of the available Raspberry Pi camera and display peripherals.

## 5.3 USB

The Pi4B has 2x USB2 and 2x USB3 type-A sockets. Downstream USB current is limited to approximately 1.1A in aggregate over the four sockets.

## 5.4 HDMI

The Pi4B has 2x micro-HDMI ports, both of which support CEC and HDMI 2.0 with resolutions up to 4Kp60.

## 5.5 Audio and Composite (TV Out)

The Pi4B supports near-CD-quality analogue audio output and composite TV-output via a 4-ring TRS 'A/V' jack.

The analog audio output can drive 32 Ohm headphones directly.

## 5.6 Temperature Range and Thermals

The recommended ambient operating temperature range is 0 to 50 degrees Celcius.

To reduce thermal output when idling or under light load, the Pi4B reduces the CPU clock speed and voltage. During heavier load the speed and voltage (and hence thermal output) are increased. The internal governor will throttle back both the CPU speed and voltage to make sure the CPU temperature never exceeds 85 degrees C.

The Pi4B will operate perfectly well without any extra cooling and is designed for sprint performance - expecting a light use case on average and ramping up the CPU speed when needed (e.g. when loading a webpage). If a user wishes to load the system continually or operate it at a high temperature at full performance, further cooling may be needed.



## 6 Availability

Raspberry Pi guarantee availability Pi4B until at least January 2026.

## 7 Support

For support please see the hardware documentation section of the Raspberry Pi website and post questions to the Raspberry Pi forum.

# Abbildungsverzeichnis

V.1	Raspberry Pi - Steuereinheit des HCIS . . . . .	9
V.2	Grundaufbau des Human-Computer Interaction Systems . . . . .	9
V.3	Anschlussplan Eingänge . . . . .	11
V.4	Anschlussplan Relais . . . . .	12
V.5	Touch Panel Maße . . . . .	13
V.6	Befestigung des Displays . . . . .	14
V.7	Aufbau der Graphischen Benutzeroberfläche . . . . .	14
V.8	GUI Komponente - Navigation Menu . . . . .	15
V.9	GUI Komponente - Balken Anzeige . . . . .	16
V.10	GUI Komponente - Modus Anzeige . . . . .	16
V.11	GUI Komponente - Graph . . . . .	17
V.12	GUI Fenster - Login Menu . . . . .	18
V.13	GUI Fenster - Fahrdaten . . . . .	18
V.14	GUI Fenster - Akkudaten . . . . .	19
V.15	GUI Fenster - Fahrdaten Diagnose . . . . .	19
V.16	GUI Fenster - Error List . . . . .	20
V.17	Slots und Signals Konzept . . . . .	21
V.18	Anschlussplan CAN-Modul . . . . .	23

# Tabellenverzeichnis

V.1 Berechnung der Leistung des 12V-Systems . . . . .	10
---	----

# Code Listings

V.1 Code Starten eines Threads . . . . .	12
--	----