

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WINDENERGIE UND ENERGIESYSTEMTECHNIK, IWES

TECHNISCHE BEGLEITFORSCHUNG ALLIANZ ELEKTROMOBILITÄT - TEBALE

Abschlussbericht

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

TECHNISCHE BEGLEITFORSCHUNG ALLIANZ ELEKTROMOBILITÄT - TEBALE

Abschlussbericht

Autoren:

Markus Landau, Johannes Prior, Roland Gaber, Michael Scheibe, René Marklein, Jörg Kirchhof

Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, IWES
Institutsteil Kassel.

Projektnummer: 03EM0503

Projektnummer: 153 – 103 594

Projektlaufzeit: 1. November 2012 bis 29. Februar 2016

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Die Vermessung der Fahrzeuge erfolgte an nicht repräsentativ ausgewählten Einzelfahrzeugen mit dem jeweiligen Softwarestand. Die Messergebnisse können deshalb nicht auf heute im Handel befindliche Fahrzeuge bzw. Geräte übertragen werden. Alle hier dargestellten Messergebnisse eignen sich nicht für vergleichende Betrachtungen der Fahrzeugtypen.

Inhalt

1	Einleitung.....	5
2	Ladetechnologien für Elektrofahrzeuge	7
2.1	Technik und Rahmenbedingungen.....	7
2.2	Untersuchungen zum kabelgebundenen AC-Laden.....	10
2.2.1	Fahrzeuge	11
2.2.2	Ladekurven und Systemverhalten	15
2.3	Energieeffizienz von AC-Ladestationen	24
2.4	Untersuchungen zum kabelgebundenen DC-Laden.....	31
2.4.1	Fahrzeuge und Ladegeräte	33
2.4.2	Messtechnische Untersuchungen im Feld	37
2.4.2.1	Kombination Mitsubishi i-MiEV – Terra 51	37
2.4.2.2	Kombination Golf blue-e-motion - Terra 23.....	38
2.4.3	Ladekurven und Systemverhalten	39
2.5	Fazit zum kabelgebundenen Laden	44
2.6	Kabelloses induktives Laden	45
3	Elektrofahrzeuge im Feldbetrieb.....	51
3.1	Elektrostraßenfahrzeuge	51
3.1.1	Erfassung der Betriebsdaten (Monitoring)	52
3.2	Sonderfahrzeuge für den Flughafenbetrieb	73
3.2.1	Paletten-Container-Lader	73
3.2.1.1	Technik / Gerätebeschreibung	74
3.2.1.2	Nutzungsprofil.....	77
3.2.1.3	Optimierungspotential Gerätetechnik	82
3.2.2	Fluggasttreppe	84
3.2.2.1	Technik / Gerätebeschreibung	84
3.2.2.2	Nutzungsprofil.....	88
3.2.2.3	Optimierungspotential Gerätetechnik	98
3.2.3	Förderbandwagen.....	99
3.2.3.1	Technik / Gerätebeschreibung	99
3.2.3.2	Nutzungsprofil.....	102
3.2.3.3	Optimierungspotential Gerätetechnik	106
3.2.4	Zusammenfassung	107
4	Laborprüfung Elektrostraßenfahrzeuge	108
4.1	Laborprüfverfahren für Elektrostraßenfahrzeuge	108
4.2	Die wichtigsten zu berücksichtigenden Umgebungs- und Randbedingungen	110
4.3	Bausteine des Prüfverfahrens	111
4.4	Fahrergebnisse	116
4.4.1	BMW i3	118
4.4.2	Smart fortwo	119
4.4.3	Renault Kangoo	120
4.4.4	Renault ZOE	121
4.4.5	Mitsubishi i-MiEV	122
4.4.6	Mercedes Benz Vito E-Cell	123
4.5	Fazit Fahrergebnisse	124
5	Zusammenfassung	125
6	Abbildungen.....	126
7	Literaturverzeichnis	131

8	Anhang	133
8.1	Messsystem EnerSys WI-IQ	133
8.2	Datenfluss AMV - Zuordnung von Ereignistabellen zu Minimaldatensätzen	135
8.3	Datenfluss Opel - Zuordnung von Ereignistabellen zu Minimaldatensätzen	137
8.4	Betrachtung des Messfehlers und der Messunsicherheit für elektrische Größen ...	138

1 Einleitung

Im Förderschwerpunkt Elektromobilität haben sich siebzehn Partner in der Modellregion Elektromobilität Rhein-Main zusammengeschlossen und die Allianz Elektromobilität gegründet.

Zielsetzung der Allianz ist es, die Projektvorhaben der einzelnen Partner inhaltlich zu vernetzen, Elektromobilität in Mobilitätsketten zu integrieren, sowie das gewonnene Wissen und Erkenntnisse zu bündeln und gemeinschaftlich weiterzugeben.

In den Projekten der Allianz Elektromobilität werden vorrangig Elektrofahrzeuge für verschiedene Anwender zur Verfügung gestellt. Dabei reicht die Nutzung der Fahrzeuge vom innerbetrieblichen Einsatz bis hin zur Integration in öffentliche Mobilitätslösungen.



Abb. 01 Die sieben Elektromobilitätsprojekte der Allianzpartner der Modellregion Elektromobilität Rhein-Main (Quelle: Allianz Elektromobilität | Regionale Projektleitstelle Elektromobilität Modellregion Rhein-Main)

Die Vorhaben im Einzelnen sind:

- E-Fleet operated by Fraport (Konsortialführer: Fraport AG, Frankfurt a.M.)
- eMiO – Elektromobilität in Offenbach (Konsortialführer: Stadtwerke Offenbach Holding GmbH, Offenbach a.M.)

- eMOMA – Elektro-Mobilitätsmanagement (Konsortialführer: juwi Service & Solutions GmbH, Wörrstadt; Projektpartner: EcoLibro GmbH, CSB-System AG)
- FREE – Freizeit- und Eventverkehre mit intermodal buchbaren Elektrofahrzeugen (Konsortialführer: Regionalmanagement Nord-hessen GmbH, Kassel; Projektpartner: Städtische Werke AG Kassel, Universität Kassel, E.ON Mitte AG, Heinrich Müller E-Bikes, Kasseler Verkehrs-Gesellschaft AG)
- Leben im Westen – Implementierung nachhaltiger Elektromobilität in randstädtischen Wohngebieten (Konsortialführer: KEG mbH, Frankfurt a.M.; Projektpartner BSMF Beratungsgesellschaft für Stadterneuerung und Modernisierung mbH)
- Sozialwissenschaftliche und ökologische Begleitforschung (Konsortialführer: Fachhochschule Frankfurt am Main, Frankfurt a.M.;
- Projektpartner: Goethe-Universität Frankfurt am Main Fachbereiche Gesellschaftswissenschaften und Geowissenschaften, e-hoch-3 GbR)
- TeBALE – Technische Begleitforschung (Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, Kassel)

Die Aufgabe der technischen Begleitforschung war die projektübergreifende Bearbeitung von allgemeinen, technischen Fragestellungen, insbesondere zu den für die Allianz relevanten Arbeitsthemen.

Hierzu zählt zunächst eine einheitliche Datenerfassung für eine Bewertung des Systems »Ladeinfrastruktur und Elektrofahrzeug«. Für die Erfassung der Fahr- und Ladedaten, der im Feld befindlichen Elektrofahrzeuge, sind insbesondere Hersteller- und typenspezifische Telematiklösungen erforderlich, um die geforderten Minimaldatensätze zu erheben und dann der Datenbank bereitzustellen, auf die die übergeordnete Begleitforschung für ihre Arbeiten zentral zugreift.

Darüber hinaus wurden Betriebsdaten von Sonderfahrzeugen für flughafenspezifische Anwendungen erhoben und im Hinblick auf eine Betriebs- und Geräteoptimierung ausgewertet.

Besondere Bedeutung kommt den Untersuchungen zur Energieeffizienz des Systems »Ladepunkt und Elektrofahrzeug« im Labor zu. Hierfür wurde ein Prüfzyklus aus Batterieladung und Fahrbetrieb erforderlich.

Die neuen Erkenntnisse und damit verbundene Handlungsempfehlungen wurden zeitnah insbesondere den Partnern der Allianz bereitgestellt und darüber hinaus auf den regelmäßigen Themenfeldtreffen einem interessierten Fachkreis kommuniziert.

2 Ladetechnologien für Elektrofahrzeuge

Die Batterien von Elektrofahrzeugen können heute mit verschiedenen Technologien geladen werden. Grundsätzlich wird bei der Energieübertragung aus dem elektrischen Netz in die Batterie des Fahrzeugs zwischen kabelgebundenen und kabellosen Techniken unterschieden.

Heute sind kabelgebundene Lösungen marktüblich, bei denen die Energie entweder per Wechsel- bzw. Drehstrom (AC-Strom) oder in Form von Gleichstrom (DC-Strom) durch das Ladekabel zum Fahrzeug transportiert wird. Die AC-Technologie setzt voraus, dass das Batterieladegerät im Fahrzeug eingebaut ist. Die heute üblichen AC-Übertragungsleistungen liegen bei bis zu 22 kW. Gemäß der europäischen Definition deckt dies den Bereich der »Langsamladung« ab. Mit der DC-Technologie werden Leistungen deutlich über 22 kW realisiert, womit eine »Schnellladung« gemäß EU-Definition ermöglicht wird. Bei der DC-Technologie befindet sich das Ladegerät aufgrund seines Gewichtes, des Platzbedarfes und der Kosten in der Regel außerhalb des Fahrzeugs, beispielsweise in einer Ladesäule. Die kabelgebundenen Ladetechnologien sowie die dafür notwendigen Stecksysteme sind durch international gültige Normen beschrieben.

Kabellose Ladetechnologien übertragen die Energie durch ein elektromagnetisches Feld. Im Vergleich zu kabelgebundenen Lösungen ist diese Technologie aufwändiger, bietet aber Vorteile beim Komfort und der Integration in den Straßenraum, da der Aufbau von Ladesäulen in direkter Nähe zum Fahrzeugstellplatz entfallen kann. In der internationalen Normung wird die Grundlage dafür gelegt, dass die notwendigen Übertragungsfrequenzen für die Ladeeinrichtungen reserviert und interoperable Systeme ermöglicht werden.

2.1 Technik und Rahmenbedingungen

Grundsätzlich ist der Anschluss von Ladetechnologie für Elektrofahrzeuge an das öffentliche Stromversorgungsnetz durch Normen, Standards und die technischen Anschlussbedingungen (TAB) geregelt. Dabei haben vor allem die Normen und Standards für die Ladung von Elektrofahrzeugen technisch gestaltenden Charakter, in dem sie Bauformen und technische Funktionsweisen definieren. Durch diese Vereinheitlichung wird es möglich gemacht, dass Fahrzeuge unterschiedlicher Hersteller mit Ladesäulen verschiedener Hersteller kompatibel sind.

Die wichtigsten in Deutschland gültigen Normen und Standards für die Ladung von Elektrofahrzeugen sind (Arbeitsgruppe 4 „Normung, Standardisierung und Zertifizierung“ der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE), 2013):

- IEC 61851 Electric vehicle conductive charging system,
- ISO 15118 Road vehicles - Vehicle to grid communication interface,
- DIN EN 62196 Stecker, Steckdosen, Fahrzeugkupplungen und Fahrzeugstecker - Konduktives Laden von Elektrofahrzeugen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 62196-1 modifiziert).

Auch weitere Normen sind für einen fehlerfreien Ablauf der Ladeprozesse von großer Bedeutung. In Abb. 02 sind die relevanten Normen zum kabelgebundenen und zum

induktiven Laden, geordnet nach den Kategorien »Ladestecker«, »Kommunikation«, »Ladetopologie« und »Sicherheit«, aufgeführt.

Sicherheit			
IEC 61140 IEC 62040 IEC 60529 IEC 60364-7-722 IEC 62752 ISO 6469-3 ISO 17409	Ladetopologie		
	IEC 61439-7 ISO/AWI PAS 19363 IEC 61851-1 IEC 61851-21 IEC 61851-22 IEC 61851-23 IEC 61980	Kommunikation	
		IEC 61851-24 IEC 61850-x ISO/IEC 15118	Ladestecker
			IEC 62196-1 IEC 62196-2 IEC 62196-3

Abb. 02 Einordnung der aktuellen Normen zur Elektromobilität in die vier Kategorien Sicherheit, Ladetopologie, Kommunikation und Ladestecker, Quelle: (Nationale Plattform Elektromobilität (NPE), Dezember 2014)

Bei der Ladung von Elektrofahrzeugen werden vier Lademodi (Ladebetriebsarten) unterschieden. Diese sind in der Norm (61851-1, 2017) als Mode 1 bis Mode 4 definiert:

Mode 1:

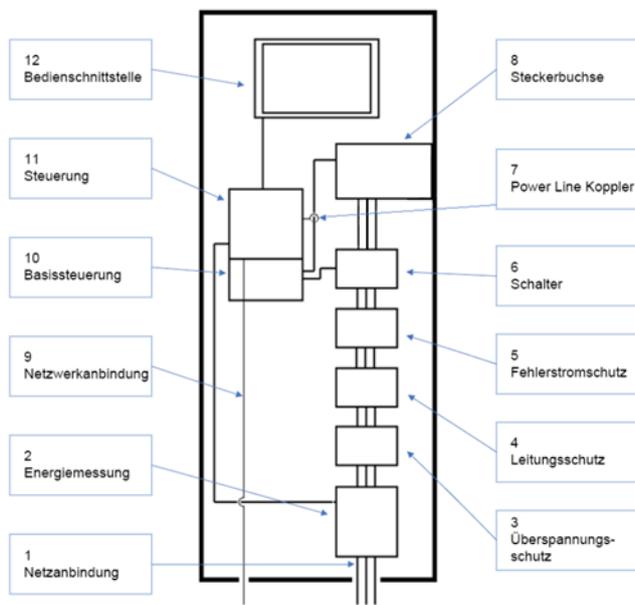
Direkter Netzanschluss des Elektrofahrzeugs an einer Steckdose (in Deutschland die Schutzkontaktsteckdose) über ein Kabel, das im Fahrzeug verbaut ist oder dem Fahrzeug beiliegt.

Mode 2:

Netzanschluss an einer Steckdose, aber über ein Standardkabel mit einer integrierten Ladesteuerung nach (61851-1, 2017) und Fehlerstromschutzschalter (RCD: Residual-Current Device). Diese Einheit wird als IC-CPD (In Cable Control and Protection Device) (EN 62752, 2017) oder auch als Notladekabel bezeichnet. Der Kontakt zum Fahrzeug wird hierbei entweder über den einphasigen Typ-1-Stecker oder über den dreiphasigen Typ-2-Stecker hergestellt. Beide sind in der Norm IEC 62196-2 definiert und werden auch für die Ladung im Mode 3 verwendet.

Mode 3:

Der Netzanschluss des Fahrzeugs im Mode 3 erfolgt in der Regel im öffentlichen Bereich über eine Ladesäule und im Privatbereich über eine Wallbox. Die Unterschiede der beiden Ladepunkte bestehen in der Abrechnung, Nutzeridentifikation und Energiezählung, die jeweils nur in einer Ladesäule und nicht in einer Wallbox notwendig sind. Abb. 03 zeigt eine schematische Komponentendarstellung einer Ladesäule. Im Prinzip verfügt jede Wallbox über die gleichen Komponenten, allerdings gibt es Unterschiede, vor allem bei der Bedienschnittstelle, Steuerung und Energiemessung, die in einer Wallbox wesentlich einfacher ausfallen kann als in einer öffentlichen Ladesäule.



**Abb. 03 Schematische
Komponentendarstellung
einer Ladesäule**

Angeschlossen wird das Fahrzeug mit einem Stecker vom Typ 1 oder Typ 2 (siehe Abb. 04 und Abb. 05), wie dies auch im Mode 2 geschieht. An der Ladesäule bzw. Wallbox wird das Kabel mit einem Typ-2-Stecker kontaktiert.



**Abb. 04 Mode-3-Ladekabel
in dreiphasiger Ausführung
mit Typ-2-Stecker**



**Abb. 05 Mode-3-Ladekabel
in einphasiger Ausführung
mit Typ-1-Stecker**

Mode 4:

Bei einer DC-Ladung, bezeichnet als Mode 4, wird das Fahrzeug an eine DC-Ladestation angeschlossen und direkt mit dem für die Batterieladung erforderlichem Gleichstrom versorgt. Der Kabelanschluss erfolgt über einen Combo-2-Stecker (vgl. Abb. 06), der meistens fest mit der DC-Ladestation verbunden ist.



Abb. 06 Combo-2-Stecker,
Quelle: (Nationale Plattform
Elektromobilität (NPE),
Dezember 2014), Seite 72

Die oben gezeigten Stecker der vier Modi haben verschiedene Stromtragfähigkeiten, wodurch in Kombination mit der Anzahl der Phasen und der Netzspannung die übertragbare Leistung definiert ist.

Für den Typ-1-Stecker wird ein maximaler AC-Strom von 80 A erlaubt, woraus sich bei der in den USA im ein- und dreiphasigen Leiternetz verbreiteten Nennspannung von 240 V eine maximale Leistung von 19,2 kW ergibt. In der Praxis laden die meisten Elektrofahrzeuge aber nur mit Maximalströmen von 16-32 A.

