

	DIN IEC 61982-4 (VDE 0510-33)	
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	

ICS 29.220.20

Einsprüche bis 2010-02-28

Entwurf

**Sekundärbatterien für den Antrieb von Elektrostraßenfahrzeugen –
Teil 4: Prüfung des Leistungsverhaltens von Lithium-Ionen-Zellen
(IEC 21/697/CD:2009)**

Secondary batteries for the propulsion of electric road vehicles –
Part 4: Performance testing for lithium-ion cells
(IEC 21/697/CD:2009)

Accumulateurs pour la propulsion des véhicules routiers électriques –
Partie 4: Essais de performance pour les éléments d'accumulateur lithium-ion
(CEI 21/697/CD:2009)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-12-14 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@vde.com in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 61 Seiten

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Inhalt

	Seite
Einleitung.....	6
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	7
3 Begriffe.....	7
4 Prüfbedingungen.....	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Messgeräte	8
4.2.1 Messbereich der Messeinrichtungen.....	8
4.2.2 Spannungsmessung	8
4.2.3 Strommessung.....	8
4.2.4 Temperaturmessung.....	8
4.2.5 Weitere Messungen.....	9
4.3 Zulässige Grenzabweichungen	9
4.4 Prüftemperatur	9
5 Messung der Maße.....	9
6 Messung der Masse.....	11
7 Elektrische Messung.....	11
7.1 Allgemeine Bedingungen	11
7.2 Kapazität	11
7.3 Einstellung des Ladezustands	11
7.4 Prüfung der Leistungsdichte und der regenerativen Leistungsdichte	12
7.4.1 Prüfverfahren	12
7.4.2 Berechnung der Leistungsdichte	13
7.4.3 Berechnung der regenerativen Leistungsdichte	14
7.5 Energiedichte	15
7.5.1 Prüfverfahren	15
7.5.2 Berechnung der Energiedichte	16
7.6 Lagerungsprüfung.....	17
7.6.1 Ladungshaltungsprüfung	17
7.6.2 Lagerfähigkeitsprüfung	17
7.7 Prüfung der zyklischen Lebensdauer	18
7.7.1 Zyklusprüfung bei Einsatz in Batteriefahrzeugen	18
7.7.2 Zyklusprüfung bei Einsatz in Hybridfahrzeugen	22
7.8 Prüfung des energetischen Wirkungsgrads.....	26
7.8.1 Gemeinsame Prüfungen.....	26

	Seite
7.8.2 Prüfung von Zellen zur Verwendung in Batteriefahrzeugen.....	28
7.8.3 Berechnung des energetischen Wirkungsgrads von Zellen zur Verwendung in Hybridfahrzeugen	28
Anhang A (informativ) Wahlfreie Prüfbedingungen	30
Anhang B (informativ) Prüffolge für die Prüfung der zyklischen Lebensdauer.....	32
 Bilder	
Bild 1.1 – Beispiel für die Temperaturmessung bei einer prismatischen Zelle bzw. einer Flachzelle	9
Bild 1.2 – Beispiel für die Temperaturmessung bei einer zylindrischen Zelle	9
Bild 2.1 – Zylindrische Zelle (a)	10
Bild 2.2 – Zylindrische Zelle (b)	10
Bild 2.3 – Prismatische Zelle (a)	10
Bild 2.4 – Prismatische Zelle (b)	10
Bild 2.5 – Flachzelle (a)	10
Bild 2.6 – Flachzelle (b)	10
Bild 3 – Prüfreihenfolge der Strom-Spannungs-Kennlinienprüfung für den Einsatz in Hybridfahrzeugen	13
Bild 4 – Dynamisches Entladeprofil A für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Batteriefahrzeugen.....	20
Bild 5 – Dynamisches Entladeprofil B für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Batteriefahrzeugen.....	21
Bild 6 – Profil mit häufigen Entladungen für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Hybridfahrzeugen.....	24
Bild 7 – Profil mit häufigen Ladungen für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Hybridfahrzeugen.....	25
Bild 8 – Typisches Schwingen des Ladezustands durch Kombination zweier Profile für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Hybridfahrzeugen	25
 Tabellen	
Tabelle 1 – Entladebedingungen	11
Tabelle 2 – Beispiele für Lade- und Entladestrom bei Bemessungskapazität	12
Tabelle 3 – Dynamisches Entladeprofil A für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Batteriefahrzeugen.....	19
Tabelle 4 – Dynamisches Entladeprofil B für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Batteriefahrzeugen.....	21
Tabelle 5 – Profil mit häufigen Entladungen für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Hybridfahrzeugen.....	23
Tabelle 6 – Profil mit häufigen Ladungen für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Hybridfahrzeugen.....	24
Tabelle A.1 – Bedingungen für die Kapazitätsprüfung	30
Tabelle A.2 – Bedingungen für die Prüfung des Leistungsverhaltens.....	30
Tabelle A.3 – Bedingungen für die Prüfung der zyklischen Lebensdauer.....	30
Tabelle A.4 – Bedingungen für die Prüfung des energetischen Wirkungsgrads bei Anwendung in Batteriefahrzeugen	31

— Entwurf —

E DIN IEC 61982-4 (VDE 0510-33):2009-12

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 21/697/CD:2009 „Secondary batteries for the propulsion of electric road vehicles – Part 4: Performance testing for lithium-ion cells“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 21 „Secondary cells and batteries“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 371 „Akkumulatoren“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050-482	–	–
EN 60051 (alle Teile)	IEC 60051 (alle Teile)	DIN EN 60051 (alle Teile)	–
–	IEC 60485	–	–
EN 61434	IEC 61434	DIN EN 61434	–
EN 61851-1	IEC 61851-1	DIN EN 61851-1 (VDE 0122-1)	VDE 0122-1
–	ISO XXXX (CD 12405-1)	–	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60051-1 (alle Teile), *Direkt wirkende anzeigende elektrische Messgeräte und ihr Zubehör*

DIN EN 61434, *Sekundärzellen und Batterien mit alkalischem oder anderen nicht säurehaltigen Elektrolyten; Richtlinien für die Bestimmung des Stromes in Normen für alkalische Sekundärzellen und Batterien*

DIN EN 61851-1 (VDE 0122-1), *Elektrische Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen – Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge – Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

Sekundärbatterien für den Antrieb von Elektrostraßenfahrzeugen Teil 4: Prüfung des Leistungsverhaltens von Lithium-Ionen-Zellen

Einleitung

Als Reaktion auf die weltweiten Bemühungen zur Senkung des CO₂-Ausstoßes und angesichts der Anforderungen an die Energiesicherheit wurde weltweit die Vermarktung von Elektrostraßenfahrzeugen, darunter Batteriefahrzeuge, Hybridfahrzeuge und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge, vorangetrieben. Dies wiederum hat zu einer zunehmenden Nachfrage nach Traktionsbatterien mit hoher Leistungs- und Energiedichte geführt. Lithium-Ionen-Batterien gelten als eine der vielversprechendsten Sekundärbatteriearten für den Antrieb von Elektrofahrzeugen. In Anbetracht der schnellen Verbreitung von Hybridfahrzeugen und des Aufkommens von Batteriefahrzeugen sowie Plug-in-Hybridfahrzeugen ist ein genormtes Verfahren zur Prüfung der Anforderungen an das Leistungsverhalten von Lithium-Ionen-Batterien für die Sicherstellung eines grundlegenden Leistungsniveaus und die Ermittlung wesentlicher Daten für die Auslegung von Fahrzeugsystemen und Batteriesätzen unerlässlich.

Diese Norm legt die Prüfung des Leistungsverhaltens von Traktions-Lithium-Ionen-Zellen und -Batterien zur Verwendung in Fahrzeugen fest; diese Batterien unterscheiden sich grundsätzlich von anderen Batterien, einschließlich der in weiteren IEC-Normen für tragbare und ortsfeste Anwendungen festgelegten Batterien. Bei der Anwendung in Fahrzeugen ist es wichtig, die spezifische Verwendung zu beachten, also die Vielfalt der Auslegungsmöglichkeiten von Fahrzeugbatteriesätzen und -systemen sowie die speziellen Anforderungen an Zellen und Batterien im Zusammenhang mit diesen Auslegungen. Ausgehend davon soll diese Norm eine grundlegende Prüfmethodologie mit allgemeiner, vielseitiger Anwendbarkeit bereitstellen, die Teil der gemeinsamen Primärprüfung von Lithium-Ionen-Zellen und -Batterien zur Verwendung in verschiedenen Batteriesystemen ist.

Diese Norm steht in Zusammenhang mit ISO XXX, *Road vehicles – Electrically propelled road vehicles – Test specification for lithium-ion battery systems*, in der Prüfungen und entsprechende Anforderungen an Batteriesysteme definiert sind.

In IEC 61982, Teil 1, 2 und 3, sind die allgemeinen Prüfungen des Leistungsverhaltens von Traktionsbatterien beschrieben. Teil 5 legt die Sicherheitsprüfung von Lithium-Ionen-Zellen und -Batterien zur Anwendung in Elektrofahrzeugen fest.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 61982 legt Prüfungen des Leistungsverhaltens und der Lebensdauer von Lithium-Ionen-Sekundärzellen fest, die als Antrieb von Elektrofahrzeugen, einschließlich Batteriefahrzeugen (en: battery electric vehicles, BEV) und Hybridfahrzeugen (en: hybrid electric vehicles, HEV), verwendet werden.

Ziel dieser Norm ist die Festlegung der Prüfverfahren zur Ermittlung der wesentlichen Merkmale von Lithium-Ionen-Zellen für den Antrieb von Fahrzeugen in Bezug auf deren Kapazität, Leistungsdichte, Energiedichte, Lagerfähigkeit und zyklische Lebensdauer.

Diese Norm beschreibt die Norm-Prüfverfahren und -bedingungen für die Prüfung der grundlegenden Leistungsmerkmale von Lithium-Ionen-Zellen für den Antrieb von Fahrzeugen, die für die Sicherstellung eines grundlegenden Leistungsniveaus und die Ermittlung wesentlicher Daten zu Zellen für verschiedene Auslegungen von Batteriesystemen und Batteriesätzen unerlässlich sind.

ANMERKUNG 1 Sofern zwischen Hersteller und Kunden vereinbart, dürfen zusätzlich zu den in dieser Norm festgelegten Prüfbedingungen bestimmte weitere Prüfbedingungen gewählt werden. Diese weiteren möglichen Prüfbedingungen sind in Anhang A beschrieben.

ANMERKUNG 2 Die Prüfungen des Leistungsverhaltens der elektrisch verbundenen Lithium-Ionen-Zellen dürfen unter Bezugnahme auf diese Norm durchgeführt werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60050-482, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 482: Primary and Secondary cells and batteries*

IEC 60051 (alle Teile), *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories*

IEC 60485, *Digital electronic d.c. voltmeters and d.c. electronic analogue-to-digital converters*

IEC 61434, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Guide to the designation of current in alkaline secondary cell and battery standards*

IEC 61851-1, *Electric vehicle conductive charging system – Part 1: General requirements*

[ISOXXXX(CD 12405-1)], *Electrically propelled road vehicles – Test specification for Lithium-Ion traction battery systems – Part 1: High power applications*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in IEC 60050-482 enthaltenen und die folgenden Begriffe.

3.1

Lithium-Ionen-Sekundärzelle

einzelne Sekundärzelle, deren elektrische Energie aus dem Wechselspiel der Ein- und Auslagerung von Lithium-Ionen zwischen der Anode und der Kathode stammt

ANMERKUNG 1 Die Sekundärzelle ist eine funktionelle Grundeinheit, die durch direkte Umwandlung von chemischer Energie eine Quelle für elektrische Energie bereitstellt und aus Elektroden, Separatoren, Elektrolyt, Gehäuse und Anschlusspolen besteht und elektrisch geladen werden kann.

ANMERKUNG 2 In dieser Norm bedeutet „Zelle“ die für den Antrieb von Elektrostraßenfahrzeugen zu verwendende Lithium-Ionen-Zelle.

3.2

Bemessungskapazität

vom Hersteller angegebene Elektrizitätsmenge C_3 Ah (Amperestunden) für Batteriefahrzeuge und C_1 Ah für Hybridfahrzeuge, die eine einzelne Zelle bei Batteriefahrzeugen über einen Zeitraum von 3 h und bei Hybridfahrzeugen über einen Zeitraum von 1 h liefern kann, wenn sie entsprechend den in 7.1 und 7.2 festgelegten Bedingungen geladen, gelagert und entladen wird

3.3

Raumtemperatur

25 °C ± 2 K

3.4

Ladezustand

(en: state of charge, SOC)

verfügbare Kapazität einer Batterie, angegeben als Prozentanteil der Bemessungskapazität

3.5

Batteriefahrzeug

(en: battery electric vehicle, BEV)

Elektrofahrzeug, das als Energiequelle für den Fahrzeugantrieb lediglich über eine Traktionsbatterie verfügt

3.6

Hybridfahrzeug

(en: hybrid electric vehicle, HEV)

Fahrzeug, das für den Antrieb sowohl über ein wiederaufladbares Energiespeichersystem als auch über eine auf Kraftstoff beruhende Energiequelle verfügt

4 Prüfbedingungen

4.1 Allgemeines

Bei der Auswahl der Messeinrichtungen ist IEC 60051 für analoge Geräte und IEC 60485 für digitale Geräte hinzuzuziehen. Einzelheiten zu den verwendeten Einrichtungen sind in den Berichten zu den erzielten Ergebnissen mit anzugeben.

4.2 Messgeräte

4.2.1 Messbereich der Messeinrichtungen

Die verwendeten Messgeräte müssen für die zu messenden Spannungen und Ströme ausgelegt sein. Die Messbereiche der Messgeräte und die Messverfahren müssen entsprechend der für die jeweilige Prüfung geforderten Genauigkeit ausgewählt werden.

Bei analogen Messgeräten bedeutet das, dass die Messung im letzten Drittel der Skala erfolgen muss.

Es darf jedes andere Messgerät verwendet werden, vorausgesetzt, es erreicht eine entsprechende Genauigkeit.

4.2.2 Spannungsmessung

Die für die Spannungsmessung verwendeten Geräte müssen Voltmeter mit der Genauigkeitsklasse 0,5 oder besser sein. Der Innenwiderstand des Voltmeters muss mindestens 1 000 Ω/V betragen.

4.2.3 Strommessung

Die für die Strommessung verwendeten Geräte müssen Amperemeter mit der Genauigkeitsklasse 0,5 oder besser sein. Die innere Beschaltung des Amperemeters sowie Nebenwiderstände und Anschlussdrähte müssen der Genauigkeitsklasse 0,5 oder besser entsprechen.

4.2.4 Temperaturmessung

Die Zelltemperatur muss mit einem Messgerät für die Oberflächentemperatur mit ähnlicher Skaleneinteilung und Genauigkeit wie in 4.1.2 gemessen werden. Die Temperatur sollte an einer Stelle gemessen werden, die möglichst nahe an der Temperatur des Elektrolyten liegt.

Beispiele für die Temperaturmessung sind in Bild 1.1 und Bild 1.2 dargestellt. Die vom Hersteller angegebenen Hinweise zur Temperaturmessung sind zu befolgen.

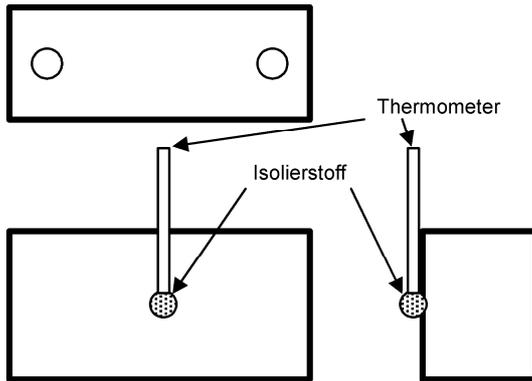


Bild 1.1 – Beispiel für die Temperaturmessung bei einer prismatischen Zelle bzw. einer Flachzelle

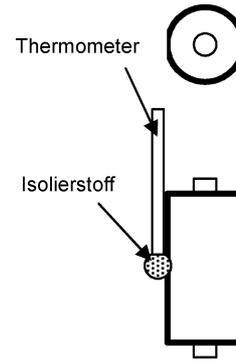


Bild 1.2 – Beispiel für die Temperaturmessung bei einer zylindrischen Zelle

4.2.5 Weitere Messungen

Weitere Werte wie Kapazität und Leistung dürfen mit Hilfe einer Messeinrichtung gemessen werden, sofern diese 4.3 entspricht.

4.3 Zulässige Grenzabweichungen

Die Gesamtgenauigkeit der Regelgrößen oder Messwerte in Bezug auf die festgelegten oder tatsächlichen Werte muss innerhalb der folgenden Grenzen liegen:

- a) Spannung: ± 1 %;
- b) Strom: ± 1 %;
- c) Temperatur: ± 2 K;
- d) Zeit: $\pm 0,1$ %;
- e) Masse: $\pm 0,1$ %;
- f) Maße: $\pm 0,1$ %.

Diese Grenzabweichungen umfassen die kombinierte Genauigkeit der Messgeräte, des angewendeten Messverfahrens und aller übrigen Fehlerquellen des Prüfverfahrens.

4.4 Prüftemperatur

Wenn nicht anders festgelegt, ist die Zelle vor jeder Prüfung mindestens 12 h bei Prüftemperatur zu stabilisieren. Dieser Zeitraum kann verringert werden, wenn thermische Stabilität erreicht ist. Thermische Stabilität gilt als erreicht, wenn nach einem Intervall von 1 h die Änderung sämtlicher einzelnen Zellentemperaturen unter 1 K liegt.

