



HOCHSCHULE STRALSUND

Projektarbeit

Entwicklung der Hochvolt-Elektrik-Komponenten für ein Formula Student Electric Fahrzeug

| | |
|------------------------|--|
| vorgelegt von: | Lukas Deeken |
| Studiengang' Matrikel: | MSEB' 2018 |
| Matrikelnummer: | 17491 |
| Private Adresse: | Heinrich Heine Ring 102, 18435 Stralsund |
| Betreuender Professor: | Prof. Dr.-Ing. Michael Bierhoff |
| 1. Gutachter: | Name des 1. Gutachters |
| 2. Gutachter: | Name des 2. Gutachters |
| Firmenanschrift: | Firmenstraße 1, PLZ Ort |
| Abgabedatum: | 01.08.2022 |

Erklärung

Die vorliegende Arbeit habe ich selbstständig ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise im Rahmen einer oder anderer Prüfungen noch nicht vorgelegt worden.

Stralsund, den

Lukas Deeken

Abstract

Diese Arbeit erläutert den Entwicklungsprozess für die elektronischen komponenten eines antriebsstranges der im rahmen der formula student electric entwickelt wurde

Englische Version 50-100 Wörter

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Abbildungsverzeichnis | iv |
| Tabellenverzeichnis | v |
| Abkürzungsverzeichnis | vi |
| Symbolverzeichnis | vii |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Beispiele | 2 |
| 2.1 Referenzen | 2 |
| 2.2 Zitieren | 2 |
| 2.3 Abkürzungen / Acronyme | 2 |
| 2.4 Aufzählung | 2 |
| 2.4.1 Stichpunkte | 2 |
| 2.4.2 Nummerierung | 3 |
| 2.5 Formeln | 3 |
| 2.5.1 Variablen | 3 |
| 2.5.2 Einzelne Formeln | 3 |
| 2.5.3 Gruppen | 4 |
| 2.5.4 Bereichsweise Definitionen | 4 |
| 2.6 Abbildungen | 4 |
| 2.6.1 Diagramme | 4 |
| 2.6.2 Bilder | 5 |
| 2.6.3 Flussdiagramme | 5 |
| 2.7 Tabellen | 7 |
| 2.8 Positionierung | 7 |
| 2.9 Code | 8 |

| | | |
|----------|-----------------------------------|-----------|
| 3 | Elektrische Systeme | 9 |
| 3.1 | Akkumulator | 10 |
| 3.1.1 | AMS Master und Slave | 10 |
| 3.1.2 | HV DCDC | 10 |
| 3.2 | HV Distribution | 10 |
| 3.2.1 | TSMP | 10 |
| 3.2.2 | BSPD | 10 |
| 3.2.3 | Discharge | 10 |
| 3.3 | TSAL | 10 |
| 3.3.1 | Logik auf Discharge | 10 |
| 3.3.2 | Logik auf AMS Master | 10 |
| 4 | Elektromechanische Systeme | 11 |
| 4.1 | Akkumulator | 11 |
| 4.1.1 | Zellenauswahl | 11 |
| 4.2 | Elektromotor | 18 |
| 4.2.1 | Emrax | 18 |
| 4.2.2 | AMK | 18 |
| 4.2.3 | Fischer | 18 |
| 4.2.4 | Selbstbau | 18 |
| 4.2.5 | Entscheidungsfindung | 18 |
| 4.3 | Wechselrichter | 19 |
| 4.4 | Kabelbaum | 19 |
| 4.4.1 | CAN-Bus | 20 |
| 4.4.2 | LVS Versorgung | 20 |
| 4.4.3 | Sensor Kabelbaum | 21 |
| 4.4.4 | Shutdown Circuit | 21 |
| 4.4.5 | Kabeldimensionierung | 22 |
| 4.4.6 | Hochvolt Kabelbaum | 23 |
| 4.4.7 | Sicherungsauslegung | 25 |
| 4.4.8 | Steckverbinder Auswahl | 25 |
| 4.4.9 | HVD | 25 |
| 4.4.10 | AIR | 25 |
| 4.5 | Ladesystem / Handcart | 29 |
| 5 | Mechanische Systeme | 30 |
| 5.1 | Antriebslayout | 30 |

| | | |
|----------|-----------------------------|------------|
| 5.2 | Packaging | 30 |
| 5.3 | Systeme | 30 |
| 5.3.1 | Kühlung | 30 |
| 5.3.2 | Getriebe | 36 |
| A | Erster Anhang | I |
| A.1 | Messwerte | I |
| A.2 | Protokoll | I |
| B | Zweiter Anhang | II |
| B.1 | Software A | II |
| B.2 | Software B | II |
| | Literaturverzeichnis | III |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Krümmungshistogramm | 5 |
| 2.2 | Absolute Planungserfolge je Zustand | 6 |
| 2.3 | Beispiel eines Flussdiagramms | 7 |
| 4.1 | | 14 |
| 4.2 | | 15 |
| 4.3 | | 16 |
| 4.4 | | 17 |
| 4.5 | | 17 |
| 4.6 | Shutdown Circuit Schematic | 21 |
| 4.7 | Leiterquerschnitttabelle | 26 |
| 4.8 | Tractive System Schematic | 27 |
| 4.9 | Tractive System Schematic | 27 |
| 4.10 | | 28 |
| 5.1 | | 35 |
| 5.2 | | 36 |
| 5.3 | | 37 |
| 5.4 | | 38 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----|---|---|
| 2.1 | Randbedingungen der Längsplanung einschließlich Abtastung | 7 |
|-----|---|---|

Abkürzungsverzeichnis

USK Umfeld Sensor **K**oordinatensystem

IMD Insulation Measurment **D**evice

LiFePo4 Lithium **F**erro**P**olymere

Li-ion Lithium **I**onen

Symbolverzeichnis

| Symbol | Einheit | Beschreibung |
|---------------------|-----------------------------|--|
| a | m/s^2 | Beschleunigung |
| \dot{a} | m/s^3 | Beschleunigungsänderung |
| \dot{d} | m/s | 1.Ableitung des Querversatzes |
| d | m | Querversatz, Querachse der Frenet-Koordinaten |
| $\Delta\psi$ | $^\circ$ | Differenz zu Referenzorientierung |
| $\dot{\Delta\psi}$ | $^\circ/\text{s}$ | Änderung der Differenz zu Referenzorientierung |
| j | m/s^3 | Ruck |
| κ | $1/\text{m}$ | Krümmung |
| $\dot{\kappa}$ | $1/(\text{m}\cdot\text{s})$ | Krümmungsänderung |
| κ_r | $1/\text{m}$ | Referenzkrümmung |
| \dot{s} | m/s | 1.Ableitung der Lauflänge |
| τ_2 | s | Anfangszeitpunkt der zweiten Ruckparabel des Längspolynoms |
| τ_1 | s | Endzeitpunkt der ersten Ruckparabel des Längspolynoms |
| $t_{el\ddot{a}ngs}$ | s | Endzeitpunkt des Längspolynoms |
| u | - | Systemeingang |
| v | m/s | Geschwindigkeit |
| \dot{v} | m/s^2 | Geschwindigkeitsänderung |

1 Einleitung

Dieses Dokument beinhaltet viele wichtige Befehle zur Erstellung wissenschaftlicher Arbeiten. Zum Compilen des Dokumentes wird eine speziellen Reihenfolge benötigt. Der allgemeine Befehl hierfür lautet folgendermaßen:

```
pdflatex -synctex=1 -interaction=nonstopmode %.tex|makeindex -s %.ist -t %.slg -o %.syi  
%.syg| bibtex %|pdflatex -synctex=1 -interaction=nonstopmode %.tex|pdflatex -synctex=1  
-interaction=nonstopmode %.tex
```

Bitte die PDF-Version kopieren und nicht die L^AT_EX Version, welche aus Formatierungsgründen nicht nutzbar ist. Eingesetzt werden kann der Befehl im Programm TexStudio unter Optionen - TexStudio konfigurieren - Erzeugen in der Gruppierung Benutzerbefehle (Alt + Shift + F1-5 zum aufrufen des Befehls).

Schnelles Übersetzen und Anzeigen kann mit F1 erfolgen. Es ist jedoch zu beachten das dabei weder Verlinkungen noch Verzeichnisse (auch nicht die Bibliografie) aktualisiert werden. Während des Schreibens des Fließtextes und Einfügen von Grafiken o.ä. ist diese Übersetzung daher ausreichend und spart sehr viel Zeit

a

2 Beispiele

2.1 Referenzen

Der Abschnitt 2.2 trägt den Namen Zitieren.

2.2 Zitieren

Um zu zitieren kann der cite-Befehl genutzt werden: [Wer11]. Dieser erstellt einen Link zum entsprechenden Eintrag im Literaturverzeichnis und nutzt dabei die Datei literatur.bib, die je nach bedarf mit Programmen wie Citavi oder JabRef erstellt werden können. Dabei ist zu beachten das egal wie viele Einträge in der Datei vorhanden sind, nur diejenigen im Dokument angezeigt werden, die auch im Text genutzt werden. (Ich empfehle JabRef)

2.3 Abkürzungen / Acronyme

Auch für Acronyme wird ein Verzeichniss angelegt. Nutzen kann man diese mit USK. Dabei kann man sich aussuchen ob diese im PDF mit dem entsprechendem Verzeichniseintrag verlinkt werden oder die Beschreibung beim 'hovern' über die Abkürzung angezeigt wird. Die Auswahl geschieht über das ein oder aus kommentieren der Zeile `\renewcommand*{ \ac}[1]{ \pdftooltip{ acs{#1}}{ \acl{# 1}}}` im Hauptdokument, mit der der ac-Befehl in seiner Funktion überschrieben wird. Nutzt man USK mehrmals (wie wahrscheinlich üblich) wird die Abkürzung nicht mehr ausgeschrieben. Wenn das hovern aktiviert ist, benötigt man für diese Funktion **U**mfeld **S**ensor **K**oordinatensystem (USK) da durch das hovern diese Funktion überschrieben wird.

2.4 Aufzählung

2.4.1 Stichpunkte

- erstes Element

- zweites Element
Unterelement
- 3.tes Element

2.4.2 Nummerierung

1. erstes Element
Unterelement
2. zweites Element
Unterelement
3. 3.tes Element

2.5 Formeln

2.5.1 Variablen

Der eigentliche Befehl zum Nutzen eines Glossars in diesem Fall für Variablen ist `\gls` was in $\Delta\dot{\psi}$ resultiert. Diese Art hat eine Verlinkung auf den entsprechenden Eintrag im Glossar. Mit dem Befehl `\newcommand*{\glsc}[1]{\pdftooltip\gls*{\# 1}}{\glsentrydesc{\# 1}}` im Hauptdokument, wird eine weitere Möglichkeit der Verlinkung definiert. $\Delta\dot{\psi}$ zeigt beim hovern mit der Maus über die Variable die entsprechende Beschreibung an. Diese Funktion ist im L^AT_EXPDF-Reader nicht verfügbar, funktioniert aber in Adobe Reader und weiteren gängigen PDF-Readern.

Im Dokument `Formelzeichen.tex` sind Alle Variablen hinterlegt. In das Verzeichnis kommen nur im Dokument genutzte Variablen. Um eine neue Variable zu erstellen kann ein Eintrag kopiert und modifiziert werden. Das Schema sollte aus den vorhandenen Einträgen klar ersichtlich sein.

Möchte man beim Befehl `\glsc` die Möglichkeiten (sprich alle verfügbaren Variablen) wie bei `\gls` angezeigt bekommen (Funktion die unbedingt! zu empf), ist eine Modifikation im System notwendig. Weitere Informationen dazu, sind als Kommentar am zuvor erwähnten Definitionspunkt im Hauptdokument hinterlegt.

2.5.2 Einzelne Formeln

$$u = \begin{bmatrix} \dot{\kappa} \\ j \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

2.5.3 Gruppen

Das alignment wird durch die Position der &-Zeichen definiert

$$\dot{s} = \frac{\cos(\Delta\psi) \cdot v}{1 - d \cdot \kappa_r} \quad (2.2)$$

$$\dot{d} = \sin(\Delta\psi) \cdot v \quad (2.3)$$

$$\Delta\dot{\psi} = \kappa \cdot v - \kappa_r \cdot \dot{s} \quad (2.4)$$

$$\dot{\kappa} = u(1) \quad (2.5)$$

$$\dot{v} = a \quad (2.6)$$

$$\dot{a} = u(2) \quad (2.7)$$

2.5.4 Bereichsweise Definitionen

$$j(t) = \begin{cases} c_{21}t^2 + c_{11}t + c_{01} & \text{für } 0 < t < \tau_1 \\ 0 & \text{für } \tau_1 < t < \tau_2 \\ c_{22}t^2 + c_{12}t + c_{02} & \text{für } \tau_2 < t < t_{el\ddot{a}ngs} \end{cases} \quad (2.8)$$

2.6 Abbildungen

2.6.1 Diagramme

Möchte man Diagramme aus Matlab importieren empfiehlt sich das tikz-Format. Dieses kann in Matlab mit der Matlab2tikz-library exportiert werden (bei Fragen: Google ist dein Freund). Im Nachhinein kann dieses skaliert und bearbeitet werden in Latex. Sind die korrekten Daten also einmal erstellt, kann das Layout immer wieder ohne neuen Export angepasst werden.

