

HOCHSCHULE RHEINMAIN



PROJEKTARBEIT

**Konzeption und Realisierung eines Antriebssystems
für ein elektrisches Longboard**
“MotherBoard”

Autor

DENNIS HUNTER

FACHBEREICH INGENIEURWISSENSCHAFTEN

STUDIENBEREICH ANGEWANDTE PHYSIK & MEDIZINTECHNIK

Abgabedatum: 27. Juli 2022

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	II
Abkürzungen	III
1 Einleitung	1
2 Konzeption	2
2.1 Funktionale Komponenten eines Longboards	2
2.2 Konstruktive Rahmenbedingungen	4
2.3 Designziele	6
3 Theorie	7
4 Mechanik	8
5 Electronik	9
6 Evaluation	10
7 Zusammenfassung	11
8 Referenzen	12
Abbildungsverzeichnis	13
Tabellenverzeichnis	14
Literatur	16

Nomenklatur

a A letter

α Greek gibberish

Abkürzungen

BLDC	Brushless Direct Current
ESC	Electronic Speed Controller
PEV	Persönliches elektrisches Vehikel
PEKV	Persönliches elektrisches Kleinstvehikel
ePKW	Elektrischer Personenkraftwagen

1 Einleitung

Weltweit findet derzeit auf politischer wie gesellschaftlicher Ebene ein Umdenken im Transportwesen statt – sei es der Transport von Gütern, Fahrgästen oder im Individualverkehr. Angefeuert durch den unmittelbaren monetären Druck durch steigende Treibstoffpreise, die immer deutlicher werdenden Folgen fortdauernder CO₂-Emissionen aber auch Lebensqualität beeinflussende Faktoren wie Staus und abnehmende Luftqualität in urbanen Gebieten treibt eine wachsende Zahl Menschen aus Auto heraus auf alternative Transportmöglichkeiten. Neben der klassischen Möglichkeit des Fahrrades kam mit erheblichen Verbesserungen und der deutlich breiteren Verfügbarkeit der Lithiumbatterie-Technologie ein Wandel des gesellschaftlichen Lebens einher, wie es vergleichbar zuletzt geschah, als das Smartphone die Bühne der Welt betrat – die Elektrifizierung des Individualverkehrs. Nachdem einige Vorreiterstädte bereits früh mit baulichen Maßnahmen etwa durch Herabsetzen innerörtlicher Geschwindigkeitsbegrenzungen, Ausbau von Fahrradwegen oder Zuwachs öffentlicher Verkehrsmittel reagierten, ziehen nun immer mehr Städte nach. Dieser wechselseitige Trend bildet sich auch in der politischen Stimmung ab mit einer der wichtigsten Novellen für das öffentliche Verkehrsbild, die die „*Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr und zur Änderung weiterer strassenverkehrsrechtlicher Vorschriften*“ von 2019 mit sich zog [1]. Sie leutete den Advent breit verfügbarer persönlicher elektrischer Kleinstvehikel (PEKV) zur Überbrückung der „letzten Meile“ ein.

Die Kategorie elektrifizierter persönlicher Fahrzeuge lässt sich grob unterteilen in elektrische Personenkraftwagen (ePKW), persönliche elektrische Vehikel (PEV) und – wie oben bereits erwähnt – die persönlichen elektrischen Kleinstvehikel in der kleinsten Variante. Zwar dominiert die erste Gruppe gegenwärtige politische Bemühungen zum Thema, gerade im städtischen Raum bieten sie jedoch kaum bis kein Potenzial, Infarkte des Straßenverkehrs zu vermeiden. Die Ladeinfrastruktur ist noch nicht einheitlich und flächendeckend geregelt und allem voran sind sie preislich für breite Teile der Bevölkerung unattraktiv. Vielversprechender sind Vertreter der beiden letztgenannten Gruppen. Dem Statistischen Bundesamt zufolge besaßen zu Jahresanfang 2020 etwa jeder neunte deutsche Haushalt oder 11,4 % zumindest ein elektrisch angetriebenes Fahrrad. Während sie Anfang 2015 mit ~ 4 % noch in etwa jedem 25. Haushalt aufzufinden waren kann hier eine Verbreitung um fast das Dreifache verzeichnet werden [2].

