

WHITEPAPER DE BASIS VAN BATTERIJTECHNOLOGIE

Met de wereldwijde elektrificatie van voertuigen neemt de belangstelling en vraag naar batterijen enorm toe. Toch zijn er in deze snelgroeiende markt nog veel misverstanden over de achterliggende batterijtechnologie. Doordat de meeste EV-kennis gebaseerd is op de auto-industrie, zijn er nog de nodige aannames als het gaat om elektrische bussen. In deze whitepaper nemen we je daarom mee in de werking en technologie achter batterijen.

Eerst bespreken we de verschillende **soorten batterijen** die geschikt zijn voor de auto-industrie, waarna één van die soorten, lithium-ion batterijen, verder wordt toegelicht. Met de opgedane kennis over **lithium-ion batterijen** zoomen we in op de technologie achter **LFP** en **NMC**. Met deze basiskennis van **batterijcellen** in het achterhoofd, behandelen we hoe deze cellen worden omgezet in een module en van een **module** in een **pack**.

Vervolgens gaan we kort in op de werking van deze packs, hoe de laadtoestand wordt berekend en hoe ze worden bewaakt met een battery management system (BMS) in het voertuig.

BATTERIJ TYPES

Laten we beginnen bij het begin: wat is een batterij precies? Een batterij is in feite een container die bestaat uit één of meer cellen voor het omzetten van energie in elektriciteit en het opslaan van energie. Er zijn drie primaire batterijtypes die voor elektrische voertuigen worden gebruikt. Dat zijn loodzuur-, nikkelmetaalhydride- (NiMH) en lithium-ionbatterijen.

LOODBATTERIJEN

Loodbatterijen staan bekend om hun lange levensduur. Ze zijn doorgaans goedkoop en tegelijkertijd bijzonder duurzaam en betrouwbaar. Een bijkomend voordeel: loodbatterijen vergen weinig onderhoud. Een nadeel is echter hun gevoeligheid voor sterke ontlading, wat betekent dat de accu eenvoudig kan beschadigen. Om dat te voorkomen is het advies om loodbatterijen altijd voor minimaal 20 procent opgeladen te houden.

NIKKEL-METAALHYDRIDE BATTERIJEN (NiMH)

Nikkel-metaalhydride batterijen zijn accu's met een vrij specifieke energiedichtheid en vermogen. Ze hebben als groot voordeel dat hun levensduur een stuk langer is in vergelijking met loodaccu's en bovendien zijn ze zeer veilig in gebruik. Om deze reden worden NiMH-accu's dan ook op grote schaal gebruikt in voertuigen. Een groot nadeel van nikkel-metaalhydride accu's zijn de hoge kosten, het feit dat ze een stuk zwaarder zijn dan andere accu's, evenals de grote zelfontlading en warmteontwikkeling bij hoge buitentemperaturen en de noodzaak om waterstofverlies voortdurend onder controle te houden.

LITHIUM-ION BATTERIJEN

De kosten van lithium-ion batterijen zijn iets hoger dan andere batterijen, maar je krijgt er veel voor terug. Lithium-ion accu's hebben een constant vermogen. Er is zeer weinig prestatieverlies binnen de levenscyclus van de accu en ze presteren goed onder hoge temperaturen. Een ander voordeel van lithium-ion batterijen is dat ze zeer snel kunnen worden opgeladen en een hoge vermogen-gewichtsverhouding hebben, wat betekent dat ze lichter zijn dan de meeste batterijen en daarom ideaal zijn voor mobiele oplossingen.

DE MEEST GEKOZEN BATTERIJ IN DE AUTO-INDUSTRIE

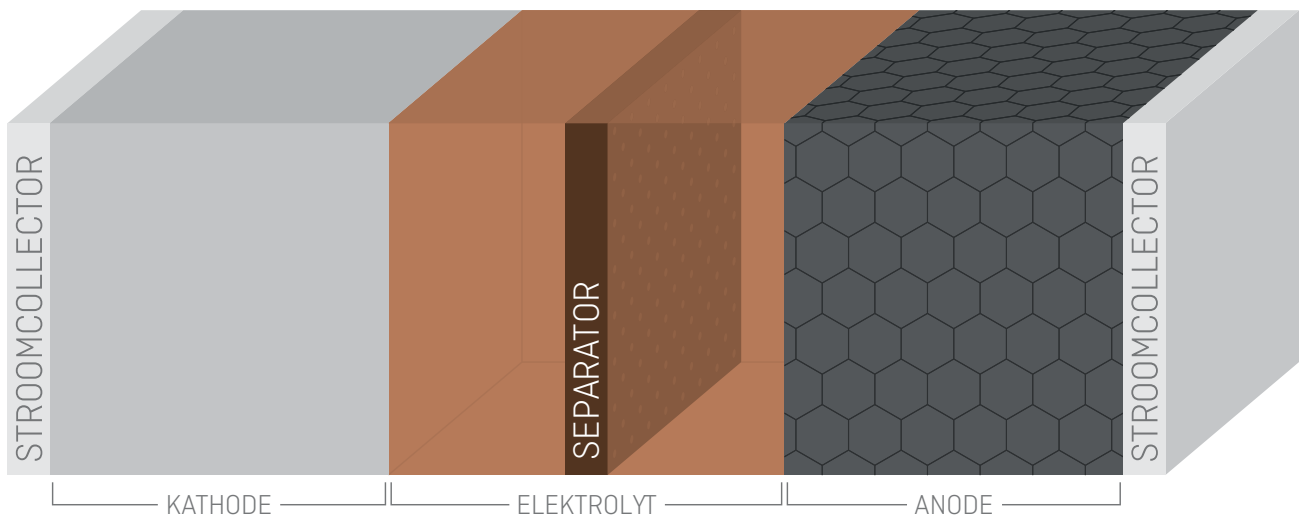
LITHIUM-ION BATTERIJ

Het zal geen verrassing zijn dat lithium-ion de meest gebruikte batterijtechnologie in de auto-industrie is. Een lithium-ion batterij is een geavanceerde batterijtechnologie, waarbij lithium-ionen als hoofdbestanddeel van de elektrochemie worden gebruikt. Lithium-ion is dus geen batterij op zichzelf, maar een techniek die door verschillende soorten batterijen wordt gebruikt. **LFP-** en **NMC** batterijen zijn daar de bekendste voorbeelden van. Om beter te begrijpen hoe lithium-ion werkt, zullen we de techniek erachter verder onder de loep nemen.

DE TECHNOLOGIE ACHTER EEN LITHIUM-ION BATTERIJ

Om te begrijpen hoe een lithium-ion batterij werkt, kijken we eerst wat beter naar de precieze chemicaliën in de onderliggende batterijcellen. Elke batterijcel is opgebouwd uit drie hoofdlagen: de **kathode**, een vloeibaar **elektrolyt** met scheidingswand van polymere membraan en de **anode**. Deze drie lagen vormen samen de cel van een batterij.

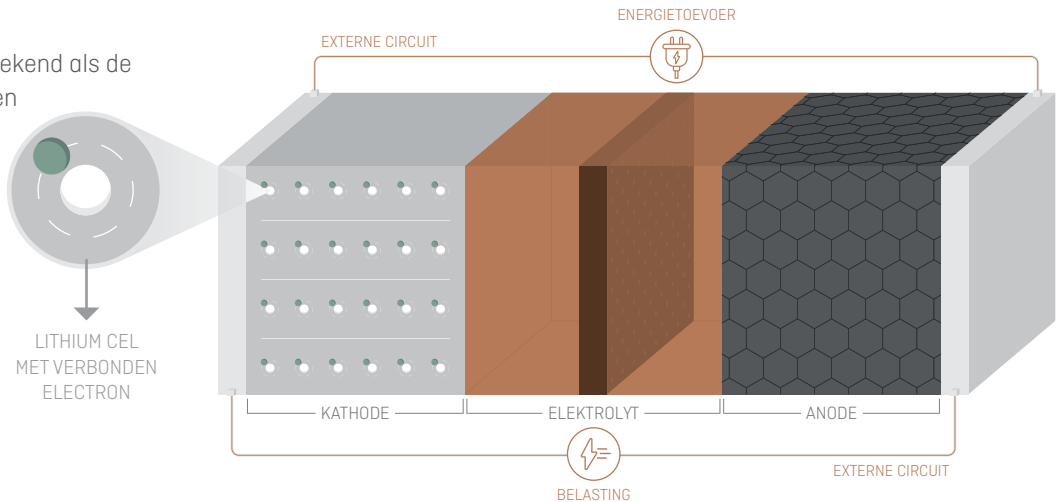
- Kathode: bestaat uit een positieve elektrode van aluminium. De bijkomende chemische samenstelling van deze laag varieert afhankelijk van het type batterij.
- Separator: een vloeibare elektrolyt met een polymere membraan als scheiding tussen de anode en de kathode.
- Anode: bestaat uit grafiet en een negatieve elektrode van koperfolie.



Lithium bevindt zich, zoals de naam lithium-ion al doet vermoeden, in de batterij. De exacte plaats van deze chemische stof is echter afhankelijk van de toestand van de batterij. Wanneer de batterij wordt geladen of ontladen, verandert de positie van het lithium, wat betekent dat de binding van de kathode wordt losgemaakt en de binding op de anode wordt gemaakt.

