

Blei gegen Lithium

Akkumulatoren in Segelflugzeugen und kleinen Sportflugzeugen, sowie im Modellbau und in Alltags-Geräten

Vor langer Zeit ging es noch gänzlich ohne Akku, die Motoren wurden von Hand angeworfen, ein Funkgerät oder E-Vario brauchte man nicht. Heute haben wir die Qual bei der Akku-Auswahl

Warum entstand überhaupt dieser Text? Ein zunehmend schwächer werdender, mehrere Jahre genutzter Anlasser-AGM-Akku wurde gegen einen neuen identischen getauscht. Der nagelneue Anlasser-Akku verhielt sich kaum besser als der ausgetauschte. Der schon länger schwelende Verdacht, dass unsere Bleiakkus aus dem Elektronik-Versandhandel immer "schlechter" (oder ungeeigneter für den Betrieb?) werden, verführte Anfang 2015 erstmalig zum Einsatz eines Lithium-Anlasser-Akkus (LiFePo) und dessen exakter Vermessung: Schon der erste Eindruck war weit besser als der vom „neuen“ Blei-Akku!

Dieser Text hat sich nebenbei als Leitfaden für einen hoffentlich interessanten und verständlichen Vereins-Vortrag an einem voll verregnetem Wochenende entwickelt.

Wie der typische End-Nutzer das Rotax-Service-Bulletin "Einsatz von Lithium-Ionen Batterien ..." (ASB-912 i-005iS) inhaltlich verstehen oder interpretieren soll, wird manchem ein Rätsel sein. Die Worte "Ionen" und "Batterie" in der Überschrift sind an sich schon unpassend.

Das Bulletin ist wahrscheinlich eher dazu gedacht, dass die betreffende Firma sich schon aus der Verantwortung gezogen hat, bevor irgendwo ein Li-Akku im Zusammenspiel mit einem Rotax-Motor oder dessen Lade-Regler in Rauch aufgeht, was noch das harmloseste Szenario (wenn nur Rauch) wäre.

Es bleibt eigentlich nur "Frag irgendwen, der sich damit auskennt" und der weis was er tut ... vielleicht ist es gar Dein LTB? Oder laß bloß alles genau so, wie es ist!

Es ist bei den im Folgenden betrachteten Akkus (egal welcher Technologie) zu unterscheiden, ob diese zum Anlassen von Motoren (70-150A, das ist noch lange nicht der Peak-Strom) oder für moderate Instrumenten-Entladung bei wenigen Ampere verwendet werden sollen.

***Inbesondere werden im folgende diese Akkumulatoren betrachtet:
Konventionelle Blei-Säure, Blei-Gel, Blei-AMG, Lilon, LiFePo(4) und LiPo(lymer)***

Grundsätzliche Unterschiede - Blei-xx / LiPo / LiFePo

-) Bei Blei-Akkus gibt es diverse Untertypen, manch einer glaubt heute noch, ein AGM-Akku (Absorbent Glass Mat) sei ein Gel-Bleisystem. Ob die Säure frei beweglich um die Bleielektroden schwappt, in Glas-Vlies (AGM) oder geleeartiger Masse (Gel) fest gebunden ist, macht erhebliche Unterschiede in den Eigenschaften aus. Die Zellchemie ist dabei allerdings vergleichbar. Spätestens bei "zyklenfest" und "hochstromfest" ist die Verwirrung perfekt. Beides zusammen gibt es nicht. Zumindest nicht bezahlbar im freien Handel.
-) Erste Regeln:
 - o Hochstromfeste Bleiakkus sollten so wenig wie möglich entladen werden, das erscheint verständlicher Weise seltsam: Hochstromfeste Bleiakkus sollen nur zum Anlassen (hohe Ströme für wenige Sekunden) verwendet werden und insgesamt so wenig wie möglich entladen werden.
 - o Zyklenfeste Bleiakkus (meist die Gel-Variante) dürfen der Theorie nach dagegen auch ihre gesamte Kapazität bei geringem Ladestrom ohne wesentlichen Lebensdauerverlust abgeben. Bei hohen Stromentnahmen wird ihnen durch Gasungs-Effekte (wohin soll das Gas im Gel entweichen?) geschadet.
-) Bei Lithium-Akkus sind die LiPo's und Lilon/LiFePo's sehr gebräuchlich. Lilon/LiFePo's sind in ihren Zellspannungen sehr ähnlich, aber nicht gleich! Der Modellbau setzt meist LiPo's ein, ebenso wird diese Teebeutel-Bauart („Riegel“) in Smartphones und ähnlich flachen, kleinen Geräte verwendet. Im Consumer-Bereich werden in Laptops oder Akku-Schraubern Lilon's und LiFePo's (meist Rundzellen-Bauart) bei höheren Strömen schon seit

langem verwendet. Diese Zellen genießen insbesondere durch ihren mechanisch geschützten Aufbau und die stabilere Zellchemie (insbesondere LiFePo's) einen etwas besseren/sicheren Ruf.

Bei Lithium-Akkus gibt es ebenso hochstromfeste und nicht-hochstromfeste Typen, die allerdings beide auch vollständig bis zur Entladeschluß-Spannung entladen werden dürfen. Die hochstromfesten Typen stammen oft genug aus exakt derselben Fertigung (!) wie die „nicht“- hochstromfesten. Der Unterschied!? Durch Exemplar-Streuungen stechen die Zellen mit geringem Innenwiderstand positiv hervor ... und sind damit die hochstromfesten Typen. Letzt endlich erwärmen sich die hochstromfesten Typen nur weniger!

Warum insbesondere bei Li-Akkumulatoren 80% Restkapazität als Lebensdauer-Ende angegeben sind hat einen Grund: Ab dieser Restkapazität zeigen diese Akkumulatoren einen rapiden Verfall ihrer zukünftigen Speicherfähigkeit. Die Leistungskurve geht stetig in einen starken, nichtlinear fallenden Verlauf über.

Man darf also nicht davon ausgehen, dass man einen derartigen „Restkapazitäts-Akku“ noch weitere 1000 Zyklen mit nur etwas verminderter Kapazität und ansonsten ähnlicher vorheriger Performance nutzen kann.

Man kann beim Erreichen der Restkapazität in etwa mit der Verdopplung des Innenwiderstandes (gegenüber des Neuzustandes) rechnen.

Womit offensichtlich wird, dass jede höhere Strombelastung beim Laden oder Entladen zunehmend mit immer höherer Erwärmung (mechanischer) und chemischer Belastung (Zerfall) einher geht. Jede Erwärmung bewirkt wiederum mechanische Belastungen - der kapazitive Verfall schreitet immer schneller voran.

Es darf, wie schon erwähnt, davon ausgegangen werden, dass die "nicht hochstromfähigen" Exemplare von Einzelzellen aus ein- und derselben Fertigungs-Charge so etwas wie noch gut verwendbarer "Ausschuss" sind.

Man toleriert, akzeptiert und rechtfertigt deren höheren Innenwiderstand eben mit der Vorgabe, keine hohen Ströme zu entnehmen.

Letzt endlich bedeutet der erhöhte Innenwiderstand eine schon fortgeschrittene Alterung!

Hochstromfeste Akkus dürfen natürlich auch langsam entladen werden, fertig konfektionierte Zellen besitzen aus Kostengründen nicht immer einen Kurzschluß- oder Tiefentlade-Schutz. Diese Schutzschaltungen gegen Über/Unterspannung und Überstrom sind bei Anlasser-Anwendungen noch die Ausnahme. Bei typischen Bleiakkus findet man solche Schutzschaltungen nie, allenfalls in externer Form, zum Beispiel als in die Polklemme integrierte Sicherung.

Vom physikalischen Aufbau her haben die "Lithiums" schon einen kleinen, offen sichtlichen Vorteil gegen über Blei-Varianten:

Zur Bereitstellung der eingebürgerten 12 Volt Nennspannung (typischer Nutzbereich: 10,5-14,7Volt) sind bei Blei-Akkus sechs Elementarzellen nötig. Bei LiFePo's sind es vier Zellen. Da jede Elementar-Zelle naturgemäß einen Innenwiderstand hat, sieht die Lithium-Reihenschaltung schon auf den flüchtigen Blick im Ersatzschaltbild günstiger aus.

Bei LiPo's (diese Plastikbeutel-Bauform) sind 3 bis 4 Zellen nötig, durch den höchsten Urquellen-Spannungsbereich (2,8-4,2V) können allerdings drei Zellen in Reihe zu wenig Spannung liefern ... und vier dagegen schon zu viel.

Wegen der Eigenschaften in Hinsicht auf Sicherheit und Zellspannung könnte es sein, dass deshalb typische 12/13,8 Volt Akkus, die herkömmliche Bleiakkus ersetzen sollen, fast ausschließlich mit LiFePo's (die Zellen mit fester, einzelner Zell-Umhüllung) ausgestattet sind. Lilons sind eine etwas ältere Li-Zell-Generation, mit minimal kleinerer Ladeschluß-Spannung und etwas höherem Innenwiderstand, daher werden diese eher in Akku-Werkzeugen verwendet.

Beim LiPo(lymerakku) läßt sich der aktuelle Kapazitätszustand sehr gut aus der unbelasteten Zellspannung ableiten, bei Lilons/LiFePo(4)s geht das noch akzeptabel, bei Bleiakkus gelingt das nur noch sehr bedingt. In Anwendungen, bei denen man immer ganz genau auf die noch verfügbare Rest-Energiemenge schließen möchte, sind LiPo's daher im Vorteil.

Balancieren?

Eine Reihenschaltung aus Einzelzellen ohne Balancierung, ist immer eine wackelige Konstruktion, die nur stabil im Hochstrom- oder Zyklen-Betrieb läuft, solange jede Zelle in der Reihenschaltung exakt dieselben Kennwerte (insbesondere Kapazität) aufweist. Selbst bei vorab parametrisch selektierten Zellen werden diese über einen längeren Zeitraum immer ihre Kennwerte verändern, etwas anderes anzunehmen ist unrealistisch. Allein der Aufbau eines Akku-Blocks (ein als Reihenschaltung fertig konfektionierte Akku wird im Folgenden auch als "Akku-Block / Block" bezeichnet) ist naturgemäß schon thermisch betrachtet unsymmetrisch, ohne das jetzt weiter zu beleuchten.

Wenn einmal ein erster, auch nur minimaler Kapazitäts-Unterschied bei Einzelzellen aufgetreten ist, dann schaukelt sich der Verfall der un-balancierten Reihenschaltung schnell auf: Kapazitäts-schwache Zellen werden immer mehr überladen, und bei der Entladung viel tiefer als die stärkeren Zellen entladen. Zellen mit mehr Kapazität dagegen werden gar nicht mehr voll. Schwache Zellen werden also durch diese unvermeidliche "Fehlbehandlung" in kürzester Zeit noch schlechter ... bis dem Benutzer irgendwann auffällt, dass der von außen betrachtete Akkublock wohl hinüber ist.

Labor-Messungen haben belegt: Jeder Bleiakku mit mehr als einer Elementar-Zelle in Reihenschaltung hätte schon immer für eine maximale Lebensdauer mit Balancern ausgestattet sein müssen.

