

Opladen van Li-ion batterijen bij lage temperaturen





Nederlands Instituut Publieke Veiligheid
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.nipv.nl
info@nipv.nl
026 355 24 00

Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2023

Auteur H. Brans

Datum 20 februari 2023

Wij hechten veel belang aan kennisdeling. Delen uit deze publicatie mogen dan ook worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding.

Het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid is bij wet vastgelegd onder de naam Instituut Fysieke Veiligheid.

Inhoud

	Inleiding	4
1	De invloed van temperatuur op opladen, snelladen en ontladen	5
1.1	Toelaatbare temperaturen voor opladen en ontladen	5
1.2	Lagere State of Charge en capaciteit	6
1.3	Theorie en verklaring	7
2	Aanbevelingen	9
	Bronnenlijst	10

Inleiding

Veel consumenten zijn er niet van op de hoogte dat het opladen van Li-ion batterijen bij temperaturen onder het vriespunt schade kan toebrengen aan de batterijcellen. In handleidingen van voertuigen en op websites worden wel adviestemperaturen genoemd, maar de onderbouwing daarvoor ontbreekt.

Het lectoraat Energie- en transportveiligheid vindt het van belang inzicht te krijgen in de factoren, die ervoor zorgen dat schade kan optreden. Daarvoor is een literatuuronderzoek uitgevoerd. De uitkomsten van het onderzoek staan in dit rapport.

1 De invloed van temperatuur op opladen, snelladen en ontladen

Hoewel van buitenaf de batterij normaal lijkt op te laden onder de 0 °C, tonen experimenten aan dat het inwendige van de batterijcellen degradeert. Als gevolg hiervan is een afname in prestaties waar te nemen en kan op termijn ook de veiligheid afnemen. De negatieve effecten zijn nog sterker bij een grotere laadstroom en dus wordt snelladen, door middel van een hogere laadstroom, bij lage temperaturen in het bijzonder afgeraden (Buchmann, 2022; Ouyang et al., 2019). Bij een 36 V fietsaccu, de meest voorkomende, geldt dat van snelladen wordt gesproken bij een laadstroom van 3 A en hoger.

1.1 Toelaatbare temperaturen voor opladen en ontladen

In tabel 1.1 zijn de toelaatbare temperaturen die doorgaans worden aangeraden weergegeven.

Tabel 1.1 Toelaatbare temperaturen voor opladen en ontladen (Buchmann, 2022)

Opladen	Snelladen*	Ontladen
0 tot 45 °C	5 tot 45 °C	-20 tot 60 °C

*Laadstroom van 3 A en hoger bij een 36 V accu (meest voorkomende fietsaccu).

Uit experimenten blijkt dat prestaties en capaciteit zowel tijdens het opladen als ontladen lager zijn bij lagere temperaturen. De lagere prestaties zijn experimenteel waarneembaar als een spanningsverlies (afname in Voltage) en de lagere capaciteit als een lager maximaal haalbare State of Charge (afname in Ampère-uur). Beide resulteren in een afname van de hoeveelheid opgeslagen en beschikbare energie (kilowattuur). Dat wil zeggen dat het bereik van een elektrische fiets, scooters en auto's lager is op een koude winterdag. In de praktijk kan de capaciteit en daarmee het bereik in uiterste gevallen tot wel 50% afnemen bij een temperatuur van -20°C (Buchmann, 2022; Fischer, 2022).

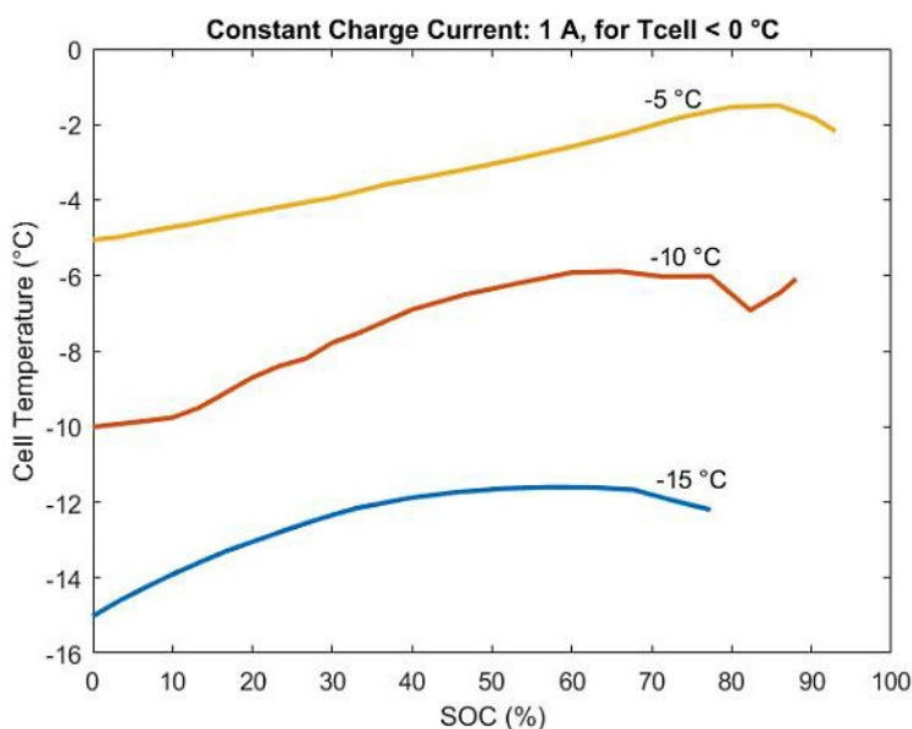
Het opladen van batterijen bij temperaturen onder het vriespunt kan daarnaast permanente schade toebrengen aan de batterijcellen. Vandaar dat de toelaatbare temperatuurmarge voor het opladen kleiner is. De optimale gebruikstemperatuur voor opladen en ontladen ligt tussen de 15 en 35 graden Celsius (Ma et al., 2018).

Er bestaan overigens wel speciaal ontworpen (professionele) batterijcellen, batterijpakketten en opladers voor opladen onder het vriespunt. Een voorbeeld hiervan is een batterijpakket met ingebouwd verwarmingselement dat aanslaat als er wordt opgeladen onder het vriespunt. Ook

kan dit een oplader zijn die automatisch de laadstroom verlaagt, alleen is het nadeel hiervan dat de oplaadtijd dan fors langer is. In het algemeen zitten dergelijke systemen standaard ingebouwd in elektrische auto's als onderdeel van het Battery Management System (BMS) (Najman, 2021). Voor zover ons bekend is dat niet het geval bij elektrische fietsen en scooters. Dergelijke batterijsystemen zijn immers duurder door de extra eisen waaraan ze moeten voldoen (Buchmann, 2022).

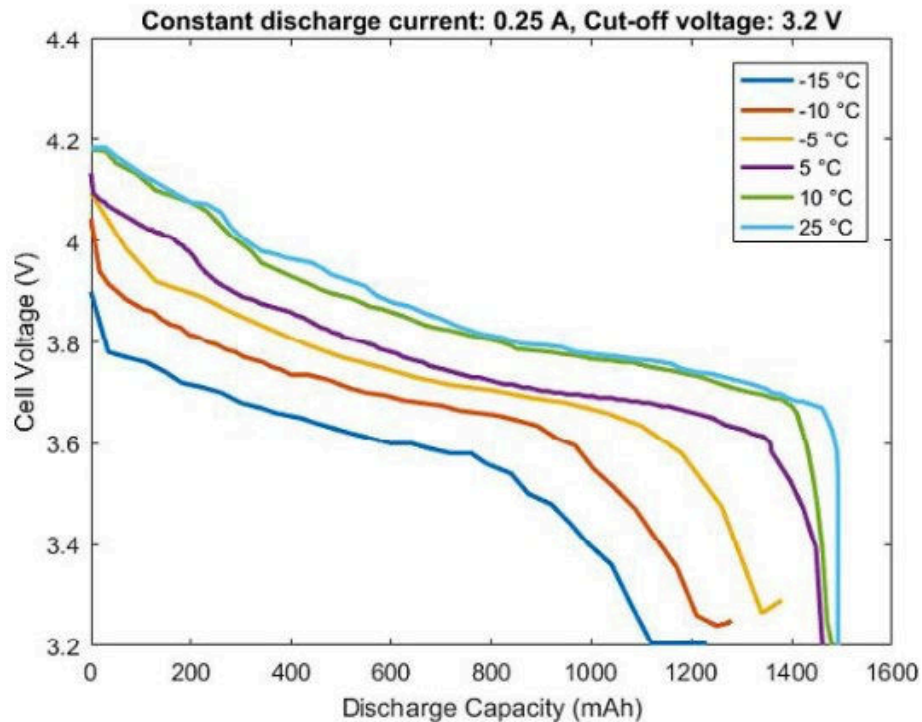
1.2 Lagere State of Charge en capaciteit

In figuur 1.1 is weergegeven dat tijdens opladen onder het vriespunt het niet mogelijk is om de batterij volledig op te laden tot een 100% State of Charge. In dit experiment blijkt dat de maximaal haalbare State of Charge bij temperaturen van -5 tot -15 graden Celsius met 7 tot 23% is afgenomen.



Figuur 1.1 Lagere State of Charge bij opladen onder het vriespunt (bron: Mohamad Aris en Shabani, 2017)

Ook tijdens het ontladen is de lagere capaciteit van batterijen waarneembaar. Er zijn hiervan meerdere zogeheten 'discharge curves' in de wetenschappelijke literatuur te vinden. In figuur 1.2 is een voorbeeld van een dergelijke grafiek weergegeven. Hierin is te zien dat batterijcellen bij lage temperaturen een aanzienlijk lagere capaciteit hebben ten opzichte van omgevingstemperaturen boven het vriespunt. Dit is te zien door te kijken naar de blauwe, oranje en gele lijn. Deze lijnen 'stoppen' eerder en dit betekent dat hier een lagere capaciteit wordt behaald.



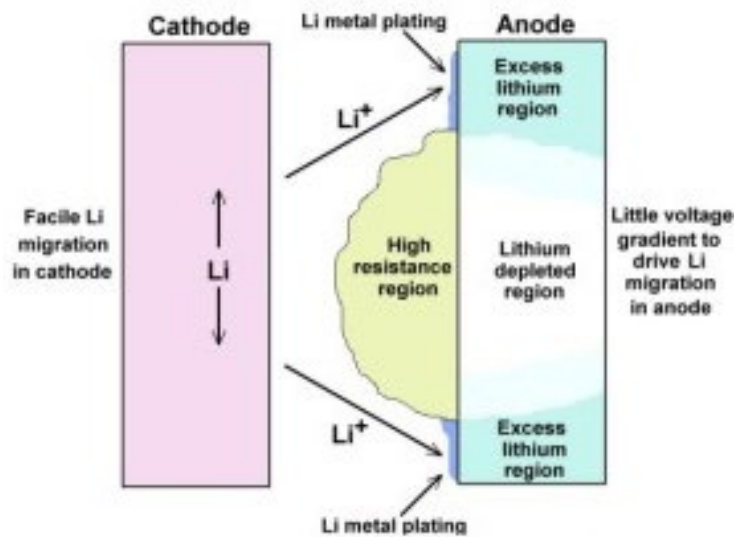
Figuur 1.2 Lagere capaciteit bij ontladen (bron: Mohamad Aris en Shabani, 2017)

1.3 Theorie en verklaring

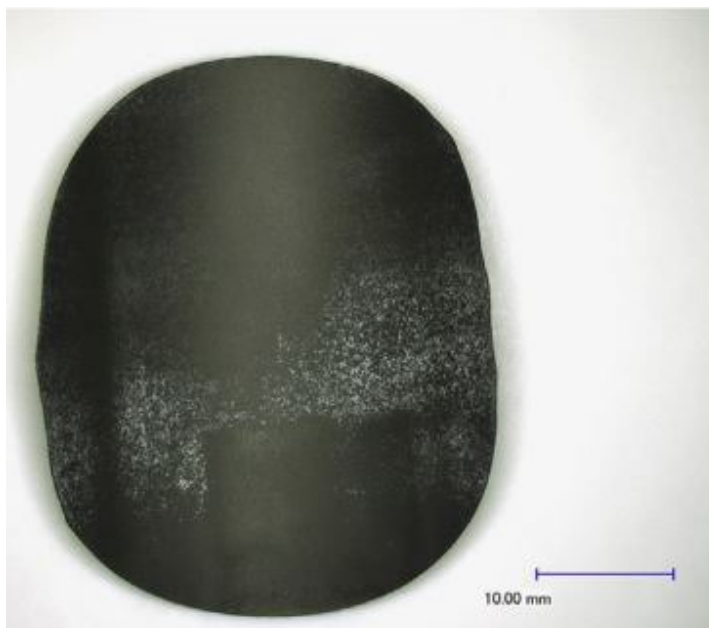
De afgenomen capaciteit en prestaties worden verklaard door het feit dat de ionische geleidbaarheid van materialen afneemt als de temperatuur daalt. In batterijen wordt dit met name waarneembaar bij temperaturen onder de 0°C. Lithiumionen worden dan minder makkelijk doorgelaten, waardoor de batterij minder goed werkt. Bovendien leidt dit tot een hogere interne weerstand van de batterij. Hierdoor nemen de prestaties en capaciteit zowel tijdens opladen als ontladen af bij temperaturen onder het vriespunt (Ma et al., 2018). Hoewel de batterij door een verhoogde interne weerstand ook enigszins opwarmt (ook te zien in figuur 1), is dit onvoldoende om hiervoor te compenseren. Voor wat betreft het ontladen wordt geschreven dat de afgenomen capaciteit alleen van toepassing is bij lage temperaturen en weer wordt hersteld bij kamertemperatuur rond de 20°C (Buchmann, 2022).

Het opladen van batterijen bij temperaturen onder het vriespunt kan echter wel permanente degradatie van de batterijcel veroorzaken. Dit komt doordat de efficiëntie van de elektrochemische reacties, welke plaatsvinden tijdens het opladen, lager zijn onder het vriespunt. Hierdoor worden de lithiumionen tijdens het opladen bij lage temperaturen als het ware geforceerd. Dit houdt in dat een aantal lithiumionen niet wordt opgenomen in de anode, maar vast blijven kleven op het oppervlak ervan en een laagje lithiummetaal op de anode vormen. Dit wordt plating genoemd en is schematisch weergegeven in figuur 1.3. Het afgezette lithiummetaal is hier in het donkerblauw weergegeven. In figuur 1.4 is het afgezette lithiummetaal ook daadwerkelijk zichtbaar geworden op een opengewerkte en bewerkte anode na een experiment van honderd laadcycli onder het vriespunt. Plating leidt tot permanente degradatie van de batterij (Petzl, 2015). Hoe hoger de laadstroom, hoe sterker ongewenste plating optreedt.

Plating kan ook tot een afname in veiligheid leiden. Het afgezette lithiummetaal kan op termijn namelijk uitgroeien tot dendrieten. Dendrieten zijn uitstekende vertakkingen van lithiummetaal die uiteindelijk door de scheidingslaag tussen anode en kathode (separator) heen groeien. In het uiterste geval leiden dendrieten tot een interne kortsluiting (Petzl et al., 2015).



Figuur 1.3 Plating (blauwe aanslag: Li metal plating), schematische weergave
(bron: UPS Battery Center)



Figuur 1.4 Plating (witte puntjes) op opengewerkte anode uit batterijcel
(bron: Petzl et al.)

2 Aanbevelingen

Op basis van de bevindingen uit het literatuuronderzoek, is het advies:

- > Laad een elektrische fiets en scooter op bij een omgevingstemperatuur tussen de 0 en 45 °C.
- > Laad 's winters enkel op als de temperatuur in de schuur (of iets dergelijks) boven de 0 graden is. Als dat niet kan, laad dan binnen op maar blijf in de ruimte gedurende het laden en controleer regelmatig of de accu en de lader niet te warm worden. Als dat wel het geval is, stop het laden en breng de accu en lader naar buiten.
- > Zorg bij het gebruik van een snellader, met hogere laadstroom, voor een minimale omgevingstemperatuur van 5 °C.
- > Houd rekening met een lager bereik van elektrische fiets, scooter en auto op koude winterdagen.

Lees ook de 10 tips om veilig op te laden op de [website van Brandweer Nederland](#).

Bronnenlijst

Buchmann, Isidor (2022A, 3 maart). *Charging at high and low temperatures*. BatteryUniversity. <https://batteryuniversity.com/article/bu-410-charging-at-high-and-low-temperatures>

Buchmann, Isidor (2022B, 3 maart). *Discharging at high and low temperatures*. BatteryUniversity. <https://batteryuniversity.com/article/bu-502-discharging-at-high-and-low-temperatures>

Fischer, J. (2022, 13 mei). *Does Temperature Affect Electric Vehicle Performance? Yes, But the Details Matter*. CarEdge. <https://caredge.com:443/guides/temperature-affects-electric-vehicle-performance>

Mohamad Aris, A. & Shabani, B. (2017). An Experimental Study of a Lithium Ion Cell Operation at Low Temperature Conditions. *Energy Procedia*, 110, 128-135. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217301479>

Najman, L. (2021, 30 maart). *How Temperature Affects EV Range*. <https://www.recurrentauto.com/research/how-temperature-affects-ev-range>

Ouyang, D., He, Y., Weng, J., Liu, J., Chen, M. & Wang, J. (2019). Influence of low temperature conditions on lithium-ion batteries and the application of an insulation material. *RSC Advances*, 9, 9053-9066. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/ra/c9ra00490d>

Petzl, M., Kasper, M. & Danzer, M.A. (2015). Lithium plating in a commercial lithium-ion battery – A low-temperature aging study, *Journal of Power Sources*, Volume 275, 799-807, ISSN 0378-7753. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.11.065>.

Shuai, M., Jiang, M., Tao, P., Song, C., Wu, J., Wang, J., Deng, T. & Shang, W. (2018). Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review, *Progress in Natural Science: Materials International*, Volume 28, Issue 6, 653-666, ISSN 1002-0071, <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2018.11.002>.

UPS Battery Center (2014, 10 mei). *Lithium Plating*. <https://www.upsbatterycenter.com/blog/lithium-plating/>