



Ihr Zeichen/Ihr Schreiben vom

Mein Zeichen/Mein Schreiben vom
EST / FS

Clausthal-Zellerfeld, den
3.7.2020

Versuchsprotokoll F500 Löschmittelversuchen an Lithiumionen-Batterien

1. Präparation Lithiumionen-Batteriemodul

Für die Versuche wurde standardmäßig ein Lithiumionen-Batteriemodul mit einem Energieinhalt von 1890 Wh (48V, 39 Ah) verwendet. Das Modul besteht aus 182 parallel und seriell verschalteten Rundzellen mit einem Gesamtgewicht von 10.5 kg.

Das thermische Auslösen der Havarie erfolgte durch zwei in das Modul integrierte Glühkerzen, die mit einer Spannung von 12V und einem Strom von 15A betrieben wurden. Mit dieser Anordnung lassen sich Temperaturen von bis zu 1400 °C in dem Modul nach einem Betrieb von ca. 1 Minute problemlos erreichen. Das Modul ist weiter mit insgesamt 8 Temperatursensoren (Typ k Sensoren) ausgestattet. Jeweils auf der Unter- und Oberseite des Moduls sind zwei Temperatursensoren direkt neben den Glühkerzen und zwei weitere Sensoren an den Rändern angeordnet. Der Temperaturmessbereich liegt zwischen Raumtemperatur und 1400 °C. Die Abb. 1 zeigt das Modul mit Glühkerzen und Temperatursensoren.

Vorstandsvorsitzender:
Prof. Dr. Wolfgang Schade

Administrativer Geschäftsführer:
Dr. Jens-Peter Springmann

Besucheranschrift:
Am Stollen 19A
38640 Goslar

Telefon: (0 53 21) 3816 - 8000
Telefax: (0 53 21) 3816 - 8009
info-est@tu-clausthal.de
<http://www.est.tu-clausthal.de>

Bankverbindung:
Technische Universität Clausthal
Sparkasse Hildesheim Goslar Peine
IBAN: DE71259501300000022111
Swift/BIC Code: NOLADE21HIK

USt.-Ident-Nr. DE811282802

Mitglied im

efzn

Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

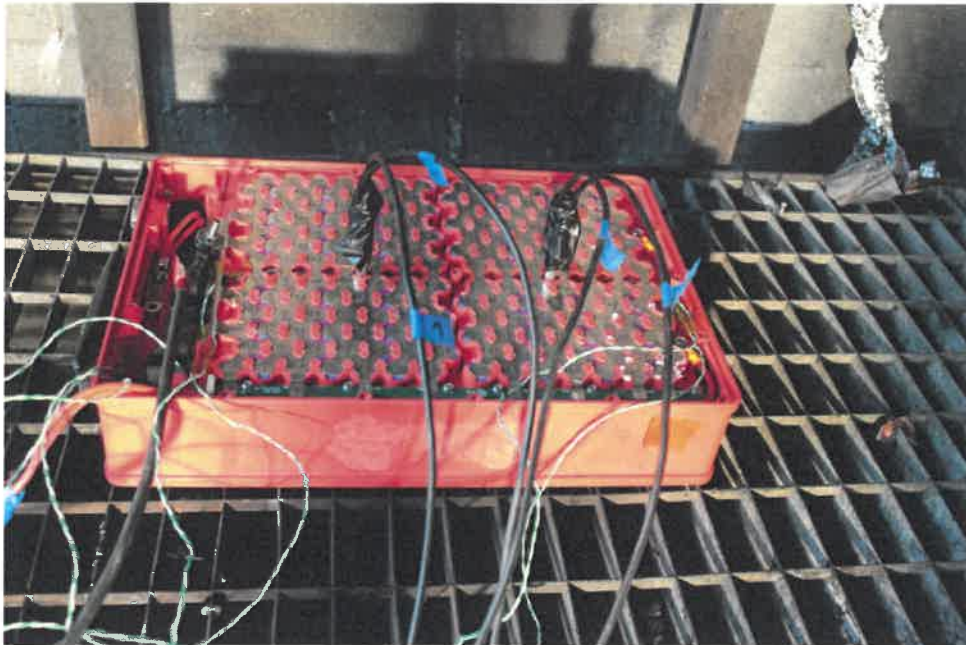


Abb. 1: Lithiumionen-Batteriemodul (1.89 kWh) mit integrierten Glühkerzen zum thermischen Auslösen einer Havarie und Temperatursensoren auf Ober- und Unterseite des Moduls.

