

Anforderungen und Prüfungen für Batteriemanagementsystemen in Elektrofahrzeugen

1 Allgemeine Projektinformationen

Autoren

Franziska Berger, Dilane Jordan Dongmo Tadoum, Alexander Blömeke, Dirk Uwe Sauer

Anschrift

CARL | ISEA-ESS

Campus-Boulevard 89

52074 Aachen

E-Mail

batteries@isea.rwth-aachen.de

Datum

08.05.2023

Förderung

Diese Arbeit wurde durch das Verbundprojekt ELSTA – Förderung der Elektromobilität durch Normung und Standardisierung (Förderkennzeichen: 01MV20003A) beauftragt.



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

2 Zusammenfassung

Ein Batteriemanagementsystem (BMS) besteht aus Hardware und Software. Es überwacht zum Schutz der Einzelzellen sicherheitskritische Zellparameter von Batterien in verschiedenen Anwendungen. Neben dieser Funktion als Überwachungs- und Steuerungseinheit übernimmt ein elektronisches (BMS) auch die Aufgabe der Datenkommunikation zur Fahrzeugseite.

Da der Aufbau eines BMS komplex ist und das BMS eine wesentliche Rolle beim Einsatz von Batterien spielt, ist eine Standardisierung des Systems von großer Bedeutung. Es gibt bereits einige Normen und Vorschriften in Deutschland sowie internationale, die sich mit den Thematiken wie Überwachungsschutz, Kommunikation, EMV, funktionale Sicherheit und Umwelteinflüsse befassen. Diese wurden im Rahmen des Projekts recherchiert, den Aufgaben des BMS zugeordnet und in einer Übersicht zusammengefasst. Ebenso wurden die in den Normen nicht abgedeckten Funktionalitäten herausgearbeitet. Ein Einfluss auf die Normung zur Standardisierung von BMS kann das Projekt "Battery Passport" von Partnern aus Industrie und Forschung nehmen. Hierdurch sollen inhaltliche und technische Standards für einen Batteriepass entworfen und in einem Pilotprojekt gezeigt werden.

Für einen Normenentwurf sind außerdem die Definition von Kenngrößen und Zuständen für eine Vergleichbarkeit wichtig. Aus einer Recherche in Normen und Literatur folgte eine Zusammenfassung der Definitionen von verschiedenen Batteriezuständen, wie beispielsweise dem Ladezustand (SoC) und dem Alterungszustand (SoH), sowie verschiedener Prüfvorschriften, die in diesem Zusammenhang angewendet werden können. Außerdem wurden verschiedene Herausforderungen für eine einheitliche Definition der Zustände herausgearbeitet.

Die Ergebnisse helfen dabei, die Standardisierung von BMS voranzutreiben, um u.a. eine Möglichkeit der Anwendung von gealterten Batteriesystemen in Second-Life-Anwendungen zu ermöglichen.

3 Beschreibung des Projektes

Elektrofahrzeuge sollen konventionell betriebene Fahrzeuge ersetzen, um künftig von fossilen Brennstoffen unabhängig zu werden und um lokale Emissionen sowie den Kohlendioxid-Ausstoß zu reduzieren. Weiterhin sorgen geringere Verluste im Antriebsstrang für eine verbesserte Energieeffizienz und rekuperationsgestütztes Bremsen für eine geringe Feinstaubbelastung.

Durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs und der Forderung nach Erhöhung der Reichweiten besteht der Trend, elektrische Fahrzeuge mit immer funktionsfähigeren Batteriemanagementsystemen (BMS) auszustatten, die neuen Anforderungen wie z.B. eine Wiederverwendung in weiteren Nutzungsfällen ("Second Life") oder Warnungen gegen thermische Risiken ("thermische Propagation") darstellen sollen. Das Batteriemangement spielt somit über den gesamten Produktlebenszyklus eine wesentliche Rolle und kann eine nachhaltige Nutzung der Batterien, auch über die Verwendung im Automobil hinaus, ermöglichen.

Dazu ist es notwendig, Anforderungen an diese Steuergeräte zu stellen, die einen Mindeststandard an BMS hinsichtlich Funktionalität, Sicherheit, Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen, Schnittstellen, Datensicherheit und anderen Faktoren definieren. Ferner sollten Prüfverfahren standardisiert sein, um die Leistungsfähigkeit anhand einer transparenten Metrik vergleichbar zu machen. Es ist aus diesem Grund wichtig, eine Norm zu erarbeiten, welche den derzeitigen Stand der Technik systematisch niederschreibt und damit hilft, weitere Skaleneffekte für Batteriemanagementsysteme zu heben.

Dafür sollen im Rahmen dieses Projektes der Stand der Technik zu Anforderungen an Batteriemanagementsystemen ermittelt und bereits existierende Normen und Prüfvorschriften analysiert werden. Neben bereits bestehenden Normen sind für die Erstellung einer DIN-Norm auch die in absehbarer Zeit anstehenden Einführungen von Richtlinien von Bedeutung.

4 Kurzdarstellung der Ergebnisse

4.1 Übersicht über die existierenden Normen für BMS in Straßenfahrzeugen

4.1.1 Batteriemangement und seine Funktionalitäten

Der DIN-Norm *DIN EN 62620* zufolge ist das BMS ein: „mit einer Batterie verbundenes elektronisches System, das deren Zustand überwacht und/oder steuert, Sekundärdaten berechnet, diese Daten ausgibt und/oder die Umgebung regelt, um die Sicherheit, Leistung und/oder Lebensdauer der Batterie zu beeinflussen, und dass Funktionen zum Abschalten bei Überladung, Überstrom und Überhitzung hat.“ Die Funktionalitäten eines BMS für Straßenfahrzeuge sind in **Error! Reference source not found.** zusammengefasst.

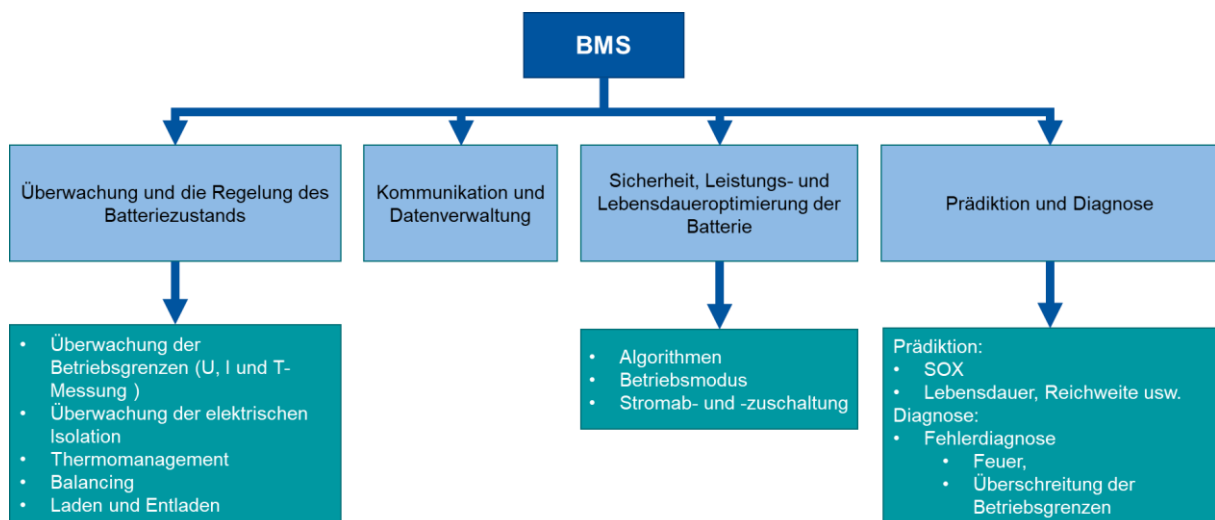


Abbildung 1: Funktionalitäten eines BMS für Straßenfahrzeuge

Wie in **Error! Reference source not found.** dargestellt, unterteilen sich die Anforderungen an ein BMS in funktionale und nicht-funktionale Anforderungen. Nicht-funktionale Anforderungen beziehen sich auf Hardware und Software, wohingegen Kommunikation, Überwachung, Diagnose, Datenverwaltung und Lade- und Entlademanagement zu den funktionalen Anforderungen zählen.

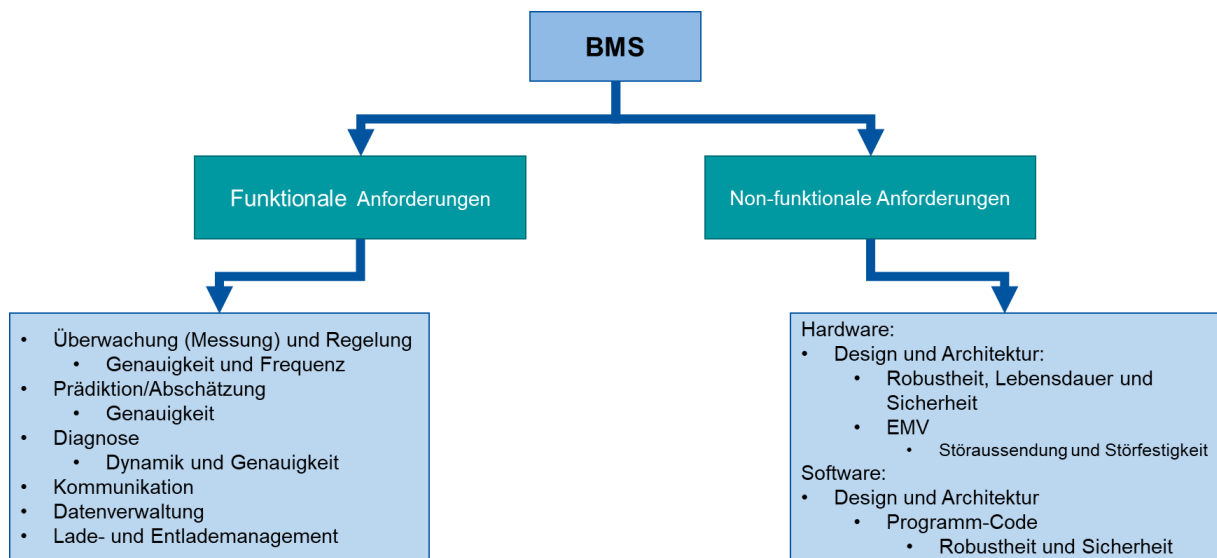


Abbildung 2: Anforderungen an ein BMS

4.1.2 Normenübersicht nach Ländern (Deutschland, USA, Kanada und China)

Es existieren bereits einige allgemeingültige Normen in Deutschland, Nordamerika und China, sowie speziell für verschiedene Anwendungsgebiete:

- Industrie
- Automotive
- Stationär

Tabelle 1 soll einen aus der Recherche ergebenden Überblick über die vorhandenen Normen liefern. Der Fokus liegt dabei auf Normen aus Deutschland.

Tabelle 1: Übersicht der Normen in Deutschland, Nordamerika und China

Normen in Deutschland	Namen	Anwendungsgebiet
DIN EN 61508 (alle Teile)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme	Allgemein
E DIN EN IEC 62619	Akkumulatoren und Batterien mit alkalischen oder anderen nicht säurehaltigen Elektrolyten	Industrie
DIN EN IEC 62619	Akkumulatoren und Batterien mit alkalischen oder anderen nicht säurehaltigen Elektrolyten	Industrie
DIN EN IEC 63056	Sekundärzellen und -batterien mit alkalischen oder anderen nicht-säurehaltigen Elektrolyten	Stationäre Anwendungen
DIN EN IEC 62485	Sicherheitsanforderungen an sekundäre Batterien und Batterieanlagen	Stationäre Anwendungen (Teil 5) / Automotive (Teil 3)

DIN EN IEC 62984-(1-3)	Hochtemperatur-Sekundärbatterien	Allgemein
DIN EN 60068	Umgebungseinflüsse	Allgemein
DIN EN IEC 61982	Sekundärbatterien (ausgenommen Lithium-Batterien) für den Antrieb von Elektrostraßenfahrzeugen	Automotive
DIN EN 61000	Elektromagnetische Verträglichkeit	Allgemein
DIN EN 61010-(1,2) (VDE 0411-1)	Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte	Allgemein
DIN IEC/TS 61851	Konduktive Stromversorgungssysteme für Elektrofahrzeuge	Automotive
DIN EN 61000	Elektromagnetische Verträglichkeit	Allgemein
DIN EN 55025	Fahrzeuge, Boote und von Verbrennungsmotoren angetriebene Geräte Funkstöreigenschaften – Grenzwerte und Messverfahren für den Schutz von an Bord befindlichen Empfängern	Automotive
DIN EN IEC 63338	Allgemeiner Leitfaden für die Wiederverwendung von Sekundärzellen und -batterien	Stationäre Anwendungen
DIN IEC 63330	Anforderungen an die Umnutzung von Sekundärbatterien	Stationäre Anwendungen
VDE-AR-E 2510-50	Stationäre Energiespeichersysteme mit Lithium-Batterien Sicherheitsanforderungen	Stationäre Anwendungen
DIN EN IEC 63115-2	Sekundärzellen und -batterien mit alkalischen oder anderen nicht-säurehaltigen Elektrolyten – Gasdichte Nickel-Metallhydrid-Zellen und -Batterien für den Gebrauch in industriellen Anwendungen	Industrie
DIN EN 50604	Lithium-Sekundärbatterien für Anwendungen in leichten Elektrofahrzeugen	Automotive
ISO 11452	Straßenfahrzeuge - Komponentenprüfverfahren für elektrische Störungen durch schmalbandige gestrahlte elektromagnetische Energie	Automotive
ISO 10605	Straßenfahrzeuge - Prüfverfahren für elektrische Störungen durch elektrostatische Entladungen	Automotive