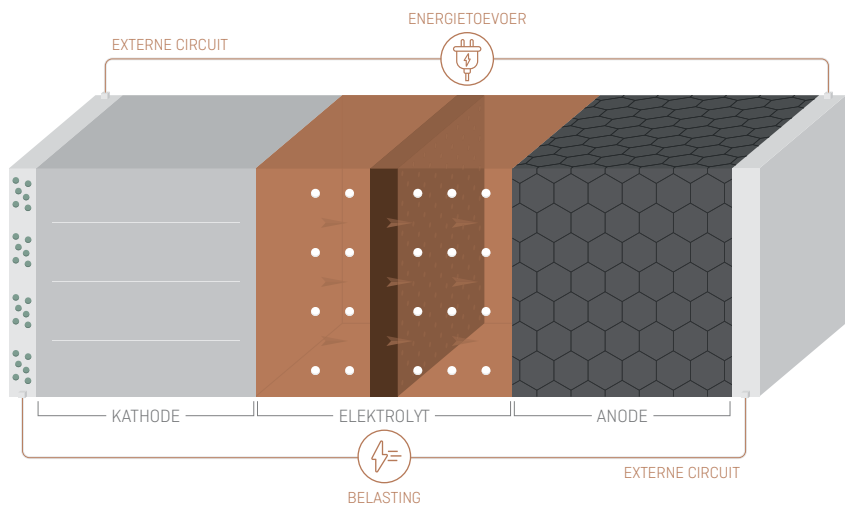
FASE 1 - ONBELASTE TOESTAND

De kathode, ook wel bekend als de **negatieve pool** van een batterijcel, fungeert als de thuisbasis van lithium. Elke lithiumcel gepositioneerd in de kathode beschikt over één individuele elektron.



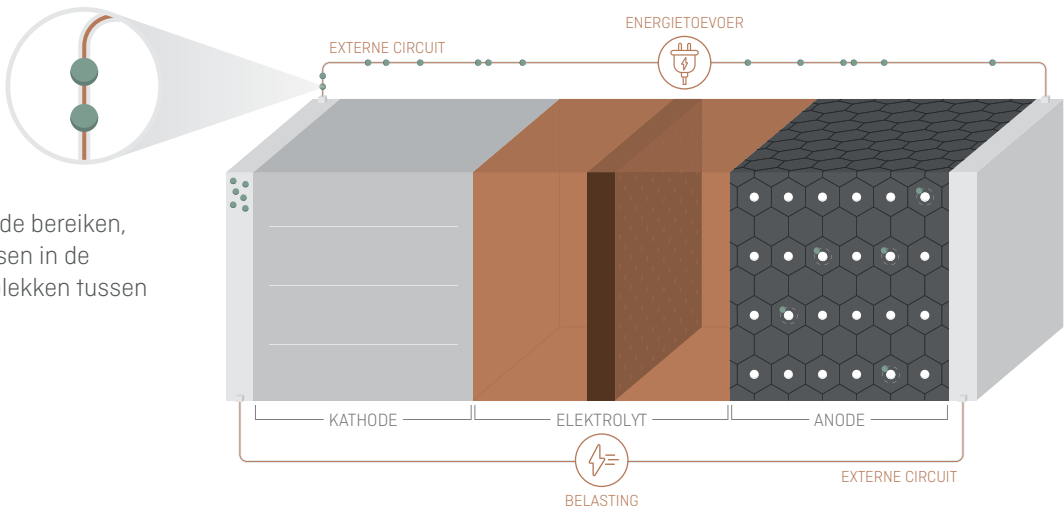
FASE 2 - EXTERNE ENERGIETOEVOER

De beweging van lithium komt tot stand door stroomtoevoer. Zodra de stroomvoorziening actief is, verplaatsen de lithiumcellen zich van de kathode door het vloeibare elektrolyt langzaam naar de anode – ook wel bekend als de **positieve pool**. Terwijl de lithiumcellen zich door het polymeermembraan kunnen verplaatsen, kunnen de elektronen dat niet. Door deze scheidingslaag raken de elektronen los van de lithiumcellen.



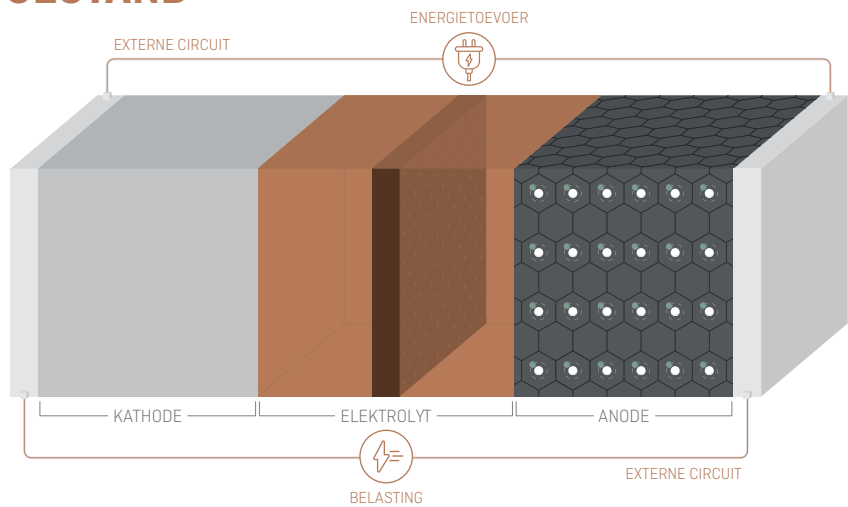
FASE 3 - OPLADEN

De elektronen bewegen zich via de 'stroomcollector' naar het **externe circuit** en vervolgens naar de anode. Zodra de elektronen de anode bereiken, gaan deze zich plaatsen in de daarvoor bestemde plekken tussen het grafiet.