2. Versuchsdurchführung

Die Havarie- und Löschversuche wurden in einer Testkammer mit angeschlossener Rauchgasreinigung durchgeführt. Oberhalb des Batteriemoduls wurden in einem Abstand von ca 0.5m zur Oberfläche des Batteriemoduls zwei Düsen montiert über die das Löschmittel appliziert wurde (vgl. Abb.2 und 3). Das Löschmittel besteht aus Wasser, welches mit 2% F500 versetzt wurde. In der Testkammer befindet sich eine Digitalkamera zur Echtzeit Dokumentation des Versuchsablaufs sowie zusätzlich 8 Temperatursensoren (Typ k) und eine Wärmebildkamera zur Aufnahme des Temperaturfeldes auf der Oberfläche des Batteriemoduls. Die Datenrate beträgt 10 Hz. Sämtliche Messdaten werden in Echtzeit in eine Leitwarte übertragen, so dass die Löscheinrichtung manuell je nach Bedarf aktiviert und gesteuert werden kann. Das Messprotokoll mit Zeitstempel ist exemplarisch in der Abb. 4 gezeigt.



Abb. 2: Blick in die Versuchskammer nach thermischem Zünden des Batteriemoduls mittels der beiden integrierten Glühkerzen. Oberhalb des Moduls sind die beiden Löschdüsen zu erkennen.

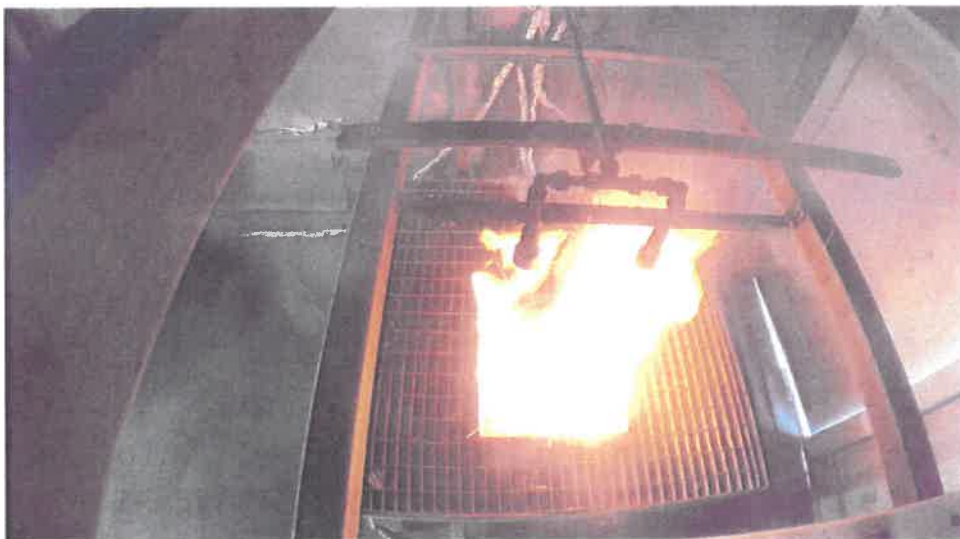


Abb. 3: Blick auf das Batteriemodul von oben.

