

Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 107

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen

von

Michael Vogt
Stefan Link
Konrad Ritzinger
Egle Ablingyte

SGS-TÜV Saar GmbH
München

Peter Reindl

SGS Germany GmbH
München

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 107

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.0552/2012:
Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen

Fachbetreuung
Maxim Bierbach
Rainer Krautscheid
Ralf Meschede

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9307
ISBN 978-3-95606-185-1

Bergisch Gladbach, März 2016

Kurzfassung – Abstract

Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen

Die Elektromobilität ist nicht erst seit dem „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ der Bundesregierung, der u. a. als Zielsetzung hat, dass eine Million Elektrofahrzeuge bis 2020 auf deutschen Straßen fahren sollen, ein allgegenwärtiges Thema. Eine zu lösende Aufgabe auf dem Weg zu diesem Ziel ist die Betrachtung der Abhängigkeiten der Systeme Elektrofahrzeug, Ladeverbindungseinheit und Ladesystem, welche bisher weitgehend autonom normiert sind. Um Personen- und Sachschäden beim Laden von Fahrzeugen zu vermeiden, ist es möglicherweise erforderlich, Anforderungen an die Sicherheit dieses Gesamtsystems zu definieren. Zu diesem Zweck beauftragte die Bundesanstalt für Straßenwesen die SGS-TÜV Saar GmbH, Competence Center Funktionale Sicherheit mit der Durchführung einer Risikoanalyse, mit dem Ziel, die Sicherheitsaspekte beim Laden eines Elektrofahrzeuges zu untersuchen. Bisher nicht bzw. unzureichend betrachtete Gefährdungen während des Ladevorganges sollten aufgezeigt werden. Nötige Maßnahmen sollten definiert und punktuell mittels Tests validiert werden, um identifizierte Risiken auf ein ausreichend geringes Maß zu senken. Im Kern wurde untersucht, welche potenziellen Risiken¹ beim Laden eines Elektrofahrzeugs auftreten. Auf Basis einer Normenrecherche wurde die Frage beantwortet, an welchen Stellen normativer und gesetzlicher Handlungsbedarf besteht. Dazu wurden die nachfolgenden Schwerpunkte erarbeitet:

- Darstellung möglicher sicherheitskritischer Bedingungen beim Laden,
- Zuordnung der sicherheitskritischen Bedingungen zu den Subsystemen Infrastruktur, Kabel und Fahrzeug,
- Definition von Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit beim Laden,
- Aufzeigen der Zuständigkeiten für die Gewährleistung der Sicherheit,
- Offenlegung des regelungsseitigen Bedarfs.

Im ersten Schritt wurde eine Risikoanalyse durchgeführt, um die potenziellen Risiken beim Laden eines Elektrofahrzeugs aufzuzeigen. Die Risikoanalyse wurde zunächst ohne Berücksichtigung bereits normativ oder gesetzlich festgelegter Schutzmaßnahmen durchge-

führt. Anschließend erfolgte eine iterative Weiterführung der Betrachtung der Risiken in zweierlei Hinsicht:

- a. Berücksichtigung existierender normativer und/oder gesetzlicher Anforderungen, welche parallel zur Risikoanalyse recherchiert wurden,
- b. Beschreibung ergänzender technischer und/oder organisatorischer Maßnahmen, um nicht abgedeckte Risiken weiter zu reduzieren.

Danach wurde eine erneute Beurteilung der Risiken vorgenommen, um aufzuzeigen, ob die vorhandenen bzw. neu definierten Maßnahmen in der Lage sind, das identifizierte Risiko in ausreichendem Maß zu reduzieren.

Generell zeigte sich im Rahmen der Risikoanalyse eine breite, durch Normen und Richtlinien bzw. gesetzliche Regelungen vorhandene Abdeckung der möglichen Risiken. Derzeit nicht abgedeckte Risiken konnten adressiert und wirksame Lösungsmöglichkeiten vorgeschlagen werden. Bei Umsetzung aller aufgezeigten Lösungsansätze bleiben somit keine relevanten Risiken offen. Jedoch zeigt sich auch, dass zu bestimmten Themen dringender Handlungsbedarf besteht.

Als Ergebnis ließ sich zu folgenden Punkten ein konkreter Handlungsbedarf ableiten:

- Als eines der Hauptrisiken wurde das Laden an einer haushaltsüblichen Schuko Steckdose, ohne die Nutzung einer zusätzlichen in der Ladeleitung integrierten Schutzeinrichtung, identifiziert. Bei Ladeleitungen mit Schutzeinrichtung hängt deren Schutzwirkung nicht zuletzt von einer regelmäßigen technischen Überprüfung ab.
- Als relevant wurden weiterhin die elektromagnetischen Felder, die von einer Ladeleitung bei hohen Strömen ausgehen (zukünftige Schnellladesysteme), identifiziert, hier sind tieferegehende Untersuchungen erforderlich.
- Im Sinne der Risikominimierung sollte auch das maximal zulässige Gewicht der Ladegarnitur limitiert sein.
- Untersucht wurden auch Risiken, die sich durch die Bedienung ergeben. Mit entsprechenden Hinweisen im Bedienungshandbuch des Elektrofahrzeuges kann hier bereits einigen möglichen Gefahren begegnet werden. Dies betrifft unter anderem die Handhabung der Ladegarnitur beim Laden im öffentlichen Raum.

Aus den ermittelten noch umzusetzenden Maßnahmen geht hervor, dass der derzeitige Stand der Normung und gesetzlichen Regelungen noch nicht vollkommen ausreichend ist, um alle ermittelten und aufgezeigten Risiken in ausreichendem Maße zu reduzieren. Aus den Ergebnissen der Studie wird auch deutlich, dass die Sicherheit nicht von einem Teilsystem alleine, sondern vielmehr durch das sichere Zusammenwirken aller

¹ Das Risiko definiert sich als die Beschreibung eines Ereignisses mit der Möglichkeit negativer Auswirkungen. Das Risiko wird allgemein als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und dessen Konsequenz angesehen (Quelle: Wikipedia).

Teile, auch in Kombination mit dem Verhalten der Nutzer und partizipierender Personen, gewährleistet wird.

Security issues when charging electric vehicles

Electric mobility has been a ubiquitous topic – not only since the Federal Republic of Germany launched the National Electric Mobility Development Plan which, among other things, pursues the aim of one million electric vehicles being operated on German roads by 2020. One task towards that aim is to consider the interdependency of the systems including electric vehicle, charging connection and charging system, which were mostly standardised autonomously. In order to avoid personal injury and property damage during the charging process of vehicles it may be necessary to define requirements for the safety of this total system. For this purpose, the German Federal Highway Research Institute (BAST) commissioned SGS-TÜV Saar GmbH, Competence Center Functional Safety, to perform a risk analysis aimed at studying the safety aspects when charging an electric vehicle to indicate hazards during a charging process which may not have – or only insufficiently – been examined so far. Necessary measures should be defined and selectively validated by means of tests in order to reduce identified risks to a sufficiently low level.

In essence, the project analysed what potential risks¹ occur when charging an electric vehicle. Based on a research of standards the question of where a need for normative and legislative action exists was answered. For this purpose the following focal areas were elaborated:

- illustration of possible safety-critical conditions during charging,
- allocation of the safety-critical conditions to the subsystems infrastructure, cable and vehicle,
- definition measures to increase safety during charging,
- identification of the responsibility for assurance of safety,
- disclosure of required regulatory measures.

In the first step a risk analysis was performed in order to indicate the potential risks incurred when charging an electric vehicle. The risk analysis was initially performed without consideration of protective measures which have already been established by standards or laws.

Subsequently, the examination of the risks iteratively continued in two respects:

- a. consideration of existing normative and/or legal requirements that were researched in parallel to the risk analysis,
- b. description of complementary technical and/or organisational measures to further reduce risks which have not been covered.

Subsequently, the risks were re-evaluated in order to indicate whether or not the existing and/or newly defined measures are able to sufficiently reduce the identified risk.

Generally, the risk analysis revealed a broad existing coverage of possible risks by standards and regulations and/or legal requirements. Risks not currently covered could be addressed and effective possible solutions proposed. Consequently, no relevant risks remain unaddressed if all the proposed problem-solving approaches are implemented. However, it is also obvious that an urgent need for action exists with respect to certain issues.

As a result, a concrete need for action could be derived with respect to the following issues:

- One of the major risks identified was charging at a typical household power socket without the use of an additional protection device integrated in the charging cable. When charging cables with protection devices are used their protective effect not least depends on the performance of regular technical inspections.
- Furthermore, the electromagnetic fields emanating from a charging cable at high currents (future quick-charging systems) were identified as relevant; more in-depth studies are required here
- In the interest of risk minimisation the maximum permissible weight of the charging equipment should be limited as well.
- In addition to the technical hazards, the risks resulting from the operation of the equipment were examined. Some of these potential hazards can be counteracted by appropriate instructions in the operator manual of the electric vehicle. Among others, this concerns the handling of the charging equipment in public spaces.

The measures identified and still to be implemented reveal that the current state of standardisation and legal requirements is not fully sufficient yet in order to reduce all the risks which have been identified and indicated. However, the results of the study also show that safety is not only assured by a single subsystem but by the safe interaction of all the components, also in combination with the behaviour of the users and participating persons.

¹ Risk is defined as the description of an event with the potential of having negative effects. Risk is generally viewed as the product of the occurrence probability of an event and its consequence (Source: Wikipedia).

Inhalt

Abkürzungen	7	5.4.3 Anschlussfall „C“	14
1 Einführung	9	5.5 Kombinationen der Steckerarten und Ladebetriebsarten	14
2 Aufgabenstellung	9	6 Systembeschreibung	15
3 Herausforderung und Betrachtungsumfang	9	6.1 EG-Fahrzeugklassen	15
4 Qualitätsmanagement	10	6.2 Beschreibung des Betrachtungsumfangs	16
5 Darstellung betrachteter Stecker- arten und Ladebetriebsarten	10	6.2.1 Ausgangssituation	16
5.1 Erläuterung gängiger Ladebetriebsarten	10	6.2.2 Abgrenzung des Betrachtungs- umfangs gegenüber der Lade- infrastruktur	16
5.1.1 Ladebetriebsart 1 (LBA1)	10	6.2.3 Abgrenzung des Betrachtungs- umfangs gegenüber dem Fahrzeug ...	17
5.1.2 Ladebetriebsart 2 (LBA2)	10	6.3 Bestimmungsgemäßer Gebrauch	17
5.1.3 Ladebetriebsart 3 (LBA3)	10	7 Festlegung der Betrachtungsgrenzen	18
5.1.4 Ladebetriebsart 4 (LBA4)	11	7.1 Grenzen der Verwendung	18
5.2 Infrastrukturseitige Steckverbindungen	11	7.2 Räumliche Grenzen	19
5.2.1 Schukosteckverbindung (CEE 7/4)	11	7.3 Zeitliche Grenzen	19
5.2.2 CEE-blau-Steckverbindung (L + N + PE, 6 h)	12	8 Normen, Standards und Regelungen	19
5.2.3 CEE-rot-Steckverbindung (3L + N + PE, 6 h)	12	8.1 Relevante normative und regulatorische Referenzen	19
5.2.4 Typ 2	12	8.2 Verwendungsbezogene Sicherheitsanforderungen (SA)	21
5.2.5 Typ 3	12	8.3 Relevante Sicherheits- und Schutzfunktionen (SF)	22
5.3 Fahrzeugseitige Steckverbindungen	13	9 Risikoanalyse	24
5.3.1 Typ 1	13	9.1 Zielsetzung der Risikoanalyse für Ladesysteme	24
5.3.2 Typ 2	13	9.2 Methodisches Vorgehen	24
5.3.3 Typ 2 Combo	13	9.3 Situationsparameter	25
5.3.4 Typ 3	13	9.3.1 Betriebszustände	26
5.3.5 CHAdeMO	14	9.3.2 Verwendungszweck der Ladesysteme	27
5.3.6 DC-Coupler GB	14	9.3.3 Umgebungsbedingungen	28
5.4 Erläuterung der Anschlussarten	14		
5.4.1 Anschlussfall „A“	14		
5.4.2 Anschlussfall „B“	14		

9.3.4	Phasen eines Ladevorgangs	30	10.2	Messung des Gewichts von Ladesteckern und -leitungen	46
9.4	Resultierende Situationen	30	10.2.1	Testvorbereitung/-beschreibung	46
9.5	Gefahrengruppen	34	10.2.2	Ergebnisse	46
9.5.1	Mechanische Gefährdungen	34	10.2.3	Messgeräte	47
9.5.2	Elektrische Gefährdungen	35	10.3	Schlag- und Stoßprüfung an Ladesteckern	47
9.5.3	Thermische Gefährdungen	35	10.3.1	Testvorbereitung/-beschreibung	47
9.5.4	Gefährdungen durch Lärm	35	10.3.2	Ergebnisse	49
9.5.5	Gefährdungen durch Vibration	36	10.1.3	Messgeräte	49
9.5.6	Gefährdungen durch Strahlung	36	10.4	Überprüfung der Detektionsmöglichkeit einer Isolationsbeschädigung mittels einer Metallschirmung in der Ladeleitung	49
9.5.7	Gefährdungen durch Materialien und Substanzen	36	10.4.1	Testvorbereitung/-beschreibung	49
9.5.8	Ergonomische Gefährdungen	36	10.4.2	Ergebnisse	50
9.5.9	Gefährdungen im Zusammenhang mit Einsatzumgebung der Maschine und Kombination von Gefährdungen	36	10.4.3	Messgeräte	53
9.6	Parameter der Risikoanalyse	37	11	Anforderungs-Delta-Analyse	53
9.6.1	Parameter S (Schwere der Verletzung)	37	11.1	Übersicht derzeitiger realer Rest-SIL	53
9.6.2	Parameter F (Häufigkeit und Dauer des Aufenthalts im Gefahrenbereich)	37	11.2	Umzusetzende Maßnahmen	53
9.6.3	Parameter W (Wahrscheinlichkeit des Auftretens des gefährlichen Ereignisses)	37	11.2.1	Schutzmaßnahme 1 (SM1)	53
9.6.4	Parameter P (Möglichkeit der Vermeidung der Gefährdung)	38	11.2.2	Schutzmaßnahme 2 (SM2)	54
9.7	Quantifizierung des Risikos	39	11.2.3	Schutzmaßnahme 3 (SM3)	54
9.8	Sicherheitsziele und abgeleitete Schutzmaßnahmen	39	11.2.4	Schutzmaßnahme 4 (SM4)	54
9.8.1	Sicherheitsziele	39	11.2.5	Schutzmaßnahme 5 (SM5)	54
9.8.2	Abgeleitete Schutzmaßnahmen (SM)	41	11.2.6	Schutzmaßnahme 6 (SM6)	54
10	Beschreibung und Ergebnisse zur praktischen Testreihe	43	11.2.7	Schutzmaßnahme 7 (SM7)	55
10.1	Messung des magnetischen Feldes einer Ladeleitung	44	11.2.8	Schutzmaßnahme 8 (SM8)	55
10.1.1	Testvorbereitung/-beschreibung	44	11.2.9	Schutzmaßnahme 9 (SM9)	56
10.1.2	Testaufbau	44	11.2.10	Schutzmaßnahme 10 (SM10)	56
10.1.3	Ergebnisse	45	11.2.11	Schutzmaßnahme 11 (SM11)	56
10.1.4	Messgeräte	46	11.2.12	Schutzmaßnahme 12 (SM12)	57
			11.2.13	Schutzmaßnahme 13 (SM13)	57
			11.2.14	Schutzmaßnahmen 14 (SM14)	58
			11.2.15	Schutzmaßnahme 15 (SM15)	58
			11.2.16	Schutzmaßnahme 16 (SM16)	59
			11.2.17	Schutzmaßnahme 17 (SM17)	59
			11.2.18	Schutzmaßnahme 18 (SM18)	60

11.2.19	Schutzmaßnahme 19 (SM19)	61
11.2.20	Schutzmaßnahmen 20 (SM20)	61
11.2.21	Schutzmaßnahme 21 (SM21)	63
11.2.22	Schutzmaßnahme 22 (SM22)	64
12	Handlungsempfehlung zur Hauptuntersuchung	64
13	Zusammenfassung	66

Anhang

Die Anhänge zum Bericht sind im elektronischen
BAST-Archiv ELBA unter
<http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

Abkürzungen/Begriffe

AC	Alternating Current (Wechselstrom)
AM	andere Maßnahmen
DC	Direct Current (Gleichstrom)
DCDC	Direct current direct current converter
EV	Electric Vehicle (Elektrofahrzeug)
EVSE	Stromversorgungseinrichtung für das Elektrofahrzeug
G & R	Risikoanalyse
GND	Ground
HV	High Voltage, Hazardous Voltage
IC-CPD	In-Cable Control and Protection Device
LBA	Ladebetriebsart
LV	Low Voltage
OBC	On Board Charger
OEM	Original Equipment Manufacturer
PE	Protected Earth (Bezugspotenzial Erde)
RCD	Fehlerstrom-Schutzeinrichtung
SIL	Safety Integrity Level (Sicherheit- Integritätslevel)
SF	Sicherheits-/Schutzfunktion
SM	Schutzmaßnahme
SV	Sicherheits-/Schutzvoraussetzungen
SZ	Sicherheitsziel

1 Einführung

Die Elektromobilität ist nicht erst seit dem „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ der Bundesregierung, der u. a. als Zielsetzung hat, dass eine Million Elektrofahrzeuge bis 2020 auf deutschen Straßen fahren sollen, ein allgegenwärtiges Thema. Der dritte Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) fordert den weiteren Ausbau des systemischen Ansatzes mit einer allumfänglichen Betrachtung aller Themen der Elektromobilität. Das trifft insbesondere auf die Thematik Sicherheit zu, mit dem Ziel, die daraus resultierenden Gefährdungen zu erkennen und zu reduzieren. Zielstellung hierbei ist es, die gesellschaftliche Akzeptanz zu erhöhen.

Für die Sicherheit der Fahrzeuge hat die Automobilindustrie entsprechende Standards (ISO) geschaffen. Parallel hierzu hat der Gesetzgeber innerhalb neuer und bestehender Regelungen Anforderungen im Rahmen der Typgenehmigung von Elektrofahrzeugen formuliert. Für ortsfeste Anlagen hat die Elektroindustrie über Jahrzehnte umfangreiche Richtlinien und Normenwerke (IEC/VDE/DIN EN) entwickelt.

Gerade das Laden eines Elektrofahrzeuges schlägt eine Brücke zwischen diesen beiden parallelen Welten. Eine gesamtheitliche Betrachtung ist seit langem angestrebt und wird in Teilen bereits gelebt. Limitierend wirkt sich eine, aus der Historie heraus entstandene, diversitäre Sichtweise der beiden „Parteien“ aus. Diese ist durch unterschiedliche Standpunkte und Perspektiven geprägt.

Hierdurch entsteht die Notwendigkeit, eine neutrale vollumfängliche Risikoanalyse durchzuführen, welche sowohl die Akzeptanz in der Automobil- als auch Elektroindustrie findet.

2 Aufgabenstellung

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beauftragte im Januar 2013 die SGS-TÜV Saar GmbH, Competence Center Funktionale Sicherheit mit der Durchführung einer Risikoanalyse, mit dem Ziel, die Sicherheitsaspekte beim Laden eines Elektrofahrzeuges zu untersuchen.

Bisher nicht bzw. unzureichend betrachtete Gefährdungen während des Ladevorganges sollen aufgezeigt werden. Maßnahmen sollen definiert und

punktuell mittels Tests validiert werden, um identifizierte Risiken auf ein gesellschaftlich akzeptiertes Maß zu senken.

3 Herausforderung und Betrachtungsumfang

Anforderungen an die Sicherheit von Elektrofahrzeugen wurde in den vergangenen Jahren auf internationaler Ebene durch zahlreiche Vorschriften, die das Fahrzeug oder die Infrastruktur betreffen, beschrieben.

Das Gesamtsystem Elektrofahrzeug inklusive Ladesystem sowie die Verbindung zwischen Fahrzeug und Ladesystem sind derzeit noch nicht vollumfänglich berücksichtigt.

Um Personen- und Sachschäden beim Laden von Fahrzeugen zu vermeiden, ist es erforderlich, Anforderungen an die Sicherheit des Gesamtsystems zu definieren.

Zu diesem Zweck wird eine Risikoanalyse durchgeführt, die aufzeigt, welche Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen berücksichtigt werden müssen, um ein sicheres Laden zu gewährleisten.

Die Risikoanalyse betrachtet die Verbindung zwischen der Infrastruktur und dem Fahrzeug unter Berücksichtigung verschiedener Steckertypen, der Ladeleitungen sowie der unterschiedlichen Ladebetriebsarten. Im Rahmen der Risikoanalyse werden der Aufstellort und die Bedingungen des Aufstellortes im Hinblick auf Geografie, Umweltbedingungen sowie Unfallszenarien beim Laden berücksichtigt. Darüber hinaus werden der vorhersehbare Fehlgebrauch, die Fehlbedienung bis hin zum Vandalismus betrachtet. Des Weiteren werden Ländergrenzen überschreitende Mobilität sowie das Laden an beliebigen Hausinstallationen berücksichtigt.

Ausgenommen ist die Einbindung in ein Smart-Grid- und induktives Laden.

Die Risikoanalyse zeigt auf, welche potenziellen Gefahren beim Laden von Fahrzeugen existieren. Den identifizierten Risiken werden Schutzziele und daraus resultierende Schutzmaßnahmen zugewiesen. Zusätzlich erfolgt ein Abgleich zwischen den abgeleiteten Schutzmaßnahmen und den derzeit normativ und gesetzlich beschriebenen Maßnahmen. Der Vergleich zeigt auf, welche zusätzlichen

Ref. Nr.	Dokument	Titel	Datum
[Q1]	QMH	Qualitätsmanagementhandbuch von SGS CTS München	14.05.2013
[Q2]	DIN/EN/ISO/IEC 17025	Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien	08-2005

Tab. 1: Normen und Leitlinien Qualitätsmanagement

Maßnahmen sinnvoll sind. Das sich ergebende Delta, sprich die bisher nicht in Normen und Gesetzen fixierten Maßnahmen, spiegelt einen möglichen Normungsbedarf wider.

4 Qualitätsmanagement

Tabelle 1 enthält die angewendeten Standards für das Qualitätsmanagement bei SGS-TÜV Saar GmbH, Competence Center Funktionale Sicherheit.

5 Darstellung betrachteter Steckerarten und Ladebetriebsarten

5.1 Erläuterung gängiger Ladebetriebsarten

Die Kapitel 5.1.1 bis 5.1.4 geben einen Überblick über die derzeit gängigen vier Ladebetriebsarten.

5.1.1 Ladebetriebsart 1 (LBA1)

Die Ladebetriebsart LBA1 ermöglicht das „langsame“ Laden an einer in Haushalten üblichen Standardsteckdose mit Schutzkontakt.

Steckbrief

- Verwendung: Kontaktierung einer nicht-spezifizierten Standard-Wechselstrom-Steckdose (häusliche oder industrielle Standardsteckdose) mit der Infrastruktur,
- Ladekabel nicht fest verbunden mit dem Fahrzeug oder der Steckdose,
- kein Fehlstromschutzschalter im Kabel,
- das Ladegerät ist fest im Fahrzeug verbaut,
- elektrische Kenngrößen (D):
 - 16 A/230 Volt (3,6 kW) Einphasenstrom,
 - 16 A/400 Volt (11 kW) Dreiphasenstrom.
- in den USA verboten.

5.1.2 Ladebetriebsart 2 (LBA2)

Die Ladebetriebsart LBA2 ermöglicht das „langsame“ Laden an einer nicht-spezifizierten Standardsteckdose. Im Ladekabel ist eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung eingebaut.

Steckbrief

- Verwendung: Kontaktierung einer nicht-spezifizierten Standard-Wechselstrom-Steckdose (häusliche oder industrielle Standardsteckdose) mit der Infrastruktur.
- Ladekabel nicht fest verbunden mit dem Fahrzeug oder der Steckdose,
- Ladekabel, welches das E-Fahrzeug und die Steckdose verbindet, hat eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung, um vor einem elektrischen Schlag zu schützen,
- das Ladegerät ist im Fahrzeug fest verbaut,
- Kommunikation hinsichtlich folgender Funktionen:
 - Überprüfung, dass das Fahrzeug ordnungsgemäß angeschlossen ist,
 - ständige Überwachung der Durchgängigkeit des Schutzleiters,
 - Einschalten des Systems,
 - Ausschalten des Systems.
- Elektrische Kenngrößen (D):
 - 16 A und 32 A/230 Volt Einphasenstrom,
 - max. 32 A/400 Volt (11 kW) Dreiphasenstrom,
 - in der Regel wird bei einer Spannung von 230 V mit maximal 16 A (3,6 kW) geladen.

5.1.3 Ladebetriebsart 3 (LBA3)

Die Ladebetriebsart LBA3 ermöglicht das „schnelle“ Laden unter Verwendung einer speziellen Ladestelle (Wallbox) und spezifizierter Ladestecksysteme mit Pilot- und Kontrollkontakt.

Steckbrief

- Verwendung: Ladepunkt mit einer fest zugeordneter Wechselstromquelle,
- Ladekabel teilweise fest an der Infrastruktur angeschlossen, teilweise über Steckverbindung,
- Ladekabel nicht fest mit Fahrzeug verbunden,
- Kontroll- und Schutzfunktion permanent in der Ladestation integriert,
- Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladepunkt ermöglicht optimiertes (schnelleres) Aufladen als mit Ladebetriebsarten LBA1 und LBA2,
- das Ladegerät ist fest im Fahrzeug verbaut,
- Kommunikation hinsichtlich folgender Funktionen:
 - Überprüfung, dass das Fahrzeug ordnungsgemäß angeschlossen ist,
 - ständige Überwachung der Durchgängigkeit des Schutzleiters,
 - Einschalten des Systems,
 - Ausschalten des Systems.
- Ladekenngrößen (D):
 - Einphasenstrom 16 A/230 Volt (3,6 kW),
 - Dreiphasenstrom 16 A/400 Volt (11 kW), 32 A/400 V (22 kW) bis zu 64 A/400 V (44 kW).

5.1.4 Ladebetriebsart 4 (LBA4)

Die Ladebetriebsart LBA4 ermöglicht schnelles Laden unter Verwendung einer speziellen Ladestelle mit einem fahrzeugexternen Batterieladegerät.

Steckbrief

- Wechselstrom wird innerhalb der Ladestelle in Gleichstrom umgewandelt,

- Gleichstrom wird gängigerweise an das E-Fahrzeug durch ein permanent am Ladepunkt installiertes Kabel geleitet,
- Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und dem Ladepunkt ermöglicht schnelleres Aufladen als mit den Ladebetriebsarten LBA1 bis LBA3,
- das Ladegerät ist nicht im Fahrzeug verbaut,
- Kommunikation hinsichtlich folgender Funktionen:
 - Überprüfung, dass das Fahrzeug ordnungsgemäß angeschlossen ist,
 - ständige Überwachung der Durchgängigkeit des Schutzleiters,
 - Einschalten des Systems,
 - Ausschalten des Systems.
- Ladekenngrößen (D) im Bereich von mehreren 100 A/300-850 Vdc (bis 170 kW) möglich.

5.2 Infrastrukturseitige Steckverbindungen

5.2.1 Schukosteckverbindung (CEE 7/4)

Die Schukosteckverbindung ist die gängige Haushaltssteckverbindung in großen Teilen Europas. Diese ist für Spannungen bis 240 V und kurzzeitige Strombelastungen von 16 A oder einen Dauerstrom von 10-12 A ausgelegt. Daraus ergeben sich zulässige Kurzzeitbelastungen von 3.680 W, bzw. Dauerbelastungen von bis zu 2.760 W. Die Steckverbindung darf bestimmungsgemäß unter elektrischer Spannung oder Last gesteckt und getrennt werden. Die Steckverbindung besitzt einen voreilenden Schutzleiter (Bild 1).



Bild 1: Infrastrukturseitige Schukosteckverbindung (Quelle: www.mennekes.de)

5.2.2 CEE-blau-Steckverbindung (L + N + PE, 6 h)

Im Vergleich zum Schukostecker hat sich der CEE blau (L + N + PE, 6 h) für den Außenbereich etabliert. Dieser Stecker ist zusätzlich mit einem Verpolschutz ausgestattet und für eine Dauerlast von 16 A bei 230 Vac (3,68 kW) ausgelegt. Dieser Stecker ist vornehmlich auf Campingplätzen zu finden (Bild 2).

5.2.3 CEE-rot-Steckverbindung (3 L + N + PE, 6 h)

Dieser fünfpolige Steckertyp wird zum Betrieb von Geräten mit Drehstrombedarf (400 Vac) verwendet,

meist in den Versionen 16 A, 32 A bzw. 63 A. Dieser Stecker ist zusätzlich mit einem Verpolschutz ausgestattet (Bild 3).

5.2.4 Typ 2

Der Typ-2-Stecker ermöglicht die Energieübertragung bei Spannungen von 110 V bzw. 230 V oder von dreiphasigen 400 V. Ladeströme von bis zu 63 A können übertragen werden. Die sich ergebenden Ladeleistungen betragen 3,7 kW bis 43,5 kW (Bild 4).

5.2.5 Typ 3

Der Typ-3-Stecker wurde in Italien entwickelt. Er eignet sich bei einer Anschlussspannung von 230 V



Bild 2: Infrastrukturseitige CEE-blau-Steckverbindung (Quelle: www.mennekes.de)



Bild 3: Infrastrukturseitige CEE-rot-Steckverbindung (Quelle: www.mennekes.de)



Bild 4: Infrastrukturseitige Typ-2-Steckverbindung (Quelle: www.mennekes.de)

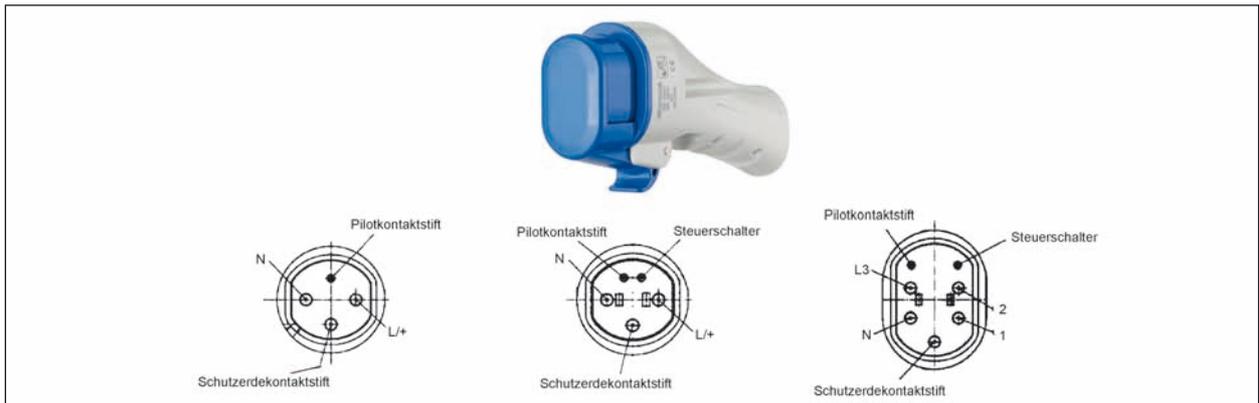


Bild 5: Infrastrukturseitige Typ-3-Steckverbindung (Quelle: Foto des Steckers: www.mennekes.de)

einphasig bzw. 400 V dreiphasig für Ladeleistungen von 3,7 kW bis 43,5 kW bei einem Ladestrom bis zu 63 A. Allerdings sind für die unterschiedlichen Leistungsstufen drei verschiedene Steckergeometrien erforderlich, die nicht miteinander kompatibel sind. Das System verfügt über einen mechanischen Zugangsschutz zu den Kontakten. Eine Weiterentwicklung zu einem Combo-System ist nicht vorgesehen (Bild 5).

5.3 Fahrzeugseitige Steckverbindungen

5.3.1 Typ 1

Der Ladestecker SAE J1772-2009 wurde in die Norm IEC 62196-2 als Typ 1 („Type 1“) aufgenommen. Der Steckertyp hat 5 Steckkontakte: zwei Kontakte für einphasigen Wechselstrom, eine Erdung und zwei Signalkontakte. Die Ladespannung beträgt 110 V bis 230 Vac bei einem Ladestrom von bis zu 32 A.

5.3.2 Typ 2

Die Steckverbindung Typ 2 kann bei einer Anschlussspannung von 110 V bzw. 230 V einphasig bzw. 400 V dreiphasig Ladeströme von bis zu 63 A übertragen. Die daraus resultierenden Ladeleistungen betragen von 3,7 kW bis 43,5 kW (Bild 6).

5.3.3 Typ 2 Combo

Die Typ-2-Combo-Steckverbindung ist eine Ausprägung des „Combined Charging System“ (CCS) und sieht eine vollständige Typ-2-Steckergeometrie in Kombination mit zwei zusätzlichen DC-Kontakten für Leistungen bis 140 kW DC bei Spannungen von > 500 V dc vor (Bild 7).



Bild 6: Fahrzeugseitige Typ-2-Steckverbindung (Quelle: www.mennekes.de)



Bild 7: Fahrzeugseitige Typ-2-Combo-Steckverbindung (Quelle: www.phoenixcontact.com; www.huethig.de)

5.3.4 Typ 3

Diese Variante wurde in Italien entwickelt. Sie eignet sich bei einer Anschlussspannung von 230 V einphasig bzw. 400 V dreiphasig für Ladeleistungen von 3,7 kW bis 43,5 kW bei einem Ladestrom bis zu 63 A. Allerdings sind für die unterschiedlichen Leistungsstufen drei verschiedene Steckergeometrien erforderlich, die nicht miteinander kom-

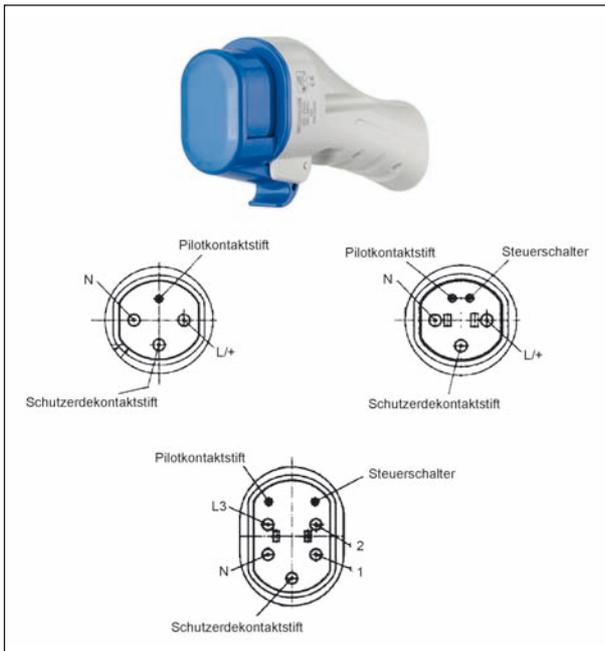


Bild 8: Fahrzeugseitige Typ-3-Steckverbindung (Quelle: Foto des Steckers: www.mennekes.de)

patibel sind. Das System verfügt über einen mechanischen Zugangsschutz zu den Kontakten. Eine Erweiterung zum Combo-System ist nicht vorgesehen (Bild 8).

5.3.5 CHAdeMO

Mit dieser in Japan entwickelten Schnittstelle basierend auf Gleichspannung kann der Akkumulator eines Elektrofahrzeuges mit einer elektrischen Leistung von bis zu 62,5 kW geladen werden. Die Spannung bewegt sich bei diesem Verfahren im Bereich von 300 bis 600 Volt und die Stromstärke bis zu einigen 100 Ampere.

5.3.6 DC-Coupler GB

Die chinesischen Versionen der Ladestecker nach GB-Standard sind für einen Maximalstrom von 250 A und eine Maximalspannung von 750 V ausgelegt.

5.4 Erläuterung der Anschlussarten

Das Laden eines Elektrofahrzeugs mithilfe elektrischer Leitungen kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Es werden drei Fälle beim Anschluss eines Elektrofahrzeugs unterschieden.

5.4.1 Anschlussfall „A“

Der Anschlussfall „A“ beschreibt den Anschluss eines Elektrofahrzeugs an das Wechselstromnetz unter Verwendung einer Stromversorgungsleitung, die dauerhaft am Elektrofahrzeug angebracht ist. Die Infrastruktur wird mittels eines Steckers kontaktiert.

Der Anschlussfall „A“ unterscheidet zudem die im Folgenden beschriebenen Fälle:

- „A1“: Ladeleitung wird direkt mit Haushalts- oder Industriesteckdose verbunden,
- „A2“: Ladeleitung wird mit spezieller Ladestation verbunden.

5.4.2 Anschlussfall „B“

Der Anschlussfall „B“ beschreibt den Anschluss eines Elektrofahrzeugs an das Wechselstromnetz unter Verwendung einer Stromversorgungsleitung, die sowohl am Elektrofahrzeug als auch an der Infrastruktur mittels eines Steckers kontaktiert wird.

Innerhalb des Anschlussfalles „B“ wird zwischen den folgenden beiden Fällen unterschieden:

- „B1“: Ladeleitung wird direkt mit Haushalts- oder Industriesteckdose verbunden,
- „B2“: Ladeleitung wird mit spezieller Ladestation verbunden.

5.4.3 Anschlussfall „C“

Der Anschlussfall „C“ beschreibt den Anschluss eines Elektrofahrzeugs an das Versorgungsnetz unter Verwendung einer Stromversorgungsleitung, die dauerhaft an der Infrastruktur angebracht ist. Das Elektrofahrzeug wird mittels eines Steckers kontaktiert.

5.5 Kombinationen der Steckerarten und Ladebetriebsarten

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die gängigen Stecksysteme jeweils unterteilt für die Infrastruktur bzw. das Fahrzeug. Die Darstellung erfolgt jeweils in Abhängigkeit der Ladebetriebsart. Grundsätzlich sind alle Kombinationen zwischen den genannten Stecksystemen der Infrastruktur und den genannten Stecksystemen der Fahrzeuge inner-

LBA	Stecksystem – Infrastruktur	Stecksystem – Fahrzeug	Bewertet
1	Schuko	Typ 1	nein
		Typ 2	ja
		Typ 3	nein
	CEE blau	Typ 1	nein
		Typ 2	ja
		Typ 3	nein
	CEE rot	Typ 1	nein
		Typ 2	ja
		Typ 3	nein

Tab. 2: Mögliche Kombinationen der Steckerarten für LBA1

LBA	Stecksystem – Infrastruktur	Stecksystem – Fahrzeug	Bewertet
3	Schuko	Typ 1	nein
		Typ 2	ja
		Typ 3	nein
	CEE blau	Typ 1	nein
		Typ 2	ja
		Typ 3	nein
	CEE rot	Typ 1	nein
		Typ 2	ja
		Typ 3	nein

Tab. 4: Mögliche Kombinationen der Steckerarten für LBA3

LBA	Stecksystem – Infrastruktur	Stecksystem – Fahrzeug	Bewertet
2	Schuko	Typ 1	nein
		Typ 2	ja
		Typ 3	nein
	CEE blau	Typ 1	nein
		Typ 2	ja
		Typ 3	nein
	CEE rot	Typ 1	nein
		Typ 2	ja
		Typ 3	nein

Tab. 3: Mögliche Kombinationen der Steckerarten für LBA2

LBA	Stecksystem – Infrastruktur	Stecksystem – Fahrzeug	Bewertet
4	fest angeschlossen	Typ 2 Combo	ja
		CHAdemo	nein
		DC-Coupler GB	nein

Tab. 5: Mögliche Kombinationen der Steckerarten für LBA4

halb einer Ladebetriebsart möglich. So kann beispielsweise bei einer LBA1-Ladung auf der Infrastrukturseite ein Schuko-, ein CEE-blau- oder ein CEE-rot-Stecker montiert werden, während auf der Fahrzeugseite ein Typ-1-, ein Typ-2- oder ein Typ-3-Stecker verbaut ist. So ergeben sich für die Ladebetriebsarten LBA1, LBA2 und LBA3 jeweils neun verschiedene Kombinationsmöglichkeiten. In Ladebetriebsart LBA4 ergeben sich drei Kombinationsmöglichkeiten, da die Ladeleitung auf der Infrastrukturseite immer fest angeschlossen ist. Die Spalte „Bewertet“ in den Tabellen 2 bis 5 gibt an, welche Kombinationsmöglichkeiten innerhalb der durchgeführten Gefahrenanalyse und Risikobewertung berücksichtigt werden. Diese sind in der Spalte „Bewertet“ mit „ja“ gekennzeichnet. Innerhalb dieser Risikoanalyse wird der Fokus auf die Typ-2-Steckverbindung und Typ-2-Combo-Steckverbindung gelegt, wohlwissend, dass gerade in Japan und Frankreich zum Beispiel die Typ-1-Steckverbindung und CHAdemo-Steckverbin-

dung sehr verbreitet sind. In Deutschland und einem Großteil Europas werden sich, zumindest mittelfristig, die Typ-2-Varianten durchsetzen. Die Auswahl der Typ-2-Steckverbindungen wird somit stellvertretend für die anderen Verbindungen intensiv betrachtet.

Hinweis

Die Möglichkeit eines fest am Fahrzeug installierten Ladekabels wird im Rahmen dieser Untersuchung nicht bewertet, da diese Konstellation in der Praxis nicht relevant ist.

6 Systembeschreibung

Der Zweck dieser Systembeschreibung ist die vollständige Beschreibung und Definition des Betrachtungsumfangs und dessen Schnittstellen. Die Systembeschreibung dient als Basis zur Durchführung einer Gefahrenanalyse und Risikobewertung (G & R).

6.1 EG-Fahrzeugklassen

Grundsätzlich können die in Kapitel 5.5 aufgezeigten Ladesysteme für die nachfolgend genannten Fahr-

zeugklassen, die einen eigenen Antrieb besitzen, eingesetzt werden. Die Betrachtung umfasst demnach den Einsatz in folgenden Fahrzeugklassen:

- L: zweirädrige oder dreirädrige Kraftfahrzeuge sowie leichte vierrädrige Kraftfahrzeuge,
 M: vorwiegend für die Beförderung von Fahrgästen und deren Gepäck ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge,
 N: vorwiegend für die Beförderung von Gütern ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge,
 T: land- oder forstwirtschaftliche Zugmaschinen auf Rädern.

Ausgenommen hiervon sind die nachfolgend aufgelisteten Fahrzeuge. Diese verfügen entweder normalerweise über keinen eigenen Antrieb bzw. stellen einen nicht repräsentativen Anwendungsfall dar.

- O: Anhänger, die sowohl für die Beförderung von Gütern und Fahrgästen als auch für die Unterbringung von Personen ausgelegt und gebaut sind.

6.2 Beschreibung des Betrachtungsumfangs

6.2.1 Ausgangssituation

Um die Ladung eines Elektro- oder Hybridfahrzeuges durchführen zu können, sind grundsätzlich

folgende Systemkomponenten notwendig und werden innerhalb dieser Risikobetrachtung betrachtet:

- netzseitige Speisung (Infrastruktur),
- Laderegulierung auf Seiten der Infrastruktur (falls vorhanden, wie z. B. Wallbox),
- Stecker an der Infrastrukturseite,
- Ladekabel,
- Stecker an der Fahrzeugseite,
- Fahrzeug inkl. Energiespeicher.

In den Tabellen 6 bis 9 sind die aus dem Betrachtungsumfang abgeleiteten Systemkomponenten aufgelistet. Diese Auflistung erfolgt in Abhängigkeit der Ladebetriebsarten und dient gleichzeitig als Eingangsgröße für die Risikoanalyse.

6.2.2 Abgrenzung des Betrachtungsumfangs gegenüber der Ladeinfrastruktur

Die Ladeinfrastruktur selbst ist nicht im Fokus dieser Risikobetrachtung. Die Abgrenzung innerhalb der Ladeinfrastruktur findet in der Ladeperipherie direkt hinter dem Stecksystem der Infrastruktur statt. Hierbei werden die physikalischen Gegebenheiten und Ausprägungen der jeweiligen Ladebetriebsarten berücksichtigt. Beispielsweise

LBA	Ref. Nr.	Systemkomponenten	Bemerkung
1	a)	private Hausinstallation	Annahme: normgerechter Zustand
	b)	nicht vorhanden	keine zusätzliche Laderegulierung vorhanden
	c)	Steckverbindung aus Haushalt und Industrie	Schukosteckdose, CEE blau, CEE rot
	d)	Ladeleitung ohne IC-CPD	---
	e)	spezifischer Stecker	---
	f)	Fahrzeug mit HV-Speicher	---

Tab. 6: Betrachtungsumfang des Systems LBA1

LBA	Ref. Nr.	Systemkomponenten	Bemerkung
2	a)	private Hausinstallation	Annahme: normgerechter Zustand
	b)	nicht vorhanden	keine zusätzliche Laderegulierung vorhanden
	c)	Steckverbindung aus Haushalt und Industrie	Schukosteckdose, CEE blau, CEE rot
	d)	Ladeleitung mit IC-CPD	---
	e)	spezifischer Stecker	---
	f)	Fahrzeug mit HV-Speicher	---

Tab. 7: Betrachtungsumfang des Systems LBA2

LBA	Ref. Nr.	Systemkomponenten	Bemerkung
3	a)	in der Regel die private Hausinstallation, jedoch auch im halböffentlichen Bereich denkbare anderweitige Versorgung	---
	b)	Wallbox	---
	c)	Festinstallation der Ladeleitung oder spezifischer Stecker	Typ 1 bis Typ 3
	d)	Ladeleitung	---
	e)	spezifischer Stecker	Typ 1 bis Typ 3
	f)	Fahrzeug mit HV-Speicher	---

Tab. 8: Betrachtungsumfang des Systems LBA3

LBA	Ref. Nr.	Systemkomponenten	Bemerkung
3	a)	Versorgung aus dem halböffentlichen und öffentlichen Bereich	---
	b)	Ladesäule	---
	c)	nicht vorhanden	ausschließlich Festinstallation
	d)	Ladeleitung	---
	e)	spezifischer Stecker	Typ 2 Combo, CHAdeMo oder DC-Coupler GB
	f)	Fahrzeug mit HV-Speicher	---

Tab. 9: Betrachtungsumfang des Systems LBA4

iiist die Differenzierung, ob an einer Ladesäule oder an der heimischen Schukosteckdose geladen wird, bei der Risikobetrachtung entscheidend. Weiterhin ist es zwingend notwendig, die im Hinblick auf den Ladevorgang implementierten Sicherheitsfunktionen der Ladeinfrastruktur zu berücksichtigen. So unterscheiden sich die Ladebetriebsarten in ihrer technischen Auslegung im Hinblick auf die Überwachungs- und Reaktionsmöglichkeiten.

6.2.3 Abgrenzung des Betrachtungsumfangs gegenüber dem Fahrzeug

Das Fahrzeug im Rahmen dieser Risikobetrachtung ist nicht einbezogen. Die Abgrenzung ist auch hier, wie bei der Abgrenzung innerhalb der Ladeinfrastruktur, im Fahrzeug direkt hinter der Ladeperipherie und vor dem On Board Charger bzw. der HV-Batterie. Die physikalischen Gegebenheiten und Ausprägungen der jeweiligen Ladebetriebsarten, inkl. der jeweils implementierten Sicherheitsfunktionen, werden analog der Ausführungen in Kapitel 6.2.2 im Rahmen der Risikoanalyse berücksichtigt.

6.3 Bestimmungsgemäßer Gebrauch

Der bestimmungsgemäße bzw. vorhersehbare Gebrauch definiert den vom Hersteller vorgesehenen Einsatz eines Gerätes bzw. Ablauf eines Vorganges bei der Nutzung.

Dieser definiert sich für das Laden eines elektrifizierten Fahrzeuges über ein ordnungsgemäß geparktes und stehendes Fahrzeug, dessen Energiespeicher bei ausgeschalteter Zündung über das Ladekabel an die Ladeperipherie angesteckt ist und geladen wird.

Abweichende Parameter definieren einen vorhersehbaren oder groben Fehlgebrauch. Ob ein Fehlgebrauch vorhersehbar ist oder ein fahrlässiger Fehlgebrauch vorliegt, muss vorab festgelegt werden. Hiervon hängt die Notwendigkeit ab, ob der Hersteller Maßnahmen zur Minderung von Gefahren ergreifen muss oder nicht. Kann ein fahrlässiger Fehlgebrauch angenommen werden, sind Maßnahmen zur Minderung dadurch entstehender Gefahren nicht ableitbar.

Wird beispielsweise in der Bedienungsanleitung eines Fahrzeuges vermerkt, dass dieses für den Vorgang des Ladens ordnungsgemäß abgestellt und gegen Wegrollen gesichert sein muss, so ist

das fehlerhafte oder vergessene Betätigen der Handbremse ein fahrlässiges Fehlverhalten, für das der Hersteller keine weiteren Maßnahmen vorsehen muss. Auch die Fahrzeugbewegung aufgrund z. B. eines Unfalls kann nicht durch eine Maßnahme eines Komponentenherstellers abgedeckt werden. Bleibt hingegen die Zündung während des Ladevorganges eingeschaltet, so ist das ein Ereignis, das als vorhersehbarer Fehlgebrauch eingestuft werden kann. Falls notwendig, müssen seitens des Herstellers Maßnahmen vorgesehen werden, die eine potenzielle Gefährdung mindern bzw. ausschließen.

Der bestimmungsgemäße Gebrauch beim Laden definiert sich im Kern dadurch, dass die Ladeleitung kontaktiert ist und ein Stromfluss in den Speicher stattfindet. Eine z. B. zwischenzeitliche Unterbrechung des Ladevorganges, aufgrund eines notwendigen Einsatzes des Fahrzeuges, muss als bestimmungsgemäßer Fehlgebrauch Berücksichtigung finden. Aus dieser Unterbrechung dürfen keinerlei Gefahren, z. B. durch die Bildung eines Lichtbogens aufgrund des Trennvorganges oder aufgrund anliegender Spannungen, hervorgehen.

7 Festlegung der Betrachtungsgrenzen

7.1 Grenzen der Verwendung

Die Verwendungsgrenzen stellen den Bereich dar, die der bestimmungsgemäßen Verwendung inklusive dem realistisch anzunehmenden vorhersehbaren Fehlgebrauch entsprechen. Die DIN EN ISO 12100:2011 („Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung“), die als Basis zur Durchführung der Risikoanalyse herangezogen wird, fordert eine vollständige Darstellung der Verwendungsgrenzen. Das beinhaltet Angaben zu den Betriebsarten inkl. Eingriffsmöglichkeiten, dem Einsatzbereich, den Erfahrungen und Fähigkeiten der Benutzer sowie die allgemeine Zugänglichkeit darzustellen.

Die Ableitung von Betriebsarten des elektrischen Antriebs, wie beispielsweise Kurzzeitbetrieb, periodischer Betrieb oder Dauerbetrieb, ist nicht erforderlich, da die Systemgrenzen dieser Risikoanalyse entsprechend Kapitel 6.2.3 eine Betrachtung des Fahrzeuges an sich ausschließen.

Der vorgesehene Betrieb und somit die bestimmungsgemäße Verwendung sind der Energiefluss von der Infrastruktur in den Energiespeicher des geparkten und stehenden Fahrzeugs. Um das Fahrzeug zu laden, ist es notwendig, das Fahrzeug und die Infrastruktur mittels der Ladeleitung miteinander zu verbinden. Nachdem der Ladevorgang abgeschlossen ist, werden in Abhängigkeit von Ausführung und Ladebetriebsart, das Fahrzeug und die Infrastruktur wieder von der Ladeleitung getrennt. Aufgrund des Einsatzes von aufwändiger Elektronik zur notwendigen Überwachung des Ladevorgangs im Fahrzeug und je nach Ladebetriebsart auch in der Infrastruktur können Fehlfunktionen nicht ausgeschlossen werden. Denkbare Fälle sind eine zu geringe oder zu hohe Ladespannung bzw. Ladeleistung oder ein zu geringer oder zu hoher Ladestrom. Dies kann zu einer Schädigung u. a. der Batterie mit weitreichenden Auswirkungen führen. Je nach Diagnosefunktion und dem vorgesehenen Transport der Information zum Nutzer ist es diesem oft nur eingeschränkt möglich einzugreifen. Die Haupteingriffsmöglichkeit ist die Unterbrechung des Ladevorganges mittels Ziehen des Steckers. Das ist nur dann möglich, wenn die Steckverbindung während des Ladens nicht verriegelt wird (Ladebetriebsarten LBA1, LBA2 und teilweise LBA3). Voraussetzung ist auch, dass sich der Nutzer und Informationsempfänger in der Nähe des Fahrzeugs befindet. Aufgrund der langen Ladezeiten kann dies nicht als grundsätzlich gegeben angesehen werden. Auch ist nicht davon auszugehen, dass vermeintlich unbeteiligte Personen/Passanten eingreifen.

Gerade durch die vorgesehene flächendeckende Verbreitung von Ladestationen muss davon ausgegangen werden, dass auch unsachgemäß mit dem Ladestecker und der Ladeleitung umgegangen wird. Der Grund hierfür liegt im Umgang mit einer neuen Technologie durch technische Laien. So muss von einer groben Behandlung der Ladeleitung wie dem Ziehen, Überfahren oder Quetschen der Ladeleitung im Sinne des vorhersehbaren Fehlgebrauchs ausgegangen werden. Außerdem muss betrachtet werden, dass Komponenten aufgrund des Einsatzbereiches im privaten wie auch im öffentlichen Bereich unsachgemäß behandelt werden bzw. Vandalismus ausgesetzt sind.

Im gleichen Maße wie eine Beeinflussung des Umfeldes auf die Ladepерipherie stattfinden kann, so kann auch der Vorgang des Ladens inklusive mög-

licher Fehlfunktionen das Umfeld beeinflussen. Hierbei gilt ebenfalls, dass technische Laien im direkten Umfeld anzutreffen sind.

7.2 Räumliche Grenzen

Im klassischen Sinne werden hierzu der Bewegungsraum einer Maschine, der Platzbedarf von Personen zum Umgang mit der Maschine und die Schnittstellenbeschreibung Mensch/Maschine und Maschine/Energieversorgung verstanden. Bei der Anwendung der DIN EN ISO 12100:2011 auf das Laden eines Elektrofahrzeuges lässt sich der gesamte Bereich zwischen Fahrzeug und Infrastruktur als Bewegungsraum definieren. In diesem Bereich wird das Umfeld durch den Vorgang des Ladens beeinflusst bzw. verändert und muss deshalb mit in die Betrachtung einfließen. Insbesondere in den Bereichen um die Stecker sind größere räumliche Grenzen zu definieren. Hier wird das Umfeld im Bereich von circa einem Meter während des Ansteck- und Trennvorgangs und der teilweise notwendigen Bedienung der Infrastruktur durch den Nutzer frequentiert. Während der restlichen Ladezeit kann von geringeren räumlichen Grenzen entlang der physikalischen Abmessungen der Komponenten ausgegangen werden, da der Ladevorgang selbst keiner Bedienung bedarf.

7.3 Zeitliche Grenzen

Die zeitlichen Grenzen, gemäß DIN EN ISO 12100:2011, orientieren sich an den „Grenzen der Lebensdauer“ der Maschine, unter Berücksichtigung deren bestimmungsgemäßer Verwendung und der vorhersehbaren Fehlanwendungen sowie der festgelegten Wartungsintervalle. Derzeit sind keine konkreten Lebensdauerbeschränkungen in Bezug auf die Komponenten der Infrastruktur und der Ladeleitungen bekannt. Lediglich die Lebensdauer der fahrzeugseitigen Ladeperipherie richtet sich nach der Lebensdauer des Fahrzeuges, die in der Regel mit maximal 15 Jahren angenommen wird.

Bezüglich der festgelegten Wartungsintervalle muss zwischen dem Einsatz im privaten und gewerblichen Bereich unterschieden werden. Im privaten Bereich werden für elektrische Anlagen und Komponenten teilweise Wartungen und Überprüfungen der elektrischen Sicherheit empfohlen. Auf-

grund fehlender gesetzlicher Vorschriften wird diesen Empfehlungen oftmals nicht nachgekommen. Die verwendeten Komponenten zur Ladung von Fahrzeugen mit den Ladebetriebsarten LBA1 und LBA2 und zusätzlich die Infrastruktur im privaten Bereich sind hiervon betroffen. Im industriellen Bereich sieht es hingegen anders aus, hier gelten klare gesetzliche Richtlinien, wann und wie geprüft und gewartet werden muss. Zumindest im öffentlichen und halböffentlichen Bereich aufgestellte Ladeinfrastrukturen unterliegen somit einer regelmäßigen Überprüfung. Hierzu zählen öffentlich aufgestellte Wallboxen der Ladebetriebsart LBA3 und die Ladesäulen inkl. fest angeschlossenem Ladekabel der Ladebetriebsart LBA4. Die Ladeleitung für die Ladebetriebsart LBA3 unterliegt nicht zwingend der regelmäßigen Wartung und Überprüfung, da diese sich in der Regel im Privatbesitz des Fahrzeughalters befindet und somit wiederum dem privaten Bereich zugeordnet werden muss. Auch eine in einer privaten Garage installierte Wallbox ist dem privaten Bereich zuzuordnen und somit nicht über Auflage gesetzlicher Regelungen geprüft.

Aufgrund der häufig vernachlässigten Wartungen und Prüfungen im privaten Bereich unterliegen diese Komponenten auch keiner zeitlichen Lebensdauerbegrenzung aufgrund technischer Mängel, was zu einem erhöhten Risiko eines elektrischen Unfalles führen kann.

8 Normen, Standards und Regelungen

8.1 Relevante normative und regulatorische Referenzen

Das Vorgehen bei der Risikobeurteilung macht es erforderlich, den aktuellen, relevanten Stand der Normenlandschaft aufzuzeigen. Ziel ist es, anhand der aufgezeigten Normen und der in der Risikoanalyse identifizierten Risiken zu zeigen, welche Risiken bereits durch entsprechende Anforderungen adressiert sind bzw. an welchen Stellen noch Lücken bestehen.

Bevorzugt Berücksichtigung fanden Normen und Standards, die relevante Sicherheitsfunktionen bzgl. Ladens von Elektrofahrzeugen enthalten. Normen und Standards, die ausschließlich Typ-

prüfungscharakter für bestimmte Bauteile enthalten, wurden nur teilweise berücksichtigt.

Der Fokus lag überwiegend auf international anerkannten Standards, wie beispielsweise ISO-, IEC-Normen und ECE-Regelungen, die für die Typgenehmigung erforderlich sind. Nationale Werke

finden trotz des teilweise begrenzten Gültigkeitsbereiches Anwendung, wenn kein adäquater internationaler Standard verfügbar ist. Diese Normen beschreiben technische Anforderungen, die in den aktuell gültigen internationalen Normen bisher nicht zu finden sind (s. Tabelle 10).

Ref. Nr.	Standard	Titel	Datum
[1]	DIN VDE 0100-410 (IEC 60364-4-41)	Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag	2007
[2]	DIN VDE 0100-722 (IEC – TC 64/PT 60364-7-722)	Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 7-722: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Stromversorgung von Elektrofahrzeugen	2012
[3]	ISO 6469-3	Electrically propelled road vehicles – Safety specifications – Part 3: Protection of persons against electric shock	12-2011
[4]	IEC 61851-1	Electric vehicle conductive charging system – Part 1: General requirements	2010
[5]	IEC/EN CD 61851-21, Ed 2.0	Electric vehicle conductive charging system – Part 21: Electric vehicle requirements for conductive connection to an AC/DC supply	12-2010
[6]	IEC/EN CD 61851-22, Ed 2.0	Electric vehicle conductive charging system – Part 22: AC electric vehicle charging station	07-2011
[7]	IEC/EN CD 61851-23, Ed 1.0	Electric vehicle conductive charging system – Part 23: DC electric vehicle charging	11-2012
[8]	IEC/EN 61851-24	Electric vehicle conductive charging system – Part 24: Digital communication between a DC charging station and an electric vehicle for control of DC charging	10-2012
[9]	IEC 61851-2-4	Electric vehicles conductive charging system – Part 2-4: Control communication protocol between off-board d.c. charger and electric vehicle	05-2010
[10]	IEC CD 62752, Ed. 1	In-Cable Control and Protective Device for mode 2 charging of electric road vehicles (IC-CPD)	10-2012
[11]	ECE-R100; r2	Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train	08-2013
[12]	DIN VDE 0620-2-1	Stecker und Steckdosen für den Hausgebrauch und ähnliche Anwendungen – Teil 2-1: Allgemeine Anforderungen an Stecker und Kupplungsdosen	2013
[13]	DIN EN 60309-1	Stecker, Steckdosen und Kupplungen für industrielle Anwendungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen	2013
[14]	DIN EN 62196-1	Stecker, Steckdosen, Fahrzeugkupplungen und Fahrzeugstecker – Konduktives Laden von Elektrofahrzeugen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen	2012
[15]	DIN EN 62196-2	Stecker, Steckdosen, Fahrzeugkupplungen und Fahrzeugstecker – Konduktives Laden von Elektrofahrzeugen – Teil 2: Anforderungen und Hauptmaße für die Kompatibilität und Austauschbarkeit von Stift- und Buchsensteckvorrichtungen für Wechselstrom	2012
[16]	VDE-AR-E 2283-5	Anforderungen an Ladeleitungen für Elektrofahrzeuge und Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge	2012
[17]	ISO 14572	Road vehicles — Round, screened and unshielded 60 V and 600 V multi-core sheathed cables — Test methods and requirements for basic and high-performance cables	2006

Tab. 10: Relevante normative und regulatorische Referenzen

Ref. Nr.	Standard	Titel	Datum
[18]	DIN EN ISO 13732-1	Ergonomie der thermischen Umgebung – Bewertungsverfahren für menschliche Reaktionen bei Kontakt mit Oberflächen – Teil 1: Heiße Oberflächen	2008
[19]	ECE-R10; r4am2	Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility	08-2013

Tab. 10: Fortsetzung

8.2 Verwendungsbezogene Sicherheitsanforderungen (SA)

In den Tabellen 11 bis 16 werden die aus den Normen, Standards und Regelungen abgeleiteten Voraussetzungen in Bezug auf Schutz und Sicherheit für das Laden von Elektrofahrzeugen aufgezeigt sowie den relevanten Peripheriekomponenten und den Ladebetriebsarten zugeordnet. Berücksichtigung finden Anforderungen, welche direkt durch den Nutzer umgesetzt werden müssen. Somit finden Anforderungen beispielsweise für die Auslegung, Typprüfung usw. an dieser Stelle keine Berücksichtigung.

SA1: Große Abstände zwischen Fahrzeug und Infrastruktur sind zu vermeiden (s. Tabelle 11).

SA2: Die Verwendung von tragbaren Ladedosen ist untersagt (s. Tabelle 12).

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R2]	722.552.101.2	1, 2, 3, 4	Infrastruktur	---

Tab. 11: Relevante normative Referenz für SA1

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R2]	722.552.101.2	1, 2, 3, 4	Infrastruktur	---

Tab. 12: Relevante normative Referenz für SA2

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R2]	722.552.101.4	1, 2, 3, 4	Infrastruktur	---

Tab. 13: Relevante normative Referenz für SA3

SA3: Die Verwendung von Verteilerdosen ist untersagt (s. Tabelle 13).

SA4: Die Verwendung von Verlängerungsleitungen ist untersagt (s. Tabelle 14).

SA5: Die Verwendung von fahrzeugseitigen Adaptern ist untersagt (s. Tabelle 15).

SA6: Die Verwendung von infrastrukturseitigen Adaptern ist nur eingeschränkt erlaubt (s. Tabelle 16).

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R4]	6.3.2	1, 2, 3, 4	Infrastruktur, Ladekabel, Fahrzeug	---

Tab. 14: Relevante normative Referenz für SA4

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
R4]	6.3.3	1, 2, 3, 4	Ladekabel, Fahrzeug	---
[R7]	6.3.3	4		---

Tab. 15: Relevante normative Referenz für SA5

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R4]	6.3.3	1, 2, 3	Infrastruktur, Ladekabel, Fahrzeug	---

Tab. 16: Relevante normative Referenz für SA6

8.3 Relevante Sicherheits- und Schutzfunktionen (SF)

In den Tabellen 17 bis 32 werden die wichtigsten für das Laden von Elektrofahrzeugen relevanten Sicherheits- und Schutzfunktionen als Extrakt dargestellt und den relevanten Peripheriekomponenten bzw. den Ladebetriebsarten zugeordnet. Basis sind die referenzierten normativen Anforderungen bzgl. Auslegung, Typprüfung usw.

SF1: Eine ausreichende Überstrom- und Kurzschlusschutzeinrichtung, in der Regel ein Leitungsschutzschalter oder eine Schmelzsicherung, ist zu verwenden (s. Tabelle 17).

SF2: Eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) mit einem Nennfehlerstrom ≤ 30 mA ist zu verwenden (s. Tabelle 18).

SF3: Isolationsüberwachung ist zu verwenden (s. Tabelle 19).

SF4: Gleichfehlerstromerkennung für DC-Fehlerströme ≥ 6 mA notwendig! Entweder über den Einsatz eines RCD vom Typ B oder eine separate DC-Fehlerstromerkennung (s. Tabelle 20).

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
0	411.3.2.1	1, 2, 3, 4	Infrastruktur	---

Tab. 17: Relevante normative Referenz für SF1

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R1]	411.3.3	1, 2, 3, 4	Infrastruktur	Ladekabel
[R1]	411.3.3	1, 2	Infrastruktur	Ladekabel
[R2]	722.531.100.2	1, 2, 3, 4	Infrastruktur	---
[R4]	6.2	1, 2, 3, 4	Infrastruktur	Ladekabel
[R6]	7.4	1, 2, 3	Infrastruktur	---
[R7]	6.2	4	Infrastruktur	---

Tab. 18: Relevante normative Referenz für SF2

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R1]	411.6.3.1	4	Infrastruktur	---

Tab. 19: Relevante normative Referenz für SF3

SF5: Ladestecker dürfen nicht unter Last gesteckt oder gezogen werden können (s. Tabelle 21).

SF6: Grenzwerte bzgl. Restenergie/-spannung beim Abschalten sind einzuhalten (s. Tabelle 22).

SF7: Der Schutzleiter ist ständig zu überwachen, bei Verlust der Funktion muss eine Systemabschaltung erfolgen (s. Tabelle 23).

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R2]	722.531.100.2	1, 2, 3, 4	Infrastruktur	Ladekabel, Fahrzeug
[R10]	8.8.3	2	Ladekabel	Infrastruktur, Fahrzeug

Tab. 20: Relevante normative Referenz für SF4

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R2]	722.552.101.5	3, 4	Infrastruktur	---
[R7]	6.4.3.104	4	Fahrzeug	---
[R7]	6.4.3.108	4	Infrastruktur, Fahrzeug	---

Tab. 21: Relevante normative Referenz für SF5

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R3]	7.10.1	1, 2, 3, 4	Fahrzeug	---
[R4]	7.2.3.1, 7.2.3.2	1, 2, 3, 4	Infrastruktur, Ladekabel, Fahrzeug	---
[R7]	7.2.3.1	4	Infrastruktur, Fahrzeug	---

Tab. 22: Relevante normative Referenz für SF6

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R4]	6.4.1	2, 3, 4	Infrastruktur, Ladekabel, Fahrzeug	---
[R5]	7.3	2, 3, 4	Infrastruktur, Ladekabel	---
[R6]	6.4.101	2, 3	Infrastruktur, Ladekabel	---
[R7]	6.4.3.2	4	Infrastruktur	---

Tab. 23: Relevante normative Referenz für SF7

SF8: Die Wegfahrsperrung des Fahrzeugs ist zu aktivieren, wenn es mit der Infrastruktur verbunden ist (s. Tabelle 24).

SF9: Abschalten der Infrastruktur, wenn über den „Control Circuit“ ein Fehler detektiert wird (s. Tabelle 25).

SF10: Vor dem Ladevorgang muss eine Isolationsmessung durchgeführt werden (s. Tabelle 26).

SF11: Abschalten der Infrastruktur, wenn im „Power circuit“ ein Fehler detektiert wird (s. Tabelle 27).

SF12: Vor einer Lastaufschaltung muss das System auf einen Kurzschluss hin überprüft werden (s. Tabelle 28).

SF13: Bei der Erkennung eines Isolationsfehlers muss das System abgeschaltet werden (s. Tabelle 29).

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R5]	10	1, 2, 3, 4	Fahrzeug	---
[R11]	5.3	1, 2, 3, 4	Fahrzeug	---

Tab. 24: Relevante normative Referenz für SF8

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R7]	6.4.3.4	4	Infrastruktur	---

Tab. 25: Relevante normative Referenz für SF9

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R7]	6.4.3.106	4	Infrastruktur	---

Tab. 26: Relevante normative Referenz für SF10

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R7]	6.4.3.109	4	Infrastruktur	---

Tab. 27: Relevante normative Referenz für SF11

SF14: Abschalten der Infrastruktur, bei der Detektion eines „unnormalen“ Verhaltens der Infrastruktur oder des Fahrzeugs (s. Tabelle 30).

SF15: Durchgängigkeit des Schutzleiters (s. Tabelle 31).

SF16: Der Schutz gegen das direkte Berühren aktiver Teile ist zu gewährleisten (s. Tabelle 32).

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R7]	6.4.3.110	4	Infrastruktur	---

Tab. 28: Relevante normative Referenz für SF12

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R7]	6.4.3.113	4	Infrastruktur	---

Tab. 29: Relevante normative Referenz für SF13

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R7]	6.4.3.114	4	Infrastruktur	---

Tab. 30: Relevante normative Referenz für SF14

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[[R1]	411.3.1.1	1, 2, 3, 4	Infrastruktur	Ladekabel, Fahrzeug
[R11]	5.1.2.1	1, 2, 3, 4	Fahrzeug	---

Tab. 31: Relevante normative Referenz für SF15

Norm	Abs.	LBA	Anwendung gemäß Norm	Weitere mögliche Anwendungen
[R3]	7.6.2.1	1, 2, 3, 4	Fahrzeug	---
[R11]	5.1.1.2	1, 2, 3, 4	Fahrzeug	---
[R11]	5.1.1.1	1, 2, 3, 4	Fahrzeug	---

Tab. 32: Relevante normative Referenz für SF16

9 Risikoanalyse

9.1 Zielsetzung der Risikoanalyse für Ladesysteme

Anforderungen an die Sicherheit von Elektrofahrzeugen wurde in den vergangenen Jahren auf internationaler Ebene durch zahlreiche Normen und Vorschriften, die das Fahrzeug und die Infrastruktur betreffen, beschrieben.

Um Personen- und Sachschäden beim Laden von Fahrzeugen zu vermeiden, ist es erforderlich, Anforderungen an die Sicherheit des Gesamtsystems zu definieren. Das Gesamtsystem Elektrofahrzeug inklusive Ladesystem sowie die Verbindung zwischen Fahrzeug und Ladesystem sind derzeit normativ noch nicht berücksichtigt.

Zu diesem Zweck wird eine Risikoanalyse durchgeführt, die aufzeigt, welche Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen berücksichtigt werden müssen, um ein sicheres Laden zu gewährleisten.

Um mit der Durchführung einer Risikoanalyse beginnen zu können, ist es notwendig, vorab die Festlegung des Systemumfanges sowie die Definition der Schnittstellen zu vernetzten Systemen bzw. Systemkomponenten vorzunehmen. Diese Festlegungen und Definitionen sind im Kapitel 6 aufgelistet.

9.2 Methodisches Vorgehen

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführte Untersuchung spezifischer Gefahren und Risiken, die aus dem Ladevorgang von Hybrid- und Elektrofahrzeugen resultieren, wird durch einen etablierten methodischen Ansatz, der aus der Beurteilung von Maschinen bekannt ist, unterstützt. Normative Grundlage hierfür ist die Gefahren- und Risikobeurteilung nach DIN EN ISO 12100:2011 („Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsgrundsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung“). Da die DIN EN ISO 12100:2011 keinen eigenen Risikographen zur Quantifizierung des Risikos und somit zur Ableitung des Safety Integrity Level (SIL) beinhaltet, erfolgt dies in Anlehnung an die IEC 62061:2012. Vorteil der genannten normativen Basis ist, dass diese bereits einen Katalog verschiedenster Situationen und Gefährdungen beinhaltet und damit eine umfangreiche und breite Erfassung gewährleistet. Die Auswahl des Risikographen aus der

IEC 62061:2012 ermöglicht die Beurteilung des Risikos auf Basis detaillierter Quantifizierungsparameter, die als Faktoren zur Risikobewertung zur Verfügung stehen. Die genannten Standards stellen außerdem eine generische Basis dar, welche sowohl in der Elektro- als auch in der Automobilindustrie anerkannt ist. Dies stellt sicher, dass eine weitestgehend neutrale Beurteilung ohne Bindung an einen branchenspezifischen Standard möglich ist. Im Rahmen des Projekts sollen u. a. die in der Norm beschriebene Methodik sowie der darin enthaltene Katalog detailliert und auf den Betrachtungsumfang „Laden von Fahrzeugen“ erweitert werden.

Über den aufgezeigten methodischen Ansatz der Risikoanalyse wird das Risiko in Bezug zu identifizierten relevanten Situationen bewertet. Das Generieren von zu beurteilenden Situationen findet auf Basis des Ansatzes der ISO 26262:2011 „Funktionale Sicherheit von Straßenfahrzeugen“ statt. Hierzu werden verschiedene für den Fahrzeugbereich wesentliche unterschiedliche Parameter systematisch kombiniert, um eine möglichst vollständige Sammlung relevanter und zu bewertender Situationen zu erhalten. Als Einflussgrößen werden die Betriebszustände des Systems (B), die definierten Verwendungsbereiche (V), sich ergebende mögliche Umweltbedingungen (U) sowie die verschiedenen Ladephasen des Systems (LP) verwendet (siehe Bild 9, Abschnitt a). Mögliche Situationen können beispielsweise der Vorgang des Verbindens des Fahrzeugs mit dem Ladesystem oder ein Auffahrunfall eines sekundären Fahrzeuges während des Ladens sein.

Im nächsten Schritt wird der methodische Ansatz entsprechend der DIN EN ISO 12100 2011 angewendet und das Risiko aller resultierender Situationen bewertet (siehe Bild 9, Abschnitt b). Hierzu werden sämtliche mögliche und sinnvolle Kombinationen aus Situationen und Gefährdungen bewertet und bzgl. der Notwendigkeit von Maßnahmen eingestuft. Die Bewertung in Anlehnung an die IEC 62061:2012 erfolgt hinsichtlich der Schwere der Verletzungen (S), der Häufigkeit und Dauer des Aufenthalts im Gefahrenbereich (F), der Wahrscheinlichkeit des Auftretens des gefährlichen Ereignisses (W) sowie der Möglichkeit der Vermeidung der Gefährdung bzw. des Schadens (P). Eine detaillierte Definition dieser Parameter inklusive deren Anwendung wird im Kapitel 9.6 dieses Berichts beschrieben. Die Durchführung erfolgt unter der Annahme, dass derzeit noch keinerlei

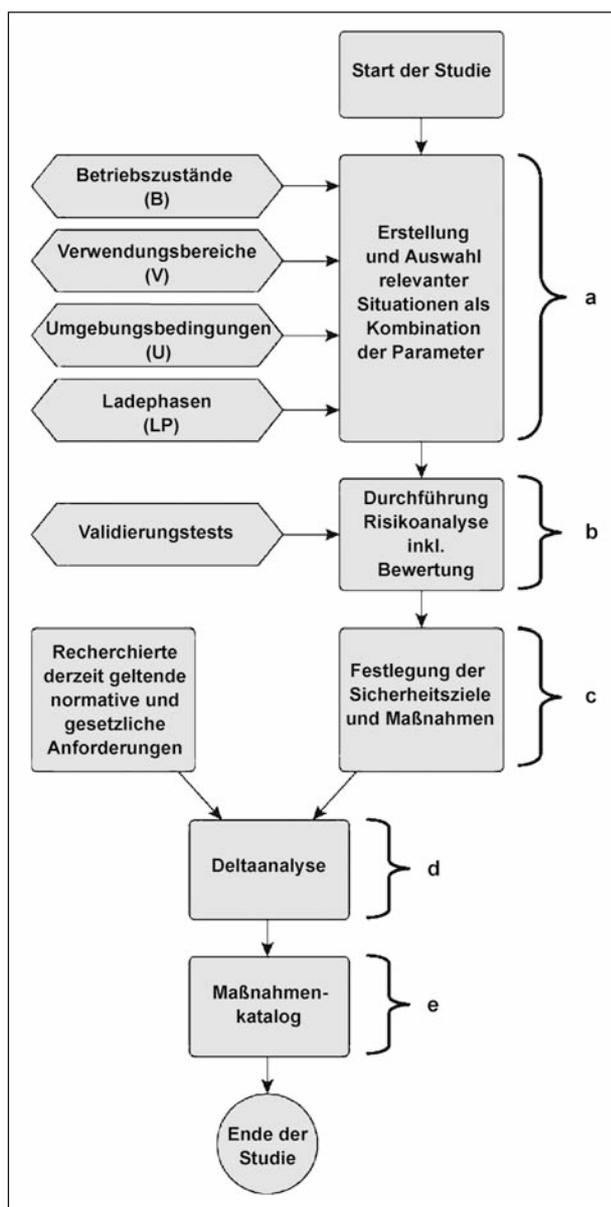


Bild 9: Ablaufdiagramm der Studie

Vorgaben, Richtlinien, Auslegungen und Regelungen bzgl. Sicherheits- und Schutzmaßnahmen Anwendung finden. Dies bedeutet, dass das ursprüngliche Risiko dargestellt wird und somit alle grundsätzlich notwendigen Maßnahmen erfasst werden.

Flankierend zur Risikoanalyse wurden Validierungstests durchgeführt. Die Durchführung von Validierungstests erfolgte in zweierlei Hinsicht: zum einen begleitend zur Risikoanalyse, um getroffene Annahmen in Bezug auf das Auftreten bzw. die Schwere eines Risikos zu bestätigen, zum anderen um einen Handlungsbedarf bzw. die Wirksamkeit einer aufgezeigten Maßnahme zu bestätigen (siehe Kapitel 10).

Anschließend erfolgen in Abhängigkeit vom Bewertungsergebnis die Definition von Sicherheitszielen und daraus abgeleitet die Beschreibung erforderlicher Maßnahmen zur Reduzierung des ermittelten Risikos (siehe Bild 9, Abschnitt c).

Die gewonnenen Erkenntnisse bzw. aufgezeigten Gefährdungen aus der Risikoanalyse werden anschließend mit dem Ergebnis der recherchierten normativen und gesetzlichen Anforderungen innerhalb einer Deltaanalyse abgeglichen (siehe Bild 9, Abschnitt d). Das Hauptaugenmerk richtet sich hierbei darauf, welche normativen und gesetzlichen Anforderungen die in der Risikoanalyse identifizierten Gefahren mindern. Das daraus resultierende Delta aus den gesamtheitlich ermittelten Gefährdungen und den Gefährdungen, welche durch die derzeitige Normung und Gesetzgebung abgedeckt sind, wird in einem Maßnahmenkatalog (siehe Bild 9, Abschnitt e) erfasst. Der Katalog zeigt damit die Lücken bei Normung und Gesetzgebung auf. Diese werden bzgl. ihres Handlungsbedarfs kategorisiert und durch konkrete Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos beschrieben.

9.3 Situationsparameter

Grundlage für die Durchführung der Risikoanalyse ist die Generierung der zu beurteilenden Situationen bzw. Betriebszustände. Hierzu wird eine Vielzahl an Grundparametern berücksichtigt, die anschließend in jeder Varianz kombiniert werden. Das Vorgehen bzgl. der Kombinatorik der Variablen wird im Kapitel 9.4 detailliert beschrieben. Im weiteren Verlauf werden diese generierten Situationen im Hinblick auf das Risiko bewertet. Diese Vorgehensweise erlaubt den Nachweis einer vollumfänglichen Betrachtung aller Grundparameter in allen vorkommenden Kombinationen. Nicht zutreffende Grundparameter oder irrelevante Kombinationen können im Zuge der Situationsgenerierung als nicht relevant gekennzeichnet werden. Wird ein Grundparameter, bzw. eine Kombinatorik aus der weiteren Betrachtung vorab ausgeschlossen, so muss hierzu eine Begründung genannt werden.

Zur Generierung einer bewertbaren Situation werden die Parameter

- Betriebszustände,
- Verwendungszwecke,
- Umgebungsbedingungen und
- Phasen eines Ladevorganges

herangezogen. In Kapitel 9.3.1 bis 9.3.4 werden diese Parameter erläutert und hergeleitet.

9.3.1 Betriebszustände

In einer umfassenden Risikoanalyse, beispielsweise nach der ISO 26262:2011, müssen u. a. unterschiedlichste Betriebszustände berücksichtigt werden, um alle sich möglicherweise ergebenden Gefahren und Risiken zu erfassen. Hierzu ist es grundsätzlich notwendig, den Betrachtungsfokus möglichst breit zu wählen, um eine umfängliche Betrachtung zu erreichen. Im Falle dieser Risikoanalyse konnte aufgrund des eng gefassten Betrachtungsumfanges (Ladens eines Elektrofahrzeuges) auf eine feingranulare Auffächerung in Bezug auf die Betriebszustände verzichtet werden.

Unter dem Begriff „Betriebszustände“ werden übergreifende Zustände eines Fahrzeuges, wie z. B. Zündung ein/aus, wird gestartet, Motorstatus oder Getriebestatus, betrachtet. Aufgrund der Fokussierung auf das Laden eines Fahrzeugs reduzieren sich die übergreifenden Zustände auf einen einzigen. In diesem Fall ist ausschließlich der Status der Zündung relevant.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den zu definierenden Situationen. Hier finden sich in einer umfänglichen Risikoanalyse alle erdenklichen Gegebenheiten wie z. B. Fahrzeug steht, Fahrzeug fährt auf der Landstraße oder Autobahn, Fahrzeug beschleunigt oder Fahrzeug wird abgeschleppt. Auch bzgl. der zu bewertenden Situationen ist die zu betrachtende Anzahl, aufgrund der Fokussierung auf das Laden eines Fahrzeuges, begrenzt. Hierzu sind die Gegebenheiten Ladekabel gesteckt/nicht gesteckt und Fahrzeug steht oder rollt zu betrachten.

Diese selektierten Parameter für den Betriebszustand und die Situationen könnten nun in der Risikoanalyse innerhalb einer Matrix zusammengefasst werden. Aufgrund der geringen Anzahl/Komplexität an dieser Stelle werden die möglichen Kombinatoriken der Parameter bereits an dieser Stelle im Bericht durchgeführt. Auch werden nicht sinnvolle Kombinationen bereits an dieser Stelle aussortiert, um ein unnötiges Volumen der Risikoanalyse zu vermeiden.

Aus Bild 10 lassen sich die nachfolgenden Betriebszustände BZ1 bis BZ4 über die Kombinatoriken der Entscheidungsmerkmale ableiten.

Als ein Entscheidungsmerkmal wurde die Geschwindigkeit v festgelegt. Dieses kann größer oder gleich null gesetzt werden. Aufgrund der Fokussierung dieser Risikoanalyse auf das Laden eines Elektrofahrzeugs sind die Ursachen einer Fahrzeugbewegung stark begrenzt. Dieses gründet sich auch in der Tatsache, dass der bestimmungsgemäße Gebrauch (siehe Kapitel 6.3) unter anderem über ein stehendes Fahrzeug definiert ist und somit die Ursachen einer Fahrzeugbewegung weiter eingeschränkt werden können. Die festgelegten Ursachen lassen sich in drei übergeordneten Gruppen zusammenfassen. Zunächst kann sich ein Fahrzeug mittels des eigenen Antriebs aus dem Stand heraus bewegen. Eine weitere Ursachengruppe ist die Fahrzeugbewegung aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen. Hierunter lassen sich verschiedenste Ursachen, wie das Anrollen aufgrund eines Gefälles, bündeln. Weitere Möglichkeiten sind, dass das Fahrzeug geschoben wird bzw. sich aufgrund eines wegkippenden Wagenhebers bewegt. Die letzte definierte Ursachengruppe fasst die Ursachen einer Fahrzeugbewegung aufgrund grundsätzlich nicht beherrschbarer/unvermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen zusammen. Hierunter verbergen sich Ursachen, welche auch aufgrund diverser Maßnahmen nicht vollständig ausgeschlossen werden können, wie z. B. ein Auffahrunfall.

Aufgrund dieser Ursachenaufteilung bzgl. der Fahrzeuggeschwindigkeit lassen sich die Betriebszu-

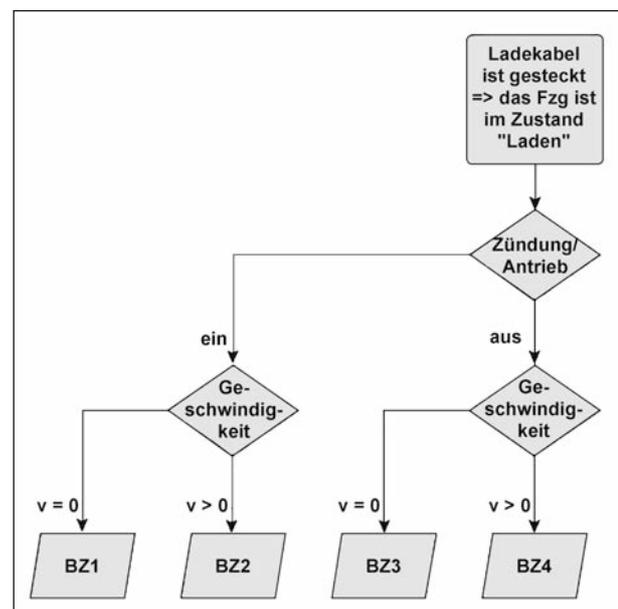


Bild 10: Grafik Betriebszustände

stände BZ2 und BZ4 jeweils in drei Betriebszustände unterteilen:

- BZ1: Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug steht ($v = 0$).
- BZ2a: Ladekabel ist gesteckt, die Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenem Antrieb.
- BZ2b: Ladekabel ist gesteckt, die Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. jemand schiebt, Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/Reparaturen während des Ladens).
- BZ2c: Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) aufgrund grundsätzlich nicht beherrschbarer/unvermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Auffahrunfall usw.).
- BZ3: Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$).
- BZ4a: Ladekabel ist gesteckt, die Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenem Antrieb.
- BZ4b: Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. jemand schiebt, Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/Reparaturen während des Ladens).
- BZ4c: Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) aufgrund grundsätzlich nicht beherrschbarer/unvermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Auffahrunfall usw.).

Der Betriebszustand BZ4a wird nicht in die Matrix der Risikobeurteilung übernommen, da dieser Fall, Fahrzeug fährt mittels eigenen Antriebs bei ausgeschalteter Zündung, nicht realistisch ist.

9.3.2 Verwendungszweck der Ladesysteme

Der Verwendungsbereich von Ladesystemen lässt sich in vier unterschiedliche Bereiche einteilen, den „häuslichen oder privaten Bereich“, den „nicht-öffentlichen oder halbprivaten Bereich“, den „halb-

öffentlich Bereich“ und den „öffentlichen Bereich“. Die Unterscheidung beruht u. a. auf den Besitzverhältnissen der Grundstücke und den Möglichkeiten des Zugangs zu den Bereichen und somit zu der jeweiligen Ladeinfrastruktur. Nachfolgend werden die einzelnen Bereiche detailliert vorgestellt und vollumfänglich dargelegt. Es erfolgt an dieser Stelle auch eine Auswahl zwischen relevanten und dadurch bereits abgedeckten Verwendungsbereichen, um das Volumen der resultierenden Situationen auf ein sinnvolles Maß zu begrenzen.

Häuslicher Bereich (privat)

Unter der Begrifflichkeit Laden im häuslichen Bereich ist grundsätzlich das Laden auf privatem Gelände, z. B. in der eigenen Garage, auf dem eigenen Stellplatz oder aber auch bei Verwandten bzw. Freunden, unter Verwendung der häufig unveränderten häuslichen Installation zu verstehen. Im häuslichen Bereich finden derzeit vor allem die Ladebetriebsarten LBA1 und LBA2 Anwendung. Die hier verwendeten Stecksysteme der Infrastruktur finden sich in den meisten Haushalten wieder. Insbesondere der Schukostecker hat national eine vollumfängliche Verbreitung. Entsprechende nationale Lösungen anderer Länder gelten adäquat. Zusätzlich zu den Ladebetriebsarten LBA1 und LBA2 findet die Ladebetriebsart LBA3, aufgrund der kürzeren Ladezeiten, auch im privaten Bereich steigende Anwendung.

Die Standortsituation SO2 wird innerhalb der Risikoanalyse nicht weiter betrachtet, da die Standortsituation SO3 in Bezug auf SO2 dem Worst-Case-Fall entspricht und somit SO2 mit abdeckt (Tabelle 33).

Nicht-öffentliche Ladestation (halbprivat)

Der nicht-öffentliche, bzw. der halbprivate Bereich definiert sich vor allem über ein privates Besitzverhältnis der Ladestation und über eine Fremdnutzung der Ladestation von einer vordefinierten und

Nr.	Beschreibung der Standortsituation des Ladesystems	Relevant
SO1	private Garage (Einzel- oder Mehrfachgarage)	ja
SO2	privater bedachter Carport (Einzel- oder Mehrfachplätze)	nein
SO3	privater Abstellplatz (unbedacht)	ja

Tab. 33: Private Standortsituation

Nr.	Beschreibung der Standortsituation des Ladesystems	Relevant
SO4	halbprivate Garage (Einzel-, Mehrfach-, Tiefgarage)	nein
SO5	halbprivater bedachter Carport (Einzel- oder Mehrfachplätze)	nein
SO6	halbprivater Parkplätze (unbedacht)	nein

Tab. 34: Halbprivate Standortsituationen

begrenzen Anzahl an Personen. Diese Konstellation findet sich speziell auf Arbeitnehmerparkplätzen in Firmengeländen wieder. Grundsätzlich sind für diesen Bereich alle Ladebetriebsarten, unter der Anwendung aller Varianten der Stecksysteme der Infrastruktur, denkbar.

Die Standortsituationen SO4 bis SO6 finden explizit keine weitere Anwendung innerhalb dieser Risikoanalyse. SO4 ist über SO10 und SO5/6 sind über SO12 mit abgedeckt. Jeweils SO10 und SO12 stellen den kritischeren Fall dar und beinhalten somit das Risiko aus der halbprivaten Standortsituation (Tabelle 34).

Ladestation bei Infrastrukturpartnern (halböffentlich)

Eine Ladestation bei einem Infrastrukturpartner, also im halböffentlichen Bereich, definiert sich zum einen über ein privates Besitzverhältnis der Ladestation, zum anderen über den Nutzerkreis der Ladestation. Die Nutzung ist zusammenfassend als Fremdnutzung von einer undefinierten und nicht begrenzten Anzahl an Personen anzusehen. Diese Konstellation findet sich z. B. auf Parkplätzen von Einkaufszentren wieder. Grundsätzlich sind für diesen Bereich alle Ladebetriebsarten (siehe Kapitel 5.5), unter der Anwendung aller Varianten der Stecksysteme der Infrastruktur, denkbar.

Genau wie in den halbprivaten Standortsituationen finden die Situationen SO7 bis SO9 keine explizite weitere Anwendung innerhalb dieser Risikoanalyse. SO7 ist wiederum über SO10 und SO8/9 sind über SO12 mit abgedeckt. Jeweils SO10 und SO12 stellen den kritischeren Fall dar und beinhalten somit das Risiko aus der halböffentlichen Standort-situation (Tabelle 35).

Öffentliche Ladesäule (öffentlicher Parkstraßenraum)

Für einen Großteil der in Ballungsräumen lebenden Bevölkerung wird es notwendig sein, ihr E-Fahr-

Nr.	Beschreibung der Standortsituation des Ladesystems	Relevant
SO7	halböffentliche Garage (Einzel-, Mehrfach-, Tiefgarage)	nein
SO8	halböffentlicher bedachter Carport (Einzel- oder Mehrfachplätze)	nein
SO9	halböffentliche Parkplätze (unbedacht)	nein

Tab. 35: Halböffentliche Standortsituationen

Nr.	Beschreibung der Standortsituation des Ladesystems	Relevant
SO10	Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus)	ja
SO11	Parkstraßenraum: bedachter Carport (Einzel- oder Mehrfachplätze)	nein
SO12	Parkstraßenraum: Parkplätze (unbedacht)	ja
SO13	Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht)	ja
SO14	Parkstraßenraum: Parkbuchten (unbedacht)	nein

Tab. 36: Öffentliche Standortsituationen

zeug an öffentlichen Ladestationen zu laden. Diese Ladestationen befinden sich an Straßenrändern bzw. auf öffentlichen Parkplätzen und sind im Besitz der entsprechenden Städte bzw. Gemeinden. Grundsätzlich sind für diesen Bereich alle Ladebetriebsarten unter der Anwendung aller Varianten der Stecksysteme der Infrastruktur denkbar. In der Praxis werden sich hier speziell die Ladebetriebsarten LBA3 und LBA4 wiederfinden.

Innerhalb der öffentlichen Standortsituationen finden die Situationen SO11 und SO14 keine explizite weitere Anwendung innerhalb dieser Risikoanalyse. SO11 ist über SO12 und SO13 abgedeckt, SO14 ebenfalls über SO13. Auch hier stellen die ausgewählten Standortsituationen den jeweils kritischeren Fall dar und beinhalten somit das gesamt-heitliche Risiko (Tabelle 36).

9.3.3 Umgebungsbedingungen

In Tabelle 37 werden alle Umgebungsbedingungen aufgelistet, welche für den Ladevorgang grundsätzlich relevant sind. Die Umgebungsbedingungen werden zur besseren Übersicht in zwei Gruppen, Wetter und Verkehrsteilnehmer, aufgeteilt.

Die Umweltbedingung U2 „Schnee, Schneefall“ wird nicht als explizite Bedingung beibehalten, da diese durch die Bedingungen U3 und U4 in Bezug auf eine geringe Griffigkeit der Straße bereits

Nr.	Beschreibung der Umgebungsbedingungen	Relevant
Wetter		
U1	Nebel	ja
U2	Schnee, Schneefall	nein
U3	gefrierender Regen, Eisregen	ja
U4	Regen, Schlagregen, Wasserfontäne durch vorbeifahrende Fahrzeuge, Überschwemmung	ja
U5	hohe Luftfeuchtigkeit	ja
U6	niedrige Luftfeuchtigkeit	nein
U7	sehr hohe Außentemperatur	ja
U8	sehr niedrige Außentemperatur	ja
U9	Sonne (auch tiefstehende Sonne)	nein
U10	Dunkelheit	nein
U11	Starke Winde	ja
U12	Sandsturm	nein
U13	Hagel	ja
U14	Feuer	nein
U15	Blitzeinschlag	ja
Verkehrsteilnehmer		
U16	Fahrer im Fahrzeug (auch mit Handikap)	ja
U17	Fahrzeuginsassen (außer Fahrer, auch mit Handikap)	ja
U18	Fahrer in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap)	nein
U19	Fahrzeuginsassen in direkter Umgebung des Fahrzeugs (außer Fahrer, auch mit Handikap)	nein
U20	Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap)	ja
U21	Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug	ja

Tab. 37: Umweltbedingungen

abgedeckt bzw. sogar übertroffen wird. Einer „niedrigen Luftfeuchtigkeit“ (U6) wird in Bezug auf das Thema Laden eines Elektrofahrzeuges dieser Risikoanalyse kein reales Risikopotenzial zugesprochen und wird somit nicht weiter betrachtet. Die besonderen Gefährdungen durch Umweltbedingungen „Sonne“ (U9) und „Dunkelheit“ (U10) werden in Bezug auf die resultierende schlechtere Sicht gesehen. Beispielhaft für diese Gefährdung wird die Bedingung „Nebel“ (U1) gesetzt und ersetzt somit U9 und U10. Ähnlich wie bei der „niedrigen Luftfeuchtigkeit“ (U6) wird auch in einem „Sandsturm“ (U12) für das zu bewertende Thema Laden von Elektrofahrzeugen keine neue oder erhöhte Gefährdung als durch den Sandsturm selbst zugesprochen und wird nicht weiter verfolgt. In Bezug auf die Gewichtung der Bedingung „Feuer“ muss berücksichtigt werden, dass der Fokus der vorliegenden Risikoanalyse auf das Laden von Elektrofahrzeugen begrenzt ist. Deshalb werden das Fahrzeug sowie die Infrastruktur lediglich am

Rande betrachtet. In der Bedingung „Feuer“ (U14) wird nicht die Gefährdung bewertet die ein Feuer und daraus resultierende Folgen haben, sondern die durch das Laden eines Elektrofahrzeugs während eines Feuers zusätzlich entstehende Gefährdung. Hier wurde entschieden, dass das Risiko eines Schadens durch ein Feuer allgemein bereits sehr hoch ist und in Kombination mit einem Ladevorgang nicht signifikant gesteigert wird. Dies bedeutet, dass diese Bedingung keine Relevanz für die Risikobeurteilung haben kann. Die Bedingungen U18 und U19 in Bezug auf Fahrer oder weitere Fahrzeuginsassen in direkter Umgebung des Fahrzeugs werden durch die allgemeinen Verkehrsteilnehmer in direkter Umgebung des ladenen Fahrzeugs abgedeckt, da den allgemeinen Verkehrsteilnehmern ein eingeschränktes Wissen über die Kenntnis unterstellt werden muss, dass es sich bei dem Fahrzeug um ein Elektrofahrzeug handelt, und somit eventuelle (Sicherheits-)Hinweise nicht bekannt sind.

Phase	Beschreibung	LBA	Bemerkung
a)	Kontaktieren des Ladekabels mit dem Fahrzeug und der Infrastruktur	1, 2, 3, 4	je nach Anschlussfall 7.4 und Ladebetriebsart 7.5 möglich
b)	Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs	1, 2, 3, 4	---
c)	Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur	1, 2, 3, 4	je nach Anschlussfall 7.4 und Ladebetriebsart 7.5 möglich

Tab. 38: Phasen eines Ladevorgangs

9.3.4 Phasen eines Ladevorgangs

Unter einem Ladevorgang ist grundsätzlich nicht ausschließlich die zeitliche Spanne zu verstehen, in der Energie von der Infrastruktur in den Energiespeicher des Fahrzeuges transferiert wird. Als Ladevorgang ist vielmehr die zeitliche Spanne zwischen der Kontaktierung des Fahrzeugs mit dem Ladepunkt bis zur vollständigen Entkopplung des Fahrzeugs mit dem Ladepunkt zu verstehen.

Ein Ladevorgang kann somit in mehrere Phasen eingeteilt werden. Die Auflistung in Tabelle 38 zeigt detailliert die grundsätzlichen Phasen eines Ladevorgangs in Abhängigkeit der Ladebetriebsarten.

9.4 Resultierende Situationen

Wie bereits in Kapitel 9.3 angedeutet, werden die definierten und ausgewählten Situationsparameter aus den Kapiteln 9.3.1 bis 9.3.4 in Anlehnung an die ISO 26262:2011 über Matrizen miteinander kombiniert, um einen vollumfänglichen Situationskatalog zu erhalten. Im ersten Schritt zur Erlangung der Situationskombinatorik wurden die Situationsparameter „Betriebszustände“ und „Verwendungsbereiche“ in einer Matrix übereinander gelegt. Innerhalb dieser Matrix besteht die Möglichkeit einer Auswahl sinnvoller Kombinationen zwischen diesen beiden Parametern. Je nach Thema der Risikoanalyse ergeben sich verschiedene relevante und irrelevante Parameterkombination, welche auf diesem Wege selektiert werden und so nicht zu einem unnötigen Volumen ohne Mehrwert innerhalb der Risikoanalyse führen. Ergänzend zu den ausgewählten Situationskombinationen von Betriebszuständen und Verwendungsbereich, werden nun die ausgewählten Umgebungsbedingungen in einer weiteren Matrix gegenübergestellt. Auch an dieser Stelle besteht die Möglichkeit der Selektion von irrelevanten Kombinationen oder

Kombinationen, welche nicht den Worst-Case-Fall darstellen und somit ebenfalls keinen Mehrwert für die Risikobeurteilung liefern. Als letzte Matrix werden nun die gewählten Kombinationen aus Betriebszuständen, Verwendungsbereich und Umweltbedingungen den Ladephasen gegenübergestellt und ebenfalls bei Bedarf selektiert. Ergebnis dieser zuletzt beschriebenen Gegenüberstellung ist eine Liste mit den ausgewählten Situationen S1 bis S53, welche ebenfalls in einer Matrix den Gefährdungsgruppen gegenübergestellt werden.

Ein Beispiel (siehe Tabelle 39, Situation S22) soll die Vorgehensweise zur Findung der resultierenden Situationen verdeutlichen:

Als ein möglicher Betriebszustand wurde ein gestecktes Ladekabel bei ausgeschalteter Zündung/ausgeschaltetem Antrieb bei einem stehenden Fahrzeug definiert. Dies wurde mit dem Verwendungsbereich des unbedachten öffentlichen Parkplatzes und der Umgebungsbedingung kombiniert, dass sich Verkehrsteilnehmer in unmittelbarer Nähe befinden. In Kombination mit der gleichzeitigen Kontaktierung des Ladekabels mit dem Fahrzeug und der Infrastruktur als Aspekt der Ladephase ergibt sich die folgende in der Risikoanalyse zu bewertende resultierende Situation „Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: Parkplätze (unbedacht); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handicap); Kontaktierung des Ladekabels mit dem Fahrzeug und der Infrastruktur“.

Tabelle 39 zeigt alle generierten resultierenden Situationen, deren Risiko innerhalb der Gefahren- und Risikobewertung quantifiziert wird.

Nr.	Resultierende Situation
S1	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenen Antriebs; private Garage (Einzel- oder Mehrfachgarage); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S2	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenen Antriebs; private Garage (Einzel- oder Mehrfachgarage); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S3	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenen Antriebs; private Garage (Einzel- oder Mehrfachgarage); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S4	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenen Antriebs; private Garage (Einzel- oder Mehrfachgarage); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S5	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenen Antriebs; Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S6	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenen Antriebs; Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S7	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenen Antriebs; Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S8	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenen Antriebs; Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S9	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenen Antriebs; Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S10	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenen Antriebs; Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S11	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenen Antriebs; Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S12	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist ein und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$) mittels eigenen Antriebs; Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S13	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); private Garage (Einzel- oder Mehrfachgarage); hohe Luftfeuchtigkeit; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S14	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); privater Abstellplatz (unbedacht); gefrierender Regen, Eisregen; Kontaktierung des Ladekabels mit dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S15	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); privater Abstellplatz (unbedacht); gefrierender Regen, Eisregen; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S16	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus); hohe Luftfeuchtigkeit; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S17	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: Parkplätze (unbedacht); Nebel; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S18	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: Parkplätze (unbedacht); sehr hohe Außentemperatur; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S19	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: Parkplätze (unbedacht); sehr niedrige Außentemperatur; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S20	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: Parkplätze (unbedacht); starke Winde; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S21	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: Parkplätze (unbedacht); Hagel; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs

Tab. 39: Resultierende Situationen

Nr.	Resultierende Situation
S22	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: Parkplätze (unbedacht); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Kontaktieren des Ladekabels mit dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S23	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: Parkplätze (unbedacht); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S24	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: Parkplätze (unbedacht); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S25	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); gefrierender Regen, Eisregen; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S26	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Regen, Schlagregen, Wasserfontäne durch vorbeifahrende Fahrzeuge, Überschwemmung; Kontaktierung des Ladekabels mit dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S27	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Regen, Schlagregen, Wasserfontäne durch vorbeifahrende Fahrzeuge, Überschwemmung; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S28	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug steht ($v = 0$); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Regen, Schlagregen, Wasserfontäne durch vorbeifahrende Fahrzeuge, Überschwemmung; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S29	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); private Garage (Einzel- oder Mehrfachgarage); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S30	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); private Garage (Einzel- oder Mehrfachgarage); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S31	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); private Garage (Einzel- oder Mehrfachgarage); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S32	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); private Garage (Einzel- oder Mehrfachgarage); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S33	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S34	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S35	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S36	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur

Tab. 39: Fortsetzung

Nr.	Resultierende Situation
S37	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); gefrierender Regen, Eisregen; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S38	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); gefrierender Regen, Eisregen; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S39	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); sehr hohe Außentemperatur; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S40	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); starke Winde; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S41	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); starke Winde; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S42	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S43	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S44	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S45	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich beherrschbarer/vermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Gefälle, Duplexgarage, Reifenwechsel/ Reparaturen während des Ladens); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S46	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich nicht beherrschbarer/unvermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Auffahrunfall usw.); Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S47	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich nicht beherrschbarer/unvermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Auffahrunfall usw.); Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S48	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich nicht beherrschbarer/unvermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Auffahrunfall usw.); Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S49	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich nicht beherrschbarer/unvermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Auffahrunfall usw.); Parkstraßenraum: bedachte Garage (Mehrfach-, Tiefgarage, Parkhaus); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur

Tab. 39: Fortsetzung

Nr.	Resultierende Situation
S50	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich nicht beherrschbarer/unvermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Auffahrunfall usw.); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S51	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich nicht beherrschbarer/unvermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Auffahrunfall usw.); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, spielende Kinder) in direkter Umgebung des Fahrzeugs (auch mit Handikap); Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur
S52	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich nicht beherrschbarer/unvermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Auffahrunfall usw.); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Energiefluss in den Speicher des Fahrzeugs
S53	Ladekabel ist gesteckt, Zündung/Antrieb ist aus und das Fahrzeug bewegt sich ($v > 0$), aufgrund grundsätzlich nicht beherrschbarer/unvermeidbarer Gegebenheiten/Einwirkungen von außen (z. B. Auffahrunfall usw.); Parkstraßenraum: Straßenrand (unbedacht); Werkstattpersonal/Personen am oder unter dem Fahrzeug; Trennen des Ladekabels von dem Fahrzeug und der Infrastruktur

Tab. 39: Fortsetzung

9.5 Gefahrengruppen

Die DIN EN ISO 12100:2011 sieht eine Einteilung der zu bewertenden Situationen in definierte Gefahrengruppen vor. Dadurch ist es möglich, dass jede Situation in Bezug auf eine definierte Gefährdung betrachtet wird. Damit wird gewährleistet, dass keine Gefahrenpotenziale außer Acht gelassen werden. Zudem kann eine Situation innerhalb verschiedener Gefahrengruppen hinsichtlich deren spezifischen Risikos innerhalb einer Gefahrengruppe bewertet werden.

Die DIN EN ISO 12100:2011 definiert zehn Gefahrengruppen, die wie folgt definiert sind:

- Mechanische Gefährdungen,
- Elektrische Gefährdungen,
- Thermische Gefährdungen,
- Gefährdungen durch Lärm,
- Gefährdungen durch Vibration,
- Gefährdungen durch Strahlung,
- Gefährdungen durch Materialien und Substanzen,
- Ergonomische Gefährdungen,
- Gefährdungen im Zusammenhang mit der Einsatzumgebung der Maschine,
- Kombination von Gefährdungen.

Die Zuweisung von Situationen zu verschiedenen Gefahrengruppen sowie die Ableitung spezifischer

Gefahren innerhalb einer Gefahrengruppe können dazu führen, dass durch die Kombination eine sehr große Anzahl bzw. schwer überschaubare Anzahl unterschiedlicher Fälle entsteht. Um die Anzahl der generierten Fälle überschaubar und dennoch vollständig zu halten, werden die in Kapitel 9.4 hergeleiteten resultierenden Situationen mithilfe einer Excel-Matrix den Gefährdungsgruppen gegenübergestellt und können auf Sinnhaftigkeit überprüft und selektiert werden. Anschließend folgt die Erweiterung der Betrachtung bzgl. der spezifischen Folgen, die aus einer Gefahrengruppe resultieren. Danach erfolgt eine Selektion der zu betrachtenden resultierenden Situationen innerhalb einer Gefahrengruppe und deren zugeordneten spezifischen Gefährdungen (mögliche Folge). Als „nicht relevant“ gekennzeichnete Kombinationen werden in Form eines kurzen Textes begründet. Stellt sich im Rahmen der Bewertung der Risikoanalyse heraus, dass eine als „nicht relevant“ bezeichnete Kombination fehlt, kann diese nachträglich wieder in die Bewertung aufgenommen werden. Details hierzu finden sich in der Risikoanalyse im Anhang.

In den Kapiteln 9.5.1 bis 9.5.9 werden die einzelnen Gefahrengruppen und deren spezifische Gefährdungen näher erläutert.

9.5.1 Mechanische Gefährdungen

Nahezu alle resultierenden Situationen weisen eine grundsätzliche Relevanz im Hinblick auf mögliche „Mechanische Gefährdungen“ auf.

Die DIN EN ISO 12100:2011 unterscheidet die nachstehenden Folgen, die aus einer „Mechanischen Gefährdungen“ resultieren können:

- Überfahrenwerden,
- Weggeschleudertwerden,
- Quetschen,
- Schneiden oder Abschneiden,
- Einziehen oder Fangen,
- Erfassen,
- Reiben oder Abschürfen,
- Stoß,
- Eindringen von unter Druck stehenden Medien,
- Scheren,
- Ausrutschen, Stolpern und Stürzen,
- Durchstich oder Einstich,
- Ersticken.

In Bezug auf das Laden eines Elektrofahrzeuges zeigt sich, dass Folgen wie das „Überfahrenwerden“ durch das Fahrzeug, ein „Schneiden oder Abschneiden“, ein „Einziehen oder Fangen“, ein „Erfassen“, ein „Stoß“, ein „Eindringen von unter Druck stehenden Medien“, ein „Scheren“ und ein „Durchstich oder Einstich“ kein Risiko bzw. kein spezifisches Risiko aufgrund des Ladens darstellen und somit aus der Risikobewertung ausgenommen werden.

Dagegen müssen Folgen wie „Weggeschleudert werden“, „Quetschen“, „Reiben oder Abschürfen“, „Ausrutschen, Stolpern und Stürzen“ im Rahmen der Risikoanalyse betrachtet werden.

9.5.2 Elektrische Gefährdungen

Alle resultierenden Situationen enthalten ein grundsätzliches Risikopotenzial im Hinblick auf eine mögliche „Elektrische Gefährdung“.

Die „Elektrischen Gefährdungen“ werden unterteilt in die nachfolgenden „Möglichen Folgen“:

- Gefahr durch Verbrennen,
- Gefahr durch chemische Reaktionen,
- Gefahr durch Auswirkungen auf medizinische Implantate (EMF),
- Gefahr durch tödlichen Stromschlag,

- Gefahr durch Stürzen, Weggeschleudert werden,
- Gefahr durch Feuer,
- Gefahr durch Herausschleudern von geschmolzenen Teilen,
- Gefahr durch elektrischen Schlag.

Die Zuordnung zu den jeweiligen „Möglichen Folgen“ zeigt, dass für das Laden von Elektrofahrzeugen grundsätzlich nicht mit einer „Gefahr durch eine chemische Reaktion“ zu rechnen ist. Die „Gefahr durch Verbrennen“ innerhalb dieses Betrachtungsumfanges wird als Sekundärwirkung des elektrischen Schlages gesehen und somit auch innerhalb der Folge „Gefahr durch elektrischen Stromschlag“ betrachtet. Weiterhin wird die „Gefahr durch tödlichen Stromschlag“ nicht explizit betrachtet und geht ebenfalls in der Betrachtung der Folge „Gefahr durch elektrischen Schlag“ auf.

9.5.3 Thermische Gefährdungen

Bis auf eine Ausnahme weist keine resultierende Situation eine Relevanz im Hinblick auf eine mögliche „Thermische Gefährdungen“ auf.

Die Gefährdungsgruppe der „Thermischen Gefährdungen“ wird wie nachstehend unterteilt:

- Gefahr durch Verbrennung,
- Gefahr durch Dehydrierung,
- Gefahr durch Unbehagen,
- Gefahr durch Erfrierung,
- Gefahr durch Verletzungen durch Strahlung von Wärmequellen,
- Gefahr durch Verbrühung.

Lediglich die „Gefahr durch Verbrennung“ ist in wenigen „Resultierenden Situationen“ als risikorelevant einzustufen. Alle weiteren „Möglichen Folgen“ einer „Thermischen Gefährdung“ werden in Bezug auf das Laden eines Elektrofahrzeuges nicht gesehen.

9.5.4 Gefährdungen durch Lärm

Es konnten generell keine relevanten Folgen, die aus den „Gefahren durch Lärm“ resultieren, festgestellt werden. Es ist nicht davon auszugehen, dass durch einen Ladevorgang eine spezifische Lärm-

quelle entsteht, die zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen oder Schäden führt. Die Gefahrengruppe „Gefährdungen durch Lärm“ (inkl. deren „Möglicher Folgen“) wird deshalb nicht weiter behandelt.

9.5.5 Gefährdungen durch Vibration

Das Laden eines Elektrofahrzeuges, zumindest mit zugelassenen Geräten, generiert in der Regel keine unerwarteten oder übermäßigen Vibrationen. Eine „Gefährdung durch Vibration“ kann ausgeschlossen werden.

9.5.6 Gefährdungen durch Strahlung

Unter dem Sammelbegriff „Strahlung“ werden im Allgemeinen alle Arten von Strahlung zusammengefasst. So auch der Schall, der Ultraschall, elektromagnetische Strahlung (EMF), Radiostrahlung, UV-Strahlung, Wärmestrahlung, Röntgenstrahlung, Gammastrahlung, aber auch das sichtbare Licht.

Die DIN EN ISO 12100:2011 geht mit dem Begriff „Strahlung“ an dieser Stelle undifferenziert um. So wird zum Beispiel die Wärmestrahlung zu den „Elektrischen Gefährdungen“ gezählt und ist deshalb nicht innerhalb des Abschnitts „Gefährdungen durch Strahlung“ zur Bewertung vorgesehen.

Die elektromagnetische Strahlung wiederum kann sowohl innerhalb der Gefahrengruppe „Elektrische Gefährdungen“ sowie innerhalb der dort getroffenen Unterkategorie „Elektromagnetische Vorgänge“, als auch in der Gefahrengruppe „Gefährdungen durch Strahlung“ innerhalb der dort getroffenen Begrifflichkeit „niederfrequente elektromagnetische Strahlung“ Zuordnung finden. Aufgrund der Thematik der Risikoanalyse und der explizit innerhalb der DIN EN ISO 12100:2011 erwähnten und relevanten Gefährdung „Auswirkungen auf medizinische Implantate“ innerhalb der Gefahrengruppe „Elektrische Gefährdungen“ wird das Thema der Gefahren durch elektromagnetische Strahlung innerhalb der Gefahrengruppe „Elektrische Gefährdungen“ behandelt.

Im Bezug auf die sonstigen genannten Strahlungsarten konnte für das Thema Laden eines Elektrofahrzeuges keine risikobehaftete Quelle zugeordnet werden. Eine weitere Gefährdung durch Strahlung kann somit ausgeschlossen werden und das Thema wird somit innerhalb der Gefahren- und Risikobewertung nicht weiter betrachtet.

9.5.7 Gefährdungen durch Materialien und Substanzen

Unter gefährlichen Materialien und Substanzen im Sinne der DIN EN ISO 12100:2011 werden Stoffe verstanden, wie sie z. B. in der chemischen Industrie zur Herstellung von Produkten verwendet werden. Bis auf eventuell auftretende geringe Ausdünstungen der verwendeten Materialien ist in Bezug auf das Laden eines Elektrofahrzeuges mit keinem Risiko zu rechnen.

9.5.8 Ergonomische Gefährdungen

Der Abgleich der „Ergonomischen Gefährdungen“ mit den resultierenden Situationen im Hinblick auf ein potenzielles Risiko ergibt grundsätzliche Anknüpfungspunkte in Bezug auf die Geometrie der verwendeten Stecker.

Die Gefährdungsgruppe der „Ergonomischen Gefährdungen“ unterteilt sich gemäß der DIN EN ISO 12100:2011 wie folgt:

- Gefahr von Unbehagen,
- Gefahr von Ermüdung,
- Gefahr von Störungen des Bewegungsapparates,
- Gefahr von Stress,
- Gefahr von weiteren Problemen als Folge menschlichen Versagens.

Ein Risikopotenzial wird hinsichtlich „Störungen des Bewegungsapparates“ und vor allem im Hinblick auf „weitere Probleme als Folge menschlichen Fehlverhaltens“ gesehen. Unter diesem Punkt verbergen sich beispielsweise die Verwendung von Verlängerungsleitungen oder eines falschen Adapters und ähnliche Punkte. Für die weiteren „Möglichen Folgen“ innerhalb der Gefahrengruppe „Ergonomische Gefährdungen“ ist in Bezug auf das Laden von Elektrofahrzeugen kein spezifisches Risiko erkennbar.

9.5.9 Gefährdungen im Zusammenhang mit Einsatzumgebung der Maschine und Kombination von Gefährdungen

Die DIN EN ISO 12100:2011 sieht unter diesen Punkten die Betrachtung des spezifischen Einfluss von zusätzlichen Bedingungen wie beispielsweise Umweltbedingungen sowie die Kombination verschiedener spezifischer Umgebungsbedingungen

auf ein mögliches Gefahrenpotenzial vor. Aufgrund der Definition der resultierenden Situationen, die u. a. unter der Berücksichtigung von Betriebszuständen (siehe Kapitel 9.3.1), Verwendungsbereichen (siehe Kapitel 9.3.2), Umweltbedingungen (siehe Kapitel 9.3.3) und den Phasen eines Ladevorgangs (siehe Kapitel 9.3.4) abgeleitet wurden, sind diese Aspekte bereits berücksichtigt.

9.6 Parameter der Risikoanalyse

Die verwendeten Parameter zur Quantifizierung des Risikos und der als Basis verwendete Risikograph werden in den Kapiteln 9.6.1 bis 9.6.4 näher erläutert. Weiterhin wird zu jeder gewählten Quantifizierung eines Parameter eine beispielhafte Begründung genannt und erläutert.

9.6.1 Parameter S (Schwere der Verletzung)

Mittels des Parameters S wird die mögliche Schwere einer Verletzung quantifiziert. Die Einstufung kann Werte zwischen 1 und 4 annehmen. Die Schwere der Verletzungen nimmt mit der Höhe der Zahl zu.

Bei einer Einstufung der Schwere mit dem Wert 1 wird von reversiblen Verletzungen ausgegangen, die nicht versorgt werden müssen oder mittels Erster Hilfe in ausreichendem Maß versorgt werden können. Als Beispiele aus der Risikoanalyse können das Quetschen der Finger beim Stecken des Ladesteckers oder leichte Abschürfungen an Fingern oder der Hand beim Trennen der Ladeverbindung genannt werden.

Bei einer Einstufung der Schwere mit dem Wert 2 wird ebenfalls von reversiblen Verletzungen ausgegangen. Eine Abgrenzung wird dadurch getroffen, dass hier eine medizinische Versorgung der Verletzungen notwendig ist. Ein elektrischer Schlag ohne bleibende Schäden oder Verbrennungen begrenzter Größe fallen beispielsweise hierunter.

Kann eine permanente Auswirkung einer Verletzung, beispielsweise der Verlust eines Fingers, auftreten, so ist die Schwere der Verletzung mit dem Wert 3 eingestuft. Diese Einstufung wurde innerhalb der Risikoanalyse gewählt, um Verletzungen von stürzenden Radfahrern, Joggern oder Rollerbladern einzustufen. Hierbei wurde davon ausgegangen, dass diese sich mit höheren Geschwindigkeiten bewegen und ein Sturz im Extremfall zu bleibenden Schäden führen kann.

Bei möglichen schweren Verletzungen, wie der Verlust von Gliedmaßen, eines Auges bis hin zu tödlichen Verletzungen, wird die Einstufung 4 gewählt. Hierzu zählt beispielsweise ein tödlicher Stromschlag oder ein unentdeckter Brand, der im schlimmsten Fall zum Tod durch eine Rauchgasvergiftung führen kann.

9.6.2 Parameter F (Häufigkeit und Dauer des Aufenthalts im Gefahrenbereich)

Die Einstufungen des Parameters F spiegeln die Häufigkeit und damit die Höhe der Frequentierung des Gefahrenbereichs zum einen und die Dauer des Aufenthalts im Gefahrenbereich zum anderen wider. Der jeweils zutreffendere Faktor einer definierten Situation wird zur Bewertung herangezogen. Die Einstufung kann Werte zwischen 2 und 5 annehmen. Eine Einstufung in 1 ist in den herangezogenen normativen Referenzen nicht vorgesehen. Je Größer der Wert von F ist, desto häufiger bzw. desto länger ist der Aufenthalt im Gefahrenbereich.

Wird eine Einstufung in 2 gewählt, wird davon ausgegangen, dass die Gefahrensituation $< 1 \times$ pro Jahr auftritt. Wird mit einer Frequentierung der Gefahrenstelle öfter als $1 \times$ pro Jahr, jedoch weniger als $1 \times$ pro 2 Wochen gerechnet, so ist als Einstufung eine 3 zu wählen. Eine Einstufung in 4 ist notwendig, wenn die Gefährdung öfter als $1 \times$ pro 2 Wochen, jedoch seltener als $1 \times$ Tag auftritt. Ist von einer Häufigkeit bzw. Dauer von mindestens $1 \times$ pro Tag oder öfters auszugehen, so ist die Einstufung mit 5 festzulegen.

Innerhalb der durchgeführten Risikoanalyse wurde ausschließlich die Einstufung 5 gewählt, da davon auszugehen ist, dass die Ladung eines elektrifizierten Fahrzeuges, aufgrund der noch begrenzten Reichweiten, täglich erfolgt.

9.6.3 Parameter W (Wahrscheinlichkeit des Auftretens des gefährlichen Ereignisses)

Der Parameter W beschreibt die Eintrittswahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ereignisses und damit die Wahrscheinlichkeit des Eintretens des Schadens. Die Wahrscheinlichkeit kann Werte von 1 (vernachlässigbar), 2 (selten), 3 (möglich), 4 (wahrscheinlich) bis 5 (sehr hoch) annehmen. Die Wahrscheinlichkeit steigt mit der Höhe des numerischen Wertes. Die Einstufung erfolgt innerhalb dieser Risikoanalyse in Bezug auf die zu beurteilenden Situationen.

Im Gegensatz zu den bisherigen Faktoren, bei denen die Einstufungskriterien klar formuliert sind, ist eine klare Zuweisung einer Wahrscheinlichkeit zu einer Situation deutlich schwieriger. Wichtig ist hierbei, eine durch die gesamte Risikoanalyse durchgängig gleichbleibende Einstufung zu definieren.

Die Einstufung in 1 wird gewählt, wenn die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des gefährlichen Ereignisses innerhalb der definierten Situation als „vernachlässigbar“ angesehen werden kann. Als Beispiele aus der Risikoanalyse für eine Einstufung, die als „vernachlässigbar“ (1) eingestuft werden kann, ist eine Kombination von Situationen wie „das Fahrzeug steht in einer privaten Garage mit Gefälle und wird gerade durch Werkstattpersonal gewartet/repariert“. Das Auftreten einer Situation aus der Kombination einer Vielzahl von Einzelsituationen ist derart unwahrscheinlich, dass diese als „vernachlässigbar“ (1) eingestuft werden kann.

Ist eine Auftretenswahrscheinlichkeit als „selten“ anzusehen, wird diese mit dem Wert 2 eingestuft. Zur Verdeutlichung dient hierzu die beispielhafte Situationskombinatorik „Fahrzeug steht auf einem privaten Abstellplatz und es tritt Eisregen auf“. Das Auftreten von Eisregen ist in unseren Breitengraden als „selten“ (2) einzuordnen.

Ist davon auszugehen, dass ein Schaden „möglicherweise“ eintritt, so ist der Wahrscheinlichkeitsfaktor 3 zu wählen. Typische Faktoren für diese Einstufung als „möglich“ (3) sind gängige Situationen, wie beispielsweise das „Parken im öffentlichen Raum“ in Kombination mit „Regen oder hoher Außentemperatur“.

Wird die Auftretenswahrscheinlichkeit als „wahrscheinlich“ angenommen, nimmt die Wahrscheinlichkeit den Wert 4 an. Innerhalb dieser Risikoanalyse wurde beispielsweise die Wahrscheinlichkeit des Quetschens von Gliedmaßen bei der Kontaktierung des Ladesteckers, als „wahrscheinlich“ (4) eingestuft, sollte die Konstruktion des Ladesteckers Schwächen in der Handhabung aufweisen.

Eine „sehr hohe“ Eintrittswahrscheinlichkeit wird mit einer 5 belegt. Mit der Einstufung „sehr hoch“ (5) wurden insbesondere Situationen belegt, die sich auf das Laden in der Nacht sowie auf das Laden in der Nähe von Verkehrsteilnehmern beziehen. Aufgrund der Dauer eines Ladevorganges kann es nahezu immer der Fall sein, dass ein Fahrzeug über Nacht an einer Steckdose hängt. Wird noch dazu

im öffentlichen Raum geladen, ist eine Frequentierung des Fahrzeugs von Passanten zu erwarten.

9.6.4 Parameter P (Möglichkeit der Vermeidung der Gefährdung)

Als letzten Beurteilungsfaktor zur Quantifizierung eines Risikos dient die Einstufung der Möglichkeit der Vermeidung der Gefährdung. Hierbei wird beurteilt, ob und inwieweit ein Betroffener oder ein Außenstehender in der Lage ist, eine Gefährdung zu erkennen bzw. diese durch Einschreiten zu mindern oder zu beseitigen. Der Werteskala ist dreistufig und kann Werte von 1 (wahrscheinlich), 3 (selten) und 5 (unmöglich) annehmen. Auch hier gilt der Grundsatz, dass mit der Höhe der Einstufung das Risiko steigt und somit die Wahrscheinlichkeit einer Vermeidung oder Minderung des Risikos sinkt.

Zudem sind auch hier, wie bei dem Faktor W, die Einstufungskriterien nicht eindeutig anwendbar formuliert. Um eine Durchgängigkeit der Einstufungen innerhalb der gesamten Risikoanalyse zu gewährleisten, sind fundierte Begründungen von entscheidender Wichtigkeit.

Wird die Möglichkeit der Vermeidung einer Gefährdung als „wahrscheinlich“ angesehen, so wird die Einstufung mit 1 vorgenommen. Hierzu muss die Gefährdung auch durch Laien offensichtlich erkennbar sein und durch eine leicht durchführbare, intuitive Vermeidungsmaßnahme beherrscht werden können. Als Beispiel aus dieser Risikoanalyse kann ein gespanntes Ladekabel innerhalb der privaten Garage genannt werden. Die Gefahr ist in der Regel augenscheinlich und intuitiv. Durch die Wahl eines alternativen Weges oder die Beseitigung der Gefahrenstelle kann eine Gefährdung vermieden bzw. vermindert werden. Wird die Erkennungs- und Vermeidungsmöglichkeit als „selten“ definiert, so ist eine Einstufung in 3 notwendig. Dies bedeutet, dass eine Vermeidung möglich ist, aber nicht als sicher gegeben angenommen werden kann. In der Risikoanalyse wurde beispielhaft die Erkennung eines mechanisch defekten Ladesteckers mit dieser Einstufung belegt. Je nach Beschädigung kann ein aktives Teil, innerhalb des Ladesteckers, berührbar sein. Abhängig vom fachlichen Kenntnisstand und der Aufmerksamkeit des Nutzers ist eine Erkennung möglich, aber nicht zwingend gegeben, was eine Einstufung in 3 rechtfertigt. Entsteht beim Trennen eines Ladesteckers ein Lichtbogen, besteht u. a. durch die damit einhergehenden hohen Temperaturen sowie den

Abbrand eine Gefährdung für den Nutzer. Ein Ereignis dieser Kategorie ist durch kaum einen Nutzer erkennbar und eine Vermeidung ist aufgrund des plötzlichen und unvorhersehbaren Auftretens nicht möglich. Die Möglichkeit der Vermeidung der Gefährdung für den aufgezeigten Fall rechtfertigt eine Einstufung mit 5, „unmöglich“.

9.7 Quantifizierung des Risikos

Nach der Bestimmung der einzelnen Einstufungen für die Parameter „Schwere der Verletzung“ (S), „Häufigkeit und Dauer des Aufenthalts im Gefahrenbereich“ (H), „Wahrscheinlichkeit des Auftretens des gefährlichen Ereignisses“ (W) und „Möglichkeit der Vermeidung der Gefährdung“ (P) wird mittels des Risikographen (Tabelle 40) das Risiko für die zu beurteilenden Situationen quantifiziert.

Die „Schwere der Verletzung“ geht direkt als vertikale Einheit in die Matrix ein. Die weiteren drei Faktoren werden addiert und die Summe dessen bildet die horizontale Einheit. So ergibt sich, dass der „Schwere der Verletzung“ eine höhere Gewichtung bei der Quantifizierung des Risikos zukommt, da der gewählte Faktor direkt eingeht, während sich die restlichen drei Faktoren aufgrund der Summenbildung untereinander ausgleichen können. Wird die „Schwere der Verletzung“ als sehr hoch und somit als 4 eingestuft, ergibt sich in jedem Fall eine hohe Risikoeinstufung mit einem Wert von größer gleich SIL2.

Der Wertebereich des Risikographen reicht bei einem vernachlässigbarem Risiko von einem Ergebnisfeld „ohne spezifischen Eintrag“ (leeres Feld), dem Wert AM (andere Maßnahmen), über einen SIL1 und SIL2 bis hin zu einem SIL3 für ein sehr hohes Risiko. Ergibt das Ergebnis des Risikographen ein Feld „ohne einen spezifischen Eintrag“ (leeres Feld), besteht kein relevantes Risiko. In diesem Fall sind risikomindernde Maßnahmen nicht

Schwere der Verletzung S	Risikoklasse = Häufigkeit und Dauer F + Wahrscheinlichkeit W + Möglichkeit der Vermeidung P				
	4	5-7	8-10	11-13	14-15
4	SIL2	SIL2	SIL2	SIL3	SIL3
3		AM	SIL1	SIL2	SIL3
2			AM	SIL1	SIL2
1				AM	SIL1

Tab. 40: Risikograph

notwendig. Erfolgt eine Einstufung mit AM aus der Quantifizierung des Risikos, so besteht ein geringes, aber relevantes Risiko, das durch entsprechende Maßnahmen gemindert werden muss. Eine Einstufung des Risikos im Bereich von SIL1 bis SIL3 bedeutet, dass ein erhebliches Risiko vorliegt. Dabei gilt, je höher der SIL-Wert, desto höher ist das abzudeckende Risiko.

Es ist an dieser Stelle wichtig zu erwähnen, dass die SIL-Einstufung des Risikos der jeweiligen beurteilten Situation unter der Annahme erfolgte, dass derzeit keinerlei Maßnahmen aus derzeit gültigen Regelungen oder Vorschriften angewendet werden. Es wurde bewusst darauf Wert gelegt, dass die SIL-Einstufung das grundsätzliche Risiko widerspiegelt.

9.8 Sicherheitsziele und abgeleitete Schutzmaßnahmen

Jeder beurteilten resultierenden Situation, welche mit einem quantifizierten Risiko zwischen AM und SIL3 belegt wurde, muss ein Sicherheitsziel zugeordnet werden. Jedes zugeordnete Sicherheitsziel erbt die Risikoeinstufung der bewerteten resultierenden Situation.

Ziel ist es, dass vorherrschende Risiko aufgrund des definierten Sicherheitsziels (SZ) auf ein gesellschaftlich akzeptiertes Maß zu senken. Zur Umsetzung der Sicherheitsziele (SZ) sind entsprechende Schutzmaßnahmen (SM) festzulegen. Zutreffende Schutzmaßnahmen können unterschiedlichster Form sein. Sie können hinweisend, konstruktiv oder funktional ausgeführt sein. Die Bewertung des (Rest-)Risikos wird anschließend unter Berücksichtigung der getroffenen (Schutz-)Maßnahmen erneut bewertet. Ziel muss es sein, dass inkl. der getroffenen Maßnahmen kein (Rest-)Risiko und somit kein Rest-SIL mehr vorhanden sind.

Innerhalb dieser Risikoanalyse wird dies als „SIL nach Umsetzung der Maßnahme“ bezeichnet.

9.8.1 Sicherheitsziele

Tabelle 41 zeigt alle innerhalb der Risikoanalyse generierten Sicherheitsziele auf. Es ist gängig, dass verschiedenen „Resultierenden Situationen“ mit unterschiedlichen SIL-Einstufungen, ein und dasselbe Sicherheitsziel zugeordnet wird. Es ist somit notwendig, jedem Sicherheitsziel den höchsten zugehörigen SIL zuzuweisen. Nur dadurch

kann die Umsetzung eines Schutzziels mit der notwendigen Qualität erfolgen.

Es muss verdeutlicht werden, dass sich die Quantifizierung des Risikos (SIL-Einstufung) ausschließlich auf das Thema der Risikoanalyse, das Laden von Elektrofahrzeugen, bezieht. Wird ein abweichender Systemumfang betrachtet, können und werden abweichende Quantifizierungsparameter und wird somit eine abweichende SIL-Einstufung erfolgen. Als Beispiel für die Notwendigkeit einer genauen Festlegung des Betrachtungsumfangs dienen die Gefährdungen eines sich bewegenden Fahrzeuges aufgrund einer Fehlfunktion im eigen-

nen Antrieb. Im Zuge des Themas Laden von Elektrofahrzeugen wird von einer geringen Deltageschwindigkeit ausgegangen, da per Definition des Ladens das Fahrzeug zunächst parkt. Wird derselbe Fehlerfall innerhalb einer normalen Fahrt, z. B. in der Stadt, betrachtet, so ist die Deltageschwindigkeit deutlich höher und muss z. B. ein höheres Schadensausmaß angenommen werden.

In Summe wurden 23 Sicherheitsziele definiert, von denen zehn mit der Einstufung AM, drei mit SIL1, sieben mit SIL2 und immerhin drei mit der höchsten Einstufung SIL3 quantifiziert wurden.

Nr.	Sicherheitsziel	SIL
SZ1	Das Wegschleudern einer Person aufgrund eines sich spannenden Kabels, bzw. durch einen Ladestecker, verursacht durch den eigenen Antrieb des Fahrzeugs ist zu verhindern	AM
SZ2	Das Wegschleudern einer Person aufgrund eines sich spannenden Kabels, bzw. durch einen Ladestecker, verursacht durch grundsätzlich beherrschbare/vermeidbare Gegebenheiten/Einwirkungen ist zu verhindern	AM
SZ3	Das Quetschen einer Person aufgrund eines sich spannenden Kabels, bzw. durch einen Ladestecker, verursacht durch den eigenen Antrieb des Fahrzeugs ist zu verhindern	AM
SZ4	Das Quetschen von Gliedmaßen bei der Kontaktierung des Ladesteckers ist zu verhindern	AM
SZ5	Das Quetschen einer Person aufgrund eines sich spannenden Kabels, bzw. durch einen Ladestecker, verursacht durch grundsätzlich beherrschbare/vermeidbare Gegebenheiten/Einwirkungen von außen ist zu verhindern	AM
SZ6	Das Quetschen einer Person aufgrund eines sich spannenden Kabels, bzw. durch einen Ladestecker, verursacht durch grundsätzlich nicht beherrschbare/vermeidbare Gegebenheiten/Einwirkungen von außen ist zu verhindern	AM
SZ7	Abschürfungen an Gliedmaßen beim Trennen des Ladesteckers sind zu verhindern	AM
SZ8	Stolperstellen, aufgrund des Ladekabels oder des Ladesteckers, sind zu vermeiden	SIL2
SZ9	Gefahrenstelle aufgrund einer gespannten Ladeleitungen ist zu vermeiden	SIL2
SZ10	Ein Magnetfeld um die Ladeleitung darf nicht zu einer gesundheitlichen Gefährdung führen	SIL1
SZ11	Lichtbögen/Funkenbildung sind zu vermeiden	SIL3
SZ12	Berührbarkeit aktiver Teile an Ladestecker und -leitung sind zu vermeiden	SIL3
SZ13	Isolierung muss so ausgelegt sein, dass zu erwartende Umwelteinflüsse zu keiner Einschränkung der Isolierung führen	SIL3
SZ14a	Eindringen von Wasser in den Stecker aufgrund von Regen muss verhindert werden	SIL1
SZ14b	Eindringen von Wasser in den Stecker aufgrund von Schlagregen, Wasserfontänen oder Überschwemmungen muss verhindert werden	AM
SZ15	Die Temperatur von berührbaren Oberflächen des Ladesystems darf die gängigen Grenzwerte nicht überschreiten	SIL1
SZ16	Die Belastung durch das Gewicht der Stecker und der Ladeleitung ist auf ein zulässiges Maß zu begrenzen	AM
SZ17	Die Belastung durch die Steck- und Abzugskräfte ist auf ein zulässiges Maß zu begrenzen	AM
SZ18	Die Verwendung von nicht zugelassenen Adaptern ist zu vermeiden	SIL2
SZ19	Die Verwendung von Verlängerungsleitungen ist zu vermeiden	SIL2
SZ20	Die Berührbarkeit aktiver Teile ist, auch bei Gewalteinwirkung von außen (z. B. Vandalismus, Kupferdiebstahl), zu verhindern	SIL2
SZ21	Die Verwendung von Mehrfachsteckdosen ist zu vermeiden	SIL2
SZ22	Die Manipulation von Schutzmaßnahmen ist zu vermeiden	SIL2

Tab. 41: Sicherheitsziele

9.8.2 Abgeleitete Schutzmaßnahmen (SM)

Zur Umsetzung eines jeden Schutzziels (SZ) müssen konkrete Schutzmaßnahmen (SM) definiert werden, unter deren Einhaltung das Schutzziel erfüllt wird. Dabei ist es durchaus möglich, dass für die Einhaltung eines Schutzzieles mehrere parallel gültige Schutzmaßnahmen notwendig sind oder alternative gültige Schutzmaßnahmen herangezogen werden können.

Tabelle 42 fasst alle den Schutzzielen gegenüber gestellten Schutzmaßnahmen zusammen. Im Anschluss an die Definition der getroffenen Schutzmaßnahmen wird überprüft, ob diese eine ausreichende Wirksamkeit haben und somit nach der Umsetzung der Maßnahme keine verbleibende SIL-Einstufung mehr getroffen werden muss. Somit ist die Wirksamkeit einer Schutzmaßnahme ausreichend, wenn in der Spalte „SIL nach Umsetzung“ weder ein AM noch ein SIL eingetragen werden muss.

Die Ergebnisse der Tabelle 42 in Spalte „SIL nach Umsetzung“ zeigen, dass die veranschlagten Schutzmaßnahmen bei korrekter Umsetzung wirksam sind und kein verbleibender SIL-Wert stehen bleibt.

Lediglich beim Schutzziel 6 (SZ6) „Das Quetschen einer Person aufgrund eines sich spannenden Kabels bzw. durch einen Ladestecker verursacht durch grundsätzlich nicht beherrschbare/vermeidbare Gegebenheiten/Einwirkungen von außen ist zu verhindern“ kann nicht davon ausgegangen werden, dass die definierte Schutzmaßnahme 6 (SM6) „Das Fahrzeug muss möglichst sicher abgestellt werden“ greift. Hierzu ist dem Benutzer ein entsprechender Hinweis in der Bedienungsanweisung zu geben“, welcher nicht zwingend eine ausreichende Reduzierung des Risikos darstellt. Grund hierfür ist, dass die definierten „grundsätzlich nicht beherrschbaren/ vermeidbaren“ Ereignisses, z. B. ein Auffahrunfall, auch durch die Umsetzung der Maßnahme nicht zwingend verhindert werden kann.

Eine weitere wirksame Schutzmaßnahme lässt sich an dieser Stelle nicht festlegen, ohne die Nutzung eines Fahrzeuges oder die Mobilitätsfreiheit eines Nutzers massiv einzuschränken. Des Weiteren scheint ein Verkehrsunfall im Allgemeinen, inkl. aller Auswirkungen bis hin zum Tod von Verkehrsteilnehmern, immer noch gesellschaftlich akzeptiert zu sein. Wäre dies nicht der Fall, würde die Gesellschaft weitaus drastischere Maßnahmen fordern,

Nr. SZ	Nr. SM	Schutzmaßnahme	SIL nach Umsetzung
SZ1 + SZ3	SM1	Der Fahrantrieb muss deaktiviert sein (Kl. 15 = 0), solange der Ladestecker angesteckt ist.	---
SZ2 + SZ5	SM2	Das Fahrzeug muss vor dem Anstecken des Ladesteckers gegen Wegrollen gesichert werden. Hierzu ist dem Fahrer anzuweisen, zum Abstellen des Fahrzeuges die Handbremse zu aktivieren oder die Stellung P am Gangwahlschalter des Automatikgetriebes einzulegen.	---
SZ4	SM4	Die Ladestecker sind derart ergonomisch zu formen, dass ein Quetschen von Gliedmaßen beim Kontaktieren des Ladesteckers ausgeschlossen werden kann.	---
SZ6	SM6	Das Fahrzeug muss möglichst sicher abgestellt werden. Hierzu ist dem Benutzer ein entsprechender Hinweis in der Bedienungsanweisung zu geben.	AM
SZ7	SM7	Die Ladestecker sind derart ergonomisch zu formen, dass ein Abschürfen von Gliedmaßen beim Trennen ausgeschlossen werden kann.	---
SZ8 + SZ9	SM8	<ul style="list-style-type: none"> a) Ein Ladekabel muss in einer Signalfarbe ausgeführt sein und b) Eine Ladestelle muss derart platziert sein, dass ein zu ladendes Fahrzeug in direkter Umgebung geparkt werden kann und c) Der Fahrer muss darauf hingewiesen werden, dass er das Fahrzeug möglichst nahe an der Ladestelle abstellen muss und d) Der Fahrer muss darauf hingewiesen werden, dass er die Ladeleitung „ordnungsgemäß“ verlegt. 	---

Tab. 42: Abgeleitete Schutzmaßnahmen inkl. SIL nach Umsetzung der Maßnahmen

Nr. SZ	Nr. SM	Schutzmaßnahme	SIL nach Umsetzung
SZ10	SM10	Der stellvertretende Grenzwert eines Magnetfeldes von 0,01 mT für einen Herzschrittmacher ¹ ist einzuhalten.	---
SZ11	SM11	a) Schuko, CEE blau + rot: Die Ladeleistung ist zu begrenzen und	---
		b) Schuko, CEE blau + rot: Die verwendeten Stecker und Kupplungen sind für die verwendete Ladeleistung ausgelegt und	
		c) Schuko, CEE blau + rot: Die verwendeten Stecker und Kupplungen sind entsprechend konstruiert, dass diese unter Last gezogen werden dürfen und dabei kein Lichtbogen und keine Funkenbildung entstehen und	
		d) Typ 1, 2, 3: Die Ladeleistung ist zu begrenzen und	
		e) Typ 1, 2, 3: Die verwendeten Stecker und Kupplungen sind für die verwendete Ladeleistung ausgelegt und	
		f) Typ 1, 2, 3: Die verwendeten Stecker und Kupplungen sind entsprechend konstruiert, dass diese unter Spannung gezogen werden dürfen und dabei kein Lichtbogen und keine Funkenbildung entstehen oder sind verriegelt und können nicht unter Last getrennt werden	
SZ12	SM12	Ladestecker und -leitungen müssen berührungsgeschützt, also mindestens IPXXB, ausgeführt sein	---
SZ13	SM13	Isolierungen innerhalb der Ladegarnitur müssen so ausgelegt sein, dass zu erwartende Umwelteinflüsse zu keiner Einschränkung der Isolation führen.	---
SZ14a	SM14a	spritzwassergeschützte Auslegung der Komponenten der Ladegarnitur	---
SZ14b	SM14b	wasserdichte Auslegung der Komponenten der Ladegarnitur	---
SZ15	SM15	Ladestecker und -leitung dürfen unter Worst-Case-Bedingungen eine Oberflächentemperatur von 91 °C bis 99 °C, je nach Kunststoffoberfläche nicht überschreiten	---
SZ16	SM16	Das Gewicht des Ladesteckers inkl. der Leitung darf eine Gesamtmasse bei der Nutzung von 10 kg nicht überschreiten	---
SZ17	SM17	Die Steck- und Abzugskräfte dürfen die Kraft von 100 N nicht überschreiten.	---
SZ18	SM18	Der Fahrer muss einen ausreichenden Hinweis erhalten, dass nur die Verwendung von zugelassenen Adaptern erlaubt ist	---
SZ19	SM19	Der Fahrer muss einen ausreichenden Hinweis erhalten, dass die Verwendung von nicht zugelassenen oder selbstgebastelten Verlängerungsleitungen nicht erlaubt ist	---
SZ20	SM20	a) LBA1: Die Ladeinfrastruktur und alle Steckverbindungen, müssen vorhersehbaren, mechanischen Einflüssen, inkl. vorhersehbarem Missbrauch, standhalten	---
		b) LBA1: Eine Beschädigung der Ladeleitung die dazu führt, dass aktive Teile berührt werden könnten, muss erkannt und die Spannungsfreiheit hergestellt werden	
		c) LBA2: Die Ladeinfrastruktur und alle Steckverbindungen, müssen vorhersehbaren, mechanischen Einflüssen, inkl. vorhersehbarem Missbrauch, standhalten	
		d) LBA2: Eine Beschädigung der Ladeleitung die dazu führt, dass aktive Teile berührt werden könnten, muss erkannt und die Spannungsfreiheit hergestellt werden	
		e) LBA3: Die Ladeinfrastruktur und alle Steckverbindungen, müssen vorhersehbaren, mechanischen Einflüssen, inkl. vorhersehbarem Missbrauch, standhalten	
		f) LBA3: Eine Beschädigung der Ladeleitung die dazu führt, dass aktive Teile berührt werden könnten, muss erkannt und die Spannungsfreiheit hergestellt werden	
		g) LBA4: Die Ladeinfrastruktur und alle Steckverbindungen, müssen vorhersehbaren, mechanischen Einflüssen, inkl. vorhersehbarem Missbrauch, standhalten	
		h) LBA4: Eine Beschädigung der Ladeleitung die dazu führt, dass aktive Teile berührt werden könnten, muss erkannt und die Spannungsfreiheit hergestellt werden	
SZ21	SM21	Der Nutzer muss einen ausreichenden Hinweis erhalten, dass die Verwendung von Mehrfachsteckdosen zum Laden eines Elektrofahrzeuges nicht erlaubt ist	---
SZ22	SM22	Der Nutzer muss einen ausreichenden Hinweis erhalten, dass Schutzmaßnahmen nicht verändert werden dürfen	---

¹ Der Herzschrittmacher (HSM) wird an dieser Stelle repräsentativ für alle Arten von medizinischen Implantaten angesehen, da dieser bei einer Störung die größten Auswirkungen haben kann und somit den Worst-Case-Fall darstellt.

Tab. 42: Fortsetzung

um Unfallfolgen zu vermeiden. Es scheint der Wunsch nach Mobilität größer zu sein als die Ächtung der Ursachen von Verkehrsunfällen.

In dem Fall, woraus das Schutzziel 6 (SZ6) hervorgeht, wird zudem nicht betrachtet, ob ein Verkehrsteilnehmer durch ein Fahrzeug selbst zu Schaden kommt, da dies kein spezielles Risiko des Ladens von Elektrofahrzeugen darstellt. Das Risiko, von einem Fahrzeug erfasst zu werden, besteht immer, sobald man am Straßenverkehr teilnimmt. In dem betrachteten Fall geht es um die spezifische Gefährdung beim Laden, nämlich dass ein Verkehrsteilnehmer durch das Ladekabel oder einen Ladestecker aufgrund eines Verkehrsunfalles verletzt wird. Die ermittelte Schwere der Verletzung (Risiko-parameter S) ist bei der spezifischen Risikobetrachtung in Bezug auf das Laden zumindest nicht als tödlich einzustufen, wohingegen das direkte Erfassen durch ein Fahrzeug durchaus als tödlich eingestuft werden muss.

Die Ausführungen legen dar, dass eine mögliche Verletzung innerhalb der Nutzung eines Fahrzeuges gesellschaftlich akzeptiert sein muss, wenn mit immerhin derselben Wahrscheinlichkeit ein tödliches Ereignis ausgelöst werden kann.

10 Beschreibung und Ergebnisse zur praktischen Testreihe

Im Laufe der Risikobeurteilung der einzelnen Situationen stellte sich an verschiedenen Stellen heraus, dass für die Abschätzung eines Risikos weitere Erfahrungswerte notwendig sind. Konnten diese zum Beispiel nicht über weitere Expertenmeinungen und Recherchen eingeholt werden, wurden an diesen Stellen praktische Versuche durchgeführt. Ziel der Versuche war es, zum einen ein nicht oder nur vage einschätzbare Risiko besser zu quantifizieren und zum anderen die Wirksamkeit von getroffenen Maßnahmen detaillierter beurteilen zu können.

Nachfolgende Tests wurden im Laufe der Risikoanalyse festgelegt und durchgeführt:

- Messung des magnetischen Feldes einer Ladeleitung,
- Messung des Gewichts von Ladesteckern und -leitungen,
- Schlagtest an Ladesteckern,

- Überprüfung der Detektionsmöglichkeit einer Isolationsbeschädigung mittels einer Metallschirmung der Ladeleitung.

Im Laufe der Risikoanalyse ergab es sich, dass innerhalb der Gefahrengruppe „Elektrische Gefährdungen“ die Gefahr durch „Auswirkungen auf medizinische Implantate“ zu beurteilen war. An dieser Stelle war es zunächst unklar, wie hoch das Risiko des magnetischen Feldes um eine Ladeleitung tatsächlich ist und wie hoch sich somit die Gefährdung für den Träger eines medizinischen Implantates darstellt. Als repräsentatives medizinisches Implantat wurde der Herzschrittmacher definiert, da hier die größte Auswirkung und somit das höchste Risiko zu sehen sind. Um die Quantität dieses Risikos besser abschätzen zu können, wurde die „Messung des magnetischen Feldes einer Ladeleitung“ durchgeführt, deren Ergebnisse unter Kapitel 10.1 festgehalten sind.

Die Risikoanalyse zum Laden von Elektro- und Hybridfahrzeugen hat innerhalb der Gefahrengruppe „Relevanz für ergonomische Gefährdungen“ als eine mögliche Ursache für die „Gefahr von Störungen des Bewegungsapparates“ das Gewicht einer Ladegarnitur identifiziert. Es wurde festgelegt, dass ein Ladestecker inkl. Ladeleitung bei der Nutzung eine Gesamtmasse von 10 kg nicht überschreiten darf. Dieser Grenzwert bezieht sich auf Angaben aus § 4 Abs 2 Satz 1 Mutterschutzgesetz für gelegentliche Belastungen und wird als Grenzwert für eine Ladeleitung inkl. beider Stecker (bei Ladebetriebsart LBA2 zzgl. IC-CPD-Box) angenommen. Hintergrund ist, dass beispielsweise ein LBA1- bzw. LBA2-Ladekabel nicht fest mit der Installation verbunden sind und in der Regel vor bzw. nach der Benutzung im Fahrzeug gelagert und deshalb über kurze Strecken gehoben und getragen werden müssen. Zur Überprüfung der Einhaltung des zulässigen maximalen Gewichts wurden die verschiedensten Kombinationen und Steckertypen inkl. Ladeleitung gewogen. Die Ergebnisse der Testreihe sind im Kapitel 10.2 dargestellt.

Aus der Risikoanalyse der Gefahrengruppe „Gefahr von weiteren Problemen als Folge menschlichen Fehlverhaltens“ hat sich ergeben, dass die mechanische Beständigkeit der eingesetzten Ladestecker, gerade hinsichtlich der möglichen Berührbarkeit von aktiven Teilen nach einer Gewalteinwirkung, eine wichtige Rolle spielt. Mittels einer Testreihe soll die Beständigkeit der unterschiedlichen Steckertypen gegenüber mecha-

nischen Einflüssen von außen verglichen werden. Als gängigste Steckertypen werden der Schuko-stecker in einer PVC- und einer Gummi-Ausführung, ein CEE-blau-, ein CEE-rot- und ein Typ-2-Stecker getestet. Der Fokus bei der Prüfung wird auf die o. g. Steckverbindungen gelegt, wohlweisend, dass gerade in Japan und Frankreich Ladestecker vom Typ 1 und CHAdEMO einen höheren Verbreitungsgrad haben. In Deutschland und einem Großteil Europas werden sich aus heutiger Sicht, zumindest mittelfristig, die Typ-2-Varianten durchsetzen. Die Typ-2-Steckverbindung wird somit stellvertretend für die anderen spezifischen Ladesteck-Verbindungen intensiv betrachtet. Eine IC-CPD-Box, die Bestandteil einer LBA2-Ladegarnitur ist, wurde von der Prüfung explizit ausgenommen. Der Normenentwurf zur IEC 62752 fordert hinsichtlich der mechanischen Festigkeit des Gehäuses der IC-CPD-Box umfangreiche Tests. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Steckertypen und der damit zusammenhängenden unterschiedlichen Typprüfungen ist davon auszugehen, dass die Stecker in Bezug auf mögliche Beschädigungen das schwächste Glied darstellen. Dies macht eine Risikoabschätzung für die Steckverbindungen, im Gegensatz zur IC-CPD-Box, notwendig. Die Ergebnisse der Testreihe sind im Kapitel 10.3 dargestellt.

Ebenfalls innerhalb der Gefahrengruppe „Gefahr von weiteren Problemen als Folge menschlichen Fehlverhaltens“ hat sich ergeben, dass durch eine mechanische Beständigkeit der Ladeleitung eine stromführende Phase berührt werden kann. Aufgrund verschiedener äußerer Einflüsse, wie die versehentliche Vorschädigung der Leitung durch z. B. Quetschen im Bereich des Kofferraumdeckels, Einwirkung durch Überfahren, kann es zu einer Beschädigung der Isolation kommen. Neben den versehentlichen Beschädigungen kann eine bewusste Gewalteinwirkung beispielsweise mittels eines Trennwerkzeuges (Seitenschneider etc.), zu einer Beschädigung einer Ladeleitung führen.

Im Laufe der Durchführung der Risikoanalyse ergab sich die Notwendigkeit, eine wirkungsvolle Maßnahme zur Detektierung einer Isolationsbeschädigung an einer Ladeleitung zu benennen. Ziel ist es, Personen vor spannungsführenden berührbaren Teilen der Ladeleitung zu schützen. Als eine mögliche Maßnahme wurde eine metallische Schirmung innerhalb der Leitungsisolierung definiert. Diese muss niederohmig mit dem örtlichen Potenzialausgleich verbunden werden. Die beschriebenen Tests im Kapitel 10.4 sollen die Wirksamkeit der definierten Maßnahme überprüfen.

10.1 Messung des magnetischen Feldes einer Ladeleitung

10.1.1 Testvorbereitung/-beschreibung

Als Grundlage für die Ermittlung der magnetischen Flussdichte wird die EN 12198:2008 in den Teilen 1 und 2 herangezogen. Die derzeit präsentesten Ladeverfahren wurden hinsichtlich deren emittierten magnetischen Feldes untersucht. Repräsentativ für das Laden am Hausnetz werden ein LBA2-Ladekabel und für das Laden mit spezielleren Leitungen ein LBA3-Ladekabel gemessen. Die gewählten Stromstärken werden als repräsentativ und zum derzeitigen Stand als gängige Werte angesehen und aus diesem Grund ausgewählt. Die ermittelten Grenzwerte bzgl. der Störimpfindlichkeit von Herzschrittmachern gemäß der Empfehlung der Strahlenschutzkommission aus dem Jahr 2008 beträgt 0,01 mT und wird mit den gemessenen Werten verglichen und bewertet.

10.1.2 Testaufbau

- Messung in Messzelle 1 (Absorberhalle),
- Kabelhöhe 85 cm über Groundplane (Kabel auf Tisch),
- Messabstand radial zum Kabel 25 cm,
- Leitungslänge zwischen Last und Anschlussstecker 5 m,
- Anschluss an Drehstrom der Messzelle (gefiltert) und Abschluss mit Lastwiderstand,
- Messpunkt 1: 2 m vom Anschlussstecker,
- Messpunkt 2: am Anschlussstecker,
- Messbandbreite 10 Hz-400 kHz,
- Leermessung 0,02 μ T.



Bild 11: Messaufbau LBA2-Leitung



Bild 12: Messpunkt 1 (MP1); LBA2-Leitung



Bild 15: Messpunkt 1 (MP1); LBA3-Leitung



Bild 13: Messpunkt 2 (MP2); LBA2-Leitung



Bild 16: Messpunkt 2 (MP2); LBA3-Leitung



Bild 14: Messaufbau LBA3-Leitung

10.1.3 Ergebnisse

In Tabelle 43 werden die Messergebnisse dargestellt.

Der Grenzwert von $10 \mu\text{T}$ wird bei den durchgeführten Messungen nicht erreicht. Jedoch decken die durchgeführten Messungen ausschließlich die derzeit gängigsten Stromstärken bei der Ladung eines Elektrofahrzeuges für Ladebetriebsart LBA2 und LBA3 ab. Mittelfristig ist davon auszugehen, dass gerade beim DC-Laden mit deutlich höheren Stromstärken geladen wird, um die Ladezeit zu verkürzen. Weiterhin muss berücksichtigt werden,

Testobjekt	Stromstärke	Messwert	Grenzwert	Bemerkung
LBA2-Ladeleitung	63 Aac	MP 1: $0,39 \mu\text{T}$ MP 2: $2,65 \mu\text{T}$	10 μT	Grenzwert unterschritten
LBA3-Ladeleitung	32 Aac	MP 1: $0,03 \mu\text{T}$ MP 2: $1,83 \mu\text{T}$		Grenzwert unterschritten

Tab. 43: Ergebnisse Magnetfeldmessung

Nummer	Messgeräte	Typ	Hersteller
P1297	EM radiation meter	C.A 42	Chauvin Arnoux
P1298	EM radiation probe	MF-400	Chauvin Arnoux

Tab. 44: Messgeräte Magnetfeldmessung

Test-objekt	Messwert	Foto	Bemerkung
Typ-2-Stecker mit 2 m Ladeleitung	0,9 kg		---
Typ-2-Stecker mit 2 m Ladeleitung	1,2 kg		---
Typ 1 SAE J1772-2009 Ladestecker mit 2 m Ladeleitung	0,9 kg		---
Typ-2-Combo-Stecker mit 2 m Ladeleitung	3,75 kg		---
CHAdeMO DC-Stecker mit 2 m Ladeleitung	3,0 kg		---
CEEE-Stecker 3-Phasen 63 A mit 2 m Ladeleitung	2,2 kg		Als Worst-Case für LBA1- und LBA2-Ladestecker der Infrastruktur
Percedos ICCB-Box	0,6 kg		Gewicht aus Produkt-datenblatt ermittelt

Tab. 45: Ergebnisse Gewichtsmessung einzelner Komponenten

dass der Betrag der Stromstärke linear in die Berechnung der magnetischen Flussdichte eingeht. Daher ist davon auszugehen, dass bei höheren Stromstärken der Grenzwert von 0,01 mT für Herzschrittmacher überschritten werden könnte.

10.1.4 Messgeräte

In Tabelle 44 sind die Messgeräte für die Magnetfeldmessung aufgelistet.

10.2 Messung des Gewichts von Ladesteckern und -leitungen

10.2.1 Testvorbereitung/-beschreibung

Die Kräfte der Ladeleitungen bzw. Ladegarniturkomponenten wurden mittels eines Kraftmessgerätes ermittelt, anschließend erfolgte die Umrechnung der Ergebnisse in die gängigere Größe Kilogramm (kg). Die Prüflinge wurde hierzu vollständig mittels eines Befestigungselements mit dem Kraftmessgerät verbunden und freischwebend über den Boden gehoben, bis sich ein stabiler Messwert eingestellt.

10.2.2 Ergebnisse

In Tabelle 45 werden die Messeergebnisse der Gewichtsermittlung definierter einzelner Komponenten einer Ladegarnitur dargestellt.

Die Stecker sind zusammen mit einer Leitungslänge von ca. 2 m gemessen worden. Die Ermittlung des Gewichts erfolgte für die Infrastruktur- bzw. Fahrzeugseite getrennt. D. h., es wurde das Gewicht für einen Fahrzeugstecker inkl. 2 m Ladeleitung und einen Infrastrukturstecker inkl. 2 m Ladeleitung ermittelt. Zur Bestimmung des maximalen Gewichts einer kompletten Ladegarnitur für die jeweiligen Ladebetriebsarten muss das Gewicht der einzelnen Komponenten addiert werden. Das Gewicht wurde demnach für eine Ladeleitung von 4 m Gesamtlänge ermittelt. Tabelle 46 zeigt den jeweiligen Worst Case für die jeweilige Ladebetriebsart.

Es wurde ein maximales Gewicht von ca. 4 kg ermittelt, was deutlich unter der definierten Grenze von 10 kg liegt.

LBA	Gewicht Infrastrukturseite	IC-CPD	Gewicht Fahrzeugseite	ermitteltes Gesamtgewicht	zulässiges Gesamtgewicht
1	CEEE-Stecker 3-Phasen: 2,2 kg	nicht vorhanden	Typ-2-Stecker: 1,2 kg	3,4 kg	10 kg
2	CEEE-Stecker 3-Phasen: 2,2 kg	0,6 kg	Typ-2-Stecker: 1,2 kg	4,0 kg	
3	Typ-2-Stecker: 1,2 kg	nicht vorhanden	Typ-2-Stecker: 1,2 kg	2,2 kg	
4	ausschließlich direkt angeschlossen	nicht vorhanden	Typ-2-Combo-Stecker: 3,75 kg	3,75 kg	

Tab. 46: Ergebnisse Gewichtsermittlung kompletter Ladegarnituren

10.2.3 Messgeräte

Für die Gewichtsmessung wurde ein Messgerät verwendet (Tabelle 47).

Nummer	Messgeräte	Typ	Hersteller
O0985	Kraftmesser	Modell 326	Hahn + Kolb

Tab. 47: Messgeräte Gewichtsmessung

10.3 Schlag- und Stoßprüfung an Ladesteckern

10.3.1 Testvorbereitung/-beschreibung

Innerhalb dieser Testreihe werden die gängigsten Steckertypen einer Schlag- und Stoßprüfung gemäß DIN EN 62196-1:2012, Kapitel 26.2 unterzogen. In diesem Zusammenhang muss die in Kapitel 26.1 der DIN EN 62196-1:2012 geforderte Konditionierung auf $-30\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ für 16 h beachtet werden, bevor die Prüfungen nach Kapitel 26.2 durchgeführt werden.

Jeder Prüfling wird mit insgesamt fünf Schlägen beaufschlagt. Die ersten vier Schläge werden mittels eines Pendels ausgeführt, der fünfte und letzte Schlag erfolgt als Stoß mittels des senkrecht fallenden Schlagkörpers. Die Schlag-/Stoßprüfung wird mittels einer Stahlkugel mit einer Masse von 0,535 kg und einem Durchmesser von 50,8 mm durchgeführt. Dabei muss eine Energie von 1 Joule erzeugt werden. Die Prüflinge sind starr abgestützt. Die Schlageinwirkung erfolgt senkrecht auf den Prüfling. Die ersten vier Schläge werden mittels eines Pendels ausgeführt, wenn die Steckvorrichtung an einer senkrechten Platte montiert ist (siehe Bild 22). Das Kugelpendel muss so montiert werden, dass es parallel zu dieser Platte schwingt. Die Schlagfläche des Kugelpendels ist so anzuordnen, dass diese den Prüfling im Ruhezustand gerade berührt. Der Kontaktpunkt muss im Wesentlichen in der geometrischen Mitte der Seitenfläche der Steckvorrichtung oder der entsprechenden Projektion dieser Fläche liegen. Die Steckvorrichtung wird dann um 90° um eine Achse senkrecht zur Montagefläche gedreht. Anschließend ist ein zweiter Schlag auszuführen. Derselbe Vorgang ist bei zwei aufeinanderfolgenden Drehungen um 90° mit einer Gesamtzahl von vier Schlägen zu wiederholen. Der fünfte Schlag, also

der senkrechte Fall der Kugel auf den Prüfling, wird in einer Ebene des Kugelpendels senkrecht zur Ebene der Montageplatte ausgeführt, sodass das Kugelpendel die Probe an ihrer äußersten von der Montageplatte entfernten Stelle trifft.

Im Anschluss an die Prüfung werden die Prüflinge auf Beschädigungen hin untersucht, um festzustellen, ob der Prüfling unversehrt ist. Die nachfolgenden Kriterien müssen für eine erfolgreich bestandene Prüfung erfüllt sein:

- Es hat sich kein Teil abgelöst,
- kein Teil hat sich verschoben, gelockert oder in dem Ausmaß verformt, dass Funktion und Arbeitsweise nicht mehr wie vorgesehen gewährleistet sind, und die Prüflinge dürfen keine Beschädigungen aufweisen, sodass
 - nicht isolierte aktive Teile der Berührung mit dem Normprüffinger zugänglich sind,
 - das Gehäuse so stark beschädigt ist, dass kein annehmbarer mechanischer Schutz der inneren Teile der Steckvorrichtung sichergestellt ist,
 - diese dazu führen, dass die Zugentlastung der Steckvorrichtung, falls zutreffend, nicht den Anforderungen entspricht,
 - die Kriech- und Luftstrecken zwischen nicht isolierten aktiven Teilen unterschiedlicher Polarität, nicht isolierten aktiven Teilen und berührbaren spannungslosen oder geerdeten Metallteilen unter die Werte der Mindestanforderungen reduziert sind,
 - andere Anzeichen einer Beschädigung auftreten, welche die Gefahr eines Brandes oder elektrischen Schlages erhöhen könnten.



Bild 17: Schukostecker in der Ausführung PVC



Bild 21: Type-2-Stecker



Bild 18: Schukostecker in der Ausführung Gummi



Bild 19: CEE-blau-Stecker



Bild 22: Testaufbau Pendelprüfung



Bild 20: CEE-rot-Stecker

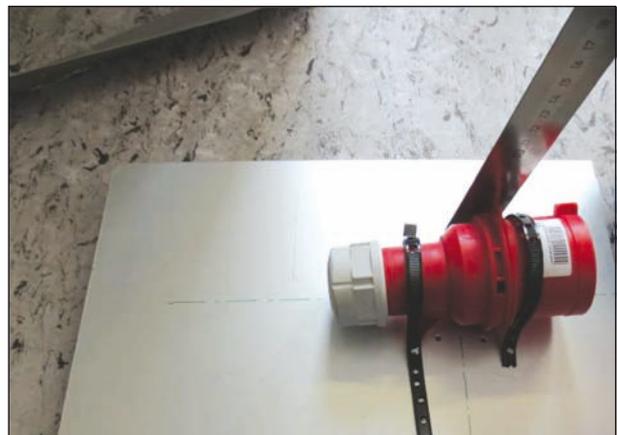


Bild 23: Testaufbau Fallprüfung

10.3.2 Ergebnisse

In Tabelle 48 werden die Testergebnisse dargestellt.

Keiner der geprüften Stecker wurde bei den Prüfungen beschädigt.

10.3.3 Messgeräte

Drei Messgeräte wurden für die Schlag-/Stoßprüfung herangezogen (Tabelle 49).

Testobjekt	Energie	Ergebnis	Bemerkung
Schuko-stecker Ausführung PVC	4 x Pendelschlag mit 1 Joule	keine Beschädigung	---
	1 x Stoßprüfung mit 1 Joule		
Schuko-stecker Ausführung Gummi	4 x Pendelschlag mit 1 Joule	keine Beschädigung	---
	1 x Stoßprüfung mit 1 Joule		
CEE-blau- Stecker	4 x Pendelschlag mit 1 Joule	keine Beschädigung	---
	1 x Stoßprüfung mit 1 Joule		
CEE-rot- Stecker	4 x Pendelschlag mit 1 Joule	keine Beschädigung	---
	1 x Stoßprüfung mit 1 Joule		
Type-2- Stecker	4 x Pendelschlag mit 1 Joule	keine Beschädigung	---
	1 x Stoßprüfung mit 1 Joule		

Tab. 48: Ergebnisse Schlagprüfung

Nr.	Messgeräte	Typ	Hersteller
O0297	Stahlkugel	500 g	Eigenbau
O1036	Stahllineal	1.500 mm, 2 Skalenteilungen	HAHN + KOLB Werkzeug GmbH
O0774	Klima- kammer	VC 4100	Vötsch Industrietechnik

Tab. 49: Messgeräte Schlag-/Stoßprüfung

10.4 Überprüfung der Detektionsmöglich- lichkeit einer Isolationsbeschä- digung mittels einer Metall- schirmung in der Ladeleitung

10.4.1 Testvorbereitung/-beschreibung

Die Versuche erfolgten zum einen an einer schematischen nachgebildeten LBA1-Ladung ohne RCD, jedoch mit Überstromsicherung, zum anderen an einer schematisch nachgebildeten LBA2- und LBA3-Ladung mit RCD und Überstromsicherung. Zur Überprüfung der Wirksamkeit des metallischen Schutzschirms, als geeignete Maßnahme zur Detektion von Isolationsbeschädigungen, wurden die Versuche an beiden Lademodifikationen jeweils an einer Leitung mit und ohne metallischen Schirm durchgeführt. Der Vorgang der gezielten Beschädigung erfolgte so lange, bis eine Gefährdung identifiziert werden konnte bzw. ein Schutzorgan auslöste (s. Bilder 24-27, Tabelle 50).



Bild 24: Testaufbau Isolationsbeschädigungsprüfung

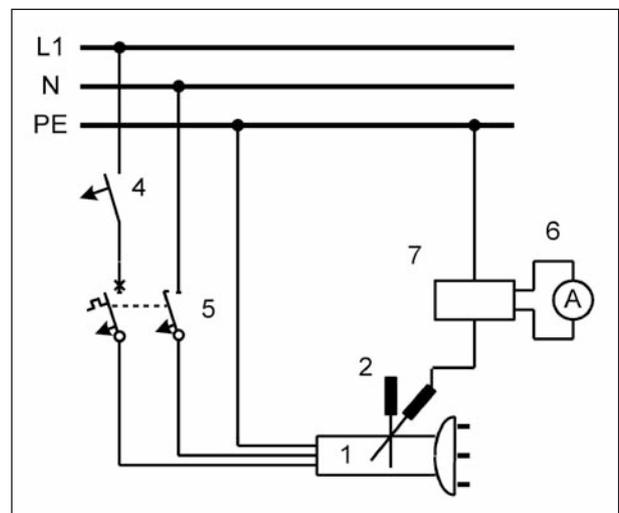


Bild 25: Schaltplan Isolationsbeschädigungsprüfung



Bild 26: Getestete ungeschirmte Ladeleitung



Bild 27: Getestete geschirmte Ladeleitung

Nr.	Beschreibung
1	Prüfung (Ladeleitung)
2	Bolzenschneider zur Beschädigung der Ladeleitung
3	Mess-Adapter
4	Überstromsicherung 16 A
5	Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) 30 mA
6	Multimeter zur Messung des Berührstroms
7	Mess-Einrichtung zur Prüfung des Berührungsstroms gemäß DIN EN 60950:2011

Tab. 50: Agenda Isolationsbeschädigungsprüfung

10.4.2 Ergebnisse

LBA1-Ladung (ohne RCD, aber mit Überstromsicherung)

Diese Versuchsreihe deckt die Ladung an älteren Hausinstallationen ab, welche noch über keinen RCD verfügen. Betroffen sind komplette LBA1-Ladeleitungen. Weiterhin ist der Teil einer LBA2-Ladeleitung abgedeckt, welcher sich zwischen der Infrastruktur und der IC-CPD-Box befindet.

In den Tabellen 51 und 52 werden die Messergebnisse dargestellt.

LBA3-Ladung (mit RCD und Überstromsicherung)

Diese Versuchsreihe deckt die LBA1- und LBA2-Ladung an neueren Hausinstallationen ab, welche über einen RCD verfügen. Weiterhin sind LBA3- und LBA4-Ladungen abgedeckt, da der Aufbau der speziellen Versorgungseinheiten (Infrastruktur) immer einen RCD vorsieht.

In den Tabellen 53 und 54 werden die Messergebnisse dargestellt.

Zusammenfassung

Beim Laden eines Elektrofahrzeuges ohne installierten RCD, also potenziell bei Laden mit einer LBA1- bzw. LBA2-Ladeeinrichtung, muss bei einer beschädigten Leitung ohne metallische Schirmung grundsätzlich von einer hohen Gefährdung für den Nutzer bzw. für den Schadensverursacher ausgegangen werden. Für LBA2-Ladeleitungen gilt dies für den Teil der Leitung, der sich zwischen der Infrastruktur und der IC-CPD-Box befindet. Sowohl bei einer vorgeschädigten Leitungsisolierung als auch bei einem Durchtrennen der Ladeleitung ist von einer direkten

Beschreibung	Welches Sicherheitsorgan löst aus?	Gemessener Ableitstrom	Bemerkung
Berührung einer vorgeschädigten Leitungsisolierung	keines	dauerhaft 10,68 mA	Berührung der Phase (L) → hohe Gefährdung
Teildurchtrennung mittels Bolzenschneider	Überstromsicherung	---	Das Auslösen der Überstromsicherung, als auch die Höhe des Ableitstroms ist stark davon abhängig, welcher Leiter zuerst durchtrennt wird → Berührung aktiver Leiter möglich → hohe Gefährdung

Tab. 51: Ergebnisse Isolationsbeschädigungsprüfung ohne metallische Schirmung in LBA1

Beschreibung	Welches Sicherheitsorgan löst aus?	Gemessener Ableitstrom	Bemerkung
Berührung einer vorgeschädigten Leitungsisolierung	keines	0 mA	Bei einer Beschädigung der ersten Isolationsschicht wird kein aktiver Leiter freigelegt → kein aktives Potenzial berührbar Erfolgt jedoch eine tiefere Beschädigung der Leitungsisolierung ist die Berührung aktiver Leiter möglich → Gefährdung möglich
Teildurchtrennung mittels Bolzenschneider	Überstromsicherung	---	Aufgrund der geerdeten Schirmung wird bei einer Durchtrennung des Leiters das Schneidewerkzeug über die Schirmung während des Vorganges geerdet → Gefährdung möglich

Tab. 52: Ergebnisse Isolationsbeschädigungsprüfung mit metallischer Schirmung in LBA1

Beschreibung	Welches Sicherheitsorgan löst aus?	Gemessener Ableitstrom	Bemerkung
Berührung einer vorgeschädigten Leitungsisolierung	RCD	kurzzeitig 10,33 mA	Berührung der Phase (L) sofortige Stromunterbrechung → Keine Gefährdung
Teildurchtrennung mittels Bolzenschneider	Überstromsicherung	---	Das Auslösen der Überstromsicherung bzw. der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ist stark davon abhängig, welcher Leiter zuerst durchtrennt wird. Eine direkte Gefährdung ist aber in beiden Fällen nicht gegeben → keine Gefährdung

Tab. 53: Ergebnisse Isolationsbeschädigungsprüfung ohne metallische Schirmung in LBA3

Beschreibung	Welches Sicherheitsorgan löst aus?	Gemessener Ableitstrom	Bemerkung
Berührung einer vorgeschädigten Leitungsisolierung	keines	0 mA	Bei einer Beschädigung der ersten Isolationsschicht wird kein aktiver Leiter freigelegt → kein aktives Potenzial berührbar Hinweis: erfolgt eine Beschädigung der zweiten Isolationsschicht, ist die Berührung aktiver Leiter möglich. Aufgrund des installierten RCDs wird der resultierende Ableitstrom begrenzt und die Stromzufuhr zeitnah unterbrochen → keine Gefährdung
Teildurchtrennung mittels Bolzenschneider	RCD	kurzzeitig 30,1 mA	Das Auslösen der Überstromsicherung bzw. der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ist stark davon abhängig, welcher Leiter zuerst durchtrennt wird. Eine direkte Gefährdung ist aber in beiden Fällen nicht gegeben → keine Gefährdung

Tab. 54: Ergebnisse Isolationsbeschädigungsprüfung mit metallischer Schirmung in LBA3

Berührung einer aktiven Leitung auszugehen. Von einem zeitnahen Ansprechen der Überstromsicherung ist nicht zwingend auszugehen. Zudem stellt diese auch keinen effektiven Personenschutz dar. Eine Überstromsicherung im eigentlichen Sinne ist ausschließlich als Leitungsabsicherung konzipiert.

Auch bei der Anwendung eines metallischen Schirms kann eine Gefährdung für den Nutzer bzw. für den Schadensverursacher nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Bei Durchtrennung mittels eines Trennwerkzeuges ist die Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung geringer, da das Trennwerkzeug im Normalfall über den metallischen Schirm während des Trennvorganges geerdet wird und damit der Ableitstrom nicht durch den Körper des Schadensverursachers fließt, sondern als direkter Kurzschluss über den Schutzleiter abgeführt wird. Wird eine Leitung im Vorfeld der Nutzung beschädigt, hängt das Gefährdungspotenzial von der Schwere der Beschädigung ab. Erfolgt eine Beschädigung nur der ersten Isolationsschicht (siehe Versuch), so kann ausschließlich die geerdete Schirmung berührt werden, was keinerlei Gefährdung beinhaltet. Es ist vorstellbar, dass eine Ladeleitung auch nach einer ersten Beschädigung weiter verwendet wird, beispielsweise weil diese unentdeckt bleibt. Eine fortschreitende Beschädigung der Isolationsschichten kann die Folge sein. Ist eine tiefgreifende Beschädigung erfolgt, muss von einem hohen Gefährdungspotenzial ausgegangen werden. Ein aktiver Leiter kann berührt werden, ohne dass eine entsprechende Schutzvorrichtung (RCD) zur Verfügung steht, die einen gefährlichen Körperstrom verhindert.

Der zweite Teil dieser Versuchsreihe bezieht sich auf eine Ladung mit installiertem RCD, auf das Laden eines Elektrofahrzeugs mittels der Ladebetriebsart LBA3 und LBA4 sowie einer teilweisen RCD-Absicherung beim LBA2-Laden (RCD wirkt nur zwischen der IC-CPD-Box und dem Fahrzeug).

Bei der Versuchsreihe ohne metallische Schirmung erfolgte bei der Berührung der Phase (L) aufgrund einer vorgeschädigten Leitungsisolierung die umgehende Abschaltung der Stromversorgung mittels des installierten RCD. Trotz des fließenden Ableitstromes besteht keine signifikante Gefährdung des Nutzers, aufgrund der zeitnahen Abschaltung. Im Fall der Teildurchtrennung mittels eines Trennwerkzeuges erfolgte eine sofortige Auslösung der Überstromsicherung. Die Art der Auslösung in diesem Fall ist stark davon abhängig, welche Leiter bei der

Durchtrennung zuerst betroffen sind. Von einer signifikanten Gefährdung des Schadensverursachers ist jedoch in keinem Fall auszugehen, da entweder, wie durch die Versuche aufgezeigt, ein Kurzschluss die Überstromsicherung auslöst, bevor ein Ableitstrom fließt, bzw. ein fließender Ableitstrom die sofortige Auslösung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung zur Folge hat.

Bei den Versuchen mit metallischer Schirmung in Kombination mit einer vorgeschädigten Leitungsisolierung hängt eine Gefährdung von der Tiefe der Beschädigung ab. Wurde lediglich die äußere erste Isolierschicht beschädigt, so kann der metallische und geerdete Schirm berührt werden, ohne dass dies eine Gefährdung darstellt. Ist die Beschädigung tiefer, so könnte ein aktiver Leiter berührt werden. Über den fließenden Ableitstrom würde eine sofortige Stromunterbrechung mittels der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ausgelöst werden. Einer Gefährdung des Nutzers kann damit entgegengewirkt werden. Wird eine Leitung mit einer metallischen Schirmung mittels eines Trennwerkzeuges durchtrennt, ist die Reaktion der Schutzorgane von der Reihenfolge der durchtrennten Leiter abhängig. Bei der Durchführung der Versuche wurde ein Ableitstrom erzeugt, der die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung auslöste. Eine signifikante Gefährdung des Schadensverursachers wird dadurch vermieden. Wird bei der Durchtrennung vor dem Auftreten eines Ableitstromes ein Kurzschluss erzeugt, löst die Überstromsicherung aus, was ebenfalls für den Schadensverursacher ohne eine signifikante Gefährdung vonstatten geht.

Als Fazit aus den durchgeführten Versuchen lässt sich feststellen, dass eine metallische Schirmung keinen exklusiven umfassenden Schutz für Nutzer bzw. Schadensverursacher bieten kann. Beim Laden eines Elektrofahrzeugs ohne eine vorhandene Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) kann aufgrund der besseren mechanischen Stabilität teilweise das Risiko verringert, aber nicht in ausreichendem Maße abgewendet werden. Wird ein metallischer Schirm eingesetzt, kann je nach Fehlerkonstellation aufgrund der vorrangigen Auslösung des Überstromschutzorgans sogar das Fließen eines Ableitstromes zur Aktivierung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) vermieden werden. Dies stellt jedoch nur eine geringe und nicht zwingend notwendige Reduzierung des Risikos dar. Die wichtigste Maßnahme bleibt der Einsatz einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD).

Hinweis

Die Ergebnisse gelten für ein System, bei dem der Energiefluss ausschließlich von der Infrastruktur in den Fahrzeugspeicher erfolgt und nicht bidirektional.

10.4.3 Messgeräte

Die Isolationsbeschädigungsprüfung wurde mit drei verschiedenen Messgeräten vorgenommen (siehe Tabelle 55).

Nr.	Messgeräte	Typ	Hersteller
O0429	Multimeter, digital	Metra Hit 29S	GMC-Instruments
O0426	Mess-Einrichtung für Tests gemäß EN60950, Anhang D.2	---	Eigenbau
O1052	Mess-Adapter	SMA-10	Voltcraft

Tab. 55: Messgeräte Isolationsbeschädigungsprüfung

Nr.	SIL (des Risikos vor den Maßnahmen)	Realer Rest-SIL (nach der Umsetzung der derzeitigen Vorschriften)
SM1 + SM3	AM	---
SM2 + SM5	AM	AM
SM4	AM	---
SM6	AM	AM
SM7	AM	---
SM8 + SM9	SIL2	SIL2
SM10	SIL1	SIL1
SM11	SIL3	---
SM12	SIL3	---
SM13	SIL3	---
SM14a	SIL1	SIL1
SM14b	AM	AM
SM15	SIL1	---
SM16	AM	---
SM17	AM	AM
SM18	SIL2	SIL2
SM19	SIL2	SIL2
SM20	SIL2	SIL2
SM21	SIL2	SIL2
SM22	SIL2	SIL2

Tab. 56: Übersicht über den derzeitigen Realen Rest-SIL

11 Anforderungs-Delta-Analyse

Im weiteren Verlauf der Analyse werden die definierten Schutzmaßnahmen (SM) zur Reduzierung des Risikos den derzeit gültigen gesetzlichen und normativen Maßnahmen gegenübergestellt. Werden Lücken zwischen den definierten und den normativ bzw. gesetzlich geforderten Maßnahmen festgestellt, wird der vorgesehene „SIL nach Umsetzung der Maßnahme“ nicht erreicht. Hierfür wird der Begriff „Realer Rest-SIL“ eingeführt. Dieser definiert, welches Risiko derzeit tatsächlich, auch nach der Umsetzung der derzeit gültigen gesetzlichen und normativen Maßnahmen, noch vorhanden ist.

Im weiteren Verlauf der Untersuchung wird für jede definierte Schutzmaßnahme dargestellt, welche Maßnahmen zusätzlich zu den derzeit gültigen Maßnahmen aus Normen und Vorschriften noch umgesetzt werden müssen, um den „Realen Rest-SIL“ auf den „SIL nach Umsetzung der Maßnahmen“ und somit auf ein gesellschaftlich akzeptiertes Risikomaß zu senken.

11.1 Übersicht derzeitiger Realer Rest-SIL

Tabelle 56 zeigt eine Übersicht, der auf die Sicherheitsmaßnahmen (SM) übertragenen SIL-Einstufungen aus der Risikoanalyse und dem „Realen Rest-SIL“. Wie bereits beschrieben, stellt der „Reale Rest-SIL“ das Maß des Risikos dar, welches, trotz Umsetzung der derzeit gültigen normativen und gesetzlichen Maßnahmen, noch besteht. Damit zeigt ein Rest-SIL mit einer Einstufung zwischen AM und SIL3 an, dass es Lücken in den bisher definierten Maßnahmen gibt.

11.2 Umzusetzende Maßnahmen

11.2.1 Schutzmaßnahme 1 (SM1)

Auf Grundlage der durchgeführten Risikoanalyse wurde als Schutzmaßnahme 1 (SM1) in Bezug auf die Gefahr des „Wegschleuderns einer Person aufgrund eines sich spannenden Kabels bzw. durch einen Ladestecker, verursacht durch den eigenen Antrieb des Fahrzeugs“ Folgendes definiert:

- Der Fahrtrieb muss deaktiviert sein (KI. 15 = 0), solange der Ladestecker angesteckt ist.

Im Kapitel 8.2 sind die verwendungsbezogene Sicherheitsanforderung SA8 und deren Referenzstandards dargelegt. Die Sicherheitsanforderung SA8 beschreibt, dass die Wegfahrsperrung des Fahrzeugs zu aktivieren ist, wenn es mit der Infrastruktur verbunden ist. Die normativen Referenzen zu dieser Anforderung sind die IEC/EN CD 61851-21:2010, Ed 2.0 [R5] und die ECE-R100; r2:2013 [R11].

Da es sich insbesondere bei der ECE-R100 um ein gesetzliches Regelwerk handelt, dessen Einhaltung von unabhängigen Stellen geprüft wird, ist davon auszugehen, dass die notwendigen Maßnahmen umgesetzt werden.

Damit kann die ursprünglich ermittelte Schwere des Risikos von AM auf ein „---“, und somit auf ein nicht mehr vorhandenes Risiko herabgestuft werden.

11.2.2 Schutzmaßnahme 2 (SM2)

Die aus den Ergebnissen der Risikoanalyse abgeleitete Schutzmaßnahme 2 (SM2) gegen „das Wegschleudern einer Person aufgrund eines sich spannenden Kabels, bzw. durch einen Ladestecker, verursacht durch grundsätzlich beherrschbare/vermeidbare Gegebenheiten/Einwirkungen“ wurde Folgendes definiert:

- Das Fahrzeug muss vor dem Anstecken des Ladesteckers gegen Wegrollen gesichert werden. Hierzu ist der Fahrer anzuweisen, beim Abstellen des Fahrzeuges die Handbremse zu aktivieren.

Derzeit sind keine normativen oder gesetzlich relevanten Anforderungen oder Maßnahmen bekannt, welche die in Schutzmaßnahme 2 (SM2) formulierten Anforderungen abdecken würden. Dadurch bleibt das ursprüngliche Risiko von AM bestehen.

Die Umsetzung der nachfolgend genannten Maßnahmen, würde das derzeitige Risiko von AM ausreichend reduzieren:

- Der Fahrer ist anzuweisen, vor einem Ladevorgang die Handbremse zu aktivieren.
 - Hierzu ist ein entsprechender Hinweis in der Fahrzeugbedienungsanleitung erforderlich und
 - ein sinnentsprechendes Piktogramm an der Ladekupplung des Fahrzeugs anzubringen.

11.2.3 Schutzmaßnahme 3 (SM3)

Die Definition einer separaten Schutzmaßnahme 3 (SM3) gegen „das Quetschen einer Person aufgrund eines sich spannenden Kabels bzw. durch einen Ladestecker, verursacht durch den eigenen Antrieb des Fahrzeugs“ ist nicht notwendig, da Schutzmaßnahme 1 (SM1) diese Anforderungen ebenfalls abdeckt.

11.2.4 Schutzmaßnahme 4 (SM4)

Aufgrund der durchgeführten Risikoanalyse wurde als Schutzmaßnahme 4 (SM4) gegen „das Quetschen von Gliedmaßen bei der Kontaktierung des Ladesteckers“ Folgendes definiert:

- Die Ladestecker sind derart ergonomisch zu formen, dass ein Quetschen von Gliedmaßen beim Kontaktieren des Ladesteckers ausgeschlossen werden kann.

Die verschiedenen Ladestecker, sowohl auf der Fahrzeugseite als auch auf der Seite der Infrastruktur, müssen typ- bzw. baumustergeprüft sein und entsprechen damit der einschlägigen Normung. So ist der Schukostecker, der beispielsweise für das LBA2-Laden verwendet wird, nach dem Standard DIN VDE 0620-2-1:2013 [R12] geprüft. CEE-Stecker, ebenfalls für das LBA2-Laden verwendet, werden nach dem Standard DIN EN 60309-1:2013 [R13] geprüft, Typ-2-Stecker (z. B. LBA2- und LBA3-Laden) sind nach der DIN EN 62196-2:2012 [R15] geprüft.

Das Risiko einer Gefährdung kann damit von der ursprünglich ermittelten Schwere des Risikos von AM auf ein „---“ herabgestuft werden.

11.2.5 Schutzmaßnahme 5 (SM5)

Die Definition einer separaten Schutzmaßnahme 5 (SM5) gegen „das Quetschen einer Person aufgrund eines sich spannenden Kabels bzw. durch einen Ladestecker, verursacht durch grundsätzlich beherrschbare/vermeidbare Gegebenheiten/Einwirkungen von außen“ ist nicht notwendig. Schutzmaßnahme 4 (SM4) deckt diese bereits ab.

11.2.6 Schutzmaßnahme 6 (SM6)

Aufgrund der durchgeführten Risikoanalyse wurde als Schutzmaßnahme 6 (SM6) gegen „das Quetschen einer Person aufgrund eines sich spannen-

den Kabels bzw. durch einen Ladestecker, verursacht durch grundsätzlich nicht beherrschbare/vermeidbare Gegebenheiten/Einwirkungen von außen“ folgendes definiert:

- Das Fahrzeug muss möglichst sicher abgestellt werden.

Die Sonderstellung dieser Schutzmaßnahme bzw. der Grund, weshalb diese Risikoeinstufung auch mit der Umsetzung verschiedener Maßnahmen nicht vollständig reduziert werden kann, wurde bereits im Kapitel 9.8.2 ausführlich dargelegt. Die Basis der Risikoeinstufung ist ein „grundsätzlich nicht beherrschbares/vermeidbares Ereignis“, wie beispielsweise ein Auffahrunfall, der durch einen anderen Verkehrsteilnehmer verursacht wurde.

Eine umsetzbare, aber nicht umfassend wirksame Maßnahme lautet:

- Der Benutzer wird über einen entsprechenden Hinweis in der Bedienungsanweisung aufgefordert, das Fahrzeug für einen Ladevorgang möglichst sicher abzustellen.

Wie bereits erläutert kann die Umsetzung dieser Maßnahme nicht die ursprünglich ermittelte Schwere des Risikos von AM reduzieren.

11.2.7 Schutzmaßnahme 7 (SM7)

Aufgrund der durchgeführten Risikoanalyse wurde als Schutzmaßnahme 7 (SM7) gegen „Abschürfungen an Gliedmaßen beim Trennen des Ladesteckers“ Folgendes definiert:

- Die Ladestecker sind derart ergonomisch zu formen, dass ein Abschürfen von Gliedmaßen beim Trennen ausgeschlossen werden kann.

Die verschiedenen Ladestecker, sowohl auf der Fahrzeugseite als auch auf der Seite der Infrastruktur, müssen typ- bzw. baumustergeprüft sein und entsprechen somit der einschlägigen Normung. So sind Schukostecker, welche z. B. für eine LBA2-Ladung verwendet werden, nach dem Standard DIN VDE 0620-2-1:2013 [R12] geprüft. CEE-Stecker, ebenfalls beispielsweise für das LBA2-Laden verwendet, werden nach dem Standard DIN EN 60309-1:2013 [R13] geprüft und Typ-2-Stecker (beispielsweise LBA2- und LBA3-Laden) sind nach der DIN EN 62196-:2012 [R15] zu prüfen.

Damit kann die ursprünglich ermittelte Schwere des Risikos von AM auf ein „---“, und somit auf ein

nicht mehr vorhandenes Risiko herabgestuft werden.

11.2.8 Schutzmaßnahme 8 (SM8)

Die durchgeführte Risikoanalyse ergab, dass zur Reduzierung des Risikos an dieser Stelle mehrere parallel zu erfüllende Maßnahmen definiert werden müssen. Als Schutzmaßnahmen 8 (SM8) gegen das „Stolpern“ aufgrund des Ladekabels oder des Ladesteckers wurde Folgendes definiert:

- a) Ein Ladekabel muss in einer Signalfarbe ausgeführt sein,
- b) eine Ladestelle muss derart platziert sein, dass ein zu ladendes Fahrzeug in direkter Umgebung geparkt werden kann,
- c) ein zu ladendes Fahrzeug muss möglichst nahe an der Ladestelle abgestellt werden und
- d) die Ladeleitung muss „ordnungsgemäß“ verlegt werden.

Zu den Schutzmaßnahmen SM8a und SM8d sind derzeit keinerlei gesetzliche oder normative Regelungen bekannt, die zu einer Umsetzung dieser Maßnahmen verpflichten. Bezüglich der Schutzmaßnahmen SM8b und SM8c wird in der DIN VDE 0100-722:2012 [R2] im Abschnitt 722.552.1012 auf entsprechende Anforderungen hingewiesen. Dieses Regelwerk enthält Anforderungen hinsichtlich der Stromversorgung für Elektrofahrzeuge. In der Praxis wird sich die Anwendung der enthaltenen Anforderungen auf neu errichtete LBA3-Ladestellen im häuslichen Bereich begrenzen. Es ist weiterhin nicht zu erwarten, dass der Standardnutzer eines Elektrofahrzeugs über die Inhalte dieses Regelwerks Bescheid weiß.

Deshalb muss davon ausgegangen werden, dass alle definierten Schutzmaßnahmen (SM8a bis SM8d) derzeit keine flächendeckende Anwendung bzw. Umsetzung finden. Das aktuell aufgezeigte Risiko von SIL2 kann nicht weiter reduziert werden und bleibt deshalb bestehen.

Die Umsetzung der nachfolgend genannten Maßnahmen würde das derzeitige Risiko ausreichend reduzieren:

- Es ist dringend zu empfehlen auch außerhalb des Fahrzeuges die Ladeleitung in Farbe Orange auszuführen, so wie dies bei den Hochvoltleitungen im Fahrzeug bereits der Fall ist.

Die IC-CPD-Box ist möglichst in der Nähe des Steckers an der Ladeinfrastruktur zu integrieren.

- In den Aufbauanleitungen von Ladesäulen muss vermerkt sein, dass diese nur dort aufgestellt werden dürfen, wenn es möglich ist, ein Fahrzeug in unmittelbarer Nähe zu parken.
- In der Betriebsanleitung eines Elektrofahrzeuges und an der Ladesäule muss ein Hinweis ersichtlich sein, dass der Fahrer möglichst nahe an der Ladestelle zu parken hat.
- In der Betriebsanleitung eines Elektrofahrzeuges und an der Ladesäule muss ein Hinweis ersichtlich sein, dass der Fahrer darauf zu achten hat, dass das Ladeladekabel „ordnungsgemäß“ verlegt wird.

11.2.9 Schutzmaßnahme 9 (SM9)

Die Definition einer separaten Schutzmaßnahme 9 (SM9) gegen eine „Gefahrenstelle aufgrund einer gespannten Ladeleitungen“ ist nicht notwendig, da die Schutzmaßnahme 8 (SM8) die Anforderungen aus dem Schutzziel 9 (SZ9) ebenfalls abdeckt.

11.2.10 Schutzmaßnahme 10 (SM10)

Aufgrund der durchgeführten Risikoanalyse wurde als Schutzmaßnahme 10 (SM10) gegen „ein gesundheitlich gefährliches Magnetfeld um die Ladeleitung“ Folgendes definiert:

- Der repräsentativ gültige Grenzwert eines Magnetfeldes von 0,01 mT für einen Herzschrittmacher ist einzuhalten.

Zur Ermittlung des realen Gefährdungspotenzials wurde innerhalb eines Tests, beschrieben im Kapitel 10, das Magnetfeld einer stromdurchflossenen LBA2-Ladeleitung und einer stromdurchflossenen LBA3-Ladeleitung gemessen. Repräsentativ für gängige Ladeströme wurden die LBA2-Ladeleitung mit 63 A sowie die LBA3-Ladeleitung mit 32 A belastet. Die Messungen wurden in Bezug auf die abgestrahlte magnetische Flussdichte, nach der EN 12198:2008, durchgeführt. Der zukünftige Grenzwert für Herzschrittmacher von 0,01 mT wurde bei den durchgeführten Messungen unterschritten. Jedoch decken die durchgeführten Messungen ausschließlich die derzeit gängigsten Stromstärken bei der Ladung eines Elektrofahrzeuges LBA2 und LBA3 ab. Mittelfristig ist

davon auszugehen, dass gerade beim DC-Laden mit deutlich höheren Stromstärken geladen wird, um die Ladezeit zu verkürzen. Weiterhin ist bekannt, dass der Betrag der Stromstärke linear in die Höhe der magnetischen Flussdichte eingeht. Somit ist davon auszugehen, dass bei größeren Ladeströmen durchaus der Grenzwert für Herzschrittmacher von 0,01 mT überschritten werden könnte.

Zusätzlich zur Stromstärke ist die magnetische Flussdichte linear vom Abstand des Leiters zum Messpunkt abhängig. Diese Eigenschaft kann, bei entsprechender Handhabung der Ladeleitung, ebenfalls die Höhe der magnetischen Flussdichte an der Einwirkungsstelle verringern.

Das zunächst angenommene Gefahrenpotenzial mit der Einstufung SIL1 kann auf Grundlage der angeführten Messergebnisse nicht grundsätzlich herabgestuft werden.

Die Umsetzung der nachfolgend genannten Maßnahmen würde das derzeitige Risiko ausreichend reduzieren:

- Abschirmung der Ladeleitungen gegen die Abstrahlung eines zu großen magnetischen Feldes bei hohen Strömen oder
- Anbringung von entsprechenden Hinweis-/Warnschildern in Bezug auf Herzschrittmacher an Ladesäulen, welche hohe Ströme liefern können inkl. Hinweise zur Handhabung.

11.2.11 Schutzmaßnahme 11 (SM11)

Die durchgeführte Risikoanalyse ergab, dass zur Reduzierung des Risikos an dieser Stelle verschiedene Maßnahmen notwendig sind. Als Schutzmaßnahmen 11 (SM11) gegen „Lichtbögen/Funkenbildung“ wurden Folgendes definiert:

- a) Bei der Ladung über Stecker/Kupplungen der Typen Schuko, CEE blau und CEE rot ist die Ladeleistung auf das zulässige Maß zu begrenzen,
- b) Ladestecker und -kupplungen vom Typ Schuko, CEE blau und CEE rot müssen für die verwendete Ladeleistung ausgelegt sein,
- c) Ladestecker und -kupplungen vom Typ Schuko, CEE blau und CEE rot müssen so konstruiert sein, dass diese unter Last gezogen werden dürfen, ohne dass dabei ein Lichtbogen oder Funkenbildung entsteht,

- d) bei der Ladung über Stecker/Kupplungen der Typen 1, 2 und 3 ist die Ladeleistung auf das zulässige Maß zu begrenzen,
- e) Ladestecker und -kupplungen vom Typ 1, 2 und 3 müssen für die verwendete Ladeleistung ausgelegt sein und
- f) Ladestecker und -kupplungen vom Typ 1, 2 und 3 müssen derart konstruiert sein, dass diese unter Last gezogen werden dürfen, ohne dass dabei ein Lichtbogen oder Funkenbildung entsteht oder müssen während des Ladens verriegelt sein, sodass diese nicht unter Last getrennt werden können.

Die Schutzmaßnahme 11a (SM11a) wird über die Anforderungen des Kapitels 6.2 der IEC 61851-1:2010 [R4] abgedeckt. Hier sind für LBA1 und LBA2 die jeweils zulässigen Spannungen und Ströme festgelegt. Aufgrund dieser Festlegungen ist auch die zulässige Ladeleistung definiert und begrenzt.

Über die Typprüfungsanforderungen für Schuko-stecker nach DIN VDE 0620-2-1:2013 [R12] und für CEE-blau- bzw. CEE-rot-Stecker nach DIN EN 60309-1:2013 [R13] wird sichergestellt, dass diese Stecker und Kupplungen die Anforderungen hinsichtlich der jeweils definierten Ladeleistung und die konstruktiven Anforderungen im Hinblick auf die Bildung von Lichtbögen und Funkenbildung erfüllen. Die Anforderungen aus den Schutzmaßnahmen SM11b und SM11c sind zudem ebenfalls hierüber abgedeckt.

Die Ladeleistung bei der Verwendung von Steckern und Kupplungen der Typen 1, 2 und 3 wird im Grunde über die Anforderung der IEC 61851-1:2010 [R4] bzw. durch die Normen abgedeckt, auf die in der IEC 61851-1:2010 verwiesen wird. Die Anforderungen der Schutzmaßnahme SM11d sind damit bereits abgedeckt.

Die elektrischen und konstruktiven Anforderungen der Schutzmaßnahme SM11e und SM11f werden über die entsprechenden Typ- und Baumusterprüfungen der jeweiligen Stecker/Kupplungen abgedeckt. So ist beispielsweise ein Stecker Typ 2 nach der DIN EN 62196-2:2012 [R15] zu prüfen. Das betrifft auch die vorgesehenen Ladeleistungen und die Kontaktbelastungen in Bezug auf einen Lichtbogen oder eine Funkenbildung beim Trennen des Steckers unter Last.

Alle Anforderungen der Schutzmaßnahmen 11 (a bis f) werden über die entsprechenden Typ- und Baumusterprüfungen der Stecker und Kupplungen abgedeckt. Das ursprünglich ermittelte Risiko von SIL3 kann damit auf ein „---“ und somit auf ein nicht mehr vorhandenes Risiko herabgestuft werden.

11.2.12 Schutzmaßnahme 12 (SM12)

Aufgrund der durchgeführten Risikoanalyse wurde als Schutzmaßnahme 12 (SM12) gegen „die Berührbarkeit aktiver Teile an Ladestecker und -leitungen“ Folgendes definiert:

- Ladestecker und -leitungen müssen berührungsgeschützt und damit mindestens in IPXXB ausgeführt sein.

Die Stecker und Kupplungen sowohl auf der Fahrzeug- als auch auf der der Infrastrukturseite werden entsprechend den einschlägigen Typ- bzw. Baumusternormen auch hinsichtlich deren Berührungsschutzes geprüft.

Schukostecker, beispielsweise für das LBA2-Laden verwendet, sind nach dem Standard DIN VDE 0620-2-1:2013 [R12] auf einen Schutzgrad von mindestens IP20 hin geprüft. CEE-Stecker, beispielsweise für ein LBA2-Laden verwendet, werden nach dem Standard DIN EN 60309-1:2013 [R13] auf einen Schutzgrad von mindestens IP23 geprüft. Typ-2-Stecker (beispielsweise LBA2- und LBA3-Laden) sind nach der DIN EN 62196-2:2012 [R15] hinsichtlich eines Mindest-IP-Schutzes von IP24 zu prüfen.

Dagegen werden Ladeleitungen hinsichtlich deren IP-Schutzgrades nicht beurteilt. Hier wird Isolationsfestigkeit geprüft. Dieser Punkt wird in Kapitel 11.2.13 behandelt.

Das ursprünglich identifizierte Risiko der Berührung einer gefährlichen Spannung ist unter normalen Bedingungen nicht gegeben. Damit kann die ursprünglich ermittelte Schwere des Risikos von SIL3 auf ein „---“ und somit auf ein nicht mehr vorhandenes Risiko herabgestuft werden.

11.2.13 Schutzmaßnahme 13 (SM13)

Die Durchführung der Risikoanalyse ergab als Schutzziel 13 (SZ13), das die „Isolierungen innerhalb der Ladegarnitur so ausgelegt sein muss, dass zu erwartende Umwelteinflüsse zu keiner Ein-

schränkung der Isolation führen“. Die daraufhin abgeleitete Schutzmaßnahme 13 (SM13) lautet:

- Ladestecker und -leitungen müssen gemäß den vorhersehbaren Umweltbedingungen konstruiert und geprüft sein.

Im Standard DIN VDE 0620-2-1:2013 [R12] für die Qualifizierung von Schukosteckern (CEE7/4), im Standard DIN EN 60309-1:2013 [R13] für die Qualifizierung von CEE blau/rot und im Standard DIN EN 62196-2:2012 [R15] für die Qualifizierung von Typ-2-Steckern werden u. a. Typprüfungen hinsichtlich mechanischer, elektrischer, thermischer und chemischer Beständigkeit gefordert und sind damit durchzuführen.

Für Ladeleitungen werden u. a. die Standards VDE-AR-E 2283-5:2012 [R16] und ISO 14572:2006 [R17] für die Qualifizierung herangezogen. In beiden Standards sind ebenfalls Anforderungen im Hinblick auf Temperaturbeständigkeit, mechanische, elektrische und chemische Beständigkeit enthalten und deren Einhaltung gefordert.

Ohne die Berücksichtigung der nun identifizierten normativen Anforderungen wurde das Risiko in SIL3 eingestuft. Durch die anerkannten und vorgeschriebenen Prüfungen aus den genannten Normen und Standards ist davon auszugehen, dass sowohl die unterschiedlichen Stecker und Kupplungen, als auch die Leitungen für den vorgesehenen Einsatz geeignet sind. Der „Reale Rest-SIL“ kann somit als „---“ und damit auf ein nicht mehr vorhandenes Risiko herabgestuft werden.

11.2.14 Schutzmaßnahmen 14 (SM14)

Schutzmaßnahme 14a (SM14a)

Die Durchführung der Risikoanalyse ergab als Schutzziel 14a (SZ14a), dass ein „Eindringen von Wasser in den Stecker aufgrund von Regen verhindert werden muss“. Die daraufhin abgeleitete Schutzmaßnahme 14a (SM14a) lautet:

- Spritzwassergeschützte Auslegung der Komponenten der Ladegarnitur.

Wie bereits im Kapitel 11.2.12 dargelegt, ist die Mindestanforderung in den relevanten Standards (DIN VDE 0620-2-1:2013 [R12], DIN EN 60309-1:2013 [R13], DIN EN 62196-2:2012 [R15]) bezüglich des Schutzgrades mit IP20 angegeben. Es fehlt in allen genannten Standards eine klare Mindest-

anforderung für den Einsatz der Ladestecker und -kupplungen im Außenbereich. Gegen zu erwartende Umweltbedingung wie Regen, reicht in der Regel eine Auslegung mit IP44 aus. Die meisten haushaltsüblichen Komponenten für den Außenbereich wie Leuchten, Stecker oder Dekorationsobjekte werden mit Schutzgrad IP44 ausgeführt.

Durch die Festlegung der nachfolgend genannten Maßnahme, würde damit das derzeitige Risiko von SIL1 auf ein „---“ und somit auf ein nicht mehr vorhandenes Risiko herabgestuft werden:

- Ein Mindest-Schutzgrad für Ladestecker und -kupplungen von IP44 muss gefordert und umgesetzt werden.

Schutzmaßnahme 14b (SM14b)

In Bezug auf Schlagregen, Wasserfontänen und Überschwemmungen müsste eine Auslegung mit IP6k9k erfolgen, um einen vollumfänglichen Schutz zu gewährleisten. Aufgrund der Seltenheit derartiger Ereignisse und der Tatsache, dass ein Stecker mit einem Schutzgrad von IP6k9k nur sehr schwer technisch realisierbar ist, muss auf die Forderung nach der Auslegung IP6k9k verzichtet werden. Zudem wäre ein Stecker aufgrund seiner Abmessungen und des Gewichts nur schwer zu bedienen. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass ein massives Eindringen von Wasser in einen Stecker einen sofortigen Kurzschluss zur Folge hätte, wodurch eine sofortige Abschaltung des Stromflusses aufgrund des vorgeschriebenen Überstromschutzorgans erfolgen würde.

Durch den Verzicht der Umsetzung der wasserdichten Auslegung der Stecker, bleibt das ursprüngliche Risiko von AM bestehen. Eine Reduzierung des Risikos könnte jedoch dieser Hinweis erzielen:

- Der Nutzer ist darauf hinzuweisen, dass auf das Laden des Fahrzeuges bei extremen Wetterbedingungen, zum Beispiel bei Schlagregen, zu verzichten ist.

11.2.15 Schutzmaßnahme 15 (SM15)

Die Durchführung der Risikoanalyse ergab als Schutzziel 15 (SZ15), dass „die Temperatur von berührbaren Oberflächen des Ladesystems die gängigen Grenzwerte nicht überschreiten darf“. Die daraufhin abgeleitete Schutzmaßnahme 15 (SM15) lautet:

- Ladestecker und -leitung dürfen unter „Worst-Case“-Bedingungen eine Oberflächentemperatur von 91 °C bis 99 °C, je nach Kunststoffoberfläche, nicht überschreiten.

Dieser Grenzwert stammt aus der allgemein gültigen DIN EN ISO 13732-1:2008 [R18]. In dieser Norm wird die menschliche Reaktion bei Kontakt mit heißen Oberflächen beurteilt.

Im Standard DIN VDE 0620-2-1:2013 [R12] für die Qualifizierung von Schukosteckern (CEE7/4), im Standard DIN EN 60309-1:2013 [R13] für die Qualifizierung von CEE blau/rot und im Standard DIN EN 62196-2:2012 [R15] für die Qualifizierung von Typ-2-Steckern werden u. a. Anforderungen hinsichtlich der maximal zulässigen Temperatur von berührbaren Oberflächen beschrieben. Die geforderten Grenzwerte bewegen sich in dem durch die Schutzmaßnahme 15 (SM15) gesteckten Rahmen. Die Einhaltung der genannten Typprüfnormen für Stecker und Kupplungen gewährt damit die Einhaltung der Anforderung dieser Schutzmaßnahme.

Der Standard VDE-AR-E 2283-5:2012 [R16] für die Qualifizierung von Ladeleitungen enthält ebenfalls Anforderungen hinsichtlich der maximal zulässigen Temperatur von berührbaren Oberflächen. Die Anforderungen decken sich mit den Anforderungen aus der Schutzmaßnahme 15 (SM15). Der bislang ebenfalls referenzierte Standard ISO 14572:2006 [R17] für die Qualifizierung von Leitungen enthält dagegen keine Anforderungen im Hinblick auf die maximale Temperatur von berührbaren Oberflächen. Dieser Standard bezieht sich allein auf die Qualifizierung der Leitung und richtet damit seine Anforderungen nur auf die Haltbarkeit bzw. Beständigkeit der Leitung aus.

Ohne die Berücksichtigung der identifizierten normativen Anforderungen wurde das Risiko mit SIL1 eingestuft. Durch die anerkannten und vorgeschriebenen Anforderungen aus den genannten Normen und Standards ist davon auszugehen, dass sowohl die unterschiedlichen Stecker und Kupplungen als auch die Leitung die Anforderungen der Schutzmaßnahme 15 (SM15) erfüllen. Der „Reale Rest-SIL“ kann somit als „---“ und auf ein nicht mehr vorhandenes Risiko herabgestuft werden.

11.2.16 Schutzmaßnahme 16 (SM16)

Aufgrund der durchgeführten Risikoanalyse wurde als Schutzmaßnahme 16 (SM16) definiert, dass

„die Belastung durch das Gewicht der Stecker und der Ladeleitung auf ein zulässiges Maß zu begrenzen ist“. Die daraufhin abgeleitete Schutzmaßnahme 16 (SM16) lautet:

- Das Gewicht einer Ladegarnitur darf eine Gesamtmasse von 10 kg nicht überschreiten.

Dieser Grenzwert stammt aus § 4 Absatz 2 Satz 1 Mutterschutzgesetz und stellt bezüglich zulässiger Belastungen den „Worst-Case“-Fall dar. Der geforderte Grenzwert von 10 kg bezieht sich hierbei auf eine gelegentliche Belastung einer Schwangeren. Da ein Ladevorgang in der Regel einmal pro Tag erfolgen kann, entspricht die Definition der gelegentlichen Belastung auch dem Einsatzprofil einer Ladegarnitur.

Zur Ermittlung der derzeit gängigen Belastungen aufgrund des Gewichts einer Ladeleitungsgarnitur wurden verschiedenen Varianten in Bezug auf ihr Gewicht beurteilt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 10 detailliert dargestellt. Hierfür wurde das Gewicht von Ladegarnituren mit Typ-1-Stecker, mit Typ-2-Stecker, mit CHAdeMO-Stecker, mit CEE-Stecker und mit Typ-2-Combo-Stecker und vier Meter Ladeleitung ermittelt. Es ergibt sich, dass die Kombination aus dreiphasigem CEE-Stecker plus IC-CPD-Box und Typ-2-Stecker mit ca. 4 kg das höchste Gewicht der gemessenen Ladegarnituren aufweist. Das Gewicht von maximal 10 kg wird nicht erreicht.

Das zunächst angenommene Gefahrenpotenzial mit der Einstufung AM kann aufgrund des ermittelten maximalen Gewichts auf „---“ herabgestuft werden.

Jedoch muss angemerkt werden, dass es derzeit weder in der Normung noch in der Gesetzgebung keinerlei Festlegungen bezüglich eines Grenzwertes für das Gewicht einer Ladegarnitur gibt. Deshalb wird empfohlen, die nachfolgende Maßnahme umzusetzen:

- Die Hersteller von Ladegarnituren müssen dazu angehalten werden, das Gewicht einer Garnitur auf unter 10 kg zu begrenzen.

11.2.17 Schutzmaßnahme 17 (SM17)

Die Durchführung der Risikoanalyse ergab als Schutzziel 17 (SZ17), dass „die Belastung durch die Steck- und Abzugskräfte auf ein zulässiges Maß zu begrenzen sind“. Die daraufhin abgeleitete Schutzmaßnahme 17 (SM17) lautet:

- Die Kräfte beim Stecken und Abziehen eines Ladesteckers dürfen 100 N nicht überschreiten.

Dieser Grenzwert findet in Anlehnung an § 4 Abs. 2 Satz 1 Mutterschutzgesetz Anwendung und stellt bezüglich zulässiger Belastungen den „Worst-Case“-Fall dar. Der hier vermerkte Grenzwert von 10 kg für eine gelegentliche Belastungen durch Heben, Bewegen oder Befördern entspricht den oben genannten 100 N maximaler Zug- bzw. Steckkraft.

Im Standard DIN VDE 0620-2-1:2013 [R12] für die Qualifizierung von Schukosteckern (CEE7/4) und im Standard DIN EN 62196-1:2012 [R14] für die Qualifizierung von Typ-2-Steckern werden u. a. Anforderungen hinsichtlich der maximal zulässigen Zugkräfte von 100 N definiert. Im Standard DIN EN 60309-1:2013 [R13] für die Qualifizierung von CEE blau/rot sind diesbezüglich keine Anforderungen enthalten.

In keinem der Standards sind explizite Anforderungen hinsichtlich der Steckkräfte vermerkt. Im Standard DIN VDE 0620-2-1:2013 [R12] für die Qualifizierung von Schukosteckern (CEE7/4) kann auf eine Ergänzung der Anforderung jedoch verzichtet werden. Hier kann davon ausgegangen werden, dass die Steckkräfte aufgrund der vorgeschriebenen Konstruktion, die Zugkräfte nicht überschreiten. Der Standard DIN EN 62196-1:2012 [R14] für die Qualifizierung von Typ-2-Steckern sieht die Möglichkeit eines Shutters zur Abdeckung der Kontakte eines Ladesteckers in getrenntem Zustand vor. In diesem Fall können die Steck- und Zugkräfte für diesen Steckertyp unterschiedlich sein.

Ohne die Berücksichtigung der identifizierten normativen Anforderungen wurde das Risiko in AM eingestuft. Wie bereits festgestellt, decken die derzeitigen Typprüfungsstandards die Anforderungen der Schutzmaßnahme 17 (SM17) nicht vollständig ab, damit kann das eingestufte Risiko nicht reduziert werden. Die Umsetzung der nachfolgend definierten Maßnahmen ist erforderlich:

- Der Standard DIN EN 62196-1:2012 [R14] für die Qualifizierung von Typ-2-Steckern ist um die Anforderung der maximal zulässigen Steckkraft von 100 N zu ergänzen.
- Der Standard DIN EN 60309-1:2013 [R13] für die Qualifizierung von CEE-blau-/rot-Steckern ist um die Anforderungen der maximal zulässigen Zug- und Steckkräfte von 100 N zu ergänzen.

11.2.18 Schutzmaßnahme 18 (SM18)

Die Durchführung der Risikoanalyse ergab als Schutzziel 18 (SZ18), dass „die Verwendung von nicht zugelassenen Adaptern zu vermeiden ist“. Die daraufhin abgeleitete Schutzmaßnahme 18 (SM18) lautet:

- Der Nutzer muss einen ausreichenden Hinweis erhalten, dass nur die Verwendung von zugelassenen Adaptern erlaubt ist.

Hintergrund der Notwendigkeit der Schutzmaßnahme ist, dass neben den oft nicht fachmännisch durchgeführten Installationen und Verdrahtungen, vor allem wichtige elektrische Schutzmaßnahmen unbewusst außer Funktion gesetzt werden. Als Beispiel kann ein selbst gebastelter Adapter von CEE rot auf Schukostecker angeführt werden. Aufgrund dieses Adapters wird ein für den Schukobetrieb konstruiertes Gerät an einer CEE-rot-Überstromabsicherung betrieben. Tritt ein Fehler im Gerät auf, so ist eine zeitnahe Abschaltung nicht gewährleistet, da die CEE-rot-Überstromabsicherung auf die höhere Belastung des CEE-Betriebs ausgelegt ist.

Zu den definierten Schutzmaßnahmen gibt es derzeit zwei normative Quellen, die den Einsatz von Adaptern einschränken. Im Kapitel 8.2 sind bereits die verwendungsbezogenen Sicherheitsanforderungen SA5 und SA6 dargelegt. Die Sicherheitsanforderung SA5 beschreibt, dass die Verwendung von fahrzeugseitigen Adaptern untersagt ist. Die normativen Referenzen zu dieser Anforderung sind die IEC 61851-1:2010 [R4] und die IEC/EN CD 61851-23:2012 [R7]. Die Sicherheitsanforderung SA6 stellt dar, dass die Verwendung von infrastrukturseitigen Adaptern nur eingeschränkt erlaubt ist. Die normative Referenz zu dieser Anforderung ist ebenfalls die IEC 61851-1:2010 [R4].

Aufgrund des normativen Charakters der Anforderung ist jedoch nicht zu erwarten, dass der Nutzer eines Elektrofahrzeugs über die Inhalte dieses Regelwerks Bescheid weiß und entsprechend handelt. Gerade im Hinblick darauf, dass sich die Infrastruktur noch im Aufbau befindet und somit ein Mangel an offiziellen Ladestellen herrscht, muss von einem gewissen Erfindungsreichtum der Nutzer ausgegangen werden.

Somit ist zu erwarten, dass die notwendige Schutzmaßnahme SM18 derzeit keine flächendeckende Anwendung/Umsetzung findet und das derzeit definierte Risiko von SIL2, trotz normativer Anforderungen, bestehen bleibt.

Die Umsetzung der nachfolgend genannten Maßnahmen würde das derzeitige Risiko ausreichend reduzieren:

- In der Benutzeranweisung ist aufzunehmen, dass die Verwendung von fahrzeugseitigen Adaptern untersagt ist und
- dass die Verwendung von infrastrukturseitigen Adaptern nur erlaubt ist, wenn diese ausdrücklich zugelassen sind.

Die Umsetzung der Schutzmaßnahmen ausschließlich durch die Information der Nutzer wird an dieser Stelle als ausreichend erachtet. Kommen nicht zugelassene Adapter zum Einsatz, müssen diese entweder selbst gebastelt oder ohne eine Zulassung verkauft worden sein. Hier ist also ein Vorsatz gegeben, mit dem abweichend zur Normung agiert wird und der nicht in vollem Umfang verhindert werden kann.

11.2.19 Schutzmaßnahme 19 (SM19)

Die Durchführung der Risikoanalyse ergab als Schutzziel 19 (SZ19), dass „die Verwendung von Verlängerungsleitungen zu vermeiden ist“. Die daraufhin abgeleitete Schutzmaßnahme 19 (SM19) lautet:

- Der Nutzer muss einen ausreichenden Hinweis erhalten, dass die Verwendung von Verlängerungsleitungen zum Laden von Elektrofahrzeugen zu unterlassen ist.

Diese Schutzmaßnahme ist bereits normativ in der IEC 61851-1:2010 [R4] festgehalten und wurde als verwendungsbezogene Sicherheitsanforderung SA4 im Kapitel 10.2 dargelegt.

Muss beispielsweise zur Nichterfüllung des Schutzzieles 18 (SZ18) noch eine augenscheinliche Manipulation durchgeführt werden, indem ein Adapter hergestellt oder manipuliert wird, so stellt die generelle Nutzung einer Verlängerungsleitung grundsätzlich ein normales und konformes Verhalten dar. Weiterhin ist nicht zu erwarten, dass der Nutzer eines Elektrofahrzeugs über die Inhalte des genannten Regelwerks und dessen Untersagung zur Benutzung von Verlängerungsleitungen zum Laden eines Elektrofahrzeugs Bescheid weiß und entsprechend handelt.

Deshalb ist es umso wichtiger, dass der Nutzer auf die spezifische Gefährdung bei der Verwendung

von Verlängerungsleitungen zum Laden von Elektrofahrzeugen aufmerksam gemacht wird. Es muss verdeutlicht werden, dass die konstant hohe Leistungsaufnahme des Fahrzeugs zu einer überdurchschnittlichen Erwärmung der Leitung aufgrund des Spannungsabfalles innerhalb der Verlängerungsleitung führen kann. Weiterhin besteht die Gefahr, dass infrastrukturseitige Überstromschutzorgane nur verzögert auslösen, da aufgrund der großen Leitungslänge der Auslösestrom im Anforderungsfall zu gering ausfällt und Schutzelemente nicht auslösen.

Somit ist zu erwarten, dass die notwendige Schutzmaßnahmen SM19 derzeit keine flächendeckende Anwendung bzw. Umsetzung findet und das definierte Risiko von SIL2, trotz normativer Anforderungen, bestehen bleibt.

Die Umsetzung der nachfolgend genannten Maßnahme würde das derzeitige Risiko ausreichend reduzieren:

- In der Benutzeranweisung ist aufzunehmen, dass die Verwendung von Verlängerungsleitungen zum Laden von Elektrofahrzeugen zu unterlassen ist.

11.2.20 Schutzmaßnahmen 20 (SM20)

Die durchgeführte Risikoanalyse ergab, dass zur Reduzierung des Risikos an dieser Stelle unterschiedliche von Ladebetriebsarten abhängige notwendige Schutzmaßnahmen definiert werden müssen. Als Schutzziel 20 (SZ20) wurde definiert, dass „die Berührbarkeit aktiver Teile auch bei Gewalteinwirkung von außen (z. B. Vandalismus, Kupferdiebstahl) zu verhindern ist“. Die daraufhin abgeleiteten Schutzmaßnahmen 20 (SM20) lauten:

- a) Die Ladeinfrastruktur und alle Steckverbindungen müssen vorhersehbaren mechanischen Einflüssen, inkl. vorhersehbarem Missbrauch, standhalten und
- b) eine Beschädigung der Ladeleitung, die dazu führt, dass aktive Teile berührt werden könnten, muss erkannt und die Spannungsfreiheit hergestellt werden.

Die unterschiedlichen Ladebetriebsarten weisen signifikante Unterschiede auf, damit muss die Umsetzung der Schutzmaßnahmen 20a und 20b für jede Ladebetriebsart separat betrachten werden.

SM20a

Die Schutzmaßnahme SM20a gibt vor, dass die Komponenten an der Ladeinfrastruktur und damit der Stecker und die Kupplung an der Infrastruktur vorhersehbaren mechanischen Einflüssen standhalten müssen. Um eine zumindest teilweise Vergleichbarkeit zwischen den mechanischen Festigkeiten der unterschiedlichen Stecker und Kupplungen herstellen zu können, werden aus den relevanten Standards die Prüfanforderungen bzgl. der Pendelschlagprüfung verglichen. Dies stellt keinen umfassenden Vergleich dar, sondern zeigt lediglich die mechanische Festigkeit der jeweiligen Stecker-typen auf.

Für das Laden mit Ladebetriebsart LBA1 und LBA2 werden Schukostecker/-kupplungen nach DIN VDE 0620-2-1:2013 [R12] und CEE-blau- bzw. CEE-rot-Stecker/-kupplungen nach DIN EN 60309-1:2013 [R13] verwendet. Der Typprüfungsstandard für die Schukostecker/-kupplungen, die DIN VDE 0620-2-1:2013 [R12], sieht eine Schlagenergie von ca. 0,03 J bei der Pendelschlagprüfung vor. Der Typprüfungsstandard für die CEE-blau- bzw. CEE-rot-Stecker/-kupplungen, die DIN EN 60309-1:2013 [R13], sieht bei vergleichbarer Prüfung eine Schlagenergie von mindestens 1 J vor.

Für das Laden mit Ladebetriebsart LBA3 und LBA4 werden Stecker und Kupplungen unter anderem vom Typ 2 verwendet. Die zugehörige Typprüfungsnorm, die DIN EN 62196-1:2012 [R14], sieht für die Pendelschlagprüfung bei einem Nennstrom von ≤ 32 A eine Schlagenergie von 1 J und bei einem Nennstrom von > 32 A sogar eine Schlagenergie von 2 J vor.

Werden die Prüfungsanforderungen der dargelegten Verbindungstypen verglichen, fällt auf, dass die Schukostecker/-kupplungen bei der Schlagpendelprüfung einer deutlich geringeren Belastung ausgesetzt werden. Die mechanische Festigkeit von CEE- und Typ-2-Verbindungen werden hinsichtlich einer höheren Festigkeit geprüft als ein Schuko-stecker. Hierbei muss beachtet werden, dass dies von den verwendeten Materialien abhängt.

Die mechanische Festigkeit einer Ladeinfrastruktur selbst ist bzgl. einer LBA1- und LBA2-Ladung bereits über die genannten Prüfungen der entsprechenden Kupplungen abgedeckt. Beim LBA1- und LBA2-Laden wird kein spezielles Gerät an der Infrastruktur benötigt. Die Ladung erfolgt über haushaltsübliche Anschlüsse. Für die Gehäuse der LBA3-

Wallboxen und LBA4-Ladestationen fordert der Standard IEC 61851-1:2010 [R4] u. a. eine Pendelschlagprüfung mit einer Belastung von 0,65 J.

Aufgrund dieser Erkenntnisse kann die Aussage getroffen werden, dass die Komponenten der Infrastruktur inklusive der an der Infrastruktur verwendeten Stecker und Kupplungen in Bezug auf die mechanische Festigkeit für den normalen Betrieb geprüft werden. Der Einsatz der genannten Steckverbindungen und Ladeinfrastrukturen, auch im öffentlichen Bereich, wo durchaus mit bewusster Gewalteinwirkung gerechnet werden sollte, scheint normativ abgedeckt und zulässig zu sein, auch wenn kein besonderer Schutz gegen bewusste Gewalteinwirkung berücksichtigt ist. Der Einsatz von konventionellen Steckern, in Schuko- oder CEE-Ausführung, im öffentlichen Raum und halböffentlichen Raum ist nicht allgegenwärtig aber mancherorts gängige Praxis. Wo es nicht abweichend möglich ist, werden beispielsweise öffentliche Weihnachtsbeleuchtungen über die frei zugängliche Infrastruktur versorgt. Es scheint an dieser Stelle gesellschaftlich vertretbar zu sein, dass kein besonderer Schutz gegen bewusste Gewalteinwirkung gefordert wird. Eine Reduzierung des ursprünglichen SIL2 ist damit für die Schutzmaßnahme 20A aber nicht möglich.

Um zumindest ein Mindestmaß an Sicherheit gegen bewusste Gewalteinwirkung zu erreichen, ist folgende Maßnahme zu empfehlen:

- Dem Nutzer eines Elektrofahrzeugs ist zu untersagen, mittels der Nutzung einer Schuko-steckverbindung im öffentlichen oder halböffentlichen Raum zu laden.

SM20b

Die Schutzmaßnahme SM20b gibt vor, dass eine Beschädigung der Ladeleitung, die zu einer Berührung aktiver Teile führen kann, erkannt und die Spannungsfreiheit hergestellt werden muss.

Für das Laden mit Ladebetriebsart LBA1 wird in der Regel eine konventionelle drei- oder fünfadrigere Leitung verwendet. Das LBA1-Laden verfügt über keinerlei Kommunikation zwischen der Infrastruktur und dem Fahrzeug und ist damit auch nicht in der Lage, Beschädigung zu detektieren. Aufgrund der Testergebnisse aus Kapitel 10 ist bekannt, dass die Berührung einer blanken aktiven Leitung über den Ableitstrom von einem in der Infrastruktur verbauten RCD erkannt wird und dieser dann den Strom-

fluss abschaltet, bevor dieser gefährlich werden kann. Die zwingende Absicherung jeder Steckdose über einen RCD ist jedoch erst bei Neubauten ab Mitte Baujahr 2007 verpflichtend. Zwar gilt diese Pflicht für Bäder bereits seit 1984, aber es ist äußerst unwahrscheinlich, dass ein Elektrofahrzeug über eine Steckdose im Bad geladen wird. Damit sind weit über 90 % der Steckdosen die für das Laden eines Elektrofahrzeuges infrage kommen, nicht gesetzlich verpflichtend mit einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) abgesichert.

Die einzige Möglichkeit, für diesen Fall einen ausreichenden Schutz zu gewährleisten, lautet:

- Das Laden mit Ladebetriebsart LBA1 ist grundsätzlich zu verbieten.

Der Standard für das LBA2-Laden, die IEC CD 62752:2012 [R10], verpflichtet den Einsatz einer IC-CPD-Box, die u. a. eine RCD-Schutzeinrichtung enthalten muss. Wie bereits zum LBA1-Laden erläutert, ist die Überwachung der Leitung mittels einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) ein probates Mittel, um die Auswirkungen der Berührung einer blanken aktiven Leitung auf ein akzeptables Maß zu reduzieren. Das LBA2-Laden bietet damit ein ausreichendes Maß an Sicherheit. Einschränkung muss erwähnt werden, dass ausschließlich der Teil der Leitung überwacht wird, der zwischen der RCD-Einheit und der Fehlerquelle liegt. Der derzeitige Normenentwurf lässt die Möglichkeit weitgehend offen, an welcher Stelle der Ladeleitung die IC-CPD-Box mit dem integrierten RCD zu installieren ist. Wird die Box innerhalb der Leitung integriert, so ist die RCD-Einheit zwar in der Lage, eine Fehlerquelle zwischen RCD-Einheit und Fahrzeug zu detektieren und abzuschalten, aber eine Fehlerquelle zwischen dem Steckkontakt der Infrastruktur und der RCD-Einheit bleibt unbeachtet.

Aufgrund dieser Erkenntnis ist nachfolgende Maßnahme zu treffen:

- Die IC-CPD-Box ist möglichst in der Nähe des Steckers auf der Seite der Ladeinfrastruktur zu integrieren.

Die Ladebetriebsarten LBA3 und LBA4 verfügen, aufgrund der spezifisch zu installierenden Ladeinfrastruktur, über eine Kommunikation zwischen der Infrastruktur und dem Fahrzeug. Weiterhin ist die Verwendung einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) in der Infrastruktur vorgeschrieben. Auf-

grund der Testergebnisse aus Kapitel 10 ist wie bereits beschrieben bekannt, dass eine RCD-Einheit in der Lage ist, die Berührung einer blanken aktiven Leitung über den damit fließenden Ableitstrom zu erkennen und abzuschalten. Die Maßnahme bietet somit bereits einen ausreichenden Schutz vor gefährlichen Stromschlägen. Für die Ladebetriebsarten LBA3 und LBA4 müssen deshalb keine weiteren Maßnahmen getroffen werden.

Ein weiteres Ergebnis der Tests aus Kapitel 10 ist die Erkenntnis, dass ein zusätzlich integrierter metallischer Schirm innerhalb der Ladeleitung, der mit dem örtlichen Potenzialausgleich verbunden ist, der RCD-Einheit die Möglichkeit bietet, eine Beschädigung der Leitung bereits vor dem Auftreten eines Körperstromes zu detektieren und abzuschalten. Wird eine geschirmte Leitung, beispielsweise mittels eines Seitenschneiders beschädigt, so fließt zwischen der aktiven Leitung und der Schirmung ein Fehlerstrom, der die RCD-Einheit zur Abschaltung veranlasst. Ein Körperstrom wird damit vermieden. Wird an einer Installation ohne RCD geladen, kann der metallische Leitungsschirm einen gefährlichen Körperstrom verhindern, indem beim Trennvorgang über die Kontaktierung des Schirms mit einer Phase der Leitung der Leitungsschutzschalter ausgelöst wird. Diese Auslösung kann der Fall sein, ist jedoch je nach Position des Seitenschneiders nicht sichergestellt.

Zur Erhöhung des Schutzes sollte bei den Ladebetriebsarten LBA2, LBA3 und LBA4 folgende Maßnahme umgesetzt werden:

- Die Ladeleitung ist mit einem metallischen Schirm auszustatten, welcher an den Schutzleiter angeschlossen wird.

11.2.21 Schutzmaßnahme 21 (SM21)

Die Durchführung der Risikoanalyse ergab als Schutzziel 21 (SZ21), dass „die Verwendung von Mehrfachsteckdosen zu vermeiden ist“. Die daraufhin abgeleitete Schutzmaßnahme 21 (SM21) lautet:

- Der Nutzer muss einen ausreichenden Hinweis erhalten, dass die Verwendung von Mehrfachsteckdosen zum Laden eines Elektrofahrzeuges nicht erlaubt ist.

Die Anforderung beruht auf der Tatsache, dass eine Mehrfachsteckdose für eine derartig hohe Dauerlast, wie sie beim Laden eines Elektrofahrzeuges auftritt, nicht ausgelegt ist. Weiterhin bieten Mehr-

fachsteckdosen die Möglichkeit weitere Verbraucher parallel an der Infrastruktur anzuschließen, wodurch diese über Gebühr belastet werden kann. Schädigungen, bis hin zu Bränden an der Mehrfachsteckdose und in der Infrastruktur können nicht ausgeschlossen werden.

Diese Schutzmaßnahme ist bereits normativ in der DIN VDE 0100-722:2012 [R2] im Abschnitt 722.55.101.3 festgehalten und wurde als verwendungsbezogenen Sicherheitsanforderungen SA3 im Kapitel 8.2 dieses Berichts aufgezeigt.

Wie bereits in der Beschreibung der Schutzmaßnahme 19 (SM19) im Kapitel 11.2.19 dargelegt, stellt die generelle Nutzung einer Mehrfachsteckdose grundsätzlich ein normales und konformes Verhalten dar. Weiterhin ist nicht zu erwarten, dass der Standardnutzer eines Elektrofahrzeugs über die Inhalte des genannten Regelwerks Bescheid und dessen Untersagung zur Benutzung von Mehrfachsteckdosen zum Laden eines Elektrofahrzeugs Bescheid weiß und entsprechend handelt.

Deshalb ist es umso wichtiger, dass der Nutzer auf die resultierenden Gefährdungen aufmerksam gemacht wird.

Außerdem ist nicht zu erwarten, dass die notwendige Schutzmaßnahmen SM21 derzeit eine flächendeckende Anwendung bzw. Umsetzung findet und das definierte Risiko von SIL2, trotz normativer Anforderungen, bestehen bleibt.

Die Umsetzung der nachfolgend genannten Maßnahme würde das derzeitige Risiko ausreichend reduzieren:

- In der Benutzeranweisung ist aufzunehmen, dass die Verwendung von Mehrfachsteckdosen zum Laden von Elektrofahrzeugen zu unterlassen ist.

11.2.22 Schutzmaßnahme 22 (SM22)

Die Durchführung der Risikoanalyse ergab als Schutzziel 22 (SZ22), dass „die Manipulation von Schutzmaßnahmen zu vermeiden ist“. Die daraufhin abgeleitete Schutzmaßnahme 22 (SM22) lautet:

- Der Nutzer muss einen ausreichenden Hinweis erhalten, dass Schutzmaßnahmen nicht verändert werden dürfen.

Es ist nicht auszuschließen, dass der Nutzer eines Elektrofahrzeugs, der kurzfristig Strom zum Laden

seiner Batterie benötigt, eine Manipulation an einer permanent auslösenden elektrischen Schutzeinrichtungen vornimmt. Die Auswirkungen eines solchen Handelns können vielfältiger Art sein. Ein Brand aufgrund einer Überlastung stellt hier das größte Risiko dar.

Da es sich um eine bewusste Manipulation handelt und sich der Großteil der Verursacher über ihr Fehlverhalten bewusst sein wird, kann hierfür keine wirksame Maßnahme definiert werden. Für den Anteil an Nutzern ohne fachlichen Hintergrund und ohne bewusstes Fehlverhalten ist nachfolgende Maßnahme zu definieren:

- Der Nutzer muss einen ausreichenden Hinweis erhalten, dass Schutzmaßnahmen nicht verändert werden dürfen.

Da es derzeit keinen spezifischen Normenbezug für diese Schutzmaßnahme gibt, bleibt das derzeitige Risiko von SIL2 als „Real Rest-SIL“ bestehen.

12 Handlungsempfehlung zur Hauptuntersuchung

Aus der vorangegangenen Risikoanalyse und der Betrachtung der gegebenen Sachverhalte hat sich eine Vielzahl von Schutzzielen (SZ) und Schutzmaßnahmen (SM) ergeben. Beziehen sich Schutzmaßnahmen direkt auf die Eigenschaften bestimmter Produkte, so erfolgt die Überprüfung der Einhaltung dieser Eigenschaften zu einem bestimmten Zeitpunkt, in der Regel während der Produktion, jedoch spätestens vor der Auslieferung an den Käufer. Im Laufe der Nutzungszeit und durch den Einfluss von äußeren Parametern, wie Umweltbedingungen, Verschleiß oder durch Missbrauch, kann sich der Zustand eines Produktes derart ändern, dass die notwendigen Eigenschaften für einen sicheren Betrieb/eine sichere Handhabung nicht mehr gegeben sind. Aus diesem Grund ist es grundsätzlich notwendig, die sicherheitsrelevanten Parameter in regelmäßigen Abständen zu überprüfen, um ein dauerhaft sicheres Produkt zu gewährleisten. Wie bereits im Kapitel 7.3 dargelegt, ist die regelmäßige Überprüfung von Produkten, welche im privaten Bereich verwendet werden, nicht gesetzlich vorgeschrieben und wird somit nicht flächendeckend durchgeführt.

Spiegelt man diesen Sachverhalt auf das Thema dieser Risikoanalyse, so betrifft es insbesondere

die Ladegarnituren, welche sich im privaten Besitz und in privater Anwendung befinden. Eine Ladegarnitur unterliegt regelmäßigem Gebrauch und wird teilweise sehr lange ohne Aufsicht auch in öffentlich zugänglichen Bereichen verwendet. Der normale Gebrauch, der Verschleiß aufgrund der Nutzung, die Umwelteinflüsse, Beschädigungen durch ein Überfahren, ein Quetschen oder durch Vandalismus können die Eigenschaften der Komponenten negativ beeinflussen.

Die im Rahmen der Risikoanalyse erarbeiteten Schutzziele und abgeleiteten Maßnahmen können aufgrund der genannten Einflüsse über die Lebensdauer in ihrer Funktion eingeschränkt sein bzw. ihre Funktion verlieren. Das betrifft insbesondere die im Folgenden genannten:

- SZ4: Das Quetschen von Gliedmaßen bei der Kontaktierung des Ladesteckers ist zu verhindern.
- SZ7: Abschürfungen an Gliedmaßen beim Trennen des Ladesteckers sind zu verhindern.
- SZ11: Lichtbögen/Funkenbildung sind zu vermeiden,
- SZ12: Berührbarkeit aktiver Teile an Ladestecker und -leitung sind zu vermeiden.
- SZ13: Isolierungen innerhalb der Ladegarnitur müssen so ausgelegt sein, dass zu erwartende Umwelteinflüsse zu keiner Einschränkung der Isolation führen.
- SZ14a: Eindringen von Wasser in den Stecker aufgrund von Regen muss verhindert werden.
- SZ15: Die Temperatur von berührbaren Oberflächen des Ladesystems darf die gängigen Grenzwerte nicht überschreiten.
- SZ17: Die Belastung durch die Steck- und Abzugskräfte ist auf ein zulässiges Maß zu begrenzen.

Im Rahmen der wiederkehrenden Hauptuntersuchung (HU) könnte ein Teil der derzeitigen gesetzlichen Lücke in Bezug auf die regelmäßige Wartung von privaten Ladegarnituren geschlossen oder zumindest verkleinert werden. Die sich ergebenden Anforderungen der oben genannten Sicherheitsziele könnten im Rahmen einer Hauptuntersuchung mit geprüft werden. Die nachfolgenden ergänzenden Prüfungen im Rahmen einer Haupt-

untersuchung würden die Aufrechterhaltung der genannten Schutzziele gewähren:

- a) Sichtprüfung der Ladegarnitur inkl. der Stecker für Infrastruktur und Fahrzeug auf ordnungsgemäßen Zustand, übermäßigen Verschleiß (z. B. der Kontakte inkl. Schmauch- und Brandspuren), Verschmutzungen (z. B. der Kontakte) und Beschädigungen (Bezug auf SZ4, SZ7, SZ11, SZ12, SZ14a, SZ15, SZ17),
- b) Isolationswiderstandsmessung bzw. Hochspannungsprüfung an der Ladegarnitur zur Aufdeckung von visuell schlecht erkennbaren Isolationsmängeln (Bezug auf SZ13).

Die Einhaltung der Anforderungen weiterer Schutzziele, welche nicht durch den normalen Gebrauch, den Verschleiß aufgrund der Nutzung etc. verursacht werden, sondern durch bewusste oder unbewusste Manipulation, könnten ebenfalls innerhalb der Hauptuntersuchung gewährleistet werden. Betroffen davon sind folgende Schutzziele:

- SZ18: Die Verwendung von nicht zugelassenen Adaptern ist zu vermeiden.
- SZ19: Die Verwendung von Verlängerungsleitungen ist zu vermeiden.
- SZ21: Die Verwendung von Mehrfachsteckdosen ist zu vermeiden.
- SZ22: Die Manipulation von Schutzmaßnahmen ist zu vermeiden.

Die nachfolgenden ergänzenden Prüfungen im Rahmen einer Hauptuntersuchung würden die Aufrechterhaltung der genannten Schutzziele gewähren:

- c) Sichtprüfung der Ladegarnitur inkl. der Stecker für Infrastruktur und Fahrzeug im Hinblick auf Manipulationen (SZ18, SZ19, SZ21, SZ22). Manipulationen und nicht sachgerechter Gebrauch könnten somit erkannt werden und die Nutzer entsprechend darauf hingewiesen werden.
- d) Testweise Auslösung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) an einer LBA2-Ladegarnitur (SZ22). Diese Testauslösung dient zum Nachweis, dass die Schutzeinrichtung, zumindest zum Vorführzeitpunkt, funktionsfähig ist und nicht einen Defekt aufgrund von Verschleiß oder Manipulation vorliegt.

Gerade auch im Hinblick auf eine dauerhafte Sicherheit und damit Akzeptanz dieser Technologie in der Bevölkerung ist es notwendig entsprechende wiederkehrende Prüfungen im Rahmen der turnusmäßigen Hauptuntersuchung zu integrieren.

Sieht man über die Betrachtungsgrenzen dieser Risikoanalyse hinaus, so sind zu den oben genannten Prüfungen an der Ladegarnitur auch weitere Prüfungen am Fahrzeug selbst innerhalb der Hauptuntersuchung notwendig. Derzeit werden Elektrofahrzeuge zwar hinsichtlich Beschädigungen im Rahmen der HU sichtbar geprüft, um aber auch hier eine dauerhafte Gewährleistung sicherzustellen, ist zumindest eine Isolationswiderstandsmessung des gesamten Fahrzeuges notwendig, um für den Nutzer eine ausreichende Sicherheit gegen einen elektrischen Schlag zu gewährleisten.

In diesem Zusammenhang ist die Erstellung einer entsprechenden nationalen Prüfanweisung für die wiederkehrende Hauptuntersuchung anzustreben.

13 Zusammenfassung

Definiertes Ziel der vorliegenden Arbeit war es, Risiken im Hinblick auf das kabelgebundene Laden von Elektrofahrzeugen aufzuzeigen sowie sich ergebende Lücken in der derzeitigen Normung und Gesetzgebung offen zu legen. Die im Rahmen der Risikoanalyse identifizierten Risiken wurden mit den bestehenden normativen und gesetzlichen Anforderungen abgeglichen um darzulegen, welche Risiken bereits durch diese abgedeckt sind. Von besonderem Interesse waren die nicht abgedeckten Risiken, die bei einer breiten Anwendung der Elektromobilität von großer Bedeutung sind.

Normative Grundlage für die Durchführung der Risikoanalyse war die DIN EN ISO 12100:2011. Da die DIN EN ISO 12100:2011 keinen eigenen Risikographen zur Quantifizierung des Risikos und somit zur Ableitung des Safety Integrity Level (SIL) beinhaltet, erfolgte dies in Anlehnung an die IEC 62061:2012. Das Generieren von zu beurteilenden Situationen fand auf Basis des Ansatzes der ISO 26262:2011 statt. Aus den im Rahmen der Risikoanalyse identifizierten Risiken wurden Sicherheitsziele (SZ) und Sicherheitsmaßnahmen (SM) abgeleitet, mit dem Ziel das Risikopotenzial auf ein ausreichend geringes Maß zu reduzieren.

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse dargestellt und erläutert.

Grundvoraussetzung für eine flächendeckende Akzeptanz der Elektromobilität ist es, dass das Laden mittels etablierter und verfügbarer Technologien möglich sein muss. Hierzu zählt in erster Linie das Laden mittels gängiger Haushaltssteckverbindung (Schuko-Steckverbindung). Normativ sind hierfür die Ladebetriebsarten LBA1 und LBA2 definiert. Ein Ergebnis aus der Risikoanalyse ist, dass das Laden nach LBA1 hier ein besonderes Risiko darstellt. Das Fahrzeug wird in diesem Fall mittels eines „gewöhnlichen“ Kabels direkt mit der Infrastruktur verbunden. Eine Kommunikation zwischen der Infrastruktur und dem Fahrzeug findet bei der Ladebetriebsart LBA1 nicht statt. Zudem ist keine Schutzeinrichtung, wie bei LBA2, die IC-CPD-Box mit implementiertem Fehlerstromschutzschalter (RCD), in das Kabel integriert. Im Fehlerfall, bspw. bei einer Beschädigung der Isolation und freiliegenden spannungsführenden Teilen, kann eine rechtzeitige Abschaltung des Stromkreises nicht gewährleistet werden.

Zwar kann diese Aufgabe auch der in der Hausinstallation integrierte Fehlerstromschutzschalter (RCD) übernehmen, jedoch ist zu beachten, dass die zwingende Absicherung einer Steckdose über einen RCD erst bei Neubauten ab Mitte Baujahr 2007 verpflichtend ist. Diese Pflicht gilt für Bäder bereits seit 1984, aber es ist äußerst unwahrscheinlich, dass ein Elektrofahrzeug über eine Steckdose im Bad geladen wird. Damit sind weit über 90 % der Steckdosen, die für das Laden eines Elektrofahrzeuges infrage kommen, nicht gesetzlich verpflichtend mit einem RCD abgesichert. Der Einsatz eines integrierten RCD, wie er bei LBA2-Ladegarnituren mit IC-CPD-Box üblich ist, wird dringend empfohlen. Im Umkehrschluss wird empfohlen, das Laden mittels einer LBA1-Peripherie zu untersagen.

Auch das Thema Vandalismus, Kupferdiebstahl und unbeabsichtigtes Beschädigen wurde bei der Risikoanalyse untersucht. Wird das Kabel während des Ladevorgangs mutwillig durchtrennt, so besteht das Risiko, dass Personen durch einen elektrischen Schlag verletzt werden. Es wurde untersucht, ob die Verwendung einer geschirmten Leitung, deren Schirm mit dem Schutzleiter verbunden ist, die Detektionsmöglichkeit eines Kurzschlusses beim Durchtrennen oder Beschädigen des Kabels erhöht. Die Tests haben gezeigt, dass die Maß-

nahme der geschirmten Leitung die Detektionsmöglichkeiten erhöhen kann. Auch wenn der Sicherheitsgewinn stark vom Ablauf und Grad der Beschädigung der Leitung abhängt und die Erhöhung der Sicherheit nicht in jedem Falle gegeben ist, wird empfohlen, diese Maßnahme umzusetzen.

Neben den Gefährdungen aufgrund konzeptioneller Schwachstellen und mutwilliger Beschädigungen können Gefährdungen auch aufgrund von über der Lebensdauer auftretenden Alterungs-, Abnutzungs- und Gebrauchseffekten auftreten. Das kann dazu führen, dass Grundfunktionen bzw. Schutzeinrichtungen nicht über die volle Funktionsfähigkeit verfügen. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund, dass es derzeit im privaten Bereich nur unzureichende gesetzliche Vorschriften hinsichtlich routinemäßiger Wartungen und Prüfungen gibt, als kritisch zu betrachten. So entspricht es den derzeitigen gesetzlichen Regelungen, dass eine sich im privaten Besitz befindliche Ladegarnitur über die gesamte Lebensdauer keiner Kontrolle unterzogen wird. Im Gegensatz dazu ist im gewerblichen Bereich eine routinemäßige Prüfung von Betriebsmitteln pflichtend vorgeschrieben. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, zumindest eine Sichtprüfung und eine Funktionsprüfung der Fehlerstromschutz-einrichtung (falls in der Ladeleitung vorhanden) in der sich zyklisch wiederholenden Hauptuntersuchung für das Fahrzeug zu integrieren.

Im Laufe der Risikoanalyse gewann das Thema der magnetischen Felder um die Ladeleitung an Bedeutung. Zu dieser Thematik wurden Flussdichtemessungen an verschiedenen Ladeleitungen durchgeführt, um das Gefährdungspotenzial für den Nutzer quantifizieren zu können. Hierbei wurde festgestellt, dass innerhalb der derzeit gängigen und verbreiteten Ladeparameter noch keine Gefährdung für zum Beispiel den Träger eines Herzschrittmachers zu befürchten ist. Im Ausblick auf die mittelfristige Verbreitung von Ladesäulen mit sehr hohen Ladeströmen zur Reduzierung der Ladezeit ist jedoch ein genereller Ausschluss einer Gefährdung nicht gerechtfertigt. Zu diesem Thema sind weitere tiefgehende Untersuchungen sowie die Sensibilisierung gefährdeter Nutzer notwendig.

Im Verlauf der Risikoanalyse hat sich weiterhin gezeigt, dass der Nutzer, der direkt in den Vorgang des Ladens einbezogen ist, selbst zur Erhöhung des Risikos beitragen kann. Das ist dann der Fall, wenn Adapter verwendet werden, die für den jeweiligen Anwendungsfall nicht zugelassen sind. Auch

die Verwendung von Mehrfachsteckdosen, Verlängerungskabeln oder das unzulässige Manipulieren von Sicherheitseinrichtungen, wie zum Beispiel einer Überlastschutzeinrichtung zählen hierzu. In den genannten Fällen ist es erforderlich, dass der Nutzer durch entsprechende Hinweise, sei es bei der Fahrzeugübergabe oder im Benutzerhandbuch, sensibilisiert wird.

Das Laden wird zum Großteil im Freien durchgeführt. Für die Ladegarnitur, die Stecker und Kupplungen hat sich gezeigt, dass verpflichtende Vorgaben von Mindestanforderungen in Bezug auf Ladestecker- und -kupplungen für den Außenbereich fehlen. Eine Auslegung nach Schutzklasse IP44 ist für diesen Fall in der Regel ausreichend und vorzuschreiben.

Die Sicherheit beim Laden eines Elektrofahrzeugs hängt damit nicht alleine von einer sicheren Ladegarnitur ab, sondern auch von der Sicherheit jedes einzelnen Teilsystems und deren Zusammenspiels.

Auch die Hersteller von Ladegarnituren, Ladesystemen oder Elektrofahrzeugen sollten die im Folgenden auszugsweise genannten Punkte beachten:

- Es ist dringend zu empfehlen auch außerhalb des Fahrzeuges die Ladeleitung in der Farbe Orange auszuführen, so wie dies bei den Hochvoltleitungen im Fahrzeug bereits der Fall ist.
- Die IC-CPD-Box ist möglichst in der Nähe des Steckers an der Ladeinfrastruktur zu integrieren.
- In den Aufbauanleitungen von Ladesäulen muss vermerkt sein, dass diese nur dort aufgestellt werden dürfen, wenn es möglich ist, ein Fahrzeug in unmittelbarer Nähe zu parken.
- In der Betriebsanleitung eines Elektrofahrzeuges und an der Ladesäule muss ein Hinweis ersichtlich sein, dass der Fahrer möglichst nahe an der Ladestelle zu parken hat.
- In der Betriebsanleitung eines Elektrofahrzeuges und an der Ladesäule muss ein Hinweis ersichtlich sein, dass der Fahrer darauf zu achten hat, dass das Ladeladekabel „ordnungsgemäß“ verlegt wird um Stolperstellen zu vermeiden.
- Der Nutzer ist darauf hinzuweisen, dass auf eine Ladung des Fahrzeuges bei zu erwartenden extremen Wetterbedingungen, zum Beispiel bei Schlagregen, zu verzichten ist.

- Die Hersteller von Ladegarnituren müssen dazu angehalten werden, das Gewicht einer Garnitur weiterhin auf unter 10 kg zu begrenzen.

Generell zeigte sich im Rahmen der Risikoanalyse eine breite durch Normen und Richtlinien bzw. gesetzliche Regelungen vorhandene Abdeckung der möglichen Risiken. Derzeit nicht abgedeckte Risiken konnten adressiert und wirksame Lösungsmöglichkeiten vorgeschlagen werden. Bei Umsetzung aller aufgezeigten Lösungsansätze bleiben somit keine relevanten Risiken offen. Jedoch zeigt sich auch, dass zu bestimmten Themen dringender Handlungsbedarf besteht.

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2005

F 55: 1st International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 3rd/4th September 2004 at Hannover Medical School € 29,00

2006

F 56: Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung asphärischer Außenspiegel
Bach, Rüter, Carstengerdes, Wender, Otte € 17,00

F 57: Untersuchung von Reifen mit Notlaufeigenschaften
Gail, Pullwitt, Sander, Lorig, Bartels € 15,00

F 58: Bestimmung von Nutzfahrzeugemissionsfaktoren
Steven, Kleinebrahm € 15,50

F 59: Hochrechnung von Daten aus Erhebungen am Unfallort
Hautzinger, Pfeiffer, Schmidt € 15,50

F 60: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit
Vollrath, Briest, Schießl, Drewes, Becker € 16,50

2007

F 61: 2nd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 1st/2nd September 2006 at Hannover Medical School € 30,00

F 62: Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Belange der passiven Sicherheit
Rüter, Zoppke, Bach, Carstengerdes € 16,50

F 63: Nutzerseitiger Fehlgebrauch von Fahrerassistenzsystemen
Marberger € 14,50

F 64: Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motorradsicherheit
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Schüler, Adolph, Steinmann, Ionescu € 22,00

F 65: Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbelastung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit
Manz, Kooß, Klinger, Schellinger € 17,50

2008

F 66: Optimierung der Beleuchtung von Personenwagen und Nutzfahrzeugen
Jebas, Schellinger, Klinger, Manz, Kooß € 15,50

F 67: Optimierung von Kinderschutzsystemen im Pkw
Weber € 20,00

F 68: Cost-benefit analysis for ABS of motorcycles
Baum, Westerkamp, Geißler € 20,00

F 69: Fahrzeuggestützte Notrufsysteme (eCall) für die Verkehrssicherheit in Deutschland
Auerbach, Issing, Karrer, Steffens € 18,00

F 70: Einfluss verbesserter Fahrzeugsicherheit bei Pkw auf die Entwicklung von Landstraßenunfällen
Gail, Pöppel-Decker, Lorig, Eggers, Lerner, Ellmers € 13,50

2009

F 71: Erkennbarkeit von Motorrädern am Tag – Untersuchungen zum vorderen Signalbild
Bartels, Sander € 13,50

F 72: 3rd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 5th / 6th September 2008 at Hannover Medical School € 29,50

F 73: Objektive Erkennung kritischer Fahrsituationen von Motorrädern
Seiniger, Winner € 16,50

2010

F 74: Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrerverhalten
Vollrath, Briest, Oeltze € 15,50

F 75: Fehlgebrauch der Airbagabschaltung bei der Beförderung von Kindern in Kinderschutzsystemen
Müller, Johannsen, Fastenmaier € 15,50

2011

F 76: Schutz von Fußgängern beim Scheibenanprall II
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Bovenkerk, Gies, Urban € 19,50

F 77: 4th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 29,50

F 78: Elektronische Manipulation von Fahrzeug- und Infrastruktursystemen
Dittmann, Hoppe, Kiltz, Tuchscheerer € 17,50

F 79: Internationale und nationale Telematik-Leitbilder und IST-Architekturen im Straßenverkehr
Boltze, Krüger, Reusswig, Hillebrand € 22,00

F 80: Untersuchungskonzepte für die Evaluation von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands
Eichinger € 15,00

F 81: Potential aktiver Fahrwerke für die Fahrsicherheit von Motorrädern
Wunram, Eckstein, Rettweiler € 15,50

F 82: Qualität von on-trip Verkehrsinformationen im Straßenverkehr – Quality of on-trip road traffic information – BAST-Kolloquium 23. & 24.03.2011
Lotz, Luks € 17,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

2012

F 83: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung – Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe
Gasser, Arzt, Ayoubi, Bartels, Bürkle, Eier, Flemisch, Häcker, Hesse, Huber, Lotz, Maurer, Ruth-Schumacher, Schwarz, Vogt € 19,50

F 84: Sicherheitswirkungen von Verkehrsinformationen – Entwicklung und Evaluation verschiedener Warnkonzepte für Stauendwarnungen
Bogenberger, Dinkel, Totzke, Naujoks, Mühlbacher € 17,00

F 85: Cooperative Systems Stakeholder Analysis
Schindhelm, Calderaro, Udin, Larsson, Kernstock,
Jandrisits, Ricci, Geißler, Herb, Vierkötter € 15,50

2013

F 86: Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer
Hoffmann, Wipking, Blanke, Falkenstein € 16,50

F 87: 5th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 88: Comparative tests with laminated safety glass panes and polycarbonate panes
Gehring, Zander € 14,00

F 89: Erfassung der Fahrermüdigkeit
Platho, Pietrek, Kolrep € 16,50

F 90: Aktive Systeme der passiven Fahrzeugsicherheit
Nuß, Eckstein, Berger € 17,90

F 91: Standardisierungsprozess für offene Systeme der Straßenverkehrstelematik
Kroen € 17,00

F 92: Elektrofahrzeuge – Auswirkungen auf die periodisch technische Überwachung
Beyer, Blumenschein, Bönninger, Grohmann, Lehmann, Meißner, Paulan, Richter, Stiller, Calker € 17,00

2014

F 93: Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren
Buld, Will, Kaussner, Krüger € 17,50

F 94: Biokraftstoffe – Fahrzeugtechnische Voraussetzungen und Emissionen
Pellmann, Schmidt, Eckhardt, Wagner € 19,50

F 95: Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung
Oehme, Kolrep, Person, Byl € 16,50

F 96: Auswirkungen alternativer Antriebskonzepte auf die Fahrdynamik von Pkw
Schönemann, Henze € 15,50

F 97: Matrix von Lösungsvarianten Intelligenter Verkehrssysteme (IVS) im Straßenverkehr
Matrix of alternative implementation approaches of Intelligent Transport Systems (ITS) in road traffic
Lotz, Herb, Schindhelm, Vierkötter
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 98: Absicherungsstrategien für Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldwahrnehmung
Weitzel, Winner, Peng, Geyer, Lotz Sefati € 16,50

F 99: Study on smoke production, development and toxicity in bus fires
Hofmann, Dülsen € 16,50

2015

F 100: Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver
Powelleit, Muhrer, Vollrath, Henze, Liesner, Pawellek € 17,50

F 101: Altersabhängige Anpassung von Menschmodellen für die passive Fahrzeugsicherheit
Wagner, Segura, Mühlbauer, Fuchs, Peldschus, Freßmann € 19,00

F 102: 6th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 103: Technische Möglichkeiten für die Reduktion der CO₂-Emissionen von Nutzfahrzeugen
Süßmann, Lienkamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 104: Abbiege-Assistenzsystem für Lkw – Grundlagen eine Testverfahrens
Schreck, Seiniger € 14,50

F 105: Abgasverhalten von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Feldüberwachung
Schmidt, Georges € 14,50

F 105b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – In-service conformity
Schmidt, Georges
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 106: Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Austauschkatalsatoren
Schmidt, Johannsen € 13,50

F 106b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – Replacement catalytic converters
Schmidt, Johannsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

F 107: Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen
Vogt, Link, Ritzinger, Ablingyte, Reindl € 16,50

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.