



# Sicherheitsrichtlinien für Lithium-Akkus



Stand: 20.02.2014

Bei falscher Verwendung von Lithium-Akkus besteht die Gefahr, dass die Zellen explodieren und Feuer fangen. Es hat in der Vergangenheit bereits einige Unfälle gegeben, bei denen PKW's, Garagen oder auch Häuser ausgebrannt sind. Alle bisher öffentlich bekannt gewordenen Unfälle konnten auf unsachgemäße Handhabung zurückgeführt werden – von allein wird ein Akku nicht zu einer Gefahr.

Ursachen für die Unfälle war meistens starke Überladung durch falsche Ladereinstellungen, Überhitzung im Betrieb oder aber auch Defekte nachdem die Zellen zuvor mechanisch beschädigt wurden, z.B. bei einem Crash. Es kann durchaus 30min dauern, bis eine Reaktion auftritt!

Die Lithium-Akku-Technologie ist aber als sicher zu betrachten, wenn einige Hinweise berücksichtigt werden. Niemand macht sich Gedanken, dass sein Handy-, Notebook- oder Kamera-Akkus auf dieser Technologie basiert. Dies ist möglich, weil die Akkus zum einen mechanisch geschützt sind, zum anderen weil die Hersteller Sicherheitsschaltungen in die Lader eingebaut haben.

Wir haben diese Akkus zugelassen, weil sie zum einen eine höhere Energiedichte aufweisen, zum anderen – und das ist der wichtiger Punkt – bei sachgemäßer Behandlung eine viel höhere Lebensdauer aufweisen. Und das zu Preisen, die inzwischen auf dem Niveau von NiMH-Wettbewerbsakkus liegen.

Technisch wird im Moment grob zwischen 3 Arten von Lithium-Akkus unterscheiden.

- Lilon – Lithium-Ionen: dies sind Akkus, die vornehmlich in Notebooks etc. benutzt werden. Sie sind meistens in zylindrischer Bauform im Metallgehäuse erhältlich und besitzen meistens eine Ladeschlussspannung von 4.1V und eine Nennspannung von 3.6V. Lilon-Zellen sind idR für weniger hohe Ströme ausgelegt. Daher werden sie momentan für Bootsrennen nicht berücksichtigt.
- LiPo – Lithium-Polymer: dies sind Akkus, die im Prinzip eine zu Lilon-Akkus sehr ähnliche Chemie besitzen aber aus beschichteten Folien aus Kupfer und Aluminium, mit einer Polymerfolie dazwischen, aufgebaut sind. Dadurch wird die Bauform relativ beliebig – interessant sind im Moment Zellen in „Tütenform“ – flache, rechteckige Akkus in Kunststoffolie. Eigentlich alle im Moment verfügbare Zellen weisen eine Ladeschlussspannung von 4.2V und Nennspannung von 3.7V auf.
- LiFePO<sub>4</sub> – Lithium-Eisen-Phosphat: diese Akkus haben hauptsächlich Bekanntheit durch den amerikanischen Hersteller A123Systems erlangt, der zum einen die Technik durch Verwendung von Nanotechnologie überhaupt für Hochstromanwendungen verwendbar machte, zum anderen sie durch den Einsatz in Akkuschrauben bekannt werden ließ. Diese Zellen besitzen eine Ladeschlussspannung von 3.6V, die Nennspannung ist mit 3.2-3.3V angegeben (je nach Quelle).

Unter Sicherheitsgesichtspunkten ist noch wichtig zu wissen, dass die Polymerfolie mit einer gewissen Menge Elektrolyt getränkt ist – ein Elektrolyt, welcher organische Lösungsmittel enthält, leicht süßlich riecht und welcher ab ca. 65-90°C zu sieden beginnt.

## **Folgende Hinweise sind von den Teilnehmern an Bootsrennen zu berücksichtigen:**

- LiPo-Akkus sind in geeigneten Behältnissen zu transportieren und zu lagern. Dies kann entweder ein Metallkoffer oder ein sog. LiPo-Bag sein.
- LiPo-Akkus dürfen weder überladen noch tiefentladen werden. Die Zellen müssen in einem Fenster von 3.300V-4.230V Leerlaufspannung betrieben werden.
- Die Lagerung der LiPo-Zellen sollte in 1/10- bis 1/2- vollem Zustand erfolgen, dies entspricht einer Leerlaufspannung von ca. 3.5V - 3.8V. So ergibt sich maximale Lebensdauer.
- Es sind ausschließlich für LiPo-Akkus geeignete Lader zu verwenden (CC/CV-Ladeverfahren mit 4.200-4.230V Ladeschlussspannung). Die max. vom Hersteller spezifizierte Laderrate ist einzuhalten.

- Für Lader, welche die Zellenzahl nicht automatisch erkennen, ist die korrekte Zellenzahl einzustellen und vor **jedem** Ladevorgang zu prüfen! Falsche Ladereinstellungen bergen das größte Gefahrenpotenzial, daher ist hier besondere Vorsicht geboten!!
- Es wird daher dringend empfohlen Lader mit integrierten Balancern oder externe Balancer mit Ladeunterbrechungsfunktion zu verwenden. Im Fall eines Defekts einer Zelle kann nur so sicher der Ladevorgang bei Überschreiten der Ladeschlussspannung unterbrochen werden. Anhand der Balancer-Anschlüsse kann der Balancer oder der Lader die korrekte Anzahl an Zellen erkennen.
- Die Akkuspannung wird stichprobenartig vor dem Start gemessen, sie kann aber auch im Fahrerlager während des Ladevorgangs gemessen werden. 4.23V Ladeschluss- bzw. Leerlaufspannung dürfen nie überschritten werden. Eine Überschreitung führt zur Disqualifikation für den kommenden Lauf. Wiederholte Überschreitung führt zur Disqualifikation für das gesamte Rennen.
- LiPo-Akkus verändern ihren Innenwiderstand recht deutlich mit der Temperatur, da die Ionenleitfähigkeit des Polymers mit der Temperatur ansteigt. Für die in Bootsrennen benutzten Ströme ist eine **Mindesttemperatur** von ca. 25-30°C ratsam. Darunter besteht die Gefahr, dass die Zellen beschädigt werden und aufblähen.
- Wie oben erwähnt besteht der Elektrolyt in LiPo- und LiFePO<sub>4</sub>-Akkus z.T. aus organischen Lösungsmitteln. Wenn die Zellen also zu heiß werden, dann wird der Elektrolyt gasförmig und die Zellen blähen auf. Dieser Prozess ist nicht oder nur sehr bedingt reversibel. Die Zellen müssen daher in dem vom Hersteller angegebenen Temperaturfenster betrieben werden! Üblicherweise ist eine Maximaltemperatur von 60°C angegeben **und bei den aktuellen Zellen (Stand 2013/2014) auch zwingend einzuhalten!**
- Eine Tiefentladung, auch einmalig, schädigt LiPo-Zellen dauerhaft. Es kann in späteren Ladezyklen dazu führen, dass die Zellen aufblähen. Es gibt LiPo-Zellen mit unterschiedlichen Charakteristiken zum Ende der Entladekurve. Der Unterschied beruht auf unterschiedlichen Materialien für die Einlagerung der Li-Ionen an der Anode: Graphit oder Kohle. Zellen mit Graphit-Anode sind bis zum Entladeende relativ spannungsstabil und unterhalb von 3.5V quasi leer; unter 3V werden sie geschädigt. Bei Zellen mit Kohle-Anode bricht die Spannung ab ca. 75% Entladetiefe schon merklich ein, die Spannung sinkt dann relativ konstant auf ca. 3V ab, erst dann kommt nochmals ein Knick, der anzeigt, dass die Zelle quasi leer ist. Diese Zellen könnten ohne Schädigung bis ca. 2.5V entladen werden. Da für den Wettbewerbseinsatz aber fast ausschließlich spannungsstabile Zellen mit Graphit-Anode benutzt werden, haben wir die erste Grenze auf 3.3V gelegt.
- Um auch die einzelnen Zellen vor Tiefentladung zu schützen, empfiehlt sich dringend ein Regler mit eingebautem Tiefenladeschutz für Einzelzellen (z.B.: Schulze Value-Reihe) oder die Verwendung von Einzelzellenüberwachungen (z.B. Cellshield oder Schulze LiPoDimatic).
- **Lipos dürfen nach einem Lauf nicht aufgebläht sein. Dies passiert sobald die Temperatur des Lipos über 60° steigt. Ein sichtbar aufgeblähter Lipos führt zur Disqualifikation des gefahrenen Laufs, ebenso darf dieser Lipo für weitere Läufe nicht mehr eingesetzt werden. Es dürfen KEINE mechanischen Vorrichtungen im Boot verbaut sein, die den Akku zusammenpressen und somit das Aufblähen verhindern. Einmal aufgeblähte Akkus sind defekt und könnten, falls sie weiter benutzt würden, zu Verpuffungen führen. Sie würden mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit im Rennen aufplatzen und können ggf. zu brennen beginnen.**
- Aufgeblähte oder beschädigte Zellen sind fachgerecht zu entsorgen. Dazu **müssen** die Zellen vorher mit einem geringen Strom (max. 1A) über mehrere Stunden völlig tiefentladen werden. Die Entladung hat zur Sicherheit auf einer feuerfesten Unterlage zu erfolgen und muss solange andauern bis die Leerlaufspannung dauerhaft auf 0V bleibt. Anschließend können die Reste gefahrlos entsorgt werden, da keine Feuergefahr mehr von den Zellen ausgeht. Entsprechend der Gesetzeslage empfiehlt sich natürlich die Entsorgung bei der örtlichen Entsorgungsstelle für Batterien bzw. über den Fachhandel. Von einer Neutralisierung der Zellen in Kochsalzlösung sollte abgesehen werden, da aus Teilen des Elektrolyten zusammen mit Wasser giftige Flusssäure entsteht.
- Sollte, aus welchem Grund auch immer, eine Zelle verpuffen oder zu brennen beginnen, dann diese mit Sand, Wasser oder einem Feuerlöscher löschen, hauptsächlich gilt es ein Übergreifen der Flammen zu verhindern. Die Ausrichter von Rennen sind angehalten 1-2 Eimer mit Sand bereitzuhalten. Ebenso sollten Brandschutzdecken oder ABC-Pulverlöscher (z.B. KFZ-Pulverlöscher, 1-2kg, ca. 25Euro) vorhanden sein und verwendet werden.

**Achtung:** Verbrennungsgase sind giftig! Daher nur mit entsprechender Vorsicht und mit der Windrichtung löschen. Personen müssen sich aus dem Bereich in der Windrichtung des Brandes entfernen! Beim Kontakt des Elektrolyten mit Wasser oder Feuchtigkeit entstehen geringe Mengen Flusssäure. Flusssäure ist ein Kontaktgift, von daher den direkten Hautkontakt mit den geöffneten Zellen vermeiden oder falls doch, dann schnell mit genügend Wasser abspülen.

### Tipps zur Handhabung von Li-Zellen:

- Voll geladene Li-Zellen (>4V Leerlaufspannung) unterliegen einer erhöhten Alterung, die zu **dauerhaftem** Kapazitätsverlust und **dauerhafter** Zunahme des Innenwiderstands führt. Li-Akkus sollten daher schon aus diesem Grund keinesfalls voll gelagert werden, maximal halb voll, eher weniger. Aber auch keinesfalls völlig leer (<3V Leerlaufspannung), weil dies die Zellen ebenfalls schädigt.
- Auch bei Li-Zellen gibt es einen von Ni-Zellen bekannten Effekt – eine vor längerer Zeit eingebrachte (Teil-)Ladung besitzt eine reduzierte „Stromabgabewilligkeit“. Es kommt zu einer **temporären** Erhöhung des Innenwiderstands für diesen Teil der Ladung. Solche Zellen sind also weniger belastbar, sie liefern weniger Spannung und sie können gar unter hoher Last aufblähen. Und das unter Lasten, die sie frisch geladen problemlos verkraften würden. Bei halbvoll gelagerten und dann nur nachgeladenen Zellen ist dieser Effekt auch deutlich feststellbar – aber der Menge der nachgeladenen Kapazität bricht die Spannung merklich ein.

Ladungen (auch Teilladungen) sollten daher nach einer längeren Lagerung (länger als einige Tage) vor einer erneuten Ladung und anschließenden Benutzung vorher mit moderaten Strömen entladen werden.

- Wie bereits weiter oben erwähnt, reagieren Li-Zellen auf Temperatur: der Innenwiderstand sinkt bei steigender Temperatur, ein Minimum wird bei ca. 55-60°C erreicht. Allerdings hat erhöhte Temperatur auch negative Nebeneffekte: die Alterung der Zellen beschleunigt sich deutlich. Für lange (mehrere Stunden) unter erhöhter Temperatur voll gelagerte Zellen beschleunigt dies zum einen den dauerhaften Kapazitätsverlust, zum anderen aber auch die temporäre Erhöhung des Innenwiderstands. Solche Zellen sind dann also trotz Temperatur weniger belastbar, sie reagieren wieder vergleichbar zu kalten Zellen: weniger Spannung und sie können gar unter zu hoher Last aufblähen.

Wie alle chemischen Akkus sollten also auch Li-Zellen nicht zu lange vor der Benutzung geladen werden und auch erst möglichst kurz davor oder am besten während der Ladung „auf Temperatur“ gebracht werden und auch möglichst kurz auf Temperatur verbleiben. **Keinesfalls sollten sie in Thermokoffern stundenlang „garen“!**

- Als Umkehrschluss sollten Li-Zellen (wie alle anderen chemischen Akkus auch) sicherlich am besten im Kühlschrank oder in einem kalten Keller lagern bzw. überwintern.

### Über LiPo-Zellen und deren Gefahren:

Es herrscht eine gewisse Unwissenheit über die Gefahren von Li-basierten Akkus und deren Ursachen. Mangels Wissen darüber kommt es zum einen zu Gefahrensituationen, zum anderen zu Fehleinschätzungen und ggf. Überreaktionen bzgl. der möglichen Gefahren. Um die Gefahr zu verstehen, muss man verstehen woher diese Gefahr kommt. Dazu muss man den Aufbau der LiPo-Zellen kennen und verstehen.

Wie schon weiter oben beschrieben, bestehen LiPo-Zellen aus vielen, abwechselnd übereinander gelegten und beidseitig beschichteten Folien aus dünnem Kupfer und Aluminium. Zwischen den einzelnen Schichten befindet sich als Separator eine spezielle Kunststoffolie (Polymerfolie), welche die Schichten auf der einen Seite elektrisch isoliert, auf der anderen Seite aber durchlässig für Lithium-Ionen ist.

Die Kupfer- und Aluminiumfolien dienen dabei rein als Ableiter und Trägermaterial. Sie sind nicht an der chemischen Reaktion beteiligt. Der chemisch reaktive Teil im Akku ist eine hauchdünne, schwarzgraue Beschichtung der Folien. Als Anode wird derzeit meistens eine Gitterstruktur aus Graphit oder Kohle verwendet, die Lithium-Ionen aufnehmen kann. Als Kathode kommen lithierte Metalloxide auf Kobalt, Nickel und Mangan bzw. Mischformen daraus zum Einsatz.

Der Prozess des chemischen Energiespeichers beruht darauf, dass zwischen Anode und Kathode Lithium-Ionen ausgetauscht werden. Die Ionen diffundieren durch die Polymerfolie, was thermisch neutral erfolgt. Um eine Ionen-Leitfähigkeit herzustellen ist die Polymerfolie mit einem Lösungsmittel auf Lösungsmittelbasis getränkt, welches leicht süßlich riecht. Außen ist der Stapel aus Folien mit einer luftdicht abschließenden Kunststoffolie umhüllt.

Brennbar in den Zellen ist zum einen der Elektrolyt (organische Lösungsmittel), zum anderen die Kunststoffanteile, sprich die Polymerfolie und die Kunststoffhülle. Ab sehr hohen Temperaturen kann auch die Beschichtung selbst brennen (thermal runaway).

