

Die Akkufrage ist sicher noch immer die Achillesferse der ganzen Pedelec/Elektrofahrrad-Geschichte, auch wenn sich in den letzten Jahren hier enorm viel getan hat: Der Akku ist meist die teuerste Komponente, und er nützt sich noch dazu im ganzen System oft am schnellsten ab.

Kritiker stellen zurecht fest, dass jeder (auch teure) Akku vom Kaufzeitpunkt weg nur einen Weg kennt: hin zu weniger Kapazität. Allerdings kann man durch ein paar Massnahmen die Geschwindigkeit, mit der das passiert, wesentlich beeinflussen.

Dabei wirken 2 Alterungs-Effekte:

- jeder **Ladezyklus** macht den Akku ein kleines Stück schwächer (daher der Begriff **Zyklenfestigkeit**)

). Wieviel Kapazität der Akku dabei verliert, hängt auch wesentlich mit der Frage der sogenannten

**Konditionierung**

zusammen - dh wie wird der Akku auf die Entladung/Ladung vorbereitet (mehr dazu weiter unten).

- aber auch durch die reine **Standzeit** (Lagerung ohne Nutzung) verliert der Akku etwas an Leistung. Die beste Zyklenfestigkeit hilft also nicht, wenn der Akku einfach durch Zeitablauf am Ende ist. Anders ausgedrückt: Je weniger man fährt, umso weniger ist es relevant, auf Zyklenfestigkeit zu schauen.

Welche Akkus gibt es, die sich grundsätzlich für Pedelecs (oder allgemeiner: E-Fahrräder) eignen?

- **Blei-Akkus** sind billig aber schwer, wenig zyklentest und haben einen erheblichen "Peukert-Effekt" (Kapazitätsverlust bei hohen Strömen), der ihre Nachteile noch verstärkt. Dennoch haben Blei-Akkus, insb als Einstiegsdroge, ihre Berechtigung im Einsatz in E-Fahrzeugen nicht ganz verloren, umso mehr als man bereits <100€ "mit dabei" ist. Im E-Mobilbereich werden meist sog. "sealed liquid acid" ( **SLA**) Bleiakkus verwendet.

- Akkus auf Nickel-Basis: **NiCd** und **NiMh** Zellen sind giftig, uU brennbar, beim Laden

heikel, etc. Sie werden seit dem Siegeszug der Lithium-Akkus, in E-Fahrrädern nicht mehr verwendet.

- Lithium-Cobalt (LiCo)-Zellen ("Modellbau-LIPOs") sind zwar leicht, aber wenig zyklenfest und vor allem leicht brennbar. Vorsichtige Menschen lagern solche Akkus in Munitionskisten. Sie werden bevorzugt von Modellbauern und anderen Experten eingesetzt.

- **Lithium-Mangan (LiNiMnCoO<sub>2</sub>)** Zellen sind leicht, nicht brennbar, zyklenfest, hochstromfest, und je nach genauem Zelltyp mehr oder weniger

### **kaltstartfähig**

(siehe dazu auch weiter unten). Wir bieten Standard-Akkus (in Ziegelform, Trinkflasche und Gepäckträger-Gehäuse) bis 17A an, und eine hochstromfeste Variante im Schrumpfschlauch und Rahmengehäuse bis 30A. Sowie die bekannten driftfreien "Konion" Zellen von Sony.

- **Lithium-Eisenphosphat (LiFePo<sub>4</sub>)** Zellen sind ungiftig, hochstromfähig, zyklenfest, **kaltstartfähig**

und nicht brennbar, aber erheblich schwerer und voluminöser als LiMn. Da die Industrie diesen Zelltyp in den letzten Jahren praktisch aufgegeben hat, bieten wir LiFePo bis auf weiteres auch nicht mehr an. Mit div hochstromfähigen LiMn-Spezialzellen, die keinen Balancer brauchen, steht allerdings ein vollwertiger Ersatz zur Verfügung:

extrem hochstromfähig (bis 30A/Zelle), kaltstartfähig, "harte" Entladekurve, robust. Als den klassischen Sony-Konion bieten wir hier ins auf die 25R und 30Q Hochstrom-Zellen von Samsung an.

