

# Accu's in voertuigen 2016 door Lilith

Feiten, voordelen en nadelen van iemand die al decennia werkt met accu's. Een eerlijk en open onderwerp zonder eromheen te draaien. Werkelijke feiten over allerhande soorten accu's en techniek. Heb veel leesplezier {niet geschreven uit commerciële bronnen}. Zelf fiets ik al sinds 2006 elektrisch en daarbij run ik zelf een groothandel in accu's dus ik weet waar ik over praat. De informatie is geheel onpartijdig en zonder commercie.

## -Loodaccu als aandrijving

In de kinderschoenen had de elektrische fiets een set Loodaccu's aan boord voor de ondersteuning. In die tijd was Li-ion nog erg kostbaar en werd de elektrische fiets hip vanwege de lage prijzen en door goedkopere accu's en de assemblage in China. Ten eerste waren de Loodaccu's goedkoper, maar wel zwaar. Voor 360 wattuur gaf de weegschaal zo'n 12-13 kilo aan! In totaal wogen die fietsen toen tussen de 30-40 kilo. De te bereiden afstand was ongeveer 20-25 kilometer en mensen maakten daar gretig gebruik van omdat fietsen zonder ondersteuning toen nog erg zwaar was. Het herhaaldelijk leeg trekken van de Loodaccu's zorgden voor een korte levensduur (180-200 maal opladen voor vervanging). Dat kostte ongeveer 1 euro per lading aan slijtage als je voorzichtig was (en dit kost het nu nog, maar per lading kom je wel veel verder). Nu is een actieradius van 50-70 kilometer normaal met de moderne Lithiumaccu's. Weinig mensen dachten eraan om de Loodaccu's zo vaak als mogelijk op te laden zodat ze vaak lang ongeladen bleven staan in de schuur en tot ergernis van velen is de Loodaccu daar niet voor gemaakt. Veel mensen haakte af. De doorstart was horror. Lithium is duur en Lood goedkoop, maar per kilometer wel goedkoper vanwege het feit dat een Lithiumaccu zeer efficiënt is te ontladen in een relatief korte tijd. Loodaccu's zijn sneller aan vervanging toe zodat je uiteindelijk duurder uit was. Ook de spaken hadden door het hoge gewicht veel te lijden zodat de spaken soms knakte. Die 360 wattuur kun je alleen benutten als je de Loodaccu in een tijdbestek van 20 uur ontleed. Aangezien de fiets veel stroom trekt waren sommige mensen al na 20 kilometer uit gefietst en werd lekker fietsen ineens ploegen om thuis te komen.

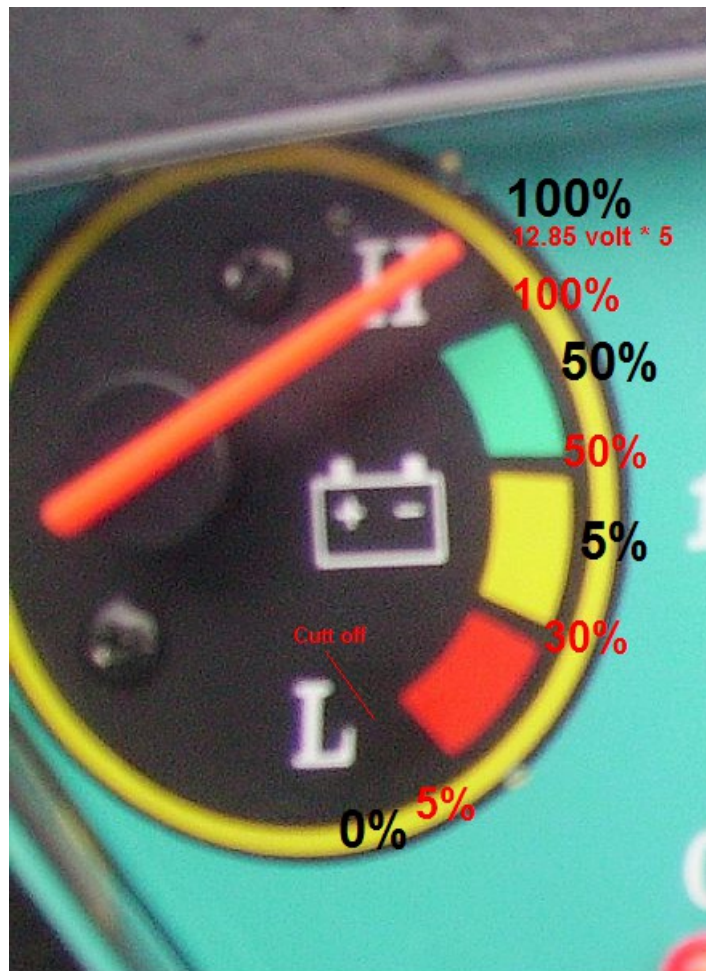
## De Easybike Cyclone 2006

actieradius 20-25 km  
36 volt 8 Ah Loodaccu  
35 kilo met accu's



Analoge 50 - 60 volt meter

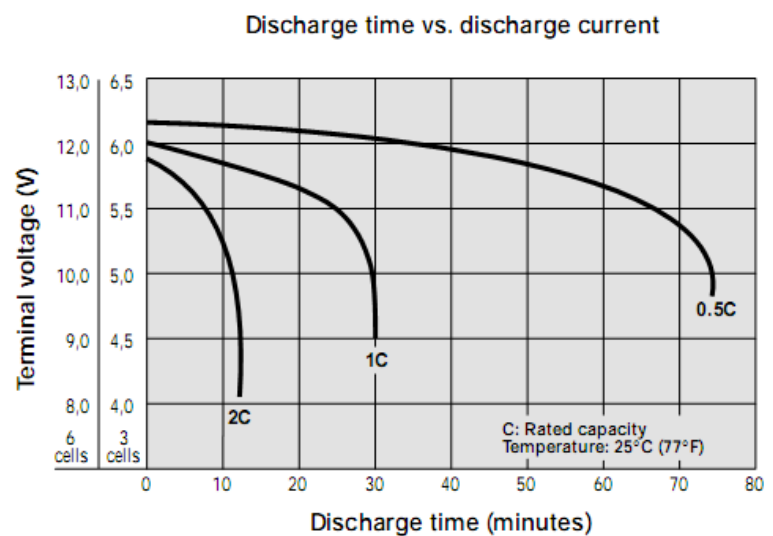
voor Loodaccu's (5 in serie).  
Geeft het voltage aan in rust  
en bij 1C aan vermogen.



**In zwart: klemspanning**  
**In rood: bij wegtrekken**

Gebruikersduur onder  
diverse belastingen van  
een Loodaccu. Hier gaat  
het om FIAMM-GS accu's  
welke een van de beste  
zijn. Echt efficiënt is het niet.