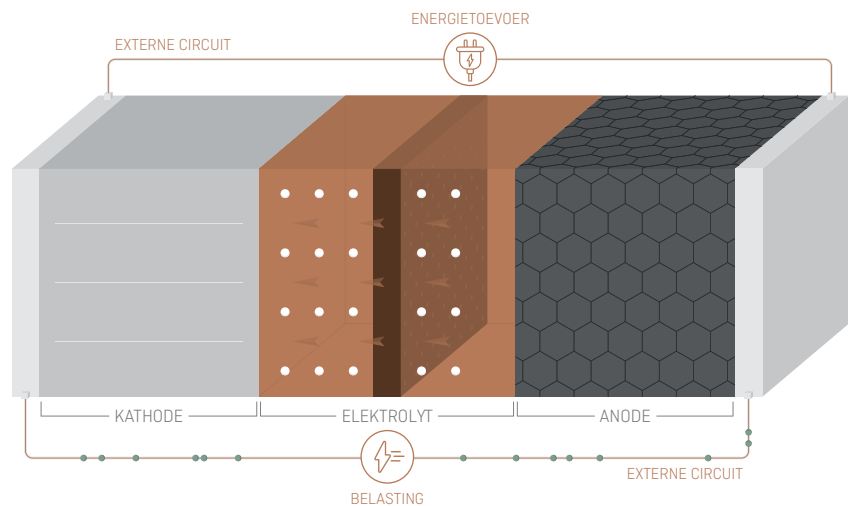
FASE 4 - OPGELADEN TOESTAND

Zodra alle lithium-ionen en elektronen zich in de anode bevinden, is de batterij geladen. De geladen toestand in de anode is een onstabiele toestand en zodra de stroomvoorziening wordt verwijderd, willen de lithium-ionen automatisch terug naar hun stabiele toestand in de kathode.



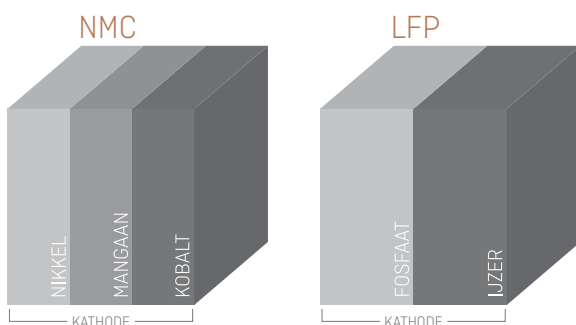
FASE 5 - STROOM NAAR HET VOERTUIG

Door deze tendens bewegen de lithium-ionen terug door de elektrolyt. De elektronen moeten terugkeren via het externe circuit dat verbonden is met de **belasting**. Door een extern elektrisch circuit met een belasting tussen de anode en de kathode aan te sluiten, kunnen de elektronen terugkeren naar hun stabiele situatie. Een extra schakelaar in het elektrische circuit kan worden toegevoegd om te voorkomen dat de elektronen door dit pad bewegen, zodat de primaire gebruiker de uitputting van de batterij kan controleren.



Zelfs als er geen externe belasting is aangesloten, zullen de elektronen langzaam teruggaan naar de kathode, omdat er altijd een interne belasting aanwezig is in de chemicaliën van de accu, waardoor de accu na verloop van tijd langzaam leegloopt.

TWEE TYPES LITHIUM-ION BATTERIJEN



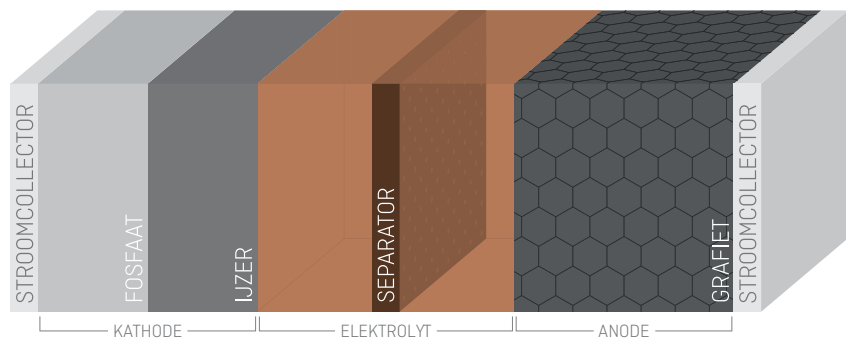
Zoals gezegd zijn er verschillende soorten lithium-ion batterijen. In de auto-industrie wordt over het algemeen gebruik gemaakt van LFP en NMC. Omdat zowel **LFP** als **NMC** tot dezelfde groep behoren, namelijk lithium-ion batterijen, hebben ze veel overeenkomsten. Zo is bij beide type batterijen de verplaatsing van lithium de belangrijkste chemische reactie binnen de accu. Ook zijn beide batterijen opgebouwd uit een anode, separator en kathode. Bovendien is bij beide batterijen de chemische samenstelling van de separator en anode hetzelfde. Het grote verschil zit hem echter in de **kathode**.

Waar deze bij LFP bestaat uit **ijzer** en **fosfaat**, bevat de kathode van NMC-batterijen **nikkel**, **kobalt** en **mangaan**.

LFP

LFP is een afkorting van LiFePO_4 , ook wel bekend als de chemische aanduiding voor **lithium, ijzer** en **fosfaat**. Deze chemische samenstelling vormt de basis van de kathode van LFP-batterijen.

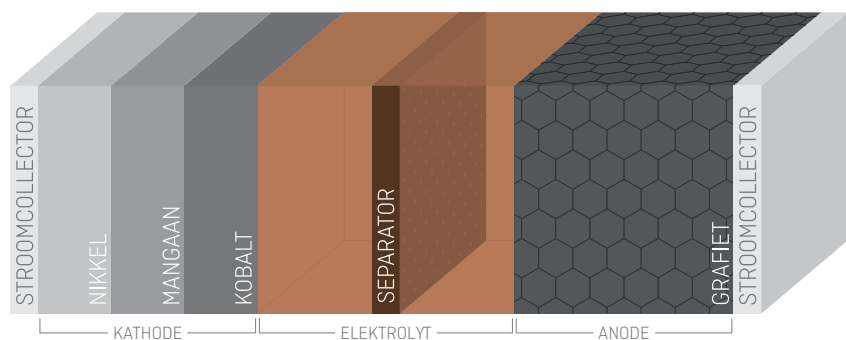
Een van de meest opvallende kenmerken van LFP batterijen is de afwezigheid van kobalt.



Het grote voordeel daarvan is dat de materialen die nodig zijn voor de ontwikkeling van LFP-batterijen doorgaans veilig en gemakkelijk te verkrijgen zijn. Kobalt en nikkel daarentegen zijn schaars en bovendien schadelijk voor het milieu, omdat de winning ervan het water, de lucht en de bodem vervuult. Daarnaast kan nikkel leiden tot gezondheidsproblemen wanneer men in direct contact komt met het materiaal. De combinatie van grondstoffen die in een LFP batterij zitten, zorgt ervoor dat dit type batterij zeer **veilig** en **stabiel** is. Zelfs bij hoge buitentemperaturen of wanneer de accu beschadigd, blijft LFP stabiel en is er geen kans op brand. Bovendien zijn LFP-batterijen erg **duurzaam** dankzij hun lange levensduur. Bij 80 procent ontlading gaan lithium-ijzerfosfaatbatterijen tot wel 5000 cycli mee, zonder dat hun prestaties afnemen.

NMC

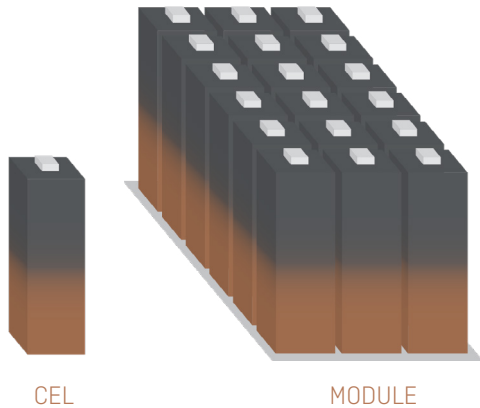
NMC is de chemische aanduiding voor **nikkel, mangaan** en **kobalt**. Deze chemische samenstelling vormt de basis van de kathode van NMC-batterijen. Terwijl nikkel bekend staat om zijn hoge specifieke energie, verbetert het mangaan de levensduur van batterijen. Samen zorgen de drie metalen in NMC-batterijen daardoor voor een kathode met hoge energiedichtheid.



Het grote voordeel van NMC ten opzichte van LFP-batterijen is dan ook dat NMC-batterijen nog altijd een hogere energiedichtheid hebben. De energiedichtheid van een batterijpakket wordt ook wel 'embodied energy' genoemd en staat voor de hoeveelheid energie die een batterij bevat in verhouding tot zijn gewicht. Een hogere energiedichtheid heeft de voorkeur, omdat een kleinere batterij een hoger vermogen oplevert. Door gebruik te maken van een lichtere batterij kan een grotere actieradius behaald worden doordat het totale gewicht van een voertuig **lichter** is. Een andere optie is om minder batterijen te gebruiken voor dezelfde actieradius.

Een van de nadelen van NMC in vergelijking met LFP is dat de gemiddelde levensduur een stuk lager is. Waar LFP-batterijen een gemiddelde levensduur hebben van maximaal 5000 cycli, is dit bij een NMC-batterij slechts 2000-2500 cycli. Bovendien treedt de **degradatie** van NMC-batterijen al snel in, waardoor het volledige vermogen al na het eerste gebruik afneemt. Misschien wel het grootste nadeel is echter de chemische samenstelling van NMC-batterijen, welke bestaat uit nikkel en kobalt. Niet alleen zijn deze stoffen zeer schadelijk voor het milieu, ook is de samenstelling van deze grondstoffen zeer gevoelig. Daardoor leidt ernstige schade aan de batterijen direct tot een chemische reactie en thermische runaway die rook en brandt veroorzaakt. De veiligheid van NMC-batterijen wordt dan ook vaak bekritiseerd.

VAN CEL NAAR MODULE



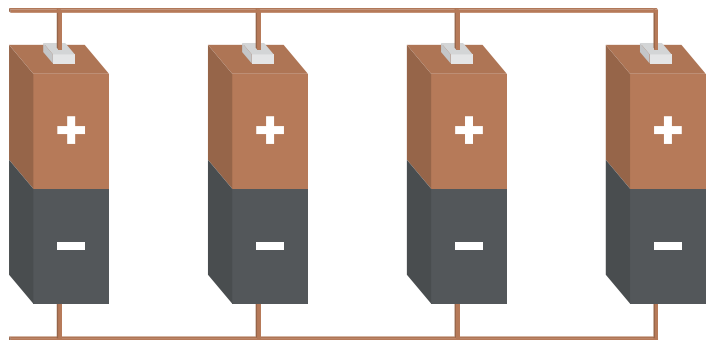
LFP en NMC zijn eigenlijk niets meer dan batterijcellen. Deze cellen zijn er in veel verschillende vormen en maten en moeten eerst in modules worden gerangschikt om bruikbare eenheden te verkrijgen. Terwijl één enkele batterijcel van een NMC-accu ongeveer 3,6 volt oplevert, is dit bij LFP 3,2 volt. Om voldoende energie te krijgen voor de toepassing in zware, elektrische bedrijfsvoertuigen, moet de spanning van deze cellen dus drastisch worden verhoogd.

Daarvoor kunnen verschillende technieken worden toegepast. Door bijvoorbeeld meerdere cellen in een **serie-** of **parallelstructuur** te plaatsen (of een combinatie van beiden), kan uiteindelijk de gewenste spanning, capaciteit of vermogensdichtheid worden bereikt.

BATTERIJCELLEN IN PARALLEL

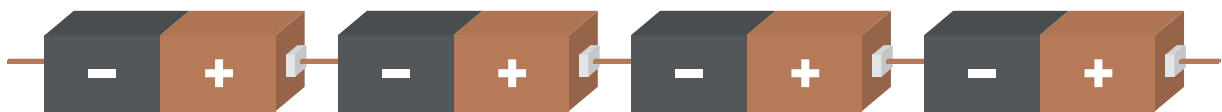
Wanneer batterijcellen parallel worden geplaatst, worden alle positieve en negatieve aansluitingen in een cel met elkaar verbonden. Daardoor worden de **ampères** van iedere afzonderlijke cel bij elkaar opgeteld.

Wanneer je bijvoorbeeld tien accu's van 12 volt met een capaciteit van 100 Ah parallel schakelt, krijg je 12 volt met een capaciteit van 1000 Ah.



BATTERIJCELLEN IN SERIE

Wanneer batterijcellen in serie worden geplaatst, wordt de positieve pool van een cel verbonden met de negatieve pool van de volgende cel.



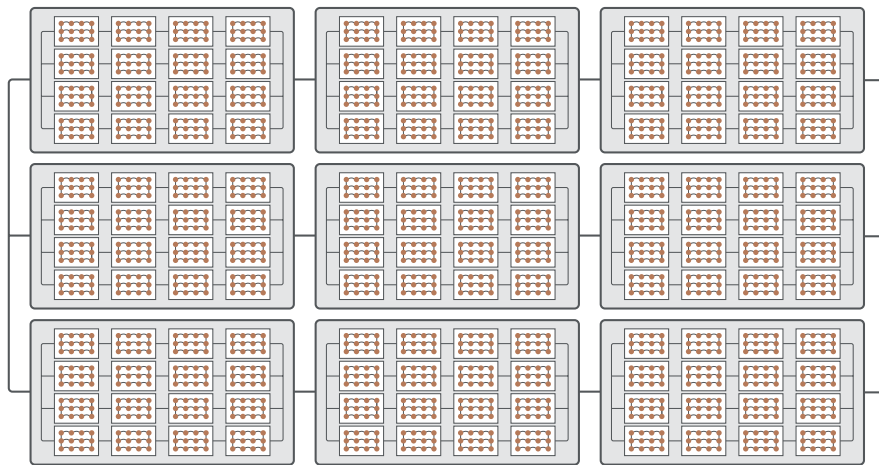
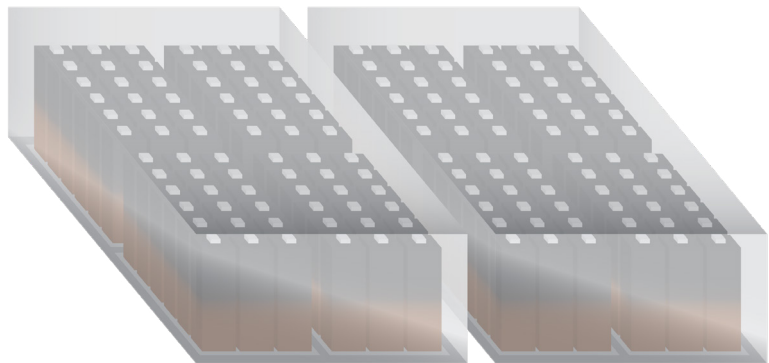
Daardoor wordt de **spanning** van elke cel opgeteld tot het einde van de serie. Wanneer je bijvoorbeeld tien 12-volt accu's met een capaciteit van 100 Ah in serie schakelt, krijg je een batterijpakket van 120 volt met een capaciteit van 100 Ah. Het belangrijkste verschil tussen serie- en parallelschakeling van batterijen is de invloed op de output en capaciteit van het accusysteem. Bij accu's die in serie worden verbonden wordt de spanning opgeteld, terwijl bij parallel geschakelde accu's de capaciteit gemeten in ampère-uur bij elkaar wordt gevoegd.