Wenn in dieser Norm nicht anders festgelegt, müssen die Zellen bei Raumtemperatur in offener Atmosphäre mit dem vom Hersteller angegebenen Verfahren geprüft werden.

5 Messung der Maße

Die Größtmaße hinsichtlich Gesamtbreite, -dicke bzw. -durchmesser und -länge einer Zelle sind bis auf drei signifikante Ziffern entsprechend den in 4.3 angegebenen zulässigen Abweichungen zu messen.

Beispiele für Größtmaße sind in Bild 2.1 bis 2.6 angegeben.

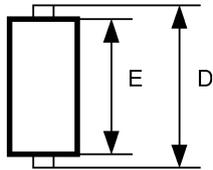
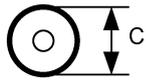


Bild 2.1 – Zylindrische Zelle (a)

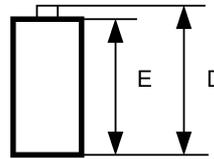


Bild 2.2 – Zylindrische Zelle (b)

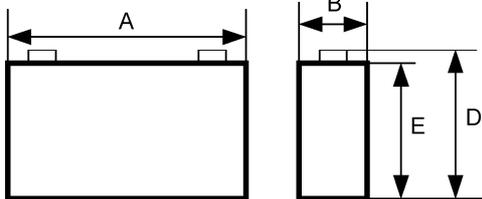


Bild 2.3 – Prismatische Zelle (a)

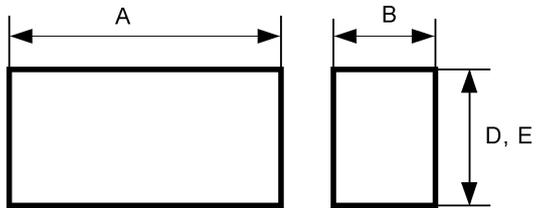


Bild 2.4 – Prismatische Zelle (b)

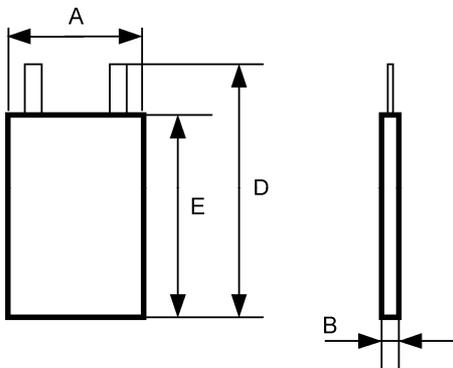


Bild 2.5 – Flachzelle (a)

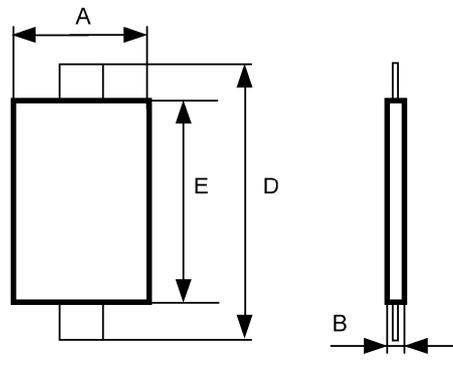


Bild 2.6 – Flachzelle (b)

Dabei ist

- A die Gesamtbreite;
- B die Gesamtdicke;
- C der Durchmesser;
- D die Gesamtlänge (einschließlich Anschlusspole);
- E die Gesamtlänge (ohne Anschlusspole).

6 Messung der Masse

Die Masse einer Zelle wird auf drei signifikante Stellen entsprechend den in 4.3 angegebenen zulässigen Abweichungen gemessen.

7 Elektrische Messung

7.1 Allgemeine Bedingungen

Vor der elektrischen Messung muss die Zelle bei Raumtemperatur und einem in Tabelle 1 angegebenen konstanten Strom auf eine festgelegte Entladeschlussspannung entladen werden.

Wenn in dieser Norm nicht anders festgelegt, müssen die Zellen bei Raumtemperatur und in offener Atmosphäre mit dem vom Hersteller angegebenen Verfahren geladen werden.

7.2 Kapazität

Die Kapazität der Zelle muss unter Einhaltung der folgenden Schritte gemessen werden.

Schritt 1 – Die vollständig geladene Zelle ist bei Raumtemperatur und einem konstanten Strom entsprechend Tabelle 1 auf die vom Hersteller festgelegte Entladeschlussspannung zu entladen. Anschließend ist die Zelle entsprechend den Herstellerangaben bis zum vollständig geladenen Zustand wiederaufzuladen.

Nach dem Wiederaufladen ist die Zelle entsprechend 4.4 zu stabilisieren.

Schritt 2 – Die Zelle ist bei der festgelegten Temperatur und einem konstanten Strom I_t (A) auf die vom Hersteller angegebene Entladeschlussspannung U_t zu entladen. Der Hersteller muss entsprechend Tabelle 1 den Entladestrom und die Entladetemperatur auswählen.

Das Verfahren zur Bezeichnung des Prüfstroms I_t ist in IEC 61434 festgelegt.

Tabelle 1 – Entladebedingungen

Temperatur	Entladestrom (A)	
	Anwendung in Batteriefahrzeugen	Anwendung in Hybridfahrzeugen
0 °C	1/3 I_t	1 I_t
25 °C		
45 °C		

Schritt 3 – Die Entladedauer ist bis zum Erreichen der festgelegten Entladeschlussspannung zu messen, anschließend ist die Kapazität der Zelle in Ah bis auf drei signifikante Stellen zu berechnen. Für Hochleistungszellen zur Anwendung in Batteriefahrzeugen gilt gegebenenfalls ein Entladestrom von 0,2 I_t .

7.3 Einstellung des Ladezustands

Die Prü fzellen sind wie unten festgelegt zu laden. Bei der Einstellung des Ladezustands handelt es sich um den Vorgang, der auszuführen ist, um die Zellen auf die verschiedenen Ladezustände für die Prüfungen nach dieser Norm zu bringen.

Schritt 1 – Die Zelle ist entsprechend der vom Hersteller festgelegten Vorgehensweise auf einen Ladezustand von 100 % zu laden.

Schritt 2 – Die Zelle ist entsprechend 4.4 bei Raumtemperatur ruhen zu lassen.

— Entwurf —

E DIN IEC 61982-4 (VDE 0510-33):2009-12

Schritt 3 – Die Zelle ist bei einem konstanten Strom nach Tabelle 1 über einen Zeitraum von $(100 - n)/100 \times 3$ h für Batteriefahrzeuge und $(100 - n)/100 \times 1$ h für Hybridfahrzeuge zu entladen, wobei n der für jede Prüfung einzustellende Ladezustand (%) ist.

7.4 Prüfung der Leistungsdichte und der regenerativen Leistungsdichte

7.4.1 Prüfverfahren

Die Prüfung ist wie folgt durchzuführen.

a) Messung der Masse

Die Masse der Zelle ist nach Abschnitt 6 zu messen.

b) Messung der Maße

Die Maße der Zelle sind nach Abschnitt 5 zu messen.

c) Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinie

Die Strom-Spannungs-Kennlinien sind durch Messung der Spannung bei 100 s zu bestimmen, wenn unter den unten festgelegten Bedingungen mit einem konstanten Strom entladen und geladen wird.

- 1) Der Ladezustand ist nach der in 7.3 festgelegten Vorgehensweise auf 20 %, 50 % und 80 % einzustellen.
- 2) Die Zelltemperatur bei Prüfbeginn ist auf 40 °C, 25 °C, 0 °C und -20 °C einzustellen.
- 3) Die Zelle ist bei jedem Wert des Stroms zu laden oder zu entladen, der dem jeweiligen Bemessungskapazitätsgrad entspricht, und die Spannung ist bei 10 s zu messen. Der Lade-/Entladestrombereich ist vom Hersteller festzulegen, wobei das Norm-Messintervall 1 s beträgt. Wenn die Spannung nach 10 s die untere Entladegrenzspannung oder die obere Ladegrenzspannung überschreitet, sind die Messdaten nicht zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Die vom Hersteller angegebenen Lade-/Entladegrenzen bei niedrigen Temperaturen sind zu berücksichtigen.

Tabelle 2 zeigt Beispiele für den Lade- und Entladestrom entsprechend der jeweiligen Anwendung. Sofern erforderlich, ist der maximale Strom für Ladung und Entladung (I_{\max}) vom Zellenhersteller anzugeben, wobei die obere Grenze 400 A beträgt. Der maximale Lade- und Entladestrom kann nach der Messung bei $5 I_t$ für Batteriefahrzeuge und $10 I_t$ für Hybridfahrzeuge angelegt werden.

Tabelle 2 – Beispiele für Lade- und Entladestrom bei Bemessungskapazität

Anwendung	Lade- und Entladestrom (A)				
Batteriefahrzeug	$1/3 I_t$	$1 I_t$	$2 I_t$	$5 I_t$	I_{\max}
Hybridfahrzeug	$1/3 I_t$	$1 I_t$	$5 I_t$	$10 I_t$	I_{\max}

- 4) Es sind Unterbrechungen mit einer Dauer von 10 min vorzusehen. Wenn sich jedoch die Zelltemperatur nach 10 min nicht innerhalb eines Bereichs von 2 K einstellt, ist eine weitere Abkühlung vorzunehmen; alternativ ist die Dauer der Unterbrechung zu verlängern, und es ist zu überprüfen, ob sich die Zelltemperatur nun innerhalb eines Bereichs von 2 K einstellt. Anschließend wird mit dem nächsten Entlade- oder Ladevorgang fortgefahren.
- 5) Die Prüfung wird nach dem in Bild 3 gezeigten Schema durchgeführt.

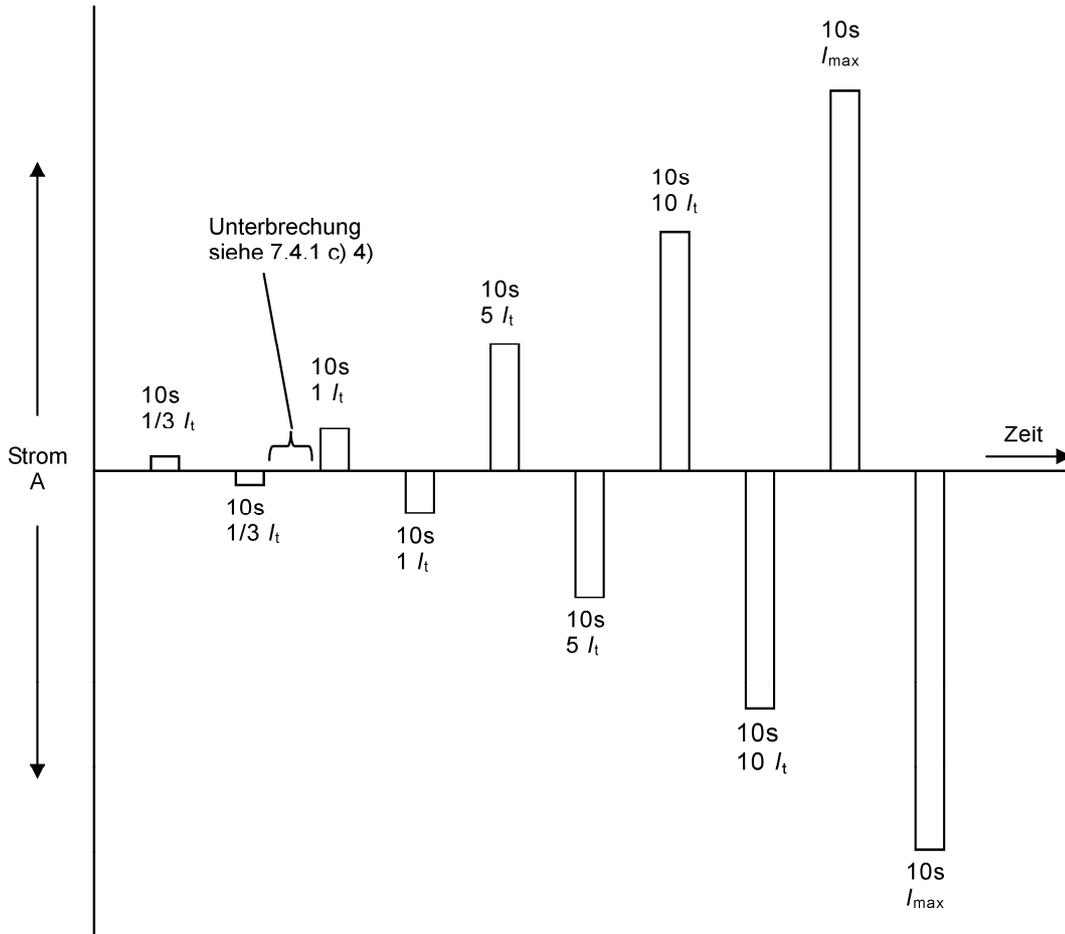


Bild 3 – Prüfreihefolge der Strom-Spannungs-Kennlinienprüfung für den Einsatz in Hybridfahrzeugen

7.4.2 Berechnung der Leistungsdichte

7.4.2.1 Entladestrom

Hierbei handelt es sich um den Entladestrom I_d bei der Berechnung der Leistungsdichte, die einem Ladezustand von 50 % entspricht, wobei die Berechnung unter Anwendung der Strom-Spannungs-Kennlinie erfolgt, die durch Auftragen der Spannung bei 10 s erhalten wird, während bei der in 7.4.1 c) beschriebenen Strom-Spannungs-Kennlinienprüfung mit einem konstanten Strom entladen wird.

Die Strom-Spannungs-Kennlinie wird mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate extrapoliert, und der Wert des Stroms, der der unteren Entladegrenzspannung entspricht, wird bis auf drei signifikante Stellen entsprechend den in 4.3 beschriebenen zulässigen Abweichungen berechnet. Dieser Wert ist in der Leistungsdichterechnung als Entladestrom I_d zu bezeichnen. Die Anzahl der Prüfströme, die innerhalb des Betriebsspannungsbereichs angelegt werden, muss mehr als 4 betragen. Der letzte Spannungspunkt, der mit dem höchsten Strom innerhalb des Betriebsspannungsbereichs gemessen wird, muss innerhalb von $\pm 0,1$ V der unteren Grenzspannung der Zelle liegen.

— Entwurf —

E DIN IEC 61982-4 (VDE 0510-33):2009-12

7.4.2.2 Leistung

Die Leistung ist nach Gleichung (1) zu berechnen und auf drei signifikante Stellen zu runden.

$$W_d = V_d \times I_d \quad (1)$$

Dabei ist

W_d die Leistung (W);

V_d die untere Entladegrenzspannung (V);

I_d der aus der Berechnung der Leistungsdichte erhaltene Entladestrom (A).

7.4.2.3 Leistungsdichte je Masseinheit

Die Leistungsdichte je Masseinheit wird nach Gleichung (2) berechnet und auf drei signifikante Stellen gerundet.

$$P_d = \frac{W_d}{M} \quad (2)$$

Dabei ist

P_d die Leistungsdichte (W/kg);

W_d die Leistung (W);

M die Masse der Zelle (kg).

7.4.2.4 Leistungsdichte je Volumeneinheit

Die volumetrische Leistungsdichte ist nach Gleichung (3) zu berechnen und auf drei signifikante Stellen zu runden.

$$P_{dv} = \frac{W_d}{V_1} \quad (3)$$

Dabei ist

P_{dv} die volumetrische Leistungsdichte (W/l);

W_d die Leistung (W);

V_1 das Volumen der Zelle (l).

Das Volumen einer prismatischen Zelle ist gegeben durch das Produkt aus Gesamthöhe ohne Anschlusspole, Breite und Länge; das Volumen einer zylindrischen Zelle ist gegeben durch das Produkt aus dem Zylinderquerschnitt und der Gesamtlänge ohne Anschlusspole.

7.4.3 Berechnung der regenerativen Leistungsdichte

7.4.3.1 Ladestrom

Hierbei handelt es sich um den Ladestrom I_c bei Berechnung der regenerativen Leistungsdichte, die einem Ladezustand von 50 % entspricht, wobei die Berechnung unter Anwendung der Strom-Spannungs-Kennlinie erfolgt, die durch Auftragen der Spannung bei 10 s erhalten wird, während bei der in 7.4.1 c) beschriebenen Strom-Spannungs-Kennlinienprüfung mit einem konstanten Strom geladen wird. Die Strom-Spannungs-Kennlinie wird mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate extrapoliert, und der Wert des Stroms, der der oberen Ladegrenzspannung entspricht, wird bis auf drei signifikante Stellen berechnet. Dieser Wert ist in der regenerativen Leistungsdichterechnung als Entladestrom I_c zu bezeichnen.

7.4.3.2 Regenerative Leistung

Die regenerative Leistung wird nach Gleichung (4) berechnet und auf drei signifikante Stellen gerundet.

$$W_c = V_c \times I_c \quad (4)$$

Dabei ist

W_c die regenerative Leistung (W);

V_c die obere Ladegrenzspannung (V);

I_c der aus der Berechnung der regenerativen Leistungsdichte erhaltene Ladestrom (A).

7.4.3.3 Regenerative Leistungsdichte je Masseinheit

Die regenerative Leistungsdichte je Masseinheit ist nach Gleichung (5) zu berechnen und auf drei signifikante Stellen zu runden.

$$P_c = \frac{W_c}{M} \quad (5)$$

Dabei ist

P_c die regenerative Leistungsdichte (W/kg);

W_c die regenerative Leistung (W);

M die Masse der Zelle (kg).

7.4.3.4 Regenerative Leistungsdichte je Volumeneinheit

Die volumetrische regenerative Leistungsdichte wird nach Gleichung (6) berechnet und auf drei signifikante Stellen gerundet.

$$P_{cv} = \frac{W_c}{V_1} \quad (6)$$

Dabei ist

P_{cv} die volumetrische regenerative Leistungsdichte (W/l);

W_c die regenerative Leistung (W);

V_1 das Volumen der Zelle (l).

Die Kapazität einer quadratischen Batterie ist gegeben durch das Produkt aus Gesamthöhe ohne Anschlusspole, Breite und Länge; das Volumen einer zylindrischen Batterie ist gegeben durch das Produkt aus dem Zylinderquerschnitt und der Gesamtlänge ohne Anschlusspole.

7.5 Energiedichte

7.5.1 Prüfverfahren

Die Masse-Energiedichte (Wh/kg) und die volumetrische Energiedichte (Wh/l) von Zellen bei einem bestimmten Stromentladevorgang mit $1/3 I_t$ A für die Anwendung in Batteriefahrzeugen und $1 I_t$ A für die Anwendung in Hybridfahrzeugen sind wie folgt zu bestimmen.

a) Messung der Masse

Die Masse der Zelle ist nach Abschnitt 6 zu messen.

E DIN IEC 61982-4 (VDE 0510-33):2009-12

b) Messung der Maße

Die Maße der Zelle sind nach Abschnitt 5 zu messen.

c) Messung der Kapazität

Die Kapazität der Zelle ist nach 7.2 zu bestimmen.

d) Berechnung der mittleren Spannung

Der Wert der mittleren Spannung während der Entladung in der oben genannten Kapazitätsprüfung ist durch Integration der Entladespannung über die Zeit und Dividieren des Ergebnisses durch die Entladedauer zu bestimmen. Eine einfache Möglichkeit der Berechnung der mittleren Spannung bietet das folgende Verfahren: Die Entladespannungen V_1, V_2, \dots, V_n werden alle 5 s ab Beginn der Entladung aufgezeichnet; Spannungen, die innerhalb von 5 s unterhalb der Entladeschlussspannung liegen, werden verworfen. Die mittlere Spannung V_a wird dann mit Hilfe von Gleichung (7) vereinfacht berechnet, wobei das Ergebnis bis auf drei signifikante Stellen abgerundet wird.

$$V_a = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{n} \quad (7)$$

ANMERKUNG Es dürfen mit Hilfe von Messeinrichtungen ermittelte Werte verwendet werden, sofern sich mit den Messeinrichtungen eine ausreichende Genauigkeit erreichen lässt.

7.5.2 Berechnung der Energiedichte

7.5.2.1 Energiedichte je Masseinheit

Die Energiedichte je Masseinheit ist nach Gleichung (8) zu berechnen, wobei das Ergebnis auf drei signifikante Stellen abzurunden ist.

$$D_m = \frac{C_a V_a}{M} \quad (8)$$

Dabei ist

D_m die Energiedichte je Masseinheit (Wh/kg);

C_a die Entladekapazität (Ah) bei $1/3 I_t$ (A) bzw. $1 I_t$ (A);

V_a die mittlere Spannung während des Entladevorgangs (V);

M die Masse der Zelle (kg).

7.5.2.2 Energiedichte je Volumeneinheit

Die volumetrische Energiedichte ist nach Gleichung (9) zu berechnen, wobei das Ergebnis auf drei signifikante Stellen abzurunden ist.

$$D_v = \frac{C_a V_a}{V_l} \quad (9)$$

Dabei ist

D_v die volumetrische Energiedichte (Wh/l);

C_a die Entladekapazität in Ah bei $0,2 I_t$ (A) bzw. $1 I_t$ (A);

V_a die mittlere Spannung während des Entladevorgangs (V);

V_l das Volumen der Zelle (l)

Das Volumen einer prismatischen Zelle ist gegeben durch das Produkt aus Gesamthöhe ohne Anschlusspole, Breite und Länge; das Volumen einer zylindrischen Zelle ist gegeben durch das Produkt aus der Zylinderquerschnittsfläche und der Gesamtlänge ohne Anschlusspole.

7.6 Lagerungsprüfung

7.6.1 Ladungshaltungsprüfung

Die Ladungshaltungseigenschaften einer Zelle bei einem Ladezustand von 50 % sind nach dem folgenden Verfahren zu ermitteln.

Schritt 1 – Die Zelle ist bei Raumtemperatur und einem Entladestrom von $1/3 I_t$ (A) für die Anwendung in Batteriefahrzeugen und $1 I_t$ (A) für die Anwendung in Hybridfahrzeugen auf die Entladeschlussspannung zu entladen.

Schritt 2 – Anschließend sind die Zellen mit dem vom Hersteller festgelegten Verfahren vollständig auf 100 % der Bemessungskapazität zu laden.

Schritt 3 – Die Zelle ist nach dem in 7.3 festgelegten Verfahren auf einen Ladezustand von 50 % zu entladen. Daraufhin ist die Zelle 1 h bei Prüftemperatur zu stabilisieren.

Schritt 4 – Die Zelle ist bei Raumtemperatur und einem Entladestrom von $1/3 I_t$ (A) für die Anwendung in Batteriefahrzeugen und $1 I_t$ (A) für die Anwendung in Hybridfahrzeugen auf die Entladeschlussspannung zu entladen. Diese Entladekapazität ist C_b .

Schritt 5 – Schritt 2 und Schritt 3 sind zu wiederholen, und der Ladezustand der Zelle ist auf 50 % einzustellen.

Schritt 6 – Die Zelle ist 28 Tage bzw. 4 Wochen bei einer Umgebungstemperatur von $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ zu lagern.

Schritt 7 – Die Zelle ist bei Raumtemperatur und einem konstanten Strom von $1/3 I_t$ (A) für die Anwendung in Batteriefahrzeugen und $1 I_t$ (A) für die Anwendung in Hybridfahrzeugen auf die Entladeschlussspannung zu entladen; anschließend ist die Kapazität der Zelle zu messen. Diese Entladekapazität ist C_r .

Das Ladungshaltungsverhältnis ist nach Gleichung (10) zu berechnen.

$$R = \frac{C_r}{C_b} \times 100 \quad (10)$$

Dabei ist

R das Ladungshaltungsverhältnis (%);

C_r die Kapazität der Zelle nach Lagerung (Ah);

C_b die Kapazität der Zelle vor Lagerung (Ah).

7.6.2 Lagerfähigkeitsprüfung

Die Lagerfähigkeit einer Zelle ist wie folgt zu bestimmen.

Schritt 1 – Vor dieser Prüfung sind nach 7.1, 7.2 und 7.4 Kapazität, Leistungsdichte und regenerative Leistungsdichte der Zelle zu bestimmen.

Schritt 2 – Der Ladezustand der Zelle ist nach 7.3 für die Anwendung in Batteriefahrzeugen auf 100 % und für die Anwendung in Hybridfahrzeugen auf 50 % einzustellen. Anschließend ist die Zelle 42 Tage bzw. 6 Wochen bei einer Umgebungstemperatur von $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ zu lagern.

Schritt 3 – Im Anschluss an die Lagerung nach Schritt 2 ist die Zelle nach 4.4 bei Raumtemperatur aufzubewahren und bei einem konstanten Strom von $1/3 I_t$ (A) für die Anwendung in Batteriefahrzeugen und $1 I_t$ (A) für die Anwendung in Hybridfahrzeugen auf die vom Hersteller angegebene Entladeschlussspannung zu entladen. Anschließend ist die Restkapazität (Ah) der Zelle zu bestimmen.

E DIN IEC 61982-4 (VDE 0510-33):2009-12

Schritt 4 – Nach Schritt 3 sind die rückgewinnbare Kapazität, die Leistungsdichte und die regenerative Leistungsdichte der Zelle entsprechend 7.1., 7.2 und 7.4 zu bestimmen.

Schritt 5 – Die Schritte 2, 3 und 4 sind dreimal zu wiederholen.

Nach einer 6-wöchigen Lagerung bei einer Umgebungstemperatur von $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ sind die Änderungen der Restkapazität, der rückgewinnbaren Kapazität, der Leistungsdichte und der regenerativen Leistungsdichte der Zelle zu messen.

Wird die Zelle im Verlauf der Prüfung während einer Unterbrechung, zum Beispiel zur Anpassung der zeitlichen Abfolge der Prüfung, bei Raumtemperatur gelagert, ist die Gesamtdauer dieser Unterbrechung im Prüfbericht anzugeben.

7.7 Prüfung der zyklischen Lebensdauer

Die Prüfung der zyklischen Lebensdauer ist durchzuführen, um den durch Lade-/Entladezyklen verursachten Leistungsabfall der Zelle zu ermitteln.

ANMERKUNG Die Prüffolge für die Prüfung der zyklischen Lebensdauer ist in Anhang B angegeben.

7.7.1 Zyklusprüfung bei Einsatz in Batteriefahrzeugen

Die zyklische Lebensdauer einer zur Anwendung in Batteriefahrzeugen vorgesehenen Zelle ist mit den folgenden Prüfverfahren zu bestimmen.

7.7.1.1 Messung des Anfangsleistungsverhaltens

Vor der Lade-/Entlade-Zyklusprüfung sind Kapazität, dynamische Entladekapazität und Leistung als das Anfangsleistungsverhalten der Zelle zu messen.

– Kapazität

Die Kapazität ist nach 7.2 bei $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ zu messen.

– Dynamische Entladekapazität C_D

Die dynamische Entladekapazität C_D ist bei $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ und $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ zu messen.

Die dynamische Entladekapazität ist definiert durch den zeitlich integrierten Wert des Lade- und Entladestroms, der wie folgt bestätigt wird: Die vollständig geladene Zelle ist wiederholt entsprechend dem in Tabelle 3 und Bild 6 festgelegten dynamischen Entladeprofil zu entladen, bis die Spannung die vom Hersteller festgelegte untere Grenze erreicht.

– Leistung

Die Leistung ist nach 7.4 bei $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ und einem Ladezustand von 50 % zu messen.

7.7.1.2 Lade-/Entladezyklus

a) Temperatur

Die Umgebungstemperatur muss $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ betragen. Zu Beginn des Lade-/Entladezyklus muss die Zelltemperatur $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ betragen.

b) Lade-/Entladezyklus

Ein Zyklus besteht aus der Wiederholung der folgenden Schritte 1 bis 4. Die Ruhezeit zwischen jedem Schritt muss weniger als 4 h betragen.

Der Zyklus ist 28 Tage lang ununterbrochen zu wiederholen. Anschließend ist das Leistungsverhalten der Zelle nach 7.7.1.2 c) zu messen. Dieses Verfahren ist bis zu dem in festgelegten 7.7.1.2 d) Ende der Prüfung zu wiederholen.

Schritt 1 – Die Zelle ist mit Hilfe des vom Hersteller angegebenen Verfahrens vollständig zu entladen.

Schritt 2 – Anschließend ist die Zelle mit dem vom Hersteller angegebenen Verfahren vollständig zu laden. Die Ladezeit muss weniger als 12 h betragen.

Schritt 3 – Daraufhin ist die Zelle entsprechend dem dynamischen Entladeprofil A aus Tabelle 3 und Bild 4 zu entladen, bis die entladene Kapazität einen Wert erreicht, der 80 % der anfänglichen dynamischen Entladekapazität C_D entspricht.

Wenn die Spannung in Schritt 3 die vom Hersteller festgelegte untere Grenze erreicht, ist die Prüfung ungeachtet der Festlegung in 7.7.1.2 d) einzustellen und das Leistungsverhalten der Zelle zu diesem Zeitpunkt entsprechend 7.7.1.2 c) zu messen.

Im folgenden Profil bedeutet Max Leistung % 80 % der maximalen Leistung bei 25 °C und einem Ladezustand von 20 %, wie vom Hersteller festgelegt. Der tatsächlich verwendete Leistungswert ist anzugeben.

Tabelle 3 – Dynamisches Entladeprofil A für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Batteriefahrzeugen

Lade-/Entladevorgang	Dauer s	Verhältnis zu Max Leistung %
1	16	0,0
3	28	+12,5
3	12	+25,0
4	8	-12,5
5	16	0,0
6	24	+12,5
7	12	+25,0
8	8	-12,5
9	16	0,0
10	24	+12,5
11	12	+25,0
12	8	-12,5
13	16	0,0
14	36	+12,5
15	8	+100,0
16	24	+62,5
17	8	-25,0
18	32	+25,0
19	8	-50,0
20	44	0,0

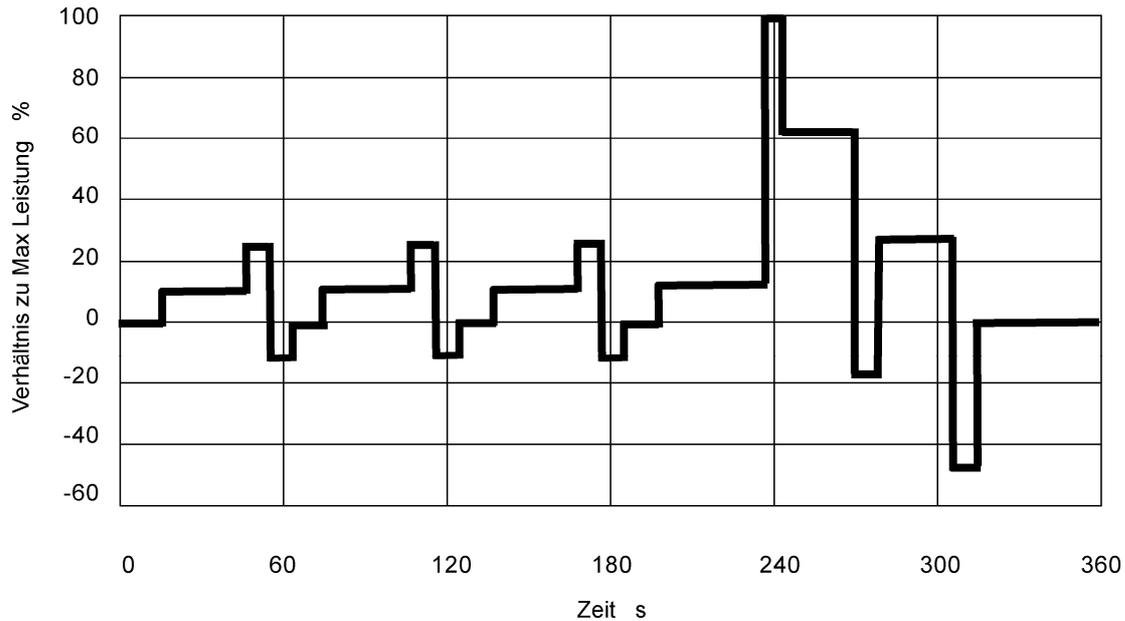


Bild 4 – Dynamisches Entladeprofil A für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Batteriefahrzeugen

Schritt 4 – Die Zelle ist entsprechend dem dynamischen Entladeprofil B (Profil für die Bewältigung eines Anstiegs) aus Tabelle 4 und Bild 5 einmal zu entladen.

Wenn die Spannung in Schritt 3 die vom Hersteller festgelegte untere Grenze erreicht, ist die Prüfung ungeachtet der Festlegung in 7.7.1.2 d) einzustellen und das Leistungsverhalten der Zelle zu diesem Zeitpunkt entsprechend 7.7.1.2 c) zu messen.

Im folgenden Profil bedeutet Max Leistung % 80 % der maximalen Leistung bei 25 °C und einem Ladezustand von 20 %, wie vom Hersteller festgelegt. Der tatsächlich verwendete Leistungswert ist anzugeben.

Falls die Batteriespannung während des Lade-/Entladeschritts 16 die untere Grenzspannung häufig erreicht, können Entladeleistung und -dauer entsprechend verändert werden. Die tatsächlichen Prüfwerte sind entsprechend anzugeben.

Tabelle 4 – Dynamisches Entladeprofil B für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Batteriefahrzeugen

Lade-/Entladeschritt	Dauer s	Verhältnis zu Max Leistung %
1	16	0,0
3	28	+12,5
3	12	+25,0
4	8	-12,5
5	16	0,0
6	24	+12,5
7	12	+25,0
8	8	-12,5
9	16	0,0
10	24	+12,5
11	12	+25,0
12	8	-12,5
13	16	0,0
14	36	+12,5
15	8	+100,0
16	120	+62,5
17	8	-25,0
18	32	+25,0
19	8	-50,0
20	44	0,0

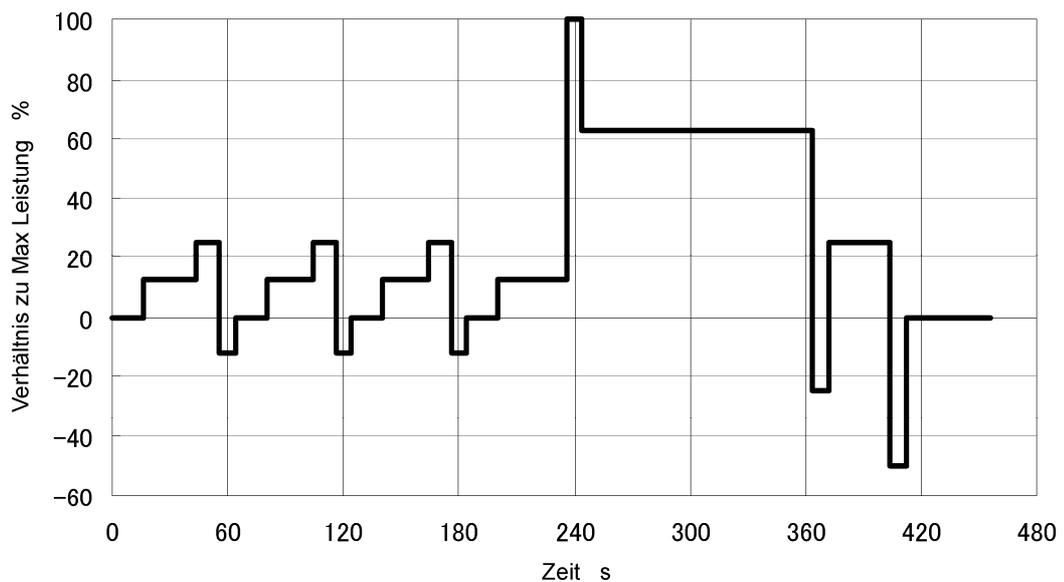


Bild 5 – Dynamisches Entladeprofil B für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Batteriefahrzeugen

E DIN IEC 61982-4 (VDE 0510-33):2009-12

c) Periodische Messung des Leistungsverhaltens

Nach jeder Vollendung der Zyklen über 28 Prüftage ist das Leistungsverhalten der Zelle nach 7.7.1.1 zu messen. Die akkumulierte Zeit aus Schritt 1 bis Schritt 4 in 7.7.1.2 b) ist ebenfalls anzugeben.

d) Beendigung der Prüfung

Die Prüfung der zyklischen Lebensdauer ist zu beenden, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist.

Bedingung A – Die Prüfung in 7.7.1.2 b) wurde 6 Mal wiederholt.

Bedingung B – Einer der in 7.7.1.2 c) gemessenen Werte des Leistungsverhaltens ist auf weniger als 80 % des Anfangswertes gesunken.

7.7.2 Zyklusprüfung bei Einsatz in Hybridfahrzeugen

Die zyklische Lebensdauer einer für die Anwendung in Hybridfahrzeugen vorgesehenen Zelle ist mit den folgenden Prüfverfahren zu bestimmen.

7.7.2.1 Messung des Anfangsleistungsverhaltens

Vor der Lade-/Entlade-Zyklusprüfung sind Kapazität und Leistung als das Anfangsleistungsverhalten der Zelle zu messen.

– Kapazität

Die Kapazität ist nach 7.2 bei $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ zu messen.

– Leistung

Die Leistung ist nach 7.4 bei $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ und einem Ladezustand von 50 % zu messen.

7.7.2.2 Profilschaltspannung

Vor der Prüfung der zyklischen Lebensdauer sind die Schaltspannungen einzustellen, bei denen die in 7.7.2.3 c) festgelegten Profile mit häufigen Ladungen und mit häufigen Entladungen jeweils umzuschalten sind.

a) Schaltspannung von Profil mit häufigen Entladungen zu Profil mit häufigen Ladungen

Der Ladezustand der Zelle ist nach 7.3 auf 30 % einzustellen, anschließend ist die Zyklusprüfung mit dem Profil mit häufigen Entladungen bei 45 °C einmal durchzuführen. Die in dieser Prüfung erreichte niedrigste Spannung ist als die Schaltspannung für die Schaltung vom Profil mit häufigen Entladungen zum Profil mit häufigen Ladungen anzusehen. Wenn die niedrigste erreichte Spannung kleiner ist als die vom Hersteller festgelegte untere Grenzspannung, ist die untere Grenzspannung als die Schaltspannung zu verwenden. Zusätzlich darf der vom Hersteller empfohlene Ladezustand der Zelle verwendet werden.

b) Schaltspannung von Profil mit häufigen Ladungen zu Profil mit häufigen Entladungen

Der Ladezustand der Zelle ist nach 7.3 auf 80 % einzustellen und anschließend die Zyklusprüfung mit dem Profil mit häufigen Ladungen einmal durchzuführen. Die in dieser Prüfung erreichte höchste Spannung ist als die Schaltspannung für die Schaltung vom Profil mit häufigen Ladungen zum Profil mit häufigen Entladungen anzusehen. Wenn die höchste erreichte Spannung größer ist als die vom Hersteller festgelegte obere Grenzspannung, ist die obere Grenzspannung als die Schaltspannung zu verwenden. Zusätzlich darf der vom Hersteller empfohlene Ladezustand der Zelle verwendet werden.

7.7.2.3 Lade-/Entladezyklus

a) Temperatur

Die Umgebungstemperatur muss $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ betragen. Zu Beginn des Lade-/Entladezyklus muss die Zelltemperatur $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ betragen.

b) Einstellung des Ladezustands vor dem Lade-/Entladezyklus

Die Zellen sind bei einer Temperatur von $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ ruhen zu lassen und nach 7.3 innerhalb von 16 h bis 24 h auf einen Ladezustand von 80 % oder den vom Hersteller empfohlenen Ladezustand zu einstellen.

c) Lade-/Entladezyklus

Schritt 1 bis Schritt 4 sind ununterbrochen bis zu dem in 7.7.2.3 e) festgelegten Ende der Prüfung zu wiederholen. Während der Prüfung ist das Leistungsverhalten der Zelle nach 7.7.2.3 d) periodisch zu messen.

Schritt 1 – Der Lade-/Entladezyklus ist wiederholt mit dem in Tabelle 5 und Bild 6 angegebenen Profil mit häufigen Entladungen durchzuführen, bis die Zellenspannung die Schaltspannung nach 7.7.2.2 a) erreicht.

Schritt 2 – Der Lade-/Entladezyklus ist wiederholt mit dem in Tabelle 6 und Bild 7 angegebenen Profil mit häufigen Ladungen durchzuführen, bis die Zellenspannung die Schaltspannung nach 7.7.2.2 b) erreicht.

Schritt 3 – Schritt 1 und Schritt 2 sind über einen Zeitraum von 22 h zu wiederholen.

Schritt 4 – Die Zelle ist 2 h ruhen zu lassen.

Tabelle 5 – Profil mit häufigen Entladungen für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Hybridfahrzeugen

Lade-/Entladeschritt	Dauer s	Strom
1	5	20
2	10	10
3	32	5
4	20	0
5	5	-15
6	10	-10
7	37	-5
8	20	0
9	5	15
10	10	10
11	37	5
12	20	0
13	5	-12,5
14	7	-7,5
15	35	-5
16	42	0

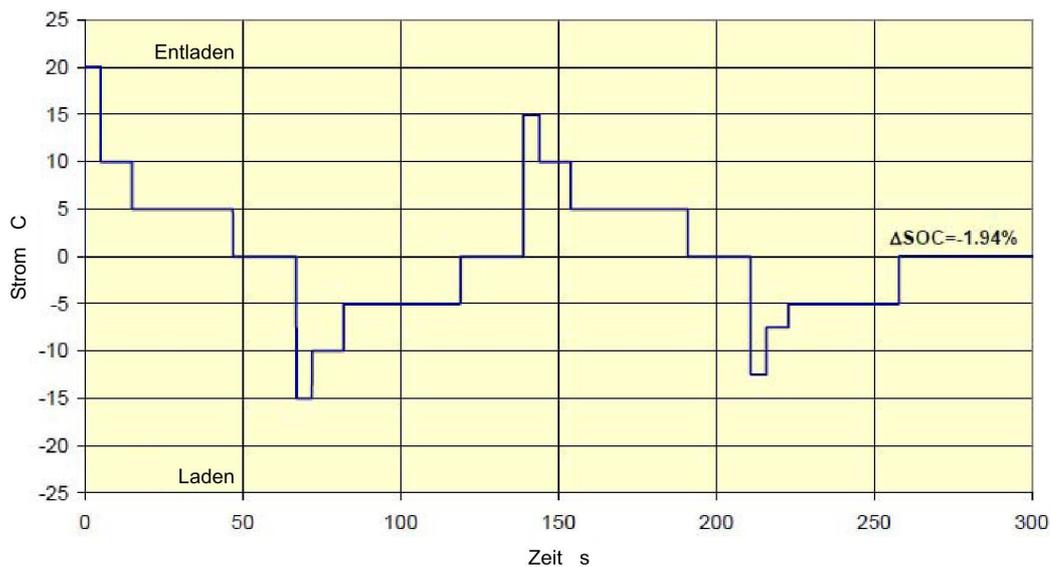


Bild 6 – Profil mit häufigen Entladungen für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Hybridfahrzeugen

Wenn der vom Hersteller festgelegte maximale Strom unter $20 I_t$ liegt, darf dieser im Lade-/Entladeschritt 1 verwendet werden, wobei zugleich der Strom im Lade-/Entladeschritt 6 durch $1/2$ des vom Hersteller festgelegten maximalen Stroms zu ersetzen ist.

Tabelle 6 – Profil mit häufigen Ladungen für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Hybridfahrzeugen

Lade-/Entladeschritt	Dauer s	Strom
1	5	-15
2	10	-10
3	37	-5
4	20	0
5	5	20
6	10	10
7	32	5
8	20	0
9	5	-12,5
10	7	-7,5
11	49	-5
12	20	0
13	5	15
14	10	10
15	23	5
16	42	0

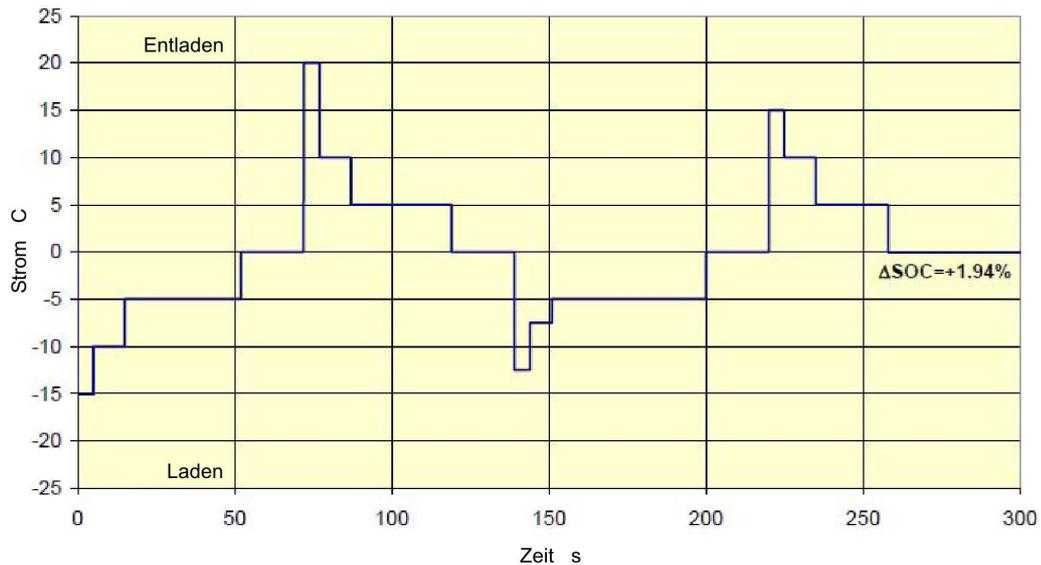


Bild 7 – Profil mit häufigen Ladungen für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Hybridfahrzeugen

Wenn der vom Hersteller festgelegte maximale Strom unter $20 I_t$ liegt, darf dieser im Lade-/Entladeschritt 1 verwendet werden, wobei zugleich der Strom im Lade-/Entladeschritt 6 durch $1/2$ des vom Hersteller festgelegten maximalen Stroms zu ersetzen ist.

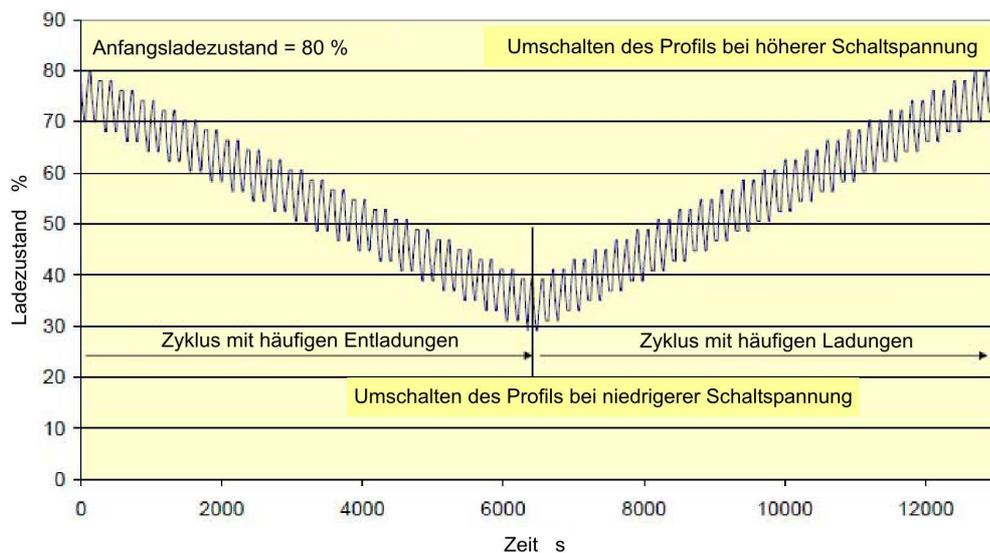


Bild 8 – Typisches Schwingen des Ladezustands durch Kombination zweier Profile für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Hybridfahrzeugen

- d) Periodische Messung des Leistungsverhaltens
 Nach jeder Vollendung der Schritte 1 bis 4 über einen Zeitraum von 7 Tagen ist die Leistung der Zelle nach 7.7.2.1 zu messen. Die Kapazität der Zelle ist alle 14 Tage nach 7.7.2.1 zu messen.
- e) Beendigung der Prüfung
 Die Prüfung der zyklischen Lebensdauer ist zu beenden, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist.
 Bedingung A – Die Prüfung in 7.7.2.3 c) wurde über insgesamt 6 Monate wiederholt.
 Bedingung B – Einer der in 7.7.2.3 d) gemessenen Werte des Leistungsverhaltens ist auf weniger als 80 % des Anfangswertes gesunken.

7.8 Prüfung des energetischen Wirkungsgrads

Der energetische Wirkungsgrad einer Zelle ist durch die beiden in 7.8.1 festgelegten gemeinsamen Prüfungen und eine der in 7.8.2 bzw. 7.8.3 beschriebenen Prüfungen zu bestimmen.

7.8.1 Gemeinsame Prüfungen

7.8.1.1 Prüfung für Normalbedingungen

Diese Prüfung gilt für in Hybridfahrzeugen und in Batteriefahrzeugen verwendete Zellen. Sie ist wie folgt durchzuführen:

- a) Die Zelle ist nach vollständigem Laden mindestens 1 h und höchstens 4 h bei Raumtemperatur ruhen zu lassen. Anschließend ist mit der Prüfung zu beginnen.
- b) Die Zelle ist entsprechend dem in 7.2 festgelegten Verfahren zu entladen.
- c) Prüfung des energetischen Wirkungsgrads bei einem Ladezustand von 100 %
 - 1) Nach dem Entladen entsprechend 7.8.1 b) ist die Zelle 4 h ruhen zu lassen und anschließend mit dem vom Hersteller empfohlenen Verfahren auf 100 % ihrer Entladeelektrizitätsmenge zu laden.
 - 2) Nach dem Laden entsprechend 7.8.1 d) 1) ist die Zelle 4 h ruhen zu lassen und anschließend nach dem in 7.2 festgelegten Verfahren zu entladen.
- d) Prüfung des energetischen Wirkungsgrads bei einem Ladezustand von 70 %
 - 1) Nach dem Entladen entsprechend 7.8.1 b) ist die Zelle 4 h ruhen zu lassen und anschließend mit dem vom Hersteller empfohlenen Verfahren auf 70 % ihrer Bemessungskapazität zu laden.
 - 2) Nach dem Laden entsprechend 7.8.1 d) 1) ist die Zelle 4 h ruhen zu lassen und anschließend nach dem in 7.2 festgelegten Verfahren zu entladen.
- e) Berechnung der Entladeelektrizitätsmenge und der Ladeelektrizitätsmenge

Die Elektrizitätsmenge während des Entladens und Ladens kann mit Hilfe des folgenden Verfahrens berechnet werden: Ab Beginn des Entladevorgangs sind die Entladeströme I in Abständen von s Sekunden ($s \leq 30$) abzulesen; anschließend sind die Entladeelektrizitätsmenge und die Ladeelektrizitätsmenge mit Hilfe von Gleichung (11) zu berechnen.

$$Q = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{3600} \quad (11)$$

s

Dabei ist

- Q die Entladeelektrizitätsmenge bzw. die Ladeelektrizitätsmenge (Ah);
 I_n der Wert des Ladestroms bzw. des Entladestroms bei Punkt n der gemessenen Intervalle (A).
- f) Berechnung der Entladeelektrizitätsmenge und Ladeelektrizitätsmenge

Die Elektrizitätsmenge während des Entladens und Ladens kann mit Hilfe des folgenden Verfahrens berechnet werden: Ab Beginn des Entladevorgangs sind die Entladeströme I und Entladespannungen V in Abständen von s Sekunden ($s \leq 30$) abzulesen; anschließend sind die Entladeelektrizitätsmenge und die Ladeelektrizitätsmenge mit Hilfe von Gleichung (12) zu berechnen.

$$W = \frac{I_1 V_1 + I_2 V_2 + \dots + I_n V_n}{3600} \quad (12)$$

s

Dabei ist

- W die Entladeelektrizitätsmenge bzw. die Ladeelektrizitätsmenge (Wh);
 I_n der Wert des Ladestroms bzw. des Entladestroms bei Punkt n der gemessenen Intervalle (A);

V_n der Wert der Entladespannung bei Punkt n der gemessenen Intervalle (V).

g) Berechnung des energetischen Wirkungsgrads

Mit Hilfe von Gleichung (13) ist der Coulombsche Wirkungsgrad und mit Hilfe von Gleichung (14) der energetische Wirkungsgrad zu bestimmen.

$$\eta_1 = \frac{Q_2}{Q_1} \times 100 \quad (13)$$

Dabei ist

η_1 der Coulombsche Wirkungsgrad (%);

Q_2 die Entladeelektrizitätsmengen nach 7.8.1 (Ah);

Q_1 die Ladeelektrizitätsmengen nach 7.8.1 (Ah).

$$\eta_2 = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad (14)$$

Dabei ist

η_2 der energetische Wirkungsgrad (%);

W_2 die elektrischen Entladeenergien nach 7.8.1 (Wh);

W_1 die elektrischen Ladeenergien nach 7.8.1 (Wh).

ANMKERUNG Es dürfen mit Hilfe von Messeinrichtungen ermittelte Werte verwendet werden, sofern sich mit den Messeinrichtungen eine ausreichende Genauigkeit erreichen lässt.

7.8.1.2 Temperaturprüfung

Diese Prüfung gilt für Zellen, die in Hybrid- und in Batteriefahrzeugen verwendet werden. Sie ist wie folgt durchzuführen.

- a) Die Prüfung ist bei den Temperaturen $-20\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, $0\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ und $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ durchzuführen;
- b) Nach vollständigem Laden ist die Zelle bei Prüftemperatur ruhen zu lassen; mit der Prüfung ist nach einem Zeitraum von mindestens 16 h und höchstens 24 h zu beginnen.
- c) Die Zelle ist nach dem in 7.2 festgelegten Verfahren zu entladen.
- d) Prüfung des energetischen Wirkungsgrads bei einem Ladezustand von 100 %
 - 1) Bei jeder Prüftemperatur ist die Zelle nach dem Entladen entsprechend 7.8.1.2 c) 4 h ruhen zu lassen und anschließend mit dem vom Hersteller empfohlenen Verfahren auf 100 % ihrer Entladeelektrizitätsmenge zu laden.
 - 2) Nach dem Laden entsprechend 7.8.1.2 d) 1) ist die Batterie 4 h ruhen zu lassen und anschließend nach dem in 7.2 festgelegten Verfahren zu entladen.
- e) Mit Hilfe von Gleichung (11) sind die Entladeelektrizitätsmenge und die Ladeelektrizitätsmenge zu berechnen.
- f) Mit Hilfe von Gleichung (12) sind die elektrische Entladeenergie und die elektrische Ladeenergie zu berechnen.
- g) Mit Hilfe von Gleichung (13) und Gleichung (14) sind der Coulombsche und der energetische Wirkungsgrad zu berechnen.

ANMERKUNG Es sind die vom Hersteller festgelegten Lade-/Entladegrenzen bei niedrigen Temperaturen zu berücksichtigen.

7.8.2 Prüfung von Zellen zur Verwendung in Batteriefahrzeugen

Diese Prüfung gilt für Zellen, die in Batteriefahrzeugen verwendet werden und soll den energetischen Wirkungsgrad der Zellen unter Schnellladebedingungen bestimmen. Sie ist wie folgt durchzuführen.

- a) Die Zelle ist nach vollständiger Ladung mindestens 1 h und höchstens 4 h bei Raumtemperatur in der Dampfphase ruhen zu lassen.
- b) Mit Hilfe des in 7.2 festgelegten Verfahrens ist die Zelle zu entladen.
- c) Prüfung des energetischen Wirkungsgrads bei einem Ladezustand von 80 %
 - 1) Nach dem Entladen entsprechend 7.8.2 b) ist die Zelle 4 h ruhen zu lassen und anschließend bei $2 I_t$ auf 80 % ihres Ladezustands zu laden. Falls die Spannung die vom Hersteller festgelegte obere Grenzspannung erreicht hat, ist der Ladevorgang zu beenden.
 - 2) Nach dem Laden entsprechend 7.8.2 c) 1) ist die Zelle mehr als 4 h bis zum Erreichen der Prüftemperatur ruhen zu lassen und anschließend nach dem in 7.2 festgelegten Verfahren zu entladen.
- d) Mit Hilfe von Gleichung (11) sind die Entladeelektrizitätsmenge und die Ladeelektrizitätsmenge zu berechnen.
- e) Mit Hilfe von Gleichung (12) sind die elektrische Entladeenergie und die elektrische Ladeenergie zu berechnen.
- f) Berechnung des energetischen Wirkungsgrads
Mit Hilfe von Gleichung (15) ist der Coulombsche Wirkungsgrad und mit Hilfe von Gleichung (16) der energetische Wirkungsgrad zu bestimmen.

$$\eta_3 = \frac{Q_4}{Q_3} \times 100 \quad (15)$$

Dabei ist

- η_3 der Coulombsche Wirkungsgrad (%);
 Q_4 die Entladeelektrizitätsmengen nach 7.8.3 (Ah);
 Q_3 die Ladeelektrizitätsmengen nach 7.8.3 (Ah).

$$\eta_4 = \frac{W_4}{W_3} \times 100 \quad (16)$$

Dabei ist

- η_4 der energetische Wirkungsgrad (%);
 W_4 die elektrischen Entladeenergien nach 7.8.3 (Wh);
 W_3 die elektrischen Ladeenergien nach 7.8.3 (Wh).

7.8.3 Berechnung des energetischen Wirkungsgrads von Zellen zur Verwendung in Hybridfahrzeugen

Diese Prüfung gilt für Zellen zur Verwendung in Hybridfahrzeugen

- a) Berechnung der elektrischen Ladeenergie und der elektrischen Entladeenergie
Die elektrische Ladeenergie und die elektrische Entladeenergie sind mit Hilfe von Gleichung (17) und Gleichung (18) aus den Ergebnissen der in 7.4 festgelegten Prüfung zu berechnen. Die resultierenden Werte sind auf drei signifikante Stellen abzurunden.
In regelmäßigen Abständen sind die Strom- und Spannungswerte aus den Daten zu bestimmen, die während der Lade-/Entladezyklen erfasst wurden, welche den Lade-/Entlademustern mit der Dauer von $10 I_t \times 10$ s entsprechen. Als Norm-Messintervall ist 1 s zu verwenden. Wenn die Batteriespannung nach

10 s die untere Entladegrenzspannung oder die obere Ladegrenzspannung überschreitet, ist die Prüfung unter Verwendung des Stromwertes in der unteren Stufe von Tabelle 1 durchzuführen und der Stromwert anzugeben, der tatsächlich beobachtet wurde.

$$W_c = \frac{I_{c1}V_{c1} + I_{c2}V_{c2} + \dots + I_{cn}V_{cn}}{3600} \quad (17)$$

Dabei ist

W_c die elektrische Ladeenergie (Wh);

I_{cn} der Wert des Ladestroms bei Punkt n der gemessenen Intervalle (A);

V_{cn} der Wert der Ladespannung bei Punkt n der gemessenen Intervalle (V).

$$W_d = \frac{I_{d1}V_{d1} + I_{d2}V_{d2} + \dots + I_{dn}V_{dn}}{3600} \quad (18)$$

Dabei ist

W_d die elektrische Entladeenergie (Wh);

I_{dn} der Wert des Entladestroms bei Punkt n der gemessenen Intervalle (A);

V_{dn} der Wert der Entladespannung bei Punkt n der gemessenen Intervalle (V);

b) Berechnung des energetischen Wirkungsgrads

Der energetische Wirkungsgrad ist mit Hilfe von Gleichung (19) zu bestimmen.

$$\eta = \frac{W_d}{W_c} \times 100 \quad (19)$$

Dabei ist

η der energetische Wirkungsgrad (%).

Anhang A (informativ)

Wahlfreie Prüfbedingungen

Dieser Anhang stellt zusätzliche und wahlfreie Prüfbedingungen für die Kapazitätsprüfung nach 7.2, die Prüfungen des Leistungsverhaltens nach 7.4 und die Prüfung der zyklischen Lebensdauer nach 7.7 bereit. Die Prüfbedingungen „a“ in Tabelle A.1, Tabelle A.2 und Tabelle A.3 können zusätzlich zu den in dieser Norm festgelegten Prüfbedingungen „r“ gewählt werden, sofern zwischen Hersteller und Kunden vereinbart.

Tabelle A.1 – Bedingungen für die Kapazitätsprüfung

		-20 °C	0 °C	25 °C	45 °C
Anwendung in Batteriefahrzeugen	0,2 I_t	a	a	a	a
	1/3 I_t	a	r	r	r
	1 I_t	a	a	a	a
	5 I_t	a	a	a	a
Anwendung in Hybridfahrzeugen	0,2 I_t	a	a	a	a
	1/3 I_t	a	a	a	a
	1 I_t	a	r	r	r
	10 I_t	a	a	a	a
	I_{max}	a	a	a	a

Eine Abweichung der Daten von mehr als 1 I_t und 1/3 I_t muss angegeben werden.

Tabelle A.2 – Bedingungen für die Prüfung des Leistungsverhaltens

		-20 °C	0 °C	25 °C	40 °C
Anwendung in Batteriefahrzeugen	Ladezustand 20 %	a	a	r	a
	Ladezustand 50 %	r	r	r	r
	Ladezustand 80 %	a	a	r	a
Anwendung in Hybridfahrzeugen	Ladezustand 20 %	a	a	r	a
	Ladezustand 50 %	r	r	r	r
	Ladezustand 80 %	a	a	r	a

Tabelle A.3 – Bedingungen für die Prüfung der zyklischen Lebensdauer

	25 °C	45 °C
Anwendung in Batteriefahrzeugen	a	r
Anwendung in Hybridfahrzeugen	a	r

Tabelle A.4 – Bedingungen für die Prüfung des energetischen Wirkungsgrads bei Anwendung in Batteriefahrzeugen

Ladezustand	Ladestrom	
80 %	$2 I_t$	<i>r</i>
Vom Hersteller empfohlener Ladezustand	Vom Hersteller empfohlener Strom	a

Anhang B (informativ)

Prüffolge für die Prüfung der zyklischen Lebensdauer

Dieser Anhang enthält die Prüffolgen für die in 7.7 festgelegten Prüfungen der zyklischen Lebensdauer.

B.1 Prüffolge für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Batteriefahrzeugen

		Durchführung der Prüfung	Umgebungs- temperatur
7.7.1.1		Messung der Anfangsleistungsverhaltens – Kapazität; – dynamische Entladekapazität C_D ; – Leistung	Raum- temperatur
7.7.1.2 a)		Einstellung der Temperatur auf $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$	45 °C ± 2 K
7.7.1.2 b)	Schritt 1	Vollständiges Entladen	
	Schritt 2	Vollständiges Laden	
	Schritt 3	Wiederholtes Entladen im dynamischen Entladeprofil A, bis die entladene Kapazität 80 % der Anfangs- C_D erreicht	
	Schritt 4	Entladen im dynamischen Entladeprofil B	
		Wiederholung der Schritte 1 bis 4 über einen Zeitraum von 28 Tagen. Wenn die Spannung in Schritt 3 oder 4 die vom Hersteller festgelegte untere Grenze erreicht, ist die Prüfung einzustellen und mit 7.7.1.2 c) fortzufahren	
7.7.1.2 c)		Periodische Messung des Leistungsverhaltens – Kapazität; – dynamische Entladekapazität C_D ; – Leistung	Raum- temperatur
7.7.1.2 d)		Beendigung der Prüfung, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist. Ist keine der beiden Bedingungen erfüllt, ist ab 7.7.1.2 a) zu wiederholen. – 7.7.1.2 b) 6 Mal wiederholt; – einer der in 7.7.1.2 c) gemessenen Werte des Leistungsverhaltens ist auf weniger als 80 % des Anfangswertes gesunken	–

B.2 Prüffolge für die Zyklusprüfung bei Einsatz in Hybridfahrzeugen

		Durchführung der Prüfung	Umgebungs- temperatur
7.7.2.1		Messung des Anfangsleistungsverhaltens – Kapazität; – Leistung	Raum- temperatur
7.7.2.2 a)		Einstellung der Schaltspannung von Profil mit häufigen Entladungen auf Profil mit häufigen Ladungen	45 °C ± 2 K
7.7.2.2 b)		Einstellung der Schaltspannung von Profil mit häufigen Ladungen auf Profil mit häufigen Entladungen	
7.7.2.3 a)		Einstellung der Temperatur auf 45 °C ± 2 K	45 °C ± 2 K
7.7.2.3 b)		Einstellung des Ladezustands auf 80 %	
7.7.2.3 c)	Schritt 1	Wiederholung des Zyklus im Profil mit häufigen Entladungen bis zu der in 7.7.2.2 a) eingestellten Schaltspannung	
	Schritt 2	Wiederholung des Zyklus im Profil mit häufigen Ladungen bis zu der in 7.7.2.2 b) eingestellten Schaltspannung	
	Schritt 3	Wiederholung der Schritte 1 und 2 über einen Zeitraum von 22 h	
	Schritt 4	2 h ruhen lassen	
		Wiederholung der Schritte 1 bis 4	
7.7.2.3 d)		Periodische Messung des Leistungsverhaltens – Kapazität (alle 14 Tage); – Leistung (alle 7 Tage)	Raum- temperatur
7.7.2.3 e)		Beendigung der Prüfung, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist. Ist keine der beiden Bedingungen erfüllt, ist ab 7.7.2.3 a) zu wiederholen. – 7.7.2.3 c) 6 Monate wiederholt; – einer der in 7.7.2.3 d) gemessenen Werte des Leistungsverhaltens ist auf weniger als 80 % des Anfangswertes gesunken	–

CONTENTS

FOREWORD.....	2
INTRODUCTION.....	3
1 Scope.....	4
2 Normative references	4
3 Terms and definitions	5
4 Tests conditions.....	5
4.1 General	5
4.2 Measuring instruments	5
4.3 Tolerance	6
4.4 Test temperature	7
5 Dimension measurement	7
6 Weight measurement.....	8
7 Electrical measurement	8
7.1 General conditions	8
7.2 Capacity.....	8
7.3 SOC adjustment.....	9
7.4 Power density and regenerative power density.....	9
7.4.1 Test method	9
7.4.2 Calculation of power density.....	11
7.4.3 Calculation of regenerative power density	12
7.5 Energy density	13
7.5.1 Test method	13
7.5.2 Calculation of energy density	14
7.6 Storage test.....	14
7.6.1 Charge retention test.....	14
7.6.2 Storage life test.....	14
7.7 Cycle life test	15
7.7.1 BEV cycle test.....	15
7.7.2 HEV cycle test.....	18
7.8 Energy efficiency test	22
7.8.1 Common tests	22
7.8.2 Test for cells of BEV application.....	24
7.8.3 Energy efficiency calculation for cells of HEV application	25
Annex A (informative) Selective test conditions	26
Annex B (informative) Cycle life test sequence	27

SECONDARY BATTERIES FOR THE PROPULSION OF ELECTRIC ROAD VEHICLES –

Part 4: Performance testing for lithium-ion cells

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61982-4 has been prepared by xxxxxxx

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 20XX. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

The commercialisation of electric road vehicles including battery, hybrid and plug-in hybrid electric vehicles has been accelerated in the global market, responding to the global concerns on CO₂ reduction and energy security. This, in turn, has led to rapidly increasing demand for high-power and high-energy density traction batteries. Lithium-ion batteries are estimated to be one of the most promising secondary batteries for the propulsion of electric vehicles. In the light of rapidly diffusing hybrid electric vehicles and emerging battery and plug-in hybrid electric vehicles, a standard method for testing performance requirements of lithium-ion batteries is indispensable for securing a basic level of performance and obtaining essential data for the design of vehicle systems and battery packs.

This standard is to specify performance testing for automobile traction lithium-ion cells and batteries - batteries that basically differ from the other batteries including those for portable and stationary applications specified by the other IEC standards. For automobile application, it is important to note the usage specificity; i.e. the designing diversity of automobile battery packs and systems, and specific requirements for cells and batteries corresponding to each of such designs. Based on these facts, the purpose of this standard is to provide a basic test methodology with general versatility, which serves a function in common primary testing of lithium ion cells and batteries to be used in a variety of battery systems.

This standard is associated with ISOXXX Road vehicles - Electrically propelled road vehicles - Test specification for lithium-ion battery systems that defines tests and related requirements for battery systems.

Parts 1, 2, and 3 of IEC61982 provide generic performance tests of traction batteries. Part 5 specifies the safety testing of lithium-ion cells and batteries for electric vehicle application.

SECONDARY BATTERIES FOR THE PROPULSION OF ELECTRIC ROAD VEHICLES –

Part 4: Performance testing for lithium-ion cells

1 Scope

This part of IEC 61982 specifies performance and life testing of secondary lithium-ion cells used for propulsion of electric vehicles including battery electric vehicles (BEV) and hybrid electric vehicles (HEV).

The objective of this standard is to specify the test procedures to obtain the essential characteristics of lithium-ion cells for vehicle propulsion applications regarding capacity, power density, energy density, storage life and cycle life.

This standard provides the standard test procedures and conditions for testing basic performance characteristics of lithium-ion cells for vehicle propulsion applications, which are indispensable for securing a basic level of performance and obtaining essential data on cells for various designs of battery systems and battery packs.

NOTE 1 Based on the agreement between the manufacturer and the customer, specific test conditions may be selected in addition to the conditions specified in this standard. Selective test conditions are described in Annex A.

NOTE 2 The performance tests for the electrically connected lithium-ion cells may be performed with reference to this standard.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC60050-482, *International Electrotechnical Vocabulary - Part 482: Primary and Secondary cells and batteries*

IEC 60051 (all parts), *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories*

IEC 60485, *Digital electronic d.c. voltmeters and d.c. electronic analogue-to-digital converters*

IEC61434, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes- Guide to the designation of current in alkaline secondary cell and battery standards*

IEC61851-1, *Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements*

(ISOXXXX(CD 12405-1), *Electrically propelled road vehicles - Test specification for Lithium-Ion traction battery systems - Part 1: High power applications*)

3 Terms and definitions

For the purpose of this standard, the definitions contained in IEC 60050-482 and the following apply.

3.1

secondary lithium ion cell

secondary single cell whose electrical energy is derived from the insertion/extraction reactions of lithium ions between the anode and the cathode

NOTE 1 The secondary cell is basic manufactured unit providing a source of electrical energy by direct conversion of chemical energy, that consists of electrodes, separators, electrolyte, container and terminals, and that is designed to be charged electrically.

NOTE 2 In this standard, cell means the secondary lithium ion cell to be used for the propulsion of electric road vehicles.

3.2

rated capacity

quantity of electricity C_3 Ah (ampere-hours) for BEV and C_1 Ah for HEV declared by the manufacturer which a single cell can deliver during a 3-h period for BEV and a 1-h period for HEV, when charged, stored and discharged under the conditions specified in 7.1 and 7.2

3.3

room temperature

25 °C ± 2K

3.4

state of charge (SOC)

the available capacity in a battery expressed as a percentage of rated capacity

3.5

battery electric vehicle (BEV)

electric vehicle with only a traction battery as power source for vehicle propulsion

3.6

hybrid electric vehicle (HEV)

vehicle with both a rechargeable energy storage system and a fuelled power source for propulsion

4 Test conditions

4.1 General

For assistance in selecting instrumentation, see IEC60051 for analogue instruments and IEC60485 for digital instruments. The details of the instrumentation used shall be provided in any report of results.

4.2 Measuring instruments

4.2.1 Range of measuring devices

The instruments used shall enable the values of voltage and current to be measured. The range of these instruments and measuring methods shall be chosen so as to ensure the accuracy specified for each test.

For analogue instruments, this implies that the readings shall be taken in the last third of the graduated scale.

Any other measuring instruments may be used provided they give an equivalent accuracy.

4.2.2 Voltage measurement

The instruments used for voltage measurement shall be voltmeters of an accuracy class equal to 0,5 or better. The resistance of the voltmeters used shall be at least 1 000 Ω /V.

4.2.3 Current measurement

The instruments used for current measurement shall be ammeters of an accuracy class equal to 0,5 or better. The entire assembly of ammeter, shunt and leads shall be of an accuracy class of 0,5 or better.

4.2.4 Temperature measurements

The cell temperature shall be measured by use of a surface temperature measuring device capable of an equivalent scale definition and accuracy of calibration as specified in 4.2.1. The temperature should be measured at a location which most closely reflects the cell temperature.

The examples for temperature measurement are shown in Figure 1.1 and Figure 1.2. The instructions for temperature measurement specified by the manufacturer shall be followed.

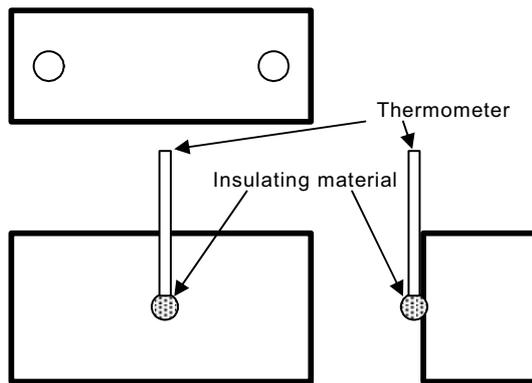


Figure 1.1 - Example of temperature measurement of prismatic or flat cells

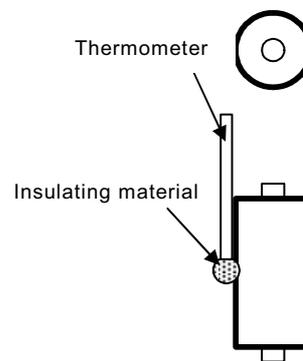


Figure 1.2 - Example of temperature measurement of cylindrical cell

4.2.5 Other measurements

Other values including capacity and power may be measured by use of a measuring device, provided that it complies with 4.3.

4.3 Tolerance

The overall accuracy of controlled or measured values, relative to the specified or actual values, shall be within these tolerances:

- a) $\pm 1\%$ for voltage;
- b) $\pm 1\%$ for current;
- c) $\pm 2\text{K}$ for temperature;
- d) $\pm 0,1\%$ for time;
- e) $\pm 0,1\%$ for mass;
- f) $\pm 0,1\%$ for dimensions.

These tolerances comprise the combined accuracy of the measuring instruments, the measurement technique used, and all other sources of error in the test procedure.

4.4 Test temperature

If not otherwise defined, before each test the cell has to be stabilized at the test temperature for a minimum of 12h. This period can be reduced if thermal stabilization is reached. Thermal stabilization is considered to be reached if after one interval of 1 h, the change among all individual cell temperature is lower than 1K.

Unless otherwise stated in this standard, cells shall be tested at room temperature in an open atmosphere using the method declared by the manufacturer.

5 Dimension measurement

The maximum dimension of the total width, thickness or diameter, and length of a cell shall be measured up to three significant figures in accordance with the tolerances in 4.3.

The examples of maximum dimension are shown in Figures 2.1 to 2.6.

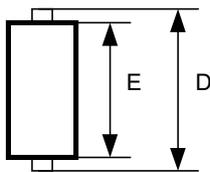


Figure 2.1 - Cylindrical cell (a)

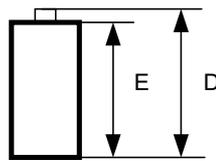


Figure 2.2 - Cylindrical cell (b)

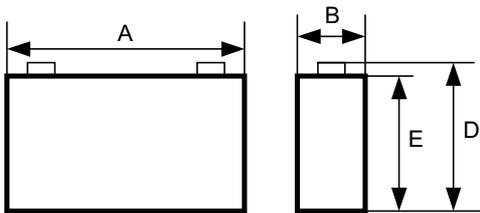


Figure 2.3 - Prismatic cell (a)

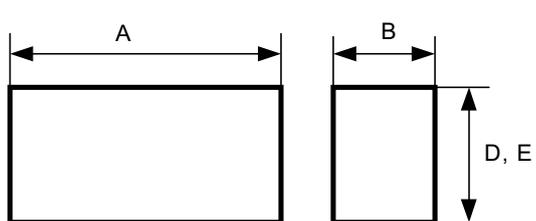


Figure 2.4 - Prismatic cell (b)

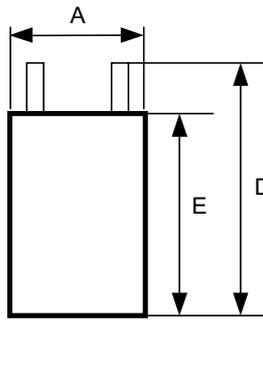


Figure 2.5 - Flat cell (a)

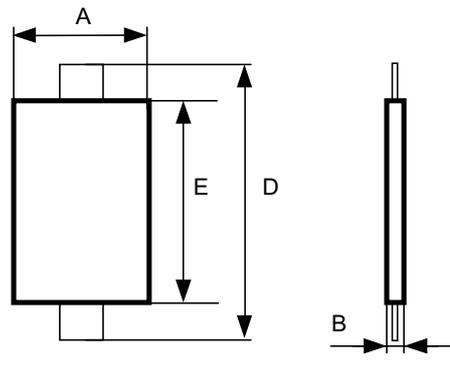


Figure 2.6 - Flat cell (b)

where

- A is total width;
- B is total thickness;
- C is diameter;
- D is total length (including terminals);
- E is total length (excluding terminals).

6 Weight measurement

Weight of a cell is measured up to three significant figures in accordance with the tolerances in 4.3.

7 Electrical measurement

7.1 General conditions

Prior to electrical measurement test, the cell shall be discharged at room temperature at a constant current described in Table 1 down to a specified end-of-discharge voltage.

Unless otherwise stated in this standard, cells shall be charged at room temperature and at open atmosphere using the method declared by the manufacturer.

7.2 Capacity

Capacity of cell shall be measured in accordance with the following steps.

Step 1 - Fully charged cell shall be discharged at room temperature at a constant current described in Table 1, down to the end-of-discharge voltage specified by the manufacturer. Then the cell is recharged in accordance with the manufacturer's specification to the fully charged state.

After recharge, the cell shall be stabilized in accordance with 4.4.

Step 2 - The cell shall be discharged at specified temperature at a constant current I_t (A) to the end-of-discharge voltage of U_f that is provided by the manufacturer. The manufacturer shall select discharge current and temperature indicated in Table 1.

The method of designation of test current I_t is defined in IEC 61434.

Table 1 - Discharge conditions

Temperature	Discharge current (A)	
	BEV application	HEV application
0 °C	1/3 I_t	1 I_t
25 °C		
45 °C		

Step 3 - Measure the discharge duration until the specified end-of discharge voltage is reached, and calculate the capacity of cell expressed in Ah up to three significant figures. 0,2 It discharge current is applicable for large capacity BEV application cell, if necessary.

7.3 SOC adjustment

The test cells shall be charged as specified below. The SOC adjustment is the procedure to be followed for preparing cells to the various SOC's for the tests in this standard.

Step 1 - The cell shall be charged to SOC 100% according to the procedure specified by the manufacturer.

Step 2 - The cell shall be left at rest at room temperature in accordance with 4.4.

Step 3 - The cell shall be discharged at a constant current according to Table 1 for $(100 - n)/100 \times 3$ h for BEV application and $(100 - n)/100 \times 1$ h for HEV application, where n is SOC (%) to be adjusted for each test

7.4 Power density and regenerative power density test

7.4.1 Test method

The test shall be carried out in accordance with the following procedure.

a) Weight measurement

Weight of the cell shall be measured as specified in 6.

b) Dimension measurement

Dimension of the cell shall be measured as specified in 5.

c) Current-voltage characteristic test

Current-voltage characteristics shall be determined by measuring the voltage at 10 s, when a constant current is discharged and charged under the conditions specified below.

- 1) SOC shall be adjusted to 20%, 50 %, and 80% according to the procedure specified in 7.3.
- 2) The cell temperature at test commencement shall be set to 40 °C, 25 °C, 0 °C, and -20 °C.
- 3) The cell is charged or discharged at each value of the current corresponding to the respective rated capacity level, and the voltage is measured at 10 s. The range of the charge and discharge current shall be specified by the manufacturer, and the standard measurement interval shall be 1 s. If the voltage after 10 s exceeds the discharge lower limit voltage or charge upper limit voltage, the measurement data shall be omitted.

NOTE The charge/discharge limits at low temperature specified by the manufacturer shall be taken into account.

Table 2 shows examples of charge and discharge current according to the applications. If it is required, the maximum current for charge and discharge is specified by the cell manufacturer (I_{max}) with an upper limit of 400A. The maximum charge and discharge current can be applied after the measurement at $5 I_t$ for BEV application and $10 I_t$ for HEV application.

Table 2 - Examples of charge and discharge current at rated capacity level

Application	Charge and discharge current (A)				
BEV	$1/3 I_t$	$1 I_t$	$2 I_t$	$5 I_t$	I_{max}
HEV	$1/3 I_t$	$1 I_t$	$5 I_t$	$10 I_t$	I_{max}

- 4) Breaks of 10-min duration shall be provided. However, if the cell temperature after 10 min does not settle within 2 K, it shall be cooled further; alternatively, the break duration shall be extended and it shall be inspected whether the cell temperature then settles within 2K. The next discharging or charging procedure is then proceeded with.
- 5) The test is performed according to the scheme shown in Figure 3.

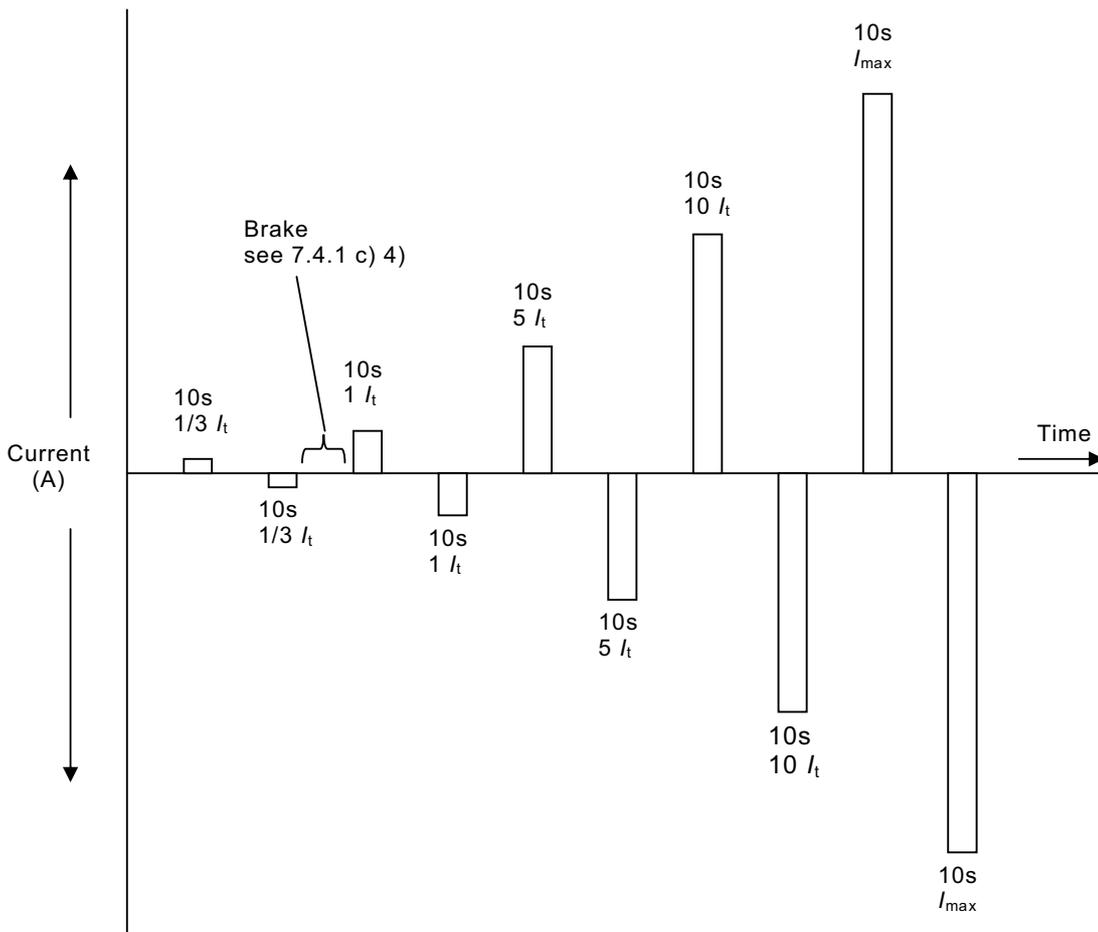


Figure 3 - Test order of the current-voltage characteristic test for HEV application

7.4.2 Calculation of power density

7.4.2.1 Discharge current

Discharge current I_d , when the power density is calculated corresponding to 50 % SOC using the current-voltage characteristics obtained by plotting the voltage at the 10th s while a constant current is discharged during the current-voltage characteristic test described in 7.4.1 c).

The current-voltage characteristic is extrapolated using the least-squares method, and the value of the current corresponding to the discharge lower limit voltage is calculated up to 3 significant figures in accordance with the tolerances in 4.3. This value shall be denoted as discharge current I_d in power density calculation. The number of test currents which are applied within operating voltage range shall be more than 4. The last voltage point which is measured with the largest current within the operating voltage range shall be located within $\pm 0,1$ V of the lower limit voltage of cell.

7.4.2.2 Power

Power shall be calculated according to Formula (1) and rounded to 3 significant figures.

$$W_d = V_d \times I_d \quad (1)$$

where

W_d is the power (W);

V_d is the discharge lower limit voltage (V);

I_d is the discharge current obtained from power density calculation (A).

7.4.2.3 Power density per unit mass

Mass power density is calculated from Formula (2), and is rounded to 3 significant figures.

$$P_d = \frac{W_d}{M} \quad (2)$$

where

P_d is the power density (W/kg);

W_d is the power (W);

M is the mass of cell (kg).

7.4.2.4 Power density per unit volume

Volumetric power density shall be calculated from Formula (3), and is rounded to 3 significant figures.

$$P_{dv} = \frac{W_d}{V_1} \quad (3)$$

where

P_{dv} is the volumetric power density (W / l);

W_d is the power (W);

V_1 is the volume of cell (l).

The volume of a prismatic cell is given by the product of its total height excluding terminals, width, and length, and that of a cylindrical cell is given by the product of the cross section of the cylinder and its total length excluding terminals.

7.4.3 Calculation of regenerative power density

7.4.3.1 Charge current

Charge current I_c , when the regenerative power density is calculated corresponding to 50 %, SOC using the current-voltage characteristics obtained by plotting the voltage at the 10th s while a constant current is charged during the current-voltage characteristic test described in 7.4.1. The current-voltage characteristic is extrapolated using the least-squares method, and the value of the current corresponding to the charge upper limit voltage is calculated up to three significant figures. This value shall be denoted as charge current I_c in regenerative power density calculation.

7.4.3.2 Regenerative power

Regenerative power is calculated according to Formula (4) and rounded to three significant figures.

$$W_c = V_c \times I_c \quad (4)$$

where

W_c is the regenerative power (W);

V_c is the charge upper limit voltage (V);

I_c is the charge current obtained from regenerative power density calculation (A).

7.4.3.3 Regenerative power density per unit mass

Regenerative power density per unit mass shall be calculated from Formula (5) and is rounded to three significant figures.

$$P_c = \frac{W_c}{M} \quad (5)$$

where

P_c is the regenerative power density (W/kg);

W_c is the regenerative power (W);

M is the weight of cell (kg).

7.4.3.4 Regenerative power density per unit volume

Volumetric regenerative power density is calculated from Formula (6) and is rounded to three significant figures.

$$P_{cv} = \frac{W_c}{V_1} \quad (6)$$

where

P_{cv} is the volumetric regenerative power density (W/l);

W_c is the regenerative power (W);

V_1 is the volume of cell (l).

The capacity of a square-shaped battery is given by the product of its total height excluding terminals, width, and length, and that of a cylindrical battery is given by the product of the cross section of the cylinder and its total length excluding terminals.

7.5 Energy density

7.5.1 Test method

Mass energy density (Wh/kg) and volumetric energy density (Wh/l) of cells in a certain current discharge of $1/3 I_t$ A for BEV application and $1 I_t$ A for HEV application shall be determined according to the following procedure.

a) Weight measurement

Weight of the cell shall be measured as specified in 6.

b) Dimension measurement

Dimension of the cell shall be measured as specified in 5.

c) Capacity measurement

Capacity of the cell shall be determined in accordance with 7.2.

d) Average voltage calculation

The value of the average voltage during discharging in the above capacity test shall be obtained by integrating the discharge voltage over time and dividing the result by the discharge duration. The average voltage is calculated in a simple manner using the following method: Discharge voltages V_1, V_2, \dots, V_n are noted every 5 s from the time the discharging starts and voltages that cut off the end of discharge voltage in less than 5 s are discarded. The average voltage V_a is then calculated in a simplified manner using Formula (7) up to three significant figures by rounding off the result.

$$V_a = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{n} \quad (7)$$

NOTE Values provided by measurement devices may be used, if sufficient accuracy can be achieved.

7.5.2 Calculation of energy density

7.5.2.1 Energy density per unit mass

The mass energy density shall be calculated using Formula (8) up to three significant figures by rounding off the result.

$$D_m = \frac{C_a V_a}{M} \quad (8)$$

where

D_m is the mass energy density (Wh/kg);
 C_a is the discharge capacity (Ah) at $1/3 I_t$ (A) or $1 I_t$ (A);
 V_a is the average voltage during discharging (V);
 M is the mass of cell (kg).

7.5.2.2 Energy density per unit volume

The volumetric energy density shall be calculated using Formula (9) up to three significant figures by rounding off the result.

$$D_v = \frac{C_a V_a}{V_l} \quad (9)$$

where

D_v is the volumetric energy density (Wh/l);
 C_a is the discharge capacity in Ah at 0,2 I_t (A) or 1 I_t (A);
 V_a is the average voltage during discharging (V);
 V_l is volume of cell (l).

The volume of prismatic cell shall be given by the product of the total height excluding terminals, width, and length of the cell, and that of cylindrical cells shall be given by the product of the cylindrical cross-sectional area and the total length excluding terminals.

7.6 Storage test

7.6.1 Charge retention test

The charge retention characteristics of cell at a 50 % state of charge shall be determined according to the following procedure.

Step 1 - The cell shall be discharged to the end-of-discharge voltage at a discharge current of 1/3 I_t (A) for BEV application and 1 I_t (A) for HEV application at room temperature.

Step 2 - The cells shall then be fully charged to 100 % of rated capacity according to the procedure specified by the manufacturer.

Step 3 - The cell shall be discharged to 50 % SOC in accordance with the method specified in 7.3. Then, the cell shall be stabilized at test temperature for 1 h.

Step 4 - Discharge the cell to the end-of-discharge voltage at a discharge current of 1/3 I_t (A) for BEV application and 1 I_t (A) for HEV application and at room temperature. This discharge capacity is C_b .

Step 5 - Repeat Steps 2 and 3, and adjust the SOC of cell to 50 %.

Step 6 - The cell shall be stored for 28 days or 4 weeks at an ambient temperature 45 °C ± 2 K.

Step 7 - Discharge the cell at a constant current of 1/3 I_t (A) for BEV application and 1 I_t (A) for HEV application at room temperature until end-of-discharge voltage, and then measure the capacity of cell. This discharge capacity is C_r .

Charge retention ratio shall be calculated according to Formula (10).

$$R = \frac{C_r}{C_b} \times 100 \quad (10)$$

where

R is the charge retention ratio (%);
 C_r is the capacity of cell after storage (Ah);
 C_b is the capacity of cell before storage (Ah).

7.6.2 Storage life test

The storage life of a cell shall be determined according to the following procedure.

Step 1 - Determine the capacity, power density and regenerative power density of cell before this test, in accordance with 7.1, 7.2 and 7.4

Step 2 - Adjust the SOC of cell to 100 % for BEV application, and to 50 % for HEV application in accordance with 7.3. The cell shall then be stored for 42 days or 6 weeks at an ambient temperature $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

Step 3 - Following the storage of Step 2, the cell shall be kept at room temperature according to 4.4 and discharged at a constant current of $1/3 I_t$ (A) for BEV application and $1 I_t$ (A) for HEV application, down to the end-of discharge voltage specified by the manufacturer. Then, determine the retained capacity (Ah) of the cell.

Step 4 - Determine the recovery capacity, power density and regenerative power density of cell after Step 3, in accordance with 7.1, 7.2 and 7.4.

Step 5 - Repeat Step 2 , Step 3 and Step 4 for 3 times.

Changes of the retained capacity, recovery capacity, power density and regenerative power density of cell after each 6 week storage at an ambient temperature $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ shall be measured.

If the cell is stored at room temperature during the test for break such as for test timing adjustment, the total time of such break shall be reported.

7.7 Cycle life test

The cycle life test shall be performed to determine the degradation character of cell by charge and discharge cycles.

NOTE The cycle life test sequence is shown in Annex B.

7.7.1 BEV cycle test

The cycle life performance of cell for BEV application shall be determined by the following test methods.

7.7.1.1 Measurement of initial performance

Before the charge and discharge cycle test, measure the capacity, dynamic discharge capacity, and power as the initial performance of cell.

- Capacity

The capacity shall be measured as specified in 7.2 at $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

- The dynamic discharge capacity C_D

The dynamic discharge capacity C_D shall be measured at $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ and $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

The dynamic discharge capacity is defined by the time integrated value of charge and discharge current confirmed by the following test: Discharge the fully charged cell repeatedly by the dynamic discharge profile specified in Table 3 and Figure 6 until the voltage reaches the lower limit specified by the manufacturer.

- Power

The power shall be measured as specified in 7.4 at $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, 50% SOC.

7.7.1.2 Charge and discharge cycle

a) Temperature

The ambient temperature shall be $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$. At the start of charge and discharge cycle, cell temperature shall be $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

b) Charge and discharge cycle

A single cycle is determined as the repetition of the following steps from 1 to 4. The rest time between each step shall be less than 4h.

The cycle shall be continuously repeated for 28 days. Then, measure the performance of the cell as specified in 7.7.1.2 c). This procedure shall be repeated until the test termination specified in 7.7.1.2 d).

Step 1 - The cell shall be fully discharged by the method specified by the manufacturer.

Step 2 - The cells shall be fully charged by the method specified by the manufacturer. The charge time shall be less than 12 h.

Step 3 - Discharge the cell following the dynamic discharge profile A specified in Table 3 and Figure 4 until the discharged capacity reaches equivalent to 80% of the initial dynamic discharge capacity C_D .

If the voltage reaches the lower limit specified by the manufacturer during Step 3, the test shall be discontinued notwithstanding the stipulation in 7.7.1.2 d), and the cell performance shall be measured at this point as specified in 7.7.1.2 c).

In this profile, the Max Power means 80% of the maximum power at 25 °C and at 20% SOC specified by the manufacturer. Power value actually used shall be reported.

Table 3 - Dynamic discharge profile A for BEV cycle test

Charge/discharge step	Duration s	Ratio to Max Power %
1	16	0,0
2	28	+12,5
3	12	+25,0
4	8	-12,5
5	16	0,0
6	24	+12,5
7	12	+25,0
8	8	-12,5
9	16	0,0
10	24	+12,5
11	12	+25,0
12	8	-12,5
13	16	0,0
14	36	+12,5
15	8	+100,0
16	24	+62,5
17	8	-25,0
18	32	+25,0
19	8	-50,0
20	44	0,0

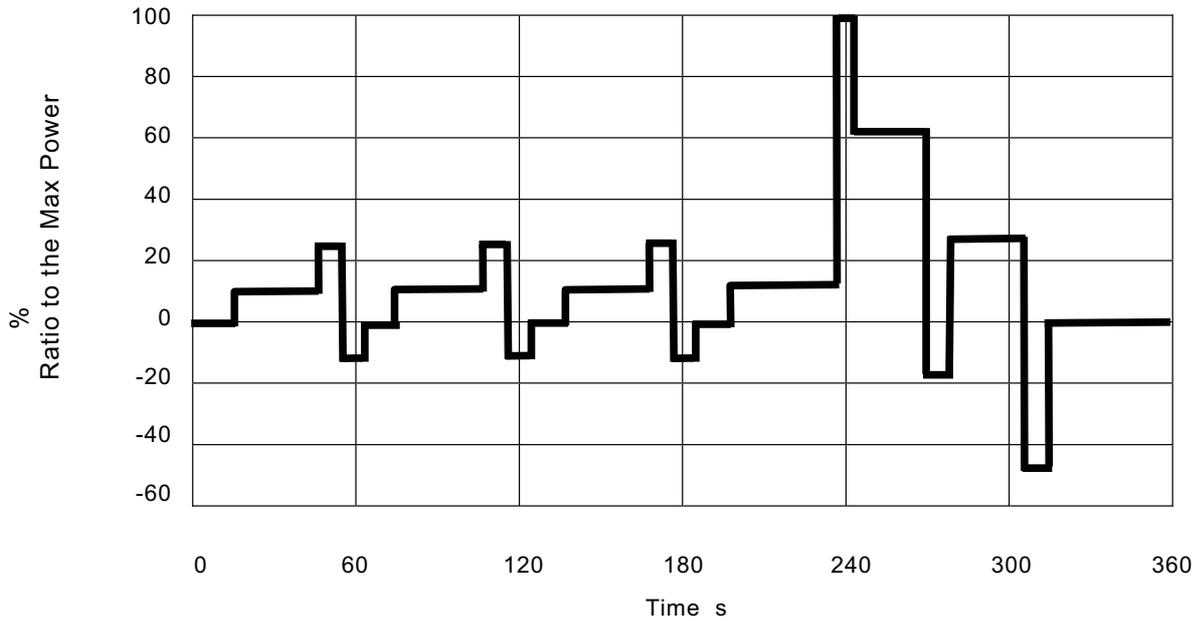


Figure 4- Dynamic discharge profile A for BEV cycle test

Step 4 - Discharge the cell following the dynamic discharge profile B (hill climbing profile) specified in Table 4 and Figure 5 for one time.

If the voltage reaches the lower limit specified by the manufacturer during Step 4, the test shall be discontinued notwithstanding the stipulation in 7.7.1.2 d), and the cell performance shall be measured at this point as specified in 7.7.1.2 c).

In this profile, the Max Power means 80% of the maximum power at 25 °C and at 20% SOC specified by the manufacturer. Power value actually used shall be reported.

If the battery voltage frequently reaches the lower limit voltage during charge/discharge step 16, the discharge power and duration can be changed appropriately. The actual test values shall be reported accordingly.

Table 4 - Dynamic discharge profile B for BEV cycle test

Charge/discharge step	Duration s	Ratio to Max Power
1	16	0,0
2	28	+12,5
3	12	+25,0
4	8	-12,5
5	16	0,0
6	24	+12,5
7	12	+25,0
8	8	-12,5
9	16	0,0
10	24	+12,5
11	12	+25,0
12	8	-12,5
13	16	0,0
14	36	+12,5
15	8	+100,0

16	120	+62,5
17	8	-25,0
18	32	+25,0
19	8	-50,0
20	44	0,0

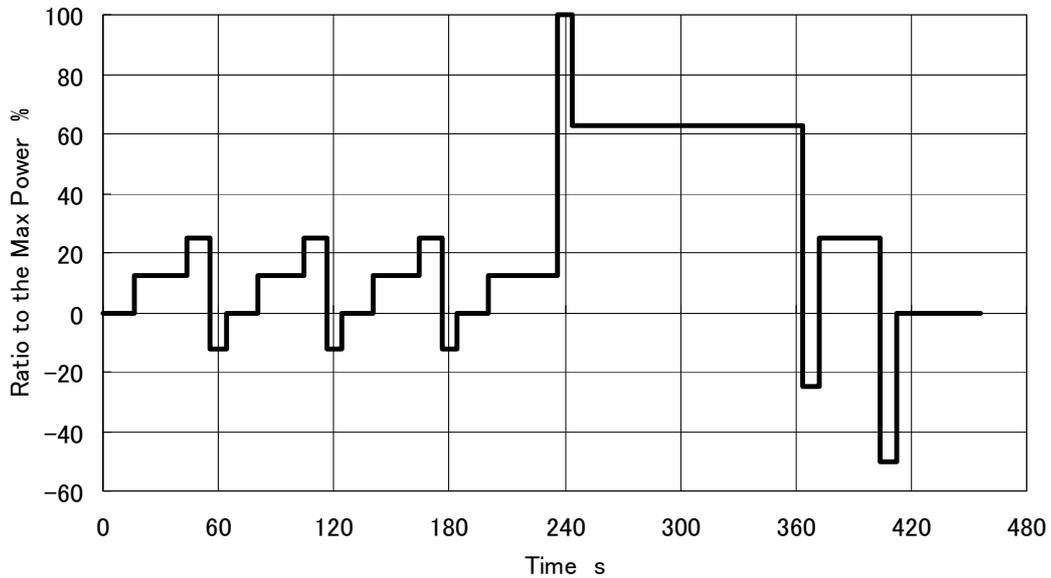


Figure 5 - Dynamic discharge profile B for BEV cycle test

c) Periodical measurement of performance

After every completion of the cycles for 28 test days, the performance of cell shall be measured as specified in 7.7.1.1. The accumulated time from Step 1 to Step 4 in 7.7.1.2 b) shall also be reported.

d) Termination of test

The cycle life test shall be terminated when either of the following conditions is satisfied.

Condition A - The test in 7.7.1.2 b) is repeated 6 times.

Condition B - When any of the performance measured in 7.7.1.2 c) is decreased to less than 80% of the initial value.

7.7.2 HEV cycle test

The cycle life performance of cell for HEV application shall be determined by the following test methods.

7.7.2.1 Measurement of initial performance

Before the charge and discharge cycle test, measure the capacity and power as the initial performance of cell.

- Capacity

The capacity shall be measured as specified in 7.2 at $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$

- Power

The power shall be measured as specified in 7.4 at $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, 50% SOC.

7.7.2.2 Profile switching voltage

Before the cycle life test, set switching voltages at which discharge-rich profile and charge-rich profile specified in 7.7.2.3 c) shall be switched over.

a) Switching voltage from discharge-rich profile to charge-rich profile

Adjust the SOC of cell to 30 % according to 7.3, and then perform the cycle test with discharge-rich profile at 45 °C for one time. The lowest voltage achieved during this test shall be the switching voltage from discharge-rich profile to charge-rich profile. If the achieved lowest voltage is lower than the manufacturer's specified lower limit voltage, the latter shall be the switching voltage. The manufacturer's recommended SOC of cell may be used additionally.

b) Switching voltage from charge-rich profile to discharge-rich profile

Adjust the SOC of cell to 80 % according to 7.3, and then perform the cycle test with charge-rich profile for one time. The highest voltage achieved during this test shall be the switching voltage from charge-rich profile to discharge-rich profile. If the achieved highest voltage is higher than the manufacturer's specified upper limit voltage, the latter shall be used as switching voltage. The manufacturer's recommended SOC of cell may be used additionally.

7.7.2.3 Charge and discharge cycle

a) Temperature

The ambient temperature shall be $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$. At the start of charge and discharge cycle, cell temperature shall be $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

b) Adjustment of SOC before charge and discharge cycle

The cells shall be left at a temperature of $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, and be adjusted to 80% SOC or the manufacturer's recommended SOC within an interval of 16 to 24 h, in accordance with 7.3.

c) Charge and discharge cycle

The procedure from Sep 1 to Step 4 shall be continuously repeated until the test termination specified in 7.7.2.3 e). During the test, the performance of the cell shall be measured periodically as specified in 7.7.2.3 d).

Step 1 - Charge and discharge cycle shall be carried out repeatedly through the discharge-rich profile given by Table 5 and Figure 6 until the cell voltage reaches to the switching voltage set in 7.7.2.2 a).

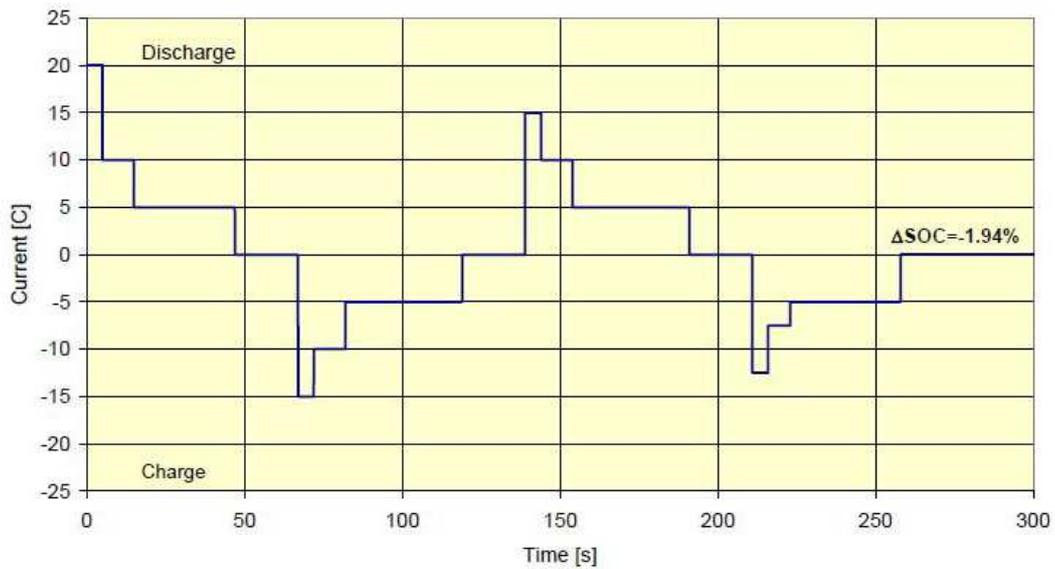
Step 2 - Charge and discharge cycle shall be carried out repeatedly through the charge-rich profile given by Table 6 and Figure 7 until the cell voltage reaches to the switching voltage set in 7.7.2.2 b).

Step 3 - Repeat Step 1 and Step 2 for 22 h.

Step 4 - Rest the cell for 2 h.

Table 5 - Discharge-rich profile for HEV cycle test

Charge/discharge step	Duration s	Current
1	5	20
2	10	10
3	32	5
4	20	0
5	5	-15
6	10	-10
7	37	-5
8	20	0
9	5	15
10	10	10
11	37	5
12	20	0
13	5	-12,5
14	7	-7,5
15	35	-5
16	42	0

**Figure 6 - Discharge-rich profile for HEV cycle test**

If the maximum current specified by the manufacturer is below $20 I_t$, the manufacturer's specified maximum current may be used at charge/discharge step 1, along with replacing the current at charge/discharge step 6 with 1/2 of the manufacturer's specified maximum current.

Table 6 - Charge-rich profile for HEV cycle test

Charge/discharge step	Duration s	Current
1	5	-15
2	10	-10
3	37	-5
4	20	0
5	5	20
6	10	10
7	32	5
8	20	0
9	5	-12,5
10	7	-7,5
11	49	-5
12	20	0
13	5	15
14	10	10
15	23	5
16	42	0

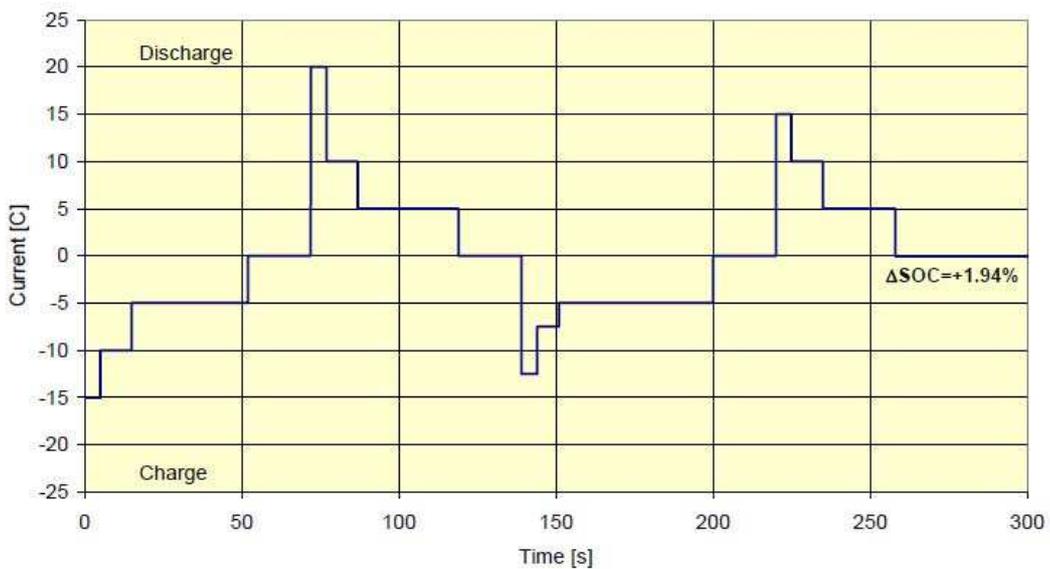


Figure 7 - Charge-rich profile for HEV cycle test

If the maximum current specified by the manufacturer is below $20 I_t$, the manufacturer's specified maximum current may be used at charge/discharge step 1, along with replacing the current at charge/discharge step 6 with 1/2 of the manufacturer's specified maximum current.

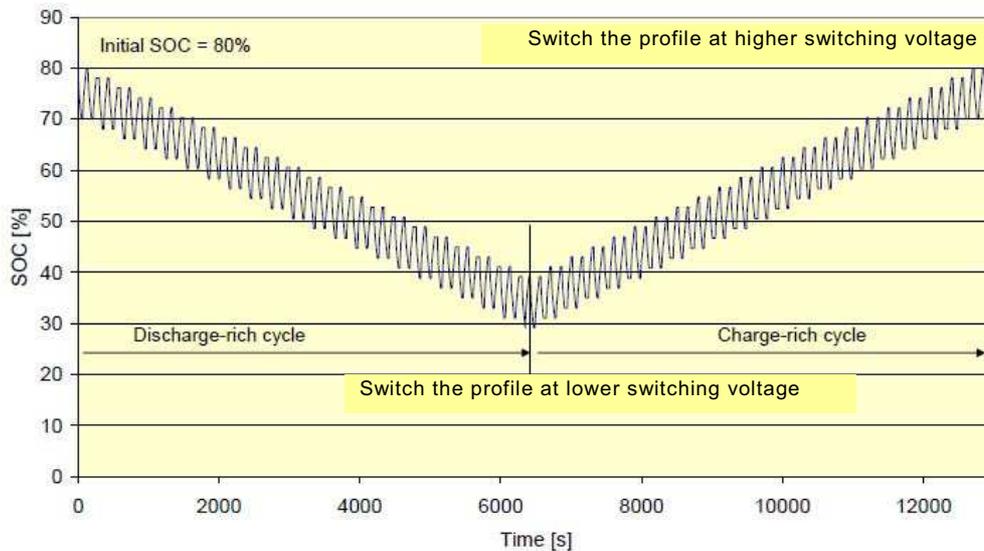


Figure 8 - Typical SOC swing by combination of two profiles for HEV cycle test

d) Periodical measurement of performance

After every completion of the procedure from Step 1 to Step 4 for 7 days, the power of cell shall be measured as specified in 7.7.2.1. The capacity of cell shall be measured every 14 days as specified in 7.7.2.1.

e) Termination of test

The cycle life test shall be terminated when either of the following conditions is satisfied.

Condition A - The test in 7.7.2.3 c) is repeated for a total of 6months.

Condition B - When either of the performance measured in 7.7.2.3 d) is decreased to less than 80% of the initial value.

7.8 Energy efficiency test

Energy efficiency of cells shall be determined by two common tests as specified in 7.8.1 and either of tests described in 7.8.2 and 7.8.3.

7.8.1 Common tests

7.8.1.1 Test for normal conditions

This test is applicable to cells used in HEVs and BEVs. The test shall be carried out in accordance with the following procedure.

- a) The cell shall be left at rest at room temperature for a minimum of 1 h and a maximum of 4 h after full charge. The test shall then be commenced.
- b) Discharge the cell by the method specified in 7.2.
- c) Energy efficiency test at 100% SOC
 - 1) After discharge as described in 7.8.1 b), leave the cell at rest for 4 h, and then charge it to 100% of its discharge electric quantity by the method recommended by the manufacturer.

- 2) After charge as described in 7.8.1 d) 1), leave the cell at rest for 4 h, and then discharge it by the method specified in 7.2.

d) Energy efficiency test at 70% SOC

- 1) After discharge as described in 7.8.1 b), leave the cell at rest for 4 h, and then charge it to 70% of its rated capacity by the method recommended by the manufacturer.
- 2) After charge as described in 7.8.1 d) 1), leave the cell at rest for 4 h, and then discharge it by the method specified in 7.2.

e) Calculation of the discharge electric quantity and charge electric quantity

The electric quantity during the discharge and charge can be calculated using the following method: read the discharge currents I at intervals of s seconds ($s \leq 30$) from the start of the discharge; then, calculate the discharge electric quantity and charge electric quantity using Formula (11).

$$Q = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{3600} \quad (11)$$

s

where

Q is discharge electric quantity or charge electric quantity (Ah)

I_n is charge current value or discharge current value at n point of measured intervals (A).

f) Calculation of the discharge electric energy and charge electric energy

The electric energy during the discharge and charge can be calculated using the following method: read the discharge currents I and the discharge voltages V at intervals of s seconds ($s \leq 30$) from the start of discharge; then, calculate the discharge electric energy and charge electric energy using Formula (12).

$$W = \frac{I_1 V_1 + I_2 V_2 + \dots + I_n V_n}{3600} \quad (12)$$

s

where

W is discharge electric energy or charge electric energy (Wh)

I_n is charge current value or discharge current value at n point of measured intervals (A);

V_n is discharge voltage value at n point of measured intervals (V).

g) Calculation of energy efficiency

Determine the coulomb efficiency using Formula (13) and the energy efficiency using Formula (14).

$$\eta_1 = \frac{Q_2}{Q_1} \times 100 \quad (13)$$

where

η_1 is coulomb efficiency (%);

Q_2 is discharge electric quantities in 7.8.1 (Ah);

Q_1 is charge electric quantities in 7.8.1 (Ah).

$$\eta_2 = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad (14)$$

where

η_2 is energy efficiency (%);
 W_2 is discharge electric energies in 7.8.1 (Wh);
 W_1 is charge electric energies in 7.8.1 (Wh).

NOTE Values provided by measurement devices may be used, if sufficient accuracy can be achieved.

7.8.1.2 Test by temperature

This test is applicable to cells used in HEVs and BEVs. The test shall be carried out in accordance with the following procedure.

- a) Carry out the test at temperatures of -20 ± 2 K, 0 ± 2 K, and 45 ± 2 K.
- b) After full charge, leave the cell at the test temperature, and start testing after a minimum of 16 h and a maximum 24 h.
- c) Discharge the cell by the method specified in 7.2.
- d) Energy efficiency test at 100% SOC
 - 1) At each test temperature, after discharge as described in 7.8.1.2 c), leave the cell at rest for 4 h, and then charge it to 100% of its discharge electric quantity by the method recommended by the manufacturer.
 - 2) After charge as described in 7.8.1.2 d) 1), leave the battery at rest for 4 h, and then discharge it by the method specified in 7.2.
- e) Calculate discharge electric quantity and charge electric quantity using Formula (11).
- f) Calculate discharge electric energy and charge electric energy using Formula (12).
- g) Calculate coulomb efficiency and energy efficiency using Formula (13) and Formula (14).

NOTE The charge/discharge limits at low temperature specified by the manufacturer shall be taken into account.

7.8.2 Test for cells of BEV application

This test is applicable to cells used in BEVs, and intended to determine the energy efficiency of cells under fast charging conditions. The test shall be carried out in accordance with the following procedure.

- a) The cell shall be left at rest at room temperature in the vapor phase for a minimum of 1 h and a maximum of 4 h after full charge. The test shall then be commenced.
- b) Discharge the cell by the method specified in 7.2.
- c) Energy efficiency test at 80% SOC
 - 1) After discharge as described in 7.8.2 b), leave the cell at rest for 4 h, and then charge it to 80% SOC in $2 I_t$. If the voltage reached the upper limit voltage specified by the manufacturer, charging shall be terminated.
 - 2) After charge as described in 7.8.2 c) 1), leave the cell at rest for more than 4 h until the cell has attained the test temperature, and then discharge it by the method specified in 7.2.
- d) Calculate discharge electric quantity and charge electric quantity using Formula (11).

- e) Calculate discharge electric energy and charge electric energy using Formula (12).
- f) Calculation of energy efficiency

Determine the Coulomb efficiency using Formula (15) and the energy efficiency using Formula (16).

$$\eta_3 = \frac{Q_4}{Q_3} \times 100 \quad (15)$$

where

η_3 is coulomb efficiency (%);
 Q_4 is discharge electric quantities in 7.8.3 (Ah);
 Q_3 is charge electric quantities in 7.8.3 (Ah).

$$\eta_4 = \frac{W_4}{W_3} \times 100 \quad (16)$$

where

η_4 is energy efficiency (%);
 W_4 is discharge electric energies in 7.8.3 (Wh);
 W_3 is charge electric energies in 7.8.3 (Wh).

7.8.3 Energy efficiency calculation for cells of HEV application

This test is applicable to cells used in HEVs.

- a) Calculation of the charge electric energy and discharge electric energy.

Calculate the charge and discharge electric energy from the results of the test specified in 7.4 using Formula (17) and Formula (18). Round off the resulting values to three significant figures.

Read current values and voltage values at regular intervals from the current and voltage data collected during the charge and discharge cycles, which correspond to the charge and discharge patterns of duration $10 I_t \times 10$ s. Use the standard measurement interval of 1 s. When the battery voltage after 10 s exceeds the discharge lower limit voltage or the charge upper limit voltage, perform the test using the current value in the lower stage of Table 1, and report the current value that was actually observed.

$$W_c = \frac{I_{c1}V_{c1} + I_{c2}V_{c2} + \dots + I_{cn}V_{cn}}{3600} \quad (17)$$

where

W_c is charge electric energy (Wh);
 I_{cn} is charge current value at n point of measured intervals (A);
 V_{cn} is charge voltage value at n point of measured intervals (V).

$$W_d = \frac{I_{d1}V_{d1} + I_{d2}V_{d2} + \dots + I_{dn}V_{dn}}{3600} \quad (18)$$

where

W_d is discharge electric energy (Wh);
 I_{dn} is discharge current value at n point of measured intervals (A);
 V_{dn} is discharge voltage value at n point of measured intervals (V).

b) Calculation of energy efficiency

Determine the energy efficiency using Formula (19).

$$\eta = \frac{W_d}{W_c} \times 100 \quad (19)$$

where

η is energy efficiency (%)

Annex A
(informative)
Selective test conditions

This annex provides additional and selective conditions for the capacity test specified in 7.2, the power tests in 7.4, and the cycle life test in 7.7. The test conditions "a" as shown in Table A.1, Table A.2 and Table A.3 may be selected, in addition to the conditions "r" specified in this standard, based on the agreement between the manufacturer and the customer.

Table A.1 - Capacity test conditions

		-20 °C	0 °C	25 °C	45 °C
BEV application	0,2 I_t	a	a	a	a
	1/3 I_t	a	r	r	r
	1 I_t	a	a	a	a
	5 I_t	a	a	a	a
HEV application	0,2 I_t	a	a	a	a
	1/3 I_t	a	a	a	a
	1 I_t	a	r	r	r
	10 I_t	a	a	a	a
	I_{max}	a	a	a	a

If the data deviation is larger than that of 1 I_t and 1/3 I_t , it shall be indicated.

Table A.2 - Power test conditions

		-20 °C	0 °C	25 °C	40 °C
BEV application	20% SOC	a	a	r	a
	50% SOC	r	r	r	r
	80% SOC	a	a	r	a
HEV application	20% SOC	a	a	r	a
	50% SOC	r	r	r	r
	80% SOC	a	a	r	a

Table A.3 - Cycle life test conditions

	25 °C	45 °C
BEV application	a	r
HEV application	a	r

Table A.4 - Energy efficiency test for BEV application conditions

SOC	Charge Current	
80%	2 I_t	r
Manufacturer's recommended SOC	Manufacturer's recommended current	a

Annex B (informative) Cycle life test sequence

This annex provides the test sequences of cycle life tests specified in 7.7.

B.1 Test sequence of BEV cycle test

		Test procedure	Ambient temperature
7.7.1.1		Measure the initial performance - Capacity - The dynamic discharge capacity C_D - Power	RT
7.7.1.2 a)		Adjust the temperature to $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$	$45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$
7.7.1.2 b)	Step 1	Fully discharge	
	Step 2	Fully Charge	
	Step 3	Discharge in dynamic discharge profile-A repeatedly until discharged capacity reaches 80% of initial C_D	
	Step 4	Discharge in dynamic discharge profile-B	
		Repeat the procedure from Step 1 to 4 for 28 days. If the voltage reaches the lower limit specified by the manufacturer during Step 3 or Step 4, the test shall be discontinued, and proceed to 7.7.1.2 c).	
7.7.1.2 c)		Periodical measurement of performance - Capacity - The dynamic discharge capacity C_D - Power	RT
7.7.1.2 d)		Terminate the test when either of the following conditions is satisfied. If not satisfied, back to 7.7.1.2 a). - Repeat 7.7.1.2 b) 6 times - Any of the performance measured in 7.7.1.2 c) is decreased to less than 80% of the initial value.	-

B.2 Test sequence of HEV cycle test

		Test procedure	Ambient temperature
7.7.2.1		Measure the initial performance - Capacity - Power	RT
7.7.2.2 a)		Set the switching voltage from discharge-rich profile to charge-rich profile	$45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$
7.7.2.2 b)		Set the switching voltage from charge-rich profile to discharge-rich profile	
7.7.2.3 a)		Adjust the temperature to $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$	$45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$
7.7.2.3 b)		Adjust the SOC to 80%	
7.7.2.3 c)	Step 1	Repeat the cycle in discharge-rich profile until the switching voltage set in 7.7.2.2 a)	
	Step 2	Repeat the cycle in charge-rich profile until the switching voltage set in 7.7.2.2 b)	
	Step 3	Repeat Step 1 and Step 2 for 22 h	
	Step 4	Rest for 2 h	
		Repeat the procedure from Step 1 to Step 4.	
7.7.2.3 d)		Periodical measurement of performance - Capacity (every 14 days) - Power (every 7 days)	RT
7.7.2.3 e)		Terminate the test when either of the following conditions is satisfied. If not satisfied, back to 7.7.1.3 a). - Repeat 7.7.2.3 c) 6 months - Either of the performance measured in 7.7.1.2 c) is decreased to less than 80% of the initial value.	-