## **"Nennspannung" 36V oder 48V, und Pedelec-Legalität**

Verkürzt gesagt:

Akkus mit Nennspannung 36V (10 Li-Zellbänke in Serie, abgekürzt 10s, also eigentlich  $10 \cdot 3.7V = 37.0V$  Normalspannung) sind für Geschwindigkeiten  $< 30\text{km/h}$  geeignet.

48V Akkus (13 oder 14 Li-Zellbänke in Serie, also 30-40% mehr Spannung und damit 30-40% schneller als 10s) ergeben mit Normalwicklung  $> 30\text{km/h}$ , diese Kombination ist also meist nicht pedelec-legal, vor allem wenn der Motor nicht über den Controller abgeregelt wird.

Eine Ausnahme ist die Kombination aus langsamer Wicklung (Bergwicklung) mit 48V Akku, die auch oft nur Geschwindigkeiten unter 30km/h ergibt. Müsste je nach genauer Konfiguration berechnet werden, ob so eine Kombination als pedelec-legal durchgehen kann.

Ausser diesen beiden Spannungen, die sich im E-Fahrradbereich defakto durchgesetzt haben, können Sie bei uns Akku mit beliebigen anderen Spannungen konfektionieren lassen - fragen Sie uns danach.

### Laden von Lithium (Li)-Akkus, BMS

Im Gegensatz zu Nickel-Akkus haben Li-Akkus keinen sogenannten "Memory"-Effekt, dh sie können beliebig ge- und entladen werden, ohne dass ihre Kapazität darunter leidet. Oft ist es trotzdem eine gute Idee, sie voll zu laden, damit sie beim Wegfahren mit Sicherheit voll sind, und damit die Gefahr einer Tief-Entladung auch bei langem Nicht-Gebrauch sehr gering ist.

Nur 2 Dinge mögen sie nicht - beides kann sie irreparabel beschädigen, oder im seltenen Extremfall sogar zu Bränden führen: Überladung auf >4.2V/Zellbank, und Tiefentladung auf <3.0V pro Zellbank (Richtwert).

Wenn ein Li-Akku ein **BMS** (Battery Management System = Schutz-Elektronik) hat, achtet dieses auf die Einhaltung der Überladungs- und Tiefentladungs-Werte. Wenn Sie uns nicht ausdrücklich einen anderen Auftrag erteilen, hat Ihr Akku ein BMS. Das Ladegerät sollte in diesem Fall ziemlich genau die Spannung haben, die der Akku benötigt, um ganz voll zu sein:

	<b>Nennspannung</b>		<b>Zellbänke in Serie</b>	<b>Ladespannung</b>
	<b>36V</b>	10	42.0V	41.5V
	48V "Spar-Akku"	13	54.6V	54.0V
	<b>48V</b>	14	58.8V	58.0V

Da die Akku-Elektronik bei Voll-Ladung abschaltet, ist die Lade-Schluss-Spannung des Ladegerätes nicht kritisch, sie darf auch (moderat) höher sein. Nachteil: Das Ladegerät versucht in diesem Fall bei einer Ladung bis zuletzt mit vollem Strom zu laden, wodurch der Akku meist nicht optimal balanciert (voll) wird. Ist die Spannung des Ladegerätes viel zu hoch, besteht die Gefahr der Beschädigung von elektronischen Komponenten im BMS. So gesehen kann es gutgehen, mit einem 14s Ladegerät einen 10s Akku zu laden, oder auch nicht. Als Dauerlösung ist es jedenfalls keine gute Idee. Jedenfalls funktioniert es gar nicht, mit einem 10s Ladegerät einen 14s Akku zu laden, dieser wird oft nicht einmal erkannt.

