Akku- & Ladetechnik

Teil 1

Nicht nur die Antriebstechnik von Elektro-Helikoptern erforderte inden letzten Jahren immer neue und leistungsstarke Energiespender – auch die Empfängertechnik und Zündanlagen von 4-Takt Motoren stellen stets neue Herausforderungen an die Kraft-Paketchen.

Autor: Chris Domes

Test
Akkumulatoren

Im Diagramm 2, bei der LiPo-Zelle, bleibt die Spannung bei der Lastaufschaltung deutlich stabiler. Spannungssprünge erfolgen erheblich schneller, bedingt durch Aufbau der Zelle und den niedrigen Innenwiderstand, der hohe Leistungsimpulse ohne „Reaktionszeit" der Zelle ermöglicht. Vergleich der Spannungslage und des Impulsverhaltens...

... von NiCd-Zellen (Dia. 1) und LiPo-Zellen (Dia.2). Im Diagramm 1 ist deutlich der Spannungseinbruch beim Aufschalten einer Last zu erkennen. Ebenfalls deutlich erkennbar ist der weiche Abfall und Anstieg der Spannung. Ein Anzeichen für die Trägheit der Zelle – die Spannung wird erst langsam wieder aufgebaut.

++ Basics zu LiPo, NiMH & Co. ++ Basics zu LiPo, NiMH & Co. ++ Basics zu LiPo, NiMH & Co. ++ Basics zu LiPo, NiMH & Co. ++ Basics zu LiPo, NiM

Der richtige Umgang mit Akkus erhöht nicht nur deren Lebensdauer und entlastet den Geldbeutel, sondern sorgt allgemein für mehr Sicherheit und Freude beim Helifliegen. In drei Teilen wird das Thema Akkus detailliert beleuchtet. Im ersten Teil wird zunächst eine Übersicht über die gängigen Akku-Technologien, die zugehörigen Ladeverfahren sowie die wichtigen Bezeichnungen hinsichtlich des Umgangs mit Akkus gegeben.

Der zweite Teil richtet das Augenmerk speziell auf die LiPo-Technik in Bezug auf die richtige Akkuwahl, Akkuschutz und geeignete Ladetechnik. Der dritte Teil behandelt das Balancing, die Lagerung, sowie die Pflege von LiPo-Akkus und vermittelt einige Tipps aus der Praxis zum Umgang mit diesem Akkutyp.

NiCd / NiMH

Bereits seit den 50er Jahren finden NiCd (Nickel-Cadmium)-Zellen ihren Einsatz in vielen Bereichen – dabei wurden diese Zellen bereits 1899 in Schweden entwickelt. Im Modellbau anfänglich vorrangig als Sender- und Empfänger-Stromversorgung, kamen mit der Sub-C-Zelle diese auch als Antriebsakkus bis in die 90er Jahre vermehrt zum Einsatz. Im Lauf der Jahre wurde die Technologie um die NiMH-Akkus (Nickel-Metall-Hydrid) erweitert, die eine etwas höhere Leistungsdichte besitzen und den sogenannten „Memory-Effekt" nicht mehr aufwiesen. Dieser Effekt reduziert die Leistungsabgabe einer NiCd-Zelle, wenn durch Teilentladung eine Restladung in der Zelle verbleibt. Der Akku „lernt" gewissermaßen, das diese Restenergie nicht genutzt wird, und gibt diese irgendwann nicht mehr ab. Schuld daran ist die chemische Zusammensetzung dieser Zellen, durch entsprechende Ladeverfahren (Reflexladen, „formieren") können solche Zellen zwar ganz oder teilweise „wieder belebt" werden, jedoch bleibt meist ein gewisses Defizit zurück. Die Zellen zeichnen sich im allgemeinen durch gute Robustheit aus, jedoch liegt die Nominalspannung mit 1,2 V deutlich unter dem Niveau der sogenannten „Primärzellen", also üblichen Batterien, mit 1,5 V.

