

## Deel 2: Precieze Praktijk

### Project zelfbouw accubak voor blokvormige cellen

#### Eigenschappen

##### Elektrisch geleidend:

Door het doorlopend bewegen van een voertuig of vaartuig komt het schavielen van kabels, stagen, schoten en leidingen veel voor. Is een accubak van metaal, dan bestaat de mogelijkheid dat de isolatie van een kabel door schavielen defect raakt en er door het contact van de aders met de metalen accubak kortsluiting ontstaat. Aangezien de stroomsterkte bij kortsluiting zeer hoog zal zijn is de kans op brand evenredig groot. Een metalen, elektrisch geleidende accubak heeft geen voorkeur en moet worden voorzien van (kunststof) kabelwartels voor doorvoer van leidingen.

##### Ventilerend:

Door ventilatie wordt verhoging van de temperatuur in de accubak tegen gegaan. Bij hoge laadvermogens en grote vermogensafname worden cellen warm en zonder ventilatie kan dat **te** warm zijn.

Bij temperaturen boven de 70°C zal het elektrolyt van vloeistof totaal overgaan in gas. Dit gas kan via een pop-off worden afgeblazen en in de accubak ophopen. Dit gas is bij LFP-cellen onbrandbaar, maar ongezond. Binnen het temperatuurbereik van 0 tot 50°C zal een LFP cel geen gas afblazen. Het afvoeren van warmte van de cellen kan door het gebruik van aluminium 'radiatoren' (aluminium plaat) tussen elke cel. De radiator platen moeten dan 25mm boven de cellen uitsteken.

##### Mechanisch sterk:

De accu of cellen in de accubak zijn zwaar en vaak doorlopend aan trilling onderhevig. De accubak moet voldoende stevig zijn om de inhoud veilig op zijn plaats te houden zonder dat er door verschuiven kortsluiting kan ontstaan.

##### Onbrandbaar of brandvertragend:

Omdat LFP cellen geen brandbaar elektrolyt bevatten is het niet nodig om ze in een onbrandbare of brandvertragende behuizing te plaatsen. Bij een thermal runaway is er van brandvertraging geen sprake omdat dan de temperatuur in de cel tot 700°C kan komen en de boot of andersoortig voertuig geheel zal verbranden.

##### Te gebruiken materialen:

Trespa volkern is temperatuur bestendig tot 1200°C en vormt een goede keuze voor het maken van een accubak. De versie van 6mm dikte is sterk genoeg voor de zijwanden en deksel van de bak. De

bodem van de bak kan van 12mm dik Trespa worden gemaakt zodat de zijwanden met machine schroeven M4 rondom tegen de dikke bodem kunnen worden geschroefd. De machineschroeven kunnen worden getapt in de 12mm bodem (denk om de tap, deze snijden soms moeizaam in Trespa en dan kunnen ze afbreken, zie de resten dan maar weer uit het Trespa te krijgen!)

Deze constructievorm is ook te gebruiken bij 6 en 18mm multiplex, zei het dat je dan houtschroeven in plaats van machineschroeven moet gebruiken. MS Polymer kit lijmt en



Trespa accubak voor 4 50Ah LFP pouch-cellen en RvS M8 Accupolen binnen de omtrek van de bak (witte dopjes). Voorin de bak zit de elektronica voor het laden en voor de onderspanning bescherming. De keuze van de kleuren is die zoals gebruikt door de Stijlgroep. (Mondriaan cs)

kit tegelijk en levert een waterdichte verbinding op.



Het is ook mogelijk een kunststof installatie behuizing te gebruiken als accubak. Je kunt dan een geheel mobiele elektrische installatie maken die uitgerust is met zware connectors voor hoge stroomsterkten. Het voordeel is dat je dan de accu met lader, monitoring en al uit de boot kunt nemen en vrij bent in waar je de accu laadt.

Installatie behuizingen zijn meestal van slagvast ABS en 'spatwaterdicht'. Werk je netjes en voer je de kabels via kabelwartels naar buiten dan kun je het niveau van 'spatwaterdicht' bereiken.

