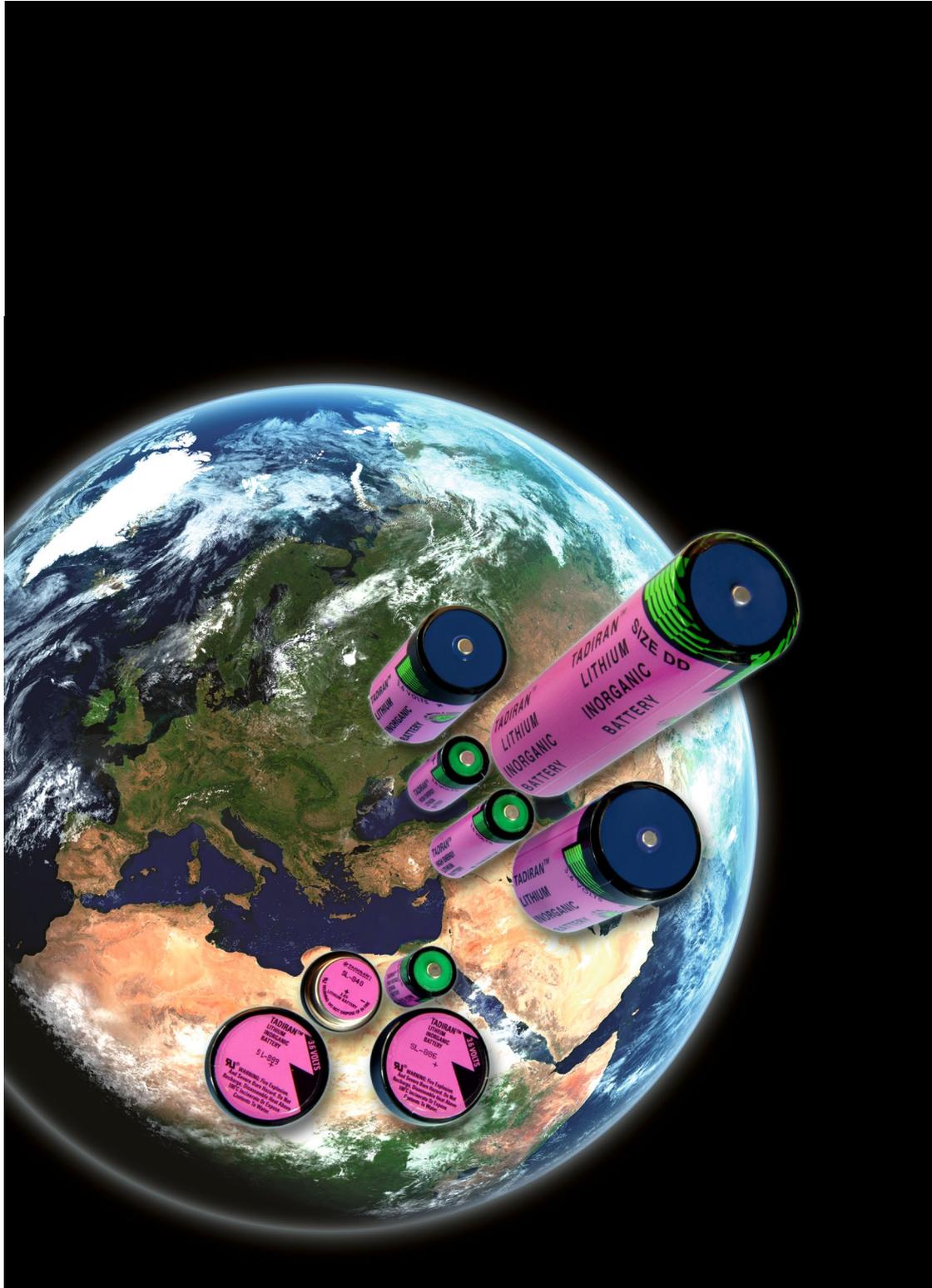
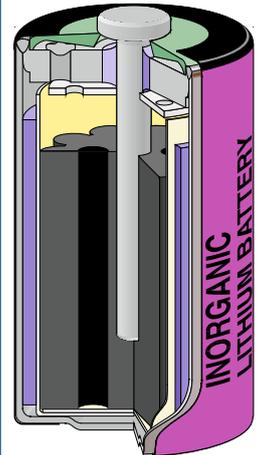


# Tadiran Lithiumbatterien



Technische  
Broschüre  
LTC-Batterien



# 1 Einleitung

Tadiran Batteries  
Technische Broschüre

## 1.1 Tadiran Batteries GmbH

Die Tadiran Batteries GmbH ist führender Hersteller von nicht wiederaufladbaren Lithiumbatterien in Europa.

Die Firma wurde 1984 als Joint Venture zwischen Tadiran und Sonnenschein gegründet und bedient, zunächst unter dem Namen Sonnenschein Lithium und seit 2006 als Tadiran Batteries, den Markt seit über 35 Jahren sehr erfolgreich. 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 zur Saft Group, die Teil der Total Group ist.

Das Hauptziel der Firma ist es, ein Höchstmaß an Kundenzufriedenheit zu erreichen. Daher ist es Richtlinie, der Beste in der Anwendungsberatung, der umfassenden technischen Unterstützung und der Logistik zu sein. Die Firma ist der World-Class-Philosophie verpflichtet. Das Management-System ist nach ISO 9001 und – seit 1999 – nach ISO 14001 zertifiziert.

Die Tadiran Batteries GmbH beschäftigt etwa 120 Mitarbeiter und hat ihren Produktionsstandort in Büdingen. Die Firma ist führend bei der Entwicklung von Lithiumbatterien für den industriellen Einsatz. Ihre Lithium-Thionylchlorid-(LTC)-Technologie ist seit mehr als 35 Jahren erfolgreich eingeführt.

Tadiran LTC-Batterien eignen sich immer dort, wo eine 3,6-Volt-Primärbatterie mit hohem Energieinhalt für bis zu 25 und in speziellen Fällen mehr Jahre netzunabhängigen Betrieb benötigt wird.

Das **PulsesPlus™**-System, das hohe Strompulse in Verbindung mit einem hohen Energieinhalt liefert, spielt insbesondere für Kommunikationsmodule mit hoher Reichweite (z. B. GSM) eine wichtige Rolle.

Das TLM-System wurde für Anwendungen entwickelt, die eine Entladung mit hoher elektrischer Leistung nach einer langen Lagerdauer erfordern, wie das z. B. bei Zusatzbatterien für Notrufgeräte in automobilen Telematiksystemen der Fall ist.

Die WIEDERAUFLADBARE TLI-Serie wurde eigens für Langzeitanwendungen unter extremen Bedingungen entwickelt und stellt einen wichtigen Technologie-Durchbruch bei Lithium-Ionen-Batterien dar.

## 1.2 Die Tadiran Lithiumbatterie

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

Die Tadiran Lithiumbatterie ist eine Energiequelle, die auf die Anforderungen von modernen elektronischen Geräten zugeschnitten ist. So brauchen zum Beispiel CMOS-Speicher, Verbrauchszähler und das Internet der Dinge (IoT) möglichst leichte und sichere Energiequellen mit langfristiger und zuverlässiger Leistung über einen weiten Bereich von Umgebungsbedingungen.

Die Tadiran Lithiumbatterie trägt die Aufschrift „High Energy Lithium Battery“ oder „Inorganic Lithium Battery“ – 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  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$  eingesetzt werden. Eine der Baureihen besitzt einen erweiterten Temperaturbereich bis  $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Weitere Einzelheiten siehe Abschnitt 2.10.

### Hohe Energiedichte

Batterien mit dem elektrochemischen System Lithium-Thionylchlorid weisen die höchste Energiedichte aller erhältlichen Primärbatterien auf: bis zu  $650\text{ Wh/kg}$  und  $1.280\text{ Wh/dm}^3$ .

### Lange Lagerfähigkeit und Zuverlässigkeit

Die Tadiran Lithiumbatterie verfügt über eine ausgezeichnete Lagerfähigkeit und Zuverlässigkeit. Tests haben gezeigt, dass eine zehnjährige Lagerung bei Raumtemperatur einen Kapazitätsverlust von weniger als 1 % pro Jahr zur Folge hat. Bei der Verwendung als Pufferbatterie wurden Ausfallraten von unter 200 fit festgestellt (fit: failures in time; 1 fit = 1 Ausfall in  $10^9$  Bauteil-Stunden).

### Sicherheit

Die Bauweise der Tadiran Lithiumbatterie hat sich in mehr als 35 Jahren Markterfahrung und bei mehreren 100 Millionen Batterien im Feld als sicher erwiesen. Es wurden keinerlei Unfälle gemeldet. Die gesamte Produktlinie ist bei den Underwriters Laboratories zugelassen und wird ständig von ihnen überwacht.

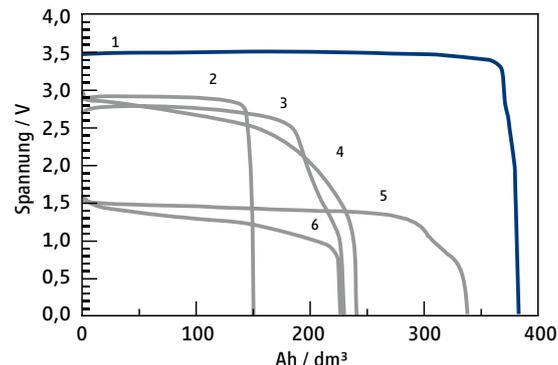
### Hermetisch dichtes Gehäuse

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

### Abbildung 1-1

Vergleich verschiedener Batteriesysteme. Die Kurven stellen die typischen Bestwerte handelsüblicher Rundzellen dar (Entladebedingung:  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  bei 1.000-stündigem Strom). Die Fläche unter den Kurven entspricht der in der Legende unten angegebenen Energiedichte. Die Legende enthält auch einen Hinweis auf die Verschlussmethode.

1	Li/SOCl <sub>2</sub>	1.280 Wh/dm <sup>3</sup>	hermetisch verschweißt
2	Li/SO <sub>2</sub>	430 Wh/dm <sup>3</sup>	hermetisch verschweißt
3	Li/CF <sub>n</sub>	550 Wh/dm <sup>3</sup>	gebördelte Elastomerdichtung
4	Li/MnO <sub>2</sub>	580 Wh/dm <sup>3</sup>	gebördelt oder hermetisch verschweißt
5	Li/FeS <sub>2</sub>	450 Wh/dm <sup>3</sup>	gebördelte Elastomerdichtung
6	Alkali/Mangan	280 Wh/dm <sup>3</sup>	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 Lithiumbatteriesysteme und Alkali-Mangan-Batterien. Die Fläche unter jeder Entladekurve entspricht der Energiedichte des jeweiligen Batteriesystems und gibt daher 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 unter wechselnden Umgebungseinflüssen über lange Zeit zu gewährleisten, ist eine zuverlässige Verschlussmethode unabdingbar. Die Erläuterungen bei Abbildung 1-1 geben 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 35 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
- Zur Problemlösung stehen kurzfristig hochqualifizierte Fachleute bereit
- auf den Kunden zugeschnittene Anfertigung von ein- und mehrzelligen Batterien entsprechend den jeweiligen Anforderungen
- Die Lieferfähigkeit ist durch vertragliche Absicherung und das Second-Source-Prinzip gewährleistet.

Voraussetzung für den erfolgreichen Batterieeinsatz 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 eine derartige 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 anzufragen.

