

### Grundlagen

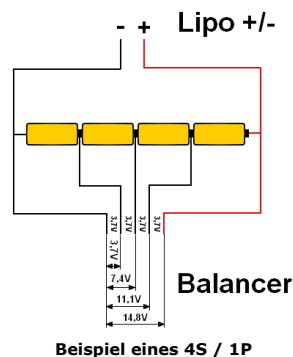
Der LiPo (Lithium-Polymer-Akku) ist besonders im Flugmodellbau inzwischen Standard. Der Vorteil eines LiPo Akku liegt darin, dass er mehr als 100x geladen werden kann, ohne spürbar an Leistung zu verlieren. Er besteht aus einer oder mehreren Zellen, aus denen sich, je nach Zusammenbau des LiPo, die Spannung (V) und der Strom (I) zusammensetzen. Zusätzlich zum "+" und "-" Anschlusskabel besitzt ein LiPo einen Balancer-Anschluss. Dazu aber später mehr. Jede Zelle eines LiPo hat eine **Nennspannung von 3,7 Volt** und eine **Ladeschlussspannung von 4,22 Volt**, wobei 4,2V Standard ist. Dies bedeutet, dass die Benutzung eines LiPo in einem, nennen wir es "Spannungsfenster", stattfindet. Dieses liegt zwischen 3 Volt und 4,2 Volt.

**⚠ Im Gegensatz zu einem normalen Akku, sollte man bei einem LiPo darauf achten, dass die Spannung der einzelnen Zellen nicht unter 3 Volt sinkt.**

Wird eine Zelle unter 3 Volt entladen, hat dies irreparable Schäden zur Folge. Der Akku kann dann nicht mehr vollständig geladen werden und hält nur noch einen Bruchteil der sonst üblichen Zeit. Kommt die LiPo-Spannung in einen kritischen Bereich, signalisiert die FlightCtrl mit einem Piepen, dass der LiPo wieder geladen werden soll. Achtung: Der Helikopter schaltet dann nicht ab, sondern die Lipos werden weiter entladen, wenn man nicht rechtzeitig landet. Während des Betriebes werden die Zellen unterschiedlich entladen. So kann es sein, dass bei einem LiPo mit 3 Zellen z.B. eine Zelle 3,4V, eine andere 3,5V und die letzte 3,3V im Betrieb hat. Das ergibt eine Gesamtspannung von 10,2V. Die Warnmeldung der FlightCtrl meldet eine Akkuwarnung bei einer durchschnittlichen Zellspannung von 3,3V (dies ist im Regler einstellbar, sollte aber nicht unter 3,3V eingestellt werden!). Das würde für unseren Beispiel-LiPo mit 3 Zellen 9,9V ergeben ( $3 \times 3,3V = 9,9V$ ). Das bedeutet, dass, sobald die Spannung auf 9,9V sinkt, die Akkuwarnung piept und signalisiert, dass der LiPo geladen werden sollte.

**⚠ Man sollte bei einsetzender (durchgehender) Akkuwarnung also unverzüglich landen. Fliegt man weiter, sinkt die Zellspannung unter 3V, der LiPo wird tiefentladen und somit zerstört.**

Die Folge ist eine nicht mehr vollständige Aufladung des LiPo. Dies wiederum bedeutet eine Verkürzung der Flugzeit. Die Kapazität eines solchen defekten LiPo kann auch während des Fluges sehr rasch abnehmen und sich auf weniger als 50% der ursprünglichen Leistung verringern. Dies kann so weit gehen, dass der Helikopter nicht mehr genug Leistung aus dem LiPo bekommt und abstürzt.



Beispiel eines 4S / 1P

Links und rechts wird die Spannung abgegriffen und auf den LiPo-Stecker (oben) gegeben. Unten ist der Balancer-Stecker. Hier wird jede Zelle einzeln abgegriffen. Zwischen jeder Zelle wird 3,7V gemessen. Vom Minuspol zu jedem Abgriff wird jeweils die addierte Spannung gemessen. Dieser Balancer-Stecker hilft dem Ladegerät jede einzelne Zelle richtig zu laden!

### Bezeichnung von LiPo-Akkus

Auf LiPo-Akkus werden die Daten in Kurzform angezeigt.