Hat ein Akku **kein BMS** (zb bei Projekten wo man auf sehr hohen Wirkungsgrad oder sehr hohen Strom wert legt, oft auch bei Rekuperation), sollte das Ladegerät diese Spannungsgrenzen penibel einhalten, vorsichtshalber kann es eine gute Idee sein, sogar 0.05V/Zelle darunter zu bleiben - daher die geringfügig niedrigeren Werte in der Tabelle. Wenn Sie so einen Sonderwunsch haben, fragen Sie uns gerne danach, wir können die Ladegeräte dementsprechend einstellen. Von einer Selbst-Manipulation raten wir aus Sicherheitsgründen ab, diese ist versierten Elektronikern vorbehalten.

Es ist übrigens oft nicht möglich, die Ladeschluss-Spannung eines Ladegerätes direkt zu messen - die meisten schalten ihren Ausgang erst auf Spannung, wenn sie mit dem Akku verbunden werden. Ein Ladegerät, das am Vielfach-Messgerät Null Volt oder sogar eine negative Spannung zeigt, ist also nicht notwendigerweise defekt.

### **Konditionierung** der Akkus (Vorbereitung auf Laden oder Fahren)

Für jeden Akku gibt es, abhängig von seiner Zellchemie, optimale Bedingungen (Konditionen) für Lagerung, Ladung und Entladung. Insbesondere sind hier wichtig

- die **Temperatur**, also wie warm oder kalt sollte der Akku sein, insb. vor Ladung oder Entladung
- der **Ladezustand**, also wie voll sollte der Akku sein, insb bei langer Lagerung (zb über den Winter)

die optimale Konditionierung ist sehr komplex, und vor allem in grossen Akku-Systemen fundamental wichtig: Teure Akkus, vor allem im Auto-Bereich, werden oft länger auf den Ladevorgang vorbereitet, als dieser selbst dauert (zb entladen, vorwärmen, kühlen..)

Bei **Fahrrad-Akkus** gilt dabei als **Daumenregel**: Das wichtigste Kriterium ist die **Kaltstartfähigkeit** eines Akkus, dh welche Temperatur muss der Akku zu Beginn des Lade- oder Entladevorganges haben (also: beim Wegfahren, oder beim Laden), damit er durch die Fahrt (Entladezyklus) oder Ladung (Ladezyklus) möglichst wenig von seiner Leistungsfähigkeit einbüsst.

Hier wiederum gilt, stark vereinfacht gesagt: **LiFePo** Akkus und Sony-Konion sind **kaltstartfähig** (also verlieren auch bei Fahrten unter 0° nur unwesentlich dauerhaft an Kapazität), andere **LiMn** Zellen sind nicht so **kaltstartfähig**, dh sollten vor Ladung oder Entladung nicht weniger als **ca +8°C** haben.

Gekühlt brauchen Fahrradakkus nicht zu werden - dh auch wenn der Akku im Sommer ca 40°C vor dem Start hat, ist das ia unkritisch. Bei Temps >55° muss das BMS aus Brandschutzgründen abschalten (EN15194), aber selbst solche Werte sind für die Zellen unschädlich.

LiMn sollten bei **längerer Nichtbenutzung** idealerweise einen **mittleren Ladezustand** aufweisen. (Mehr dazu siehe auch weiter unten).

Bei der Konditionierung, insb Vorwärmung bzw Kühlung, kann man wieder 2 Strategien unterscheiden:

- **Eigenkonditionierung** (dh was kann der Akku selbst dazu beitragen, um in einen optimalen Betriebszustand zu kommen - zb **Eigenerwärmung beim Fahren** ). Diese

sollte immer nur als

## Notbehelf

gesehen werden, da sie Nebenwirkungen hat - sie wirkt zb innerhalb der ersten paar Kaltstart-Minuten nicht!