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

#### Verbrauchsmessung

Elektrizitätszähler; Gaszähler; Wasserzähler; Wärmezähler; Heizkostenverteiler; automatische Fernablesung; Vorkassenzähler

#### Ortung und Verfolgung

elektronische Mauterhebung; Datenlogger; Mautgeräte; LKWs; Container; Anhänger; Tiere; Personen

#### Kfz-Systeme

Reifendruckkontrolle; Motorsteuerung; Bremsensteuerung; Bordrechner; digitale Fahrtenschreiber; Gurtstraffer; eCall-Systeme

#### Alarm- und Sicherheitssysteme

Funkalarmanlagen; PIR; Melder/Detektoren; elektronische Safes; Verschlüsselungssysteme

#### Industrieautomation

Regler; Fehlermelder; Prozesssteuerungen; Industrie-PCs

#### Büroautomation

Verkaufsort-Endgeräte; Geldautomaten; Telefonsysteme; Telefonzentralen

#### Geräte

elektronische Waagen; Verkaufsautomaten; Spielautomaten; Taxameter; Volumenstromüberwachung

#### Medizinische Geräte

Dosierung; implantierbare Geräte; Infusionspumpen; AEDs; chirurgische Geräte

#### Meerestechnik

Funkfeuer; Bojen; Ölbohrung/-messung; Rettungswestenbeleuchtung

#### Militär

Zünder; Minen; Zielgeräte; Nachtsichtgeräte; Gasmasken

#### Gehobener Konsum

Set-Top-Boxen; Sportelektronik; Tauchcomputer

# 2 Eigenschaften

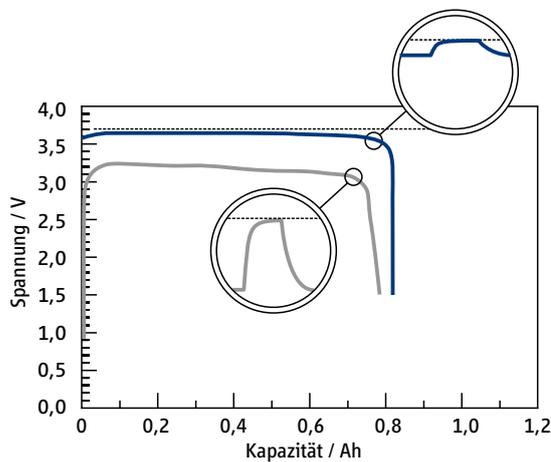
## 2.1 Allgemeines

Diese Broschüre behandelt Tadiran Lithiumbatterien. Sie basieren auf dem 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. Ihre Charakteristik wird in den folgenden Stichwörtern zusammengefasst.

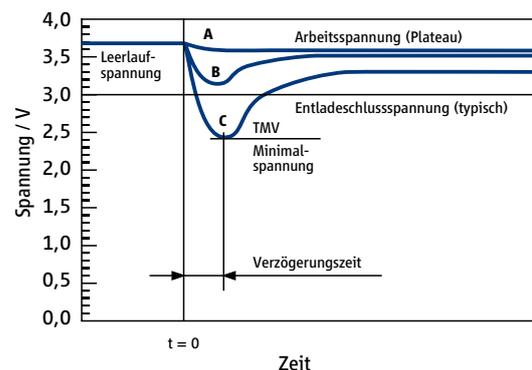
Baureihe	Stichwort
SL-300	normaler Einsatz und Pufferbetrieb
SL-500	erweiterter Temperaturbereich
SL-700/2700	iXtra für dauerhaft hohe Leistungsfähigkeit
SL-800/2800	XOL für ausgedehnte Betriebsdauer

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 Gewährleistungsfristen zu verstehen sind.



**Abbildung 2-1**  
Entladekurven von Zellen der Größe  $\frac{1}{2}$ AA, Typ SL-350, bei +25 °C  
graue Kurve: 180  $\Omega$  (30 Stunden)  
blaue Kurve: 180 k $\Omega$  (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 **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 (siehe 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 wird als Minimalspannung oder TMV (transient minimum voltage) bezeichnet.

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. Diesem Vorgang sind jedoch in einer gegebenen Anwendung Grenzen gesetzt. Als Daumenregel kontrolliert 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

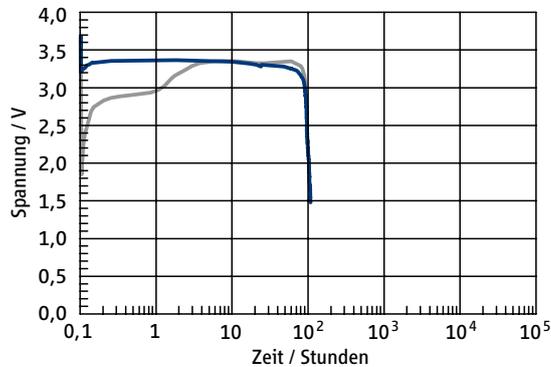
Im Allgemeinen gilt das Gesagte für Lithium-Thionylchlorid-Batterien aller vier Baureihen. Die Baureihe SL-700 zeigt jedoch nach Lagerung und bei geringem Durchschnittsstrom ein verbessertes Startverhalten, das sich in günstigeren TMV-Werten und einer kürzeren Verzögerungszeit äußert. Das liegt daran, dass der Schutzfilm auf der Lithiumoberfläche offener 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 einem Wert von 3 Volt.

Dieser Vorteil der Baureihe SL-700 bleibt nur einige Jahre lang erhalten. Er wird durch Lagerung bei höherem Temperaturniveau und durch kontinuierlichen Betrieb mit kleinem Strom beeinträchtigt.

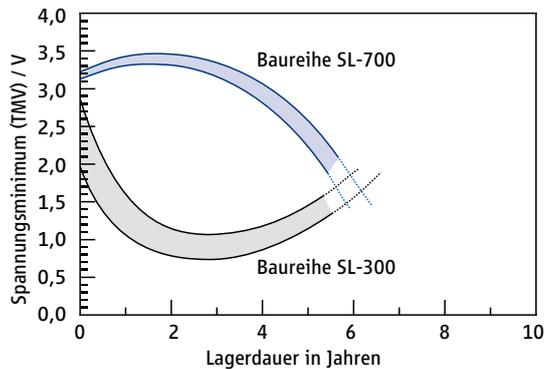
**Abbildung 2-4** zeigt an einem Beispiel die Entwicklung der TMV als Funktion der Lagerdauer. Die Kurven wurden mit 1/2AA-Zellen der Baureihen SL-300 und SL-700 gemessen.

### Batterie-Ausfallanzeige

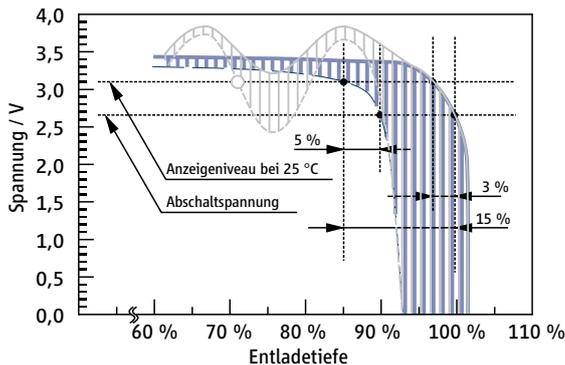
Bei kontinuierlicher Langzeitentladung steigt der Innenwiderstand der Batterien gegen Ende der Lebensdauer an. Dadurch nimmt die Lastspannung, zumal bei Strompulsen, allmählich ab. Das kann man für eine Batterie-Ausfallanzeige ausnutzen. Typischerweise beträgt die Vorwarnzeit 3 % der Betriebsdauer. Die 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 (**Abbildung 2-5**). Tadiran Batteries bietet technische Unterstützung für die Auslegung einer wirkungsvollen Batterie-Ausfallanzeige für den jeweiligen Einzelfall an.



**Abbildung 2-3**  
Entladung von 1/2AA-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 100-stündigem Strom (2 mA/cm<sup>2</sup>)  
Die Daten wurden mit der 1/2AA-Größe bei 330 Ω ermittelt.



**Abbildung 2-5**

Prinzip einer Batterie-Ausfallerkennung

durchgezogene blaue Kurve:

Entladung an kontinuierlicher Last bei +25 °C. Die Batterie-Ausfallerkennung 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 bzw. auf 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-Ausfallerkennung 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.

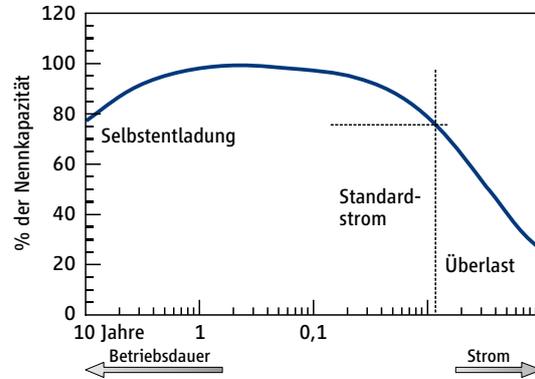
Bei kleineren Strömen kommt aufgrund der längeren Entladedauer die Selbstentladung hinzu und die verfügbare Kapazität wird entsprechend geringer.

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 heraus, 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

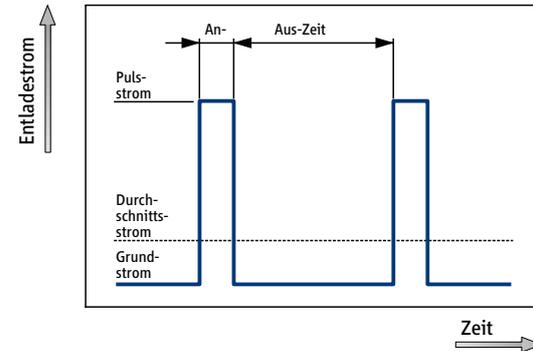
Das Entladeszenario besteht bei der Pulsentladung typischerweise aus einem kleinen, kontinuierlichen Grundstrom mit periodischen oder zufälligen kurzen Pulsen auf höherem Stromniveau. Im Allgemeinen reicht das Tastverhältnis, also das Verhältnis zwischen An- und Auszeit von 1:10 bis 1:10.000 (**Abbildung 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

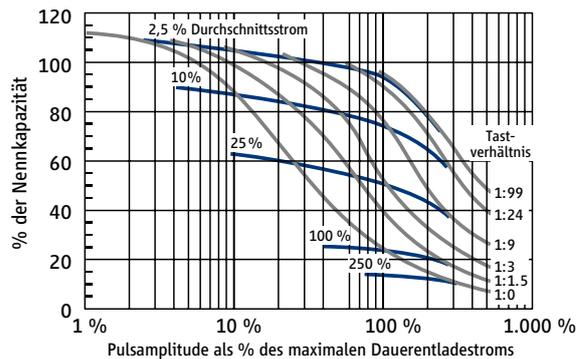
Der Verlust durch Selbstentladung ist bei längerer Lebenserwartung höher. Übersteigt der Strom den Standardstrom, bei dem 76 % der Sättigungskapazität gefunden werden, so ist die Batterie überlastet.



**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 maximalen Dauerentladestroms

Die Daten wurden mit SL-2780-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 Langzeitentladung, die Extrapolationsmethode und die Mikrokalorimeter-Methode.

### Tatsächliche Entladung

Die tatsächliche Langzeitentladung ist die genaueste und zuverlässigste Methode, auch wenn sie sehr zeitaufwändig ist. Bei Tadiran wurde eine umfangreiche Datenbasis zusammengestellt, die für einen Bereich von Umgebungsbedingungen und Lebensdaueranforderungen, der die Hauptanforderungsgebiete abdeckt, eine Voraussage der zu erwartenden Lagerfähigkeit und Betriebsdauer zulässt. **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 Langzeitentladung 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 **Extrapolationsmethode** 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 dabei 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 Extrapolationsmethode.

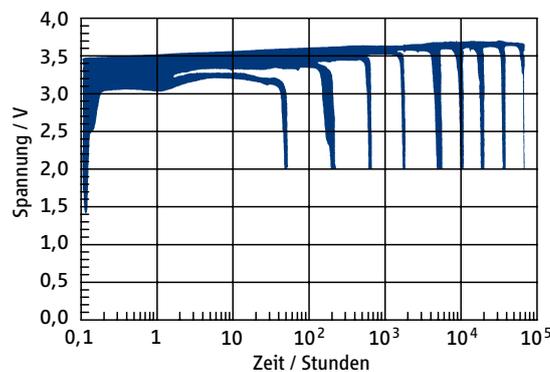
Bei der **Mikrokalorimeter-Methode** wird die Wärmeabgabe von Batterien bestimmt, die gelagert oder belastet werden. Daraus wird der Energieverlust pro Zeiteinheit ermittelt, um so zu einer Aussage über die Selbstentladung zu kommen. Diese Methode ist ziemlich kostenaufwändig und verlangt einige Vorkenntnisse.

