



Kommentierung bis:
02.10.2026
Meldewege siehe Vorwort

Standardisierung der herstellerunabhängigen Bestimmung des Gesundheitszustandes von Elektrostraßenfahrzeug-Traktionsbatterien

E VDE SPEC 90043 V1.0 (de)

Vorwort

Dieser Entwurf für eine VDE SPEC mit Erscheinungsdatum 10.07.2026 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte VDE SPEC von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten per Mail an spec@vde.com und mahdad.mohammadi@vde.com, möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme unter dem Eintrag „Formular zur Stellungnahme bei Entwürfen“ abgerufen werden.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf für eine VDE SPEC jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Dieses Dokument wurde von der VDE SPEC-Projektgruppe „90043“, des VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (www.vde.com) erarbeitet.

Für diese VDE SPEC ist die VDE SPEC-Projektgruppe „90043“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Diese VDE SPEC wurde nach dem VDE SPEC-Verfahren erarbeitet. Die Erarbeitung von VDE SPEC 90043 erfolgt in Projektgruppen und nicht zwingend unter Einbeziehung aller interessierten Kreise.

Diese VDE SPEC ist **nicht** Bestandteil des VDE-Vorschriftenwerks oder des Deutschen Normenwerks. Diese VDE SPEC ist insbesondere auch **keine** Technische Regel im Sinne von § 49 EnWG.

Verfasser dieser VDE SPEC sind:

- Dillinger, Martin; TÜV-Verband e. V.
- Gregor, Markus; TÜV-Verband e. V.
- Hagemann, Manuel; TÜV-Verband e. V.
- Kluba, Jonathan; DEKRA SE
- Mandic, Stipe; VDE SIS GmbH
- Mast, Pascal; TÜV-Verband e. V.
- Mayerhofer, Nikolaus; AVILOO GmbH
- Maywald, Kai; DEKRA SE
- Mohammadi, Mahdad; VDE e. V.
- Richter, Andreas; DEKRA SE
- Rupprich, Peter; MAHLE GmbH
- Scharrer, Matthias; AVL DiTEST GmbH
- Tomberger, Michael; AVL DiTEST GmbH
- Vaz, Martin; Bib batteries
- Zalwert, Robin; TÜV-Verband e. V.
- Zank, Patrick; VDE SIS GmbH

Trotz großer Anstrengungen zur Sicherstellung der Korrektheit, Verlässlichkeit und Präzision technischer und nicht-technischer Beschreibungen kann die VDE SPEC-Projektgruppe weder eine explizite noch eine implizite Gewährleistung für die Korrektheit des Dokuments übernehmen. Die Anwendung dieses Dokuments geschieht in dem Bewusstsein, dass die VDE SPEC-Projektgruppe für Schäden oder Verluste jeglicher Art nicht haftbar gemacht werden kann. Die Anwendung der vorliegenden VDE SPEC entbindet den Nutzer nicht von der Verantwortung für eigenes Handeln und geschieht damit auf eigene Gefahr.

Im Zuge der Herstellung und/oder Einführung von Produkten in den Europäischen Binnenmarkt muss der Hersteller eine Risikoanalyse durchführen, um zunächst festzustellen, welche Risiken das Produkt möglicherweise mit sich bringt. Nach Durchführung der Risikoanalyse bewertet er diese Risiken und ergreift gegebenenfalls geeignete Maßnahmen, um die Risiken wirksam zu eliminieren oder zu

minimieren (Risikobewertung). Die vorliegende VDE SPEC entbindet den Nutzer nicht von dieser Verantwortung.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. VDE ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Executive Summary

VDE SPEC 90043 beschreibt einen anwendungsorientierten Ansatz zur Bewertung des Gesundheitszustands von Traktionsbatterien mit dem Fokus der Bewertung von gebrauchten Elektrostraßenfahrzeugen basierend auf bestehenden regulatorischen internationalen Regelwerken.

Der Fokus der bereits bestehenden regulatorischen Werke liegt auf der Definition von Anforderungen für Prüfverfahren unter Laborbedingungen. Deren Ziel ist zunächst die Reichweiten- und Verbrauchseinklassierung von Fahrzeugtypen sowie deren Batterien sowie die Sicherstellung von verbindlichen Mindestanforderungen für Emissionen und Batteriedauerhaltbarkeit.

Demgegenüber verfolgt VDE SPEC 90043 einen praxis- und anwendungsbezogenen Ansatz. Sie definiert Zustandsaussagen zum Gesundheitszustand von Batterien, sowie ein standardisiertes Verfahren zur Gesundheitszustandsbestimmung, ohne jedoch selbst rechtlich verbindliche Mindestanforderungen vorzugeben.

VDE SPEC 90043 schafft mit der Definition des Gesundheitszustands und der dazugehörigen Ermittlungsmethodik eine herstellerunabhängige und vergleichbare Bewertungsgrundlage für die alltägliche Anwendungen, insbesondere für Gebrauchtfahrzeugbewertungen und die damit verbundene Restwertanalyse.

Damit ergänzt VDE SPEC 90043 bestehende regulatorische Werke, indem sie die Lücke zwischen regulatorischen Prüfungen unter Laborbedingungen und vergleichbaren praktischen Bewertungen im Feld schließt.

Inhalt

Einleitung	0
1 Anwendungsbereich	0
2 Normative Verweisungen	1
3 Begriffe und Abkürzungen	1
3.1 Begriffe	1
3.2 Abkürzungen	3
4 Definition von Gesundheitszustand	3
4.1 Allgemeines	3
4.2 Herleitung des nutzbaren Energieinhalts	3
4.3 WLTP-Prüfzyklus	4
4.4 Beschreibung des zertifizierten nutzbaren Energieinhalts	4
4.4.1 Berechnung des aktuell nutzbaren Energieinhaltes	4
4.4.2 Bestimmung der gemessenen Usable Battery Energy	6
4.5 Bestimmung der Reichweiten für Stadtverbrauch und kombinierter Verbrauch	7
5 Anforderungen an Prüfverfahren und Methodik	7
5.1 Konditionierung	7
5.2 Messgrößen	8
5.3 Technische Anmerkungen	8
5.4 Bestimmung der aktuellen Usable Battery Energy	8
6 Bericht	9
Literaturhinweise	10

Abbildungsverzeichnis

Bild 1 – Prozess zur Berechnung der unterschiedlichen *UBEs* bis hin zu den tatsächlich messbaren physikalischen Parametern unter Einbezug der vom Fahrzeughersteller vorgegebenen Werte

5

Einleitung

Im Zuge des Markthochlaufs der Elektromobilität rückt auch der Gebrauchtwagenmarkt immer stärker in den Fokus. Der Zustand der Traktionsbatterie ist dabei ein wesentliches Kriterium bei der Ermittlung des Fahrzeug-Restwertes. Deshalb wurden in den vergangenen Jahren Testmethoden entwickelt und auf den Markt gebracht, die unabhängig zu den Fahrzeugdaten aus dem Batteriemanagementsystem (BMS) Informationen über den Gesundheitszustand der Elektrofahrzeug-Traktionsbatterie liefern.

Der aus dem BMS auslesbare Gesundheitszustand (en: State of Health, SoH) basiert auf Herstellerangaben, weshalb für die Bewertung eines neutralen und unabhängigen Gesundheitszustands zusätzliche Tests für eine zuverlässige Einschätzung notwendig sind. Da das BMS den SoH nur auf Basis eingeschränkter Daten aus dem tatsächlichen Nutzungsprofil des Fahrzeugs sowie der aktuell implementierten Algorithmik, der limitierten Rechen- und Speicherkraft des BMS schätzt, ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nur bedingt gewährleistet. Der Gesundheitszustand aus dem BMS basiert auf Berechnungsmethoden des jeweiligen Herstellers, weshalb für die Bewertung des tatsächlichen und herstellerunabhängigen Gesundheitszustands zusätzliche neutrale und unabhängige Tests für eine zuverlässige Einschätzung notwendig sind.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt ein Verfahren zur objektiven und herstellerunabhängigen Bestimmung des Gesundheitszustands von Traktionsbatterien, die in elektrisch angetriebenen Elektrostraßenfahrzeugen eingesetzt werden.

Der Fokus liegt darauf, eine verständliche, reproduzierbare und vergleichbare Ermittlung des Gesundheitszustands der Batterie unabhängig vom Fahrzeugmodell zu ermöglichen. Dies dient als Grundlage für die monetäre Bewertung elektrisch angetriebener Fahrzeuge sowie für deren Nutzbarkeit in unterschiedlichen Anwendungsfällen. Der Gesundheitszustand wird auf Systemebene (Gesamtfahrzeug) betrachtet und kann optional weitere Informationen auf Pack-, Modulebene oder Zellebene beinhalten.

Nicht Gegenstand dieses Dokuments sind elektrische Sicherheitsprüfungen und HV-Konformitätsbewertungen des Fahrzeugsystems, rechtlich bindende Mindesthaltbarkeitsanforderungen oder Typgenehmigungsprüfungen sowie die Bewertung einzelner Hochvolt-Komponenten außerhalb der SoH-Bestimmung.

In diesem Dokument werden grundlegende Anforderungen an die Prüfbedingungen, Testmethoden sowie die standardisierte Durchführung des Verfahrens spezifiziert, die gewährleisten, dass Testergebnisse aussagekräftig und konsistent sind und zwischen unterschiedlichen Fahrzeugherstellern sowie Testanbietern/Dienstleistern solcher Testverfahren vergleichbar sind. Aspekte wie die elektrische Sicherheit bei der Durchführung der Tests, die Dauer der Prüfungen sowie die Einhaltung von Standards im Umgang mit Hochvoltssystemen, nach DGUV 209-093, werden ebenfalls berücksichtigt.

Das Dokument ist anwendbar für vollelektrifizierte Fahrzeuge und fokussiert die Zustandsermittlung der Traktionsbatterien sowie reparierter Traktionsbatteriesysteme von PKW, leichten Nutzfahrzeugen der EG-Fahrzeugklassen M und N1, ohne andere Fahrzeugklassen dabei explizit auszuschließen. Entsprechende Beispiele sind Traktionsbatterien für Busse, Nutzfahrzeuge wie Flurförderzeuge sowie für mobile Arbeits- oder Baumaschinen. Betrachtet werden Fahrzeuge mit Traktionsbatterien im Spannungsbereich von 30 V DC bis 1 500 V DC.

Die in diesem Dokument beschriebenen Verfahren und Anforderungen zur Bestimmung des Gesundheitszustands von Traktionsbatterien sind von allgemeineren internationalen Regelwerken zur Fahrzeug- und Batteriebewertung abzugrenzen, insbesondere von Regelungen der Vereinten Nationen im Rahmen der UNECE (United Nations Economic Commission for Europe, UN-Organisation für europaweite technische Vorschriften), konkret der dort angesiedelten EVE IWG (Informal Working Group on Electric Vehicles and the Environment, internationale Expertengruppe zu Elektrofahrzeugen und Umweltaspekten), sowie deren spezifischer Vorschrift GTR 22 (Global Technical Regulation Nr. 22, UN-Regelwerk zur Batterie-Haltbarkeit), auch wenn beide Regelwerke Aspekte der Leistungsbewertung von Batterien thematisieren.

Während GTR 22 eine harmonisierte Methodik zur Überwachung der Batteriehaltbarkeit und der Mindestanforderungen (en: Minimum Performance Requirements, MPR) an diese im Lebenszyklus eines Fahrzeugs definiert, fokussiert sich dieses Dokument auf die herstellerunabhängige und standardisierte Ermittlung des aktuellen Gesundheitszustands der Traktionsbatterie, ohne dabei spezifische Langzeitkriterien festzulegen und typgenehmigungsrelevante Prüfungen anzuwenden. GTR 22 dient dazu, die Leistungskriterien elektrifizierter Fahrzeuge langfristig zu sichern und Verbrauchern

langfristige Verlässlichkeit und Haltbarkeit zu gewährleisten. Dies geschieht z. B. durch die Einführung des „State of Certified Energy“ (SOCE) oder des „State of Certified Range“ (SOCR).

Dieses Dokument hingegen verfolgt einen anwendungsorientierten Ansatz, indem es klare Zustandsaussagen und Verfahren zur Bestimmung des Gesundheitszustands bereitstellt, jedoch im Unterschied zu den zuvor genannten internationalen Regelwerken keine rechtlichen Mindestanforderungen definiert. Damit schafft VDE SPEC 90043 eine methodische Grundlage zur herstellerunabhängigen Bewertung und Vergleichbarkeit des Batteriezustands, insbesondere für praktische Anwendungen wie Gebrauchtfahrzeugbewertungen und Restwertanalysen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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).

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

DIN und DKE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- DIN-TERMinologieportal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term>
- DKE-IEV: verfügbar unter <https://www.dke.de/DKE-IEV>

3.1.1

Abtastrate

en **sampling rate**

Anzahl der während eines bestimmten Zeitintervalls entnommenen Abtastwerte eines Signals, bezogen auf die Dauer des Zeitintervalls

[QUELLE: IEC 60050-704, IEV 704-23-03]

3.1.2

Batteriemanagementsystem

en **battery management system**

elektronisches Bauelement, das im Interesse der Sicherheit, Leistung und Lebensdauer der Batterie die elektrischen und thermischen Funktionen einer Batterie überwacht und steuert, die Daten für die Parameter für die Ermittlung des Gesundheitszustands der Batterie und der voraussichtlichen Lebensdauer verwaltet und speichert und mit dem Fahrzeug, dem leichten Verkehrsmittel oder dem Gerät, in das die Batterie eingebaut ist, oder mit einer öffentlichen oder privaten Ladeinfrastruktur kommuniziert

[QUELLE: 2023/1542 (EU), modifiziert – Alterungszustand durch Gesundheitszustand ersetzt, Verweis auf Anhang entfernt]

3.1.3

Batteriesystem

en **battery system**

als System in Verkehr gebrachtes Produkt, das aus Batterien oder Gruppen von Zellen oder Packs besteht, die so miteinander verbunden oder von einem Gehäuse umschlossen sind, dass sie eine vollständige, vom Endnutzer nicht zu trennende oder zu öffnende Einheit zur Nutzung durch Endnutzer oder Verwendung in Geräten bilden, und das der Definition von Batterien entspricht, oder

Batteriezellen, die der Definition von Batterien entsprechen und den für Batterien geltenden Anforderungen unterliegen sollen

[QUELLE: VO(EU)2023/1542, modifiziert – Batteriesystem ersetzt Batteriesatz]

3.1.4

Gesundheitszustand

en **State of Health**

Maß für den allgemeinen Zustand einer wiederaufladbaren Batterie und ihre Fähigkeit, die festgelegte Leistung im Vergleich zu ihrem ursprünglichen Zustand zu erbringen

[QUELLE: 2023/1542 (EU), modifiziert: Definition des Begriffes Gesundheitszustand aus Definition des Begriffes Alterungszustand übernommen]

3.1.5

Kapazität

en **capacity**

Gesamtzahl der Amperestunden (Ah), die einer voll aufgeladenen Batterie unter Referenzbedingungen entnommen werden können.

[QUELLE: VO(EU)2023/1542, modifiziert: Definition des Begriffs Kapazität aus Definition des Begriffs Bemessungskapazität übernommen]

3.1.6

Konditionierung

en **conditioning**

festgelegte Vorbehandlung eines Prüflings zur Einstellung definierter Startbedingungen, insbesondere Ladezustand und Temperatur

3.1.7

Ladezustand

en **state of charge**

Verhältnis der aktuell verfügbaren elektrischen Ladung zur Nennkapazität einer Batterie.

Bezeichnet die verfügbare elektrische Ladung eines Prüfmusters in Prozent ihrer Nennkapazität.

[QUELLE: UN ECE-R100]

3.1.8

Leerlaufspannung

en **open-circuit voltage**

Spannung einer Zelle oder Batterie, wenn der Entladestrom null ist, nach definierter Ruhezeit

[QUELLE: IEC 60050-482, modifiziert – „nach definierter Ruhezeit“ ergänzt]

3.1.9

wiederaufladbares elektrisches Energiespeichersystem

en **rechargeable electrical energy storage system**

System, welches Energie für die Bereitstellung von elektrischer Leistung speichert und wiederaufladbar ist

[QUELLE: ISO 17409]

3.1.10

Traktionsbatterie

en **traction battery**

wiederaufladbares elektrisches Energiespeichersystem zur Versorgung des elektrischen Antriebs eines Fahrzeugs, welche im Anwendungsbereich definiert sind

3.1.11

nutzbarer Energieinhalt

en **usable battery energy**

Energieinhalt, der vom Batteriesystem vom Beginn des für die Typgenehmigung verwendeten Prüfverfahrens bis zum Erreichen des geltenden Abbruchkriteriums jenes Prüfverfahrens geliefert wird.

[QUELLE: UN Regulation No. 154 – Rev. 2, modifiziert: Freie Übersetzung des englischsprachigen Originaltextes]

3.2 Abkürzungen

Abkürzung	Beschreibung
BMS	Batterie-Management-System (en: Battery Management System)
OCV	Leerlaufspannung (en: Open Circuit Voltage)
PER	Rein elektrische Reichweite (en: Pure Electric Range)
REESS	Wiederaufladbares elektrisches Energiespeichersystem (en: Rechargeable Electrical Energy Storage System)
SOC	Ladezustand (en: State of Charge)
SOH	Gesundheitszustand (en: State of Health)
UBE	Nutzbarer Energieinhalt (en: Usable Battery Energy)
WLTP	Weltweit harmonisiertes Testverfahren für leichte Fahrzeuge (en: Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure)

4 Definition von Gesundheitszustand

4.1 Allgemeines

Der herstellerunabhängige Gesundheitszustand wird in Prozent berechnet, indem der nutzbare Energieinhalt (en: Usable Battery Energy, UBE_{Test}) des zu prüfenden Fahrzeugs ins Verhältnis zum zertifizierten nutzbaren Energieinhalt ($UBE_{certified}$) gesetzt wird. Die nachfolgende Formel verdeutlicht diesen Zusammenhang.

$$\text{Gesundheitszustand (SoH)} = \frac{UBE_{Test}}{UBE_{certified}} \cdot 100 \%$$

Dabei ist

UBE_{Test} der aktuell ermittelte nutzbare Energieinhalt der Traktionsbatterie unter den in Abschnitt 5 festgelegten Prüfbedingungen und Abbruchkriterien;

$UBE_{certified}$ der vom Hersteller deklarierte nutzbare Energieinhalt der Traktionsbatterie, bestimmt nach dem WLTP-basierten Verfahren.

4.2 Herleitung des nutzbaren Energieinhalts

Die Ermittlung der $UBE_{certified}$ erfolgt im Rahmen der EU-Typgenehmigung. Die EU-Typgenehmigung hinsichtlich der Dauerhaltbarkeit von Traktionsbatterien erfolgt gemäß der Verordnung (EU) 2024/1257 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Motoren sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer Emissionen und der Dauerhaltbarkeit von Batterien (Euro 7) in Verbindung mit der UN-Regelung Nr. 154, Änderungsserie 04 auf Grundlage der GTR 22. Die neue Euro-7-Norm findet ab dem 29. November 2026 Anwendung für neue EU-Typgenehmigungen und ab dem 29. November 2027 für jedes neu zugelassene Fahrzeug. [1], [2]

Die UBE wird durch das Prüfverfahren bis zum Erreichen des jeweiligen Abbruchkriteriums bestimmt. Das relevante Prüfverfahren ist die Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure (WLTP), die in Kapitel 4.3 einschließlich ihrer Rahmenbedingungen detailliert beschrieben wird und für die EU-Typgenehmigung neuer Fahrzeuge verpflichtend heranzuziehen ist.

Das Abbruchkriterium zur Bestimmung von UBE_{Test} ist so zu wählen, dass es dem WLTP-Prüfzyklus entspricht und nicht auf einem herstellerspezifischen Anzeigewert des Ladezustands (en: State of Charge, SoC) basiert.

Zulässige Abbruchkriterien sind beispielsweise:

- Nicht-Einhaltung der Geschwindigkeitstoleranz im definierten Konstantsegment gemäß der WLTP-Prozedur.
- Nicht-Einhaltung definierter Leistungsbegrenzung/Systemabschaltung, sofern diese eindeutig detektierbar und im Prüfbericht dokumentiert ist.

Der konkrete Abbruchgrund ist im Prüfbericht zu klassifizieren.

4.3 WLTP-Prüfzyklus

Der WLTP-Prüfzyklus wird seit dem 01.09.2017 für neue EU-Typgenehmigungen gemäß der Verordnung (EU) 2017/1151 verbindlich angewendet. Die WLTP-Prüfprozedur lässt sich in folgende Teile gliedern:

- Anpassung des Prüfstandes und des Prüffahrzeugs;
- Konditionierung des Prüffahrzeuges;
- Durchführung der Prüffahrt;
- Wiederaufladung des Prüffahrzeuges;
- Auswertung und Berechnung.

Zur Prüfung der Reichweite sowie des Energieverbrauchs gemäß Verordnung (EU) 2017/1151 können entweder die Consecutive Cycle Procedure (CCP) oder die Shortened Test Procedure (STP) angewandt werden. Abhängig von der angenommenen Reichweite eines Elektrostraßenfahrzeuges muss ab drei fahrbaren WLTP-Zyklen die gekürzte Testprozedur (STP) angewendet werden. Aufgrund der geringen Verbreitung von Fahrzeugen, die weniger als drei WLTP-Zyklen durchlaufen können, wird die CCP-Testprozedur, die eine Aneinanderreihung von WLTP-Zyklen darstellt, vernachlässigt.

Der übliche Prüfzyklus (STP) für die Ermittlung der Reichweite von rein elektrischen Fahrzeugen besteht aus insgesamt vier Segmenten, die sich für die Ermittlung der UBE_{Test} wie folgt darstellen.

Dabei besteht UBE_{Test} aus der Summe von vier verschiedenen Energieänderungen. Diese teilen sich in das dynamische Segment 1 (DS1), das dynamische Segment 2 (DS2), die Konstantfahrt 1 (CSSM) und die Konstantfahrt 2 (CSSE) auf, die den Zyklus abschließen.

Die beiden dynamischen Segmente DS1 und DS2 werden für die Energieverbrauchsermittlung genutzt und die beiden Konstantsegmente zur Reduzierung der Testdauer, welche den STP definiert. DS1 und DS2 sind jeweils komplette Testzyklen aus dem WLTP und lassen sich in 6 Phasen mit unterschiedlichen Geschwindigkeitsprofilen aufteilen, wodurch eine phasenbezogene Reichweiten- und Verbrauchsermittlung ermöglicht wird.

Die Länge des ersten Konstantsegments (CSSM) wird so gewählt, dass nach dem 2. dynamischen Segment DS2 ein Energieinhalt der Traktionsbatterie von maximal 10 % der $UBE_{certified}$ vorliegt.

Maßgeblich ist hier nicht der angezeigte Ladezustand, sondern der anteilige zu entladende Energieinhalt bezogen auf den Gesamtenergieinhalt.

Die zweite Konstantfahrt wird bis zum Erreichen des Abbruchkriteriums bei 100 km/h durchgeführt. Die angrenzende Verzögerung an der Konstantfahrt 2 bis zum Fahrzeugstillstand soll innerhalb einer Minute abgeschlossen werden. Der konkrete Abbruchgrund ist im Prüfbericht zu klassifizieren.

Die Umgebungstemperatur muss während der Prüfung gemäß WLTP-Anforderungen erfüllt sein.

4.4 Beschreibung des zertifizierten nutzbaren Energieinhalts

Die zertifizierte Usable Battery Energy ($UBE_{certified}$) bezeichnet den vom Fahrzeughersteller offiziell angegebenen nutzbaren Energieinhalt der Traktionsbatterie des Fahrzeugs. Dieser Wert wird nach dem WLTP-Prüfverfahren zur EU-Typgenehmigung ermittelt.

4.4.1 Berechnung des aktuell nutzbaren Energieinhaltes

Der nutzbare Energieinhalt (Bild 1) ist ein berechneter, gerundeter und interpolierter Wert, der in mehreren Schritten ermittelt wird und den angepassten, nutzbaren Energieinhalt repräsentiert.

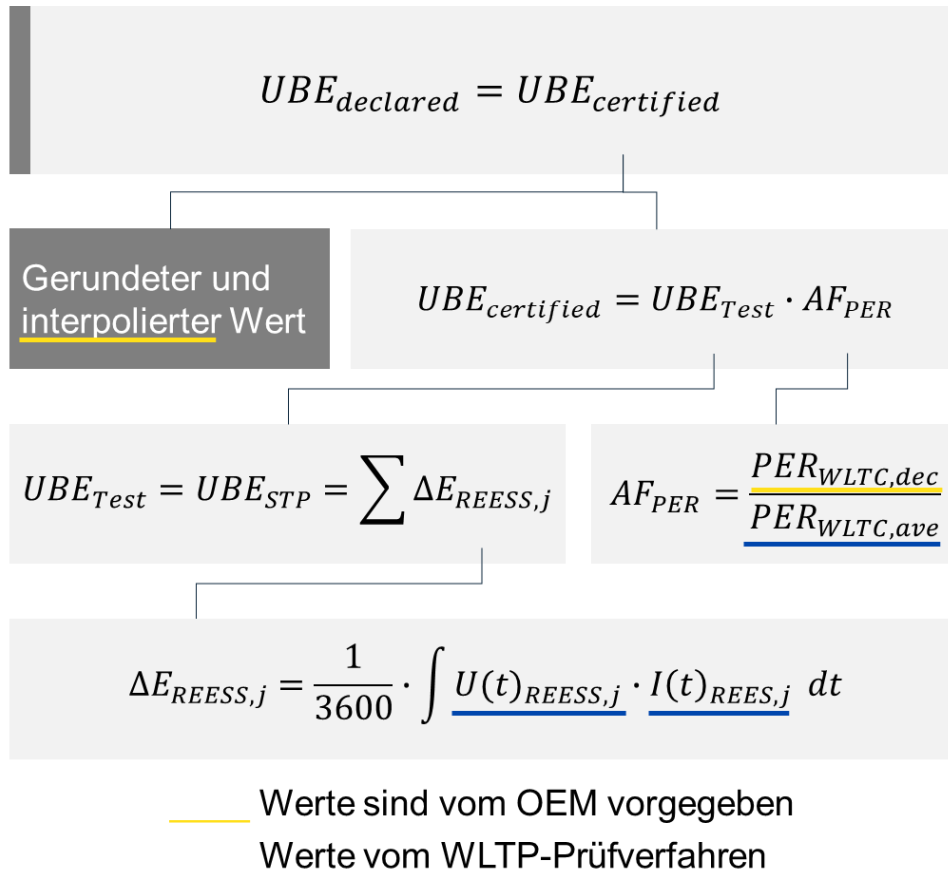


Bild 1 – Prozess zur Berechnung der unterschiedlichen $UBEs$ bis hin zu den tatsächlich messbaren physikalischen Parametern unter Einbezug der vom Fahrzeughersteller vorgegebenen Werte

Zur Berechnung wird die UBE_{Test} herangezogen, welche mit dem Anpassungsfaktor AF_{PER} multipliziert wird:

$$UBE_{certified} = UBE_{Test} \cdot AF_{PER}$$

UBE_{Test} ist der gemessene nutzbare Batterieinhalt bei der Typgenehmigung bzw. Zertifizierung während des WLTP-Testverfahrens, gemäß UN-Regulierung Nr. 154, Änderungsserie 04 [1]. Dabei ist UBE_{Test} die Summe der Änderungen des elektrischen Energieinhalts aller wiederaufladbaren elektrischen Energiespeichersysteme (en: Rechargeable Electrical Energy Storage System, REESS). Falls mehrere Tests durchgeführt wurden, erfolgt die Mittelung der ermittelten UBE -Werte.

$$UBE_{Test} = \Delta E_{REESS,DS1} + \Delta E_{REESS,DS2} + \Delta E_{REESS,CSSM} + \Delta E_{REESS,CSSE}$$

Dabei ist

- $\Delta E_{REESS,DS1}$ die elektrische Energieänderung aller REESS während des dynamischen Segments 1 (DS1) des verkürzten Typ-1-Prüfverfahrens;
- $\Delta E_{REESS,DS2}$ die elektrische Energieänderung aller REESS während des dynamischen Segments 2 (DS2) des verkürzten Typ-1-Prüfverfahrens;
- $\Delta E_{REESS,CSSM}$ die elektrische Energieänderung aller REESS während der Konstantfahrt 1 in der Mitte (CSSM = Constant Speed Segment M) des verkürzten Typ-1-Prüfverfahrens;
- $\Delta E_{REESS,CSSE}$ die elektrische Energieänderung aller REESS während der Konstantfahrt 2 am Ende (CSSE = Constant Speed Segment E) des verkürzten Typ-1-Prüfverfahrens.

AF_{PER} ist der, gemäß UN-Regulierung Nr. 154, Änderungsserie 04, ermittelte Anpassungsfaktor (en: Adjustment Factor für Pure Electric Range, AF_{PER}).

$$AF_{PER} = \frac{PER_{WLTC,dec}}{PER_{WLTC,ave}}$$

Dabei gilt:

- $PER_{WLTC,dec}$ bezeichnet die angegebene rein elektrische Reichweite für den entsprechenden WLTP-Prüfzyklus. Dies ist der Reichweitenwert, den der Fahrzeughersteller für die Zertifizierung angibt.
- $PER_{WLTC,ave}$ bezeichnet die durchschnittliche rein elektrische Reichweite für den entsprechenden WLTP-Prüfzyklus. Dieser Wert wird aus den tatsächlichen Messungen abgeleitet.

Der berechnete Wert für $UBE_{certified}$ wird, gemäß UN-Regulierung Nr. 154, Änderungsserie 04, gerundet:

- auf die nächste ganze Zahl, wenn die Einheit Wh ist;
- auf drei signifikante Zahlen, wenn die Einheit kWh ist.

Der berechnete und gerundete Wert von $UBE_{certified}$ wird abschließend, gemäß UN-Regulierung Nr. 154, Änderungsserie 04, durch Interpolation fixiert. Im Rahmen der Interpolationsmethode wird $UBE_{certified}$ festgelegt, indem das Maximum (aus dem Produkt von UBE_{Test} und AF_{PER}) zwischen den Konfigurationen Fahrzeug H und Fahrzeug L ausgewählt wird.

Dabei gilt:

- Fahrzeug H (Fahrzeug mit hohem Energiebedarf): Dies ist die Fahrzeugkonfiguration innerhalb einer Interpolations (IP)-Fahrzeugfamilie, die den höheren und vorzugsweise höchsten Zyklusenergiebedarf aufweist. Die Hersteller können den Zyklusenergiebedarf von Fahrzeug H künstlich erhöhen (z. B. durch Anpassung der Testmasse).
- Fahrzeug L (Fahrzeug mit geringem Energiebedarf): Dies ist die Fahrzeugkonfiguration innerhalb derselben IP-Fahrzeugfamilie, die den geringsten und vorzugsweise niedrigsten Zyklusenergiebedarf innerhalb der Konfigurationsauswahl aufweist. Ebenso können Hersteller den Zyklusenergiebedarf von Fahrzeug L künstlich senken (z. B. durch Anpassung der Testmasse).
- Ein Hersteller kann sich dafür entscheiden, nur ein Fahrzeug zu verwenden und es zweimal zu testen – einmal als Fahrzeug H und einmal als Fahrzeug L.

4.4.2 Bestimmung der gemessenen Usable Battery Energy

Die Bestimmung der nutzbaren Batterieenergie UBE_{Test} erfolgt gemäß der UN-Regelung Nr. 154, Änderungsserie 04. Der dabei ermittelte Wert wird weder gerundet noch interpoliert. In Abhängigkeit vom zugrunde liegenden Prüfverfahren kann UBE_{Test} mit anderen Kenngrößen gleichgesetzt werden; dies gilt insbesondere für den WLTP-Prüfzyklus in der Typ-1-Variante, die sogenannte Shortened Type 1 Test Procedure (STP), bei der UBE_{Test} dem Wert UBE_{STP} entspricht.

$$UBE_{Test} = UBE_{STP}$$

UBE_{Test} ist dabei die Summe der nutzbaren REESS-Energieinhalte in Wh, die vom Beginn des WLTP-Prüfzyklus bis zum Erreichen des Abbruchkriteriums gemäß UN-Regulierung Nr. 154, Änderungsserie 04 bestimmt wird. Das Abbruchkriterium stellt das Nichteinhalten der Geschwindigkeitstoleranz (± 2 km/h) bei der Sollgeschwindigkeit von 100 km/h über mehr als 4 s in der Konstantfahrt 2 im zweiten Konstant-Segment (CSSE) dar. Zur Ermittlung des Energieinhalts werden der elektrische Strom und die Spannung aller REESS von Beginn der Prüfung bis zum Erreichen des Abbruchkriteriums kontinuierlich gemessen.

$$UBE_{Test} = \sum \Delta E_{REESS,i}$$

Der individuelle Wert $\Delta E_{REESS,i}$ wird durch Integration des Produkts aus Spannung und Strom über die Zeit bestimmt:

$$\Delta E_{REESS,i} = \frac{1}{3600} \int U(t)_{REESS,i} \cdot I(t)_{REESS,i} dt$$

4.5 Bestimmung der Reichweiten für Stadtverbrauch und kombinierter Verbrauch

Die Ermittlung der elektrischen Reichweite erfolgt durch die Verrechnung der segmentbezogenen Verbräuche mit dem insgesamt entnommenen Energieinhalt UBE_{STP} . Für die Berechnung der Verbräuche werden die beiden dynamischen Segmente betrachtet und je nach Gewichtungsfaktor unterschiedlich einbezogen. Der Stadtverbrauch und der kombinierte Verbrauch der beiden Segmente werden miteinander verrechnet, wobei das zweite Segment (DS2) eine höhere Gewichtung erhält, wodurch thermische Effekte und der Einfluss des Ladezustands den Verbrauch reduzieren können. Die Reichweite wird anschließend berechnet und stellt keine im Zyklus zurückgelegte Strecke dar, sondern ist ein errechneter Wert aus dem betrachteten Verbrauchssegment und dem entnommenen Energieinhalt.

$$PER_{WLTC} = \frac{UBE_{STP}}{EC_{DC,WLTC}}$$

Die Ermittlung von $EC_{DC,WLTC}$ erfolgt durch die Summierung der Energieverbräuche (en: Energy Consumption, EC), multipliziert mit dem Gewichtungsfaktor K , über alle dynamischen Segmente hinweg.

$$EC_{DC,WLTC} = \sum_{j=1}^2 EC_{DC,WLTC} \cdot K_{WLTC,j}$$

Die Bestimmung der Gewichtungsfaktoren erfolgt je nach DS1 bzw. DS2 unterschiedlich, mit einer deutlich höheren Gewichtung des zweiten dynamischen Segments.

$$K_{WLTC,1} = \frac{\Delta E_{REESS,WLTC,1}}{UBE_{STP}} \quad \text{und} \quad K_{WLTC,2} = 1 - K_{WLTC,1}$$

Um neben der nun errechneten kombinierten WLTC-Reichweite die Reichweite mit Stadtverbrauch (PER_{City}) zu ermitteln, wird analog zur beschriebenen Berechnung für die vier relevanten Stadt-Phasen des WLTC aufgestellt.

$$PER_{City} = \frac{UBE_{STP}}{EC_{DC,City}}$$

mit

$$EC_{DC,City} = \sum_{j=1}^4 EC_{DC,City} \cdot K_{City,j}$$

und

$$K_{City,1} = \frac{\Delta E_{REESS,City,1}}{UBE_{STP}} \quad \text{und} \quad K_{City,j} = \frac{1 - K_{City,1}}{3}$$

Die offizielle Reichweite wird abschließend aus der errechneten Reichweite und der Multiplikation mit dem Anpassungsfaktor AF_{PER} ermittelt und dokumentiert.

5 Anforderungen an Prüfverfahren und Methodik

5.1 Konditionierung

Das Fahrzeug muss vor Beginn der Messung gemäß den Anforderungen des WLTP-Prüfzyklus konditioniert werden mit dem Ziel der Sicherstellung eines reproduzierbaren Ausgangszustands:

- Einstellung des Ladezustands (SoC) entsprechend des WLTP-Prüfzyklus;
- Temperaturstabilisierung des Fahrzeugs und der Traktionsbatterie auf die Umgebungstemperatur von $23 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$.

Um dies zu gewährleisten und dem Gesamtfahrzeugsystem die Möglichkeit zur Kalibrierung zu geben, gehören unter anderem folgende Schritte zur Konditionierung mindestens hinzu:

- 1) Vollladung, bis das Fahrzeug den Ladevorgang bei 100 % SoC beendet,
 - Ladung mit max. 11 kW AC;

- 2) Ruhephase von mindestens 12 Stunden;
- 3) Entladung bis Abschaltbedingung oder 0 % SoC,
 - Entladerate beträgt max. das 1,3-fache der WLTP-Entladerate (Bsp.: Fahren, V2X, Fahrzeugverbraucher);
- 4) 12 Stunden Ruhephase;
- 5) Vollladung, bis das Fahrzeug den Ladevorgang bei 100 % SoC beendet,
 - Ladung mit max. 11 kW AC;
- 6) bis zu 24 Stunden Ruhephase,
 - Umgebungstemperatur entspricht der Temperatur der Traktionsbatterie um ± 3 °C;
- 7) UBE-Entladezyklus.

5.2 Messgrößen

Zur Ermittlung des nutzbaren elektrischen Energieinhalts (UBE_{Test}) der Traktionsbatterie bis zum definierten Endkriterium der Messprozedur müssen alle relevanten Energieflüsse für die Energie zum Antrieb sowie durch die Traktionsbatterie versorgte Fahrzeugverbraucher, die nicht direkt dem Antrieb zugeordnet sind, erfasst werden. Dafür müssen die Spannung und der Strom der Traktionsbatterie, die Zeit sowie die repräsentative Temperatur der Traktionsbatterie erfasst werden.

5.3 Technische Anmerkungen

UBE_{Test} wird nicht ausschließlich vom Zustand der Traktionsbatterie bestimmt. Folgende beispielhafte Einflussgrößen könnten das Ergebnis beeinflussen:

- Thermomanagement des Fahrzeugs;
- OBD-Grenzwerte und Schutzfunktionen;
- Fahrzeugverbraucher, die nicht direkt dem Traktionsantrieb zugeordnet sind, Software- und Kalibrierungsstände;
- Einfluss auf die freigegebene Energie aufgrund von Fehlermeldungen in der Eigendiagnose;
- Ergebnisdrift durch ungenaue Messdaten oder unregelmäßige Abtastraten.

Daher sind die folgenden Maßnahmen zu ergreifen:

- Die Umgebungsbedingungen sind so anzuwenden, wie im Prozess zur Ermittlung der UBE.
- Das Fahrzeugsystem muss hinsichtlich des Batteriesystems fehlerfrei sein. Das bedeutet, dass für den Test zu gewährleisten ist, dass sich die Traktionsbatterie in einem für den zugelassenen Betrieb vorgesehenen Funktionszustand befindet und die Sicherheit von Traktionsbatterie und Fahrzeug nicht einschränkt.
- Die Datenerhebung erfolgt mit einer Abtastrate von mindestens 1 Hz für Spannungs- und Strompaare sowie einem maximalen Versatz von 0,5 s bei der Synchronität. Die Temperatur der Traktionsbatterie wird mit einer Abtastrate von mindestens 100 s ermittelt.
- Das Toleranzband für die Fahrgeschwindigkeit im WLTP-Prüfzyklus soll im mittleren Bereich durchfahren werden

Da im Rahmen des Verfahrens auf die Fahrzeugsensorik zur Messdatenerhebung zurückgegriffen wird, ist die Ergebnistoleranz durch die Genauigkeit und Toleranz der Fahrzeugbedingungen und der Fahrzeugsensorik begrenzt.

Die Messergebnisse sind von dem verantwortlichen Personal zu bewerten und bei Auffälligkeiten müssen diese entsprechend dokumentiert und erläutert werden.

5.4 Bestimmung der aktuellen Usable Battery Energy

Der SOH entsprechend Kapitel 4.1 wird durch das zuvor dargestellte Prüfverfahren ermittelt. Das dabei für die Ermittlung des UBE_{Test} verwendete Verfahren soll dem Verfahren aus der Typgenehmigung für die Bestimmung des $UBE_{\text{certified}}$ herangezogen werden:

- 1) UBE über Prüfstand, äquivalent zur UN-Regulierung Nr. 154, Änderungsserie 04
 - a) Wenn $UBE_{\text{certified}}$ als Referenz verfügbar ist;

- 2) Reichweite auf Prüfstand, äquivalent zur UN-Regulierung Nr. 154, Änderungsserie 04
 - a) Wenn beispielsweise $UBE_{\text{certified}}$ als Referenz nicht verfügbar ist;

6 Bericht

Nach Abschluss des Tests ist ein Testbericht vorzulegen. Die folgenden grundlegenden Systemangaben sind als Mindestangaben bereitzustellen:

- a) Berichtsidentifikation,
- b) Name der durchführenden Person, Unternehmen, Postanschrift, Telefonnummer und E-Mail-Adresse,
- c) Datum,
- d) Beschreibung der Testumgebung,
- e) verwendete Ausrüstung
- f) Marke, Modell, Antriebskonfiguration, Fahrzeugidentifikationsnummer,
- g) Identifikation der Traktionsbatterie (Batterie-ID, Herstellerangaben Energieinhalt),
- h) Softwarestände (z. B.: BMS/ECU),
- i) Kilometerstand
- j) Prüfvariante (nach Kapitel 5.4)
- k) Konditionierung (SoC-Ziel, Temperatur, Dauer)
- l) Messkette (Sensoren, Abtastraten, $\Delta t_{(U-I)}$, Zeitstempel)
- m) Abbruchkriterium sowie Abbruchgrund
- n) Ergebnis: UBE_{Test} , $UBE_{\text{certified}}$, SoH
- o) Als Hinweis: Vorgefundene Auffälligkeiten bzw. einzelne Fehler müssen mit vollständiger und detaillierter Fehler- und Charakterisierungsbeschreibung dokumentiert werden. Im Fall der Validierung der Fahrzeugsensorik durch externe Sensoren inkl. der Kalibrierdaten der externen Sensoren.

Literaturhinweise

- [1] United Nations Economic Commissions for Europe, „UN Regulation No 154 – Uniform provisions concerning the approval of light duty passenger and commercial vehicles with regards to criteria emissions, emissions of carbon dioxide and fuel consumption and/or the measurement of electric energy consumption an,“ United Nations, Geneva, 2023.
- [2] United Nations Economic Commission for Europe, „Global Technical Regulation No. 22 - In-vehicle Battery Durability for Electrified Vehicles,“ ECE/TRANS/180/Add.22, Geneva, 2022.

VDE Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e.V.

Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main
Tel. +49 69 6308-0
service@vde.com
www.vde.com

