



Bewertung verunfallter Hochvoltbatterien in Elektrofahrzeugen

Angesichts der rasant wachsenden Elektromobilität und der damit verbundenen steigenden Zahl verunfallter Hochvoltbatterien liefert dieses Whitepaper Sachverständigen, Gutachtenden und allen beteiligten Akteuren eine fundierte Orientierung zu den zentralen Fragen von Sicherheit, technischer Diagnose, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit bei der Bewertung und dem Umgang mit beschädigten E-Fahrzeugbatterien.

Zusammenfassung	04
<hr/>	
Einleitung	06
<hr/>	
Sicherheitsaspekte	07
<hr/>	
Technische Diagnose und Analyse	10
<hr/>	
Herstellervorgaben und Empfehlungen	12
<hr/>	
Wirtschaftliche Betrachtung	16
<hr/>	
Umweltaspekte	21
<hr/>	
Fazit	23



Verunfallte Hochvoltbatterien bewerten

Verunfallte Hochvoltbatterien zählen zu den anspruchsvollsten Sicherheits- und Bewertungsfällen bei Elektrofahrzeugen. Mechanische Schäden, thermische Überlastungen oder elektrische Defekte können schwerwiegende Folgen wie Brände, chemische Leckagen oder Stromschläge verursachen. Ein fachgerechter Umgang mit beschädigten Batteriesystemen ist daher essenziell, um Risiken für Menschen, Umwelt und Sachwerte zu minimieren.

Das Dokument „Bewertung von verunfallten E-Fahrzeugbatterien“ beleuchtet die zentralen Herausforderungen beim Umgang mit beschädigten Hochvoltbatterien und

zeigt Lösungsansätze für deren sichere und fachlich fundierte Bewertung auf. Im Fokus stehen sicherheitsrelevante, technische, wirtschaftliche und ökologische Aspekte, die bei der Beurteilung nach einem Unfall berücksichtigt werden müssen.

Die technische Bewertung solcher Batterien erfolgt durch moderne Diagnosemethoden und Prüfverfahren. Sensoren überwachen Parameter wie Temperatur, Spannung und Stromfluss, während Fahrzeugdaten und Fehlerprotokolle wichtige Hinweise auf den Zustand der Batterie liefern. Ergänzend dazu kommen Prüfmethode wie zum Beispiel

die Isolationswiderstandsprüfung oder Potentialausgleichsmessung zum Einsatz, um den Zustand der Batterie präzise zu analysieren. Verfahren dieser Art ermöglichen es, zwischen reparablen und irreparablen Schäden zu unterscheiden und fundierte Entscheidungen über Reparatur, Austausch und/oder Recycling zu treffen.

Ein weiterer zentraler Aspekt ist die Einhaltung von Herstellervorgaben und Standards. Diese Vorgaben gewährleisten nicht nur die Sicherheit bei der Handhabung und Reparatur von Hochvoltbatterien, sondern sind auch oft an Garantiesprünge gekoppelt. Eine lückenlose Dokumentation der durchgeführten Arbeiten ist daher unerlässlich, um die Einhaltung dieser Vorgaben nachzuweisen und Haftungsrisiken zu minimieren.

Die wirtschaftliche Bewertung von verunfallten Batterien erfolgt durch eine Kosten-Nutzen-Analyse. Dabei werden die Kosten für eine Reparatur oder einen Austausch der Batterie mit dem Wiederbeschaffungswert des Fahrzeugs verglichen. In vielen Fällen ist die Reparatur einzelner Module wirtschaftlich sinnvoller als der Austausch der gesamten Batterie, da die Kosten für einen Modultausch deutlich geringer ausfallen. Der Zustand der Batterie, gemessen am sogenannten State of Health (SoH), spielt eine entscheidende Rolle, da er den Wiederbeschaffungswert des Fahrzeugs maßgeblich beeinflusst. Bei irreparablen Schäden, wie etwa nach einem thermischen Ereignis, ist jedoch ein vollständiger Austausch der Batterie erforderlich.

Parallel zur Unfallbewertung gewinnt der regulatorische Rahmen zur Batteriedauerhaltbarkeit an Bedeutung: Euro7 (VO (EU) 2024/1257) verankert für neue Typen ab November 2026 zusätzliche Anforderungen an Traktionsbatterien hinsichtlich Haltbarkeit und Anzeige des Alterungszustandes angelehnt an die Methodik in UN GTR 22 (u.a. SOCE/SOCR auf Basis UBE). Dadurch werden standardisierte Kennwerte und Datenzugang für die Nachweisführung und Transparenz relevant - auch als zusätzliche Informationsquelle für Bewertung und Dokumentation.

Neben den technischen und wirtschaftlichen Aspekten spielen ökologische Überlegungen eine immer größere Rolle. Die Herstellung neuer Batterien ist äußerst energieintensiv

und verursacht hohe CO₂-Emissionen. Eine Reparatur und Wiederverwendung von Batterien bietet daher die größten Vorteile für die Umwelt, da sie CO₂-Emissionen reduziert, Ressourcen schont und Abfälle minimiert. Neben der Reparatur für die Primäranwendung ist die grundsätzliche Verlängerung der Lebensdauer bestehender Batterien durch eine Second-Life-Nutzung aus ressourcen- und klimapolitischer Sicht besonders nachhaltig. Ausgediente Fahrzeugbatterien können beispielsweise als stationäre Energiespeicher weiterverwendet werden. Ist eine Wiederverwendung nicht möglich, ist das Recycling von zentraler Bedeutung, um wertvolle Rohstoffe wie Lithium, Kobalt und Nickel zurückzugewinnen.

Die Entscheidung zwischen Reparatur, Austausch oder Recycling erfordert eine ganzheitliche Betrachtung, die technische, wirtschaftliche und ökologische Faktoren gleichermaßen berücksichtigt. Sachverständige und Gutachtende spielen eine zentrale Rolle in diesem Prozess, da sie die notwendigen Analysen durchführen und fundierte Entscheidungen treffen müssen. Neben den objektiven Kriterien wie Kosten, Sicherheit und Umweltverträglichkeit können auch individuelle Faktoren wie Kundenwünsche oder die Verfügbarkeit von Ersatzteilen in die Entscheidungsfindung einfließen.

Einleitung

Die Elektromobilität hat sich als zentrale Säule der nachhaltigen Mobilität etabliert und leistet einen entscheidenden Beitrag zur Reduktion von CO₂-Emissionen sowie zur Verbesserung der Luftqualität. Doch mit der zunehmenden Verbreitung von Elektrofahrzeugen treten spezifische Herausforderungen auf, insbesondere im Bereich der Sicherheit und Handhabung von Hochvoltbatterien. Gerade für Sachverständige und Gutachtende ergeben sich daraus besondere Anforderungen: Sie müssen den Zustand verunfallter oder beschädigter Batterien fachgerecht bewerten, potenzielle Gefahren einschätzen und eine belastbare Grundlage für das weitere Vorgehen schaffen.

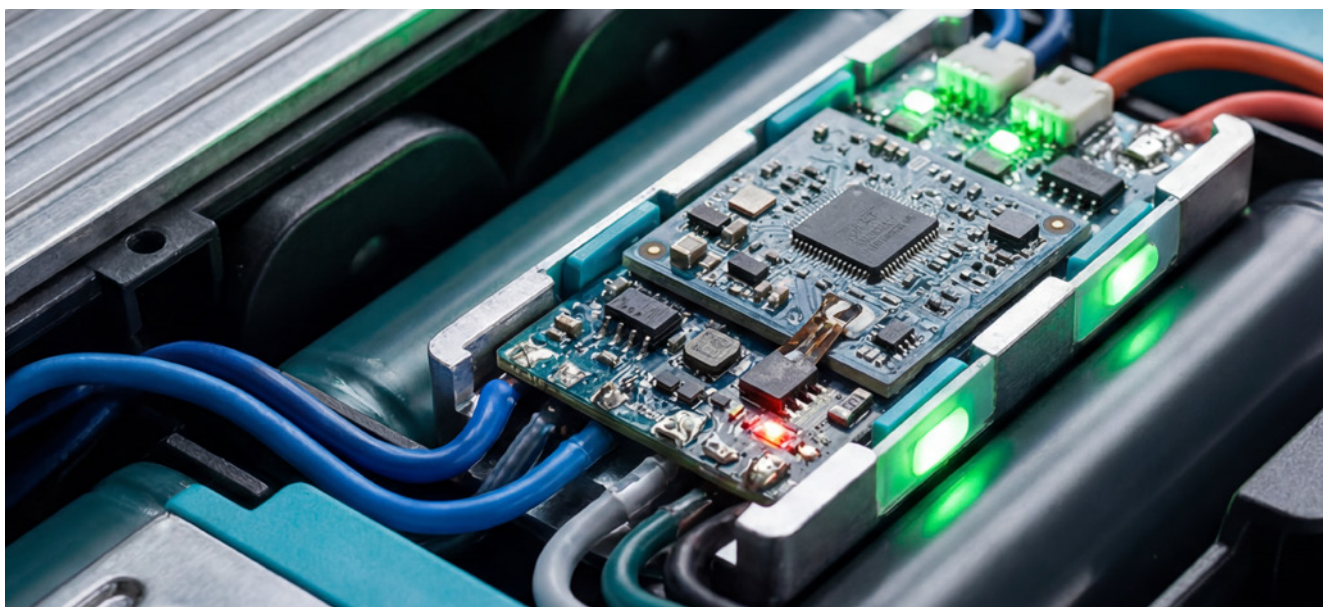
Verunfallte oder beschädigte Lithium-Ionen-Batterien bergen erhebliche Risiken, darunter die Gefahr von Batteriebränden, das Austreten gefährlicher Chemikalien sowie Stromschlagrisiken. Um Gefährdungen für Personen, Umwelt und Sachwerte frühzeitig zu erkennen und weitere Schäden zu vermeiden, ist eine sorgfältige und fachgerechte Begutachtung des Batteriezustands unerlässlich. Für Sachverständige besteht die Aufgabe darin, den Zustand der Batterie präzise zu analysieren und notwendige Maßnahmen abzuleiten, sei es die Reparatur, der Austausch oder die fachgerechte Entsorgung. Dabei ist es entscheidend, sowohl technische als auch rechtliche und ökologische Aspekte in die Beurteilung einzubeziehen. Die Lagerung, der Transport und das Recycling beschädigter Batterien unterliegen strengen Vorschriften, beispielsweise den Regelungen für den Transport gefährlicher Güter. Um gefährliche Zwischenfälle und potenzielle Haftungsrisiken zu vermeiden, müssen Sachverständige frühzeitig fundierte Entscheidungen über den weiteren Umgang mit den Batterien treffen. Insbesondere bei stark beschädigten Batterien sind spezielle Maßnahmen wie die kontrollierte Entladung, eine geschützte Lagerung oder der Transport in dafür vorgesehenen Transportbehältern notwendig. Diese Prozesse erfordern tiefgehendes Fachwissen, geschulte Fachkräfte und moderne diagnostische Technologien.

Darüber hinaus stellt die Vielfalt der Batteriesysteme Sachverständige vor weitere Herausforderungen. Unterschiedliche Fahrzeughersteller arbeiten mit spezifischen Batteriestrukturen und Sicherheitsmechanismen, deren genaue Kenntnis essenziell für eine korrekte Bewertung ist. Die kontinuierliche Weiterentwicklung von Batterietechnologien erfordert von Sachverständigen regelmäßige Schulungen, um aktuelle Diagnosetools und Herstellervorgaben sicher anwenden zu können. Durch ihre Tätigkeit tragen Sachverständige entscheidend dazu bei, nicht nur Schadenfälle präzise zu bewerten, sondern auch die Sicherheit aller Beteiligten – von Rettungskräften bis hin zu Werkstattpersonal – sowie den Schutz der Umwelt zu gewährleisten.

Hinzu kommt, dass Sachverständige bei der Begutachtung verunfallter Elektrofahrzeuge spezifische Anforderungen in allen drei Phasen ihrer Arbeit erfüllen müssen: vor, während und nach der Begutachtung. Vor der Untersuchung ist besonderes Augenmerk auf die Einhaltung der Herstellervorgaben und den Umgang mit modernsten Prüfgeräten zu legen. Während der eigentlichen Begutachtung stehen technisches Know-how und die Beachtung strenger Sicherheitsvorkehrungen im Vordergrund, um potenzielle Risiken, wie thermische Instabilitäten oder unsichtbare Schäden, zuverlässig zu identifizieren. Nach der Begutachtung ist es entscheidend, die Ergebnisse in einem vollständigen und rechtlich belastbaren Gutachten zu dokumentieren, das sowohl technische Details als auch praktische und gesetzeskonforme Handlungsempfehlungen umfasst. Diese Aspekte zeigen, dass die Elektromobilität nicht nur technologische und umweltbezogene Fortschritte mit sich bringt, sondern auch komplexe Sicherheitsherausforderungen, die eine kontinuierliche Anpassung und Verbesserung der Protokolle und Schulungen erfordern.

Kapitel 1

Sicherheitsaspekte



Sicherheit verunfallter Hochvoltbatterien

Die stark wachsende Verbreitung von Elektrofahrzeugen bringt nicht nur Vorteile, sondern auch spezifische Sicherheits Herausforderungen mit sich – insbesondere im Zusammenhang mit Antriebsbatterien. Sachverständige und Gutachtende stehen hierbei vor der zentralen Aufgabe Risiken zu bewerten, um Gefahren für Personen, Umwelt und Infrastruktur zu minimieren. Dieses Kapitel beleuchtet die Relevanz der Sicherheit sowie die Risiken und Herausforderungen, die durch physische und thermische Schäden an Batterien entstehen, und zeigt Möglichkeiten zur Erkennung sichtbarer und unsichtbarer Schäden auf.

Die zunehmende Anzahl von Elektrofahrzeugen erfordert ein stark erhöhtes Bewusstsein für spezifische Sicherheitsaspekte. Besonders Hochvoltbatterien, die eines der zentralen und zugleich riskantesten Bauteile darstellen, bedürfen besonderer Aufmerksamkeit. Schäden an diesen Komponenten können schwerwiegende Folgen haben – nicht nur für Fahrende und Fahrgäste, sondern auch für

Rettungskräfte, Werkstätten, Sachverständige und Gutachtende sowie für die Öffentlichkeit.

Die Aufgabe von Sachverständigen und Gutachtenden geht dabei weit über die rein technische Bewertung hinaus. Sie spielt eine entscheidende Rolle bei der vollständigen Dokumentation und Feststellung von Schäden, der Identifizierung von Gefährdungspotentialen sowie der Beurteilung, welche Maßnahmen – von Reparatur oder Austausch bis hin zur sicheren Entsorgung – ergriffen werden müssen. Dabei ist die enge Abstimmung mit anderen beteiligten Akteuren, z. B. Einsatzkräften und Werkstattmitarbeitenden, essenziell.

Ein weiterer zentraler Aspekt ist die Aus- und Weiterbildung. Nur durch regelmäßige Schulungen und Trainings können Sachverständige sowie Rettungskräfte und Werkstattpersonal sicherstellen, dass sie den wachsenden Anforderungen gewachsen sind. Dies betrifft insbesondere den sicheren Umgang mit beschädigten Elektrofahrzeugen, die Verhinderung von Stromschlägen und Batteriebränden sowie die kompetente Bergung und sichere Lagerung verunfallter Fahrzeuge.

Schadensbilder und Gefährdungspotenziale

Hochvoltbatterien in Elektrofahrzeugen weisen durch ihre hohe Energiedichte eine erhebliche Gefährdung auf, insbesondere bei Beschädigungen. Diese Gefährdung kann in zwei hauptsächliche Kategorien unterteilt werden: physische und thermische Schäden.

Physische Schäden

Physische Schäden können durch mechanische Einflüsse wie Kollisionen, Stürze, Beschädigungen durch Fremdkörper oder unsachgemäße Handhabung entstehen. Sie betreffen oft das Batteriegehäuse, die Zellstruktur, das Thermomanagement oder die elektrischen Anschlüsse. Solche Beschädigungen können zu internen Kurzschlüssen und in der Folge zu gefährlichen Fehlfunktionen oder Instabilität der Batterie führen.

Thermische Schäden

Thermische Schäden entstehen typischerweise durch Überhitzung. Wenn eine Batterie hohe Temperaturen erreicht, können chemische Prozesse ausgelöst werden, die zur sogenannten „thermischen Instabilität“ (engl. Thermal Runaway) führt - einem Zustand, bei dem eine einzelne Batteriezelle unkontrolliert überhitzt und sich entzündet.

Ein solcher Batteriebrand ist besonders kritisch, da er schwer zu löschen ist und sich in Abhängigkeit der Zellchemie aufgrund der chemischen Eigenversorgung mit Sauerstoff schnell und intensiv ausbreitet. Diese thermische Ausbreitung als Kettenreaktion von Zelle zu benachbarten Zellen beschreibt man als „thermische Ausbreitung“ (engl. Thermal Propagation). Die Gefahrensituation kann sich nicht nur auf das Fahrzeug, sondern auch auf nahegelegene Objekte und Personen auswirken.

Für Sachverständige und Gutachtende bedeuten diese Risiken, dass Beschädigungen besonders sorgfältig bewertet werden müssen, um mögliche Gefahren frühzeitig zu identifizieren und geeignete Sicherheitsvorkehrungen zu treffen. Ihre Expertise ist entscheidend sowohl für die Ursachenanalyse nach Unfällen als auch für die Prävention weiterer Risiken.

Erkennung von Schäden

Eine der zentralen Herausforderungen bei der Arbeit an Elektrofahrzeugen ist die präzise Erkennung von Schäden an Antriebsbatterien. Sie erfordert sowohl technisches Fachwissen als auch spezialisierte Technologien. Grundsätzlich können physische und thermische Schäden nochmal



unterteilt werden in zwei weitere Kategorien: sichtbare und unsichtbare.

Sichtbare Schäden

Sichtbare Schäden umfassen äußere physische Veränderungen, die ohne den Einsatz von Spezialgeräten visuell erkennbar sind.

Typische Beispiele sind:

- **Deformationen oder Risse im Gehäuse:** Solche Schäden sind oft Indikatoren für schwerwiegendere Probleme im Inneren der Batterie.
- **Rauchentwicklung, Funken, austretende Flüssigkeiten oder Gase:** Diese Anzeichen deuten auf unmittelbare Gefahren wie Kurzschlüsse oder chemische Instabilität hin und erfordern schnelles Eingreifen, um Brände oder Explosionen zu verhindern. Zudem können ausweichende Gase giftig, ätzend oder entzündlich sein.
- **Thermische Auffälligkeiten:** Durch thermische Anlaufbilder können lokale Überhitzungen im Inneren der Batterie identifiziert werden. Dies hilft, potenzielle Gefahren frühzeitig zu erkennen und zu bewerten.

Unsichtbare Schäden

Unsichtbare Schäden stellen eine größere Herausforderung dar, da sie bei oberflächlicher Betrachtung nicht offensichtlich sind.

Dazu gehören:

- **Interne Kurzschlüsse:** Diese können durch mechanische Schäden im Inneren der Batterie oder durch Fremdstoffe verursacht werden und führen zu einer Instabilität, die ohne äußere Anzeichen bestehen kann.
- **Latente thermische Instabilität:** Selbst bei unauffälligem äußerem Erscheinungsbild kann eine Batterie durch frühere Belastungen, wie Überhitzung oder physische Einwirkungen, instabil sein und potenziell gefährliche Zustände entwickeln.

Für Sachverständige ist die Detektion solcher unsichtbaren Schäden essenziell. Hier kommen moderne Diagnosetools

und Technologien zur Anwendung. Wärmebildkameras können Hotspots oder unregelmäßige Temperaturverteilungen aufzeigen, die auf interne Probleme hinweisen. Elektrische Diagnosesysteme erlauben es, Spannungen und Ströme präzise zu messen, um abnormale Werte oder Zellfehler zu identifizieren. Die Nutzung solcher Werkzeuge ist entscheidend, um nicht nur Schäden zu erkennen, sondern auch fundierte Bewertungen und Empfehlungen abgeben zu können.

Um unsichtbare Schäden frühzeitig zu erkennen, sind wiederkehrende Überprüfungen an der verunfallten Antriebsbatterie notwendig.

Zusammengefasst zeigt sich, dass die Sicherheit bei Elektrofahrzeugen und insbesondere der Umgang mit Schäden an Antriebsbatterien hohe Anforderungen an alle Beteiligten stellt. Für Sachverständige und Gutachtende sind umfassende Schulungen, der Einsatz moderner Diagnosetools und die enge Zusammenarbeit mit anderen Akteuren, wie z. B. dem Werkstattpersonal (Hochvolt-Experte) unerlässlich. Diese Maßnahmen bilden die Grundlage, um Risiken zu minimieren, die Sicherheit zu gewährleisten und gleichzeitig den fortschreitenden Anforderungen durch die Elektromobilität gerecht zu werden.

Kapitel 2

Technische Diagnose und Analyse

2.1 Verfahren zur Sicherheitsbewertung von Hochvoltbatterien

Mit dem wachsenden Bestand an Elektrofahrzeugen nehmen auch die Anforderungen an die Bewertung von Hochvoltbatterien zu – sei es nach Unfällen, in der Werkstatt oder im Gebrauchtwagenmarkt. Damit steigt der Bedarf an fortschrittlichen Verfahren zur Diagnose und Überwachung

von Hochvoltbatterien. Für Sachverständige und Gutachtende bilden diese Technologien eine zentrale Grundlage, um den Zustand der Batterien zu bewerten, mögliche Risiken zu identifizieren und fundierte Gutachten zu erstellen. Dieses Kapitel beleuchtet die Rolle fortschrittlicher Sensoren und Überwachungsmechanismen, die Nutzung von Fahrzeugdaten zur Diagnose sowie spezifische Prüfmethode, die für eine umfassende Analyse der Zellbalance, des Isolationswiderstands und der thermischen Integrität erforderlich sind.



Sensoren und Überwachungsmechanismen

Sensoren sind essenzielle Komponenten moderner Elektrofahrzeuge und liefern kontinuierlich wichtige Daten für die Überwachung von Batterien. Sie ermöglichen es, kritische Parameter wie Spannung, Temperatur, Stromfluss und mechanische Belastungen in Echtzeit zu erfassen. Für Sachverständige und Gutachtende liefern diese Sensordaten eine unverzichtbare Grundlage für die Bewertung von Batteriefehlern und Schadensursachen.

Zu den wichtigsten Sensorarten gehören:

- **Temperatursensoren:** Diese messen die Temperatur an strategischen Punkten der Batterie, um Überhitzungen frühzeitig zu erkennen und thermischen Schäden vorzubeugen.
- **Spannungssensoren:** Sie überwachen die Spannung jeder einzelnen Zelle sowie der gesamten Batterie, was für die Aufrechterhaltung einer ausgewogenen Zellbalance essenziell ist.

- **Stromsensoren:** Diese erfassen den Stromfluss innerhalb der Batterie und sind unerlässlich, um Überlastungen, Kurzschlüsse oder andere Anomalien zu detektieren.
- **Drucksensoren:** In fortschrittlichen Batteriesystemen können Drucksensoren eingesetzt werden, um Änderungen des internen Drucks zu überwachen. Diese können auf gefährliche Zustände wie Gasbildung oder Schäden in den Zellen hinweisen.

Für Sachverständige liefern diese Sensoren nicht nur wichtige Informationen für die Ursachenanalyse nach Unfällen, sondern ermöglichen es auch, Anzeichen von Schäden frühzeitig zu erkennen. Das Wissen über die Funktionsweise und die Standortdaten dieser Sensoren ist entscheidend, um Unregelmäßigkeiten korrekt zu interpretieren und Maßnahmen abzuleiten.

Nutzung von Fahrzeugdaten zur Diagnose

Die kontinuierlich erfassten Fahrzeugdaten spielen eine entscheidende Rolle in der Diagnose und Wartung von Elektrofahrzeugen. Sachverständige und Gutachtende greifen auf diese Daten zurück, um den technischen Zustand der Batterie zu bewerten und zu dokumentieren. Moderne Elektrofahrzeuge sind mit umfangreichen Telematiksystemen ausgestattet, die es ermöglichen, Informationen sowohl lokal auszulesen als auch per Fernzugriff bereitzustellen. Zu den wichtigsten Aspekten der Fahrzeugdatennutzung gehören:

- **Fehlerprotokollierung:** Fahrzeugdaten wie Spannungsspitzen, Überhitzungen oder Ladefehler werden systematisch protokolliert und können bei der Analyse von Batterieausfällen wertvolle Hinweise liefern. Sachverständige nutzen diese Protokolle als Grundlage für ihre Bewertungen und Berichte.
- **Zustandsüberwachung:** Mittels Algorithmen in den Steuergeräten können Muster in den Fahrzeugdaten identifiziert werden, die auf bevorstehende Probleme hinweisen. Diese Werkzeuge helfen Sachverständigen, nicht offensichtliche Probleme zu diagnostizieren und präventive Maßnahmen zu empfehlen. Insbesondere die

Zellbalance spielt hierbei eine entscheidende Rolle.

- Eine unausgeglichene Zellbalance, das heißt Unterschiede in Spannung und Ladezustand zwischen den einzelnen Batteriezellen, kann zu Überladungen, Tiefentladungen oder thermischen Problemen führen. Diese Abweichungen verringern nicht nur die Lebensdauer der Batterie, sondern können auch die Betriebssicherheit gefährden.

Durch die Fahrzeugdaten können Ladezustände und Spannungen der einzelnen Zellen kontinuierlich überwacht werden. Auf Basis von Algorithmen im Batterie Management System (BMS) werden potenzielle Probleme, wie z. B. eine gestörte Zellbalance, frühzeitig erkannt und gemeldet, sodass rechtzeitig Maßnahmen wie aktives oder passives Zellbalancing eingeleitet werden können:

- **Aktives Zellbalancing:** Überladene Zellen geben Energie an weniger geladene Zellen ab, um eine gleichmäßige Verteilung zu gewährleisten.
- **Passives Zellbalancing:** Bei überladenen Zellen wird die Energie über Widerstände abgeleitet, um die Balance zwischen den Zellen zu erhalten.
- Sachverständige und Gutachtende können durch die Analyse dieser Daten Ungleichgewichte erkennen, dokumentieren und somit proaktiv Risiken verringern.
- **Ferndiagnose:** Dank moderner Kommunikationstechnologien können Fahrzeugdaten extern ausgelesen werden, um auch aus der Ferne Diagnosen zu erstellen. Dies bietet insbesondere in der Zusammenarbeit zwischen Gutachtenden und technischen Prüfzentren Vorteile.

Diese Technologien ermöglichen es Sachverständigen und Gutachtenden auf valide Daten zuzugreifen und fundierte Entscheidungen zu treffen. Die Fähigkeit, Fahrzeugdaten zu interpretieren und für Gutachten und Schadensbewertungen aufzubereiten, wird zunehmend wichtiger.

Prüfmethoden für Isolationswiderstände, thermische Integrität und Potentialausgleich

Zur genauen Analyse und Bewertung von Batterien stehen verschiedene spezialisierte Prüfmethoden zur Verfügung. Für Sachverständige und Gutachtende sind diese Verfahren unverzichtbare Werkzeuge, um den Zustand einer Batterie umfassend zu analysieren und Sicherheitsrisiken zu minimieren.

- **Isolationswiderstandsprüfung:** Der Isolationswiderstand zwischen Hochvoltkomponenten und dem Fahrzeugchassis wird gemessen zur Feststellung der elektrischen Sicherheit von Hochvoltsystemen und um potenzielle elektrische Fehler oder Stromschlagrisiken zu erkennen.
- **Ziel der Messung:** Mögliche Leckströme oder elektrische Fehler identifizieren, die durch Schäden an der Isolierung zwischen den Hochvoltsystem und dem Fahrzeugchassis entstehen könnten. Ein niedriger Isolationswiderstand kann auf potenzielle Gefahren wie Kurzschlüsse oder Stromschlagrisiken hinweisen.
- **Messverfahren:** Bei der Isolationswiderstandsprüfung wird mit einem Hochvolttester oder einem Isolationswiderstandsmessgerät eine spezifische Prüfspannung an die Hochvoltkomponenten angelegt. Anschließend wird der Widerstandswert zwischen den Hochvoltleitungen und dem Fahrzeugchassis gemessen.

Ein ausreichend hoher Isolationswiderstand zeigt, dass das System hinsichtlich des direkten Berührungsschutzes sicher ist. Ein niedriger Widerstandswert deutet auf mögliche Schwachstellen in der elektrischen Isolation hin, wie etwa beschädigte Isoliermaterialien oder Feuchtigkeitseinflüsse.

Für Sachverständige ist dies eine Standardprüfung bei der Schadensbewertung oder in Fällen, in denen Sicherheitsbedenken vorliegen, etwa nach Unfällen oder Sichtung von Produktionsmängeln.

- **Thermische Integritätsprüfung:** Mittels thermografischer Analyse und Temperaturüberwachung wird die thermische Stabilität der Batterie geprüft. Diese ist entscheidend für die Sicherheit und Leistung der Batterie.
- **Ziel der Messung:** Hotspots oder thermische Ungleichgewichte in einer Batteriezelle oder im gesamten Batteriesystem zu erkennen, bevor sie zu kritischen Zuständen wie einer thermischen Instabilität führen. Darüber hinaus dient die Messung dazu, die Temperaturverteilung auf der Batterieoberfläche zu analysieren und potenzielle Probleme wie ungleichmäßige Wärmeabführung oder fehlerhafte Kühlmechanismen zu identifizieren.
- **Messverfahren:** Die thermische Integritätsprüfung erfolgt in der Regel mithilfe von Infrarot-Thermografie. Diese ermöglicht die Visualisierung der Temperaturverteilung auf der Gehäuseoberfläche. Mithilfe einer Wärmebildkamera werden Bilder aufgenommen, die zeigen, ob bestimmte Bereiche der Batterie außergewöhnliche Temperaturen aufweisen ("Hotspots").

Weitere Verfahren, wie die Temperaturmessung über eingebaute Temperatursensoren im Batteriepaket oder thermodynamische Simulationen, können ergänzend verwendet werden. Für Sachverständige ist diese Methode besonders nützlich, um potenzielle thermische Gefahren zu dokumentieren und Empfehlungen zur Schadensvermeidung oder Reparatur zu geben.

- **Messung des Potentialausgleichs:** Der Potentialausgleich spielt eine zentrale Rolle für die Sicherheit von Hochvoltbatterien und des gesamten Fahrzeugsystems. Die Prüfung gewährleistet, dass im Falle einer fehlerhaften Isolierung, bzw. bei freiliegenden aktiven Leitern kein gefährliches Potential bei Berührung frei wird und dass eine gleichmäßige Potenzialverteilung zwischen den Komponenten und dem Fahrzeugchassis vorliegt. Dies ist essenziell, um elektrische Ströme sicher abzuleiten und die Funktion des Hochvoltsystems zu gewährleisten. Darüber hinaus bildet der Potentialausgleich die

Grundlage für die Funktionsweise des Isolationswächters (Iso-Wächter), der kontinuierlich die Isolation des Hochvoltnetzes überwacht.

- **Ziel der Messung:** Die Überprüfung des Potentialausgleichs dient dazu, Probleme zu identifizieren die zu elektrischen Potentialunterschieden zwischen leitfähigen Teilen, Funktionsfehlern oder Schäden an elektrischen Systemen führen könnten. Eine fachgerecht hergestellte Masseverbindung sorgt dafür, dass bei fehlerhafter Isolierung kein lokal gefährliches Potential vorliegt, indem alle leitfähigen Teile eines HV-Systems auf demselben elektrischen Potential liegen. Somit wird der damit verbundene Kurzschlussstrom abgeführt und ein Stromschlag verhindert. Zudem wird ermöglicht, dass der Iso-Wächter den Isolationswiderstand zwischen Hochvoltssystemen und der Fahrzeugmasse präzise und kontinuierlich überwachen kann. Störungen im Potentialausgleich könnten den Betrieb des Iso-Wächters beeinträchtigen und so die Gefährdung für Kurzschlüsse oder elektrische Fehlfunktionen erhöhen.
- **Messverfahren:** Sachverständige prüfen das elektrische Potential zwischen den Hochvoltkomponenten und der Fahrzeugchassis mithilfe spezieller Hochvolt-Prüfgeräte. Dabei wird mithilfe eines Prüfstroms kontrolliert, ob alle Komponenten des Hochvoltsystems korrekt mit der Fahrzeugmasse verbunden sind und keine unerwünschten Spannungsunterschiede oder Restpotentiale bestehen. Die gemessenen Werte werden anschließend mit den technischen Spezifikationen der Hersteller verglichen. Ein korrekt hergestellter Potentialausgleich verhindert gefährliche Potentialunterschiede und sichert die ordnungsgemäße Funktion des Iso-Wächters, der Fehler im Hochvoltssystem zuverlässig erkennt.

Diese Prüfung erfolgt insbesondere nach Unfällen, bei Reparaturen am Hochvoltssystem sowie im Rahmen von regelmäßigen Sicherheitschecks. Für Sachverständige ist die Messung eine wichtige Grundlage, um die Ursachen von Spannungsspitzen oder Sicherheitsmängeln zu beurteilen.

Die Messung des Potentialausgleichs ist besonders wichtig, da bereits geringfügige Abweichungen zu langfristigen Fehlfunktionen führen können. Für Sachverständige bietet sie eine verlässliche Möglichkeit, den allgemeinen Sicherheitszustand eines Batteriepacks und der dazugehörigen Hochvoltkomponenten zu bewerten.

Die Anwendung dieser Prüfmethode ist für Sachverständige und Gutachtende zentral, um detaillierte Einblicke in die Funktionsfähigkeit der Batterie zu erhalten und eine objektive Bewertung des Schadensumfangs vorzunehmen. Diese analytischen Erkenntnisse spielen eine Schlüsselrolle in Gutachten, die sowohl die Betriebssicherheit als auch die Bewertung betreffen.

Zusammengefasst wird deutlich, wie wichtig fortschrittliche Überwachungs-, Diagnose- und Prüftechnologien im Umgang mit Elektrofahrzeug-Batterien sind. Für Sachverständige und Gutachtende stellen diese Werkzeuge nicht nur eine Hilfestellung zur Schadensbewertung dar, sondern bilden auch die Grundlage für fundierte Entscheidungen über Reparaturen, Austausch oder Recycling. Die Nutzung moderner Diagnosetechnologien in Kombination mit Expertise gewährleistet nicht nur die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Elektrofahrzeugen, sondern minimiert auch Risiken für Personen und Umwelt.

Kapitel 3

Herstellervorgaben und Sicherheitsstandards

3.1 Herstellerempfehlungen und Sicherheitsvorschriften bei Elektrofahrzeugen

Die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Elektrofahrzeugen hängen maßgeblich von der Einhaltung spezifischer Herstellervorgaben und Empfehlungen ab. Diese Vorgaben bilden nicht nur die Grundlage für den sicheren Betrieb und die langfristige Nutzung der Fahrzeuge, sondern sind auch essenziell für die Arbeit von Sachverständigen und Gutachtenden. Deren Aufgabe besteht darin, die Einhaltung dieser Vorgaben zu überprüfen, die Ursachen von Schäden zu analysieren und fundierte Bewertungen abzugeben. Dieses Kapitel beleuchtet die Bedeutung der Herstellervorgaben/-empfehlungen, die Einhaltung von Protokollen und Sicherheitsvorschriften sowie deren Einfluss auf Garantiebestimmungen – sowohl aus der Perspektive von Fahrzeughaltenden als auch aus der von Sachverständigen und Gutachtenden.

Herstellerempfehlungen sind das Ergebnis umfangreicher Tests und Erfahrungen der Fahrzeughersteller und bilden die Grundlage für den sicheren Betrieb, die Wartung und die Schadensprävention bei Elektrofahrzeugen. Für Sachverständige und Gutachtende spielen diese Empfehlungen eine entscheidende Rolle, da sie als Referenz für die Bewertung der Fahrzeugnutzung und die Schadensanalyse herangezogen werden.

- **Regelmäßige Wartung, Inspektion und Updates:** Hersteller definieren spezifische Intervalle und detaillierte Anweisungen sowohl für die Inspektion als auch Wartung

von Hochvoltbatterien, um deren Langlebigkeit und Sicherheit zu gewährleisten. Weiterhin gibt es bedarfsgerecht Herstellerupdates für Batteriemanagementsysteme, die eine sichere Nutzung der Hochvoltkomponenten laufend gewährleisten. Sachverständige überprüfen im Rahmen ihrer Gutachten, ob diese Intervalle und Vorgaben eingehalten wurden, insbesondere bei Schadens- oder Garantiefällen.

- **Ladeempfehlungen:** Hersteller geben klare Anweisungen zur optimalen Nutzung der Ladesysteme, zur Vermeidung von Tiefentladungen und Überladungen sowie zur Verwendung von kompatiblen Ladegeräten.

Einhaltung von Herstellervorgaben und Sicherheitsstandards

Die Einhaltung von Herstellervorgaben, Sicherheitsprotokollen und Standards ist von zentraler Bedeutung, um die Integrität von Elektrofahrzeugen zu schützen und das Risikopotenzialer Gefahren zu minimieren. Sachverständige und Gutachtende spielen dabei eine Schlüsselrolle, indem sie prüfen, ob die vorgegebenen Vorgaben, Standards und Protokolle eingehalten wurden.

- **Sicherheitsstandards und Normen:** Elektrofahrzeuge unterliegen internationalen und nationalen Vorschriften, wie den UN-ECE-Vorgaben und internationalen ISO-Normen, die festlegen, wie Batterien und Hochvoltkomponenten sicher betrieben werden müssen. Sachverständige nutzen diese Normen als Grundlage, um sicherheitsrelevante Aspekte zu bewerten und ihre Gutachten darauf aufzubauen.

- **Protokolle bei Unfällen:** Es gibt definierte Protokolle, die bei Unfällen oder Störungen der Batterien befolgt werden müssen, um eine sichere Bergung, Lagerung und Entsorgung zu gewährleisten. Diese Protokolle umfassen u. a. den Umgang mit beschädigten Batterien, die Messung von Batterieparametern und die Verwendung von Sicherheitsausrüstung.
 - **Herstellervorgaben:** Herstellervorgaben enthalten wichtige Richtlinien für den Umgang mit kritischen Situationen, wie Batteriebränden oder Unfällen. Für Sachverständige und Gutachtende ist die Kenntnis dieser spezifischen Vorgaben essenziell, um bei Schadenfällen festzustellen, ob angemessene Maßnahmen ergriffen wurden oder ob ein Verstoß gegen empfohlene Richtlinien zu weiteren Schäden führte. Auch sind dort Maßnahmen beschrieben, welche Beschädigungen an einem Batteriesystem zugelassen sind und vom Hersteller durch Tests freigegeben wurden.
 - **Schulung und Weiterbildung:** Werkstattpersonal und Rettungskräfte sind auf kontinuierliche Schulungen angewiesen, um mit der sich rasch entwickelnden Batterietechnologie Schritt zu halten und Sicherheitsprotokolle zuverlässig anwenden zu können. Für Sachverständige und Gutachtende ist eine regelmäßige Weiterbildung ebenfalls unerlässlich, um fundierte Bewertungen durchführen und neue Standards berücksichtigen zu können.
- bis zur Leistungsfähigkeit der Batterie (z. B. eine Restkapazität von mindestens 70 Prozent nach der Garantiezeit) reichen.
- **Einfluss von Herstellervorgaben auf die Garantie:** Die Garantieleistungen sind oft an die Einhaltung der Herstellervorgaben gebunden. Das bedeutet, dass Vernachlässigung von Wartungsempfehlungen, unsachgemäßer Gebrauch oder die Verwendung von nicht empfohlenem Zubehör dazu führen können, dass die Garantie erlischt.
 - **Garantieansprüche und Nachweise:** Für Garantieansprüche müssen Fahrzeugbesitzer nachweisen können, dass sie die Herstellervorgaben und Wartungspläne eingehalten haben. Dies kann durch detaillierte Serviceprotokolle, Datenlogs des Fahrzeuges oder durch Wartungsberichte geschehen.

Die Herstellervorgaben und Sicherheitsvorschriften sind unverzichtbare Leitlinien für die sichere Nutzung und Wartung von Elektrofahrzeugen. Für Sachverständige und Gutachtende stellen diese Vorgaben die Basis für fundierte Bewertungen und Analysen dar. Durch die Einhaltung von Sicherheitsprotokollen und Normen können potenzielle Gefahren minimiert und die Betriebssicherheit der Fahrzeuge gewährleistet werden. Gleichzeitig sichern sie den Erhalt von Garantieleistungen und stärken die Zuverlässigkeit der Elektromobilität. Indem Sachverständige und Gutachtende diese Vorgaben bei ihrer Arbeit berücksichtigen, spielen sie eine zentrale Rolle dabei, die Sicherheit zu garantieren und die langfristige Funktionalität von Elektrofahrzeugen zu gewährleisten.

Garantiebestimmungen und Einfluss von Herstellervorgaben

Herstellervorgaben und deren Einhaltung haben einen direkten Einfluss auf die Garantiebedingungen von Elektrofahrzeugen. Die Garantie deckt in der Regel spezifische Aspekte der Batterie und Antriebssysteme ab, unterliegt jedoch klar definierten Bedingungen, die vom Hersteller vorgegeben werden.

- **Garantiebestimmungen:** Elektrofahrzeughersteller gewähren in der Regel Garantien auf Batteriesysteme, die von der Laufzeit (z. B. acht Jahre oder 160.000 Kilometer)

Kapitel 4

Wirtschaftliche Betrachtung

4.1 Kosten-Nutzen-Analyse von Reparatur und Austausch der Antriebsbatterien

Die Entscheidung, ob eine beschädigte Antriebsbatterie repariert oder ausgetauscht werden soll, hängt von verschiedenen Faktoren ab, darunter die Kosten, die langfristige Zuverlässigkeit und die Lebensdauer der Batterie. Dieses Kapitel beleuchtet die Kosten-Nutzen-Analyse (KNA), den Vergleich der Kosten zwischen Reparatur und Austausch sowie die Überlegungen zur Lebensdauer und Zuverlässigkeit reparierter Batterien. Insbesondere bei modernen Elektrofahrzeugen, mit hochpreisigen Komponenten wie Hochvoltbatterien, gewinnt die strukturierte Bewertung aller relevanten Faktoren zunehmend an Bedeutung.

Die KNA untersucht systematisch, ob der zu erwartende Nutzen einer Maßnahme die dafür anfallenden Kosten übersteigt. Im Kontext der Unfallinstandsetzung bedeutet dies, Reparaturkosten und Restwerte dem Nutzen gegenüberzustellen, der durch die Wiederherstellung der Fahrzeugsicherheit, Funktionsfähigkeit, Verkehrstauglichkeit und Umweltaspekte entsteht. Dabei wird nicht nur der monetäre, sondern häufig auch der qualitative Nutzen berücksichtigt, etwa Nachhaltigkeitsaspekte oder die Vermeidung von Ressourceneinsatz durch den Verzicht auf Neuproduktion.

Zu bewertende Merkmale im Bereich der Unfallreparatur

Die zentrale Fragestellung lautet, ob eine Reparatur wirtschaftlich vertretbar ist oder ob die Reparaturkosten den Zeitwert des Fahrzeugs übersteigen.

Zu den wichtigsten Einflussgrößen zählen:

- Kosten für Ersatzteile
- Arbeitslöhne der Werkstatt
- Diagnose- und Prüfkosten
- Kosten für Hochvoltbatterien oder Module
- Restwert des beschädigten Fahrzeugs
- Wiederbeschaffungswert des Fahrzeugs vor dem Unfall

Insbesondere bei Elektrofahrzeugen sind die Kosten für Hochvoltbatterien häufig ausschlaggebend. Die Entscheidung zwischen einem Gesamttausch der Batterie und einem Modultausch kann beträchtliche Kostenunterschiede mit sich bringen und damit direkten Einfluss auf die Reparaturwürdigkeit haben.

Anhand der im SilverDAT-System simulierten Fälle lassen sich folgende Kostenaufstellungen exemplarisch darstellen. So wurden für mehrere vergleichbare Fahrzeugmodelle in drei unterschiedlichen Modellklassen (Kompaktklasse, Mittelklasse und Oberklasse) sowohl ein Gesamttausch der Batterie als auch ein Modultausch als Mittelwerte in Betracht gezogen. Um ein möglichst breites Fahrzeugspektrum abdecken zu können, wurden Modelle aus den Märkten Deutschlands, Europas und Asiens herangezogen. Dabei handelt es sich um folgende Modelle bei der

- **Kompaktklasse:** VW ID.3, Cupra Born, Opel Corsa e, Peugeot e-208, Renault ZOE, Fiat 500e und MG 4,
- **Mittelklasse:** BMW i4 eDrive40, Hyundai Ioniq 6 und Kia EV6.
- **Oberklasse:** BMW iX60 xDrive, Audi e-tron 55 quattro, Mercedes-Benz EQE 350 und Jaguar I-Pace.

Die Kosten beliefen sich beispielsweise auf:

Gesamttausch

Positionen	Kompaktklasse	Mittelklasse	Oberklasse
Kosten für Ersatzteile	22.901,38 €	23.567,72 €	40.109,43 €
Kosten für Arbeitslöhne	3.660,00 €	1.524,67 €	3.842,00 €
Reparaturkosten (Netto)	26.561,38 €	25.092,39 €	43.951,43 €
Reparaturkosten (Brutto)	31.608,05 €	29.859,94 €	52.302,20 €

Tabelle 1: Kostenübersicht für den Gesamttausch der Batterie, aufgeteilt in die einzelnen Positionen der unterschiedlichen Fahrzeugklassen

Modultausch

Positionen	Kompaktklasse	Mittelklasse	Oberklasse
Kosten für Ersatzteile	3.746,70 €	2.853,43 €	2.113,17 €
Kosten für Arbeitslöhne	1.683,33 €	1.994,00 €	4.590,67 €
Reparaturkosten (Netto)	5.430,04 €	4.847,43 €	6.703,84 €
Reparaturkosten (Brutto)	6.461,75 €	5.768,44 €	7.977,57 €

Tabelle 2: Kostenübersicht für den Modultausch der Batterie, aufgeteilt in die einzelnen Positionen der unterschiedlichen Fahrzeugklassen

Aus solchen detaillierten Aufstellungen wird ersichtlich, wie entscheidend die einzelnen Kostenblöcke in den unterschiedlichen Fahrzeugklassen zur Gesamtbewertung beitragen. Gerade bei Elektrofahrzeugen stellt der Ersatzteilkostenblock den größten Anteil und damit den zentralen Faktor der wirtschaftlichen Betrachtung dar. Eine detaillierte Kostenübersicht befindet sich in Abbildung 1.

Durch die beschriebene Fahrzeugauswahl kam es zu einer unerwarteten Abweichung, bei der die Reparatur der Kompaktklasse teurer ist als die einer Mittelklasse. Dies lässt sich auf die zur Verfügung stehenden asiatischen Fahrzeugmodelle in der Mittelklasse zurückführen.

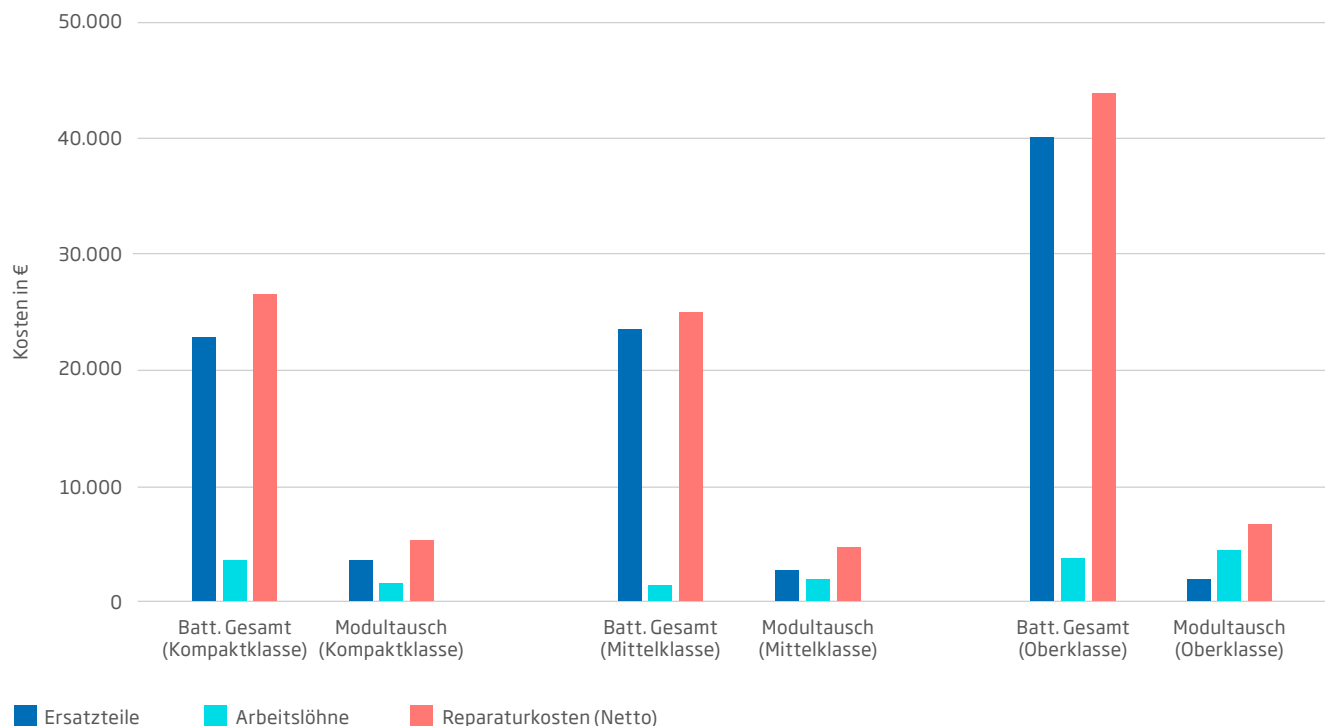


Abbildung 1: Kostenvergleich verschiedener Reparaturfälle (Gesamter Batterietausch und Modultausch) je Fahrzeugklasse

Zu bewertende Merkmale im Bereich der Unfallreparatur

Die Ermittlung des Wiederbeschaffungswerts ist ein elementarer Baustein der wirtschaftlichen Bewertung eines verunfallten Fahrzeugs. Sie bildet die Grundlage für die Entscheidung, ob eine Reparatur wirtschaftlich tragfähig ist oder ein wirtschaftlicher Totalschaden vorliegt.

Der Wiederbeschaffungswert beschreibt den Betrag, den das Fahrzeug vor dem Unfall am Markt noch erzielt. Für die Bewertung werden zunächst alle relevanten Fahrzeugdaten für die drei unterschiedlichen Fahrzeugklassen aus dem SilverDAT-System herangezogen.

Positionen	Kompaktklasse	Mittelklasse	Oberklasse
Listenneupreis inkl. Sonderausstattung	37.795,35 €	60.045,00 €	86.647,00 €
Fahrzeugalter bei der Bewertung	3 Jahre	3 Jahre	3 Jahre
Laufleistung	60.000 km	60.000 km	60.000 km
Restwert inkl. Sonderausstattung Reparaturkosten (Brutto)	17.348,34 €	32.455,51 €	38.465,66 €

Tabelle 3: Übersicht der Listenneupreise und Restwerte für die drei unterschiedlichen Fahrzeugklassen mit einem definierten Fahrzeugalter und erbrachter Laufleistung

Die Ermittlung des Wiederbeschaffungswerts beschreibt den finanziellen Wert eines Fahrzeugs gleichen Typs, gleichen Alters und gleicher Laufleistung.

Bei Elektrofahrzeugen ist der Gesundheitszustand der Hochvoltbatterie (State of Health, SoH) der wesentliche wertbestimmende Faktor. Ein besserer Batteriezustand

führt zu einem höheren Marktwert. Dabei wird der SoH-Wert des E-Fahrzeugs zum Zeitpunkt der Bewertung entweder aus dem Fahrzeugsteuergerät ausgelesen oder separat ermittelt. In dem SilverDAT-System sind basierend auf Modell, Alter und Laufleistung, sogenannte SOLL-SoH-Werte hinterlegt und werden mit dem SoH-Wert aus der Bewertung verglichen.

Positionen	Kompaktklasse	Mittelklasse	Oberklasse
IST-SoH = SOLL-SoH + 5 %	925,20 €	1.789,13 €	1.798,33 €
IST-SoH = SOLL-SoH - 5 %	-980,95 €	-1.789,13 €	-1.798,33 €

Tabelle 4: Einfluss der SoH-Bewertung auf die Wertänderung in den drei unterschiedlichen Fahrzeugklassen

Positionen	Kompaktklasse		Mittelklasse		Oberklasse	
	+5 %	-5 %	+5 %	-5 %	+5 %	-5 %
Händlerverkaufswert (Brutto)	18.774,64 €	16.819,35 €	34.244,64 €	30.666,38 €	40.263,99 €	36.667,33 €
Händlereinkaufswert (Brutto)	16.133,35 €	14.390,38 €	29.810,17 €	26.630,49 €	35.159,03 €	31.963,00 €

Tabelle 5: Übersicht der Händlerverkaufs- und Händlereinkaufswerte bezogen auf die unterschiedliche SoH-Bewertung für die drei verschiedenen Fahrzeugklassen



Entscheidungsszenarien

Die Entscheidung basiert auf einer klar definierten wirtschaftlichen Abgrenzung. Eine Reparatur gilt als wirtschaftlich, wenn die Reparaturkosten kleiner als der Wiederbeschaffungswert sind. Liegt der Reparaturaufwand über dem Wiederbeschaffungswert, entsteht ein wirtschaftlicher Totalschaden. Liegen Reparaturkosten und Wiederbeschaffungswert nahe beisammen, liegt eine grenzwertige Wirtschaftlichkeit vor. Dabei können zur Entscheidungsfindung zusätzliche Faktoren wie Nachhaltigkeit, die Verfügbarkeit

von Ersatzteilen, Wünsche der Kundschaft, zeitliche Aspekte, Entsorgungskosten und Restwert der Batterie berücksichtigt werden. In diesem Beispiel wurden für mehrere vergleichbare Fahrzeugmodelle in drei unterschiedlichen Modellklassen jeweils die Mittelwerte in Betracht gezogen und können somit nicht verallgemeinert in der Praxis angewendet werden.

Positionen	Kompaktklasse	Mittelklasse	Oberklasse
Batterietausch	Wirtschaftlicher Totalschaden	Grenzwertige Wirtschaftlichkeit	Wirtschaftlicher Totalschaden
Modultauch	Reparatur empfohlen	Reparatur empfohlen	Reparatur empfohlen

Tabelle 6: Ergebnisse, in einer Bewertungsmatrix, zur Entscheidungsfindung bezogen auf einen Batterie- oder Modultauch in den jeweiligen Fahrzeugklassen



Kapitel 5

Umweltaspekte

5.1 Reparatur oder Austausch aus Umweltsicht

Die Entscheidung zwischen der Reparatur einer beschädigten Hochvolt-Batterie und deren komplettem Austausch kann erhebliche ökologische Auswirkungen haben. Während der Austausch meist mit der Entsorgung oder dem Recycling der Altbatterie und der Produktion einer neuen Batterie einhergeht, ermöglicht die Reparatur die Wiederverwendung funktionstüchtiger Module und Komponenten und damit eine deutliche Einsparung von Energie und Ressourcen. Die Herstellung einer Lithium-Ionen-Batterie verbraucht derzeit ca. 61-106 kg CO₂-Äquivalent pro kWh¹. Eine modulare Reparatur, bei der nur defekte Zellen oder Module ersetzt werden, kann den CO₂-Ausstoß daher drastisch reduzieren.

Neben der Klimaauswirkung sind auch andere Umweltindikatoren betroffen – insbesondere Energieverbrauch, Rohstoffbedarf und Abfallaufkommen.

Die Reparatur ist in der Regel ökologisch vorteilhaft, wenn:

- keine sicherheitsrelevanten strukturellen Schäden vorliegen,
- Module oder Komponenten standardisiert und austauschbar sind und/oder
- eine qualifizierte Diagnose und Wiederaufbereitung möglich ist.

Der Austausch hingegen ist zu bevorzugen, wenn:

- ein thermisches Ereignis die Batterie irreversibel geschädigt hat,
- die Integrität des Gehäuses, der Isolation oder der Zellenstruktur nicht mehr gewährleistet ist,

- eine Reparatur die Sicherheitsvorschriften nicht erfüllen kann und/oder
- das Thermomanagement und Montageprozesse einen modularen Tausch nicht zulassen.

Im Optimalfall wird die ausgetauschte Batterie nicht entsorgt, sondern einer Second-Life-Nutzung (z. B. stationäre Energiespeicher) oder einem geregelten Recyclingprozess zugeführt. Somit können auch in Fällen, in denen eine Reparatur nicht möglich ist, ökologische Vorteile realisiert werden.

Ressourcenmanagement und Second Life

Lithium-Ionen-Batterien enthalten eine Vielzahl kritischer Rohstoffe – darunter Lithium, Nickel, Kobalt, Mangan und Kupfer. Die Gewinnung dieser Materialien ist energieintensiv und geht häufig mit erheblichen ökologischen und sozialen Belastungen einher: Rohstoffabbau in Ländern des globalen Südens führt lokal zu hohem Wasserverbrauch, Flächenversiegelung, Umweltverschmutzung unter teilweise kritischen Arbeitsbedingungen.

Ein zentrales Ziel nachhaltigen Ressourcenmanagements ist daher die Maximierung der Materiallebensdauer. Jede Batterie, die durch Reparatur oder Wiederverwendung eine verlängerte Nutzung erfährt, reduziert den Bedarf an Primärrohstoffen. Auch der Übergang in Second-Life-Anwendungen (z. B. stationäre Energiespeicher für Photovoltaikanlagen oder Netzstabilisierung) trägt zur Ressourceneffizienz bei.

Ein ganzheitliches Ressourcenmanagement umfasst drei Ebenen:



Mit der EU-Batterieverordnung (EU) 2023/1542 sind konkrete Maßnahmen zur Ressourcenschonung festgelegt, wie z. B. ein in neuen Antriebsbatterien enthaltener Mindestanteil an Rezyklaten. Damit wird die Kreislaufwirtschaft zum zentralen Element der europäischen Batteriewirtschaft.

Für verunfallte Antriebsbatterien bedeutet dies:

Eine Reparatur oder modulare Aufarbeitung ist nicht nur eine technische oder wirtschaftliche, sondern zunehmend auch eine gesetzlich umgesetzte ökologische Maßnahme zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft.

Bedeutung für Klima- und Umweltschutz

Der Umgang mit Antriebsbatterien nach Unfällen berührt mehrere Kernfelder des Umweltschutzes:

- **Vermeidung von Umweltgefahren:** Verunfallte Batterien können durch Leckagen oder Brände Schadstoffe freisetzen. Ein fachgerechter Umgang – von der Isolierung über Lagerung bis zur Entsorgung – schützt Boden, Wasser und Luft vor Kontamination.
- **Klimaschutz:** Die Verlängerung der Nutzungsdauer einer Batterie verbessert die Gesamtbilanz der Treibhausgasemissionen eines Elektrofahrzeuges. Da der CO₂-Ausstoß hauptsächlich in der Produktion anfällt, ist jede Wiederverwendung ein Beitrag zum Klimaschutz.
- **Ressourcenschutz:** Der Abbau von Lithium und Kobalt belastet nicht nur die Umwelt, sondern birgt auch negative soziale Auswirkungen. Reparatur und Recycling reduzieren die geopolitische Abhängigkeit von Primärrohstoffen und fördern eine regionale Kreislaufwirtschaft.

Zusammenfassend zeigt sich daher, dass die Bewertung und Handhabung verunfallter Antriebsbatterien weit mehr ist als ein technisches Bewertungsverfahren – sie ist ein entscheidender Hebel für den Umweltschutz und die Nachhaltigkeit der Elektromobilität. Die Reparatur oder Teilwiederverwendung intakter Batteriemodule bietet signifikante ökologische Vorteile gegenüber dem Kompletttausch wie die deutliche Reduktion von CO₂-Emissionen, eine Einsparung kritischer Rohstoffe und eine Minimierung gefährlicher Abfälle und Energieaufwand. Bei der Erstellung eines Schadengutachtens müssen daher neben den sicherheitstechnischen Aspekten auch die ökonomischen und ökologischen Vorteile der Instandsetzung gegenüber einer kompletten Erneuerung des Energiespeichers, insbesondere in Bezug auf Ressourcenschonung und Abfallvermeidung, in einem Gutachten hervorgehoben werden. Die Umweltaspekte sind damit nicht nur eine Ergänzung technischer Bewertungsverfahren, sondern bilden eine wichtige Säule der verantwortungsvollen Kreislaufwirtschaft im Bereich der Fahrzeugbatterien.

Fazit

Die Entscheidung zwischen Reparatur und Austausch von Antriebsbatterien in Elektrofahrzeugen erfordert eine sorgfältige Abwägung wirtschaftlicher, sicherheitstechnischer und ökologischer Aspekte.

Die Bewertung und Handhabung von verunfallten Hochvoltbatterien ist ein komplexer und interdisziplinärer Prozess, der technisches Fachwissen, wirtschaftliche Abwägungen und ökologische Verantwortung erfordert. Wenn möglich, ist die Reparatur beschädigter Batterien in den meisten Fällen die bevorzugte Option, da sie sowohl wirtschaftliche als auch ökologische Vorteile bietet. Sie reduziert die Kosten für den Fahrzeughalter, verlängert die Lebensdauer der Batterie und trägt zur Reduktion von CO₂-Emissionen aus der Herstellung bei. Gleichzeitig ist die Einhaltung von Herstellervorgaben, Sicherheitsstandards und gesetzlichen Regelungen unerlässlich, um die Sicherheit von Personen und die Umwelt zu gewährleisten. Dies kann dazu führen, dass ein Komplettaustausch der Batterie notwendig ist.

Die Elektromobilität bringt nicht nur technologische Fortschritte, sondern auch neue Herausforderungen mit sich. Eine sorgfältige Bewertung und Handhabung von verunfallten Batterien ist entscheidend, um die Sicherheit, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit der Elektromobilität langfristig zu sichern. Die Förderung der Kreislaufwirtschaft durch Second-Life-Nutzung und Recycling ist dabei ein wichtiger Schritt, um die Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit weiter voranzutreiben. Sachverständige und Gutachtende nehmen eine Schlüsselrolle ein, indem sie fundierte Entscheidungen treffen, die sowohl die Sicherheit als auch die Nachhaltigkeit der Elektromobilität fördern. Insgesamt zeigt sich: Nur eine ganzheitliche Betrachtung aller relevanten Aspekte ermöglicht einen sicheren und nachhaltigen Umgang mit verunfallten Hochvoltbatterien.

Herausgeber

TÜV-Verband e. V.
Friedrichstraße 136
10117 Berlin
Tel.: +49 30 760095-400
E-Mail: berlin@tuev-verband.de
www.tuev-verband.de

Verantwortlich

Dr. Joachim Bühler

AutorInnenschaft

Cyba, Nina (TÜV NORD)
Dillinger, Martin (TÜV Rheinland)
Gregor, Markus (TÜV SÜD)
Hagemann, Manuel (TÜV NORD)
Jakob, René (TÜV Thüringen)
Mast, Pascal (TÜV SÜD)
Warskulat, Volker (TÜV NORD)
Zalwert, Robin (TÜV-Verband)

Bildnachweis

KI generiert