**Beispiel eines Aufdrucks:** 11,1V \* 3S/1P \* 2200mAh \* 20C oder 14,8V \* 4S/1P \* 5000mAh \* 20C \* 4C charge

### Was bedeuten diese Werte?

- **V (Volt):** Spannung des LiPo. Da jede Zelle eine Nennspannung von 3,7V hat, besitzt ein LiPo mit 3 Zellen 11,1V ( $3 \times 3,7V = 11,1V$ ).
- **S-Wert:** Hier wird angezeigt, wie viele Zellen in Serie geschaltet sind (3S bedeutet, dass 3 Zellen in Reihe geschaltet sind).
- **P-Wert:** Dieser Wert zeigt an, wie viele Zellen parallel geschaltet sind. (1P bedeutet, dass keine anderen Zellen parallel geschaltet sind.)

- **mAh:** Damit wird die Kapazität des Akkus in mAh angegeben.
- **C-Wert:** Dieser Wert zeigt an, wie viel Strom der LiPo maximal liefern kann. Der Wert C bezieht sich auf die LiPo-Kapazität.  
**Beispiel:** Ein LiPo wird mit 2200mAh und 20C angegeben. Die maximale Stromstärke wird nun wie folgt errechnet:  $(2200\text{mAh}/1000) \times 20\text{C} = 44 \text{ Ampere}$ . Ein solcher LiPo kann also 44A Leistung abgeben.
- **C CHARGE:** Hiermit wird angegeben, mit wie viel Strom der LiPo geladen werden darf. „4C CHARGE“ bedeuten z.B., dass ein LiPo mit der vierfachen Menge der angegebenen Kapazität geladen werden kann.  
**Beispiel:** Auf dem LiPo steht 5000mAh. Dieser Wert kann dann bei „4C CHARGE“ x4 genommen werden. Also  $5000\text{mAh} \times 4 = 20000\text{mA} = 20\text{A}$ . Dieser LiPo darf also mit max. 20A geladen werden.

**⚠ ACHTUNG: Steht solch eine Angabe (C CHARGE) nicht auf dem LiPo, darf dieser nur mit max. 1C geladen werden! Dies würde bei einer Kapazität von 5000mAh einen Ladestrom von 5000mA = 5A bedeuten. LiPo-Akkus laden**

Ein normales Ladegerät oder Netzteil ist nicht zum Laden von LiPos geeignet! LiPo-Akkus sollen nur mit einem geeigneten Ladegerät, welches einen Balanceranschluss besitzt, geladen werden! Während des Ladevorganges muss der Lipo in einem geeigneten, feuerfesten Behältnis (z.B. LipoSack) untergebracht sein. Bei einem Ladegerät für verschiedene Akkutypen, muss darauf geachtet werden, dass ein Lipo NIEMALS mit den Einstellungen für NiCd, NiMH geladen wird!

**⚠ Sofern vom Hersteller nichts anderes empfohlen, werden LiPo-Akkus mit maximal 1C geladen!**

### C-Wert berechnen

Entscheidend ist die Angabe der Kapazität auf dem LiPo.

**Beispiel:** Bei einem LiPo mit 2000mAh Kapazität ohne weitere Angaben, sollte der Ladestrom **1C** betragen. **2000mAh x 1 = 2000mA = 2A.**

**⚠ Die Ladedauer bei 1C beträgt ca. 1 Stunde. Ein höherer Ladestrom kann den LiPo schädigen! Mit niedrigerem Ladestrom hingegen kann eine etwas längere Lebensdauer erreicht werden.**

**⚠ ACHTUNG: Wird der Ladestrom auf dem LiPo mit mehr als 1C angegeben, kann dieser mit mehr Strom geladen werden. Die Ladezeit wird somit verkürzt. Der LiPo wird dabei aber stärker belastet und die Lebensdauer des LiPo sinkt geringfügig.**

### Die Ladeschlussspannung

Wie schon erwähnt, besitzt ein LiPo eine Nennspannung von 3,7 Volt und eine Lade-schlussspannung von 4,22 Volt (Standard 4,2V). Diese Ladeschlussspannung ist zum vollständigen Laden eines LiPo notwendig und wird in das Ladegerät eingetragen! (Bei einigen Ladegeräten ist sie schon vorgegeben und nicht einstellbar)



**⚠ Wird eine niedrigere Spannung eingetragen, wird der LiPo nicht ganz voll geladen!**

### LiPospannung

Die Gesamtspannung des LiPo wird durch die Zellenanzahl bestimmt. Ein 3S/1P hat 3 Zellen in Reihe und keine parallel. Dies bedeutet  $3 \times \text{Nennspannung } 3,7\text{V} = 11,1\text{V}$ .

**Fassen wir zusammen:** Laut unserem Beispiel haben wir: Kapazität des LiPo von 2200mAh, Ladestrom von 2A, eine Ladeschlussspannung 4,2V und eine Gesamtspannung von 11,1V. Besitzen Sie ein Ladegerät mit manueller Wahlmöglichkeit von Zellenzahl (1S/2S/3S/...), Ladestrom (z.B. 2A) und Ladeschlussspannung (4,2V) ist **unbedingt darauf zu achten, dass alle Werte korrekt eingestellt werden**. Falsch eingestellte Werte können den LiPo bis hin zur Zerstörung überlasten. Um den LiPo nach der Einstellung der Werte zu laden, **wird erst der LiPo mit dem Stecker (z.B. Deans) an dem Ladegerät angeschlossen. Danach wird der Balancer-Stecker an dem Ladegerät eingesteckt (hierbei auch auf die richtige Polung achten!).**

Über diesen Balancer-Stecker wird die Spannung an der Einzelzelle gemessen. Übersteigt z.B. eine Zellspannung bei Ladung die Ladeschlussspannung von 4,2V, begrenzt das Ladegerät diese Zelle auf das erlaubte Maß, um damit im Akku-Pack wieder Spannungsgleichheit herzustellen (Balancing). (Wird der Balancer-Stecker nicht angeschlossen, kann es zu einer Überladung und Schädigung einzelner Zellen kommen!)

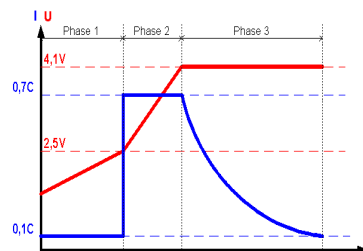
**Tip:** Zum Laden wie auch zum Lagern sollte man den LiPo auf eine feuerfeste Unterlage legen. Man kann den LiPo auch in einen geeigneten Blumentopf legen und hierbei die Zuleitungen durch das kleine Loch am Boden zum Ladegerät führen. Sollte wider Erwarten ein LiPo einmal brennen, zum Löschen **NIEMALS** Wasser benutzen.

**EXPLOSIONSGEFAHR!** Stellen Sie sich besser einen Eimer mit trockenem Sand zum Löschen bereit.

## Ladevorgang

Eigentlich ist das Laden einer LiPo-Zelle vergleichsweise einfach. Es erfolgt in 3 Schritten:

1. Eine LiPo-Zelle sollte eigentlich **nie unter 2,7V entladen werden**. Beträgt die Zellenspannung anfangs aber trotzdem weniger als 2,5V, dann muß die Zelle bis zu dieser Spannung mit einem kleinen Strom von **0,1 C geladen werden**. Erreicht die Zelle damit nicht innerhalb einer Stunde die 2,5V, dann ist die Zelle defekt, und darf nicht weiter geladen werden.
2. Hat die Zelle aber 2,5V erreicht oder beträgt ihre Spannung von Anfang an wenigstens 2,5V, dann startet man einen Ladevorgang mit einem **Konstantstrom von 0,7C-1C (CC Ladeverfahren)**. Ein größerer Strom (1C) bringt übrigens keinen nennenswerten Zeitgewinn für den Gesamtladezyklus, so dass ich 0,7C bevorzuge. Während dieser Konstantstromladung steigt die Zellenspannung stetig an. Erreicht sie die Ladeschlussspannung, geht man zum dritten Ladeschritt über. Die Ladeschlussspannung beträgt je nach Zellentyp 4,1V oder 4,2V (Datenblatt!). Sie darf auf keinen Fall überschritten werden, so dass eine präzise Spannungsmessung erforderlich ist. Der Akku ist nun zu ca. 90% geladen.
3. Abschließend folgt eine **Konstantspannungsladung (CV Ladeverfahren)**. Dabei wird der Ladestrom kontinuierlich so verringert, dass die Spannung an der Zelle immer der Ladeschlussspannung entspricht. Dieser Schritt dauert um so länger, je höher der Ladestrom im Phase 2 war. Ist der Ladestrom auf unter 0,1C gefallen, beendet man den Ladevorgang. Der genaue Abschalt-Strom ist unkritisch. **Während der 3. Phase werden nur noch die letzten ~10% der Kapazität in den Akku 'gedrückt'**.