Fig. 3



Een oude bekende met het  
Nikkel-Cadmium blokje  
met direct drive op de  
ketting. Actieradius 15-25 km  
24 volt 5 Ah Nikkel-Cadmium of  
24 volt 7 Ah Nikkel-Metaalhybride  
28 kilo met accu's



De Nikkel-Cadmium accu's waren beter geschikt voor de elektrische fiets van toen. Je kon ze met een gerust hart tot op de bodem leeg rijden zonder schade, maar je moest ze ook helemaal leeg rijden voor het gewraakte geheugeneffect (als je te vaak ging laden nam de capaciteit snel af). De laders van deze fietsen kenden een 'refresh' functie. De lader ontladde dan eerst de accu voordat deze weer werd opgeladen. Kort erna kwamen de elektrische scooters met Loodaccu's in de winkel en dat was een hele stap voorwaarts en ook hier dook het nadeel op dat je maar een deel van de capaciteit kon benutten omdat je met een scooter de accu's binnen het uur kon leeg rijden. Dan haal je maar 50% van de lading en 50% aan warmte. De scooters zijn loodzwaar en buiten dat feit moesten ze ook jouw gewicht meetersen zodat je niet ver kon rijden op een lading (25-40 kilometer). Dan weer het verhaal dat een Loodaccu maar 200 keer geladen kan worden bij leegstand en 600 keer bij half ontladen, maar wie neemt de moeite om na 10 kilometer hem aan de lader te hangen? (onder het argument van "dat moet hij toch kunnen?"). Voor kleine ritjes is de loodaccu wel bedoeld. Voorin de stad voldeden ze prima, maar van het platte land naar de stad en weer terug was vaak teveel gevraagd van de accu's zodat ze vaak redelijk diep waren ontladen. Voor de aandrijving van een automobiel is de loodaccu volstrekt ongeschikt in elk opzicht.

Trolleys die pendelen op een besloten terrein werken juist het beste op Loodaccu's. De accu's die ik regel voor grote Trolleys zoals die op Coudewater bezitten een 750 kg zware Loodaccu (27 kWh) en worden elke nacht opgeladen (deze instructie gaf ik mee, maar het gebeurt dus niet altijd). Dit zie ik aan de hand van metingen.

-Afnemers Loodaccu's

Wie denkt dat de Loodaccu zijn tijd heeft gehad zit er goed naast. Vooral in de scheepvaart, medische centra en voor de caravan zijn ze geschikt. In de scheepvaart voor de ballast en de hoge tractie (starten motor, navigatie en radar). Deze accu's worden nooit diep ontladen omdat de accu's (net zoals in de auto) weer geladen worden zodra de motor loopt.

Medische centra zijn hele grote afnemers omdat een loodaccu zeer betrouwbaar is als ze voorzichtig worden behandeld. In ziekenhuizen worden ze 5 minuten zeer zwaar belast, maar dan is er nog 60% van de lading over en worden ze weer opgeladen. In het ziekenhuis worden de accu's aangesproken zodra de stroom uitvalt. De grote Loodaccu's nemen het

touw in handen en starten ook direct de dieselgenerator. Zodra deze generator na 3 a 4 minuten goed warm is gelopen neemt deze generator het over van de Loodaccu's en worden ze weer direct opgeladen. In die tussentijd is een bijzonder hoge tractie noodzakelijk. Een Loodaccu kan heel kortdurend een verschrikkelijk hoog vermogen afgeven waar Lithium nog een puntje aan kan zuigen, maar ze houden het slechts 5 minuten vol voor ze leeg zijn. In die tijd moet de dieselgenerator gereed zijn. Dat is 5 minuten maximaal na een stroomuitval. Een tractie van 30C is niet ongevoelbaar en we praten hier over 60.000 kilo aan Loodaccu's.

-Wanneer geen Loodaccu's en wanneer juist wel?

Een Loodaccu komt het beste tot zijn recht in toepassingen waar het mogelijk is om de accu in conditie te houden (regelmatig opladen en niet verder ontladen dan 50%). Niet bij toepassingen waarbij langdurig kracht nodig is en voor toepassingen die lang mee moeten gaan zonder tussenlading zoals bij een elektrische fiets of elektrische scooter. Een Loodaccu is wel de meest robuuste accu die er bestaat en in een ziekenhuis (op de poli) gebruiken ze geen Li-ion accu's vanwege het gevaar voor ontvlammen bij een te lage en te hoge lading. Dat kunnen ze daar helemaal niet gebruiken. Een Loodaccu is goed te meten en je weet met meten precies wat je nog over hebt en ze falen zo goed als nooit in bedrijf.

-Wanneer Lithiumaccu's?

Elk half jaar komen er weer betere Lithiumaccu's op de markt\*. Door hun lage gewicht en grote vermogensdichtheid (1 kilo Li-ion staat gelijk aan 5-8 kilo aan Loodaccu's). We nemen 5 soorten Li-ion accu's mee in de overweging.

*Soort legering	Term	Dichtheid
-Lithium Ijzer Fosfaat	LFP	100 wattuur per kilo
-Lithium Mangaan	LMO	130 wattuur per kilo
-Lithium Kolbalt	LCO	200 wattuur per kilo
-Lithium NMC (Nikkel-Mangaan-Kobalt)	NMC	220 wattuur per kilo!
-Lithium NCA (Nikkel-Kobalt-Aluminium)	NCA	260 wattuur per kilo!
-Loodaccu	SLA	40 wattuur per kilo
-Nikkel Cadmium	NCD	40 wattuur per kilo
-Nikkel Metaalhybride	NMH	60 wattuur per kilo

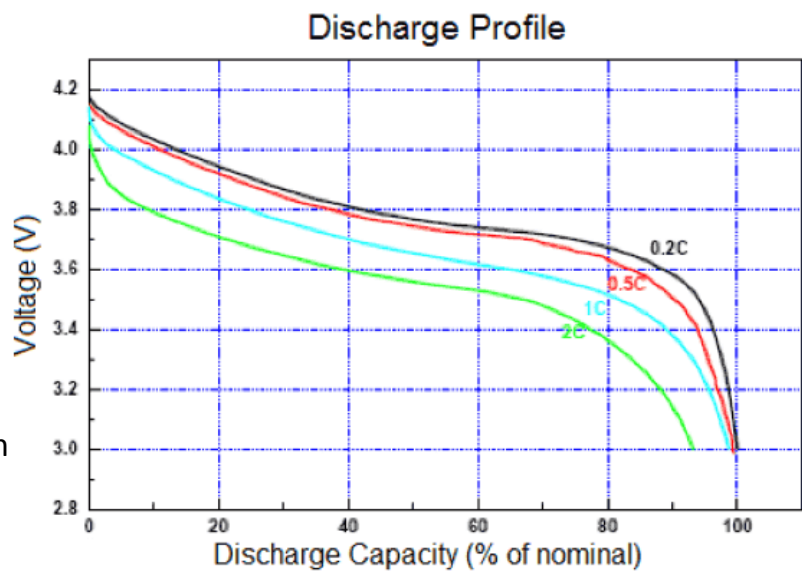
## De Lifebike Hybrid

actieradius 40-50 km  
26,5 volt 10 Ah LiFePo4  
Lithium accu van 2,8 kilo  
23 kilo met accu's