### Plaatsing van cellen in een accubak

Er zijn verschillende behuizingen van LFP cellen, de meest kwetsbare zijn de 'pouches'. Omdat hierbij een aansluiting aan de lip van een pouch moet worden gemonteerd. De pouch is dicht 'geseald' en de 'pouch' is kwetsbaar en kan worden geperforeerd waarbij het elektrolyt vervliegt. De cel is dan kapot.

Er zijn celbehuizingen van diep getrokken aluminium waarin de pouches met busbars voor de min en de plus aansluiting worden vast gekit. De aluminium behuizing is vormvaster dan alleen een pouch maar de aluminium behuizing gaat bij een drukopbouw snel 'bol' staan. De aluminium behuizing wordt meestal 'ingepakt' in een kunststoffolie en dit vormt een elektrische isolatie. Die isolatie is niet erg stevig en bij een verbinding tussen de plus of de min van de cel en de aluminium behuizing kan de behuizing spanning voerend zijn. Bij perforatie van de folie en een brug naar een metalen accubak kan er kortsluiting ontstaan met de daaraan verbonden problemen als zelfontlading van een of meer cellen in de accubak. Om de cellen tegen de gevolgen van perforatie van de folie te beschermen heeft het de voorkeur de accubak van elektrisch isolerend materiaal te maken. Er zijn siliconen 'bakmatten' (1,5mm dikke siliconen vellen) en zij zijn elektrisch isolerend maar thermisch redelijk goed geleidend. Dit vormt een goede elektrische scheiding tussen de cellen in een aluminium behuizing onderling en een elektrische scheiding met de metalen accubak. Tevens voorkomt het siliconenrubber dat de cellen in de metalen accubak gaan rammelen en zo de folie isolatie kapot stoten.

Er zijn celbehuizingen van glasvezel versterkt kunststof. Deze behuizingen zijn brandwerend en bestand tegen temperaturen van meer dan 400°C. Deze cellen kunnen in een frame worden geplaatst en hebben dan geen gesloten accubak. De ventilatie door de omgevingslucht zorgt dat de cellen worden gekoeld. Bij plaatsing in een dichte accubak geeft de geribbelde buitenkant enige ruimte voor luchtstroming in de accubak. De cellen met een kunststof behuizing kunnen 'koud' tegen elkaar en de wand van de accubak worden geplaatst. Ook deze cellen gaan bij hoge temperaturen door overlading en overbelasting 'bol' staan. Het is mogelijk ze dan meer 'ruimte te geven' en die ruimte op te vullen met een siliconen vel tegen rammelen.

### Compressie van LFP cellen

Waarom?

Omdat de blokvormige cellen anders bol gaan staan.

Nou en?

Bij een bol staande cel zal het elektrolyt naar het deel van de behuizing zakken waar deze het breedst is en het meeste volume kan opnemen. Dan komen de 'platen' aan de bovenkant 'droog' te staan en neemt de celcapaciteit af, want het bovenste deel van de cel werkt dan niet meer. Doe eens een



Houten accubak met 4 70Ah LFP cellen

kopje water in een plastic zak en houdt de zak vast aan de bovenkant... Het water blijft dan in de onderkant van de zak staan. De plastic zak bolt naar de zijkanten uit. Beperk je het uit bollen, dan zakt het niveau van het water minder ver naar beneden. Bij een cel daalt de capaciteit minder omdat meer oppervlakte van de plaat 'onder het elektrolyt blijft'. Temperatuurverhoging geeft aanleiding tot ongelijkmatige celcapaciteit en vormt een onbalans tussen de cellen van de accu.

Is dat erg dan? Dat hangt af van je laad systeem. Laadt je de cellen in serie met een 'constant current' systeem, dan wordt niet geladen op basis van de celspanning, maar van de stroom. Een accu waarvan alle cellen identiek zijn en in serie staan, zal dan bij het laden worden gebalanceerd. Is er een cel tussen met een ander elektrolyt niveau, dan heeft die cel ook een afwijkende capaciteit (meestal iets lager) en zal de celspanning bij laden gaan afwijken. Dan maak je met het laden onbalans en zal de cel met de iets kleinere capaciteit eerder vol zijn en de celspanning komt dan sneller boven de 3,45V en dan begint de 'Lithium Plating'.

Waar gaan cellen bol van staan? Dat gebeurt door warm worden van de laadstroom en ontladstroom. Deze ontwikkelt warmte in de inwendige weerstand en daardoor verdampt het elektrolyt. Dit verdampen zorgt voor meer druk in de cel waarvan uiteindelijk de cel bol gaat staan. Dit is te voorkomen door de cellen met een lagere stroom te laden en ontladen.

Een andere manier is te voorkomen dat de cellen overladen worden, want bij overladen neemt de temperatuur van de cel snel toe. Soms is een hoge ontlad stroom niet te voorkomen als je met een EV 'tegen de bult op' moet. Soms is een hoge laadstroom niet te voorkomen als je met een EV 'de bult af' moet.

Het vaarwater ligt meestal waterpas en pieken in de laad of ontladstroom komen niet voor op basis van 'heuvel op' en 'heuvel af' varen. Het laten vallen van het anker levert meestal geen laadstroom op door het aandrijven van de liermotor. Het binnenhalen van het anker kan wel een grote ontladstroom opleveren en kan een grote ontwikkeling van warmte in de accucellen geven, vooral als het anker bij het lichten achter een rotsblok vast klemt. Een 'stroombeperker' is dan aangewezen. Door de cellen van de accu in een beperkte ruimte te klemmen en zelfs actief een 'voor druk' te geven voorkom je dat de cellen opbollen als zich in de cel druk ontwikkelt. Het volume in de cel blijft dan gelijk en de aansluitingen van de platen aan de accupolen komen niet onder spanning door vervorming van de platen of de separator.

Door de 'voor druk' zal de druk in de cel wel snel toenemen... De cel kan geen volume vergroting krijgen en daardoor neemt de druk toe (Wet van Boyle - Gay Lussac). Indien de pop-off van de cel opent en gas afblaast is de cel wel net zo kapot als door vervorming van de platen door druk. Het is niet te zeggen dat door het aanbrengen van 'voor druk' de cel langer zal leven. Er is geadviseerd de cellen samen te klemmen om een goede verdeling van het elektrolyt in de cel te bewerkstelligen. Dit is alleen nuttig bij 'pouch' cellen, zij vervormen bij drukverhoging aanzienlijk.

## Soorten cel behuizingen

Er zijn

pouch-cellen (lijken op een verpakking van gemalen koffie met lucht erin)

staafcellen (lijken op een staafbatterij zoals AAA tot D batterijen)

blokcellen (in aluminium 'bak')

blokcellen (in kunststof behuizing)

Pouch-cellen zijn het meest kwetsbaar. De soepele kunststof zak met aluminium coating kan makkelijk lek raken en dan verdampt het elektrolyt en de cel is kapot. Het volume van (en in) de 'pouch' is niet constant en kan door 'opbollen' worden vergroot.

Staaftcellen zijn het meest robuust. De gebogen wanden verdragen een hogere druk dan de vlakke wanden van een blokcel. Het volume van de staaftcel is constant, ook bij een hogere druk.

Een cilinder heeft grote Volume:Oppervlak verhouding. De thermische weerstand naar de buitenlucht is hoog. Een staaftcel koelt slecht af.

De 'platen' van een staaftcel worden als een rol in de pouch en dan in een cilindervormige behuizing geschoven. Dit draagt bij aan de robuustheid van de cel.

Naast of bij de (+)pool is een opening die werkt als een pop-off.

Blokcellen in een aluminium bak zijn gevoelig voor een verhoging van de druk, zij zullen dan opbollen en vervormen. Meestal is er geen duidelijke 'pop-off' en bij overdruk spuit het elektrolyt uit de kunststof pouch langs aluminium wand naar buiten.

Door de aluminium wand van de cel kan deze wel makkelijker afkoelen, de thermische weerstand van celkern naar buitenlucht is de laagste van alle celvormen.

Blokcellen in een kunststof behuizing zullen bij druk ook opbollen. Zij kennen daardoor geen vast volume. Bij overschrijding van de drukgrens van de 'pop-off' opent deze en 'blaast' het elektrolyt uit de cel.

De thermische weerstand tussen de cel en de buitenlucht is het hoogst van alle behuizingen met daarnaast een robuuste bouwvorm.

### **Toepassen van 'voordruk'**

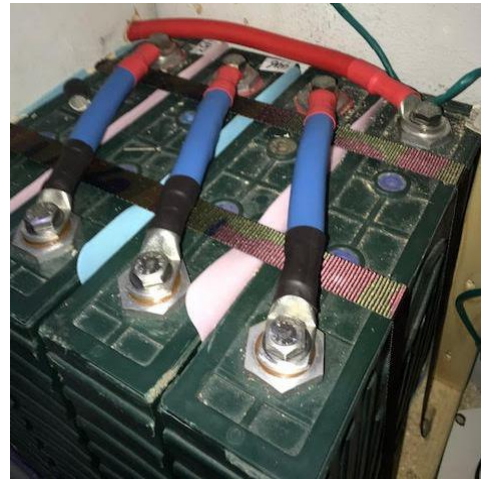
Dit heeft geen effect bij staaftcellen. De cilindervorm van de behuizing zal zich zowel verzetten tegen uitbollen als tegen inkrimpen, het volume van de cel in de cilinder blijft in grote mate constant bij drukverhoging.

Bij een pouch-cel kan 'voordruk' alleen worden gegeven door wanden van metaal of kunststof met een veer tegen de cel te drukken. Hierdoor kan het elektrolyt niet door een opbolling 'naar onderen' zakken. Zou de pouch in een ruimte met een vast volume worden geplaatst, dan zal het elektrolyt een vaste hoogte in de pouch innemen en zal er geen capaciteitsverandering optreden door niveau veranderingen van het elektrolyt in de cel. Het toepassen van een dynamische wandconstructie met een voordruk, lijkt zeker elegant, maar verliest het tegen de constructie van een staaftcel in eenvoud en robuustheid.

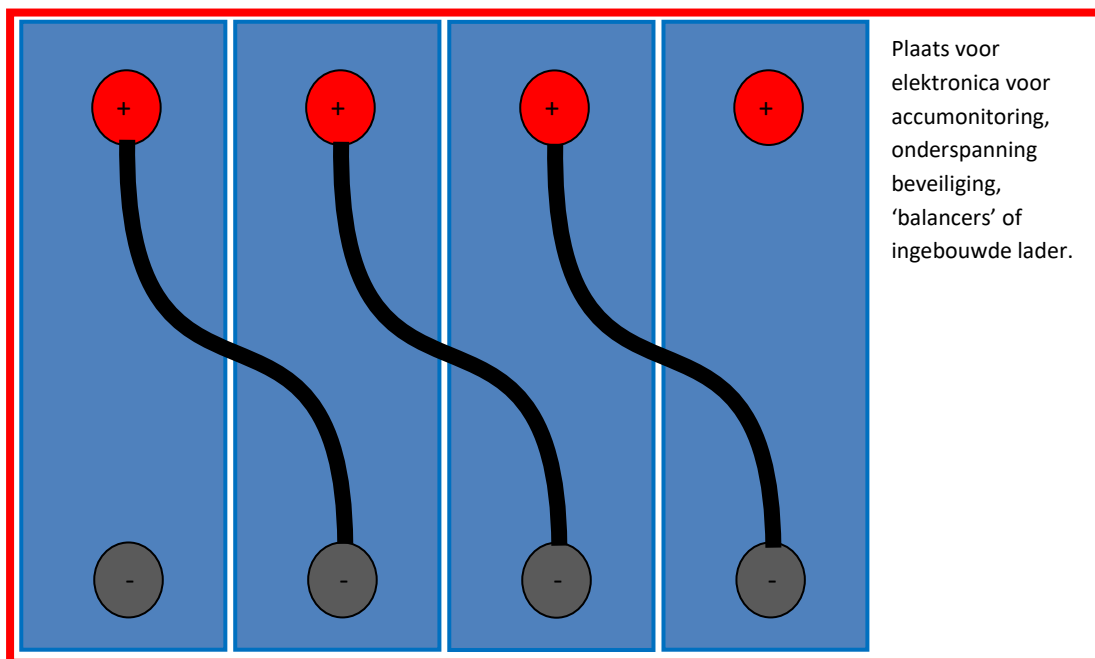
Bij een pouch-cel in aluminium behuizingen en glasvezel versterkte kunststof behuizingen is een dynamische wand met voordruk niet effectief. Bij toename van de druk in de cel door verwarming, waarbij de cel niet kan uitzetten tegen de voordruk in, is het enige dat wordt bereikt een sneller openen van de afblaasopening of pop-off.

## Indeling en aansluiting van cellen in een accubak

Het is mogelijk de cellen 'om en om' in de accubak te plaatsen. De celpolen worden dan met een koper of aluminium strip doorverbonden. Een dergelijke strip moet dan een boogje hebben om 'rek en krimp' op te vangen bij temperatuurwisseling van de cellen. Dit geeft de laagste weerstand voor de accu door de kortste aansluitingen. Een andere mogelijkheid is de cellen 'naast elkaar' te zetten (Plus celpolen aan dezelfde kant en Min celpolen aan de 'overkant') en de Plus en de Min pool met een stuk kabel te verbinden zodat er meer ruimte voor het 'uitzetten' van de cellen ontstaat, zonder dat er tractie op de celpolen komt.



Bij het monteren van een 6mm Trespa deksel kunnen in de deksel standaard DIN – ISO accupolen worden gemonteerd. Dan lijkt het geheel op een 'gewone' accu en wordt het mogelijk dat de accu wordt verwisseld met een loodaccu en dan zal de LFP accu kapot gaan. Bij het opnemen van 2 M8 RvS slotbouten als accupolen in de zijwand of in de Trespa deksel is het duidelijk dat de 'gewone' accupool klemmen niet passen en is een vergissing onwaarschijnlijker (maar nooit onmogelijk).



Bij het bouwen van de accubak moet je wel secuur de maten opnemen van de cellen voordat de wanden en de bodem aan elkaar worden gezet.

Trespa volkern is sterk maar ook zwaar. De grootste panelen zijn de bodem, de deksel en de zijwanden. Zij kunnen het best van 6mm Trespa worden gemaakt. De kleinste panelen zijn 'de kop en de kont', zij kunnen van 12mm Trespa worden gemaakt zodat de dunne panelen, na tappen, met verzonken M4 machineschroeven kunnen worden gemonteerd. Dit geeft aan de buitenkant een mooie vlakke accubak.

Ik geef zelf de voorkeur aan M8 x 40 RvS slotbouten die dan door de 12mm 'kopwand' worden gestoken. De aansluitingen van de + en de – pool worden met gevorkte kabelschoen aangesloten (vanwege het 'slot van de bout'). Heb je geen goed formaat gevorkte kabelschoen kunnen vinden, dan wordt het zagen en vijlen om de kabelschoen pas te maken. Gebruik een M8 RvS 'carrosserie ring' (met een vierkant gevild gat) tussen de kabelschoen en de Trespa wand om de kabelschoen op te steunen. Op de buitenzijde zet je de slotbout vast met een RvS M8 moer.

Leg op die moer weer een carrosserie ring.

De kabel naar de installatie wordt met een M8 kabelschoen en een gewone M8 RvS ring op de slotbout bevestigd. Dat kan met een RvS M8 vleugelmoer, een M8 dopmoer of een gewone M8 moer. RvS heeft een overeenkomstige 'pitting voltage' met koper, het optreden van elektrolytische corrosie is niet waarschijnlijk, maar niet onmogelijk (vanwege gelijkstroom!). Je kunt de aansluitingen invetten met een onbrandbaar, waterbestendig, isolerend vet zoals sanitair vet of siliconevet. Of het 'rode accupoolvet' onbrandbaar is, heb ik niet onderzocht.

### **Bronnen:**

#### **Phenomenological Swelling Model of Battery Module**

KTH Master Thesis Report

Abhiram Lakshmipuram Govindaraj

#### **Investigation on Battery Swelling:**

Understanding Pad Degradation through Mechanical and Thermal Insights for Enhanced Prediction Modeling

Rezki Meidiono

In deze studies is niet aangegeven of de gebruikte cellen LFP-cellen zijn (er wordt gesproken over Li-ion cellen).

Uit de gebruikte laadspanningen voor de cellen binnen de onderzoeken zou kunnen worden geconcludeerd dat het onderzoek of studie is uitgevoerd met LiCoMn cellen (er wordt een laadspanning van 4V aangegeven en er wordt een onbelaste celspanning van 3,7V aangegeven). In dat geval zijn conclusies in de onderzoeken niet valide bij LFP cellen.

De onderzoeksmethodiek is wel interessant.