Da die einzelnen Blei-Zellen (insbesondere die altertümlichen Versionen mit gänzlich ungebundenem Elektrolyt) aber erheblich toleranter gegenüber einer Überladung als Lithium-Zellen sind, und man sich an einen regelmäßigen Tausch schon gewöhnt hat ... warum sollte die Industrie so etwas anbieten? Mit viel Kleinvieh kann man vielleicht einfacher Geld verdienen als mit wenig, aber hochpreisiger Technik. Was wir von der Stange kaufen können wird allein aus finanziellen Gründen immer ein Kompromiß sein.

Einen tagelang gekochten PKW-Akkumulator mit der Schwippschwapp-Säure konnte man durch Auffüllen von destilliertem Wasser oft genug vollständig retten. Jedes Hochzüchten bei Bleiakkus (später dann NiCd und NiHybrid) brachte zwar immer wieder beachtliche Kapazitäts-Gewinne, was aber jedes Mal zu Lasten der Unempfindlichkeit ging. Eine Lithiumzelle kann schon nach einer einzigen Fehlbehandlung defekt sein!

Eine Akkusorten-Ausnahme bestätigt die Regel: Die aus Umweltgründen praktisch nicht mehr eingesetzten Nickel-Cadmium-Zellen haben sich bei sachgemäßem Betrieb in Reihenschaltung tatsächlich langzeitstabil selbständig auf die schwächste Einzelzelle eingeschaukelt, bedingt durch den berüchtigten Memory-Effekt.

Alternative zur Reihenschaltung

Technisch ideal wäre es, eine einzige (!) Elementar-Zelle mit materialspezifischer Einzelspannung von 2,0/3,0/3,6/4,2 Volt und entsprechend sehr viel mehr Ah einzusetzen.

Denn, die Parallelschaltung bei Li- oder Blei-Elementarzellen (gleichem chemischen Aufbau) ist gänzlich unproblematisch, was die Zellchemie oder verschieden alternde Einzelzellen (die jeweils eine effektive und einfache Schutzschaltung enthalten können) angeht. Achtung, das mit der Parallelschaltung gilt nun gerade nicht für NiCd/NiHy- und ähnliche Zellen, die mittels delta-U-Verfahren optimal geladen werden.

Die Elektronik-Komponenten in unseren Geräten benötigen heute kaum mehr als drei Volt, und wenn doch, ist ein Spannungs-Step-Up bei den dann erforderlichen Strömen im mA-Bereich mit hervorragendem Wirkungsgrad möglich, die Standardschaltungen dafür sind preislich irrelevant. Wohlgermerkt bei geringen Strömen, ab nicht einmal einem Ampere sieht das schon anders aus, ganz abgesehen von den möglichen Störungen, die sich aus der hochfrequent getakteten Spannungswandlung ergeben können.

In jedem Smartphone, Tablet, Mp3-Player und Co ist nur eine einzige LiPo-Zelle verbaut, der kleinen Ströme und der Massentauglichkeit wegen grundsätzlich mit vollständiger Schutzbeschaltung (für wenige 10 Cent), ein Balancer erübrigt sich. Wer den letzten Teil des Satzes verstanden hat ist im Verständnis um die Akku-Ladetechnik schon einen kleinen Schritt weiter: Eine einzige Zelle lässt sich mit relativ einfachen Mitteln sehr sicher betreiben.

Unser Funkgerät (2-5A) oder ein Anlasser (... viel mehr Ampere!) braucht leider noch 12 Volt, da eben seit Urzeiten so konstruiert (Funkgerät), beim Anlasser müssen wegen der nötigen mechanischen Abgabe-Leistung wohl erst normaltemperierte Supraleiter preislich relevant zur Verfügung stehen, damit man elektrisch drehende 1 kW bei 3,5 Volt Eingangsspannung hinbekommt.

Aus ganz anderen (Kabelquerschnitt ...), und auch obigem Gründen, geht die Spannung in modernen PKW-Anwendungen gar von 12 auf 50 Volt und darüber hoch. Der VW-Käfer mit seinen anfangs 6 Volt wurde auch mal auf 12V Bordspannung geändert.

Wenn es den Supraleiter in einfacher Drahtform gibt, dann können wir sofort auf eine einzige Zelle mit Riesenkapazität umsteigen, die Schalt-Transistoren für die hohen Ströme gibt es bereits.

Die Qualität der Spannungsquelle (Spannungsrippel) einer solch noch zukünftigen hochstromfähigen „12Volt-aus-einer-Einzeltzellen-Spannungsversorgung“ kann allerdings niemals so gut/sauber sein wie direkt aus einer chemischen Urspannungsquelle.

Aus der Zusammenschaltung mehrerer solch getakteter Spannungs-Versorgungen (eine setzt rauf, mehrere andere bei Bedarf wieder runter) können sich Herausforderungen ergeben, bei denen nicht nur Rausch-Störungen im Funkgerät zu beseitigen sind.

Wirkungsweise von Schutzschaltungen und Balancern / Begrenzern

-) Bei den Schutzschaltungen ist die Funktion klar definiert und eine angepaßte Auswahl recht einfach.
-) Bei den Begrenzern, die auch als Balancer wirken können, ist eine Auswahl erheblich schwieriger.

Schutzschaltungen

Schutzschaltungen sind "Notfall-Einrichtungen", die einzelne Zellen oder den ganzen Akkublock gegen Über/Unterspannung und Überströme absichern.

Balancer

Im einfachsten Fall ist ein Balancer ein reiner Überspannungs-Begrenzer, funktional mit einer hochpräzisen + belastbaren und steilen Zener-Diode gleich zu setzen, die über jeder Einzelzelle in Sperrichtung liegt.

Diese Begrenzer funktionieren in Kombination hervorragend als Balancer, wenn die Lades-Schluß-Spannung exakt auf die Gesamt-Zener-Spannung(en) abgestimmt ist und der Balancerstrom zum Ladestrom paßt. Dieser Methode balanciert NICHT beim Entladen, was für die entnehmbare Energiemenge ideal ist, da kein Balancerstrom die Energiemenge verringert. Beim Aufladen wird die meiste Zeit auch nicht balanciert (keine Energie vernichtet), sondern erst dann wenn eine (oder mehrere) Zellspannungen über die Maximalspannung hinaus steigen würden.

Der Akkublock (Reihenschaltung aus mehreren Einzelzellen) ist am Lade-Ende perfekt ausbalanciert, alle Zellen sind randvoll (vorweg, für eine längere Lagerung leider nicht optimal).

Wer überwiegend mit kleinerer Ladespannung arbeitet, z.B. weil die Solarzelle es wiederholt nicht geschafft hat, die gewünschte Ladeschlußspannung zu erreichen und lang genug zu halten, wird mit reinen Begrenzern irgendwann unterschiedliche Einzel-Zellspannungen feststellen. Die permanente Aufladung mit auf Nennspannung reduzierter Ladespannung zur Akkuschonung wird bei unangepasster Einzel-Begrenzerspannung nicht ewig Lebensdauer-optimierend funktionieren.

Die im Folgenden noch genauer beschriebenen Begrenzer haben nur zwei Anschlüsse und werden einfach parallel zu jeder Zelle geschaltet. Aus der Anschlussweise wird schon klar, daß von der "Zelle nebenan" gar nichts mitbekommen werden kann. Aber auspassen, selbst wenn eine kombinierte LiPo-Elektronik-Platine zur Balancierung alle Einzelspannungen zugeführt bekommt, heißt das noch lange nicht, daß die benachbarten Zellen mit betrachtet werden.

Nun gibt es auch "intelligente" Balancer (die dann eher Equalizer genannt werden) die z.B. permanent, nur bei der Aufladung oder erst bei bestimmten Zellspannungs-Differenzen, Schwellen usw. eingreifen.

Der Übergang zu solchen hochkomplexen Balancer-Schaltungen, oft schon kombiniert mit Ladeschaltungen und variierenden Ladeschlußspannungen ist fließend.

Erst diese, mit entsprechend hohem Hardwareaufwand realisierten und voll software-gesteuerten Systeme lassen den unbedarften Nutzer die maximal mögliche Leistung und Lebensdauer für jedem erdenklichen Einsatzzweck aus einem Akkublock heraus holen.

Ein derartiges Ladesystem wurde schon 2006 speziell für eine Industrieanwendung entwickelt. Für jeden Akku-Anwendungs- oder Betriebsfall gibt es eine eigene Hard- und Software, auch für in der Industrie eingesetzte Blei-Akkus. Heute noch im Einsatz, mußte so mancher Parameter oder Funktionsablauf auf neue Akkutypen und Erkenntnisse angepaßt werden. Das funktioniert dann zwar einfach per Software/Update, muss aber gewissenhaft erledigt werden.

Tip: Ein typischer multifunktionaler Modellbaulader kann heute preislich deutlich günstiger solch individuelle Lade-Aufgaben bewerkstelligen.

Für den üblichen Akku-Einsatz im Segelflugzeug ist für manchen dieser Aufwand übertrieben. Um es auf die Spitze zu treiben: In extrem energie-effizienten Anwendungen wird der Balancerstrom schon nicht mehr nutzlos in Wärme, sondern in woanders verwendbaren (nach-)Ladestrom umgewandelt. Alles eine Kosten-Nutzen-Rechnung, der Aufwand muß genau kalkuliert werden.

Die Alternative dieser, fest am Akku verbauten (μ Controller gesteuerten) Varianten, ist zurzeit nur die Aufladung oder Wartung per externem (Modellbau-) Ladegerät, bei dem mindestens das Balancer-Kabel und meist auch die beiden Hauptanschlußkabel an den Lader angeschlossen werden müssen, einfach nur die zweipolige Verbindung (z.B. XLR-Stecker) anstecken reicht also nicht mehr. Eine gewissenhafte (=richtige) Einstellung der Ladeparameter ist auch bei dieser Methode immer Voraussetzung für eine sichere und Lebensdauer-optimierte Aufladung. Die unscheinbar aus den Modellbau-Zellen herauskommenden Balancer-Kabel sind meist ohne jede Absicherung und entsprechend gebührend zu behandeln.

Begrenzer, eine besonderer Art des Balancers

Eine reine Begrenzerschaltung (obige Zener-Diode) wird bei fertig verbauten und geschlossenen mehrzelligen Blöcken oft verwendet und aus praktischer Sicht auch ausreichend, wenn die Lade-Schluß-Spannung nahe der Maximalspannung des Blocks liegt und der Ladestrom nicht zu groß ist. Wenn denn:

Eine dauerhaft reduzierte Ladespannung zur Lebensdauer-Erhöhung ist nur

-) mit einem intelligenten Balancer
-) oder einfachen Begrenzern möglich, bei denen die Begrenzer-Spannung entsprechend reduziert wurde, also bei geschlossenen Blöcken nicht mehr nachträglich möglich!

Merke: Mit Begrenzern muß die Ladespannung überwiegend knapp unterhalb der Summe der Begrenzerspannungen liegen. Oberhalb der Summe darf die Ladespannung nie liegen, da die Begrenzer sonst genau das tun was sie sollen: Ab einer festgelegten Spannung wird ein Stromfluß (zur Spannungs-Begrenzung) durch den Begrenzer provoziert, der sich in einer Wärmeentwicklung äußert.

Wiederholung: Einen einfachen Begrenzer kann sich der „elektrotechnisch bewanderte“ wie eine präzise, sehr steil einsetzende und leistungsfähige Zener-Diode vorstellen.

Kurzum sind in der Praxis Balancer **und** Schutzschaltungen **dringendst** zu empfehlen. Diese Techniken (auch kombiniert) gibt es für vernachlässigbare Kosten als fertige Platinen zu kaufen. Bei Starterakkus kann/muß man ggf. auf die Schutzschaltung verzichten.

Bei einem Motorsegler wünscht man den Verzicht vielleicht sogar, denn wenn die Schutzschaltung durch einen „Fehlalarm“ oder Unterspannung auslöst, und der Anlasser sich deshalb (zur Akku-Schonung!) gar nicht mehr bewegt ... kann das auf einem Acker enden.

Die vielen jetzt durch den Raum schwebenden Fragezeichen des aufmerksamen Lesers, der doch "einfach nur einen neuen Akku" anschaffen will, sind dem Verfasser bewußt.

Zur Beruhigung, das ganze kann man wissenschaftlich betrachten, MUSS man aber nicht. Relativ sicher sind die LiFePo₄-Zellen von sich aus (diese sollen thermisch nicht von alleine durchgehen = zum Brand aufschaukeln), mit einer nicht ganz optimalen Lebensdauer kann man leben. Das müssen bzw. mußten wir mit den Bleiakkus auch.

Praxis

Nochmal zu den Bleiakkus: Wer seinen Blei-Akku regelmäßig zu über 50% entlädt (... da ist schon die Frage "woher soll ich das wissen") sollte immer einen zyklenfesten Akku einsetzen. Das sind die Typen, die gerade für Solar-Anwendungen angeboten werden. Diese (Blei-)Akkus haben recht wenig Kapazität und sind nicht hochstromfest, im Aufbau oft der Gel-Typ und sind vergleichsweise teuer.

Leider hat die Praxis im Segelflugbetrieb mit diesen Solartypen manchmal überhaupt keinen Unterschied zu den weit verbreiteteren und erheblich preiswerteren AMG-Typen gezeigt. Erfahrungstipp, die hochgezüchteten 8-10Ah-Typen im 6,5er Gehäuse ... sind regelmäßig als die ersten Blöcke ausgefallen.

Hochkant eingebaut musste man leider auch den Eindruck gewinnen, dass diese Einbaulage die Lebensdauer des Akkus nicht gerade erhöht.

Bei der angeblichen Lage-Unabhängigkeit der Bleiakkus mit in Fließ oder Gel gebundener Form muss man zudem gehörig aufpassen: Alle Blei-Systeme sind in irgendeiner Form offen, damit bei drohender Gasung der Überdruck entweichen kann. Es gibt AGM-Akkus, bei denen explizit in der Anleitung steht, daß die Lage beim Entladen beliebig ist, aber beim Aufladen die normal stehende Lage einzunehmen ist! Und ausprobiert, es stimmt ... beim Laden „über-Kopf“ kamen ein paar Tropfen Flüssigkeit (=Schwefelsäure!) aus der unscheinbaren Öffnung heraus. Man muß vermuten, daß dieser Effekt insbesondere bei AGM-Akkus auftreten kann, insbesondere bei höheren Strömen. Und warum nicht auch beim Entladen???

Die höhere Energiedichte oder die neue Materialkombinationen des Li-Akkus gegenüber Bleiakkus muß nicht automatisch ein "gefährlicheres" System bedeuten. Wer durch einen Bleiakkus hindurchbohrt muß auch mit einem Kurzschluß und mindestens Qualm durch die die Umgebung erheizenden, unkontrollierten Ströme rechnen.

Bei einem Vollkurzschluß sind schon Bleiakkus geplatzt, das wird auch bei Li-Akkus so sein (daher SICHERUNG am Plus-Pol!). Vollkurzschluß!? Es soll schon mal passiert sein, dass ein 19er Schlüssel auf die Akku-Pole gefallen ist, der Schraubenschlüssel ist dann durchgeglüht ;-)

Es sei angemerkt, das sich die Aussage „Li-Akkus sind unsicher“ insbesondere auf die LiPo(lymer)-Systemchemie und deren wabbelige Konstruktion im „Alubeutel“ bezieht. Die LiFePo(4) gelten als eigensicher, da sie thermisch angeblich nicht durchgehen und einen relativ stabilen Becher als Gehäuse haben.

Ein Vergleich: 100ml Benzin hat etwa 1 kWh Energiegehalt, Volumen-betrachtet weit mehr als jeder Akku. Der Spirit-Motorflieger schleppt gewöhnungsbedingt sorglos viele Liter Benzin mit sich rum.

Also, mit wenig zusätzlichem Aufwand und gesundem Menschenverstand sind Lithium-Akkus vergleichbar sicher zu benutzen wie herkömmliche Blei-Akkumulatoren (die unter einer Cowling auch nicht auf über 60 Grad erhitzt werden dürften!).

Der augenscheinlich bessere Umweltvorteil sollte bei Bedarf genauer hinterfragt werden und wird hier nicht betrachtet.

Alle Lithium-Systeme haben eine sehr geringe Selbstentladung sowie einen guten elektrischen Wirkungsgrad beim Laden und Entladen, gerade für Solaranwendungen sind das sehr wichtige Argumente.

Viele unserer neueren elektronischen Verbraucher beziehen eine konstante Leistung aus der Energiequelle, dieses sind also kein streng ohmscher Verbraucher, das ist sehr energie-effizient: Eine etwas höhere Betriebsspannung bewirkt damit einen kleineren entnommenen Strom, was bei vorgegebenen Ah-Aufdruck auf dem Akku eine effektiv längere Entladezeit ergibt.

Nichts ist gänzlich ohne Nachteil: Sinkt die Betriebsspannung ab, geht der Strom um so mehr nach oben, eine "weiche" Akkuspannung bricht nun um so stärker ein ... das ist allerdings in der Praxis kaum relevant, außer, dass zwischen fast leer und ganz leer nur noch wenige Sekunden liegen können. Wenn ein Akku fast leer ist, ist er eben auch nahezu leer.

Merke: Ohmsche Verbraucher (wie Landescheinwerfer, Mücken-Putzer, Anlasser) entlasten eine absinkende Akkuspannung mit quadratischer Leistungsentnahme-Verringerung, wohingegen die getakteten Verbraucher bei sinkender Spannung den Strom entsprechend stark ansteigen lassen, um weiterhin die gleiche elektrische Leistung zu erhalten.

In zunehmendem Maße werden bei einem Akku nicht nur die Ah sondern zusätzlich die Wh (Watt-Stunden) angegeben, um den tatsächlichen Energiegehalt eines Akkumulators (engl. "battery" / battery pack) oder einer Batterie (Batterien sind vom deutschen Wortgebrauch an sich nicht wieder aufladbar) anzugeben, endlich ein Schritt in die richtige, da ehrliche Richtung! Die Modellflieger haben es wieder mal vorgemacht :-)

Zwei Beispiele extremer Einsatzfälle

1.)

Der Akku soll permanent auf 100% seiner Kapazität gehalten werden, um bei unvorhersehendem Bedarf seine volle Energiemenge abgeben zu können. Der Akku altert so hauptsächlich durch seine Lagerung bei hoher Ladespannung und nicht durch Ladungswechsel.

Beispiel: Eine typische Notstromversorgung. Die Lagerung bei schonender, etwa halber Kapazität und kurzfristiger Vollladung (... vor dem Stromausfall) ist nur etwas für Hellseher.

In der Praxis kann man eben auch bei schonender Dauerspannung nur die halbe Nennkapazität einkalkulieren, genau das wird in speziellen Fällen gemacht.

Für manchen jahrelangen Standby-Betrieb werden heute sogar noch Primärzellen (nicht wieder aufladbar) eingesetzt. Und nach dem „Notfall“ einfach ersetzt.

2.)

Der Akku wird permanent auf- und entladen.

Als Beispiel kann unsere moderne Alltagselektronik (Smartfon & Co) genannt werden, oder auch der typische Elektro-Modellflieger.

Die Nutzungsdauer der Zellen wird insbesondere durch die Anzahl der Zyklen und starker Strombelastung in relativ kurzer Zeit bestimmt.

Ein typisch genutzter Antriebs-Akku im Modellflug kann sein Werk schon in einer einzigen Saison erledigt haben. Der Akku soll möglichst schnell aufzuladen sein um dann meist noch schneller wieder entladen zu werden. Wer fliegt schon immer mit Halbgas zur Akkuschonung!? Für diesen Anwendungsfall gibt es perfekte und preislich unschlagbare Akku-Lade-Systeme. Die (Alterungs-) Zeit der Lagerung des Akkus fällt praktisch nicht ins Gewicht.

Irgendwo zwischen diesen beiden Extremfällen wird sich wohl jeder in Gebrauch befindliche Akku aufhalten. Und genau deshalb kann man keine pauschale Empfehlung für eine Akkusystem (Akku + Zubehör) geben.

Der Segel- oder Motorflieger, der jederzeit auf einen vollen Bord- oder Starter-Akku zugreifen möchte, hat es schon erheblich schwieriger, ein lebensdauer-freundliches Konzept fix und fertig angeboten zu bekommen.

Es gibt eben Zeiten, wo der der Flieger wegen Schlechtwetter wochenlang nicht bewegt wird und dann urplötzlich drei Tage nacheinander im Einsatz ist.

Wunsch: Der Akku soll vor jedem Flugtag, den nicht interessiert wie das zurück liegende Wetter war, immer 100% voll sein und ggf. schonend lange weiter abwarten können. Ganz ohne Kompromiss wird es nicht gehen. Eine Möglichkeit: Den Akku halbvoll lagern und eben direkt vor dem Flug schnell aufladen. Kompromiss erkannt?

Trugschluß

Wer meint, er könne durch den Tausch des Blei- in einen Li-Akku gleicher Kapazitätsangabe (Ah, Ampere-Stunden) die angegebene viel höhere "Blei-Äquivalents-Kapazität" auch tatsächlich entnehmen, der irrt leider: Entscheidend für den Energiegehalt eines Akkus ist einzig und allein die Wh-Angabe (Wh, Watt-Stunden).

Der Stromanbieter liest jährlich auch nicht die verbrauchten Strom-Stunden ab, sondern die verbrauchte Energiemenge, die Watt-Stunden! Und weil es so viele sind ... in Kilo-Watt-Stunden (kWh).

Die Ah-Angabe bezieht sich bei Bleiakkus meist auf 10stündige Entladung. Oft sind es (klammheimlich) auf 20 erhöhte Entlade-Stunden, so wurden aus den typischen 6,5 Ah ohne konstruktive Änderungen ... oh-welch-Wunder ... 7,2 Ah.

Gerne wird von manchem Lieferanten der oben angesprochene "Peukert-Effekt" des Bleiakkus genutzt, die dreifache Ah-Zahl bei viel geringerem Gewicht eines "vergleichbarem" LiFePo4-Akku anzupreisen, ohne den entscheidenden Hintergrund dazu richtig zu erläutern.

Hier ein etwas hinkender Erklärungs-Versuch dazu: Ein 12Ah-Bleiakku leistet nur dann diese 12Ah, wenn die Entladung bei konstanten 1,2A in mindestens 10 Stunden erfolgt. Die Nennspannung wird dabei nicht mal die ganze Zeit eingehalten!

Bei einem Segelflugzeug mit 750mA (0,75A) Dauerstromaufnahme für die E-Instrumente und ein bisschen Funkerei reicht diese Kapazität (wenn tatsächlich vorhanden) praxiserprobt sicher über einen vollen Flugtag.

Einer der (günstigeren) Li-12V-Blocks mit beispielsweise nur 5Ah wird dafür NICHT ausreichen. Da nützt es rein überhaupt gar nix, wenn dieser Akku seine 5Ah auch innerhalb einer Stunde abgeben könnte und "mit einem Bleiakku verglichen 15Ah hat". Der erste Teil der Aussage ist richtig, der zweite in diesem Zusammenhang falsch!

Sooo schlecht ist ein richtig dimensionierter Blei-Akku nicht. Dennoch: Ein 12V-Bleiakku wird bei gleicher Kapazitätsangabe einem 12V-Li-Akku bezüglich der verfügbaren Wh (Watt-Stunden, erfasst auch die Spannungslage) immer unterlegen sein.

Obige pseudo-Aufhübschung der Lithium-Akkuleistung mittels Peukert-Effekt ergibt sich nur bei sehr hohen Entladeströmen, also z.B. bei einem Anlaß-Vorgang. Stichwort Innenwiderstand und Polspannung, siehe Grafik im Anhang!
Auf jeden Fall kann man die angegebenen Ah/Wh bei Lithium-Akkus auch bei höheren Strömen **vollständig und schadlos** nutzen, ein wirklicher Vorteil gegenüber Bleiakkus.

Wiederholung: Der oben angesprochene Peukert-Effekt (rate-capacity effect) beschreibt das Speichervermögen von Primär- oder Sekundärzellen in Abhängigkeit vom Entladestrom: Je höher der Entladestrom (Entladung pro Zeiteinheit), desto weniger elektrische Energie (Kapazität der Zelle) kann entnommen werden

Daher auch die langjährige Empfehlung, zwei Bleiakkus nicht nacheinander, sondern immer parallel geschaltet zu entladen und auch ebenso aufzuladen. Zum ewigen Diskussionspunkt, einer Umschaltung zwischen mehreren Bordakkus, wurde schon im folgenden Dokument...

<http://www.schrandt-electronic.de/Dokumente/IPX-Manual.pdf>

-> Gliederungspunkt 5.1.6, ausführlich Stellung bezogen.

Also: Die vermeintlich höhere Ah-Zahl der Li-Akkus kommt erst nutzbar zur Wirkung, je weiter man sich von einer 10stündigen Blei-Entladung (nicht zu) nahe in Richtung Motor-Anlass-Strom bewegt: Der Peukert-Effekt ist bei Li-Typen vernachlässigbar.

LiFePos bei geringen Temperaturen

Der Innenwiderstand bei manchen LiFePo(4)-Typen steigt bei Temperaturen unter 5 C° stark an. Ein Hersteller gibt dazu folgenden Hinweis:

-) Bei niedrigen Temperaturen soll durch provozierten Stromfluß (Landescheinwerfer oder sonstige Verbraucher vor dem Motorstart eine Minute einschalten, oder Motor ohne Zündung durchdrehen lassen) der Akku gezielt erwärmt werden.

Der temperatur-bedingt erhöhte Akku-Innenwiderstand soll also dazu genutzt werden, den Akku aufzuwärmen. Das fühlt sich zumindest nicht förderlich für dessen Lebensdauer an. Ob das in der Praxis auch länger ohne Kapazitäts-Verlust funktioniert wird sich zeigen. Wenn möglich, also nicht nur Motor, sondern auch Akku bei tiefen Temperaturen vorsichtig per Föhn vorwärmen.

Bei einem Blei-Akku baut sich nach dem ersten Anlaßversuch auf jeden Fall keine erneute „Power“-Spitze bzw. höhere Leistungsabgabe (Leistung= Spannung x Strom) auf, selbst wenn der sich dabei etwas erwärmt.

Klingeling, Geheim-Info: Aus zwei Gründen sind Bleiakkus in Diesel-Pkws immer etwas größer: Die Spannungshöhe des Blei-Akkus wird durch das Vorglühen schon abgesenkt, und insbesondere der Diesel braucht eine Mindestdrehzahl zum Anspringen.

Also, das bei "geringen Temperaturen" schlechter angegebene Leistungsverhalten beruht also insbesondere auf dem höheren Innenwiderstand des Li-Akkus bei tiefen Umgebungs-Temperaturen. Wer seinen Li-Akku nicht auf das Mindestmaß an Kapazität dimensioniert, sondern noch gute Kapazitäts-Reserve "einbaut", dem wird die Temperaturabhängigkeit nicht mehr auffallen, da der Innenwiderstand von vorn herein entsprechend kleiner ausfällt.

Es macht also auf jeden Fall Sinn, bei vorgegebener Gehäuse-Form die Variante mit maximal möglicher Kapazität auszuwählen: Nur wegen des (geringeren) Preises ... werden überhaupt Li-Akkus angeboten, die noch viel Luft im Standard-Gehäuse enthalten.

Ob man das darf...

Die Kombination eines Li-Akkus mit einem konventionellen Bleiakku (ohne jede Schutzschaltung) kann bei tiefen Temperaturen bewährte Zuverlässigkeit geben.

Warum eine Parallelschaltung eines 12V-Blei- und eines 12V-Li-Akkus (oder auch bei 12V-Li-Blocks untereinander) grundsätzlich ausgeschlossen wird, konnte bisher von keinem Lieferanten sachlich begründet werden. "Der Hersteller gibt das so an" ist keine Begründung.

Zum "Glück" passen die Spannungen bei einer Reihenschaltung aus 6 Bleizellen und 4 LiFePo-Zellen fast perfekt in Parallelschaltung zusammen.

Ein parallel geschalteter Betrieb von Blei- und Li-Blöcken ist bei ein paar wenigen, leicht umzusetzenden Grundsätzlichkeiten praxisgerecht möglich. Auch wenn das von den Herstellern ausdrücklich untersagt ist, kann man Li-Blöcke aus theoretischer Hinsicht ohne Bedenken parallel schalten.

Die Praxis der Parallelschaltung von „12V“- Blei- und Li-Akku in einem Motorsegler hat deutlich gezeigt:

Wird dieser Blei-Lithium-Kombination (in permanenter, paralleler Entladung ohne Umschaltung) über einen langen Flugtag (reiner Segelflug ohne Nachladung!) etwa eine Energiemenge entzogen, die der Li-Akku auch alleine bereitstellen könnte, dann wird diese Energiemenge tatsächlich fast nur vom Li-Akku abgegeben!

Bei der anschließenden (nur zum Test getrennten!) Aufladung erreicht der Bleiakku schon nach wenigen Minuten wieder seine Ladeschluß-Spannung, der Li-Akku braucht dagegen in etwa die Lade-Zeit, die der im Fluge entnommene Ladungsmenge entspricht.

Diese wenig überraschende Tatsache beruht auf zwei wesentlichen Gründen:

- 1.) Der Li-Akku stellt eine höhere Spannungslage bei ...
- 2.) ... zusätzlich geringerem Innenwiderstand bereit.

Genauere Erklärung: Der Bleiakku würde OHNE den parallel geschalteten Li-Akku bei typischer Instrumenten-Stromaufnahme in kürzester Zeit auf 12,5-12,2 Volt absinken.

Da der Li-Akku bei obiger Konstellation immer um etwa 0,5 Volt höher liegt, wird dieser daher bis zu dieser Entlade-Spannung praktisch den gesamten Strom abgeben.

Der parallel geschaltete Blei-Akku wird einfach der Li-Spannung "folgen" und sich dabei nur vernachlässigbar entladen. Wie erwähnt, dies gilt bis zu einer Spannung von etwas über 12 Volt.

Unterhalb dieser Spannung wird auch der Bleiakku zunehmend Strom abgeben, bis bei Erreichen der Entladeschluß-Spannung von 10,5-11,0 Volt beide Akkus ihre Energie vollständig abgegeben haben.

Wer also passend dimensioniert, der belastet im wesentlichen immer NUR den Li-Akku, hat im Fall der Fälle dennoch zusätzlich die Bleikapazität (bzw. das gute/altbewährte, was man schon immer hatte) zur Verfügung!

Zusammenfassung, eine perfekte Situation:

-) Der Bleiakku wird immer nur sehr wenig entladen (dieser hat eine relativ kleine Zyklenzahl!) und sollte daher nun viel länger halten, und stellt ggf. weiterhin bewährt seinen Anlasser-Strom oder die Instrumenten-Energie bei großer Kälte zur Verfügung.
-) Der Li-Akku liefert mit seiner erheblich höheren Zyklenzahl (> 1000) den Grundstrom, eine ggf. zu hohe Stromentnahme (beim Anlassen) wird durch die parallele Anbindung an die Blei-Pole über 2x 1,5mm² verhindert. Lasst Euch das ganze von jemandem installieren, der weiß was er tut und alles ist gut + sicher.

Mit einer überdurchschnittlichen Lebensdauer diese Kombination (gegenüber NUR Blei oder Li) ist zu rechnen, bei gleichzeitig mindestens identischer Performance.

Bei der Reihenschaltung von Blöcken ist allerdings Vorsicht geboten. Für das "Verbot" der Reihenschaltung von Blöcken kann die Spannungsfestigkeit der Schutzschaltung einzelner Blöcke mit ein Grund sein. Wobei jetzt wiederholt wird, daß eine Reihenschaltung von einzelnen Zellen möglichst schon im Vorfeld vermieden werden sollte, das ist immer "Mist" (technisch ungünstig). Und die Reihenschaltung von Blöcken erst recht.

Empfehlungen

Es folgen in der Praxis jahrelang bewährte Empfehlungen für maximale Lebensdauer bei Lithium-basierten Sekundärzellen (wieder aufladbare Zellen). Die Nutzungsdauer wird in Zyklen angegeben. Allgemein hat sich eingeschlichen, daß die Zyklenanzahl angibt, ab wann die nutzbare Kapazität auf unter 80% der Nennkapazität abgesunken ist, der Akku bleibt also auf jeden Fall gebrauchsfähig und fällt nicht urplötzlich aus, der Verfall steigert sich aber rapide, siehe weiter oben.

-) Hohe Lade- oder Entladeströme vermeiden. Nur weil es die Zellen aushalten KANN man sie damit belasten, muss es aber nicht. Je geringer Lade- oder Entladestrom, desto geringer die Zellbelastung. Wer überwiegend mit geringen Strömen lädt, der kommt nebenbei mit entsprechend kleinen Balancerströmen aus.
-) Die sicheren Zell-Chemiegrenzen nie verlassen, also die Mindestspannung jeder einzelnen Zelle nie unterschreiten, sowie die Maximalspannung nie überschreiten.

Erklärungsversuch: Oberhalb der Ladeschlussspannung, wie auch unterhalb der Entladeschlussspannung ist die stabile Zellchemie stark gefährdet. Daher müssen diese Zustände unbedingt vermieden werden, was Schutzschaltungen sicherstellen können.

Schutzschaltungen wie Überstrom, Einzel-Über- und Unterspannungsüberwachung sind ein KANN. Mit genügend Umsicht (Vereinsbetrieb ist damit nicht gemeint), wie Sicherstellung nicht zu tiefer Entladung, externem Sicherungsautomat und regelmäßiger manueller Spannungsregulierung, bleiben die einzelnen Zellen (Zellspannungen) in sicheren Bereichen.

-) Sich möglichst immer im chemisch stabilsten Zustand der Zellen aufhalten, also bei etwa Nennspannung. Daher werden die Zellen in diesem Zustand (halbvoll) ausgeliefert, die Selbstentladung ist derart gering, dass eine Selbst-Tiefentladung in absehbarer Zeit bis zur Auslieferung an den Endkunden nicht eintreten sollte.

Kernsatz: Je weiter und öfter man sich vom chemisch stabilsten Zustand (=Nennspannung) der Zelle entfernt und je länger man sich dort aufhält, umso ungünstiger ist das für die Zyklenzahl.

Zur Lebensdauer-Erhöhung der Zellen lassen sich manche Lade-Controller vom Schaltungsdesigner so einstellen, dass die Lades-Schluß-Spannung eben NICHT die maximal mögliche ist, sondern 100-250 mV (pro Zelle) darunter bleibt. Die damit entnehmbare Energiemenge ist dabei nur unwesentlich geringer, die Zyklenzahl erhöht sich dagegen stark. Bei maximal möglicher Ladespannung fällt die Leistungsfähigkeit schon nach kurzer Zeit auf den Wert ab, der sich bei der geringeren Ladespannung ergibt.

Alternativ wird abgewartet, bis der in e-Funktion abklingende Ladestrom einen gewissen Prozentsatz (kleiner 10%) des 1C-Ladestromes unterschritten hat. Der Ladevorgang wird dann bewußt vor einer Voll-Ladung abgeschlossen bzw. beendet.

-) Die einzelnen Zellspannungen zueinander immer ausgeglichen halten, das erledigt ein Balancer. Die Balancer können sich in ihrer Funktions- und Arbeitsweise stark unterscheiden, daher sollte dieser gut auf den Praxis-Anwendungsfall abgestimmt sein.

Ein Balancer MUSS sein. Gegen sich verschiebende Zellparameter kann man nicht selber „aufpassen“.

- J Lagern? Möglichst ohne jeglichen angeschlossenen Verbraucher „lagern“, ggf. an einer Konstantspannung angeschlossen lassen, die auf der Nennspannung (mittlere Betriebsspannung) des Akkus liegt. Zwei nachvollziehbare Möglichkeiten seien genannt, um den halbvollen Lade-Zustand zu erreichen: Voll aufladen und halb entladen, oder aus leerem Zustand halb aufladen.
- J So ein Akku ist auch nur ein Mensch: Am wohlsten in Hinsicht auf die Lebensdauer fühlt er sich bei Temperaturen um 15-20 Grad Celsius.
- J Einschub, Sicherungen:
 - o Nicht vergessen: Direkt an jeden Akku-Block bzw. dessen Plus-Polklemme gehört zwingend eine Überstrom-Sicherung!
 - o Wenn eine Sicherung ausgelöst hat, dann wird das einen Grund haben, der Erfahrung nach hat das angeschlossene Gerät einen Defekt bekommen. Schraub- bzw. Einweg-Sicherungen für die Avionik gehören nicht ins Sichtfeld eines Instrumenten-Brettes, nur Automaten. Das sieht scheußlich aus und ist unnützlich, habt Ihr Ersatz in der Seitentasche und wechselt im Flug?
 - o Also: Eine Sicherung dient nicht zum Schutz von Geräten, sondern soll im Überstrom-Fall einem möglichen Kabel-Brand vorbeugen. Wichtig in diesem Zusammenhang: Stromquelle und Leitungen im abzusicherndem Kreis müssen den Auslösestrom auch erbringen bzw. tragen können!
 - o Einweg-Sicherungen unterliegen einer gewissen Alterung. Nach vielen(!) Jahren kann ein vorbeugender Austausch sinnvoll sein.

Daraus ergibt sich also im Idealfall, den Akku halb aufzuladen, mit sich einstellenden (Nenn-)Spannung bei 17,5°C zu puffern ... und nie zu benutzen :-)))

Ladegeräte mit modernen, stromsparenden (getakteten Netzteilen) erzeugen einen mehr oder weniger hochfrequenten Spannungs/Strom-Rippel (Restwelligkeit auf der Gleichspannung) auf der Ladespannung, dieser stellt eine permanente Wechselstrom-Belastung für den angeschlossenen Akku dar. Hier sind konventionelle Trafos (diese schweren Dinger) mit konventioneller Siebung und (manchmal heißem) Linearregler eindeutig sauberer am Ladeausgang und sehr wahrscheinlich schonender für die angeschlossenen Geräteakkus.

Im Zuge der modernen, energie-effizienteren getakteten Stromversorgungen verschiebt sich die 50Hz-Restwelligkeit also in Richtung vieler kHz.

Ob das Auswirkungen auf die Akku-Lebensdauer hat? Das kann zumindest angenommen werden: Dieser Wechselstromanteil könnte schon eine Alterung des Akkus bedeuten, wobei im Mittel gar kein Ausgleichs-(Gleich)Strom mehr fließt.

Ein einfaches Festspannungsnetzteil, welches umgebungs-temperaturstabil auf 13,8 Volt justiert ist und mit einer Strombegrenzung von ca. 1A, ausgestattet ist, wird für manchen eine gute Lösung sein. Die Krönung ist ein "Labornetzteil", bei dem kann man die Spannung (z.B. für eine halbvoll-Ladung), sowie den Strom (Ladezeit) ggf. individuell einstellen.

Die Netzgeräte sollten auf jeden Fall kurzschlußfest sein, damit ist man im Betriebspunkt der Strombegrenzung immer auf der sicheren Seite.

Wer einen versierten Elektroniker kennt, der lässt sich sein momentan verwendeten Bleilader auf die notwendige Li-Ladespannung umbauen: Dazu reicht es meistens schon, einen einzigen Widerstand zu ändern ;-))).

Wer ganz großes Glück hat, findet selber schon ein ausreichend weit einstellbares Potentiometer (zur Fein-Justage gedacht) vor!

Achtung: Temperatur-kompensierte Bleilader dürfen NICHT für Li-Akkus umgestellt werden.

Anmerkung dazu. Bei Bleiakkus müsste die Ladespannung eigentlich noch der Umgebungstemperatur des Akkus angepasst werden: Bei geringen Temperaturen soll die Nennspannung etwas erhöht, bei hohen Temperaturen etwas verringert werden. Darauf wird bei vielen Blei-Ladern oft genug verzichtet, bei 13,8 Volt passt es im Bereich von 0-30 Grad einigermaßen.

Wie bisher, ab und zu einen neuen Li-Akku kaufen, nur jetzt in viel größerem Zeitabstand als bisher bei den Blei-Akkus, kann auch eine Lösung sein, wenn einem die Ausnutzung der maximalen Gebrauchsdauer egal ist.

Auf Erfahrung bauen

Gute 30 Jahre beschäftige ich mich nun intensiv mit allen gebräuchlichen Akkutechnologien, welche in diversen Anwendungen mehrfach langjährig in eigenem Feldeinsatz sind.

Trotz nahezu unendlichen Erfahrungen und geballtem angesammelten Hintergrundwissen muß ich immer wieder Kompromisse bei der Auswahl von Akkusystemen treffen. Es ist bei Akku-Auswahlen von großem Vorteil, wenn man schon seit Jahrzehnten erfolgreich selbst entwickelte Ladesysteme mit verschiedenen, auch konventionellen Akkusystemen im unvorhersehbarem Zyklen- Langzeit- oder Tagesbetrieb betreibt.

Jede gute Empfehlung hat gleich wieder mindestens zwei Einschränkungen, eine ist dabei vornehmlich der Kostenpunkt.

In den meisten Fällen soll ein Akku jederzeit voll einsatzbereit = vollständig geladen verfügbar sein. Ob dieser nun über Wochen unbenutzt oder am Tag zuvor vollständig entladen wurde.

Um dieses Ziel optimal zu erreichen, muß man sich auch mit Freude und echtem Interesse diesem Thema widmen. Das wollen sicher nur die wenigsten. So manch allgemeine Empfehlung aus dem Internet ist mit großer Vorsicht zu genießen und ist meist nur für einen Einzelfall sinnvoll.

Was tun???

Wer einen langjährigen Modellflieger kennt, der die Li-Technik schon seit Einführung praktisch nutzt, hat sicherlich schon einen guten Akku-Berater gefunden. Wenn dieser sich dann auch noch, gerade als Segel-Flieger, selber mit ewig unverhofft ablebenden Akkus experimentell lange beschäftigt hat, umso besser. Wenn das auch noch wer ist, der sich fundiert und leidenschaftlich mit Elektrotechnik auseinander setzt: Dreimal in die Hände klatschen :-)) so jemanden lohnt es bestimmt zu fragen.

Der Vergleich zu einem Steuerberater oder Rechtsanwalt paßt an dieser Stelle gut:

Eigentlich braucht man diese Kostenstellen nicht ... wenn man sich tief genug mit dem entsprechenden Thema beschäftigt. Aber genau das kann (oder will) der einzelne eben nicht, und auf die Schnelle, einher gehend mit großer Erfahrung (Theorie und Praxis können weit auseinander liegen) und in der Qualität, wie es die obig genannten Spezialisten jeden Tag tun, ist das auch bei größter Anstrengung unmöglich. Geschrieben stehen tun einzelne Fakten alle irgendwo, nur manchmal wird man erst aus Schaden klug, da manches geschriebene für den Laien zu unverständlich ist.

Genau das gleiche gilt, im übertragenen Sinne, für eine individuelle praxisgerechte Akku-Beratung. Es ist niemandem zuzumuten sich für einen "einfachen Akku-Kauf" so tief wie es nötig wäre, in die Akku-Materie einzuarbeiten.

Kost-nix-taugt-auch-nix ... da kann etwas Wahres dran sein. An „kaufste billig – kaufste zweimal“ auch.

Manch einer hört einen Moment geduldig beim Akku-Plausch zu, sobald es aber notwendiger Weise komplizierter wird, geht er wortlos weg (oder ist schon gelangweilt?). Wer noch weiter zuhört macht dann meist doch alles weiter so wie bisher.

Wie in vielen andern „blei“-haltigen Lebensbereichen auch: Mancher hört aufmerksam zu, nickt immerzu und tankt dann seiner 2-Takter aus Gewohnheit und Gruppenzwang doch wie schon immer, weiter mit bleihaltigem Spirit.

Alles Akku-technisch beim alten zu lassen ... kann eine gar nicht so schlechte Empfehlung für einen Verein sein.

Bisher hat es ja auch ... irgendwie... ganz gut ... funktioniert. Und gerade im Verein, ein billiger, angeditschter oder verschollener Bleiakku fällt da finanziell nicht so sehr ins Gewicht, bzw. dem einzelnen gar nicht auf.

Die Spannungslage beachten

Der wesentliche Vorteil der Li-Technik ist der erheblich geringere und im Verlauf konstantere Innenwiderstand im gesamten Lade- und Entlade-Spannungsbereich gegenüber Bleiakkus.

Daraus ergibt sich ein sehr spannungshartes Verhalten, welches in der Praxis eine merklich höhere Polspannung bei stärkerer Strombelastung bedeutet, zum Beispiel: Der Anlasser zieht den Motor mit deutlich hörbar größerer Drehzahl durch, weshalb dieser naturgemäß viel material-schonender anspringt, gerade der Rotax mit seinem Getriebe sei in diesem Zusammenhang genannt.

Der geringere Innenwiderstand kann (muß nicht) für den auf Bleiakkus vorgesehene Generator- oder Laderegler, sowie dem altbewährten Sicherungswert und die verbauten Kabelquerschnitte problematisch sein: Der Ladestrom ist auch bei fast "vollem" Li-Akku noch vergleichsweise hoch, so erklären sich auch dessen kurze Ladezeiten. Spannungs-Schwankungen durch das Regler-Akku-System („Feder-Masse-System“) können sich durch den vergleichsweise geringen Akku-Innenwiderstand gefährlich aufschaukeln. Genau darauf könnte auch das eingangs erwähnte Rotax-Bulletin abzielen.

Die Li-Technik verspricht 1000-2000 vollständige Entlade Zyklen bei kompletter Kapazitätsentnahme! Dann sollen dem Akku noch mindestens 80% seiner Nominalkapazität entnommen werden können. Also perfekt für Anwendungen, bei denen von tiefer Entladung auszugehen ist (Elektrofahrzeuge, Rasenmäher oder Weidezaungerät).

Da kann kein Bleiakku (nicht mal ansatzweise) mithalten, bei vielleicht 100 derartigen Entladungen ist der schon längst Verlierer. Bei hochstromfesten Bleiakkus (typische KFZ-Akkus aus dem Baumarkt) ist schon nach fünf derartigen Entladungen die 80%-Schwelle erreicht.

Natürlich muß jede einzelne Li-Zelle wie alle anderen im Verbund durchhalten, ansonsten ist ein neuer und teurer Li-Akkublock genauso schnell abgeschlagen. Qualität könnte sich also auszahlen.

Für einen Li-Akku bekommt man schon einige Bleiakkus, daher die allgemeine Zurückhaltung bei der Umstellung auf Lithium.

Wer allerdings weiß, was ein durch mehrfach schleichend schwach gewordene Bleiakkus zerhakter Rotax-Freilauf mit allen zugehörigen Umständen (incl. Unzuverlässigkeit) kostet, der braucht nicht lange überlegen.

Ein Volt mehr Anlasser-Spannung kann schon das zuverlässige und material-schonende Anspringen bei widrigen Umgebungs-Bedingungen entscheiden.

Langfristiges oder eben eher nicht so lang vorausschauendes Denken spielt bei der möglichen Umstellung von Blei auf Lithium eine sehr individuelle Rolle. Die persönlichen Vorstellungen haben weiterhin einen erheblichen Einfluß auf die individuelle Akkuauswahl: Preis, Strombelastbarkeit, Verlässlichkeit, Betriebssicherheit, Lebensdauer, Wartung, Wirkungsgrad, Gewicht/Kapazität, oder auch die langjährig guten Erfahrungen mit altbewährter Akkutechnik. Nicht zu vergessener Punkt: Überhaupt zulässig?

Manch einer braucht vielleicht das Gewicht des Bleiakkus oder will den Lithium-Akku nicht erst durch kleine Verbraucherströme "bei sehr geringen Umgebungstemperaturen" vorwärmen. Denn, bei geringen Temperaturen können sich einige Lithium-Typen ohne entsprechende Beachtung genau so "ungünstig" wie abgeschlagene Bleiakkus im Sommer verhalten. Bleiakkus funktionieren erwiesener Maßen zufriedenstellend, vorhersehbar und sicher, solange man zurück denken kann. Das muß Lithium erst noch beweisen - und diese Erfahrung muß sich auch noch rumsprechen.

Die erheblichen Vorteile der (schon lange nicht mehr neuen) Lithium-Technologien sind bei einem gewissenhaften Umgang mit den neuen Zellen sicher zu nutzen. Ob eine Umstellung letzt endlich preislich lohnt hängt vom Einzelfall ab. Wer das Gewicht des altbewährten Akkus braucht, legt eine passende Bleiplatte unter den neuen Li-Akku, der bei gleicher Kapazität zum Glück ausreichend kleiner ist :-)

Eine tatsächliche Charakterisierung eines Akkus oder die Überprüfung der Herstellerangaben ist nur mit recht aufwändigem Equipment und ungeheurem Zeitaufwand möglich. Eine exemplarische Kurvenschar, wie im Anhang gezeigt, gibt ein paar Stichproben wieder.

Einen einzelnen Akkumulator zu vermessen stellt allenfalls eine Stichprobe dar, dass muss jedem klar sein. Wenn man es repräsentativer machen wollte, müßte man immer mehrer identische Systeme gleichzeitig betrachten, wiederum aufgeteilt in verschiedene Vorgeschichten, Ladebetriebe, Entlade-Szenarien usw. und das auch noch über einen längeren Zeitraum. Die Industrie und der Handel wird froh sein, daß das keiner macht ;-)

Werden die in den jeweiligen Akku-Betriebs-Anleitungen angegebenen entscheidenden Grenzwerte wie Maximal- und Minimal-Spannung, Maximalstrom und der Umgebungs-Temperaturbereich (wie warm wird denn tatsächlich unter der Cowling?) strikt eingehalten, so ist ein zuverlässiger und sichere Betrieb gewährleistet. Wenn :-)

Wie der typische Endbenutzer das "Wenn" sicherstellen soll ... bleibt offen. Der Hochstrom-Modellbau zeigt einen sicheren Betrieb mit den eindeutig „etwas heikleren“ LiPo´s seit vielen Jahren.

Noch einmal: Die Spannungslage beachten

Bei jeder Art von Betriebsakku sollte immer die Spannungslage nicht nur bei Betriebsbeginn, sondern auch nach einem Einsatz betrachtet werden. Ein drohender Ausfall eines Akku-Block´s kann so schon im Ansatz erkannt werden. Denn auch ein moderner Li-Akku kann schneller als erwartet (in den Kennfeldern angegeben) ausfallen.

Ein sich seit 2010 sehr bewährter Lösungsvorschlag zum Thema, wie man die Leistungsfähigkeit seiner Akkus über einen zeitlichen Verlauf durch reines „Hinsehen“ kontrollieren kann, ist der LBM (Low-Battery-Memory) per farblich codierter LBM-LED-Signalisierung mittels ...

http://www.schrandt-electronic.de/Dokumente/LBM-Dokumentation_XLR_05-2.pdf

... oder automatisch, per alternierender digitaler LBM-Digital-Spannungsanzeige per XCSensorbox in XCSoar:

<http://www.schrandt-electronic.de/Dokumente/IPX-Manual.pdf>

) Punkt 4.4 -XCSensorbox-Datenblatt, Funktionen und technische Daten

In der ober-genialen Batterie-Infobox von XCSoar kann man die neue oder herkömmliche Akkutechnik hervorragend im Auge behalten. Die LBM-Funktion ist auch beim Einsatz mit modernen Li-Akkus sehr nützlich, da der Verfall unterhalb der 80%-Kapazitätsgrenze deutlich voran schreitet.

Da die Spannung eines Li-Akkus gegenüber der Bleiversion bei gleicher Belastung weniger einbricht, wird der durch den LBM signalisierte Spannungsunterschied zwar kleiner ausfallen, das entscheidende Feature bleibt weiterhin voll nutzbar.

Sieh an, die sehr bekannte Modellbau-Firma (Gra*****) als Anbieter von hochwertigsten RC-Fernsteuerungen, speichert in seinen neueren Geräten auf der SD-Karte als einen Parameter AUCH die geringste im Betrieb gemessene Betriebsspannung des Empfängers ab :-)

Sollte da jemand von mir abgesehen haben ... das wäre eine tolle Würdigung meiner LBM-Idee! Und wenn nicht, dann sind wohl zwei unabhängig voneinander auf die gleiche tolle Idee gekommen ;-)))

Auch bei Li-Akkus ist eine Spannungsanzeige nicht überflüssig geworden, eine Spannung, nahe der Voll-Lade-Spannung (Ladeschluß-Spannung) nach dem Einsteigen ablesen zu können, ist immer sehr beruhigend! Genauso dann eine als tiefste z.B. automatisch per LBM ermittelte Spannung von noch über 12 Volt, nach einem 8-Stunden Flug!

Betriebsanleitungen

Wozu gibt es Betriebsanweisungen, das Internet und seine Suchmaschinen zur Akku-Information??? Widersprüchliche, aus dem Zusammenhang gerissene oder schwammige Aussagen in den Betriebsanweisungen der jeweiligen Akkus können nur von denen gedeutet werden, die sich eben schon mit der elementaren Akkuzelle ausgiebig beschäftigt haben. Steckt nun auch noch Elektronik verborgen im Akkublock mit weitgehend unbekannter Funktionsweise und Software, kann auch der Experte nur noch raten, wobei dieser zumindest weiß, daß immer chemisch-physikalische Grundsätze gelten und jeder Entwickler auch nur mit Wasser kocht. Was für ein Satz.

Schon als die ersten Lithium-Zellen verfügbar waren, wurden entsprechen deren Herstellerangaben Lade-Schaltungen zum vorgeschriebenen Betrieb dieser Zellen (israelische „Tadrian-Zellen“ für den Ikarus-Piccolo, die drei ersten Begriffe bei Google eingeben und sie haben Euch) entwickelt. Für den Modellbaubereich nutze ich heute noch diese Prototypen, da die Grundsätzlichkeiten, jede Zelle für sich getrennt zu betrachten (zu laden) immer noch gelten. Das hat mancher anfangs als unnötiger Aufwand abgetan. So wurden lange Zeit etwas bessere Steckernetzteile als spezielle LiPo-Lader angeboten ... bis der Verkauf wegen möglicher Regressforderungen wohl zu heikel wurde und endlich wirklich geeignete Lader, später dann auch mit Balancierung angeboten wurden. Das hat aber Jahre gedauert.

Es wird in mancher Betriebsanweisung gleich in der Einleitung darauf hingewiesen, daß man den neuen Lithium-Akku einfach so, ohne weitere Maßnahmen, gegen den alten Bleiakku tauschen darf.

Mit dem "Es darf nur unser Zubehör verwendet werden" ist in der Praxis dem zu Recht verzweifelndem Endbenutzer nicht geholfen und steht zu obiger Aussage im Widerspruch.

Weiter geht es dann in der Anleitung für den interessierten und vorbelasteten Leser mit einer Nominalspannung von 13,2 Volt. Macht unsere Lichtmaschine nicht 14 Volt? Und der Standardlader hat 13,8 Volt? Was den nu!?

Wenn alles austauschbar ist, warum dürfen dann bestehende Akku-Zubehörteile nicht mit der neuen Technik kombiniert werden? Warum neue Ladegeräte???

Vom Laien, der doch einfach nur in einen idealen Akku investieren will, Fragen, die er nicht zu beantworten kann. Manch gut gemeinter Hinweis verwirrt den gebeutelten Anwender mehr als dieser hilft.

Im kleingedruckten kann man noch weitere Einschränkungen lesen. Hochbrisante Eigenschaften, wie eine unterhalb mancher Bleilader liegende, dringend einzuhaltende! Lithium-Maximalspannung von 14,4 Volt wird in gleichem Zuge genannt wie "Ein Akku ist kein Spielzeug", kein Wunder wenn dann das wesentliche gleich mit überlesen wird.

Internet-Foren

Es könnte sich dort nicht immer um echtes Fachwissen handeln, was dort so geschrieben steht. In ein paar Sätzen kann man gar nicht gezielt Sachverhalte vollständig anfragen oder zweifelsfrei beschreiben. Einer antwortet, der nächste baut darauf auf, wobei das grundlegende woanders schon falsch abgeschrieben worden sein könnte.

Der kritische und elektrisch vorbelastete Leser sollte, nein, muß nun genau filtern und selber entscheiden, was nun Vermutung oder Fakt ist und was nicht. Wenn er das denn kann.

Es geistert viel Halbwissen und zufälliges, nicht repräsentatives geschriebenes durch das Internet, dass man selber manchmal genau überlegen muß ob z.B. ein Erfahrungsbericht nun Nonsense, Zufall oder doch eine echte Wissensbereicherung ist. In Foren steht oft genug ein sich schon lange sachlich falsch aufgeschaukelte Diskussion, da schon zu Beginn unwissentlich oder versehentlich ein Apfel mit einer Gurke verglichen wurde. Das ist in der regen, oft genug unsachlichen Auseinandersetzung aber längst unter gegangen.

Wer mit diskutieren möchte, sollte auf jeden Fall den Unterschied zwischen Ah und Wh genau kennen. Des Weiteren sollte der Unterschied zwischen Balancer-Einrichtungen und einer Schutzschaltung mehr als bekannt sein und bei Begriffen wie "Urspannungsquelle" und "Innenwiderstand" muss sofort das dazugehörige Ersatzschaltbild im Praxiseinsatz gedanklich da sein.

Wer gleich auf verlässliche Quellen der Hersteller (Datenblätter usw.) zurückgreift, steht meist vor dem Dilemma, zu erkennen, dass selbst dort nicht gänzlich zweifelsfreie Angaben erhalten sind.

Fazit

Es könnte nun manch einer enttäuscht sein, nach dem mühseligen Lesen dieses Textes kein bisschen schlauer zu sein als vorher.

Viele Einzelpunkte wurden bewußt nur angeschnitten, jeden Punkt ausreichend genau zu beschreiben würde diesen Text in einen Wälzer verwandeln und dann immer noch nicht vollständig oder gar mittelfristig auf aktuellem Stand sein.

Selbst diese oberflächliche Abhandlung wird nur von denen tiefer gehend nachvollzogen werden können, die z.B. mit dem Begriff "Innenwiderstand" wirklich etwas anfangen können.

Und wer den Text wissenschaftlich genauer betrachtet, wird an bewußt umgangssprachlich wiedergegebenen Sachverhalten den Finger heben dürfen. Ohne ein paar unverhoffte Auflockerungen würden noch weniger Elektro-Laien den Text bis zu Ende lesen.

Es sollte in diesem Text auch versucht werden, wann man Blei und Lithium-Akkutechnik einfach so in einen Topf werfen kann. Auf gar keinen Fall mit un-isolierten Polen!

Wem der Preis egal ist, sollte bei nächstem anstehenden Akkuwechsel auf die neue Technik umsteigen, auch wenn der Akkublock doch keine 1000 Zyklen und 10 Jahre durchhält.

Sofort nach Umstellung hat man eine höhere Spannungslage, geringeres Gewicht bei mindestens gleicher Strombelastbarkeit und bei Bedarf die Option der Schnellladung, sowie noch ein paar kleine Vorteile.

Ob die Umweltverträglichkeit der beiden Akkutechnologien unter einem (ehrlichen!) Strich unterschiedlich ist, wird man nicht so einfach herausfinden können.

In Anbetracht immer weiter fallender Preise und weiter wachsender Unempfindlichkeit der Zellen, zukünftig sind das weitere gute Argumente für den Umstieg auf die Lithium-Technologie.

Als Anregung zur weiteren Diskussion und fachlichem Austausch kann dieser Text ebenfalls dienen. Sollte der Autor mit ausreichend konstruktiver und berechtigter Kritik aufgemuntert werden, das Thema weiter zu beleuchten, wird das passieren.

Eine Bitte an alle aufmerksamen Leser:

Nicht bei jeder kleinen Änderung kann der gesamte Text erneut auf vollständigen Abgleich mit allen ggf. verlinkten Dokumenten überprüft werden. Eine gewisse Betriebsblindheit stellt sich ebenfalls bei vielfachem Durchlesen ein. Daher ist bitte jede Unstimmigkeit mitzuteilen, Danke!

Konstruktive Kritik, Anmerkungen, nicht erwähntes oder vergessenes bitte mitteilen an:

IPX@schrandt.de

Anhang, Nachträge:

Smartfon richtig laden

Eine öfter gestellte Frage: Sollte ich mein Smartfon zur Schonung des Akkus möglichst immer am Ladegerät angeschlossen lassen, oder besser nicht?

Wenn das Ladegerät permanent am Smartfon (oder vergleichbares Gerät) angeschlossen bleibt, dann wird bei voll geladenem Akku der vom Gerät aufgenommene Gerätestrom direkt aus dem "Lade"-Gerät entnommen, er fließt also nicht durch den Akku sondern daran vorbei. Der Akku dient nur als Puffer für den Fall eines Wegfalls der externen Stromversorgung, ihm wird keine Ladung mehr hinzugefügt oder entnommen.

Dann wäre der Akku doch praktisch unbelastet? Nur auf den ersten Blick:

1.) Der Akku wird immer mit einer gewissen Wechselspannung (durch Lader und Gerät hervorgerufen, siehe Punkt "Wechselstrom-Belastung") beaufschlagt.

2.) Der Akku wird permanent an seiner obersten Ladespannung gehalten, siehe inhaltlich "maximale Ladespannung".

Die exemplarische Messung an einem modernen Smartfon hat eine Dauer-Akkuspannung von 4,45Volt am verbauten LiPo-Akku ergeben. Das sind 0,25Volt mehr als üblicher Weise für diesen Akkutyp als aller-oberster Grenzwert angegeben wird.

Warum eine so hohe Spannung?

Nur ein einziges Argument: Ein paar wenige Male ist dem Akku tatsächlich eine höhere Energiemenge zu entnehmen - das Gerät läuft also länger. Und das zählt wesentlich, da sicherlich genau diese geschönte Angabe im Prospekt steht! Wie lange man etwas von der unwesentlichen Mehrlaufzeit hat, das steht da nicht.

Zurück zur Frage, somit ist das Dauerladen also nicht völlig unbelastend für den Akku und wird mit einem schleichenden Kapazitätsverlust behaftet sein.

Die Alternative ist der typische Betrieb des mobilen Einsatzes: Der Akku wird mal geladen, günstiger Weise nicht ganz voll, dann unterwegs wieder nur etwas entladen, bis zur nächsten Ladung.

Der Akku wird also zyklisch ge- und entladen, jeder (auch Teil-) Zyklus läßt den Akku altern (Kapazitätsverlust).

Die Frage kann also leider nicht eindeutig beantwortet werden, denn die Software ist wesentlich mit-entscheidend ... was der Hersteller will. Und daß der Akku jahrelang hält, will er vielleicht auch nicht.

Manche Geräte lassen sogar keine unendliche Dauerladung zu, und unbemerkt wird zwischendurch nur aus dem Akku versorgt, und dann wieder nach/vollgeladen. Es ist anzunehmen, dass der Hersteller so etwas nicht grundlos in die Gerätesoftware programmiert hat. Ob im Sinne des Nutzers hängt vom Betrachter ab.

Eine einfach umzusetzende Schonung des Smartfon- oder Tablet-Akkus beim Aufladen ist, das meist stromstarke USB-Original-Ladegerät durch eines mit nur 500 mA Maximalstrom ersetzt wird. Der Ladevorgang dauert entsprechend länger, genau was auch beabsichtigt ist. Es gibt allerdings Geräte, die die Aufladung mit einem geringeren Ladestrom gänzlich verweigern oder nach einer maximal errechneten Ladezeit (mit Nennstrom) die Ladung abbrechen.

6 Volt Blei-Akkublocks in Reihenschaltung

Die Reihenschaltung von zwei separaten 6V-Bleiakkus zu einem 12 Volt-Akku ist auf lange Sicht immer sehr ungünstig. In einem Block kann man noch einigermaßen von "identischen" Zellen ausgehen. Bei zwei Blöcken, wohlmöglich noch aus unterschiedlichen Chargen ... eher gar nicht.

Sind zwei 6-Volt Blöcke in Reihe geschaltet, sollte beim nächsten Tausch ein 12 Volt-Block vorgezogen werden, wenn der 6 Volt-Mittelabgriff nicht benötigt wird und der alternative Block auch in die vorherige Akkuhalterung passt.

Letzteres ist leider nicht selbstverständlich möglich, da die Aufspaltung in einzelne 6 Volt-Blöcke aus Platzgründen vom Konstrukteur vorgenommen worden sein könnte. Bei manchen Segelflugzeugen ist genau obige Kombination verbaut, in mindestens einem Fall sind sogar zwei 6 Volt-Reihenschaltungen wieder parallel geschaltet (DG).

Es gibt es noch weitere Anwendungen, bei denen konventionelle 6 oder 12 Volt Bleiakkus in Reihe geschaltet werden (z.B. Rollstühle, Spielzeugfahrzeuge, oder LKWs mit 2x12V). Da man die einzelnen Zellen in den geschlossenen Blöcken nicht erreichen kann, ist ein Balancieren der Einzelzellen unmöglich.

Was aber geht und sehr sinnvoll ist: Zumindest die einzelnen 6V- oder 12V-Blöcke (also die erreichbaren Zwischen-Potentiale) mit einer Ausgleichsleitung verbinden und einen Begrenzer über jeden Block setzen. Die Zellen in einem Block sind zumindest aus einem Guss und sollten fertigungstechnisch recht identisch sein.

Da es bis jetzt keine fertigen einstellbaren "Begrenzer" um 6 oder 12 Volt fertig zu kaufen gibt ... muß man sich so etwas eben selber bauen: Der kleine Aufwand hat bereits große Wirkung gebracht: In der betreffenden 6 Volt-Reihenschaltung sind jetzt zumindest die einzelnen Blöcke bei Voll-Ladung immer ausbalanciert. Da es sich bei derartigen Konstellationen meist um recht teure Blei-Akkublocke handelt, lohnt sich der Aufwand umso mehr.

Die dazu eingesetzte Schaltung zur 6 Volt-Überspannungsbegrenzung (von 5-8 Volt nominal einstellbar, Strom konfigurierbar, zwei Indikator-LEDs) kann als Schaltplanskizze per Email kostenlos angefordert werden. Der Nachbau dieser „Leistungs-Zenerdiode“ ist mit Standardbauteilen für wenige Euros auf einer Lochrasterplatine für versierte Elektroniker gut möglich.

Die Alternative zur Balancierung mit zwei Begrenzern und EINEM Ladegerät ist, jeden Akkublock mit einem separaten, sekundär-seitig potential-getrennten Lader aufzuladen. Bei einem 24V-LKW-Betrieb mit 2 12V-Akkus ist das sehr (sehr) zu empfehlen!

Wer wirklich nur 6 Volt benötigt: Mit zwei LiFePo's ist man dem erstrebenswerten "Ein"-Zeller schon ganz nahe, und je weniger Zellen in Reihe umso besser für das Akkukonzept.

Ulrig

Zur Lebensdauer-Maximierung sollte man möglichst nur mit maximal 1/10C laden, da sind sich fast alle Experten einig.

Das steht im Widerspruch zu "nie unbeaufsichtigt" laden. Wie weltfremd (praxisfern) ist das denn?? Fehlt noch der Zusatz "mit Feuerlöscher in Griffweite". Nun denn, dafür gibt es sogar brandfeste Lipo-Ladebeutel oder Lade-Kisten!

Daher läßt manches Ladegerät auch gar keinen kleineren Ladestrom als 1C zu. Wer auf die Idee kommt, dem Lader einfach eine nur 1/10 große angeschlossene Zellkapazität vorzugaukeln ... bekommt seinen Akku nicht mal ansatzweise voll, da (sinnvoller Weise, jetzt ernst gemeint!) nach spätestens der theoretisch maximalen Ladezeit (eingeladene Kapazität erreicht die Nennkapazität) von einer Stunde (+ kleinen Zuschlag, meist 10%) die Ladung sicherheitshalber abgebrochen wird. Eben damit sich das "unbeaufsichtigte" Laden nicht ins lächerliche zieht.

Somit hat der typische Akku-Nutzer keine Möglichkeit den Ladestrom zu reduzieren. Oder er muss die Auf-Ladung weitere 8-9 Male neu starten!

Immer aufpassen was einem da als passendes Zubehör verkauft wird

Manch ein Lieferant bietet zu seinen 12 Volt LiFePo4-Akku-Blöcken auch spezielle 12 Volt LiFePo4-Lader mit einer Ladeschlußspannung von 14,7 Volt an (diese Spannung steht tatsächlich genau so in dem Lader-Datenblatt!). Und mehr als 14,4 Volt Ladeschlußspannung sind für einen 4-zelligen LiFePo4-Akku ZU VIEL! Oh weiah....

Genau weil gängige Bleilader die typische 14,7V-Ladeschlußspannung besitzen (können), werden Bleilader allgemein für Li-Akkus als "ungeeignet" angegeben. Vielleicht ist es auch ein Druckfehler im Datenblatt, oder ein ehemaliger Bleilader wurde auf die LiFePo-Spannung um-justiert, siehe den Tipp zum „Umbau“ seines Bleiladers auf Lithium, irgendwo hier im Text .

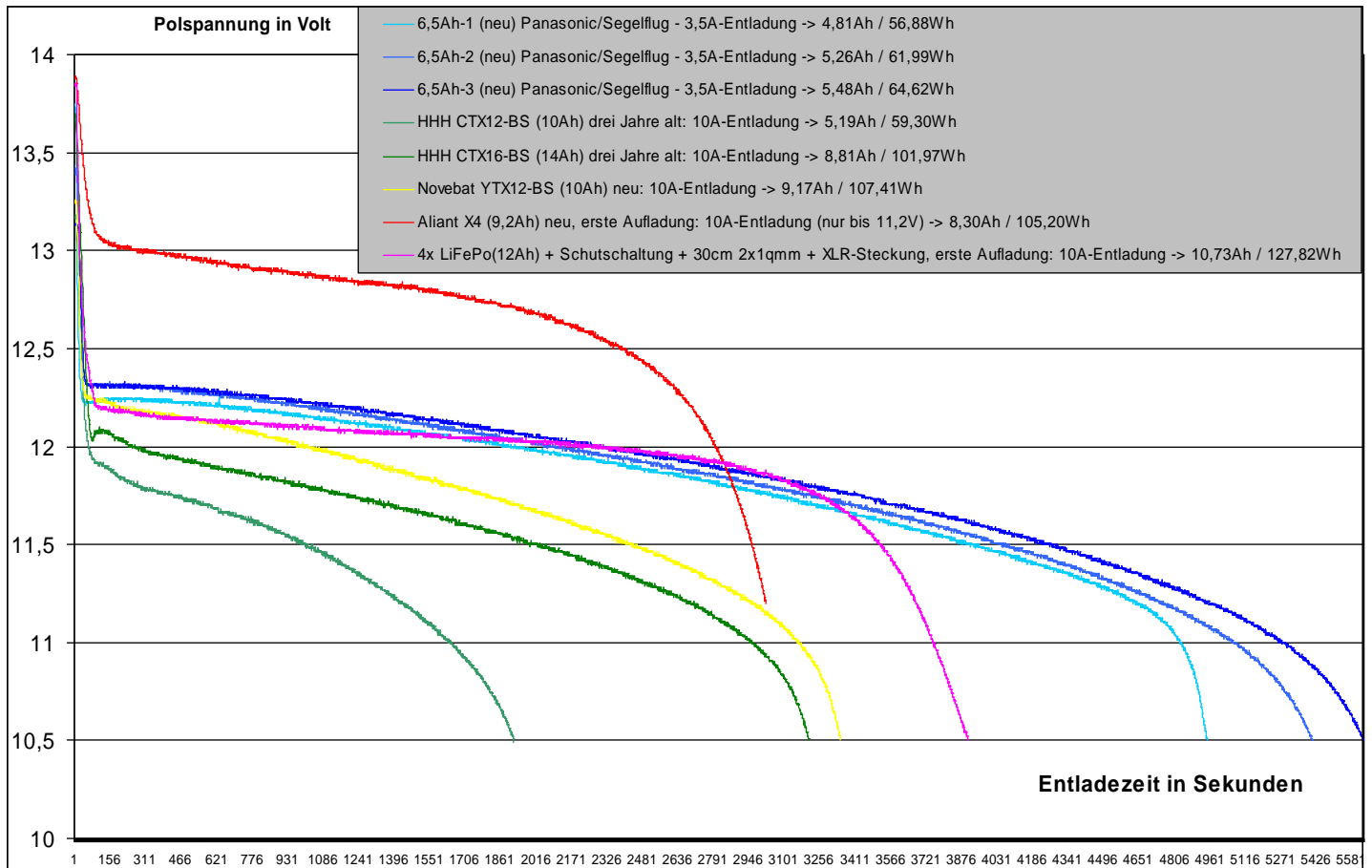
Wer ganz sicher gehen will, misst die Ladeschluß-Spannung nach!

Und wer sich richtig auskennt, kann den bestehenden Bleilader in seiner Spannung verändern, in manchen Geräten befindet sich dazu wie schon erwähnt ein Einstell-Poti.

Es folgen auf den nächsten Seiten noch ein paar Kurven!

Eine Reihe von exemplarischen Entladekurven

Wird von Zeit zu Zeit aktualisiert!



Anmerkungen:

Akku-1:
 Marke: HHH Power Batterie,
 Typ: CTX 16-BS,
 Kapazitätsangabe: 14 Ah
 Ca. 5,2 kg
 Einsatzdauer: 3 Jahre alt
 Meßergebnis: Siehe dunkelgrüne Kurve + Ah/Wh-Angaben

Akku-2:
 Marke: HHH Power Batterie,
 Typ: SLA 12-10 (= CTX12-BS),
 Kapazitätsangabe: 10 Ah
 Ca. 4 kg
 Einsatzdauer: 3 Jahre alt
 Meßergebnis: Siehe hellgrüne Kurve + Ah/Wh-Angaben

Akku-3:
 Marke: Novebat,
 Typ BS..12,
 Kapazitätsangabe: 10 Ah
 Ca. 4 kg
 Einsatzdauer: 2 Wochen
 Meßergebnis: Siehe gelbe Kurve + Ah/Wh-Angaben

Akku-4:
 Marke: ALIANT
 Typ: X4
 Kapazitätsangabe: 9,6 Ah
 Ca. 1,6 kg
 Einsatzdauer: Nagelneu aus der Schachtel
 Meßergebnis: Siehe rote Kurve + Ah/Wh-Angaben

Akku 5+6+7 ... außer Konkurrenz ... :
 Panasonic LCR-12V 7,2P (im Segelflug sehr verbreitet)

Schrandt electronic / IBS (IchBinSegelflieger)
 Hermann Löns Weg 3a - D-27412 Tarmstedt
 Copyright (c) 2015 Schrandt electronic. Alle Rechte vorbehalten.



Kapazitätsangabe: 6,5 Ah (1/10C) / 7,2Ah (1/20C)

Ca. 2,5 kg

Einsatzdauer: Nagelneu aus der Schachtel, man erkennt gut die Exemplarstreuung bei nur 3 Stück, siehe blaue Kurven

Akku-8:

Marke: LINANO

Typ: 10C

Kapazitätsangabe: 12 Ah

Ca. 2,2 kg als selbst aufgebautes und in Gehäuse eingebautes System mit Schutzschaltung und Balancer mit XLR-Anschlusskabel

Einsatzdauer: Erste Aufladung

Meßergebnis: Siehe rosa Kurve + Ah/Wh-Angaben

Hinweise:

* Die Konstantstrom-Entnahme von (zurzeit nur) 10A repräsentiert zwar keinen Anlaßvorgang mit einem 912er Rotax, spiegelt den Innenwiderstand, Spannungslage und die effektive Kapazität der vermessenen 12V-Akkublocks schon deutlich wieder.

* Die unterschiedlichen Nominalkapazitäten und das Alter der Blöcke sind in eigene Interpretationen mit einzubeziehen.

* Akku 1-3: AGM-Batterie-Technik (Absorbent Glass Mat) ->Elektrolyt in Glasfaser-Gewebe gebunden

Randbedingungen:

* Alle Akkus wurden für gleiche Mess-Startvoraussetzungen auf eine Ladeschlußspannung von 13,85 Volt gebracht, mit ein paar Tagen Ladezeit (T99) an angegebener

Konstantspannung.

* Umgebungstemperatur: 15,0 Grad Celsius.

* Entladung mit konstantem Strom von 10 Ampere bis auf 10,5 Volt herunter, außer die Segelflugakkus (nur 3,5A).

Es ist richtig, daß 13,85 Volt als Ladeschlußspannung in mehreren Hinsichten nicht optimal ist (nicht voll geladen, ggf. Sulfatierung usw.).

Der Vergleichbarkeit halber wurde auf diese Weise ein vertretbarer Aufwand ermöglicht.

Auf keinen Fall schadet es den Akkus und 13,8 Volt stellen einen recht praxisnahen Worst-Case mit einem typischen Rotax-Laderegler nach.

Kurzfasit:

Der LiFe-Startakku hat nicht wirklich mehr Kapazität pro Volumen, beeindruckt dagegen durch eine wesentlich bessere Spannungslage, was ihn insbesondere für höhere Ströme

(zum Anlassen) prädestiniert. Daher wird bei LiFe`s oft ein viel höherer Bleiäquivalents-Wert in Ah als seine Nominalkapazität angegeben.

Neben einem erheblich kleineren Innenwiderstand beeindruckt der Li-Akku ebenso mit einem erheblich besserem Gewichts/Kapazitätsverhältnis.