



Stephan Thaler; David Zander; Martin Fischer

Ekart Racing – Entwicklung eines elektrischen Antriebskonzeptes für ein Gokart

116 – Energy, Environment & Transportation

Abstract

Im Rahmen dieses Projektes konnte ein fahrbereiter mechanischer Aufbau sowie ein elektrisches Antriebskonzept inklusive Komponentenaufstellung nach den Anforderungen des Auftraggebers entwickelt werden. Besonders von Eigeninteresse geprägt sind in diesem Projekt programmierbare Fahr-Management-Prozesse, welche vor allem elektronisches Differential, Lenkeinschlag-Differential-Beeinflussung, Anti-Slip-Control(ASC), Battery-Management und Balancing-Control betreffen. Schnellladetechniken und Batterie-Technologien sind dabei in Entwicklung. Der Vorteil eines elektrisch angetriebenen Karts mit implementierbaren Sonderfunktionen liegt nicht nur an der Vermeidung von Lärm und Abgasen sondern vor allem an einem völlig neuen Fahrgefühl, einem zusätzlichen Unterhaltungsfaktor durch die erweiterbare Spielfunktion sowie durch die Optimierbarkeit und die einfach regelbare Leistung der Fahrzeuge. Durch diesen ersten Prototyp ist es dem Unternehmen möglich ihre softwarebasierten Sonderfunktionen zu integrieren und zu evaluieren. Somit konnte eine Basis geschaffen werden, die es dem Unternehmen ermöglicht, diesen Geschäftszweig weiterzuentwickeln und angemessen zu präsentieren. Im Anschluss an den durchgeführten Innovationsscheck ist eine Kooperation zur Weiterentwicklung des Prototyps bzw. zur Herstellung einer optimierten Version, die neben den Grundfunktionen eines Leihkarts auch höheren Ansprüchen unter Berücksichtigung von Regeln des Leichtbaus und optimierten Fahreigenschaften genügen soll. Des Weiteren ist noch die Verfügbarkeit von Sonderfunktionen wie die Kommunikation mit dem Bahnterminal, das Monitoring sowie die ein Schnellwechselsystem des Traktionsakkupacks geplant, wodurch sich eine langfristige Forschungszusammenarbeit zwischen den Partner ergeben soll.

Keywords:

EKart, elektrische Maschine, e-Mobilität, GoKart

Konzept

Ein großes Thema bei herkömmlichen Go-Kart-Bahnen sind der Lärm und die Abgase der Verbrennungsmotoren, mitunter auch die Eintönigkeit des Go-Kart- „Erlebnisses“, vor allem für Zuschauer, was viele dazu veranlasst, um Go-Kart-Bahnen einen großen Bogen zu machen. In der jetzigen Form fehlt vielen Bahnen die Attraktion, fast allen die Möglichkeit einer Nachnutzung des Besuches und die Einbindung der Besucher. Die Idee der Firma eKart racing ist es, ein neu entwickeltes Go-Kart, das interaktiv, elektrisch betrieben, emissionsfrei und nahezu geräuschlos ein neues Fahrgefühl vermittelt und

in Verbindung mit einer Webapplikation dem Fahrer, dem Besucher und dem Bahnbetreiber die Möglichkeit einer nachhaltigen Nutzung, einer nachhaltigen Kundenbindung bietet, zu entwickeln.

Es gibt derzeit keine Hersteller die ein Go-Kart produzieren, welches im Design, der Konstruktionsweise, Antriebstechnik, Elektronik und in der Interaktivität etwas derart Besonderes darstellt. Das neu entwickelte System in Verbindung mit der Webapplikation wird die Bedürfnisse der Marktteilnehmer besser befriedigen. Beim Design möchte die Firma eKart racing besonderes Augenmerk auf Rennsportassoziation und auf das Wecken von Emotionen legen. In seinem ganzen Erscheinungsbild soll das Go-Kart als Rennwagen wahrgenommen werden.

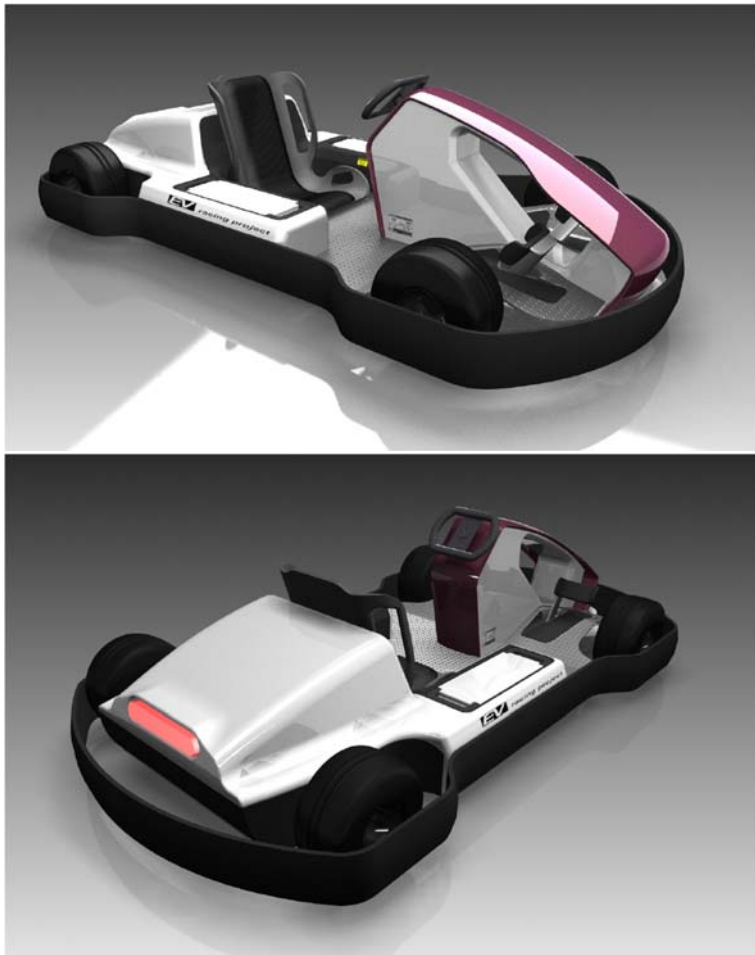


Abb. 1.01: Designstudie (Payr Engineering 2011)

Das Chassis soll sich auch in Qualität von bestehenden Produkten wesentlich unterscheiden. Ein besonderes Designelement stellt das breite Bremslicht dar.

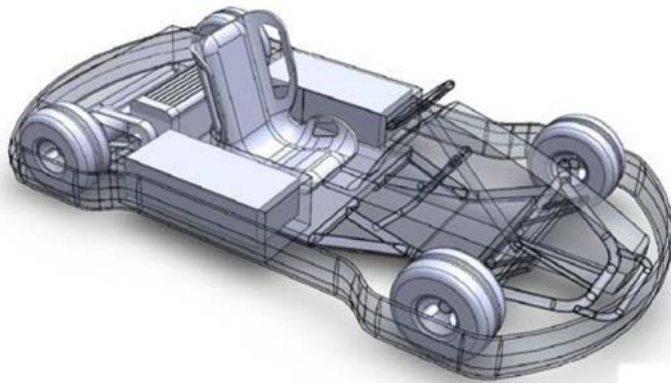


Abb. 1.02: Designstudie Rahmenaufbau (Payr Engineering 2011)

Die Energie des Go-Karts wird durch Akkumulatoren bereitgestellt. Als „Tank“ dienen zwei Akkupacks, die links und rechts neben dem Fahrer angebracht sind.

Über ein noch zu entwickelndes Stecksystem sollen diese sofort (auch durch den Fahrer) austauschbar sein. Nicht das Go-Kart muss an die Box und an die Ladestation, nur der Akkupack. Das Go-Kart ist mit neuen Packs sofort wieder startklar – es gibt keine Stehzeiten mehr. Durch dieses System können auf Wunsch auch Boxenstopps in Rennen eingebaut werden. Der Akkuwechsel ersetzt den Reifenwechsel.

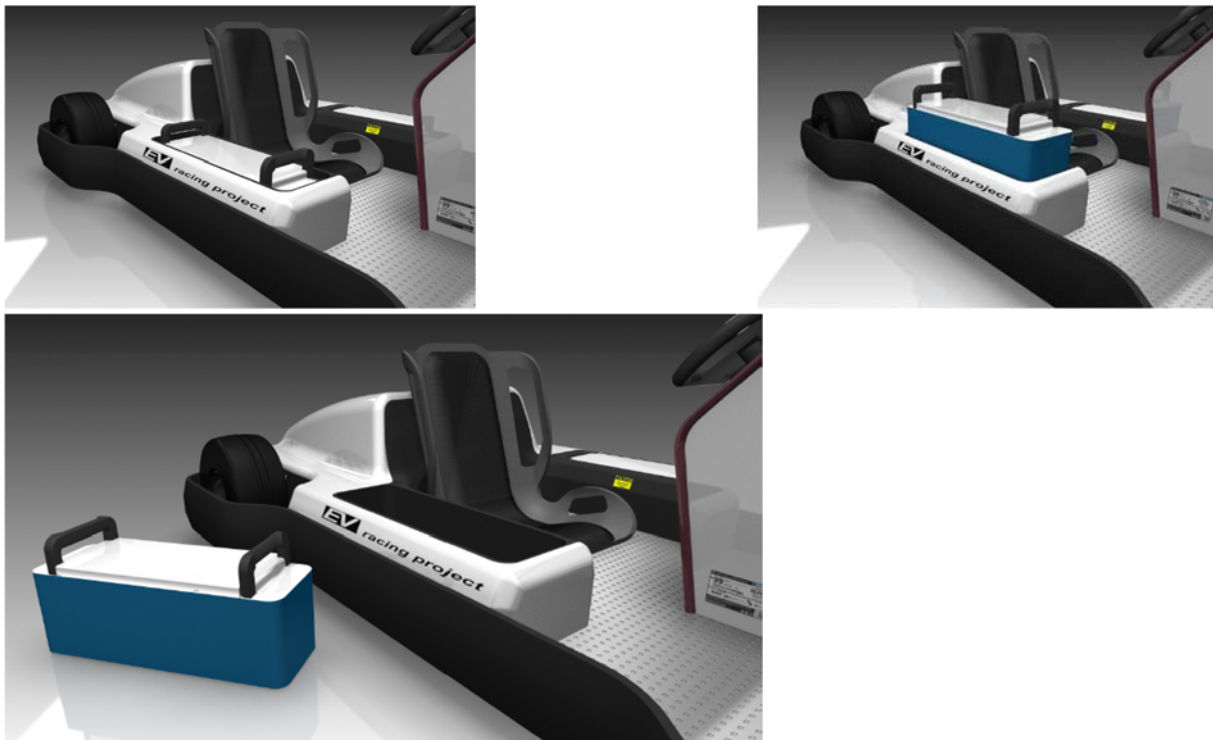


Abb. 1.03: Designstudie Wechselakku (Payr Engineering 2011)

Das Go-Kart soll auch über eine intelligente Motorsteuerung verfügen, die es erstmals möglich machen wird, die Leistungsfähigkeit des Go-Karts mit dem Gewicht des Fahrers abzustimmen, um völlige Chancengleichheit zwischen den Teilnehmern herzustellen. Dies ist bei allen herkömmlichen Systemen eine

der größten Schwachstellen, die jedem ehrgeizigen Fahrer die Freude am Vergleichskampf nehmen kann, wenn das Ergebnis des Rennens nicht vom fahrerischen Können abhängt, sondern vom Glück bei der Wahl des Go-Karts.

Ein weiterer Vorteil des Elektromotors liegt in der Möglichkeit eines Rückwärtsganges. Auch dadurch lässt sich der oftmals nicht ungefährliche Einsatz eines Streckenpostens vermeiden, wenn ein Go-Kart einmal in eine Absperrung geraten ist.

Es sind noch weitere Entwicklungen wie die speziellen zusätzlichen elektronischen Komponenten (Lenkrad, Soundsystem) sowie deren Steuerung, die entsprechende Software sowie auch die Online-Plattform geplant. Die Abstimmung der Kommunikation des Go-Karts mit dem Bahnterminal ist ebenfalls noch zu konzipieren und ein entsprechendes System ist zu entwickeln (Hallen-GPS).

Es gibt derzeit bereits Elektro-Karts am Markt und auch Betreiber von dazu passenden Bahnen. Dabei handelt es sich um herkömmliche Go-Karts, die sich in ihrer Funktionsweise von jenen Go-Karts, die mit Verbrennungsmotoren betrieben werden, nicht unterscheiden. Auch äußerlich sind kaum Unterschiede gegeben. Langfristig werden sich derartige Go-Kart-Bahnen aber durchsetzen, da sich jetzt schon zeigt, dass dort ein nachhaltigerer Besucherandrang herrscht und insbesondere mit der Emissionslosigkeit gepunktet wird.

Ein großer Nachteil der herkömmlichen Elektro-Go-Karts liegt darin, dass sie zum Laden in eine Ladestation gefahren werden müssen und während des Ladevorganges dem Bahnbetreiber nicht zur Verfügung stehen.

Dieses Forschungsprojekt wurde mit der Suche und Evaluierung von geeigneten Komponenten zur Elektrifizierung eines herkömmlichen Leihkarts gestartet. Dabei wurde die Recherche in drei Themenbereiche unterteilt, welche die Auswahl der geeigneten elektrischen Motoren samt Controller, die Energiespeicherung samt Zubehör sowie dem mechanischen Umbau inklusive der Auswahl der benötigten Komponenten aus dem Kartsport umfassten. Voraussetzung für alle evaluierten Komponenten waren die Vergleichbarkeit hinsichtlich der Leistung mit handelsüblichen Karts, die Implementierungsmöglichkeit der vom Auftraggeber gewünschten Zusatzfunktionen, sowie ein für den Auftraggeber zumutbares Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Mechanische Komponenten

Der zur Verfügung gestellte Standardrahmen wurde an die neuen Herausforderungen angepasst. Dazu wurde das Chassis symmetrisch ausgerichtet und Befestigungsmöglichkeiten sowie Gehäuseaufbauten für die neuen Komponenten geschaffen.



Abb. 1.04: Adaptierung des Kartrahmens

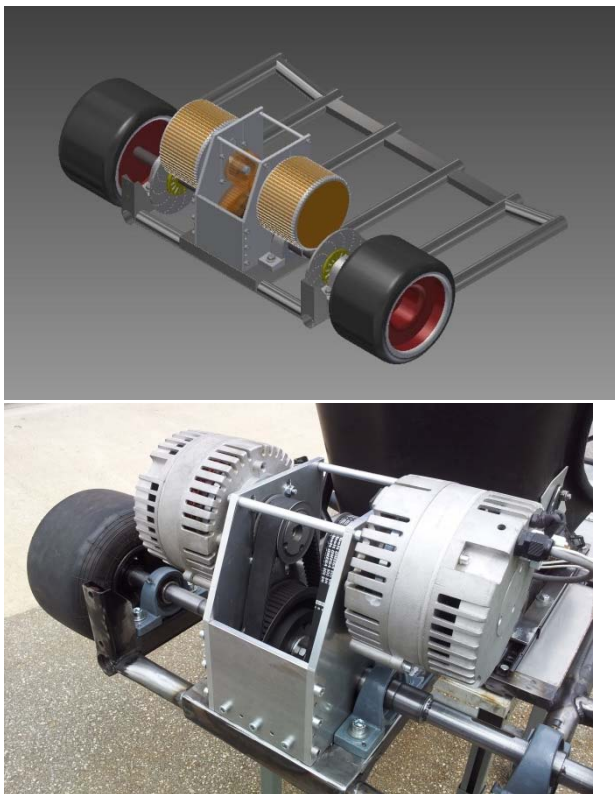


Abb. 1.05: Konstruktion und Umsetzung des Heckaufbaus

Die Hinterachse wurde geteilt und eine neue Befestigung konstruiert um eine der gewünschten Sonderfunktionen zu ermöglichen. Die benötigten Zusatzaufbauten wurden entsprechend konstruiert und angefertigt

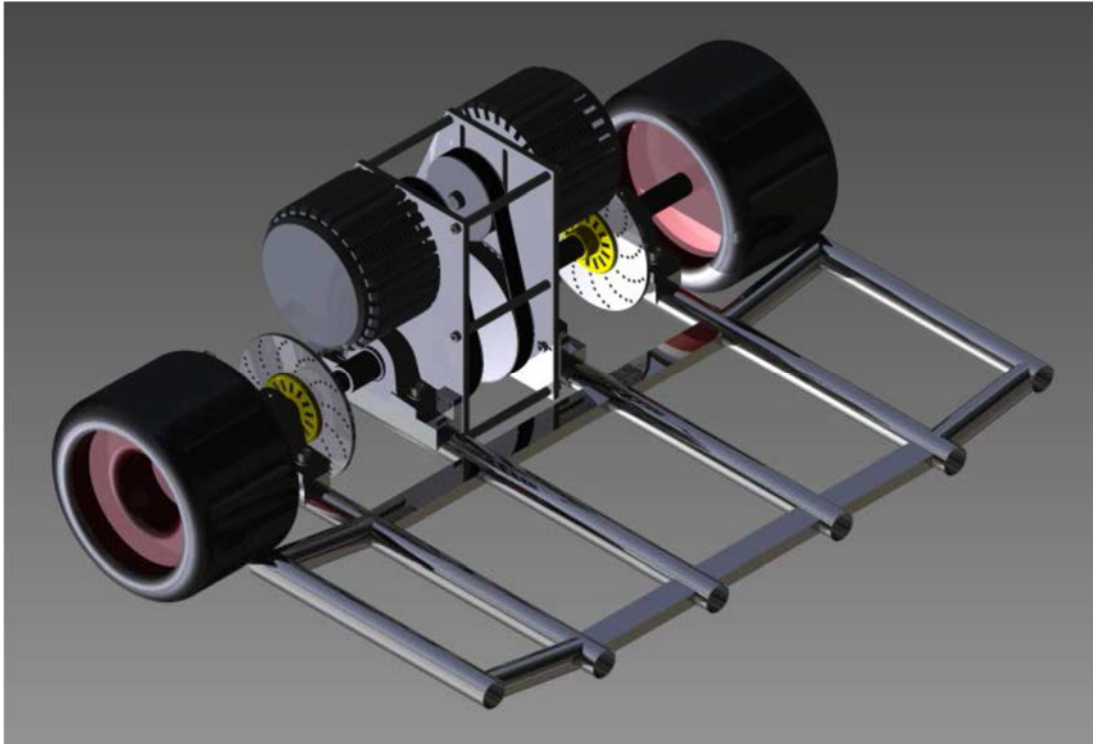


Abb. 1.06: Design des Heckaufbaus

Weiters wurde eine Aufstellung der benötigten Fahrzeugkomponenten erstellt und an den Auftraggeber weitergeleitet.

Motoren und Controller

Als Antriebsmaschine wurden 2 Stück Motoren von Motenergy (PMAC ME0907) ausgewählt um die beiden getrennten Hinterachsen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten betreiben zu können.



Abb. 1.07: Motor und Regler (Sevcon 2014)

Parameter des ausgewählten Motors:

- 3 Phasig, Permanetmagnet-Synchronmotor mit axialen Luftspalt
- 8-Pole-Motor (4 Polpaare)
- Wicklungswiderstand: 0,013 Ohm
- Empfohlene Maximale Rotordrehzahl: 5000 RPM
- Spannung: 0 bis 72 VDC Input
- Drehmomentkonstante: 0,13 Nm pro Ampere
- Induktivität: 0,10 Milli-Henry
- Dauerstrom: 80 A AC
- Spitzenstrom: 220 A AC für 1 Minute
- Gewicht: 22 pounds
- Spitzenmoment: 38 Nm
- Offenes Gehäuse in Lüfter-gekühlter Ausführung
- mit internem Temperatursensor

Electrical Parameter	Unit	Parameter
Operating Voltage Range	VAC	0 minimum to 48 maximum
Rated Continuous Current	Arms	80 minimum
Peak Phase Current	Arms	
No Load Current (I_{NL})	Arms	Dependent on the motor control
Peak Stalled Current	Arms	250
Continuous Current	Arms	80 minimum
Voltage Constant	RPM/V	70 (DC input to a motor controller)
Back EMF Constant (K_e)		
Phase Resistance (L-L)	Ohm	0.013
Coil Connection	n/a	Y, non-grounded
Phase Turns	Turns	20
Phase Inductance	uH	82 at 1kHz 107 at 120Hz

Abb. 1.08: Elektrische Parameter des Motors (Sevcon 2014)

Mechanical Parameter	Unit	Parameter
Rated Speed	RPM	3000
Maximum Speed	RPM	4000
Rated Torque	Lb-in	70
Peak Stalled Torque	Lb-in	330 DC to motor control
Continuous Stalled Torque	Lb-in	300
Torque Constant	Lb-in/A	1.2 (DC input current to a motor controller)
Operating Ambient Temperature	C	-40 to 40
Motor Winding Insulation	Class	F
Abs. Winding Allowable Temperature	C	155
Max. Winding Operating Temperature	C	145
Thermal Impedance	Rth	n/a
Thermal Time Constant	Tth	n/a
Shaft Configuration		See Drawing
Face Mounting Details		See Drawing
Tightening Torque for Terminals		See Drawing
Weight	lb	22
Direction of Rotation	I	CCW facing motor shaft
Storage Temperature	C	-30 to 150

Abb. 1.09: Mechanische Parameter des Motors (Sevcon 2014)

Als Motorsteuerung wurden Regler der Fa. Sevcon (Gen4 Size 2 /48V / 275A) ausgewählt. Diese Geräte bieten eine ideale Unterstützung der ausgewählten Motoren und besitzen eine Busschnittstelle die eine Verbindung zu weiteren Komponenten sowie die Einbindung von Zusatzfunktionen ermöglicht.

Die Parametrierung des Motors/Controllers wird über diese Can-Schnittstelle mittels USB-to-CAN Interface und der Software „CANopen Configuration Studio Lite“ durchgeführt.



CANopen Configuration Studio

for the configuration of CANopen devices and systems

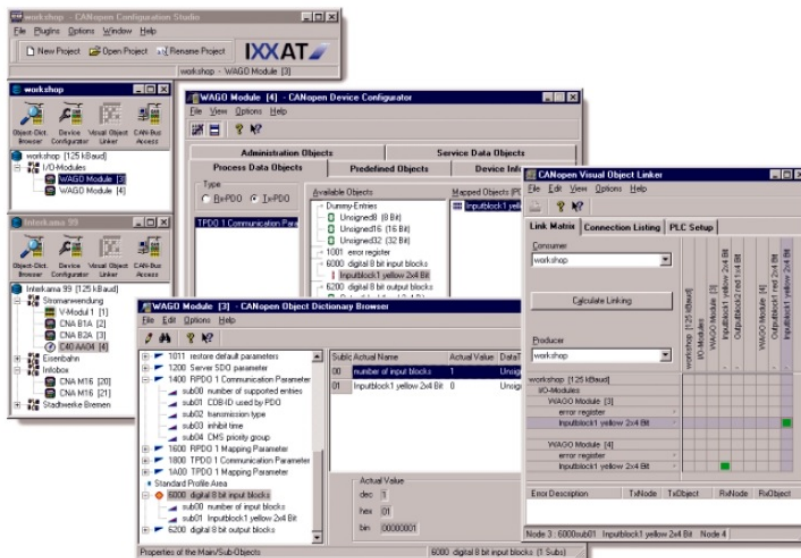


Abb. 1.10: USB-to-CAN Interface und Software (Sevcon 2014)

Energiespeicher

Als Energiespeicher für die Prototypausführung werden Modelbauakkumulatoren empfohlen. Diese sind durch Ihre geringe Größe und Gewicht einfach zu Handhaben und bieten eine hohe Lade- und Entladerate. Somit können wir kürzere Ladezeiten bieten und die Stromentnahme zu Motortestzwecken weiter variieren.

Für den Prototyp wurden aus Kostengründen Akkupakete aus dem Laborbestand der Fachhochschule verwendet. Diese Pakete bestehen aus Automotiv Lithium Ionen Akkus (185Wh Energieinhalt) die über ein Batteriemanagementsystem der Fa. REC ausgerüstet wurden.



Abb. 1.11: Akkuzellen und REC-BMS (REC 2014)

Diese wurden zu zwei Akkupaketen zu je 7S/2P (Seriell/Parallel) zusammengestellt. Somit standen uns 5,18kWh mitgeführte Energie für unsere Versuchsreihen zur Verfügung.

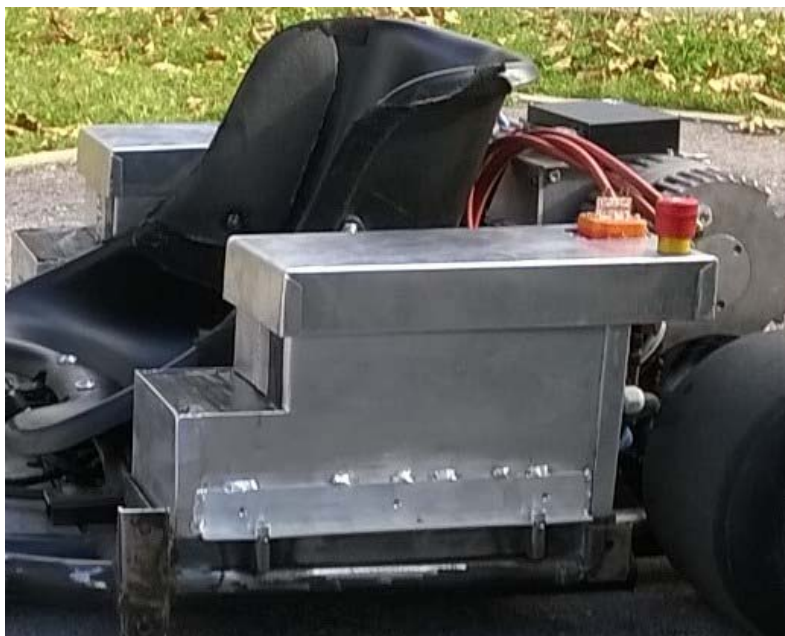


Abb. 1.12: Ausführung der Akkupakete

Versuchsaufbau

Konzeptumsetzung Prototyp

Im ersten Arbeitspaket erfolgte die Vervollständigung des mechanischen Aufbaues sowie dessen Ergänzung mit den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Fahrzeugkomponenten wie e-Motoren, Controller und Energiespeicher. Dafür mussten auch die zur Befestigung benötigten Chassisaufbauten konstruiert und gefertigt werden.

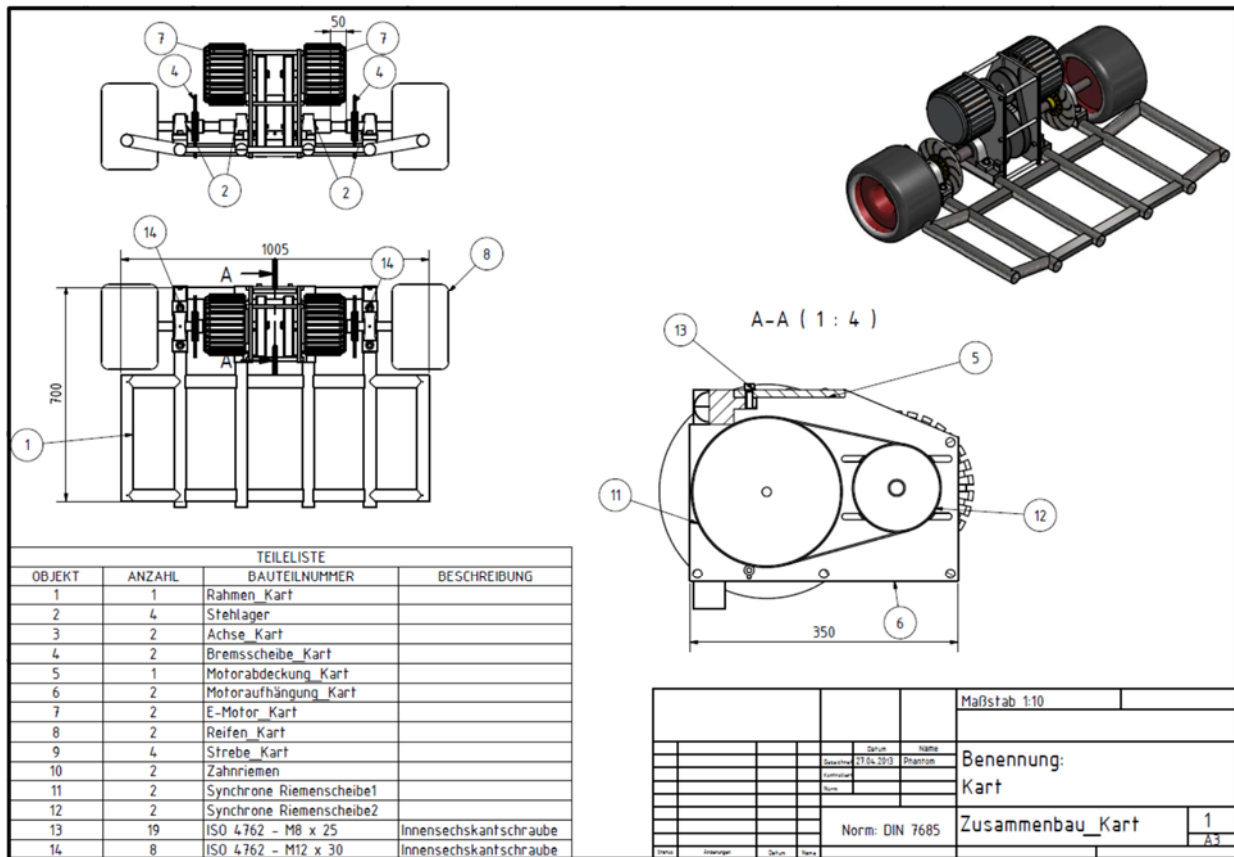


Abb. 2.01: Fertigungsskizze des Heckaufbaus

Im zweiten Arbeitspaket wurde das elektrische Antriebskonzeptes umgesetzt. Dazu mussten die elektronischen Bauteile wie Motor und Controller verkabelt, sowie die grundlegende Programmierung der Controller inklusive sämtlicher Funktionstests der einzelnen Komponenten und deren Inbetriebnahme durchgeführt. Die Akkupakete wurden nach den Anforderungen des Aufbaus konzipiert und angefertigt.

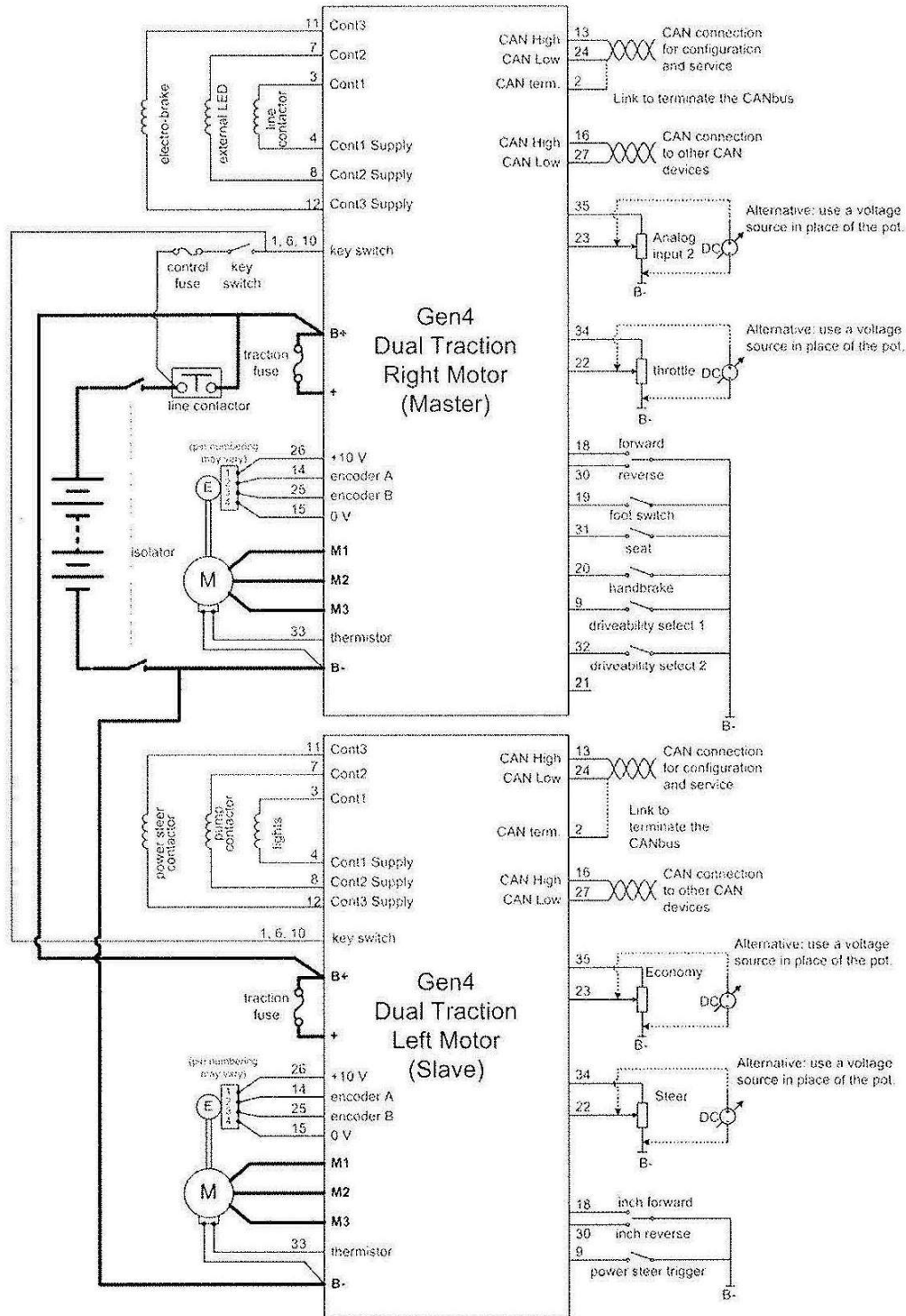


Abb. 2.02: Schaltbild Verkabelung Motor und Regler (Sevcon 2014)

Weiters wurde ein Sicherheitskonzept entwickelt und berücksichtigt. Dieses Konzept umfasst das Gesamtsystem sowie die Akkupakete.



Abb. 2.03: Verkabelung Motor, Regler, BMS

Das dritte Arbeitspaket befasste sich mit der Entwicklung eines Fahrmanagementsystems, welches Implementierungsmöglichkeiten von Sonderfunktionen bietet sowie eine Schnittstelle zur Kommunikationssimplementierung bereitstellt. Diese Features sind durch die ausgewählten Motorregler gegeben, welche über CAN-Bus Schnittstellen verfügen.



Abb. 2.04: USB-to-CAN Interface

Im vierten Arbeitspaket wurde die Grundfunktion des e-Karts sowie dessen Fahrtauglichkeit festgestellt. Dazu wurden verschiedene Fahrscenarien erstellt und ausgeführt, welche auch zur Abstimmung der Komponenten und zur Optimierung von Leistung, Effizienz und Fahrverhalten herangezogen wurden.



Abb. 2.04: Testfahrt des Prototyps

Versuche & Messungen

In den unterschiedlichen Testphasen des Prototyps wurden verschiedene Fahrscenarien erstellt und ausgeführt. Die Datengenerierung wurde mit Hilfe der REC-BMS Software ... ausgeführt.

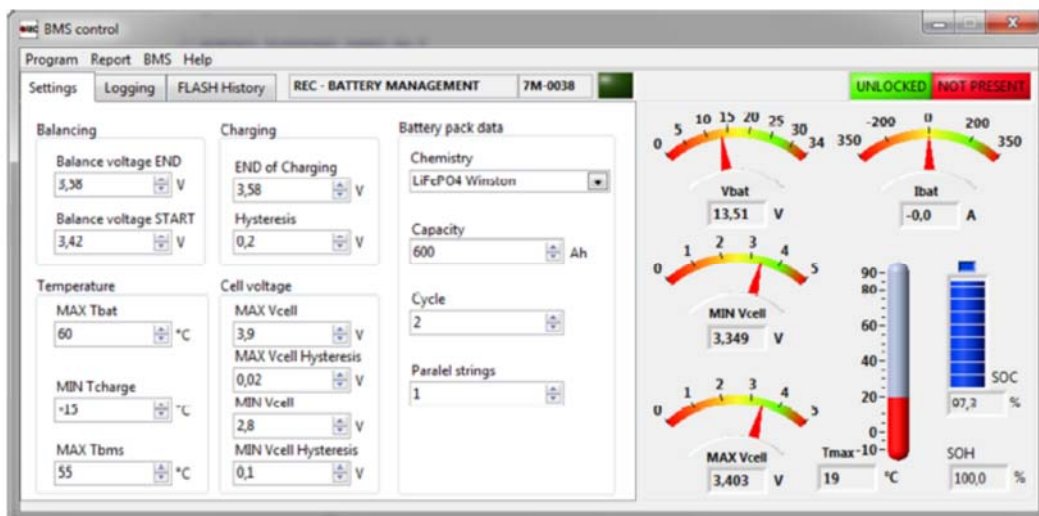


Abb. 2.05: Rec Software

Somit konnten wir eine Aufzeichnung von Strom, Spannung und Leistung während der Testfahrten durchführen. Nachfolgend wird die letzte Testfahrt mit dem Letztstand des Prototyps und den aktuellen Reglereinstellungen beschrieben und ausgewertet.

Diese Testreihe wurde am 28.10.2014 auf einem Rundkurs am Standort der Science & Energy Labs Villach bei einer Außentemperatur von: +12°C durchgeführt.



Abb. 2.06: Testsetup, Auswertung der Daten und Vorbereitung und die Testfahrt

Ergebnisse

Diese Ergebnisse können leider nicht die volle Leistungskurve des Prototyps abbilden, da der Testkurs weder über eine ausreichende Beschleunigungsstrecke noch über Steigungen verfügt. So konnte die maximale Geschwindigkeit und die maximale Leistung des Prototyps leider nicht erreicht werden.

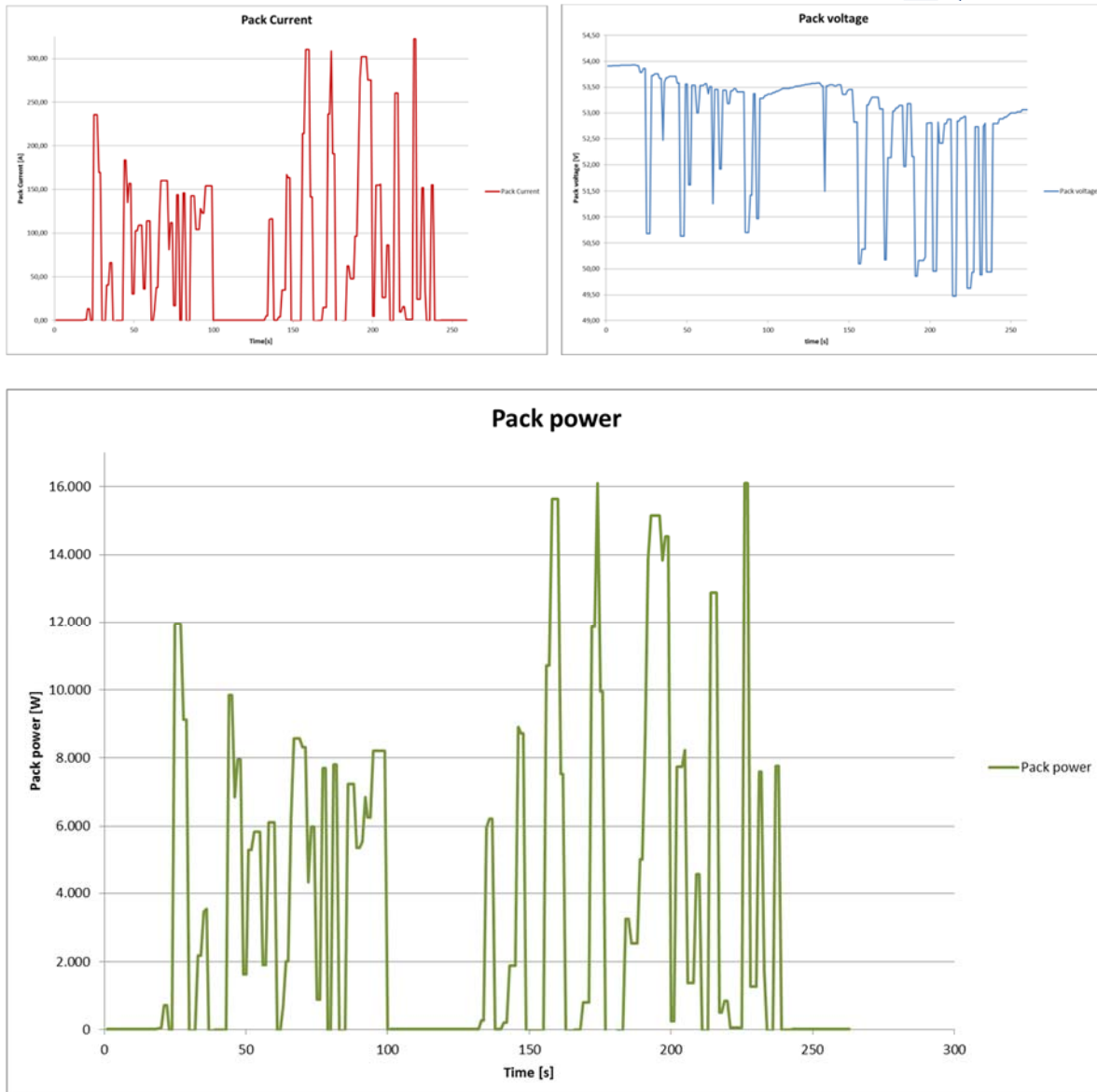


Abb. 3.01: Diagramme Strom, Spannung, elektrische Leistung

Wie in den Diagrammen ersichtlich konnten wir mit unserem Testsetup eine maximale Leistung von 16,1 kW erreichen. Es wird daher empfohlen, die Leistungstest unter realen Bedingungen auf einer geeigneten Rennstrecke zu wiederholen um das volle Leistungsspektrum des Prototyps darstellen zu können.

Ausblick

Im Anschluss an dieses durchgeführte Projekt ist eine Kooperationen zur Weiterentwicklung des Prototyps bzw. zur Herstellung einer optimierten Version, die neben den Grundfunktionen eines Leihkarts auch höheren Ansprüchen unter Berücksichtigung von Regeln des Leichtbaus und optimierten Fahreigenschaften genügen soll.

Diese Aufgabenstellung wird zurzeit in einer Bachelorarbeit ausgearbeitet und vorbereitet.

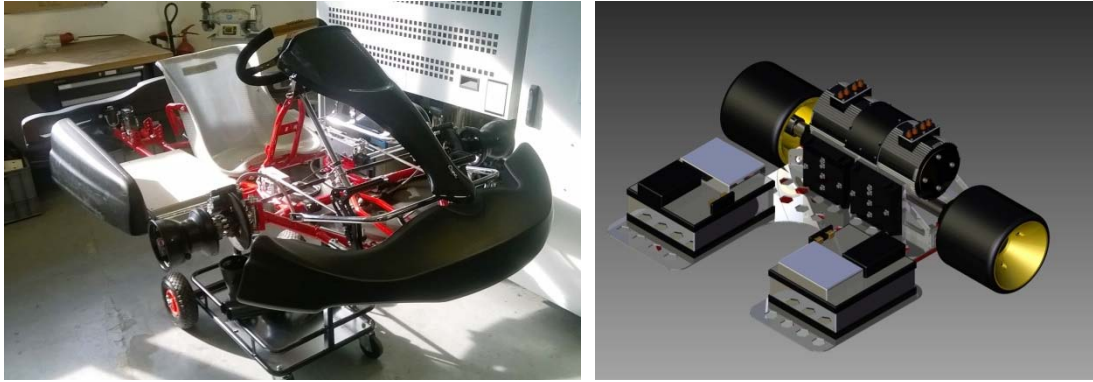


Abb. 4.01: Rennkartrahmen und Konzeptskizze

Des Weiteren ist noch die Verfügbarkeit von Sonderfunktionen wie die Kommunikation mit dem Bahnterminal, das Monitoring sowie die ein Schnellwechselsystem des Traktionsakkupacks geplant, wodurch sich eine langfristige Forschungszusammenarbeit zwischen den Partner ergeben soll.

Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projektes konnte ein fahrbereiter mechanischer Aufbau sowie ein elektrisches Antriebskonzept inklusive Komponentenaufstellung nach den Anforderungen des Auftraggebers entwickelt werden. Besonders von Eigeninteresse geprägt sind in diesem Projekt programmierbare Fahr-Management-Prozesse, welche vor allem elektronisches Differential, Lenkeinschlag-Differential-Beeinflussung, Anti-Slip-Control(ASC), Battery-Management und Balancing-Control betreffen.

Schnellladetechniken und Batterie-Technologien sind dabei in Entwicklung.

Der Vorteil eines elektrisch angetriebenen Karts mit implementierbaren Sonderfunktionen liegt nicht nur an der der Vermeidung von Lärm und Abgasen, sondern vor allem an einem völlig neuen Fahrgefühl, einem zusätzlichen Unterhaltungsfaktor durch die erweiterbare Spielfunktion sowie durch die Optimierbarkeit und die einfach regelbare Leistung der Fahrzeuge.

Durch diesen ersten Prototyp ist es dem Unternehmen möglich ihre softwarebasierten Sonderfunktionen zu integrieren und zu evaluieren. Somit konnte eine Basis geschaffen werden, die es dem Unternehmen ermöglicht, diesen Geschäftszweig weiterzuentwickeln und angemessen zu präsentieren.

Im Anschluss an den durchgeführten Innovationsscheck ist eine Kooperation zur Weiterentwicklung des Prototyps bzw. zur Herstellung einer optimierten Version, die neben den Grundfunktionen eines Leihkarts auch höheren Ansprüchen unter Berücksichtigung von Regeln des Leichtbaus und optimierten Fahreigenschaften genügen soll. Des Weiteren ist noch die Verfügbarkeit von Sonderfunktionen wie die Kommunikation mit dem Bahnterminal, das Monitoring sowie die ein Schnellwechselsystem des Traktionsakkupacks geplant, wodurch sich eine langfristige Forschungszusammenarbeit zwischen den Partner ergeben soll.

Literaturverzeichnis

Firma Payr Engineering, Konzeptstudie eKart, <http://www.payr.co.at/de/payr/engineering>

Firma Sevcon, Bedienungsanleitung GEN4: <http://www.sevcon.com/products/low-voltage-controllers/gen4/>

Firma REC, User Manual for REC Q BMS: <http://www.rec-bms.com/BMS.html>