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 ab. Es sei hier angemerkt, dass die Ergebnisse aus der tatsächlichen Langzeitentladung 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.

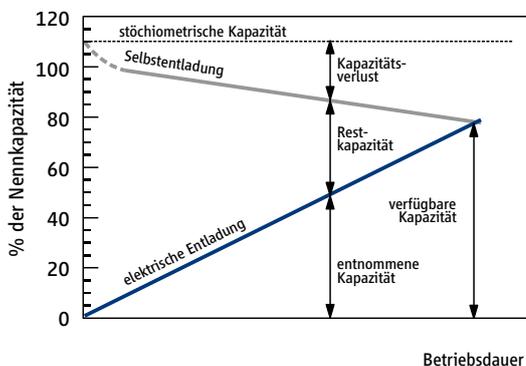
### Ergebnisse

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



**Abbildung 2-9**  
Datenbank für die Entladung von  $\frac{1}{2}$ AA-Zellen des Typs SL-350 bei +25 °C

Das Diagramm enthält insgesamt 85 Entladekurven bei konstanter Last zwischen 180  $\Omega$  (links) und 390 k $\Omega$  (rechts). Die Widerstandslasten betragen 180  $\Omega$ ; 560  $\Omega$ ; 1,8 k $\Omega$ ; 5,6 k $\Omega$ ; 18 k $\Omega$ ; 39 k $\Omega$ ; 82 k $\Omega$ ; 180 k $\Omega$  und 390 k $\Omega$ . 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 den Systemeigenschaften hängt die verfügbare Kapazität in gewissem Grad 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 Nennstroms 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) praktisch unabhängig von der Gebrauchslage.
- Bei hohem Strom ist die verfügbare Kapazität der großen Zellen (C, D, DD) geringer, wenn sie überkopf entladen werden. Diese Gebrauchslage sollte daher wenn möglich vermieden werden.
- Mit der Einführung der Version iXtra hat sich das Verhalten hinsichtlich der Orientierungsabhängigkeit noch verbessert.
- 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 Lithiumbatterien von  $-40\text{ °C}$  bis  $+85\text{ °C}$ . Beim Überschreiten dieses Temperaturbereiches nach oben kann es zu einer leichten Ausbeulung kommen; ein typischer Wert ist 1 mm Ausdehnung in Längsrichtung bei  $100\text{ °C}$ . Die Baureihe SL-500 ist so ausgelegt, dass sie Temperaturen bis  $+130\text{ °C}$  aushält. Bei den tiefen Temperaturen ist eine Ausdehnung des Temperaturbereiches bis  $-55\text{ °C}$  oder sogar noch tiefer möglich. Der Gefrierpunkt von Thionylchlorid bei  $-105\text{ °C}$  kann hier als Untergrenze betrachtet werden. Allerdings deckt eine Lagerung bis  $-55\text{ °C}$  und ein Betrieb bis  $-40\text{ °C}$  praktisch alle Anwendungen ab.

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. Dieser Effekt wird jedoch zu einem gewissen Grad durch stärkere Passivierung während der Lagerung und höhere Selbstentladung im Betrieb kompensiert.

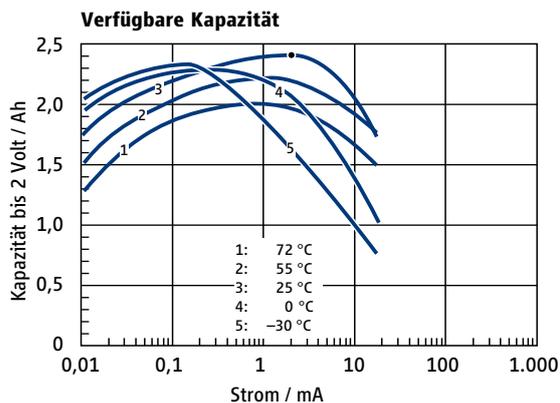
**Abbildung 2-11** zeigt die Stromabhängigkeit der verfügbaren Kapazität von Batterien des Typs SL-360. Die Nennkapazität von 2,4 Ah ist durch einen schwarzen Punkt markiert. Man erhält sie bei Raumtemperatur mit dem Nennstrom, der einer 1.000-stündigen Entladung entspricht. Die Abbildung zeigt den Bereich von Kapazitätswerten, der sich bei der Entladung bis zu einer Endspannung von 2,0 Volt ergibt. In der Abbildung werden Kurven für fünf verschiedene Temperaturen wiedergegeben. 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,

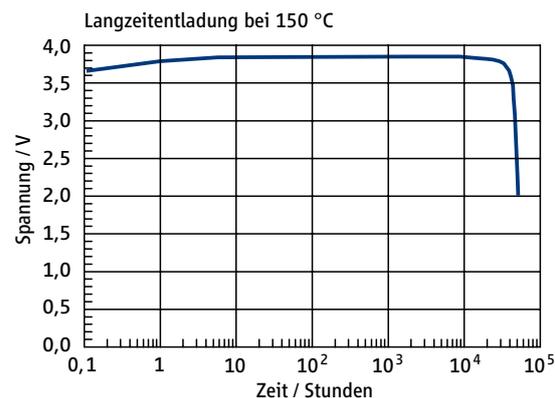
dass die verfügbare Kapazität nicht das Maximum erreicht. Bei tiefen Temperaturen ist die Selbstentladung dabei kleiner als bei hohen. Deshalb liegen in diesem Bereich die Kurven, die höheren Temperaturen zugeordnet sind, unter den Kurven für niedrige Temperaturen.

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  $55\text{ °C}$  und  $72\text{ °C}$  wiederum tiefer als das rechte Ende der Kurve für  $25\text{ °C}$ .

Obwohl die vorangehende Diskussion einige der eher grundlegenden Eigenarten des Lithium-Thionylchlorid-Systems erklären mag, macht sie doch nicht unbedingt die außergewöhnlich leistungsstarken Merkmale dieser Batterien im Langzeitbetrieb bei hohen Temperaturen deutlich. Was in dieser Hinsicht möglich ist, zeigt **Abbildung 2-12** anhand einer Entladung von zehn Batterien des Typs SL-550 ( $\frac{1}{2}$ AA) bei  $150\text{ °C}$  Dauertemperatur. An einer Last von  $560\text{ k}\Omega$  (entsprechend einem mittleren Strom von  $6\text{ }\mu\text{A}$ ) haben diese Batterien mehr als 5 Jahre lang funktioniert und dabei 65 % ihrer Nennkapazität erreicht.



**Abbildung 2-11**  
Stromabhängigkeit der verfügbaren Kapazität für fünf verschiedene Temperaturen  
Baugröße AA,  
Typ SL-360



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

## 2.8 Umgebungsbedingungen

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

### Höhe und Druck

Verschlussmethode und allgemeine Eigenschaften der Batterie erlauben Lagerung und Betrieb in jeder Höhenlage, von der Erdoberfläche bis zum Weltraum, ohne Einbußen. In der anderen Richtung kann der Druck auf 20-fachen 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 Rädern von Rennwagen der Formel 1 eingesetzt.

### Magnetische Eigenschaften

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

### 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 Lithiumbatterie 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 Lagerdauer, Temperatur, Geschichte, Höhe des Grundstroms, Höhe der Pulslast, Entladezustand und einige andere. 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 Lithiumbatterie bei einer Grundstromdichte von  $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  und 6 Pulsen je Stunde mit einer Stromdichte von  $10 \text{mA}/\text{cm}^2$ . Die Betriebsdauer beträgt etwa neun Monate.

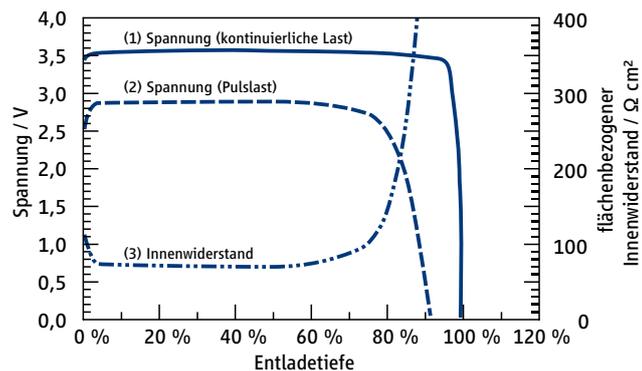
Während 97 % der Entladedauer bleibt die Spannung  $U_g$  an der Grundlast bei über 3,6 Volt. Der Innenwiderstand, dargestellt durch Kurve (3), wurde aus der Differenz zur Spannung bei Pulslast hergeleitet, und zwar mit der Gleichung

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

mit  $g$  = Grundstrom  
 $p$  = 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 lange andauern. Weitere Einzelheiten siehe 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 betragen  $10 \text{mA}/\text{cm}^2$  und dauern 0,5 s. Um den Sachverhalt unabhängig von der Zellgröße abzubilden, wurde der Innenwiderstand an der zweiten Ordinate mit der Anodenoberfläche multipliziert.

## 2.10 Merkmale der verschiedenen Baureihen

### Baureihe SL-300

Stichwort: normaler Einsatz und Pufferbetrieb oder auch mit Kondensatorunterstützung

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

### Baureihe SL-500

Stichwort: erweiterter Temperaturbereich

- Erweiterung des Temperaturbereiches bis  $+130\text{ °C}$
- etwas geringere Kapazität
- sonst wie Baureihe SL-700

### Baureihe SL-700/2700

Stichwort: iXtra für dauerhafte Leistungsfähigkeit

- Verbesserung der Spannungsverzögerung (TMV) mit und ohne Last
- verbessertes Verhalten hinsichtlich der Orientierungsabhängigkeit

### Baureihe SL-800/2800

Stichwort: XOL für ausgedehnte Betriebsdauer, auch in **PulsesPlus™**-Systemen

- noch geringere Selbstentladung
- kontrollierte Passivierung
- etwas geringere Strombelastbarkeit

## 3.1 Bestandteile und Werkstoffe

### Anode

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

### Kathode

Die Kathode ist aus hochporösem Azetylen-Ruß mit Teflonbinder gefertigt. 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 besteht aus einem Glasvlies, das mit Hinblick auf die Verträglichkeit mit dem chemischen System während einer hohen Lager- und Betriebsdauer sorgfältig ausgesucht wurde.

### 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  $-105\text{ °C}$ ; 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 ( $\frac{1}{2}$ AA,  $\frac{2}{3}$ AA, and AA), großen Zellen (C, D und DD) und Flachzellen ( $\frac{1}{10}$ D,  $\frac{1}{6}$ D) sind dabei unterschiedlich ausgebildet.

### Becher und Deckel

Der Zellbecher und der Deckel sind aus galvanisch vernickeltem Stahlblech gefertigt. 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 Lithiumbatterien werden in zwei unterschiedlichen mechanischen Bauweisen hergestellt, in der zylindrischen Bobbin-Version und als Flachzellen. Diese beiden Bauweisen unterscheiden sich im Länge/Durchmesser-Verhältnis und auch in der Art und Weise, wie Anode und Kathode zueinander angeordnet sind.

### Bobbin-Bauweise

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

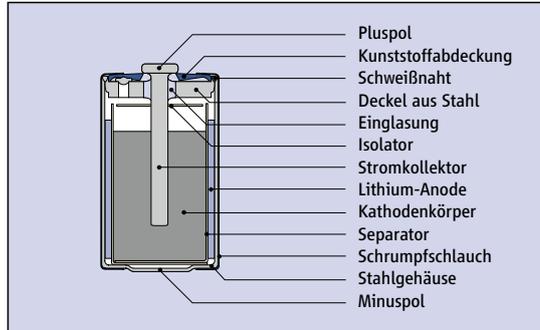
### Hermetisch dichtes Gehäuse

Die Dichtung zwischen dem Pluspol und dem Batteriedeckel, der sich auf dem Potenzial des Minuspols befindet, wurde sehr sorgfältig konstruiert: Hermetische Dichtheit ist durch eine Druckeinglasung sichergestellt. Darüber hinaus wird der Deckel über ein Laser-Schweißverfahren an den Becher geschweißt. Im Gegensatz zu den meisten Systemen, die eine Bördeltechnik oder Kunststoffdichtungen verwenden, ist das Dichtungs- und Isolationsystem der Tadiran Lithiumbatterie gegenüber Temperatur- und Feuchteschwankungen innerhalb des Bereichs der spezifizierten Betriebsbedingungen nicht anfällig. Es trägt daher wesentlich zu der ausgezeichneten Lagerfähigkeit und Betriebsdauer der Batterien bei.

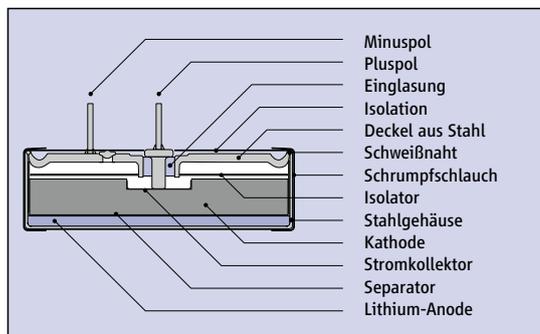
### Sollbruchstelle

Mitunter werden hermetisch dichte Batterien mit einer Sollbruchstelle ausgerüstet, um den Berstdruck des Batteriegehäuses zu verringern. Bei Tadiran Lithiumbatterien 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 Erhitzung im Feuer bzw. Ladung oder Überentladung mit einem viel zu großen Strom, der Innendruck einen kritischen Wert erreichen. Die Erfahrung hat aber gezeigt, dass es möglich ist, solche Bedingungen zu vermeiden. In 30 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 für Batterien, die von UL als „user-replaceable“ eingestuft werden, Sollbruchstellen vorgeschrieben sind. In diesem Fall sind die Nachteile einer 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)



**Abbildung 3-3**  
Batterie-Querschnitt

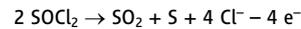
### 3.3 Chemische Reaktion und Schutzfilm

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

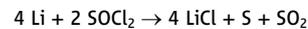
anodische Oxidation:



kathodische Reduktion:



Gesamtreaktion:



Ein Großteil des bei der Entladung gebildeten Schwefeldioxid 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 mit der Lithium-Anode in Berührung 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 vorstellen. 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 zweite poröse Schicht aus Reaktionsprodukten, die bis zu einem gewissen Grad die Oberfläche der Anode blockiert, aber nicht an den elektrochemischen Prozessen mitwirkt. 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 (oder während der Abkühlung) entladen werden und bei hoher Stromdichte.

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

#### Zum Nachlesen:

Kohlenstoffkathode:

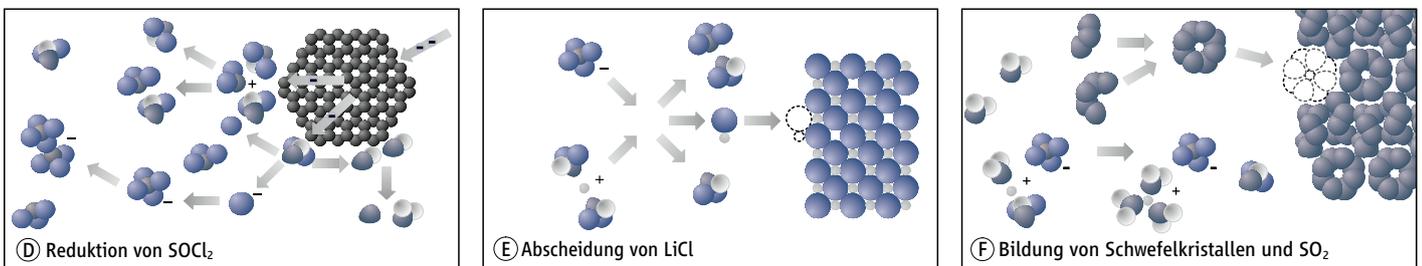
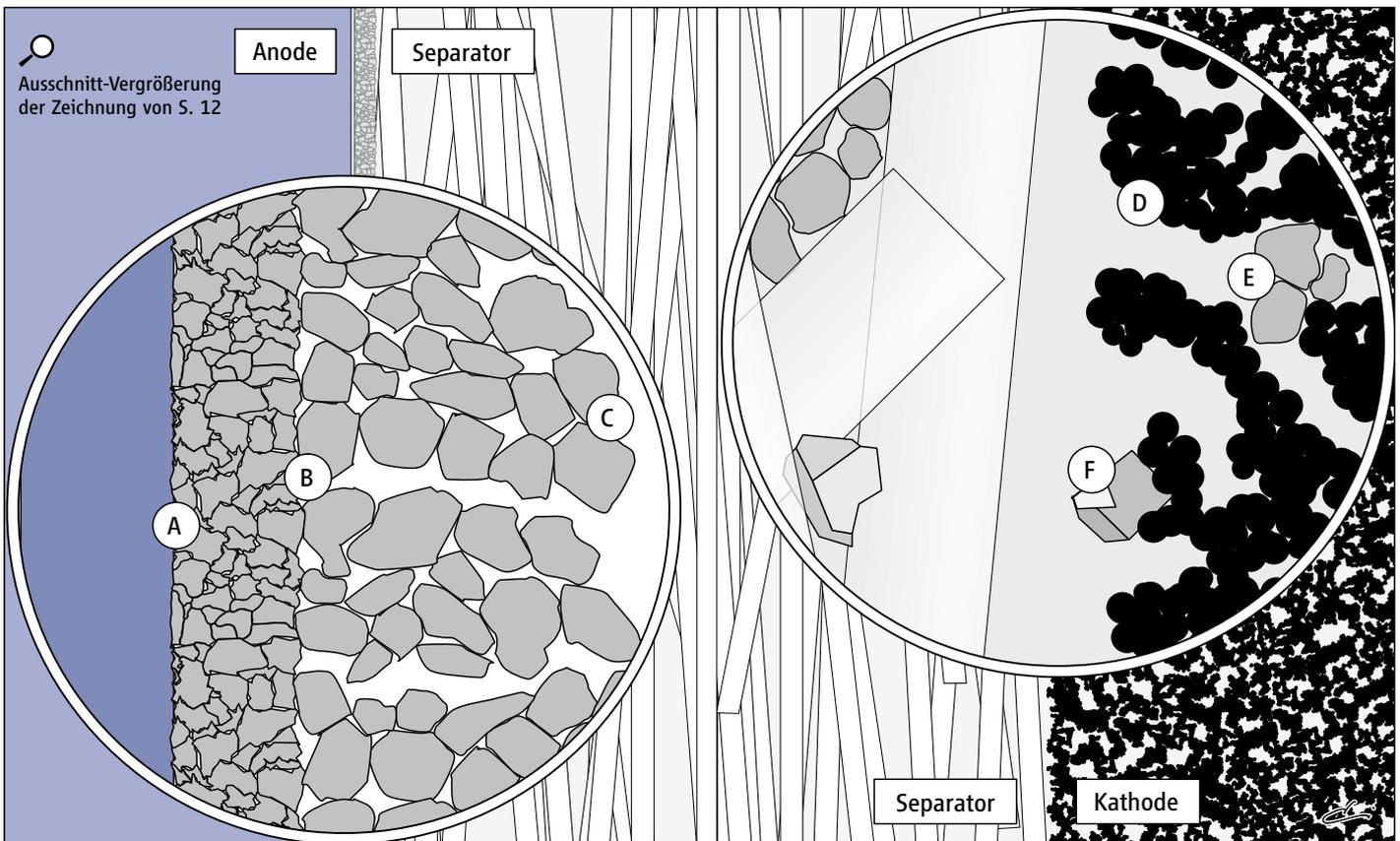
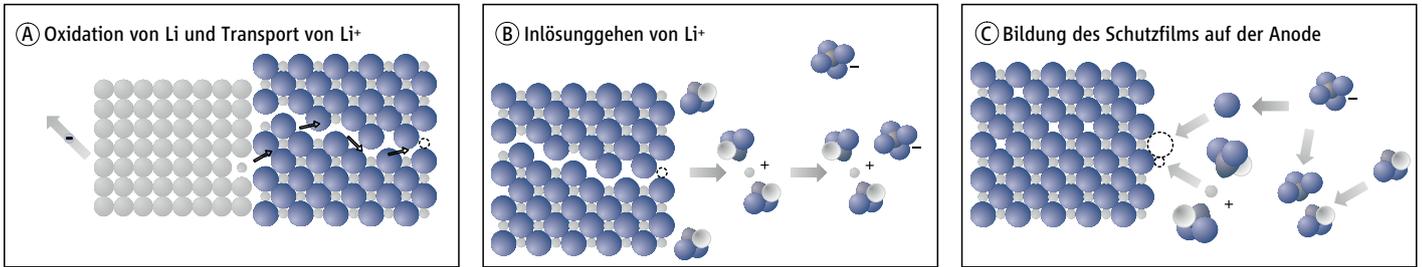
E. Yeager et al., Proc. Power Sources Conf. 33, 115 (1988)

Schutzschicht:

E. Peled in J. P. Gabano, Lithium Batteries, London 1983

Reduktion von Thionylchlorid:

C. Schlaikjer, J. Power Sources 26, 161 (1989)



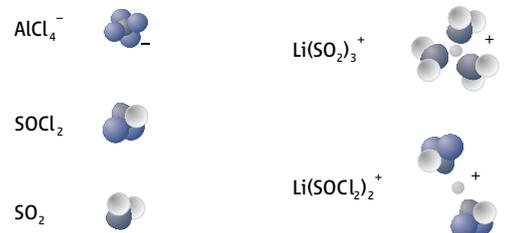
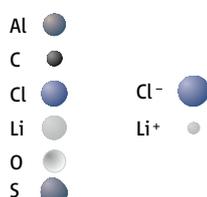
**Abbildung 3-4**

Reaktionsmechanismus von Lithium-Thionylchlorid-Batterien

Die großen Kreise stellen Vergrößerungen der Anodenoberfläche (links) und der Kathodenoberfläche (rechts) dar. Die Anodenoberfläche (A) ist mit der Festkörperelektrolyt-Zwischenschicht (SEI) (B) überzogen. Anschließend erkennt man die sekundäre poröse Schicht (SPL) (C).

Auf der Kathode und dem Separator haben sich die Reaktionsprodukte Lithiumchlorid (E) und Schwefel (F) abgeschieden.

**Atome und Ionen**



# 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 Inverkehrbringers stehen, einschließlich der Informationen zu Werbezwecken“.

Bei Tadiran Lithiumbatterien werden die Anforderungen an die Sicherheit bereits im Entwurfstadium berücksichtigt, und zwar für die gesamte Herstellung, den Transport, den vorgesehenen Verwendungszweck, den vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlgebrauch und die Entsorgung. Die Bauweise von Tadiran Lithiumbatterien besitzt einige besondere Merkmale im Hinblick auf konstruktive Sicherheit:

- a) eine gute Wärmeableitung;
- b) eine relativ geringe Elektrodenoberfläche;
- c) einen begrenzten Kurzschlussstrom und dadurch einen 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 den bestimmungsgemäßen Gebrauch und für den vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlgebrauch, die für Tadiran Lithiumbatterien Anwendungen finden. Die Prüfbedingungen basieren auf Verfahren, die in der Internationalen Norm IEC 60086-4, fünfte Ausgabe, veröffentlicht sind. (Die IEC ist die Internationale Elektrotechnische Kommission in Genf.)

