



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	14
4.3	Wechselrichter	14
4.4	Kabelbaum	14
4.4.1	Kabeldimensionierung	14
4.4.2	Sicherungsauslegung	14
4.4.3	Steckverbinder Auswahl	14
4.4.4	HVD	14
4.4.5	AIR	14
4.5	Shutdowncircuit	14
4.6	Ladesystem / Handcart	14
5	Mechanische Systeme	15
5.1	Packaging	15
5.1.1	Antriebslayout	15
5.1.2	Akkumechanik	15
5.2	Systeme	15
5.2.1	Kühlung	15
5.2.2	Getriebe	15
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

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
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 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

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

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

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

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

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

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

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 Einzeln

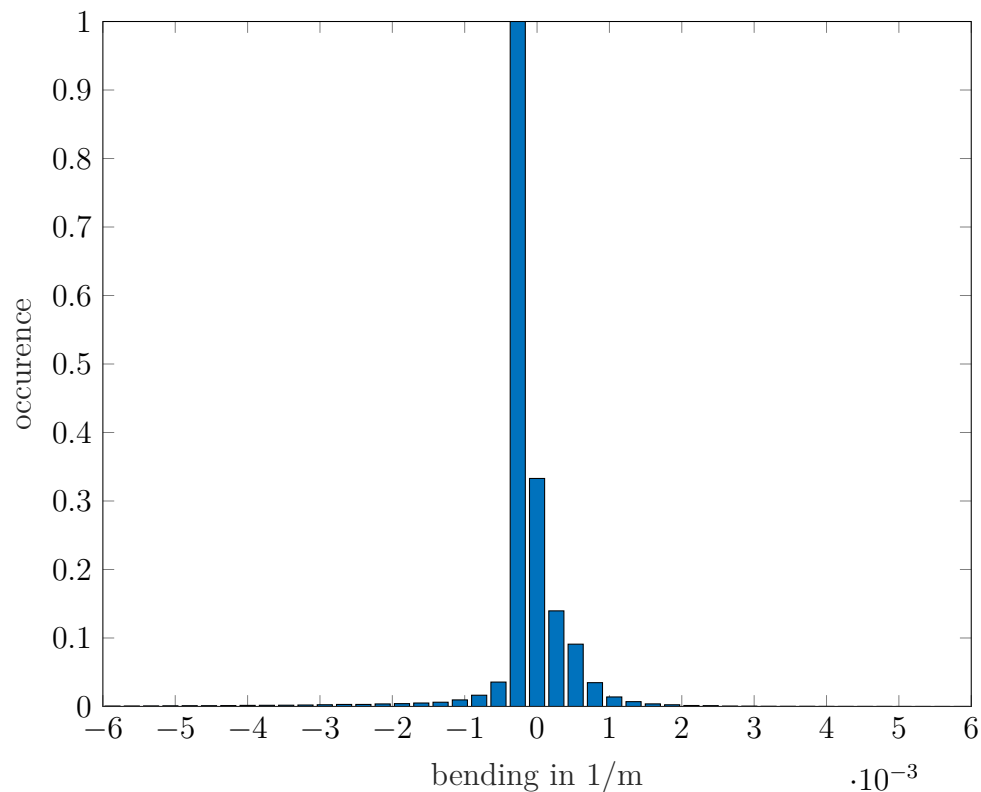


Abbildung 2.1: Krümmungshistogramm

2.6.1.2 Gruppen

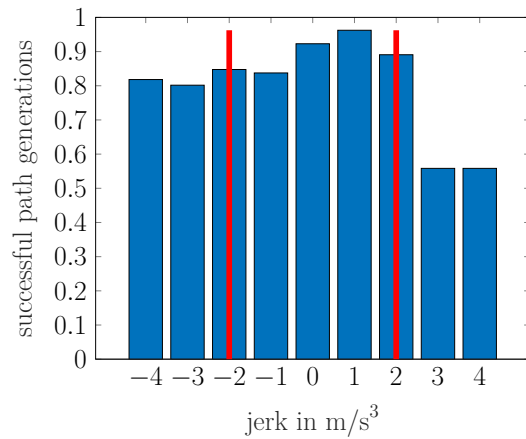
Bei dieser Art ist die Bearbeitung innerhalb des jeweiligen .tex-files der Diagramme zu beachten. Diese sind folgende:

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

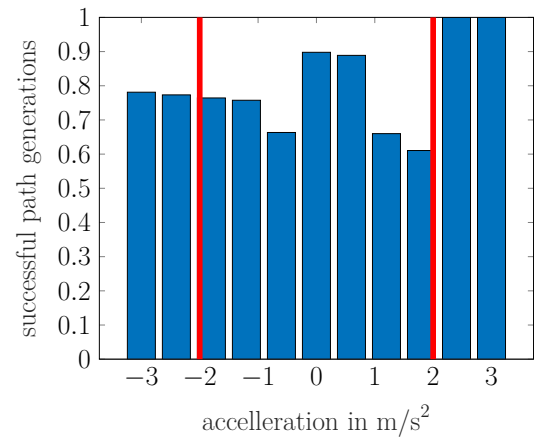
2.6.2 Bilder

2.6.3 Flussdiagramme

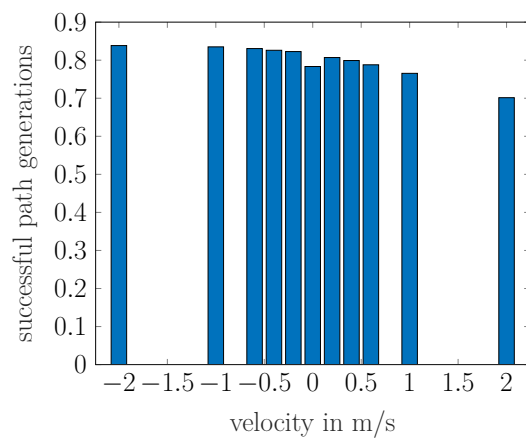
Die Elemente hierfür sind in der Datei `appearance.tex` festgelegt. Auf diese Weise wird ein Dokumentübergreifendes Design definiert und somit Konsistenz garantiert. Es ist zu empfehlen



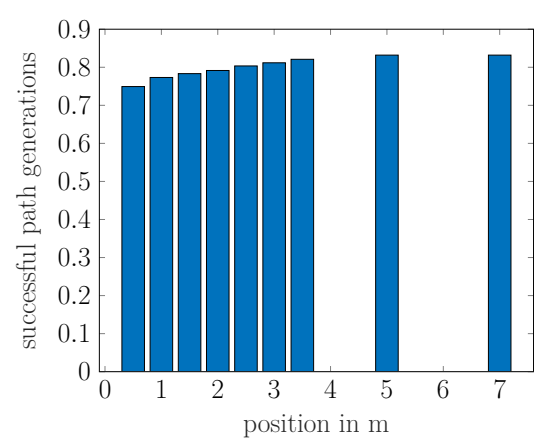
(a) Ruck



(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.