Für den Typ-2-Stecker sind ebenfalls maximal 80 A für den einphasigen und 63 A im dreiphasigen Ladebetrieb zugelassen. Daraus folgt für den dreiphasigen Ladebetrieb im europäischen Netz mit der Nennspannung von 230 V eine maximale Übertragungsleistung von 43,5 kW.

Für die Gleichstromübertragung mit dem Combo-2-Stecker sind die übertragbaren Ströme und Spannungen für den Typ 1 und Typ 2 gleich. Es sind DC-Spannungen von 200-600 V bei einem maximalen Ladestrom von 400 A vorgesehen. Theoretisch ergibt sich daraus eine maximale Übertragungsleistung von 240 kW. In der Praxis sind heute aber die meisten DC-Ladestationen bis zur einer maximalen Leistung von 100 kW ausgestattet und damit sind Fahrzeuge nur selten in der Lage, mehr als 60-80 kW aufzunehmen.

Bezogen auf die Ladegeschwindigkeit wird häufig bereits bei einer dreiphasigen Ladung mit einem Ladestrom von 16 A und einer Leistung von 11 kW von einer sogenannten »Schnellladung« gesprochen, da so eine Batterieladung mit 20-80 % SoC – je nach Batteriekapazität – in einer Ladezeit unter einer Stunde möglich ist. Unter einer »Langsamladung« wird vor allem die typische einphasige Ladung mit max. 16 A und 3,6 kW verstanden, die typischerweise über Nacht erfolgt. Dieser Sprachgebrauch unterscheidet sich jedoch von der EU-Definition. In der RICHTLINIE 2014/94/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 22. Oktober 2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments, 2014) liegt die Leistungsgrenze zwischen langsamem und schnellem Laden bei einer elektrischen Leistung von 22 kW.

2.2

Untersuchungen zum kabelgebundenen AC-Laden

Für die Untersuchungen zum kabelgebundenen AC-Laden wurden die Laborprüfverfahren für Elektrostraßenfahrzeuge, wie in Kapitel 4 beschrieben, durchgeführt und ausgewertet. Die daraus gewonnenen und für das Projekt TeBALE relevanten Ergebnisse hinsichtlich des AC-Ladeverhaltens befinden sich in diesem Abschnitt.

2.2.1 Fahrzeuge

Untersucht wurden die folgenden Fahrzeugtypen, welche überwiegend von den Partnern der Allianz zur Verfügung gestellt wurden:

- BMW i3 (siehe Abb. 07)
- Mitsubishi i-MiEV (siehe Abb. 08)
- Mercedes Vito E-Cell (siehe Abb. 09)
- Renault Kangoo (siehe Abb. 10)
- Smart fortwo (siehe Abb. 11)
- German E-Cars Stromos (siehe Abb. 12)
- Volkswagen e-up! (siehe Abb. 13)
- Renault Zoé (siehe Abb. 14)
- Opel Ampera (siehe Abb. 15)



Abb. 07 BMW i3



Abb. 08 Mitsubishi i-MiEV



Abb. 09 Mercedes Vito E-Cell



Abb. 10 Renault Kangoo



Abb. 11 smart fortwo



**Abb. 12 German E-Cars
Stromos**



Abb. 13 Volkswagen e-up!



Abb. 14 Renault Zoé



Abb. 15 Opel Ampera

Durchgeführt wurden die Untersuchungen am Test- und Prüfczentrum Elektromobilität (IWES-TPE) im Labor SysTec des Fraunhofer IWES.

Die Untersuchungsergebnisse zum Ladeverhalten der getesteten Fahrzeuge sind:

- die Kenngrößen wie Ladedauer, Ladeleistung, Batteriekapazität und verfügbare Lademodi,
- das zeitliche Verhalten am Netz (Ladekurven),
- das Systemverhalten am Netz und
- die Effizienz der Ladung

Für eine Bewertung der Smart-Grid-Fähigkeiten von Elektrofahrzeugen wurden erste Ansätze untersucht und wichtige zu testende Merkmale identifiziert, siehe hierzu auch Kapitel 4.

Wichtige Kenngrößen

Für die Ladung im Mode 3, also die Ladung am dreiphasigen 400-V-AC-Verteilnetz, wurden die in Abb. 16 aufgeführten Kenngrößen ermittelt. Diese gelten für die untersuchten Fahrzeuge mit den jeweiligen technischen Ausführungsständen. Während der Messungen lag die Umgebungstemperatur im Labor jeweils im Bereich der Standardraumtemperatur von 15-25 °C.

Abb. 16 Übersicht über wichtigen Kenngrößen als Ergebnisse der Ladeversuche an den zehn Testfahrzeugen

	BMW i3	i-MiEV	Vito E-Cell	Kangoo	Smart 4 2
verwendete Phasen	1 ph	1 ph	2 ph	1 ph	3 ph
Ladedauer	3,7 h	6,2 h	3,9 h	6,95 h	1 h
max. AC Ladeleistung	7,36 kW	3,2 kW	6,6 kW	3,6 kW	22,3 kW
max. AC-Ladestrom	31,4 A	14 A	14,4 A	16,1 A	32,5 A

	BMW i3	i-MiEV	Vito E-Cell	Kangoo	Smart 4 2
AC-Abschaltstrom	2,9 A	2,5 A	[13,8 A]	3,9 A	[32,2 A]
bezogene AC-Energie	22,6 kWh	18,3 kWh	20,8 kWh	24,7 kWh	19 kWh
Ø Wirkungsgrad	---	88%	91%	88%	---

	Stromos	VW e-up!	Golf blue-e-Motion	Zoe	Ampera
verwendete Phasen	3 ph	1 ph	1 ph	3 ph	1 ph
Ladedauer	2,5 h	5 h	6,4 h	2,5 h	3,7 h
max. AC Ladeleistung	9,4 kW	3,6 kW	3,6 kW	20,9 kW	3,4 kW
max. AC-Ladestrom	14,7 A	15,5 A	15,5 A	31,4 A	---
AC-Abschaltstrom	[14,3 A]	6,4 A	[13,4 A]	9,7 A	---
bezogene AC-Energie	18,6 kWh	17,5 kWh	22,6 kWh	23,6 kWh	12,2 kWh
Ø Wirkungsgrad	86%	---	88%	87%	---

2.2.2 Ladekurven und Systemverhalten

Abb. 17 zeigt die unterschiedlichen Verläufe der AC-Ladeleistungen für verschiedene Fahrzeuge im Mode 3. Deutlich sichtbar unterscheiden sich die Kurvenverläufe der AC-Ladeleistungen als Funktion der Zeit und in der maximal erreichbaren Ladeleistung.

AC-Ladeleistung im Mode 3

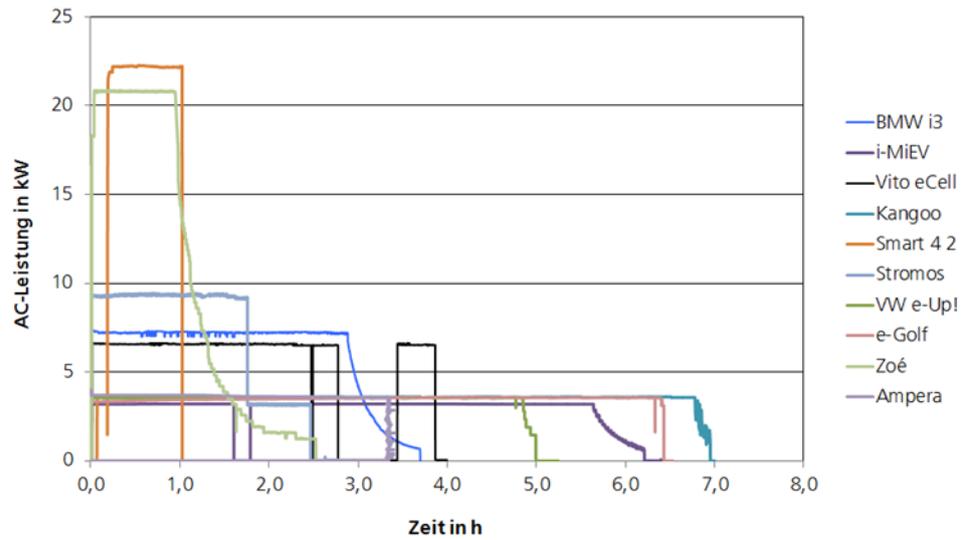


Abb. 17 Übersicht über die zeitlichen Verläufe der im Mode 3 bestimmten AC-Ladeleistungen der Testfahrzeuge

Zum Systemverhalten ist in Abb. 18 exemplarisch eine Momentaufnahme des Verhaltens am Netz dargestellt. Die Aufnahme wurde in der Hauptladephase erstellt und zeigt die Ströme und Spannungen auf der Drehstrom- und der Gleichstromseite sowie weitere Netzgrößen.

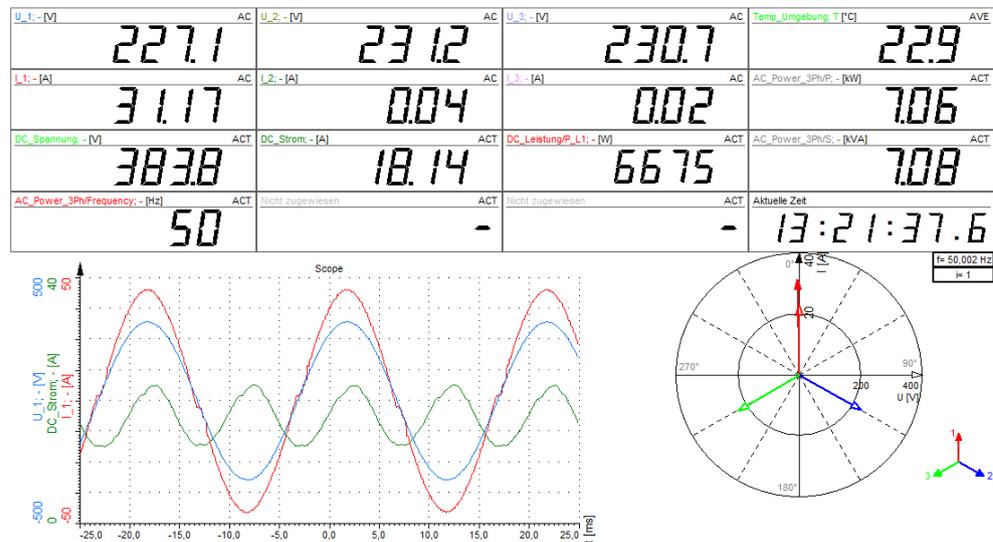


Abb. 18 Momentaufnahme des Netzverhaltens eines Elektrofahrzeuges während der Hauptlade-phase

In den nachfolgenden Abbildungen 19 bis 32 sind die zeitlichen Verläufe für die Mode-3-Ladung der getesteten Fahrzeuge dargestellt. In den Abbildungen sind die AC- und DC-Ladeleistung, die geladene AC- und DC-Energie und der Wirkungsgrad in ihrem zeitlichen Verlauf soweit vorhanden gezeigt. Auf die zugrundeliegenden Untersuchungen wird in Kapitel 4 näher eingegangen.

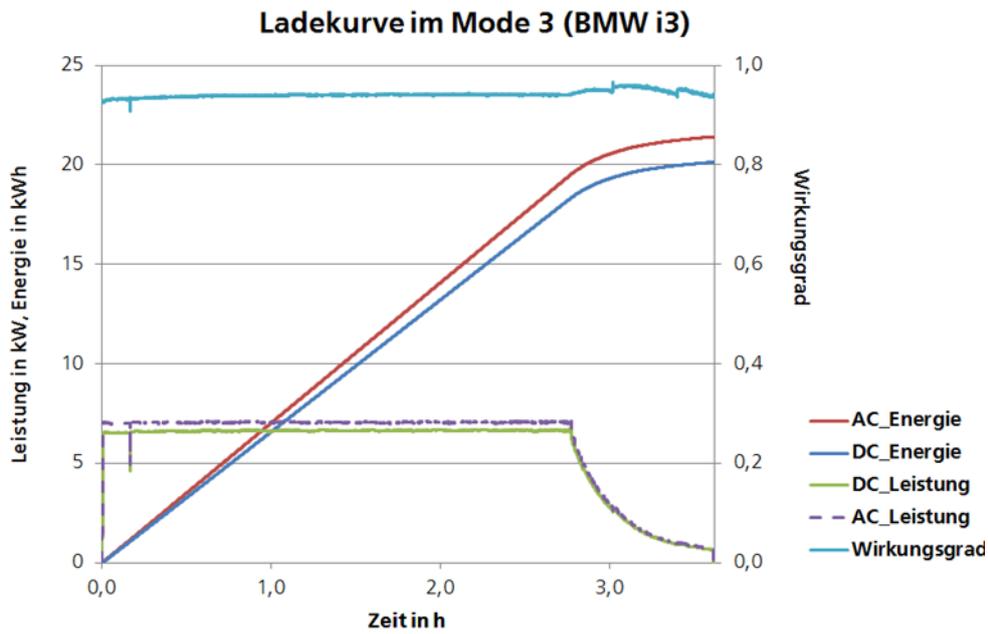


Abb. 19 BMW i3: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung

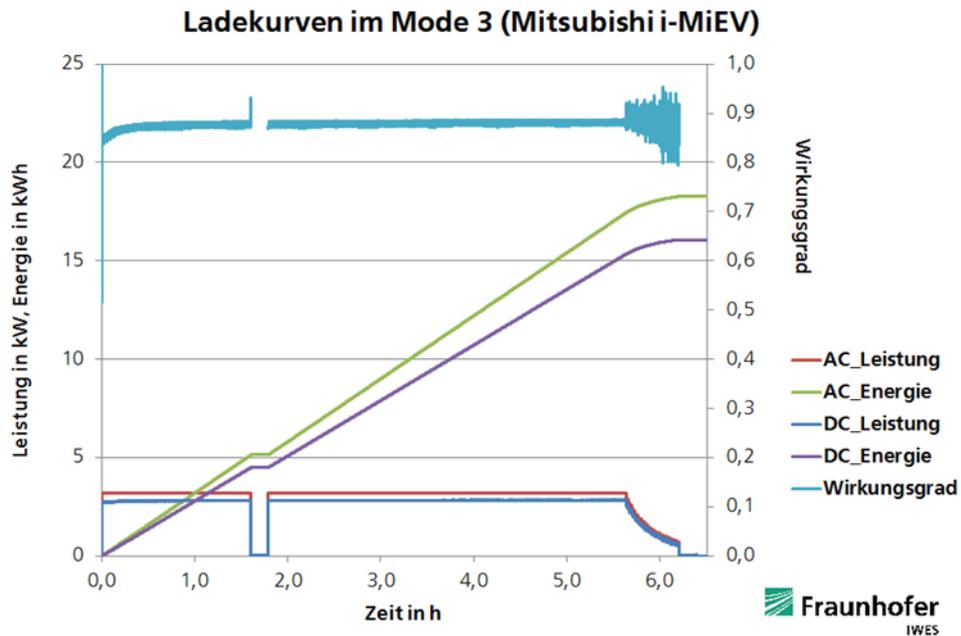


Abb. 20 Mitsubishi i-MiEV: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung

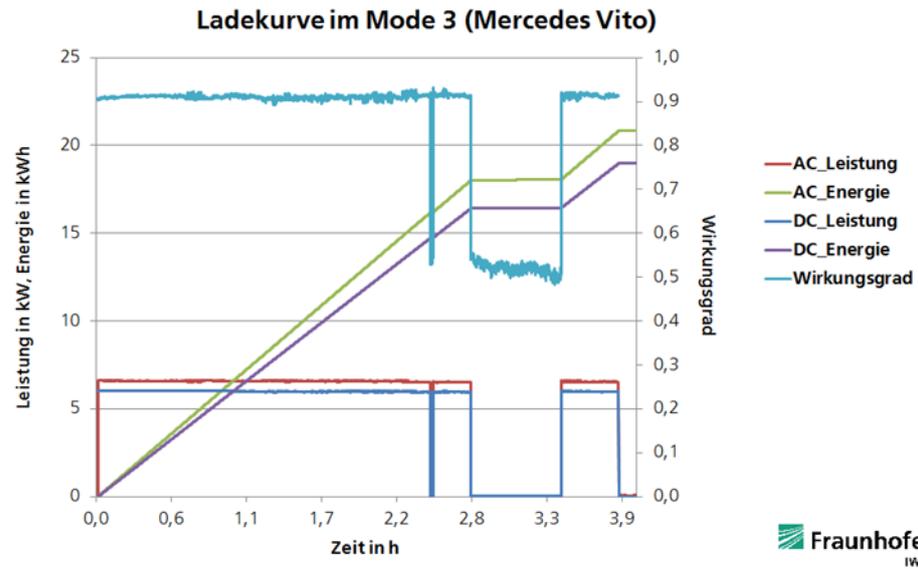


Abb. 21 Mercedes Vito E-Cell: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung

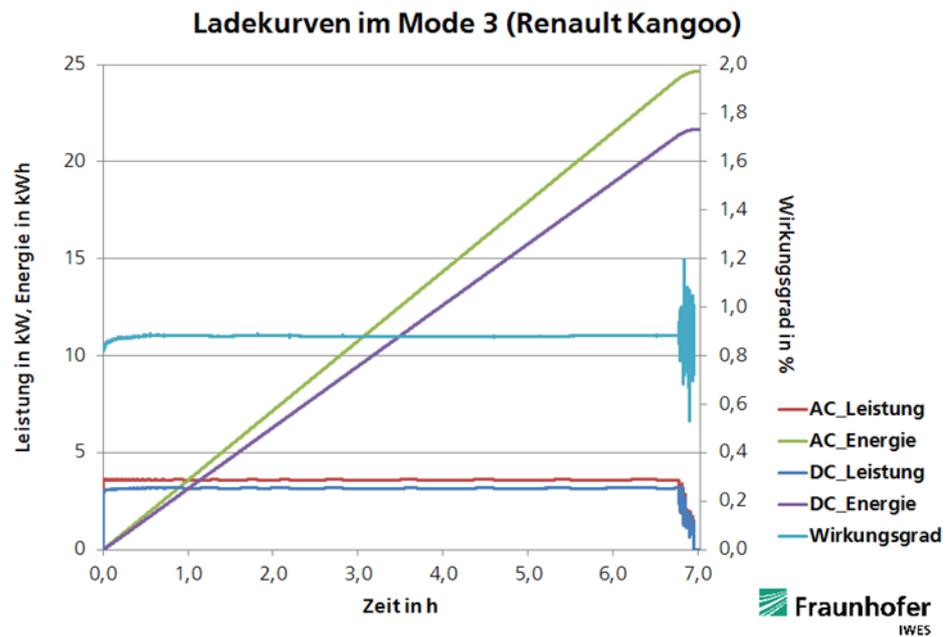


Abb. 22 Renault Kangoo: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung

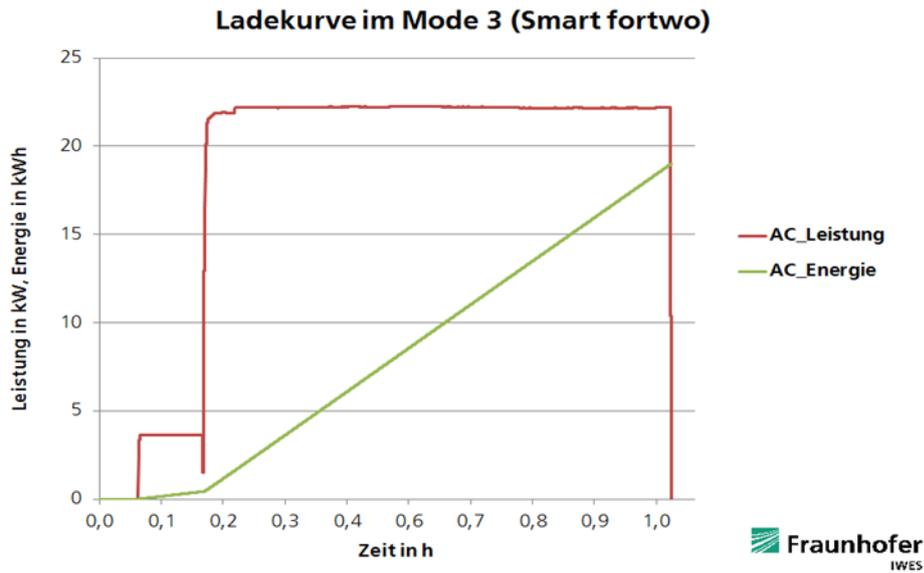


Abb. 23 Smart fortwo: zeitlicher Verlauf der elektrischen Leistung und der Energie in der Vorlade-
phase einer Mode-3-Ladung

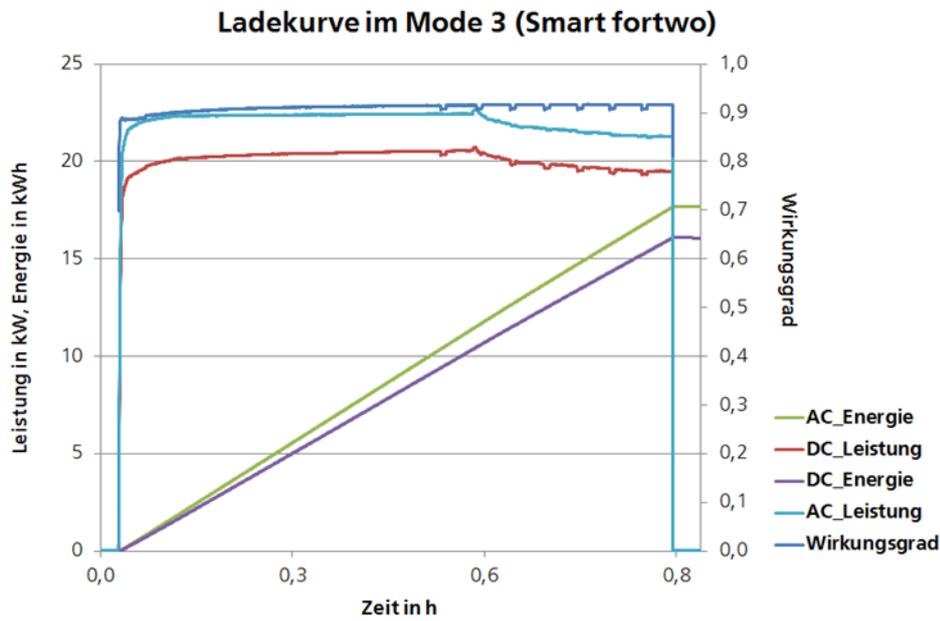


Abb. 24 Smart fortwo: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten
Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung

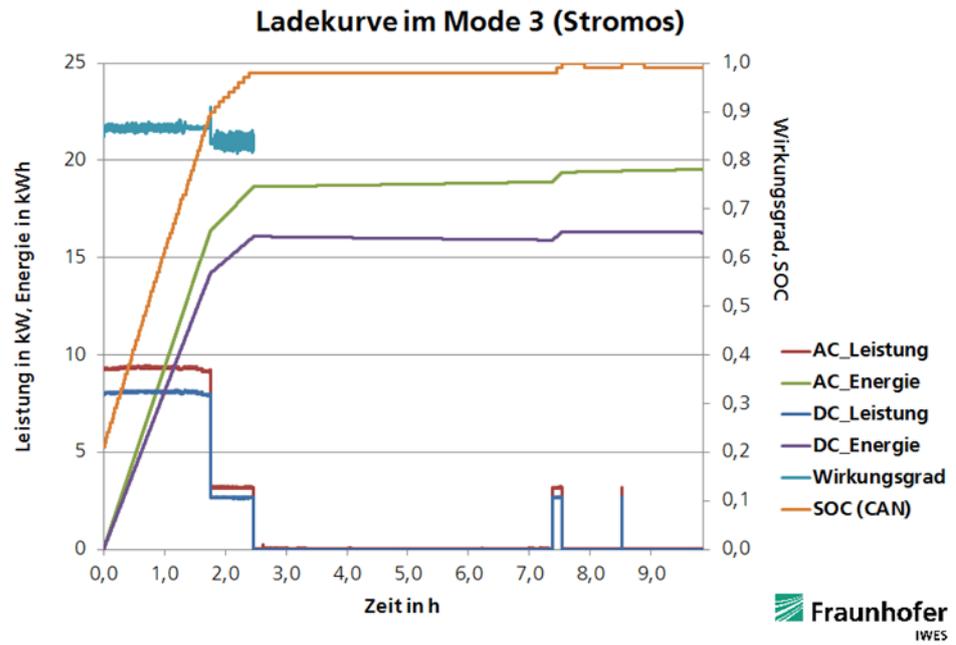


Abb. 25 German E-Cars: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung

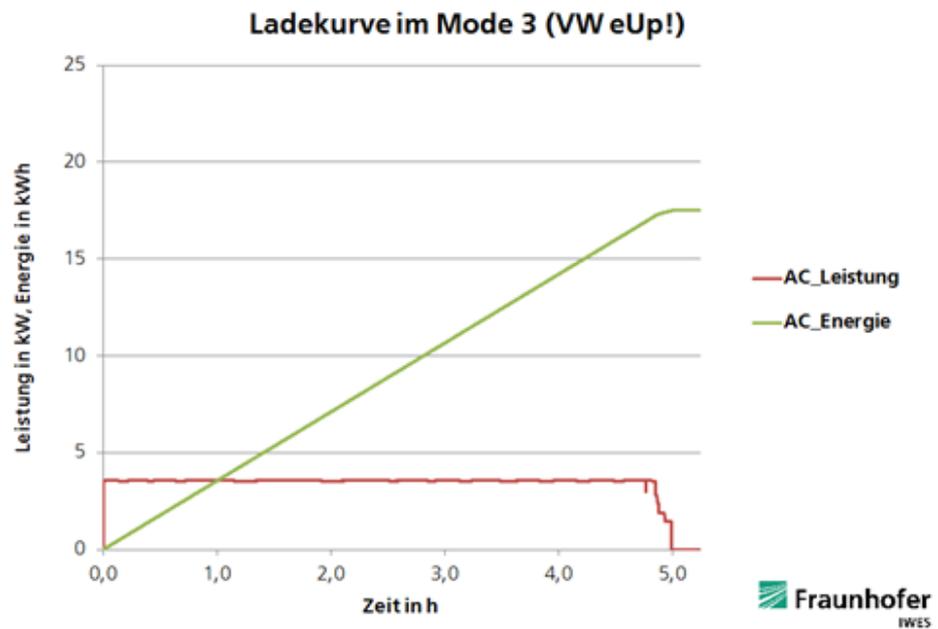


Abb. 26 Volkswagen e-up!: zeitlicher Verlauf der elektrischen AC-Leistung und der Energie für eine Mode-3-Ladung

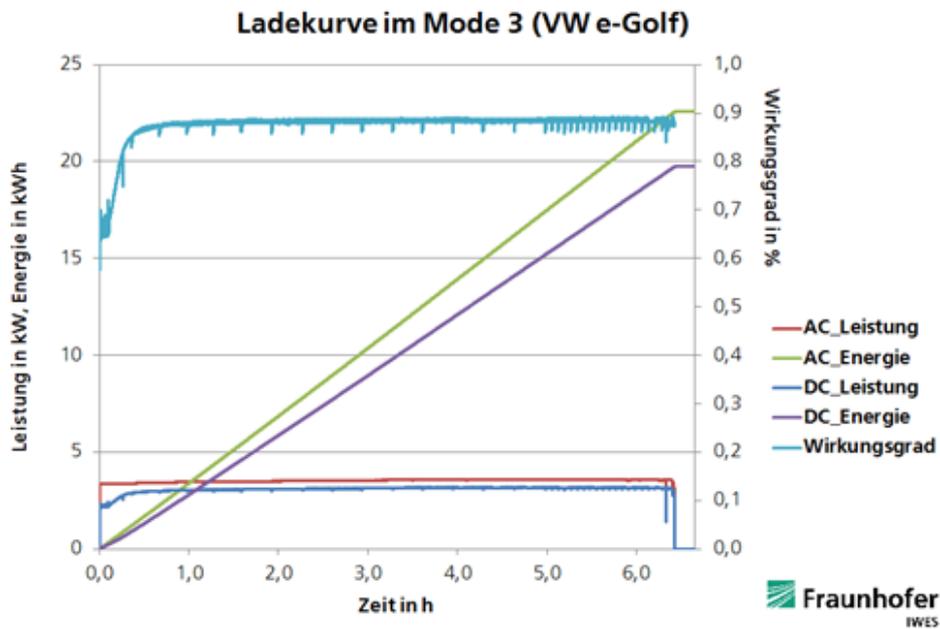


Abb. 27 Volkswagen e-Golf: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung

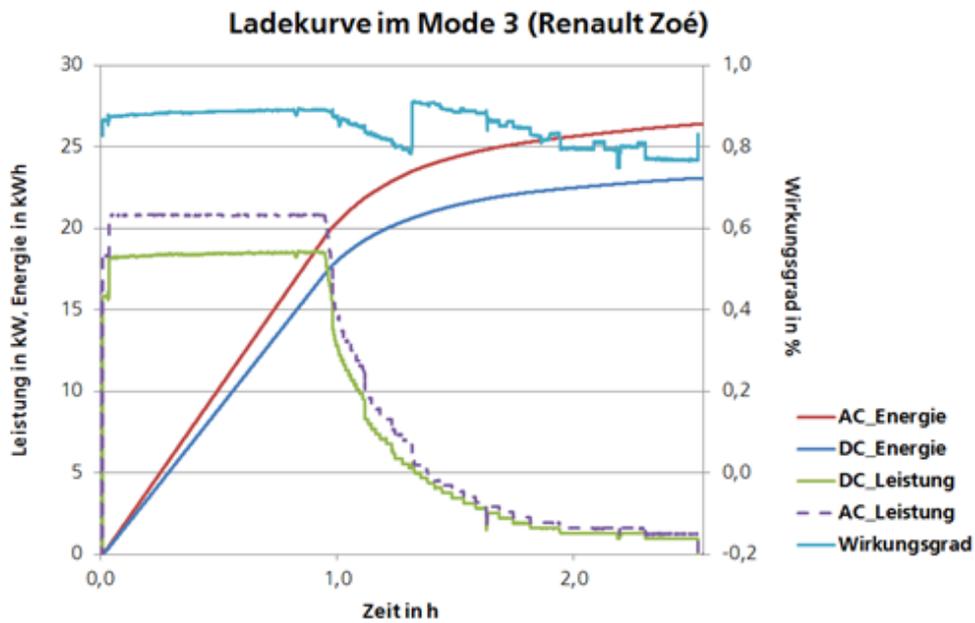


Abb. 28 Renault Zoé: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung

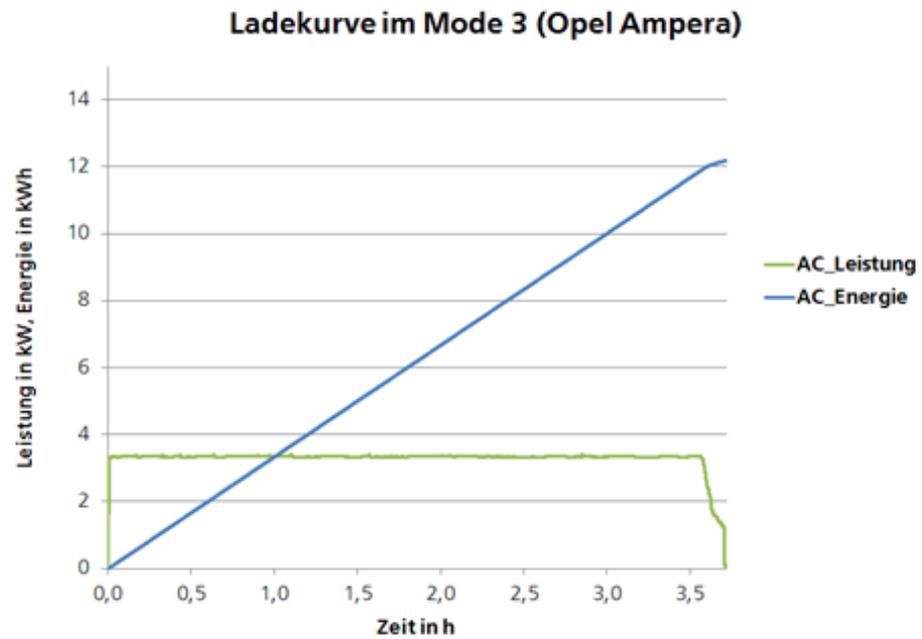


Abb. 29 Opel Ampera: zeitlicher Verlauf der elektrischen AC-Leistung und Energie für eine Mode-3-Ladung

Für einen Teil der getesteten Fahrzeuge sind in Abb. 30 bis Abb. 32 die Ladekurven für eine Mode-2-Ladung (Ladung mit einer in die Ladeleitung integrierten Steuer- und Schutzeinrichtung IC-CPD) gezeigt. Die dargestellten Größen sind mit denen in den oberen Grafiken für eine Mode-3-Ladung vergleichbar.

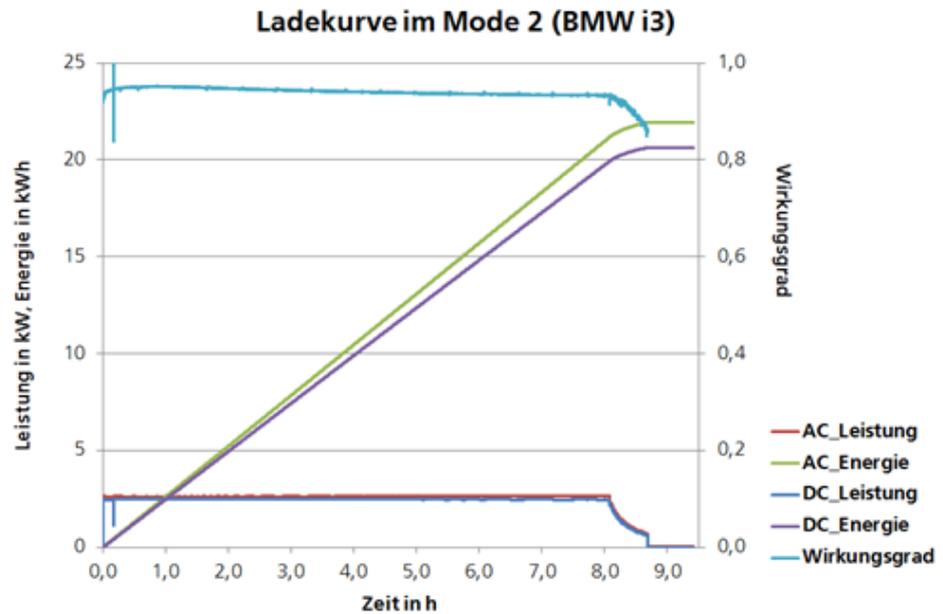


Abb. 30 BMW i3: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-2-Ladung

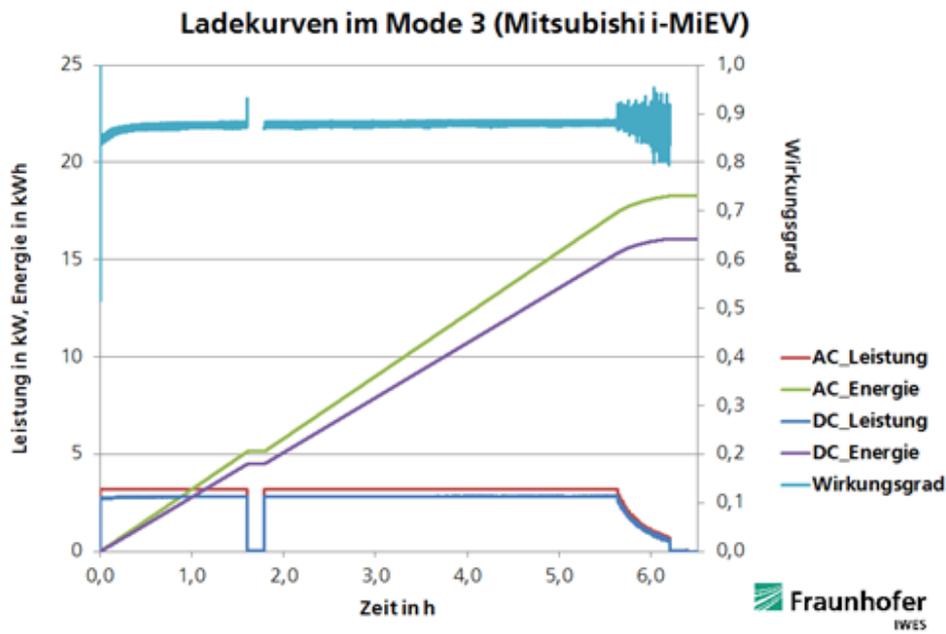


Abb. 31 Mitsubishi i-MiEV: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-2-Ladung

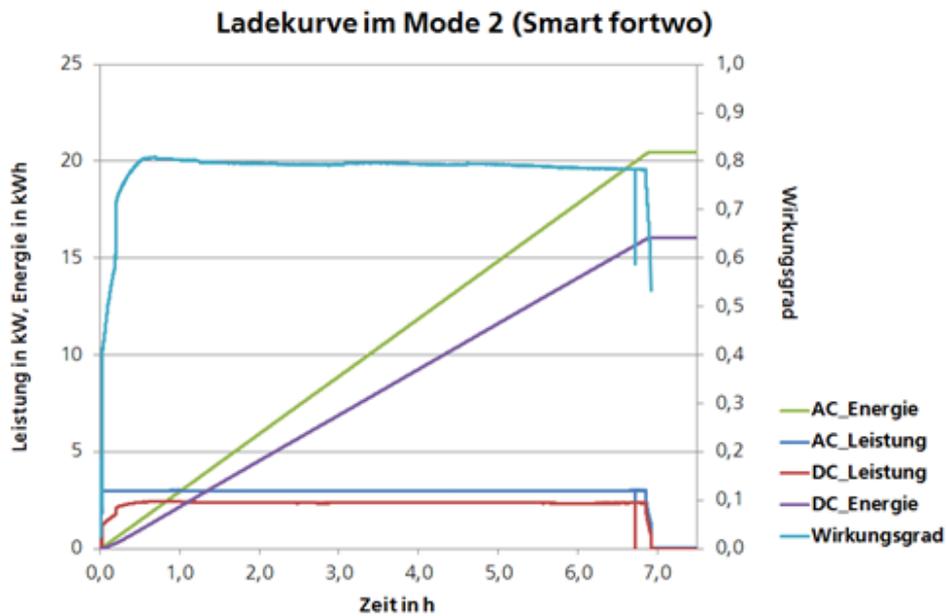


Abb. 32 Smart fortwo: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-2-Ladung

Smart-Grid-Fähigkeiten

In einem Smart Grid wird es wichtig sein, die Leistung von Lasten an die jeweilige Situation im Netz anpassen zu können. Um dies zu prüfen, wurde den Fahrzeugen per IEC 61851-1-PWM-Kommunikation eine veränderte mögliche Ladeleistung vorgegeben und die Reaktion des Fahrzeugs beobachtet. Dabei sind bei keinem der Fahrzeuge größere Probleme aufgetreten. Die veränderte Anforderung an die Leistungsabnahme wurde von allen Fahrzeugen eingestellt.

2.3 Energieeffizienz von AC-Ladestationen

Im Rahmen einer Messkampagne wurden drei verschiedene Ladesäulen mit dem Schwerpunkt Energieeffizienz untersucht.

Testmethoden und Versuchsanordnungen zur Effizienzbestimmung

Um die Energieeffizienz einer Ladestation zu bestimmen, müssen die entstehenden Verluste in der Ladestation erfasst und mit der insgesamt am Netzanschluss entnommenen Energie ins Verhältnis gesetzt werden. Dies bringt mehrere unterschiedliche Herausforderungen mit sich:

1. Die Verluste und auch die »Nutzenergie« sind über die Dauer eines Ladeprozesses nicht gleich.
2. Die »Nutzenergie« ist vom Fahrzeug und von der Art der Ladung abhängig, beispielsweise unterscheiden sich das einphasige und dreiphasige Laden.
3. Einige Komponenten haben eine Eigenversorgung, wie z. B. handelsübliche Smart Meter, welche schwer separat messbar ist.
4. Einige Komponenten sind ereignisgesteuert, wie z. B. ein Lüfter, der erst ab einer bestimmten Temperaturschwelle losläuft.

Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, wurden mehrere Testmethoden angewendet, die verschiedene Versuchsanordnungen erfordern. Abb. 33 verdeutlicht den schematischen Aufbau von Ladestationen und gibt einen Überblick über die einzelnen Komponenten.

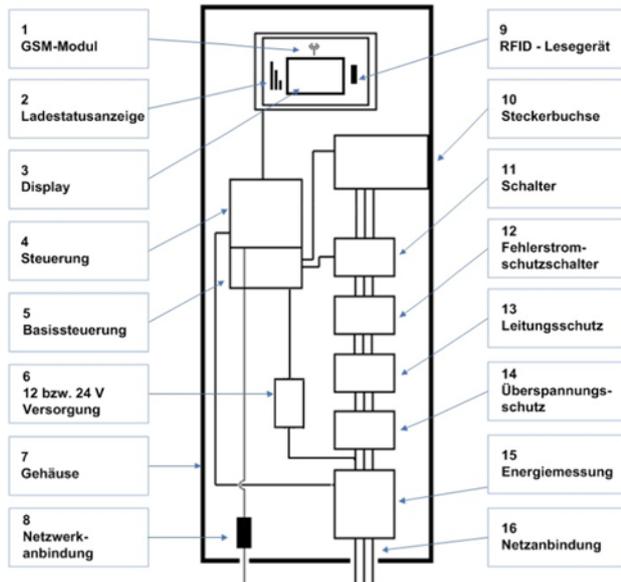


Abb. 33 Schematische Darstellung der einzelnen Komponenten in einer Ladestation

Verbrauchermessung

Der Hauptverbraucher in der AC-Ladestation ist das 12-V-DC-Netzteil und die damit versorgten Komponenten. Somit ist die Verbrauchermessung am AC-Eingang des Netzteils durchzuführen. Um die Messung in Relation zum Gesamtverbrauch darstellen zu können, wird dieser am Dreiphasenanschluss der Ladestation erfasst. Die Messanordnung für eine Verbrauchermessung stellt sich wie in Abb. 34 gezeigt dar.

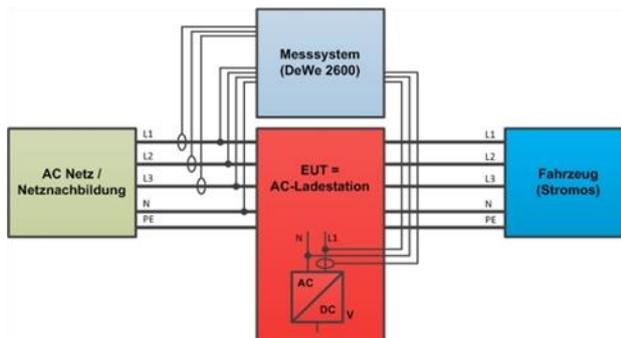


Abb. 34 Versuchsanordnung bei der Verbrauchermessung an einer AC-Ladestation

Differenzmessung

Eine Differenzmessung zwischen Eingang und Ausgang der Ladestation liefert in der Regel die besten Messergebnisse. Realisiert wird die Differenzmessung durch eine vollständige Vermessung des Dreiphasensystems »vor und hinter« der Ladestation, wie in Abb. 35 zu sehen ist.