- **Fremdkonditionierung** (dh zb vorwärmen des Akkus vor dem Fahren durch Verbringen in einen **geheizten Raum**, wärmen durch eine extern gespeiste Heizdecke am Fahrrad etc). Wenn man die Möglichkeit hat, ist diese externe Vorwärmung der Eigenerwärmung immer vorzuziehen.

[ ]

im Gehäuse (Zellen-MoA, Trinkflaschenform, Gepäckträgerform), 13.6Ah, mit BMS

(Zellen Panasonic NGA)

oder Rahmen-Gehäuse, mit BMS (bei einigen Zelltypen wahlweise auch ohne BMS)

(Zellen zb Panasonic NGA)

strom-Zellen, im Schrumpfschlauch oder Rahmen-Gehäuse wahlweise mit/ohne BMS

(Zellen zb Samsung 25R)

Nenn-Spannung	36V (10s)
36V (10s), 48V (14s)	

36V (10s), 48V (14s), oder beliebig

Kapazität

14.0Ah	je nach gewählter Konfiguration	
Maximaler Entladestrom	je nach gewählter Konfiguration	
17A		
30A		
30A		
Maximaler Ladestrom		
2.35A		
10A		
10A		
Minimale Starttemperatur		
8°C		
8°C		
egal		
Spannungsverlust bei Entladung		
20% (6km/h)	20% (6km/h)	
10% (3km/h)		

Energiedichte (Wh/kg)		
200	200	(220 im Schrumpfschlauch)
130		
typisches Gewicht ca		
2.5kg		

zb 2.1kg bei 36V/14.0Ah (ohne Gehäuse) / 2.1kg bei 36V/10.0Ah (ohne Gehäuse)

### Sicherheitshinweise, insb. Brennbarkeit

Aus Sicherheitsgründen bieten wir nur nicht-brennbare Zellen an. Wobei "nicht brennbar" nur heisst, dass die Zellen kein brennbares Material enthalten. Der Kunststoff, der in jedem Akku enthalten ist, kann bei einem sog **"internen Kurzschluss"** natürlich in Brand gesetzt werden, und wie jeder Kunststoff (= Erdöl-Produkt), brennen.

Dieses Restrisiko ist zwar äusserst gering, aber genausowenig wie bei jedem Elektrogerät auszuschliessen (bekannt geworden sind in diesem Zusammenhang auch zb brennende Notebook-Akkus).

Akkus, die zb durch Sturz, oder auch ohne erkennbaren Grund **mechanisch offensichtlich defekt** sind, dürfen **nicht mehr in Betrieb**

genommen, und insb nicht geladen werden. Die Gefahr ist gross, dass es beim mechanischen Defekt einer Zelle zu einem internen Kurzschluss mit starker Hitze-Entwicklung kommt. Wegen der Gefahr von giftigen Dämpfen bei einem eventuellen Brand sollte so ein Akku bis zur Klärung durch einen Experten überhaupt nicht mehr in einem Innenraum gelagert werden - ausser in einer Metallkiste mit geschlossenem Deckel.

### Allgemeine Vorteile von LiMn-Akkus

- erheblich **leichter** als zb LiFePo, dzt: 2,3kg für ca 14Ah, das Leistungsgewicht kommt bereits in die Nähe der klassischen Modellbau-LIPOs, ohne deren Nachteile (insb Brennbarkeit) zu erben.
- es werden praktisch laufend verbesserte Zelltypen angeboten
- auch die Automobil-Industrie arbeitet damit - daher grosse Stückzahlen verfügbar, viele Erfahrungen, günstige Preise

Vorteile von Standard-**LiMn**-Akkus im Gehäuse (mit Panasonic Zellen) gegenüber Hochstrom-LiMn-Akkus im Detail:

- Konion sind etwas schwerer, aber dafür noch robuster.
- **preisgünstiger** als LiFePo
- gute **Gehäuselösungen** unaufwändig verfügbar

