

Sicherheit von Elektrofahrzeugen



Sicherheit von Elektrofahrzeugen

Inhalt

Einleitung	6
1 Die Traktionsbatterie	8
1.1 Grundlagen	9
1.2 Gefahrenquellen und -vorbeugung	10
1.3 Sicherheitsstandards und -normen	13
1.4 Zweitnutzung als stationärer Hausspeicher	14
2 Praktische Sicherheitsszenarien	16
2.1 Normaler Fahrbetrieb	17
2.1.1 Fahrgeräusch	17
2.1.2 Ladevorgang	18
2.1.3 IT-Security	20
2.2 Reparatur und Wartung	20
2.3 Verkehrsunfälle	21
Ausblick	26
Anhang	28

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau und Funktion einer Lithium-Ionen-Zellen beim Entladevorgang	9
Abbildung 2: Lebenszyklus einer Batterie mit Second-Life Nutzung	14

Einleitung

Wenngleich die angestrebte Entwicklung zu einer Million Elektrofahrzeuge in Deutschland im Jahr 2020 nicht in der erwarteten Geschwindigkeit verläuft, so zeigt sich – nicht zuletzt in aktuellen strategischen Aussagen von führenden Vertretern der Automobilindustrie – doch deutlich, dass der Markthochlauf der Elektromobilität unmittelbar bevorsteht. Bereits heute ist die Elektromobilität alltagstauglich und die automobile Zukunft wird elektrisch sein: Dies sind zwei der zentralen Ergebnisse, die das Schaufensterprogramm Elektromobilität auf seiner Ergebniskonferenz im April 2016 in Leipzig präsentiert hat (vgl. Ergebnispapier Nr. 26 der BuW).

Angesichts der zunehmenden Zahl von Elektrofahrzeugen auf den Straßen stellen sich viele Menschen die Frage, inwiefern deren alternative Antriebstechnologie mit besonderen Sicherheitsrisiken verknüpft ist. Das tun sie umso mehr, als Elektrofahrzeuge gegenüber herkömmlichen Verbrennerfahrzeugen eine viel größere mediale Aufmerksamkeit genießen, weil sie anders sind als das Gewohnte und damit Neuigkeitswert haben. Negativ macht sich das bei der Berichterstattung über Unfälle bemerkbar. So verursachten beispielsweise drei Brände von Elektroautos der Marke Tesla, die sich im Herbst 2013 in den USA ereigneten, weit mehr Schlagzeilen als die über 250.000 Brände von Verbrennerfahrzeugen, die sich dort seit der Markteinführung dieses Elektroautos ereignet hatten. Die Medien verzerrten damit die Wirklichkeit dramatisch, was umso schwerer wiegt, als bei den Bränden konventioneller Fahrzeuge in den USA 400 Tote und 1200 Schwerverletzte zu beklagen waren, wogegen bei den Bränden der Elektroautos niemand ernsthaft zu Schaden gekommen war.

Dementsprechend sind sich die Experten weitgehend einig, dass Elektrofahrzeuge nicht unsicherer sind als Verbrennerfahrzeuge. Sie weisen keine größeren, sondern nur andere Sicherheitsrisiken auf als diese. Elektrofahrzeuge seien „sehr sicher“, meint zum Beispiel Dr. Gerhard Hörpel vom Batterieforschungszentrum MEET in Münster. „Ein Elektroauto bereitet mir weniger Sorgen als eines mit Benzinmotor“. Alle spezifischen Sicherheitsrisiken eines Elektroautos haben mit seiner Batterie und dem Umgang damit zu tun. Um welche Risiken es sich dabei handelt und mit Hilfe welcher Maßnahmen sie minimiert werden, schildert das vorliegende Ergebnispapier der Begleit- und Wirkungsforschung (BuW) des Schaufensterprogramms.

Dabei betrachtet es zunächst die Besonderheiten der Traktionsbatterie und der von ihr ausgehenden Hochvoltspannung und nimmt dann drei verschiedene Situationen bei der Nutzung von Elektroautos in den Blick:

- den normalen Fahrbetrieb
- Reparatur und Wartung
- Verkehrsunfälle

1 Die Traktionsbatterie

1.1 Grundlagen

Verbrennerfahrzeuge sind normalerweise mit einem 12-Volt-Bordnetz ausgestattet, das die verschiedenen elektrischen Komponenten des Fahrzeugs speist. Elektroautos haben zusätzlich ein Hochvolt-Bordnetz, das ihren elektrischen Antrieb mit Strom versorgt. Seine Spannung liegt zwischen 200 und 800 Volt, je nach Leistung der Traktionsbatterie.

Batterien generieren Strom, indem sie chemische Energie in elektrische Energie umwandeln. Bei einfachen Batterien bzw. Primärzellen ist dieser Vorgang irreversibel. Wenn ihre Energie verbraucht ist, werden sie über ein Rücknahmesystem entsorgt. Traktionsbatterien sind dagegen wiederaufladbare Batterien (auch Sekundärzellen oder Akkumulatoren genannt). Der Prozess der Energieumwandlung ist in ihnen reversibel: Von außen zugeführte elektrische Energie lädt sie mit chemischer Energie auf, die sie beim Entladen wieder in Strom verwandeln. Die Traktionsbatterien von Elektrofahrzeugen sind in der Regel Lithium-Ionen-Akkumulatoren.

