

Anhang 2 zur BAM-GGR 024

Anforderungen an die Brandprüfung

1.1 Prüfungsvorbereitung

Der Ladezustand (State of Charge, SoC) einer/eines Zelle/Moduls/Batterie hat einen signifikanten Einfluss auf das Resultat der Brandprüfung. Daher muss vor Beginn der Prüfung der SoC aller Elemente des Prüfmusters (Zellen/Module/Batterie) bestimmt werden.

Der geringste gemessene SoC einer/eines Zelle/Moduls/Batterie gibt den max. erlaubten SoC für den Transport vor. Deshalb wird empfohlen, mit möglichst hohem SoC zu prüfen. Bei Prüfungen, die mit mind. 98 % SoC durchgeführt wurden, dürfen auch vollgeladene Batterien transportiert werden.

Die gesamte Verpackung, inklusive Zellen/Module/Batterien muss zu Beginn der Prüfung eine Temperatur von mindestens 0 °C aufweisen. Dies ist durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen.

Es gilt außerdem die Regelung für entladene Zellen/Module/Batterien, wie in Anhang 1 beschrieben.

Die BAM behält sich vor, die Durchführung der Brandprüfung zu auditieren.

1.2 Messtechnik

Mindestumfang der Messtechnik

- Temperaturmessung an der äußeren Oberfläche der Verpackung (Bewertung der maximalen Temperatur an der Oberfläche)
- Temperaturmessung an den Zellen/Modulen/Batterien (Bewertung der Initiierung und des Verlaufes des thermischen Durchgehens (engl. thermal runaway, TR))
- Kameratechnik zur Bewertung des Austritts von Flammen und Splittern aus der Verpackung sowie der baulichen Unversehrtheit der Verpackung im Nachgang des Versuches

1.2.1 Temperaturmesstechnik für die äußere Oberfläche der Verpackung

- Die Temperatursensoren sind an der Oberfläche der Verpackung derart anzubringen, dass über den gesamten Versuchszeitraum die Messstelle einen direkten Kontakt mit der Oberfläche aufweist.
- Es sind je Seitenfläche der Verpackung (einschließlich Ober- und Unterseite) so viele Sensoren vorzusehen, dass:
 - im Abstand von maximal 50 cm zu jeder Seitenkante Temperatursensoren angebracht sind und
 - die Temperatursensoren zueinander einen Abstand von höchstens 100 cm aufweisen (vgl. Abbildung 1).
- Ab vier Temperatursensoren pro Seitenfläche können für die weiteren Messstellen an dieser Seite Temperaturmessstreifen (Aufkleber) verwendet werden. Zur Validierung muss einer dieser Aufkleber neben einem Thermoelement positioniert sein.
Zeigen die Messstreifen eine Überschreitung von 100 °C, so ist dies als Versagen zu bewerten, da eine zeitliche Aussage mit dieser Methode nicht gegeben ist.

