

## Über die Wärmebilanz von Akkumulatoren während des Ladens und Entladens

Dr. Ekkehard Füglein und Reinhard Gschwendtner



1 NETZSCH ARC® 254

### Bestimmung des Batteriezustands

Für die Verwendung eines Energiespeichers ist sein aktueller „Füllstand“ immer von Interesse – sei es für die Bewertung der Restlaufzeit eines Mobiltelefons oder eines Laptops oder auch im Hinblick auf die Reichweite

eines Elektrofahrzeugs. Spielt die Ladedauer bei einem Mobiltelefon oder einem Laptop eine eher untergeordnete Rolle, kann sie im Zusammenhang mit der Elektromobilität von besonderer Bedeutung sein.

Den aktuellen Zustand eines Energiespeichers gut zu beschreiben kann schwieriger sein, als es zunächst den Anschein hat. Eine gute Veranschaulichung des aktuellen Zustands eines Akkumulators stellt das Tonnenmodell dar [1]. Im Zusammenhang mit der Zyklisierung von Knopfzellen wurde dieses Modell bereits ausführlich beschrieben [2]. Im Folgenden soll die Wärmeentwicklung beim Laden und Entladen von 18650-Zellen, also deutlich größere Batterien als Knopfzellen, untersucht werden.

### Das NETZSCH ARC® 254

Das NETZSCH ARC® 254 (Abbildung 1) ist ein Accelerating Rate Kalorimeter, mit dem üblicherweise das sogenannte thermische Durchgehen von einzelnen Substanzen oder Reaktionsgemischen untersucht wird [3]. Im Hinblick auf die Zyklisierung von Batterien soll das ARC® 254 jedoch als isothermes Kalorimeter verwendet werden. Dazu kann der Aufbau des ARC® 254 in besonderer Weise genutzt werden. Für die oben erwähnten Sicherheitsuntersuchungen ist der eigentliche Kalorimeterraum im ARC® 254 von diversen voneinander unabhängigen Heizern umgeben. Für die isotherme Untersuchung von Akkumulatoren werden diese im Kalorimeter von einem weiteren Heizer umschlossen, so dass sich die Temperatur der Batterie unabhängig vom Kalorimeter regeln lässt.

## 18650-Zellen

Die sogenannten 18650-Zellen sind Standard-Industriezellen in einem zylindrischen Metallgehäuse mit einem Durchmesser von 18 mm und einer Höhe von 65,0 mm (Abbildung 2).

Die Batterie wird in einen die zylindrische Zelle umschließenden Heizer eingebracht (Abbildung 3) und in den Messraum des Kalorimeters eingebaut.

Die Batterie ist dabei über einen einfachen Stecker mit einer externen Zykliereinheit (Abbildung 4) zum Aufbringen von Strom und Spannung für das Laden und Entladen verbunden.

Das Interesse an der Bestimmung der Wärmebilanzen von Batterien während des Ladens und Entladens ist hochaktuell, aber nicht ganz neu. Zwar weicht der im Folgenden beschriebene Aufbau im NETZSCH ARC® 254 von den Vorlagen in der Literatur ab, die grundsätzliche Vorgehensweise gleicht jedoch dem bereits von Hansen et. al 1982 beschriebenen Verfahren [4].

## Der 3D-VariPhi®-Heizer

Wie bereits angedeutet, wird die zylindrische Batterie direkt vom 3D-VariPhi®-Heizer (⑤ in Abb. 5) umgeben. Dieser muss eine bestimmte Leistung aufbringen, um die Batterie auf einer konstanten Temperatur zu halten. Die benötigte Leistung hängt nicht zuletzt von der Umgebungstemperatur ab.