### A Druckabfall

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 °C gelagert.

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

### B Temperaturwechsel

Diese Prüfung dient zur Beurteilung der Batteriedichtung bei raschem Temperaturwechsel.

Die Prüfbatterien werden für mindestens 6 h bei einer Temperatur von 72 °C gelagert, danach für 6 h bei einer Temperatur von -40 °C. Die Überführung darf maximal 30 Minuten dauern. Dieser Zyklus wird zehnmal durchgeführt. Anschließend erfolgt eine Lagerung von mindestens 24 h bei Raumtemperatur.

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

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

### C Schwingen

Diese Prüfung bildet Schwingungen während des Transports nach.

Die Prüfbatterien müssen ohne Verformung fest auf den Tisch der Schwingungsprüfmaschine aufgespannt werden, damit die Schwingungen unverfälscht übertragen werden. Die Prüfbatterien müssen sinusförmigen Schwingungen ausgesetzt werden. Hierbei werden eine Auslenk-Amplitude von 0,8 mm erreicht und insgesamt 12-mal innerhalb von 3 h für jede der drei senkrecht zueinanderstehenden Befestigungsrichtungen Frequenzen von 7 bis 200 Hz durchlaufen. Eine dieser Richtungen muss senkrecht zur Anschlussseite sein.

Für die Prüfung sind die Prüfcellen und -batterien zu verwenden, die zuvor der Temperaturwechsel-Prüfung unterzogen worden sind.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn kein Gewichtsverlust und keine Verformung entstehen, keine Batterieflüssigkeit austritt, kein Gas entweicht, kein Kurzschluss, kein Bersten, keine Explosion und kein Feuer auftreten.

### D Schocken

Diese Prüfung bildet die Bedingungen bei einem Stoß oder bei rauer 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 muss drei Schocks unterzogen werden, und zwar jeweils in der Richtung der drei zueinander senkrechten Aufspannlagen und dann jeweils in der Gegenrichtung, insgesamt also 18 Schocks. Bei jedem Schock beträgt die Stoßdauer 6 ms und die Spitzenbeschleunigung 150 g. Die Form der Schockwelle entspricht einem Halbsinus.

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

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

### 4.3 Vernünftigerweise vorhersehbarer Fehlgebrauch

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

#### Warnung

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

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

*Der Bereich des bestimmungsgemäßen Gebrauchs von Tadiran Lithiumbatterien ist in den Datenblättern angegeben (siehe 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 (UL) durchgeführt wurden wie auch zutreffende Militärnormen sind in Kapitel 5 dargestellt.

#### E Äußerer Kurzschluss

Diese Art von Fehlgebrauch kann beim Umgang mit Batterien vorkommen.

Die Prüfbatterien werden auf 55 °C erwärmt, bis sich das Gleichgewicht eingestellt hat. Dann werden sie bei 55 °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 °C zurückgekehrt ist. Anschließend wird die Batterie noch für mindestens 6 h beobachtet.

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 wurden.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn innerhalb der Beobachtungsdauer von 6 h kein Bersten, keine Explosion und kein Brand auftreten.

#### F Aufprallen

Diese Prüfung bildet eine unsachgemäße mechanische Behandlung durch Aufprallen nach, die zu einem inneren Kurzschluss führen kann.

Die Prüfbatterie wird auf eine ebene glatte Platte gelegt. Ein Stab aus nichtrostendem Stahl mit einem Durchmesser von 15,8 mm und einer Länge von mindestens 60 mm wird quer über die Mitte des Prüflings gelegt. Ein Massestück von 9,1 kg wird dann aus einer Höhe von 61 cm auf den Schnittpunkt von Stab und Prüfling kontrolliert fallen gelassen. Dazu wird eine nahezu reibungsfreie vertikale Gleitbahn oder -schiene mit minimalem Luftwiderstand auf die fallende Masse verwendet. Die vertikale Gleitbahn oder -schiene für die Führung des fallenden Massestücks muss mit einem Winkel von 90 ° zur horizontalen Auflagefläche ausgerichtet sein. Der Aufprall auf den Prüfling erfolgt so, dass seine Längsachse parallel zur ebenen Platte und senkrecht zur Längsachse des Stahlstabes ausgerichtet ist.

Jede Prüfbatterie darf nur einem einzigen Aufprall ausgesetzt werden. Danach muss der Prüfling noch weitere 6 h beobachtet werden.

Für die Prüfung müssen Prüfbatterien verwendet werden, die zuvor noch keiner anderen Prüfung unterzogen wurden.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn bei dieser Prüfung und innerhalb der Beobachtungsdauer von 6 h keine übermäßige Erwärmung, keine Explosion und kein Feuer auftreten.

#### G Quetschen

Diese Prüfung bildet den Fall nach, dass eine Batterie den Kräften ausgesetzt wird, die bei der Entsorgung von Haushaltsmüll auftreten können, z. B. bei der Müllverdichtung. Dies kann zu einem inneren Kurzschluss führen.

Eine Zelle oder Batteriezelle wird dabei zwischen zwei flachen Oberflächen gequetscht. Der Quetschvorgang muss ab dem ersten Berührungspunkt stetig mit einer Vorschubgeschwindigkeit von etwa 1,5 cm/s erfolgen. Der Quetschvorgang ist fortzusetzen, bis eine der drei folgenden Bedingungen erreicht ist:

- 1) Die anliegende Kraft erreicht 13 kN;
- 2) die Spannung der Zelle fällt um mindestens 100 mV ab; oder
- 3) die Zelle ist um 50 % oder mehr ihrer ursprünglichen Dicke verformt.

Sobald eine der vorstehenden Bedingungen erreicht wird, muss der Druck aufgehoben werden.

Eine Knopfzelle muss durch Aufbringen der Kraft auf ihre flachen Oberflächen gequetscht werden. Bei zylindrischen Zellen muss die Quetschkraft senkrecht zur Längsachse der Zellen aufgebracht werden. Die Quetschprüfung ist an zylindrischen Zellen mit einem Durchmesser von weniger als 20 mm anwendbar.

Jede Prüfbatterie wird nur einmal gequetscht. Danach muss der Prüfling noch weitere 6 h beobachtet werden.

Für die Prüfung müssen Prüfbatterien verwendet werden, die zuvor noch keiner anderen Prüfung unterzogen wurden.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn innerhalb der Beobachtungsdauer von 6 h keine übermäßige Erwärmung, keine Explosion und kein Feuer auftreten.

#### H Erzwungene Entladung

Diese Prüfung bewertet die Fähigkeit einer Zelle, den Bedingungen bei einer erzwungenen Entladung standzuhalten.

Jede Zelle muss bei Umgebungstemperatur erzwungen entladen werden, indem sie in Reihe mit einer 12-V-Gleichstromversorgung bei einem Anfangsstrom geschaltet wird, der gleich dem vom Hersteller festgelegten maximalen Dauerentladestrom ist.

Der festgelegte Entladestrom wird eingestellt, indem eine Widerstandslast geeigneter Größe und Belastbarkeit in Reihe mit der Prüfzelle und der Gleichstromversorgung geschaltet wird. Jede Zelle muss für ein Zeitintervall erzwungen entladen werden, das der Bemessungskapazität dividiert durch den Anfangsprüfstrom entspricht.

Die Prüfung muss mit vollständig entladene Prüfbatterien durchgeführt werden, die zuvor keinen anderen Prüfungen unterzogen wurden.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn innerhalb der Beobachtungsdauer von 7 Tagen keine Explosion und kein Brand auftreten.

### I Sachwidriges Laden

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

Jede Prüfbatterie wird mit dem Dreifachen des maximalen Rück-(Lade-)Stroms  $I_r$ , max geladen (siehe Produktkatalog). Dabei wird sie in Gegenrichtung mit einer Gleichstromversorgung verbunden. Wenn die Stromversorgung nicht 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  $20 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$  durchgeführt.

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

### J Freier Fall

Diese Prüfung bildet den Fall nach, dass eine Batterie versehentlich fallengelassen wird.

Nicht entladene Prüfbatterien werden aus einer Höhe von 1 m auf eine Betonfläche fallengelassen. Jede Prüfbatterie wird sechsmal fallengelassen, eine runde Batterie zweimal in Richtung jeder der drei Achsen. Die Prüfbatterien werden anschließend noch 1 h gelagert.

Prüfbatterien haben die Prüfung bestanden, wenn innerhalb der Beobachtungsdauer von 1 h kein Entweichen von Gas, keine Explosion und kein Brand auftreten.

### K 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  $5 \text{ °C/min}$ . bis auf  $130 \text{ °C}$  erhöht. Bei dieser Temperatur verbleibt die Batterie für 10 min.

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

## 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 und richtet sich primär an Konstrukteure von Geräten mit Lithiumbatterien.

### Schutz gegen Laden

Beim Einbau einer Lithium-Primärbatterie in einen Stromkreis, der von einer unabhängigen Hauptstromquelle gespeist wird, müssen Schutzeinrichtungen zum Einsatz kommen, die das Laden der Primärbatterie durch die Hauptstromquelle verhindern, z. B. (siehe auch Abschnitt 5.1 und Abbildung 7-1):

- eine Sperrdiode und ein strombegrenzender Widerstand,
- zwei Sperrdioden in Reihenschaltung,
- Schaltungen mit einer ähnlichen Sperrfunktion, die auf zwei oder mehr unabhängigen Schutzeinrichtungen beruht, vorausgesetzt, die erste Schutzeinrichtung kann den Ladestrom durch die Lithiumbatterie auf den vom Hersteller festgelegten normalen Rückstrom begrenzen, der während der Betriebslebensdauer an der Batterie anliegen kann, während die zweite Schutzeinrichtung den Ladestrom auf den vom Hersteller festgelegten maximalen Strom beim sachwidrigen Laden begrenzen kann, wie er bei der Durchführung der Prüfung I („Sachwidriges Laden“) angewendet wird. Die Schaltung muss derart ausgelegt sein, dass mindestens eine dieser Schutzeinrichtungen betriebsfähig bleibt, wenn ein beliebiges Bauelement der Schaltung ausfällt.

### Parallelschaltung

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

### **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 außerhalb der Reichweite von Kindern aufbewahren*

Vor allem Batterien, die verschluckt werden können, sind außerhalb der Reichweite von Kindern aufzubewahren. Falls eine Zelle oder Batterie verschluckt wurde, ist sofort medizinische Hilfe zu suchen. Das Verschlucken kann chemische Verbrennungen, Perforation von Weichteilgewebe und in schweren Fällen den Tod verursachen. Batterien müssen unmittelbar nach dem Verschlucken entfernt werden.

#### *Kindern nicht ohne Aufsicht das Wechseln von Batterien gestatten*

#### *Batterien nicht verpolen; die Plus- und Minus-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 sind am besten in der Originalverpackung aufzubewahren.

#### *Batterien nicht laden*

Der Versuch, eine nicht wiederaufladbare Batterie zu laden, kann dazu führen, dass sie überhitzt wird und die oben beschriebenen möglichen Folgen eintreten.

#### *Batterien nicht erzwungen entladen*

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

#### *Batterien nicht mischen*

Beim Batteriewechsel sind alle Batterien gleichzeitig zu wechseln, und zwar gegen neue Batterien derselben Marke und desselben Typs. Andernfalls können manche Batterien aufgrund des Spannungsunterschieds geladen oder aufgrund des Kapazitätsunterschieds überentladen werden – mit den oben beschriebenen möglichen Folgen.

#### *verbrauchte Batterien gleich entfernen und entsorgen*

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

#### *Batterien nicht erhitzen*

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 deformieren*

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 sind nur in einem dafür zugelassenen Müllverbrennungsofen zu verbrennen.

#### *den Inhalt von Lithiumbatterien nicht mit Wasser in Berührung bringen*

Berührung mit Wasser kann zur Bildung von Wasserstoff und zu den oben beschriebenen möglichen Folgen führen.