Hoewel de beschikbare energie in beide opstellingen hetzelfde is, levert het serie schakelen van accu's een **hogere systeemvoltage** op, wat resulteert in een **lagere systeemstroom**. Het voordeel daarvan is dat het mogelijk is dunnere bedrading te gebruiken, waardoor de spanning in een systeem minder snel daalt. Dat is voordelig voor grote apparaten: voor hoge stroomopwekking is namelijk een minimum voltage vereist om überhaupt te kunnen functioneren. Om die reden moeten batterijen altijd in serie worden geschakeld. Een combinatie van beide technieken is echter de meest gebruikelijke oplossing om aan zowel de vereisten voor spanning als stroom te voldoen.

VAN EEN MODULE NAAR EEN PAKKET

Zoals gezegd kunnen cellen zowel in serie als parallel worden geplaatst om een module te vormen. Om vervolgens een **accupakket** te vormen worden tientallen modules in serie of parallel geschakeld.

Uiteindelijk moeten er meerdere accupakketten worden aangesloten om een voertuig van voldoende energie te voorzien. De aansluiting van deze accupakketten kan wederom in serie of parallel gebeuren.



Links zie je een schematische voorstelling van een **accusysteem** in een elektrisch voertuig.

Zowel de cellen en modules als de verschillende accupakketten zijn hier in serie en parallel geschakeld. Hoe deze zijn aangesloten verschilt per voertuig.

OPLADEN

Veel van de aannames over het opladen van batterijen zijn afkomstig uit de auto-industrie. Hoewel het algemeen bekend is dat de meeste elektrische auto's niet volledig tot 100 procent moeten worden opgeladen, is dit niet altijd het geval en kan het ideale niveau per accutype verschillen.

Om dit goed te begrijpen, moeten we iets beter kijken naar de chemie van batterijen. Zoals eerder genoemd, laadt een batterij op door de beweging van elektronen van de kathode naar de anode. Eenmaal binnen de anode moeten de elektronen een plekje zien te vinden tussen het grafiet. Hoe meer plekken er beschikbaar zijn, hoe sneller het opladen gaat. Zijn de meeste elektronen eenmaal gepositioneerd, bijvoorbeeld als de batterij al zo'n 80 procent is opgeladen, dan wordt het voor de laatste elektronen moeilijker een vrije plek te vinden.

Zodra de eerste batterijcel voor 100 procent geladen is, wordt het opladen van de volledige batterij automatisch gestopt. Elektronen die dan nog niet zijn gepositioneerd, krijgen niet meer de kans om te laden. Om dat te voorkomen, is het mogelijk de laadsnelheid van de batterij te verlagen. Daardoor duurt het langer voor de eerste batterijcel 100 procent geladen is en krijgen de elektronen dus meer tijd om een vrije plek te vinden, de accu kan daardoor zo ver mogelijk worden opgeladen. Wat het optimale laadpercentage is, is afhankelijk van het type batterij. Zo zijn NMC-accu's minder stabiel en daardoor gevoeliger voor de beweging van elektronen. Het laden van de cellen tot 100 procent kan daarom de accu beschadigen. Het advies voor NMC is daarom ook om de batterij maar tot maximaal 90 procent op te laden. Bij LFP is volledig opladen tot 100 procent daarentegen geen probleem en kan de volledige capaciteit van de batterij benut worden om de actieradius te vergroten. Naast het feit dat het volledig opladen van LFP accu's dus technisch mogelijk is, wordt dit ook ten sterkste aanbevolen.

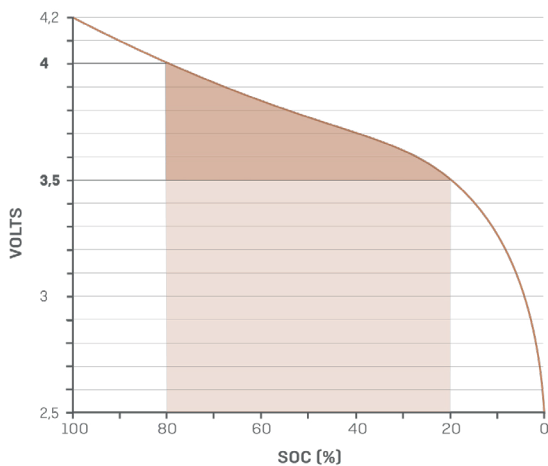
STATE OF CHARGE

Bijna elk elektrisch voertuig geeft aan hoeveel resterende capaciteit de batterij nog heeft. Dit wordt aangegeven met de State of Charge (SOC), een percentage dat de resterende capaciteit vergelijkt met de nominale capaciteit van de batterij. De waarde wordt berekend op basis van het gedrag van de batterij, en is geen constant cijfer. Waar voor NMC-batterijen het SOC-getal gemakkelijker vooraf te bepalen is, is dit voor LFP moeilijker en kan het leiden tot afwijkingen tussen de werkelijke hoeveelheid energie die de batterij nog bevat, en het aangegeven percentage.