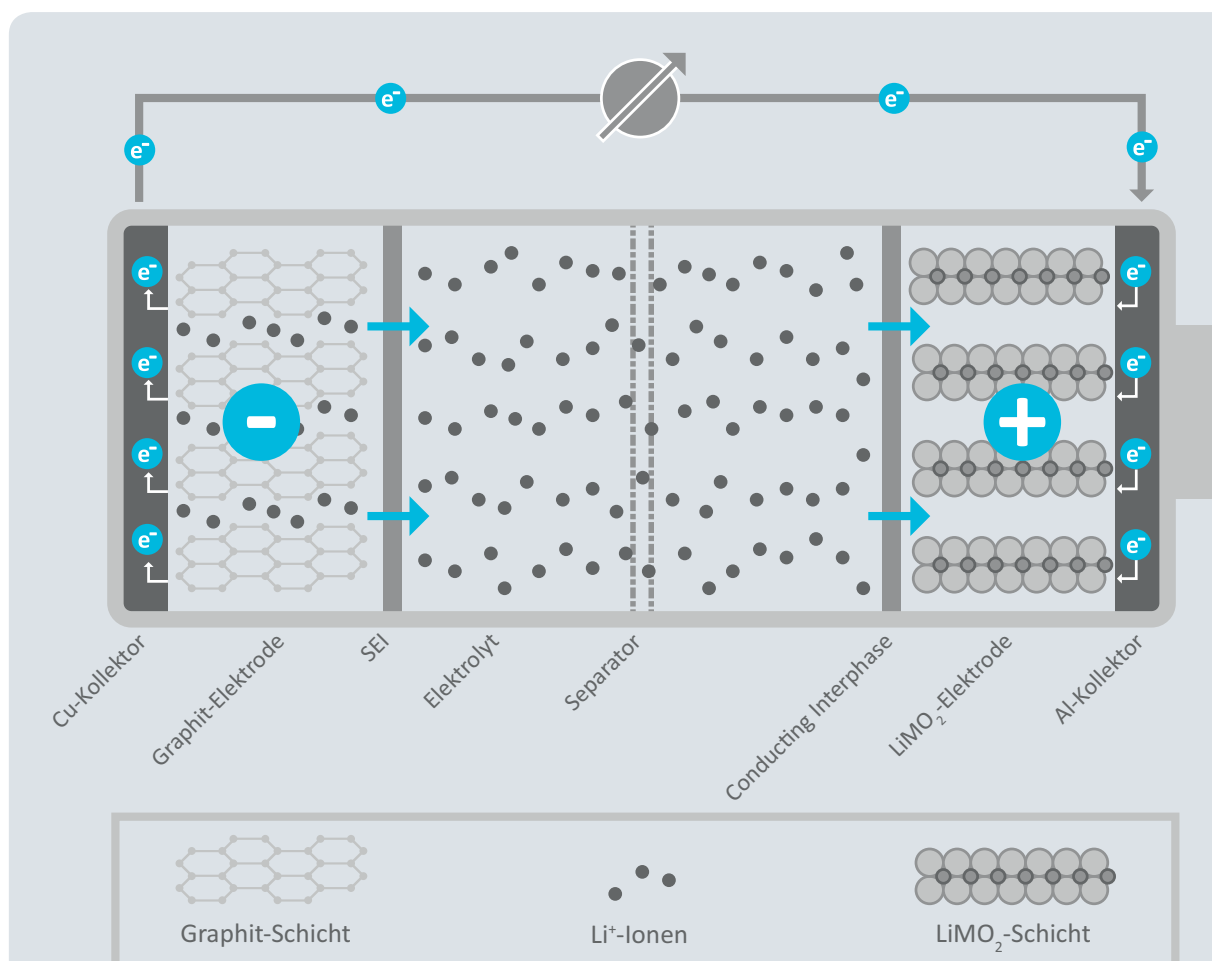


Abbildung 1: Aufbau und Funktion einer Lithium-Ionen-Zellen beim Entladevorgang

Die kleinste Einheit der Lithium-Ionen-Batterie ist die Batteriezelle. In ihr findet der eigentliche elektrochemische Umwandlungsprozess statt. Lithium-Ionen wandern zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Elektroden, deren elektrische Trennung durch einen Separator aufrechterhalten wird. Der Elektrolyt fungiert hierbei als Vermittler zwischen den Reaktionen an den Elektroden, garantiert den Li-Ionen-Transport und löst dadurch einen Elektronenfluss aus. Mehrere solcher Zellen werden zu Modulen zusammengeschaltet, die bereits ein Zell-Kontrollsystem enthalten. Mehrere Module sind in einem Gehäuse mit Isoliermaterialien zum Batteriesystem zusammengefasst.

Auch für eine ausreichende Kühlung muss gesorgt werden, denn hohe Ströme sind mit einer hohen Wärmeentwicklung verbunden. Elektronisch wird die Batterie von einem Batteriemanagementsystem (BMS) gesteuert, das Parameter wie Spannung, Stromstärke und Temperatur misst und regelt.

Aufgrund ihrer spezifischen Zellchemie lassen sich mit Lithium-Ionen-Batterien hohe Energiedichten realisieren, weshalb sie für mobile Anwendungen, bei denen mit möglichst wenig Gewicht bzw. Volumen eine hohe Leistung erbracht werden muss, besonders geeignet sind. Schon heute werden je nach Zellchemie Energiedichten zwischen 90 und 250 Wh/kg bzw. 160 und 670 Wh/l erreicht. Für zukünftige Li-Ionen-Batterien werden Energiedichten von bis zu 310 Wh/kg bzw. 860 Wh/l erwartet. In Lithium-Ionen-Batterien sind also zum einen Materialien mit hohem Energiegehalt und zum anderen hochentzündliche Elektrolyte kombiniert, die in Elektrofahrzeugen für Hochspannung sorgen. Das bringt Gefahren mit sich und kann sicherheitskritische Situationen auslösen.

1.2 Gefahrenquellen und -vorbeugung

Die Sicherheitsrisiken, die direkt mit der Lithium-Ionen-Traktionsbatterie eines Elektroautos verbunden sind, lassen sich in drei Kategorien einteilen, nämlich in elektrische, thermische und chemische Gefahren.¹

Elektrische Gefahren bestehen darin, dass

- es beim Berühren von Spannung führenden Teilen zu einem tödlichen elektrischen Schlag kommen kann
- energiereiche Lichtbögen entstehen, die Brände auslösen

1 vgl. dazu Kompendium: Li-Ionen-Batterie, S. 16 f.
<https://www.dke.de/resource/blob/933404/fa7a24099c84ef613d8e7afd2c860a39/kompendium-li-ionen-batterien-data.pdf>

- durch eine Überladung von Batteriezellen eine Überhitzung entsteht, die ungewollte chemische Reaktionen herbeiführt
- ein externer Kurzschluss die Batterie überhitzt
- durch einen Kurzschluss Feuer, Verbrennungen oder Stromschläge verursacht werden. Immerhin liegen die Ströme, die beim Kurzschluss eines oder mehrerer Batteriepacks auftreten, zwischen 2.000 und 3.000 Ampere.

Thermische Gefahren bestehen darin, dass

- Batteriezellen infolge einer Überladung, Überlastung oder eines Kurzschlusses überhitzt werden und dadurch in ihnen ein Überdruck entsteht
- eine Erhitzung auf über 120 Grad Celsius zur Selbstentzündung und schlimmstenfalls zu einem sogenannten thermischen Durchgehen (Thermal Runaway) mit Brand und Explosion der Batterie führt
- eine Überhitzung die Separatoren in den Batteriezellen schmelzen lässt und es dadurch zu einem Kurzschluss kommt (keramische Separatoren sind davon allerdings nicht betroffen).

Chemische Gefahren bestehen darin, dass

- nach mechanischer Beschädigung des Batteriegehäuses explosive und/oder gesundheitsgefährdende Inhaltsstoffe als Gas oder Flüssigkeit austreten – gasförmig sind das hauptsächlich verdampfende Elektrolyte und deren Zersetzungsprodukte wie Methan, Ethan, Propan, Butan und Aldehyde.

Diesen Gefahren kann jedoch schon bei der Konstruktion und der Produktion von Traktionsbatterien teilweise vorgebeugt werden. Auf der Ebene der Batteriezellen ist dies zum einen durch die Wahl einer geeigneten Zellchemie, zum anderen durch das Einfügen mechanischer und elektrischer Sicherheitseinrichtungen möglich.

Bezüglich der Zellchemie bietet es sich einerseits an, alternative Materialien für die positiv geladene Elektrode (Kathode) zu verwenden. So lässt sich zum Beispiel mit Lithium-Eisenphosphat zwar keine so hohe Energiedichte wie mit Lithium-Cobaltoxid erreichen, dafür aber die Gefahr eines thermischen Durchgehens (je nach Gefahrenquelle) verringern.

Andererseits kann die Zellchemie dadurch gefahrenresistenter gestaltet werden, dass dem Elektrolyten bestimmte Additive beigemischt werden. In Frage kommen dabei:

- flammhemmende Additive für entflammbare organische Elektrolytlösungen.
- Shutdown-Additive, die dem Überladen der Batteriezelle entgegenwirken. Sie setzen bei Überladung entweder Gase frei, die über einen drucksensiblen Schalter den Stromfluss unterbrechen, oder behindern dann direkt den Stromfluss im Elektrolyten.
- elektrochemisch aktive Substanzen, die als Redox-Shuttle fungieren. Bei zu hoher Ladespannung oxidieren diese Moleküle an der positiv geladenen Elektrode und wandern dann zur negativen Elektrode, wo sie durch Reduktion ihren Ausgangszustand annehmen. Dadurch führen sie die überschüssige Ladung in einem kontrollierten Prozess ab.