#### *Batterien nicht verkapseln oder verändern*

Verkapseln oder sonst irgendeine Veränderung einer Batterie kann zu den oben beschriebenen Folgen führen. Der Batteriehersteller sollte konsultiert werden, wenn irgendeine derartige Veränderung an der Batterie erforderlich wird.

#### *unbenutzte Batterien in der Originalverpackung aufbewahren und von Metallgegenständen fernhalten; bereits ausgepackte Batterien nicht mischen oder durcheinanderbringen*

Unverpackte Batterien könnten durcheinandergeraten oder mit Metallgegenständen in Kontakt kommen. Dadurch kann die Batterie kurzgeschlossen werden – mit den oben genannten möglichen Folgen.

# 5 Einhaltung von Normen

Tadiran Batteries  
Technische Broschüre

Tadiran Lithiumbatterien halten die zutreffenden Normen ein – wie UL 1642 (Underwriters Laboratories), IEC 60079-11 (explosionsgefährdete Bereiche) und Militärnormen sowie einige andere anwendungsorientierte Normen, beispielsweise für Sicherheits- und Alarmausrüstungen, für Verbrauchszähler etc. 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 Lithiumbatterien werden zur Qualifikation vorgestellt, wann und wo es der Markt erfordert. Die Firma bietet gerne 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 Lithiumbatterien 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
Registriernr.	MH 12827

Die Sicherheitsprüfungen aus dieser Norm sind in **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, sind die folgenden, von den Underwriters Laboratories empfohlenen Einschränkungen einzuhalten:

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 dabei 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  $I = U / R$  nicht die angegebenen Höchstwerte überschreitet, wobei U die Spannung der Stromquelle ist, mit der die Batterie verbunden 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.

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

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 3-fachen max. Rück-(Lade-)Strom (siehe Datenblätter) beschränken; Dauer entsprechend 2,5-facher Nennkapazität	NF, NE, (R)
Überentladung	ganz entladene Batterien in Reihe mit frischen Batterien desselben Typs	NF, NE, (M)
Stauhen	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
Erhitzung	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, Projektil, Explosion	NF, NE in bestimmten Grenzen

**Tabelle 5-1**  
Sicherheitsprüfungen gemäß UL-Standard Nr. 1642

Abkürzungen:  
NF: kein Feuer; NE: keine Explosion; NL: keine Undichtheit; 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

Bis zum Einsatz in Originalverpackung belassen. Verbrauchte Batterien sofort entsorgen.“

Das Endprodukt mit einer Lithiumbatterie der Kategorie „user-replaceable“ ist – neben der Batterie – ebenfalls 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 „Der einzusetzende Batterietyp ist der Betriebs- oder Wartungsanleitung zu entnehmen.“

Die Gebrauchsanleitung muss dem Benutzer alle erforderlichen Hinweise zum Austausch und zur Entsorgung 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) eine vollständige Anleitung zum Austausch der Batterie, die mit der Angabe: „Verbrauchte Batterie sofort entsorgen, nicht in Reichweite von Kindern aufbewahren, nicht öffnen und nicht ins Feuer werfen.“ endet.

## 5.2 Explosionsgefährdete Bereiche

Anforderungen für Batterien in elektrischen Betriebsmitteln, die für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen vorgesehen sind, sind in der Normenreihe IEC 60079 veröffentlicht. Tadiran kann Hersteller von solchen Geräten dadurch unterstützen, dass sie ihnen Temperatur- und Stromwerte von Tadiran Lithiumbatterien während eines Kurzschlusses bei 40 °C und bei 70 °C zur Verfügung stellt.

Die meisten Tadiran Lithiumbatterien entsprechen der Temperaturklasse T4 dieser Norm. Das bedeutet, sie können in Geräten für explosionsgefährdete Bereiche mit einer Umgebungstemperatur von 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 für Anwendungen mit einer kurzen oder mittleren Einsatzdauer nach extrem langer Lagerung entwickelt. Mit diesem Batterietyp 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 hauptsächlichen Prüfziele und Prüfbedingungen zusammen, die in diesen Normen enthalten sind und von Tadiran Lithiumbatterien erfüllt wurden. Vollständige Beschreibungen und Prüfberichte sind auf Anfrage erhältlich.

Prüfziele	Durchführung der Prüfung	Anforderungen
<b>Umweltprüfungen</b>		
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
<b>Sicherheitsprüfungen</b>		
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 nur unsere Mindestanforderung.
- Verantwortung von Führung und Mitarbeitern  
Jeder Mitarbeiter übernimmt seinen Teil der Verantwortung am Prozess der kontinuierlichen Verbesserung unseres Unternehmens. 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 Audits.

### Unsere Maßnahmen

- periodische Ermittlung und Verbesserung der Kundenzufriedenheit
- systematische Untersuchung und Verbesserung der internen Kunde-Lieferant-Beziehungen
- systematische Analyse der Risiken und Chancen
- 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 Umweltmanagement-Systems
- Ermittlung der Erfordernisse in Umweltschutz und Arbeitssicherheit
- kontinuierliche Anpassung der Qualifikation und Kompetenzen aller Mitarbeiter durch Schulung und Einweisung

- Implementierung der World-Class-Philosophie und Anwendung der dazu nötigen World-Class-Tools im Unternehmen. Dies sind z. B. 5S, TPM, SMED, OEE, JIT, VSM, PDCA, Kanban, visual management und problem solving teams.
- Einhaltung des "Code of Ethics" bzw. der festgelegten ethischen Grundsätze
- 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 Qualitätsmanagement-Systems erfolgte im Jahre 1993. Das Umweltmanagement-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 Prüfmittel erforderlich sind. Gegebenenfalls werden Prüfmittel und Prüfmittel auch dafür entwickelt, um unter allen anzunehmenden Umständen die Produktqualität sicherzustellen.

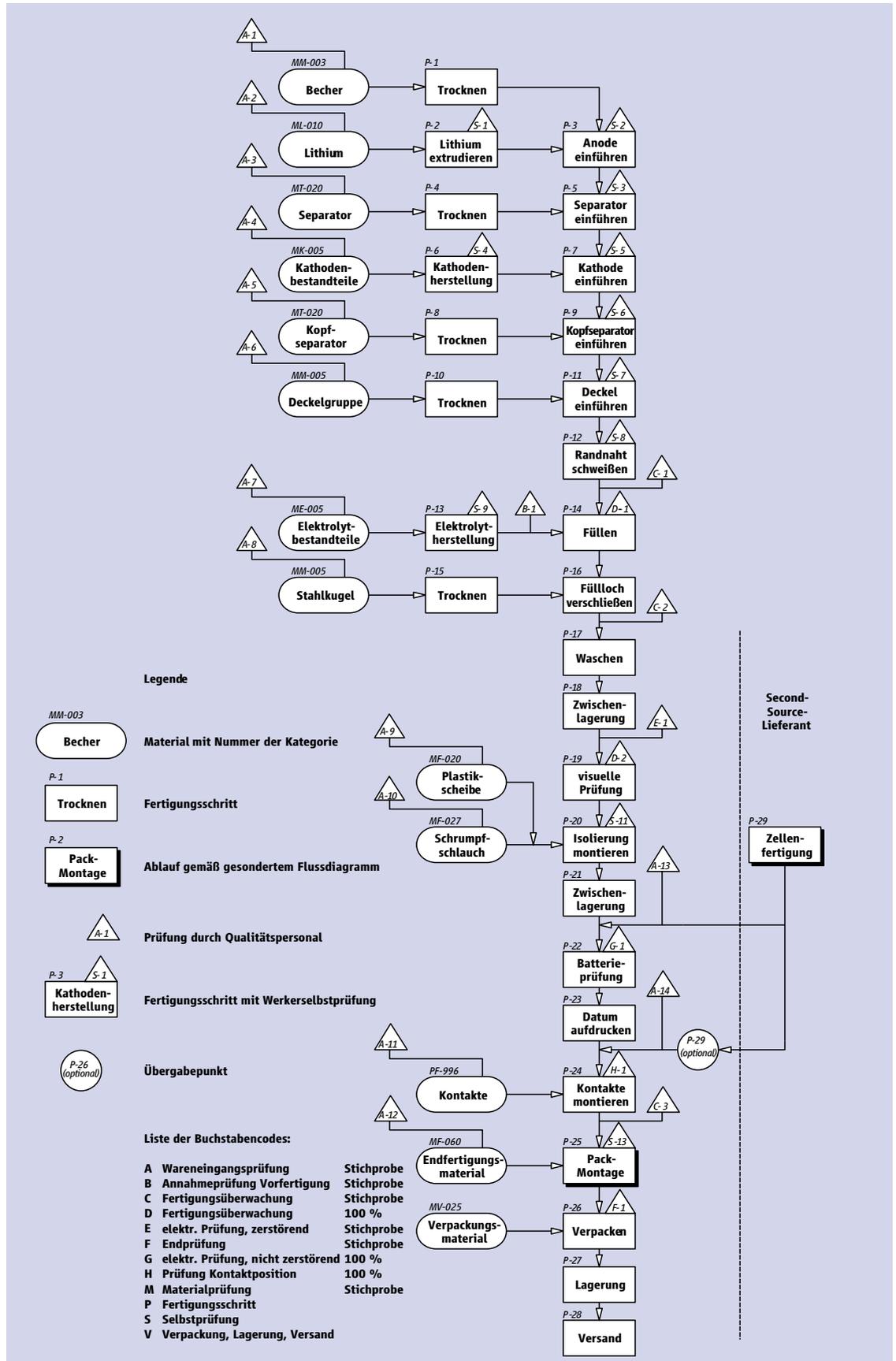


Abbildung 6-2  
Fertigungsablauf-  
und Prüfplan

## 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 Fertigungsumstände 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 der Endkontrolle (D). Rückfragen sollten Bezug auf die Losnummer nehmen.



Batterietyp	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 (3.000 St.) und +45 °C (3.000 St.)	+25 °C (100 St.) und +45 °C (100 St.) und Glashaus (300 St.)
Ausfallkriterien	U < 3,66 V	U < 3,6 V	U < 3,5 V	U < 3 V	U < 3,6 V
Stichprobengröße	fortlaufend, z. B. 21.900	50	500	6.000	500
Prüfdauer	max. 15,3 J., mittl. 7,8 J.	max. 10 J., mittl. 5,5 J.	8,75 J.	90.000 Std.	10 J.
Ausfälle	8	0	1	4	0 + 0 + 5
Ausfallrate	5,3 fit	< 413 fit	28 fit	7,4 fit	114 fit

**Tabelle 6-4**  
Zuverlässigkeitsdaten  
Eine Auswahl von Zuverlässigkeitsprüfungen, die bei Tadiran durchgeführt wurden.  
fit = failures in time, 1 fit = 1 Ausfall in 10<sup>9</sup> Bauteile-Stunden

## 6.5 Fertigungsablauf und Prüfplan

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

Die strengen Anforderungen an die Reinheit der Materialien, an die Genauigkeit der Teilefertigung, an die Sorgfalt bei der Montage und an die Endkontrolle des fertigen Produkts 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 **Abbildung 6-2** wiedergegeben wird, spiegelt so detailliert wie es im Rahmen dieser Broschüre möglich ist, die Sorgfalt wider, die dabei angewendet wird.

## 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 Langzeituntersuchungen dient dazu, Zuverlässigkeitsdaten unter verschiedenen Lager- und Gebrauchsbedingungen zu sammeln. Die Ausfallkriterien werden dabei entsprechend den am weitesten verbreiteten Anwendungsbedingungen definiert.

Hier 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“ erläutert.

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 definiert 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.