Im Gegensatz zu NiCd- oder NiMH-Akkus besitzen LiPo-Akkus keine Überladereserve. Das bedeutet, dass schon ein geringes Überschreiten der Zellenspannung zur Gasentwicklung im Akku führt. Der Akku ist damit zerstört, im Extremfall könnte er sogar "explodieren".

## Neue Li-Po Akku's laden

Gemäss erhaltener Information war anfänglich der Meinung, dass Li-Akkus keine Formatierungs-Zyklen durchlaufen müssen, im Gegenteil zu den NiCd und NiMH Akkus. Erfahrene Anwender empfehlen aber, die neuen Zellen zuerst mit niedrigen Strömen zwei bis dreimal zu laden - formatieren. Nehmen sie eine Laderate von nicht über **0,5 C**. Achten sie auch darauf, dass die ersten Entladungen nicht sofort mit hohen bzw. den maximal zulässigen Strömen erfolgen. Laden sie danach die Akkus mit 1 C Laderate. Achten sie darauf, dass die maximale Entlade-Strombelastung möglichst immer unter den Herstellerangaben in bezug auf Kurzzeitstrom liegt. Wenn sie das alles so machen, dann ist es sehr wahrscheinlich, dass ihre Li-Akkus die von den Hersteller angegebenen Ladezyklen erreichen. Wem das alles ein bisschen zu kompliziert ist, zweifeln sie nicht an sich, ich tu es auch nicht. Laden sie die Dinger wie beschrieben und Schluss, noch besser.

## Entladestrom

LiPos haben eine Kenngröße 'C' für die maximal zulässige Dauerstromentnahme. Der max. zul. Dauerstrom ergibt sich aus 'C'-Wert x 'C'apazität. Also: **10C LiPo mit 1500mAh Kapazität = 10 x 1500mA = 15 Ampere Dauerstrom**. Man kann auch höhere Ströme entnehmen, das verkürzt die Lebensdauer jedoch drastisch und kann u.U. auch zum Aufblähen oder schlimmstenfalls zu Entzündung führen (z.B. bei Kurzschluss). Die empfohlenen maximalen Entladeströme gelten nur für die Idealtemperatur (etwas höher als Zimmer-temperatur). LiPos sollten vor starker Belastung auf 30-40° Celsius vorgewärmt werden, das gilt insbesondere für den Betrieb im Winter.

## Rettung bei tiefentladenen LiPos

Wenn ein LiPo mal tiefentladen wurde, wollen viele Ladegeräte den Akku nicht mehr laden oder die automatische Zellenanzahlerkennung funktioniert nicht mehr. In solch einem Fall kann man den LiPo an ein Labornetzteil mit Strombegrenzung anschließen. Man sollte nach Möglichkeit jede Zelle einzeln laden, d.h. über den Balancer-Anschluss mit dem Netzgerät verbinden. Die Ladespannung liegt bei **3,7V pro Zelle bei einem Ladestrom vom 1/10 C**. Sollte innerhalb einer Stunde die Spannung der Zelle nicht über 3,3V kommen, so ist diese defekt! Auf jeden Fall den Akku während dieser Zeit beaufsichtigen oder im Freien laden! Danach sollten das Ladegerät und der Balancer den Akku wieder annehmen und normal laden. Wie viel Kapazität er verloren hat, wird sich an Hand der Flugzeit nach 2-3 weiteren Zyklen zeigen oder man hängt ihn an einen Entlader mit Kapazitätsanzeige. Alternativ gibt es auch Ladegeräte, die das Laden von tiefentladenen Zellen nicht verweigern, sondern das oben beschriebene Vorgehen praktisch automatisch machen. Ein Beispiel sind die Lader von Cellpro.

## LiPo Akkus lagern

Wird ein LiPo für längere Zeit (>2-3 Wochen) nicht verwendet, sollte er zum Lagern auf ca. 50% seiner Kapazität geladen werden (Zellenspannung ca. 3,8 Volt). In diesem Ladezustand ist der chemische Zerfall der Zellen am geringsten.

**⚠ Niemals einen leeren Akku einlagern. Es droht sonst eine Tiefentladung!**

### Außerdem zu beachten:

- Es sollte auf eine verpolungssichere und gut sitzende Steckverbindung geachtet werden.
- Beim Laden muss ein LiPo in einen hierfür geeigneten LiPo-Sack oder einen feuerfesten Behälter gelegt werden.
- Es sollte niemals ein heißer LiPo geladen werden. Diesen vor dem Laden immer erst abkühlen lassen.
- Ein LiPo sollte immer mit max. 1C (oder weniger) geladen werden (auch wenn es anders angegeben ist) - das bedeutet z.B. ein 2200mAh-Akku maximal mit 2,2A
- Benutzen Sie den LiPo nur bei einer Umgebungstemperatur im Bereich zwischen +18°C und + 40°C.

Bei einer Hochstromentladung können kältere Akkus sonst Schaden nehmen. Außerdem sollte darauf geachtet werden, dass der LiPo im Betrieb nicht heißer als ca. 50°C wird (dies kann z.B. durch Überlastung passieren). Über diese Temperatur hinaus kann der Akku beschädigt werden.

### ⚠ Achtung Gefahr!

Ein LiPo kann sich beim falschen Aufladen oder beim falschen Gebrauch aufblähen. Er kann sogar während wochenlanger Lagerung "einfach so" beginnen zu brennen und dabei sehr starken Rauch entwickeln, der ganze Räume samt Einrichtung verwüsten kann.

Dies geschieht meist jedoch nur bei falscher Handhabung wie z.B.:

- Mechanischer Beschädigung (Absturz; fallen lassen des LiPo; spitzer Gegenstand beschädigt LiPo)
- Überladung / Verwendung eines zu hohen Ladestroms
- Laden im heißen Zustand

Ist ein LiPo stärker aufgebläht, sollte er nicht weiter verwendet, sondern entsorgt werden. Jeder Händler, der Akkus verkauft, nimmt diese auch kostenlos zurück.

Das passiert z.B., wenn man die Akkus falsch lädt Hier ein Lipo, der sich aufbläht, weil er überladen wurde:



Ein angeschlossener LipoTester zeigt eine Spannung von 4,4V pro Zelle - Maximal zulässig ist **4,22V**

### Auch wenn es logisch erscheint:

- NIEMALS in einen geblähten Akku hinein stechen!
- LiPo's, wie auch andere Akkus, sollten nie mit Wasser in Berührung kommen.
- LiPo/Akkus gehören nicht in den Hausmüll!
- Möchten Sie den Stecker vom LiPo behalten, NIEMALS die Kabel gleichzeitig durchtrennen.
- Immer ein Kabel nach dem anderen. Die abgeschnittenen Enden danach isolieren. (Nicht, dass der LiPo beim Entsorgen durch einen Kurzschluss explodiert!)
- Nach dem Flug den LiPo abstecken. Auch ein geringer Stromverbrauch kann zu einer Tiefentladung führen, die den LiPo zerstört.
- Kurzschlüsse vermeiden!

## Der Balancer

Wie bereits erwähnt, mögen Lipos es nicht, wenn sie außerhalb ihrer elektrischen Parameter betrieben oder gelagert werden. Dazu gehört auch das Über- oder Unterladen. In einem Pack müssen daher alle Zellen die gleiche Spannung haben. Ist z.B. eine Zelle stärker entladen als die anderen, hat der ganze Pack eine niedrigere Spannung, wodurch das Ladegerät weiter versucht, den Pack zu laden. Sind die ersten Zellen bereits voll, ist immer noch nicht die Gesamt-Voll-Spannung erreicht, und die bereits vollen Zellen werden überladen.

Daher sollte ein Ladegerät in der Lage sein, die einzelnen Zellenspannungen zu überwachen. Das ist aber nur dann sinnvoll, wenn das Ladegerät auch etwas gegen unterschiedliche Ladezustände tun kann - also "Balancer". Dabei wird der Gesamtladestrom, der durch alle Zellen fließt, an den volleren Zellen teilweise vorbeigeleitet. Dieser Teilstrom nennt sich "Ausgleichstrom" oder "Bypass-Amperage". Wie hoch der sein kann, hängt vom Lader (bzw. der verwendeten Balancerschaltung) ab. Einen stark gedrifteten 5000mAh-Akku wird man mit einem 100mA-Balancer nie ausgeglichen bekommen! Außer man lädt ihn mit sehr geringem Ladestrom. Da dieser Ausgleichstrom über den Balancerstecker läuft, müssen dessen Kabel auch dafür geeignet sein! 4A Ausgleichstrom ist über 0,14mm<sup>2</sup> Kabelchen keine gute Idee. Optimal ist hier, den Akku direkt an den Balanceranschluss zu stecken, und nicht noch über zwei Adapter. Ein guter Balancer (ob eingebaut im Lader oder extern) erfüllt **zwei Merkmale:**