ISO 6469	Elektrisch angetriebene Straßenfahrzeuge – Sicherheitsspezifikation	Automotive
ISO 11898	Straßenfahrzeuge— Controller area network (CAN)	Automotive
ISO 12405-4	Elektrisch angetriebene Straßenfahrzeuge - Prüfspezifikation für Lithium-Ionen Batteriepakete und -systeme Teil 4: Leistungsprüfungen	Automotive
ISO 16750	Straßenfahrzeuge - Umweltspezifikationen und Prüfungen für elektrische und elektronische Ausrüstungen	Automotive
ISO 26262 (alle Teile)	Straßenfahrzeuge - Funktionale Sicherheit	Automotive
ISO 19453	Straßenfahrzeuge - Umgebungsbedingungen und Tests für elektrische und elektronische Einrichtungen von Antriebssystemen für Elektrofahrzeuge	Automotive
ISO 20653	Straßenfahrzeuge - Schutzarten (IP-Code) - Schutz der elektrischen Ausrüstung gegen Fremdkörper, Wasser und Berühren	Automotive
IEEE 802.3-2018	Standards for Ethernet	Allgemein

Normen aus China	Namen	Anwendungsgebiet
GB/T 34131-2017	Technical standard for battery management system of electrochemical energy storage station	Stationäre Anwendungen
GB/T 27930-2015	Communication protocols between off-board conductive charger and battery management system for electric vehicle	Automotive
GB/T 39086-2020	Functional safety requirements and testing methods for battery management system of electric vehicles	Automotive
GB/T 34658-2017	Conformance test for communication protocols between off-board conductive charger and battery management system for electric vehicle	Automotive

Normen aus den USA und Kanada	Namen	Anwendungsgebiet
UL (Underwriters Laboratories) 1973	Standards for safety - Batteries for Use in Stationary and Motive Auxiliary Power Applications	Stationäre Anwendungen
UL 2580 / UL 2271	Standards for safety - Batteries for Use in Electric Vehicles	Automotive

4.1.3 Normenübersicht nach Kategorie

Im Zusammenhang mit dem BMS sollten verschiedene Funktionalitäten betrachtet werden. Dazu zählen u.a.:

- Überwachung und/oder Regelung des Batteriezustands
- Lade- und Entlademanagement
- Kommunikation
- EMV
- Funktionale Sicherheit
- Umwelteinflüsse

In Tabelle 2 sind die schon vorhandenen Normen nach BMS Aufgaben und der Funktionalitäten sortiert. In *kursiver* Schrift sind Funktionalitäten ergänzt, welche nicht abgedeckt sind.

Tabelle 2: Normenübersicht nach Kategorie

BMS-Aufgaben	Funktionalitäten	Normen
Überwachung und/oder Regelung des Batteriezustands	<ul style="list-style-type: none"> • Spannungsgrenzenüberwachung • Überladungsschutz 	<ul style="list-style-type: none"> • E DIN EN IEC 62619 • VDE-AR-E 2510-50 • ISO 6469-1 • DIN EN IEC 62485-5 • DIN EN 50604-1
	<ul style="list-style-type: none"> • Tiefentladungsschutz 	<ul style="list-style-type: none"> • DIN EN IEC 63056 • ISO 6469-1
	<ul style="list-style-type: none"> • Überwachung der Stromgrenzen • BMS-Strommessungsprüfung • Kurzschlussprüfung 	<ul style="list-style-type: none"> • E DIN EN IEC 62619 • VDE-AR-E 2510-50 • ISO 6469-1 • DIN EN 50604-1
	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturbereichsüberwachung • Temperaturmessungsprüfung • Thermomanagement 	<ul style="list-style-type: none"> • E DIN EN IEC 62619 • VDE-AR-E 2510-50 • ISO 6469-1 • DIN EN IEC 62984 • DIN EN IEC 61982 • DIN EN 50604-1

	<ul style="list-style-type: none"> • Überhitzungskontrolle/-schutz 	<ul style="list-style-type: none"> • DIN EN IEC 63115-2 • ISO 6469-1
	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrische Isolation 	<ul style="list-style-type: none"> • ISO 6469-3
	<ul style="list-style-type: none"> • Messgenauigkeit des BMS 	<ul style="list-style-type: none"> • E DIN EN IEC 62619 • ISO 6469-1
Lade- und Entlademanagement	<ul style="list-style-type: none"> • Kommunikation mit der Ladeninfrastruktur • <i>Balancing</i> (Anforderungen und Prüfungsvorschriften) 	<ul style="list-style-type: none"> • DIN IEC/TS 61851-24
	<ul style="list-style-type: none"> • Tiefentladungs- und Überladungsschutz 	<ul style="list-style-type: none"> • VDE-AR-E 2510-50 • E DIN EN IEC 62619
Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> • CAN 	<ul style="list-style-type: none"> • ISO 11898
	<ul style="list-style-type: none"> • Kommunikation mit dem Ladegerät 	<ul style="list-style-type: none"> • DIN IEC/TS 61851 • GB/T 34658-2017 • GB/T 27930-2015
	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Kommunikation mit dem Umrichter, ECUs</i> 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Ethernet 	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE 802.3 • DIN EN IEC 62228-5
Datenverwaltung	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Zu speichernde Daten (Dauer, Format, Genauigkeit, Zugriffsrechte usw.)</i> 	
Diagnose	<ul style="list-style-type: none"> • Kurzschluss • <i>Feuer</i> • <i>Explosion</i> (Anforderungen und Testvorschriften) 	
Berechnung bzw. Schätzung von sekundären Daten	<ul style="list-style-type: none"> • <i>SOC, SOH, SOP, SOE usw. Berechnungen</i> (Anforderungen und die Testvorschriften) 	
EMV	<ul style="list-style-type: none"> • Störaussendung 	<ul style="list-style-type: none"> • DIN EN IEC 62485-5 • DIN EN 61000 • DIN EN 55025
	<ul style="list-style-type: none"> • Störfestigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • DIN EN 61000 • DIN EN IEC 62485-5 • ISO 11452 • ISO 7637

	<ul style="list-style-type: none"> • ESD (Anforderungen, Prüfungen und Bewertung) 	<ul style="list-style-type: none"> • ISO 10605 • DIN EN 61000
Funktionale Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> • Hardware 	<ul style="list-style-type: none"> • DIN EN 61508-(1,2) • ISO 26262-(2,5) • DIN EN 61010-1 • ISO 6469-1 • ISO 6469-3
	<ul style="list-style-type: none"> • Software 	<ul style="list-style-type: none"> • DIN EN 61508-3 • ISO 26262-6
Umwelteinflüsse	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrische und elektronische Ausrüstung 	<ul style="list-style-type: none"> • ISO 16750 • DIN EN 60068 • ISO 20653 • ISO 19453
Wiederverwendung von BMS	<ul style="list-style-type: none"> • In stationären Aufgaben 	<ul style="list-style-type: none"> • DIN EN IEC 63338 • DIN IEC 63330

4.1.4 Cyber-Security

In Zeiten der Digitalisierung und der Cyber-Angriffe, ist die Cyber-Security ein wichtiges Thema. Allgemein gibt es vier Grundforderungen für sichere Datenkommunikation und Datenverarbeitung:

- Vertraulichkeit
- Datenintegrität
- Authentifizierung
- Unleugbarkeit

Zudem verfolgt die Informationssicherheit drei Ziele:

- Integrität
- Verfügbarkeit
- Vertraulichkeit

Als Informationssicherheit bezeichnet man Eigenschaften von technischen oder nicht-technischen Systemen zur Informationsverarbeitung, -speicherung und -lagerung zur Sicherstellung der Schutzziele Vertraulichkeit, Verfügbarkeit und Integrität und zum Schutz vor Gefahren bzw. Bedrohungen, der Vermeidung von wirtschaftlichen Schäden und der Minimierung von Risiken.

Die Informationssicherheit orientiert sich in der Praxis im Rahmen des IT-Sicherheitsmanagements unter anderem an der internationalen ISO/IEC-27000-Reihe und im deutschsprachigen Raum an das IT-Grundschutz. Im Bereich der Evaluierung und Zertifizierung von IT-Produkten und -systemen wird die Norm ISO/IEC 15408 (Common Criteria) häufig angewendet.

In Tabelle 3 sind die Normen zur Cyber-Security mit Fahrzeugbezug zur Übersicht gegeben.

Tabelle 3: Übersicht der Normen zur Cyber-Security mit Fahrzeugbezug

Bezeichnung	Titel	Anwendung	Status
SAE J3061	Cybersecurity Guidebook for Cyber-Physical Vehicle Systems	Fahrzeuge	2016
UNECE R 155	Proposal for a new UN Regulation on uniform provisions concerning the approval of vehicles with regards to cyber security and cyber security management system	Fahrzeuge	08/2021 (letzte Ausgabe)
ISO/SAE 21434	Road vehicles – Cybersecurity engineering	Straßenfahrzeuge	08/2021
DIN SPEC 27072	Informationstechnik – IoT-fähige Geräte – Mindestanforderungen zur Informationssicherheit	Konsumerbereich	zurückgezogen
DIN EN 62351 / IEC 62351	Energiemanagementsysteme und zugehöriger Datenaustausch – IT-Sicherheit für Daten und Kommunikation Teil11: Sicherheit für XML-Dateien	Stromversorgungsanlagen	10/2017
DIN VDE 0175-110	Richtlinien zur IT-Sicherheit und Resilienz für die Smart-Energy-Einsatzumgebung	Stromversorgungssystem	12/2019
DIN EN IEC 62443-4	Technische Sicherheitsanforderungen an Komponenten industrieller Automatisierungssysteme (IACS)	Industrieller Automatisierungssysteme	12/2019

In Abbildung 3 ist eine Übersicht der wesentlichen Normen und Richtlinien zum Informationssicherheitsmanagementsystem (Information Security Management System, ISMS).

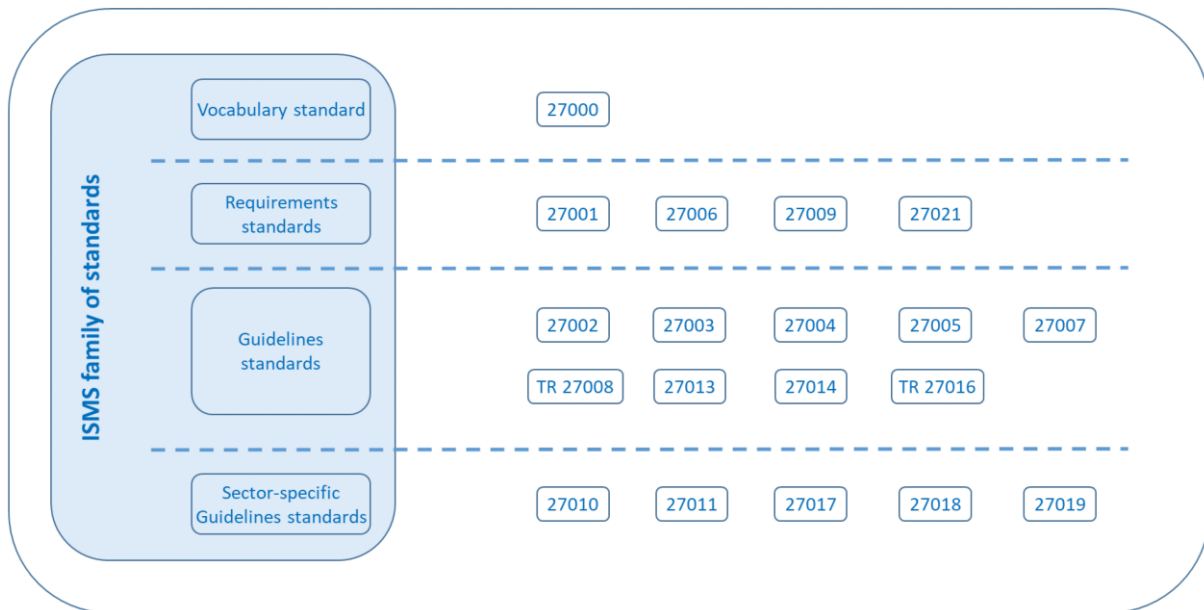


Abbildung 3: Wesentliche Normen und Richtlinien zur IT-Sicherheit ¹

Die Normenfamilie zu ISMS besteht aus aufeinander bezogenen Normen, die bereits veröffentlicht wurden oder in Entwicklung sind, und enthält eine Reihe bedeutsamer Strukturkomponenten. Bei diesen Komponenten liegt der Schwerpunkt auf:

- Normen, in denen die Anforderung für ein ISMS beschrieben werden (ISO/IEC 27001)
- Anforderungen für Zertifizierungsstellen (ISO/IEC 27006), die die Übereinstimmung mit ISO/IEC 27001 bescheinigen
- Zusätzlicher Anforderungsrahmen für sektorspezifische Implementierungen des ISMS (ISO/IEC 27009).

Die relevantesten Normen für die Umsetzung eines ISMS in Smart Grids sind ISO/IEC 27001, ISO/IEC 27002 und ISO/IEC 27019 NISTIR 7628: Richtlinien für die IT-Sicherheit in Smart Grids.