Die Tage der NiCd-Akkumulatoren dürften jedoch bald gezählt sein. Bereits 2004 hat die EU ein Verbot beschlossen, um die Verwendung des Schwermetalls Cadmium und der verbundenen Entsorgungsproblematik sowie gesundheitlichen Gefährdungen zu reduzieren. Da Powertools und andere Anwendungen unter dem Vorbehalt der Verfügbarkeit adäquaten Ersatzes zunächst ausgenommen wurden haben sich NiCd-Zellen noch auf dem Markt gehalten.

Jüngstes Kind dieser Akkutechnik, die leider unter dem Manko litt, eine große Selbstentladung (schlimmstenfalls bis zu 80% im Monat) zu haben, sind „Eneloop"-Zellen im Format Micro (AAA) und Mignon (AA) der Firma Sanyo. Sie verbindet die Vorteile von NiMH-Akkus mit einer extrem geringen Selbstentladung (unter 10% im ersten Monat der Lagerung – innerhalb 360 Tagen haben Eneloop noch über 80% der Kapazität, während „normale" NiMH auf bis zu 35% absinken) und macht sie für den Einsatz als Sender- und Empfänger-Stromversorgung interessant.

> „NiMH-Akkus weisen keinen „Memory-Effekt" mehr auf..."

LiFePo4

Der amerikanische Hersteller A123-Systems liefert eine FePO4 Zelle mit der Bezeichnung ANR26650-M1 (26 mm Durchmesser, 65 mm Länge), die in vielen industriellen Anwendungen die NiCd-Akkus ersetzen kann. Die Lithium-Eisen-Phosphat-Chemie dieser Zelle ist verantwortlich für diese leistungsfähige, eigensichere Zelle, die sehr robust ist und mit einer hohen Zyklenzahl glänzt. Durch die hohe Nominalspannung von 3,3 V kann eine Einzelzelle bereits mehr als zwei NiCd-Zellen ersetzen. Berücksichtigt werden muss jedoch die größere Bauform, das Gewicht von ca. 72 g/Zelle und die Kapazität von 2.300 mAh (erste Exemplare als Nachbauten anderer Hersteller mit 2.600 mAh sind bereits am Markt). Die A123-Systems Zelle wird bereits in einigen „Power-Tools" wie Akku-Bohrschraubern und ähnlichen Geräten eingesetzt. Im Modellbau wird sie als Antriebs-Stromversorgung sowie Empfängerversorgung eingesetzt. Diese Zelle kommt dort zum Einsatz, wo keine absoluten Höchstleistungen gefordert werden und das Gewicht des Antriebsakkus eine geringere Rolle spielt. Bedingt durch die Struktur des Kathodenmaterials ist die Leistungsfähigkeit der A123 jedoch gegenüber LiPo-Zellen auf eine Entladerate von 30C limitiert (als Kathode bezeichnet man bei elektrischen Verbrauchern den Minus-Pol, bei elektrischen Erzeugern den Plus-Pol). Dafür bringt sie den Vorteil mit, innerhalb von 15 Minuten mit einer Laderate von über 4C aufgeladen werden zu können.

Zwei moderne A123-Zellen. Die LiFePO4 zeichnet sich durch ihre Robustheit und Schnellladefähigkeit aus.

Eine Zelle des Typs Eneloop von Sanyo, die sich hervorragend für den Einsatz als Empfänger- und Sender-Stromquelle eignet.

Drei LiPo-Zellen (5S 3.700, 4S 4.400 und 5S 3.300 v.l.n.r.), wie sie bevorzugt in Helis der 500er Größe eingesetzt werden.

Test
Akkumulatoren

Moderne Ladegeräte sind dazu in der Lage, während des Ladevorgangs aktuelle Daten im Display anzuzeigen, z.B. Spannungskurven oder Einzellzellenspannungen (bei LiPos).

Graupners Spitzen-Ladegerät Ultra Duo Plus 50 kann zwei 7S-LiPos gleichzeitig laden. Beide Ausgänge können verschaltet werden, um einen 14S-LiPo zu laden!

3S LiPo 2.200 mAh von Rockamp im Beam E4 – einem typischen 450er Heli.

LiPo

Lithium-Polymer-Akkus sind gewissermaßen die direkten Nachfolger der Li-Ion (Lithium-Ionen)-Akkumulatoren, die bereits seit einigen Jahren in Handys und Laptops ihre Verwendung finden. Diese Zellen bieten bereits hohe Kapazitäten bei geringem Gewicht, sind aber nicht Hochstromfähig. Ihre Lebensdauer beträgt bei Entladung mit 1C (damit ist gemeint, das der Laststrom dem Betrag der Nennkapazität des Akkus entspricht, also 1 A Entladung in einer Stunde bei einem 1.000 mAh-Akku) weniger als 250 Ladezyklen. Bei Belastung mit 1/5 C hingegen rund 500 Zyklen. Da jeder Ladevorgang einen Zyklus darstellt – egal ob der Akku ganz oder nur teilweise entladen war – sind Handy- und Laptop-Akkus oftmals schon nach 2 Jahren in der nutzbaren Kapazität stark eingeschränkt, obgleich der Benutzer das Gerät vielleicht immer nur minutenweise im Akkubetrieb genutzt hat. Ihre Nominalspannung liegt bei 3,6 V.

Die LiPo-Zelle hat eine Nominalspannung von 3,7 V und verfügt über erheblich bessere Hochstromeigenschaften, was sie für den Einsatz für elektrische Modellantriebe interessant macht. Besonders ihre hohe Spannungskonstanz macht sie für den Einsatz in Modell-Helis übermäßig interessant. LiPo-Zellen der aktuellen Generation bieten über rund 90% der Kapazität eine sehr gute Spannungskonstanz. Die Akkus sind relativ schnell zu laden. Bei 1C Laderate in ca. 70 Minuten, neuere Zellen mit 2C Laderate in ca. 32 Minuten, Zellen mit 3C und noch höherer Laderate werden in diesem Jahr erwartet bzw. sind teilweise bereits verfügbar. Dafür ergibt sich bei heutigen LiPo-Zellen die Notwendigkeit des Balancing – der Spannungsanpassung der einzelnen Zellen zueinander unter Einhaltung der zulässigen Ladeschlussspannung. Dieses Balancing erforderte neue Ladegerät mit sogenannten Balancern oder Equalizern, welche aber auch als Einzelgerät erhältlich sind.

Die flache, rechteckige Bauform hat die LiPo-Zellen schnell sehr beliebt gemacht, sind sie doch mitunter um einiges einfacher im Modell zu befestigen und leichter als Rundzellen (Ni- und LiFePO4), bedingt u.a. durch den fehlenden Metall-Mantel (Becher). Der damit verbundene Nachteil ist aber die geringe mechanische Festigkeit der Zelle.

In der Lithium-Technologie trifft man hin und wieder noch auf ein paar besondere Zelltypen wie Li-Ion-Mn (Lithium-Ionen-Mangan) und LiMnPo (Lithium-Mangan-Polymer). Auf diese Typen werden wir später noch kurz eingehen, sie gleichen in den Spannungsdaten den LiPo-Zellen. Soviel zur Technik der Zellen, aber…

…wie lädt man Akkus richtig?

Bei den NiCd- und NiMH-Zellen war dies noch ein recht simples Unterfangen, oftmals reichte ein sehr einfacher Lader aus, der einfach die für den Pack erforderliche End-Spannung brachte. Dies wurde mittels Konstant-Strom-Ladung erreicht, eine Normal-Ladung wurde in 14 Stunden mit 1/10 der Kapazität als Ladestrom durchgeführt. Bei Antriebsakkus wurden oftmals Schnellade-Einstellungen verwendet, die mit erheblich höheren Konstantströmen laden. Da dies jedoch zu frühzeitigem Ausfall der Zellen führte, kamen die ersten elektronischen Ladegeräte mit Delta-Peak-Ladeverfahren (richtig: Minus-Delta-U) auf den Markt. Bei diesem Verfahren wird der differentielle Widerstand der Zelle überwacht. Mit Erreichen der Vollladung kann die weiterhin zugeführte Energie chemisch nicht mehr in der Zelle gebunden werden. Die Zelle erwärmt sich, der Spannungsabfall in der Zelle wird größer, wodurch die Ladespannung sinkt (deshalb Minus-Delta-U, wobei das U für Spannung steht). Erkennt der Lader diesen Spannungsabfall, der typischerweise bei 10-20 mV / Zelle bei NiCd (bzw. 2-10 mV bei NiMH-Zellen) liegt, wird der Ladevorgang beendet.

Bei Li-Ionen- und Blei-Akkus wurde hingegen mit einer Konstant-Spannungs-Ladung gearbeitet. Bei diesem Verfahren wird die Ladespannung konstant gehalten. Bei fortschreitender Aufladung sinkt der Ladestrom wegen der kleiner werdenden Spannungsdifferenz zwischen Akkumulator und Ladegerät. Idealisiert würde der Ladestrom bis auf Null sinken, in der Praxis fließt ein von der Akkukapazität abhängiger Reststrom zum Ausgleich der Selbstentladung. Dieses Ladeverfahren wurde aber durch das zuverlässigere und sicherere CCCV-Verfahren ersetzt.

Bei LiPo-Zellen findet man nun eine Kombination beider Ladeverfahren: die CCCV-Ladung. CCCV steht dabei für Constant Current – Constant Voltage (Konstanter Strom – Konstante Spannung). Dabei werden die Zellen zunächst mit konstantem Ladestrom bis zum Erreichen der sogenannten Ladeschlussspannung geladen, danach wird diese Spannung am Lader konstant gehalten, bis der Ladestrom 1/10 der Akkukapazität erreicht hat. Dieses Verfahren wird auch bei neueren Geräten mit Li-Ion-Akkus angewendet (meist sitzt eine entsprechende Elektronik fest integriert im Gehäuse des Akkus , z.B. bei Videocameras, Handys) sowie modernen Blei-Akkus und den bereits genannten A123-Zellen.

Und da ergeben sich bereits die ersten Feinheiten, die die Lebensdauer eines Akkus beeinträchtigen können. NiCd-Zellen sowie A123-Zellen sind relativ unempfindlich gegen Überladen. Wird z.B. eine A123-Zelle, deren Ladeschlussspannung bei 3,6 V liegt, bis auf 4,2 V aufgeladen, steigt ihre nutzbare Kapazität nur unwesentlich an (max. 5%), die Spannung bricht bei Belastung auf annähernd das gleiche Niveau wie bei „normaler“ Ladung ein. Zwar erwärmt sich die Zelle beim Laden dann stärker, jedoch sorgt die chemische Zusammensetzung für diese „Überladungstoleranz“.

Ganz anders hingegen verhalten sich Lithium-Polymer-Akkumulatoren. Ihre Ladeschlussspannung ist in der Regel mit 4,2 V angegeben, einige Hersteller nennen auch 4,22 V oder 4,25 V – da ist jedoch definitv „Schluß mit lustig“. Durch die hohe Energiedichte der Akkus wird bei höherer Ladespannung ein Punkt erreicht, an dem die chemische Zusammensetzung instabil wird – das Risiko von Brand und Explosion steigt exponentiell an. Nicht zuletzt der im Substrat mitverwendete Alkohol sorgt bei Zellentemperaturen von über 60°C (einige 70°C) für Gefahr, wenn der Akku in irgendeiner Form mechanisch beschädigt werden sollte – bei FePo-Zellen, die in stabilen Metallbechern aus Aluminium verbaut sind und somit mechanisch unempfindlicher sind, ein erheblich unkritischerer Punkt.

Dies macht bereits klar, wie wichtig ein gutes Ladegerät für das schonende aber effiziente Laden unserer kleinen Leistungspakete ist. Ein Billig-Lader ohne entsprechend abgestimmte Ladeprogramme für die jeweiligen Akkutechniken kann nicht nur die Akkus beschädigen, er kann auch zu einem potentiellen Sicherheitsrisiko werden. Fälle von explodierten und abgebrannten LiPo-Packs, die das Hobbyzimmer abgefackelt oder ganze Kellerräume vernichtet haben, sind zwar nicht an der Tagesordnung – aber tragische Fälle, die vor Augen führen, wie wichtig auch die Sorgfalt des Modellbauers im Umgang mit der Technik ist. Denn der beste Lader kann Bedienungsfehler nicht ausgleichen.

„Extrem wichtig: Ein gutes Ladegerät für das schonene aber effizente Laden der Akkus.“

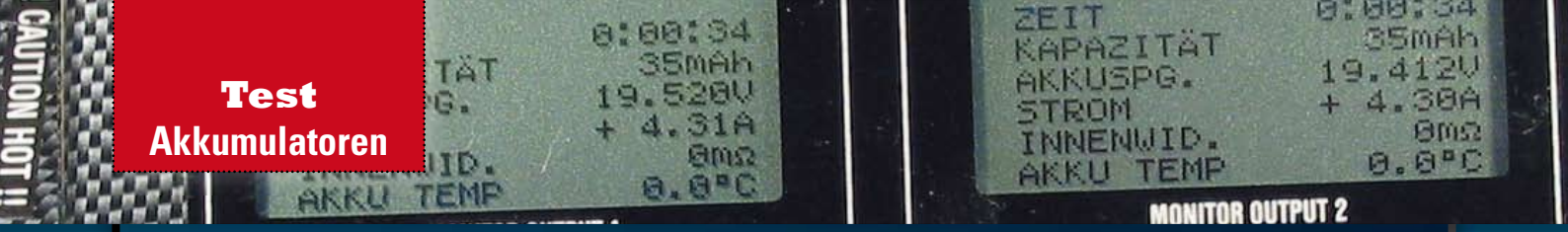
Kürzel und ihre Bedeutung

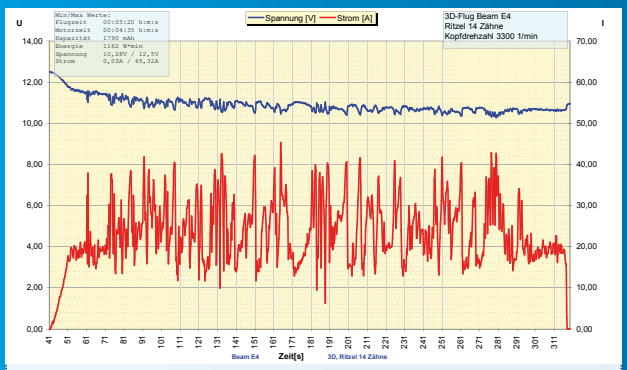
Schaut man sich einen Akku an, sind meist alle Angaben zu erkennen, die für den Berieb im Heli sowie zum Laden wichtig sind. V steht für Volt (Voltage) und bezeichnet die Spannung des Akkus. mAh steht für milli Amperes / hour (Milliampere-Stunde) – Kapazität des Akkus – bzw. es bezeichnet den Strom (Betrag), den der Akku eine Stunde lang abgeben kann, z.B. 2.000 mA bei einem 2.000 mAh LiPo. C steht für Capacity und wird verwendet, um die maximale Belastbarkeit des Akkus als Faktor der Akkukapazität anzugeben. 20C auf einem 2.200 mAh-Akku bedeutet, dass man den Akku maximal mit einem Strom von 20×2.200 mA = 44.000 mA (44 A) belasten darf (bzw. bedeutet, dass der Akku in 20:60 = 3 Minuten entladen ist). Man unterscheidet dabei noch continues discharge und burst discharge. In der Regel werden die Werte direkt hintereinander auf den Akkus aufgedruckt, z.B. 20 / 30 C. Dies bedeutet, auf einen Akku mit 2.200 mAh Kapazität bezogen, das dieser mit 44 A Dauerstrom bzw. mit 66 A kurzeitigem Impulsstrom (burst) belastet werden darf. C wird aber auch als Faktor für den zulässigen Ladestrom verwendet. Der Aufdruck „Laden mit 1 C“ bedeutet bei einem 2.200 mAh LiPo, dass der Akku mit einem Strom von max. 2,2 A geladen werden darf. Der Aufdruck „Laden mit 2 C“ gestattet bereits das Laden mit dem doppelten Strom, in unserem Fall also 4,4 A. Aus Sicherheitsgründen sollte darauf verzichtet werden, einen Akku, der nicht ausdrücklich für 2C-Laden zertifiziert ist, mit einem höheren Strom zu laden – die Zellen sind in ihrer Zusammensetzung dafür nicht ausgelegt und stellen dann ein Sicherheitsrisiko dar.

xSyP steht für seriell / parallel. Man findet das häufig in den Verkaufsbezeichnungen von Akkus, nicht alle Hersteller verwenden den Aufdruck auch auf den Akkus selbst. Die Ziffer vor dem „S“ gibt die Anzahl der in Serie verschalteten Zellen an, die Ziffer vor dem „P“ nennt die Anzahl der seriell verschalteten Gruppen innerhalb des Packs. Zum Verständnis: in einer Serien-Schaltung addieren sich die Spannungen der einzelnen Zellen zur Gesamtspannung des Packs, bei gleich bleibender Kapazität. Bei der Parallel-Schaltung von Zellen bleibt die Spannung identisch, jedoch addieren sich die Kapazitäten. Ein Pack mit der Bezeichnung „3S1P 2200“ besteht also aus 3 in Serie geschalteten Zellen, davon ist eine Einheit in dem

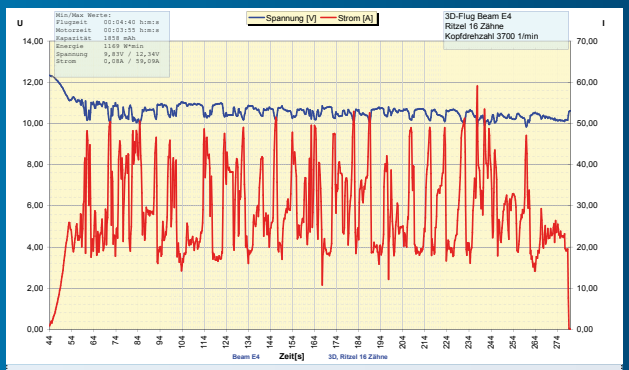
Schlecht behandelte LiPos machen dicke Backen und sind damit frühzeitig Sondermüll.

4S LiPo 4.400 mAh von robbe/Saehan im Heli 4S – so ausgelegt, hervorragend geeigneter LiPo für lange Rundflüge.





Datenlog von zwei Kunst- bzw. 3D-Flügen mit dem Beam E4 von Parkflieger; verwendet wurde ein 3S LiPo 2.200 mAh. Im ersten Diagramm ist der Flug mit einem 14-Z-Ritzel, im zweiten mit einem 16-Z-Ritzel aufgezeichnet (Daten erfasst mit UniLog von SM-Modellbau).



Die Ströme reichen von 10-45 A bzw. beim 16er Ritzel sogar bis 60 A. Die Spannung bricht dann bis 10 V ein. Der so belastete LiPo muss eine Menge können.

Pack – also keine weitere parallel geschaltete. Die Spannung des Packs beträgt nominell 11,1 V (3×3,7 V) und die Kapazität 2.200 mAh. Würde der Aufdruck „3S2P 4400“ lauten, so wären in dem Pack 6 Einzelzellen verschaltet, und zwar 3 Zellen in Serie, und davon 2 Einheiten parallel. Dies ergibt dann eine Pack-Spannung von 11,1 V bei 4.400 mAh Kapazität. Und hier fängt das erste Debakel an: lädt man den Pack nun bei 1C mit 4,4 A (4.400 mAh) oder darf ich nur 2,2 A einstellen? Schließlich sind ja 2.200-mAh-Zellen verschaltet. Oder muss ich etwa 6×3,7 V = 22,2 V einstellen? Schon wird deutlich, das es schwierig werden kann, wenn man die Kürzel nicht kennt und falsch interpretiert – oder falsch erklärt bekommt. Für die Ladung eines Akkus ist immer die Spannung der im Pack seriell verschalteten Zellen ausschlaggebend, also „x“S (z.B 3S / 4S usw.). In der Regel ist die Nominalspannung jedoch aufgedruckt. Für den Ladestrom ist die Angabe der Gesamtkapazität des Packs ausschlaggebend sowie die Lade-Rate. Auf den Akkus ist immer die Gesamtkapazität des Packs aufgedruckt, nie die der einzelnen Zellen. Unser 3S2P-Akku aus dem obigen Beispiel ist demnach als 3-Zeller mit 4.400 mA zu laden.

Akku-Spannungen, C-Rates ... Irrungen und Wirrungen

Oftmals sorgen die Spannungsangaben unter Modellbauern für Verwirrung – gerade Einsteiger sind häufig mit nicht eindeutigen Kennzeichnungen hoffnungslos überfordert. Falsches Laden ist häufig die Folge, im besten Fall unter Verlust von Akkupacks oder Ladegerät. Gerade haben wir uns unter den Begriffsbestimmungen zu Gemüte geführt, was die Abkürzungen bedeuten – und auch, welche Konsequenz es für das Laden unserer Akkus hat. Nun kommen jedoch die Hersteller/Importeure und verwirren uns gerne mit unterschiedlichen Spannungsangaben, die aber auf den gleichen Akku bezogen sind. Da steht auf unserem Akku zum Beispiel 14,8 V – aber im Ladegerät kann ich nur 12,6 V oder 16,8 V einstellen. Schnell stellt sich die bange Frage: welche Einstellung ist denn nun die Richtige? Hier könnte es ja um die Ladeschlussspannung, Entladeschlussspannung oder Nominalspannung gehen. Zur Klärung gehe ich kurz auf die Begriffe ein.

Die Nominalspannung findet sich immer auf den Packs – sie bezeichnet die mittlere Akkuspannung während der gesamten Entladung mit 1C Belastung, also einem Laststrom, der im Betrag der Kapazität des Akkus entspricht. Die Ladeschlussspannung ist die Spannung, bei der für Zellen, die im CC-CV-Verfahren geladen werden, auf konstante Ladespannung geschaltet wird. Je nach Zelltyp sind an diesem Punkt 85-93 % der Gesamtkapazität eingeladen. Für LiPo-Zellen liegt dieser Wert bei 4,2 V (max. 4,25 V), so ergibt sich für unseren 3S-Pack mit 11,1 V Nominalspannung eine Ladeschlussspannung von 12,6 V (3×4,2 V). Genau diese Spannung wäre dann am Ladegerät einzustellen, oder im Beispiel unseres 14,8 V Akkus (14,8:3,7 = 4 (Anzahl der Zellen)) wären demnach 16,8 V (4×4,2 V) am Ladegerät einzustellen. Die Entladeschlussspannung ist für den Betrieb des Akkus sehr wichtig. Sie bezeichnet die Spannungsgrenze, bei der die Entladung des Akkus definitiv zu stoppen ist, das heißt es darf dann kein Laststrom mehr fließen. Bitte beachten: wenn wir einen Heli in Betrieb haben, und danach den Akku kontrollieren, ermitteln wir vielleicht eine Spannung von 10,0 V, was für einen 3-Zeller LiPo, der eine Entladeschlussspannung von 3,0 V / Zelle besitzt, ja eigentlich noch in Ordnung scheint. Es gilt dabei aber zu bedenken, das sich mit dem Abschalten der Last die Zellenspannung wieder stabilisiert, d.h. die gemessene Spannung ohne Last ist mitunter erheblich höher als die Spannung, bei der wir mit der Entladung wirklich aufgehört haben. Hier gibt es ein paar wenige Möglichkeiten, den Akku nicht in den Bereich der Tiefentladung zu bringen. Diese Möglichkeiten zeige ich Ihnen im zweiten Teil, in dem wir uns auch um die richtige Dimensionierung und Entscheidungsfindung bei der Akkuwahl beschäftigen

Teil 2 in Heli4Fun 5/09: LiPos – Akkuwahl und Dimensionierung, Akkuschutz, Ladetechnik. Sonderzellen (LiMn / LiMnPo). Teil 3 in Heli4Fun 6/09: Balancing, Lagerung, Pflege – was ist schädlich, was nützlich? Know-how aus der Praxis.

Übliche Spannungen:

Typ	Nominal	Ladeschluss	Entladeschluss
NiCd / NiMH	1,2 V	1,40 – 1,65 V	1,0 V (0,8 V)
A123	3,3 V	3,6 (3,7) V	2,0 V
Li-Ion	3,6 V	4,1 V	3,0 V
LiPo	3,7 V	4,2 (4,25 V)	3,0 V