Damit eine hinreichend große Regelstrecke entsteht, sind die übrigen Heizer des Kalorimeters (②, ⑥, ⑨ und ⑩) in Abbildung 5) konstant auf eine niedrigere Temperatur eingestellt. Würden die in der Batterie ablaufenden energetischen Prozesse während des Ladens und Entladens die Temperatur der Zelle ändern, so kann die Leistungsversorgung des 3D-VariPhi®-Heizers (⑤) darauf unmittelbar reagieren und so für eine konstante Temperatur der Batterie sorgen. Aus der Leistungsbilanz des 3D-VariPhi®-Heizers (⑤) wiederum kann die während der Zyklen aufgenommene oder freigesetzte Wärme der Batterie direkt ermittelt werden.

Da die zur Temperierung der Batterie notwendige Leistung des 3D-VariPhi®-Heizers von Bedeutung ist, ist der Zusammenhang zwischen Heizleistung und Batterietemperatur in Abbildung 6 aufgetragen.



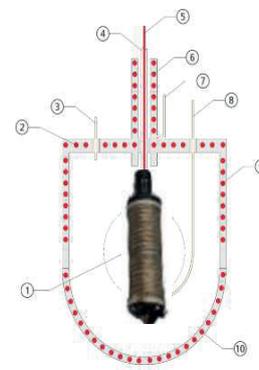
2 SAMSUNG INR 18650-15L



3 3D-VariPhi®-Heizer

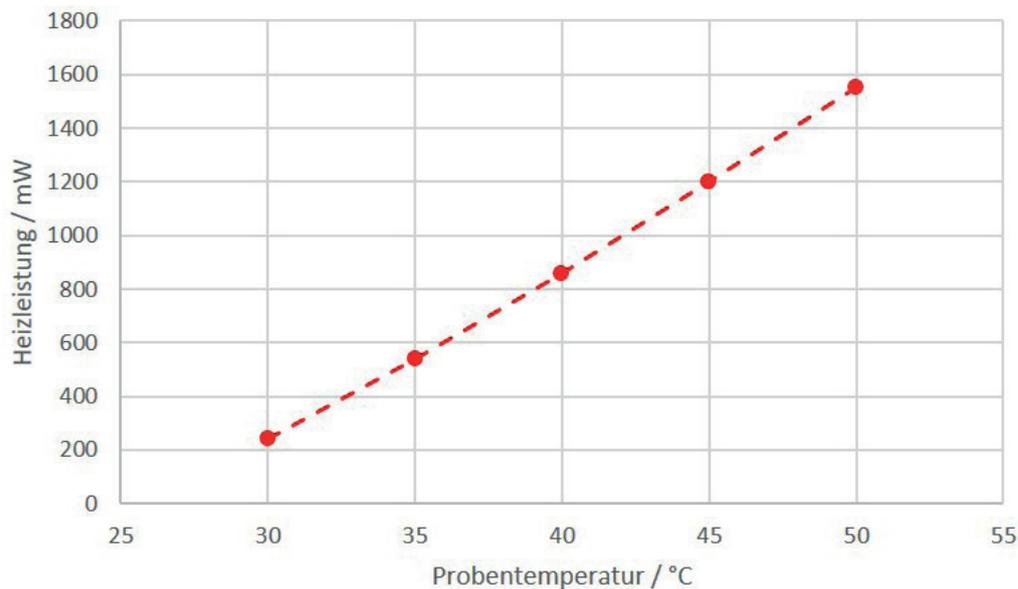


4 Zyklierer Battery Metric MC2020



| Nr. | Beschreibung                 |
|-----|------------------------------|
| ①   | Probenbehälter               |
| ②   | Oberer Kalorimeterheizer     |
| ③   | Oberes Thermoelement         |
| ④   | Durchführung                 |
| ⑤   | VariPhi Heizer (optional)    |
| ⑥   | Heizer für Durchführung      |
| ⑦   | Thermoelement Durchführung   |
| ⑧   | Probenthermoelement          |
| ⑨   | Seitlicher Kalorimeterheizer |
| ⑩   | Unterer Kalorimeterheizer    |

