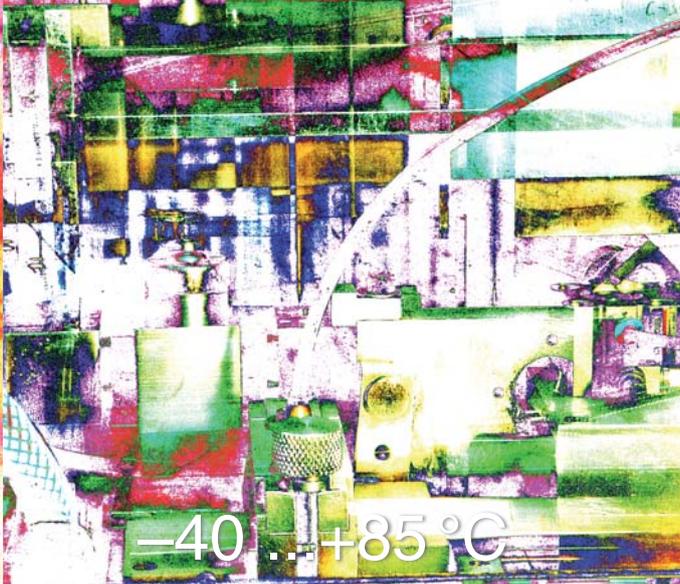
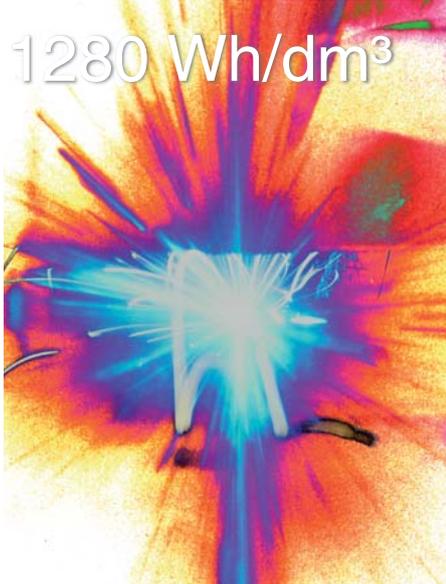
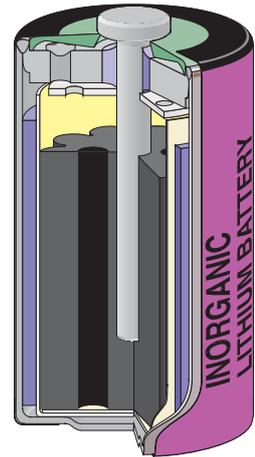




Tadiran Lithium Batteries

Technische
Broschüre
LTC-Batterien



1 Einleitung

Tadiran Batteries
Technische Broschüre

1.1 Tadiran Batteries GmbH

Die Tadiran Batteries GmbH ist einer der führenden Hersteller von nicht wiederaufladbaren Lithiumbatterien in Europa.

Die Firma wurde 1984 als Joint Venture zwischen Tadiran und Sonnenschein gegründet und bedient - bis Februar 2006 unter dem Namen Sonnenschein Lithium - den Markt erfolgreich seit über 20 Jahren.

Zusammen mit ihrer Muttergesellschaft Tadiran Batteries Ltd. verbessert die Firma kontinuierlich ihre Leistungsfähigkeit im Hinblick auf Produkte, höchste Qualität und Kundenservice.

Tadiran Batteries Ltd. gehört zu Saft groupe S.A. (Euronext: SAFT).

Das Hauptziel der Firma ist es, ein Höchstmaß an Kundenzufriedenheit zu erreichen. Daher ist die Richtlinie, der beste zu sein in der Anwendungsberatung, in voller technischer Unterstützung und in der Logistik.

Die Firma ist der Weltklasse-Philosophie verpflichtet. Das Management-System ist nach ISO 9001 und - seit 1999 - nach ISO 14001 zertifiziert.

Die Tadiran Batteries GmbH beschäftigt etwa 100 Mitarbeiter und hat ihren Produktionsstandort in Büdingen bei Frankfurt.

Die Firma ist führend bei der Entwicklung von Lithiumbatterien für den industriellen Einsatz. Ihre Lithium-Thionylchlorid (LTC) Technologie ist seit mehr als 25 Jahren erfolgreich eingeführt. Tadiran LTC-Batterien eignen sich immer dort, wo eine 3,6 Volt Primärbatterie mit hohem Energieinhalt für bis zu 10 und mehr Jahre netzunabhängigen Betrieb benötigt wird.

Das PulsesPlus System, das hohe Strompulse in Verbindung mit einem hohen Energieinhalt liefert, ist erfolgreich auf den Markt gebracht worden und spielt eine wichtige Rolle insbesondere im Marktsegment Ortungs- und Überwachungssysteme.

Das TLM-System wurde vor kurzem entwickelt für Anwendungen, die eine Entladung mit hoher elektrischer Leistung nach einer langen Lagerdauer erfordern, z.B. als Zusatzbatterie für Notrufgeräte in automobilen Telematiksystemen.

1.2 Die Tadiran Lithium Batterie

In dieser Broschüre werden Lithiumbatterien des Systems Lithium-Thionylchlorid (LTC) behandelt.

Die Tadiran Lithium Batterie ist eine Energiequelle, die auf die Anforderungen der neuen Generation von mikro-

elektronischen Geräten zugeschnitten ist. CMOS-Speicher und Verbrauchszähler zum Beispiel brauchen eine möglichst leichte und sichere Energiequelle mit langfristiger und zuverlässiger Leistung über einen weiten Bereich von Umgebungsbedingungen.

Die Batterie trägt die Aufschrift „High Energy Lithium Battery“ oder „Inorganic Lithium Battery“. Dies ist ein Hinweis auf das elektrochemische System Lithium-Thionylchlorid. Vorteile der Batterie sind:

Hohe Zellenspannung.

Die Batterie hat eine Leerlaufspannung von 3,67 V und eine Betriebsspannung von 3,60 V. Mit diesen Werten liegt sie wesentlich höher als alle anderen handelsüblichen Primärbatterien.

Weiter Temperaturbereich.

Die Batterie kann normalerweise bei Temperaturen von -55°C bis $+85^{\circ}\text{C}$ eingesetzt werden. Eine Baureihe hat einen erweiterten Temperaturbereich bis 130°C . Weitere Einzelheiten siehe Abschnitt 2.10.

Hohe Energiedichte.

Das elektrochemische System Lithium-Thionylchlorid weist die höchste Energiedichte aller erhältlichen Primärbatterien auf: bis zu 650 Wh/kg und 1280 Wh/dm^3 .

Lange Lagerfähigkeit und Zuverlässigkeit.

Die Tadiran Lithium Batterie hat eine ausgezeichnete Lagerfähigkeit und Zuverlässigkeit. Tests haben gezeigt, daß eine 10-jährige Lagerung bei Raumtemperatur einen Kapazitätsverlust von weniger als 1 % pro Jahr zur Folge hat.

Bei der Verwendung als Pufferbatterie wurden Ausfallraten unter 200 fit festgestellt (fit: failures in time. 1 fit = 1 Ausfall in 10^9 Bauteil-Stunden).

Sicherheit.

Die Bauweise der Tadiran Lithium Batterie hat sich durch mehr als 25 Jahre Markterfahrung und mehr als 100 Millionen Batterien im Feld als sicher erwiesen. Dabei wurden keine Unfälle gemeldet. Die gesamte Produktlinie ist bei den Underwriters Laboratories zugelassen und wird ständig von ihnen überwacht.

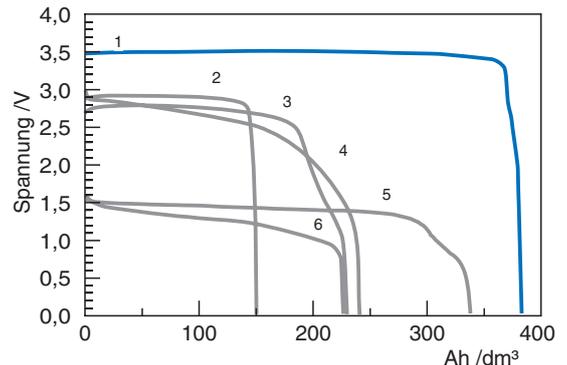
Hermetisch dichtes Gehäuse.

Das hermetisch dichte Gehäuse ist wesentlich für die Lagerfähigkeit und die Sicherheit der Geräte, in welche die Batterien eingebaut werden. Der Deckel ist mit dem Becher verschweißt. Eine Glas-Metall-Durchführung wird verwendet um den Pluspol zu isolieren.

Abbildung 1-1

Vergleich verschiedener Batteriesysteme. Die Kurven stellen die typischen Bestwerte handelsüblicher Rundzellen dar. Entladebedingung 25°C bei 1000-stündigem Strom. Die Fläche unter den Kurven entspricht der in der Liste unten angegebenen Energiedichte. Die Liste enthält auch einen Hinweis auf die Verschlussmethode.

1	Li/SOCl ₂	1280 Wh/dm ³	hermetisch verschweißt
2	Li/SO ₂	430 Wh/dm ³	hermetisch verschweißt
3	Li/CF _n	550 Wh/dm ³	gebördelte Elastomerdichtung
4	Li/MnO ₂	580 Wh/dm ³	gebördelt oder hermetisch verschweißt
5	Li/FeS ₂	450 Wh/dm ³	gebördelte Elastomerdichtung
6	Alkali/Mangan	280 Wh/dm ³	gebördelte Elastomerdichtung



1.3 Vergleich mit anderen Systemen

Das Batteriesystem Lithium-Thionylchlorid ist überlegen im Hinblick auf Langzeitanwendungen mit hohen Ansprüchen an Zuverlässigkeit, Raumbedarf und Energieinhalt. **Abbildung 1-1** zeigt die Klemmenspannung über der entnommenen Kapazität pro Volumeneinheit für verschiedene Lithium-Batterie-Systeme und Alkali-Mangan-Batterien. Die Fläche unter jeder Entladekurve entspricht der Energiedichte des jeweiligen Batteriesystems und gibt daher die Antwort auf die Frage: „Wie lange wird mein Produkt mit dem Batteriesystem X laufen, wenn ich einen bestimmten Platz Y zur Verfügung habe?“

Um einen Betrieb über lange Zeit unter wechselnden Umgebungseinflüssen zu gewährleisten, ist eine zuverlässige Verschlußmethode unabdingbar. Die Bildunterschrift zur Abbildung 1-1 gibt einen Hinweis darauf.

1.4 Kundennutzen

Aus der Entschlossenheit und Konzentration mit der sich Tadiran dem Verständnis und der Weiterentwicklung von Lithiumbatterien widmet, ergeben sich für den Kunden eine Reihe von Vorteilen. Dazu gehören:

- Zugriff auf mehr als 25 Jahre Erfahrung in Forschung und Entwicklung, Produktion und Vermarktung.
- Anpassungsfähigkeit und Zuverlässigkeit auch bei rasch wechselnden Kundenanforderungen.
- Technische Unterstützung bis ins Detail bei der Auslegung von Anwendungen vor, während und nach dem Kauf.
- Hochqualifizierte Fachleute stehen zur Problemlösung kurzfristig bereit.
- Auf den Kunden zugeschnittene Anfertigung von ein- und mehrzelligen Batterien entsprechend den jeweiligen Anforderungen.
- Die Lieferfähigkeit ist durch vertragliche Absicherung und Second Source gewährleistet.

Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz ist, daß die Zusammenarbeit zwischen Batteriehersteller und -anwender möglichst früh in der Design-In Phase beginnt; denn manchmal ist es einfach wirtschaftlicher, die Auslegung eines Schaltkreises an die Eigenschaften der geeigneten Energieversorgung anzupassen als umgekehrt auf die Vorteile der besten Energieversorgung verzichten zu müssen, weil es für die Anpassung zu spät ist.

1.5 Anwendungen

Wir empfehlen die Anwendung einer Batterie sorgfältig zu planen. Bitte verwenden Sie unseren Batteriefragebogen um Unterstützung bei Ihrer Anwendung anzufordern.

Aufgrund ihrer einzigartigen Eigenschaften werden Tadiran Lithium Batterien seit vielen Jahren erfolgreich für CMOS Speicherchips und eine breite Palette von Geräten eingesetzt. In letzter Zeit gibt es einen Trend zum Einsatz von Lithiumbatterien als eigenständige Stromversorgung im Pulsbetrieb - oft in Verbindung mit sehr anspruchsvollen Temperaturprofilen.

Verbrauchsmessung

Elektrizitäts-, Gas-, Wasser-, Wärmezähler; Heizkostenverteiler; Automatische Fernablesung; Vorkassenzähler

Ortung und Verfolgung

Elektronische Mauterhebung; Datenlogger; Mautgeräte; LKW's, Container, Anhänger; Tiere; Personen

Kfz-Systeme

Reifendruckkontrolle; Motorsteuerung; Bremsensteuerung; Bordrechner; Digitale Fahrtenschreiber; Gurtstraffer

Alarm- und Sicherheitssysteme

Funkalarmanlagen, PIR; Melder / Detektoren; Elektronische Safes; Verschlüsselungssysteme; Industrieautomation; Regler; Fehlermelder; Prozeßsteuerungen; Industrie-PC's

Büroautomation

Verkaufsort-Endgeräte; Geldautomaten; Telefontastensysteme; Telefonzentralen

Geräte

Elektronische Waagen; Verkaufsautomaten; Spielautomaten; Taxameter

Medizinische Geräte

Dosierung; Implantierbare Geräte; Infusionspumpen

Meerestechnik

Funkfeuer; Bojen; Ölbohrung / -Messung; Rettungsweitenbeleuchtung

Militär

Zünder; Minen; Zielgeräte; Nachtsichtgeräte; Gasmasken

Gehobener Konsum

Set-Top-Boxen; Sportelektronik; Tauchcomputer

2 Eigenschaften

2.1 Allgemeines

Diese Broschüre behandelt Tadiran Lithium Batterien. Sie gehören zum 3,6 Volt Lithium/Thionylchlorid-System. Es werden vier Baureihen in Serie gefertigt, die sich durch Details im Fertigungsablauf unterscheiden und für den jeweiligen Verwendungszweck ausgelegt sind. Die Merkmale werden in den folgenden Stichwörtern zusammengefaßt.

Baureihe	Stichwort
SL-300	normaler Einsatz und Pufferbetrieb
SL-500	erweiterter Temperaturbereich
SL-700/2700	verbesserter Start
SL-800/2800	XOL für ausgedehnte Betriebsdauer

Die Baureihen werden im einzelnen am Ende dieses Kapitels und im Tadiran Produktkatalog beschrieben.

Bei den Daten und Eigenschaften, die in dieser Broschüre wiedergegeben sind, handelt es sich um Angaben rein beschreibender Art, die auch von der jeweiligen Anwendung abhängig sind und nicht als Zusicherung von Eigenschaften oder Verlängerung der nach unseren jeweiligen Geschäftsbedingungen gültigen Gewährleistungsfragen zu verstehen sind.

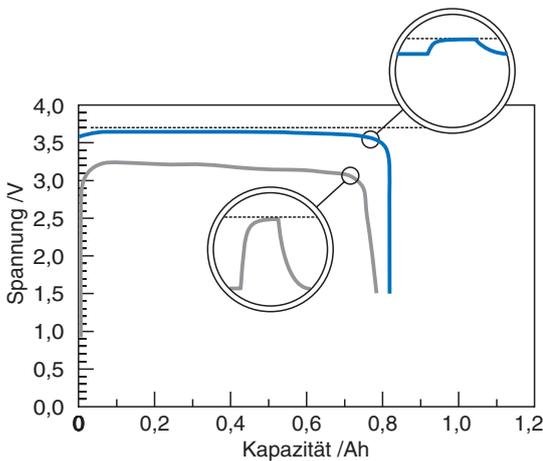


Abbildung 2-1
Entladekurven von Zellen der Größe 1/2AA, Type SL-350, bei +25°C.

Graue Kurve:
180 Ω (30 Stunden)

Blaue Kurve:
180 k Ω (4 Jahre)

Die Kreise deuten die Erholung der Spannung auf 3,67 Volt an (unterbrochene Linie), immer wenn die Entladung unterbrochen wird.

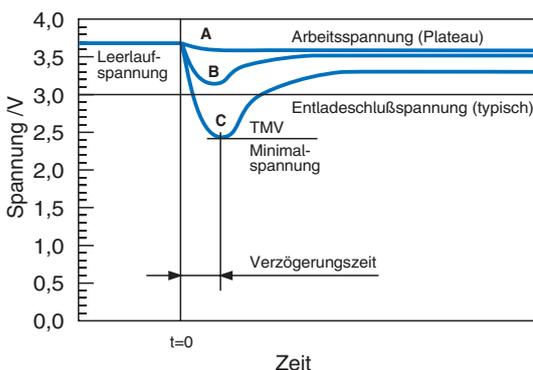


Abbildung 2-2
Spannungsverzögerung

A niedriger Strom:
keine Spannungsverzögerung

B mittlerer Strom:
Spannung bleibt oberhalb der Abschaltspannung

C hoher Strom:
Spannung sinkt kurzzeitig unter die Abschaltspannung

2.2 Spannungslage

Stabile Spannung

Bei Lithium/Thionylchlorid-Batterien bleibt die Spannung im allgemeinen während der Entladung konstant. Die Entladekurve ist typischerweise rechteckig, wie man anhand der **Abbildung 2-1** sehen kann. Ein geringfügiger Abfall der Spannung kann bei Entladung mit mittleren Strömen auftreten. Er ist auf den Anstieg des Innenwiderstandes zurückzuführen. Immer wenn die Entladung unterbrochen wird, geht die Spannung zurück auf den Ursprungswert. Dadurch ist es möglich, praktisch 100% der verfügbaren Kapazität der Batterie auszunutzen, und zwar auf einem Spannungsniveau von deutlich mehr als 3 Volt. Weitere Angaben hierzu folgen in Abschnitt 2.9.

Spannungssack

Wenn eine Batterie zum ersten Mal nach längerer Lagerung belastet wird, fällt die Spannung von der Leerlaufspannung (OCV, open circuit voltage) auf den Wert der Betriebsspannung ab, der vom Entladestrom abhängig ist. Bei kleinen Strömen stabilisiert sich die Spannung sofort, s. Kurve A in **Abbildung 2-2**. Bei relativ hohen Strömen kann jedoch eine Übergangsperiode eintreten, in der die Spannung anfangs unter das Spannungsplateau absinkt, bevor sie sich wieder stabilisiert. Die Kurve B in **Abbildung 2-2** beschreibt den Fall, bei dem die Spannung während der Übergangsperiode über der Abschaltspannung von typischerweise 2,5 bis 3 Volt liegt. Bei noch höheren Strömen kann die Spannung kurzfristig unter die Abschaltspannung sinken (Kurve C). Die Zeit bis zum Erreichen der Abschaltspannung wird in diesem Fall als Verzögerungszeit bezeichnet. Der niedrigste Spannungswert heißt Minimalspannung oder TMV (transient minimum voltage).

Dieser Spannungssack wird durch das Phänomen der Passivierung hervorgerufen. Es steht im Zusammenhang mit dem Schutzfilm, der sich auf der Anodenoberfläche bildet und eingehender in Kapitel 3 beschrieben wird. Wenn eine Batterie erst einmal depassiviert ist, d.h. die Spannung das normale Plateau erreicht hat, passiviert sie erst wieder, wenn der Strom für lange Zeit unterbrochen wird.

Das Ausmaß der Passivierung ist eine Funktion von Lagerdauer, Strom, Temperatur während der Lagerung und mechanischen Aspekten. Beispielsweise nimmt die Passivierung mit der Lagerdauer zu, ebenso mit steigender Temperatur. Depassivierung kann durch Stromfluß erreicht werden, aber auch durch mechanische Schocks, Vibration und Temperaturzyklen. Als Daumenregel verhindert ein Strom von 2 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ der Anodenfläche die Passivierung und läßt zu, daß die Spannung über der Abschaltspannung typischer Anwendungen bleibt. Dasselbe kann durch tägliche Pulse mit dem entsprechenden Durchschnittsstrom oder etwas darunter erreicht werden.

Baureihe SL-700/2700

Im allgemeinen gilt das für Lithium/Thionylchlorid-Batterien aller vier Baureihen. Die Baureihe SL-700 zeigt jedoch nach Lagerung ein verbessertes Startverhalten, das sich in günstigeren TMV-Werten und einer kürzeren Verzögerungszeit äußert. Das liegt daran, daß der Schutzfilm auf der Lithiumoberfläche dichter und kompakter ist. **Abbildung 2-3** zeigt die Entladekurven von ein Jahr alten Batterien der Typen SL-350 und SL-750 im Vergleich, beide an einer Last von 330 Ω. Während die Spannung bei der SL-350 auf 1,8 Volt abfällt, bleibt die SL-750 gleich von Beginn an über 3 Volt.

Dieser Vorteil der Baureihe SL-700 bleibt nur einige Jahre lang erhalten. Er wird beeinträchtigt durch Lagerung bei höherem Temperaturniveau und durch kontinuierlichen Betrieb mit kleinem Strom. Im Endeffekt wird die Baureihe SL-300 normalerweise bevorzugt, wenn es sich um Langzeitanwendungen mit mehr als 3 Jahren Lagerung und Betrieb handelt.

Abbildung 2-4 zeigt an einem Beispiel die Entwicklung der TMV als Funktion der Lagerdauer. Die Kurven wurden mit ½AA-Zellen der Baureihen SL-300 und SL-700 gemessen.

In Bezug auf den Spannungssack verhält sich die Baureihe SL-500 wie SL-300, während sich die Baureihe SL-800 wie SL-700 verhält.

Batterie-Ausfallanzeige

Bei kontinuierlicher Langzeitentladung steigt der Innenwiderstand der Batterien gegen Ende der Lebensdauer an. Dadurch nimmt die Lastspannung zumal bei Strompulsen allmählich ab. Das kann man für eine Batterie-Ausfallanzeige ausnutzen. Typischerweise beträgt die Vorwarnzeit 3% der Betriebsdauer. Die Spannungsschwelle hängt vom Entladestrom, der Mindestspannung, dem Temperaturbereich und der erforderlichen Vorwarnzeit ab. Die Genauigkeit der Batterie-Ausfallanzeige und die Dauer der Vorwarnzeit können verbessert werden, indem man dafür Strompulse verwendet und die Anzeige auf einen engen Temperaturbereich beschränkt (**Abb. 2-5**). Die Tadiran Batteries GmbH bietet technische Unterstützung für die Auslegung einer wirkungsvollen Batterie-Ausfallanzeige für den jeweiligen Einzelfall an.

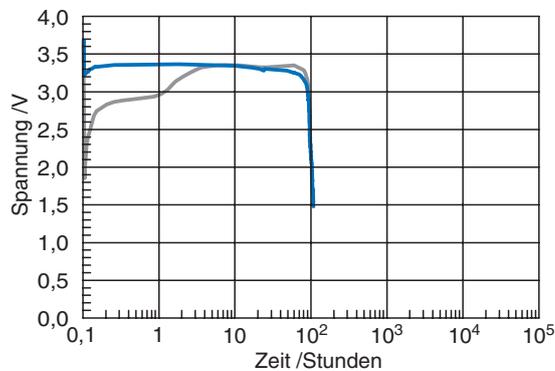


Abbildung 2-3
Entladung von ½AA Zellen an 330 Ω nach einem Jahr Lagerung bei +25°C.
Blaue Kurve: SL-750
Graue Kurve: SL-350

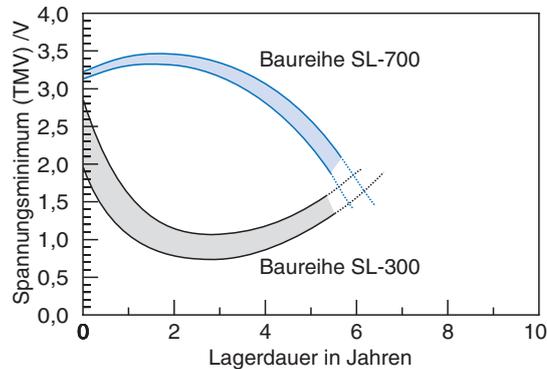


Abbildung 2-4
Typisches Verhalten des Spannungssackes als Funktion der Lagerdauer für zwei Baureihen.
Entladung bei 25°C mit dem 100-stündigen Strom (2 mA/cm²).
Die Daten wurden mit der ½AA-Größe bei 330 Ω ermittelt.

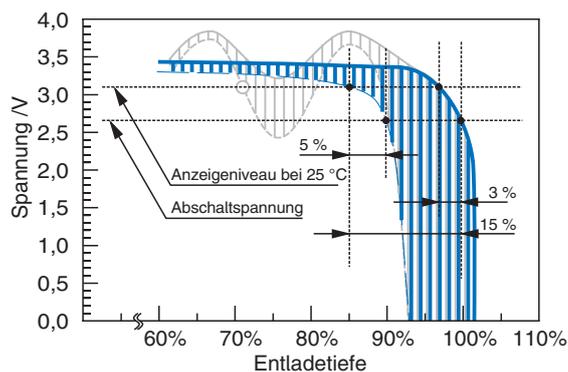


Abbildung 2-5
Prinzip einer Batterie-Ausfall-Erkennung

Durchgezogene blaue Kurve:
Entladung an kontinuierlicher Last bei +25°C. Die Batterie-Ausfall-Erkennung spricht ca. 3% vor der Abschaltspannung an (bezogen auf die gesamte Betriebsdauer).

Gestrichelte blaue Kurve:
Beim Einsatz von Testpulsen kann die Erkennung auf ca. 15% der gesamten Betriebsdauer erweitert werden, wenn die Abschaltspannung sich nur auf den Dauerstrom bezieht und 5% wenn sie sich auf die Pulse bezieht.

Graue Kurve:
Ein jahreszeitlicher Temperaturzyklus kann die Entladekurve verzerren und zu einem verfrühten Batteriewechsel führen (grauer Kreis). Als Korrekturmaßnahme kann die Batterie-Ausfall-Erkennung bei Temperaturexkursionen vorübergehend ausgesetzt werden. Alternativ können die Grenzwerte oder die Amplitude der Testpulse angepaßt werden.

2.3 Entladestrom und Kapazität

Die verfügbare Kapazität hängt allgemein vom Entladestrom bzw. der Entladedauer ab, wie in **Abbildung 2-6** dargestellt wird. Im Nennbereich des Entladestroms bzw. der Entladedauer erreicht die verfügbare Kapazität ihr Maximum.

Bei kleineren Strömen kommt aufgrund der längeren Entladedauer die Selbstentladung hinzu und die verfügbare Kapazität wird entsprechend geringer.

Bei höheren Entladeströmen wird der Wirkungsgrad der Entladung mehr und mehr durch Effekte vermindert, die durch die Geschwindigkeit des Ionentransports hervorgerufen werden. Der Innenwiderstand nimmt zu und die verfügbare Kapazität nimmt ab. Öffnet man eine Zelle, die mit so einem hohen Strom entladen wurde, so findet man, daß Entladeprodukte, die sich bei kleinem und mittlerem Strom über das gesamte Porenvolumen verteilen würden, jetzt die ersten paar Schichten von Kathodenporen blockieren. Man kann also davon ausgehen, daß die Abnahme des zugänglichen Porenvolumens der Kathode zur Verringerung der Kapazität bei hohen Entladeströmen beiträgt.

In der Literatur wird der Strom, bei dem die Batterie noch 76% ihrer Sättigungskapazität liefert, oft als Standardstrom bezeichnet. Wenn der Strom diesen Wert übersteigt, ist die Batterie überlastet.

2.4 Strompulse

Das Entladediagramm besteht bei der Pulsentladung typischerweise aus einem kleinen, kontinuierlichen Grundstrom mit periodischen oder zufälligen kurzen Pulsen auf höherem Stromniveau. Im allgemeinen reicht das Tastverhältnis, also das Verhältnis zwischen Ein- und Auszeit von 1 : 10 bis 1 : 10 000 (**Abb. 2-7**). Sein Wert hat auch einen Einfluß auf die Höhe der verfügbaren Kapazität. Ist es groß (1:10), so liegt sie nahe bei der verfügbaren Kapazität, die der Amplitude des Pulsstromes entsprechen würde. Bei kleinen Tastverhältnissen (1:10 000), nimmt die verfügbare Kapazität zu und strebt gegen den Wert, der dem Durchschnittsstrom entspricht. **Abbildung 2-8** zeigt ein Beispiel.

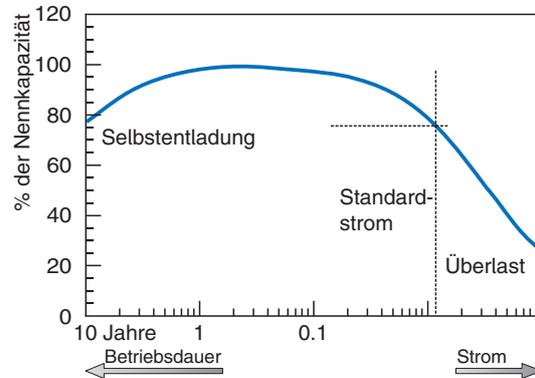


Abbildung 2-6
Stromabhängigkeit der Kapazität.

Der Verlust durch Selbstentladung ist bei längerer Lebenserwartung höher. Übersteigt der Strom den Standardstrom, bei dem 76% der Sättigungskapazität gefunden werden, so ist die Batterie überlastet.

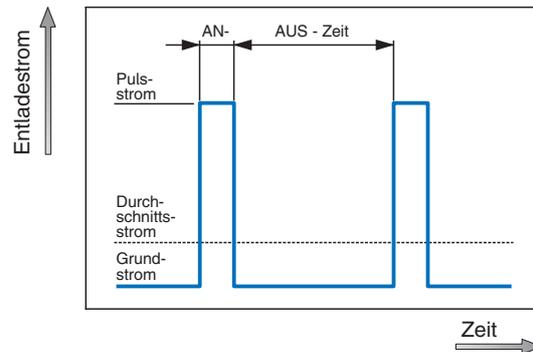


Abbildung 2-7
Schematischer Verlauf einer Pulsentladung.

Das Tastverhältnis ist das Verhältnis zwischen An- und Aus-Zeit.

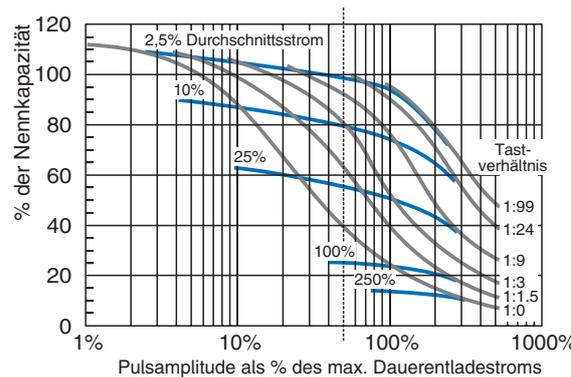


Abbildung 2-8
Einfluß von Pulsen auf die verfügbare Kapazität bis 2 Volt bei 25 °C.

Graue Kurven:
konstantes Tastverhältnis
Blaue Kurven:
konstanter Durchschnittsstrom als Prozent des max. Dauerentladestromes.

Die Daten wurden mit SL-780 Batterien ermittelt.

2.5 Lagerfähigkeit und Betriebsdauer

Es hat sich herausgestellt, daß es fast unmöglich ist, das Langzeitverhalten von Lithium/Thionylchlorid-Batterien mit den üblichen Methoden der beschleunigten Alterung zuverlässig vorauszusagen. Es gibt aber dennoch drei Methoden mit denen man zu verwertbaren Aussagen kommen kann. Diese umfassen die tatsächliche Langzeit-Entladung, die Extrapolations-Methode und die Mikrokalorimeter-Methode.

Tatsächliche Entladung

Die tatsächliche Langzeit-Entladung ist die genaueste und zuverlässigste Methode, auch wenn sie sehr zeitaufwendig ist. Es wurde aber bei Tadiran eine umfangreiche Datenbasis zusammengestellt, die für einen Bereich von Umgebungsbedingungen und Lebensdaueranforderungen, welcher die Hauptanforderungsgebiete abdeckt, eine Voraussage der zu erwartenden Lagerfähigkeit und Betriebsdauer zuläßt. Die **Abbildung 2-9** enthält ein Beispiel.

Zwei weitere Methoden

Die anderen beiden Methoden können angewendet werden, wenn die Ergebnisse schneller benötigt werden und der Bezug zu vorhandenen Daten aus der tatsächlichen Langzeit-Entladung hergestellt werden kann. Beide Methoden können die Testdauer beschleunigen und zwar auf etwa 10% bis 30% der tatsächlichen Lager- oder Betriebsdauer, die für die betreffende Anwendung erforderlich ist.

Bei der **Extrapolations-Methode** wird eine Anzahl von Batterien über längere Zeit gelagert oder entladen. In regelmäßigen Abständen entnimmt man nun Stichproben und bestimmt ihre Restkapazität. Die Parameter für die Restentladung müssen sorgfältig ausgewählt werden. Strombelastbarkeit und Anodenpassivierung können sich nämlich im Laufe der Zeit ändern und zu fehlerhaften Ergebnissen führen, wenn die Entladung zu schnell erfolgt oder nicht bei der optimalen Temperatur. **Abbildung 2-10** enthält ein Beispiel für die Extrapolations-Methode.

Bei der **Mikrokalorimeter-Methode** wird die Wärmeabgabe von Batterien bestimmt, die gelagert oder belastet werden. Daraus wird der Energieverlust pro Zeiteinheit ermittelt um so zu einer Aussage über die Selbstentladung zu kommen. Diese Methode ist ziemlich kostenintensiv und verlangt einige Vorkenntnisse. Man erhält die Wärmeabgabe entsprechend dem gegenwärtigen Zustand der Probe. Wenn man diesen Wert über die bevorstehende Betriebsdauer extrapoliert, kann man einen Schätzwert für den gesamten Energieverlust erhalten. Die Eigenschaften des Prüflings ändern sich allerdings normalerweise im Laufe der Zeit ein wenig. Daher ist es erforderlich, das Gerät sehr sorgfältig zu kalibrieren und die Wärmeabgabe der Batterie über mehrere Monate zu beobachten, wenn man nicht unzutreffende oder gar widersprüchliche Ergebnisse in Kauf nehmen will. Außerdem ist es wichtig, daß man eine statistisch aussagefähige Stichprobengröße betrachtet. Wenn bei den Daten innerhalb der Stichprobe erhebliche Abweichungen festgestellt werden, gibt das in der Regel eher ein Bild für die Fehleranfälligkeit der Prüfmethode als für die Eigenschaften der Batterie selbst. Es sei hier angemerkt, daß die Ergebnisse aus der tatsächlichen Langzeit-Entladung üblicherweise innerhalb der Stichprobe um nicht mehr als $\pm 5\%$ schwanken, während eine Standardabweichung von $\pm 50\%$ für eine Mikrokalorimeter-Untersuchung typisch ist, wenn sie nicht mit außerordentlicher Sorgfalt durchgeführt wird.

Ergebnisse

Die verschiedenen Methoden ergeben übereinstimmend, daß Batterien der Baureihen SL-300 und SL-500 einen Kapazitätsverlust bei Lagerung von weniger als 0,5% pro Jahr haben, wohingegen er bei der Baureihe SL-700 bei 2% pro Jahr liegt. Die Selbstentladung bei der Entladung ist, wie oben ausgeführt, vom Entladestrom abhängig. Sie beträgt 3 bis 4% pro Jahr bei einer Betriebsdauer von 10 Jahren und nimmt in der Reihenfolge der Baureihen SL-700, SL-300, SL-800 ab.

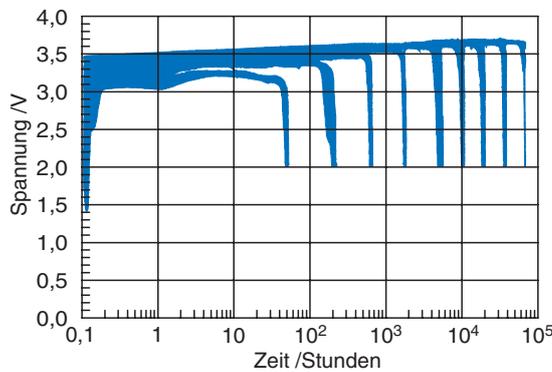


Abbildung 2-9
Datenbank für die Entladung von 1/2-AA-Zellen der Type SL-350 bei +25°C. Das Diagramm enthält insgesamt 85 Entladekurven bei konstanter Last zwischen 180 Ω (links) und 390 k Ω (rechts). Die Widerstandslasten betragen 180 Ω ; 560 Ω ; 1,8 k Ω ; 5,6 k Ω ; 18 k Ω ; 39 k Ω ; 82 k Ω ; 180 k Ω und 390 k Ω . Die Batterien waren zuvor ein Jahr lang bei Raumtemperatur gelagert worden. Während des ersten Prozents der Entladung findet die Depassivierung statt.

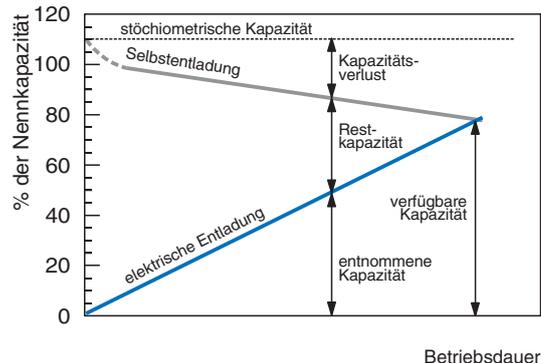


Abbildung 2-10
Extrapolationsmethode zur Vorhersage der Betriebsdauer an kontinuierlicher Last ohne Pulse.

2.6 Gebrauchslage

Abhängig von der mechanischen Bauweise und Systemeigenschaften hängt die verfügbare Kapazität in gewissem Grade von der Gebrauchslage ab. Der Effekt wird dadurch hervorgerufen, daß der Elektrolyt den leeren, an der Entladung nicht beteiligten Raum in der Zelle ausfüllt, wenn die Gebrauchslage von der Vorzugsrichtung abweicht. Dem wirkt allerdings der Kapillareffekt der Poren von Kathode und Separator entgegen. Im Ergebnis ist die Orientierungsabhängigkeit bei dünneren Kathoden kleiner als bei dicken und nicht einmal bemerkbar, wenn der Entladestrom sehr klein ist oder die Batterien während der Entladung bewegt werden.

Die Abhängigkeit der verfügbaren Kapazität von der Gebrauchslage kann allgemein wie folgt zusammengefaßt werden:

- Im Bereich des Nennstromes ist die verfügbare Kapazität praktisch unbeeinflusst davon, ob die Batterien aufrecht oder liegend entladen werden.
- Bei kleinem Entladestrom oder bei seltenen Pulsen mit hohem Strom ist die Kapazität bei horizontaler Gebrauchslage praktisch gleich wie bei aufrechter.
- Bei hohem Strom ist die verfügbare Kapazität der kleinen Zellen und der Flachzellen (AA, $\frac{2}{3}$ AA, $\frac{1}{2}$ AA, $\frac{1}{6}$ D, $\frac{1}{10}$ D, BEL) praktisch unabhängig von der Gebrauchslage.
- Bei hohem Strom ist die verfügbare Kapazität der großen Zellen (C, D, DD) geringer, wenn sie über Kopf entladen werden. Diese Gebrauchslage sollte daher wenn möglich vermieden werden.
- Mit der Einführung der Version iXtra gehört diese Einschränkung der Vergangenheit an. Diese Batterien weisen keine Orientierungsabhängigkeit mehr auf.
- Die verfügbare Kapazität aller Zellen ist von der Gebrauchslage unabhängig, wenn sie während der Entladung gelegentlich bewegt werden.

2.7 Temperaturabhängigkeit

Der Nennbereich der Betriebstemperatur reicht für die meisten Baureihen der Tadiran Lithium Batterien von -40°C bis $+85^{\circ}\text{C}$. Beim Überschreiten dieses Temperaturbereiches nach oben kann es zu einer leichten Ausbeulung kommen; ein typischer Wert ist 1 mm Ausdehnung in Längsrichtung bei 100°C . Die Baureihe SL-500 ist so ausgelegt, daß sie Temperaturen bis $+130^{\circ}\text{C}$ aushält. Bei den tiefen Temperaturen ist eine Ausdehnung des Temperaturbereiches bis -55°C oder sogar noch tiefer möglich. Allerdings deckt eine Lagerung bis -55°C und ein Betrieb bis -40°C praktisch alle Anwendungen ab. Der Gefrierpunkt von Thionylchlorid bei -105°C kann hier als Untergrenze betrachtet werden.

Ganz allgemein hat die Temperatur einen Einfluß auf die Beweglichkeit der Ionen im Elektrolyt und auf die Morphologie des Schutzfilms. Dadurch nimmt die Strombelastbarkeit mit steigender Temperatur zu. Aber dieser Effekt wird zu einem gewissen Grad durch stärkere Passivierung während der Lagerung und höhere Selbstentladung im Betrieb kompensiert.

Abbildung 2-11 zeigt die Stromabhängigkeit der verfügbaren Kapazität von Batterien der Type SL-360. Die Nennkapazität von 2,4 Ah ist durch einen schwarzen Punkt markiert. Man erhält sie bei Raumtemperatur mit dem Nennstrom, der einer 1000-stündigen Entladung entspricht. Die Abbildung zeigt den Bereich von Kapa-

zitätswerten der sich bei der Entladung bis zu einer Endspannung von 2,0 Volt ergibt. Fünf Kurven werden in der Abbildung wiedergegeben und zwar für fünf verschiedene Temperaturen.

Bei jeder Temperatur liegt das Maximum der Kurve in einem mittleren Bereich.

Der linke Bereich der Kurven ist kleinen Strömen zugeordnet. In diesem Bereich führen Verluste durch Selbstentladung dazu, daß die verfügbare Kapazität nicht das Maximum erreicht. Bei tiefen Temperaturen ist die Selbstentladung kleiner als bei hohen. Deshalb liegen in diesem Bereich die Kurven, die höheren Temperaturen zugeordnet sind, unter den Kurven für niedrige Temperaturen.

Der rechte Bereich der Kurven ist hohen Strömen zugeordnet. In diesem Bereich hat auch die Beweglichkeit der Ladungsträger einen Einfluß auf die verfügbare Kapazität. Bei hohen Temperaturen ist die Beweglichkeit der Ladungsträger höher als bei tiefen. Deshalb liegen in diesem Bereich die Kurven für die tiefen Temperaturen unten. Andererseits nimmt aber mit weiter steigender Temperatur auch die Selbstentladung zu. Deshalb liegen die rechten Enden der Kurven für 55°C und 72°C wiederum tiefer als das rechte Ende der Kurve für 25°C .

Obwohl die vorangehende Diskussion einige der eher grundlegenden Eigenarten des Lithium/Thionylchlorid-Systems erklären mag, macht sie doch nicht notwendigerweise die außergewöhnlich leistungsstarken Merkmale dieser Batterien im Langzeitbetrieb bei hohen Temperaturen deutlich. Was in dieser Hinsicht möglich ist, zeigt die **Abbildung 2-12** anhand einer Entladung von zehn Batterien der Type SL-550 ($\frac{1}{2}$ AA) bei 150°C Dauertemperatur. An einer Last von $560\text{ k}\Omega$ entspre-

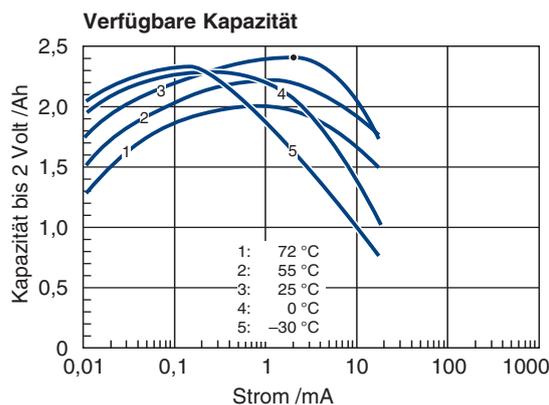


Abbildung 2-11
Stromabhängigkeit der verfügbaren Kapazität für fünf verschiedene Temperaturen.

Baugröße AA,
Type SL-360

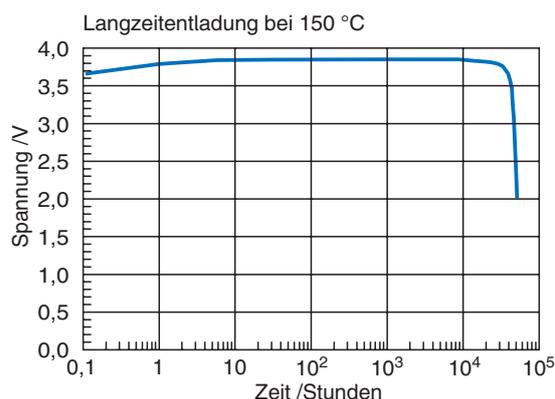


Abbildung 2-12
Langzeitentladung von Zellen der Baugröße $\frac{1}{2}$ AA, Type SL-550 bei $+150^{\circ}\text{C}$ über mehr als 5 Jahre an kontinuierlicher Last von $560\text{ k}\Omega$ entsprechend $6\text{ }\mu\text{A}$.

chend einem mittleren Strom von 6 μA haben diese Batterien mehr als 5 Jahre lang funktioniert und dabei 65% ihrer Nennkapazität erreicht.

2.8 Umgebungsbedingungen

Aufgrund ihrer zuverlässigen Konstruktion ist die Tadiran Lithium Batterie unter extremen Umgebungsbedingungen einsetzbar.

Höhe und Druck

Verschlussmethode und allgemeine Eigenschaften der Batterie erlauben Lagerung und Betrieb in jeder Höhe von der Erdoberfläche bis zum Weltraum ohne Einbußen. In der anderen Richtung kann der Druck auf 20fachen Atmosphärendruck oder darüber erhöht werden. Statische Kräfte von bis zu 200 N auf den Pluspol sind zulässig.

Vibration und Beschleunigung

Die Batterien können den normalen Schwingungen bei Transport und Betrieb ausgesetzt werden. Folglich können sie in jeder Art von Transportmittel verwendet werden. Einige Typen werden sogar als Energiequelle für elektronische Geräte zur Reifendruckkontrolle in Rennwagen der Formel 1 eingesetzt.

Magnetische Eigenschaften

Becher und Deckel sind aus sorgfältig vernickeltem, kaltgewalztem Stahl und haben die übliche magnetische Suszeptibilität dieses Materials.

Feuchte

Da die Zellspannung von Lithiumbatterien über der Spannung liegt, bei der die Elektrolyse von Wassermolekülen stattfindet, müssen sie vor flüssigem Wasser und Kondensation geschützt werden. Ein Feuchtigkeitsfilm zwischen den Batteriepolen kann nicht nur Korrosion sondern auch äußere Entladung hervorrufen. Die Tadiran Lithium Batterie wird jedoch nicht von feuchter Wärme oder Luftfeuchte ohne Kondensation beeinträchtigt.

2.9 Innenwiderstand

Der Innenwiderstand einer Batterie wird aus dem Spannungsverlauf bei Pulsbelastung berechnet. Wenn der Innenwiderstand von der Amplitude, Dauer und Häufigkeit der Pulse unabhängig wäre, könnte man daraus den Spannungsverlauf der Batterie bei beliebigen Pulslasten voraussagen. Leider stellt es sich aber heraus, daß der Innenwiderstand von Lithiumbatterien von zahlreichen Faktoren abhängt, darunter der Lagerdauer, Temperatur, Geschichte, Höhe des Grundstromes, Höhe der Pulslast, Entladezustand und einigen anderen. Dadurch wird es schwierig, das Verhalten der Batterie aus einem oder sogar mehreren Werten für den Innenwiderstand vorauszuberechnen.

Es ist aber trotzdem wichtig, ein allgemeines Verständnis für den Verlauf des Innenwiderstandes mit der Betriebsdauer zu entwickeln, um so die Nutzungsdauer der Batterie optimieren zu können. **Abbildung 2-13** zeigt die Entladekurve (1) einer Tadiran Lithium Batterie bei einer Grundstromdichte von 10 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ und 6 Pulsen je Stunde mit einer Stromdichte von 10 mA/cm^2 . Die Betriebsdauer beträgt etwa neun Monate. Während 97% der Entladedauer bleibt die Spannung U_g an der

Grundlast über 3,6 Volt. Der Innenwiderstand, dargestellt durch Kurve (3), wurde aus der Spannungsdifferenz bei Pulslast berechnet und zwar mit der Gleichung

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_g - U_p}{I_p - I_g}$$

mit I_g = Grundstrom
 I_p = Pulslast

Kurve (2) zeigt die Spannung U_p während der Pulse.

Bei Beginn der Entladung fällt der Innenwiderstand von seinem Anfangswert – entsprechend der Passivierung der Anode – auf einen stationären Plateauwert. Erst wenn die Batterie zu 70% entladen ist, steigt der Innenwiderstand wieder an, wodurch sich das Ende der Lebensdauer der Batterie ankündigt. Wenn die Anwendung Pulsströme erfordert, kann es sein, daß die Batteriespannung bereits zu diesem Zeitpunkt unter den Grenzwert fällt. Wenn man aber die Tatsache ausnutzt, daß die elektromotorische Kraft bis zur vollständigen Entladung über 3,6 Volt bleibt, ist es trotzdem möglich, die Lebensdauer mit Hilfe eines geeigneten Kondensators über diesen Punkt hinaus zu verlängern, solange die Pulse nicht zu lang dauern. Weitere Einzelheiten s. Kapitel 7.

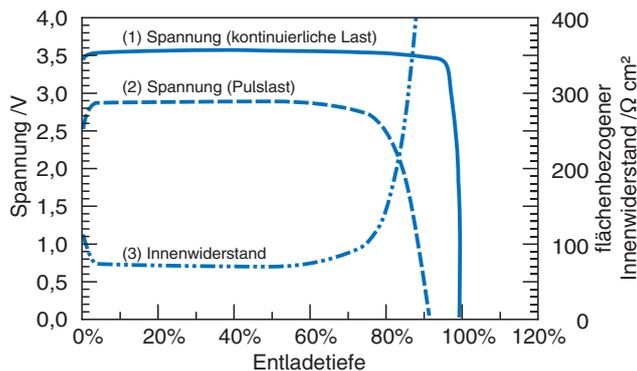


Abbildung 2-13

Schematische Darstellung der Entwicklung des Innenwiderstandes während der Entladung bei Raumtemperatur. Der Dauerstrom von etwa 10 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ wird von 6 Pulsen pro Stunde überlagert. Die Pulse sind 10 mA/cm^2 hoch und dauern 0,5 s. Um die Darstellung unabhängig von der Zellgröße zu machen, wurde der Innenwiderstand an der zweiten Ordinate mit der Anodenoberfläche malgenommen.

2.10 Merkmale der verschiedenen Baureihen

Baureihe SL-300

Stichwort: normaler Einsatz und Pufferbetrieb

- ausgezeichnete Lagerfähigkeit (10 Jahre)
- extrem geringe Selbstentladung (weniger als 0,5% pro Jahr bei Lagerung)
- für langen Betrieb bei kleinem Strom
- für Betrieb bei kleinem Strom mit langen Unterbrechungen
- Pulsbetrieb bei mittlerem Strom, wenn der Durchschnitt nicht unter dem Aktivstrom liegt
- Temperaturbereich -55°C bis $+85^{\circ}\text{C}$ (Flachzellen bis $+75^{\circ}\text{C}$)

Baureihe SL-500

Stichwort: erweiterter Temperaturbereich

- Erweiterung des Temperaturbereiches bis $+130^{\circ}\text{C}$
- etwas geringere Kapazität
- sonst wie Baureihe SL-300

Baureihe SL-700/2700

Stichwort: Verbessertes Start

- entscheidende Verbesserung der Spannungsverzögerung (TMV) bei Beginn der Entladung mit mittlerem Strom
- beste Ergebnisse bei Lagerung bis zu 3 Jahren
- Pulsbetrieb bei mittlerem Strom
- sonst wie Baureihe SL-300

Stichwort: iXtra für dauerhafte Leistungsfähigkeit

- Verbesserung der Spannungsverzögerung (TMV) mit und ohne Last, auch über 3 Jahre Lagerdauer hinaus
- keine Orientierungsabhängigkeit
- mehr Kapazität
- erkennbar an der Losnummer: Z...

Baureihe SL-800/2800

Stichwort: XOL für ausgedehnte Betriebsdauer

- noch geringere Selbstentladung
- noch weniger Spannungsverzögerung (TMV)
- etwas geringere Strombelastbarkeit
- sonst wie Baureihe SL-700.

3.1 Bestandteile und Werkstoffe

Anode

Die Anode ist aus Lithiumfolie in Batteriequalität. Sie wird gegen die Innenwand des Zellbeckers gerollt um eine mechanisch feste und zuverlässige elektrische Verbindung zu erhalten.

Kathode

Die Kathode ist aus hochporösem Azetylenruß mit Teflonbinder. Sie muß elektrisch leitfähig sein, damit der Ladungsaustausch stattfinden kann. Beim Anlegen einer Last wird die kathodische Reduktion des Thionylchlorids durch die Kathodenoberfläche katalysiert. Die Poren der Kohlenstoffkathode nehmen sowohl die Ausgangsstoffe als auch die Produkte dieser Reaktion auf.

Separator

Der Separator, der sich zwischen Anode und Kathode befindet, verhindert innere Kurzschlüsse und damit die unmittelbare Entladung während er andererseits den freien Transport von Ionen zwischen den Elektroden zuläßt. Er ist aus einem Glasvlies, das sorgfältig ausgesucht wurde mit Hinblick auf die Verträglichkeit mit dem chemischen System während der hohen Lager- und Betriebsdauer.

Elektrolyt

Der Elektrolyt besteht im wesentlichen aus einer Lösung von Lithiumtetrachloroaluminat in Thionylchlorid und behält seine Ionenleitfähigkeit über den gesamten Temperaturbereich. Thionylchlorid gefriert erst bei -105°C . Der Elektrolyt trägt daher wesentlich zu der außerordentlichen Leistungsfähigkeit der Batterien bei tiefen Temperaturen bei. Von der elektrochemischen Reaktion aus betrachtet, ist das Thionylchlorid auch der aktive Depolarisator. Der Elektrolyt wird deshalb oft als Katholyt oder Flüssigkathode bezeichnet.

Stromkollektor

Ein Stromkollektor aus Metall stellt die elektrische Verbindung zwischen der porösen Kohlenstoffkathode und dem Pluspol der Batterie her. Die Stromkollektoren von kleinen Zellen ($\frac{1}{2}\text{AA}$, $\frac{2}{3}\text{AA}$ und AA), großen Zellen (C, D und DD) und Flachzellen (BEL, $\frac{1}{10}\text{D}$, $\frac{1}{6}\text{D}$) sind unterschiedlich ausgebildet.

Becher und Deckel

Der Zellbecher und der Deckel sind aus galvanisch vernickeltem Stahlblech. Der Becher ist so konstruiert, daß er die mechanischen Belastungen aushalten kann, die in dem anzunehmenden weiten Bereich von Umgebungsbedingungen im Betrieb auftreten können.

3.2 Mechanische Bauweise

Tadiran Lithium Batterien werden in zwei unterschiedlichen mechanischen Bauweisen hergestellt, die zylindrische Bobbin-Version und Flachzellen. Diese beiden Bauweisen unterscheiden sich in dem Länge/Durchmesser-Verhältnis und auch in der Art und Weise, wie die Anode und Kathode zueinander angeordnet sind.

Bobbin-Bauweise

In der Bobbin-Bauweise (Abb. 3-1) hat die Kathode die Form eines Zylinders. Die Anode ist von innen gegen die Wand des Batteriebeckers gerollt. Dadurch ergeben sich einige Vorteile für die Sicherheit. Bei unbeabsichtigtem

Kurzschluß übersteigen die Ströme nicht einen Grenzwert, der mögliche Gefahren verhindert. Die Wärme, die an der Grenzfläche zwischen Anode und Kathode entsteht, kann leicht nach außen abgeleitet werden. Die Bauweise führt zu einer sicheren Batterie, die nicht noch zusätzlich eine Sollbruchstelle benötigt.

Flachzellen

In den Flachzellen (Abb. 3-2) wird die Anode an den Becherboden gedrückt und die Kathode in Form einer Scheibe befindet sich über der Anode. Diese Bauweise hat dieselben Vorteile im Hinblick auf die konstruktive Sicherheit wie die Bobbin-Bauweise.

Hermetisch dichtes Gehäuse

Die Dichtung zwischen dem Pluspol und dem Batteriedeckel, der sich auf dem Potential des Minuspols befindet, wurde sehr sorgfältig konstruiert. Hermetische Dichtigkeit ist durch eine Druckeinglasung sichergestellt. Darüberhinaus wird der Deckel mit einem LASER-Schweißverfahren an den Becher geschweißt. Im Gegensatz zu den meisten Systemen, die eine Bördeltechnik oder Kunststoffdichtungen verwenden, ist das Dichtungs- und Isolationssystem der Tadiran Lithium Batterie nicht anfällig gegenüber Temperatur- und Feuchte-schwankungen innerhalb des Bereichs der spezifizierten Betriebsbedingungen. Es trägt daher wesentlich bei zu der ausgezeichneten Lagerfähigkeit und Betriebsdauer der Batterien.

Sollbruchstelle

Mitunter werden hermetisch dichte Batterien mit einer Sollbruchstelle ausgerüstet um den Berstdruck des Batteriegehäuses zu verringern. Bei Tadiran Lithium Batterien haben sich dadurch keine Vorteile ergeben. Die weitaus meisten werden daher ohne Sollbruchstelle produziert. Unter allen Betriebsbedingungen bleibt der Innendruck nämlich weit unter dem Berstdruck. Trotzdem kann bei extremem Mißbrauch, wie zum Beispiel Erhitzen im Feuer bzw. Laden oder Überentladen mit einem viel zu großen Strom, der Innendruck einen kritischen Wert erreichen. Die Erfahrung hat aber gezeigt, daß es mit Erfolg möglich ist, solche Bedingungen zu vermeiden. In 20 Jahren Felderfahrung ist uns kein Unfall mit dieser Zellenkonstruktion bekannt geworden. Natürlich ist dafür eine enge und aufrichtige Kundenberatung erforderlich.

Es muß erwähnt werden, daß Sollbruchstellen vorgeschrieben sind für Batterien, die von UL als „user-replaceable“ eingestuft werden. In diesem Fall sind die Nachteile der Sollbruchstelle im Hinblick auf die Langzeit-Zuverlässigkeit und Kosteneffektivität hinnehmbar. Tadiran ist in der Lage, die meisten Batterietypen mit Sollbruchstelle zu liefern, wenn dies verlangt wird.

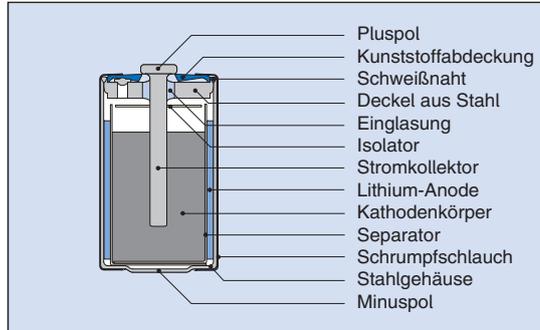


Abbildung 3-1
Schnittzeichnung einer Zelle der Baugröße 1/2AA (Bobbin-Bauweise)

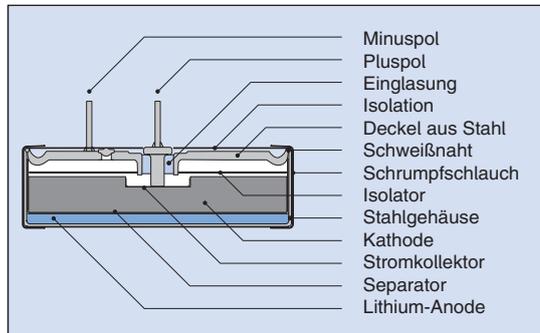
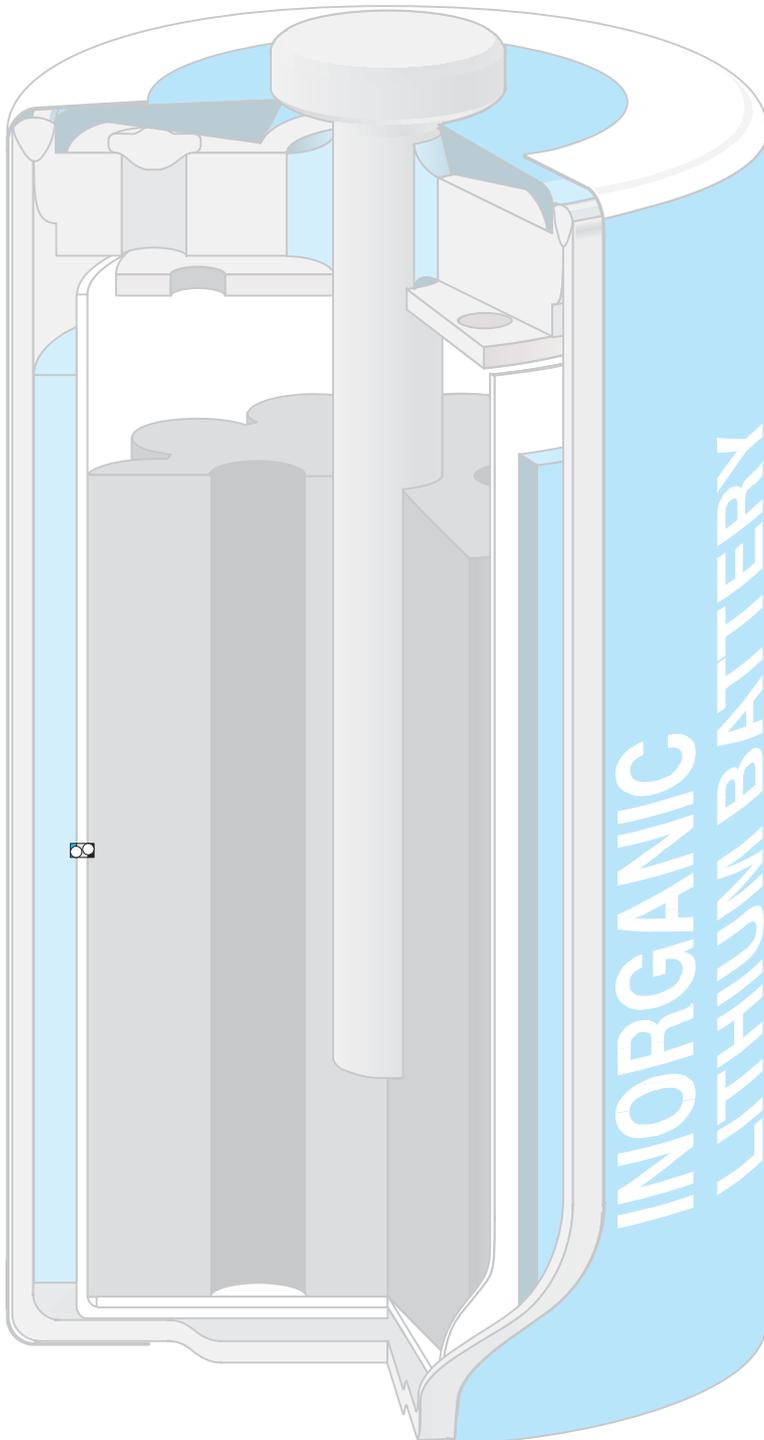


Abbildung 3-2
Schnittzeichnung einer Zelle der Baugröße 1/6D (Flachzelle)



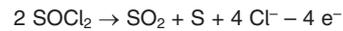
3.3 Chemische Reaktion und Schutzfilm

Die Entladereaktionen während des Stromdurchgangs werden im allgemeinen wie folgt angegeben:

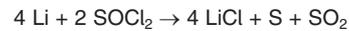
Anodische Oxidation:



Kathodische Reduktion:



Gesamtreaktion:



Ein Großteil des bei der Entladung gebildeten Schwefeldioxids löst sich im Elektrolyt durch Komplexbildung. Dadurch bleibt der Innendruck vor, während und nach der Entladung gering.

Ein Schutzfilm auf der Lithiumoberfläche bewirkt die ausgezeichnete Lagerfähigkeit von Lithium/Thionylchlorid-Batterien, da er die Selbstentladung wirkungsvoll unterbindet. Der Film besteht im wesentlichen aus Lithiumchlorid-Kristallen, die sich bilden, sobald der Elektrolyt bei der Zellenfertigung in Berührung mit der Lithiumanode kommt. Während der Film langsam wächst, verhindert er mehr und mehr die weitere Reaktion.

Wenn eine äußere Last an die Batterie gelegt wird, können die an der Anodenoberfläche gebildeten Lithiumionen quer durch den Film wandern, da er genügend Fehlstellen dafür aufweist. Wenn der Stromfluß zunimmt, stören die Lithiumionen aufgrund ihrer Bewegung das Ionengitter des Films und bilden Risse oder brechen ihn ganz auf. Dadurch erhöht sich Schritt für Schritt die Leitfähigkeit des Films. In der Folge nimmt der Innenwiderstand ab und die Spannung erreicht einen konstanten Wert. Dieser Anpassungsvorgang dauert normalerweise einige Zeit und verursacht den Spannungssack.

Man kann sich den Schutzfilm aus zwei unterscheidbaren Teilen zusammengesetzt denken. Der eine liegt direkt auf der Lithiumoberfläche. Er ist dünn und ziemlich dicht. Man bezeichnet ihn als Festkörperelektrolyt-Übergangsfilm (solid electrolyte interface, SEI). Auf diesem Film befindet sich eine poröse Schicht aus Reaktionsprodukten, die bis zu einem gewissen Grad die Oberfläche der Anode blockiert, aber nicht an den elektrochemischen Prozessen teilnimmt. Sie wird oft als sekundäre poröse Schicht (secondary porous layer, SPL) bezeichnet.

Die Morphologie, Dicke, mechanische Festigkeit und Porosität der Schicht beeinflussen den Spannungsverlauf bei der ersten Belastung der Batterie. Der Einfluß des Spannungssacks ist am größten, wenn die Batterien lange Zeit gelagert wurden, bei erhöhter Temperatur, wenn sie bei tiefer Temperatur entladen werden (oder während der Abkühlung) und bei hoher Stromdichte.

Abbildung 3-4 ist eine schematische Darstellung der Reaktionen, die in einer Lithium/Thionylchlorid-Zelle stattfinden.

Zum Nachlesen:

- | | |
|-------------------------------|--|
| Kohlenstoffkathode: | E. Yeager et al., Proc. Power Sources Conf. 33, 115 (1988) |
| Schutzschicht: | E. Peled in J.P. Gabano, Lithium Batteries, London 1983 |
| Reduktion von Thionylchlorid: | C. Schlaikjer, J. Power Sources 26, 161 (1989) |

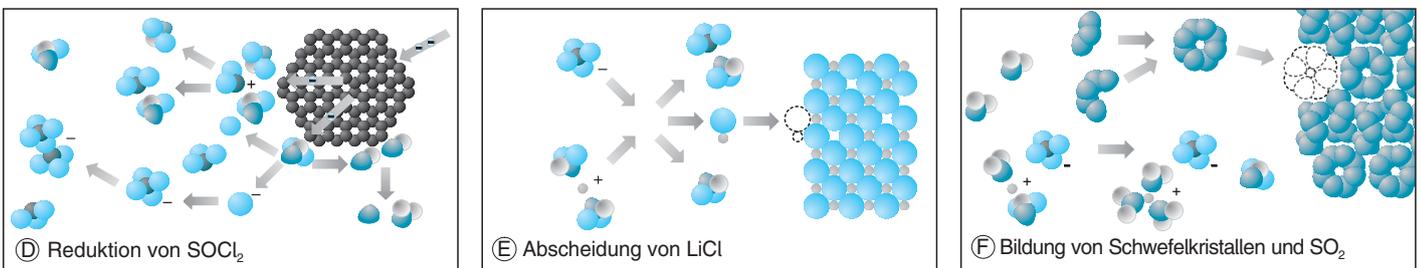
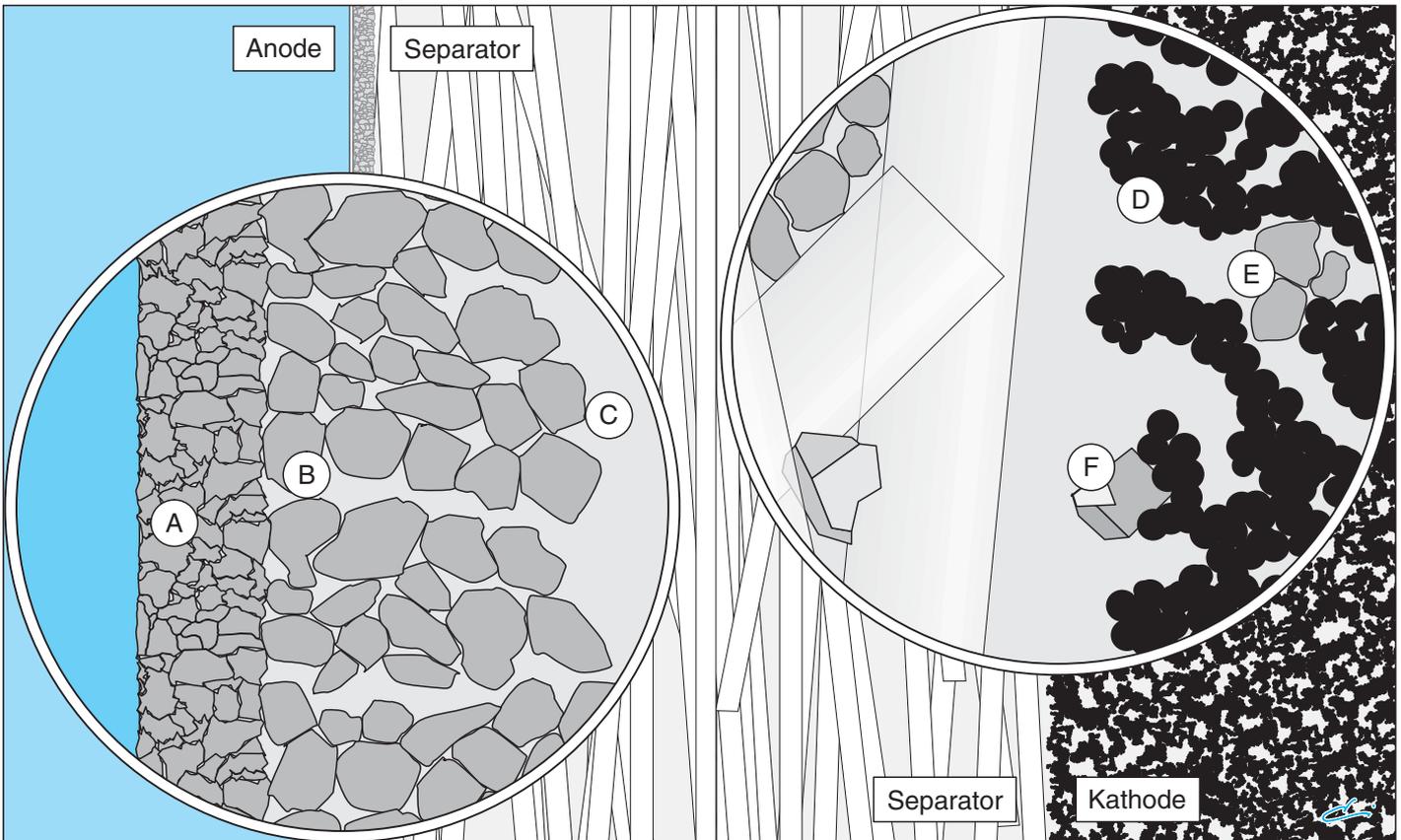
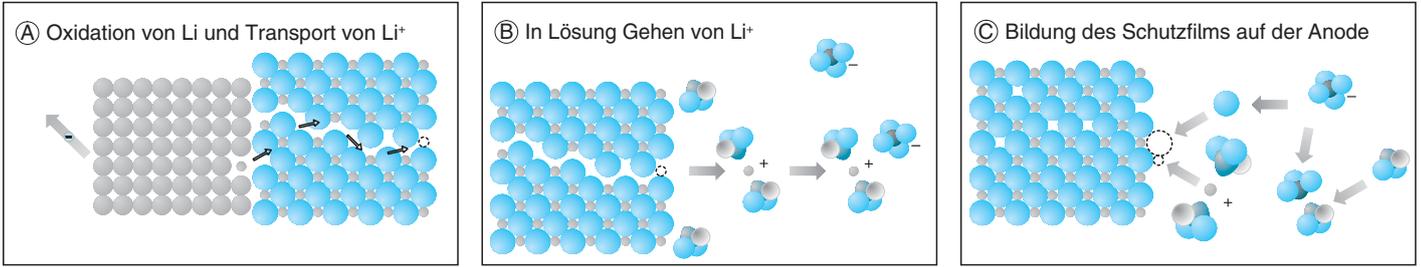
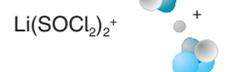
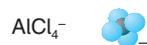


Abbildung 3-4
Reaktionsmechanismus von Lithium/Thionylchlorid-Batterien. Die Kreise sind Vergrößerungen der Anodenoberfläche (links unten) und der Kathodenoberfläche (rechts oben). Die Anodenoberfläche ist mit der Festkörperelektrolyt-Zwischenschicht (SEI) überzogen. Anschließend erkennt man die sekundäre poröse Schicht (SPL). Auf der Kathode und dem Separator haben sich die Reaktionsprodukte Lithiumchlorid und Schwefel abgeschieden.

Atome und Ionen

- Al
- C
- Cl
- Li
- O
- S
- Cl⁻
- Li⁺



4 Sicherheit

4.1 Allgemeines

Jede Batterie soll im Rahmen des vorgesehenen Verwendungszwecks benutzt werden. Dies ist definiert als „die Verwendung eines Erzeugnisses, Verfahrens oder einer Dienstleistung unter Bedingungen und/oder für Zwecke, die in Übereinstimmung mit den Vorschriften und Anleitungen des Lieferers stehen, einschließlich der Informationen zu Werbezwecken“.

Bei Tadiran Lithium Batterien werden die Anforderungen an die Sicherheit bereits im Entwurfsstadium berücksichtigt und zwar für die gesamte Herstellung, den Transport, den vorgesehenen Verwendungszweck, vorhersehbaren Mißbrauch und Entsorgung. Die Bauweise von Tadiran Lithium Batterien hat einige besondere Merkmale im Hinblick auf konstruktive Sicherheit durch:

- a) gute Wärmeableitung
- b) relativ geringe Elektrodenoberfläche
- c) begrenzten Kurzschlußstrom und dadurch begrenzten Temperaturanstieg im Falle eines Kurzschlusses.

Aufgrund der so optimierten Bauweise benötigen die Batterien keine Sollbruchstelle. Sie unterscheiden sich darin von den meisten anderen handelsüblichen Lithiumbatterien.

4.2 Bestimmungsgemäßer Gebrauch

Es folgt eine Beschreibung von Prüfungen für bestimmungsgemäßen Gebrauch und für vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlgebrauch, die für Tadiran Lithium Batterien zutreffen. Die Prüfbedingungen basieren auf Verfahren, die in der Internationalen Norm IEC 60086-4, zweite Ausgabe, veröffentlicht sind. IEC ist die Internationale Elektrotechnische Kommission in Genf.

Entladen

Diese Prüfung bildet die eigentliche Verwendung von Batterien nach. Der Wert des Begrenzungswiderstandes muß für jede Batterietype festgelegt werden.

Die nicht entladene Batterie wird mit dem Begrenzungswiderstand R_1 für die Prüfdauer t_d entladen:

$$t_d = C_n \times R_1 / U_n$$

Dabei ist:

- t_d die Prüfdauer;
- C_n die Nennkapazität;
- U_n die Nennspannung;
- R_1 eine Widerstandslast, die so gewählt wird, daß sich als mittlerer Strom der maximale Dauerentladestrom ergibt, der im Tadiran Produktkatalog angegeben ist.

Die Prüfung wird bei $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ durchgeführt bis die Batterie vollständig entladen ist und außerdem bei $60^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ bis die Batterie vollständig entladen ist.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn keine Batterieflüssigkeit austritt, kein Gas entweicht, keine Explosion und kein Feuer auftritt.

Schwingen

Diese Prüfung bildet Schwingungen während des Transports nach.

Die Prüfbatterien werden einer einfachen sinusförmigen Bewegung mit einer Auslenkungsamplitude von 0,8 mm

(1,6 mm maximaler Hub) unterworfen. Die Frequenz durchläuft mit 1 Hz/min den Bereich von 10 Hz bis 55 Hz und zurück. Das dauert zwischen 90 min und 100 min. Die Prüfbatterie wird in drei zueinander senkrechten Richtungen geprüft. Wenn eine Prüfbatterie nur zwei Symmetrieachsen hat, wird sie nur in zwei Richtungen senkrecht zu jeder der zwei Achsen geprüft.

Die Prüfung wird mit nicht entladenen Batterien und mit vollständig entladenen Batterien durchgeführt.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn kein Gewichtsverlust und keine Verformung entsteht, keine Batterieflüssigkeit austritt, kein Gas entweicht, keine Explosion und kein Feuer auftritt.

Schocken

Die Prüfung bildet die Bedingungen bei einem Zusammenstoß oder rauher Behandlung beim Transport nach.

Die Prüfbatterien werden mit Hilfe einer starren Aufspannvorrichtung, die alle Befestigungsflächen jeder einzelnen Prüfbatterie unterstützt, auf der Prüfmaschine aufgespannt. Jede Prüfbatterie wird insgesamt drei Schocks von gleicher Intensität unterworfen und zwar in drei zueinander senkrechten Achsen, die in Richtung der Flächennormalen weisen. Bei jedem Schock wird die Prüfbatterie in der Weise beschleunigt, daß die mittlere Beschleunigung während der ersten drei Millisekunden mindestens $75 g_n$ beträgt. Die Spitzenbeschleunigung liegt zwischen $125 g_n$ und $175 g_n$.

Die Prüfung wird mit nicht entladenen und mit vollständig entladenen Batterien durchgeführt.

Für die Prüfung werden die Batterien verwendet, mit denen zuvor die Prüfung Schwingen durchgeführt worden ist.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn kein Gewichtsverlust und keine Verformung entsteht, keine Batterieflüssigkeit austritt, kein Gas entweicht, keine Explosion und kein Feuer auftritt.

Höhensimulation

Diese Prüfung bildet den Lufttransport bei geringem Luftdruck nach.

Die Prüfbatterien werden für mindestens 6 h bei einem Druck von 11,6 kPa oder weniger und einer Temperatur von $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ gelagert.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn keine Batterieflüssigkeit austritt, kein Gas entweicht, keine Explosion und kein Feuer auftritt.

Temperaturschock

Diese Prüfung dient zur Beurteilung der Batteriedichtung bei raschem Temperaturwechsel.

Die Prüfbatterien werden für 48 h bei einer Temperatur von $75^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ gelagert, danach für 6 h bei einer Temperatur von $-20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ und danach für mindestens 24 h bei Raumtemperatur. Die Überführungsdauer beträgt für jede Temperatur höchstens 5 min.

Für die Prüfung werden die Batterien verwendet, mit denen zuvor die Prüfung Höhensimulation durchgeführt worden ist.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn keine Batterieflüssigkeit austritt, kein Gas entweicht, keine Explosion und kein Feuer auftritt.

4.3 Vernünftigerweise vorhersehbarer Fehlgebrauch

Um die Sicherheitsgrenzen von Lithiumbatterien auch bei extremer Fehlbehandlung auszuloten, werden die unten aufgeführten Prüfungen bereitgestellt.

Warnung

Diese Prüfungen erfordern die Anwendung von Methoden, die zu Verletzungen führen können, wenn nicht angemessene Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden. Bei der Aufstellung dieser Prüfungen wurde vorausgesetzt, daß sie von geschultem Personal mit geeigneter Qualifikation durchgeführt werden und unter Anwendung angemessener Schutzmaßnahmen.

Die Beschreibung von Prüfungen für vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlgebrauch in dieser Broschüre dient nur zu Hinweiszwecken. Während der Handhabung und Verwendung von Lithiumbatterien müssen solche Situationen vermieden werden.

Der Bereich des bestimmungsgemäßen Gebrauchs von Tadiran Lithium Batterien ist in den Datenblättern angegeben (s. auch Kapitel 2 und 7 dieser Broschüre). Jede Anwendung oder Prüfung, die den Einsatz außerhalb der in den Datenblättern angegebenen Grenzen erfordert, muß von Tadiran genehmigt werden.

Prüfungen des Verhaltens bei Fehlgebrauch, die im Rahmen der Sicherheitsnorm der Underwriters Laboratories durchgeführt wurden, wie auch zutreffende Militärnormen, sind in Kapitel 5 angegeben.

Äußerer Kurzschluß

Diese Art von Fehlgebrauch kann beim Umgang mit Batterien vorkommen.

Die Prüfbatterien werden auf $55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ erwärmt, bis sich das Gleichgewicht eingestellt hat. Dann werden sie bei $55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ kurzgeschlossen, wobei der äußere Widerstand insgesamt weniger als $0,1 \Omega$ beträgt. Der Kurzschluß wird aufrechterhalten und noch mindestens 1 h fortgesetzt, nachdem die Temperatur des Batteriegehäuses auf $55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ zurückgekehrt ist.

Für die Prüfung werden die Batterien verwendet, mit denen zuvor die Prüfungen Schwingen und Schocken und außerdem diejenigen, mit denen die Prüfungen Höhensimulation und Temperaturschock durchgeführt worden sind.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn keine Explosion und kein Feuer auftritt.

Laden 1

Diese Prüfung bildet den Fall nach, daß eine Batterie in einem Satz verpolt eingesetzt wird.

Eine Prüfbatterie wird in Reihe mit drei nicht entladene Zusatzbatterien derselben Type in der Weise verbunden, daß die Anschlüsse der Prüfbatterie verpolt sind.

Eine Widerstandslast R_2 wird in Reihe mit der Batterieanordnung verbunden, wobei R_2 so gewählt wird, daß sich als mittlerer Strom der maximale Dauerentladestrom aus dem Produktkatalog ergibt.

Der Stromkreis wird geschlossen, so daß die Prüfbatterie geladen wird. Die Prüfung wird solange durchgeführt, bis die Gesamtspannung noch 10% der ursprünglichen Leerlaufspannung beträgt, mindestens aber 24 h.

Die Prüfung wird bei $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durchgeführt.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn keine Explosion und kein Feuer auftritt.

Laden 2

Diese Prüfung bildet den Fall nach, daß eine Batterie in einem Gerät einer Gegenspannung von einer weiteren Stromversorgung ausgesetzt wird, z.B. eine Speicherschaltung mit einer fehlerhaften Diode.

Jede Prüfbatterie wird mit dem dreifachen des maximalen Rück-(Lade-)Stromes $I_{R, \max}$ geladen, s. Produktkatalog. Dabei wird sie in Gegenrichtung mit einer Gleichstromversorgung verbunden. Außer wenn die Stromversorgung mit einer Stromregelung versehen ist, wird der festgelegte Ladestrom eingestellt, indem ein Widerstand geeigneter Größe und Belastbarkeit in Reihe mit der Batterie geschaltet wird.

Die Prüfdauer wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$t_d = 2,5 \times C_n / (3 \times I_{R, \max})$$

Dabei ist:

t_d die Prüfdauer;

C_n die Nennkapazität;

$I_{R, \max}$ der maximale Rück-(Lade-)Strom aus dem Produktkatalog

Die Prüfung wird bei $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durchgeführt.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn keine Explosion und kein Feuer auftritt.

Überentladen

Diese Prüfung bildet den Fall nach, daß eine entladene Batterie in Reihe mit weiteren, nicht entladene Batterien verbunden wird.

Jede Prüfbatterie wird bis zu einer Entladetiefe von 50% vorentladen. Sie wird dann in Reihe mit drei nicht entladene Zusatzbatterien derselben Type verbunden.

Eine Widerstandslast R_3 wird in Reihe mit der Batterieanordnung verbunden, wobei R_3 so gewählt wird, daß sich als mittlerer Strom der maximale Dauerentladestrom aus dem Produktkatalog ergibt.

Die Prüfung wird solange durchgeführt bis die Gesamtspannung noch 10% der ursprünglichen Leerlaufspannung beträgt, mindestens aber 24 h lang.

Die Prüfung wird bei $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durchgeführt.

Die Prüfung wird mit vollständig entladene Prüfbatterien wiederholt.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn keine Explosion und kein Feuer auftritt.

Frei Fallen

Diese Prüfung bildet den Fall nach, daß eine Batterie versehentlich fallen gelassen wird.

Nicht entladene Prüfbatterien werden aus einer Höhe von 1 m auf eine Betonfläche fallen gelassen. Jede Prüfbatterie wird sechsmal fallen gelassen, eine prismatische Batterie einmal auf jede ihrer sechs Flächen, eine runde Batterie zweimal in Richtung jeder der drei Achsen. Die Prüfbatterien werden anschließend noch 1 h gelagert.

Die Prüfung wird mit Prüfbatterien wiederholt, die bis zu einer Entladetiefe von 25% vorentladen worden sind.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn keine Explosion und kein Feuer auftritt.

Stauchen

Diese Prüfung bildet den Fall nach, daß eine Batterie den Kräften ausgesetzt wird, die bei der Entsorgung von Haushaltsmüll auftreten, z.B. bei der Müllverdichtung.

Eine Prüfbatterie wird zwischen zwei Platten gequetscht. Die Kraft wird durch einen Schraubstock oder eine hydraulische Ramme mit einem Kolben von 32 mm Durchmesser ausgeübt. Der Quetschvorgang wird solange fortgesetzt, bis ein Druck von 17 MPa an der hydraulischen Ramme abgelesen wird, entsprechend einer Kraft von etwa 13 kN. Sobald der angegebene maximale Druck erreicht worden ist, wird der Druck weggenommen.

Eine zylindrische Batterie wird so gequetscht, daß sich ihre Längsachse parallel zu den beiden Platten befindet. Eine prismatische Batterie wird so gequetscht, daß die Kraft in Richtung einer der zwei Achsen ausgeübt wird, die senkrecht zu ihrer Längsachse stehen und außerdem in Richtung der anderen dieser zwei Achsen. Eine Flachzelle wird gequetscht, indem die Kraft auf ihre flachen Seiten ausgeübt wird.

Jede Prüfbatterie wird nur einmal gequetscht.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn keine Explosion und kein Feuer auftritt.

Überhitzen

Die Prüfung bildet den Fall nach, daß eine Batterie einer extrem hohen Temperatur ausgesetzt wird.

Eine Prüfbatterie wird in eine Temperatorkammer gebracht und die Temperatur wird mit einer Änderungsgeschwindigkeit von 5°C/min bis auf 130°C ± 2°C erhöht. Bei dieser Temperatur verbleibt die Batterie für 10 min.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn keine Explosion und kein Feuer auftritt.

4.4 Sicherheitshinweise

Dieser Abschnitt enthält allgemeine Sicherheitshinweise und orientiert sich an der IEC-Norm 60086-4. Diese bezieht sich auf alle Arten von Lithiumbatterien, einschließlich Verbraucherbatterien.

Schutz gegen Laden

Wenn eine nicht wiederaufladbare Lithiumbatterie in einer Speicherschaltung eingesetzt wird, muß eine Sperrdiode und ein Begrenzungswiderstand oder andere Schutzelemente verwendet werden um zu verhindern, daß die Batterie von der Hauptstromquelle aufgeladen wird (s.a. Abschnitt 5.1 und Abb. 7-1).

Parallelschaltung

Bei der Entwicklung von Batteriefächern soll eine Parallelschaltung vermieden werden. Allerdings kann eine Parallelschaltung in Batteriepaketen verwendet werden wie in Abschnitt 7.3 beschrieben.

Sicherheitsmaßnahmen bei der Handhabung

Bei richtiger Verwendung stellen Lithiumbatterien eine sichere und verlässliche Energiequelle dar. Wenn sie jedoch falsch benutzt oder mißbraucht werden, können diese **möglichen Folgen** eintreten:

- Austreten von Batterieflüssigkeit oder
- Entweichen von Gas oder im äußersten Fall
- Feuer und/oder
- Explosion.

Batterien nicht verpolen; die + und – Zeichen auf Batterie und Gerät beachten

Wenn Batterien falsch herum eingelegt werden, können sie kurzgeschlossen oder geladen werden, mit den oben beschriebenen möglichen Folgen.

Batterien nicht kurzschließen

Wenn der Pluspol (+) einer Batterie direkt mit dem Minuspol (–) verbunden wird, entsteht ein Kurzschluß, mit den oben beschriebenen möglichen Folgen. Unbenutzte Batterien am besten in der Originalverpackung aufbewahren.

Batterien nicht laden

Der Versuch, eine nicht wiederaufladbare Batterie zu laden kann dazu führen, daß sie überhitzt wird, mit den oben beschriebenen möglichen Folgen.

Batterien nicht überentladen

Wenn Batterien an einer äußeren Stromversorgung überentladen werden, wird die Batteriespannung unter den Wert gezogen, für den sie ausgelegt ist, mit den oben beschriebenen möglichen Folgen.

Batterien nicht mischen

Beim Batteriewechsel alle Batterien gleichzeitig wechseln und zwar gegen neue Batterien derselben Marke und Type. Andernfalls können manche Batterien aufgrund des Spannungsunterschiedes geladen oder aufgrund des Kapazitätsunterschiedes überentladen werden, mit den oben beschriebenen möglichen Folgen.

Erschöpfte Batterien gleich entfernen und entsorgen

Obwohl Tadiran Lithium Batterien in höchstem Maße auslaufsicher sind, kann es bei einer erschöpften Batterie eher vorkommen, daß sie ausläuft, als bei einer unbenutzten.

Batterien nicht überhitzen

Wenn eine Batterie überhitzt wird, kann Elektrolyt freigesetzt werden. Außerdem können Separatoren beeinträchtigt werden, mit den oben beschriebenen möglichen Folgen.

Nicht direkt an Batterien schweißen oder löten

Durch die Hitze kann der Schmelzpunkt von Lithium überschritten werden, mit den oben beschriebenen möglichen Folgen.

Batterien nicht öffnen

Wenn eine Batteriezelle geöffnet wird, können die Bestandteile eine Verletzung oder einen Brand herbeiführen.

Batterien nicht beschädigen

Lithiumbatterien dürfen nicht gequetscht, angebohrt oder auf andere Weise beschädigt werden, da das zu den oben beschriebenen möglichen Folgen führen kann.

Batterien nicht ins Feuer werfen

Wenn Batterien ins Feuer geworfen werden, kann das zu den oben beschriebenen möglichen Folgen führen. Batterien nur in einem dafür zugelassenen Müllverbrennungssofen verbrennen.

Den Inhalt von Lithiumbatterien nicht mit Wasser in Berührung bringen

Das kann zur Bildung von Wasserstoff und zu den oben beschriebenen möglichen Folgen führen.

Batterien außerhalb der Reichweite von Kindern aufbewahren

Vor allem Batterien, die verschluckt werden können, außerhalb der Reichweite von Kindern aufbewahren. Falls eine Batterie verschluckt worden ist, sofort einen Arzt aufsuchen.

5 Einhaltung von Normen

Tadiran Batteries
Technische Broschüre

Tadiran Lithium Batterien halten die zutreffenden Normen ein wie UL 1642 (Underwriters Laboratories), EN 50014 (explosionsgefährdete Bereiche) und Militärnormen, sowie einige andere anwendungsorientierte Normen, beispielsweise für Sicherheits- und Alarmanrüstungen, für Verbrauchszähler und andere. Manche von diesen Normen enthalten auch Anforderungen an die Leistungsfähigkeit im Hinblick auf bestimmte Anwendungen. Die Mehrzahl befaßt sich aber nur mit Sicherheitsaspekten und Umgebungsbedingungen während Lagerung, Transport und Gebrauch. Es gibt keine allgemein gültigen Normen für die elektrischen Leistungsdaten der meisten anorganischen Lithiumbatterien. Wenn also Bezeichnungen aus der ANSI C 18.1 (z.B. Baugröße AA) oder aus der IEC 60086 (z.B. Baugröße R6) verwendet werden, bezieht sich das nur auf die Größe der Batterie und nicht auf ihre elektrischen Eigenschaften.

Tadiran Lithium Batterien werden zur Qualifikation vorgestellt, wann und wo es der Markt erfordert. Die Firma bietet ihre Unterstützung an, wenn für eine bestimmte Batterie die Erfüllung der unten aufgeführten Normen oder anderer Normen nachgewiesen werden muß.

5.1 Underwriters Laboratories

Underwriters Laboratories Inc. (UL) ist eine gemeinnützige Organisation, deren Ziel es ist, Normen für die Produktsicherheit festzulegen und die Einhaltung dieser Normen durch die Hersteller von Bauteilen oder Geräten zu überwachen.

Tadiran Lithium Batterien erfüllen die UL-Normen so, wie es hier und in den entsprechenden Produkt-Datenblättern beschrieben ist. Die nachfolgend angegebene UL-Dokumentation bezieht sich auf diese Batterien.

UL Sicherheitsnorm	Nr. 1642, Lithiumbatterien
Bauteile Kategorie Nr.	BBCV2
Registrier-Nr.	MH 12827

Die Sicherheitsprüfungen aus dieser Norm sind in der **Tabelle 5-1** zusammengefaßt. Die Norm beschreibt außerdem Mindestanforderungen für Gehäuse, Kennzeichnung, Schutzbeschaltung gegen unbeabsichtigtes Aufladen und einige andere Themen.

Schutz gegen Aufladen

Wenn die Lithiumbatterie nicht die einzige Stromversorgung in einem Schaltkreis ist, treffen die folgenden, von den Underwriters Laboratories empfohlenen Maßnahmen zu.

Die Batterie darf nicht in Reihe mit einer Stromversorgung gelegt werden, die den Vorwärtsstrom durch die Batterie erhöht.

Der Schaltkreis für die Batterie muß eine der folgenden Schutzmaßnahmen vorsehen (ein Schaltungsdiagramm befindet sich in Abschnitt 7.1):

A. Zwei mit der Batterie in Reihe geschaltete Dioden oder gleichwertige Bauteile zur Verhinderung von Rück-(Lade-)strömen. Die zweite Diode dient zum Schutz für den Fall, daß eine Diode ausfallen sollte. Der Gerätehersteller hat für eine Qualitätskontrolle oder ein gleichwertiges Verfahren zu sorgen, mit dem sichergestellt wird, daß die Diodenpolarität bei jedem Gerät stimmt, oder

B. Eine Sperrdiode oder ein gleichwertiges Bauteil zur Verhinderung von Rück-(Lade-)strömen und einen Widerstand zur Begrenzung des Stroms bei Ausfall der Diode. Der Widerstand sollte so bemessen sein, daß der Rück-(Lade-)strom auch ohne Diode auf die Maximalwerte begrenzt wird, die im Tadiran Produktkatalog angegeben sind.

Es sei hier angemerkt, daß der Widerstand R so dimensioniert werden muß, daß $I = U_n/R$ nicht die angegebenen Höchstwerte überschreitet, wobei U_n die Nennspannung der Batterie ist.

Batteriewechsel

Lithiumbatterien dieser Kategorie sind als „technician replaceable“ eingestuft, wenn in den Datenblättern oder in der Bauteileliste von UL nichts anderes vermerkt ist.

„Technician replaceable“ bedeutet, daß die Batterie zur Verwendung in einem Produkt bestimmt ist, bei dem Wartung und Batteriewechsel von entsprechend ausgebildetem Fachpersonal vorgenommen wird. Batterien, die für die Verwendung in Produkten vorgesehen sind, bei denen Wartung und Batteriewechsel vom Endverbraucher vorgenommen werden können, fallen unter die Kategorie „user-replaceable“.

Bei Lithiumbatterien der Kategorie „user-replaceable“ verlangen die UL eine Reihe von Verfahren um sicherzustellen, daß wichtige Sicherheitshinweise den Endverbraucher erreichen.

Prüfziele	Durchführung der Prüfung	Anforderungen
Kurzschluß	Bei +23-°C und +60-°C	NF, NE, NO
Laden	Batterien an 12 V Gleichstromnetzteil anschließen (+ an +). Strom auf 3fachen max. Rück-(Lade-)strom (s. Datenblätter) beschränken. Dauer entsprechend 2,5 facher Nennkapazität.	NF, NE, (R)
Überentladung	Ganz entladene Batterien in Reihe mit frischen Batterien derselben Type.	NF, NE, (M)
Stauchen	Druck 17,2 MPa zwischen zwei ebenen Flächen	NF, NE, (R)
Stoß	Ein Gewicht von 9,1 kg fällt aus 0,61 m Höhe auf den Prüfling, wobei eine Stange von 15,8 mm Durchmesser mittig über der Batterie liegt.	NF, NE, (R)
Schock	3 Schocks pro Batterie, Durchschnitt von 75 g während der ersten 3 ms, Spitzenbeschleunigung zwischen 125 g und 175 g	NF, NE, NL, NV
Vibration	Sinusförmig, Amplitude 0,8 mm (1,6 mm Gesamtauslenkung), 10 bis 55 Hz, 1 Hz / min, 1 Zyklus (90 min)	NF, NE
Erhitzen	Auf 150-°C erhitzen und 10 min halten	NF, NE, (R)
Temperaturzyklen	10 Zyklen zwischen +70 °C und -40 °C, 5 Tage Gesamtdauer.	NF, NE, NL, NV
Unterdruck	6 h bei einem Druck von 11,6 kPa.	NF, NE, NL, NV
Prüfungen für Batterien, die vom Benutzer gewechselt werden können	Feuer, brennende Stücke, Projektile, Explosion.	NF, NE in bestimmten Grenzen.

Tabelle 5-1

Sicherheitsprüfungen gemäß UL-Standard Nr. 1642, Ausgabe 1999.

Abkürzungen:

NF: kein Feuer, NE: keine Explosion, NO: keine Überhitzung (150°C), NV: kein Gasaustritt, (R): Verwendung beschränken, wenn die Bedingungen nicht erfüllt werden, (M): trifft nur auf Zellen zu, die zu mehreren in Batteriepaketen zusammengesetzt werden sollen.

Die Verpackung einer Batterie der Kategorie „user-replaceable“ ist zu kennzeichnen mit dem Wort „VORSICHT“ und den folgenden oder gleichwertigen Angaben: „Feuer- und Verbrennungsgefahr. Nicht aufladen, öffnen, über 100 °C erhitzen oder verbrennen. Batterien nicht in Reichweite von Kindern bringen. Bis zum Einsatz in Originalverpackung belassen. Verbrauchte Batterien sofort entsorgen.“

Das Endprodukt mit einer Lithiumbatterie der Kategorie „user-replaceable“ ist neben der Batterie dauerhaft zu kennzeichnen: „Batterie nur austauschen gegen (Name des Batterieherstellers oder Name des Produktherstellers, Teile-Nr.). Einsatz einer anderen Batterie kann Feuer- oder Explosionsgefahr darstellen. Betriebsanleitung lesen.“ oder „Die einzusetzende Batterietype ist der Betriebs- oder Wartungsanleitung zu entnehmen.“

Die Gebrauchsanleitung muß dem Benutzer alle erforderlichen Hinweise zum Austauschen und Entsorgen von verbrauchten Batterien geben. Diese Hinweise müssen das folgende enthalten:

- a) Einen Warnhinweis, mit den folgenden oder gleichwertigen Angaben: „VORSICHT – Die in diesem Gerät verwendete Batterie kann bei Fehlbehandlung eine Feuer- oder Verbrennungsgefahr darstellen. Nicht aufladen, öffnen, über 100 °C erhitzen oder verbrennen. Batterie nur austauschen gegen (Name des Batterieherstellers oder Name des Produktherstellers, Teile-Nr.). Einsatz einer anderen Batterie kann Feuer- oder Explosionsgefahr darstellen.“
- b) Vollständige Anleitung zum Austauschen der Batterie, die mit der Angabe endet: „Verbrauchte Batterie sofort entsorgen, nicht in Reichweite von Kindern aufbewahren, nicht öffnen und nicht ins Feuer werfen.“

5.2 Explosionsgefährdete Bereiche

Anforderungen für Batterien in elektrischen Betriebsmitteln, die für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen vorgesehen sind, sind in der Europäischen Norm EN 50014 veröffentlicht. Tadiran kann Hersteller von solchen Geräten dadurch unterstützen, daß die Firma ihnen Temperatur- und Stromwerte von Tadiran Lithium Batterien während eines Kurzschlusses bei 40 °C und bei 70 °C zur Verfügung stellt. Die meisten Tadiran Lithium Batterien entsprechen der Temperaturklasse T4 dieser Norm. Das bedeutet, sie können in Geräten für explosionsgefährdete Bereiche mit einer Umgebungstemperatur bis +70 °C eingesetzt werden. Weitere Informationen zu diesem Thema sind bei Tadiran erhältlich.

5.3 Militärnormen

Aufgrund ihrer herausragenden Eigenschaften im Hinblick auf Umgebungsbedingungen bei Lagerung und Gebrauch haben Lithium/Thionylchloridbatterien das Interesse militärischer Anwender gefunden.

Ein spezielles Produkt – eine aktivierbare Batterie – wurde von Tadiran entwickelt für Anwendungen mit einer kurzen oder mittleren Einsatzdauer nach extrem langer Lagerung. Mit dieser Batterietype wurde eine Lagerdauer von über 8 Jahren bei +70 °C (!) erreicht, und zwar ohne Beeinträchtigung der Aktivierungszeit und der Einsatzdauer. Dieses Produkt sowie eine Reihe anderer Batterien aus dem Standardprogramm haben Umwelt und Sicherheitsprüfungen bestanden, die in den folgenden Militärnormen beschrieben sind.

MIL-B-49461 (ER)	USA	Military specification for non-rechargeable lithium thionyl chloride batteries
MIL-STD-202	USA	Military standard: Test methods for electronic and electrical component parts
MIL-STD-331	USA	Military standard: Fuse and fuse components, Environmental and performance tests for
MIL-STD-810	USA	Military standard: Environmental test methods and engineering guidelines
VG 96915	GER	Verteidigungsgeräte-Norm nicht wiederaufladbare Batterien

Die **Tabelle 5-2** faßt die hauptsächlichsten Prüfziele und Prüfbedingungen zusammen, die in diesen Normen enthalten sind und von Tadiran Lithium Batterien erfüllt wurden. Vollständige Beschreibungen und Prüfberichte sind auf Anfrage erhältlich.

Prüfziele	Durchführung der Prüfung	Anforderungen
Umweltprüfungen		
Transportvibration	MIL-B-49461 (ER) Abschnitt 4.8.6	ND
Flugvibration	MIL-STD-810, Test 514.2	ND
Fall	MIL-B-49461 (ER) Abschnitt 4.8.3	ND
Mechanischer Schock	MIL-B-49461 (ER) Abschnitt 4.8.5	ND
Temperaturzyklen	MIL-STD-331, Test 113.1	ND
Höhenflug	MIL-B-49461 (ER) Abschnitt 4.8.7	ND
Sicherheitsprüfungen		
Kurzschluß bei +25-°C	MIL-B-49461 (ER) Abschnitt 4.8.10	NF, NE
Undichtheit	MIL-B-49461 (ER) Abschnitt 4.8.13	NL
Überentladung	MIL-B-49461 (ER) Abschnitt 4.8.13.1	NV
Verbrennen	MIL-B-49461 (ER) Abschnitt 4.8.20	NE
Sicherheitsvorrichtung	MIL-B-49461 (ER) Abschnitt 4.8.10	FS

Tabelle 5-2

Genormte militärische Prüfungen, die Tadiran Batterien bestehen.

Abkürzungen: ND: keine Beeinträchtigung, NF: kein Feuer,
NE: keine Explosion, NL: keine Undichtheit,
NV: kein Gasaustritt, FS: Funktion der Sicherheitsvorrichtung

6 Qualität und Zuverlässigkeit

6.1 Unternehmenspolitik

Die Unternehmenspolitik der Tadiran Batteries GmbH umfaßt Qualitäts- und Umweltaspekte ebenso wie solche der Arbeitssicherheit und der Produktsicherheit.

Unsere Grundsätze

- Langfristige Unternehmensziele

Das Ziel unseres Unternehmens sind Entwicklung, Herstellung und Vertrieb von Lithiumbatterien, die in der Beurteilung der Kunden den Spitzenplatz einnehmen. Wir sichern durch hohe Wirtschaftlichkeit und ständige Verbesserung unserer Arbeit das Wachstum unseres Unternehmens im Interesse der Kunden, Mitarbeiter und Anteilseigner. Dies schließt für uns die kontinuierliche Verbesserung in den Bereichen Umweltschutz, Qualität und Sicherheit ein.

- Bedeutung von Qualität

Qualität verstehen wir als die Erfüllung der Anforderungen und Erwartungen von Kunden, Lieferanten und Mitarbeitern. Die Geschäftsführung und alle Mitarbeiter der Tadiran Batteries GmbH betrachten die Qualität der Produkte und Leistungen des Unternehmens als entscheidenden Faktor für ihren dauerhaften Erfolg.

- Umwelt und Sicherheit

Unser Unternehmen wendet Verfahren an, die zur Ausschaltung von Umwelt- und Sicherheitsrisiken für seine Mitarbeiter, seine Nachbarschaft und die Anwender seiner Produkte führen. Dabei ist die Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften unsere Mindestanforderung.

- Verantwortung von Führung und Mitarbeitern

Jeder Mitarbeiter übernimmt seinen Teil der Verantwortung am Prozeß der kontinuierlichen Verbesserung in unserem Unternehmen. Er richtet seine tägliche Arbeit an den Anforderungen seiner inner- und außerbetrieblichen Kunden sowie an den Erfordernissen von Wirtschaftlichkeit, Qualität, Umweltschutz und Sicherheit aus. Jeder einzelne ist bei der Umsetzung der Qualitäts- und Umweltziele mit seinem Verhalten Vorbild. Die Führungskräfte unterstützen und fördern Maßnahmen und Verhaltensweisen, die zur Erreichung der gesetzten Ziele notwendig sind. Hierzu dient auch in besonderem Maße die konzernweite Einführung der Weltklasse-Philosophie mit Workshops und konzerninternen Auditierungen.

Unsere Maßnahmen

- Periodische Ermittlung der Kundenzufriedenheit
- Systematische Untersuchung und Verbesserung der internen Kunde-Lieferant-Beziehungen
- Partnerschaftliche Einbeziehung der Lieferanten in den kontinuierlichen Verbesserungsprozeß
- Einbeziehung der Auftragnehmer und Fremdfirmen in unsere Sicherheits- und Umweltverfahren
- Bereitstellung und Anwendung aller notwendigen Qualitäts- und Umweltmanagementverfahren
- Turnusmäßige Zertifizierung nach ISO 9001 und ISO 14001
- Festlegung jährlich meßbarer Qualitäts- und Umweltziele
- Jährliche Überprüfung des Qualitäts- und Umwelt-Management-Systems
- Ermittlung der Erfordernisse in Umweltschutz und Arbeitssicherheit

- Kontinuierliche Anpassung der Qualifikation aller Mitarbeiter durch Schulung und Einweisung
- Umsetzung und Anwendung der Weltklasse-Methoden, wie z.B. 5S, TPM, SMED, OEE, JIT, Kanban usw.
- Aktivierung des Vorschlagswesens
- Umsetzung von Verbesserungsvorschlägen zur Qualitätsverbesserung
- Beurteilung der Auswirkungen auf Umwelt, Sicherheit und Qualität bei der Einführung neuer Produkte oder Verfahren.
- Beratung der Kunden über Eigenschaften unserer Produkte im Hinblick auf Anwendung, Handhabung und Entsorgung
- Bereitstellung der Technischen Dokumentation unter Berücksichtigung der geltenden Vorschriften und Gesetze
- Bereitstellung aller zum Verständnis der Umweltauswirkungen von Produkten und Produktionsverfahren notwendigen Informationen an interessierte Kreise
- Regelmäßige Überprüfung und Weiterentwicklung von Maßnahmen, die zur Abwehr von Gefahren durch Störungen und Unfälle dienen



Abbildung 6-1
Management-System von BVCert zertifiziert

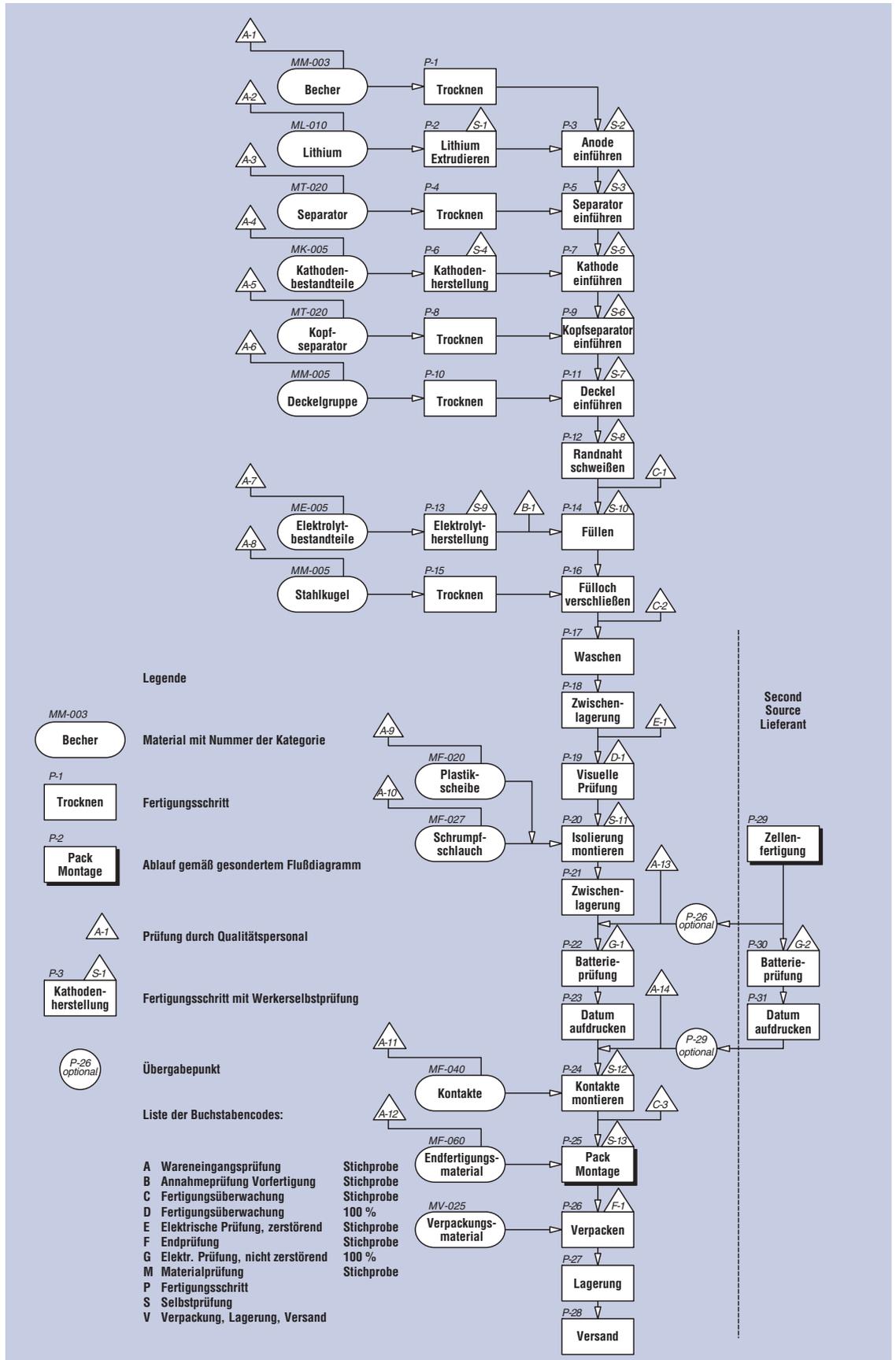
6.2 Zertifiziertes Management-System

Die Produktionsstätte von Tadiran ist entsprechend ISO 9001 und ISO 14001 zertifiziert. Die Erstzertifizierung des Qualitäts-Management-Systems erfolgte im Jahre 1993. Das Umwelt-Management-System wurde erstmalig 1999 zertifiziert.

6.3 Kalibrierung und Prüfmittel

Messungen, die Einfluß auf die Produktqualität haben können, werden mit kalibrierten Prüfmitteln durchgeführt. Die Kalibrierung erfolgt in Bezug auf anerkannte nationale und internationale Standards.

Bei der Prüfplanung werden diejenigen Fertigungsschritte identifiziert, für die besondere Prüfmethoden erforderlich sind. Gegebenenfalls werden Prüfmethoden und Prüfmittel dafür entwickelt, um unter allen anzunehmenden Umständen die Produktqualität sicherzustellen.



6.4 Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit

Produkte von Tadiran werden gekennzeichnet, um die Identifizierung und Rückverfolgung sicherzustellen. Typischerweise enthält die Kennzeichnung die Typennummer der Batterie, die Losnummer sowie Monat und Jahr der Endkontrolle.

Abbildung 6-3 zeigt ein Beispiel für die Kennzeichnung von Batterien. Rückfragen bezüglich der Fertigungsstände von bestimmten Batterien sollten immer einen Bezug auf den Losnummerncode enthalten, der auf der Batterie aufgedruckt ist.

Die Rückverfolgbarkeit bezieht sich auf alle Vorgänge von der Wareneingangskontrolle der Materialien bis zur Endkontrolle und zum Versand des Produktes. Die maßgeblichen Unterlagen werden mindestens 15 Jahre verwahrt.

Abbildung 6-3
Batterie mit Typenbezeichnung (T), Losnummer (L) und Datum (D) der Endkontrolle. Rückfragen sollten Bezug auf die Losnummer nehmen.



6.5 Fertigungsablauf und Prüfplan

Tadiran unterhält vollständig dokumentierte Materialspezifikationen, Verfahrensanweisungen und Prüfmethoden für alle Fertigungsvorgänge.

Die strengen Anforderungen an die Reinheit der Materialien, Genauigkeit der Teilefertigung, Sorgfalt bei der Montage und Endkontrolle des fertigen Produktes haben die Einführung geeigneter Fertigungs- und Prüfverfahren sowie die Aufstellung sehr genauer und zuverlässiger Anlagen und Geräte notwendig gemacht.

Der Fertigungsablauf- und Prüfplan der in der **Abbildung 6-2** wiedergegeben wird, spiegelt so detailliert wie es im Rahmen dieser Broschüre möglich ist, die Sorgfalt wieder, die dabei angewendet werden muß.

6.6 Zuverlässigkeit

Der Begriff Zuverlässigkeit bezieht sich auf die Fähigkeit eines Produktes, bestimmte festgelegte Anforderungen während seiner Lebensdauer zu erfüllen. Als Antwort auf die besonderen Markterfordernisse legt Tadiran besonderen Wert auf diesen Aspekt der Produktqualität.

Eine Reihe von Langzeit-Untersuchungen dient dazu, Zuverlässigkeitsdaten unter verschiedenen Lager- und Gebrauchsbedingungen zu sammeln. Die Ausfallkriterien werden entsprechend den am weitesten verbreiteten Anwendungsbedingungen definiert.

Dabei wird es übrigens nicht als Ausfall gewertet, wenn eine Batterie verbraucht ist, und die abgegebene Kapazität innerhalb der Normalverteilung bei denselben Versuchsbedingungen liegt. Die Bestimmung der Lebensdauer unter diesen Bedingungen wird in Kapitel 7 unter dem Thema Berechnung der Betriebsdauer behandelt.

Normalerweise geht man bei der Zuverlässigkeitsprüfung so vor, daß die Prüflinge einer beschleunigten Alterung unterzogen werden. Die Ergebnisse werden dann auf normale Betriebsbedingungen übertragen, wobei die Umrechnungsmethoden vorher aufgestellt und erprobt worden sein müssen. In Abschnitt 2.5 – Lagerfähigkeit und Betriebsdauer – wurde dargelegt, daß entsprechende Verfahren für Lithiumbatterien im allgemeinen nicht leicht aufgestellt werden können. Deswegen müssen alle Ergebnisse durch Echtzeitprüfungen bestätigt werden.

Tabelle 6-4 zeigt eine Anzahl von repräsentativen Zuverlässigkeitstests, die von Tadiran durchgeführt worden sind. Die Tabelle enthält nur Echtzeitdaten und keine Extrapolationen oder andere abgeleitete Daten. Die Ausfallkriterien, Ergebnisse und andere wichtige Angaben sind in der Tabelle enthalten.

Als Ergebnis dieser Untersuchungen kann man festhalten, daß die Zuverlässigkeit von Tadiran Lithium Batterien im allgemeinen Ausfallraten von weniger als 200 fit (= 0,175% pro Jahr) entspricht. Es hat sich gezeigt, daß die Ausfallraten bei Lagerung und im Speicherpufferbetrieb im Bereich unter 20 fit (= 0,02% pro Jahr) liegen. Ein Test zeigt, daß es möglich ist, dieses Batteriesystem für mindestens 10 Jahre bei +85 °C zu betreiben, ohne daß dabei ein Ausfall aufgetreten wäre.

Batterietype	alle	SL-550	SL-360	SL-350	SL-360
Entladung	nein	1 MΩ	180 kΩ	1 MΩ	2700 µF
Umgebungsbedingungen	+25 °C	+85 °C	in Kfz	+25 °C (3000 St.) und +45 °C (3000 St.)	+25 °C (100 St.) und +45 °C (100 St.) und Glas-haus (300 St.)
Ausfallkriterien	U < 3,66 V	U < 3,6 V	U < 3,5 V	U < 3 V	U < 3,6 V
Stichprobengröße	21900	50	500	6000	500
Prüfdauer bisher	max. 15,3 J. mittl. 7,8 J.	max. 10 J. mittl. 5,5 J.	8,75 J.	90 000 Std.	9 J.
Ausfälle bisher	8	0	1	4	0 + 0 + 5
Ausfallrate	5,3 fit	< 413 fit	28 fit	7,4 fit	126 fit
Bezug	82/88	193/88	3/89	40/89	36/91

Tabelle 6-4
Zuverlässigkeitsdaten
Eine Auswahl von Zuverlässigkeitsprüfungen, die bei Tadiran durchgeführt wurden.
fit = failures in time, 1 fit = 1 Ausfall in 10⁹ Bauteile-Stunden.

7 Schaltungsbeispiele und Hinweise zum Gebrauch

Tadiran Batteries
Technische Broschüre

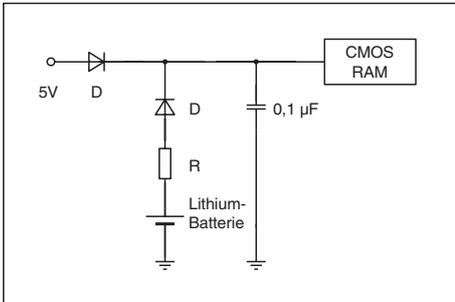


Abbildung 7-1
Grundschialtung zur Batteriepufferung mit Sicherheitselementen (Dioden und Widerstand) gemäß Fall B der UL-Empfehlungen. Im Fall A wird der Widerstand R durch eine weitere Diode ersetzt.

Die nachfolgenden Überlegungen zum Thema Schaltkreise sollen dem Entwickler helfen, die Verwendung von Tadiran Lithium Batterien optimal auf seine Schaltung abzustimmen.

Ganz allgemein sollte die Batterie nicht in der Nähe von Bauteilen untergebracht werden, die Wärme erzeugen. Dadurch kann nämlich die Lebensdauer beeinflusst werden.

Rück-(Lade-)ströme dürfen die Höchstwerte nicht überschreiten, die im Tadiran Produktkatalog angegeben sind. Um die Lebensdauer nicht zu beeinträchtigen, empfiehlt es sich, den Rück-(Lade-)strom auf Werte unter 10 µA zu begrenzen.

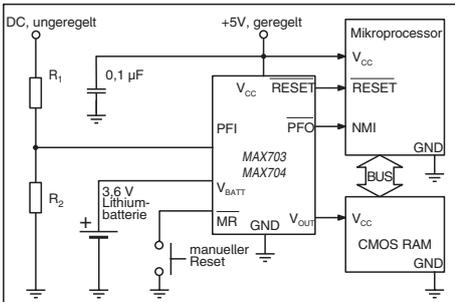


Abbildung 7-2
Batteriepufferung unter Verwendung eines Reglerbausteins.

7.1 Pufferschaltungen

Abbildung 7-1 stellt die Schutzschaltung gegen Aufladung gemäß der Empfehlung von UL für Speicherpufferschaltungen dar (s. Abschnitt 5.1). Das Diagramm gibt den Fall B wieder. Man erhält den Fall A, indem man den Widerstand R durch eine weitere Diode ersetzt.

Es ist absolut notwendig, diese Sicherheitselemente vorzusehen, wenn die Leiterplatte eine Pufferbatterie parallel zu einer Stromversorgung enthält. Die Sicherheitselemente müssen physisch so nah wie möglich an der Batterie untergebracht werden. Andernfalls steigt das Risiko, daß sie durch unbeabsichtigte Nebenschlüsse zwischen benachbarten Leiterbahnen oder schlecht verlötete Verbinder umgangen werden und die Batterie von der Stromversorgung aufgeladen wird.

Abbildung 7-2 zeigt ein Beispiel für eine Speicherpufferung unter Verwendung eines Reglerchips.

Abbildung 7-3 zeigt eine typische Pufferschaltung für PC's. Der 10 µF Kondensator hat den Zweck, das Absinken der Spannung bei Stromausfall zu verzögern, damit der Invertierer dem Mikroprozessor den Stand-by Puls so bald wie möglich liefern kann.

Abbildung 7-4 ist eine Pufferschaltung für eine Echtzeituhr. D₁, D₂ und D₃ sind Germaniumdioden, D₄ und D₅ sind Siliziumdioden. D₄ und D₅ haben den Zweck, die normale Versorgungsspannung des Oszillators zu senken, damit sie näher an dem Niveau der Pufferbatteriespannung ist. Dadurch wird ein größerer Spannungsabfall beim Übergang zum Pufferbetrieb vermieden und die Genauigkeit der Uhr wird verbessert.

Abbildung 7-5 zeigt eine Pufferschaltung für kontinuierliche und gepulste Lasten. D₁ und D₂ sind Siliziumdioden, D₃ und D₄ sind Germaniumdioden oder Schottky Typ MBD 701. Diese Schaltung puffert eine Netzversorgung mit einer kleinen kontinuierlichen Last und gelegentlichen Pulsen mit höherem Strom. C und D₄ haben den Zweck, die Spannung der kontinuierlichen Last zu stabilisieren, falls ein Strompuls einen kurzfristigen Einbruch der Batteriespannung hervorruft.

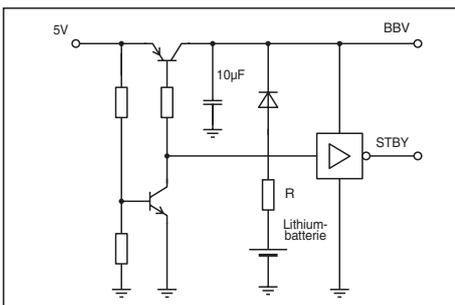


Abbildung 7-3
Typische Pufferschaltung für PC's

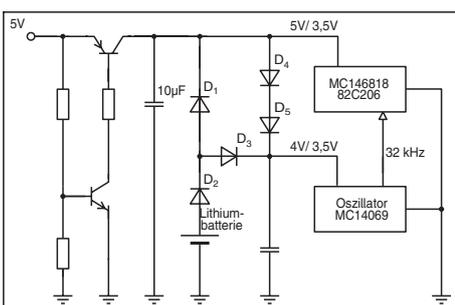


Abbildung 7-4
Pufferschaltung für eine Echtzeituhr

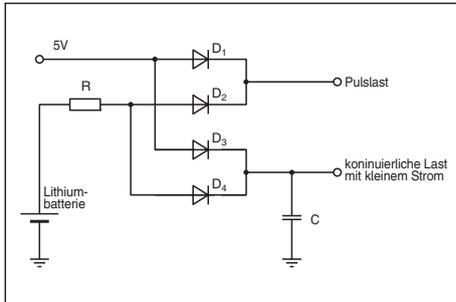


Abbildung 7-5
Pufferschaltung für kontinuierliche und gepulste Lasten

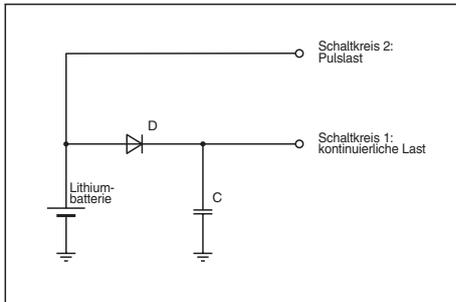


Abbildung 7-6
Batterieversorgung für kontinuierliche und gepulste Lasten. D ist eine Germanium- oder Schottky-Diode.

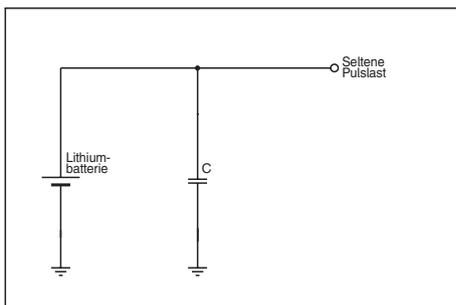


Abbildung 7-7
Batterieversorgung für gelegentliche Pulslasten, die die Strombelastbarkeit der Batterie übertreffen.

7.2 Kondensatorunterstützung

Lithium/Thionylchlorid-Batterien können bei langer Lagerung oder kontinuierlichem Betrieb bei sehr kleinem Strom einen Innenwiderstand entwickeln. Dies kann die oberhalb einer bestimmten Entladeschluß-Spannung verfügbare Kapazität verringern. In derartigen Situationen kann ein geeigneter Kondensator die verfügbare Kapazität verbessern. Die folgenden Angaben sollen helfen, diesen Aspekt des Batterieeinsatzes zu optimieren. In vielen Fällen ist eine Lithium/Thionylchlorid-Batterie mit Kondensatorunterstützung jedem anderen Batterietyp überlegen.

Unterstützung bei kontinuierlicher Last

Oft kann man eine Schaltung als aus zwei Teilen mit grundsätzlich verschiedenen Anforderungen zusammengesetzt betrachten. Der eine Teil besteht zum Beispiel aus einem Mikroprozessor und einem Speicherbaustein. Er ist dadurch charakterisiert, daß er einen geringen Strom aber eine hohe Spannung benötigt. Der andere Teil enthält beispielsweise Stromverbraucher wie z.B. Übertrager, Sensoren, Servoelemente und dergleichen. Er ist dadurch charakterisiert, daß er Pulse mit höherem Strom benötigt, aber die Spannungslage ist nicht so wichtig.

Eine vorteilhafte Vorgehensweise bei dieser Art von Anwendungen ist in der **Abbildung 7-6** skizziert. Während der Pulse mit hohem Strom wird der Mikroprozessor durch den Kondensator versorgt. Die Batterie muß nicht gleichzeitig Spannung und Strom liefern.

Bevorzugte Baureihe: SL-700
Typische Betriebsdauer: 1 ... 3 Jahre
Kondensatorart: typischerweise Elektrolyt
Kondensatorgröße: $C \approx I_1 \times t / U_1$
mit I_1 = Strom von Teilkreis 1
 t = Pufferdauer
 U_1 = erlaubte Mindestspannung für Teilkreis 1

Unterstützung von Pulslasten

In Fällen, wo auch der stromverbrauchende Teil der Schaltung eine hohe Spannung erfordert oder wenn die Batterie bis über den Punkt zunehmenden Innenwiderstands hinaus gebraucht werden soll, kann die Situation durch Einsatz eines größeren Kondensators an die Möglichkeiten der Batterie angepaßt werden. Der Kondensator muß dann so groß sein, daß er alle Strompulse liefern kann. **Abbildung 7-7** zeigt die Grundidee der Schaltung.

Auf den ersten Blick mag diese Lösung teurer erscheinen als zum Beispiel eine Lithiumbatterie mit organischem Elektrolyt. Trotzdem kann es sich herausstellen, daß die nutzbare Kapazität, das Spannungsniveau und die Zuverlässigkeit dieser Lösung so viel höher sind, daß sie im Endeffekt doch kostengünstiger ist.

Bevorzugte Baureihe: SL-300
Typische Betriebsdauer: 3 ... 10 Jahre
Kondensatorart: Elektrolyt oder Doppelschicht (SuperCap®, GoldCap®)

Kondensatorgröße: $C \approx U / R \times t / \Delta U$
mit: U = Nennspannung
 R = $R_L + R_C$
 R_L = Widerstand des Verbrauchers
 R_C = Innenwiderstand des Kondensators C
 t = Pufferdauer
 ΔU = erlaubter Spannungsabfall

7.3 Batteriepakete

Der Zusammenbau von mehrzelligen Batteriepaketen erfordert Übung und Erfahrung. Anwender, die nicht entsprechend ausgebildet sind, sollten nicht versuchen, Batteriepakete zusammenzubauen. Tadiran bietet neben einem breiten Spektrum kundenspezifischer Batterien Unterstützung bei der Entwicklung und Fertigung neuer Batteriepakete an. Bitte fordern Sie den Fragebogen für Batteriepakete an. Zusätzliche Hinweise für die Schutzbeschaltung von Batteriepaketen sind auf seiner Rückseite angegeben. Die nachfolgenden Hinweise richten sich an Kunden, die für die fachmännische Montage von Batteriepaketen ausgerüstet sind.

Schutzelemente

Batteriepakete sind so auszulegen, daß unbeabsichtigter Kurzschluß von Zellen, Überhitzung, unzulässiges Aufladen und zu große Entladeströme vermieden werden. Je nach den Einsatzbedingungen kann es erforderlich sein, Schutzelemente vorzusehen.

Schutz gegen Laden

Batterien, die parallel zu einer unabhängigen Stromversorgung verwendet werden, sind mit Sperrdioden D_s in jedem Strang in Reihe geschalteter Zellen zu versehen (s. **Abb. 7-8**). Der Leckstrom jeder Diode sollte $10 \mu\text{A}$ nicht überschreiten.

Schutz gegen Überentladung

Wenn bei einem Batteriepaket nicht auszuschließen ist, daß der Entladestrom über dem Wert des maximalen Rück-(Lade-)stromes liegt, der in den Datenblättern der einzelnen Zellen angegeben ist, dann sollten Beiparalleldioden D_p parallel zu jeder Zelle vorgesehen werden. Eine Beiparalleldiode bewirkt, daß der Strom durch die Diode fließt statt durch die Batteriezelle, wenn diese entladen ist. Dadurch wird eine Überentladung der Batteriezelle verhindert.

Schutz gegen Kurzschluß

Kurzschlüsse innerhalb eines Batteriepakets sind durch geeignete Maßnahmen auszuschließen. Das Isoliermaterial muß mechanische und thermische Belastung aushalten können. Oft erfüllt der Schrumpfschlauch der Zellen diese Voraussetzung nicht. Dann muß er zwischen benachbarten Zellen verstärkt werden.

Als Schutz gegen Kurzschluß sind die Kabel für die innere Verdrahtung des Batteriepakets entweder für den zu erwartenden maximalen Kurzschlußstrom auszulegen, oder so anzubringen, daß sie z.B. beim Schmelzen der Isolierung keine zusätzlichen Kurzschlüsse verursachen können.

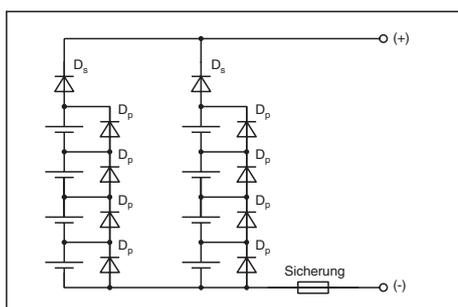


Abbildung 7-8

Typisches mehrzelliges Batteriepaket mit Schutzelementen.

Zusätzlich werden die Sicherheitselemente gemäß UL-Empfehlung benötigt, wenn das Batteriepaket parallel zu einer anderen Stromversorgung betrieben wird.

Tadiran Lithium Batterien können ohne Sicherheitsrisiko kurzgeschlossen werden. Trotzdem kann in Batteriepaketen ab einer bestimmten Größe die bei einem Kurzschluß erzeugte Wärme nicht abgeführt werden. In diesen Fällen ist eine träge Sicherung F oder eine Thermosicherung vorzusehen. Dies sollte geschehen, wenn das Stromprodukt (Anzahl Zellen mal max. Dauerentladestrom) 3000 mA übersteigt.

Auswahl der Zellen

Für ein Batteriepaket sind nur Zellen zu nehmen, die in Type, Größe und Alter übereinstimmen. Zellen verschiedener Systeme oder Hersteller nicht mischen. Kennzeichnung und Typenbezeichnung müssen lesbar sein und mit den Vorgaben übereinstimmen. Zellen sind vor dem Zusammenbau mechanisch und elektrisch zu prüfen. Prüfkriterien können auf Anforderung mitgeteilt werden.

Montage von Batteriepaketen

- Dafür sorgen, daß die Batteriezellen voneinander isoliert sind.
- Elektrische Leitungen, Verbinder und Kontakte so anordnen, daß keine Kurzschlüsse entstehen können.
- Verbindung zwischen Zellen nur durch Löten oder Punktschweißen an den Lötflächen herstellen.
- Lötzeiten so kurz wie möglich halten, unter 10 s .
- Bei den größeren Zellen, besonders C, D und DD, ist die Vorzugsorientierung aufrecht (Pluspol nach oben).
- Nicht versuchen, direkt am Zellgehäuse zu löten oder zu schweißen. Dies führt zu einer gefährlichen Überhitzung. Alle Zellen sind aus diesem Grunde mit geeigneten Anschlußarten erhältlich.
- Verwechslungsfreie Steckverbinder einsetzen oder zumindest die Polarität eindeutig markieren und das Ende der Leitungen isolieren.
- Batteriepaket ausreichend kennzeichnen (Type, Nennspannung, Datum) und die zutreffenden Sicherheitshinweise anbringen.
- Keinen elektrisch leitenden Schmuck tragen, während man Batteriepakete zusammenbaut oder Zellen anschließt.
- Augenschutz tragen während dem Zusammenbau von Batteriepaketen oder dem Anschließen von Zellen.
- Beim Punktschweißen und Löten einen Arbeitsschutz verwenden, z.B. aus durchsichtigem Kunststoff.
- Die Isolierung der Werkzeuge beachten.
- Nicht mehr als nötig Füll- und Isoliermaterial verwenden, um Wärmestau innerhalb des Batteriepakets vorzubeugen.
- Beim Vergießen darauf achten, daß ggf. die Funktion von Sollbruchstellen nicht behindert wird.
- Nur schwer entflammables Material verwenden.
- Die Regeln für Versand und Handhabung einhalten. Bauartprüfung für Schock und Vibration durchführen.

7.4 Lithium-Batterie-Fragebogen

Ein Lithium-Batterie-Fragebogen befindet sich im Produktkatalog. Er enthält die Angaben, die benötigt werden, um dem Kunden den besten Lösungsvorschlag für sein Anwendungsproblem machen zu können. Er ist gleichzeitig die Grundlage für die Berechnung der

verfügbaren Batteriekapazität bzw. der nutzbaren Batterielebensdauer.

7.5 Anwendungsvorschlag und Kapazitätsberechnung

Der Produktkatalog und andere Datenblätter von Tadiran enthalten typische Kapazitätsangaben für unterschiedliche Belastungen und Umgebungsbedingungen. In den meisten Anwendungsfällen sind diese aber nicht während der gesamten Betriebsdauer gleichbleibend. Da die Auswirkung sich ändernder Bedingungen aus den Datenblättern nicht abgeleitet werden kann, wird es in den meisten Fällen erforderlich, die erwartete Batterielebensdauer nach einem Schema wie dem unten angegebenen zu berechnen. Das Ergebnis ist ein Anwendungsvorschlag, der die Grundlage des technischen Angebotes bildet.

- Allgemeine Bedingungen ermitteln

Dazu sollten der Kundenname, das Anwendungsgebiet, die Projektbezeichnung, der Zeitplan usw. in den Lithium-Batterie-Fragebogen eingetragen werden.

- Stromverbrauch berechnen

Das Stromprofil ergibt sich aus dem Grundstrom und den Pulsstrombeiträgen. Diese sind festgelegt durch die Amplitude, Pulsdauer und Pulshäufigkeit.

- Kundenanforderungen berücksichtigen

Die Anforderungen bezüglich Abschaltspannung und Betriebsdauer müssen bekannt sein, da sie das Angebot maßgeblich beeinflussen.

- Batterietype auswählen

Auf der Grundlage der Anforderungen und Betriebsbedingungen wird eine Batterietype ausgewählt.

- Batterielebensdauer berechnen

– Temperaturprofil zusammenstellen

– Durchschnittsstrom bei jeder Temperatur eintragen

– Batteriekapazität zu jeder Temperatur aus dem Diagramm „verfügbare Kapazität“ in den Produktdatenblättern entnehmen.

– Faktor für Verfügbarkeit berechnen um Langzeiteffekte und den Einfluß der Pulsamplitude zu berücksichtigen

– Elektrische Lebensdauer berechnen

– Systemlebensdauer berechnen. Sie berücksichtigt die von der Entladung unabhängigen Vorgänge, z.B. Alterung des Isolationssystems

– Batterielebensdauer ausrechnen. Sie ist im wesentlichen das Minimum aus elektrischer Lebensdauer und Systemlebensdauer.

- Anmerkungen hinzufügen.

Der Anwendungsvorschlag kann zusätzliche Hinweise enthalten. Dabei kann es sich um Depassivierungsschritte, Kondensatorunterstützung und weitere Anmerkungen handeln, je nach den Umständen und Kundenanforderungen

- Gewährleistung

Anwendungsvorschläge werden normalerweise durch eine allgemeine Gewährleistungsangabe abgeschlossen.

7.6 Depassivierung

Anorganische Lithiumbatterien erfordern unter gewissen Umständen eine Depassivierung, wenn sie mit vergleichsweise hohem Strom belastet werden sollen. Dies hängt ab von der Batterietype, den Lagerbedingungen, dem Stromprofil und der erforderlichen Spannung. Ursache dafür ist der Schutzfilm, der in Abschnitt 3.3 beschrieben wurde. Die Auswirkungen auf das Verhalten der Batterie wurden in Abschnitt 2.2 beschrieben.

Es gibt mehrere Depassivierungsmethoden, von denen einige noch nicht einmal unbedingt als solche wahrgenommen werden.

Wenn die Batterie vor dem Einsatz nicht älter als 6 bis 12 Monate alt ist, kann der Temperaturschock und der vorübergehende Kurzschluß in der Lötstelle schon eine ausreichende Depassivierung bewirken.

Eine Methode, die bei manueller Handhabung geringer Mengen von Batterien angewendet werden kann, ist ein Kurzschluß von einigen Sekunden. Bei dieser Methode wird der Schutzfilm augenblicklich aufgebrochen und seine Leitfähigkeit erhöht sich um einige Größenordnungen. Überraschenderweise kann derselbe Effekt durch einen Gefrierschock der Batterie erzielt werden, wobei die Temperaturen nicht außerhalb des spezifizierten Bereichs für die Lagerung fallen sollten.

Eine Depassivierungsmethode, die für große Mengen von Batterien in einer hochautomatisierten Montagelinie von Geräten vorgeschlagen wurde, die mit Batterien der Baugröße D bestückt werden, besteht darin, einen Strom von 60 mA für 30 s über einen Widerstand von 56 Ω fließen zu lassen. Für andere Batteriegrößen kann man den Strom so anpassen, daß er 2 mA/cm² beträgt. Die Methode läßt sich verfeinern, indem man die Höhe des Stromes so regelt, daß die Batteriespannung auf die Hälfte der Leerlaufspannung fällt oder durch eine gepulste Last, oder durch eine Kombination der beiden.

Wenn die Strombelastbarkeit erst einige Wochen oder noch später nach der Batteriemontage benötigt wird, ist oft anzunehmen, daß der Grundstrom die Batterie bis dahin ausreichend depassiviert hat, so daß keine gesonderte Depassivierung angewendet werden muß.

8 Lagerung, Transport, Handhabung und Entsorgung

8.1 Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen

Tadiran Lithium Batterien sind Primärelemente mit hohem Energieinhalt. Sie sind so ausgelegt, daß sie das höchstmögliche Maß an Sicherheit darstellen. Trotzdem können sie bei extremer elektrischer oder mechanischer Fehlbehandlung – nicht anders als andere Batterien auch – möglicherweise gefährlich werden. Eigentlich ist das nur der Fall, wenn auf irgendeine Weise übermäßige Hitze erzeugt wird. Der dadurch erzeugte Innendruck kann das Zellengehäuse zum Bersten bringen.

Aus diesem Grund ist es erforderlich, die nachfolgenden grundlegenden Vorsichtsmaßnahmen zu beachten, wenn man mit Lithiumbatterien umgeht.

Vorsicht

- Nicht kurzschließen
- Nicht aufladen
- Nicht überentladen
- Nicht ins Feuer werfen
- Temperaturangaben beachten
- Batterien nicht beschädigen
- Zellen nicht öffnen, Batteriepakete nicht auseinandernehmen
- Inhalt nicht mit Wasser in Berührung bringen
- Nicht mit falscher Polung anschließen
- Nicht am Batteriegehäuse schweißen oder löten

Das Kapitel 4 enthält allgemeine Sicherheitsüberlegungen. Zusätzliche Vorsichtsmaßnahmen beim Zusammenbau von Batteriepaketen sind in Abschnitt 7.3 angegeben.

8.2 Lagerung

Allgemeine Lagerbedingungen

Batterien sollten im allgemeinen kühl und trocken gelagert werden. Obwohl es nicht nötig ist, Lagerräume mit einer Temperatur- und Feuchteregelung auszustatten, empfiehlt es sich, darauf zu achten, daß die Temperatur 35 °C nicht übersteigt und der Lagerbereich gut belüftet ist.

Lagertemperaturen über 75 °C sind zu vermeiden.

Isolierung

Lithiumbatterien sollten nach Möglichkeit in der Originalverpackung gelagert werden. Dadurch ist unbeabsichtigter Kurzschluß ausgeschlossen.

Batterien dürfen nicht in leitfähigen Antistatikbeuteln oder in leitfähigem Schaum aufbewahrt werden, außer der Widerstand des Materials ist höher als 1 MΩ. Batterien dürfen nicht auf Metall oder anderes leitendes Material gelegt werden oder damit abgedeckt werden.

Feuerschutz

Batterien sollen nicht zusammen mit entflammbarem Material gelagert werden.

Vorzugsweise sind Feuerlöscher für Metallbrand (Klasse D) bereitzuhalten. Nicht versuchen, einen Brand mit zu kleinen Mengen Wasser oder Sand oder mit Kohlendioxid-Löschern zu löschen.

Eine Technische Notiz mit weiteren Empfehlungen ist auf Anforderung erhältlich.

8.3 Transportvorschriften

Lithiumbatterien sind generell gemäß UN 3090 (Lithiumbatterien) und UN 3091 (Lithiumbatterien in Geräten oder mit Geräten verpackt) als Gefahrgut eingestuft. Sie unterliegen daher im allgemeinen Transportvorschriften, abhängig vom Verkehrsträger. Allerdings sind die meisten Tadiran Lithiumbatterien im Produktkatalog nicht als Gefahrgut eingestuft, wenn sie die folgenden Voraussetzungen erfüllen:

- Die Batterien enthalten eine Gesamtmenge von nicht mehr als 2 g Lithium oder Lithiumlegierung.
- Die Batteriezellen enthalten nicht mehr als 1 g Lithium oder Lithiumlegierung.
- Die Batterien haben die UN-Prüfungen bestanden.
- Die Batterien müssen in der Verpackung von einander getrennt werden, so daß keine Kurzschlüsse auftreten können.
- Durch Warnhinweise am Versandstück und in den Versandpapieren ist erkennbar, daß es Lithiumbatterien enthält und daß es bei Beschädigung ausgesondert, überprüft und neu verpackt werden muß.
- Die Bruttomasse darf 30 kg pro Versandstück nicht überschreiten.

Transportvorschriften für Lithiumbatterien, die als Gefahrgut eingestuft sind					
UN-Nr. und Klasse	Grenzwerte und Vorschriften	Passagierflugzeuge IATA DGR	Frachtflugzeuge IATA DGR	Transport Straße/Schiene ADR/RID	Seetransport IMDG Code
Lithiumbatterien					
3090 Klasse 9	Maximales Bruttogewicht je Packstück Verpackungsgruppe Verpackungsvorschrift Kennzeichnung	5 kg II 903 Gefahrzettel	35 kg II 903 Gefahrzettel Aufkleber Nur Frachtflugzeuge	gemäß Zulassung der Verpackung II P 903, P 903a Gefahrzettel	gemäß Zulassung der Verpackung II P 903 Gefahrzettel
Lithiumbatterien in Geräten / mit Geräten verpackt					
3091 Klasse 9	Höchstmenge Lithiumbatterien je Gerät Maximales Bruttogewicht je Packstück Verpackungsgruppe Verpackungsvorschrift Kennzeichnung	5 kg / – – / 5 kg II 912 / 918 Gefahrzettel	5 kg / – – / 35 kg II 912 / 918 Gefahrzettel Aufkleber Nur Frachtflugzeuge	gemäß Zulassung der Verpackung II P 903, P 903a Gefahrzettel	gemäß Zulassung der Verpackung II P 903 Gefahrzettel
	Weitere Vorschriften	Die Batterien müssen in der Verpackung von einander getrennt werden, so dass keine Kurzschlüsse auftreten können. Die Batterien müssen die Prüfungen gemäß dem UN Handbuch Prüfungen und Kriterien, Teil III, Unterabschnitt 38.3 bestanden haben.			

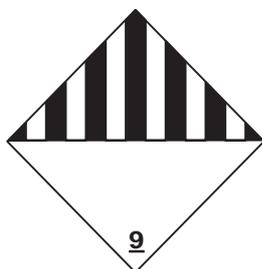
Tabelle

Transportvorschriften für Lithiumbatterien, die als Gefahrgut eingestuft sind: Batterien mit mehr als 2 g Lithium.

Für Einzelheiten ist es erforderlich, die unten aufgeführten Vorschriften und Anleitungen zu Rate zu ziehen. Sie werden in regelmäßigen Abständen überarbeitet. Für die Tabelle wurde der Stand im Jahr 2006 berücksichtigt.

Die anwendbaren Schriften sind:

- ADR: Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße
- IATA DGR: International Air Transport Association, Gefahrgutvorschriften
- ICAO: International Civil Aviation Organization, Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air.
- IMDG Code: Internationaler Code für die Beförderung von gefährlichen Gütern mit Seeschiffen
- RID: Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter
- UN: United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Manual of Tests and Criteria



Gefahrzettel Klasse 9, verkleinert dargestellt, schwarz auf weiß



Aufkleber Nur Frachtflugzeuge, verkleinert dargestellt, schwarz auf orange

8.4 Einbau

Allgemeines

In den meisten Fällen werden Tadiran Lithium Batterien auf die Leiterplatte gelötet. Austauschbare Batterien werden normalerweise mit Steckern und Klettband versehen, um einen schnellen und sicheren Einbau zu gewährleisten. Außerdem gibt es die Möglichkeit, die Batterien mit Schmelzkleber oder mit Plastikbändern an der Leiterplatte zu befestigen. Anschlußdrähte und Lötflächen sind normalerweise nicht als Batteriehalter geeignet, insbesondere bei Zellen der Baugröße C und darüber.

Tadiran Lithium Batterien entsprechen der IEC-Norm 68-2-21 und der ESA Spezifikation PSS-01-708. Das heißt, daß Anschlußdrähte und Lötflächen eine Zugkraft von 10 N in Richtung ihrer Achse aushalten. Anschlußdrähte können mit einem Innenradius von 0,8 mm gebogen werden, Mindestabstand 2,5 mm. Wenn das nicht ausreicht, gibt es alternative Anordnungen (**Abb. 8-3**).

Wenn eine Batterie auf der Leiterplatte montiert wird, darf sie nicht die leitfähige Abschirmung gegen statische Aufladung berühren, da das einen Entladestrom hervorrufen und zur vorzeitigen Entladung führen kann.

Handlöten

Wenn Batterien eingelötet werden sollen, sind die Ausführungen mit Lötflächen oder Anschlußdrähten zu verwenden.

Vorsicht

- Nicht versuchen, direkt am Gehäuse oder am Pol zu löten.
- Lötzeit so kurz wie möglich halten, unter 10 Sekunden.
- Beim Vorverzinnen geeigneten Schutz verwenden. Batterien dürfen nicht ins Zinnbad fallen.

Lötwellen

Die Tadiran Lithium Batterie ist ein sicheres Element. Sie hat einen mäßig hohen Innenwiderstand und kann bei Temperaturen bis 75 °C einen dauernden Kurzschluß ohne Sicherheitsrisiko überstehen. Die Batterie explodiert dadurch nicht und wird nicht leck. Sie ist daher grundsätzlich für die Lötwellen geeignet. Allerdings sind die nachfolgenden Empfehlungen zu beachten:

Flachzellen von Tadiran haben Nickeldrähte und können in der Lötwellen verwendet werden.

Zellen der Bobbin-Bauweise von Tadiran sind mit axialen Anschlußdrähten oder mit Nickel-Lötflächen erhältlich. Die kleinen Zellen können in der Lötwellen verwendet werden. Die großen Zellen sollten aus Sicherheitsgründen von Hand eingelötet werden.

Wenn eine Batterie ins Lötbad fällt oder lange über dem Lötbad verweilt, kann sie aufgrund der Überhitzung bersten.

Vorsicht

- Batterie auf der Leiterplatte befestigen, bevor sie die Lötwellen passiert (gilt auch für das Vorwärmen und Trocknen)
- Nicht überhitzen. Empfehlungen s. **Tabelle 8-4**
- Lötzone mit einer Sicherheitsabdeckung versehen
- Nicht mit dem Reflow-Verfahren löten

Bei den Reinigungsverfahren gibt es keine Standardisierung. Deshalb muß die Verträglichkeit von Fall zu Fall ermittelt werden. Wasser sollte sich nicht unter der Umhüllung fangen. Organische Lösungsmittel können einen Einfluß auf die Lesbarkeit der Kennzeichnung haben oder auf den Weichmacher der Umhüllung. Bitte wenden Sie sich an Tadiran, wenn sie eine Empfehlung über erprobte Verfahren wünschen.

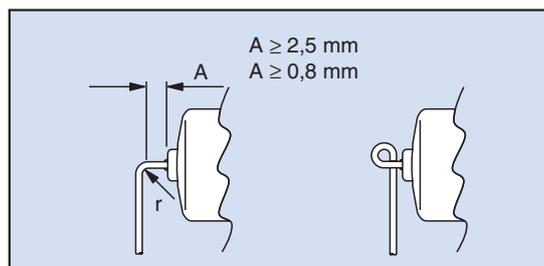


Abbildung 8-3

Kleinste Biegegröße für Drahtanschlüsse, alternative Anordnung.

Vorgang	Temperatur	Dauer
Vorwärmen (Welle)	bis zu 140 °C	bis zu 180 s
Welle	bis zu 280 °C	bis zu 10 s
Reinigen	bis zu 85 °C	
Trocknen	bis zu 100 °C	bis zu 120 s

Tabelle 8-4

Empfehlungen für das Schwallbadlöten.

8.5 Entsorgung

Die Entsorgung bzw. Wiederverwertung von Batterien wird von den Ländern in Europa geregelt. Für die vorchriftsmäßige Entsorgung sind die Hersteller, Importeure und Nutzer von Batterien in jedem Land verantwortlich.

Für die Europäische Union gelten die Richtlinien 91/157/EWG und 93/86/EWG. Die Umsetzung dieser Richtlinien ist Sache der EU-Mitgliedsländer und wird unterschiedlich gehandhabt.

Nach diesen Richtlinien gelten Lithiumbatterien nicht als schadstoffhaltig. Die Reaktionsprodukte sind anorganisch und nicht umweltschädlich, nachdem der Zersetzungsprozeß zum Stillstand gekommen ist.

Für Batterien, die über Tadiran bezogen wurden, wird auf Anfrage ein Entsorgungsdienst angeboten.

Eine Technische Notiz mit weiteren Empfehlungen ist auf Anforderung erhältlich.

9 Begriffe

Tadiran Batteries
Technische Broschüre

In diesem Glossar sollen bestimmte technische Bezeichnungen und ihre Verwendung in dieser Broschüre erläutert werden. Die Begriffsbestimmungen stimmen nicht notwendigerweise mit Bezeichnungen überein, die in einem anderen Zusammenhang genormt sind.

Abschaltspannung

Die Mindestspannung, ab der eine Batterie für eine bestimmte Anwendung als nicht mehr verwendbar betrachtet wird. Andere Bezeichnungen: Endspannung, Entladeschlußspannung.

Aktive Masse

Die Masse innerhalb der Elektroden, die an den elektrochemischen Reaktionen von Ladung und Entladung teilnimmt.

Aktivstrom

Entladestrom von ca. $2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ Anodenoberfläche. Dieses Stromniveau reicht aus, um eine Passivierung der Batterie unter den meisten Umständen zu verhindern.

Anode

Die Elektrode in einer elektrochemischen Zelle, an der die Oxidation stattfindet. In Primärbatterien ist es immer die negative Elektrode. In Lithiumbatterien ist die aktive Masse der Anode aus Lithium.

Anodenoberfläche

Die Anodenoberfläche ist ein Hinweis auf die Strombelastbarkeit und Konstruktionsweise einer Batterie.

Batterie

Eine elektrochemische Energiequelle, die aus einer oder mehreren Zellen besteht. Die Zellen können in einer Reihen- und/oder Parallelschaltung verbunden sein. → Batteriepaket.

Batteriepaket

Eine Anordnung von elektrochemischen Zellen, die in geeigneter Weise in Reihe oder parallel miteinander verbunden sind, um das gewünschte Spannungs- und Stromniveau zu erreichen. Ein Batteriepaket hat meistens zusätzlich eine Ummantelung und Kabel bzw. auch Stecker. In dieser Broschüre wird die Bezeichnung „Batterie“ auch für Batteriepakete verwendet, außer wenn eine einzelne Zelle ohne Kabel und Stecker ausdrücklich ausgeschlossen werden soll.

Betriebsspannung

Durchschnittsspannung während der Entladung bei festgelegter Last und Temperatur über die gesamte Entladedauer bis zur Entladeschlußspannung.

Bobbin-Bauweise

Bei dieser Bauweise wird eine zylinderförmige Elektrode (normalerweise die positive) aus einem leitfähigen Material wie z.B. Ruß, sowie einem Binder hergestellt. Je nach elektrochemischem System sind die aktive Masse und/oder der Elektrolyt darin enthalten. In der Mitte ist ein Stromableiter angeordnet.

Depassivierung

Ein Vorgang, der die Batterie für den Betrieb vorbereitet, wenn sonst anfängliche → Passivierung einen Abfall der Spannung unter die Abschaltspannung verursachen würde.

Diffusion

Bewegung eines Stoffes unter dem Einfluß eines Konzentrationsunterschiedes.

Elektrode

Ort oder Fläche, an der elektrochemische Prozesse stattfinden. Anode oder Kathode.

Elektrolyt

Der Teil einer Zelle, der den Ionentransport zwischen positiver und negativer Elektrode bewirkt.

Endspannung

→ Abschaltspannung

Energie

Die Energie einer Batterie ergibt sich als das Produkt von Kapazität und Betriebsspannung. Sie wird in Wattstunden (Wh) gemessen.

Energie, spezifische

Verhältnis zwischen der Energie, die aus einer Batterie entnommen werden kann, und ihrem Gewicht (Wh/kg).

Energiedichte

Verhältnis zwischen der Energie, die aus einer Batterie entnommen werden kann, und ihrem Volumen (Wh/dm³).

Entladeschlußspannung

→ Abschaltspannung

Entladetiefe

Verhältnis zwischen der Kapazität, die zum Zeitpunkt t von einer Batterie abgegeben wurde zur insgesamt unter festgelegten Entladebedingungen verfügbaren Kapazität. (Abb. 2-10)

Entladung

Die Umwandlung der chemischen Energie einer Batterie in elektrische Energie sowie Entnahme der elektrischen Energie über einen Verbraucher.

Flachbauweise

Zellenbauweise, bei der die Elektroden in Schichten angeordnet sind.

Flüssigkathode

Thionylchlorid ist ein Beispiel für eine Flüssigkathode. → Katholyt.

Innenwiderstand

Der Innenwiderstand wird definiert als Quotient von Spannungsabfall und Stromänderung: $R_i = \Delta U / \Delta I$. Der Wert ändert sich im Laufe der Entladung. Siehe Abb. 2.13.

Kapazität

Die gesamte Elektrizitätsmenge in Amperestunden (Ah) die aus einer voll geladenen Batterie unter festgelegten Entladebedingungen entnommen werden kann. → Verfügbare Kapazität, Nennkapazität

Kathode

Die Elektrode in einer elektrochemischen Zelle, an der die Reduktion stattfindet. In Primärbatterien ist es immer die positive Elektrode.

Katholyt

Kunstwort für die aktive Masse der Kathode in Flüssigkathodensystemen. Es soll darauf hinweisen, daß in diesem Fall die Kathode im Elektrolyt enthalten ist.

Kurzschlußstrom

Der Anfangswert des Stromes, den eine Batterie abgibt, wenn sie an einen Kreis mit vernachlässigbarem Widerstand gelegt wird. Im weiteren Sinne ist es der zeitliche Verlauf des Batteriestromes während des Kurzschlusses.

Lagerfähigkeit

Die Zeitdauer der Lagerung unter festgelegten Bedingungen, an deren Ende die Batterie noch die Fähigkeit hat, festgelegte Anforderungen zu erfüllen.

Lebensdauer

Die Dauer des nutzbaren Einsatzes einer Primär-

- batterie, bevor die festgelegte Abschaltspannung erreicht wird.
- Leerlaufspannung**
Der Potentialunterschied zwischen den Batteriepolen bzw. Batteriespannung bei geöffnetem Stromkreis (unbelastet). →OCV.
- Max. Dauerentladestrom**
Der höchste Strom, bei dem die Batterie noch mehr als ca. 15% ihrer Nennkapazität abgibt. Der Wert soll einen Hinweis auf mögliche Einsatzgebiete geben.
- Maximaler Pulsstrom**
Ein Hinweis auf die Pulsstrombelastbarkeit. Die Werte im Tadiran Produktkatalog ergeben sich bei 6 Pulsen pro Stunde von je 0,5 s Dauer und einem Strom von 10 mA/cm².
- Mittelpunktspannung**
Die Spannung der Batterie nach der Hälfte der Entladung bis zur Abschaltspannung.
- Nennkapazität**
Mittlere Kapazität einer Batterietype, die sich unter günstigen Bedingungen (Last, Umgebungstemperatur) erzielen läßt. In den Diagrammen „Verfügbare Kapazität“ im Tadiran Produktkatalog wird der Bezug zu den tatsächlich zu erwartenden Kapazitätswerten dadurch hergestellt, daß die Nennkapazität durch einen Punkt markiert ist.
- Nennspannung**
Die Nennspannung charakterisiert das elektrochemische System. Sie stellt sich bei Entladung mit kleinem Strom ein.
- OCV (Open Circuit Voltage)**
→Leerlaufspannung
- Parallelschaltung**
Anordnung eines Batteriepakets, bei der die Pole gleicher Polarität miteinander verbunden werden. Kapazität und Strombelastbarkeit vervielfachen sich, Spannung unverändert. →Reihenschaltung
- Passivierung**
Vorgang oder Zustand, bei dem ein Metall, obgleich thermodynamisch nicht im Gleichgewicht, durch Bildung einer Schicht auf der Oberfläche geschützt wird.
- Primärbatterie**
Nicht wiederaufladbare Batterie. →Sekundärbatterie
- PTC-Element (positive temperature coefficient)**
Gleichwertig mit einer rückstellbaren Sicherung, die in Reihe zu einem Batteriepaket geschaltet wird. Sein Widerstand steigt bei einem bestimmten Strom bzw. einer bestimmten Temperatur plötzlich steil an.
- Reihenschaltung**
Anordnung eines Batteriepakets, bei der der positive Pol einer Zelle mit dem negativen Pol der nächsten Zelle verbunden wird und so fort. Kapazität und Strom unverändert, Spannung vervielfacht sich. → Parallelschaltung.
- Sekundärbatterie**
Wiederaufladbare Batterie. →Primärbatterie
- Selbstentladung**
Verlust an nutzbarer Energie bei Lagerung oder während der Entladung, verursacht durch interne chemische Reaktionen.
- Separator**
Material, das ionendurchlässig aber nicht elektronisch leitfähig ist und zwischen Anode und Kathode eingesetzt wird. Verhindert elektronischen Kontakt zwischen den Elektroden.
- Sollbruchstelle (safety vent)**
Vorrichtung, die gegebenenfalls eine kontrollierte Druckentlastung einer Zelle ermöglicht. Dabei tritt Gas aus.
- Spannungssack**
Vorübergehender Spannungsabfall, wenn eine Batterie an einen Verbraucher gelegt wird. →TMV
- Spezifische Energie**
→Energie, spezifische
- Strom**
Der Entladestrom einer Batterie, gemessen in Ampere (A). Für Tadiran Lithium Batterien werden hier die folgenden Strombereiche verwendet:
- Kleiner Strom*
Entladedauer über 2000 Stunden
- Mittlerer Strom*
Entladedauer von 20 bis 2000 Stunden
- Hoher Strom*
Entladedauer unter 20 Stunden
- Stromdichte**
Der Strom bezogen auf die Elektrodenoberfläche.
- Stromkollektor**
Chemisch nicht reagierendes, leitfähiges Bauteil. Wird verwendet um den Strom von oder zu einer Elektrode zu leiten.
- Tastverhältnis**
Mit Bezug auf periodische Strompulse bezeichnet der Begriff das Verhältnis zwischen Ein- und Auszeit.
- TMV (Transient Minimum Voltage)**
Spannungsminimum im →Spannungssack
- Überentladung**
Entladen einer Zelle oder Batterie mithilfe einer anderen Batterie oder Stromquelle unter null Volt bis zur Spannungsumkehr.
- Verfügbare Kapazität**
Die gesamte Kapazität, die aus einer Batterie bei festgelegtem Strom und sonstigen Bedingungen entnommen werden kann. Im Tadiran Produktkatalog geben die Schaubilder der verfügbaren Kapazität bei verschiedenen Strömen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur einen Hinweis auf den Vertrauensbereich der zu erwartenden Kapazität.
- Wickelbauweise**
Bezieht sich auf die Elektrodenanordnung in einer zylindrischen Zelle. Wird durch Wickeln der Elektroden und des Separators ähnlich einer Biskuitrolle hergestellt. Im Gegensatz zur →Bobbin-Bauweise.
- Wirkungsgrad der Entladung**
Anteil der Nennkapazität, der bei einem bestimmten Entladevorgang abgegeben wird.
- Zelle**
Die elektrochemische Grundeinheit zur Erzeugung oder Speicherung elektrischer Energie. In dieser Broschüre wird der Begriff „Zelle“ nur verwendet, wenn diese Grundeinheit hervorgehoben werden soll. Andernfalls wird der Begriff „Batterie“ verwendet.

Inhaltsverzeichnis

Tadiran Batteries
Technische Broschüre

Abschnitt	Überschrift	Seite
1	Einleitung	2
1.1	Tadiran Batteries GmbH	2
1.2	Die Tadiran Lithium Batterie	2
1.3	Vergleich mit anderen Systemen	2
1.4	Kundennutzen	3
1.5	Anwendungen	3
2	Eigenschaften	4
2.1	Allgemeines	4
2.2	Spannungslage	4
2.3	Entladestrom und Kapazität	6
2.4	Strompulse	6
2.5	Lagerfähigkeit und Betriebsdauer	7
2.6	Gebrauchslage	8
2.7	Temperaturabhängigkeit	8
2.8	Umgebungsbedingungen	9
2.9	Innenwiderstand	9
2.10	Die Merkmale der verschiedenen Baureihen	10
3	Bauweise	10
3.1	Bestandteile und Werkstoffe	10
3.2	Mechanische Bauweise	10
3.3	Chemische Reaktion und Schutzfilm	12
4	Sicherheit	14
4.1	Allgemeines	14
4.2	Bestimmungsgemäßer Gebrauch	14
4.3	Vernünftigerweise vorsehbarer Fehlgebrauch	15
4.4	Sicherheitshinweise	16
5	Einhaltung von Normen	17
5.1	Underwriters Laboratories (UL)	17
5.2	Explosionsgefährdete Bereiche	18
5.3	Militärnormen	18
6	Qualität und Zuverlässigkeit	19
6.1	Unternehmenspolitik	19
6.2	Zertifiziertes Management-System	19
6.3	Prüfmittel und Kalibrierung	19
6.4	Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit	21
6.5	Fertigungsablauf und Prüfplan	21
6.6	Zuverlässigkeit	21
7	Schaltungsbeispiele und Hinweise zum Gebrauch	22
7.1	Pufferschaltungen	22
7.2	Kondensatorunterstützung	23
7.3	Batteriepakete	24
7.4	Lithium-Batterie-Fragebogen	24
7.5	Anwendungsvorschlag und Kapazitätsberechnung	25
7.6	Depassivierung	25
8	Lagerung, Transport, Handhabung und Entsorgung	26
8.1	Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen	26
8.2	Lagerung	26
8.3	Transportvorschriften	26
8.4	Einbau	28
8.5	Entsorgung	28
9	Begriffe	29



Tadiran Batteries GmbH
Industriestr. 22, D-63654 Büdingen
Tel.: +49 (0)6042/954-0, Fax: -190
E-Mail: info@tadiranbatteries.de
Internet: www.tadiranbatteries.de

Ihr Händler: