

38.3 Lithium-Metall- und Lithium-Ionen-Batterien

38.3.1 Ziel

In diesem Abschnitt werden die Prüfverfahren zur Klassifizierung von Lithium-Metall- sowie Lithium-Ionen-Zellen und -Batterien (siehe UN 3090, UN 3091, UN 3480 und UN 3481 sowie die anzuwendenden Sondervorschriften des Kapitels 3.3 der Modellvorschriften) dargestellt.

38.3.2 Anwendungsbereich

38.3.2.1 Alle Zelltypen sind den Prüfungen T.1 bis T.6 und T.8 zu unterziehen. Alle nicht-wiederaufladbaren Batterietypen, einschließlich solcher, die aus bereits geprüften Zellen zusammengestellt wurden, sind den Prüfungen T.1 bis T.5 zu unterziehen. Alle wiederaufladbaren Batterietypen, einschließlich solcher, die aus bereits geprüften Zellen zusammengestellt wurden, sind den Prüfungen T.1 bis T.5 und T.7 zu unterziehen. Zusätzlich sind wiederaufladbare einzellige Batterien mit Überladungsschutz der Prüfung T.7 zu unterziehen. Eine Komponentenzelle, die nicht getrennt von der Batterie, von der sie ein Bestandteil ist, befördert wird, braucht nur gemäß den Prüfungen T.6 und T.8 geprüft werden. Eine Komponentenzelle, die getrennt von der Batterie befördert wird, ist zu prüfen als Zelle.

38.3.2.2 Lithium-Metall- sowie Lithium-Ionen-Zellen und -Batterien müssen vor der Beförderung eines bestimmten Zelle- oder Batterietyps den Prüfungen gemäß den Festlegungen der Sondervorschriften 188 und 230 des Kapitels 3.3 der Modellvorschriften unterzogen werden. Zellen bzw. Batterien, die sich von einem geprüften Typ dadurch unterscheiden, dass sie

- (a) für Primärzellen und -batterien, eine Veränderung um mehr als 0,1 g oder 20 Masse-% je nachdem, was größer ist, der Masse der Kathode, der Masse der Anode bzw. der Masse des Elektrolyten aufweisen; oder¹
- (b) für wiederaufladbare Zellen und Batterien eine Veränderung der Nennenergie in Wattstunden (Wh)² um mehr als 20 % oder einen Anstieg der Nennspannung in Volt (V)² um mehr als 20 % aufweisen; oder
- (c) eine Veränderung, die zu einem Versagen bei einer der Prüfungen führen würde, müssen als neuer Typ betrachtet und den geforderten Prüfungen unterzogen werden.

BEMERKUNG: Die Art der Veränderung, die zur Zuordnung zu einem anderen als einem bereits geprüften Typ, aufgrund eines möglichen Versagens bei einer der Prüfungen, führen würde, kann beinhalten, ist aber nicht begrenzt auf:

- (a) eine Änderung des Materials der Anode, der Kathode, des Separators oder des Elektrolyts;
- (b) eine Änderung von Schutzvorrichtungen einschließlich Hardware und Software;
- (c) eine Änderung der Sicherheitsvorkehrungen der Zellen und Batterien, wie eine Druckentlastungseinrichtung;
- (d) eine Änderung der Anzahl der Komponentenzellen; und
- (e) eine Änderung der Verbindungsart der Komponentenzellen.

Im Fall, dass ein Zell- oder Batterietyp nicht einem oder mehreren Prüfkriterien genügt, müssen ent-

¹ Abweichend von der englischen Version ist hier ein „oder“ eingefügt worden.

² Abweichend von der englischen Version sind hier die Einheiten „Wh“ und „V“ eingefügt worden.

sprechende Schritte zur Beseitigung des Mangels oder der Mängel, die das Versagen verursacht haben, unternommen werden, ehe Zellen oder Batterien dieses Typs abermals geprüft werden.

38.3.2.3 Im Sinne dieser Klassifizierung gelten folgende Definitionen^{*3}:

Lithiumgesamtanteil bedeutet die Summe der in den zu einer Batterie zusammengefassten Zellen enthaltenen Lithiumanteile in Gramm.

Batterie bedeutet zwei oder mehrere Zellen, die elektrisch miteinander verbunden und mit für deren Gebrauch notwendigen Vorrichtungen ausgerüstet sind, wie Gehäuse, Anschlüsse, Kennzeichnungen und Schutzvorrichtungen. Eine einzellige Batterie wird als „Zelle“ betrachtet und muss geprüft sein gemäß den Prüfanforderungen für „Zellen“ im Sinne der Modellvorschriften und dieses Handbuchs (siehe auch Definition für „Zelle“).

BEMERKUNG: Einheiten, die im Allgemeinen als „Batteriepacks“, „Module“ oder „Batteriebaueinheiten“ bezeichnet werden und die die primäre Aufgabe haben, als Energiequelle für einen anderen Teil der Ausrüstung zu dienen, werden im Sinne der Modellvorschriften und dieses Handbuchs als Batterien betrachtet.

Knopfzelle oder *Knopfbatterie* bedeutet eine runde, kleine Zelle oder Batterie, deren Gesamthöhe kleiner als ihr Durchmesser ist.

Zelle bedeutet eine einzelne, ummantelte elektrochemische Einheit (eine positive und eine negative Elektrode), die zwischen ihren beiden Polen eine Spannungsdifferenz aufweist. Im Sinne der Modellvorschriften und dieses Handbuchs ist sie in dem Maße, in dem die ummantelte elektrochemische Einheit die hier aufgeführte Definition einer „Zelle“ erfüllt, eine „Zelle“ und keine „Batterie“, ungeachtet dessen, ob die Einheit unabhängig von den Modellvorschriften oder dieses Handbuchs als „Batterie“ oder „einzellige Batterie“ bezeichnet wird.

Komponentenzelle bedeutet eine in einer Batterie befindliche Zelle.

Zyklus bedeutet einen vollständigen Lade- bzw. Entladevorgang einer wiederaufladbaren Zelle oder Batterie.

Zerlegung bedeutet eine Öffnung oder einen Riss, aus dem Festkörper aus einem beliebigen Teil einer Zelle oder Batterie ein Drahtgeflecht (ausgeglühter Aluminiumdraht mit einem Durchmesser von 0,25 mm und einer Maschendichte von 6 bis 7 Drähten pro Zentimeter) durchdringt, das sich in einem Abstand von 25 cm zur Zelle oder Batterie befindet.

Ausfluss/Ausströmung bedeutet einen flüssigen Stoff oder ein Gas, der bzw. das freigesetzt wird, wenn eine Zelle oder Batterie undicht ist bzw. entgast.

Feuer bedeutet, dass Flammen von der Prü fzelle oder -batterie abgegeben werden.

Erster Zyklus bedeutet den Vorgang der ersten Ladung und Entladung nach Beendigung aller Fertigungsprozesse.

Vollständig geladen bedeutet eine wiederaufladbare Zelle oder Batterie, die elektrisch bis zu ihrer vorgesehenen konstruktionsbedingten Nennkapazität geladen wurde.

Vollständig entladen bedeutet entweder:

eine Primärzelle oder -batterie, die elektrisch entladen wurde, um 100 % ihrer Nennkapazität zu eliminieren; oder

^{*3} Die Reihenfolge der Definitionen ist nicht alphabetisch, sondern entspricht der Reihenfolge der englischen Ausgabe.

eine wiederaufladbare Zelle oder Batterie, die elektrisch auf die vom Hersteller festgelegte Endspannung entladen wurde.

Große Batterie bedeutet eine Lithium-Metall-Batterie oder Lithium-Ionen-Batterie mit einer Bruttomasse von mehr als 12 kg.

Große Zelle bedeutet eine Zelle mit einer Bruttomasse von mehr als 500 g.

Undichtheit bedeutet das sichtbare Freiwerden von Elektrolyt oder anderem Material einer Zelle oder Batterie oder einen Materialverlust (ausgenommen Batteriegehäuse, Handhabungseinrichtungen oder Kennzeichnungen) von einer Zelle oder Batterie in der Art, dass der Massenverlust die Werte der Tabelle in 38.3.1 übersteigt.

Lithiumanteil wird bezogen auf Lithiummetall- sowie Lithiumlegierungszellen und -batterien und bedeutet für eine Zelle die Masse des Lithiums in der Anode einer Zelle aus Lithiummetall oder Lithiumlegierung, die für eine Primärzelle gemessen wird, wenn sich die Zelle im nicht entladenen Zustand befindet bzw. die für eine wiederaufladbare Zelle ermittelt wird, wenn sie vollständig geladen ist. Der Lithiumanteil einer Batterie ist die Summe aller Lithiumanteile der Komponentenzellen einer Batterie in Gramm.

Lithiumionenzelle oder -batterie bedeutet eine wiederaufladbare elektrochemische Zelle oder Batterie, bei der sowohl die positive als auch die negative Elektrode Interkalationsverbindungen darstellen (interkaliertes Lithium gibt es in ionischer oder quasi-atomarer Form mit dem Gitter des Elektrodenmaterials) und die so beschaffen sind, dass in beiden Elektroden kein metallisches Lithium enthalten ist. Eine Lithiumpolymerzelle oder -batterie, bei der dieselben chemischen Vorgänge erfolgen wie bei einer Lithiumionenzelle oder -batterie, wie hier beschrieben, ist als Lithiumionenzelle oder -batterie zu betrachten.

Massenverlust bedeutet einen Verlust von Masse, der höher ausfällt als der Wert, der in der unten unter 38.3.1 wiedergegebenen Tabelle angegeben ist.

Tabelle 38.3.1: Grenzwerte für Massenverlust

Masse M der Zelle oder Batterie	Grenzwert für Massenverlust
$M < 1 \text{ g}$	0,5 %
$1 \text{ g} \leq M \leq 75 \text{ g}$	0,2 %
$M > 75 \text{ g}$	0,1 %

BEMERKUNG: Zum Berechnen des Massenverlusts ist das folgende Verfahren anzuwenden:

$$\text{Massenverlust (\%)} = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100$$

Dabei bedeutet M_1 die Masse vor der Prüfung und M_2 die Masse nach der Prüfung. Wenn der Massenverlust nicht die Werte, die in der unter 38.3.1 wiedergegebenen Tabelle angegeben sind, überschreitet, ist das als „kein Massenverlust“ zu betrachten.

Nennenergie oder Watt-Stunden-Rate angegeben in Wattstunden bedeutet den Energiewert einer Zelle oder Batterie, der unter festgelegten Bedingungen ermittelt und vom Hersteller angegeben wurde. Die Nennenergie wird berechnet durch Multiplikation der Nennspannung mit der Nennkapazität angegeben in Amperestunden.

Nennspannung bedeutet den ungefähren Wert der Spannung, die verwendet wird, um eine Zelle oder Batterie zu bezeichnen oder zu identifizieren.

Spannung bei offenem Kreislauf bedeutet die Spannung zwischen den Polen einer Zelle oder Batterie, wenn kein externer Strom fließt.

Primärzelle oder -batterie bedeutet eine Zelle oder Batterie, die nicht auf elektrische Ladung bzw. Entladung ausgelegt ist.

Prismatische Zelle oder Batterie bedeutet eine Zelle oder Batterie deren Enden ähnliche, gleiche oder parallele gradlinige Formen aufweisen und deren Seiten Parallelogramme sind.

Schutzvorrichtungen bedeuten Vorrichtungen wie beispielsweise Sicherungen, Dioden und Strombegrenzer, mit denen der Stromfluss unterbrochen, in eine Richtung gesperrt oder in einem Stromkreis begrenzt werden kann.

Nennkapazität bedeutet die Kapazität in Amperestunden oder Milliamperestunden einer Zelle oder Batterie, gemessen anhand der vom Hersteller vorgegebenen Last, Temperatur und des Spannungsgrenzwertes.

BEMERKUNG: Die folgenden IEC-Normen liefern eine Anleitung und Methoden zur Bestimmung der Nennkapazität:

- (1) IEC 61960 (erste Ausgabe 2003-12): Sekundär-Zellen und -Batterien, die Alkalien oder andere nicht-saure Elektrolyte enthalten – Sekundär-Lithiumzellen und -batterien für ortsbewegliche Anwendungen;
- (2) IEC 62133 (erste Ausgabe 2002-10): Sekundär-Zellen und -Batterien, die Alkalien oder andere nicht-saure Elektrolyte enthalten – Sicherheitsbestimmungen für ortsbewegliche versiegelte Sekundär-Zellen und für Batterien, die aus solchen gemacht sind, für die Verwendung in ortsbeweglichen Anwendungen;
- (3) IEC 62660-1 (erste Ausgabe 2011-01): Sekundär-Lithium-Ionenzellen zum Antrieb von elektrischen Straßenfahrzeugen – Teil 1: Leistungsprüfung.

Wiederaufladbare Zelle oder Batterie bedeutet eine Zelle oder Batterie, die so ausgelegt ist, dass sie elektrisch wieder aufgeladen werden kann.

Riss bedeutet das mechanische Versagen eines Zellbehälters oder Batteriegehäuses, das durch eine interne oder externe Ursache ausgelöst wurde und zu einer Freilegung oder einem Auslaufen führt, ohne dass dabei Festkörper ausgestoßen werden.

Kurzschluss bedeutet eine direkte Verbindung zwischen den Plus- und Minuspolen einer Zelle oder Batterie, die dem Stromfluss faktisch eine widerstandsfreie Strecke bietet.

Einzellige Batterie bedeutet eine einzelne elektrochemische Einheit ausgerüstet mit Vorrichtungen, die notwendig für deren Gebrauch sind, wie Gehäuse, Anschlüsse, Kennzeichnungen und Schutzvorrichtungen.

Kleine Batterie bedeutet eine Lithium-Metall-Batterie oder Lithium-Ionen-Batterie mit einer Bruttomasse von höchstens 12 kg.

Kleine Zelle bedeutet eine Zelle mit einer Bruttomasse von höchstens 500 g.

Typ bedeutet ein bestimmtes elektrochemisches System und physikalisches Design von Zellen bzw. Batterien.

Nicht entladen bedeutet eine Primärzelle oder -batterie, die weder vollständig noch teilweise entladen worden ist.

Öffnen bedeutet die Freisetzung von übermäßigem inneren Druck einer Zelle oder Batterie, wie sie nach deren Bauart vorgesehen ist, um einen Riss oder eine Zerlegung auszuschließen.

Watt-Stunden-Rate, siehe *Nennenergie*.

38.3.3 Wird ein Zell- oder Batterietyp gemäß diesem Unterabschnitt geprüft, sind die im Folgenden aufgeführte Anzahl und die Bedingungen für jeden Zell- und Batterietyp zu beachten:

- (a) Bei der Prüfung von Primärzellen und -batterien gemäß den Prüfungen T.1 bis T.5 ist Folgendes mit der angegebenen Anzahl zu prüfen:
 - (i) zehn Zellen in nicht entladene Zustand;
 - (ii) zehn Zellen in vollständig entladene Zustand;
 - (iii) vier kleine Batterien in nicht entladene Zustand;
 - (iv) vier kleine Batterien in vollständig entladene Zustand;
 - (v) vier große Batterien in nicht entladene Zustand; und
 - (vi) vier große Batterien in vollständig entladene Zustand.
- (b) Bei der Prüfung von wiederaufladbaren Zellen und Batterien gemäß den Prüfungen T.1 bis T.5 ist Folgendes mit der angegebenen Anzahl zu prüfen:
 - (i) zehn Zellen im ersten Zyklus in vollständig geladene Zustand;
 - (ii) vier kleine Batterien im ersten Zyklus in vollständig geladene Zustand;
 - (iii) vier kleine Batterien nach 50 Zyklen, die mit dem vollständig geladene Zustand enden;
 - (iv) zwei große Batterien im ersten Zyklus in vollständig geladene Zustand; und
 - (v) zwei große Batterien nach 25 Zyklen, die mit dem vollständig geladene Zustand enden.
- (c) Bei der Prüfung von Primärzellen und wiederaufladbaren Zellen gemäß der Prüfung T.6 ist Folgendes mit der angegebenen Anzahl zu prüfen:
 - (i) für Primärzellen, fünf Zellen in nicht entladene Zustand und fünf Zellen in vollständig entladene Zustand;
 - (ii) für Komponentenzellen von Primärbatterien, fünf Zellen in nicht entladene Zustand und fünf Zellen in vollständig entladene Zustand;
 - (iii) für wiederaufladbare Zellen, fünf Zellen im ersten Zyklus bei 50 % ihrer konstruktionsbedingten Nennkapazität; und
 - (iv) für Komponentenzellen von wiederaufladbaren Batterien, fünf Zellen im ersten Zyklus bei 50 % ihrer konstruktionsbedingten Nennkapazität.
- (d) Bei der Prüfung von wiederaufladbaren Batterien gemäß der Prüfung T.7 ist Folgendes mit der angegebenen Anzahl zu prüfen:

- (i) vier kleine Batterien im ersten Zyklus in vollständig geladenem Zustand;
- (ii) vier kleine Batterien nach 50 Zyklen, die mit dem vollständig geladenen Zustand enden;
- (iii) zwei große Batterien im ersten Zyklus in vollständig geladenem Zustand; und
- (iv) zwei große Batterien nach 25 Zyklen, die mit dem vollständig geladenen Zustand enden.

Batterien, die nicht mit einem Überladungsschutz ausgerüstet, aber ausschließlich für den Gebrauch in einer Batteriebaueinheit vorgesehen sind, welche eine solche Schutzeinrichtung aufweist, unterliegen nicht den Anforderungen dieser Prüfung.

- (e) Bei der Prüfung von Primärzellen und wiederaufladbaren Zellen gemäß der Prüfung T.8 ist Folgendes mit der angegebenen Anzahl zu prüfen:
 - (i) für Primärzellen, zehn Zellen^{*4} in vollständig entladene Zustand;
 - (ii) für Primärkomponentenzellen, zehn Komponentenzellen^{*4} in vollständig entladene Zustand;
 - (iii) für wiederaufladbare Zellen, zehn Zellen^{*4} im ersten Zyklus in vollständig entladene Zustand;
 - (iv) für wiederaufladbare Komponentenzellen, zehn Komponentenzellen^{*4} im ersten Zyklus in vollständig entladene Zustand;
 - (v) für wiederaufladbare Zellen, zehn Zellen^{*4} nach 50 Zyklen, die mit dem vollständig entladene Zustand enden; und
 - (vi) für wiederaufladbare Komponentenzellen, zehn Komponentenzellen^{*4} nach 50 Zyklen, die mit dem vollständig entladene Zustand enden.
- (f) Bei der Prüfung einer Batteriebaueinheit, deren Lithiumgesamtanteil aller Anoden, wenn vollständig geladen, höchstens 500 g oder, im Falle einer Lithium-Ionen-Batterie, deren Watt-Stunden-Rate höchstens 6200 Wh beträgt und die zusammengesetzt ist aus Batterien, die alle anzuwendenden Prüfungen bestanden haben, ist eine Batteriebaueinheit in vollständig geladenem Zustand gemäß den Prüfungen T.3, T.4, T.5 und zusätzlich T.7 im Falle von wiederaufladbaren Batteriebaueinheiten, zu prüfen. Für eine wiederaufladbare Batteriebaueinheit muss die Baueinheit 25 Zyklen durchlaufen haben.

Werden Batterien, die alle anzuwendenden Prüfungen bestanden haben, elektrisch miteinander zu einer Batteriebaueinheit verbunden, deren Lithiumgesamtanteil aller Anoden, wenn vollständig geladen, mehr als 500 g oder, im Falle einer Lithium-Ionen-Batterie, deren Watt-Stunden-Rate mehr als 6200 Wh beträgt, ist diese Batteriebaueinheit nicht abermals zu prüfen, wenn sie mit einem System zur Überwachung und zur Verhinderung von Kurzschlüssen oder übermäßiger Entladung jeder Batterie der Batteriebaueinheit sowie zur Verhinderung einer Überhitzung oder Überladung der gesamten Batteriebaueinheit ausgerüstet ist.

^{*4} Die Darstellung weicht hier von der englischen Ausgabe ab, entspricht aber dem Gemeintem und gleichzeitig auch dem Abschnitt (c).

38.3.4 *Prüfverfahren*

Die Prüfungen T.1 bis T.5 sind nacheinander an derselben Zelle oder Batterie durchzuführen. Die Prüfungen T.6 und T.8 sind an Zellen oder Batterien durchzuführen, die zuvor noch keinen Prüfungen unterzogen worden sind. Die Prüfung T.7 kann an unbeschädigten Batterien, die für die Prüfungen T.1 bis T.5 verwendet wurden, zum Zweck der Prüfung an Batterien nach Durchlaufen der Zyklen durchgeführt werden.

38.3.4.1 *Prüfung T.1: Höhensimulation*

38.3.4.1.1 Ziel

Bei dieser Prüfung wird der Lufttransport unter Unterdruckbedingungen simuliert.

38.3.4.1.2 Prüfverfahren

Prüfzellen und -batterien sind mindestens sechs Stunden bei einem Druck von 11,6 kPa oder weniger und Umgebungstemperatur ($20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$) zu lagern.

38.3.4.1.3 Anforderung

Zellen und Batterien erfüllen diese Anforderung, wenn keine Undichtheit, kein Öffnen, keine Zerlegung, kein Riss sowie kein Feuer auftritt und wenn die Spannung jeder Prüfzelle oder -batterie bei einem offenen Kreislauf nach der Prüfung nicht weniger als 90 % der unmittelbar vor dem Prüfverfahren gemessenen Spannung beträgt. Die Anforderung bezüglich der Spannung ist nicht anzuwenden auf Prüfzellen und -batterien in vollständig entlademem Zustand.

38.3.4.2 *Prüfung T.2: Thermische Prüfung*

38.3.4.2.1 Ziel

Diese Prüfung bewertet die Unversehrtheit der Dichtungen von Zellen und Batterien sowie innere elektrische Verbindungen. Beim Durchführen der Prüfung kommen schnelle und extreme Temperaturänderungen zur Anwendung.

38.3.4.2.2 Prüfverfahren

Prüfzellen und -batterien werden zunächst mindestens sechs Stunden bei einer Temperatur von $72\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ und anschließend sechs Stunden lang bei einer Temperatur von $-40\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ gelagert. Die maximal zulässige Zeit zwischen den beiden Temperaturextrema beträgt 30 Minuten. Dieses Prüfverfahren muss wiederholt werden, bis zehn vollständige Zyklen abgeschlossen wurden, und alle Prüfzellen und -batterien sind anschließend 24 Stunden bei Umgebungstemperatur ($20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$) zu lagern. Für große Zellen und Batterien sollte die Dauer des Ausgesetzseins bei den extremen Prüftemperaturen mindestens 12 Stunden betragen.

38.3.4.2.3 Anforderung

Zellen und Batterien erfüllen diese Anforderung, wenn keine Undichtheit, kein Öffnen, keine Zerlegung, kein Riss sowie kein Feuer auftritt und wenn die Spannung jeder Prüfzelle oder -batterie bei einem offenen Kreislauf nach der Prüfung nicht weniger als 90 % der unmittelbar vor dem Prüfverfahren gemessenen Spannung beträgt. Die Anforderung bezüglich der Spannung ist nicht anzuwenden auf Prüfzellen und -batterien in vollständig entlademem Zustand.

38.3.4.3 *Prüfung T.3: Schwingung*

38.3.4.3.1 Ziel

Bei dieser Prüfung werden Schwingungen während der Beförderung simuliert.

38.3.4.3.2 Prüfverfahren

Zellen und Batterien sind sicher an der Basis des Schwingungsgenerators zu befestigen, ohne dass dabei die Zellen deformiert werden, in solch einer Weise, dass die Schwingung des Schwingungsgenerators unverändert übertragen wird. Die Schwingung muss eine sinusförmige Wellenform aufweisen und logarithmisch innerhalb von 15 Minuten in einem Bereich von 7 Hz auf 200 Hz ansteigen sowie wieder auf 7 Hz abfallen. Dieser Zyklus ist innerhalb von drei Stunden 12mal zu wiederholen für jede der drei rechtwinklig zueinander angeordneten Befestigungsmöglichkeiten der Zelle oder Batterie⁵. Eine der Schwingungsrichtungen muss im rechten Winkel zur Polfläche liegen.

Der logarithmische Frequenzbereich muss sich für Zellen und Batterien mit einer Bruttomasse von höchstens 12 kg (Zellen und kleine Batterien) zu dem für Batterien mit einer Bruttomasse von mehr als 12 kg (große Batterien) unterscheiden.

Für Zellen und kleine Batterien: von 7 Hz ist eine Spitzenbeschleunigung von 1 g_n beizubehalten, bis 18 Hz erreicht werden. Die Amplitude wird bei 0,8 mm (1,6 mm Gesamtausschlag) gehalten und die Frequenz erhöht, bis eine Spitzenbeschleunigung von 8 g_n (ungefähr 50 Hz) erreicht wird. Die Spitzenbeschleunigung wird bei 8 g_n gehalten und die Frequenz erhöht, bis 200 Hz erreicht werden.

Für große Batterien: von 7 Hz ist eine Spitzenbeschleunigung von 1 g_n beizubehalten, bis 18 Hz erreicht werden. Die Amplitude wird bei 0,8 mm (1,6 mm Gesamtausschlag) gehalten und die Frequenz erhöht, bis eine Spitzenbeschleunigung von 2 g_n (ungefähr 25 Hz) erreicht wird. Die Spitzenbeschleunigung wird bei 2 g_n gehalten und die Frequenz erhöht, bis 200 Hz erreicht werden.

38.3.4.3.3 Anforderung

Zellen und Batterien erfüllen diese Anforderung, wenn keine Undichtheit, kein Öffnen, keine Zerlegung, kein Riss sowie kein Feuer während der Prüfung und nach der Prüfung auftritt und wenn die Spannung jeder Prüfzelle oder -batterie bei einem offenen Kreislauf direkt nach der Prüfung in ihrer dritten rechtwinkligen Befestigungsmöglichkeit nicht weniger als 90 % der unmittelbar vor dem Prüfverfahren gemessenen Spannung beträgt. Die Anforderung bezüglich der Spannung ist nicht anzuwenden auf Prüfzellen und -batterien im vollständig entladenen Zustand.

38.3.4.4 *Prüfung T.4: Schlag*

38.3.4.4.1 Ziel

Bei dieser Prüfung werden mögliche Schläge während der Beförderung simuliert.

38.3.4.4.2 Prüfverfahren

Prüfzellen und -batterien sind mit einer starren Vorrichtung, die als Auflage für alle Befestigungsflächen jeder Prüfzelle und -batterie⁶ dient, an der Schlagprüfvorrichtung zu befestigen.

⁵ In der englischen Ausgabe werden hier nur die Zellen genannt. Da diese Prüfung jedoch sowohl für Zellen als auch für Batterien durchzuführen ist, werden in der deutschen Ausgabe der Vollständigkeit halber auch die Batterien aufgeführt.

⁶ In der englischen Ausgabe werden hier nur die Prüfbatterien genannt. Da diese Prüfung jedoch sowohl für Zellen als auch für Batterien durchzuführen ist, werden in der deutschen Ausgabe der Vollständigkeit halber auch die Prüfzellen aufgeführt.

Jede Zelle oder Batterie ist einem halbsinusförmigen Schlag mit einer Spitzenbeschleunigung von $150 g_n$ und einer Pulsdauer von sechs Millisekunden auszusetzen. An jeder Zelle oder Batterie sind drei solcher Schläge in positiver Richtung gefolgt von drei solcher Schläge in negativer Richtung für jede der drei rechtwinklig zueinander angeordneten Befestigungsmöglichkeiten der Zelle oder Batterie, insgesamt 18 solcher Schläge, durchzuführen.

Abweichend davon sind große Zellen und Batterien einem halbsinusförmigen Schlag mit einer Spitzenbeschleunigung von $50 g_n$ und einer Pulsdauer von 11 Millisekunden auszusetzen. An jeder Zelle oder Batterie sind drei solcher Schläge in positiver Richtung gefolgt von drei solcher Schläge in negativer Richtung für jede der drei rechtwinklig zueinander angeordneten Befestigungsmöglichkeiten der Zelle oder Batterie, insgesamt 18 solcher Schläge, durchzuführen.

38.3.4.4.3 Anforderung

Zellen und Batterien erfüllen diese Anforderung, wenn keine Undichtheit, kein Öffnen, keine Zerlegung, kein Riss sowie kein Feuer auftritt und wenn die Spannung jeder Prü fzelle oder -batterie bei einem offenen Kreislauf nach der Prüfung nicht weniger als 90 % der unmittelbar vor dem Prüfverfahren gemessenen Spannung beträgt. Die Anforderung bezüglich der Spannung ist nicht anzuwenden auf Prü fzellen und -batterien in vollständig entladem Zustand.

38.3.4.5 Prüfung T.5: Äußerer Kurzschluss

38.3.4.5.1 Ziel

Bei dieser Prüfung wird ein möglicher äußerer Kurzschluss simuliert.

38.3.4.5.2 Prüfverfahren

Die zu prü fende Zelle oder Batterie ist aufzuheizen, bis ihr äußeres Gehäuse eine Temperatur von $55\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ erreicht, woraufhin die Zelle oder Batterie einem Kurzschlußzustand mit einem äußeren Gesamtwiderstand von weniger als 0,1 Ohm bei einer Temperatur von $55\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ auszusetzen ist. Dieser Kurzschlußzustand muss mindestens eine Stunde bestehen bleiben, nachdem das äußere Gehäuse der Zelle oder Batterie wieder eine Temperatur von $55\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ erreicht hat.

38.3.4.5.3 Anforderung

Zellen und Batterien erfüllen diese Anforderung, wenn ihre äußere Temperatur 170 °C nicht überschreitet und wenn keine Zerlegung, kein Riss sowie kein Feuer während der Prüfung sowie innerhalb von sechs Stunden nach der Prüfung auftritt.

38.3.4.6 Prüfung T.6: Aufprall/Quetschung^{*7}

38.3.4.6.1 Ziel

Bei dieser Prüfung wird eine mechanische Beschädigung, die zu einem internen Kurzschluß führen kann, durch Aufprall oder Quetschung simuliert.

38.3.4.6.2 Prüfverfahren - Aufprall (anzuwenden für zylindrische Zellen mit einem Durchmesser von mindestens 18 mm)

BEMERKUNG: Durchmesser bezieht sich hier auf den Design-Durchmesser (z. B. der Durchmesser von 18650 Zellen ist 18,0 mm).

^{*7} In der englischen Ausgabe werden hier die Begriffe „sample cell“, „test sample“ oder „sample“ verwendet, die jedoch in der deutschen Ausgabe einheitlich als Prü fzelle oder Komponentenzelle übersetzt werden.

Die Prüfwelle oder Komponentenzelle ist auf einer flachen, glatten Oberfläche zu platzieren. Ein Stab mit einem Durchmesser von $15,8 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ und mindestens 6 cm Länge oder mit einer Länge entsprechend der längsten Abmessung der Zelle, je nach dem was größer ist, aus rostfreiem Stahl vom Typ 316 ist quer über die Mitte der Prüfwelle zu legen. Ein Gewicht von $9,1 \text{ kg} \pm 0,1 \text{ kg}$ ist aus einer Höhe von $61 \text{ cm} \pm 2,5 \text{ cm}$ auf den Schnittpunkt von Stab und Prüfwelle in einer kontrollierten Art unter Verwendung einer nahezu reibungsfreien, vertikalen Gleitschiene oder eines Rohres mit minimalem Widerstand gegenüber dem fallenden Gewicht, fallenzulassen. Die vertikale Gleitschiene oder das Rohr, das zur Führung des fallenden Gewichts verwendet wird, muss in einem Winkel von 90° zur horizontalen Auflagefläche ausgerichtet sein.

Die Prüfwelle ist dem Aufprall mit ihrer Längsseite parallel zur flachen Oberfläche und rechtwinklig zur Längsachse des Stabes mit einem Durchmesser von $15,8 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, der mit seiner runden Oberfläche über der Mitte der Prüfwelle liegt, auszusetzen. Für jeden durchzuführenden Aufschlag ist eine neue Prüfwelle zu verwenden.

38.3.4.6.3 Prüfverfahren - Quetschung (anzuwenden für prismatische Zellen, Pouch-Zellen, Knopfzellen und zylindrischen Zellen mit einem Durchmesser von weniger als 18,0 mm)

BEMERKUNG: Durchmesser bezieht sich hier auf den Design-Durchmesser (z. B. der Durchmesser von 18650 Zellen ist 18,0 mm).

Eine Zelle oder Komponentenzelle ist zwischen zwei flachen Oberflächen zu quetschen. Die Quetschung hat gleichmäßig von der ersten Berührung mit einer Geschwindigkeit von annähernd 1,5 cm/s zu erfolgen. Die Quetschung ist fortzusetzen bis eine der folgenden Möglichkeiten erreicht ist:

(a) die ausgeübte Kraft erreicht $13 \text{ kN} \pm 0,78 \text{ kN}$;

Beispiel: Die Kraft ist auszuüben mit einer hydraulischen Presse, die einen Kolbendurchmesser von 32 mm aufweist, bis ein Druck von 17 MPa durch die hydraulische Presse erreicht wird.

(b) die Spannung der Zelle fällt um mindestens 100 mV; oder

(c) die Zelle ist bis zu 50 % ihrer ursprünglichen Dicke verformt.

Ist einmal der maximale Druck erreicht, die Spannung um 100 mV oder mehr gefallen oder die Zelle auf mindestens 50 % ihrer ursprünglichen Dicke verformt, ist der Druck zu entspannen.

Eine prismatische Zelle oder eine Pouch-Zelle soll gequetscht werden, in dem die Kraft auf ihre Breitseite ausgeübt wird. Eine Knopfzelle soll gequetscht werden, in dem die Kraft auf ihre flache Oberfläche ausgeübt wird. Für zylindrische Zellen soll die Quetschkraft rechtwinklig auf ihre Längsachse ausgeübt werden.

Jede Prüfwelle oder Komponentenzelle ist nur einer Quetschung zu unterziehen. Die Prüfwelle oder Komponentenzelle ist für weitere sechs Stunden nach der Prüfung zu beobachten. Die Prüfung ist an Zellen oder Komponentenzellen durchzuführen, die zuvor noch keinen Prüfungen unterzogen worden sind.

38.3.4.6.4 Anforderung

Zellen und Komponentenzellen erfüllen die Anforderung, wenn ihre äußere Temperatur 170°C nicht überschreitet und wenn keine Zerlegung sowie kein Feuer während dieser Prüfung sowie innerhalb von sechs Stunden nach der Prüfung auftritt.