2.6.1.1 Einzel

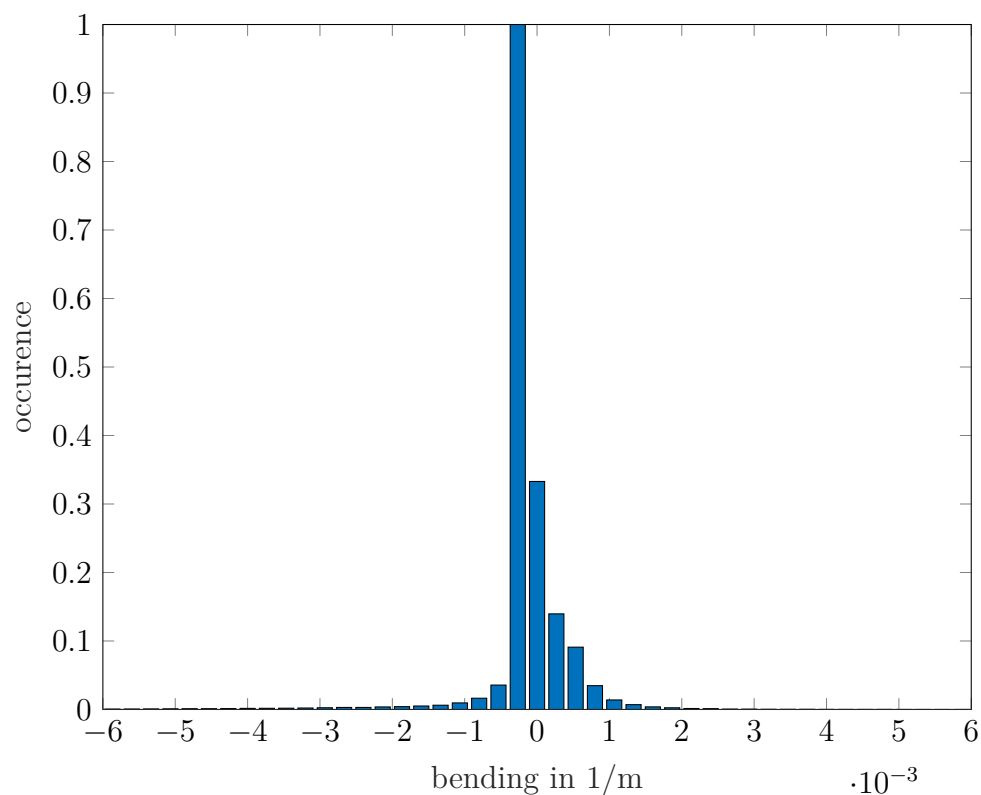


Abbildung 2.1: Krümmungshistogramm

2.6.1.2 Gruppen

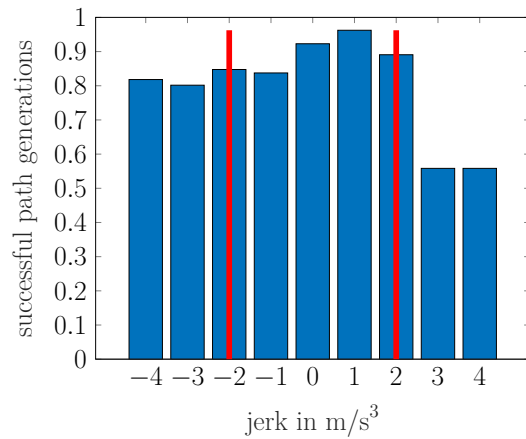
Bei dieser Art ist die Bearbeitung innerhalb des jeweiligen .tex-files der Diagramme zu beachten. Diese sind folgende:

- `\begin{LARGE}` Umgebung um die tikzpicture Umgebung herum (end nicht vergessen)
- `[scale=0.5]` hinter Begin der tikzpictureumgebung
- Legende bei Bedarf auskommentieren (bei `\addlegend`)

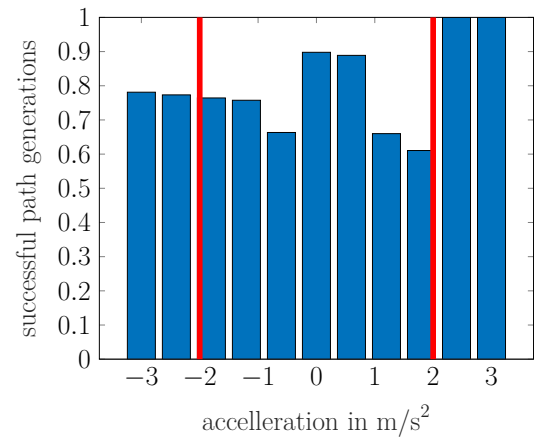
2.6.2 Bilder

2.6.3 Flussdiagramme

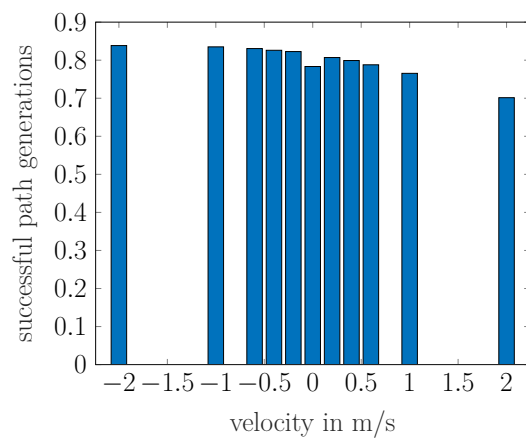
Die Elemente hierfür sind in der Datei `appearance.tex` festgelegt. Auf diese Weise wird ein Dokumentübergreifendes Design definiert und somit Konsistenz garantiert. Es ist zu empfehlen



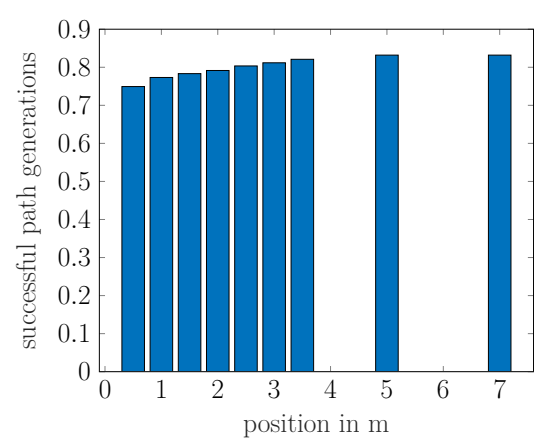
(a) Ruck



(b) Beschleunigung



(c) Geschwindigkeit



(d) Position

Abbildung 2.2: Absolute Planungserfolge je Zustand

die Flussdiagramme in einem eigenen Dokument zu designen und dann als .tikz-Datei einzubinden (so wie gezeigt). Bitte beachten, dass man für das Designen im separaten Dokument ein vollwertiges Dokument inkl. der Definitionen aus der appearance.tex braucht. Für weiteres Verständnis bitte in das eingebundene Diagramm schauen (übrigens über STRG + Linksklick auf die Angabe erreichbar). Alles auskommentierte (außer die Legende(BETA-Kommentar!)) wird für ein erfolgreiches separates Übersetzen benötigt.

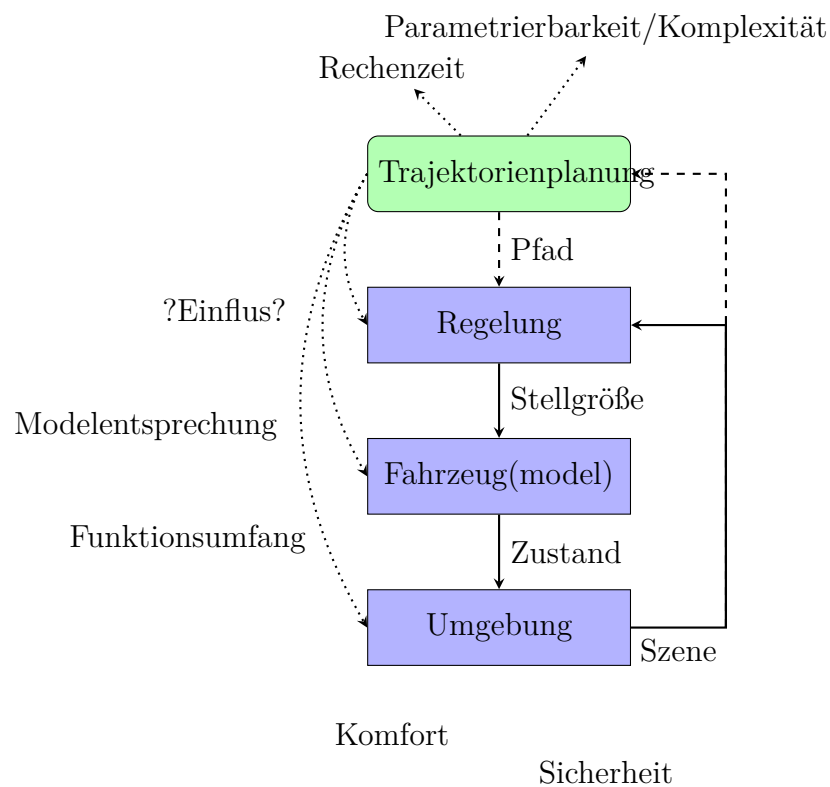


Abbildung 2.3: Beispiel eines Flussdiagramms

2.7 Tabellen

| Parameter | Minimum | Maximum | Abtastung | Komplexität |
|---------------------------|---------|---------|-----------|-------------|
| Geschwindigkeitsdifferenz | -12 | 12 | 3 | 9 |
| Beschleunigung (Anfang) | -2 | 2 | 1 | 5 |
| Ruck(Anfang) | -2 | 2 | 1 | 5 |
| | | | Gesamt | 225 |

Tabelle 2.1: Randbedingungen der Längsplanung einschließlich Abtastung

2.8 Positionierung

Die Positionierung von Elementen wie Abbildungen, Diagrammen und Tabellen erfolgt über die Optionen der Umgebung. Am Beispiel der Diagramme sind verschiedene Nutzungsmöglichkeiten zu sehen. Optionen dabei sind here(hier) - h, top(oben) - t und bottom(unten) - b. Großbuchstaben sind erzwungene Platzierungen, Kleinbuchstaben hingegen entsprechen einer

dynamischen Platzierung. Diese Dynamische Platzierung versucht dem Wunsch zu entsprechen, tut dies aber nur wenn es keine bessere Möglichkeit auf den nächsten Seiten gibt. Dies soll für eine bessere Ausnutzung der Seiten sorgen. Dabei können auch mehrere Wünsche angegeben werden (bspw.: [htb] erst here versuchen dann top und dann bottom) die nacheinander vom Programm abgearbeitet werden.

2.9 Code

Dieser Abschnitt ist noch nicht ganz ausgereift. Wer sehr viel (Pseudo-) Code in seiner Arbeit haben möchte, muss sich dahingehend weiterbilden (GIDF :D). Sich das listings package anschauen wäre schonmal ein Anfang. Sehr beliebt weil einfach ist es ebenfalls, nach fertigen Setups zu suchen und dieser zu übernehmen. Die Sprache könnt ihr in jedem Fall in der styles.tex ändern (einfach mal danach suchen, Tipp: steht in der Nähe des gleichnamigen Package ;)

```

1 ind = nahegelegenster zukuenftiger Referenzpunkt

3 if Punkt ausserhalb Referenz
    ind = Anzahl der Punkte
5 end

7 % Interpolation
    lower_ind = maximum aus 1 und ind-1
9 % Ermitteln des interpolationsverhaeltnisses
    intp_ratio = (s(k) - sref(lower_ind))/(sref(ind) - sref(lower_ind))
11 % Ermitteln von interpolierten xref, yref und psiref
    wert_intp = wert(lower_ind) + intp_ratio*(wert(ind) - wert(lower_ind))
13
    % finale Transformation
15 x(k) = xref_intp - d(k) * sin(psiref_intp)
    y(k) = yref_intp + d(k) * cos(psiref_intp)

```

3 Elektrische Systeme

(zusammen mit Leon Löser) **I**nsulation **M**earurement **D**evice (IMD)

3.1 Akkumulator

3.1.1 AMS Master und Slave

3.1.1.1 Precharge

3.1.1.2 AIR Detection

3.1.1.3 AMS

3.1.1.4 HV Indicator

3.1.1.5 HV Messung

3.1.1.6 IMD Monitoring

3.1.1.7 Strommessung

3.1.2 HV DCDC

3.2 HV Distribution

3.2.1 TSMP

3.2.2 BSPD

3.2.3 Discharge

3.3 TSAL

3.3.1 Logik auf Discharge

3.3.2 Logik auf AMS Master

4 Elektromechanische Systeme

4.1 Akkumulator

(zusammen mit Tim Schweers)

4.1.1 Zellauswahl

Wichtig bei der Zellauswahl ist das stets jede individuelle Zelle für sich begutachtet werden muss. Es gibt bei den diversen Bauformen und chemischen Zusammensetzungen gewissen Tendenzen, welche im Folgenden erläutert werden. Jedoch ist die Überlappung dieser Eigenschaften in der Regel so groß, dass sich augenscheinlich vollkommen unterschiedliche Zellen für einen ähnlichen Einsatzzweck eignen.