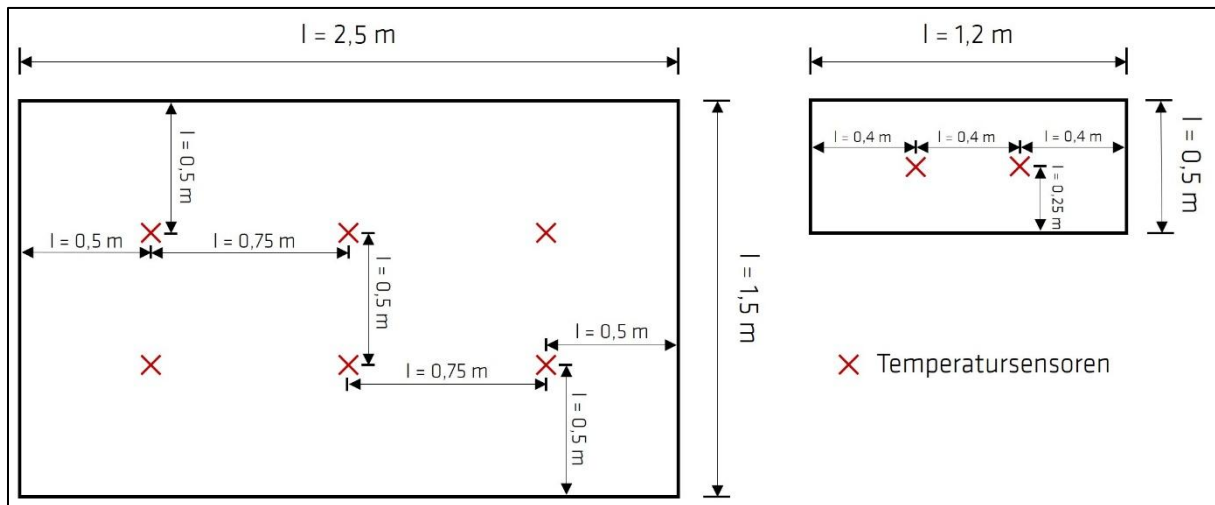


Abbildung 1: Exemplarische Verteilung der Temperatursensoren für eine Seitenfläche mit den Abmessungen 2,5 m x 1,5 m (links) und eine Seitenfläche mit den Abmessungen 1,2 m x 0,5 m (rechts).

- An Gasauslässen/Ventilen sind in einem Abstand von maximal 5 cm Temperaturmessungen zu realisieren. Ebenso muss eine Temperaturmessung an baulich bedingten Wärmebrücken erfolgen. An diesen Messstellen sind keine Temperaturmessstreifen erlaubt.
- An jedem Temperatursensor ist eine Kalibrierung oder Referenzmessung durchzuführen. Geeignete Methoden sind:
 - Vergleich mit einem Prüfnorm (Kalibrierung),
 - Referenzmessungen an drei Temperaturpunkten (z.B. Außentemp., Handtemp., kochendes Wasser). Die so ermittelten Werte sind mit einem kalibrierten Referenzthermometer zu vergleichen.

1.2.2 Temperaturmesstechnik an den Zellen/Modulen/Batterien

Die Anzahl und Verteilung der Temperatursensoren ist so zu wählen, dass anhand des Temperaturverlaufs die Propagation des TR der Zellen dargestellt werden kann.

1.2.3ameratechnik

- Dieameratechnik muss so positioniert werden, dass die Aufzeichnungen folgende Punkte eindeutig belegen:
 - Ab/Bis wann kam es zu einem Gasaustritt aus der Verpackung?
 - Erfolgte dieser Gasaustritt aus den dafür vorgesehenen Öffnungen oder aus weiteren/anderen Öffnungen?
 - Kam es zu einem Austritt von Flammen?
 - Kam es zu einem Austritt von Splittern?
 - Kam es zu einem Austritt von Flüssigkeit?
 - Kam es zu einem Austritt sonstigen Materials (z.B. Füllgranulat)?
- Es ist mindestens eine Kamera vorzusehen, empfohlen werden zwei Kameras (vgl. Abbildung 2).

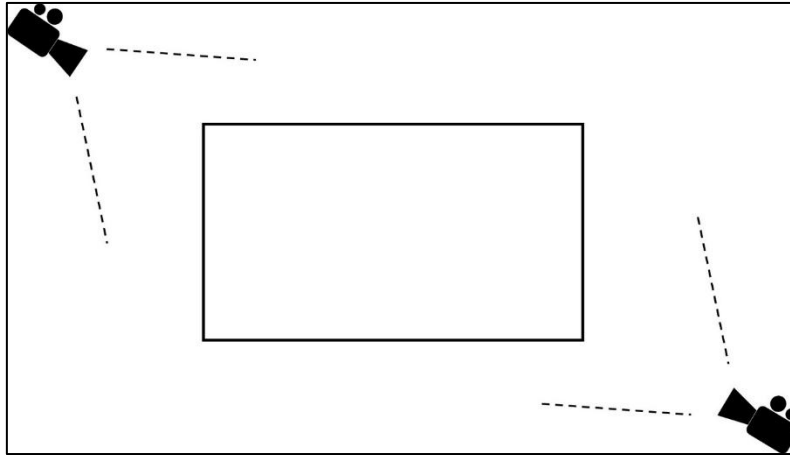


Abbildung 2: Anzahl und Positionierung als Mindestmaß für die kameratechnische Versuchsdocumentation.

2. Durchführung

- Die Methode der Initiierung kann frei gewählt werden. Es ist sicherzustellen, dass die/das initiierte(n) Zelle(n)/Modul(e) in den TR geht.
- Es ist zu dokumentieren, an welchen eingebrachten Zellen/Modulen/Batterien und durch welche Methode der TR initiiert wurde.
- Der vollständige TR soll bei Zellen/Module/Batterien bis max. 50 kWh nicht länger als eine Stunde, bei Zellen/Module/Batterien ab 50 kWh nicht länger als 2 Stunden dauern. Ggf. müssen dafür mehrere Stellen initiiert werden. Es werden zwei Initiierungsstellen pro 50 kWh empfohlen.

2.1 Temperaturaufzeichnung an den Zellen/Modulen/Batterien

die Messungen müssen mindestens folgende Zeitabschnitte umfassen:

- die Zeit bis zum ersten thermischen Durchgehen (vgl. Abbildung 3, links),
- das thermische Durchgehen (vgl. Abbildung 3, links: Δt_{TR})
- nach Abschluss des letzten thermischen Durchgehens (vgl. Abbildung 3, links: $t_{TR\ 1}$) einen Zeitraum von mindestens 6 Stunden.

In Abbildung 3, rechts, ist exemplarisch der gesamte Zeitraum dargestellt.

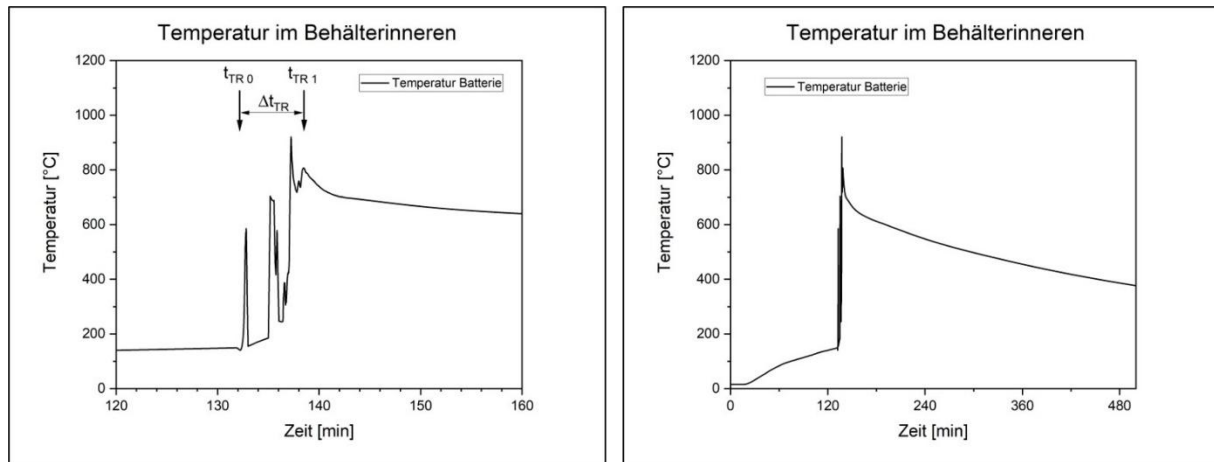


Abbildung 3: Exemplarischer Temperaturverlauf in einer Verpackung für ein Modul, bestehend aus mehreren Rundzellen; links: Detaildarstellung des thermischen Durchgehens mit Definition $t_{TR\ 0}$ als die Zeit des Beginns des thermischen Durchgehens, $t_{TR\ 1}$ als Zeit, zu der das thermische Durchgehen abgeschlossen ist und Δt_{TR} als Zeitdauer des thermischen Durchgehens; rechts: der Gesamtverlauf (Beginn des Aufheizens, thermisches Durchgehen, 6 h Abkühlphase).

2.2 Temperaturaufzeichnung an der Oberfläche der Verpackung

Die Messungen müssen mindestens folgende Zeitabschnitte umfassen:

- die Zeit bis zum thermischen Durchgehen,
- das thermische Durchgehen,
- die Zeit bis zum Erreichen der Temperaturmaxima auf allen Temperaturkanälen an der Verpackungsoberfläche ($\Delta t_{T\ max}$),
- von Beginn des ersten thermischen Durchgehens nach Abschnitt 2.1 an einen Zeitraum von mindestens 24 Stunden, wobei in den letzten 6 Stunden sämtliche Temperaturmesskanäle keinen signifikanten Anstieg mehr zeigen dürfen.

2.3 Kameraaufzeichnung

- Es wird empfohlen, die Aufzeichnung über den gesamten Versuchszeitraum laufen zu lassen.
- Vom Beginn der Initiierung des thermischen Durchgehens bis zu dem Zeitpunkt, zu dem optisch kein Gasaustritt aus dem Behälter mehr feststellbar ist, ist die Kameraaufzeichnung (vgl. Abschnitt 1.2.3) sicherzustellen.
- In der Aufzeichnung muss ersichtlich sein, wann die Initiierung des thermischen Durchgehens gestartet wurde (z.B. eingblendeter Timer, optisches Signal, akustisches Signal). Es wird empfohlen, dass die Kameraaufnahmen mit einem Zeitstempel ausgestattet sind.

3. Bewertungskriterien

3.1 Nachweis des thermischen Durchgehens

Es muss sichergestellt werden, dass sämtliche eingebrachte Zellen/Module/Batterien thermisch durchgegangen sind.

Dies kann z.B. über aussagekräftige Fotos des Verpackungsinhaltes nach dem Versuch erfolgen oder auch anhand der Temperaturwerte im Verpackungsinnen (vgl. Abbildung 3).

3.2 Temperatur Behälteroberfläche

- Die maximal zulässige Temperatur an der Oberfläche der Verpackung beträgt 100 °C. Der Nachweis ist für jede Messstelle zu erbringen.
- Eine kurzzeitige Temperaturspitze von bis zu 200 °C ist zulässig (Summe aller Ereignisse: maximal 10 Minuten).
Es muss ermittelt werden, zu welchem Zeitpunkt ggf. die Grenze von 100 °C überschritten wurde und wann diese Grenze wieder unterschritten wurde und ob die Grenze von 200 °C überschritten wurde.

3.3 Kameraaufzeichnungen

Anhand der Aufzeichnung muss ausgewertet werden, ob die unter Abschnitt 2.3 genannten Punkte eingehalten sind.

3.4 Fotodokumentation

Nach Versuchsende sind der innere und äußere Zustand der Verpackung zu dokumentieren. Insbesondere soll dokumentiert werden, ob die bauliche Integrität und die Transportsicherheit der Verpackung weiterhin bestehen. Ebenso ist, wenn möglich, durch Fotos nachzuweisen, dass alle Zellen/Module/Batterien thermisch durchgegangen sind.

4. Prüfbericht

- Für das Vorgehen nach Teil A dieser BAM-GGR wird empfohlen, einen Prüfbericht zu erstellen, um die Qualifizierung und Verwendbarkeit einer Verpackung nachweisen zu können.
- Für das Vorgehen nach Teil B dieser BAM-GGR ist der Prüfbericht bei der BAM einzureichen.

Zur Bewertung der Prüfung und für die Dokumentation der Zell-/Modul-/Batteriedaten stehen die Formulare in Anhang 6 zur Verfügung.

4.1 Formale Dokumentation des Versuches und des Versuchstandes

- Versuchsdatum
- eindeutige Nummer des Versuches/des Berichts
- Ort und Durchführende Stelle des Versuchs

- Kurzbeschreibung des Versuchsstands, z.B. geschlossen (z.B. im Gebäudeinneren), offen (z.B. Freifeld), halboffen (z.B. Container, Unterstand)
- Name des Erstellers

4.2 Dokumentation der Verpackung

- Beschreibung und bildliche Dokumentation der Verpackung
- Angabe der Abmessungen, der Taramasse und des Materials
- Ggf. Bestätigung der Bauartkonformität (Angabe der Zulassungsscheinnummer, inkl. Revisionsstand und Ausstellungsdatum) oder Bezug auf im Zulassungsschein enthaltene technische Zeichnungen (Zeichnungsnummer mit Datum und, sofern vorhanden, Revisionsstand)
- Beschreibung und bildliche Dokumentation sämtlicher innerer Bestandteile (z.B. Polstermaterial, Absorptionsmaterial, Isolationsmaterial, zusätzlich eingebrachte Stabilisierungselemente), Beschreibung hinsichtlich Menge (z.B. Anzahl, Masse, Größe), Material bzw. deren Eigenschaften (z.B. Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Heizwert, Schmelztemperatur) sowie der Anordnung der einzelnen Bestandteile in der Verpackung
- Beschreibung und bildliche Dokumentation der Anordnung der Zellen/Module/Batterien in der Transportverpackung (z.B. Abstände der Batterien, Zellen, Module zueinander und zur Außenwand der Verpackung)
- Beschreibung und bildliche Dokumentation der für die Brandprüfung gemachten Modifikationen der Verpackung (z.B. zusätzliche Kabeldurchführungen) und angebrachten Komponenten (z.B. eingebrachte Heizelemente zur Initiierung des thermischen Durchgehens)

4.3 Dokumentation der Batteriespezifikation

- Hersteller, Zelltyp, Anzahl Zellen, Zellchemie, Zellgeometrie, Nennspannung, Nennkapazität, Nennenergie, Masse, Abmessungen, usw. (Formblatt Batteriedaten in Anhang 6)
- Bildliche Dokumentation des SoC, z.B. Foto der Spannungsmessung für jede(s) Zelle/Modul/Batterie mit konkret erkennbarem Wert und Beschreibung anhand z.B. des Datenblatts der/des Zelle/Moduls/Batterie, welchem SoC die gemessene Spannung entspricht. Bei mehr als 10 Zellen/Modulen/Batterien können die Werte auch in Textform (z.B. Tabelle) angegeben werden.
- Beschreibung und bildliche Dokumentation der Bestandteile des Batteriegehäuses, welche für die Brandprüfung mit in die Transportverpackung eingebracht wurden (bzw. sonstige substanzielle Brandlast, die mit eingebracht wurde)

4.4 Dokumentation des Gesamtaufbaus zum Versuchszeitpunkt

- Beschreibung und bildliche Dokumentation des Prüfmusters am/im Versuchsstand
- Dokumentation von Umgebungstemperatur zu Beginn des Versuches.
- Beschreibung der Messtechnik (Einzelbestandteile der Temperaturmesskette, Kameras, Wärmebildkamera, etc.) hinsichtlich der Positionierung zum Prüfmuster (z.B. Abstände, Höhe), z.B. mit Skizze.

- Beschreibung sonstiger Bestandteile des Aufbaus, welche für den Versuchsablauf und die Dokumentation relevant sind (z.B. maschinelle Belüftung, UAV).
- Messstellenplan über die Verteilung/Anordnung der Temperatursensoren an der Behälteroberfläche und im Behälterinneren (z.B. Tabelle, Skizze, beschriftetes Bild).
- Einzelbestandteile der gesamten Temperaturmesskette (z.B. Sensoren (Typ), Kabel, Messverstärker, Messwertaufzeichnung)
- Position der Kameras zur Transportverpackung
- Beschreibung, an welchen eingebrachten Zellen/Modulen/Batterien das thermische Durchgehen initiiert wurde
- Sämtliche Temperaturmessstellen im Verpackungsinnen und an der Oberfläche der Verpackung als Diagramm inkl. Auswertung
- Übersicht (z.B. Tabelle) des zeitlichen Ablaufs der wesentlichen Ereignisse. Dies können z.B. sein: Start der Messwerterfassung, Beginn der Initiierung des thermischen Durchgehens, Anfang/Ende des thermischen Durchgehens (vgl. Abbildung 3), Zwischenfälle
- Dokumentation des TR -Verlaufs der Zellen/Module/Batterien
- ggf. Video-/Fotoaufzeichnungen in geeigneter Form

Die Rohdaten sind mindestens drei Jahre über die Verwendungsdauer der Verpackung hinaus aufzubewahren.