5 Anordnung der Heizer im NETZSCH ARC® 254



6 Notwendige Heizleistung des 3D-VariPhi®-Heizers, um die jeweilige Probentemperatur gegen 25 °C Kalorimeter-temperatur zu realisieren

### Zyklisieren einer 18650-Zelle

Die zu untersuchende 18650-Zelle wurde durch den 3D-VariPhi®-Heizer konstant auf 35 °C temperiert. Nach einem definierten Entladevorgang (cut-off 2,5V) wurde dieser Lithium-Ionen-Akku mit dem sogenannten CC/

CV-Ladeverfahren (constant current/constant voltage) geladen (4,2 V, I-limit 100 mA). Nach 120 min Pause folgte ein Entladen. Beides wurde anschließend einmal wiederholt. Die verwendeten Lade- bzw. Entladeströme sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

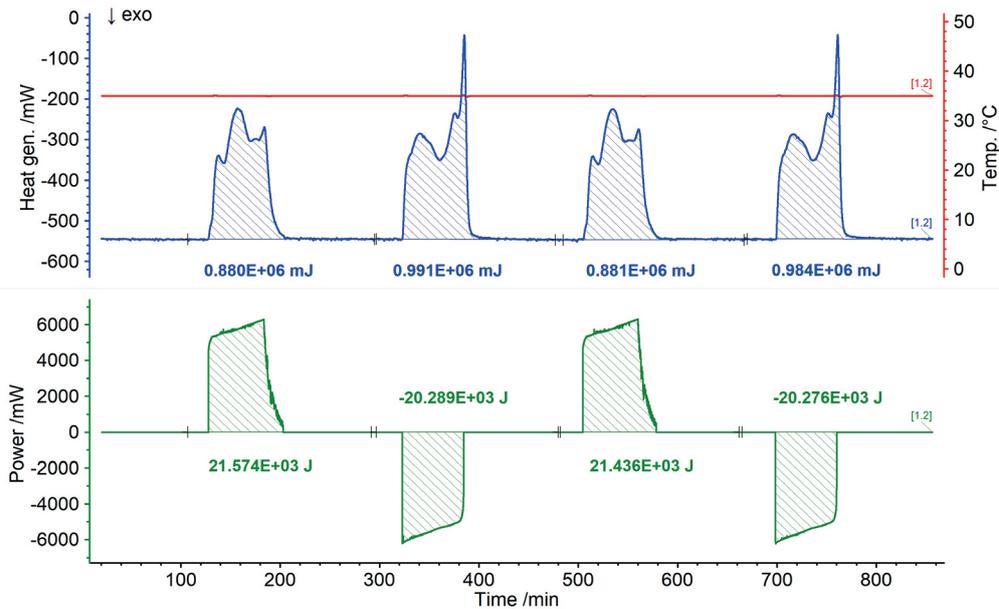
Tabelle 1. Lade- und Entladeströme

|     | Laden   | Entladen |
|-----|---------|----------|
| 1C  | 1500 mA | 1500 mA  |
| C/2 | 750 mA  | 750 mA   |
| C/4 | 375 mA  | 375 mA   |