2 Konzeption

Um Konsistenz mit Literatur und Marktrecherchen sicherzustellen werden im Rahmen dieser Arbeit technische Begriffe aus der Skaterszene genutzt. Während *Skateboarding* einerseits keinesfalls als neuartiges Phänomen zu bezeichnen ist und andererseits in den vergangenen fünf Jahren eine Renaissance erlebt hat, kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Lesenden mit der Terminologie vertraut sind. Daher wird im Folgenden zunächst Fokus auf eine Begriffskonvention gelegt und in diesem Rahmen funktionale Kernkomponenten eines Skate- bzw. Longboards¹ erläutert.

Das Antriebssystem soll in ein bestehendes, übergeordnetes System bestehend aus mechanischen und elektronischen Komponenten eingebettet werden. Sowohl das übergeordnete System, als auch die Einsatzumgebung definieren konstruktive Einschränkungen, die in einem weiteren Unterkapitel herausgearbeitet werden sollen.

Zuletzt sollen vor dem Hintergrund der zuvor festgelegten Rahmenbedingungen Designziele definiert und erste Designideen konkretisiert werden. Unterstützt wird dies durch Markt- und Literaturrecherche.

2.1 Funktionale Komponenten eines Longboards

Historisch ergaben sich esoterische Namenskonventionen für Teilkomponenten von Skate- und Longboards. Während sie im einfachsten Fall unabhängig vom jeweiligen Sprachraum mit ihren jeweiligen englischen Begriffen zu finden sind, weichen Bezeichnungen Teilweise aber auch stark von in der Industrie verbreiteten Bezeichnungen ab. Um dieser Konvention zu folgen, sollen hier zunächst die Teilkomponenten kurz beschrieben werden.

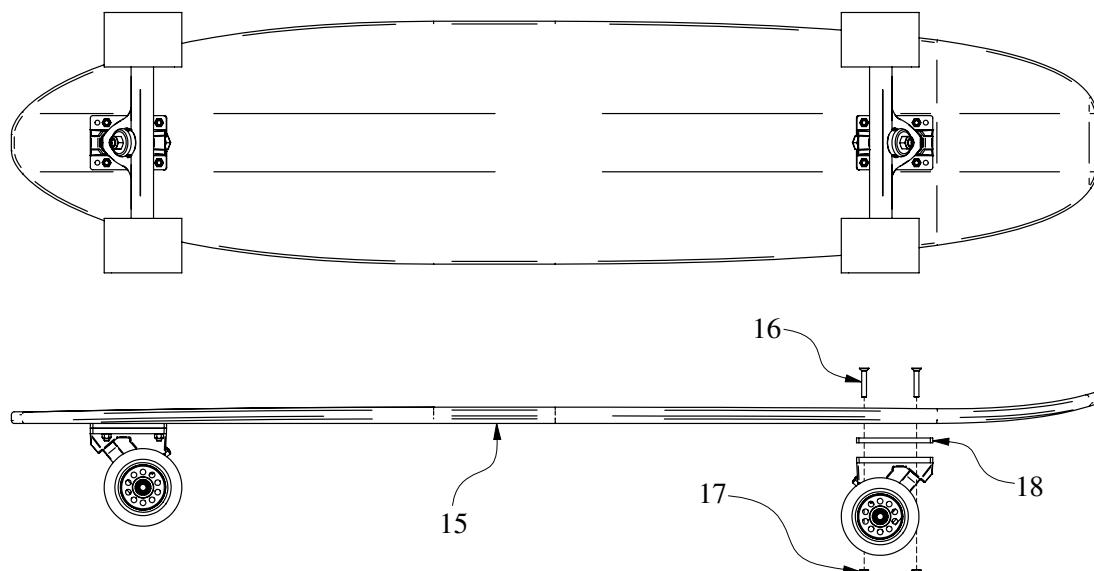


Abb. 2.1: Grundlegender Aufbau eines Longboards. 15 Deck, 16 Truck Bolts, 17 Truck Bolt Nuts, 18 Riser Pad.

Abbildung 2.1 zeigt zunächst den grundlegenden Aufbau eines Longboards. Erkennbar sind hier vorergründig das Deck (15), welches die fahrende Person trägt und hierbei einen Großteil der wirkenden Kräfte aufnehmen muss. Je nach Fahrstil werden weichere oder härtere Materialien gewünscht um etwa

¹Baulich zwar leicht zu unterscheiden, jedoch aus den gleichen Kernkomponenten und -funktionalitäten aufgebaut.

Unebenheiten des Untergrundes auszugleichen oder die Ausführung von Tricks² positiv zu beeinflussen. Meist kommt hier Schichtholz mit oder ohne eingearbeitetem Glas-, Aramid- oder Kohlefaserstoff zum Einsatz, es sind bisweilen aber auch exotischere Materialien wie Aluminium, ABS³ vertreten. In Abb. 2.1 befinden sich links und rechts, zentral entlang der Längsachse des Decks angeordnet die Trucks genannten Baugruppen zusammen mit jeweils zwei Rollen. Eine mechanisch belastbare Verbindung zum Deck wird durch *Truck Bolts* (16) und *Truck Bolt Nuts* (17) hergestellt. Im Longboarding üblicher, als bei den mit deutlich kleineren Rollen ausgestatteten Skateboards werden zwischen Deck und Truck häufig *Riser Pads* (18) eingesetzt. Hier handelt es sich um aus flexilem Material verschiedener Härtegrade gefertigte Pufferplatten mit Doppelfunktion. Einerseits unterstützen sie die Entkopplung der Füße von Vibration und verhindern sogenannte *Wheel Bites* – ein Kontakt des Decks mit den Rollen während eines Lenkmanövers mit meist fataler Konsequenz.

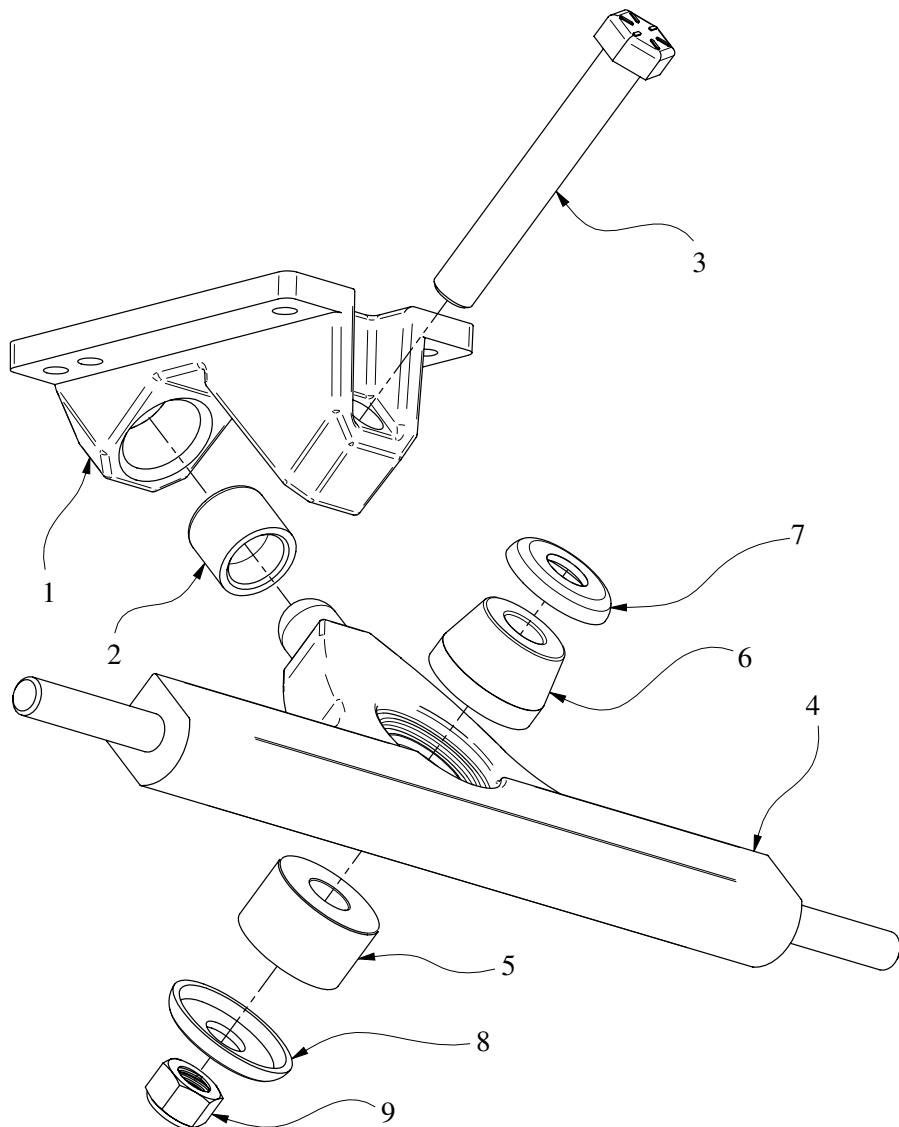


Abb. 2.2: Aufbau eines der Trucks als Explosionsansicht exemplarisch an einem CALIPER II. Sichtbar sind hier: 1 Baseplate, 2 Pivot Cup, 3 Kingpin, 4 Hanger, 5 RS Bushing, 6 BS Bushing, 7 BS Washer, 8 RS Washer, 9 Kingpin Nut.

Der Aufbau der Trucks selbst wird in Abb. 2.2 exemplarisch am Typ CALIPER II gezeigt. Der *Hanger* (4) bildet hier das zentrale Bauteil und muss den Großteil der wirkenden Kräfte aufnehmen. Er wird drehbar

²Über die rein laterale Fortbewegung hinausgehende, meist kunstvoll ausgeführte Bewegungen des Boards mit und unter den Füßen.

³Acrylnitrilbutadienstyrol.

in der *Baseplate* (1) gleitend gelagert. Würden der *Hanger* und die *Baseplate* in direkten Kontakt kommen, so käme es zu erhöhtem Abrieb und reduziertem Gleitverhalten. Hier wird ein meist aus POM⁴ gefertigter *Pivot Cup* (2) eingesetzt. In Position gehalten wird der *Hanger* mittels des *King Pins* (3) und der *Kingpin Nut* (9). Das Rückstellmoment nach Ende eines Lenkmanövers wird durch zwei vergleichsweise dicke Gummiringe – *Bushings* genannt – erzeugt, die mit der *Kingpin-Achse* koaxial beidseitig mit dem *Hanger* in mechanischem Kontakt stehen. Deckseitig befindet sich der *BS Bushing* (6), straßenseitig angeordnet der *RS Bushing*. Die Präfixe stehen für *Boardside* bzw. *Roadside* und spiegeln ihre Positionen wider. Unterschieden wird hier, da sich verschiedene Geometrien und Härtegrade der *Bushings* nicht unabhängig ihrer Position merklich auf das Fahrgefühl und Lenkvermögen auswirken können⁵. Um die Lasten besser auf die Oberfläche der *Bushings* zu verteilen werden üblicherweise tellerförmige Scheiben, die *RS* und *BS Washer* (5,6) auf den *Hanger* abgewandten Seite platziert.

Je nach gewünschter Laufruhe und in Abwägung zwischen Traktion und Rollwiderstand werden Rollen verschiedener Größen und Materialien drehbar auf den *Hanger-Achsen* gelagert. Mit Blick auf Abb. 2.3 wird Konzentrisch in den Kern der Rolle (10) – vergleichbar mit einer Felge, die das weichere Mantelmaterial trägt – beidseitig jeweils ein 608 Kugellager (11) platziert. Diese Kugellager sind Radialrillenkugellager und gebaut, um besonders gut radiale Kräfte aufnehmen und ableiten zu können. Um potenziell destruktive axiale Kräfte in Kurven oder durch das Anzugsmoment der Achsmutter (14) zu minimieren, wird, ebenfalls in den Kern der Rolle und zwischen den beiden Lagen, der *Spacer* (13) angeordnet. Er besteht aus hartem Metall, hat einen Innendurchmesser gleich des nominellen Durchmessers der *Hanger-Achse*, eine Wandstärke von ~ 1 mm und eine Länge, die gerade so gewählt ist, dass er an beiden Flanken mit den Innenringen der Lager in Kontakt steht, wenn sie beide vollständig im Kern eingelassen sind. Ein schleifffreies Laufen der Lager wird durch *Speedrings* (12) sichergestellt. Ihre Dimensionen entsprechen denen des *Spacers*, allerdings mit nur 1 mm eine deutlich geringere Länge. Letztlich wird alles mit einer *Achsmutter* auf der *Hanger-Achse* fixiert.

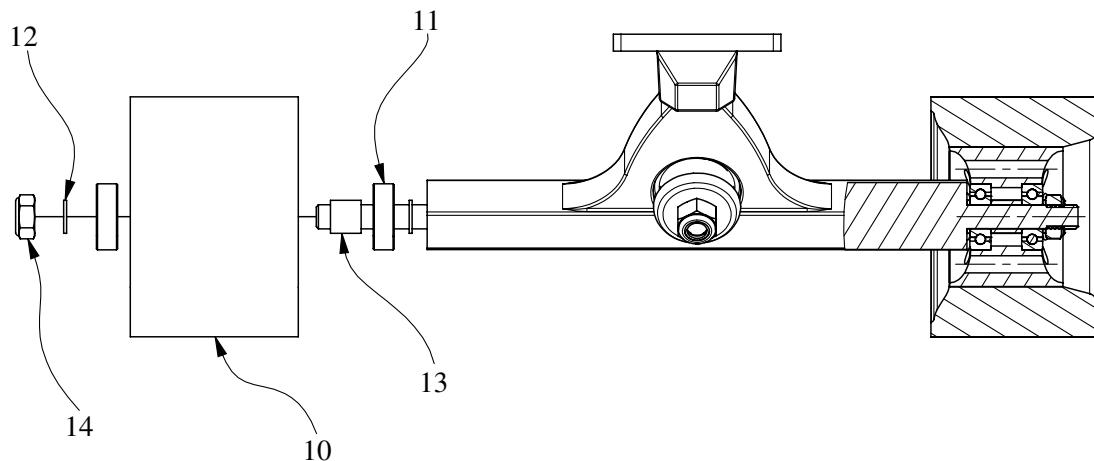


Abb. 2.3: Montage der Rollen an der Achse des Hangers. Links in explodierter und rechts in Schnittansicht. Zu sehen sind: 10 Rolle, 11 Kugellager, 12 Speedring, 13 Spacer, 14 Achsmutter.

2.2 Konstruktive Rahmenbedingungen

Das Antriebssystem soll in ein bestehendes System aus Batterie, Batteriemanagement, Motorcontrollern und Deck integriert werden. Hieraus ergeben sich konstruktive Rahmenbedingungen, die bei der Planung berücksichtigt werden müssen. Die Batterie besteht aus 40 Lithium-Ionen Zellen in 10S4P-Konfiguration

⁴Polyoxymethylen.

⁵Durch Drehen der *Kingpin Nut* und damit einer Änderung der Vorspannung der *Bushings* kann hier auch im Feld relativ unkompliziert nachjustiert werden

vom Typ SAMSUNG INR18650-30Q mit einer nominellen Zellspannung von 3,6 V, einer Mindestzellentladekapazität von 2950 mAh und einem maximalen Entladestrom von 15 A (vgl. Tabelle 2.1 und [3]). 10S4P meint hier jeweils vier Zellen parallel geschaltet mit 10 jener Sub-Zellen in Reihe (vgl. hier-

Tab. 2.1: Zellspezifikationen SAMSUNG INR18650-30Q [3].

Charakteristik	Spezifikationen
Minimale Entladekapazität	2950 mAh
Nominelle Zellspannung	3,6 V
Standard Ladebedingungen	CC/CV, 1,5 A, $(4,20 \pm 0,05)$ V
Maximale Ladebedingungen	CC/CV, 4 A, $(4,20 \pm 0,05)$ V
Maximaler Dauerentladestrom	15 A bei 25 °C
Minimale Zellspannung	2,5 V
Gewicht	48 g
Betriebstemperatur	Laden: 0 °C bis 50 °C, Entladen: -20 °C bis 75 °C

zu Abb. 2.4). So ergibt sich eine nominelle Spannung der Batterie von 36 V, eine Kapazität von 11,8 Ah und ein maximaler Dauerentladestrom von 60 A.

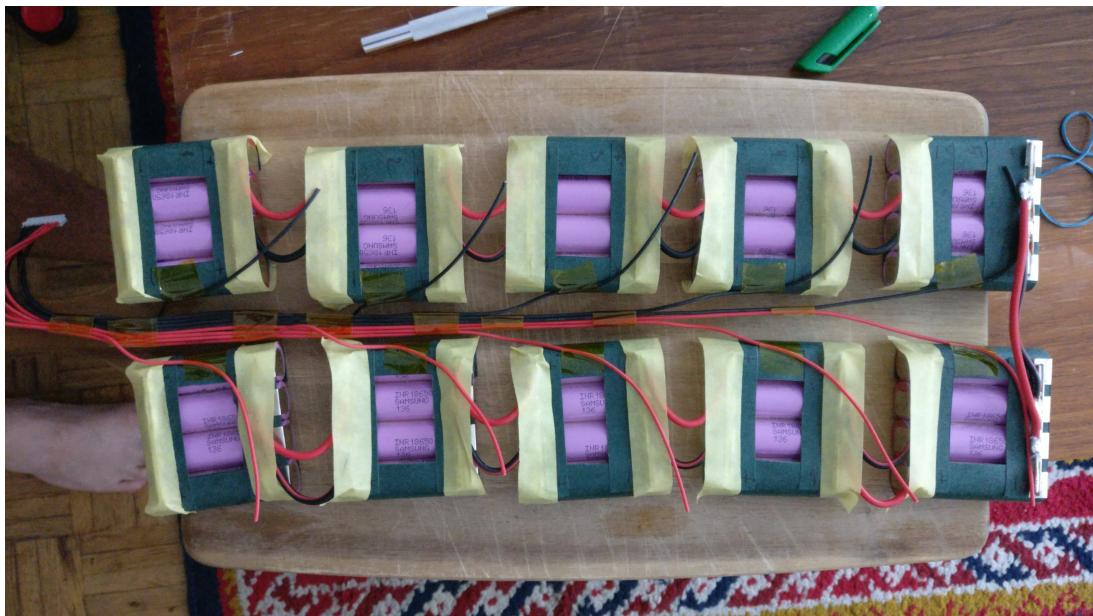


Abb. 2.4: Der verbaute Lithium-Ionen Zellverband. Zu erkennen sind die 10 Sub-Zellen bestehend aus jeweils vier Einzelzellen.

Das Drehmoment soll durch Elektromotoren erzeugt werden, die von zwei *Elektronischen Speed Controllern* (ESC) des Typs FSESC 4.12⁶ angesteuert werden. ESC sind elektronische Komponenten vornehmlich zur elektronischen Kommutation von bürstenlosen Gleichstrommotoren (*Brushless Direct Current*, BLDC). Als solche schränken sie die Auswahl der Motortypen zwar nicht exklusiv auf BLDCs ein – Gleichstrommotoren mit Schleifkontakt sind auch denkbar – allerdings bieten sie in Kombination mit BLDCs einen deutlich höheren Funktionsumfang. Darüber hinaus sind BLDC gegenüber Gleichstrommotoren mit Schleifkontakte effizienter, bieten eine höhere Leistungsdichte und sind bauartbedingt unempfindlich gegenüber Nässe⁷.

⁶Die wiederum industriell gefertigte 1:1 Nachbauten des populären VESC von Benjamin Vedder sind.

⁷Je nach Art der Lagerung. Dies betrifft jedoch ausschließlich die mechanischen Komponenten der Motoren.

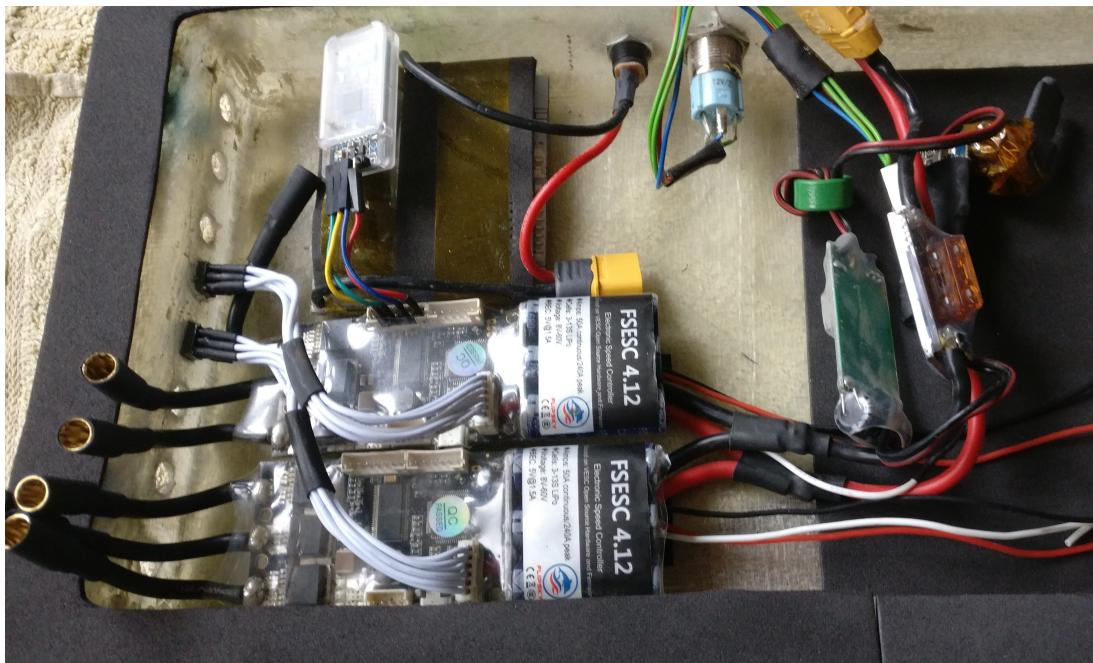


Abb. 2.5: Unten im Bild die beiden eingesetzten ESC vom Typ FSESC 4.12. Weiter im Bild zu sehen oben links ein HC-06 Bluetooth Modul, darunter das Batteriemanagementsystem. Auf der rechten Seite im Bild von links nach rechts: Spannungsregler, elektronischer Schalter und der Funkempfänger für die Steuersignale.

2.3 Designziele

3 Theorie

Pre-bla..

$$\omega = K_v \cdot U \quad (3.1)$$

$$K_T = \frac{60}{2\pi} \quad (3.2)$$

$$v_{max} = \omega \cdot k \cdot d_{wheel} \pi \quad (3.3)$$

4 Mechanik

5 Electronik

6 Evaluation

7 Zusammenfassung

8 Referenzen

Abbildungsverzeichnis

2.1	Grundlegender Aufbau eines Longboards	2
2.2	Explosionsansicht eines der Trucks	3
2.3	Montage der Rollen an der Achse des Hanger	4
2.4	Der verbaute Lithium-Ionen Zellverband	5
2.5	Eingesetzte ESC	6

Tabellenverzeichnis

2.1 Zellspezifikationen SAMSUNG INR18650-30Q	5
--	---

Anhang

Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. *Bundesgesetzblatt*. Hrsg. von Bundesanzeiger Verlag. 14.06.2019. URL: https://www.bgb1.de/xaver/bgb1/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGB1&jumpTo=bgb119s0753.pdf (besucht am 17.07.2022).
- [2] Statistisches Bundesamt. *Zahl der Haushalte mit E-Bikes hat sich seit 2015 fast verdreifacht*. Pressemitteilung Nr. 375 vom 28. September 2020. 2020-09-28. URL: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/09/PD20_375_639.html (besucht am 23.07.2022).
- [3] Wan-Mook, Lim. *SPECIFICATION OF PRODUCT. Lithium-ion rechargeable cell for power tools Model name : INR18650-30Q*. Hrsg. von Samsung SDI Co., Ltd., Energy Business Division. Version v1.0. 2022-02-02. URL: <https://eu.nkon.nl/sk/k/30q-specs.pdf> (besucht am 26.07.2022).