Sicherheitsfördernd ist auch der Einsatz sogenannter Shutdown-Separatoren. Sie enthalten Mikroporen, die sich bei zu großer Hitze verschließen und so die Ionenwanderung im Elektrolyten und damit den Stromfluss unterbrechen.

Mechanisch und elektrisch kann man die Sicherheit von Batteriezellen durch folgende Maßnahmen erhöhen:

- den Einbau von Sicherheitsventilen, die sich bei steigendem Zelldruck öffnen, um Gase entweichen zu lassen.
- in den Stromkreislauf integrierte Sicherungen, die bei zu hohen Strömen mit entsprechender Temperaturentwicklung schmelzen.
- in den Stromkreislauf integrierte PTC-Schalter (Positive Temperature Coefficient Device). Sie erhöhen beim Erreichen bestimmter Temperaturen den elektrischen Widerstand und können einen Thermal Runaway verhindern.
- den Einbau eines CID-Schalters (Current Interrupt Device). Er trennt die Verbindung zwischen Elektroden und Stromkreislauf, sobald ein bestimmter Druck durch Gasbildung überschritten wird.
- Die Einhaltung eines Sicherheitsabstandes zwischen den Zellen und/oder den Einbau eines Hitzeschildes.

Über diese Maßnahmen auf Zellebene hinaus trägt das Batteriemanagementsystem der größtmöglichen Sicherheit von Traktionsbatterien auf folgende Art Rechnung:

- Durch eine mikrocontrollergesteuerte Zellüberwachung sorgt es bereits vor dem Überschreiten kritischer Grenzwerte für ein automatisches Abschalten der Batterie.
- Es reguliert über ein Thermomanagement das Kaltstartverhalten.
- Es sorgt durch einen Überladeschutz und ein Zellbalancing für zusätzlichen Schutz gegen mögliche Risiken.

1.3 Sicherheitsstandards und -normen

Die Anforderungen an das Leistungsverhalten und die Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien in Elektrostraßenfahrzeugen sind im internationalen Standard IEC 62660 Teil 1 bis 4 festgeschrieben. Dort werden Testverfahren beschrieben, die den gesamten Lebenszyklus der Batterie im Fahrzeugeinsatz abdecken und auch Zuverlässigkeits- und Missbrauchsprüfungen beinhalten. Testverfahren zu Sicherheitsanforderungen an Traktionsbatterien sind auch in der internationalen Norm ISO 12405-3:2014 dargestellt.

Bevor sie in Verkehr gebracht werden, müssen Batteriezellen demnach gründlich auf ihre elektrische, thermische und mechanische Sicherheit geprüft werden.

So wird beispielsweise in einem Hochstromtest festgestellt, wie sie sich bei schnellem Laden und Entladen mit hohen Strömen verhalten. Im Propagationstest wird ein interner Kurzschluss simuliert, im Nageltest, bei dem ein Nagel durch das Gehäuse der Batterie geschlagen wird, ein extern induzierter Kurzschluss. Auch die Entzündbarkeit von Batterien wird überprüft. Die mechanischen Tests verlaufen unter teilweise extremen Bedingungen, wenn Batterien auf Zell-, Modul- und Systemebene zum Beispiel in mechanischen Pressen mit einem Gewicht von bis zu 100 Tonnen gequetscht und gestaucht werden.

Außer den Vorgaben dieser beiden Standards haben Traktionsbatterien hinsichtlich ihrer Sicherheit unter anderem den Anforderungen der Niederspannungsrichtlinie, des Produktsicherheitsgesetzes, des Batteriegesetzes und der Richtlinie über elektromagnetische Verträglichkeit (EMV-Richtlinie) zu genügen. Des Weiteren müssen Normen und Richtlinien für den Transport und die Lagerung von Batterien beachtet werden. Für den Transport und die Lagerung von Modulen gilt beispielsweise die Norm DIN EN 62281. Für den Transport kommen die Vorschriften des UN-Transporttests T 38.3 hinzu. Die darin enthaltenen Vorgaben zu beachten ist wichtig, weil

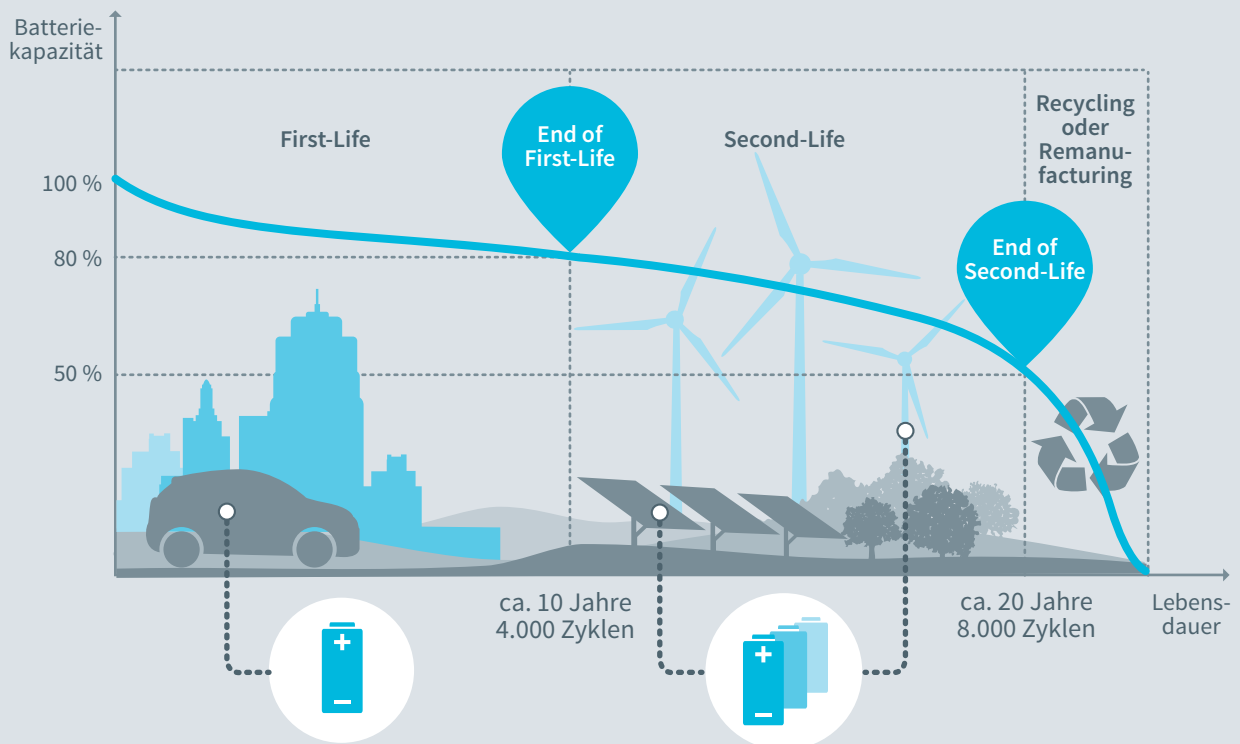


Abbildung 2: Lebenszyklus einer Batterie mit Second-Life Nutzung

die Gefahren, die der Umgang mit Batterien mit sich bringt, leicht unterschätzt werden. Mitarbeiter müssen aber für die Gefahrenpotenziale beim Umgang mit Lithium-Ionen-Batterien sensibilisiert werden und mögliche Unfallszenarien kennen. Diese Notwendigkeit betrifft Batterie- und Automobilhersteller sowie Logistikunternehmen ebenso wie Anwender aus Branchen wie beispielsweise dem Maschinen- und Anlagenbau.

