» Einführung
» Die Energiedichte
» Akkuspannung und -kapazität

Kurzinfo

Ideal für unsere 152VO-Racer sind Lithium-Polymer-Akkus (LiPos). Für die Racer der Division VO sind zweizellige Akkus (2S) mit ca. 4.000 mAh Kapazität und mindestens 20C ausreichend dimensioniert. Besser ist es jedoch, mit höherer Spannung und somit geringeren Strömen zu fahren. Ein idealer Akku für die VO-Division wäre z.B. ein 4S-LiPo ab 2.000 mAh Kapazität und mindestens 35C. In diesem Kapitel werden die Begriffe und technischen Zusammenhänge erklärt.

Einführung

Für den Antrieb und die Empfangsanlage unserer Modelle benötigen wir eine geeignete, wiederaufladbare Energiequelle, die fogende Hauptanforderungen erfüllen muss:

- sie muss klein und leicht sein, also eine möglichst hohe Energiedichte (gemessen in Energie pro Masse = Megajoule / Kilogramm [MJ/kg]) aufweisen,
- sie muss die passende Betriebsspannung (gemessen in Volt [V]) für den Antriebsmotor zur Verfügung stellen,
- sie muss eine ausreichend große Kapazität haben (gemessen in Amperestunden [Ah] bzw. Milliamperestunden [mAh = 1/1000 Ah]), um genügend lange Fahrzeiten zu gewährleisten,
- sie muss genug Strom liefern können (gemessen in Ampere [A] bzw. Milliampere [mA = 1/1000 A]) ohne bei maximaler Stromentnahme "durchzubrennen".

Welche Akkus sind nun für uns am besten geeignet und erfüllen all diese Kriterien?

Die Energiedichte

Rennboote müssen vor allem leicht sein. Jedes zusätzliche Gramm, das ins Gleiten gebracht werden muss, kostet uns wertvolle Antriebsleistung. Umgekehrt wird bei vorgegebener Antriebsleistung das leichtere Boot schneller sein, weil es weiter aus dem Wasser aufsteigt und damit die benetzte Fläche (also den schädlichen Widerstand) stärker reduziert. Darum schauen wir uns zuerst einmal an, welche Akkus besonders klein und leicht sind - sprich: welche Akkus eine besonders hohe Energiedichte haben.

Akkutyp	Kurzzeichen	Zellspannung	Energiedichte
Bleiakkus	Pb	2,0 V / Zelle	0,11 MJ/kg
Nickel-Cadmium-Akkus	NiCd	1,2 V / Zelle	0,14 MJ/kg
Nickel-Metallhybrid-Akkus	NiMH	1,2 V / Zelle	0,36 MJ/kg
zum Vergleich: Alkali-Mangan-Batterie (nicht aufladbar - kein Akku!)		1,5 V / Zelle	0,45 MJ/kg
Lithium-Ionen-Akkus	LiIon	3,6 V / Zelle	0,50 MJ/kg
Lithium-Eisenphosphat-Akkus	LiFePo	3,3 V / Zelle	0,51 MJ/kg
Lithium-Polymer-Akkus	LiPo	3,7 V / Zelle	0,54 MJ/kg

Anhand dieser Tabelle wird schnell deutlich, dass neben den Bleiakkus auch die NiCd-Akkus zu schwer und zu groß sind, um sie sinnvoll in einem 152VO-Racer einzusetzen. NiMH-Akkus sind "Grenzgänger", die lange Zeit in Rennbooten eingesetzt wurden. Theoretisch wären sie auch für unsere 152VO-Racer denkbar - aber warum sollen wir erhebliches Zusatzgewicht spazieren fahren, wenn es auch deutlich bessere und effektivere Lösungen gibt?

Damit bleiben für unsere weiteren Betrachtungen nur die Lithiumtypen interessant:

- LiIon-Akkus werden meist als vergossene Blöcke in Handys, Kameras, etc. eingesetzt, sind aber im Modellbaubereich kaum erhältlich.
- LiFePo-Zellen sind sehr pflegeleicht und robust, aber leider nur in wenigen Größen verfügbar. Am bekanntesten und qualitativ am besten sind die "A123"-LiFePo-Zellen mit einer Kapazität von 2300 mAh.
- LiPo-Akkus sind mit Abstand am weitesten verbreitet, in unzähligen Grössen erhältlich und weisen die höchste Energiedichte auf. Sie sind allerdings empfindlicher und benötigen deshalb etwas mehr Pflege und Aufmerksamkeit als die LiFePo-Akkus.

