

# Wat is de beste batterij?

We raken vaak in verwarring door aankondigingen van nieuwe batterijen waarvan gezegd wordt dat ze een zeer hoge energiedichtheid hebben, 1000 laad-/ontlaadcycli leveren en flinterdun zijn. Kloppen deze beweringen? Misschien wel, maar niet in één en dezelfde batterij. Het ene batterijtype is misschien ontworpen voor kleine afmetingen en een lange looptijd, maar dit pack zal niet lang meegaan en voortijdig verslijten. Een andere batterij is misschien ontworpen voor een lange levensduur, maar heeft een groot en omvangrijk formaat. Een derde batterij biedt misschien alle gewenste eigenschappen, maar zou dan weer te duur zijn voor commercieel gebruik.

Accufabrikanten zijn zich terdege bewust van de behoeften van klanten en hebben hierop ingespeeld door packs aan te bieden die het beste passen bij de specifieke toepassingen. De mobiele telefoonindustrie is een voorbeeld van slimme aanpassing. De nadruk wordt gelegd op klein formaat, hoge energiedichtheid en lage prijs. De levensduur komt op de tweede plaats.

Het opschrift NiMH op een accu garandeert niet automatisch een hoge energiedichtheid. Een prismatische nikkel-metaalhydride accu voor een mobiele telefoon is bijvoorbeeld gemaakt voor een slanke geometrie. Zo'n batterijpack heeft een energiedichtheid van ongeveer 60Wh/kg en het aantal cycli ligt rond de 300. Ter vergelijking: een cilindrische NiMH biedt een energiedichtheid van 80Wh/kg en hoger. Het aantal cycli van deze accu is echter matig tot laag. NiMH-accu's met een hoge duurzaamheid, die 1000 ontladingen kunnen doorstaan, worden meestal verpakt in volumineuze cilindervormige cellen. De energiedichtheid van deze cellen is een bescheiden 70Wh/kg.

Ook bij lithiumbatterijen worden er compromissen gesloten. Er worden Li-ionpacks geproduceerd voor defensietoepassingen die de energiedichtheid van de commerciële tegenhanger ver overtreffen. Helaas worden deze Li-ion-batterijen met een superhoge capaciteit als onveilig voor de consument beschouwd en door de hoge prijs liggen ze buiten het bereik van de commerciële markt.

In dit artikel kijken we naar de voordelen en beperkingen van de commerciële batterij. De zogenaamde wonderbatterij die alleen in gecontroleerde omgevingen voorkomt, wordt buiten beschouwing gelaten. We onderzoeken de accu's niet alleen op energiedichtheid, maar ook op levensduur, belastingskenmerken, onderhoudsvereisten, zelfontlading en operationele kosten. Omdat NiCd de standaard blijft waarmee andere accu's worden vergeleken, evalueren we alternatieve chemische stoffen ten opzichte van dit klassieke accutype.

Nikkel-cadmium (NiCd) - volwassen en welbekend, maar met een relatief lage energiedichtheid. NiCd wordt gebruikt waar een lange levensduur, hoge ontladingssnelheid en voordelige prijs belangrijk zijn. De belangrijkste toepassingen zijn tweewegradio's, biomedische apparatuur, professionele videocamera's en elektrisch gereedschap. NiCd bevat giftige metalen en is milieuonvriendelijk.

Nikkel-metaalhydride (NiMH) - heeft een hogere energiedichtheid dan NiCd ten koste van een kortere levensduur. NiMH bevat geen giftige metalen. Voorbeelden van toepassingen zijn mobiele telefoons en laptopcomputers.

Loodzuur - het voordeligst voor grotere stroomtoepassingen waarbij het gewicht van weinig belang is. De loodzuuraccu is de beste keuze voor ziekenhuisapparatuur, rolstoelen, noodverlichting en UPS-systemen.

Lithium-ion (Li-ion) - het snelst groeiende batterijsysteem. Li-ion wordt gebruikt waar een hoge energiedichtheid en een laag gewicht van het grootste belang zijn. De technologie is kwetsbaar en er is een beveiligingscircuit nodig om de veiligheid te garanderen. Voorbeelden van toepassingen zijn notebookcomputers en mobiele telefoons.

Lithium-ion-polymeer (Li-ionpolymeer) - biedt de eigenschappen van Li-ion in ultraslanke geometrie en vereenvoudigde verpakking. De belangrijkste toepassingen zijn mobiele telefoons.

Figuur 1 vergelijkt de kenmerken van de zes meest gebruikte oplaadbare batterijsystemen op het gebied van energiedichtheid, levensduur, gebruiksvereisten en kosten. De waarden zijn gebaseerd op gemiddelde waarden van in de handel verkrijgbare batterijen op het moment van publicatie.

	NiCd	NiMH	Loodzuur	Li-ion	Li-ion polymeer	Alkaline herbruikbaar
<b>Gravimetrische energiedichtheid</b> (Wh/kg)	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130	80 (initieel)
<b>Interne weerstand</b> (inclusief perifere circuits) in mΩ	100 to 200 <sup>1</sup> 6V pack	200 to 300 <sup>1</sup> 6V pack	<100 <sup>1</sup> 12V pack	150 to 250 <sup>1</sup> 7.2V pack	200 to 300 <sup>1</sup> 7.2V pack	200 tot 2000 <sup>1</sup> 6V pack
<b>Levensduur</b> (tot 80% van de oorspronkelijke capaciteit)	1500 <sup>2</sup>	300 to 500 <sup>2,3</sup>	200 to 300 <sup>2</sup>	500 to 1000 <sup>3</sup>	300 to 500	50 <sup>3</sup> (to 50%)
<b>Snelle oplaadtijd</b>	1h typisch	2-4h	8-16h	2-4h	2-4h	2-3h
<b>Tolerantie voor overlading</b>	matig	laag	hoog	zeer laag	laag	matig
<b>Zelfontlading / maand</b> (kamertemperatuur)	20% <sup>4</sup>	30% <sup>4</sup>	5%	10% <sup>5</sup>	~10% <sup>5</sup>	0.3%
<b>Celvoltage</b> (nominal)	1.25V <sup>6</sup>	1.25V <sup>6</sup>	2V	3.6V	3.6V	1.5V
<b>Belastingsstroom</b> - piek - beste resultaat	20C 1C	5C 0.5C of lager	5C7 0.2C	>2C 1C of lager	>2C 1C of lager	0.5C 0.2C of lager
<b>Bedrijfs-temperatuur</b> (alleen ontlading)	-40 tot 60°C	-20 tot 60°C	-20 tot 60°C	-20 tot 60°C	0 tot 60°C	0 tot 65°C
<b>Onderhouds-vereiste</b>	30 tot 60 days	60 tot 90 days	3 tot 6 maanden <sup>9</sup>	niet vereist.	niet vereist.	niet vereist.
<b>Typische batterijkosten</b> (US\$, alleen ter referentie)	\$50 (7.2V)	\$60 (7.2V)	\$25 (6V)	\$100 (7.2V)	\$100 (7.2V)	\$5 (9V)
<b>Kosten per cyclus</b> (US\$) <sup>11</sup>	\$0.04	\$0.12	\$0.10	\$0.14	\$0.29	\$0.10-0.50
<b>Commercieel gebruik sinds</b>	1950	1990	1970 (verzegeld loodzuur)	1991	1999	1992

Figuur 1: Kenmerken van veelgebruikte oplaadbare batterijen

- 1/ De interne weerstand van een accu hangt af van de celwaarde, het type beveiligingscircuit en het aantal cellen. Het beveiligingscircuit van Li-ion en Li-polymeer voegt ongeveer 100mΩ toe.
- 2/ De levensduur is gebaseerd op regelmatig onderhoud van de batterij. Als de batterij niet regelmatig volledig wordt ontladen, kan de levensduur met een factor drie worden verkort.
- 3/ De levensduur is gebaseerd op de ontladingsdiepte. Ondiepe ontladingen zorgen voor meer cycli dan diepe ontladingen.
- 4/ De ontlading is het grootst direct na het opladen en neemt daarna af. De NiCd-capaciteit neemt de eerste 24 uur met 10% af en daarna elke 30 dagen met ongeveer 10%. De zelfontlading neemt toe bij hogere temperaturen.
- 5/ Interne beveiligingscircuits verbruiken doorgaans 3% van de opgeslagen energie per maand.
- 6/ 1,25V is de open celspanning. 1,2V is de algemeen gebruikte waarde. Er is geen verschil tussen de cellen; het is gewoon een classificatiemethode.
- 7/ Geschikt voor hoge stroompulsen.
- 8/ Geldt alleen voor ontlading; laadtemperatuurbereik is beperkter.
- 9/ Onderhoud kan plaatsvinden in de vorm van een 'egalisatielading' of 'toplading'.
- 10/ Kosten van batterij voor op de markt verkrijgbare draagbare apparaten.
- 11/ Afgeleid van de batterijprijs gedeeld door de levensduur. Omvat niet de kosten van elektriciteit en opladers.

**Observatie:** Het is interessant om op te merken dat NiCd de kortste oplaadtijd heeft, de hoogste laadstroom levert en de laagste totale kosten per cyclus biedt, maar tegelijkertijd de zwaarste onderhoudsvereisten heeft.

## De nikkel-cadmiumbatterij (NiCd)

NiCd geeft de voorkeur aan snel laden boven langzaam laden en pulsladen boven gelijkstroomladen. Alle andere soorten chemicaliën geven de voorkeur aan een ondiepe ontlading en gematigde laadstromen. De NiCd is een sterke en stille werker; zware arbeid vormt geen probleem. In feite is NiCd het enige accutype dat goed presteert onder zware werkomstandigheden. Hij wordt niet graag vertroeteld door dagenlang in een lader te zitten en slechts af en toe voor korte periodes te worden gebruikt. Een periodieke volledige ontlading is zo belangrijk dat, als dit niet gebeurt, zich grote kristallen op de celplaten vormen (ook wel geheugen genoemd) en de NiCd geleidelijk zijn prestaties verliest.

Wat oplaadbare batterijen betreft, blijft NiCd een populaire keuze voor toepassingen zoals portofoons, medische apparatuur voor noodgevallen en elektrisch gereedschap. Batterijen met een hogere energiedichtheid en minder giftige metalen zorgen voor een verschuiving van NiCd naar nieuwere technologieën.

## Voordelen en beperkingen van NiCd-batterijen

### Voordelen

- / Snel en eenvoudig opladen - zelfs na langdurige opslag.
- / Hoog aantal oplaad-/ontlaadcycli - bij goed onderhoud biedt de NiCd meer dan 1000 oplaad-/ontlaadcycli.
- / Goede prestaties onder belasting - de NiCd kan worden opgeladen bij lage temperaturen.
- / Lange houdbaarheid - in elke laadtoestand.
- / Eenvoudige opslag en transport - de meeste luchtvrachtmaatschappijen accepteren NiCd zonder speciale voorwaarden.
- / Goede prestaties bij lage temperaturen.
- / Vergevingsgezind bij misbruik - de NiCd is een van de meest robuuste oplaadbare batterijen.
- / Voordelig geprijsd - de NiCd is de goedkoopste batterij wat betreft kosten per cyclus.
- / Verkrijgbaar in een groot aantal maten en prestatieopties - de meeste NiCd-cellen zijn cilindrisch.

### Limitations

- / Relatief lage energiedichtheid - vergeleken met nieuwere systemen.
- / Geheugeneffect - de NiCd moet regelmatig worden getraind om geheugen te voorkomen.
- / Milieuvriendelijk - de NiCd bevat giftige metalen. Sommige landen beperken het gebruik van NiCd-batterijen.
- / Heeft een relatief hoge zelfontlading - moet opnieuw worden opgeladen na opslag.

Figuur 2: Voordelen en beperkingen van NiCd-batterijen.

# De nikkel-metaalhydridebatterij (NiMH)

Het onderzoek naar het NiMH-systeem begon in de jaren '70 als een manier om waterstof op te slaan voor de nikkelwaterstofbatterij. Tegenwoordig worden nikkelwaterstofbatterijen voornamelijk gebruikt voor satelliettoepassingen. Ze zijn omvangrijk, bevatten stalen bussen onder hoge druk en kosten duizenden dollars per cel.

In de vroege experimentele dagen van de NiMH-batterij waren de metaalhydride legeringen instabiel in de celomgeving en konden de gewenste prestatiekenmerken niet worden bereikt. Als gevolg hiervan werd de ontwikkeling van NiMH afgeremd. In de jaren '80 werden nieuwe hydride legeringen ontwikkeld die stabiel genoeg waren voor gebruik in een cel. Sinds het eind van de jaren '80 is NiMH gestaag verbeterd.

Het succes van NiMH is te danken aan de hoge energiedichtheid en het gebruik van milieuvriendelijke metalen. De moderne NiMH biedt een tot 40 procent hogere energiedichtheid vergeleken met NiCd. Er is potentieel voor nog hogere capaciteiten, maar niet zonder een aantal negatieve neveneffecten.

NiMH is minder duurzaam dan NiCd. Cyclisch gebruik onder zware belasting en opslag bij hoge temperatuur verkorten de levensduur. NiMH heeft last van een hoge zelfontlading, die aanzienlijk groter is dan die van NiCd.

NiMH heeft NiCd vervangen in markten zoals draadloze communicatie en mobiele computers. In veel delen van de wereld wordt de koper aangemoedigd om NiMH-batterijen te gebruiken in plaats van NiCd-batterijen. Dit is te wijten aan milieubezwaren met betrekking tot het onzorgvuldig verwijderen van gebruikte batterijen.

Deskundigen zijn het erover eens dat NiMH in de loop der jaren sterk is verbeterd, maar er zijn nog steeds beperkingen. De meeste tekortkomingen zijn inherent aan de op nikkel gebaseerde technologie en komen overeen met die van de NiCd-accu. Algemeen wordt aangenomen dat NiMH een tussenstap is naar de lithium-accutechnologie.

## Voordelen en beperkingen van NiMH-batterijen

### Voordelen

- / 30 - 40 procent hogere capaciteit dan een standaard NiCd. NiMH heeft het potentieel voor nog hogere energiedichtheden.
- / Minder gevoelig voor geheugen dan NiCd. Periodieke trainingscycli zijn minder vaak nodig.
- / Eenvoudige opslag en transport - transportomstandigheden zijn niet onderworpen aan regelgeving.
- / Milieuvriendelijk - bevat slechts lichte giftige stoffen; rendabel voor recycling.

### Beperkingen

- / Beperkte levensduur - bij herhaaldelijk diep ontladen, vooral bij hoge laadstromen, beginnen de prestaties na 200 tot 300 cycli te verslechteren. Ondiepe ontladcycli verdienen de voorkeur boven diepe ontladcycli.
- / Beperkte ontlaadstroom - hoewel een NiMH-batterij hoge ontlaadstromen kan leveren, verminderen herhaalde ontladingen met hoge laadstromen de levensduur van de batterij. De beste resultaten worden bereikt met laadstromen van 0,2C tot 0,5C (een vijfde tot de helft van de nominale capaciteit).
- / Complexer oplaad algoritme nodig - NiMH genereert meer warmte tijdens het opladen en vereist een langere oplaadtijd dan NiCd. Het druppelladen is van cruciaal belang en moet zorgvuldig worden geregeld.
- / Hoge zelfontlading - NiMH heeft een ongeveer 50 procent hogere zelfontlading dan NiCd. Nieuwe chemische additieven verbeteren de zelfontlading, maar dit gaat ten koste van de energiedichtheid.
- / De prestaties nemen af als ze worden opgeslagen bij hoge temperaturen - de NiMH moet worden opgeslagen op een koele plaats en bij een laadtoestand van ongeveer 40%.
- / Onderhoudsintensief - de batterij moet regelmatig volledig worden ontladen om kristalvorming te voorkomen.
- / Ongeveer 20 procent duurder dan NiCd - NiMH-batterijen die zijn ontworpen voor hoge stroomopname zijn duurder dan de gewone versie.

Figuur 3: Voordelen en beperkingen van NiMH-batterijen



# De loodzuuraccu

Loodzuur werd in 1859 uitgevonden door de Franse arts Gaston Planté en was de eerste oplaadbare batterij voor commercieel gebruik. Vandaag de dag wordt de natte loodzuuraccu gebruikt in auto's, vorkheftrucks en grote UPS-systemen (Uninterruptible Power Supply).

Halverwege de jaren '70 van de vorige eeuw ontwikkelden onderzoekers een onderhoudsvrije loodzuuraccu die in elke positie kon werken. De vloeibare elektrolyt werd omgezet in bevochtigde separatoren en de behuizing werd verzegeld. Er werden veiligheidskleppen toegevoegd om de ontluchting van gas tijdens het laden en ontladen mogelijk te maken.

Onder invloed van verschillende toepassingen ontstonden er twee accu-aanduidingen. Dit zijn de kleine verzegelde loodzuuraccu (SLA), ook bekend onder de merknaam Gelcell, en de grote klepgeregelde loodzuuraccu (VRLA). Technisch gezien zijn beide accu's hetzelfde. (Ingenieurs kunnen aanvoeren dat het woord 'verzegeld loodzuur' een verkeerde benaming is omdat geen enkele loodzuuraccu volledig verzegeld kan zijn). Omdat we vooral aandacht besteden aan draagbare accu's, richten we ons hier op de SLA.

In tegenstelling tot de natte loodzuuraccu zijn zowel de SLA als de VRLA ontworpen met een laag overspanningspotentiaal om te voorkomen dat de accu tijdens het laden zijn gasgenererend vermogen bereikt. Overmatig opladen zou gasvorming en uitputting van het water veroorzaken. Bijgevolg kunnen deze accu's nooit volledig worden opgeladen.

Het loodzuur is niet onderhevig aan geheugen. Als je de batterij gedurende langere tijd op druppellading laat staan, veroorzaakt dit geen schade. De batterij houdt het meeste lading vast van alle oplaadbare batterijen. Terwijl de NiCd-accu zichzelf in drie maanden voor ongeveer 40% ontladaat, ontladaat de SLA-accu zichzelf in een jaar voor ongeveer hetzelfde percentage. De SLA is relatief goedkoop in aanschaf, maar de operationele kosten kunnen hoger uitvallen dan die van NiCd als er regelmatig volledige cycli nodig zijn.

De SLA leent zich niet voor snel opladen - typische oplaadtijden zijn 8 tot 16 uur. De SLA moet altijd in opgeladen toestand worden bewaard. Als de batterij in ontladen toestand wordt bewaard, veroorzaakt dit sulfatering, een toestand die het moeilijk, zo niet onmogelijk maakt om de batterij weer op te laden.

In tegenstelling tot de NiCd houdt de SLA niet van diepe cycli. Een volledige ontlading veroorzaakt extra belasting en bij elke cyclus verliest de accu een kleine hoeveelheid capaciteit. Deze slijtage-eigenschap is in meer of mindere mate ook van toepassing op andere accutypen. Om te voorkomen dat de accu wordt belast door herhaaldelijk diep ontladen, wordt een grotere SLA-accu aanbevolen.

Afhankelijk van de ontladingsdiepte en de bedrijfstemperatuur levert de SLA 200 tot 300 ontlad-/laadcycli. De belangrijkste reden voor de relatief korte levensduur is netcorrosie van de positieve elektrode, uitputting van het actieve materiaal en uitzetting van de positieve platen. Deze veranderingen komen het meest voor bij hogere bedrijfstemperaturen. Cycli voorkomen of keren deze trend niet.

De optimale bedrijfstemperatuur voor de SLA- en VRLA-batterij is 25°C (77°F). Als vuistregel geldt dat elke 8°C (15°F) stijging van de temperatuur de levensduur van de batterij halveert. VRLA-accu's die bij 25°C 10 jaar meegaan, gaan bij 33°C (95°C) nog maar 5 jaar mee. Dezelfde batterij zou iets meer dan een jaar meegaan bij een temperatuur van 42°C (107°F).

## Voordelen en beperkingen van loodzuuraccu's

### Advantages

- / Goedkoop en eenvoudig te produceren – wat betreft kosten per wattuur is de SLA het goedkoopst.
- / Volwassen, betrouwbare en alom bekende technologie - bij correct gebruik is de SLA duurzaam en levert betrouwbare service.
- / Lage zelfontlading - de zelfontladingssnelheid behoort tot de laagste in oplaadbare batterijsystemen.
- / Weinig onderhoud nodig - geen geheugen; geen elektrolyt om bij te vullen.
- / Kan hoge ontlaadsnelheden aan.

### Limitations

- / Kan niet worden opgeslagen in ontladen toestand.
- / Lage energiedichtheid - de lage gewicht-energiedichtheid beperkt het gebruik tot stationaire toepassingen en toepassingen op wielen.
- / Laat slechts een beperkt aantal volledige ontladcycli toe - zeer geschikt voor stand-by toepassingen waarbij slechts af en toe een diepe ontlading nodig is.
- / Milieuvriendelijk - de elektrolyt en het loodgehalte kunnen milieuschade veroorzaken.
- / Transportbeperkingen voor ondergelopen loodzuur - er zijn milieubezwaren wanneer er in geval van een ongeluk wordt gemorst.
- / Thermische runaway kan optreden bij onjuist opladen.

Figuur 4: Voordelen en beperkingen van loodzuuraccu's.

# De lithium-ionbatterij

Pionierswerk met de lithiumbatterij begon in 1912 onder leiding van G.N. Lewis, maar het duurde tot het begin van de jaren '70 voordat de eerste niet-oplaadbare lithiumbatterijen in de handel verkrijgbaar werden. Lithium is het lichtste van alle metalen, heeft het grootste elektrochemische potentieel en biedt de grootste energiedichtheid in verhouding tot het gewicht.

Pogingen om oplaadbare lithiumbatterijen te ontwikkelen volgden in de jaren '80, maar mislukten vanwege veiligheidsproblemen. Door de inherente instabiliteit van lithiummetaal, vooral tijdens het opladen, verschoof het onderzoek naar een niet-metalen lithiumbatterij die lithiumionen gebruikt. Hoewel de energiedichtheid iets lager is dan die van lithiummetaal, is Li-ion veilig, mits bepaalde voorzorgsmaatregelen in acht worden genomen bij het opladen en ontladen. In 1991 bracht Sony Corporation de eerste Li-ion-batterij op de markt. Andere fabrikanten volgden dit voorbeeld. Vandaag de dag is Li-ion de snelst groeiende en meest veelbelovende batterijchemie.

De energiedichtheid van Li-ion is meestal twee keer zo hoog als die van standaard NiCd. Verbeteringen in de actieve materialen van de elektrode hebben het potentieel om de energiedichtheid te verhogen tot bijna drie keer die van NiCd. Naast de hoge capaciteit zijn de belastingskenmerken redelijk goed en gedragen ze zich qua ontladkenmerken vergelijkbaar met NiCd (vergelijkbare vorm van ontladprofiel, maar andere spanning). De vlakke ontladcurve biedt effectief gebruik van het opgeslagen vermogen in een wenselijk spanningsspectrum.

De hoge celspanning maakt batterijpacks met slechts één cel mogelijk. De meeste moderne mobiele telefoons werken op één cel, een voordeel dat het batterijontwerp vereenvoudigt. Om hetzelfde vermogen te behouden, worden hogere stromen gebruikt. Een lage celweerstand is belangrijk om een onbelemmerde stroomafgifte tijdens belastingspulsen mogelijk te maken.

De Li-ion-batterij is onderhoudsarm, een voordeel waar de meeste andere soorten geen aanspraak op kunnen maken. Er is geen geheugen en er zijn geen cycli nodig om de levensduur van de batterij te verlengen. Bovendien is de zelfontlading minder dan de helft in vergelijking met NiCd, waardoor Li-ion zeer geschikt is voor moderne brandstofmetertoepassingen. Li-ion-cellen veroorzaken weinig schade als ze worden weggegooid.

Ondanks de algemene voordelen heeft Li-ion ook nadelen. Het is kwetsbaar en heeft een beveiligingscircuit nodig om veilig te kunnen werken. Het beveiligingscircuit dat in elk pack is ingebouwd, beperkt de piekspanning van elke cel tijdens het opladen en voorkomt dat de celspanning te laag wordt tijdens het ontladen. Daarnaast wordt de celtemperatuur bewaakt om temperatuurextremen te voorkomen. De maximale laad- en ontlaadstroom is beperkt tot 1C à 2C. Met deze voorzorgsmaatregelen is de kans op metallische lithiumplating als gevolg van overladen vrijwel uitgesloten.

Veroudering is een probleem bij de meeste Li-ion-batterijen en veel fabrikanten zwijgen over dit probleem. Na een jaar is al enige capaciteitsvermindering merkbaar, of de batterij nu in gebruik is of niet. Na twee of misschien drie jaar gaat de batterij vaak stuk. Opgemerkt moet worden dat ook andere chemische stoffen leeftijdsgelateerde degeneratieve effecten hebben. Dit geldt met name voor NiMH als deze wordt blootgesteld aan hoge omgevingstemperaturen.

Door de batterij op een koele plaats te bewaren, wordt het verouderingsproces van Li-ion (en andere chemische stoffen) vertraagd. Fabrikanten raden een opslagtemperatuur van 15°C (59°F) aan. Bovendien moet de batterij gedeeltelijk worden opgeladen tijdens opslag.

Fabrikanten zijn voortdurend bezig om de chemische samenstelling van de Li-ion-batterij te verbeteren. Ongeveer elke zes maanden worden er nieuwe en verbeterde chemische combinaties geïntroduceerd. Met zo'n snelle vooruitgang is het moeilijk in te schatten hoe goed de herziene batterij zal verouderen.

De voordeligste Li-ion-batterij wat betreft de verhouding tussen kosten en energie is de cilindrische 18650-cel. Deze cel wordt gebruikt voor mobiele computers en andere toepassingen die geen ultradunne geometrie vereisen. Als een slanke batterij nodig is (dunner dan 18 mm), is de prismatische Li-ion-cel de beste keuze. De energiedichtheid is niet hoger dan bij de 18650, maar de kosten voor het verkrijgen van dezelfde energie kunnen wel verdubbelen.

Voor ultraslanke geometrie (minder dan 4 mm) is Li-ion-polymeer de enige juiste keuze. Dit is het duurste systeem wat betreft de verhouding tussen kosten en energie. Zowel de energiedichtheid als de duurzaamheid zijn inferieur aan die van de robuuste 18560-cel.

## Voordelen en beperkingen van Li-ion-batterijen

### Voordelen

- / Hoge energiedichtheid - potentieel voor nog hogere capaciteiten.
- / Relatief lage zelfontlading - de zelfontlading is minder dan de helft van die van NiCd en NiMH.
- / Weinig onderhoud - periodieke ontlading is niet nodig; geen geheugen.

### Beperkingen

- / Beveiligingscircuit vereist - beveiligingscircuit beperkt spanning en stroom. Batterij is veilig als deze niet wordt blootgesteld.
- / Onderhevig aan veroudering, zelfs als de batterij niet wordt gebruikt - als de batterij op een koele plaats wordt bewaard en voor 40% wordt opgeladen, wordt het verouderingseffect verminderd.
- / Matige ontlaadstroom.
- / Afhankelijk van transportregelgeving - verzending van grotere hoeveelheden Li-ion-batterijen kan onderhevig zijn aan regelgevende controle. Deze beperking is niet van toepassing op persoonlijke draagbare batterijen.
- / Duur om te produceren - ongeveer 40% duurder dan NiCd. Betere productietechnieken en vervanging van zeldzame metalen door goedkopere alternatieven zullen de prijs waarschijnlijk verlagen.
- / Niet volledig volgroeid - veranderingen in metaal- en chemische combinaties beïnvloeden de testresultaten van batterijen, vooral bij sommige snelle testmethoden.

Figuur 5: Voordelen en beperkingen van Li-ion-batterijen

# De lithium-polymeerbatterij

Het Li-polymeer onderscheidt zich van andere batterijsystemen door het type elektrolyt dat wordt gebruikt. Het oorspronkelijke ontwerp, dat dateert uit de jaren '70, maakt gebruik van een droge vaste polymeerelektrolyt. Deze elektrolyt lijkt op een plastic-achtige film die geen elektriciteit geleidt, maar een uitwisseling van ionen (elektrisch geladen atomen of groepen atomen) mogelijk maakt. De polymeerelektrolyt vervangt de traditionele poreuze separator, die doordrenkt is met elektrolyt.

Het ontwerp van droog polymeer biedt vereenvoudigingen op het gebied van fabricage, robuustheid, veiligheid en geometrie met een dun profiel. Er is geen gevaar voor ontvlambaarheid omdat er geen vloeibare of gegeleerde elektrolyt wordt gebruikt. Met een celdikte van slechts één millimeter (0,039 inch) kunnen ontwerpers van apparatuur hun fantasie de vrije loop laten wat betreft vorm en afmetingen.

Helaas heeft het droge Li-polymeer een slechte geleidbaarheid. De interne weerstand is te hoog en kan niet de stroomstoten leveren die nodig zijn voor moderne communicatieapparatuur en het opstarten van de harde schijven van mobiele computerapparatuur. Verhitting van de cel tot 60°C (140°F) en hoger verhoogt de geleidbaarheid, maar deze vereiste is ongeschikt voor draagbare toepassingen.

Om een kleine Li-Polymeer-batterij geleidend te maken, wordt er een beetje elektrolyt in de vorm van een gel toegevoegd. De meeste commerciële Li-polymeer-batterijen die tegenwoordig voor mobiele telefoons worden gebruikt, zijn hybride en bevatten gelvormig elektrolyt. De correcte term voor dit systeem is Lithium-ion-polymeer. Om marketingtechnische redenen noemen de meeste batterijfabrikanten de batterij gewoon Li-polymeer. Omdat het hybride lithiumpolymeer tegenwoordig de enige werkende polymeerbatterij voor draagbaar gebruik is, zullen we ons op deze chemie richten.

Wat is dan het verschil tussen het klassieke Li-ion en het Li-ionpolymeer, met de toevoeging van gelvormig elektrolyt? Hoewel de eigenschappen en prestaties van de twee systemen erg op elkaar lijken, is het Li-ionpolymeer uniek omdat het vaste elektrolyt de poreuze separator vervangt. De gelvormige elektrolyt wordt eenvoudigweg toegevoegd om de ionengeleiding te verbeteren.

Technische problemen en vertragingen in de serieproductie hebben de introductie van de Li-ionpolymeerbatterij uitgesteld. Bovendien is de beloofde superioriteit van het Li-ionpolymeer nog niet waargemaakt. De capaciteit is niet verbeterd - in feite is de capaciteit iets lager dan die van de standaard Li-ionaccu. Voorlopig is er geen kostenvoordeel. De belangrijkste reden om over te schakelen op het Li-ion polymeer is de vormfactor. Het maakt flinterdunne geometrieën mogelijk, een stijl die wordt gevraagd door de zeer concurrerende mobiele telefoonindustrie.

### Voordelen en beperkingen van Li-ion-polymeerbatterijen

#### Advantages

- / Zeer laag profiel - batterijen die lijken op het profiel van een creditcard zijn haalbaar.
- / Flexibele vormfactor - fabrikanten zijn niet gebonden aan standaard celformaten. Met een hoog volume kan elk redelijk formaat op een economische manier worden geproduceerd.
- / Lichtgewicht - elektrolyten in gelvorm in plaats van vloeibare elektrolyten maken een vereenvoudigde verpakking mogelijk, waarbij in sommige gevallen het metalen omhulsel kan worden weggelaten.
- / Verbeterde veiligheid - beter bestand tegen overladen; minder kans op elektrolytlekkage.

#### Limitations

- / lagere energiedichtheid en lager aantal cycli in vergelijking met Li-ion - er is potentieel voor verbeteringen.
- / Duur om te produceren - zodra het Li-ion polymeer in massa reproduceerd wordt, kan het goedkoper worden. Een kleiner regelcircuit compenseert de hogere productiekosten.