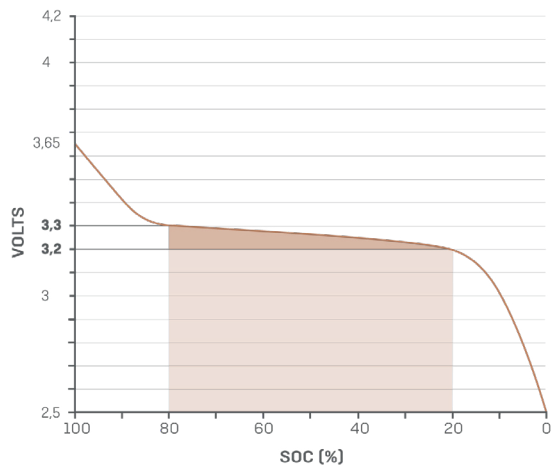
Om te begrijpen hoe dat komt, moeten we kijken naar het ontladingschema van de NMC-batterij (figuur 1) en LFP-batterij (figuur 2).

Bij de degradatie van een typische NMC-batterij (figuur 1), is er sprake van een gelijke afname van de beschikbare energie. Het voordeel daarvan is dat het bij NMC mogelijk is de State of Charge te schatten op basis van de hoeveelheid spanning die de cellen nog oplevert. Als de spanning bijvoorbeeld 4,2 Volt is, is de accucapaciteit normaal gesproken nog zo'n 80 procent. Bij een spanning van 3,5 Volt is de geschatte SOC 20 procent. Door de gelijke afname van energie, is deze schatting bij NMC-batterijen keer op keer nauwkeurig.

Figuur 1 - Ontlading NMC batterij / SOC berekening



Figuur 2 - Ontlading LFP batterij / SOC berekening



Bij LFP-batterijen (figuur 2), gaat de degradatie er echter heel anders aan toe. Waar in het beginstadium de spanning snel daalt, komt daarna de meeste energie vrij bij een gelijke hoeveelheid spanning. Doordat de spanning hierna lange tijd gelijk blijft, herkent het systeem niet wanneer de batterij 20 of 80 procent accu over heeft. Het is daardoor bij LFP niet mogelijk de ladingstoestand ofwel SOC te schatten op basis van de spanningstoever.

Daarvoor moet de batterij echter een vast startpunt hebben. Daarom is het belangrijk en ten zeerste aanbevolen LFP-batterijen altijd tot 100% op te laden. Hierdoor kalibreert de batterij en kan de SOC redelijk nauwkeurig worden afgelezen. De SOC-berekening kan echter tot ongeveer 2% afwijken door een ongeregistreerde afwijking in de batterij die, zoals eerder vermeld, optreedt door de interne belasting. Wanneer de batterij niet tot 100% wordt geladen, neemt deze afwijking cumulatief toe.

Kanttekening hierbij is dat de berekening zo'n 2 procent kan afwijken, waarbij de afwijking cumulatief toeneemt. Als de batterij bijvoorbeeld tien dagen lang niet volledig is opgeladen, kan de SOC per dag nog eens 2 procent afwijken. Na tien dagen kan dat dus zomaar betekenen dat de batterij al leeg is, hoewel de SOC nog 20 procent aangeeft.

BATTERY MANAGEMENT SYSTEM - BMS

Een BMS-systeem, voluit Battery Management System genoemd, is een integraal onderdeel van iedere lithium-ion batterij. Het BMS wordt in ieder batterijpakket geïntegreerd om daarmee optimale gezondheid en prestaties te garanderen.

Het Battery Management System monitort elke cel in een batterijpakket afzonderlijk. Vervolgens berekent het hoeveel stroom er veilig in (laden) en uit (ontladen) kan, zonder de accu te beschadigen. De stroomlimieten voorkomen daarbij dat de bron (meestal een acculader) en de belasting (zoals een omvormer) te veel stroom afnemen of de accu juist overladen. Dat beschermt de accu tegen te hoge of te lage celspanningen, wat de levensduur van de batterij ten goede komt.

Het is daarbij van belang dat elke cel in de accu in balans is. Het BMS balanceert daarom de lading van de cellen om maximale capaciteit te garanderen en schakelt de batterij onmiddellijk uit wanneer het een onveilige situatie detecteert.

Niet alleen is het BMS van belang voor de veiligheid van batterijpakketten, het levert ook veel data op voor andere doeleinden. Zo kan er bijvoorbeeld preventief onderhoud worden uitgevoerd wanneer de data erop wijst dat er in de toekomst problemen kunnen optreden.



EBUSCO®
MADE TO MOVE PEOPLE

www.ebusco.com