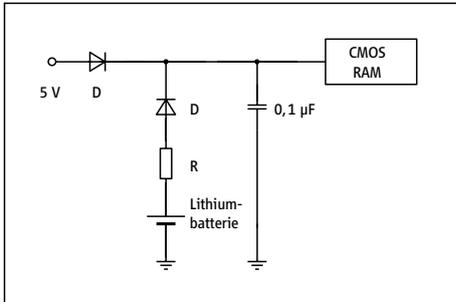
**Tabelle 6-4** zeigt eine Anzahl von repräsentativen Zuverlässigkeitstests, die von Tadiran durchgeführt worden sind. Die Tabelle enthält allerdings nur Echtzeitdaten und keine Extrapolationen oder andere abgeleitete Daten. In der Tabelle sind die Ausfallkriterien, die Ergebnisse und andere wichtige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

Als Ergebnis dieser Untersuchungen kann man festhalten, dass die Zuverlässigkeit von Tadiran Lithiumbatterien 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 hat gezeigt, dass es möglich ist, dieses Batteriesystem für mindestens 10 Jahre bei +85 °C zu betreiben, ohne dass dabei ein Ausfall aufgetreten wäre.

Diese Zuverlässigkeit spiegelt sich auch in realen Daten aus dem Feld wider: Von gut 100 Millionen im Zeitraum 1998 – 2018 gefertigten AA-Zellen fielen bei ihrer Anwendung weniger als 1 ppm aufgrund von Batteriefehlern aus.

# 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-Empfehlung. 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 Lithiumbatterien 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 negativ 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.

## 7.1 Pufferschaltungen

**Abbildung 7-1** stellt die Schutzschaltung gegen Aufladung gemäß der Empfehlung von UL für Speicherpufferschaltungen dar (siehe 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.

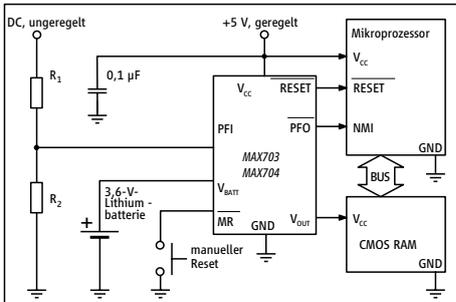
Es ist absolut notwendig, die Sicherheitselemente vorzusehen, wenn die Leiterplatte eine Pufferbatterie parallel zu einer Stromversorgung enthält. Die Sicherheitselemente müssen physisch so nah wie möglich an der Batterie untergebracht werden. Andernfalls steigt das Risiko, dass sie durch unbeabsichtigte 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.

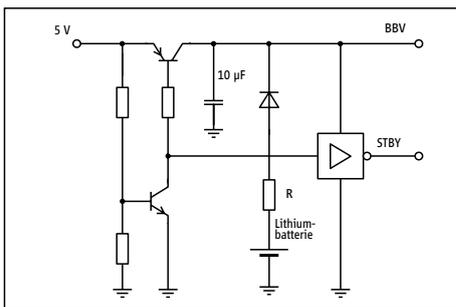
**Abbildung 7-3** zeigt eine typische Pufferschaltung für PCs. Der 10-µF-Kondensator hat den Zweck, das Absinken der Spannung bei Stromausfall zu verzögern, damit der Invertierer dem Mikroprozessor den Stand-by-Puls so bald wie möglich liefern kann.

**Abbildung 7-4** ist eine Pufferschaltung für eine Echtzeituhr. D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> und D<sub>3</sub> sind Germaniumdioden, D<sub>4</sub> und D<sub>5</sub> sind Siliziumdioden. D<sub>4</sub> und D<sub>5</sub> 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.

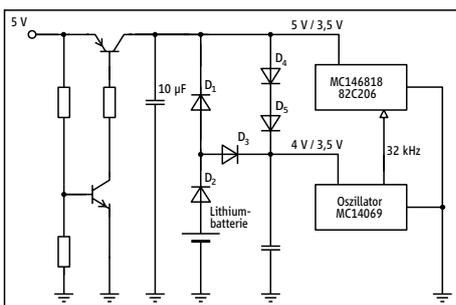
**Abbildung 7-5** zeigt eine Pufferschaltung für kontinuierliche und gepulste Lasten. D<sub>1</sub> und D<sub>2</sub> sind Siliziumdioden, D<sub>3</sub> und D<sub>4</sub> sind Germaniumdioden oder Schottky-Dioden, Typ MBD 701. Diese Schaltung puffert eine Netzversorgung mit einer kleinen kontinuierlichen Last und gelegentlichen Pulsen mit höherem Strom. C und D<sub>4</sub> haben den Zweck, die Spannung der kontinuierlichen Last zu stabilisieren, falls ein Strompuls einen kurzfristigen Einbruch der Batteriespannung hervorruft.



**Abbildung 7-2**  
Batteriepufferung unter Verwendung eines Reglerbausteins



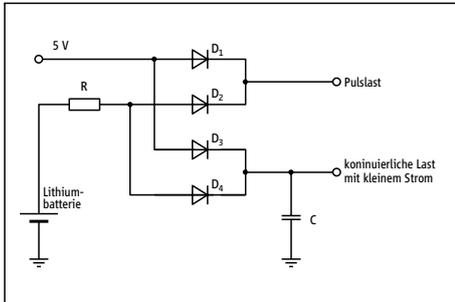
**Abbildung 7-3**  
typische Pufferschaltung für PCs



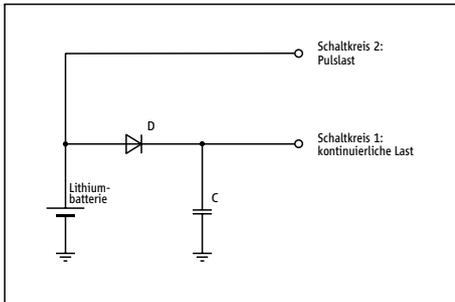
**Abbildung 7-4**  
Pufferschaltung für eine Echtzeituhr

## 7.2 Kondensatorunterstützung

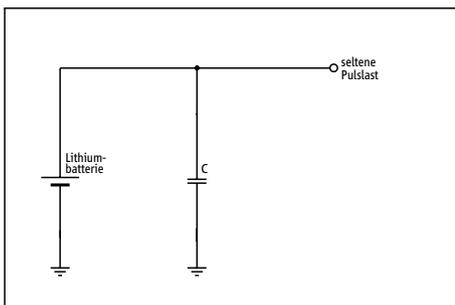
Lithium-Thionylchlorid-Batterien können bei langer Lagerung oder kontinuierlichem Betrieb bei sehr kleinem Strom einen Innenwiderstand entwickeln. Dies kann die oberhalb einer bestimmten Entladeschluss-Spannung verfügbare Kapazität verringern. In derartigen Situationen kann ein geeigneter Kondensator 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.



**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

### 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 Übertrager, Sensoren, Servoelemente und dergleichen; er ist dadurch charakterisiert, dass er Pulse mit höherem Strom benötigt, aber die Spannungslage ist hier nicht vordergründig.

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 damit nicht gleichzeitig Spannung und Strom liefern.

Bevorzugte Baureihe: SL-700  
Typische Betriebsdauer: 1 ... 3 Jahre  
Kondensatorart: typischerweise Elektrolyt

Kondensatorgröße:  $C \approx I \times t / \Delta U$   
mit  $I$  = Strom von Teilkreis 1  
 $t$  = Pufferdauer  
 $\Delta U$  = erlaubte Mindestspannung für Teilkreis 1

### Unterstützung von Pulslasten

In Fällen, in denen 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 Schaltung 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 einer derartigen Schaltung.

Auf den ersten Blick mag diese Lösung teurer erscheinen als zum Beispiel eine Lithiumbatterie mit organischem Elektrolyt. Es kann sich jedoch 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  
 $\Delta U$  = erlaubter Spannungsabfall

Bei großen, langen Pulsen, wo die Kosten oder die Selbstentladung von geeigneten Kondensatoren eine Einschränkung bedeuten, stellt die **PulsesPlus™**-Technologie von Tadiran eine optimale Lösung dar.

## 7.3 Batteriepakete

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

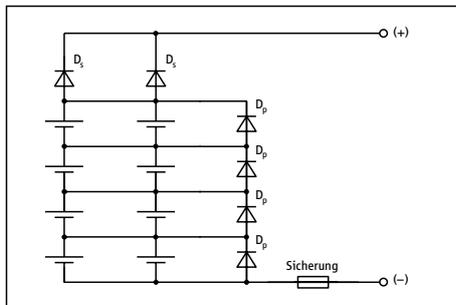
Die nachfolgenden Hinweise richten sich an Kunden, die für die fachmännische Montage von Batteriepaketen ausgerüstet sind. Eine Freigabe des Designs vonseiten Tadiran wird aber dennoch empfohlen.

#### 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 (siehe **Abbildung 7-8**). Der Leckstrom jeder Diode sollte 10  $\mu\text{A}$  nicht überschreiten.

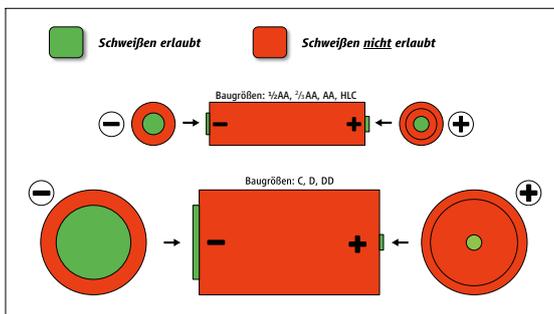


**Abbildung 7-8**

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

#### Schutz gegen Überentladung

Bypass-Dioden  $D_p$  sollten parallel zu jeder Reihe vorgesehen werden, um jede Spannungsumkehr zu verhindern. Eine Bypass-Diode bewirkt, dass der Strom durch die Diode fließt anstatt durch die Batteriezelle, wenn diese entladen ist. Dadurch wird eine Überentladung der Batteriezelle verhindert.



**Abbildung 7-9**

Widerstands-/Laserschweißungen sind nur innerhalb der grünen Schweißzonen erlaubt!

#### Schutz gegen Kurzschluss

Auch 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 zudem 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.

Tadiran Lithiumbatterien 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 der Zellen multipliziert mit dem maximalen Dauerentladestrom) 3.000 mA übersteigt.

#### Auswahl der Zellen

Für ein Batteriepaket sind nur Zellen zu verwenden, die in Typ, Größe und Alter übereinstimmen; Zellen verschiedener Systeme oder Hersteller dürfen nicht gemischt werden. Kennzeichnung und Typbezeichnung müssen lesbar sein und mit den Vorgaben übereinstimmen. Die Zellen sind zudem vor dem Zusammenbau mechanisch und elektrisch zu prüfen. Prüfkriterien werden auf Anfragen gerne mitgeteilt.

#### Montage von Batteriepaketen

- Batteriezellen müssen voneinander isoliert sein.
- Elektrische Leitungen, Verbinder und Kontakte sind so anzuordnen, dass keine Kurzschlüsse entstehen können.
- Verbindungen zwischen Zellen dürfen nur durch Löten oder Punktschweißen an den Lötflächen hergestellt werden.
- Lötzeiten sind so kurz wie möglich zu halten, Maximum sind 10 Sekunden. Nicht überhitzen!
- Bei den größeren Zellen, besonders C-, D- und DD-Zellen, ist die Vorzugsorientierung aufrecht (Pluspol nach oben).
- Es sollte nicht versucht werden, direkt am Zellgehäuse zu löten oder zu schweißen (siehe **Abbildung 7-9**). Dies führt zu einer gefährlichen Überhitzung. Alle Zellen sind aus diesem Grund mit geeigneten Anschlussarten erhältlich.
- Es sind verwechslungsfreie Steckverbinder einzusetzen, mindestens aber sind die Polarität eindeutig zu markieren und das Ende der Leitungen zu isolieren.
- Das Batteriepaket ist ausreichend zu kennzeichnen (Typ, Nennspannung, Datum), die zutreffenden Sicherheitshinweise sind anzubringen.
- Elektrisch leitender Schmuck ist abzulegen, wenn man Batteriepakete zusammenbaut oder Zellen anschließt.
- Während dem Zusammenbau von Batteriepaketen oder dem Anschließen von Zellen ist ein Augenschutz zu tragen.
- Beim Punktschweißen und Löten ist ein Arbeitsschutz zu verwenden, z. B. aus durchsichtigem Kunststoff.
- Die Isolierung der Werkzeuge ist zu beachten.
- Es darf nicht mehr als nötig Füll- und Isoliermaterial verwendet werden, um einem Wärmestau innerhalb des Batteriepakets vorzubeugen.
- Beim Vergießen ist darauf zu achten, dass ggf. die Funktion von Sollbruchstellen nicht behindert wird.
- Es darf nur schwer entflammbares Material verwendet werden.
- Es ist zu berücksichtigen, dass bei außergewöhnlicher Belastung (mechanischem oder thermischem Stress) die Isolierung schmelzen und unwirksam werden kann. Als Gegenmaßnahme ist eine Verstärkung und Zusatzisolierung vorzusehen.
- Die Regeln für Versand und Handhabung sind einzuhalten. Die Bauartprüfung nach UN, insbesondere für Schock und Vibration, ist durchzuführen.



# 8 Lagerung, Transport, Handhabung und Entsorgung

## 8.1 Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen

Tadiran Lithiumbatterien 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. Dies ist eigentlich 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!

Kapitel 4 enthält allgemeine Sicherheitsüberlegungen. Zusätzliche Vorsichtsmaßnahmen für den 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 in jedem Fall zu vermeiden.

Lagerzeiten, die 1 Jahr übersteigen, haben einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Batterie. Es wird empfohlen, dies im Falle eines Falles mit Tadiran technisch abzuklären.

### Isolierung

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

Batterien dürfen nicht in leitfähigen Antistatikbeuteln oder in leitfähigem Schaum aufbewahrt werden, es sei denn, der Widerstand des Materials ist höher als 1 M $\Omega$ . Batterien dürfen nicht auf Metall oder anderes leitendes Material gelegt oder damit abgedeckt werden.

### Feuerschutz

Batterien sollen nicht zusammen mit entflammbarem Material gelagert werden.

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

Eine technische Notiz mit weiteren Empfehlungen ist auf Anforderung erhältlich.

## 8.3 Transportvorschriften

Lithiummetallbatterien sind Gefahrgut (UN 3090). Sie unterliegen daher abhängig vom Verkehrsträger im Allgemeinen Transportvorschriften. Allerdings sind die meisten im Produktkatalog aufgeführten Tadiran Lithiumbatterien von den Gefahrgut-Vorschriften freigestellt, da sie die folgenden Voraussetzungen erfüllen:

- Die Batterien enthalten eine Gesamtmenge von nicht mehr als 2 g Lithium oder Lithiumlegierung, Zellen nicht mehr als 1 g.
- Die Batterien haben die UN-Prüfungen bestanden.
- Die Batterien müssen in der Verpackung in Innenverpackungen verpackt sein, die die Zelle oder Batterie vollständig einschließen und voneinander trennen, sodass keine Kurzschlüsse auftreten können.
- Durch Warnhinweise am Versandstück und in den Versandpapieren ist erkennbar, dass es sich um Lithiumbatterien handelt und dass das Versandstück bei Beschädigung ausgedockt, überprüft und neu verpackt werden muss.
- Die Außenverpackung muss stabil sein und einen Falltest aus 1,2 m Höhe bestehen.
- weitere Voraussetzungen: siehe Sondervorschrift 188 (ADR / RID / IMDG-Code) und Teil II der Verpackungsanweisungen 968 – 970 (IATA DGR).
- Der Lufttransport von Lithium-Metall-Zellen und -Batterien mit mehr als 0,3 g, aber weniger als 1g/2g Lithiummenge ist eingeschränkt (siehe Verpackungsanweisung 968, Teil IB).

Eine Technische Notiz mit weiteren Informationen auch für nicht freigestellte Sendungen ist im Internet verfügbar: <https://tadiranbatteries.de/pdf/Technische-Notiz-Transportvorschriften.pdf>.

## 8.4 Einbau

### Allgemeines

In den meisten Fällen werden Tadiran Lithiumbatterien 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 hingegen sind normalerweise nicht als Batteriehalter geeignet, insbesondere nicht bei Zellen der Baugröße C und darüber.

Tadiran Lithiumbatterien entsprechen der IEC-Norm 60068-2-21 und der Spezifikation IPC-610. 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 zur Batterie sind 2,5 mm. Wenn das nicht ausreicht, gibt es alternative Anordnungen (siehe **Abbildung 8-1**).

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 könnte.

### Handlötung

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, Maximum sind 10 Sekunden! Nicht überhitzen!
- Beim Vorverzinne geeigneten Schutz verwenden; Batterien dürfen nicht ins Zinnbad fallen!

### Lötstelle

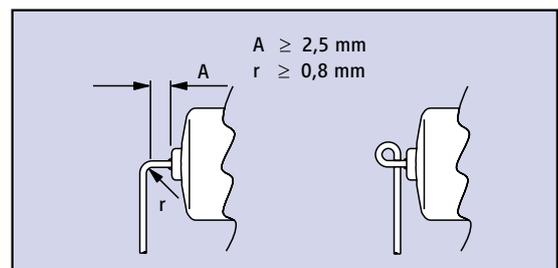
Die Tadiran Lithiumbatterie ist ein sicheres Element. Sie hat einen mäßig hohen Innenwiderstand und kann bei Temperaturen bis 75 °C einen dauernden Kurzschluss ohne Sicherheitsrisiko überstehen. Die Batterie explodiert dadurch nicht und wird nicht leak. Sie ist daher grundsätzlich für die Lötstelle geeignet. Allerdings sind hierbei nachfolgende Empfehlungen zu beachten:

- Flachzellen von Tadiran haben Nickeldrähte und können in der Lötstelle bearbeitet werden.
- Zellen der Bobbin-Bauweise von Tadiran sind mit axialen Anschlussdrähten oder mit Nickel-Lötflächen erhältlich. Die kleinen Zellen können in der Lötstelle bearbeitet 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 Lötstelle passiert (gilt auch für das Vorwärmen und Trocknen)!
- Nicht überhitzen! (Empfehlungen siehe **Tabelle 8-2**)!
- 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 jedenfalls nicht unter der Umhüllung fangen. Achtung: 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 benötigen.



**Abbildung 8-1**

kleinste Biege Maße 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
Reinigung	bis zu 85 °C	
Trocknung	bis zu 100 °C	bis zu 120 s

**Tabelle 8-2**

Empfehlungen für das Schwallbadlöten

## 8.5 Entsorgung

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

Für die Europäische Union gilt die Richtlinie 2006/66/EG. Die Umsetzung dieser Richtlinie 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 jenen für 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 mitwirkt

## 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 besteht die aktive Masse der Anode aus Lithium.

## Anodenoberfläche

Die Anodenoberfläche gibt einen Hinweis auf die Strombelastbarkeit und die 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 →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/dm<sup>3</sup>)

## Entladeschlussspannung

→Abschaltspannung

## Entladetiefe

Verhältnis zwischen der Kapazität, die zum Zeitpunkt t von einer Batterie abgegeben wurde zur insgesamt unter festgelegten Entladebedingungen →verfügbaren Kapazität (siehe Abbildung 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 als Quotient von Spannungsabfall und Stromänderung definiert:  $R_i = \Delta U / \Delta I$ . Der Wert ändert sich im Laufe der Entladung. (siehe Abbildung 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 Stroms, den eine Batterie abgibt, wenn sie an einen Kreis mit vernachlässigbarem Widerstand gelegt wird. Im weiteren Sinne ist es der zeitliche Verlauf des Batteriestroms 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 Primärbatterie, bevor die festgelegte Abschaltspannung erreicht wird

## Leerlaufspannung

der Potenzialunterschied zwischen den Batteriepolen bzw. die Batteriespannung bei geöffnetem Stromkreis (unbelastet) →OCV

## Maximaler 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 im Tadiran Produktkatalog angegebenen Werte ergeben sich bei 6 Pulsen pro Stunde von je 0,5 s Dauer und einem Strom von 10 mA/cm<sup>2</sup>.
- Mittelpunktspannung**  
die Spannung der Batterie nach der Hälfte der Entladung bis zur Abschaltspannung
- Nennkapazität**  
Mittlere Kapazität eines Batterietyps, 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. Die Kapazität und Strombelastbarkeit vervielfachen sich, die Spannung bleibt 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 (PTC = 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. Die Kapazität und der Strom bleiben unverändert, die 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 treten Gas und Flüssigkeit aus.
- Spannungssack**  
vorübergehender Spannungsabfall, wenn eine Batterie mit einem Verbraucher verbunden wird →TMV
- Spezifische Energie**  
→Energie, spezifische
- Strom**  
Der Entladestrom einer Batterie, gemessen in Ampere (A). Für Tadiran Lithiumbatterien werden hier die folgenden Strombereiche verwendet:  
*Kleiner Strom*  
Entladedauer über 2.000 Stunden  
*Mittlerer Strom*  
Entladedauer von 20 bis 2.000 Stunden  
*Hoher Strom*  
Entladedauer unter 20 Stunden
- Stromdichte**  
der Strom bezogen auf die Elektrodenoberfläche
- Stromkollektor**  
Chemisch nicht reagierendes, leitfähiges Bauteil. Es 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**  
Entladung 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 festgelegten Bedingungen entnommen werden kann. Im Tadiran Produktkatalog geben die Schaubilder der verfügbaren Kapazität für verschiedene Ströme in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur einen Hinweis auf den Vertrauensbereich der zu erwartenden Kapazität.
- Wickelbauweise**  
Bezieht sich auf die Elektrodenanordnung in einer zylindrischen Zelle. Dies wird durch Wicklung der Elektroden und des Separators ähnlich wie bei 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 die Grundeinheit hervorgehoben werden soll; anderenfalls wird der Begriff „Batterie“ verwendet.

# Inhaltsverzeichnis

Tadiran Batteries  
Technische Broschüre

<b>Abschnitt</b>	<b>Überschrift</b>	<b>Seite</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1	Tadiran Batteries GmbH	2
1.2	Die Tadiran Lithiumbatterie	2
1.3	Vergleich mit anderen Systemen	3
1.4	Kundennutzen	3
1.5	Anwendungen	3
<b>2</b>	<b>Eigenschaften</b>	<b>4</b>
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
<b>3</b>	<b>Bauweise</b>	<b>10</b>
3.1	Bestandteile und Werkstoffe	10
3.2	Mechanische Bauweise	10
3.3	Chemische Reaktion und Schutzfilm	12
<b>4</b>	<b>Sicherheit</b>	<b>14</b>
4.1	Allgemeines	14
4.2	Bestimmungsgemäßer Gebrauch	14
4.3	Vernünftigerweise vorhersehbarer Fehlgebrauch	15
4.4	Sicherheitshinweise	16
<b>5</b>	<b>Einhaltung von Normen</b>	<b>18</b>
5.1	Underwriters Laboratories	18
5.2	Explosionsgefährdete Bereiche	19
5.3	Militärnormen	19
<b>6</b>	<b>Qualität und Zuverlässigkeit</b>	<b>20</b>
6.1	Unternehmenspolitik	20
6.2	Zertifiziertes Management-System	20
6.3	Kalibrierung und Prüfmittel	20
6.4	Kenzeichnung und Rückverfolgbarkeit	22
6.5	Fertigungsablauf und Prüfplan	22
6.6	Zuverlässigkeit	22
<b>7</b>	<b>Schaltungsbeispiele und Hinweise zum Gebrauch</b>	<b>23</b>
7.1	Pufferschaltungen	23
7.2	Kondensatorunterstützung	23
7.3	Batteriepakete	24
7.4	Lithiumbatterie-Fragebogen	26
7.5	Anwendungsvorschlag und Kapazitätsberechnung	26
7.6	Depassivierung	26
<b>8</b>	<b>Lagerung, Transport, Handhabung und Entsorgung</b>	<b>27</b>
8.1	Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen	27
8.2	Lagerung	27
8.3	Transportvorschriften	27
8.4	Einbau	28
8.5	Entsorgung	28
<b>9</b>	<b>Begriffe</b>	<b>29</b>



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

Ihr Händler: