

Etliche Autofahrer\*innen fürchten den wirtschaftlichen Totalschaden, wenn ihr BEV (Battery Electric Vehicle) nach Ablauf der Akku-Garantie (7 bis 15 Jahre, je nach Autohersteller) womöglich einen teuren Ersatz braucht. Für den die Autohersteller 8 bis 34 t Euro verlangen inkl Umbau. Falls es bis dahin überhaupt noch passende Ersatzteile gibt, was für seltene StartUp-Marken schonmal kritisch werden kann (siehe Fisker).

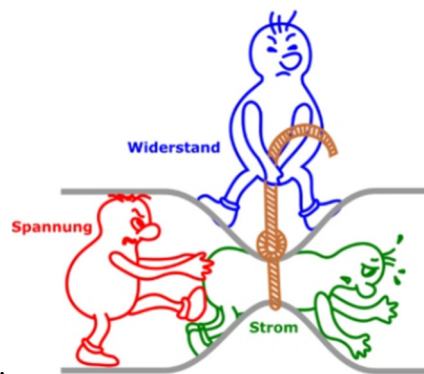
Nun, seit ca 15 Jahren fahren BEV mit Lithium-Zellen auf unseren Straßen, es gibt also bereits reale Langzeit-Erfahrungen, besonders mit den Akkus der BEV-Pioniere wie Tesla, Mitsubishi, BMW, Nissan, etc. Die hatten noch Lithium-Zellen drin, die bzgl der Verwendung im automobilen Verkehr recht wenig optimiert waren – Tesla verballhornte man damals, sie würden Notebook-Zellen verwenden. Und selbst diese Akkus haben meist die Garantiezeiten lange überlebt.

Gerade Tesla Model S we/urden, auch wegen der kundenfreundlichen Lademöglichkeiten, gerne und viel auf Langstrecken gefahren. So erreichen viele dieser Autos Laufstrecken von 500.000 km und mehr, bis ihre Fahrer mal einen nachlassenden Akku bemerken. Durch ihren modularen Aufbau kann man bei Reparaturen einzelne Teile des Akkus austauschen, was die Reparaturkosten deutlich reduziert gegenüber dem Tausch gegen einen kpl. neuen. Tesla bot im Laufe der Jahre zudem Akkus mit größerer Kapazität (=mehr Reichweite) und modernerer Zellchemie an, was die Haltbarkeit weiter verbesserte. Zudem spezialisierten sich Unternehmen, wie z.B. die EV-Clinic, darauf, die Akkus und weitere Verschleißteile zu günstigen Konditionen zu reparieren – nicht nur für Teslas. Insofern sind Zukunftsängste, den BEV eines Tages nicht mehr nutzen zu können, unberechtigt.

Diese Langzeitbetrachtungen zeigten aber auch auf, dass einzelne Autos viel kürzere Akku-Lebensdauern zeigten – manch andere sogar noch längere. Sprich: die Streuung war doch deutlich. Woran kann das liegen?

Nun, neben den verwendeten Materialien in den Zellen zeigten sich Abhängigkeiten vom Betrieb. Denn hohe Ströme beim Laden, aber auch beim Entladen, bewirken, je nach Innenwiderstand der Zellen, Temperaturerhöhungen. Da die Zellmaterialien sich bei 15 bis 40°C wohl fühlen, versucht man durch passende Ansteuerung im BMS (Battery Management System) die Temperaturen im optimalen Fenster zu halten. Erste BEV, wie der Nissan Leaf und VW Golf/Polo, hatten aber weder eine Akkuheizung, noch eine Akkukühlung, sie konnten falsche Nutzung nur verhindern, indem sie den Leistungsfluß reduzierten. Begriffe, wie „RapidGate“ tauchten auf und wurden von den BEV-Gegnern zum „bashen“ missbraucht. Gut konstruierte BEV, wie der BMW i3, hatten Fußbodenheizung, später sogar mit Wärmepumpe, und somit kaum Probleme. Es fahren heute noch viele i3 aus 2013/14 umher, deren Akku, auch mit Laufstrecken weit über 150000 km, noch >> 80% Restkapazität haben (beim i3 übrigens ohne Umstände direkt im Tachodisplay auszulesen, siehe mein Download).

Hier folgt, zum besseren Verständnis, ein kurzer Ausflug in die wirkende Physik:



Skizze von [physikdigital.de](http://physikdigital.de):

Spannung = U (in Volt),

Widerstand = R (in Ohm), Strom = I (in Ampere) - Ohm'sches Gesetz:  $U = R \times I$

Eine typische Lithiumzelle ist so aufgebaut, dass sie eine Nennspannung von 3,6V hat und eine bestimmte Strommenge abgeben kann. Eine 18650 Rundzelle, wie sie in den ersten Notebooks und Teslas war, kann ca 2600 mAh (milliAmpereStunden). Da Leistung ( $P$ ) =  $U \times I$  ist, leistet diese Zelle also  $3,6 \times 2600 = 9360$  mW (milliWatt). Schaltet man davon 96 Stück in Reihe, erhöht sich die Spannung zu  $96 \times 3,6 = 345$  V (DC = during current = Gleichspannung). Das ist die typische Ruhespannung eines „400V“ BEV-Akkus. Um eine Zelle zu laden, muß man mehr als die Ruhespannung von 3,6V (das rote Männlein oben) reindrücken. Die Beispielzelle muß mit bis zu 4,2 V geladen werden, sprich, der Akku aus 96 in Reihe (=serie), genannt 96S, wird mit ca 400VDC geladen. Verbraucht man dann deren Ladung im Fahrbetrieb, damit der E-Motor läuft, entlädt sie sich und meckert bei ca 3,1 V Zellspannung (=ca 300V Akkuspannung), dass sie demnächst leer sei und verlangt nach Nachladung. Hat man also 96 der obigen Rundzellen à 2,6Ah Kapazität in einem Akkupack, dann leistet der  $96 \times 9360$  mW, also ca 900W. Das ist nicht viel – damit könnte man gerade so die Autoheizung oder ein Pedelec betreiben. Daher verwendet man größere/stromstärkere Einzelzellen (BMW i3) oder viele 3,6V-Module, worin viele kleine Rundzellen parallel geschaltet sind (Tesla). Der letzte i3 hatte 120Ah-Zellen und folglich  $120 \times 3,6 = 432$  W Zelleistung und ( $\times 96$ ) 41,5 kW Nennleistung. Gedankenexperiment: zieht man aus diesem Akku dann 1 Stunde lang ständig 41,5 kW, dann isser nach 1 Std. leer. Sprich: seine Kapazität ist 41,5 kWh.

Es gibt einen imaginären Faktor, dessen Kenntnis hilft, die Akkubelastung abzuschätzen: „C“. Der hat den Wert 1, wenn die Zahl der Kapazität und die Zahl der Stromentnahme gleich ist. Sprich: wenn der BMW-Akku mit seinen 41,5 kWh mit genau 41,5 kW geladen oder auch entladen wird. Wird der C-Wert größer, bewirkt der Innenwiderstand in der Zelle (der blaue Kerl oben), dass sich die Zelle erwärmt. Man sieht oben, wie das grüne Männlein schwitzt. Der i3 ist so geregelt, dass er mit ca 50kW „Schnell“ laden kann, dabei liegt dann ein C-Wert von  $50/41,5=1,2$  an. Schaut man nun in das Datenblatt des Zellherstellers (in dem Fall Samsung SDI), kann man im Diagramm die Temperatur sehen, die in der Zelle wirkt: je höher das C und je länger, desto mehr Wärme sammelt sich an, falls sie nicht mittels äußerer Kühlung abgeführt wird. Lädt man seinen i3

zu Hause am Drehstrom, also mit 11kW, dann ist das C nur noch 0,26, was bei den meisten modernen Lithiumzellen auch ohne Kühlung gut verkraftet wird. Daher sind Hausakkus in PV-Anlagen nicht besonders gekühlt, denn dort bleibt man in der Regel unter 0,3.

Prima... dumm nur, dass man mit dem Auto fahren möchte. Der E-Motor des i3 hat eine Spitzenleistung von 125 kW, wenn man Vollgas bergauf fährt, zieht der die vollen 125 kW aus dem armen Akku, der dann mit  $C=3$  belastet wird. Das mag die verwendete Zellchemie Li-MNH (Lithium Mangan-Hydrid) nicht so gerne – und schon garnicht, wenn die Zelltemperatur unter 15 oder über 40°C liegt. Zur Erholung darf das Auto ja danach den Berg wieder runter. Nimmt man dann den Fuß vom Strompedal, dann rekuperiert der BNV mit 60 kW  $\rightarrow C=1,44$ . Und erhitzt sich weiter. Erholen (=abkühlen) kann er sich nur, wenn man die hin- oder her-wirkende Momentanleistung unter  $C=0,3 = 12,5$  kW hält, also sanft dahin-gleitet. Im Falle des BMW hilft dann aber die eingebaute FußbodenHeiz/Kühlung mit.

Was haben wir gelernt? Zu viel Hitze schadet der Akkuzelle und verkürzt ihre Lebensdauer. Sehr kalte Zellen mögen aber auch keine hohen Ströme: nach dem winterlichen Kaltstart des DraußenParkers sollte man Beschleunigungs-Orgien bergauf vermeiden. Das ist, wie beim alten Auto mit Verbrennermotor und kaltem (=zähem) Öl: den kriegt man mit dieser Betriebsweise „Kalttheizen“ ruck-zuck kaputt, was man am Ölverbrauch feststellen kann.

Was Lithiumzellen zudem nicht mögen, ist, wenn die Zellspannung lange (über Tage und Wochen) um 0,2 bis 0,3 V über oder unter der Nennspannung liegt. Einlagern tut man solche Zellen deshalb mit 30 bis 50% Ladung. Tiefentladen, also Zellspannungen von Li-NMC deutlich unter 3V, mag die Lithiumzelle überhaupt nicht. Das überlebt sie nicht lange. Andere Li.-Zellchemien zeigen ähnliche Empfindlichkeiten, teils bei anderen Nenn-Zellspannungen (LFP: 3,2V, LTO: 2,25V), vertragen aber teils deutlich höhere C-Werte, weil sie niedrigere  $R_i$  (Innenwiderstand) haben. LTO verträgt  $C=10$  ohne Probleme, ist aber deutlich größer und schwerer als NMC. Um hier schon vorzubeugen, regelt das BMS, dass die eingebaute Akku-Nenn-Kapazität nicht voll genutzt wird: meist sind bei Anzeige „Null“ noch 4 bis 10% drin und die „Voll=100%“ wird schon bei 92 – 96% angezeigt. So reduziert der Autohersteller bereits die vollen Ladehöhe. Ganz extrem macht das Toyota bei seiner 15-Jahresgarantie, da werden ganz schnell aus 70 kWh (brutto) nur noch nutzbare 55 kWh (netto). Klar, das schon den Akku wirklich.

Zur Lebensdauer von Batteriezellen wird angegeben, wie viele volle (0-100%) Lade/Entlade-Zyklen sie bis zu bestimmten Kapazitätsverlusten (meist auf 80%) bei bestimmten Temperaturen (um die 25°C) vertragen. Größenordnung von NMC und NCA: 800 bis 1000, LFP: 2500, LTO: 8000. Wenn man die vollen Kapazitäten seines Akkupacks aber nicht nutzt, sondern immer mind 10% drin lässt und selten über 90% auflädt, wenn man dauernd zu hohe oder auch zu niedrige Temperaturen meidet, dann streckt man diesen Wert. Praktisch kann man sich das anhand eines typischen BEV-Akkus

errechnen: Viele heutige Mittelklasse-PKW haben 60 kWh Akkukapazität und einen Verbrauch von 17 kWh/100km. Einmal kpl leer gefahren, sind das ca 350 km. Hält der Akku 1000 Vollzyklen, bis er unter 80% kommt, dann entspricht das 350.000 km. Beherzigt man die 3 beschriebenen Verhaltensweisen, dann verlängert man die Nutzungsdauer. Misshandelt man das arme Auto ständig, dann könnte sich das aber durchaus auch mal halbieren. Moderne BMZ sind allerdings so schlau, dass sie Missbrauch mittels Leistungsreduktion begrenzen. Das wird Manni Manta im Tesla Performance nerven, wenn der nun nicht mehr andauernd 250 km/h rennt, sondern sich zum Erkalten einbremst. Aber selbst Manni wird ja vielleicht irgendwann mal erwachsen.

Was man als Autonutzer\*in folglich beherzigen sollte:

- 1) Hohe C-Werte über mehrere Minuten meiden, was bedeutet, keine lange Autobahnstätze bzw auch keine langen Bergauffahrten mit schwerem Anhänger und auch allzu häufiges Ultra-Schellladen am HPC. Ob dabei den Akku 400V oder 800V Ladespannung hat, macht in dem Punkt keinen Unterschied.
- 2) Kein Kaltheizen, also Beschleunigungsorgien mit kaltem Akku. Wenn man im Winter den Auto-Innenraum vorheizt, wärmt das auch den Akku. So schont man sich und den Akku.
- 3) Tage/wochenlange Nichtnutzung des BEV mit Ladeständen unter 20% bzw über 80% SoC (State of Charge).

Beherzigt man das, dann überlebt der Akku wohl das Auto um Jahre.