4.1.1.1 Vergleich der Speicherarten

Im nachfolgenden wird die Energie berechnet, die ein klassisches Formula Studentfahrzeug bei einem typischen Bremsvorgang freisetzt, und damit die Energie, die man mindestens speichern können müsste, um mit der Speicherform auf sinnvolle Art und Weise eine Rekuperation umzusetzen. Im Anschluss wird diese Energie in eine ungefähre Masse an Speicherelementen umgesetzt, um zu zeigen, inwiefern sich diese Form der Energiespeicherung für den Einsatz eignet. Im nachfolgenden wird die Masse an Speicherelementen bestimmt, um 6 kWh Energie zu speichern, da dies der typische Energieverbrauch eines Formula Student Fahrzeuges im Endurance ist. Dieser Wert wurde im Rahmen eines Benchmarkings mit den Fahrzeugen anderer Teams über die letzten Jahre 2016 bis 2019 errechnet.

Im folgenden errechnen wir die Energie, welche bei einem durchschnittlich Bremsvorgang eines Formula Student Fahrzeuges aufgenommen werden müsste.

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} * m * v^2 \quad (4.1)$$

$$m = 220 \text{ kg}$$

$$v_{\text{Start}} = 30 \text{ m/s}$$

$$v_{\text{end}} = 5 \text{ m/s}$$

$$E_{\text{kin}} \cdot \mu = 74,8 \text{ kJ}$$

Physikalische Speicher (Kondensatoren)

Kondensatoren erreichen ein sehr hohes Leistungsgewicht, zeichnen sich jedoch durch eine geringe Energiedichte aus, sowohl gravimetrisch als auch volumetrisch. daher eignet sich diese Form der Energiespeicherung nur um kurzfristige transienten zu glätten aber nicht um ganze Bremsvorgänge an Energie zu speichern.

Der Kondensator mit der höchsten energiedicht welcher bei Würth Elektronik verfügbar ist erreicht 3600J/Kg. Somit würde man ca. 20Kg dieser Kondensatoren brauchen um damit effektiv rekuperieren zu können. Bei einem Gewicht für die akuzellen alleine im TY22 von ca. 30,7Kg ergibt sich das der superkondensator nach aktuellem stand keine sinnvoll einsetzbare technologie darstellt.

Thermische Speicher (Salzakkumulator)

sind im rahmen der formula student verboten Stand 2022, daher wird hier nicht weiter auf diese form des energiespeichers eingegangen

Mechanische Speicher (Schwungrad)

Zeichnung sich durch relativ gute energiedichte als auch leistungsdichte aus und bilden damit wahrscheinlich am ehesten eine realistische form des kurzfristigen speichers für ein formula student fahrzeug. Jedoch sind solche systeme sehr komplex sowohl mechanisch, elektrisch als auch regelungstechnisch im vergleich zu den anderen systemen. Die lagerung und sichere unterbringung des schwungrades in einem formel fahrzeug birgt große technische herausforderungen

Chemische Speicher (Klassische Akkuzelle)

Der typische im Rahmen der formula studnet von allen teams eingesetzte energiespeicher. In der verfügbaren bandbreite findet man so ziemlich das optimum an leistung als auch energiedichte.

4.1.1.2 Runde vs Pouch vs Prismatische Zellen

(Puch zelle

in der regelung höhere packungsdichte möglich damit höherste volumetrische enrgie und lk-eistungsdichte in der regel weniger zellen weniger als 300 manschmal sogar nur 150 weiches gehäuse ist leicht zu beschädigen, bedarf vorischtiger umgang aufblähen beim laden und entladen muss bei konstruktion berücksichtigt werden sonst platzenb der zellen möglich

Rundzelle

geringere fertigungstoleranzen durch serienfertigung idr kein matching erforderlich hoher grad an standardisierung damit folgen mechanische austauschbarkeit und gute marktverfüg-

barkeit Hartes gehäuse damit geringe wahrscheinlichkeit von penetrastion durch spitze objekte bedarf in der regel sehr vieler zellen 600 und mehr, daher hohe mechanische komplexität

Prismatische Zellen

vorgefertigtes paket aus rund oder pouchzellen sehr wenige zellen kleiner 150 sehr geringe mechanische komplexität da das paket in der regel mit elektrischen und mechanischen anbindungspunkten kommt meist sind auch schon temperatur sensoren integriert meist jedoch sehr schwer aufgrund der ausrichtung auf industrielle bedürfnisse

Im rahmen des TY22 haben wir uns für den einsatz von rundzellen entschieden da diese nach unserem kenntnisstand gravimetrisch die höchste energiedichte liefern wir uns langfristig auf ein konzept festlegen wollten und so bei einsatz einer neuen akkuzelle nur geringfügige änderungen an dem akku machen müssen sofern das 18650 format weiterhin populär bleibt. Außerdem war dies im rahmen der lieferschwierigkeiten im bereich der akuzellen im jahr 2021 die beste option um tatsächlich auch an akkuzellen für den bau des fahrzeuges zu kommen)

4.1.1.3 Zellchemie und Rekuperation

Im folgenden eine tabellarische gegenüberstellung von **Lithium FerroPolymere** (LiFePo_4) zellen und **Lithium Ionen** (Li-ion) Zellen. Diese Tabelle basiert auf einer Sichtung von mehr als 30 verschiedenen Akkuzellen welche im rahmen des Projektes auf ihre Eignung für den Einsatz im Fahrzeug geprüft wurden. Liion umfasst dabei ein konglomerat aus diversen zellchemien welches eigentlich auch lifepo4 mit einschließt. Zur vereinfachung des vergleiches wurden alle liion chemieen mit einem typ. arbeitsbereich von 3-4,2 hierunter zusammengefasst. Die hierbei aufgrund der hohen löeistungsdichte am häufigsten vertretene Chemie ist LiNiMnCoO_2

In der analyse ergibt sich das bild das sich **Lithium FerroPolymere** (LiFePo_4) zellen für ein konzept mit hohem rekupoerationsanteil aber niedriger gesamtkapazität eignet während sich liion zellen für ein konzept mit niedrigerem rekuperationsanteil und hoher gesamtkapazität eignen. Weiterhin muss hier berücksichtigt werden das Lifepo4 zellen meist ein niedrigeres temperaturmlimit beim laden als beim entladen haben was im betrieb zu einem vorzeitigen ausfall der rekuperation durch zu hohe akkutemperaturen führten kann. daher ist das temperatur managment hier von besoienderer bedeutung.

Das konzept mit hohen rekuströmen ist nur beim AWD Fahrzeug sinnvoll anwendbar da hier auch die gesamte bremsenergie, abzüglich der verlsute im antriebsstran und einiger spitzenlasten welche die mechanische bremsanlage abfangen muss, verfügbar ist. Aufgrund der hohen komplexität des AWD systemes wurde beim TY22 auf ein 2WD System gesetzt. Daher ist der einsatz von konkret LiNiMnCoO_2 zellen am ehesten sinnvoll.

4.1.1.4 Temperaturmodell der Zelle

Auf Basis der Masterarbeit Experimentelle Untersuchung von Batteriesystemen im simulierten niedrigen Erdorbit von Agnes Klein an der Universität Stuttgart konnte ich ein simples thermisches Modell der Akkuzelle in einer Excel-Tabelle erstellen. Bei dieser Arbeit wurde unter anderem die Akkuzellen des Typs VTC6 innerhalb einer thermischen Vakuumkammer betrieben und die thermischen Parameter der Zelle ermittelt. In folgender Grafik finden Sie die dabei ermittelten Parameter.

| | Sony US18650VTC6 |
|---|---------------------|
| Leitwert Wärmeleitung Batterie / $\frac{W}{K}$ | 0,022 |
| Leitwert Wärmeleitung Kammer / $\frac{W}{K}$ | 0 |
| Umgebungstemperatur / K | 296,15 |
| Wärmekapazität Kam- mer / $\frac{J}{K}$ | 60.000.000 |
| Wärmekapazität Batte- rie (innen) / $\frac{J}{K}$ | 22 |
| Wärmekapazität Batte- rie (Oberfläche) / $\frac{J}{K}$ | 22 |
| Strahlungsfaktor Gr = $\epsilon \cdot A / m^2$ | 0,004 |
| Temperaturkoeffizient $\alpha_T / \frac{1}{K}$ | 0,0004 |

Tabelle 11: Parameter des thermischen Modells

Abbildung 4.1

Damit ergibt sich folgendes Modell.

$$T_{\text{cell } i+1} = (I_{\text{cell}}^2 \cdot R_{\text{cell}} - G_{\text{th}} \cdot (T_{\text{cell } i} - T_{\text{u}}) - G_{\text{r}} \cdot \sigma \cdot (T_{\text{cell } i} - T_{\text{u}})^4) \cdot \frac{1}{C_{\text{Cell}} \cdot m_{\text{Cell}}} + T_{\text{cell } i} \quad (4.2)$$

Mit diesem Modell ergeben sich folgende Kurvenverläufe für eine Auswahl Entladeströme

Mithilfe der folgenden Grafik von der Universität BRNO (MATEC Web of Conferences 313, 00045 (2020)) können wir einen Plausibilitätscheck durchführen. Wir haben hier Messdaten von der Sony VTC6. Hierbei sind jedoch die Testbedingungen unbekannt. Als grobe

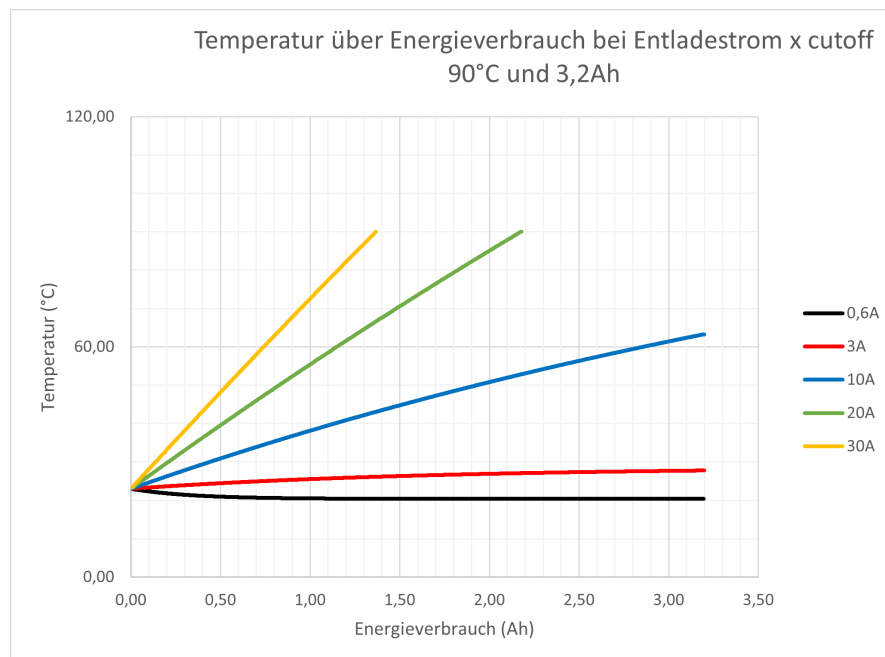


Abbildung 4.2

Abschätzung sollte dies jedoch ausreichen

Wir sehen das das erstellte modell für den 10A graph um ca. 3°C abweicht. Weiterhin sehen wir das bei der 20A linie die 90°C ca. 0,5Ah früher erreichen. Diese Abweichungen nicht insignifikant, zeigen jedoch das unser modell eher zu hohe als zu niedrige temperaturen ausgiebt was für die zuverlässigkeit des fahrzeuges positiv ist da eine auslegung der kühlung mit diesem modell wahrscheinlich zu einer überkühlung und damit zu einem zu hohen gewicht des kühl-systemes führt was für das erste fahrzeug kein sonderliches problemn darstellt. Die abweichung dürfte darauf zurückzuführen sein das die modellparameter im vakkum ermittelt worden und insofern wärmeübertragung durch konvektion etc. nicht berücksichtigt werden konnte. Um diesem sachverhgalte weiter auf die gründe zu gehen wurde im anschluss eine Simulation mit ansys fluent durchgeführt.

In dieser simulationb wurde ein gesamter akkustack in seinem gehäuse simuliert. dabei wurde mit einem konstanten strom von 7,2A simuliert. Dieser strom ergibt sich aus der rundenzeit-simulation siehe sectrion. Die Simulation wurde für 32min laufen gelassen um eine gesamtes endurance darzustellen. Ziel der simuzlation ist es die effekte der konvektion zu berücksichtigen aber auch zu sehen in wiefern sich die zellen gegenseitig beeinflussen. Allerdings wurden auch diverse vereinfachungen getroffen insofern das die akkuzellen sich uniform aufwärmn. In der realität dürfte man am negativen pol der akuzelle eine deutlich höhere temperatur feststellen könne als auf der positiven seite. weiterhin wurden diverse teile wie die elektrische isolierung etc. weggelassen da dies den simulations aufwand sonst erheblich vergrößert hätte und die

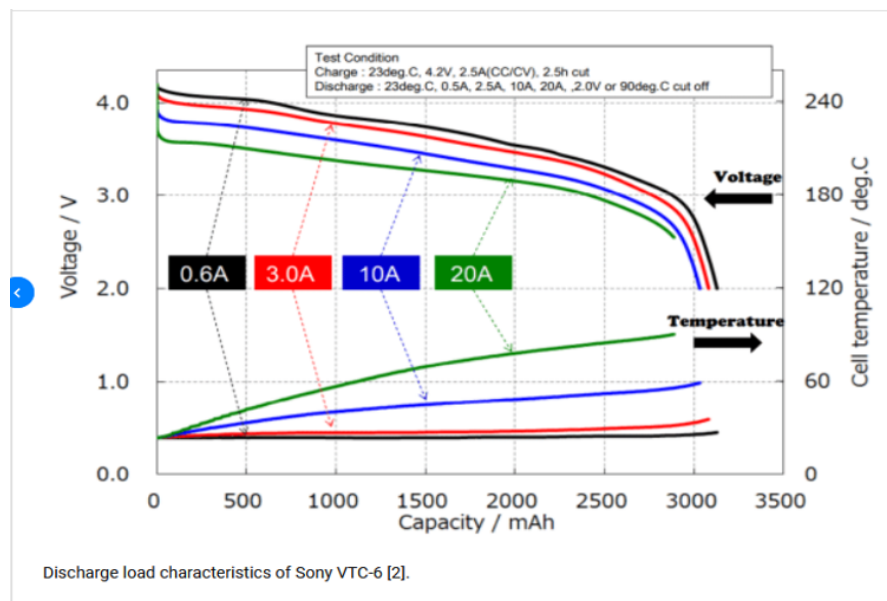


Abbildung 4.3

simulation so schon 2 tage benötigt hat. zur analyse, wir sehen nach der simulationszeit eine hot spot temperature von 64,85°C und eine niedrigste temperatur von 62,85°C. In dieser hinsicht stimmt die ansys simulation eher mit der 10A kurve aus unserem modell zusammen als mit den messdaten. Zusammengefasst stellt man fest das definitiv weitere arbeit in diesem themenbereich von nöten wäre um zu einer optimalen lösung zu kommen dies jedoch aufgrund des engen zeitplanes und des enormn anderweitigen aufwandes nicht möglich ist.

4.1.1.5 Die „Ideale“ Akkuzelle

4.1.1.6 Der Stack Aufbau

Halterkonstruktion Maintenace Plug design AMS Slave montage

4.1.1.7 Die Busbar

Busbar material und dicken auswahl Schweißverfahren

4.1.1.8 Der Accumulator Conatiner

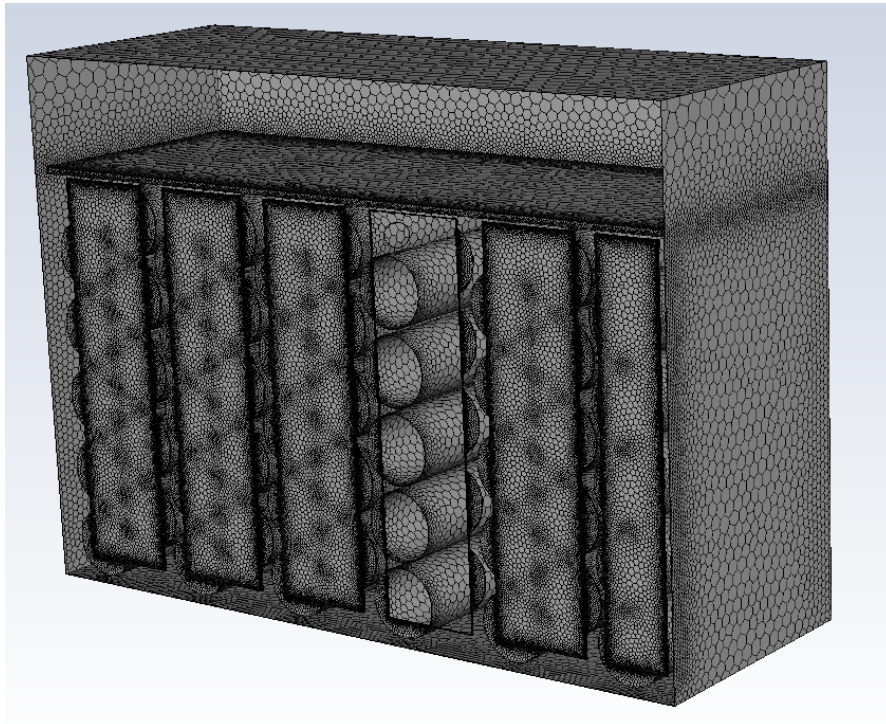


Abbildung 4.4

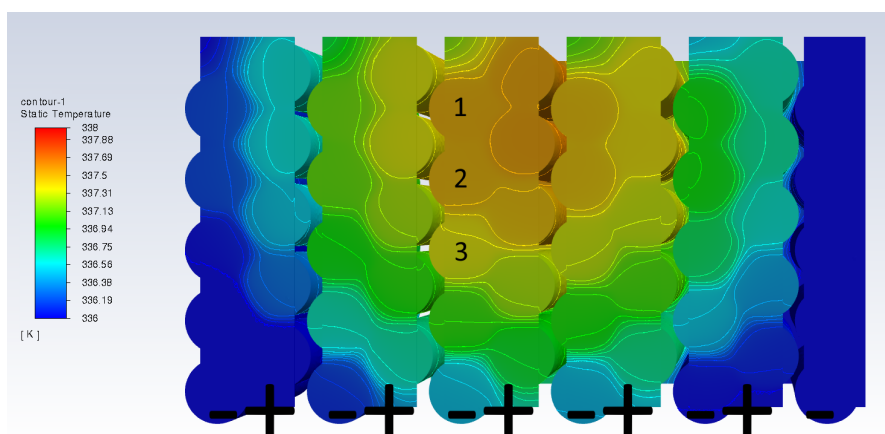


Abbildung 4.5

4.2 Elektromotor

Im großen und ganzen gibt es für die Auswahl des Elektromotors 4 verschiedene in der Formula Student allgemein anerkannte Lösungen. Diese werden nachfolgend erläutert.

4.2.1 Emrax

Beim Emrax Motor handelt es sich um eine Axial Flux Permanent erregte synchron Maschine PMSM. zusammenfassend sind die emrax motoren sehr flach haben aber einen großen durchmesser. Sie zeichnen sich durch ein hohes drehmoment und damit verhältnismäßig niedrige drehzahlen aus, im bereich von 7-8K RPM. Sie sind nur in recht großen formaten und damit großen leistungen erhältlich so das ein 1 oder 2 motoren antriebskonzept realisierbar ist. Außerdem handelt es sich hierbei um eine reine kaufLösung.

4.2.2 AMK

Die AMK motoren sind radial flux PMSM. Sie sind insofern eher lang und haben kleine durchmesser. Die bauform gleicht insofern eher dem klassischen elektromotor. Sie zeichnen sich durch extrem hohe drehzahlen aus, oberhalb der 20k und damit durch eine enorme leistungsdichte. Sie sind in eher kleinen leistungsdichten zu bekommen so das beinahe nur ein Allrad antrieb sinnvoll umsetzbar ist. Auch hierbei handelt es sich um eine reine kaufLösung.

4.2.3 Fischer

Die Motoren von fischer sind im großen und ganzen gleichzusetzten mit den amk motoren. der große unterschied ist das hier das gehäuse selbst designt werden muss und alle teile selber gefertigt werden müssen. Die stellt große herausfordferungen die fertigungstechnik da es sich dabei auch um 5 achs gefräst6e titanteile handelt.

4.2.4 Selbstbau

Der selsbtbau ist quais die nächste entwicklungsstufe nach dem fischer motor. Num gilt es nicht nur den motor selber zu fertigung sondern auch die gesamte vorauslegung zu machen. es gibt nur wenige teams die einen selbstbau wagen, und noch werniger die es erfolgreich umsetzten.

4.2.5 Entscheidungsfindung

Die Entscheidung ist an diesem Punkt sehr einfach. Im rahmen dieser projektabreit entsteht der erste e antrieorb aus dem hause baltic racing. damit kommen enrom viele große heruasfor-

derung. das heißt man sollte entweder die einfachste oder die nächst einfachste Lösung nehmen um am ende zu dem ziel des fahrenden autos zu kommen. Und da sich nur der emrax motor effektiv für einen zwei rad antrieb eignet ist es der emrax motor gewotrden.

4.3 Wechselrichter

Der wechselrichter wird benötigt um den motor sauber anzusteuern. Ziel ist es aus gleichstrom aus dem akku einen Frequenz und amplituden regelbaren strom zu erzuegen mit dem der motor kontrolliert werden kann. Hier gibt es auch wieder diverse hersteller die im folgenden verglichen werden sollen

!!!Tabelle!!!

4.4 Kabelbaum

(zusammen mit Nico Bieberich) Die Entwicklung des Kabelbaumes erfolgt in der regel recht früh im entwicklungsprozess und zieht sich recht lange, da fast jede änderung an den elektrischen systemen auch eine änderung am kabelbaum nachsichzieht. Der kabelbaum lässt sich bei einem elektrofahrzeug iun mehrere funktionsgruppen unterteilen. Einmal haben wir den Datenbuss zur kommunikation der Steuergeräte im Fahrzeug. In unserem fall ist das ein CAN Bus. Dann den sogenannten Shudown circuit zur absicherung der systeme bzw. einleiten eines sicheren zusatendes in dem fall das ein fehler auftritt. Weiter gibt es die gruppe der Hochvolt kabel dies umfasst leistungsführende leiter für akku inerter und Motor als auch HV signalleiter für z.b. die TSMP. Dann haben wir noich die LVS Versorgung für alle systeme im Fahrzeug. Dann gibt es den Sensor baum dieser umfasst die versorgungs als auch datenleitungen für jegliche sensorik im fahrzeug Abschließend gibt es noch alles andere was sich nicht hierunter kategorisieren lässt. Dies umfasst z.b einzelne analoge oder digitale datenleitungeng wie z.b die Ethernet Leitung für den FSG Logger oder die Abzweigleitung des Bremsdruckes für das BSPD. Auf die einzelnen gruppen wird im folgenden detailliert eingegangen.

Wichtige generelle Überlegungen beim Kabelbaum sind jegliche Maßnahmen die den Kabelstrang DAU sicher machen. Sprich verpolsichere steckverbinder Belegung der stecker so das ohne verpolschutz kein kapitalschaden eintritt. sauber logische farbcodierung sowohl der Kabel als wenn möglich auch der Steckverbinder sodass beim zusammenbau keine fehler gemacht werden und dies einheitliche am besten über jahre durchgängige durchgeführt.

!!!Liste bzw. übersicht mit Steckverbindern belegungen und farbe!!!

Steckertypen: Molex Micro Fit both Wire Mount not sealed (HV) 2-20 Molex CMC/CMX W2B Panel Mount Sealed (LV) 28-154 TE HD10/20/30 both both sealed (HV) 3-47 Molex Mizu P 25 W2W Wire Mount sealed (LV) 2-4 Binder Sub M9 both both sealed (LV) 2-8 Binder M12 Power both both sealed (HV) 3-4 Würth WRBHD2.54 W2B Wire Mount not sealed (LV) 10 Typ K Stecker RJ45 stecker

Kabel: (Igus Kabel!!!) UNITRONIC FD P plus A, 0028660, 4x0.25 White 24V Brown GND Green CANH / Signal Yellow CANL / 5V

Bedia Farben: White 24V WhiteXGelb 5V WhiteXRosa 12V WhiteXRot 3V (Battery) Brown GND Green CANH Yellow CANL Blue SDC BlueXred SDC_{end} BlueXWhite indicator (geht nur wenn kabel nicht HV sein muss, sonst blaues HV Kabel) Violett Sensor-Signal

detakta HV kabel Red TSMP+ und HV+ Black TSMP- HV- Blue SDC/Interlock/indication Coroflex HV high power orange 16 & 25mm²

Unitronoic LAN gelb

Belegung mit MizuP25 Steckern Can Schwarz 4pin 1 GND (Brown) 2 CANH (Green) 3 24V (White) 4 CANL (Yellow) Sensoren Weiß 4pin 1 GND (Brown) 2 5V (Yellow) 3 24V (White) 4 Signal (Green) Shutdown Schwarz 3Pin 1 SD_{in} 2 SD_{out} 3 SD_{LED} Servos weiß 3pin 1 Signal (Gelb) 2 GND (Braun) 3 8,3V (Rot) Brakelight weiß 3pin 1 Signal (Violett) 2 GND (Brown) 3 24V (White)

Belegung Binder 4 Pin (noch zu überarbeiten) CAN 1 GND 2 CANH 3 12V 4 CANL

Typk nur mit extra TypK Stecker

4.4.1 CAN-Bus

Beim CAN Bus handelt es sich um ein Multi-Master Bus mit zwei normalerweise verdrehten symmetrischen Datenleitungen. Wichtig zu beachten ist das der CAN-Bus immer als linientopologie aufgebaut werden sollte und dabei die anzahl an stichleitungen möglichst klein zu halten ist. Weiterhin muss an enden der Linie ein 120Ohm Widerstand eigesetzt werden. Für Stichleitungen empfiehlt sich bei Problemen in der busskommunikation ein 4,7kOhm widerstand o.ä. einzusetzen.

4.4.2 LVS Versorgung

Die LVS Versorgung läuft in einer Sterntopologie von der Fusebox aus. Hier befinden sich mittels mikrokontroller überwachte Sicherungen für alle elektrischen Verbraucher. Ausnahmen hiervon sind die versorgung des SDC welcher am LVMS starten muss als auch die versorgung des BSPD welches direkt vom LVMS versorgt werden muss. Die Versorgung der Steuergeräte welche per CAN Bus mit der Fusebox verbunden sind läuft zusammen in einem 4 Ader Kabel

mit dem CAN Bus und entspricht daher eher einer Linientopologie. Die Masseleitung laufen an Insgesamt 3 verschiedenen Sternpunkten auf das Chassis zusammen. Einer befindet sich am abnehmbaren Heck des Fahrzeuges, einer rechts hinter der Firewall im Fahrzeug und einer im Vorderbau des Fahrzeuges

4.4.3 Sensor Kabelbaum

Der Sensorkabelbaum besteht aus beinahe ausschließlich 4 Ader Kabeln welche 24V, 5V, GND und ein Signal führen. Diese Kabel laufen sternförmig von jedem der Sensorhubs zu den entsprechenden Sensoren

4.4.4 Shutdown Circuit

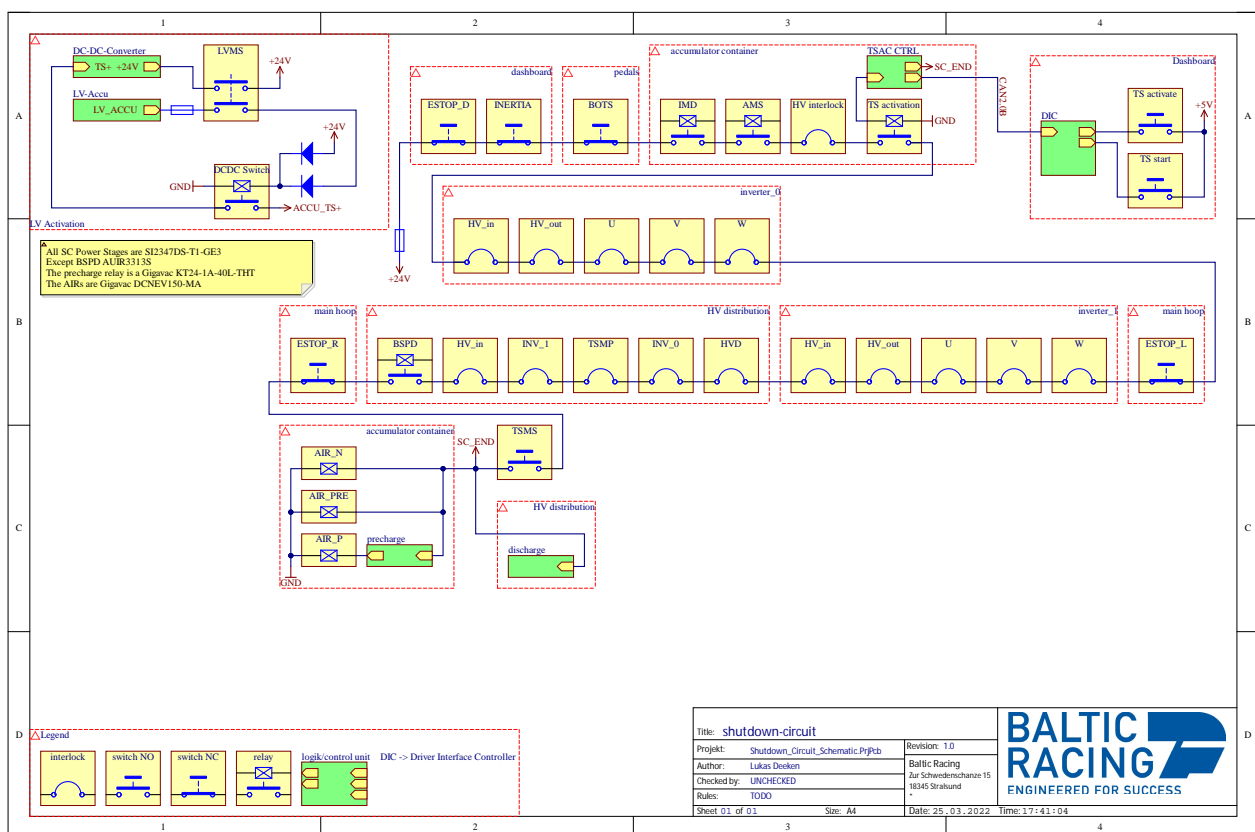


Abbildung 4.6

In der obenstehenden Graphic ist der sogenannte shutdown circuit abgebildet. Oben Links befindet sich die Versorgung bzw. der Anfang des SDC bestehend aus dem Kickstarter für den

HVDCDC und der hauptschaltung für das LVMS. Oben rechts befindet sich die TS activation Logik. Im Dashboard des fahrzeuges befinden sich 2 knöpfe, einer um das TS einzuschalten und einer um die Motoren freizuschalten und damit das Losfahren zu ermöglichen. Die kommunikation erfolgt hier über den CAN bus direkt zum AMS Master. Auf dem rest des blattes ist von oben nach unten der gesamte shutdowncircuit mit all seinen elementen abgebildet. Am ende des Shutdown circuit befinden sich die AIR welche direkt vom SDC betrieben werden müssen. Weiterhin wird dort das SDCEND Signal abgezweigt welches den ausgangstatus des SDC abzweigt und z.b dem Discharge bereitstellt.

Wichtig beim Shutdowncircuit zu beachten ist das an möglichst vielen stellen stichleitungen eingebracht werden um den SDC an möglichst vielen stellen überwachen zu können. Dies hilft enorm bei der Fehlereingrenzung. Weiter sollter der Querschnitt der Kabel nicht zu dünne gewählt sein. Der Strom im Shutdown Circuit liegt bei ca. 0.24A. Da hierrüber ja die AIRs direkt mgeschaltet werden müssen und der SDC hat am ende eine beträchtliche länge im Fahrzeug.

4.4.5 Kabeldimensionierung

Bei Der Kabeldimensionierung wurden 2 unterschiedliche Ansätze angewandt. Einmal die dimensionierung nach DIN VDE 0298-4 und einmal anhand einer generischen Tabelle. Zweiteres empfiehlt sich eigentlich standardmäßig für so gut wie alle Anwendungen. Ersterer ist hierbei idr nur für soetwas wie die Stromführenden HV Leiter sinnvoll anzuwenden. Die Querschnittberechnung ließe sich mit einem physikalischen Modell noch weiter treiben auf dies wurde jedoch aufgrund des zeitmangels verzichtet. Folgend ist einmal die bisher verwendete tabelle aufgeführt. Die Quelle der Tabelle war <http://www.learn-about-electronics.com/> allerdings ist dies mittlerweile nicht mehr aufzufinden. Bei der Tabelle ist zu beachten das die Ströme für Chassis Wiring verwendet werden. Unter Power Transmission versteht man hier leiter die mit geringen verlusten z.b in einer industriellen umgebung ströme über lange wege z.b. von Haus zu Haus leiten sollen.

Nun soll im Anschluss einmal die Berechnugn der Querschnitte nach DIN VDE 0298-4 (Anhang) dargestellt werden.

Nach 9.4 können wir für ungleichmäßige Ströme den Quadratischen Mittelwert zur Leiterquerschnittsbestimmung ansetzen. Den Quadratischen mittelwertes des Stromes der Elektromotoren erhalten wir indem wir das mittlere Drehmoment am elektromotor bestimmen, hierfür müssen wir auf die Daten aus der Rundenzeitsimulation zurückgreife, in zukunft empfiehlt es sich die einmal mit den Daten aus dem tatsächlichen fahrzyklus nachzurechnen. Das Drehmoment was wir hier erhalten liegt bei 68,2Nm pro Motor. Im Handbuch des Emrax 208

(Anhang) befindet sich ein Parameter der uns den RMS Strom in A pro NM Drehmoment an der Ausgangswelle angibt. Dieser liegt bei $0,8 \text{ Nm/A}_{\text{RMS}}$.

Damit lässt sich ermitteln, dass der quadratische Mittelwert des Stromes bei ca. 85,3 A liegt. Nun lässt sich mit Hilfe von Tabelle 9.2 der Strom für den Verlegungstyp E (Verlegung wie Motorleiter) für verschiedene Kabelquerschnitte ermitteln. Wir ermitteln für 16mm^2 einen Strom von 80A für 3 belastete Leiter und für 25mm^2 respektive einen Strom von 101A. Zur Sicherheit wurde hier an der Stelle auf 25mm^2 zurückgegriffen, allerdings sollten zukünftig durchaus mal Versuche mit 16mm^2 für die Motorleiter unternommen werden, da dies zu einer durchaus signifikanten Gewichtsersparnis führen kann.

Für den DC Bus wurde das gleiche Vorgehen angewandt. Hier bekommen wir den Strom direkt aus der Rundenzeitsimulation mit 53A. Das ergibt nach Typ E mit 2 belasteten Leitern 10mm^2 Querschnitt. Jedoch konnten wir keine Steckverbinder finden, welche 10mm^2 Kabel akzeptiert und ein entsprechendes Rating hat. Weshalb wir hier auf 16mm^2 und damit einen max. Strom von 80A gegangen sind. Auch hier gilt wieder, dass noch Möglichkeiten der Gewichtsersparnis bestehen.

4.4.6 Hochvolt Kabelbaum

Der HV Kabelbaum besteht aus 3 Kabelsträngen, einer befindet sich innerhalb des Akkus, einer innerhalb der HV Distribution und einer verbindet diese beiden Geräte sowie die Motoren und die Inverter miteinander.

Wichtig zu beachten ist, dass alle HV Kabel orange und entsprechend isoliert sein müssen. Außerdem dürfen HV und LV Kabel nicht zusammen verlegt werden bzw. sollte es der Fall sein, müssen die LV Kabel auch nach HV Spezifikation isoliert sein. Es gilt besondere Aufmerksamkeit bei den Leiterquerschnitten sowie den Mindestbiegeradien an den Tag zu legen. Bei den Steckern ist besonders das Voltage Rating problematisch, da hier gerne nur das AC oder DC Rating gegeben wird und hier dann entsprechend umzurechnen ist oder wird. Hierbei wird das AC Rating mal 1.41 gerechnet, um das korrespondierende DC Rating zu erhalten.

Bei den HV Leitern ist die Möglichkeit von Aluminium Leitern interessant. Hier wurde damals von der Firma Coroflex die Zusage gemacht, dass sollte ein Auftrag für ein derartiges Kabel reinkommen, würde man für das Team eine entsprechende Menge kostenlos mitfertigen. Evtl. ließe

sich hier in zusammenarbeit mit anderen teams eine nennenswerte menge abnehmen so das sich dir produktion für ein unternehmen lohnt. Hierbei allerdings beachten das die bisherige dimensionierung nur für CU kabel gilt und dementsprechend im besten fall noch einmal mit dem Unternehmen zusammen durchgeführt werden sollte.

Ansonsten gilt zu beachten das man gerade diese Mehradrigen Kabel, sprich kabel mit 3 mal 25mm^2 , wie sie dieses Jahr verwendet werden nicht serienmäßig in orangener Ausführung bekommt was bedeutet das man das Kabel auf jeden Fall einmal in orangenen Schrumpfschlauch einschrumpfen muss. In diesem Zuge wurde bei diesem fahrzeug auch die Schirmung um die kabel selbst eingebracht da dies im gegensatz zur kommerziellen lösung eine gewichtersparnis von ca. 1kg brachte. Außerdem sollten jegliche stellen wo die isolierung der HV kabel verletzt wird z.b an kabelschuhe etc. immer ein Schrumpfschlauch mit innenkleber angebracht werden. es empfehlen sich besonders schläuche mit einem Schrumpfungsverhältnis 3:1. Hierbei gilt zu beachten das es diese schläuche idr. auch nicht in Orange gibt weshalb in dem fall immer ein klebeschrumpfschlauch als auch ein orangener angebracht werden sollte. Für die mehradrigen kabel wurde sich entschieden das diese insgesamt eine gewichtersparnis bringen und am ende für ein deutlich saubereres und ordentlicheres Gesamtbild sorgen. Bei der Montage der HV Leiter ist zu beachten das alle verbindungen bei der montage wie z.b. die verschraubung der kabelschuhe an die TSMP fotografiert werden bevor sie in schrumpfschlauch etc. eingepackt werden. Dies ist für die technische abnahme notwendig damit der Prüfer die saubere montage der verbidnung überprüfen kann ohne das etwaiger schrumpfschlauch weider entfernt werden muss. Weiterhin hat isoband im bereicht HV absolut keine sichere Wirkung und wird auch von der FSG nicht als adequater isolator angesehen. Für alle verbindungen etc. gilt stets diese nach datenblatt zu machen. Heißt wenn beim TSMP steckverbinder eine schraube und eine Mutter dabei sind dann werden diese verwendet und nicht irgendwelche Mechanismen zur Schraubensicherung erdacht. Weiterhin gilt zu beachten das jeder einzelne stromführende leiter einzeln abgesichert sein muss, dies erschwert z.b das parallelschalten von mehrern Pins in einem Steckverbinder zum leiten des Stromes da dann am Steckverbinder für jeden parallelen kontakt entsprechende sicherungen vorgesehen sein müssen. Dem aufmerksamen leser fällt an dieser stelle auf das bei dem Elektromotor in alle drei leitern keine separaten sicherungen vorgesehen sind. Dies lässt sich darauf zurückführen das der Inverter zugekauft ist und laut datenblatt über einen entsprechendne überstromschutz verfügt. Im Selbstbau Fall müssten hier 3 Sicherungen wie aus dem akku bekannt verbaut werden.

4.4.7 Sicherungsauslegung

Die Sicherung muss stets der schwächste Teil eines Stromkreises sein. In diesem Sinne muss also bei der Auslegung der Stecker darauf geachtet werden, dass deren Rating höher ist als das der Sicherung oder wir müssen im Umkehrschluss schauen, dass das Rating der Sicherung niedriger ist als das der anderen Komponenten. Für DC-Sicherungen mit einer derart hohen Betriebsspannung und einem derart hohen Kurzschlussstrom reichen die klassischen Flachsteck-Sicherungen, wie sie im LV-Bereich zu finden sind, nicht mehr aus. Hier müssen z.B. sandgefüllte Sicherungen verwendet werden. Die Krux dabei ist es, den Lichtbogen, der sich beim Durchbrennen der Sicherung bildet, zu löschen. Dies ist bei einer typischen KFZ-Sicherung nicht gegeben. Zum Thema Kurzschlussstrom, dieser errechnet sich aus dem Innenwiderstand des gesamten Akkus und der anliegenden Spannung. Wir rechnen hier immer im schlimmsten Fall, sprich alle Zellen sind, was den Innenwiderstand angeht, eher im niedrigeren Bereich und der Akku ist voll geladen. Dabei reden wir von 556,75 V Spannung und 0,528 Ohm Innenwiderstand (Berechnung des Innenwiderstands einfügen: 132S 5P 0,02 Ohm pro Zelle). Daraus ergibt sich ein Kurzschlussstrom von 1054 A. Der Kurzschlussstrom sollte mit dem rated breaking current verglichen werden. Ist der Kurzschlussstrom niedriger, ist die Sicherung geeignet. Dann haben wir bei der Sicherung natürlich das Spannungsrating, welches eingehalten werden muss. Auf Basis dieser Daten kann eine Sicherung bzw. eine Baureihe herausgesucht werden, in unserem Fall ergaben die Recherchen die AE7 EV Fuse von Adler Elektrik. Die Querschnittsberechnung hat ein Kabel von 16mm^2 und daher 80A ergeben. Diese 80A legen wir auch bei der Sicherung zu Grunde. Dies ergibt die AE72800i25. Daraufhin lässt sich im Datenblatt am Zeit-Strom-Schaubild ablesen, wie lange die Sicherung bei unterschiedlichen Strömen braucht, um auszulösen. Es ergibt sich eine Zeit von ca. 400 s bei einem Strom von 150A und eine Zeit von ca. 0,5ms bei Kurzschlussstrom.

4.4.8 Steckverbinder Auswahl

HV Stecker: Interlock, Trennung interlock vor HV

4.4.9 HVD

4.4.10 AIR

| AWG gauge | Conductor Diameter Inches | Conductor Diameter mm | Ohms per 1000 ft. | Ohms per km | Maximum amps for chassis wiring | Maximum amps for power transmission | Maximum frequency for 100% skin depth for solid conductor copper |
|-------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|-------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| 0000 | 0.46 | 11.684 | 0.049 | 0.16072 | 380 | 302 | 125 Hz |
| 000 | 0.4096 | 10.40384 | 0.0618 | 0.202704 | 328 | 239 | 160 Hz |
| 00 | 0.3648 | 9.26592 | 0.0779 | 0.255512 | 283 | 190 | 200 Hz |
| 0 | 0.3249 | 8.25246 | 0.0983 | 0.322424 | 245 | 150 | 250 Hz |
| 1 | 0.2893 | 7.34822 | 0.1239 | 0.406392 | 211 | 119 | 325 Hz |
| 2 | 0.2576 | 6.54304 | 0.1563 | 0.512664 | 181 | 94 | 410 Hz |
| 3 | 0.2294 | 5.82676 | 0.197 | 0.64616 | 158 | 75 | 500 Hz |
| 4 | 0.2043 | 5.18922 | 0.2485 | 0.81508 | 135 | 60 | 650 Hz |
| 5 | 0.1819 | 4.62026 | 0.3133 | 1.027624 | 118 | 47 | 810 Hz |
| 6 | 0.162 | 4.1148 | 0.3951 | 1.295928 | 101 | 37 | 1100 Hz |
| 7 | 0.1443 | 3.66522 | 0.4982 | 1.634096 | 89 | 30 | 1300 Hz |
| 8 | 0.1285 | 3.2639 | 0.6282 | 2.060496 | 73 | 24 | 1650 Hz |
| 9 | 0.1144 | 2.90576 | 0.7921 | 2.598088 | 64 | 19 | 2050 Hz |
| 10 | 0.1019 | 2.58826 | 0.9989 | 3.276392 | 55 | 15 | 2600 Hz |
| 11 | 0.0907 | 2.30378 | 1.26 | 4.1328 | 47 | 12 | 3200 Hz |
| 12 | 0.0808 | 2.05232 | 1.588 | 5.20864 | 41 | 9.3 | 4150 Hz |
| 13 | 0.072 | 1.8288 | 2.003 | 6.56984 | 35 | 7.4 | 5300 Hz |
| 14 | 0.0641 | 1.62814 | 2.525 | 8.282 | 32 | 5.9 | 6700 Hz |
| 15 | 0.0571 | 1.45034 | 3.184 | 10.44352 | 28 | 4.7 | 8250 Hz |
| 16 | 0.0508 | 1.29032 | 4.016 | 13.17248 | 22 | 3.7 | 11 k Hz |
| 17 | 0.0453 | 1.15062 | 5.064 | 16.60992 | 19 | 2.9 | 13 k Hz |
| 18 | 0.0403 | 1.02362 | 6.385 | 20.9428 | 16 | 2.3 | 17 kHz |
| 19 | 0.0359 | 0.91186 | 8.051 | 26.40728 | 14 | 1.8 | 21 kHz |
| 20 | 0.032 | 0.8128 | 10.15 | 33.292 | 11 | 1.5 | 27 kHz |
| 21 | 0.0285 | 0.7239 | 12.8 | 41.984 | 9 | 1.2 | 33 kHz |
| 22 | 0.0254 | 0.64516 | 16.14 | 52.9392 | 7 | 0.92 | 42 kHz |
| 23 | 0.0226 | 0.57404 | 20.36 | 66.7808 | 4.7 | 0.729 | 53 kHz |
| 24 | 0.0201 | 0.51054 | 25.67 | 84.1976 | 3.5 | 0.577 | 68 kHz |
| 25 | 0.0179 | 0.45466 | 32.37 | 106.1736 | 2.7 | 0.457 | 85 kHz |
| 26 | 0.0159 | 0.40386 | 40.81 | 133.8568 | 2.2 | 0.361 | 107 kHz |
| 27 | 0.0142 | 0.36068 | 51.47 | 168.8216 | 1.7 | 0.288 | 130 kHz |
| 28 | 0.0126 | 0.32004 | 64.9 | 212.872 | 1.4 | 0.226 | 170 kHz |
| 29 | 0.0113 | 0.28702 | 81.83 | 268.4024 | 1.2 | 0.182 | 210 kHz |
| 30 | 0.01 | 0.254 | 103.2 | 338.496 | 0.86 | 0.142 | 270 kHz |
| 31 | 0.0089 | 0.22606 | 130.1 | 426.728 | 0.7 | 0.113 | 340 kHz |
| 32 | 0.008 | 0.2032 | 164.1 | 538.248 | 0.53 | 0.091 | 430 kHz |
| Metric 2.0 | 0.00787 | 0.2 | 169.39 | 555.61 | 0.51 | 0.088 | 440 kHz |
| 33 | 0.0071 | 0.18034 | 206.9 | 678.632 | 0.43 | 0.072 | 540 kHz |
| Metric 1.8 | 0.00709 | 0.18 | 207.5 | 680.55 | 0.43 | 0.072 | 540 kHz |
| 34 | 0.0063 | 0.16002 | 260.9 | 855.752 | 0.33 | 0.056 | 690 kHz |
| Metric 1.6 | 0.0063 | 0.16002 | 260.9 | 855.752 | 0.33 | 0.056 | 690 kHz |
| 35 | 0.0056 | 0.14224 | 329 | 1079.12 | 0.27 | 0.044 | 870 kHz |
| Metric 1.4 | 0.00551 | 0.14 | 339 | 1114 | 0.26 | 0.043 | 900 kHz |
| 36 | 0.005 | 0.127 | 414.8 | 1360 | 0.21 | 0.035 | 1100 kHz |
| Metric 1.25 | 0.00492 | 0.125 | 428.2 | 1404 | 0.2 | 0.034 | 1150 kHz |
| 37 | 0.0045 | 0.1143 | 523.1 | 1715 | 0.17 | 0.0289 | 1350 kHz |
| Metric 1.12 | 0.00441 | 0.112 | 533.8 | 1750 | 0.163 | 0.0277 | 1400 kHz |
| 38 | 0.004 | 0.1016 | 659.6 | 2163 | 0.13 | 0.0228 | 1750 kHz |
| Metric 1 | 0.00394 | 0.1 | 670.2 | 2198 | 0.126 | 0.0225 | 1750 kHz |
| 39 | 0.0035 | 0.0889 | 831.8 | 2728 | 0.11 | 0.0175 | 2250 kHz |
| 40 | 0.0031 | 0.07874 | 1049 | 3440 | 0.09 | 0.0137 | 2900 kHz |

Abbildung 4.7: Leiterquerschnitttabelle

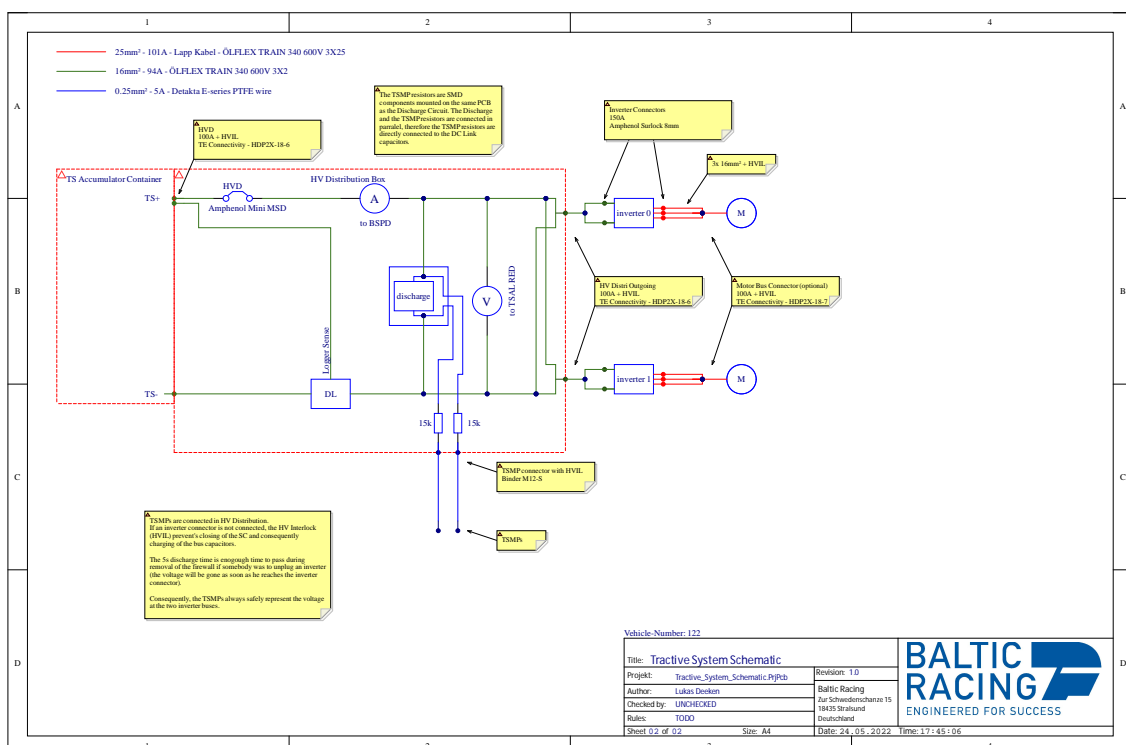
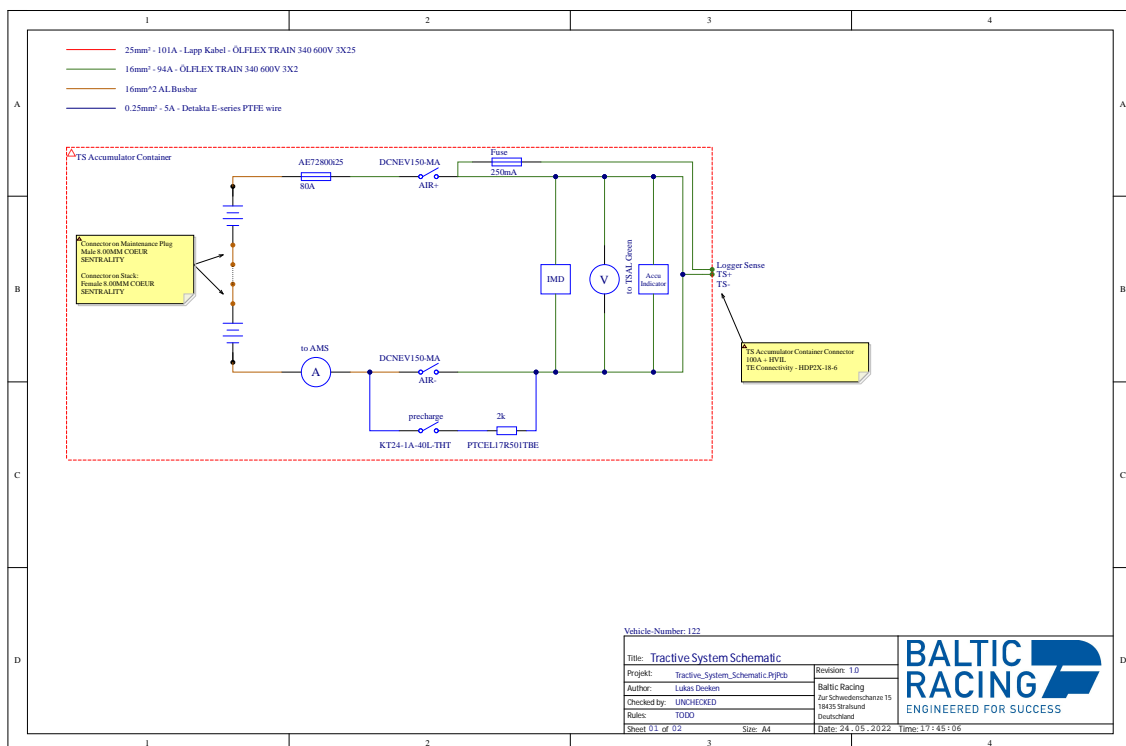


Abbildung 4.9

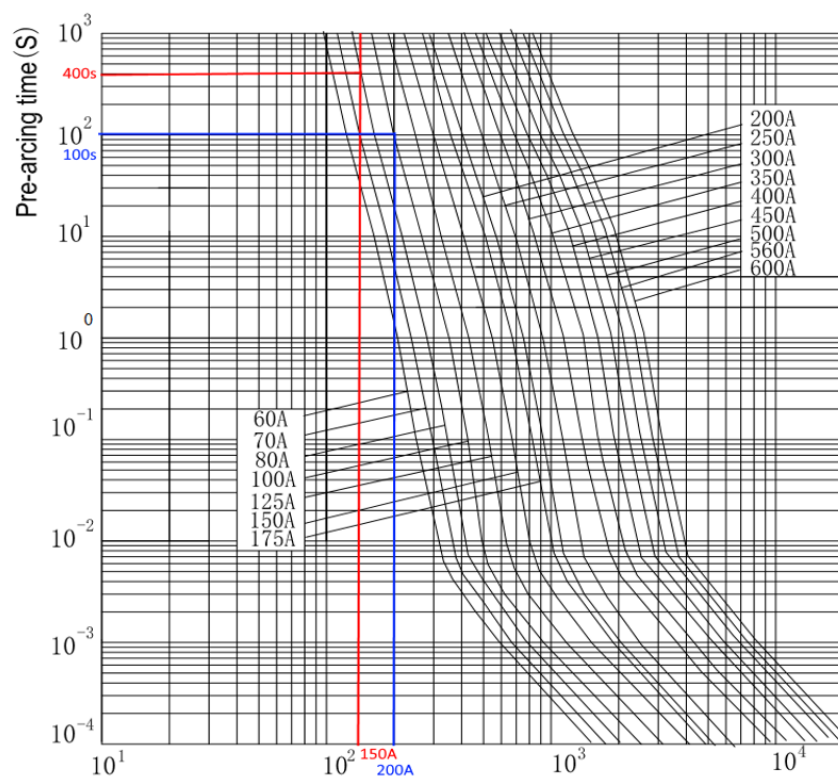


Abbildung 4.10

4.5 Ladesystem / Handcart

(zusammen mit Flo Irle)

5 Mechanische Systeme

5.1 Antriebslayout

2WD ein motor (diff) 2WD zwei motor (gewähltes konzept, Torque vektoring/hinterachslenkung) 4WD (Komplexität ungefederte massen etc.)

5.2 Packaging

Packaging leistungskennzahl. Volumenfüllungsgrad, schwerpunkt position, wartungsaufwand

5.3 Systeme

5.3.1 Kühlung

(zusammen mit Julian Vogt und???) Kühlungslayout (tiksedit grafik)

5.3.1.1 Radiator & Lüfter

(zusammen mit Julian Vogt und???) Radiator Berechnung Die Berechnung des Radiators basiert auf der Annahme das hier eine Ähnlichkeitstheorie Anwendung finden kann. Hierbei wurden die bekannten realen (index r) Eingangsparameter aus Messungen am Vorjahresfahrzeug mit den Modellparametern (index m) für das kommende Fahrzeug in Beziehung gesetzt. Konkret die Temperaturdifferenz am eintritt und der Wärmestrom. Hierbei wurde kein klassischer Weg bekannt aus der Thermodynamik über NTU-Schaubilder etc. gewählt da die geometrischen Parameter des Radiators abgesehen von der frontalen Netzfläche nicht bekannt waren. Zur genaueren Betrachtung sollte dieses Vorgehen in Zukunft angewendet werden. Folgend die angewendete Formel.

$$\frac{A_r}{A_m} = \frac{\dot{Q}_r * \Delta T_{\text{ein } r}}{\dot{Q}_m * \Delta T_{\text{ein } m}} \quad (5.1)$$

Sie besagt, dass das Verhältnis der Kühlerflächen proportional zu dem Verhältnis von Wärmestrom und Eingangstemperaturdifferenz ist.

Hierbei ist A_r vom Vorjahresfahrzeug bekannt, \dot{Q}_r ergibt sich mit folgender Formel aus den Vor und Rücklauftemperaturen vom Wärmetauscher sowie dem Wassermassenstrom welche beim TY19 gemessen wurden.

$$\dot{Q}_r = C_{v \text{ Wasser}} * \dot{V}_{\text{Wasser}} * \rho_{\text{Wasser}} * (t_{\text{ein Wasser}} - t_{\text{aus Wasser}}) * \text{Anzahl}_{\text{Kühler}} \quad (5.2)$$

\dot{Q}_m wird mit Hilfe der Rundenzeitsimulation ermittelt. Hier werden sämtlich Verluste die in das Kühlsystem eingetragen im rahmen der Rundenzeit Berechnung über den FSG Fahrtzyklus gemittelt mit gerechnet.

$\Delta T_{\text{ein m}}$ wird mit 30 K angenommen. Die max. Temperatur des Kühlwassers sollte 60°C nicht überschreiten währen im Hochsommer mit Umgebungstemperaturen von 30°C zu rechnen ist.

Mit der Formel 5.1 umgestellt nach A_m kann nun die Kühlerfläche für das Elektrofahrzeug bestimmt werden.

$$A_m = \frac{A_r * \dot{Q}_m * \Delta T_{\text{ein m}}}{\dot{Q}_r * \Delta T_{\text{ein r}}} \quad (5.3)$$

Dies führt zu folgenden Ergebnissen.

| Eingangsparameter | | |
|---------------------------|-------|----------|
| A_r | 0,099 | m^2 |
| $t_{\text{ein Wasser}}$ | 73,16 | °C |
| $t_{\text{aus Wasser}}$ | 70,37 | °C |
| ρ_{Wasser} | 997 | Kg/m^3 |
| \dot{V}_{Wasser} | 36,26 | l/min |
| $C_{v \text{ Wasser}}$ | 4190 | J/KgK |
| $\Delta T_{\text{ein r}}$ | 43,16 | K |
| $\Delta T_{\text{ein m}}$ | 30 | K |
| \dot{Q}_m | 5364 | W |
| Ergebnisse | | |
| \dot{Q}_r | 14089 | W |
| A_m | 0,026 | Kg/s |

Dies ergibt mit unserem Modell eine Reduktion auf 26,46 % der vorherigen Kühlerfläche. Die Baugröße die am ende für den Kühler gewählt wurde entspricht ca. 50 % der Kühlerfläche

also das doppelte vom Rechenergebnis. Eine derart hohe Sicherheit ist darauf zurückzuführen das die Berechnung von Wärmeübertragern generell keine sehr exakte Wissenschaft ist und Der Bauraum eine derartige Überdimensionierung an der stelle zugelassen hat.

Für die Auslegung des Lüfters wurde von der Aerodynamik Abteilung vorgegeben das man die Abluft des Systems nutzen möchte um das Strömungsprofil am Diffusor zu verwenden. Hierfür mussten Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der 80-90 km/h am Auslass erreicht werden. Für den Lüfter wurde auch in den letzten Jahren am Verbrenner ein Drohnenmotor mit Propeller und externer Ansteuerung verwendet da dies deutlich leichter ist als eine fertige Einheit. In diesem Zuge sollten Volumenstrom und Ausgangsgeschwindigkeiten für verschiedene Konzepte berechnet werden können. Aufgrund der Größe des Kühlers kamen nur 4 Zoll oder kleiner Propeller in Frage. Weiterhin ist die Fragestellung aufgekommen ob ein Propeller ausgelegt für Freiströmung sinnvoll vor einem Lamellen Kreuzstrom Wärmeübertrager einzusetzen ist. Hierfür wurde zum Vergleich ein Lüfter von der Firma EBM Papst beschafft um die Leistungsdaten schlussendlich vergleichen zu können.

Für drohnemotoren sind in der regel Daten für Schubkraft und Leistung verfügbar. Dies lässt sich mit Hilfe des 2. Newtonschen Gesetztes dem Impulssatz umrechnen. Wir nehmen dabei an das unser Fahrzeug still steht. Dies führt zu folgender Gleichung

$$F_{\text{Schub}} = \dot{m}_{\text{Luft}} * v_{\text{Luft}} \quad (5.4)$$

Dies lässt sich mit folgenden Formeln Umstellen

$$\dot{m}_{\text{Luft}} = \dot{V}_{\text{Luft}} * \rho_{\text{Luft}} \quad (5.5)$$

$$\dot{V}_{\text{Luft}} = A_{\text{Prop}} * v_{\text{Luft}} \quad (5.6)$$

Und führt zu

$$v_{\text{Luft}} = \sqrt{\frac{F_{\text{Schub}}}{A_{\text{Prop}} * \rho_{\text{Luft}}}} \quad (5.7)$$

Mit diesen Gleichungen können wir auch den Volumen- und Massenstrom bestimmen.

Mit folgender Formel lässt sich die Luftleistung bestimmen.

$$P_{\text{Luft}} = \frac{\dot{m}_{\text{Luft}}}{2} * v_{\text{Luft}}^2 \quad (5.8)$$

Damit können wir schlussendlich die Effizienz des Design beurteilen

$$\eta_{\text{Lüfter}} = \frac{P_{\text{Luft}}}{P_{\text{elektrisch}}} \quad (5.9)$$

Entschieden wurde sich am ende für den T-Motor F2004-1700KV zusammen mit dem Gemfan 4023 Propeller. Daten dafür in folgender Tabelle.

| Eingangsparameter | | |
|-------------------------|--------|------------------------|
| A_{Prop} | 8107 | mm^2 |
| F_{Schub} | 650 | g |
| $P_{\text{elektrisch}}$ | 286 | W |
| ρ_{Luft} | 1,225 | Kg/m^3 |
| Ergebnisse | | |
| v_{Luft} | 25,339 | m/s |
| \dot{m}_{Luft} | 0,25 | Kg/s |
| \dot{V}_{Luft} | 0,21 | m^3/s |
| P_{Luft} | 80,79 | W |
| $\eta_{\text{Lüfter}}$ | 28 | % |

Im Rahmen der Systembetrachtung wurden am tatsächlichen Aufbau einige Messdaten genommen.

| T-Motor F2004 | | |
|-------------------------|-----|----------------------|
| v_{Luft} | 75 | km/h |
| $P_{\text{elektrisch}}$ | 195 | W |
| EBM Papst 3214jh4 | | |
| v_{Luft} | 73 | km/h |
| $P_{\text{elektrisch}}$ | 50 | W |

Mit Hilfe der Vorherigen Rechnung können wir nun den gleichen Rechenweg Rückwärts gehen um uns wieder alle übrigen Parameter zu berechnen. Die Lüftaustromfläche beträgt dabei $0,004173\text{m}^2$.

Laut EBM Papst liegen die zu erwartende effizienzen bei einem Axialgebläse im Bereich von 25% - 65%. Daran ist zu erkennen das unser aktueller Lüfter von EBM noch nicht die effizienteste Lösungen darstellt und unser Drohnenmotor eine sehr ineffiziente Lösung darstellt. Dennoch ein Aufbau mit Lüftern von EBM wiegt ca. 560g während der Aufbau mit Drohnenmotoren bei ca. 55g liegt. Allein diese gewichtersparnis ist den einsatz dieses gebläses schon wert. Empfehlenswert wäre an der Stelle die Optimierung des Rotorblattes auf den vorliegenden Anwendungsfall.

| T-Motor F2004 | | |
|-------------------------|--------|---------|
| v_{Luft} | 75 | km/h |
| \dot{V}_{Luft} | 0,087 | m^3/s |
| \dot{m}_{Luft} | 0,107 | kg/s |
| P_{Luft} | 23,115 | W |
| $\eta_{\text{Lüfter}}$ | 12 | $\%$ |
| EBM Papst 3214jh4 | | |
| v_{Luft} | 75 | km/h |
| \dot{V}_{Luft} | 0,085 | m^3/s |
| \dot{m}_{Luft} | 0,104 | kg/s |
| P_{Luft} | 21,315 | W |
| $\eta_{\text{Lüfter}}$ | 43 | $\%$ |

5.3.1.2 Wasserpumpe und Schläuche

(zusammen mit Julian Vogt und???)

Für die Auslegung des Wasserkreislaufes sind die Druckabfälle der einzelsysteme relevant hierfür eine systemüberischt

tikzedit grafik

Desweiteren sind für die betrachtung weitere Parameter relevant. Laut Motorhersteller liegt der optimale Wasservolumenstrom bei 6-8 l/min . Aus der Vorhergehenden Betrachtung geht hervor das die umzusetzende Wärmeleistung bei 5364W liegt. Der angepeilte Luftvolumenstrom durch einen Kühler beläuft sich auf 756 m^3/h .

Mit den folgenden beiden Diagrammen der Schwämmle GmbH&Co. KG aus dem Leistungsdatenblatt für die ELW Serie lässt sich der Druckabfall über den Radiator bestimmen. Wärmeleistung.

Unser angestrebter Radiator entspricht mit seiner Netzfläche am ehesten dem ELW3. Dies würde bei den bisher bekannten Betriebsdaten zu eine Kühlleistung von 90 W/K oder auch 2700W führen. Oder bei zwei Einheiten zu 5400W. Dies ist sehr nah an der angestrebten

Die Grafik ist an dieser stelle etwas verwirrend da der ELW 2 und der ELW3 die Farben getauscht haben. Da es sich hierbei jedoch um die einzigen Daten handelt die aufgetrieben werden konnten wird an dieser stelle angenommen das Die grüne Linie für den ELW3 steht und die Lila Linie den ELW 2 darstellt. Dies ist die sichere anmahne da dies im zweifel zu einem zu hohen Druckabfall und damit einer Überdimensionierung der Anlage führt.

Anhand dieser Grafik kann also nun der Druckabfall zu einem entsprechenden Wasservolumenstrom abgelesen werden.

Für den Inverter gibt es im Datenblatt ein fertiges Diagramm.

Für den Motor existieren leider nur Daten an einem einzigen Punkt. An den anderen ver-

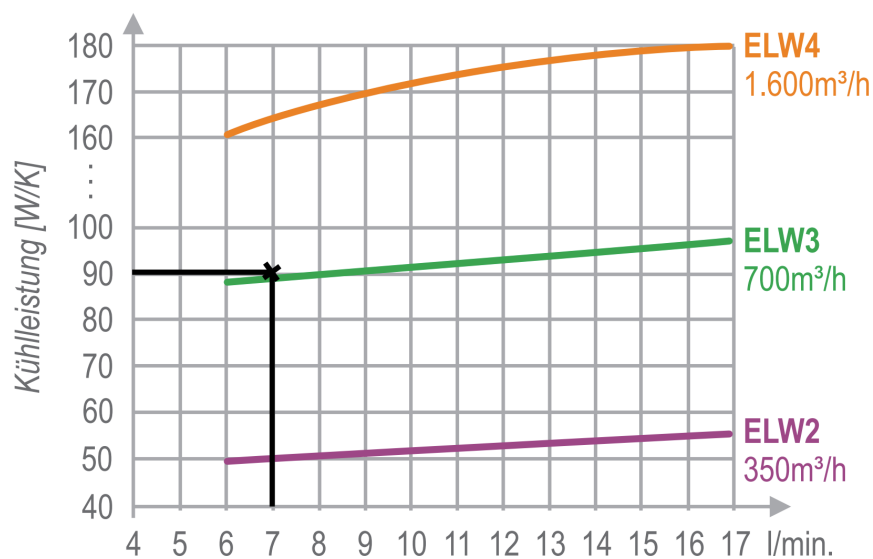


Abbildung 5.1

laufen ist jedoch in der regel ein quadratischer verlauf zu erkennen weswegen hier quadratisch regressiert wurde. Wir beginnen mit der allgemeine Formel

$$Y = Ax^2 + Bx + C \quad (5.10)$$

Die Linie soll durch den Nullpunkt verlaufen damit wird $C = 0$ und wir nehmen an das es keinen linearen Anteil gibt, damit wird $B = 0$. Unsere Gleichung vereinfacht sich zu.

$$Y = Ax^2 \quad (5.11)$$

eingesetzt ergibt sich

$$0,6bar = A * (7l/min)^2 \quad (5.12)$$

$$A = \frac{0,6bar}{(7l/min)^2} = 0,01224 \frac{bar}{(l/min)^2} \quad (5.13)$$

Für die Leitungen würde eine extensive Berechnung durchgeführt auf die an dieser stelle leider aus zeit gründen nicht näher eingegangen werden kann. die Schlussfolgerung ist jedoch das die Verluste vernachlässigbar klein sind.

Die Daten für die Pumpen entstammen direkt den Datenblättern.

Alle Ergebnisse sind nun in der Systemkennlinie abgebildet

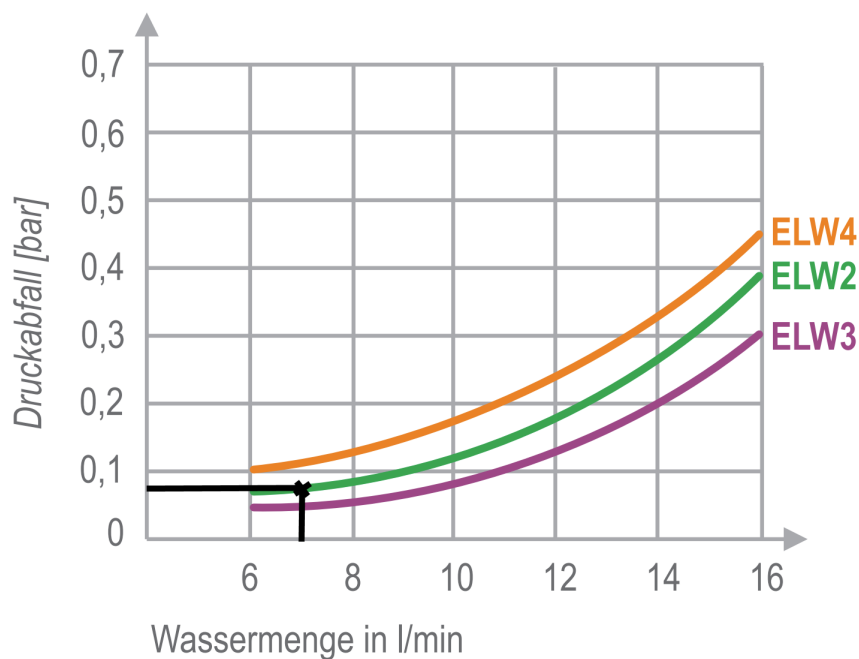


Abbildung 5.2

Der Punkt an dem sich die Linien der jeweiligen Pumpe mit der Linie des Gesamtsystem schneidet ist der Betriebspunkt des Systems. Dieser Druckabfall und dieser Volumenstrom sollten sich im betrieb einstellen. Bei der Grafik muss beachtet werden das dies von der Pumpe beachtet aus betrachtet wird und daher der Volumenstrom doppelt so groß ist wie am kühler aufgrund der zwei separaten Kühleinheiten.

5.3.2 Getriebe

(Michel und Linus) zahnrad auslegung Zahnrad fertigung Kettentrieb alternative Wellen auslegung FEM detour

5.3.2.1 Outbound vs Inbound

Radnabenmotor vs interner motor Antriebswellen ungeferte massen packaging im rad problem(Planetengetriebe) fertigungsaufwand

5.3.2.2 Gussgehäuse vs Fräsgehäuse vs Schweißgehäuse

(Flo Irle) SES anforderungen Flexural rigidity E modul vs yield strenght welche verbnesse-
rungen bringen wo was

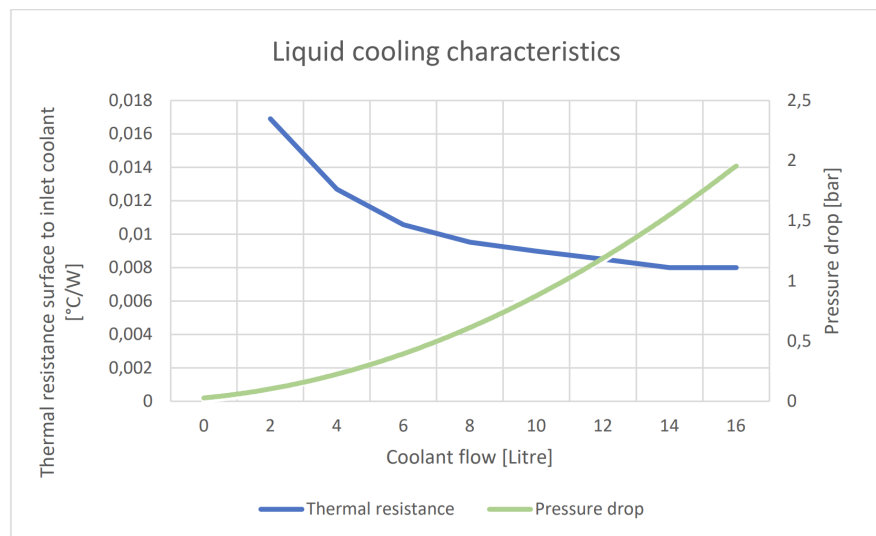


Figure 4. HV-500LC Thermal resistance and water flow correlation

Abbildung 5.3

5.3.2.3 Antriebswellen und Tripoden

Störle und schrang excel tabellen und stuff von Störle und schrang

FEM sim bilder von Schrang FEM konvergenz netzunabhängigkeit Kräfte richtig antragen
 Feste flächen richtig wählen kräfte richtig berechnen Kontaktflächen bestimmen Feinheitsgrade
 des netz Inventor Casual fixe abschätzung oder einfache probleme vs Ansys Profi tool für
 komplexe verlässliche analyse

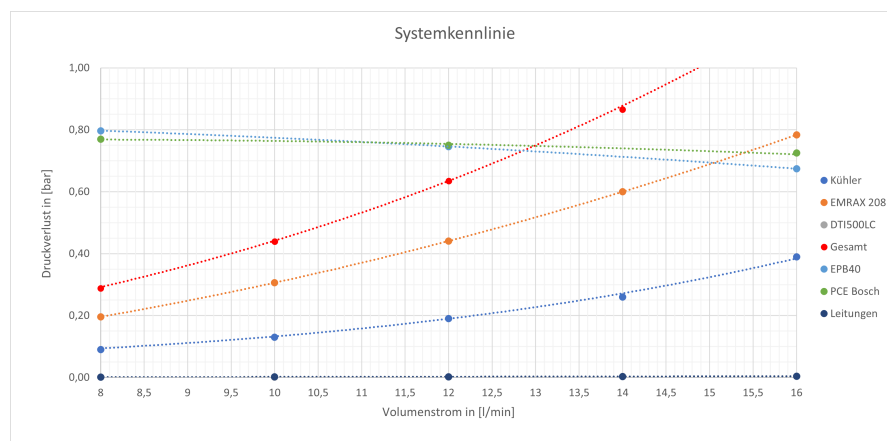


Abbildung 5.4

Anhang

A Erster Anhang

Beispieltext

A.1 Messwerte

Beispieltext

A.2 Protokoll

Beispieltext

B Zweiter Anhang

Beispieltext

B.1 Software A

Beispieltext

B.2 Software B

Beispieltext

Literaturverzeichnis

- [Wer11] WERLING, Moritz: *Ein neues Konzept für die Trajektoriengenerierung und -stabilisierung in zeitkritischen Verkehrsszenarien*, Diss., 2011. <http://dx.doi.org/10.5445/KSP/1000021738>. – DOI 10.5445/KSP/1000021738