- Wenn eine LiPo-Zelle zu brennen beginnt, dann geschieht dies, neben den Gefahren bei massiver Überladung, fast ausschließlich durch einen inneren Kurzschluss einer **geladenen** Zelle oder eines Packs, meist verursacht durch eine äußere, mechanische Beschädigung. Durch den Kurzschluss erhöht sich die Temperatur in der Zelle. Wenn diese Temperatur ca. 65-90°C übersteigt, wird das Lösungsmittel gasförmig und bläht die Zelle auf. Es kann dann aus verschiedenen Gründen zu brennen beginnen, ebenso die Kunststoffbestandteile der Zellen. Es kann aber auch zu einem sich selbst steigernden Prozess führen, bei dem sich die Zellenstruktur selbst unter weitere Hitzeentwicklung zersetzt (Thermal Runaway).
- Die Feuergefahr geht also, neben den Gefahren bei massiver Überladung, nicht von der normalen elektrochemischen Reaktion an sich aus. Die Gefahr beruht auf der Möglichkeit, dass entweder eine massive Überladung oder eine starke Entladung (Kurzschluss) zu einer Überhitzung der Zellen führt, die dann als Folge die brennbaren Bestandteile entzündet. Auch schon aus diesem Grund sollten LiPo-Zellen **nicht voll gelagert oder transportiert werden**, denn relativ leere Zellen beinhalten nicht genügend elektrische Energie um im Falle eines Kurzschlusses die Zelle bis zur Brandgefahr zu erhitzen. Dies ist auch der Grund, warum defekte Zellen vor der Entsorgung tiefentladen werden sollen.
- Metallisches Lithium, welches bekanntlich bei Berührung mit Wasser brennt, ist - wenn überhaupt - nur in geringen Mengen in den Li-Zellen vorhanden. Der typische Gesamtgehalt an Lithium beträgt ca. 1.5g/5000mAh-Zelle, wobei dieses Lithium normalerweise komplett als Lithium-Ionen vorliegt. Diese Ionen sind bzgl. einer Reaktion mit Wasser neutral. Metallisches, mit Wasser reagierendes Lithium kann sich allerdings bei der Überladung bilden (Spannungen >4.2V). Es sind dann aber relativ kleine Mengen, die erst bei massiver oder andauernder Überladung zu einer Selbstentzündung bei Kontakt mit Wasser oder Feuchtigkeit führen. Aus diesem Grund ist die Einhaltung der max. Ladespannung wichtig.
- Eine brennenden LiPo-Zelle ist daher in den meisten Fällen nicht mit einem Metallbrand (Brandklasse D, z.B. Magnesiumbrand) zu verwechseln. Wenn eine LiPo-Zellen brennt, dann brennt zuerst das organische Lösungsmittel (Brandklasse B oder ggf. C) und später der Kunststoff der Umhüllung bzw. die Polymerfolie (Brandklasse A). Hier sind dann die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen für Kunststoffbrände (giftige Gase, etc.) zu beachten und die Methoden zur Löschung solcher Brände zu verwenden. Nur im Fall eines Thermal Runaway kann theoretisch das Aluminium zu brennen beginnen (>1000°C), wobei uns aber bisher kein Fall bekannt ist, wo dies im Bereich Modellbau-LiPos passiert ist. Bei allen bekannten Fällen sind zwar das Lösungsmittel und die Kunststoffbestandteile verbrannt, die Aluminium- und Kupferträgerfolien schienen aber intakt geblieben zu sein.
- **Sollte ein Li-Akkupack in einer brennbaren Umgebung brennen (Boot, Auto, Zelt, Keller,...) oder ggf. sogar bereits mehr als nur der Akkupack selbst brennen, dann sollten die evtl. vorhandenen geringen Mengen an metallischem Lithium auf keinen Fall davor abschrecken, den Brand mit Wasser oder Schaum-Feuerlöschern zu löschen. Je früher gelöscht wird, umso besser. Natürlich hat dies immer mit der entsprechende Vorsicht zu erfolgen.**

**Webmaster**    © Ursula Kieper                      E-Mail: Ursula.Kieper(ät)t-online.de  
                    © Jörg Mrkwitschka                      E-Mail: jmrkwitschka(ät)online.de

**Copyright = ©**

Alle Seiten unserer Homepage sind durch das Urheberrecht geschützt. Es darf ohne ausdrückliche, schriftliche Genehmigung nicht, auch nicht ausschnittsweise, kommerziell oder privat veröffentlicht werden.