### Ontlaadcurve van powercellen

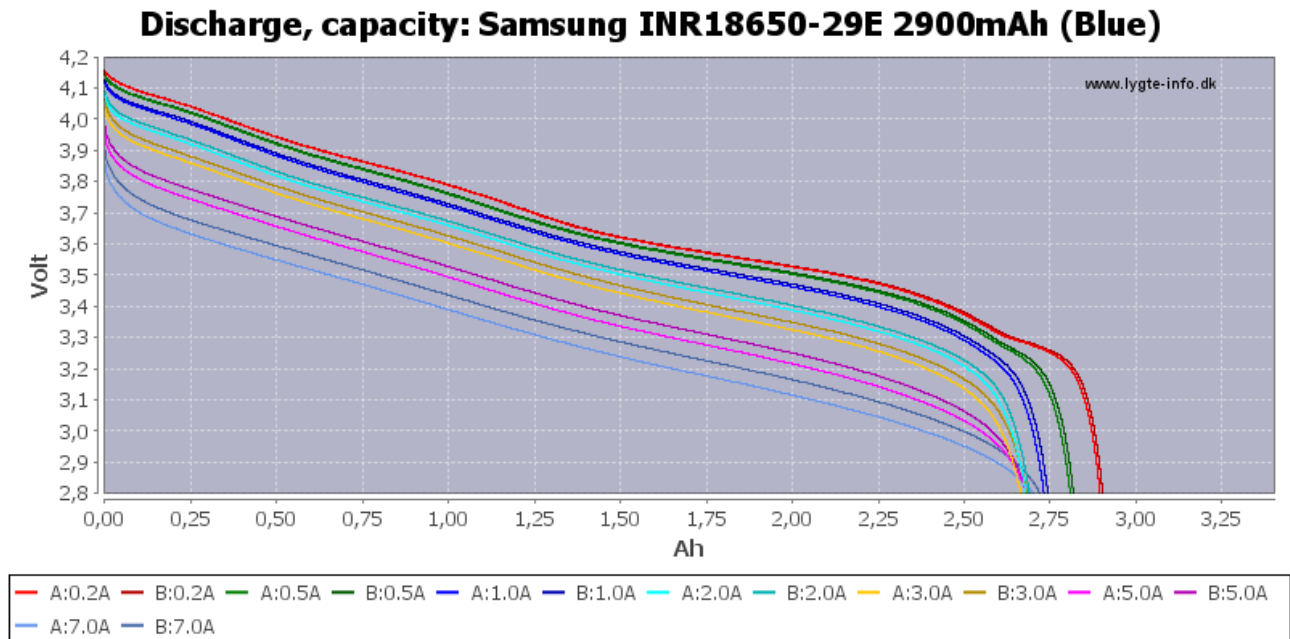
Powercellen zijn cellen die een groot reactief oppervlak bezitten. Er is dus minder elektrolyt aanwezig en ze kunnen met een hoge stroom ontladen worden. Voorbeelden zijn de LFP en LMO cellen. Het hoge ontladvermogen gaat ten koste van de capaciteit. Maar daar staat een lager verlies tegenover. De interne weerstand is dus heel laag.



Discharge: 3.0V cutoff at room temperature.



## Ontlaadcurve van energiecellen



Energiecellen zijn cellen die veel elektrolyt bevatten en een kleiner reactief oppervlak hebben. Deze cellen kunnen niet met een grote stroom ontladen worden. Deze cellen zijn geschikt voor elektrische fietsen en niet voor power tools zoals accuboormachines. Hier een ontladcurve van een typische energiecel zoals de LCO, NMC en NCA cellen. Het voltage daalt ten alle tijde bij ontladen en heeft geen platte curve. De interne weerstand is dus hoger, maar ze kunnen echt heel wat stroom kwijt per kilo. Hier gaat hem om een Samsung 2900 mAh cel van 3.6 volt en weegt 48 gram.

Ook heeft de Lithiumaccu nauwelijks last van energieverlies onder zware belastingen. Je hebt er meer in huis dan je zelf denkt. (laptop, smartphone, elektrische tandenborstel, je elektrische fiets of elektrische scooter). De fabricage is niet erg moeilijk en ze leveren een hoge stroom totdat ze echt bijna leeg zijn. Pas in de laatste 2% van de lading neemt het voltage steeds vlugger af en moet je ze direct opladen of de ondersteuning uitschakelen. Doe je dit niet dan zorgt de beveiliging dat stroomafname gestaakt wordt en moet je ze laten resetten bij een speciaalzaak. Als ze echt 100% leeg zijn kun je ze niet meer laden en te lang laden is ook weer niet goed, dus is Lithium dan wel veilig?

Ja, de elektronica is zeer strikt en als dat niet zo zou zijn zouden we ze niet in huis hebben. Ze kunnen 500 keer opgeladen worden en let even op: ik bedoel 500 volledige ladingen van 1% naar 99%. Of 1500 maal oplaadbaar bij een restvermogen van 50%. Je mag ze ongestraft even tussendoor bijladen om thuis te komen of om naar muziek te luisteren op je smartphone. Een kwartiertje laden om 1 uur muziek te luisteren kan absoluut geen kwaad. Elektrische fietsen met een Li-ion accu (Li-ion is de afkorting van Lithium Ion) kun je onderweg gewoon bijladen of als je een lange tocht gaat maken even {snel} helemaal vol laden. Een hele cyclus duurt 3 uur of je nu met geweld gaat laden of langzaam. Bij te snel laden worden ze warm en bij langzaam laden (5 uur durende lading) blijven ze koel en gaan ze langer mee. Die hitte is niet goed want dan slijten ze veel sneller. Langzaam laden en

langzaam ontladen (fietsen in de laagste ondersteuning) zal zeker bevorderlijk zijn voor de levensduur van de accu. Bij ruig gebruik gaan ze zo'n 2 jaar mee en bij goed gebruik makkelijk 3 jaar (scheelt zomaar een extra vol jaar op de levensduur). Li-ion heeft een lage interne weerstand, maar bij mishandeling worden ze net zo goed kokend heet en geven ze er snel de brui aan. Langzaam laden en langzaam ontladen is het meest ideaal samen met een koele omgeving. Een gemiddelde Li-ion fiets kan 50 kilometer halen op een enkele lading en als je 16 km/h fietst doe je er 3 uur over en dat is langzaam ontladen. Altijd fietsen in de hoogste stand scheelt ook op de levensduur. Je smartphone over de nacht laden kan geen kwaad. Zodra de cel vol is stopt de elektronica met laden en verbruikt alleen de stand-by stand stroom van de lader. Het lang bewaren van een Li-ion accu is ook niet goed want een Li-ion accu vindt het fijn om gebruikt te worden en zo blijven ze ook wat beter in conditie.

-Wat kun je verwachten van een Loodaccu en wat van Lithium accu's?

Van een loodaccu mag je betrouwbaarheid verwachten. Li-ion is meer geschikt voor apparaten die langdurig zonder tussenlading mee moeten (smartphone, tablet, elektrische fiets of scooter). De energiedichtheid is het geheim van Li-ion accu's. In een kilo past veel energie (tot wel 260 wattuur per kilo) en deze is ook geheel beschikbaar. In een kilo loodaccu kun je maar 40 watt/h kwijt en daarbij het verschil dat je geen grote verliezen hebt bij belasting.

-Actieradius Lood- en Lithiumaccu bepalen

Hoe bepaal je hoe ver je kunt komen op een set loodaccu's en hoe bepaal je hoe ver je kunt komen op Lithiumaccu's? Hoe houd je rekening met de accu en wat is de beste afstand tussen te zwaar belasten en levensduur?

De ECO-Lectric 909 (2007)

Actieradius 20-35 km

60 volt 18 Ah AGM Loodaccu van 36 kilo.

105 kilo schoon aan de haak



Wat verbruikt een scooter aan stroom?

Bij loodaccu's is dit moeilijk te bepalen. Het is vaak zo dat de eerste 30% ontlading net zoveel energie kan leveren als de laatste 70%. Dus bij een ontlading van 30% ben je al op de helft van je actieradius. (bij zware belasting) Dit komt omdat naarmate de Loodaccu ontladen wordt er meer interne weerstand komt. De laatste 30% levert net zoveel stroom als de eerste 6%. Daarmee zijn ze min of meer ongeschikt om lange stukken te rijden op Loodaccu's. Het kan wel, maar dan is je pakket na 1 jaar wel op sterven na dood. Het beste is om de Loodaccu te meten onderweg. Als we uit gaan van 5 accu's in serie is het zo:

66 volt klemspanning is 100% geladen.

63 volt klemspanning is 70% lading (de helft qua kilometers)

60 volt klemspanning is 10%. Ofwel bijna leeg.

Per accu is dat respectievelijk

13,2 volt bij 100%

12,6 volt bij 70%

12,0 volt als ondergrens.

Dit geldt voor AGM accu's (absorbing glass mat). Voor Gelaccu's is dit voltage iets lager en bij natte Loodaccu's nog iets lager. Dat je met 70% restlading nog maar de helft van je kilometers hebt komt door het hoge vermogen wat een scooter gebruikt en met name accelereren is ploegen voor de accu's. Het beste zou zijn om de accu's al bij 30% ontlading weer op te laden om er lang plezier van te hebben, maar in de praktijk is dit nauwelijks haalbaar omdat de actieradius niet zo groot is (20-40 kilometer gemiddeld). Bij Lithiumaccu's is dit anders. Je mag de Lithiumaccu leegtrekken zonder nadelige gevolgen. Doe je dit structureel dan zijn ze zo'n 500 keer oplaadbaar. Als je elke dag zou moeten opladen dan zul je na 15 maanden merken dat de Lithiumaccu minder gaat presteren. Vaak laadt men een Lithiumaccu niet elke dag op. Ze hebben een levensduur van ongeveer 3 jaar bij juist gebruik of 1 a 2 jaar bij ruig gebruik (ontladen >1C). Ook hitte is niet fijn voor Lithiumaccu's. Wat is dan wel goed? Een Lithium-ion accu ontbind meteen na fabricage, dat is een feit en bij de LiFePo4 accu langzamer dan de gangbare Lithium Mangaanoxide. Dit proces duurt ongeveer 3 a 5 jaar na productiedatum aler ze niet meer te gebruiken zijn. Bij een volledig opgeladen accu gaat dit sneller dan bij een deels ontladen accu. Precies andersom dan bij Loodaccu's het geval is. Loodaccu's zouden het liefst volgeladen door het leven gaan. Dat is de reden dat je een Lithiumaccu niet elke dag hoeft op te laden. Ze hoeven niet vol te zijn om lang mee te gaan. Het elke dag laden is niet nodig en het is zelfs beter om de Lithiumaccu eens in de zoveel dagen te laden als ze bijna leeg zijn. Alleen bij zeer intensief gebruik is het wel aanbevolen om elke dag de Lithiumaccu te laden, maar dan zou het beter zijn om een groter accupak te kiezen die het makkelijker af kan. Als je niet elke dag gaat laden zullen ze langer meegaan omdat inactief materiaal in een Lithiumaccu niet verval. Des te lager de potentie tussen de polen (staat van lading) des te langzamer ze ontbinden en hier moet je rekening mee houden. Overmaats is altijd beter. Het zal dan langer duren eer de grens is bereikt dat ze versleten zijn. Een grote reservecapaciteit is duur, maar betaald zich dik en dubbel terug.



Voorbeeld: mijn elektrische fiets kan makkelijk 70 kilometer halen op een enkele lading, maar dat fiets ik niet per dag en volstaat het in mijn geval om ze wekelijks te laden. Zou je 4 jaar nemen als levensduur dan kan ik ze 210 keer laden voor de 4 jaar om is en ze slechter gaan presteren (210 weken). Eigenlijk gebruik ik ze dan te weinig! Aangezien mijn elektrische fiets NMC accu's aan boord heeft die rond de 4 jaar oud kunnen worden zijn dit 210 wekelijkse ladingen. Ik bedoel dat de Lithiumaccu veel kan hebben. Een beetje smartphone moet om de dag geladen worden (eens per 2 dagen) en 500 ladingen zijn dan bijna 3 jaar, dus je kunt gemiddeld 2 dagen doen met een volle lading eer je ze gaat opladen. (meest ideaal). LiFePo4 kan 2000 maal herladen worden (80% van cyclus) of 4000 keer wanneer de ze op de helft zijnen worden geladen (geen warmteprobleem). Het gaan laden bij 50% restlading is het meest ideaal, maar ondanks je ze dan de meeste keren kunt opladen zullen ze eerder slechter worden dan die 3 jaar omdat de potentie dan altijd hoog blijft. In medische settings is dit niet van belang omdat ze die accu's elk jaar vervangen en er een reserve moet zijn voor noodsituaties. Dan is het laden bij 50% restlading de juiste manier. Voor een elektrische fiets maakt dat niet zo veel uit. Je hoeft ze niet elke nacht aan de lader te laten staan en dit is eerder slecht dan goed. Bij correct gebruik is de Lithiumaccu een fijne accu die veel kan hebben en die krachtig blijft tot de laatste 2%. Ook de temperatuur is van belang. In een koele omgeving ontbinden ze minder snel dan bij 60 graden Celsius (in de zon bij hoog zomer). Dus zorg ervoor om de Lithiumaccu zoveel mogelijk uit de zon te houden. Bij 60 graden is het na 4 maanden aardig over en rond het vriespunt ongeveer 6 jaar! ondanks ze iets minder presteren. Dus is het beter om ze gewoon te gebruiken totdat ze bijna leeg zijn om ze dan langzaam en zorgvuldig op te laden. Even tussendoor laden mag ook want er is geen chemisch geheugeneffect zoals bij Nikkel Cadmium.

Een Lithiumaccu is in verre staat van ontbinding als je minder dan 50% van de capaciteit kunt benutten bij een omgevingstemperatuur van 20 graden Celsius. Dan zal het snel over zijn en wordt het gevaarlijk in verband met ontvlammen. Vaak merk je dat bij het laden. Ze worden ineens heet terwijl dat nooit eerder aan de orde is geweest of je merkt dat je actieradius wel erg snel afneemt.

Ontvlammen?! Als de cellen zodanig versleten zijn laad de oplader met dezelfde stroom dan bij een gezonde cel. Is de restcapaciteit nog maar 50% dan wordt de laadstroom over een steeds kleiner actief oppervlak verdeeld en worden ze warm. Dat is nu precies de reden dat een oude accu sneller klaar is met laden. Slijten ze verder tot 25% capaciteit over dan krijgt het overgebleven actief oppervlak alle laadstroom over zich heen en dit is hetzelfde als een kleine accu opladen met een lader die geschikt is voor een grote accu. Het recept voor fout gaan. Vandaar dat een overmaats accupakket de voorkeur verdient. Stop met het opladen als de accu echt warm begint te worden en laat ze nakijken. Als de accu echt al op leeftijd is betekend warm worden bij het laden dat deze versleten is. Hoe zuinig je er ook mee omgaat; ooit komt dit moment. Maar je kunt er zelf veel aan doen om het moment van executie uit te stellen. Lees dan vooral verder.

-De Lithiumaccu in de zomer

Veel Lithiumaccu's leggen juist in hoogzomer het loodje. Dit komt omdat ze dan warm zijn en blijven. Bij 60 graden in de volle zon vervalt de accu van 100% naar 60% in slechts 3 maanden! De verloren capaciteit krijg je niet meer terug en is definitief. Dit gaat erg snel wanneer je de elektrische fiets of scooter in de volle zon laat staan. Een fietstas beschermt de accu niet afdoende want warmte gaat er dwars doorheen.

Hoe voorkom je overmatige slijtage?

Door de Lithiumaccu eigenlijk niet helemaal vol te laden. Als het warm is:

(juni-juli-augustus) laad de Lithiumaccu dan niet voller dan 80% of laad ze wel helemaal vol direct voor gebruik. Dan zullen ze veel langer meegaan (levensduur) dan als je hem volgeladen wegzet en er niet naar omkijkt. Volledig geladen wegzetten is uit den boze; speciaal met warm weer!

Let wel even op: het is niet altijd goed om de cellen gedeeltelijk op te laden.

*Soms (eens per 10x laden) is een volledige lading goed voor de cellen. Dan hebben ze de tijd om te balanceren. Laat ze dan gerust een volle nacht aan de oplader staan. Als het echt warm is (en ook als het niet warm is) is het slim om de Lithiumaccu helemaal vol te laden vlak voordat je een rit moet maken. Als je dan terug bent laad dan de accu pas op wanneer deze bijna leeg is. Dan zijn ze gebalanceerd en dezelfde dag nog deels ontladen.*

Met bijna leeg bedoel ik een restlading van 20%. Dit voorkomt dat de zwakste cel te leeg raakt en dat het BMS deze cel ontkoppeld. Vandaar dat een grote Lithiumaccu met genoeg capaciteit de voorkeur verdient. De accu mag gerust over meerdere dagen leeg gereden worden. Zoals vaker gezegd; ga niet tot het naadje.

Let ook op dit: sommige merken houden het aantal oplaadbeurten bij en zeggen na 500 keer herladen dat de accu op is. Als je de accu altijd goed ontleed (voorkom een lading van beneden de 20%) kun je meer kilometer halen uit die 500 keer. Als je beneden de 20% komt wat op zich niet erg is laad de accu dan direct op na gebruik en zet ze niet leeg weg. Je zult hier zelf een geschikte manier voor moeten weten te vinden.

Een lading van tussen de 80% en 20% is het meest ideaal. Probeer daar zo vaak als mogelijk in te zitten door met beleid om te gaan met de accu.

Battery Temperature	Permanent capacity loss when stored at 40% state-of-charge (recommended storage charge level)	Permanent capacity loss when stored at 100% state-of-charge (typical user charge level)
0°C	2% loss in 1 year; 98% remaining	6% loss in 1 year; 94% remaining
25°C	4% loss in 1 year; 96% remaining	20% loss in 1 year; 80% remaining
40°C	15% loss in 1 year; 85% remaining	35% loss in 1 year; 65% remaining
60°C	25% loss in 1 year 75%; remaining	40% loss in 3 months



Hoe ziet een Lithiumcel eruit? Hierboven staan er 2. Dit zijn 18650 cellen. De 18 staat voor de diameter in millimeters en de 65 voor de lengte in millimeters. De 0 staat voor cilindrisch. Hier een NMC cel van 3,6 volt en 2900 mAh van 48 gram. Dit is dus 10,44 wattuur per cel. 10 van deze cellen in serie en 5 cellen parallel (10s5p) geeft een capaciteit van 522 wattuur. Het formaat van een flinke fietsaccu. Panasonic en Samsung zijn de grootste leveranciers van deze cellen. Panasonic heeft ook NCA cellen. NMC en NCA gaan een glorieuze toekomst tegemoet want de hoge energiedichtheid staan garant voor uren fietsplezier met een lange adem. Alleen mogen deze cellen niet sneller ontladen worden dan 0,5C (ontlading in 2 uur) want dan worden ze warm en gaat de leeftijd achteruit. Raar genoeg betekent dit dat je niet in hoogste ondersteuning moet blijven fietsen. Een lagere ondersteuning is veel beter al zou je zeggen dat je met zo'n vermogen de ondersteuning juist open gaat gooien. Met nieuwe cellen zal dat geen probleem zijn, maar met het ouder worden is dit sterk af te raden. Daarom geef ik de vuistregel aan om een tandje lager te gaan in ondersteuning. Bij een bijna lege cel kan de spanningsval zo ver gaan dat het BMS de cellen gaat ontkoppelen terwijl ze verder prima in orde zijn. Na het uitzetten en weer aanzetten kun je verder, maar als dit gebeurt wordt het tijd om ze te gaan opladen. Om dit haarfijn uit te leggen moet ik hele moeilijke formules gaan neerzetten en deze tekst moet voor een breed publiek te begrijpen blijven.

Het komt er simpel gezegd op neer dat de interne weerstand zo hoog gaat worden dat het voltage door de regelaar in de fiets te ver daalt en om dat te compenseren gaat de controller meer ampère vragen en dan gaat dit van kwaad tot erger. De zwakste cel wordt ontkoppeld en je moet ze dan zo snel als mogelijk een hele nacht opladen omdat zulke vermogens de cellen iets uit balans kan krijgen. Dat is het gevaar van de hoogste ondersteuning blijven gebruiken terwijl de accu al ver is ontladen. Ook wordt de controller zeer warm in deze condities.

*“Als jij heel moe bent ren je ook niet graag op je snelst.”*

-Ontlaadstroom (Peukerteffect) van Loodaccu's ten opzichte van Lithiumaccu's  
Bij een Loodaccu is het bekend dat ze warmte produceren bij de opname van energie. Dit heeft te maken met het elektrolyt in de accu. Een Loodaccu heeft een langzame chemische reactie en daarom geven ze de capaciteit op bij een ontlading over 20 uur. Aangezien een elektrisch voertuig veel stroom trekt kan de Loodaccu dat moeilijk bijhouden en worden ze warm. Deze warmte is puur verlies; en als Loodaccu's in serie staan geschakeld en dicht tegen elkaar aanstaan kan de temperatuur in de cellen vlug de 70 graden halen en slijten ze enorm hard. Dit omdat een elektrische scooter de accu binnen het uur kan leeg trekken. Dan meteen gaan laden maakt ze nog heter en er kan een thermal runaway plaatsvinden (het lood zakt letterlijk uit het raster naar beneden). Als een thermal runaway heeft plaatsgevonden merk je dat zeer vlug en een thermal runaway gebeurt eigenlijk alleen als je vol gas geeft en de accu's continue op de bodem leeg trekt. In de laatste 30% van de lading neemt die kans onevenredig toe. Je merkt het bij het laden dat de accu gaat gassen en aan de volgende rit. Waarom haal ik nu maar ineens de helft van de kilometers?? Dan wederom laden en meer cellen geven er de brui aan en bij een thermal runaway zijn ze afgeschreven. Lithiumaccu's kennen ook een thermal runaway die gevaarlijker is. Als een cel warmer wordt dan 150 graden gaan ze gassen en bij Lithiumaccu's kan dit brand tot gevolg hebben, maar dit gebeurt alleen bij onzorgvuldig gebruik.

Omdat Lithiumaccu's vol zitten met elektronica kan er ook schade voorkomen worden. Een warme cel is sneller vol omdat deze ook minder ontladen is bij aanvang laden en de elektronica stopt met het laden van die ene cel terwijl de rest doorgaat met laden (juist goed). Bij Loodaccu's is die elektronica er niet en sterven ze een vlotte dood door structureel te warm laden en onbalans. Lithiumaccu's worden bij elke laadbeurt geijkt en er is weinig tot geen onbalans omdat elke cel apart in de gaten wordt gehouden. Ook kan Lithium een veel snellere ontlading aan en dat maakt ze geschikt in elektrische voertuigen.

Lithium Polymeer kent de hoogste stroomafgifte en Lithium-Ijzer-Fosfaat de laagste, maar nog altijd meer dan Loodaccu's. Li-Po kan goed tegen koude, maar LiFePo4 veel minder en dat is te merken aan de inwendige weerstand. Beide hebben hun voor- en nadelen en LiFePo4 kun je vaker opladen dan Li-Po cellen. Om de prijs van het voertuig op een acceptabel niveau te houden worden vaak de klassieke LiFePo4 cellen gebruikt. Je kunt ze vaak herladen en ze ontvlammen niet bij leegstand of overladen, maar er past maar 90-120 watt/h in een enkele kilo. Lithium Polymeer kan 200 watt/h kwijt in een enkele kilo, maar de prijs per kilometer is ook hoger. Een accu bestaat uit een serie cellen. Bij een Loodaccu zitten er per accu 6 cellen in serie en bij Lithiumaccu's is dit aan te passen naar behoefte en zijn de cellen apart gekoppeld aan een beveiligingssysteem. Deze zorgt ervoor dat je zo lang als mogelijk plezier hebt van het pakket. Eigenlijk spreken we in vakjargon over een 'batterij' aan cellen.

*Li-Po is een term die staat voor gelaagde accu's die plat zijn en niet cilindrisch. Het zijn in feite LCO accu's met een elektrolyt in gel. Ze kunnen een hoog vermogen leveren, maar dit gaat wel ten koste van de levensduur. Li-Po wordt vaak gebruikt in de modelbouw.*

Eigenlijk zeggen de Belgen het goed met “batterij” in plaats van “accu”.

-De Lithium Ijzer Fosfaat accu

Om deze accu in te delen kennen we meer variaties zoals de Titaan LiFePo4 accu en de Yttrium (scheikundige naam) LiFePo4 accu. Deze zijn nog aardig prijzig en daarom is de klassieke LiFePo4 betaalbaar en gaat lang mee. De klassieke LiFePo4 accu heeft wat minpunten en pluspunten vergeleken met de standaard Lithium-Ion accu zoals die van je laptop en smartphone.

Eerst de nadelen:

- Heeft een zekere interne weerstand en bij hoge belasting worden ze erg warm en dat is verloren capaciteit. Dit is niet te vergelijken met een Loodaccu, we spreken bij 1C (ontladen in 1 uur) van een verlies van 9% in tegenstelling van de 50% die een loodaccu verliest.
- In de winter presteren ze nog maar 60-70% en dit is geen blijvende vermindering. In de lente als het buiten warmer wordt zal ook de LiFePo4 beter uit de verf komen.
- Meer geschikt voor elektrische fietsen en voor een elektrische scooter als de belasting niet groter is dan 1C. Dus een scooter van 3 kW heeft een pakket nodig van 3 kWh. Bij Lithium Polymeer (LCO) hoeft dit niet en ze hebben geen last van koude, maar ze kosten per kilometer netto het dubbele! Edoch Li-Po zeker zijn voordelen heeft (zie later).

Dan de voordelen:

- Ze kunnen 2000 maal geladen worden en dat is gelijk aan 6 jaar dagelijks opladen.
- Ze kunnen 5-8 jaar oud worden en deze accu overleeft je fiets, kostenbesparing! Eenmaal aangeschaft is het kopen van een nieuwe accu niet waarschijnlijk.
- Ze ontbranden NIET bij volledige ontlading en ploffen niet uit elkaar bij overlading. Het in huis opladen is geheel veilig. Ze zijn zeer robuust.
- Per kilo gelijk aan 3 kilo's aan Loodaccu en daarbij hebben ze minder verliezen.
- Goedkoop als je weet waar je moet zijn (groothandel). Ongeveer 0,75 euro per Wh, dus 200 euro voor een 265 Wh accupak. Voor Lithium Polymeer betaal je meer en zijn na 3 jaar al aardig versleten.

De moderne variaties van LiFePo4 (LFP) zijn zeer zuiver en vegen de stoep aan met de genoemde nadelen. Deze accu is zeer geschikt voor toepassingen die lang mee moeten gaan. Helaas is de energiedichtheid het laagst van alle Lithiumvarianten. Je hebt dus meer kilo's aan accu nodig voor dezelfde capaciteit.

-Het verloren type accu: Nikkel Metaalhybride (NMH)

Deze accu's gedragen zich als een Loodaccu. Echter is de energiedichtheid wel het dubbele, namelijk 60Wh per kilo vergeleken met de 40 Wh per kilo voor de Loodaccu. Aangezien de prijs/prestatie verhouding is LiFePo4 goedkoper. Ook heb je het nadeel dat er erg veel cellen in serie moeten staan omdat de klemspanning slechts 1,2 volt is per cel. Als ingenieur werk ik niet veel met NiMH accu's in elektrische voertuigen. De Lithium varianten doen het veel beter en de klemspanning is van 3,3 volt per cel tot 3,7 volt (3 NiMH cellen in serie tegen 1 Lithiumcel!).

NiMH accu's vind je nog terug in de eerste serie Toyota Prius Hybrid. Het voordeel dat hier speelt is dat ze goed kunnen tegen sterk wisselende vermogensopnames.



-De Speed Elektrische fiets, het nieuwe fenomeen.

De speedbike zoals ik deze noem heeft zeer specifieke voor- en nadelen. Deze fietsen zijn ontworpen om 45 km/h te kunnen halen. Daarvoor hebben deze fietsen een 350 watt of zelfs 500 watt motor. Het voordeel is de snelheid. Langere afstanden woon- en werkverkeer worden beter haalbaar. Echter zit er aan deze fietsen een groot nadeel en dat is de accu. Anders dan op een reguliere elektrische fiets worden de accu's veel zwaarder belast. Op de hoogste stand is een actieradius van ongeveer 25 kilometer mogelijk met een 400 wattuur accupak. Hierbij trap je de accu's binnen het uur leeg. Dit is voor Lithium een behoorlijke opgave waardoor ze warm worden en veel sneller slijten. Vaak werken deze accu's op het randje van hun specificaties. Het nadeel van de opname van zulke stromen is dat de interne weerstand omhoog schiet. Deze accu's gaan dan ook korter mee dan de accu's op een reguliere elektrische fiets. Zeker als mensen op een speedbike de ondersteuning vol open zetten en ze de accu's diep ontladen met een hoge stroom. Een accu van 800 wattuur of meer is dan veel beter en veel geschikter voor deze fietsen. Voor elke soort Lithiumaccu is een ontlading van meer dan 1C niet bevorderlijk voor de levensduur. Sommige cellen zijn hiervoor gemaakt, maar dat heeft ook zijn keerzijde. Als je de accu dan moet bijladen op het werk en 's-avonds thuis maak je 2 cycli op 1 werkdag. Dat betekent als we de accu 500x kunnen herladen dat je na 250 werkdagen aardig door de levensduur heen bent. Een grotere accu is dan zeker de moeite waard om in te investeren.

De Strömer ST2 heeft dan ook een grote accu aan boord. De prijs van 6 mille is er dan ook naar. Andere speedbikes hebben voor het doel een veel te kleine accu aan boord. Bezuinigen op deze kosten kost uiteindelijk meer.

-Nadeel gewicht van Loodaccu's

Een scooter op Loodaccu's is 3 keer zo duur rijden als op een elektrische fiets. De kosten van verkoop kunt U aftrekken bij TOC. Na 3-5 jaar is een fiets of scooter op stroom aardig versleten. Nieuwe accu komt eraan en wat ongemakken.

Waarom gaat een scooter op Lithiumaccu's langer mee dan een scooter op Loodaccu's? Een scooter op Loodaccu's weegt veel meer en een set nieuwe Loodaccu's kost best veel vanwege de kortere levensduur. Leuk voor in de stad, maar een scooter op Lithiumaccu's is ten eerste lichter in gewicht en heeft een betere wegligging. Het gewicht is een aspect en omdat Loodaccu's niet echt geschikt zijn voor in een elektrische scooter. Je bespaart belasting. Als je 40 kilo aan Loodaccu's wilt ombouwen naar Li-Po dan ben je met 6 kilo aan Li-Po klaar, met LiFePo4 ben je met 13 kilo klaar (altijd nog 27 kilo verschil!). Optrekken gaat dan ook merkbaar sneller en sturen vlotter. Het is logisch dat de lagers meer te lijden krijgen met dat gewicht. Remmen moeten zwaarder zijn dan ze nu zijn. Trommelremmen voldoen eigenlijk niet. Alleen een scooter op Loodaccu's weegt al gauw in totaal 110 kilo of meer. Breng je dat terug naar 80 kilo dan heeft het geheel minder te lijden. (kortere remweg). Daarbij kom je op Lithiumaccu's veel verder door minder totaalgewicht én het feit dat een kilo Lithiumaccu veel meer energie vast kan houden dan een Loodaccu. En het derde voordeel is de ontlad-efficiëntie die bij een Lithiumaccu met weinig verlies gebeurt. Een elektrische scooter op Loodaccu's zal maar 50% kunnen benutten omdat ze de accu behoorlijk diep ontladen. Daarbij gaat 50% om naar warmte(verlies). Met hetzelfde vermogen aan Lithiumaccu's gelijk aan de Loodaccu kom je bijna 2-3x zo ver. Rijden op Li-Po kan goedkoper door ze op maat te bouwen. Daarom is de meerprijs van een elektrische scooter op Lithium zeker het overwegen waard ondanks de hogere aanschafprijs. In de winter is Li-Po heer en meester en de Loodaccu zwak.

-Hoe ver kan ik dan met mijn accu?

Deel dan het wattage van de accu door 7 en je zit redelijk goed:

( bijvoorbeeld 240 wattuur is dus  $240 / 7 = 34$  kilometer ). 7 wattuur per kilometer is normaal in de middenstand en in real-life gebruik. Als je de fiets alles laat doen kost dat meer stroom natuurlijk. Laat je ze volstaan dan zal de accu zeker 20% aan capaciteit per jaar inboeten. Laad je de fiets niet elke dag op dan zal de slijtage ook minder zijn. Wind tegen gebruik je meer en wind mee bespaard. We nemen 7 wattuur als gemiddelde uitgespreid over algeheel gebruik. Sommige redden het makkelijk met 5 wattuur per kilometer (lichte ondersteuning en zelf behoorlijk meewerken) tot 15 a 20 wattuur per kilometer (wind tegen en ondersteuning op maximale stand). Ook rekenen we mee dat veruit de meeste mensen hun banden niet op goede spanning hebben staan.

Dan bereken we ook de factor in de winter. Elke graad lager dan 20 graden is 1% verlies. Dus bij 0 graden heb je 80% van de capaciteit beschikbaar. Niet dat het opgenomen vermogen hoger is, maar dat er iets meer interne weerstand komt door een tragere chemische reactie. Dit kan totaal geen kwaad zolang je een Lithiumaccu maar nooit gaat opladen beneden de 0 graden. Zodra het buiten warmer wordt neemt ook de actieradius weer toe. Voorbeeld: In mijn geval laad ik de fiets pas op in de nacht voordat ik ga fietsen. Na het fietsen is de lading beneden de 80% en gebruik ik de accu totdat deze bijna leeg is. Dan pas laad ik hem weer op. Ik laad hem niet op als ik de fiets een paar dagen niet zal gebruiken. In dit geval verlies ik ongeveer 10% per jaar aan capaciteit. Dat betekent dat de maximale actieradius elk jaar zeker 10% zal afnemen. Als je de fiets dag en nacht aan de lader laat staan is dit verlies al 20% per jaar. Dus is het duurder rijden. Ook om dien redenen zal een fabrikant (die wil omzet draaien) je aanbevelen de fiets altijd aan de lader te houden. Nou, dat raad ik je echt af ondanks ze anders zeggen. Volg je het advies van de fabrikant op dan verlies je 20% per jaar aan capaciteit en is de accu na 2,5 jaar aardig heen. Houd je het een beetje zelf in de gaten dan zou je ineens zo'n 4 a 5 jaar met diezelfde accu kunnen doen. Dat scheelt toch een flinke pot met duiten.

-Waarom bewaren tussen de 20% en 80%?

*Cellen die beneden de 20% lading komen hebben een andere onhebbelijkheid: zelfontlading! Hoe dicht bij de 0% hoe minder zelfontlading er kan zijn (marge) voordat diepteontlading om de hoek komt kijken (de dood van elke cel). Ook gaat zich dan een SEI vormen (Solid Electrolyte Interface). Dit betekent dat zich Lithiumzouten gaan afzetten op de anode (het grafiet) uit het elektrolyt. Daardoor stijgt de interne weerstand voorgoed. Boven de 80% geladen wegzetten heeft een ander nadeel dat de kathode (de legeringen) als het ware gaan roesten. Het proces van laden en ontladen is een redoxreactie en een exotherm proces.*

-Te snel laden

*Wie de cellen te snel oplaadt zoals snelladers doen krijgt een nadeel: zelfontlading! Dit komt omdat zich dendrieten gaan vormen. Deze 'kristallen' die zich vormen in het elektrolyt kunnen door de isolator heen boren. Dan krijg je kortsluiting. Zelfontlading is een soort kortsluiting, maar dan op hele kleine schaal. Het opladen moet minimaal 3 uur duren en het beste is een laadstroom van 0,18C (opladen in ruim 5 uur). Te snel laden zoals boven de 1C opladen (binnen het uur) kan de cel voorgoed beschadigen. In het begin merk je dit niet, maar door de hoge zelfontlading die ontstaat kan definitieve schade ontstaan. De cellen zullen dan zo snel zelfontladen dat opslag onmogelijk wordt.*

Werkblad voor Lithiumaccu's:

Bij elke graad kouder dan 20 graden gaat er 1% aan capaciteit verloren.

( ... wattuur gedeeld door 7 is de capaciteit bij 20 graden met een nieuwe accu )

( ... wattuur gedeeld door 7 maal 0,8 bij 0 graden en maal 0,95 bij 15 graden )

( ... wattuur gedeeld door 7 maal 0,75 bij 25% verlies bij 20 graden )

Bij 240 wattuur met 75% restvermogen bij 10 graden buiten wordt de formule zo:

( 240 wattuur gedeeld door 7 maal 0,75 maal 0,9 (10 graden) = 23 kilometer )

Bij een accu van 360 wattuur die 80% restvermogen heeft en bij 20 graden buiten:

( 360 wattuur gedeeld door 7 maal 0,8 (20% verlies) maal 1 (20 graden) = 41 kilometer )

Bij een accu van 500 wattuur die 90% restvermogen heeft en bij 0 graden buiten:

( 500 wattuur gedeeld door 7 maal 0,9 (10% verlies) maal 0,8 (0 graden) = 51 kilometer )

Bij dezelfde accu in de zomer wordt de formule zo:

( 500 wattuur gedeeld door 7 maal 0,9 (10% verlies) maal 1 (20 graden) = 64 kilometer )

Het verschil tussen de winter en de zomer is 51 tegen 64 kilometer. Dat is 13 kilometer verschil in actieradius bij een 500 wattuur accu. Deze daling is slechts tijdelijk.

Waarom we rekenen met 90% restvermogen ligt aan het feit dat Lithiumaccu's slijten zodra ze uit de fabriek komen. Door de tijdelijke opslag van de cellen voordat ze in jouw bezit komen is een verlies van 10% heel normaal. 100% zul je echt nooit halen.

Is 64 kilometer met een 500 wattuur accu niet wat weinig? Nee, zeker niet. Er zijn zoveel factoren die de actieradius beïnvloeden dat hier geen pijn op te trekken is. Omdat ik uitga van 7 wattuur per kilometer zit ik zoals de praktijk betaamt heel close. Zeker bij fietsen met een voorwielmotor is dit verbruik vrij algemeen. Zeker in de koudere maanden haal je die waarde sneller dan in de zomer tijdens een lekker rustig fietstochtje. Bij rustig fietsen in een lage ondersteuning kan die 7 worden vervangen door 5.

*Zoals sommige elektrisch fietsen een luie bezigheid noemen is de elektrische fiets een ideaal vervoersmiddel om ouderen en om mensen die verder weg wonen van hun werk juist in beweging te krijgen. Al is de inspanning niet te vergelijken met gewoon fietsen, het is een vorm van bewegen waar mensen plezier in hebben en elke vorm van extra beweging is goed.*



-Li-Po in het heden

De toepassingen waarin Li-ion wordt toegepast nemen gestaag toe. In elektrische voertuigen is de toepassing heel breed. In kleinere apparaten zoals een laptop, tablet en smartphone is Li-Po door zijn hoge energiedichtheid juist wel aanwezig. Ook heeft dit te maken dat Li-Po cellen heel plat en dun kunnen zijn. Ze zijn dus 'kneedbaar' in bijna elke vorm. Ook is de stroomafgifte van Li-Po erg hoog door de minimale interne weerstand. Voor Li-Po accu's is het des te belangrijker om ze bewust te gebruiken. Een laptop heeft er zeker baad bij als je regelmatig op de accu werkt. Hem aan het net laten hangen is zeker af te raden. Aan het net blijven de accu's continue op 100% geladen met het nadeel dat het binnenin een laptop flink warm kan worden. Des te sneller vervallen de cellen en na dik 2 jaar is het helemaal gedaan. Gebruik je de laptop regelmatig op de accu dan zullen ze fitter blijven. Elk apparaat dat op Li-Po cellen werkt dient te beschikken over een zeer goed BMS en een zeer streng cut-off systeem. Warmte en volledig geladen blijven is een regelrechte nachtmerrie voor Li-Po cellen. Ook Li-ion kan daar niet tegen. Kijk maar naar een gemiddelde smartphone anno 2015. De meeste redden tegenwoordig nog niet eens een hele dag (social media, apps, etc.). In de nacht ligt de plug van de lader al klaar om de smartphone aan de prik te hangen. Daarbij worden ze vaak warm (broekzak) en intensief gebruikt. Houd er rekening mee dat die cellen binnen 2 jaar zijn afgeschreven. Dit is niet zo erg omdat die cellen niet duur zijn. Bij een elektrische fiets of bij een elektrische scooter zijn de kosten voor een nieuw accupack enorm hoog. Een prijs van een fietsaccu kan al snel boven de €500 uit komen. Het is logisch om daar zo zuinig als mogelijk mee om te gaan. Dit werkstuk geeft je daar de handvatten voor.

Bedankt voor het lezen van mijn werkstuk. Ik hoop dat je wat mee kunt.  
Laat het me even weten.

*->Er kunnen misschien wat onvolkomenheden inzitten, maar dit werkstuk is niet voor wetenschappelijke doeleinden geschreven. Formules en moeilijke termen heb ik zo veel als mogelijk weggelaten. Als je echt zeer diepgaand informatie wilt over accu's in voertuigen dan kun je me mailen op mijn FAQ mail: [jimh307@yahoo.com](mailto:jimh307@yahoo.com)*