Akkuspannung und -kapazität

In unseren Rennbooten haben wir drei elektrische Verbraucher: 1.) den Antriebsmotor (Außenborder), 2.) den Empfänger und 3.) das Lenkservo. Das Servo wird von der Betriebsspannung des Empfängers gespeist, hat also die gleiche Betriebsspannung. Sie beträgt in der Regel 4,8 bis 6,0 Volt. Der Antriebsmotor benötigt eine höhere Spannung.

Die Kapazität eines Akkus gibt an, "wie viel Strom darin gespeichert ist". Sprich: wie lange können wir eine bestimmte Menge Strom entnehmen, bis der Akku vollständig leer ist? Die Kapazität wird in "Milliampere mal Stunde [mAh]" angegeben. Ein 2400-mAh-Akku stellt also eine Stunde lang 2400 Milliampere = 2,4 Ampere zur Verfügung (bzw. 30 Minuten lang 4,8 Ampere, 15 Minuten lang 9,6 A, 5 Minuten lang 28,8 A, etc.)

An der obenstehenden Tabelle sieht man, dass wir uns mit Lithiumakkus ein erstes Problem einhandeln: jeder Typ hat eine andere Zellspannung, eine Kompatibilität mit Batterien oder Nickelzellen existiert nicht. Früher hatten wir es einfach: da wurde eine 1,5-Volt-Batterie einfach gegen eine gleichgroße 1,2-Volt-Akkuzelle ausgetauscht. Eine Empfangsanlage, die typischerweise 6 Volt Betriebsspannung (= 4 Batterien) benötigt, läuft auch problemlos mit 4,8 Volt (= 4 Nicd-/NiMH-Zellen). Bei Verwendung von LiPos sieht das sofort anders aus: die Ausgangsspannung einer Zelle (3,7 V) ist zu wenig für die Empfangsanlage. 2-zellige LiPo-Akkus liefern eine Ausgangsspannung von 2 x 3,7 = 7,4 Volt. Das ist für die meisten Empfänger und Servos bereits zu viel. Für unsere Motoren sind diese 7,4 Volt aber schon wieder das Minimum. Dieses Dilemma ist aber trotzdem einfach zu lösen, indem wir für unsere Außenbordermotoren einen Fahrtregler mit BEC ("Battery eleminating circuit" = "Batterie-vermeidender Schaltkreis") einsetzen. Das BEC liefert uns die benötigte Empfängerspannung von ca. 5,0 Volt aus der höheren Spannung des angeschlossenen Akkus.

Bei den Außenbordern haben wir es leicht: verwenden wir die Graupnermodelle GTX-500 / 650, die ab Werk mit 7,2-Volt-Motoren (= 6 NiMH-Zellen) bestückt sind, können wir sie ganz einfach an zweizelligen LiPos (7,4 Volt) betreiben. Die minimal höhere Betriebsspannung von 0,2 Volt bewirkt lediglich eine geringfügige Drehzahlerhöhung. Sobald wir die Außenborder jedoch auf Brushless-Motoren umbauen, kommt eine neue Überlegung ins Spiel: im Interesse einer langen Fahrzeit und klein dimensionierter Regler möchten wir den Stromverbrauch des Motors möglichst gering halten, gleichzeitig aber eine möglichst hohe Drehzahl erzielen. Nehmen wir exemplarisch an, der Propeller unseres Rennboots soll eine Leerlauf-Drehzahl von 30.000 U/min erreichen und das Boot benötigt bei Vollgas ca. 200 Watt Eingangsleistung am Motor. Nun gibt es verschiedene Möglichkeiten, diese Werte über niedrigere oder höhere Akkuspannungen zu erzielen - mit unterschiedlichen Auswirkungen:

- Bei Verwendung eines zweizelligen LiPos (7,4 V) würden wir einen Brushlessmotor mit 4000 kV (= 4000 Umdrehungen pro Volt) einbauen (7,4 V x 4000 kV = 29.600 U/min). Je höher die kV-Angabe (= die spezifische Drehzahl) eines Motors ist, desto mehr Strom zieht er aber auch. Unser 4000 kV-Motor hat bei 200 Watt Eingangsleistung und 7,4 Volt Betriebsspannung einen durchschnittlichen Stromverbrauch von 27 Ampere (200 W : 7,4 V = 27,03 A). Beim Anfahren oder Springen über Wellenkämme kann dieser Wert auch schnell mal das Doppelte erreichen (54 Ampere). Nehmen wir an, unser 2-zelliger Lipo hätte eine Kapazität von 3.200 mAh. Da LiPos nie leer gefahren werden dürfen, können wir davon ca. 3/4 entnehmen, also 2.400 mAh. Unser Boot hat mit diesem Akku eine Fahrzeit von 2400 mAh : 27.000 mA = 0,0888 h = 5,33 Min. = 320 Sekunden.

- Wenn wir nun statt dessen einen dreizelligen LiPo-Akku verwenden (11,1 V), benötigen wir zur Erzielung der gleichen Drehzahl einen BL-Motor von nur 2700 kV (11,1 V x 2700 kV = 29.970 U/min). Dieser Motor zieht bei 200 Watt Eingangsleistung nur noch 18 Ampere (200 W : 11,1 V = 18,02 A). Doppelt so hohe Stromspitzen erreichen nur noch 36 A. Die Fahrzeit verlängert sich bei einem 3200 mAh-Akku (2400 mAh entnehmbar) auf 2400 mAh : 18.000 mA = 0,1333 h = 8 Min. = 480 Sekunden. Durch die dritte Zelle erhöht sich allerdings das Akkugewicht um 50% gegenüber dem Zweizeller. Zum Erreichen der gleichen Fahrzeit (320 Sekunden) können wir also einen Dreizeller mit geringerer Kapazität einsetzen: 0,0888 h x 18.000 mA = 1584 mAh entnommene Kapazität => 2112 mAh benötigte Akkukapazität.

Der Dreizeller mit 2.100 mAh Kapazität liefert uns also die gleiche Fahrzeit wie der Zweizeller mit 3.200 mAh - bei identischem Gewicht. Gleichzeitig können wir beim Dreizeller einen kleineren Regler (z.B. 40-Ampere-Regler) verwenden, während wir beim Zweizeller laut dieser Beispielrechnung bereits einen 60-A-Regler benötigen. Bei einem vierzelligen LiPo (14,8 V) werden die Werte noch günstiger: der BL-Motor benötigt nur noch 2000 kV, nimmt bei 200 Watt 13,5 Ampere auf und benötigt für 320 Sekunden Fahrzeit nur noch 1600 mAh Akkukapazität.

Resümee: eine höhere Betriebsspannung erlaubt den Einsatz von BL-Motoren mit niedrigerer spezifischer Drehzahl. Das wiederum führt zu geringerer Stromaufnahme, also geringerer Belastung des Reglers. Auch die Kabel und Steckverbindungen sollte man dabei nicht vergessen - sie werden ebenfalls deutlich weniger belastet! Geringere Kabelquerschnitte und kleinere Stecker können verwendet werden. Es spricht also bei der Verwendung von BL-Motoren alles dafür, die spezifische Drehzahl der Motoren zu verringern und stattdessen die Betriebsspannung zu erhöhen.

Eine Grenze wird hier lediglich durch den verfügbaren Platz im Boot gesetzt: ein Dreizeller ist (bei identischer Länge und Breite) 50% höher als ein Zweizeller, ein Vierzeller ist doppelt so hoch wie ein Zweizeller. Bei sehr flachen 152VO-Racern kann es schnell eng werden - darum unbedingt vorher prüfen, wie viel Einbauhöhe vorhanden ist! Zur Überprüfung kann auch prima das LiPo-PDF herangezogen werden. Darin sind zwar ausschliesslich Zweizeller aufgeführt, die Grösse der Drei- und Vierzeller lässt sich aber leicht davon ableiten.

- wird fortgesetzt -

(Kapazität, C-Rate, seriell / parallel, Bezeichnung "2S1P", Verschiebbarkeit (Schwerpunkt des Bootes), Sicherheitsaspekte (Explosion / Brand), Hersteller, Ladung / Lagerung, PDF Akkuübersicht)