- gute **addon-Lösungen** verfügbar, zb genaue Ladestandsanzeige

Vorteile von **Hochstrom-LiMn-Akkus im Schrumpfschlauch oder Rahmengehäuse** (wahlweise mit Panasonic, Sanyo oder Samsung Zellen) gegenüber Standard-LiMn-Akkus

:

- höherer Ladestrom (bis 10A) und Entladestrom (bis 30A pro parallelgeschaltetem Akku)
- (fast) jede Grösse, Bauform und Kapazität möglich
- Schrumpfschlauch ist gewicht-sparender als Gehäuse-Lösungen
- je nach genauem Zelltyp auf Wunsch auch ohne BMS (Balancer) verwendbar - sehr effizient
- durch die genaue Auswahl des Zelltyps optimal auf den genauen Einsatzzweck abstimmbaar

Für "**normale Umbauten**" (14A, evt 17A, keine besonders hohen Lasten, keine Sonderprojekte) sind beim Stand der Technik in vielen Fällen

**Standa**

**rd-LiMn-Akkus im Gehäuse**

die beste Wahl.

Für Umbauten bis 600W (und mehr), also 22A oder 30A Controller, haben die Standard-Panasonic-LiMn nicht die nötige Stromfestigkeit - es müssten 2 Stk parallel geschaltet werden. Alternativen: ein Hochstrom-LiMn-Akku (zb zum Einbau in eine Rahmen- oder Packtasche).

### **Wichtige Ladehinweise für Lithium Akkus**

**Kein "Memory-Effekt"**: Lithium-Akkus haben keinen "Memory-Effekt" (wie dies etwa bei Nickel-Akkus der Fall ist), und können daher, vereinfacht gesagt, bedenkenlos in jedem Zustand geladen und entladen werden. (Ausnahme: LiMn nicht < 5° laden, siehe oben).

**Schutz vor Tiefentladung:** Alle Akkus unterliegen bei der Lagerung (also auch bei Nichtgebrauch) einer gewissen Selbstentladung. Die eigentliche Zellen-Selbstentladung ist normalerweise bei Lithium-Akkus sehr gering, allerdings "saugt" die eingebaute Elektronik den Akku meist erheblich schneller leer als die eigentliche Selbstentladung einer nackten Zelle. Insbesondere gilt das für Akkus, die einen über das BMS angeschlossenen Ein/Ausschaltknopf haben, wie zB die Standard-LiMn-Akkus im Gehäuse. Hier gilt: der Akku (aber auch andere Akkus mit aktivem Schalter) sollte niemals im eingeschalteten Zustand gelagert werden! Meist wird der geringe Entladestrom vom BMS selbst nicht erkannt, die Unterspannungsabschaltung greift daher uU nicht. Ein tiefentladener Akku ist in manchen Fällen unrettbar verloren, und auch ein gewisses Brand-Risiko.

Daher:

- Akkus **niemals eingeschalten lagern**
- selbst ein ausgeschalteter Akku sollte **zum Schutz vor Tiefentladung zumindest 2x pro Jahr zur Sicherheit geladen** werden

**Schutz vor Überladung?** Beim Laden selbst können die Akkus beliebig lange am Ladegerät verbleiben, auch wenn dieses über die "leuchtende grüne LED" schon lange signalisiert, dass der Akku voll geladen ist. Zieht man allerdings in Betracht, dass das Laden immer in gewisser Weise sicherheitskritisch ist, sollten die Akkus nicht tagelang am Ladegerät hängen. Auch der Einbau einer (billigen) Zeitschaltuhr vor das Ladegerät kann sinnvoll sein, um ein sicheres Ausschalten zu gewährleisten.

Beim Standard-LiMn-Akku mit Datenmonitor wird auf der Anzeige bei einem Ladezustand unter ca 5% "Warning" angezeigt. Dies ist so zu verstehen (falls der Monitor korrekt anzeigt), dass der Akku nahezu leer ist und dringend (Schutz vor Tiefentladung, siehe oben) nachgeladen werden sollte.

**Wohin mit dem Akku am Fahrrad?**

Der Akku ist der teuerste Teil der ganzen Umrüstung und in vielerlei Hinsicht auch der empfindlichste. Für seinen Montageort bieten sich aus der Sicht eines Alltagsfahrers daher folgende Kriterien an:

- Schutz vor mechanischen Beschädigungen durch Schläge etc
- Wasser- und Kälteschutz
- Diebstahlschutz

Panasonic Standard-Akkus sind dazu in 3 Bauformen lieferbar: **Ziegel, Trinkflasche und Gepäckträger**. Dabei kann die Ziegelform meist auch gut in einer Tasche untergebracht werden, die anderen beiden Bauformen werden praktisch immer am Rahmen befestigt. Trinkflaschen-Form kann manchmal auch unterhalb des Unterrohrs angebracht werden, wenn es im Rahmendreieck zu knapp ist.

Aus unserer Sicht ist der optimale Platz für einen Akku eine **Packtasche, Lenkertasche oder Sattelrohrtasche**

: Neben einem guten Schlagschutz ist auch Wasser- und Diebstahlschutz meist sehr gut. Auch für

**Trinkflaschen**

- und

**Gepäckträger**

-Akkus gibt es mittlerweile gute Lösungen.

Wenn man den Akku am **Rahmen** im Freien montiert, sollte man evt auf folgendes achten:

- nur Akkus **bis ca 2.5kg** am Rahmen befestigen (unsere Standard-LiMn Akkus haben 2.3kg)
- nicht mit zu hohem **Luftdruck** fahren (**<2 Bar**), vor allem wenn man Strassen mit Schlaglöchern befährt
- bei jedem Zweifel an der Dichtheit des Akku-Gehäuses, als **Wasserschutz** dem Akku zb eine **Badehaube** aufsetzen: Die Dichtungen aller dieser Akkus sind oft nicht 100%ig, und ist das Wasser mal drin, rinnt es unten nicht mehr raus, und kann so Zellen und Elektronik schädigen. Den Effekt merkt man oft erst Wochen nach dem Wassereintritt.
- guter thermischer Schutz ist bei dieser Montageart schwierig.

Ein Nicht-beachten dieser Punkte kann ua zum einreissen der tw. in **Kunststoff** ausgeführten **Halterungen** führen - insb tritt dies oft bei der Ziegelform auf. Die Halterungen bekommen Sie als **Ersatzteil** bei uns auch einzeln (für alle 3 Standard-Bauformen).

Will man dieses Risiko vollständig ausschliessen, bietet sich zb eine **Lenkertasche** oä für den Akku an: Hier gibt es absperrbare (Klickfix-)Systeme mit verschiedenen grossen Taschen im Handel. Die Halterung wird zb mit einem massiven Stahldraht am Lenker befestigt, der gleichzeitig für eine **gepolsterte Aufhängung** der Tasche sorgt. So können selbst massive Stösse dem Akku nichts anhaben. Zudem sind die Taschen **wasserdicht**.

Die kleinste uns bekannte Tasche, in die die LiMn-Akkus in Ziegelform passen, sind zb "Ortlieb Ultimate-6 Compact", in der Grösse einer Phototasche für eine Spiegelreflex-Kamera. Nimmt man die etwas grössere "Classic"-Version, kann man auch das Ladegerät (und evt sogar den Controller, wenn man für Belüftung sorgt) dort verstauen. (Leider unterstützt Ortlieb den Klickfix Standard nicht - aus diesem Blickwinkel sind also andere Produkte zu bevorzugen).

Die folgenden Fotos zeigen beispielhaft einen Akku in einer kleinen Lenkertasche, die auf einem Faltrad an einem oft üblichen **25mm-Halterstummel** unterhalb des Lenkers montiert wird. Dieser Stummel ist oft für die Montage von Packtaschen vorgesehen, da der Lenker selbst ja umgeklappt werden kann - bei einem normalen Fahrrad wird direkt am Lenker montiert.

