

# Ontladingskenmerken van Li-ion

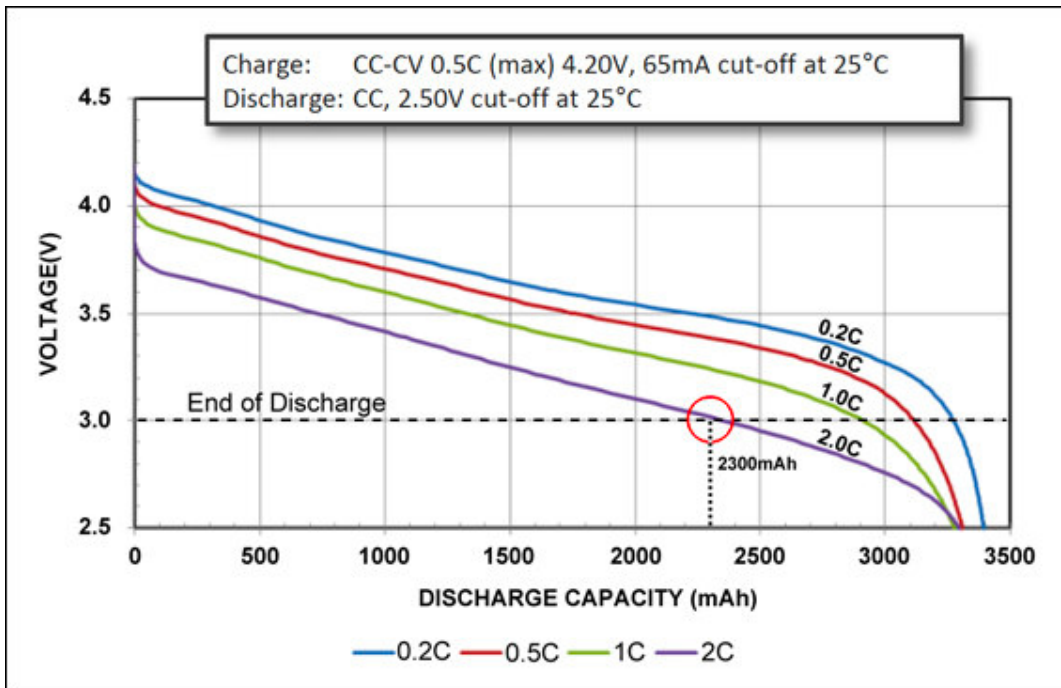
De vroege Li-ion batterij werd als fragiel en ongeschikt voor hoge belastingen beschouwd. Dit is veranderd en tegenwoordig doen op lithium gebaseerde systemen niet onder voor de robuuste nikkel- en loodchemie. Er zijn twee basistypen Li-ion ontstaan: de Energy Cell en de Power Cell.

De prestaties van deze twee soorten batterijen worden gekenmerkt door energieopslag, ook wel capaciteit genoemd, en stroomafgifte, ook wel belasting of vermogen genoemd. De energie- en vermogenskenmerken worden bepaald door de deeltjesgrootte op de elektroden. Grotere deeltjes vergroten het oppervlak voor een maximale capaciteit en fijn materiaal verkleint het oppervlak voor een hoog vermogen.

Een kleinere deeltjesgrootte verlaagt de aanwezigheid van elektrolyt dat de holtes vult. Het volume elektrolyt in de cel bepaalt de capaciteit van de batterij. Het verkleinen van de deeltjesgrootte verkleint de holtes tussen de deeltjes, waardoor het elektrolytgehalte daalt. Te weinig elektrolyt vermindert de ionische mobiliteit en beïnvloedt de prestaties. Denk aan een opdrogende viltstift die moet herstellen om papier te kunnen blijven markeren.

# Li-ion Energy Cell

De Li-ion Energy Cell is gemaakt voor maximale capaciteit om lange looptijden te bieden. De Panasonic NCR18650B Energy Cell (Figuur 1) heeft een hoge capaciteit, maar is minder duurzaam bij ontlading op 2C. Bij de ontladingslimiet van 3,0 V/cel levert een ontlading bij 2C slechts ongeveer 2,3 Ah op in plaats van de gespecificeerde 3,2 Ah. Deze cel is ideaal voor draagbare computers en vergelijkbare lichte toepassingen.



**Figuur 1:**  
Ontladingskenmerken van  
NCR18650B Energy Cell van  
Panasonic [1]

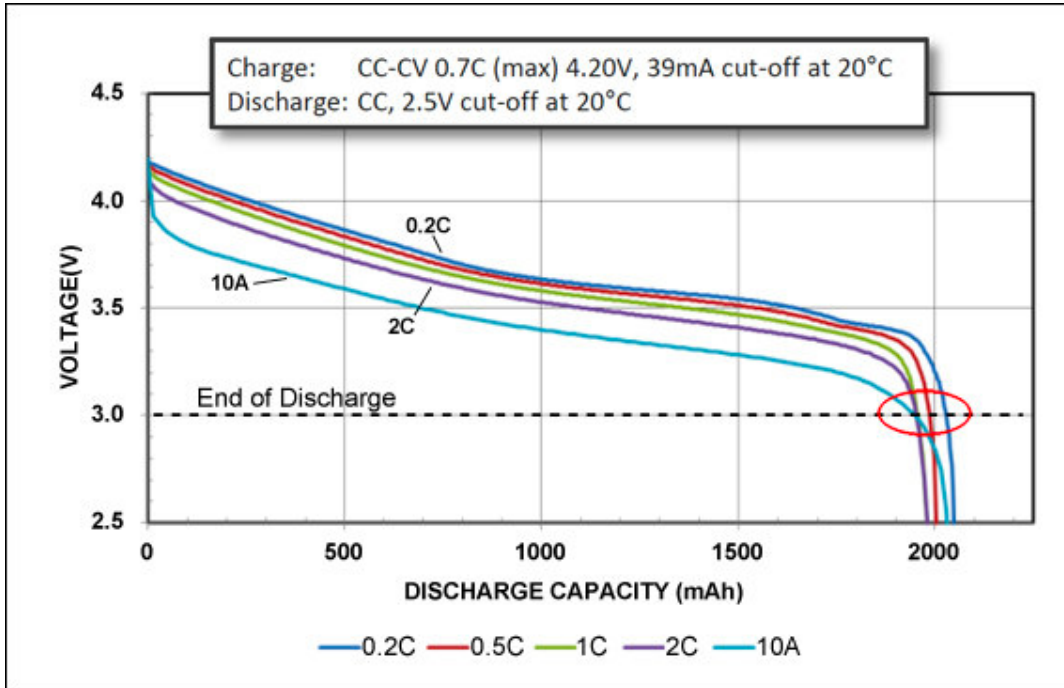
De 3.200mAh Energy Cell wordt ontladen bij 0,2C, 0,5C, 1C en 2C. De cirkel op de 3,0V/ cellijn markeert het ontladpunt bij 2C.

Koude temperatuurverliezen:

- / 25°C (77°F) = 100%
- / 0°C (32°F) = ~83%
- / -10°C (14°F) = ~66%
- / -20°C (4°F) = ~53%

# Li-ion Power Cell

De Panasonic UR18650RX Power Cell (Figuur 2) heeft een matige capaciteit maar uitstekende laadcapaciteiten. Een ontlading van 10 A (5 C) heeft een minimaal capaciteitsverlies bij de uitschakelspanning van 3,0 V. Deze cel werkt goed voor toepassingen die een zware laadstroom vereisen, zoals elektrisch gereedschap.



**Figuur 2:**  
Ontladingskenmerken van  
UR18650RX Power Cell van  
Panasonic [1]

De 1950mAh Power Cell wordt ontladen bij 0,2C, 0,5C, 1C, 2C en 10A. Al deze capaciteiten bereiken de 3,0V/cel cut-off lijn bij ongeveer 2000 mAh. De Power Cell heeft een matige capaciteit maar

levert een hoge stroomsterkte. Koude temperatuurverliezen:

- / 25°C (77°F) = 100%
- / 0°C (32°F) = ~92%
- / -10°C (14°F) = ~85%
- / -20°C (4°F) = ~80%%

De Li-ion Power Cell staat een continue ontlading van 10C toe. Dit betekent dat een 18650-cel van 2000 mAh een continue belasting van 20 A kan leveren (30 A met Li-fosfaat). De superieure prestaties worden deels bereikt door het verlagen van de interne weerstand en door het optimaliseren van het oppervlak van de actieve celmaterialen. De lage weerstand maakt een hoge stroomsterkte mogelijk met een minimale temperatuurstijging. Bij de maximaal toegestane ontlaadstroom wordt de Li-ion Power Cell verwarmd tot ongeveer 50°C (122°F); de temperatuur is beperkt tot 60°C (140°F).

Om aan de laadvereisten te voldoen, kan de packontwerper ofwel een Power Cell gebruiken om aan de C-rate ontladingsvereisten te voldoen, of kiezen voor de Energy Cell en het pack 'oversizen'. De Energy Cell heeft ongeveer 50 procent meer capaciteit dan de Power Cell, maar de lading moet worden verminderd. Dit kan worden gedaan door het

pack te groot te maken, een methode die de Tesla EV's gebruiken. De batterij bereikt een uitzonderlijke looptijd, maar wordt duur en zwaar.

## LiFePO4 Power Cell

Lithiumijzerfosfaat (LiFePO<sub>4</sub>) is ook verkrijgbaar in 18650-formaat, met een hoge levensduur en superieure laadprestaties, maar een lage specifieke energie (capaciteit). Tabel 3 vergelijkt de specificaties van veelgebruikte op lithium gebaseerde architecturen. Meer informatie is te vinden op BU-205: Soorten lithium-ion.

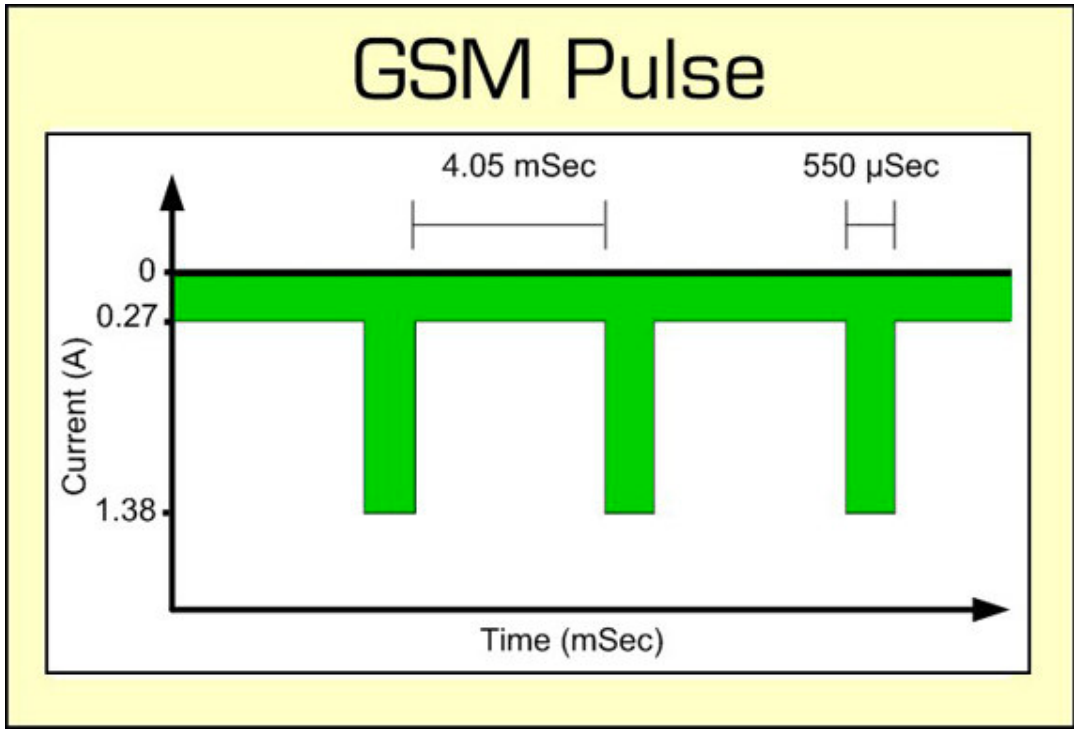
| Chemische naam      | Nominale V | Capaciteit | Energie | Levensduur | Laden                            | Opmerking              |
|---------------------|------------|------------|---------|------------|----------------------------------|------------------------|
| Li-ion energie      | 3.6V/cell  | 3,200mAh   | 11.5Wh  | ~1000      | 1C (alleen lichte belasting)     | Langzaam opladen (<1C) |
| Li-ion vermogen     | 3.6V/cell  | 2,000mAh   | 7.2Wh   | ~1000      | 5C (continue grote belasting)    | Goed temperatuurbereik |
| LiFePO <sub>4</sub> | 3.3V/cell  | 1.200mAh   | 3.9Wh   | ~2000      | 25C (zeer grote cont. belasting) | Robuust, veilig        |

*Tabel 3: Maximaliseren van capaciteit, levensduur en belasting met lithium-gebaseerde accu-architecturen*

## Handtekening ontleding

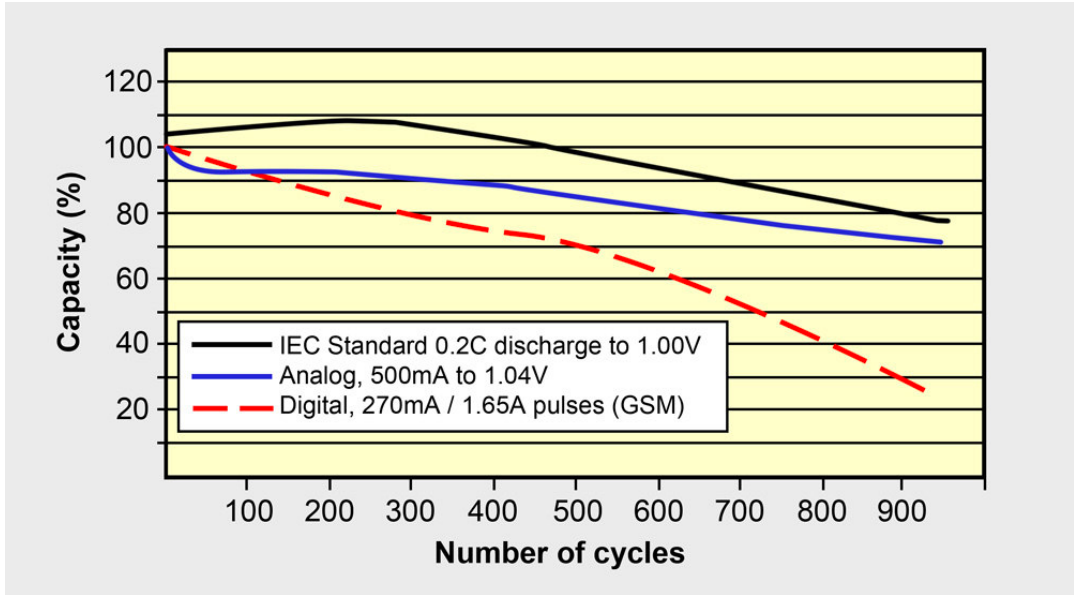
Een van de unieke kwaliteiten van nikkel- en lithiumbatterijen is het vermogen om continu een hoog vermogen te leveren totdat de batterij leeg is; een snel elektrochemisch herstel maakt dit mogelijk. Loodzuur is langzamer en dit kan worden vergeleken met een opdrogende viltstift die werkt voor korte markeringen op papier en daarna moet rusten om de inkt weer aan te vullen. Terwijl het herstel relatief snel is bij ontleding, en dit kan worden gezien bij het starten van de motor, wordt de trage chemische reactie duidelijk bij het opladen. Dit wordt alleen maar erger met de jaren.

Een batterij kan ontladen bij een gelijkmatige belasting van bijvoorbeeld 0,2C, zoals in een zaklamp, maar veel toepassingen vereisen een kortstondige belasting met het dubbele of drievoudige van de C-waarde van de batterij. GSM (Global System for Mobile Communications) voor een mobiele telefoon is zo'n voorbeeld (Figuur 4). GSM belast de accu met maximaal 2 A bij een puls frequentie van 577 microseconden ( $\mu$ s). Dit vraagt veel van een kleine accu; bij een hoge frequentie begint de accu zich echter meer als een grote condensator te gedragen en veranderen de eigenschappen van de accu.



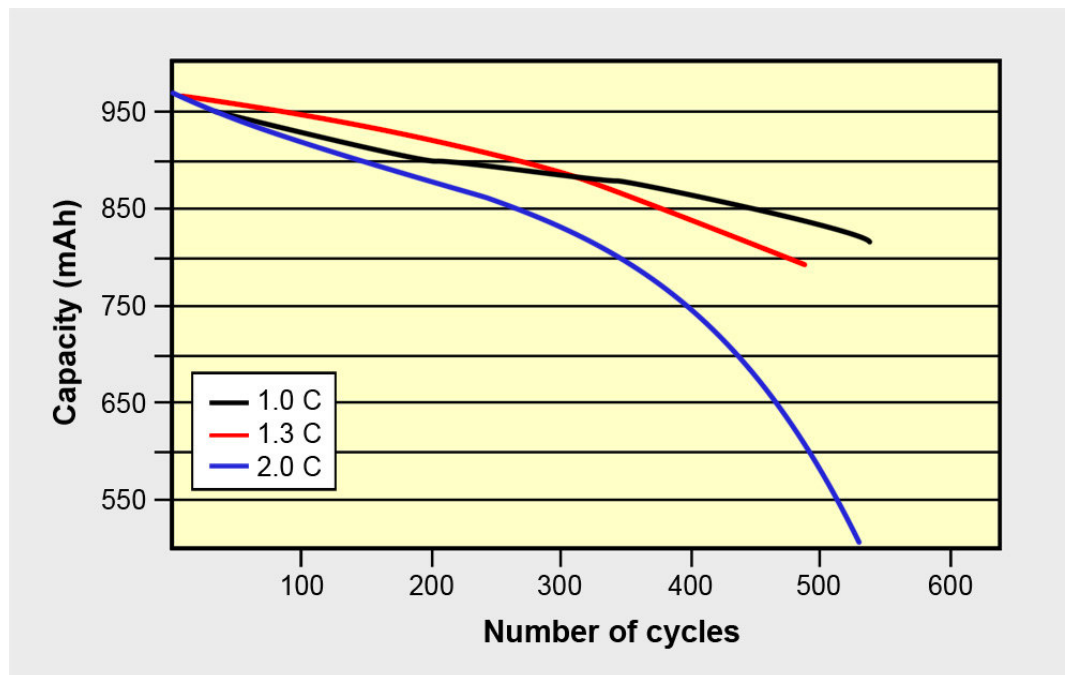
**Figuur 4:** GSM-ontladingspulsen van een mobiele telefoon[2]  
De 577 microseconde pulsen die uit de batterij worden getrokken, passen zich aan de veldsterkte aan en kunnen 2 ampère bereiken.

Voor een lange levensduur geeft een accu de voorkeur aan een gematigde stroom bij een constante ontlading boven een pulserende of kortstondige hoge belasting. Figuur 5 toont de afnemende capaciteit van een NiMH-accu bij verschillende laadomstandigheden, van een rustige gelijkstroomontlading van 0,2C, een analoge ontlading tot een pulserende ontlading. De meeste accu's, inclusief Li-ion, volgen een vergelijkbaar patroon wat betreft laadomstandigheden.



**Figuur 5:** Levensduur van NiMH onder verschillende laadomstandigheden [3]  
NiMH presteert het best bij gelijkstroom- en analoge belastingen; digitale belastingen verlagen de levensduur. Li-ion gedraagt zich vergelijkbaar.

Figuur 6 onderzoekt het aantal volledige cycli dat een Li-ion Energy Cell kan verdragen bij ontlading bij verschillende C-rates. Bij een ontlading van 2C vertoont de batterij veel meer stress dan bij 1C, waardoor het aantal cycli beperkt blijft tot ongeveer 450 voordat de capaciteit tot de helft daalt.



**Figuur 6:** Levensduur van Li-ion Energy Cell bij verschillende ontladingsniveaus[4] De slijtage van alle accu's neemt toe naarmate ze zwaarder worden belast. Power Cells zijn robuuster dan Energy Cells.

## Eenvoudige richtlijnen voor het ontladen van batterijen

- / Hitte verhoogt de prestaties van de batterij, maar verkort de levensduur met een factor twee voor elke 10°C stijging boven 25-30°C (18°F boven 77-86°F). Houd de batterij altijd koel.
- / Voorkom overontlading. Het omkeren van de cel kan kortsluiting veroorzaken.
- / Verminder de belasting bij hoge belasting en herhaaldelijk volledig ontladen door een grotere batterij te gebruiken.
- / Een gemiddelde gelijkstroomontlading is beter voor een accu dan pulserende en kortstondige zware belastingen.
- / Een accu vertoont condensatorachtige eigenschappen bij ontlading met hoge frequentie. Dit maakt hogere piekstromen mogelijk dan bij een gelijkstroombelasting.
- / Accu's op nikkel- en lithiumbasis hebben een snelle chemische reactie; loodzuur is traag en heeft een paar seconden nodig om te herstellen tussen zware ladingen.
- / Alle batterijen ondervinden stress wanneer ze worden uitgerekt tot de maximaal toegestane toleranties.

### References

- [1] Source: Panasonic      [3] Source: Zhang (1998)  
 [2] Courtesy of Cadex      [4] Source: Choi et al (2002)