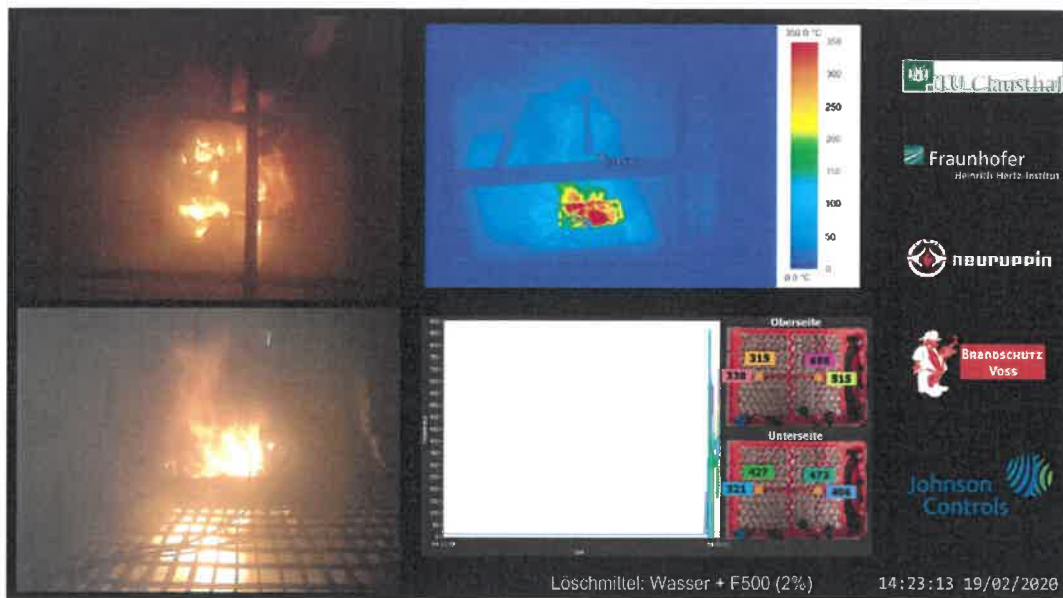


Abb. 4: Auszug des Messprotokolls wie es in Echtzeit in die Leitwarte übertragen und dort abgespeichert wird. Oben rechts das Bild der Wärmebildkamera, unten rechts die Darstellung der Temperaturwerte der 8 Messfühler wie sie auf Ober- und Unterseite des Batteriemoduls aufgebracht sind.

Das nachfolgende Protokoll zeigt einen typischen zeitlichen Ablauf einer Testmessung:

| | |
|----------|--|
| 15:05:57 | Start aufheizen mit Glühkerzen (je Glühkerze $U=12V$, $i=15A$) |
| 15:06:15 | Temperatur an den Sensoren nahe Glühkerzen steigt |
| 15:06:33 | leichte Rauchentwicklung |
| 15:06:57 | Explosion des Moduls |
| 15:07:02 | Netzteil zum Heizen der Glühkerzen aus |
| 15:07:34 | Beginn intensive Flammenbildung Batteriemodul |
| 15:08:02 | Erster kurze Löschmittelzugabe (ca. 5 sec), sofortige Reduktion der Flammen |
| 15:08:25 | erneute weniger intensive Flammenbildung |
| 15:08:33 | kurze Löschmittelzugabe (ca. 5 sec), keine Flammen |
| 15:11:27 | kurze Löschmittelzugabe (ca. 5 sec), keine Flammen |
| 15:14:44 | Temperaturen der Sensoren im Modul sinken kontinuierlich auf $T < 80\text{ °C}$, keine erneute Flammenbildung |
| 15:18:27 | kurze Löschmittelzugabe (5 sec) |
| 15:33:55 | Temperaturen sinken kontinuierlich auf $T < 50\text{ °C}$, Versuchsende |

Die Abb. 5 zeigt das Batteriemodul bei Versuchsende.



Abb. 5: Batteriemodul bei Versuchsende.

Der zeitliche Verlauf der Temperatursensoren für einen derartigen Versuch ist in der Abb. 6 gezeigt. Es wird nach der thermisch eingeleiteten Havarie ein plötzlicher Temperaturanstieg auf bis über 1400 °C beobachtet, der unmittelbar nach dem ersten Löschmitteleinsatz (5 sec Wasser mit 2% F500) auf Werte um 400 °C fällt und nach zwei weiteren kurzen Löscheinsätzen (jeweils typisch 5 sec Dauer) stetig abfällt. Es wurde bei keinem Versuch eine weitere Flammenbildung beobachtet. Nach Einsatz von ca. 4.5 Liter Löschmittel (Wasser und 2% F500) war der Batteriebrand komplett und dauerhaft gelöscht.