Zudem gibt es bereits ein Gesetz zur „Erhöhung der Sicherheit informationstechnischer Systeme (IT-Sicherheitsgesetz)“ von Juli 2015:

„Mit dem am 25.7.2015 in Kraft getretenen IT-Sicherheitsgesetz ist erstmals ein übergreifender Rechtsrahmen für die Gewährleistung von Cybersicherheit in Deutschland geschaffen worden. Das Gesetz sieht im Kern IT-Mindeststandards und Meldepflichten für Betreiber Kritischer Infrastrukturen im BSI-Gesetz vor. Parallel dazu werden das Telekommunikationsgesetz, das Energiewirtschaftsgesetz und das Atomgesetz entsprechend angepasst. Darüber hinaus gelten für Telemedienanbieter mit Inkrafttreten des IT-Sicherheitsgesetzes erhöhte Anforderungen an die technischen und organisatorischen Maßnahmen zum Schutz der von ihnen genutzten IT-Systeme und der dort vorgehaltenen Daten der Nutzer. Telekommunikations-Unternehmen sind verpflichtet, Nutzer zu warnen, wenn deren Anschluss für IT-Angriffe missbraucht wird.“

Kritische Infrastrukturen im Sinne dieses Gesetzes sind Einrichtungen, Anlagen oder Teile davon, die u.a. den Sektoren Energie, Informationstechnik und Telekommunikation,

¹ DIN VDE 0175-110 (VDE 0175-110): 2019-12

Transport und Verkehr, Gesundheit, Wasser, Ernährung sowie Finanz- und Versicherungswesen angehören.²

4.2 Fahrzeugdatenplattform in China

Ein Beispiel für das Sammeln von Fahrzeugdaten ist die bereits eingeführte Fahrzeugdatenplattform in China. Diese enthält Daten von über 7 Millionen Elektrofahrzeuge, die mehr als mehr als 4000 Elektrofahrzeug-Modelle beinhalten. Die Echtzeitdaten, die 73 Echtzeit-Überwachungsdatenelemente umfassen, werden alle 1 bis 30 Sekunden aufgezeichnet.

Die 3-stufige Plattform für die Betriebsprofile ist in Abbildung 4 dargestellt.

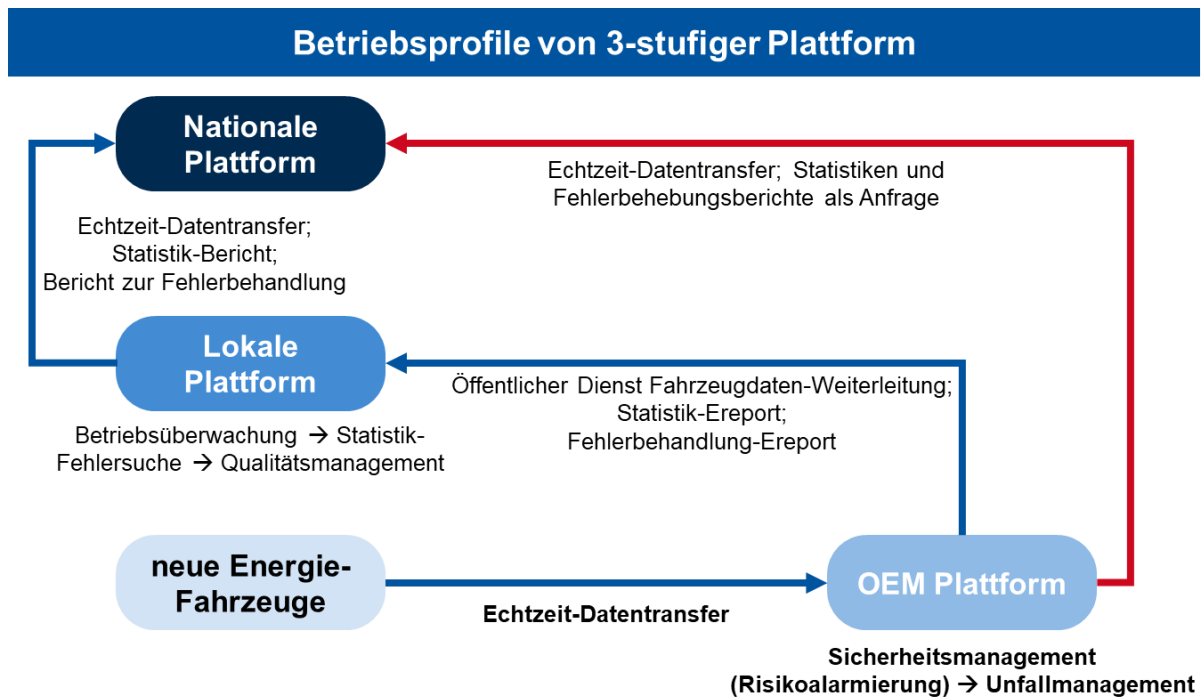


Abbildung 4: Fahrzeugdaten-Plattform am Beijing Institute of Technology (BIT)

Wichtigste Datenelemente der Plattform sind:

- Motor-Information
- Fahrzeug-Position
- Fahrzeug-Information
- Batterie-Information
- Extreme Werte

4.3 Batteriepass

2030 wird sich die Batterie Nachfrage in der EU vervierzehnfachen. Dementsprechend wird sich die Nachfrage nach Rohstoffen exponentiell entwickeln. Die Gewinnung dieser Rohstoffe verursachen einen Umwelt- und einen Sozialfußabdruck, der mit der Einführung des Batteriepasses angegeben werden soll. Diese Angabe zielt darauf ab, den Umwelt- sowie den Sozialfußabdruck von Batterien später minimieren zu können.

Der Batteriepass ist eine in einem elektronischen Austauschsystem gespeicherte Akte für Industrie- sowie Traktionsbatterien mit mehr als 2 kWh-Kapazität, die Informationen (Typ,

² <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/DE/it-sicherheitsgesetz.html>

Modell, Kapazität, usw.) über diese enthalten soll. Der Batteriepass wird im Artikel 65 des AMENDMENTS 001- 489 vom 4.3.2022 beschrieben.

Weitere Informationen zum Batteriepass sind in Abbildung 5 zusammengefasst.

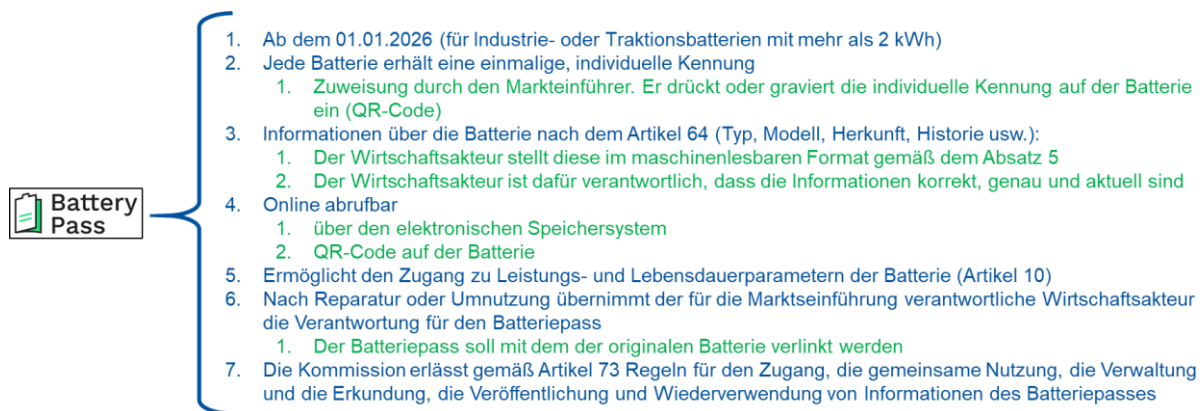


Abbildung 5: Informationen zum Batteriepass

Die Einführung des Batteriepasses könnte neben einigen Herausforderungen auch Vorteile mit sich bringen:

- Durch die Bekanntmachung von CO₂- und Sozial-Fußabdrücken, wird mehr Wettbewerb in die Batterieindustrie hervorgerufen. Als Ergebnis sind Batterien besserer Qualität, bessere Arbeits- und Produktionsbedingungen in der Batterieindustrie zu erwarten
- Durch die Rückverfolgbarkeit und die bekannten SOH-Informationen von Batterien, kann das Recycling von Batterien besser geplant und somit optimiert werden. Das Recycling ist daher effizienter und der CO₂-Fußabdruck von Batterien wird minimiert.
- Der Batteriepass soll die im Second-Life-Bereich tätigen Wirtschaftsakteuren außerdem ermöglichen, fundierte Geschäftsentscheidungen zu treffen.

Öffentlich zugängliche Batterieinformationen laut dem Vorschlag für die Verordnung von 2022 sind:

Statische Parameter:

- Datum der Herstellung und der Inbetriebnahme
- Ort und Datum der Fertigung
- Leistung, Gewicht der Batterie
- Zustand der Batterie (Erstverwendung – Altbatterie – Reparatur – Umnutzung – Recycling)
- Innerer Widerstand der Batteriezelle und des Batteriepacks, Elektrochemische Impedanz
- Nennkapazität
- Die erwartete Lebensdauer in Zyklen oder Jahre unter Referenzbedingungen, für die die Batterie entworfen worden ist
- Selbstentladung
- Angabe der kritischen Rohstoffe mit mehr als 0,1% Massenanteil außer Quecksilber, Cadmium oder Blei
- Angaben zu Rezyklatgehalt
- Minimal-, Nenn- und Maximalspannung, mit Temperaturbereichen sofern relevant,

- Kapazitätsschwelle für die Erschöpfung (nur für Traktionsbatterien)
- Temperaturbereich, dem die Batterie außer Betrieb standhalten kann (Referenztest)
- C-Rate der einschlägigen Prüfung der Zyklen-Lebensdauer

Dynamische Parameter:

- Verbleibende Kapazität und Kapazitätsverlust
- Verbleibende Leistungskapazität und Leistungsverlust
- Verbleibender Batteriewirkungsgrad (Round-Trip-Wirkungsgrad)
- Steigerung des inneren Widerstands in %
- Ladezustand der Batterie (SOC)
- Entwicklung der Selbstentladungsgeschwindigkeit

Anforderungen an das BMS werden hauptsächlich in Artikel 14 des Vorschlages aus dem 10.12.2020 formuliert. Das BMS bei Batterien für leichte Verkehrsmittel (Fahrräder, Roller, Scooter) und Traktionsbatterien soll in Echtzeit über folgende Parameter verfügen:

- Ladezustand der Batterie
- Leistungseinstellung der Batterie
- Batteriekapazität

Parameter über den Alterungszustand der Batterie in Echtzeit:

- Verbleibende Kapazität
- Gesamtkapazitätsverlust
- Gesamtkapazitätsverlust
- Verbleibende Leistungskapazität und Leistungsverlust
- Verbleibender Batteriewirkungsgrad (Round-Trip-Wirkungsgrad)
- Tatsächlicher Kühlbedarf
- Entwicklung der Selbstentladungsgeschwindigkeit
- Ohm'scher Widerstand und/oder elektrochemische Impedanz

Parameter zur Ermittlung der voraussichtlichen Lebensdauer von Batterien:

- Datum der Fertigung der Batterie und Inbetriebnahme
- Energiedurchsatz
- Kapazitätsdurchsatz

Die obigen Daten sollen aus dem BMS stammen und auf dem Fahrzeug gespeichert werden. Einen Zugang dazu hat der Endnutzer oder ein dritter, der in seinem Auftrag handelt. Diese können nur gelesen werden. (Änderungsantrag 26)

4.4 Prüfabläufe, Begriffe und Definitionen von Batterieparametern

4.4.1 Statischer Kapazitätstest - SAE J1798:2019-11-13

Zweck dieser Prüfung ist es, die Amperestunden- und Energiekapazität zu ermitteln, die bei verschiedenen Entladungsraten und Temperaturen zur Verfügung stehen, die für die Fahrzeuganwendung geeignet sind. Mit diesem Test kann auch die vom Hersteller angegebene Leistung überprüft werden, daher wird bei diesen Tests eine 100%ige Entladung bis zu einer Spannungsunterbrechung und nicht nur bis zur Nennkapazität durchgeführt.

Die Kapazität und die Energie bei C/3 bei 25 °C sind die empfohlenen Werte für die Bewertung von Batterietypen. In der Industrie sollten Begriffe wie spezifische Energie und

Energiedichte dieses Prüfverfahren verwenden, um die abgeleiteten Werte zu validieren. Diese Prüfungen entsprechen den USABC-Prüfverfahren. (United States Advanced Battery Consortium Electric Vehicle Battery Test Procedures Manual)

Der Batteriehersteller muss die Raten C/1, C/2 und C/3 bei 25 °C festlegen. Da es sich bei diesen Prüfungen um Vergleichsprüfungen handelt, werden die Entladeraten für andere Entladetemperaturen nicht geändert. Wenn z. B. C/1 mit 70 A bei 25 °C definiert ist, muss diese Rate bei jeder Temperatur durchgeführt werden.

Das Modul sollte mit der Entladerate C/3 entladen werden, bis eine vom Modulhersteller angegebene Spannung, Temperatur oder eine andere Entladegrenze (Cutoff) erreicht ist. Der Beginn der Entladung muss bei der Prüftemperatur liegen; bei der Erstprüfung beträgt die Prüftemperatur 25 °C. Die Entladetemperatur kann, wie später in diesem Verfahren beschrieben, geändert werden. Da der Entladeteil dieser Prüfung bei anderen Temperaturen als 25 °C durchgeführt werden kann, ist das entladene Modul bei einer kontrollierten Temperatur von 25 °C zu platzieren, und die Temperatur des (der) Module(s) muss sich in drei aufeinanderfolgenden 1-stündigen Messungen auf diesen Wert stabilisieren. Bei Prüftemperaturen von 25 °C ist die 3-stündige Wartezeit nicht erforderlich.

Wenn sich die Temperatur des Moduls/der Module stabilisiert hat, muss das Modul gemäß den Anforderungen der Herstellerspezifikation vollständig geladen werden. Die Leerlaufzeiten zwischen dem Laden und Entladen werden von den Modul- und Fahrzeugherstellern festgelegt. Diese Zeit kann durch die Bezeichnung der Temperatur für den Beginn der Entladung für diese Prüfungen vorgegeben sein. Bei 25 °C kann die Leerlaufzeit kurz sein, während bei anderen Temperaturen eine Mindestdauer von 16 Stunden empfohlen wird.

Die Prüffolge ist für eine vom Fahrzeughersteller festgelegte Mindestzahl von Zyklen zu wiederholen, oder bis die gemessene Kapazität in drei aufeinanderfolgenden Zyklen mit einer Genauigkeit von 2 % wiederholbar ist.

Anschließend folgt die Wiederholung der Prüffolge unter Verwendung der Entladungsraten C/1 und C/2. Die Prüffolge ist unter Verwendung der Prüftentladetemperaturen von 45 °C, 0 °C und -20 °C zu wiederholen. Um sicherzustellen, dass das Modul auf Temperatur ist, sollte es mindestens 16 Stunden vor der Entladung bei der Testtemperatur gehalten werden.

Der Prüfablauf ist in Abbildung 6 dargestellt.

Der Ablauf des Konstant-Leistung Prüfverfahrens ist identisch mit dem des zuvor beschriebenen Konstant-Strom Verfahrens, es wird nur an Stelle von C/1, C/2 und C/3 mit P/1, P/2 und P/3 entladen.

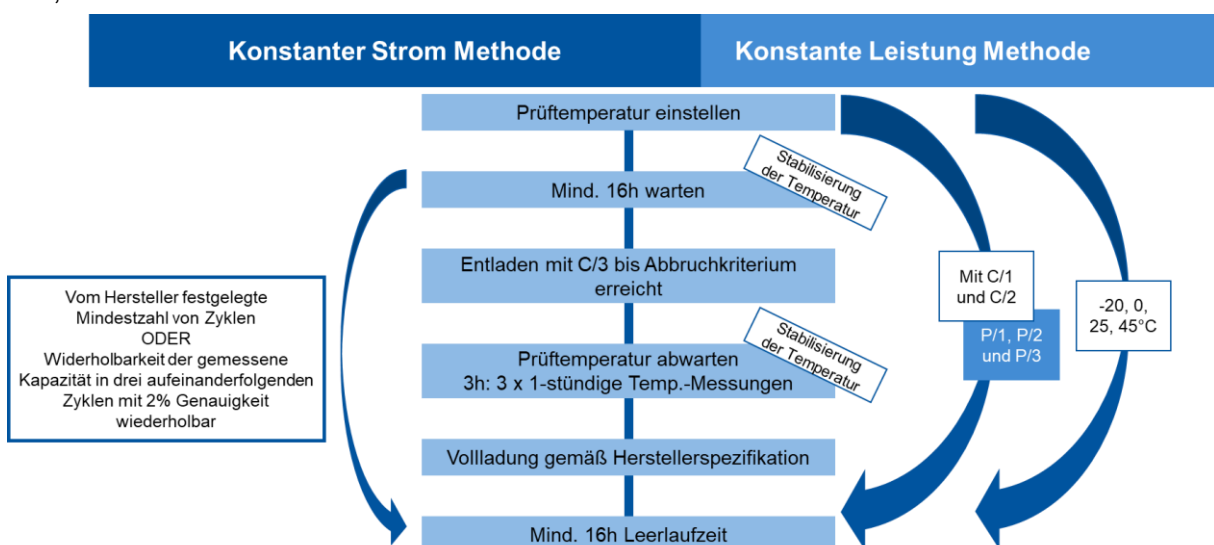


Abbildung 6: Prüfablauf des statischen Kapazitätstests - SAE J1798:2019-11-13

4.4.2 Dynamischer Kapazitätstest - SAE J1798:2019-11-13

Mit dieser Prüfung soll die Kapazität eines Batteriemoduls unter dynamischen Entladebedingungen gemessen werden, die denen ähneln, denen Elektrofahrzeuge im Stadtverkehr ausgesetzt sind. Dieser dynamische Zyklus wird auf einen Prozentsatz der Nennleistung oder der angegebenen Höchstleistung des zu prüfenden Moduls skaliert. Die skalierte Leistung, die bei diesem Verfahren verwendet werden soll, muss als Eingabe für dieses Verfahren angegeben werden (in Watt oder Kilowatt). Bei dieser Prüfung werden während des Prüfprofils erhebliche Mengen an momentaner Ladeleistung (d. h. Regeneration) berücksichtigt.

Die Abbildung 7 zeigt eine grafische Darstellung des 360-s-Prüfprofils, das wiederholt über eine vollständige Modulentladung angewendet wird. Die Tabelle ist die tabellarische Auflistung des Entladeleistungsprofils. Dieses Verfahren verwendet die Zeit- und Leistungsstufen des dynamischen Stresstests (DST) der USABC. Insbesondere wird bei diesem Test die Entladung nicht wie beim DST in Schritt 15 beendet. Der reduzierte Leistungspunkt ist für einige Hersteller notwendig und war ursprünglich im DST-Verfahren enthalten. Da dieses Verfahren den DST-Zeitplan verwendet, entspricht es nicht direkt dem SFUDS-Test.

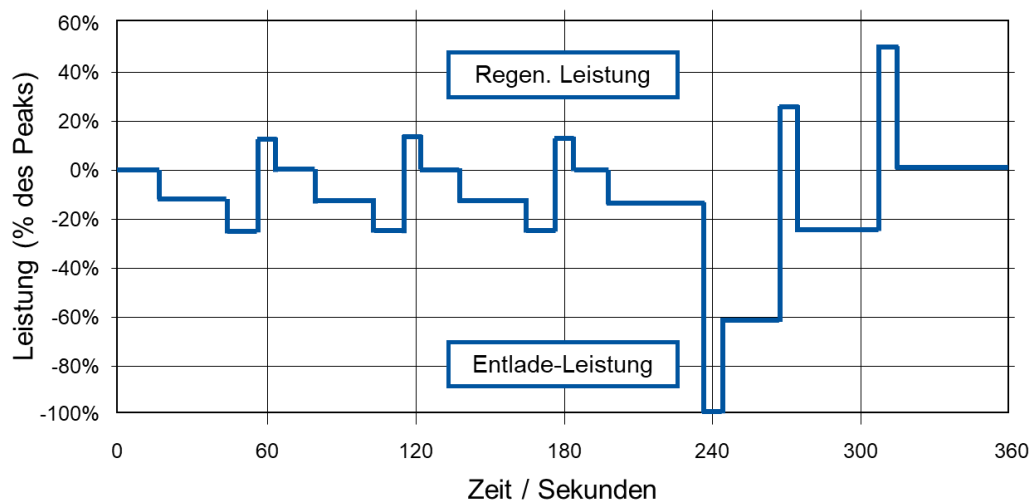


Abbildung 7: Prüfprofil des dynamischen Kapazitätstests - SAE J1798:2019-11-13

Der maximale Leistungspegel für diese Prüfung sollte auf der Grundlage des zu prüfenden Batteriemodultyps eingestellt werden. Wenn der angegebene Wert von einem bestimmten Prüfling nicht erreicht werden kann, sollte der maximale Leistungswert auf 80 % der Nennspitzenleistung des Moduls bei 80 % Entladetiefe festgelegt werden. In den Berichten zu den Ergebnissen des dynamischen Kapazitätstests muss der verwendete Spitzenleistungswert (W/kg) angegeben werden.

Die während der Prüfung einzuhaltenen Modulgrenzwerte bestehen in der Regel aus einer Reihe von Kapazitäts-, Spannungs-, Strom-, Leistungs- und/oder Temperaturgrenzwerten, die von den Modulen nicht überschritten werden sollten.

Der Beginn der Entladung muss bei der Prüftemperatur erfolgen; sofern nicht anders angegeben, beträgt diese Temperatur 25 °C. Nach einer Stabilisierung der Anfangsbedingungen, wird das Modul mit dem Prüfleistungsprofil entladen. Die 360-s-Segmente sind endlos zu wiederholen (d. h. ohne Ruhezeit zwischen den Profilen), bis eine Abbruchbedingung erreicht ist. Wenn der Schritt der maximalen Leistung nicht durchgeführt werden kann, ohne die Spannungsgrenze des Moduls oder andere Grenzen zu überschreiten, muss die Leistung für diesen Schritt reduziert werden, um innerhalb der Grenzen des Moduls zu bleiben.

Die Entladung wird beendet, wenn eine der folgenden Bedingungen erreicht wird:

- Die maximale Leistung (innerhalb der Modulgrenzen) ist geringer als die reduzierte Leistungsgrenze, d. h. 5/8 maximalen angegebenen Leistung, oder
- Die in einer anderen Stufe (innerhalb der Modulgrenzen) erreichbare Leistung ist geringer als der für diese Stufe angegebene Wert, oder
- Wenn das Modul unter die vom Hersteller empfohlene Mindestspannung fällt, oder
- Wenn 100 % der Nennleistung aus dem Modul entnommen wurden

Das Modul wird nach dem Prüfprofil bei 25 °C gemäß den vom Hersteller empfohlenen Verfahren aufgeladen.

Die Prüffolge ist für eine vom Fahrzeughersteller festgelegte Mindestanzahl von Zyklen zu wiederholen, oder bis die gemessene Kapazität in drei aufeinanderfolgenden Zyklen mit einer Genauigkeit von 2 % wiederholbar ist. Da der Zweck dieser Prüfung die Bestimmung der Kapazität und nicht der Zyklen ist, wird eine maximale Anzahl von Zyklen 10 Zyklen empfohlen.

4.4.3 Peak-Power Leistungstest - SAE J1798:2019-11-13

Zweck dieser Prüfung ist es, die Fähigkeit eines Batteriemoduls festzustellen, 30 Sekunden lang über seine nutzbare Entladekapazität hinaus Dauerleistung zu liefern. Im Gegensatz zum dynamischen Kapazitätstest wird das Modul bei dieser Prüfung nicht tatsächlich bis zu seiner Spitzenleistung belastet. Stattdessen wird eine Reihe von 30-Sekunden-Hochstromschritten mit 10 % Entladetiefe innerhalb des normalen Betriebsbereichs des Moduls verwendet. Die Testergebnisse werden dann auf der Grundlage der Widerstandseigenschaften des Moduls unter Last auf die Spitzenleistungsfähigkeit extrapoliert. Es wird davon ausgegangen, dass die meisten erwarteten Leistungsspitzen vorübergehend sind, aber um z.B. eine Beschleunigung an einer Steigung aufrechtzuerhalten, können erhebliche Zeitintervalle (30 s oder mehr) erforderlich sein, daher wird bei diesem Verfahren die 30-s-Spannung verwendet. Diese Prüfungen entsprechen den USABC-Prüfverfahren für Spitzenleistung, wobei Änderungen vorgenommen wurden, um die Erholungszeit zu berücksichtigen, die die Module benötigen, um sich von den Hochstromimpulsen zu erholen, bevor sie mit den Niederstromschritten fortfahren.

Die Prüfung ist so konzipiert, dass sie Informationen liefert, die für den Betrieb eines Leistungsfahrzyklus zu erwarten sind. Daher ist für diese Prüfung die Nennkapazität die erwartete DCT (dynamic capacity test) -Kapazität und nicht die statische (static capacity test) Kapazität.

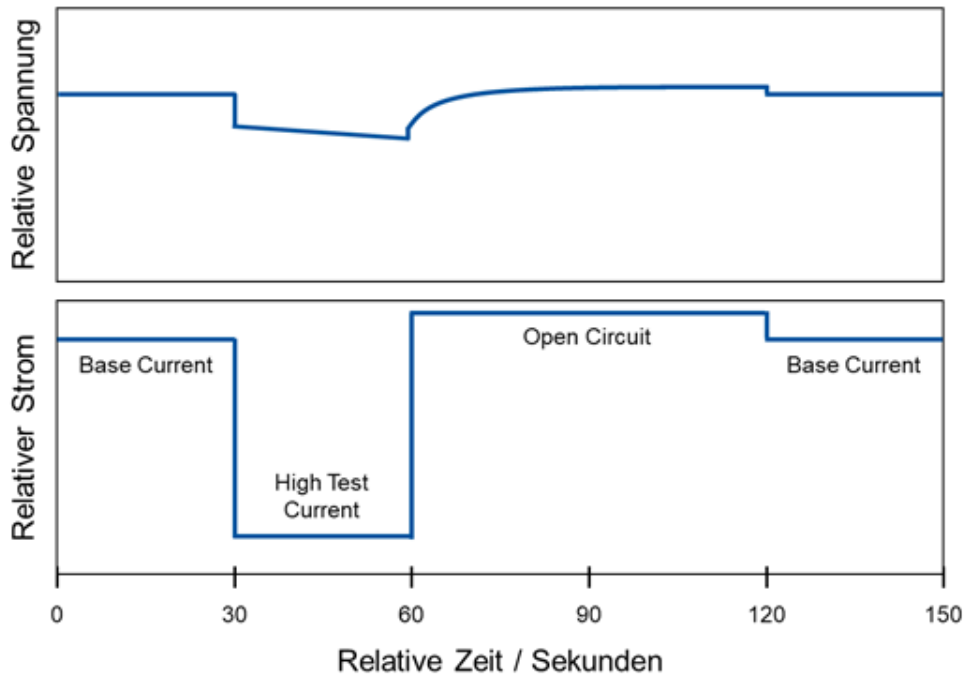


Abbildung 8: Prüfablauf für eine Entladetiefe des Peak-Power Leistungstests - SAE J1798:2019-11-13

Die Batterie ist gemäß den Empfehlungen des Herstellers aufzuladen und bis zum Erreichen der Prüftemperatur ruhen zu lassen. Es wird erwartet, dass der Open Circuit bei diesem Schritt weniger als 24 Stunden beträgt.

Der Basis-Entladestrom für das Modul muss als denjenigen Strom, der zusammen mit dem hohen Prüfstrom einen durchschnittlichen Entladestrom ergibt, der einer durchschnittlichen Entladerate von 3 Stunden entspricht, bestimmt werden. Das Modul wird, wie in Abbildung 8 dargestellt, 30 Sekunden lang mit dem Basis-Entladestrom entladen und dann einen Entladeschritt von 30 Sekunden mit dem hohen Entladestrom durchgeführt.

Da die Spannungsgrenze bei hohem Entladestrom voraussichtlich niedriger ist als die Spannungsgrenze beim Basisentladestrom, lassen Sie das Modul für einen Zeitraum von maximal 5 Minuten ruhen, damit sich die Spannung erholen kann. Empfohlen wird eine Minute.

Die Entladung des Moduls wird bis zu einer Entladetiefe von 90 % (basierend auf der Nennkapazität) mit dem Basis-Entladestrom fortgesetzt und die Entladung in 10 %-Intervallen unterbrochen, um einen 30-s-Entladeschritt mit dem hohen Teststrom durchzuführen. Um die Spitzenleistung zu bestimmen, darf während dieses Teils der Prüfung keine Pause eingelegt werden, erst nach der hohen Rate wie in „Ruhezeit“ angegeben.

Normalerweise werden während der gesamten Entladung dieselben Werte für den Basis-Entladestrom und den hohen Prüfstrom verwendet. Wenn das Modul jedoch zu irgendeinem Zeitpunkt der Entladung nicht in der Lage ist, den hohen Prüfstrom aufrechtzuerhalten, ohne unter die vom Hersteller angegebene Mindestspannung zu fallen, muss der hohe Prüfstrom so weit reduziert werden, dass die Mindestspannung aufrechterhalten wird.

Die Entladung wird beendet, wenn eine der folgenden Bedingungen eintritt:

- Die Entladung auf 100% der Nennkapazität ist abgeschlossen.
- Der Basis-Entladestrom kann nicht aufrechterhalten werden, ohne dass die Mindestspannungsgrenze unterschritten wird.

4.4.4 Beschleunigter Alterungstest - Electric Vehicle Battery Test Procedures Manual (USABC)

Dieses Verfahren enthält eine Reihe von Schritten, siehe Abbildung 9, die zu befolgen sind, um die Alterung von Batterie-Testkandidaten zu beschleunigen. Der Schwerpunkt dieses Verfahrens liegt auf "Überlastungsprüfungen": die Anwendung von Belastungsparametern, die mit dem normalen Gebrauch zusammenhängen und die Lebensdauer verkürzen oder den Abbau beschleunigen. Unfall- oder Missbrauchssituationen werden also nicht berücksichtigt.

Ein Aspekt dieses Verfahrens ist die Zeitkompression (d. h. kontinuierliche elektrische Zyklen). Bei den meisten Technologien sollte diese höhere als die normale Zyklusrate nicht zu einer anderen Ausfallart führen. Um eine gewisse Anwendbarkeit auf die Nutzung von Elektrofahrzeugen zu gewährleisten, ist das Basis-Zyklusverfahren DST, der bis zu 80% der Nennkapazität durchgeführt wird.

Ziel ist es, relevante Versagensarten und Degradationsmechanismen zu beschleunigen, um möglichst präzise Alterungsfaktoren (beschleunigte Lebensdauer zu realer Lebensdauer) zu bestimmen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen phänomenologische Korrelationen zur normalen Nutzungsdauer hergestellt werden, die auf technischem Wissen und Erfahrung beruhen. Ein unerwünschtes, wenn auch manchmal unvermeidliches Ergebnis ist, dass nur empirische Korrelationen möglich sind. In diesem Fall können nur Verbesserungen an bestimmten Bauteilen bewertet werden. Es ist bekannt, dass es äußerst schwierig ist, für diese komplexen elektrochemischen Systeme wirksame Verfahren zur beschleunigten Alterung zu definieren. Dennoch wurde dieses Verfahren als Leitfaden entwickelt, um kosteneffektive Tests zu erleichtern. Die Anwendung dieses "standardisierten" Verfahrens wird es ermöglichen, in kürzester Zeit ein Maximum an Daten zu sammeln und so die Leistung zu überprüfen. Darüber hinaus können die Fortschritte der verschiedenen Technologie Kandidaten zeitnah verglichen werden.

Das Verfahren kann in vier Schritte unterteilt werden:

1. Identifizierung der beschleunigenden Faktoren

Auf der Grundlage der Kenntnis der Versagensarten des Technologie Kandidaten sind die Belastungsfaktoren zu ermitteln, die kontrolliert werden können und die Alterung potenziell beschleunigen (z. B. Temperatur, Entladetiefe, Entlade-/Aufladegeschwindigkeit).

2. Formulierung der Testmatrix

In diesem Schritt ist eine effiziente Versuchsmatrix zu formulieren.

3. Durchführung des Testplans

Die spezifischen Schritte, die bei jeder Prüfung zu befolgen sind, lauten wie folgt:

- Das ausgewählte 360-Sekunden-DST-Entladesegment wird ohne Wartezeit zwischen den einzelnen Segmenten bis zur angegebenen Entladetiefe (80 % der Nennkapazität für den Basisfall) oder bis zum Erreichen einer anderen vom Hersteller angegebenen Beschränkung (z. B. Spannungs- oder Temperaturgrenze) durchgeführt. Der maximale DST-Leistungspegel ist entweder als Teil von Schritt 2 oder wie in Verfahren (Dynamischer Kapazitätstest - SAE J1798:2019-11-13) empfohlen zu bestimmen. Innerhalb etwaiger thermischer Grenzwerte ist unverzüglich eine Aufladung vorzunehmen. (3a)
- In angemessenen Abständen ist der kontinuierliche DST-Zyklus zu unterbrechen und eine Reihe von Referenzleistungstests (RPT) durchzuführen. (3b)
- Die Schritte 3a und 3b sind so lange zu wiederholen, bis die im jeweiligen Prüfplan festgelegte Bedingung für das Ende der Prüfung erreicht ist. Normalerweise sollten die Kriterien für das Ende der Prüfung für Batterieprüfeinheiten bei höheren Verschlechterungszuständen liegen, als es der USABC-Definition für das Ende der Lebensdauer entspricht (<80% der Nennkapazität oder der Spitzenleistung), damit mehr Informationen über Ausfälle gewonnen werden können. Die Lebensdauer der

Batterie wird jedoch nur bis zum Ende der Lebensdauer angegeben; Zyklen, die nach Erreichen der Lebensdauer durchgeführt werden, müssen separat gezählt werden.

4. Referenzleistungstests

Diese Testreihe dient der Charakterisierung der während der Lebensdauer des zu prüfenden Geräts auftretenden Verschlechterung. Diese Basiszyklen bestehen aus einer Gruppe von elektrischen Leistungstests, die während der Lebensdauerprüfung regelmäßig wiederholt werden, so dass verschiedene Leistungs- und Ausfallmerkmale auf einer gemeinsamen Grundlage verglichen werden können.

Dieses Verfahren wird normalerweise während der Lebensdauerprüfung einer Batterie in regelmäßigen Abständen (z. B. alle 28 Tage oder 50 Zyklen) durchgeführt, die 5-10 % der voraussichtlichen Batterielebensdauer entsprechen, es sei denn, im Prüfplan ist ein anderes Intervall angegeben. Diese Prüfungen (einschließlich der Wiederaufladungen vor und nach der Entladungssequenz) werden immer unter nominalen Umgebungsbedingungen durchgeführt, auch wenn die Lebenszyklustests unter nicht nominalen Bedingungen stattfinden können, um die Alterung der Batterie zu beschleunigen. Die Testeinheit (Zelle, Modul oder Pack) wird vor Beginn dieser Sequenz aufgeladen und dann bei Bedarf temperaturstabilisiert. Beginnend mit der vollen Ladung wird das Modul/die Batterie den folgenden Prüfungen in der angegebenen Reihenfolge unterzogen, die nach den jeweiligen Verfahren durchgeführt werden, mit Ausnahme der unten genannten Einschränkungen:

- Konstantstromentladung
- DST-Entladung
- Spitzenleistungsentladung

Diese Testsequenz wird in der Regel einmal bei jeder Durchführung des Verfahrens durchgeführt. Nach jeder Entladung wird die Batterie wieder vollständig aufgeladen. Der Grund für die gewählte RPT-Sequenz besteht darin, (1) das Gerät mit dem Konstantstrom-Zyklus in einen reproduzierbaren und standardmäßigen Zustand zu versetzen und (2) die DST- und Spitzenleistungs-Zyklen zu nutzen, um eine Verschlechterung der verfügbaren Energie oder der Impulsleistungsfähigkeit festzustellen.

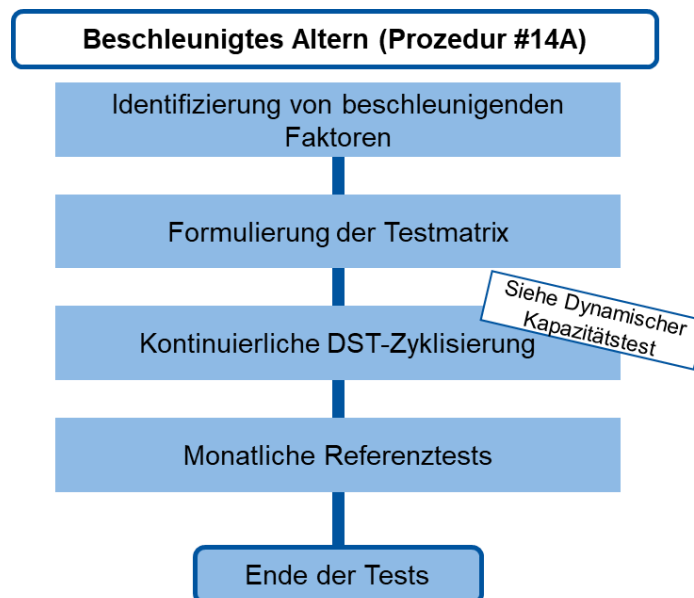


Abbildung 9: Ablauf des beschleunigten Alterungstests in Electric Vehicle Battery Test Procedures Manual (USABC) – Prozedur #14A

Zu den spezifischen Anforderungen an die Berichterstattung über diese Prüfung gehört ein historisches Protokoll, das Informationen über die Zusammenfassung der Prüfung und Anomalien enthält. Diese Informationen umfassen u.a. die Zyklusnummer, die Dauer, die

Energie, den Brutto- und Netto-Ah-Abtrag, die Energieeffizienz, die Anfangs- und Endtemperatur.

4.4.5 Definition von „End of Life“ einer Batterie

„End of Life“ (EoL) einer Batterie kann der Wert vom BMS sei, wie viele Vollzyklen bzw. Tage verbleiben. Zudem wird in Normen und anderen Schriftreihen das EoL Kriterium definiert:

EU Projekt „Everlasting“: D6.10 – BMS Open Standard application and validation report ³

Es gibt verschiedene Methoden zur Schätzung und Darstellung der RUL:

- RUL als die Zeitspanne zwischen dem aktuellen Zeitpunkt und dem Ende der Nutzungsdauer
- RUL als die Anzahl der Zyklen zu definieren, mit denen die Batterie vom gegenwärtigen Zeitpunkt bis zum Ende ihrer Nutzungsdauer betrieben werden kann
- Die Definition eines Standardzyklus ist immer noch ein offenes Thema → Definition der RUL in Form eines Zeitraums aus Sicht des Benutzers kann sinnvoller sein

DIN EN IEC 63218 (VDE 0510-218): 2019-11 (Sekundärzellen und Sekundärbatterien mit alkalischem oder anderen nichtsäurehaltigen Elektrolyten) - Entwurf

Ende der Lebensdauer (en: end of life), EOL (3.12):

Lebenswegphase eines Produkts, die beginnt, wenn das Produkt aus der Phase seines bestimmungsgemäßen Gebrauchs endgültig entfernt wird. (Quelle: IEC 62075:2012)

Kompodium: Li-Ionen-Batterien im BMWi Förderprogramm IKT für Elektromobilität II: Smart Car – Smart Grid – Smart Traffic (Grundlagen, Bewertungskriterien, Gesetze und Normen, Stand: Juli 2015)

Die Zykluslebensdauer beinhaltet die Anzahl der möglichen Zyklen einer Zelle oder eines Systems durch Nutzung bzw. Zyklisierung bis zum EoL. Bei einem jeweils zusammenhängenden Lade- und Entladevorgang wird von einem Zyklus gesprochen. Dabei wird zwischen Voll- und Teilzyklen unterschieden. Von einem Vollzyklus ist die Rede, wenn die Entladung bis auf eine Restkapazität von 0 % mit anschließender Aufladung bis 100 % erfolgt. Dagegen wird bei einer unvollständigen Entladung von einem Teilzyklus gesprochen. Wichtige Parameter für die Zyklenlebensdauer sind zum einen die Entladetiefe (Depth of Discharge, DOD) und zum anderen der Ladezustand (State of Charge, SOC).

³https://everlasting-project.eu/wp-content/uploads/2021/03/EVERLASTING_D6.10_final_20200831.pdf

4.4.6 Lagerungsprüfung - DIN EN IEC 62660-1 (VDE 0510-33): 2020-07

Diese Prüfung dient der Bestimmung der Ladungshaltungseigenschaften der Zelle während Lagerung oder Nichtbenutzung und besteht aus der Ladungshaltungsprüfung und der Lagerfähigkeitsprüfung.

Ladungshaltungsprüfung

Diese Prüfung dient der Bestimmung der Ladungshaltungseigenschaften der Zelle während der Lagerung einschließlich Transport. Die Ladungshaltungseigenschaften der Zelle bei einem Ladezustand von beispielhaft 50 % müssen nach dem folgenden Verfahren, siehe Abbildung 10, bestimmt werden.

- 1) Die Zelle muss geladen werden.
- 2) Die Zelle muss nach einem festgelegten Verfahren auf einen Ladezustand von 50 % entladen werden. Daraufhin muss die Zelle für 1 h bei Raumtemperatur stabilisiert werden.
- 3) Die Zelle wird bei Raumtemperatur und mit einem Entladestrom von $I/3$ (A) für BEV-Anwendungen und $I/1$ (A) für HEV-Anwendungen auf die Entladeschlussspannung entladen.
- 4) Schritte 1) und 2) werden wiederholt.
- 5) Die Zelle muss für 28 Tage bei einer Umgebungstemperatur von 45 °C gelagert werden.
- 6) Nach Schritt 5) muss die Zelle bei Raumtemperatur stabilisiert. Daraufhin wird die Zelle bei Raumtemperatur und mit einem Entladestrom von $I/3$ (A) für die BEV-Anwendung und $I/1$ (A) für die HEV-Anwendung auf die Entladeschlussspannung entladen, und anschließend wird die Kapazität der Zelle gemessen.

Nach Beenden der Prüfabfolge muss das Ladungshaltungsverhältnis berechnet werden.

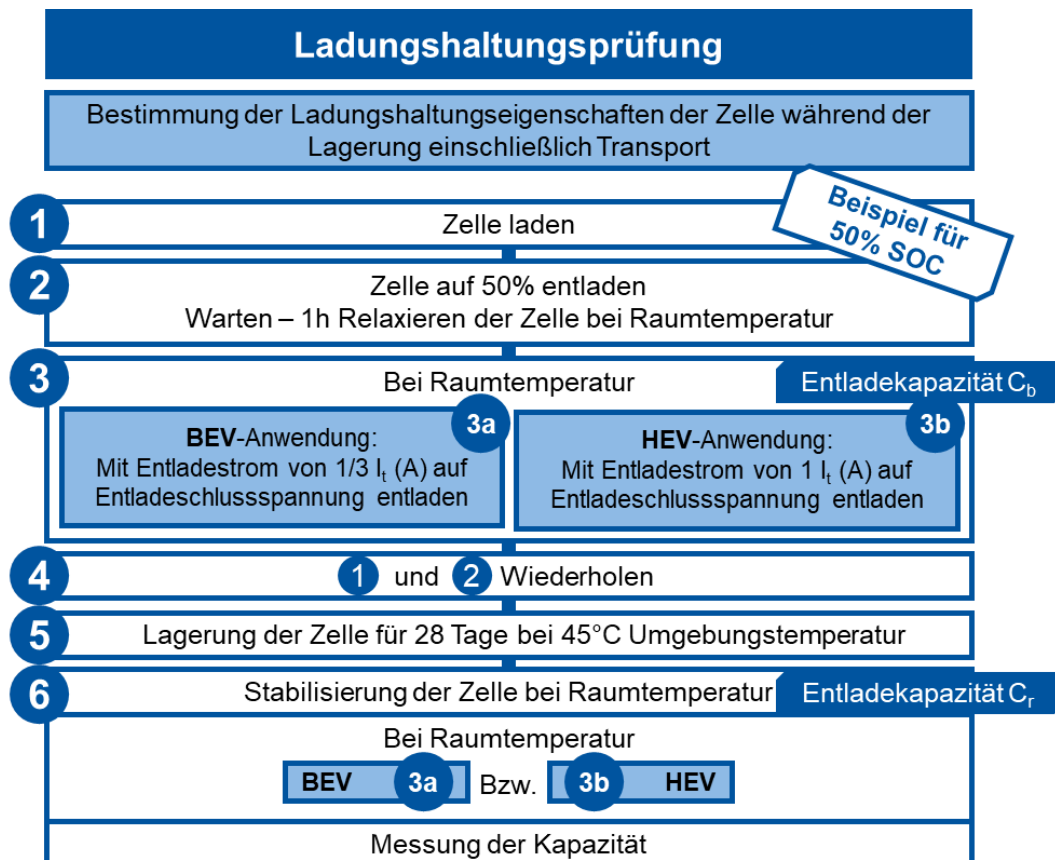


Abbildung 10: Ladungshaltungsprüfung - DIN EN IEC 62660-1 (VDE 0510-33): 2020-07

Lagerfähigkeitsprüfung

Diese Prüfung dient der Bestimmung der Verschlechterungseigenschaften der Zelle bei Lagerung oder Nichtbenutzung in Anwendungen für Batterie- und Hybridfahrzeuge.

Die Lagerfähigkeit einer Zelle muss wie in Abbildung 11 dargestellt nachfolgenden Schritten bestimmt werden:

- 1) Kapazität, Leistungsdichte und regenerative Leistungsdichte der Zelle werden nach „Laden“, „Kapazität“ und „Leistung“ bestimmt.
- 2) Der Ladezustand der Zelle wird für die Anwendung in Batteriefahrzeugen auf 100 % und für die Anwendung in Hybridfahrzeugen auf 50 % eingestellt. Anschließend muss die Zelle für 42 Tage bei einer Umgebungstemperatur von 45 °C gelagert werden.
- 3) Im Anschluss an die Lagerung nach Schritt 2) muss die Zelle bei Raumtemperatur stabilisiert und bei einem konstanten Strom von $I/3$ (A) für die BEV-Anwendung und $I/1$ (A) für die HEV-Anwendung auf die vom Zellhersteller festgelegte Entladeschlussspannung entladen werden. Anschließend wird die Kapazität der Zelle gemessen. Diese Entladekapazität ist die Restkapazität (Ah). Die Leistungsdichte und die regenerative Leistungsdichte müssen gemessen werden.
- 4) Schritte 2) und 3) werden dreimal wiederholt.

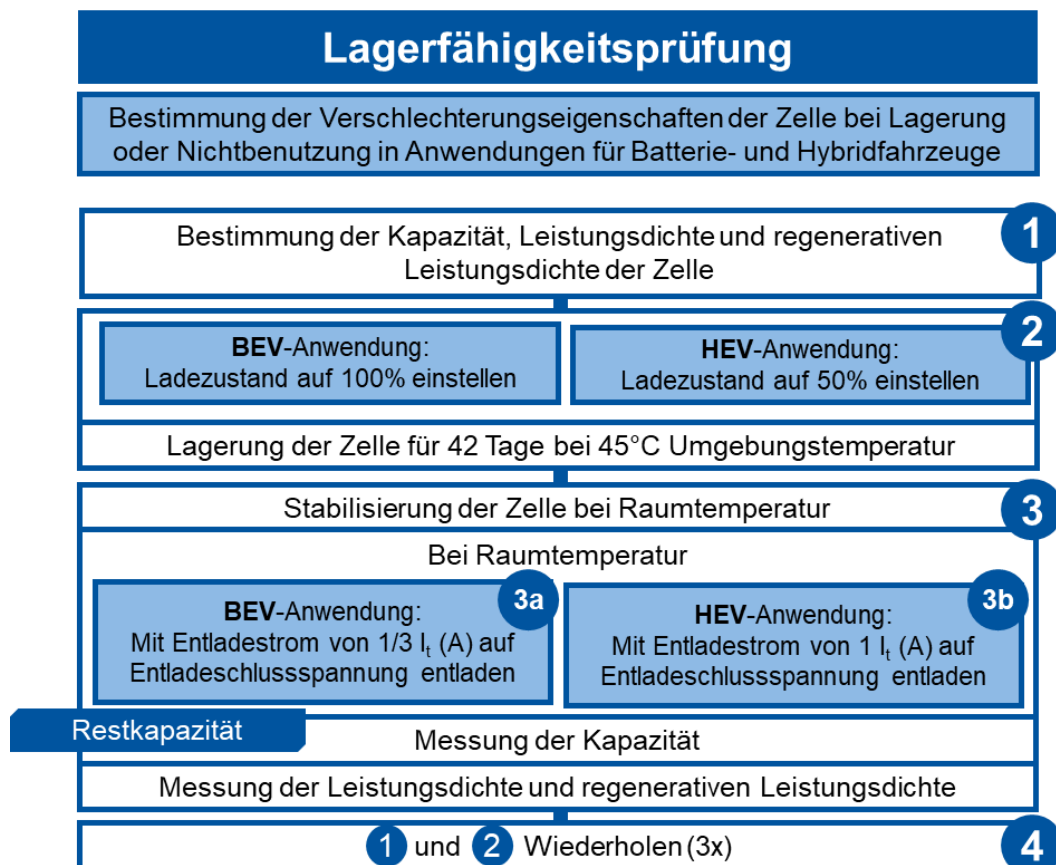


Abbildung 11: Lagerfähigkeitsprüfung - DIN EN IEC 62660-1 (VDE 0510-33): 2020-07

Die in Schritte 1) und 3) gemessene Kapazität, Leistungsdichte, regenerative Leistungsdichte und Restkapazität müssen im Prüfbericht angegeben werden. Wird die Zelle im Verlauf der Prüfung während einer Unterbrechung, z. B. zur Anpassung der zeitlichen Abfolge der Prüfung, bei Raumtemperatur gelagert, muss die Gesamtdauer dieser Unterbrechung im Prüfbericht angegeben werden.

4.4.7 Konzept für die Zyklusprüfung für Batterie- und Hybridfahrzeuge - DIN EN IEC 62660-1 (VDE 0510-33): 2020-07

Zyklusprüfung für Batteriefahrzeuge:

1. Messung des Anfangsleistungsverhaltens

Vor der Lade-/Entlade-Zyklusprüfung werden Kapazität, dynamische Entladekapazität und Leistung als Anfangsleistungsverhalten der Zelle gemessen.

2. Kapazität

Die Kapazität muss bei 25 °C gemessen werden.

3. Dynamische Entladekapazität C_D

Die dynamische Entladekapazität C_D muss bei 25 °C und 45 °C gemessen werden. Die dynamische Entladekapazität ist definiert durch den zeitlich integrierten Wert des Lade- und Entladestroms, der durch folgende Prüfung bestätigt wird: Die vollständig geladene Zelle wird wiederholt nach dem festgelegten dynamischen Entladeprofil A entladen, bis die Spannung den vom Zellhersteller festgelegten unteren Grenzwert erreicht.

4. Leistung

Die Kapazität muss bei 25 °C und 50 % Ladezustand gemessen werden.

5. Lade- und Entladezyklus

Die Lade- und Entlade-Zyklusprüfung muss wie folgt durchgeführt werden.

a) Zu Beginn der Prüfung muss die Zelltemperatur 45 °C betragen. Die Umgebungstemperatur muss 45 °C betragen.

b) Prüfphasen

Das Verfahren von Phase 1 bis Phase 5 aus Abbildung 12 muss ohne Unterbrechung für 28 Tage wiederholt werden. Die Wartezeit von weniger als 4 Stunden kann zwischen jeder Phase eingestellt werden. Anschließend wird das Leistungsverhalten der Zelle gemessen. Dieses Verfahren muss bis zu dem in d) festgelegten Ende der Prüfung wiederholt werden

- Phase 1: Die Zelle muss nach dem vom Zellhersteller festgelegten Verfahren vollständig entladen werden.
- Phase 2: Die Zelle muss nach dem vom Zellhersteller festgelegten Verfahren vollständig geladen werden. Die Ladezeit muss weniger als 12 h betragen.
- Phase 3: Die Zelle wird bei 45 °C nach dem festgelegten dynamischen Entladeprofil A entladen, bis die entladene Kapazität einen Wert erreicht, der $(50 \pm 5) \%$ der anfänglichen dynamischen Entladekapazität C_D entspricht.
- Phase 4 – Die Zelle wird nach einem zweiten dynamischen Entladeprofil B (Profil für die Bewältigung eines Anstiegs) einmal entladen.
- Phase 5: Die Zelle wird bei 45 °C nach dem dynamischen Entladeprofil A entladen, bis die entladene Gesamtkapazität, einschließlich Phase 3 und Phase 4, einen Wert erreicht, der 80 % des anfänglichen Werts von C_D entspricht.

c) Periodische Messung des Leistungsverhaltens

Nach jeder Vollendung der Wiederholung von Phase 1 bis Phase 5 über 28 Prüftage muss das Leistungsverhalten der Zelle nach 1. gemessen werden. Die akkumulierte Zeit aus Phase 1 bis Phase 4 in b) muss ebenfalls in den Prüfbericht aufgenommen werden. Die dynamische Entladekapazität muss nur bei 25 °C gemessen werden.

d) Ende der Prüfung

Die Prüfung der zyklischen Lebensdauer muss beendet werden, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist. Andernfalls wird zurück zu a) gegangen und die Prüfung wiederholt.

- Die Prüffolge aus a) bis c) wurde sechsmal wiederholt.

- Ein beliebiger der in c) gemessenen Parameter des Leistungsverhaltens ist auf weniger als 80 % des Anfangswertes gesunken.
- Die Zelltemperatur erreicht während der Prüfung den zwischen dem Zellhersteller und dem Kunden vereinbarten oberen Grenzwert.

Die Anzahl der Durchläufe jedes Profils und jedes Zyklus während der Prüfung muss

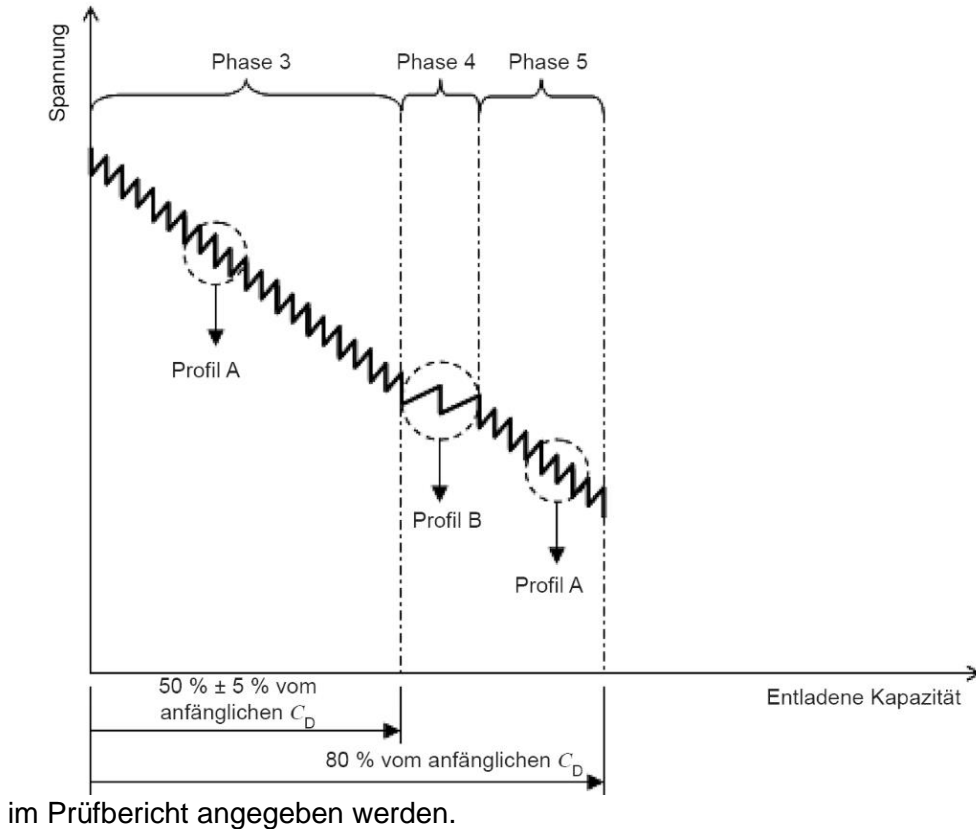


Abbildung 12: Konzept für die Zyklusprüfung für Batteriefahrzeuge - DIN EN IEC 62660-1 (VDE 0510-33): 2020-07

Zyklusprüfung für Hybridfahrzeuge

1. Messung des Anfangsleistungsverhaltens
Vor der Lade-/Entlade-Zyklusprüfung werden Kapazität und Leistung als Anfangsleistungsverhalten der Zelle gemessen.
2. Kapazität
Die Kapazität muss bei 25 °C gemessen werden.
3. Leistung
Die Leistung muss bei 25 °C und 50 % Ladezustand gemessen werden.
4. Profilschaltspannung

Vor der Prüfung der zyklischen Lebensdauer werden Schaltspannungen eingestellt, bei denen die in c) festgelegten Profile mit häufigen Ladungen und mit häufigen Entladungen umgeschaltet werden müssen, wie in Abbildung 13 zu sehen ist.

- Schaltspannung von einem Profil mit häufigen Entladungen zu einem Profil mit häufigen Ladungen

Der Ladezustand der Zelle wird auf 30 % eingestellt und anschließend wird die Zyklusprüfung mit dem Profil mit häufigen Entladungen bei 45 °C einmal durchgeführt. Die in dieser Prüfung erreichte niedrigste Spannung muss als die

Schaltspannung für die Schaltung von einem Profil mit häufigen Entladungen zu einem Profil mit häufigen Ladungen verwendet werden. Wenn die niedrigste erreichte Spannung kleiner ist als die vom Zellhersteller festgelegte untere Grenzspannung, muss letztere als die Schaltspannung verwendet werden. Zusätzlich darf der vom Zellhersteller empfohlene Ladezustand der Zelle verwendet werden.

- Schaltspannung von einem Profil mit häufigen Ladungen zu einem Profil mit häufigen Entladungen
- Der Ladezustand der Zelle wird auf 80 % eingestellt und anschließend wird die Zyklusprüfung mit dem Profil mit häufigen Ladungen bei 45 °C einmal durchgeführt. Die in dieser Prüfung erreichte höchste Spannung muss als die Schaltspannung für die Schaltung von einem Profil mit häufigen Ladungen zu einem Profil mit häufigen Entladungen verwendet werden. Wenn die höchste erreichte Spannung größer ist als die vom Zellhersteller festgelegte obere Grenzspannung, muss letztere als die Schaltspannung verwendet werden. Zusätzlich darf der vom Zellhersteller empfohlene Ladezustand der Zelle verwendet werden.

5. Lade- und Entladezyklus

Die Lade- und Entlade-Zyklusprüfung muss wie folgt durchgeführt werden:

a) Temperatur

Die Umgebungstemperatur muss während der Prüfung bei 45 °C gehalten werden. Zu Beginn des Lade-/Entladezyklus muss die Zelltemperatur 45 °C betragen.

b) Einstellung des Ladezustands vor dem Lade-/Entladezyklus

Die Zellen müssen bei einer Temperatur von 45 °C belassen werden und innerhalb von 16 h bis 24 h auf einen Ladezustand von 80 % oder den zwischen Zellhersteller und Kunde vereinbarten Ladezustand eingestellt werden. Wenn kein Ladezustand von 80 % verwendet wird, muss der verwendete Ladezustand im Prüfbericht angegeben werden.

c) Prüfphasen

Das Verfahren von Phase 1 bis Phase 4 muss ohne Unterbrechung bis zu dem in e) festgelegten Ende der Prüfung wiederholt werden. Während der Prüfung muss das Leistungsverhalten der Zelle nach d) periodisch gemessen werden.

- Phase 1: Der Lade-/Entladezyklus muss mit dem vorgegebenen Profil mit häufigen Entladungen durchgeführt werden, bis die Zellspannung die Schaltspannung (siehe Abbildung 13) unterschreitet.
- Phase 2: Der Lade-/Entladezyklus muss wiederholt mit dem vorgegebenen Profil mit häufigen Ladungen durchgeführt werden, bis die Zellspannung die Schaltspannung (siehe Abbildung 13) überschreitet.
- Phase 3: Phase 1 und Phase 2 werden für 22 h wiederholt.
- Phase 4: Die Zelle wird für 2 h ruhen gelassen.

d) Periodische Messung des Leistungsverhaltens

Nach jeder Vollendung des Verfahrens von Phase 1 bis Phase 4 über sieben Tage muss die Leistung der Zelle nach (1) gemessen werden. Die Kapazität der Zelle muss alle 14 Tage nach (1) gemessen werden.

e) Ende der Prüfung

Die Prüfung der zyklischen Lebensdauer muss beendet werden, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist. Andernfalls wird zurück zu a) gegangen und die Prüfung wiederholt.

- Die Prüfung in c) wird für insgesamt sechs Monate wiederholt.
- Einer der in c) gemessenen Parameter des Leistungsverhaltens ist auf weniger als 80 % des Anfangswertes gesunken.

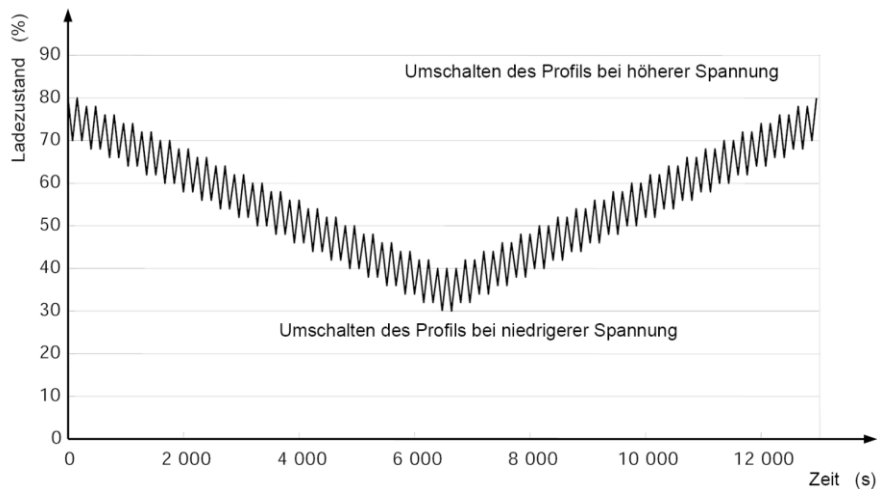


Abbildung 13: Konzept für die Zyklusprüfung für Hybridfahrzeuge - DIN EN IEC 62660-1 (VDE 0510-33): 2020-07

Die Anzahl der Durchläufe jedes Profils und des Erreichens der Schaltspannungen müssen aufgezeichnet werden.

4.4.8 State of X – SoX

Der Prozess der Zustandsschätzungsmethoden ist in der Entwicklung und ist daher noch nicht standardisiert, ebenso fehlen einheitliche Definitionen in der Literatur.

Da im Betrieb nur Strom, Spannung und Temperatur gemessen werden können, müssen die Batteriezustände aus Lade- (SoC), Alterungs- (SoH), Leistungs- (SoP) und Energiezustand (SoE), sowie die Kapazität, Widerstand und verbleibende Lebensdauer (RuL) geschätzt werden.

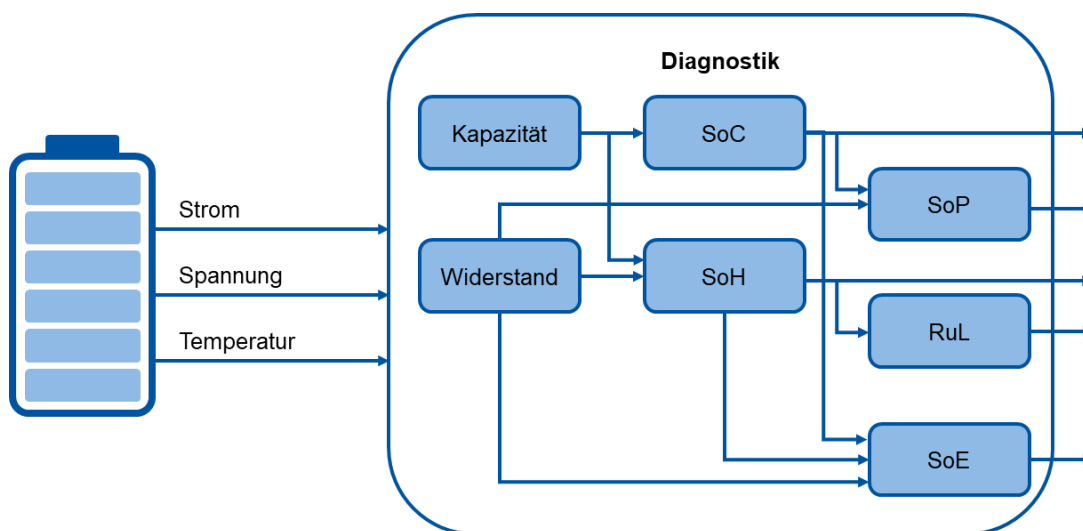


Abbildung 14: Übersicht Diagnostikzustände im BMS - <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.02.064>

4.4.9 Ladezustand – State of Charge – SoC

Der Ladezustand SoC einer Batterie ist die Menge der gespeicherten elektrischen Ladung $q(t)$ bezogen auf die tatsächliche Kapazität C . Der „volle Zustand“ (SOC = 100%) ist der

Referenzwert für die gespeicherte elektrische Ladung $q(t)$ und bedeutet $q(t) = C$. Der "leere Zustand" (SOC = 0%) bedeutet $q(t) = 0Ah$.

Da sich der Kapazitätswert während der Lebensdauer aufgrund der Batteriealterung ändert, kann ein SoC-Index die Kapazität C angeben, die als Referenz für den SoC-Wert dient. Zum Beispiel bedeutet SOC_{BoL} , dass die Kapazität C zu Beginn der Lebensdauer (BoL) als SoC-Referenzwert verwendet wird ($C = C_{BoL}$). SOC_{EoL} bedeutet, dass die Kapazität C am Ende der Lebensdauer (EoL) als SoC-Referenzwert verwendet wird ($C = C_{EoL}$).

Ladezustand (SoC), bezeichnet den Ladezustand der Aktivmassen und wird daher über die Amperestundenbilanz (Ah-Bilanz) bestimmt. Mit jedem Elektron findet eine genau festgelegte Anzahl von Reaktionen und damit Umwandlungen von Material statt. Das Integral des in die Hauptreaktion fließenden Stroms gibt also genau an, welche Anteile der Aktivmasse aufgeladen und welche entladen sind. Meist wird der Ladezustand bei Vollladung als 100% bezeichnet. Dann sind alle noch umwandelbaren Anteile der Aktivmassen im geladenen Zustand. Die Kapazität ist dabei Menge der Ladungsträger, die einem Batteriespeicher entnommen werden kann. Die Einheit ist As oder Ah.

In verschiedenen Normen wird ebenfalls der Ladezustand definiert. Im Folgenden sind ein paar Beispiele gegeben:

VDE-AR-E 2510-60 (VDE-AR-E 2510-60) Anwendungsregel: 2021-06 (Entwurf)

Ladezustand SOC (en: State-of-Charge) (3.6)

„verfügbare Kapazität eines Batteriesystems, ausgedrückt in Prozent der Bemessungskapazität“ (Quelle: ISO 6469-1:2019-04)

VDE-AR-E 2122-1000 (VDE-AR-E 2122-1000) Anwendungsregel: 2023-01 (Standardschnittstelle für Ladepunkte/Ladestationen zur Anbindung an lokales Leistungs- und Energiemanagement)

Szenario 1 – Überwachen des EV-Ladezustands (5.7.6.1) → Beschreibung (5.7.6.1.1)

„Das EMS überwacht den Ladezustand der EV-Batterie. Der Ladezustand beschreibt, wie viel der nutzbaren Kapazität bereits geladen wurde, angegeben als Prozentwert.“

DIN EN IEC 62933-1 (VDE 0520-933-1): 2019-08 (Elektrische Energiespeichersysteme (EES-Systeme, Teil 1: Terminologie)

Ladezustand des EES-Systems (en: EESS state of charge, EESS SOC) (6.2.4)

„Verhältnis zwischen der verfügbaren Energie aus einem EES-System und der aktuellen Energiekapazität, in der Regel als Prozentsatz ausgedrückt“

Der Begriff „Ladezustand“ kann jedoch auch eine andere Bedeutung haben:

DIN EN IEC 62933-1 (VDE 0520-933-1): 2019-08 (Elektrische Energiespeichersysteme (EES-Systeme, Teil 1: Terminologie)

Ladezustand (6.1.2)

„Betriebszustand innerhalb einer geforderten Anwendungszeit, in der das EES-System mit elektrischer Energie über den primären Netzanschlusspunkt auf steuerbare Weise versorgt wird.“

Eine Definition für den Ladezustand ist eine Herausforderung, da Temperatur, Betriebsstrategie, Leistung und Alterung die entnehmbare Ladungsmenge. Schematisch ist dies in Abbildung 15 dargestellt.

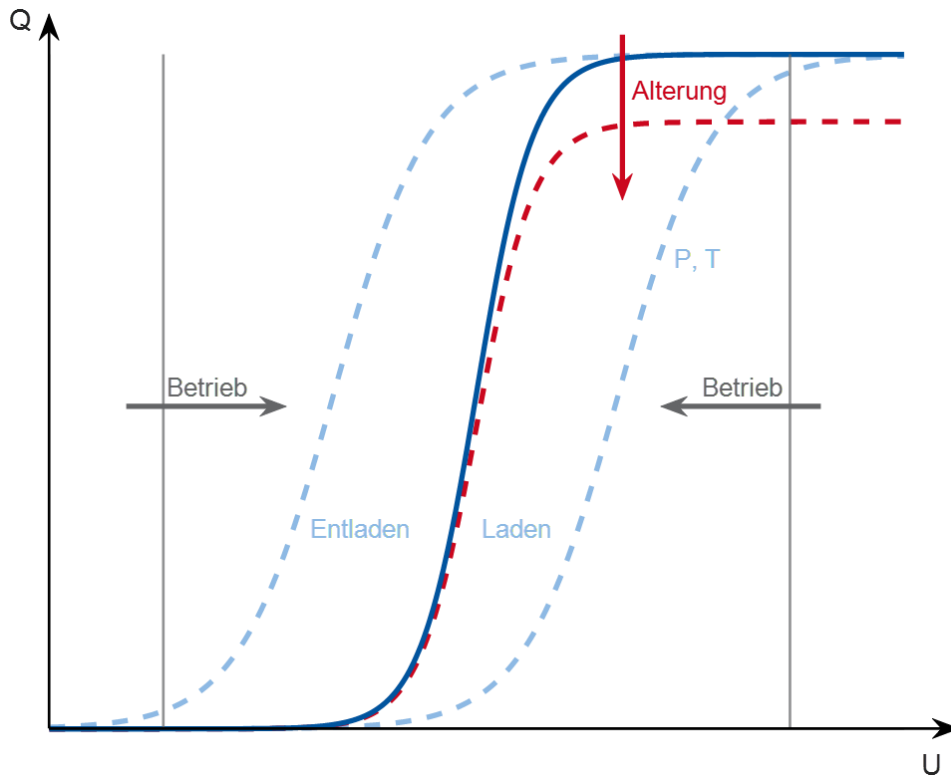


Abbildung 15: Einflussfaktoren auf die entnehmbare Ladungsmenge

4.4.10 Alterungszustand – State of Health – SoH

Der Alterungszustand SoH ist ein Indikator für die Verschlechterung, die eine Batterie im Vergleich zu einer neuen Batterie aufzeigt. Es gibt viele Faktoren, anhand derer der SoH geschätzt werden kann. Die am weitesten verbreiteten Methoden basieren auf der Batteriekapazität und der Impedanz. Für Anwendungen mit hoher Leistung muss der SoH außerdem auf der Grundlage des Leistungsvermögens definiert werden. Je nach Anwendung wird die SoH entweder auf der Grundlage der Kapazität (Anwendungen mit hohem Energieverbrauch) oder der Impedanz (Anwendungen mit hoher Leistung) definiert. Da jedoch jeder der aufgelisteten Parameter die Leistung der Batterie auf unterschiedliche Weise beeinflusst, ist eine einheitliche Definition der Batterie-SoH auf der Grundlage nur eines dieser Parameter nicht ausreichend, und es wäre nicht möglich, diese Werte zu vergleichen.⁴

In verschiedenen Normen wird ebenfalls der Alterungszustand definiert. Im Folgenden ist ein Beispiel gegeben:

DIN EN IEC 62933-1 (VDE 0520-933-1): 2019-08 (Elektrische Energiespeichersysteme (EES-Systeme, Teil 1: Terminologie)

Zustand des EES-Systems (en: EESS state of health, EESS SOH) (6.2.5)

“allgemeiner Zustand des EES-Systems, basierend auf Messungen, der dessen aktuelle Leistung im Vergleich zur Nenn-/Bemessungsleistung angibt“

- Anmerkung 1 zum Begriff: Der Zustand umfasst auch die zeitweilige Funktionsbeeinträchtigung aufgrund von Störungen innerhalb des EESS-Teilsystems.

⁴https://everlasting-project.eu/wp-content/uploads/2020/06/EVERLASTING_D8.15_final_20200529.pdf

4.4.11 Innerer Widerstand

Der innere Widerstand kann über den Gleich- und den Wechselstromwiderstand definiert werden.

Im Folgenden werden zwei DIN-Normen vorgestellt, die Messverfahren definieren.

DIN EN IEC 61960-4 (VDE 0510-44): 2021-06

Innenwiderstand der Zelle oder Batterie (Wechselstromwiderstand) (6.6)

Mit dieser Prüfung wird der Innenwiderstand einer Lithium-Sekundärzelle oder -batterie nach dem Wechselstromverfahren (AC-Verfahren) überprüft. Der Innenwiderstand muss bei vom Hersteller festgelegten Bedingungen (z. B. Spannung, Temperatur) gemessen werden.

Während des Einspeisens eines Wechselstroms (Effektivwert) I_a mit einer Frequenz von $1,0 \text{ kHz} \pm 0,1 \text{ kHz}$ mit einer Dauer von 1 s bis 5 s in die Zelle oder Batterie muss der Effektivwert der Wechselspannung U_a gemessen werden. Sämtliche Spannungsmessungen müssen an den Anschlüssen der Zelle oder Batterie durchgeführt werden, unabhängig von den Kontakten, welche zur Stromzuführung verwendet werden.

Der Wechselstrom-Innenwiderstand R_{ac} ist gegeben durch die Formel

$$R_{ac} = \frac{U_a}{I_a} (\Omega)$$

Dabei ist U_a der Effektivwert der Wechselspannung und I_a der Effektivwert des Wechselstroms. Der Wechselstrom sollte so gewählt werden, dass die Scheitelspannung unter 20 mV bleibt. Mit diesem Verfahren wird tatsächlich die Impedanz gemessen, die bei der festgelegten Frequenz etwa gleich dem Widerstand ist.

DIN EN 61960-3 (VDE 0510-3): 2017-12

Innenwiderstand der Batterie (7.7)

Mit dieser Prüfung wird der Innenwiderstand einer Lithium-Sekundärbatterie entweder mit dem Wechselstrom- (AC) oder dem Gleichstromverfahren (DC) bestimmt.

1. Messung des Wechselstrom-Innenwiderstands
→ Siehe DIN EN IEC 61960-4 (VDE 0510-44): 2021-06 → 6.6. Innenwiderstand der Zelle oder Batterie (Wechselstromwiderstand)
2. Messung des Gleichstrom-Innenwiderstands

Die Batterie muss mit einem konstanten Strom von $I_1 = 0,2 I_t \text{ A}$ entladen werden. Am Ende der Entladedauer von $(10 \pm 0,1) \text{ s}$ muss die Entladespannung U_1 im belasteten Zustand gemessen und aufgezeichnet werden. Anschließend muss der Entladestrom unverzüglich auf den konstanten Strom von $I_2 = 1,0 I_t \text{ A}$ erhöht und die zugehörige Entladespannung U_2 am Ende der Entladedauer von $(1 \pm 0,1) \text{ s}$ im belasteten Zustand gemessen und nochmals aufgezeichnet werden. Sämtliche Spannungsmessungen müssen an den Anschlüssen der Batterie durchgeführt werden, unabhängig von den Kontakten, welche zur Stromzuführung verwendet werden.

Der Gleichstrom-Innenwiderstand R_{dc} der Batterie ist mit der Gleichung

$$R_{dc} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} (\Omega)$$

zu berechnen. Dabei sind I_1 und I_2 die konstanten Entladeströme, sowie U_1 und U_2 die zugehörigen Spannungen, die während der Entladung gemessen werden.

4.4.12 Leistungszustand – State of Power – SoP

Der Leistungszustand SoP ist ein Indikator dafür, wie viel Leistung aus einer Zelle entnommen oder in sie eingespeist werden kann. Die Leistung kann durch (Ent-)Ladung während der Beschleunigung, des regenerativen Bremsens und des Ladevorgangs verursacht werden. Dabei sollen die Betriebsgrenzen (Spannung, Strom und Temperatur) der Batterie nicht verletzt werden. SoP hängt in hohem Maße vom Batteriewiderstand ab, der wiederum im Hinblick auf die Zellalterung ständig aktualisiert werden muss. Leistung ist dabei das Produkt aus Spannung und Strom.

Eine weitere Definition ist der Zustand der verfügbaren Leistung. Diese berücksichtigt einen Prognosezeitraum Δt . Sowohl Dauer- als auch Spitzenleistungsgrenzwerte werden auf der Grundlage des Zeithorizonts definiert, für den die geschätzte Leistung geliefert werden kann. Eine solche Definition von Leistungsgrenzen in Bezug auf den Zeithorizont muss einheitlich festgelegt werden. Dieser Zustand enthält einen Wert für die maximale Lade- und auch Entladeleistung. In der Regel beträgt der Prognosezeitraum Δt für BEVs oder Hybridfahrzeuge 1–120 s.⁵

Eine Norm sollte auch anwendungsspezifische Toleranzen für die Genauigkeit der geschätzten SoP festlegen.

4.4.13 Energiezustand – State of Energy – SoE

Der Energiezustand (Inhalt) SoE ist entsprechend dem Ladezustand SoC die Menge der gespeicherten Energie $E_{\text{stored}}(t)$ bezogen auf die tatsächliche Energiespeicherkapazität EC. Der Energiezustand wird in Prozent ausgedrückt. Voller Zustand (SoE = 100% und SoC = 100%) ist der Referenzwert für gespeicherte Energie $E_{\text{stored}}(t)$ und bedeutet $E_{\text{stored}}(t) = EC$. Der Energiezustand ist also der Grad, zu dem eine Zelle oder Batterie relativ zu diesem Bezugspunkt geladen wurde. Leerer Zustand (SoE = 0% und SoC = 0%) bedeutet $E_{\text{stored}}(t) = 0$ kWh.

Die Änderung der gespeicherten Energie ΔE_{stored} kann auch mit Hilfe des SoE-Startwertes SoE_{Start} und des SoE-Endwertes SoE_{End} eines Lade- oder Entladevorgangs berechnet werden.

4.4.14 Energy Round Trip Efficiency

Für die Bestimmung des Round Trip (RT) Wirkungsgrads (Index 'RT') der Batterie an den Batteriepolen ist es wichtig, dass nach dem Entlade- und Ladevorgang (bzw. Lade- und Entladevorgang) der Endwert von SoE (bzw. E_{stored} , SoC oder $q(t)$) gleich dem Wert zu Beginn des Lade- oder Entladevorgangs ist.

Da die Verluste größtenteils vom Stromfluss abhängen, kann der Wirkungsgrad η_{RT} der Batterie durch den Entlade- und Ladestrom berechnet werden. Daher sollten die Lade- und Entladeströme (bzw. Lade- und Entladeleistungen) zusammen mit dem RT-Wirkungsgrad η_{RT} angegeben werden. Darüber hinaus ist auch die Änderung der gespeicherten elektrischen Ladung $q(t)$, der gespeicherten Energie E_{stored} , SoE oder SoC ("Entladetiefe" (DoD)) entscheidend für den Batterierundlaufwirkungsgrad η_{RT} . Daher sollten der maximale und der minimale Wert von SoC, SoE, $q(t)$ oder E_{stored} ebenfalls mit dem Batterierundlaufwirkungsgrad η_{RT} angegeben werden.⁶

⁵https://everlasting-project.eu/wp-content/uploads/2020/06/EVERLASTING_D8.15_final_20200529.pdf

⁶ <http://dx.doi.org/10.1016/j.est.2017.04.004>

5 Darstellung des Nutzens des Projektes und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die in diesem Projekt recherchierten Normen und Prüfverfahren geben einen umfangreichen Überblick als Grundlage und können für einen Normenentwurf zur Standardisierung von BMS herangezogen werden. Da der Aufbau eines BMS komplex ist und eine wesentliche Rolle beim Einsatz von Batterien aufgrund seiner vielen Funktionalitäten spielt, ist eine Standardisierung des Systems von großer Bedeutung. Neben bereits vorhandenen Normen wurden ebenso die in den Normen nicht abgedeckten Funktionalitäten herausgearbeitet.

Zudem wird eine Einführung des Batteriepasses einheitliche Kennzahlen zur späteren Verwendung, z.B. in Second-Life Anwendungen, aufgezeigt. Durch eine Standardisierung und eine einheitliche Definition wird die Weiterverwendung erst ermöglicht. Zudem wird dadurch eine Vergleichbarkeit und Qualitätssicherung gewährleistet.

Da physikalisch nur Spannung, Strom und Temperatur gemessen werden können, müssen die Batteriezustände wie Lade-, Alterungs-, Energie- und Leistungszustand online geschätzt werden. Für eine Vergleichbarkeit der Zustände und späteren Verwendung in Second-Life-Anwendungen bedarf es einer einheitlichen Definition. Dies ist jedoch eine Herausforderung, da diese anwenderfreundlich sein müssen und unterschiedliche Faktoren Einfluss auf die Zustände nehmen.