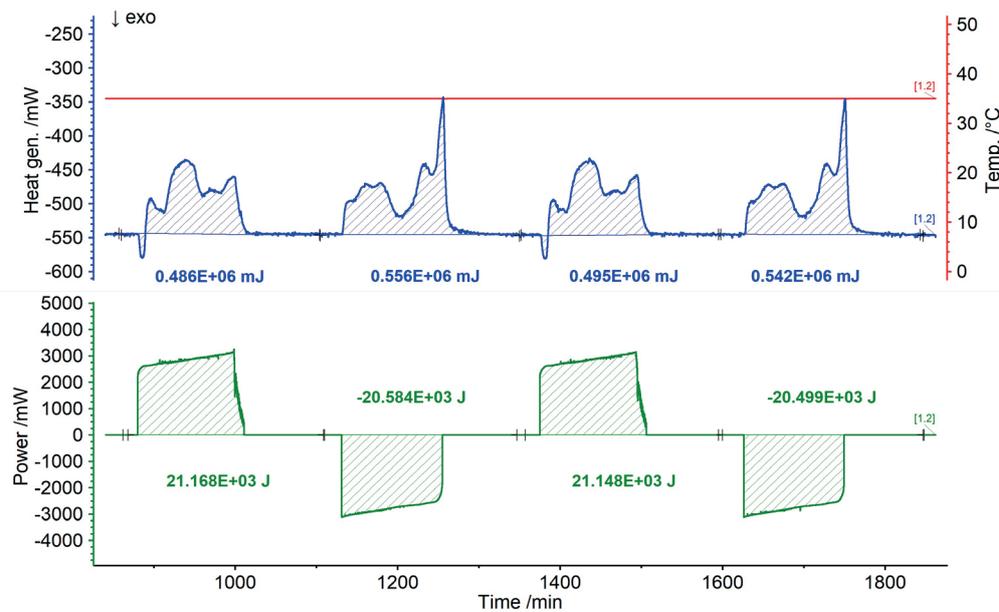
## APPLICATIONNOTE Über die Wärmebilanz von Akkumulatoren während des Ladens und Entladens

Jeder Nutzer weiß aus eigener Erfahrung, dass sich Mobiltelefone oder Laptops bei intensivem Betrieb und ebenso beim Laden erwärmen. In Bezug auf den Ladezyklus stellen diese Wärmeentwicklungen energetische Verluste dar, denn die so freigewordene Wärmemenge steht für die eigentliche Nutzung des Energiespeichers nicht zur Verfügung. Man kann folglich die mit dem ARC®254 bestimmte Wärmemenge während des Ladens

und Entladens als Verluste im Hinblick auf die Ladeeffizienz auffassen. Die Ergebnisse der Wärmetönung der 18650-Zelle in Abhängigkeit von den verschiedenen Laderaten sind in den Abbildungen 7 bis 9 dargestellt. Stellt man die investierte Lade- oder Entladeleistung den gemessenen Wärmetönungen, also den Verlusten, gegenüber, so lässt sich die Effizienz der Teilzyklen unabhängig voneinander bestimmen.