Ausführlichere Informationen über die aktuellen Normen zur Lagerung, zum Transport und zur Verwertung bzw. dem Recycling von Li-Ionen-Batterien enthält das Kompendium: Li-Ionen-Batterien, das im Rahmen der Begleitforschung des Förderprogramms IKT für Elektromobilität II entstanden ist.

1.4 Zweitnutzung als stationärer Hausspeicher

Ein Sonderfall der Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien bezieht sich auf ihre Zweitnutzung nach ihrem Lebensdauerende im Fahrzeugbetrieb. Dann ist der jeweilige Inverkehrbringer der Traktionsbatterie – im Fall eines Elektrofahrzeugs der jeweilige Automobilhersteller (OEM) – nach § 5 bis 8 des Batteriegesetzes zur Rücknahme und nach § 14 zur Verwertung verpflichtet. Die direkte Verwertung ist derzeit wirtschaftlich aber nicht darstellbar, unter anderem wegen energie- und damit kostenintensiver Recycling-Prozesse. Deshalb erarbeiten OEM Geschäftsmodelle zur Nachnutzung von gebrauchten Fahrzeugbatterien, zum Beispiel als stationäre Speicher, welche die durch erneuerbare Energien auftretenden Fluktuationen im Stromnetz abpuffern.

Um jedoch die Nachnutzung generell zu ermöglichen, muss neben der Wirtschaftlichkeit in erster Linie die Sicherheit gewährleistet sein.

In der Praxis gibt es jedoch vor allem bei stationären Speichern noch Sicherheitslücken. Hierzu zählen das Nicht-Vorhandensein aussagekräftiger und standardisierter Performance- und Lebensdauertests. Aktuell wird dazu die VDE-AR 2510-50 entwickelt, die sich auf stationäre Heimspeicher bezieht. Zudem sei auf die Normen DIN EN 61427-2 (VDE 0510-41), DIN EN 62620 (VDE 0510-35) und DIN EN 62619 (VDE 0510-39) verwiesen, die unter anderem Prüfverfahren angeben, die dem Nachweis der Ausdauer, der Eigenschaften und des elektrischen Betriebsverhaltens der Batterien dienen. Auf internationaler Ebene wird die Notwendigkeit von aussagekräftigen und standardisierten Performance- und Lebensdauertests in IEC 62485-5 eingebracht, deren Erarbeitung erst begonnen wurde. Ein aktuelles Thema, das darüber hinaus diskutiert wird, ist der Brandschutz in Gebäuden.

Die Sicherheit von Hausspeichern wurde vom Bundesverband Energiespeicher gemeinsam mit Prüfeinrichtungen und weiteren Fachverbänden in dem 2015 veröffentlichten „Sicherheitsleitfaden Li-Ionen-Hausspeicher“ adressiert. Im Rahmen des Leitfadens wurde ein Schutzzielkatalog für Li-Ionen-Batterien auf drei verschiedenen Ebenen (Zelle, Modul, System) entwickelt. Dieser Katalog enthält ausführliche Informationen zu Gefahrenquellen und angestrebten Schutzzielen.²

Einen umfangreichen Überblick über Nachnutzungsmöglichkeiten von Traktionsbatterien gibt die Studie „Second-Life Konzepte für Li-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen“, die als Ergebnispapier Nr. 18 der BuW des Schaufensterprogramms Elektromobilität erschienen ist.³

2 http://www.bves.de/wp2015/wp-content/uploads/2015/07/Sicherheitsleitfaden_Li-Ionen_Hausspeicher.pdf

3 http://schaufenster-elektromobilitaet.org/de/content/dokumente/dokumente_1/dokument_details_16843.html

2 Praktische Sicherheitsszenarien

2.1 Normaler Fahrbetrieb

2.1.1 Fahrgeräusch

Das auffälligste Merkmal eines Elektroautos im normalen Fahrbetrieb ist das fehlende Fahrgeräusch. Elektromotoren arbeiten so leise, dass sie akustisch kaum wahrnehmbar sind. Elektrofahrzeuge emittieren deshalb beim Stehen, Anfahren und bei niedrigen Geschwindigkeiten bis zu 50 Kilometern pro Stunde (abhängig von Fahrzeug und Witterung) keine Geräusche. Erst bei höheren Geschwindigkeiten sind sie durch Roll- und Windgeräusche akustisch zunehmend wahrnehmbar.⁴

Verschiedene Studien haben belegt, dass deshalb bei niedrigen Geschwindigkeiten das Unfallrisiko zwischen Elektrofahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern erhöht ist.⁵ Die geringe Geräuschemission reduziert die Wahrnehmung eines fahrenden elektrischen Fahrzeugs so stark, dass es zu sicherheitsrelevanten Situationen in der Begegnung mit anderen Verkehrsteilnehmern kommen kann. Die Verkehrssicherheit von Fußgängern, Sehbehinderten, Kindern und Radfahrern ist gefährdet. Denn auch die Fahrer von Elektrofahrzeugen selbst können die Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs aufgrund des fehlenden Motorgeräuschs schwer einschätzen.

Dieser Gefahr sollen künftig vom Elektrofahrzeug produzierte Eigengeräusche abhelfen. Untersuchungen haben gezeigt, dass es dabei weniger auf die Lautstärke dieses Geräusches ankommt, als auf seine Art bzw. die Assoziation, die es auslöst. Ein mögliches Eigengeräusch muss also dem eines Verbrennungsmotors nachempfunden sein, da sonst beispielsweise Blinde das Fahrzeug nicht richtig wahrnehmen können.⁶ Es sollte ferner in Fahrtrichtung abgegeben werden und die Fahrdynamik widerspiegeln.⁷

4 vgl. Dudenhöffer, Hause/Kathrin, Leonie (2011): Hörbare Vehikel. Experimente zur Geräuschwahrnehmung von Elektroautos durch Handicap-Gruppen, in: UNIKATE 39, S. 52-61; Dudenhöffer, Hause/Kathrin, Leonie (2012): Geräuschwahrnehmung von Elektroautos, in: Automobiltechnische Zeitschrift 114, S. 258-263.

5 vgl. Kaiser, Oliver S. et al. (2011): Elektromobilität. ITA-Kurzstudie, Düsseldorf: Zukünftige Technologien Consulting.

6 Brandl, Maria (2015): KURIER-Test: Wie Blinde Elektroautos wahrnehmen, am 22.01.2015 in Kurier.at.

7 vgl. Peters, Anja et al. (2012): Konzepte der Elektromobilität und deren Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. Innovationsreport, Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Oktober 2012, Arbeitsbericht Nr. 153

Ein akustisches Fahrzeug-Warnsystem (AVAS), das ein solches Eigengeräusch produziert, wird innerhalb der Europäischen Union vom 1. Juli 2019 an für alle neuen Typen von reinen Elektrofahrzeugen und Hybridfahrzeugen verbindlich. Bis zum 1. Juli 2021 müssen alle Hybridelektro- und reinen Elektrofahrzeuge mit einem AVAS ausgestattet sein. Das hat das Europäische Parlament am 16. April 2014 mit der Verordnung (EU) Nr. 540/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates beschlossen. Demnach können die Fahrzeughersteller auch schon vor 2019 akustische Warnsysteme einbauen, wenn sie den von der EU festgelegten Anforderungen entsprechen. So muss beispielsweise mindestens im Geschwindigkeitsbereich zwischen dem Anfahren und etwa 20 km/h sowie beim Rückwärtsfahren automatisch ein Schallzeichen erzeugt werden. Das Fahrzeug muss ein Dauergeräusch erzeugen, welches einem vergleichbaren Verbrennerfahrzeug entspricht. Zudem muss ein Schalter eingebaut werden, der ein Ausschalten der Geräusche ermöglicht. Da es sich bei diesen Regelungen um Vorgaben einer europäischen Verordnung handelt, bedürfen sie keines weiteren nationalen Umsetzungsaktes.

Für die Hersteller von elektrisch betriebenen Fahrzeugen besteht hier weiterer Forschungsbedarf, da der Charakteristik des Geräusches und der Veränderung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit besondere Bedeutung zukommt und die EU-Verordnung hierfür Spielraum lässt. Insgesamt ist unter Autobauern, Politikern und Lärmgegnern noch strittig, wie Elektrofahrzeuge klingen sollen – denn „künstliche Geräusche würden das Ziel, den Verkehrslärm in Städten zu reduzieren, konterkarieren“, sagt Stefan Bratzel, Leiter des Center of Automotive Management an der Universität in Bergisch Gladbach.⁸

2.1.2 Ladevorgang

Grundsätzlich dürfen Elektrofahrzeuge nur an geprüften, fest installierten Ladevorrichtungen mit geeignetem Zubehör wie beispielsweise geprüften Adaptern für Steckersysteme geladen werden. Das Laden an nicht geeigneten Installationen kann gefährlich sein, da man es mit Spannungen von mehreren 100 Volt zu tun hat, die für den Menschen gefährlich sind. Das gilt für den Ladevorgang an der Ladeeinrichtung wie auch für die vorgelagerte Installation. Überlastungen müssen vermieden und damit das Risiko von Bränden minimiert werden. Richtschnur sind die sogenannten

⁸ Zit. Nach Thomas Imhof. Wie leise dürfen Elektroautos sein?. In: Die Welt vom 20.01.2014

Technischen Anschlussbedingungen. Ihre Einhaltung sorgt für standardisierte Sicherheit und ist im Bereich von Elektroinstallationen seit langem bewährte Praxis. Eine besondere Herausforderung beim Laden mit Wechselstrom ergibt sich aus der Wandlung von Wechsel- zu Gleichstrom im Hochvolt-System des Fahrzeugs. Dieser Herausforderung wird durch den zur jeweiligen Netzform passenden Schutz begegnet, die Standard im Bereich der Elektroinstallation ist.

Haushaltssteckdosen sind für die Abgabe von hohen Leistungen über einen längeren Zeitraum hinweg nicht geeignet. Um dem Risiko eines Brandes zu entgehen, sollten Fahrzeuge zuhause, falls keine Wallbox vorhanden ist, generell nur an solchen Schuko-Steckdosen geladen werden, die fachmännisch installiert sind. Probleme können auch bei älteren Installationen auftreten, weil diese zum Teil nicht auf größere Ströme ausgelegt sind. Für einen sicheren Betrieb, speziell auf der Fahrzeugseite, bedarf es entsprechender Schnittstellen, die eine Kommunikation zwischen Ladevorrichtung und Fahrzeug ermöglichen, eine laufende Überwachung von Temperatur und Spannung zulassen und im Notfall das ladende Fahrzeug vom Netz trennen. Empfehlenswert sind Fehlerstromschutzgeräte („Residual protective Devices“). Sie ermöglichen effiziente und intelligent gesteuerte Ladevorgänge und helfen, sicherheitskritische Situationen zu vermeiden.

Für das Laden von Elektrofahrzeugen sind vier verschiedene Lademodi vorgesehen, die in der Normenreihe DIN IEC 61851 definiert sind. Jeder dieser vier Modi erfordert spezifische elektrische Schutzmaßnahmen, um die Sicherheit des Bedienpersonals und Dritter zu gewährleisten. Aber auch Normen wie DIN VDE 0100-722 zum Errichten von Niederspannungsanlagen oder IEC 61000-6-3, die sich mit der elektromagnetischen Verträglichkeit beschäftigt, müssen berücksichtigt werden. Ein nicht zu vernachlässigender und gewichtiger Fehlerfaktor ist die Fehlbedienung durch den jeweiligen Nutzer beim Laden des Fahrzeugs. Um eine fehlerhafte Bedienung zu vermeiden, müssen die jeweiligen Nutzer fachgerecht unterwiesen und mit dem Zubehör für das Laden wie beispielsweise dem Lade-Adapter vertraut gemacht werden.

Einen sehr guten Überblick über Ladetechnologien sowie die Anforderungen an den Aufstellort und die Netzanbindung gibt der von der Nationalen Plattform Elektromobilität erarbeitete „Technische Leitfaden Ladeinfrastruktur“.⁹ Er enthält auch Empfehlungen für Immobilienbesitzer und -verwalter, Städteplaner, Architekten, Elektroinstallateure und Bauherren.

9 <https://www.dke.de/de/themen/elektromobilitaet/praxisnaher-leitfaden-ladeinfrastruktur-fuer-elektromobilitaet>

2.1.3 IT-Security

Mit zunehmender Digitalisierung und Vernetzung nimmt die Gefahr einer externen IT-Manipulation zwar für Fahrzeuge aller Antriebsarten zu, Elektrofahrzeuge werden aber besonders eng mit Verkehrs- und Energiesystemen verknüpft sein. Denn die Entwicklung spezieller Navigationssysteme für Elektrofahrzeuge schreitet voran. Solche Systeme (i.d.R. Ladestrom-Assistenten) „erlernen“ den Energieverbrauch bei unterschiedlichen Streckentypen und Geschwindigkeiten. Sie können die realistische Ankunftszeit ermitteln und sich auf das individuelle Fahrverhalten einstellen. In einem Display können die nächsten Ladestationen entlang der Fahrzeugroute angezeigt und ggf. vorreserviert werden. Der benötigte Fahrstrom (zeitlich und örtlich) steht dabei in engem Zusammenhang mit dem individuellen Mobilitätsverhalten. Elektrofahrzeuge werden dafür über mehr intelligente Schnittstellen verfügen und deshalb anfälliger für Hackerangriffe sein als Verbrennerfahrzeuge. Der vorbeugenden IT-Security wird deshalb hohe Priorität zugeschrieben, wenn es um die Sicherheit von Elektroautos geht.

2.2. Reparatur und Wartung

Bereits eine Wechselspannung (AC) von über 30 Volt sowie eine Gleichspannung (DC) von über 60 Volt stellen bei ungeschütztem Kontakt und einem Kurzschlussstrom von nur drei mA (AC) und zwölf mA (DC) eine Lebensgefahr für den Menschen dar. Diese Spannungen sind die unteren Schwellenwerte, ab denen man von Hochvolt-Anlagen spricht. In Elektrofahrzeugen ist die Spannung um ein Vielfaches höher.

Um Servicekräfte nicht in sicherheitskritische Situationen zu bringen, müssen alle Hochvolt-Komponenten eines Elektrofahrzeugs deshalb auffällig und unverwechselbar gekennzeichnet sein. Durch Isolierungen und Spezialstecker muss überdies ein Berührschutz gewährleistet sein, der einen Kontakt mit stromführenden Teilen verhindert. Zur Servicesicherheit trägt auch die Aufteilung der Batterie in mehrere Module bei, die über einen Sicherheitsschalter miteinander verbunden sind.

KFZ-Betriebe müssen sich darauf einstellen, es mehr und mehr auch mit der Wartung und Instandsetzung von Elektrofahrzeugen zu tun zu haben. Dafür müssen sie geeignetes Personal in Schulungen und Unterweisungen qualifizieren, um die Richtlinien der Berufsgenossenschaft nach BGI 8686 zu erfüllen und strafrechtlichen bzw. zivilrechtlichen Konsequenzen zu entgehen. Die Richtlinie BGI 8686 unterscheidet zwei Qualifikationsstufen:

- den elektrotechnisch unterwiesenen Mitarbeiter

- den Fachkundigen für Arbeiten an Hochvolt (HV) eigensicheren Fahrzeugen

Elektrotechnisch unterwiesen werden können auch Mitarbeiter ohne KFZ-Ausbildung. Ohne mindestens eine dokumentierte elektrotechnische Unterweisung darf niemand in einem gewerblichen Betrieb Wartungs- oder Reparaturarbeiten an einem Elektrofahrzeug vornehmen. Das betrifft beispielsweise auch Tätigkeiten wie Reifenwechsel oder Lackierarbeiten.

Die Voraussetzung für eine Qualifikation zum Fachkundigen für Arbeiten an HV-eigensicheren Fahrzeugen ist eine nach 1972 abgeschlossene KFZ-Mechaniker-Ausbildung. Nur mit dieser Qualifikation darf ein Mitarbeiter die HV-Anlage von Elektrofahrzeugen freischalten, was die Voraussetzung für Wartungs- und Reparaturarbeiten am HV-System ist.

2.3 Verkehrsunfälle

Je mehr Elektroautos auf den Straßen unterwegs sind, desto häufiger wird es vorkommen, dass sie in Unfälle verwickelt werden. Der Umgang mit verunfallten Elektrofahrzeugen ist in der Regel jedoch nicht gefährlicher als der mit vergleichbaren Benzin- oder Dieselfahrzeugen. Verglichen mit diesen fallen bei Elektroautos sogar einige Gefahren weg, die einen Brand auslösen könnten, wie beispielsweise ein Kraftstoffaustritt auf heiße Motorbauteile. Insgesamt gibt es keine Hinweise darauf, dass ein Elektroauto stärker von einem Brand gefährdet sein könnte als ein Verbrennerfahrzeug. In Crashtests, wie sie vom ADAC, von der DEKRA oder vom europäischen Crashtest-Konsortium EURO NCAP bisher durchgeführt wurden¹⁰, haben verschiedene Elektroautos gezeigt, dass sie sicherheitstechnisch mindestens auf der gleichen Stufe stehen wie Verbrennerfahrzeuge.

Die Traktionsbatterie eines Elektrofahrzeugs ist, um ihr größtmögliche Crashesicherheit zu geben, in der Regel in einem korrosionssicheren Gehäuse mit feuerhemmendem Schaum untergebracht. Sie verfügt über Ventile, über die notfalls Reaktionsgase abgeblasen werden. Auch kann sie mit einem Frühwarnsystem ausgestattet werden, das anzeigt, wenn ein Brand oder eine Explosion drohen, so dass der Fahrer rechtzeitig aussteigen kann. Vor allem ist die Traktionsbatterie meist im Unterboden des Elektrofahrzeugs untergebracht. Dort sind statistisch gesehen die geringsten Unfallfolgen zu erwarten, vor allem bei seitlichen Zusammenstößen mit einem anderen Fahrzeug. Trotzdem besteht nach einem Zusammenstoß eine potenzielle Brandgefahr. Problematisch ist, dass ein Brand nach einem

10 vgl. <https://www.adac.de/infotestrat/tests/crash-test/elektroauto/default.aspx>; <http://www.dekra-elektromobilitaet.de/de/sicherheit>; <https://www.welt.de/motor/article134065043/Elektroauto-Tesla-Model-S-holt-Bestnote.html>

Unfall deutlich zeitversetzt eintreten kann, wenn die Batterie beschädigt worden ist. Eine solche Beschädigung kann sich aber aufgrund der vorstehend beschriebenen Vorsichtsmaßnahmen nur bei sehr schweren Unfällen ereignen.

Fängt die Batterie in Folge davon Feuer, dann sollte der Brand grundsätzlich mit viel Wasser gelöscht werden. Dadurch wird der gesamte Batteriespeicher gekühlt und eine Kettenreaktion von Zelle zu Zelle verhindert. Auch entlädt ein Kontakt mit Wasser beschädigte Batteriezellen mit offenem Gehäuse langsam. Je früher Kühlung und Kontakt einsetzen, umso schneller wird die Energie der Batteriezellen reduziert und ein thermisches Durchgehen verhindert. Löschmittelzusätze (z.B. Schaummittel) erhöhen den Wärmeübergang an das Löschmittel und verkürzen die Zeit bis zur Löschung des Brandes. Falls Löschversuche mit Wasser keinen Erfolg bringen, kann das Feuer mit Sand oder Metallbrandpulver abgedeckt werden, um ihm Sauerstoff zu entziehen. Weil sie nicht kühlt, kann diese Methode die thermische Kettenreaktion in den Batteriezellen aber kaum unterbinden und führt selten zum Erfolg.

Potenzielle Gefahren gehen nach einem Unfall mit einem Elektroauto von den unter Strom stehenden Komponenten des Fahrzeugs aus. Das Risiko eines elektrischen Schlages ist jedoch dadurch minimiert, dass Elektrofahrzeuge grundsätzlich „eigensicher“ konstruiert sind. Das bedeutet, dass sich ihr Hochvolt-System nach einem schweren Zusammenstoß mit Airbag-Auslösung eigenständig abschaltet. Zusätzlich besitzt ein Elektroauto eine Hochvolt-Trennungsstelle, die eine manuelle Abschaltung des Systems erlaubt. Abgesehen davon ist das Hochvolt-System jedes Elektrofahrzeugs berührungsgeschützt ausgeführt und elektrisch vollständig von der Fahrzeugkarosserie isoliert.

Wird der Fahrer eines Elektroautos in einen Unfall verwickelt, dann sollte er – wie bei einem Verbrennerfahrzeug – anschließend sofort den Antrieb deaktivieren, den Schalthebel in Stellung P bringen, die Feststellbremse betätigen, den Unfallort sichern (Warndreieck etc.) und einen Sicherheitsabstand zum Fahrzeug halten.

Besonders wichtig ist es, den Rettungskräften unverzüglich mitzuteilen, dass es sich bei dem Unfallauto um ein Elektrofahrzeug handelt. Wenn der Fahrer schwerverletzt und dazu nicht in der Lage ist, muss das Unfallauto durch die Rettungskräfte selbst als Elektrofahrzeug identifiziert werden. Sie können sich dabei an folgenden Merkmalen orientieren:

- Typenbezeichnung an der äußeren Fahrzeugkarosserie oder auf den Türeinstiegsleisten (beispielsweise Electric Drive, E-Tron etc.) – in Zukunft auch auf dem amtlichen Kennzeichen des Fahrzeugs

- Kombiinstrument mit Ladeanzeige und entsprechenden Kennzeichnungen, das sich von dem eines Verbrenners unterscheidet
- Keine Abgasanlage
- Schriftzug auf der Designabdeckung im Motorraum
- Orangefarbene Hochvolt-Kabel
- Ladesteckdose statt Tankdeckel
- Waraufkleber an elektrischen HV-Komponenten wie zum Beispiel der HV-Batterie

Hierbei ist zu beachten: Das Fehlen einzelner Kennzeichen heißt nicht, dass es sich nicht um ein Elektrofahrzeug handelt. Um alternative KFZ-Antriebe generell zu identifizieren, hat sich auch die sogenannte „AUTO- Regel“ als sinnvoll erwiesen:

- Austretende Betriebsstoffe beachten (z.B. Zisch- oder Knattergeräusche, Gasgeruch, Lachen- oder Nebelbildung)
- Unterboden, Motor- und Kofferraum erkunden
- Tankdeckel öffnen (z.B. um alternative Betankungs-/Ladesysteme zu erkennen)
- Oberfläche absuchen (z.B. nach Überdruckventilen, einschlägigen Beschriftungen, fehlendem Auspuff)

Seit Januar 2013 können die Rettungsleitstellen in Deutschland eine Fahrzeugkennzeichenabfrage über eine Rettungsdatenblatt-Datenbank durchführen, die ihnen eine eindeutige Zuordnung des Fahrzeugs zum jeweiligen Rettungsdatenblatt ermöglicht. Das Rettungsdatenblatt stellt den Rettungskräften detaillierte Informationen zur Unterstützung eines fachgerechten Einsatzes zur Verfügung. Auf dem Datenblatt sind alle Informationen in Bezug auf Rettungsarbeiten am Fahrzeug enthalten. Auf seiner Vorderseite sind alle sicherheitsrelevanten Bauteile markiert. Auf den folgenden Seiten wird in der Regel das Vorgehen zur Sicherung der Fahrzeuge beschrieben.

Der Verband der Automobilindustrie (VDA) hat eine Übersicht erstellt, die Einsatzkräften wichtige allgemeine Handlungsempfehlungen für den Umgang mit verunfallten Elektrofahrzeugen gibt. Darüber hinaus publizieren die Hersteller von Elektrofahrzeugen umfassende modellspezifische Ret-

tungshandbücher und -leitfäden. Präventiv wird Einsatz- und Rettungskräften empfohlen, Ordner mit den Rettungsdatenblättern verschiedener Elektrofahrzeuge mit sich zu führen.

Grundsätzlich sollten Rettungskräfte beim Umgang mit verunfallten Elektrofahrzeugen über die vorstehend beschriebenen Aspekte hinaus folgendes beachten:

- Im Zweifelsfall müssen sie das Hochvolt-Systems des Fahrzeugs manuell deaktivieren. Die dafür empfohlene Vorgehensweise ist im Rettungsdatenblatt des Fahrzeugs beschrieben. In vielen Fahrzeugen lässt sich das Hochvolt-System über eine 12 V-Trennstelle abschalten. Diese kann auch von Nicht-HV-Fachkräften betätigt werden. Der HV-Energiespeicher wird dabei vom restlichen HV-System getrennt, jedoch nicht entladen.
- Auch von geparkten Elektrofahrzeugen, die von einem Unfall betroffen sind, kann eine elektrische Gefährdung ausgehen, so dass eine Abschaltung von deren Hochvolt-System sichergestellt werden muss.
- Besondere Vorsicht ist angebracht, wenn Hochvolt-Komponenten wie die Traktionsbatterie beschädigt worden sind. In diesem Fall muss über die zuständige Leitstelle eine qualifizierte Elektrofachkraft angefordert werden, welche die Gefährdung beurteilt und das weitere Vorgehen festlegt.
- Aus einer beschädigten Batterie kann Elektrolyt austreten. Elektrolyte sind potenziell ätzende Reizstoffe. Direktes Einatmen der Dämpfe und Hautkontakt sind unbedingt zu vermeiden. Mit konventionellen Bindemitteln können Elektrolyte aufgenommen und abgefangen werden.

Wenn die erläuterten Gefahren eingedämmt sind und das Unfallfahrzeug in Schrittgeschwindigkeit aus dem Gefahrenbereich entfernt worden ist, sollte bei dessen Verladung folgendes beachtet werden:

Bei der Übergabe sollten dem Abschleppdienst oder anderen Abholern die erfolgten Rettungsmaßnahmen mitgeteilt werden. Diese Mitteilung sollte schriftlich bestätigt werden.

- Für das Verladen und den Transport sind nationale Vorschriften zu beachten (in Deutschland: BGI 800 und BGI 8664, BGI 8686 und BGI 5065).
- Beim Arbeiten mit einer Seilwinde dürfen keine Hochvolt-Komponenten beschädigt werden.

- Aus Brandschutzgründen sollten verunfallte Elektrofahrzeuge, wie Verbrennerfahrzeuge auch, auf einem Abstellplatz im Freien mit ausreichendem Abstand zu anderen Fahrzeugen, Gebäuden und brennbaren Gegenständen abgestellt werden. Das Fahrzeug muss als Elektrofahrzeug gekennzeichnet sein, insbesondere bei Anlieferung außerhalb der Geschäftszeiten.

Um das Verhalten nach einem Unfall, in den Elektrofahrzeuge verwickelt sind, umfassend zu regeln, wird derzeit die Norm ISO 6469-4 „Electrically propelled road vehicles – Safety specifications – Part 4: Post crash electrical safety“ erarbeitet.

Ausblick

Elektromobilität wird zunehmend in Verbindung mit autonomem Fahren gedacht und entwickelt. Sollte sich eines Tages die Vision von Fahrzeugen erfüllen, die sich durch eine digital vermittelte, sensorische und aktuatorische Verbindung untereinander sowie mit den Verkehrs- und Energieinfrastrukturen selbst steuern, dann würde das Risiko eines Verkehrsunfalls gegen Null tendieren, und eine größtmögliche Sicherheit wäre für Fahrzeuge aller Antriebsarten erreicht.

So weit ist die technologische Entwicklung aber noch lange nicht. Nachdem die Lösung des Sicherheitsproblems des fehlenden Eigengeräuschs vom Gesetzgeber vorgezeichnet und technisch ohne große Schwierigkeiten umzusetzen ist, werden sich die Anstrengungen von Automobilherstellern und Energieexperten in den nächsten Jahren darauf konzentrieren, die potentiellen Gefahren zu entschärfen, die von der Traktionsbatterie ausgehen. Neue und unkritischere Batterie-Zellchemien befinden sich bereits in Entwicklung und werden voraussichtlich in absehbarer Zeit Marktreife erlangen.

Darüber hinaus wird die Unsicherheit, wie sicher Elektrofahrzeuge sind und wie mit ihnen bei einem Unfall umzugehen ist, immer schneller abnehmen, je mehr Elektroautos unterwegs sind und je selbstverständlicher sie zum Straßenbild gehören. Der beginnende Markthochlauf wird folglich viele Sicherheitsbedenken zerstreuen.

Anhang

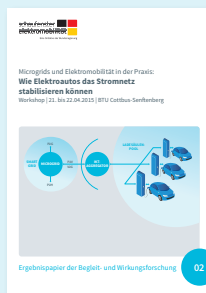
Ergebnispapiere der Begleit- und Wirkungsforschung



Ergebnispapier Nr. 01
Wer sind die Nutzerinnen und Nutzer von Elektromobilität?
Transparenz durch das Nutzer-Begriffsnetz und den Nutzercube



Ergebnispapier Nr. 05
Good E-Roaming Practice.
Praktischer Leitfaden zur Ladeinfrastruktur-Vernetzung in den Schaufenstern Elektromobilität (Deutsch und Englisch)



Ergebnispapier Nr. 02
Microgrids und Elektromobilität
in der Praxis: Wie Elektroautos
das Stromnetz stabilisieren können



Ergebnispapier Nr. 06
Fragen rund um das Elektrofahrzeug:
Wie kommen die Angaben über den
Stromverbrauch und die Reichweite
von Elektrofahrzeugen zustande?



Ergebnispapier Nr. 03
Rechtlicher Rahmen im Schaufenster-
Programm Elektromobilität.
Information zur Änderung
des Eichrechts zum 01.01.2015

Ergebnispapier Nr. 07
Zwischenwertung und
Fortsetzungsempfehlung
zum Schaufenster-Programm
(unveröffentlicht)

Ergebnispapier Nr. 04
Übersicht Rechtlicher Rahmen
im Schaufenster-Programm Elektro-
mobilität für den Ressortkreis
(unveröffentlicht)



Ergebnispapier Nr. 08
Elektromobilität im Autohaus –
Praktischer Leitfaden für
Autohändler zum Vertrieb von
Elektrofahrzeugen



Ergebnispapier Nr. 09

Online-Befragung – Elektromobilität in gewerblichen Anwendungen



Ergebnispapier Nr. 13

Urbane Mobilitätskonzepte im Wandel – erleben und erfahren



Ergebnispapier Nr. 10

Online-Befragung – Umfrage unter elektromobilitäts-interessierten Personen zu Treibern und Hemmnissen bei der Anschaffung von Elektrofahrzeugen



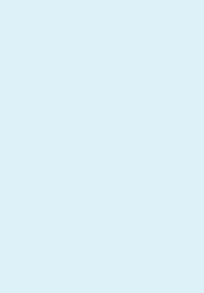
Ergebnispapier Nr. 14

Betreiber- und Finanzierungsmodelle öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur



Ergebnispapier Nr. 11

Rechtliche Rahmenbedingungen für Ladeinfrastruktur im Neubau und Bestand



Ergebnispapier Nr. 15

eMob Ladeinfrastrukturdatenbank (Lastenheft)

Ergebnispapier Nr. 12

Steuerrecht als Baustein und Einflussfaktor für die Elektromobilität (in Vorbereitung)



Ergebnispapier Nr. 16

Fortschrittsbericht 2015



Ergebnispapier Nr. 17
Internationales Benchmarking
zum Status quo der Elektromobilität
in Deutschland 2015



Ergebnispapier Nr. 21
Zivil- und datenschutzrechtliche
Zuordnung von Daten vernetzter
Elektrofahrzeuge



Ergebnispapier Nr. 18
Second-Life-Konzepte
für Lithium-Ionen-Batterien
aus Elektrofahrzeugen



Ergebnispapier Nr. 22
Handlungsempfehlungen
der Begleit- und Wirkungsforschung
aus dem Schaufenster-Programm
Elektromobilität für die Ergebnis-
konferenz 2016



Ergebnispapier Nr. 19
Energierechtliche Einordnung
der Ladeinfrastruktur
für Elektrofahrzeuge



Ergebnispapier Nr. 23
Folder „Elektrofahrzeuge im Alltag.
Übersicht über interessante
Nutzungsszenarien“



Ergebnispapier Nr. 20
Energie, Elektromobilität und
Hybridnetze – Geschäftsmodelle
und Rechtsrahmen.
Ein Tagungsbericht zum Workshop
vom 24./25. November 2015



Ergebnispapier Nr. 24
Folder „Interessante Nutzungs-
szenarien. Der Berufspendler“



Ergebnispapier Nr. 25
Folder „Interessante Nutzungs-
szenarien. Pflegedienst“



Ergebnispapier Nr. 29
Wirtschaftlichkeit von Elektro-
mobilität in gewerblichen
Anwendungen. Anleitung und
Hintergrundinformationen
zum Online-TCO-Rechner



Ergebnispapier Nr. 26
Dokumentation
der Ergebniskonferenz



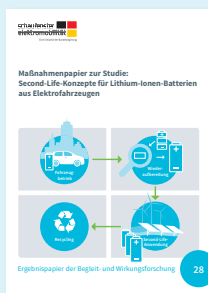
Ergebnispapier Nr. 30
Abschlussbericht 2017
der Begleit- und Wirkungsforschung
Schaufenster Elektromobilität



Ergebnispapier Nr. 27
10 Thesen zur Elektromobilität
in Flotten



Ergebnispapier Nr. 31
HAL – Brancheninitiative für
einen harmonisierten, anwender-
freundlichen Ladedatensatz
in Deutschland und Europa



Ergebnispapier Nr. 28
Maßnahmenpapier zur Studie:
Second-Life-Konzepte für
Lithium-Ionen-Batterien
aus Elektrofahrzeugen



Ergebnispapier Nr. 32
Text Mining in der Begleit-
und Wirkungsforschung
Schaufenster Elektromobilität –
Implikationen für zukünftige
Begleitforschungen



Ergebnispapier Nr. 33
Minimaldatensets zur Erhebung
von Forschungsdaten in der
Elektromobilität



Ergebnispapier Nr. 37
Sicherheit von Elektrofahrzeugen



Ergebnispapier Nr. 34
Eckpunkte für den rechtlichen
Rahmen der Elektromobilität.
Überblick und Handlungserwägungen
der Begleit- und Wirkungsforschung
zum Schaufenster-Programm
Elektromobilität



Ergebnispapier Nr. 38
Internationale Marktanreiz-
programme zur Förderung
der Elektromobilität



Ergebnispapier Nr. 35
Studie zu einer nutzerfreundlichen
und bedarfsgerechten Lade-
infrastruktur



Ergebnispapier Nr. 36
Status quo Ladeinfrastruktur 2016 –
Workshop Dokumentation

Impressum

Herausgeber

Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (BuW)
Ergebnispapier Nr. 37

Deutsches Dialog Institut GmbH
Eschersheimer Landstraße 223
60320 Frankfurt am Main
Telefon: +49 (0)69 153003-0
Telefax: + 49 (0)69 153003-66
info@buw-elektromobilitaet.de
www.schaufenster-elektromobilitaet.org

Verfasser

Ehsan Rahimzei
VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.

Lektorat

Wissenswort | Joachim Pietzsch

Personenaufnahmen, Titelfotos und weitere Fotos

Titelbild: Grisha Bruev / Shutterstock.com, Sopotnicki / Shutterstock.com,
Anupong Sakoolchai / Shutterstock.com, Alexandru Nika / Shutterstock.com

Layout, Satz

Felgner & Zierke | Andreas Felgner

Die Konsortialpartner

- **BridgingIT GmbH**
N7, 5-6 · 68161 Mannheim
www.bridging-it.de



- **Deutsches Dialog Institut GmbH**
Eschersheimer Landstr. 223 · 60320 Frankfurt a. M.
www.dialoginstitut.de



- **VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.**
Technik & Innovation Stresemannallee 15 · 60596 Frankfurt a. M.
www.vde.com



Kontakt für die Öffentlichkeitsarbeit

Deutsches Dialog Institut GmbH · Eschersheimer Landstr. 223 · 60320 Frankfurt am Main
+49(0)69 153003-0 · info@buw-elektromobilitaet.de · www.schaufenster-elektromobilitaet.org

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages