



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

Betreuer 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	vi
Abkürzungsverzeichnis	vii
Symbolverzeichnis	viii
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 Die Akkuzelle	11
4.2 Elektromotor	26
4.2.1 Emrax	26
4.2.2 AMK	26
4.2.3 Fischer	26
4.2.4 China & Co	26
4.2.5 Selbstbau	27
4.2.6 Entscheidungsfindung	27
4.3 Wechselrichter	27
4.4 Kabelbaum	27
4.4.1 CAN-Bus	30
4.4.2 LVS Versorgung	31
4.4.3 Sensor Kabelbaum	31
4.4.4 Shutdown Circuit	31
4.4.5 Kabeldimensionierung	32
4.4.6 Hochvolt Kabelbaum	33
4.4.7 Sicherungsauslegung	35
4.4.8 Steckverbinder Auswahl	36
4.4.9 HVD	36
4.4.10 AIR	36
4.5 Ladesystem / Handcart	40

5 Mechanische Systeme	41
5.1 Antriebslayout	41
5.2 Packaging	41
5.3 Systeme	41
5.3.1 Kühlung	41
5.3.2 Antrieb	49
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	15
4.4	16
4.5	16
4.6	17
4.7	18
4.8	19
4.9	20
4.10	20
4.11	21
4.12	22
4.13	23
4.14	23
4.15	25
4.16	Shutdown Circuit Schematic	32
4.17	Leiterquerschnittstabelle	37
4.18	Tractive System Schematic	38
4.19	Tractive System Schematic	38
4.20	39
5.1	Kühlsystem Übersicht	42
5.2	46
5.3	47
5.4	48

5.5	48
---------------	----

Tabellenverzeichnis

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

Abkürzungsverzeichnis

USK Umfeld Sensor Koordinatensystem

IMD Insulation Measurment Device

LiFePo4 Lithium FerroPolymere

Li-ion Lithium Ionen

Symbolverzeichnis

Symbol	Einheit	Beschreibung
a	m/s^2	Beschleunigung
\dot{a}	m/s^3	Beschleunigungsänderung
\ddot{d}	m/s	1.Ableitung des Querversatzes
d	m	Querversatz, Querachse der Frenet-Koordinaten
$\Delta\psi$	$^\circ$	Differenz zu Referenzorientierung
$\Delta\dot{\psi}$	$^\circ/\text{s}$	Änderung der Differenz zu Referenzorientierung
j	m/s^3	Ruck
κ	$1/\text{m}$	Krümmung
$\dot{\kappa}$	$1/(\text{m}^*\text{s})$	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
$t_{elängs}$	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_EXVersion, 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 **Umfeld Sensor Koordinatensystem (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
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 $\Delta\psi$ 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. $\Delta\psi$ zeigt beim hovern mit der Maus über die Variable die entsprechende Beschreibung an. Diese Funktion ist im LATEXPDF-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 vorhanden 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

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

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

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

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

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

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

2.5.4 Bereichsweise Definitionen

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

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 Einzeln

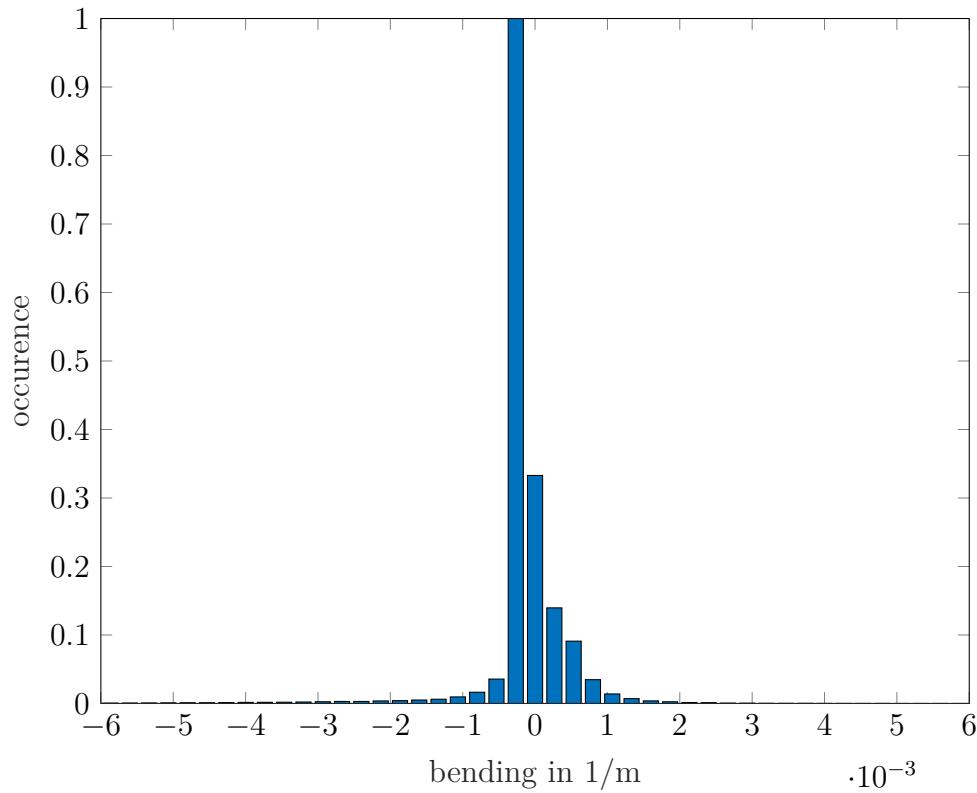


Abbildung 2.1: Krümmungshistogramm

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

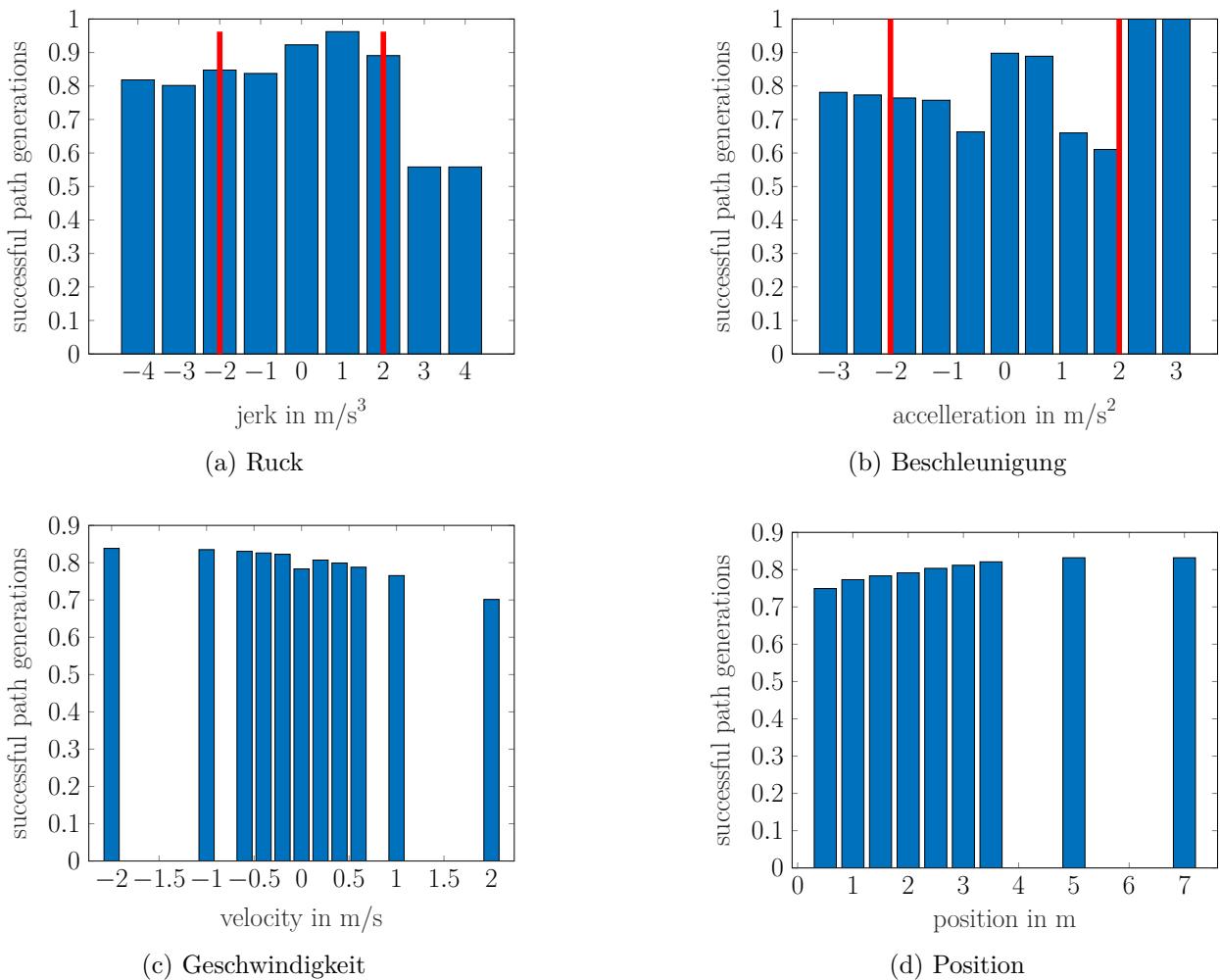


Abbildung 2.2: Absolute Planungserfolge je Zustand

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.

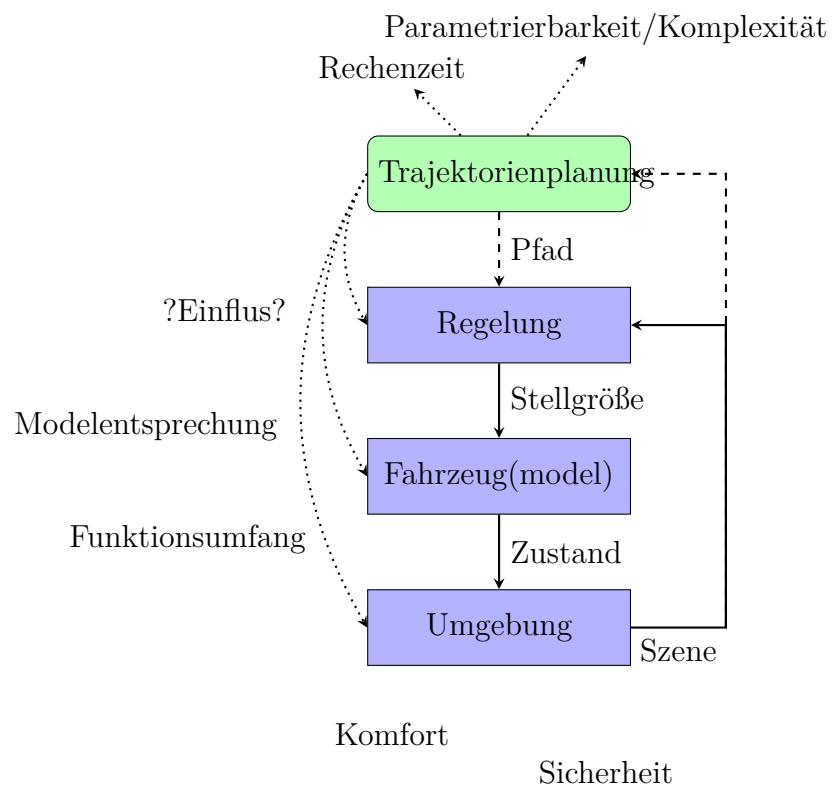


Abbildung 2.3: Beispiel eines Flussdiagramms

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 angeben 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) Hier Geht mein dank an die Alumni aus dem Bereich der Elektrotechnik die diese ganze Reise mit ihrer fachlichen Refferenz und beispiellosen motivation erst möglich gemacht habe. Hervorzuheben ist auch das schier endlose mas an gedult in anbe tracht der Steilen lernkurve innerhalb des teams. Besonders hervorzuheben sind hierbei Leon Löser, Eric Gorkow und Axel Lange. Danke euch. **Insulation Measurment Device (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

An dieser Stelle geht mein Dank an Tim Schweers, der dieses Projekt besonders in der mechanischen Auslegung und der Konstruktion so tatkräftig mitgetragen hat.

4.1.1 Die Akkuzelle

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

4.1.1.1 Vergleich der Speicherarten

im nachfolgenden wird die zuerst die Energie berechnet die ein klassisches Formula Studentfahrzeug bei einem typischen bremsvorgang freisetzt und damit die enrgie die man mindestens speichern können müsste um mit der speciherform auf sinnvolle art und weise eine rekuperation umzusetzten. Im anschluss wird diese energie in eine ungefähre masse an speicherelementen umgesetzt um zu zeigen inwiefern sich diese form der enrgiespeicherung für den einsatz eignet. im nachfolgenden wird die masse an speciherelementen bestimmt um 6 Kwh energie zu speichern da dies der typische energieverbrauch eines formula student fahrzueges 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 Bremsvorhang eines formula student fahrzeuges aufgenommen werden müsste.

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

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

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

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

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

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 kurfristigen 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 leistungs als auch energiedichte.

4.1.1.2 Runde vs Pouch vs Prismatische Zellen

(Puch zelle

in der regelung höhere packungsdichte möglich damit höhere 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 gerinfügige 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 (LiFePo4)** 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 lösungsdichte am häufigsten vertretene Chemie ist LiNiMnCoO2

In der analyse ergibt sich das bild das sich **Lithium FerroPolymere (LiFePo4)** zellen für ein konzept mit hohem rekuperationsanteil 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 niedriges temperaturlimit beim laden als beim entladen haben was im betrieb zu einem vorzeitigen ausfall der rekuperation durch zu hohe akkutemperaturen führen kann. daher ist das Temperaturmanagement hier von besonderer Bedeutung.

Das konzept mit hohen rekuströmen ist nur beim AWD Fahrzeug sinnvoll anwendbar da hier auch die gesamte bremsenergie, abzüglich der verluste im antriebsstrang 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 LiNiMnCoO2 zellen am ehesten sinnvoll.

4.1.1.4 Die Zellauswahl

Um zu sehen ob eine Zelle für den geplanten Einsatz geeignet ist, muss zuerst ermittelt werden wie ein Vollständig konfigurierter akku hiermit aussehen würde um die eckdaten zu ermitteln. Dies Wurde mit der hilfe einer excel tabelle umgesetzt.

Eingabe Werte		
Cell Type	34	
U_nenn	3,6	
U_max	4,2	
I_Peak	186	
m [kg]	02	
Wh/Ah * Nennspannung)	44,6	
m [g]	224	
Preis		
Akku Parameter		
Desired Avg P	60000	
n	230,41	
m_B [kg]	516	
max V	570	
n abgerundet	231	
m_B [kg]	30,24	
Desired Wh	7500	
n	188,16	
m_B [kg]	37,67	
Desired max P	90000	
n	115,21	
m_B [kg]	25,81	
Config bestimmung		
L_max	230,4	
Gerundet	230	
Anzahl Serieller Zellen	115,0	
Gerundet	115	
Anzahl Parallel Zellen	1,7	
Gerundet	2	
Gesamt Parameter		
U_max	483	
Wh	10258	
Energie [MJ]	37	
m [kg]	52	
Stack-aufteilung		
Max Stack Parameter (Rules)		
120 V	4,0	
12 Kg	4,3	
6 MJ	6,2	
Großster Teiler	6,2	
mindest an Zellen pro Stack	7	
Zellen per Stack	7	
Minimale Zellen		
12	9,6	
Gerundet	10,0	
Differenz	0,4	
11	10,5	
Gerundet	10,0	
Differenz	0,5	
10	15	
Gerundet	12,0	
Differenz	0,5	
Anzahl Serieller Zellen pro S	12	
Anzahl Serieller Stacks	10	
Fertige Akku		
Config	1205 2P	
avg V	504	
avg P	32	
Avg P (kW)	62,5	
max P (kW)	187,5	
n_zellen	240	
m [kg]	53,8	
I_Peak [A]	372	
Preis [l]	-	

Abbildung 4.1

Unter dem Punkt Input Daten werden die Zellparameter aus dem Datenblatt der Zelle angegeben. Unter den Akkuparametern werden nun die Zielbedingungen bzw, Grenzwerte für den Akku Bestimmt. Die min Avg. P. ist hierbei ein Parameter für die im endurance angestrebte leistung, die max.V ergibt sich aus der sapnnungsfestigkeit des TS besonders relevant sind hierbei die Elektromotoren. Die min Wh geben die mindest vorgesehene akkukapazität vor und die min max. P. die angestrebte maximale leistung die der akku können muss. Aus diesen parametern wird folgend eine minimal benötigte Zellanzahl bestimmt. Unter dem Punkt Akkuconfig wird nun die vorheriger höchste bestimmte zellanzahl ermittelwt und gerundet. hieraus bestimmen wir nun die Anzahl der parallel und seriell verschalteten zellen und runden auf ganze zellen. Dies ergibt dann einige Gesamtparameter für den akku. Unter dem Abschnitt stackaufteilung werden die zellen jetzt nach den parametern des Regelwerkes möglichst optimal in stacks aufgeteilt. Der zielwert hierbei ist es das die tatsächliche Anzahl an Akkuzellen

größer ist als die vorher errechnete benötigte Anzahl, es wird also aufgerundet. Weiter soll möglichst eine gerade anzahl an stacks herauskommen so das sich die stacks im akku möglichst leicht verteilen lassen. Hierbei können wir drei verschiedene anzahlen von zellen pro BMS vorgeben die analysiert werden sollen. Schlussendlich ist das ergebnis ein fertig konfigurierter akku. Diese konfigurationen können nun gegenübergestellt und die anzahl der weiter zu analysierenden zellen eingegrenzt werden.

Zur weiteren Analyse wurde auf Messdaten zurückgegriffen welche auf den Seiten dampfakkus.de und lygte-info.dk bereitgestellt wird. Aus diesen Daten ergeben sich folgende 2 Diagramme. Das erste Diagramm ermöglicht es einen eindruck von der Entladeeffizienz des

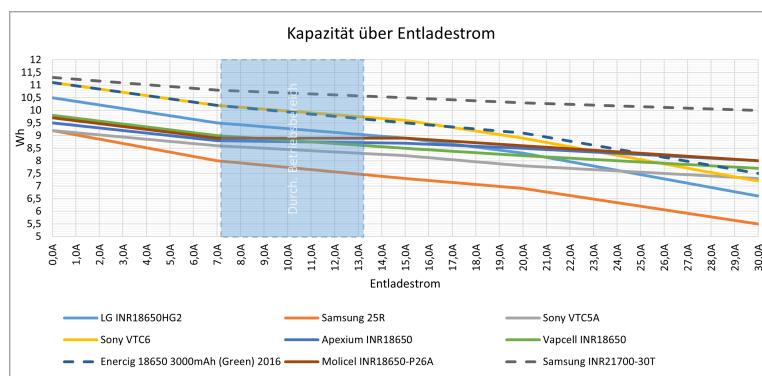


Abbildung 4.2

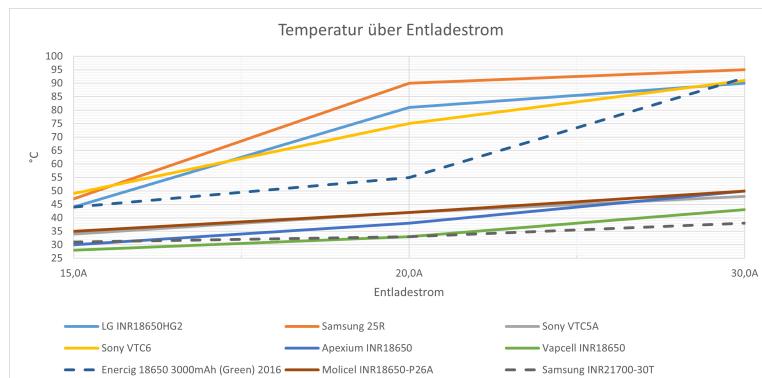


Abbildung 4.3

Akkus besonders bei hohen Strömen zu bekommen. Das Optimum wäre hier eine Horizontale Linie am oberen Rand des Diagrammes. Hierbei sticht die Samsung INR21700-30T besonders hervor. Das zweitere Diagramm ermöglicht uns einen eindruck von der thermischen performance zu erlangen. Laut regelwerk der Formula Student darf keine akuzellen zu einem Zeitpunkt die 60°C marke überschreitern. Nichtbeacjten führt zur disqualifikation. hierbei sticht auch die vorher genannte samsung zelle hervor als auch die Vapcell INR18650 Hierbei vergle-

chen wir Rundezellen von verschiedenen Baumaßen, ein Vollständiger akku mit den Samsung INR21700-30T wäre 7Kg schwerer als einer mit der Sony VTC6. Daher müssen am ende alle erlangenden Erkenntnisse Berücksichtigt werden.

4.1.1.5 Elektrisches Modell der Zelle

Das Elektrische Modell ist für die modellierung in der Rundenzeitsimulation relevant. Hierbei werden die limitierungen die sich aus dem Akku und dem restlichen antriebsstrang ergeben mit simuliert ein beispiel ist die sinkende antriebsleistung bei abfallen der spannung durch sinkenden SOC. Das aktuelle modell greift dabei auf zwei datensätze zu um das verhalten zu modellieren. Einmal die Entladeeffizienz bzw. einen korrigierten entladestrom, als auch auf ein Spannungskennfeld über entladestrom und SOC. Beide Abbildung folgen für die Sony VTC6. Die Daten entstammen wieder der Webseiten dampfakkus.de und lygte-info.dk.

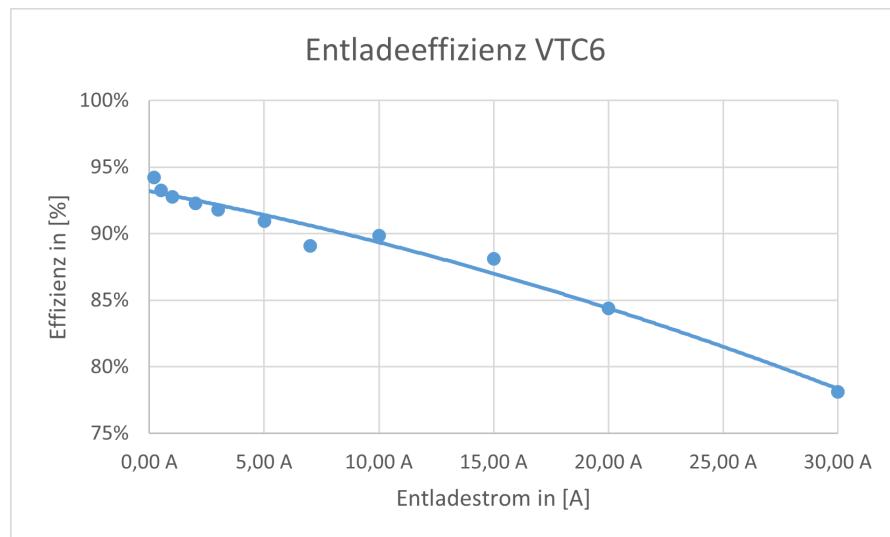


Abbildung 4.4

			Dischargecurrent [A]											
			0,2	0,5	1	2	3	5	7	10	15	20	30	
			0,00 Ah	0%	2,85	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	
			0,25 Ah	8%	3,16	3,15	3,13	3,09	3,06	3,03	2,99	2,95	2,88	
			0,50 Ah	17%	3,32	3,34	3,32	3,3	3,27	3,24	3,2	3,15	3,08	
			0,75 Ah	25%	3,48	3,47	3,45	3,42	3,4	3,35	3,31	3,26	3,2	
			1,00 Ah	33%	3,57	3,55	3,53	3,5	3,47	3,44	3,4	3,34	3,27	
			1,25 Ah	42%	3,65	3,64	3,62	3,59	3,55	3,5	3,46	3,41	3,33	
			1,50 Ah	50%	3,74	3,73	3,71	3,67	3,65	3,6	3,55	3,49	3,4	
			1,75 Ah	58%	3,81	3,8	3,78	3,75	3,72	3,67	3,62	3,56	3,47	
			2,00 Ah	67%	3,87	3,85	3,84	3,8	3,79	3,74	3,7	3,62	3,52	
			2,25 Ah	75%	3,96	3,95	3,93	3,89	3,86	3,81	3,77	3,7	3,6	
			2,50 Ah	83%	4,05	4,04	4,01	3,98	3,95	3,89	3,84	3,77	3,65	
			2,75 Ah	92%	4,08	4,07	4,05	4,01	3,98	3,93	3,88	3,81	3,7	
			3,00 Ah	100%	4,18	4,16	4,14	4,12	4,1	4,075	4,05	3,98	3,88	

Abbildung 4.5

4.1.1.6 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 ersytellen. Bei dieser arbeit wurde unter anderem die akkuzellen des types VTC6 innerhalb einer thermnal vakuum kammer betrieben und die thermischen paramter 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 Kammer / $\frac{J}{K}$	60.000.000
Wärmekapazität Batterie (innen) / $\frac{J}{K}$	22
Wärmekapazität Batterie (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 4.6

Damit ergibt sich folgendes Modell.

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

Mit diesem Modell ergeben sich folgende Kurvenverläufe für eine Auswahl Entladeströmen 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

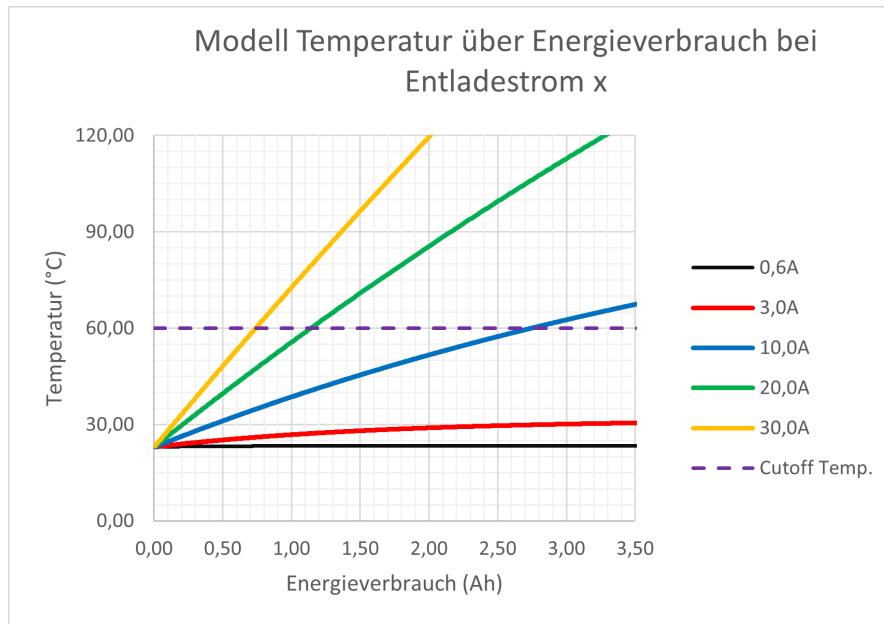


Abbildung 4.7

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 ausgibt 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 Kühlsystems führt was für das erste fahrzeug kein sonderliches problem 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 Sachverhalt weiter auf die gründe zu gehen wurde im Anschluss eine Simulation mit ANSYS FLUENT durchgeführt.

In dieser Simulation 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 gesamte Endurance darzustellen. Ziel der Simulation ist es die Effekte der Konvektion zu berücksichtigen, aber auch zu sehen inwiefern sich die Zellen gegenseitig beeinflussen. Allerdings wurden auch diverse Vereinfachungen getroffen insofern das die Akkuzellen sich uniform aufwärmen. In der Realität dürfte man am negativen Pol der Akzelle eine deutlich höhere Temperatur feststellen können als auf der positiven Seite. Weiterhin wurden diverse Teile wie die elektrische Isolierung etc. weggelassen da dies den Simulationsaufwand sonst erheblich vergrößert hätte und die Simulation so schon 2 Tage benötigt hat. Zur Analyse, wir sehen nach der Simulationszeit ei-

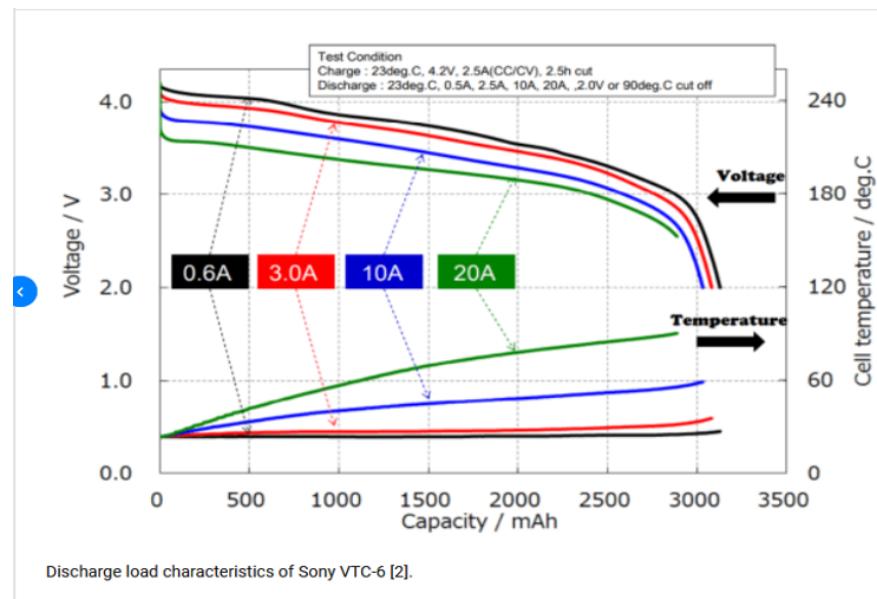


Abbildung 4.8

ne 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 nötien wäre um zu einer optimalen lösung zu kommen dies jedoch aufgrund des engen zeitplanes und des enoremn anderweitigen aufwandes nicht möglich ist.

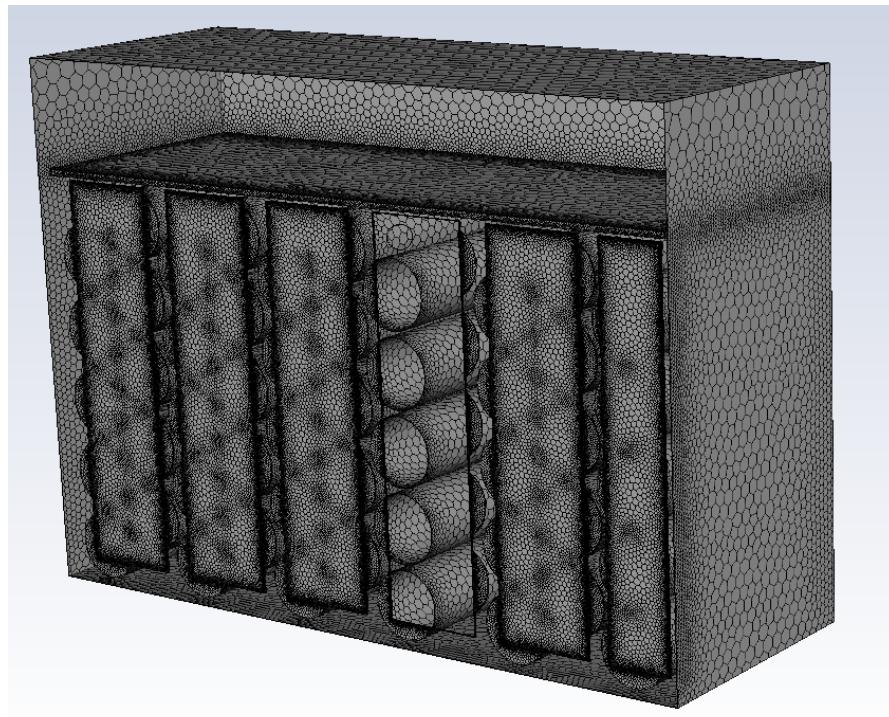


Abbildung 4.9

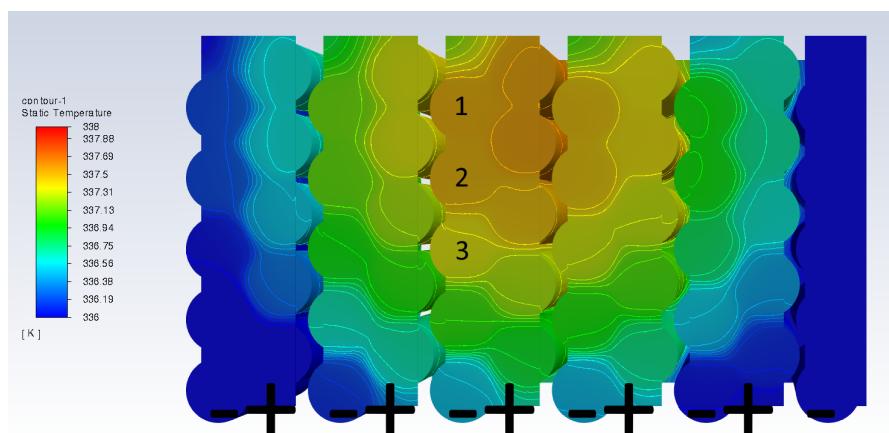


Abbildung 4.10

4.1.1.7 Der Stack Aufbau

Für die konstruktion des Akkustacks gab es im Laufe der Saison viele Iterationen. Die folgend erläuterte ist eine Optimierte Version derer die für den TY22 gebaut wurde.

Die zellen sind liegend in fünfer packeten gestapelten und mit einem versatz aneinander gereiht um den leerraum zwischen den zellen möglichstlein zu halten. Die Busbars verbinden immer ein 5er Negativpole mit einem 5er positiv pole. Zusätzlich befinden sich in der näöhe der zellen 2 ausrichtpins um die busbar auf dem stack bei der montage positionieren zu können. Der aufbau auf dn Polen besteht aus einer angeschweißten Busbar, darauf folgt ein abriebfester isolator, und dann eine trennwand des akkus. nach innen haben wir noch einen 3D gedruckten Halter in dem die Akuzellen ausgerichtet werden. Dieses ganze paket wird mit blindnieten vernietet. Ziel hierbei ist es einen möglichst guten thermischen kontakt von den Polen der Zelle zum Akkugehäuse herzustellen. Selbiges ist aus aluminium und Flächig mit dem Monocoque verschraubt welches auch aus aluminium gefertigt ist. dies ergibt eine riesige thermische masse und stellt so eine Kühlung für den akku bereit. Die stack seitenwand liegt als L-Profil vor, und wird anschließend mit demm akkuboden mit hilfe von M3 Senkkopfschrauben und Ovalmuttern verschraubt. In diesem zuge sind in die 3D gedruckten querversteifungen im stack ovalmuttern eingeklebt. Diese querversteifung sorgen einerseits für mechanische stabilität, stellen aber auch anbindungspunkte für den AMS Slave als auch für die Maintenace Plug steckverbinder bereit. Die Busbar ist auch als L Profil ausgeführt und lappt oben über den Stack über, diese finnen werden seitens des AMS slaves mit federkontakteen kontaktiert um eine verbindung für die spannungsmessung als auch das balancing herzustellen. Die NTC sensoren befinden sich in den Leerstelln wo keine Nieten benötigt werden, immer eine Niete mittig in drei zellen. Sie sind rückseitig auf die Busbar geklebt. Um das design

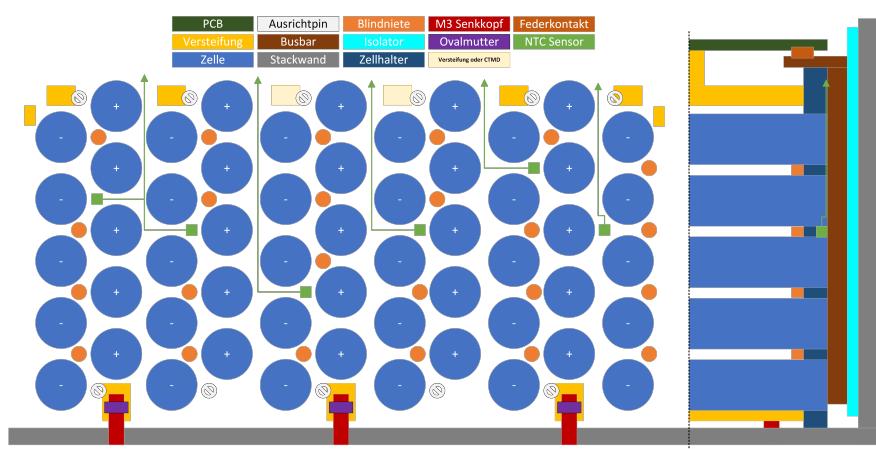


Abbildung 4.11

günstig zu halten kann die Verbindung kann über $0,35\text{mm}^2$ Kabel erfolgen welche Sensor seitig auf Lötpads und AMS seitig in einen Stecker gebracht werden. Bei der Steckverbinderauswahl hier ist zu achten das der er über einen Verriegelungsmechanismus verfügt, und nicht zu klein ist. Besonders kleine Steckverbinder machen an der Stelle die Verarbeitung schwer oder praktisch unmöglich. Präferiert wäre hier ein Flex PCB, dies ist jedoch i.d.R. recht teuer. In dem Stackhalter müssen entsprechende Einkerbungen vorgehalten werden durch die die Kabel zu führen sind. In die Anbindung des AMS Slave ist ein Feature vizusehen welches eine leichte Extraktion des Stacks aus dem Akku erlaubt, und bei der Konstruktion der Maintenance Plugs ist auf Ergonomie zu achten, so dass ein Mensch mit einem HV Handschuh noch gefahrlos einen solchen ziehen kann. Weiter ist bei den Maintenance Plugs auf Verstecksicherheit zu achten. Ein letzter Punkt ist die Positionierung des CTMD, also entweder des i-Buttons oder dieser kleinen Kabelgebundenen Sensoren mit dem Steuergerät, je nachdem was die FSG verwenden möge. Hier ist besonders die Positionierung des CTMD am Hotspot schwer nachzuweisen. Eine Simulation kann hier eine Richtung aufzeigen, stellt jedoch einen großen Zeitaufwand dar und ist im Allgemeinen so ungenau (ohne signifikanten Zeitaufwand), dass sich nur sehr begrenzt belastbare Aussagen hiermit treffen lassen.

4.1.1.8 Die Busbar

Busbar Material und Dicken Auswahl Bei der Auswahl der Materialien für die Busbar sind die Masse als auch die elektrische respektive die thermische Performance ausschlaggebend. Ein weiterer Maßgebender Faktor sind die möglichen Fertigungsverfahren um den Kontakt zwischen Zelle und Busbar herzustellen. Folgende Grafiken ergeben sich aus den Materialkonstanten und der Erwärmung über den Widerstand der Busbar bei dem entsprechenden Strom und über die Wärmekapazität und die Betriebszeit.

Es ist ersichtlich das Kupfer die beste thermische Performance in Bezug auf die Materialmenge bringt, aufgrund der niedrigen Dichte Aluminium allerdings gravimetrisch mit Abstand die beste Performance zeigt. Nickel, respektive Nickel400 liegen jedoch nicht weit zurück, lediglich

36A 2771s								
D	Kupfer	Aluminium	Stahl	Nickel	Silber	Nickel400	Hillumin	
0,1	276,7°C	577,4°C		2033,7°C	1011,8°C	363,0°C	746,5°C	1326,2°C
0,2	86,4°C	161,6°C		525,7°C	270,2°C	108,0°C	203,9°C	348,8°C
0,3	51,2°C	84,6°C		246,4°C	132,9°C	60,8°C	103,4°C	167,8°C
0,4	38,9°C	57,7°C		148,7°C	84,8°C	44,2°C	68,2°C	104,4°C
0,5	33,1°C	45,2°C		103,4°C	62,6°C	36,6°C	51,9°C	75,1°C
0,6	30,0°C	38,4°C		78,9°C	50,5°C	32,4°C	43,1°C	59,2°C
0,7	28,2°C	34,3°C		64,0°C	43,2°C	29,9°C	37,8°C	49,6°C
0,8	27,0°C	31,7°C		54,4°C	38,5°C	28,3°C	34,3°C	43,4°C
0,9	26,1°C	29,8°C		47,8°C	35,2°C	27,2°C	31,9°C	39,1°C
1	25,5°C	28,5°C		43,1°C	32,9°C	26,4°C	30,2°C	36,0°C

Abbildung 4.12

66A 507s		Kupfer	Aluminium	Stahl	Nickel	Silber	Nickel400	Hillumin
D								
0,1	179,0°C	363,9°C		1259,5°C	631,1°C	232,1°C	467,9°C	824,4°C
0,2	62,0°C	108,2°C		332,1°C	175,0°C	75,3°C	134,2°C	223,4°C
0,3	40,3°C	60,9°C		160,4°C	90,6°C	46,2°C	72,4°C	112,0°C
0,4	32,8°C	44,3°C		100,3°C	61,0°C	36,1°C	50,8°C	73,1°C
0,5	29,2°C	36,6°C		72,5°C	47,3°C	31,4°C	40,8°C	55,1°C
0,6	27,3°C	32,5°C		57,3°C	39,9°C	28,8°C	35,4°C	45,3°C
0,7	26,2°C	30,0°C		48,2°C	35,4°C	27,3°C	32,1°C	39,4°C
0,8	25,4°C	28,3°C		42,3°C	32,5°C	26,3°C	30,0°C	35,5°C
0,9	24,9°C	27,2°C		38,3°C	30,5°C	25,6°C	28,5°C	32,9°C
1	24,6°C	26,4°C		35,4°C	29,1°C	25,1°C	27,4°C	31,0°C

Abbildung 4.13

150A & 89s		Kupfer	Aluminium	Stahl	Nickel	Silber	Nickel400	Hillumin
D vs T @23°C								
0,1	164,5°C	332,1°C		1144,2°C	574,4°C	212,6°C	426,4°C	749,7°C
0,2	58,4°C	100,3°C		303,3°C	160,8°C	70,4°C	123,9°C	204,7°C
0,3	38,7°C	57,3°C		147,6°C	84,3°C	44,1°C	67,8°C	103,7°C
0,4	31,8°C	42,3°C		93,1°C	57,5°C	34,8°C	48,2°C	68,4°C
0,5	28,7°C	35,4°C		67,8°C	45,1°C	30,6°C	39,1°C	52,1°C
0,6	26,9°C	31,6°C		54,1°C	38,3°C	28,3°C	34,2°C	43,2°C
0,7	25,9°C	29,3°C		45,9°C	34,3°C	26,9°C	31,2°C	37,8°C
0,8	25,2°C	27,8°C		40,5°C	31,6°C	26,0°C	29,3°C	34,4°C
0,9	24,7°C	26,8°C		36,8°C	29,8°C	25,3°C	28,0°C	32,0°C
1	24,4°C	26,1°C		34,2°C	28,5°C	24,9°C	27,0°C	30,3°C

Abbildung 4.14

stahl lässt sich aufgrund der ergebnisse direkt ausschließen.

In bezug auf die fertigung ergeben sich bei rundzellen zwei wege, einmal das schweißen aber auch die federkontaktierung. Die Kontaktierung über eine feder an eine Rundzelle sollte dem Leser hinreichend aus anderen batteriebetriebenen Geräten hinreichend bekannt sein. Hierbei ergeben sich schnell einige Fragestellungen. Einmal die frage nach der Ermittlung des Übergangswiderstandes. Einflussfaktoren sind die Anpresskraft, die Oberflächenrauhigkeit, die Kontaktfläche, als auch der Materialmix. Eine Berechnung ist jedoch praktisch aufgrund des enormen Aufwandes und großer unsicherheitewn kaum möglich. Weiter stellt sich da die frage wie groß z.b die max. mögliche Anpresskraft auf die Akkuzelle sein kann oder welche oberflächenrauhigkeit eine Pol mit sich bringt. Weiter ist die Relaxation ein Problem. hierbei würde die Anpresskraft im verlauf der zeit abnehmen und damit der Übergangswiederstand steigen. All diese Parameter müssten in aufwendigen und langwierigen Versuchsreihen ermittelt und untersucht werden um auf ein sicheres System zu kommen. Das Verschweißen von Akkuzellen wird dabei gerade im Hochstrombereich bereits industriell angewandt und ist damit hinreichend bekannt. Bei den Schweißverfahren teilt sich nun der weg in das Laser bzw WIG schweißen und in das Punkt oder Widerstandschweißen auf. Ersteres verfahren ermöglicht das verschweißen unterschiedlicher Metalle wie z.b Stahl an Aluminium oder Kupfer. Zweiteres Verfahren eignet sich nur für Materialien mit einem verhältnismäßig hohen elektrischen widerstand da der Schweißpunkt durch die Temperaturentwicklung gebildet wird die

entsteht wenn ein hoher Strom durch einen verhältnismäßig hohen Übergangswiderstand geleitet wird. Daher eignet sich das Widerstandsschweißen nur für Nickel oder Stahl. Die anderen Materialen sind nicht inhärent geeignet, stellen aber besondere Anforderungen an den Prozess so dass die Standard Geräte hier idr. nicht ausreichen. Systemparameter sind beim Widerstandsschweißen die Schweißspannung als auch der Schweißstrom und die Pulsdauer. Ein großer Nachteil des Laser bzw. WIG Schweißens ist das dieses Verfahren bisher nur im industriellen Maßstab angewandt wird und es keinerlei Geräte für den Hobbybedarf gibt. Dies führt dazu das diese Geräte idr. enorm teuer und schwer zu bekommen sind. Hierbei wäre es sicherlich möglich ein typisches WIG Schweißgerät für diese Zwecke zu modifizieren dies bringt jedoch wieder die entsprechende Unsicherheit in den Prozess. Punktschweißgeräte sind in diversen Ausführungen und Preisklassen gut erhältlich und ermöglichen so einen kostengünstigen Einstieg.

4.1.1.9 Der Akkumulator Container

Der Akku besteht aus 12 einzelstacks. Hierbei befinden sich 6 nebeneinander und davon 2 Reihen hintereinander. In der vorderen Sektion unter dem Fahrersitz befinden sich die HV Relais als auch die übrige Akkumulator Elektronik wie das IMD der AMS Master und der HVDCDC. Der Akkumulatorcontainer besteht aus Aluminium. Dabei muss vom Regelwerk her der Boden mindestens 3,2mm und die Wände 2,3mm dick sein. gewählt wurden respektive 4mm und 2,5mm. In der ersten Version handelt es sich bei dem Container um mehrere geschweißte Biegeteile, solches Konstrukt zeichnete sich jedoch durch derart starken Schweißverzug aus das bei der Folgeversion eine Kombination aus Nieten kleben, Schrauben und Schweißen anzuraten ist. gerade mit dem überarbeiteten Stack Konzept lässt sich eine reine Schweißkonstruktion nicht mehr umsetzen. Hierbei währen die Stackwände vernietet und verschraubt, die Bodenwanne ein Biege-Schweißteil, der Deckel ein Biegeteil und etwaige interne Anbindung für z.B. die HV Stecker sind geklebt.

!!Bild von aktueller CAD mit Beschriftung!!

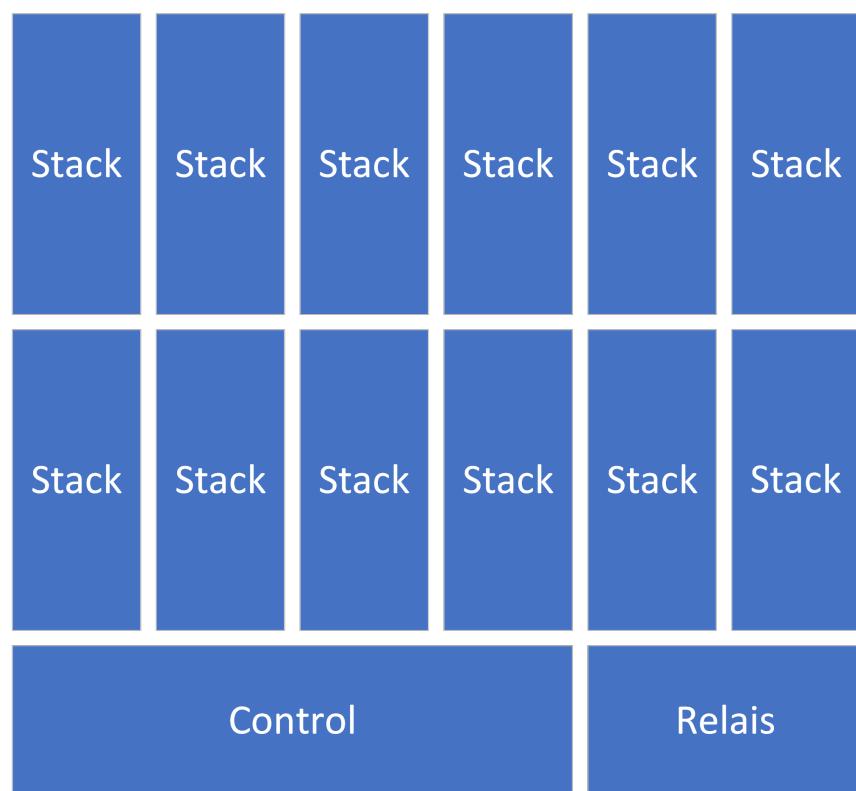


Abbildung 4.15

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 dass 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 dass 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 gleichzusetzen mit den AMK motoren. Der große Unterschied ist das hier das Gehäuse selbst designed werden muss und alle Teile selber gefertigt werden müssen. Dies stellt große Herausforderungen an die Fertigungstechnik da es sich dabei auch um 5 Achsengravierteilteile handelt.

4.2.4 China & Co

Eine weitere Optionen wäre es gunstige Motoren eines chinesischen Herstellers zu beschaffen, als Bsp. wäre hier die Firma Freerchhobby zu nennen, es gibt aber viele mehr. Diese Motoren zeichnen sich durch ein herausragend niedrigen Preis hervor sowohl für den Motor als auch den zugehörigen Motorcontroller. Problematisch hierbei ist, dass diese Motoren in der Regel nur bis Spannungsbereiche von 120V verfügbar sind. Und der dabei bei 80kW resultierende Strom enorm ist. Heißt das entweder die Leistung zu reduzieren wäre oder die elektrische Auslegung des TS besondere Anforderungen gestellt hätte. Weiter stellt sich hier die Frage der Zuverlässigkeit.

Vor nicht allzu langer zeit ist man im raciung team einen einzilindermtor dder firma borossi gefahren welcher sich durch nicht vorhandene haltbarkeit auszeichnete und so 3 saisons in folge torpedierte. Daher sind die anderen ooptionen sovern erwschwinglich vorzuziehen. sollte das Budget aber besonders eng sein, können diese motoren allerding durchaus eine valide alternative darstellen

4.2.5 Selbstbau

Der selsbtbau ist quais die nächste entwicklungsstufe nach dem fischer motor. Nun 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.

4.2.6 Entscheidungsfindung

Die Entscheidung ist an diesem Punkt sehr einfach. Im rahmen dieser projektabreit entsteht der erste e antrioerb aus dem hause baltic racing. damit kommen enrom viele große heruasforderung. 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 effektic für einen zwei rad antrieb eignet ist es der emrax motor gewotrden.

4.3 Wechselrichter

Der wechselrichter wird benötigt um den motor sauber anzusteuren. 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!!! mit daten

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

sicherer 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 Fahzeug. 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 verpolssichere 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					
Name	W2W/W2B	Montage	Sealed	Einsatzbereich	Pinanzahlen
Molex Micro Fit	both	Wire	no	HV/LV	2-20
Molex CMC/CMX	W2B	Panel	Yes	LV	28-154
TE HD10/20/30	both	both	Yes	HV	3-47
Molex Mizu P 25	W2W	Wire	Yes	LV	2-4
Binder Sub M9	both	both	Yes	LV	2-8
Binder M12 Power	both	both	Yes	HV	2-8
Würth WRBHD2.54	W2B	Wire	No	LV	10

Farbtabelle	
Farbe	Signal
Kabel	
White	24V
Brown	GND
<i>BrownGreen</i>	CANH/Signal
Yellow	CANL/5V
Leiter	
White	24V
<i>WhiteYellow</i>	5V
<i>WhitePink</i>	12V
<i>WhiteRed</i>	3V
Brown	GND
Green	CANH
Yellow	CANL
Blue	SDC
<i>BlueRed</i>	SDC _{end}
<i>BlueWhite</i>	SDC _{indicator}
Violet	Signal
HV-Leiter	
Red	TSMP+/HV+
Black	TSMP-/HV-
Blue	SDC
Mehrader	
Yellow	LAN

Mizu P25	
CAN Schwarz 4Pin	
GND	1
CANH	2
24V	3
CANL	4
Sensor Weiß 4Pin	
GND	1
5V	2
24V	3
Signal	4
SDC Schwarz 3Pin	
SD _{in}	1
SD _{out}	2
SDC _{indicator}	3
Servos Weiß 3Pin	
Signal	1
GND	2
8.3V	3
Brakelight Weiß 3Pin	
Signal	1
GND	2
24V	3
Binder SubM9	
CAN 4Pin	
GND	1
CANH	2
24V	3
CANL	4

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 verdrillten symmetrischen Datenleitungen. Wichtig zu beachten ist das der CAN-Bus immer als linien-

topologie aufgebaut werden sollte und dabei die anzahl an stichleitungen möglichst klein zu halten ist. Weiterhin muss an enden der Linie ein 120Ohm Wiederstand eingesetzt 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

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 knopfe, 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 ausgangsstatus des SDC abzweigt und z.b dem Discharge bereitstellt.

Wichtig beim Shutdowncircuit zu beachten ist das an möglichst vielen stellen stichleitungen

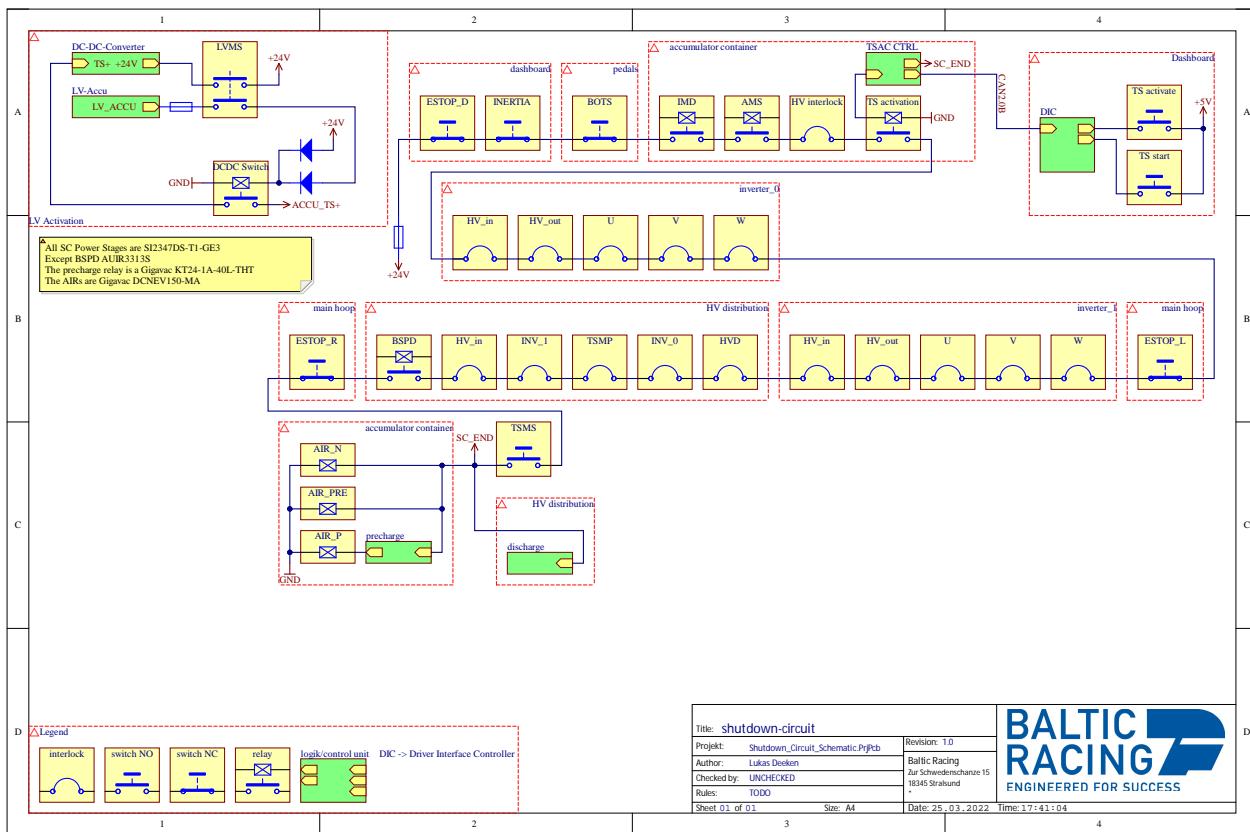


Abbildung 4.16

eingebraucht 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 Berechnung 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 Nm/A_{RMS}.

Damit lässt sich ermitteln das der Quadratischen 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 ermittlen für 16mm² einen Strom von 80A für 3 belastete Leiter und für 25mm² respektive einen Strom von 101A. Zur sicherheit wurde hier an der stelle auf 25mm² zurückgegriffen, allerdings sollten zukunft durchaus mal versuche mit 16mm² für die Motorleiter unternommen werden da dies zu einer durchaus signifikanten gewichtersparnis 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 10mm² Querschnitt. Jedoch konnten wir keine Steckverbinder finden welcher 10mm² Kabel akzeptiert und ein entsprechendes Rating hat weshalb wir hier auf 16mm² und damit einen max. Strom von 80A gegangen sind. Auch hier gilt wieder das noch Möglichkeiten der Ge wichtersparnis 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 das 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 Achtsamkeit 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 das sollte ein Auftrag für ein derartiges Kabel reinkommen würde man für das Team eine entsprechende Menge kostenlos mit fertigen. Evtl. ließe sich hier in Zusammenarbeit mit anderen Teams eine nennenswerte Menge abnehmen so dass sich die 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 Mehradrig Kabel, sprich Kabel mit 3 mal 25mm², 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 Gewichtserspartnis 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 mehradrig Kabel wurde sich entschieden das diese insgesamt eine Gewichtserspartnis 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 Verbindungen überprüfen kann ohne das etwaiger Schrumpfschlauch wieder entfernt werden muss. Weiterhin hat Isoband im Bereich HV absolut keine sichere Wirkung und wird auch von der FSG nicht als adequate 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 parallelenschalten von mehreren Pins in einem Steckverbinder zum leiten des Stromes da dann am Steckverbinder für jeden parallelen kontakt entsprechende sicherungen vorgesehen sein müssen. Dem aufmehrksamen 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 entsprechende 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 das deren Rating höher ist als das der Sicherung oder wir müssen im Unkehrs schluss schauen das 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 flachstecj-sicherung wei 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 Kurschlusstrom, 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 0,02Ohm 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 16mm² 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	9.36592	0.0779	0.235512	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	5.18923	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 kHz
17	0.0453	1.15062	5.064	16.60992	19	2.9	13 kHz
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	84.1916	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 4.17: Leiterquerschnittstabelle

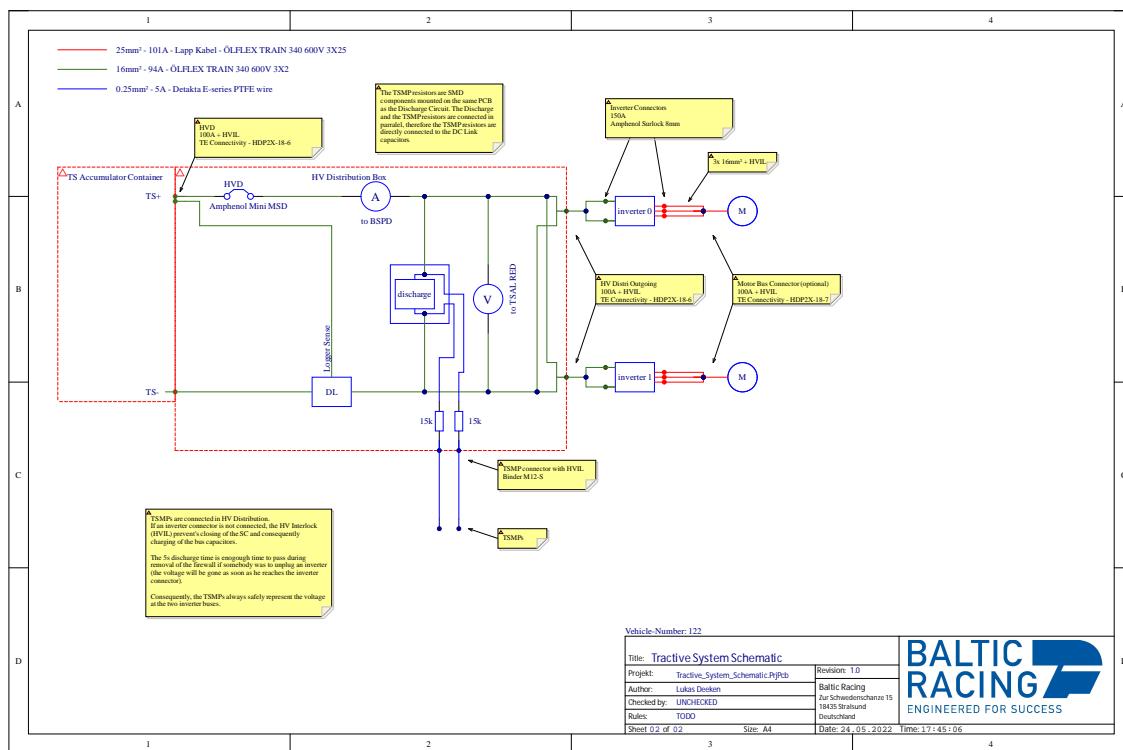
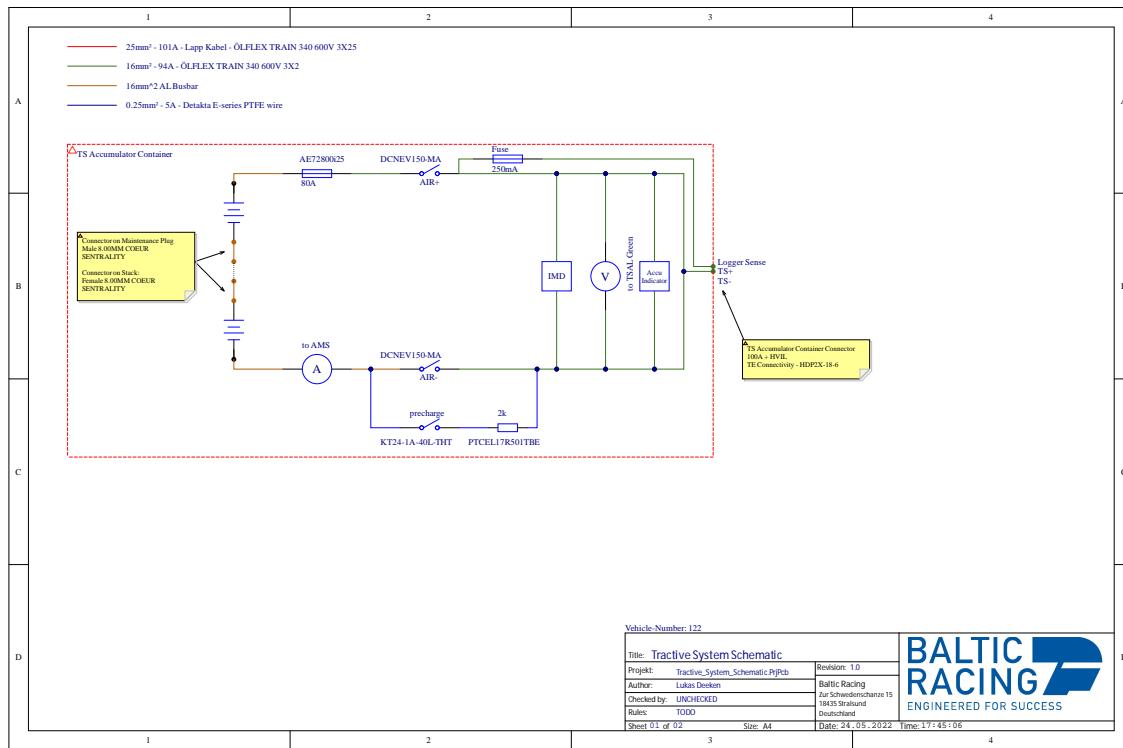


Abbildung 4.19

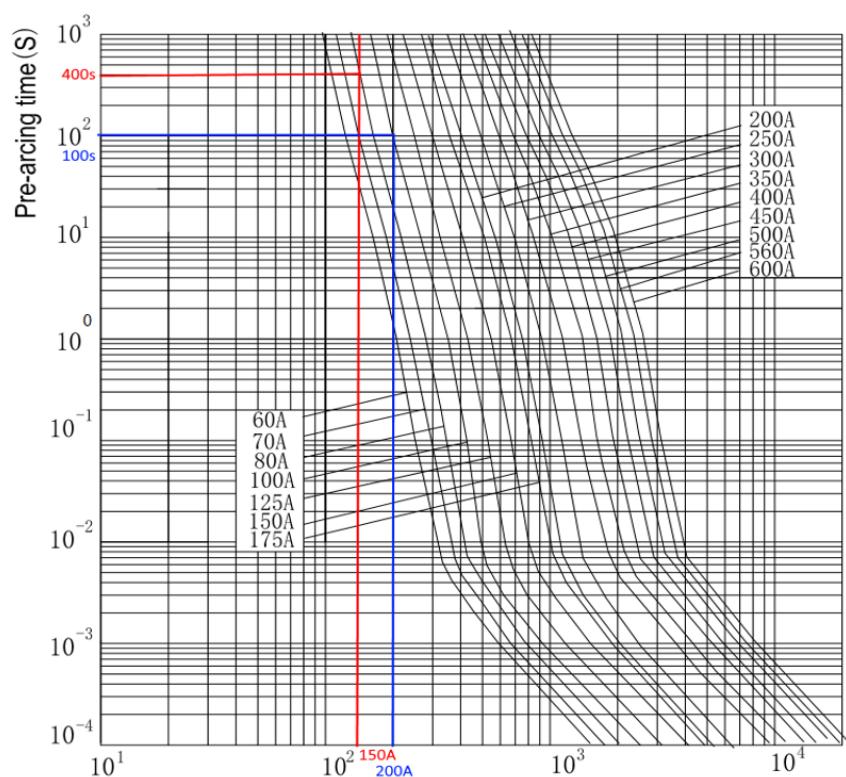


Abbildung 4.20

4.5 Ladesystem / Handcart

(zusammen mit Flo Irle)

5 Mechanische Systeme

An dieser Stelle geht mein Dank an Florian Irle, der obwohl er sich eigentlich etwas aus dem Projekt zurückhalten wollte, mit einem beispiellosen Tatendrang an der Entwicklung und Konstruktion des Antriebssystems besonders des Getriebegehäuses und des Gussprozesses mitgearbeitet hat.

5.1 Antriebslayout

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

kurz was gibt es und warum machen wir das was wir machen

5.2 Packaging

Packaging leistungskennzahl, Volumenfüllungsgrad, schwerpunkt position, wartungsaufwand

5.3 Systeme

5.3.1 Kühlung

(zusammen mit Julian Vogt und???)

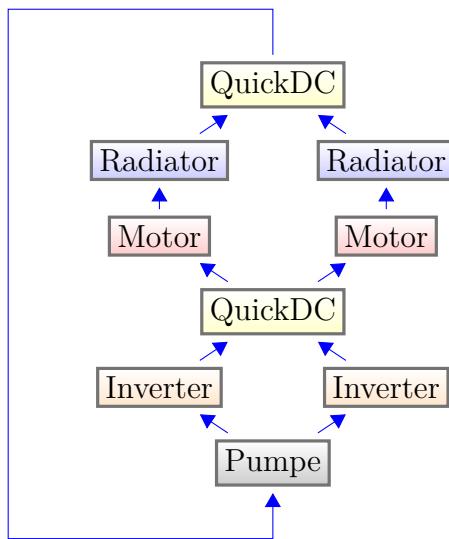


Abbildung 5.1: Kühlsystem Übersicht

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 angewandte 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 Kühlssystem 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_{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 Dronennmotor 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 Gesetzes 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.

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

Mit Hilfe der Vorherigen Rechnung können wir nun den gleichen Rechenweg Rückwärts gehen um uns wieder alle übrigen Parameter zu berechnen. Die Lüftauströmfläche beträgt

Eingangsparameter		
A _{Prop}	8107	mm ²
F _{Schub}	650	g
P _{elektrisch}	286	W
ρ _{Luft}	1,225	Kg/m ³
Ergebnisse		
v _{Luft}	25,339	m/s
ṁ _{Luft}	0,25	Kg/s
ṁ _{Luft}	0,21	m ³ /s
P _{Luft}	80,79	W
η _{Lüfter}	28	%

T-Motor F2004		
v _{Luft}	75	km/h
P _{elektrisch}	195	W
EBM Papst 3214jh4		
v _{Luft}	73	km/h
P _{elektrisch}	50	W

dabei $0,004173 m^2$.

T-Motor F2004		
v _{Luft}	75	km/h
ṁ _{Luft}	0,087	m ³ /s
ṁ _{Luft}	0,107	kg/s
P _{Luft}	23,115	W
η _{Lüfter}	12	%
EBM Papst 3214jh4		
v _{Luft}	75	km/h
ṁ _{Luft}	0,085	m ³ /s
ṁ _{Luft}	0,104	kg/s
P _{Luft}	21,315	W
η _{Lüfter}	43	%

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 Drohnennmotoren bei ca. 55g liegt. Allein diese gewichtsersparnis ist den einsatz dieses gebläses schon wert. Empfehlenswert wäre an der Stelle die Optimierung des Rotorblattes auf den vorliegenden Anwendungsfall.

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

auf tikzedit grafik verlinken

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 m³/h.

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

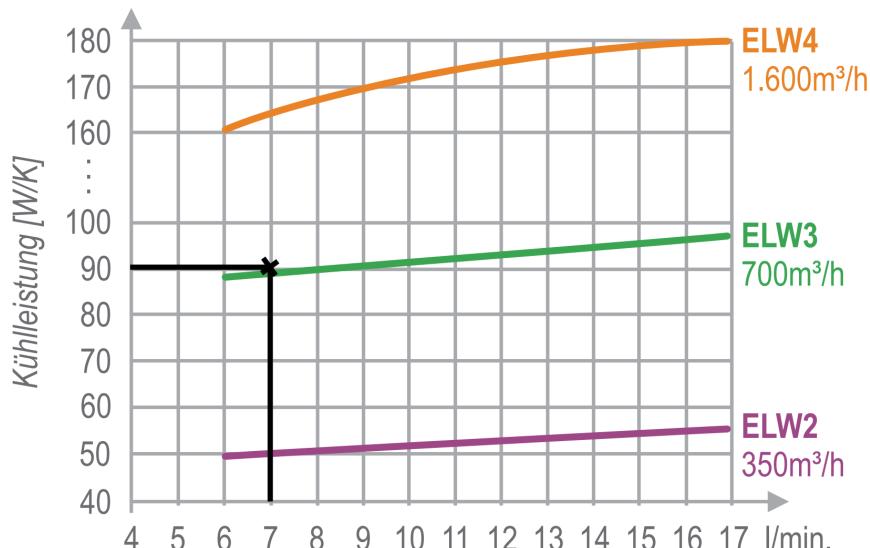


Abbildung 5.2

Unser angestrebter Radiator entspricht mit seiner Netzfläche am ehesten dem ELW3. Dies würde bei den bisher bekannten Betriebsdaten zu einer 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.

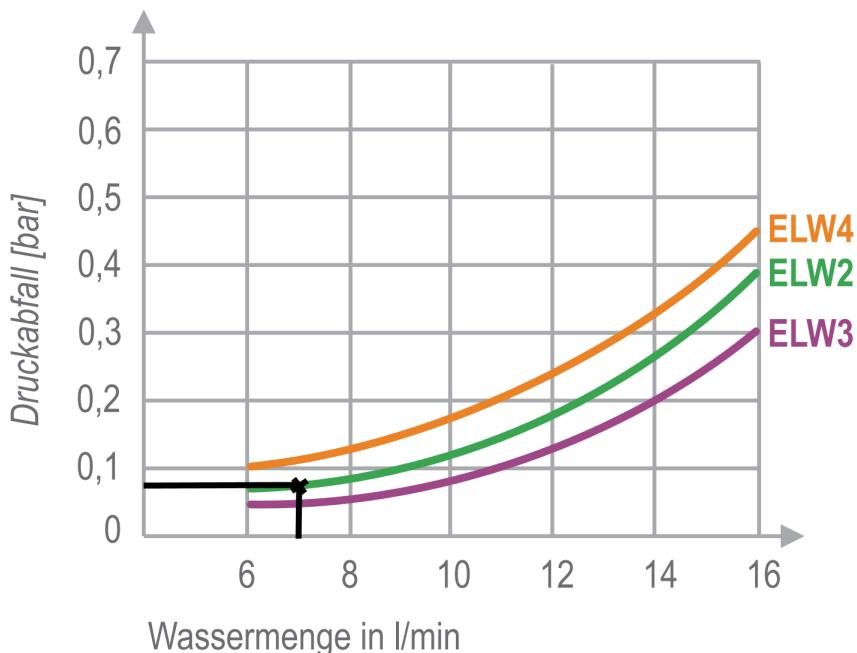


Abbildung 5.3

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 verlaufen ist jedoch in der Regel ein quadratischer Verlauf zu erkennen weswegen hier quadratisch regressiert wurde. Wir beginnen mit der allgemeinen 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

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

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

Für die Leitungen würde eine extensive Berechnung durchgeführt auf die an dieser Stelle

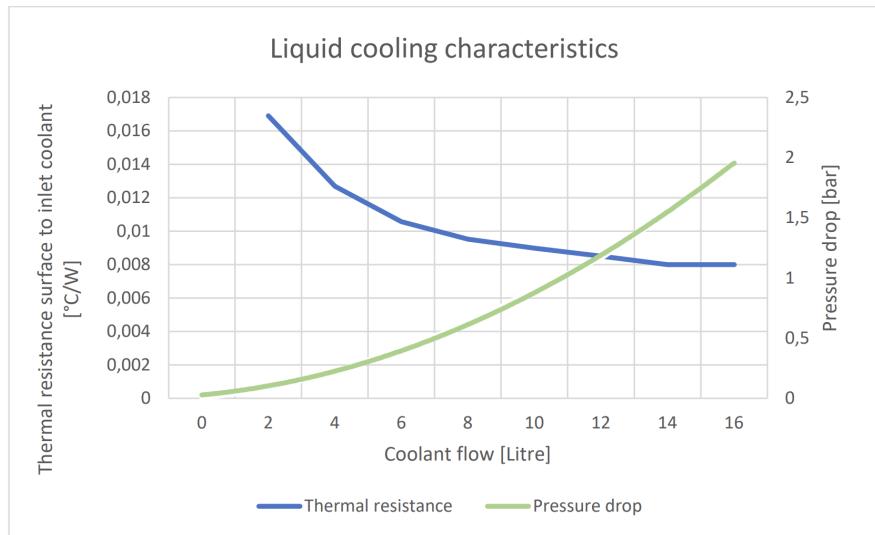


Figure 4. HV-500LC Thermal resistance and water flow correlation

Abbildung 5.4

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

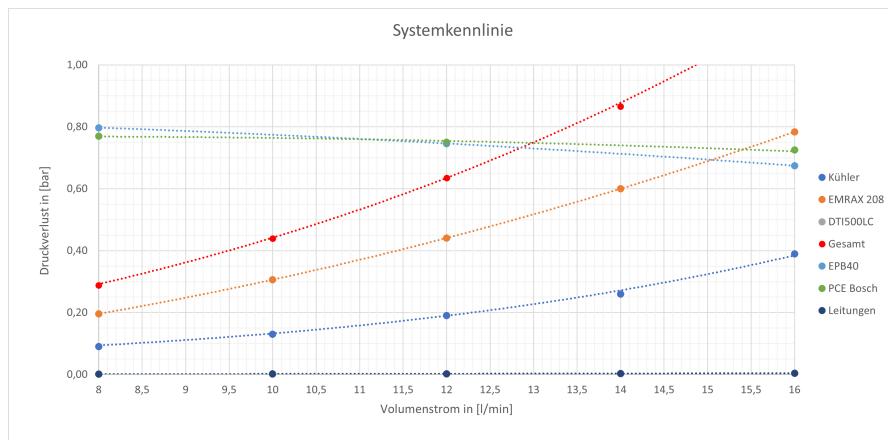


Abbildung 5.5

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 Antrieb

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

5.3.2.1 Outbound vs Inbound

Radnabenmotor vs interner motor ungeferte massen packaging im rad problem(Planetengetriebe) fertigungsaufwand innenzahnkranz, generell zahnräder keine Antriebswellen besseres packaging im auto

5.3.2.2 Gussgehäuse vs Fräsgehäuse vs Schweißgehäuse

(Flo Irle) Vor und nachteile

eingehen aufs gussgehäuse

SES anforderungen Flexural rigidity E modul vs yield strenght welche verbesserungen bringen wo was Gussimulation FEM Bilder CAD Bilder Formkasten Heizofen tiegel trageschere gussmaterial auswahl kellen etc. für zusätze wärmebehandlung materialtests zusatzstoffe guss stuff von Floh?

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

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