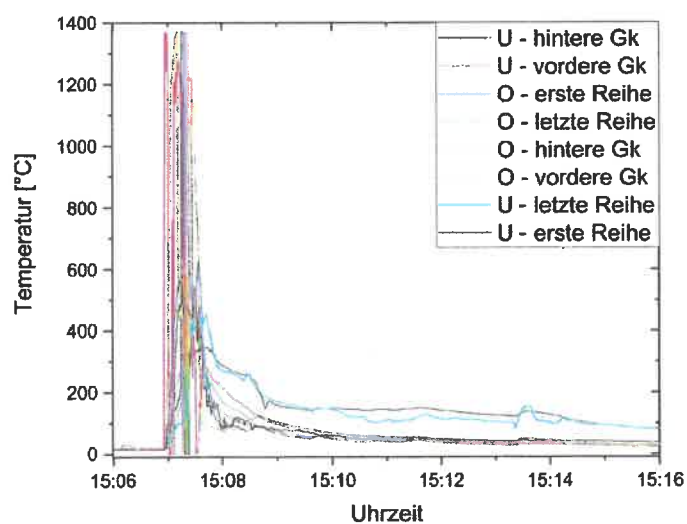


Abb. 6: Zeitlicher Verlauf der Temperatursensoren von Havarie bis zum vollständigen Löschen.

3. Schlussfolgerungen/Bewertung

Der Zusatz von F500 (2%) in das Löschwasser führt zu einer deutlichen Reduzierung der Oberflächenspannung des Löschmittels gegenüber reinem Löschwasser ohne F500 Zugabe. Dies hat zur Folge, dass sich das Löschwasser beim Besprühen des Batteriemoduls wie ein dünner Film um das gesamte Modul (Ober- und Unterseite) ausbildet. Aufgrund der hohen Temperaturen ($T > 1300 \text{ °C}$) verdampft das Löschmittel, die dazu benötigte Verdampfungswärme wird dem Batteriemodul entzogen und führt so zu der beobachteten schnellen Abkühlung. Da das Löschmittel das gesamte Modul umgibt erfolgt der Energieentzug auf sämtlichen Oberflächen (Ober- und Unterseite) und führt so zu einer sehr effizienten Abkühlung des Moduls, so dass kein erneutes Aufflammen beobachtet wird und das Batteriemodul komplett und dauerhaft gelöscht ist.

Ein weiterer Versuch, der ebenfalls an einem Lithiumionen Batteriemodul mit 2 kWh Energieinhalt durchgeführt wurde unterstützt diese Interpretation der Versuchsergebnisse: Das Batteriemodul wurde wie zuvor thermisch havariert und es wurde versucht durch Einsatz von 50 Liter Löschwasser, mit dem das Modul kontinuierlich besprüht wurde, den Batteriebrand dauerhaft zu löschen. Dies ist nicht gelungen, es wurden auch noch nach längerer Zeit ($t > 20$ Minuten) immer wieder erneutes Aufflammen beobachtet. Anschließend wurde derselbe Versuch mit einem Löschmittel bestehend aus Wasser und 2% F500 durchgeführt. Die Verwendung von lediglich 5 Liter dieser Lösung ermöglichter unter sonst identischen Bedingungen ein dauerhaftes Löschen des Lithiumionen-Batteriebrandes ohne erneutes Wiederaufflammen.

Fazit:

Der Einsatz von Wasser mit einem 2%igen Zusatz von F500 ist bei Lithiumionen Batteriebränden gegenüber reinem Wasser als Löschmittel deutlich überlegen. Es werden deutlich geringere Löschmittelmengen benötigt und es wird kein zeitlich versetztes Wiederaufflammen des Batteriebrandes unter den beschriebenen Bedingungen beobachtet. Nach Einsatz von 4.5 Liter Löschmittel (Wasser und 2% F500) waren die Lithiumionen-Batteriebrände (1.89 Wh/48V/182 Zellen Typ 18650, Gewicht 10.5 kg) komplett und dauerhaft gelöscht.

 3.7.2020
Prof. Dr. W. Schade