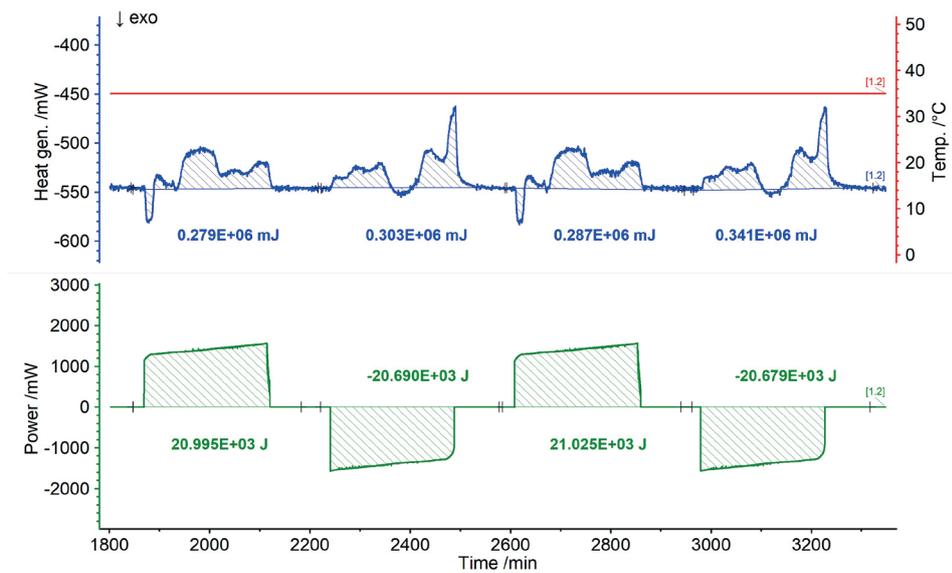


7 Zwei Lade-Entladezyklen der 18650-Zelle (Laderate 1C)

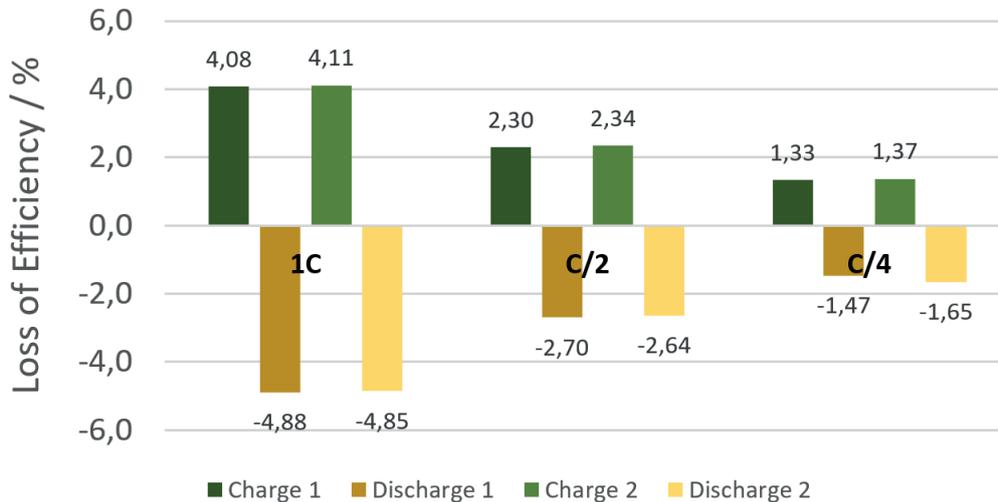


8 Zwei Lade-Entladezyklen der 18650-Zelle (Laderate C/2)

## APPLICATIONNOTE Über die Wärmebilanz von Akkumulatoren während des Ladens und Entladens



9 Zwei Lade-Entladezyklen der 18650-Zelle (Laderate C/4)



10 Zyklieren einer 18650-Zelle bei 35 °C, Ladeeffizienz in Abhängigkeit von der Laderate

### Fazit

Mit dem NETZSCH ARC® 254 wurde eine zylindrische Batterie (18650) bei 35 °C mit verschiedenen Laderaten (1C, C/2, C/4) zyklisiert. Die dabei detektierten Wärmetönungen entsprechen den thermischen Verlusten, die es erlauben, die Effizienz der Zyklen für das Laden und das Entladen unabhängig voneinander zu ermitteln. Gäbe es keine Verluste, so läge die Effizienz bei 100%. Die aus den Wärmetönungen ermittelten Verluste sind für die Lade- und Entladezyklen, sowie für die verschiedenen Laderaten in Abbildung 10 zusammengestellt. Dabei wird deutlich, dass für geringe Laderaten (C/4) die Verluste geringer und damit die Effizienz höher ist als für höhere Laderaten (1C).

### Literatur

- [1] A. Jossen, W. Weydanz, „Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen“, Inge Reichardt Verlag, Untermeitingen, 2006
- [2] NETZSCH Application Note 231, E. Füglein, „Über die Effizienz von Lade- und Entladevorgängen in Lithium-Ionen-Akkumulatoren“, 2021
- [3] NETZSCH Application Note 207, E. Füglein, „Lässt sich ein thermisches Durchgehen stoppen?“, 2021
- [4] L.D. Hansen, R.H. Hart, D.M. Chen, H.F. Gibbard, „High-Temperature Battery Calorimeter“, Rev. Sci. Instrum. 53 (4) 1982, 503