**1.)** hinreichend genaue Messung der Zellenspannungen. Die Toleranz liegt bei 0,005V, oder besser. **2.)** hinreichend hoher Ausgleichstrom. Der nötige Ausgleichstrom ist vom Ladestrom abhängig. Geht man davon aus, dass eine Lipo-Zelle bei 4,25V voll und bei 3,00V als leer anzusehen ist, beträgt die Differenz nur 1,25V. Also entsprechen 0,13V bereits 10% der Zellen-Kapazität. Bei einem 5000mAh-Akku sind das schon 500mA, die an Ausgleichstrom fließen müssen, damit der Akku bei einer Ladezeit von einer Stunde ausgeglichen werden kann. Schafft der Balancer nur 250mA, muss man in diesem Beispiel den Akku schon mindestens zwei Stunden am Balancer hängen lassen. Also einen leeren Akku mit 5000mAh nur mit ½C laden!



## Vorbeugung durch Wissen

Lipos und die Temperatur .... sehen wir uns das im Detail an, damit wir alles richtig verstehen. Damit der Strom innerhalb eines Akkus fließt, müssen elektrisch aufgeladene Ionen transportiert werden. Dafür braucht der Akku einen Elektrolyten, in dem sich die Ionen von einer Elektrode zur anderen bewegen können. Je nach Elektrolyt geht das mehr oder weniger gut. Je besser dieser Vorgang geht, desto geringer ist der Innenwiderstand, desto mehr Strom kann fließen. Die Ionenleitfähigkeit nimmt mit der Temperatur zu und dazu umgekehrt nimmt der Innenwiderstand dabei ab. Deshalb haben Lipos (und übrigens auch NiMH-Zellen) bei höheren Temperaturen mehr Druck - bessere Spannungslagen. **Unterhalt von 10 bis 15 Grad sind die Lipos nicht so richtig leistungsfähig** - bei sehr tiefen Temperaturen - man spricht so von **unterhalb -25 Grad** - kann der Elektrolyt sogar einfrieren - der Akku ist vermutlich zerstört.

Toll, dann heizen wird das Ding also auf und dann knallt es so richtig "in den Gedärmen" des Lipos ..! Nein das geht leider auch nicht, denn zu hohe Temperaturen sind leider auch wieder schädlich. Je nach chemischem Aufbau zersetzen sich die Lion-/Lipos-Akku mehr oder weniger rassistig und zwar auch dann, wenn sie nicht gebraucht werden. Keine Angst, die Dinger verfallen nicht in ihre Bestandteile - sie verlieren vielleicht an Kapazität - die Zersetzungsgeschwindigkeit steigt mit der Temperatur des Akkus.

Wenn sie einem Lipo einen hohen Stromfluss abfordern, wird er zwangsläufig wegen des Innenwiderstandes erwärmt - steigt die Innentemperatur der Zellen auf über **55 Grad** führt dies unweigerlich zu einem Kapazitätsverlust - will für sich heißen - **Vorsicht bei hohen Entladeraten**. Gibt also ein Hersteller an, dass diese oder jene Dauerentladerate möglich ist, bedeutet das, dass die Spannungslage des Akkus dabei halbwegs akzeptabel bleibt und der Akku sich nicht zerlegt.

Wie beuge ich also einem zu schnellen Kapazitätsverlust vor? Indem sie die Zeit während der die Dauerentladerate möglich ist auf jene begrenzen, die verstreicht, bis der Akku die herstellerspezifische Höchsttemperatur - in der Regel **55 Grad C** - erreicht hat. Leider werden meist nur vage Angaben über die Anzahl der möglichen Lade/Entladezyklen bei höheren Betriebstemperaturen gemacht - diese Zyklenzahl kann sich schnell auf **30 bis 40 reduzieren** - eine teure Geschichte. Aber die Zeit arbeitet "hier für uns" - die Entwicklung bleibt nicht stehen und vielleicht gehören diese Schwachpunkte schon bald der Vergangenheit an.