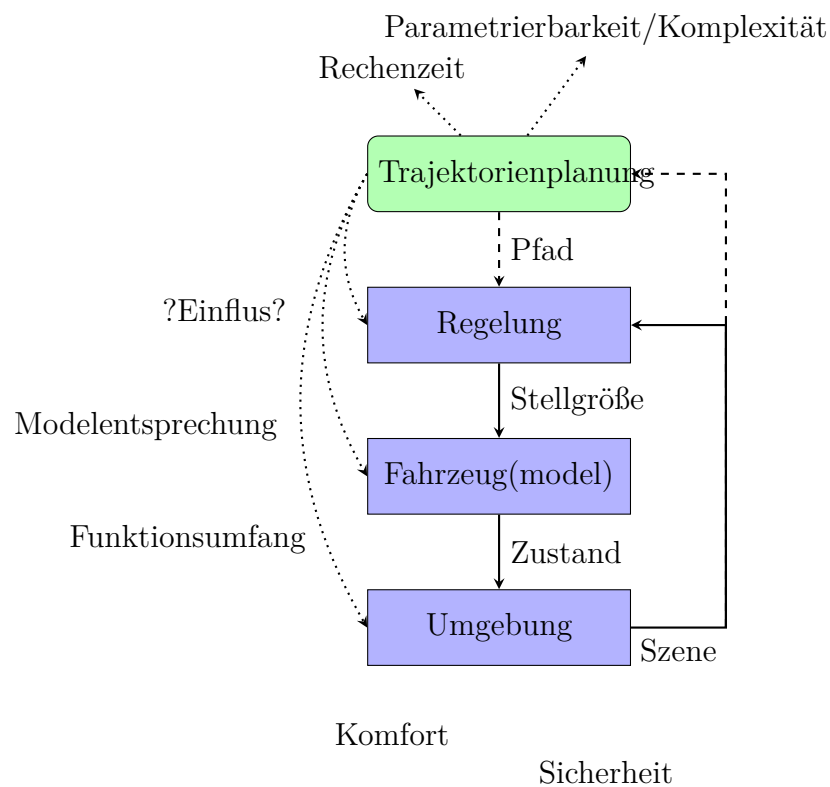


Abbildung 2.3: Beispiel eines Flussdiagramms

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

Insulation Measurement 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

4.1.1 Zellenauswahl

Wichtig bei der Zellenauswahl ist, dass stets jede individuelle Zelle für sich begutachtet werden muss. Es gibt bei den diversen Bauformen und chemischen Zusammensetzungen gewisse 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.

(4.1)

Gewicht 220 kg Anfangsgeschwindigkeit 100 km/h Endgeschwindigkeit 20 km/h Effizienz des Antriebes 0.85

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 gar ganze

bremsvorgänge an energie zu speichern

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)

Zeichnen 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 formula fahrzeug birgt große technische herausforderungen

Chemische Speicher (Klassische Akkuzelle)

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

4.1.1.2 Runde vs Pouch vs Prismatische Zellen

(Pouch zelle

in der regelung höhere packungsdichte möglich damit höherste volumetrische energie und leistungsdichte in der regel weniger zellen weniger als 300 manchmal sogar nur 150 weiches gehäuse ist leicht zu beschädigen, bedarf vorsichtiger umgang aufblähen beim laden und entladen muss bei konstruktion berücksichtigt werden sonst platzen der zellen möglich

Rundzelle

geringere fertigungstoleranzen durch serienfertigung idr kein matching erforderlich hoher grad an standardisierung damit folgen mechanische austauschbarkeit und gute marktverfügbarkeit Hartes gehäuse damit geringe wahrscheinlichkeit von penetration 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 Akkuzellen 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. Li-ion umfasst dabei ein Konglomerat aus diversen Zellchemien, welches eigentlich auch LiFePO_4 mit einschließt. Zur Vereinfachung des Vergleiches wurden alle Li-ion Chemien mit einem typ. Arbeitsbereich von 3-4,2 hierunter zusammengefasst. Die hierbei aufgrund der hohen Leistungsdichte am häufigsten vertretene Chemie ist LiNiMnCoO_2 .

In der Analyse ergibt sich das Bild, dass sich **Lithium FerroPolymere** (LiFePO_4) Zellen für ein Konzept mit hohem Rekuperationsanteil, aber niedriger Gesamtkapazität eignen, während sich Li-ion Zellen für ein Konzept mit niedrigerem Rekuperationsanteil und hoher Gesamtkapazität eignen. Weiterhin muss hier berücksichtigt werden, dass LiFePO_4 Zellen meist ein niedrigeres 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 Rekuperationen 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 Systems wurde beim TY22 auf ein 2WD System gesetzt. Daher ist der Einsatz von konkret LiNiMnCoO_2 Zellen am ehesten sinnvoll.

4.1.1.4 Die „Ideale“ Akkuzelle

4.2 Elektromotor

4.3 Wechselrichter

4.4 Kabelbaum

4.4.1 Kabeldimensionierung

4.4.2 Sicherungsauslegung

4.4.3 Steckverbinder Auswahl

4.4.4 HVD

4.4.5 AIR

4.5 Shutdowncircuit

4.6 Ladesystem / Handcart

5 Mechanische Systeme

5.1 Packaging

5.1.1 Antriebslayout

5.1.2 Akkumechanik

5.2 Systeme

5.2.1 Kühlung

5.2.1.1 Radiator & Lüfter

5.2.1.2 Wasserpumpe und Schläuche

5.2.1.3 Akkumulator

5.2.2 Getriebe

5.2.2.1 Outbound vs Inbound

5.2.2.2 Gussgehäuse vs Fräsgehäuse vs Schweißgehäuse

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