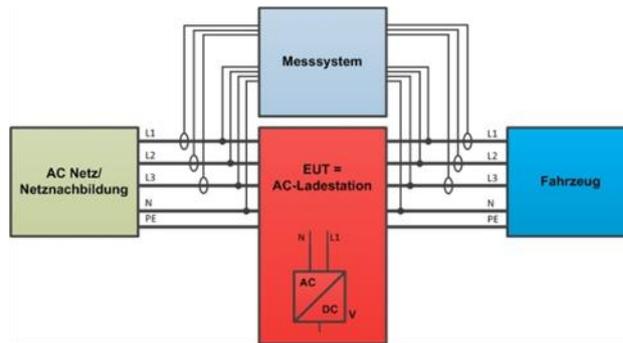


Abb. 35 Versuchsanordnung der Differenzmessung an einer AC-Ladestation

Vergleich und Einordnung der Testmethoden

Ausschlaggebend für die Wahl einer Testmethode ist in erster Linie die Anforderung an die Genauigkeit der Ergebnisse. Soll z. B. nur die Verlustleistung im Stand-by ermittelt werden, so reicht die einfache Messung aus, bei der Faktoren wie Auslastung, Umgebungsbedingungen und Prozessstatus unberücksichtigt bleiben. Sollen hingegen Energieverluste im Stand-by-Betrieb und der Eigenverbrauch ermittelt werden, müssen unbedingt Messungen vorgenommen werden, die die Phasen eines Ladeprozesses berücksichtigen und möglichst genau sind. Dies begründet sich in den anschließenden Rechnungen, z. B. ergeben kleine Abweichungen bei der angenommenen Verlustleistung, bezogen auf ein Jahr, große Unterschiede bei der errechneten Verlustenergie.

Neben der Wahl einer geeigneten Test- und Messmethode hat die Annahme der Auslastung des Ladepunktes und den daraus abzuleitenden Betriebsbedingungen einen großen Einfluss auf das Ergebnis der Effizienzberechnung über einen längeren Zeitraum, beispielsweise ein Jahr.

Messtechnik und Laborumgebung

Als Umgebung für die durchgeführten Tests dienten das Labor DeMoTec des Fraunhofer IWES und die Infrastruktur des Test- und Prüfzentrums für Elektromobilität (TPE). Um eine Beeinflussung der Messungen durch etwaige Netzvorbelastungen zu minimieren, wurden die Tests an einer Niederspannungsnetznachbildung der Firma Spitzenberger und Spies GmbH & Co KG bzw. einem eigenen Netzknoten durchgeführt. Die Netznachbildung von Spitzenberger und Spies kann auch für Tests der Störimpfindlichkeit und Störaussendung eingesetzt werden, wie in (Peitz, Matrose, Schnettler, & Hackmann, 2012) beschrieben.

Für die Durchführung der Tests wurde ein Elektrofahrzeug der Firma German E-Cars GmbH, Typ Stromos, an die Ladestationen als Last angeschlossen. Der Zustand des Fahrzeugs wurde mittels Zugriff auf den Fahrzeug-CAN-Bus überwacht und mitgeloggt. Als Messtechnik kam hauptsächlich ein tragbares Datenerfassungssystem DeWe 2600 der Firma Dewetron GmbH zum Einsatz. Das DeWe 2600 verfügt über jeweils fünf Spannungs- und Stromkanäle sowie zwei CAN-Kanäle. Erfasst wurden Ströme und Spannungen mit einer Abtastrate von 50 kHz. Für die Strommessungen wurden hochgenaue Hallstromzangenwandler verwendet.

Die Temperatur wurde mit einem TA5 Anemometer/Thermometer der Firma Airflow Lufttechnik GmbH gemessen.

Darstellung und Einordnung der Ergebnisse

Die Messungen wurden gemäß der in der Abb. 34 gezeigten Anordnung durchgeführt, dabei wurde die Verlustleistung im Ladebetrieb mit separaten Abgriffen am Hauptverbraucher der Ladestation ermittelt. Die Verlustleistung im Stand-by hingegen wurde über dem gesamten Dreiphasensystem erfasst. Die Messungen erfolgten über einige Minuten, aber nicht über einen vollständigen Ladeprozess.

In den folgenden Abb. 36 und Abb. 37 sind die Messergebnisse für alle drei getesteten Ladestationen (LS A-C) aufgeführt. Dabei zeigt Abb. 36 den Fall des Anschlusses über das einphasige, sogenannte Notladekabel, und Abb. 37 den Fall des Anschlusses über den Typ-2-Stecker.

Verlustleistung		LS A	LS B	LS C
im Stand-by	in W	47	30	15
im Betrieb	in W	42	20	14
	in %	1,4	0,7	0,5
im Stand-by mit Elektrofahrzeug	in W	42	20	20

Abb. 36 Darstellung der Verlustleistung (auch in % der Gesamtleistung) für eine Ladung mit ca. 3 kW

Verlustleistung		LS A	LS B	LS C
im Stand-by	in W	47	30	15
im Betrieb	in W	46	24	21
	in %	0,5	0,25	0,2
im Stand-by mit Elektrofahrzeug	in W	46	17,7	31

Abb. 37 Darstellung der Verlustleistung (auch in % der Gesamtleistung) für eine Ladung mit ca. 10 kW

Vergleicht man die Ergebnisse für die Notladung (Mode 2) mit der Mode-3-Ladung fällt vor allem auf, dass die Verluste im Verhältnis zur Ladeleistung beim einphasigen Laden höher sind. Dies erklärt sich durch die längere Ladedauer aufgrund der geringeren Ladeleistung beim einphasigen Laden.

Vergleich zwischen Kurz- und Langzeitmessungen

Für die Ladestation A (LS A) zeigt der Vergleich der Ergebnisse für das einphasige Laden (vgl. Abb. 36) und das dreiphasige Laden (vgl. Abb. 37) mit den Messergebnissen über einen kompletten Ladevorgang (vgl. Abb. 38) nur geringe Unterschiede. Im Detail fällt jedoch auf, dass im Stand-by-Betrieb mit angeschlossenem Elektrofahrzeug (Phase 4) im Verlauf der langen Messung eine geringere Verlustleistung auftritt. Solche Effekte sind im Allgemeinen immer zu erwarten, da viele Komponenten, besonders die Komponenten der Kommunikationstechnik, nach einiger Zeit der Inaktivität in einen Sleep-Modus umschalten. Ein weiterer Vorteil der langen Messung ist die Möglichkeit, die Nutz- und Verlustenergie phasenweise ins Verhältnis setzen zu können. So ergibt sich eine Aussage, dass eine Ladung, die eine sehr lange Stand-by-Phase mit angeschlossenem Elektrofahrzeug aufweist, ineffizienter lädt als eine Ladung mit kurzer Phase 4.

Abb. 38 Darstellung der Nutz- und Verlustenergie bezogen auf die vier zeitlichen Phasen einer Ladung

		Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
Nutzenergie	in kWh	---	17,57	0,72	5,44
	in Wh	91	124	61	1118
Verlustenergie	in %	---	0,7	8,5	20,6
	Ø Leistung	---	6,58	0,526	0,214
Ø Verlustleistung	in W	46,3	46,5	44,3	44
	in %	---	0,7	8,5	20,6

Energiezählung und Anmerkungen zur Abrechnung

Neben der Ladeleistung und den entstehenden Verlusten ist die übertragene Energie die wichtigste Größe bei einem Ladesystem für Elektrofahrzeuge. Auf der einen Seite gilt dies aus abrechnungstechnischen Gesichtspunkten und auf der anderen Seite, weil die übertragene Energie die verfügbare Reichweite entscheidend bestimmt.

Abb. 38 zeigt die gemessenen und an der Ladestation abgelesenen Energiemengen für eine Vollladung wie sie in Abb. 40 dargestellt ist.

Abb. 39 Darstellung der abgelesenen Energiemenge im Vergleich zur gemessenen Energiemenge

Energiemenge		30% bis 90% SoC	30% bis 99% SoC	30% SoC bis Ende Phase 3	30% SoC bis Ende Phase 4
gemessen	in kWh	13,7	16,1	18,1	23,7
abgelesen	in kWh	13,1	15,4	17,2	21,5
Differenz	in kWh	0,6	0,7	0,9	2,2
Differenz	in %	4,6	4,5	5,2	10,2

In diesem Vergleich ist gut zu sehen, dass die Verluste offensichtlich nicht in der Energiezählung der Ladestation auftauchen. Weiter kann man sehen, dass die gemessene und die abgelesene Energiemenge zum Ende der Ladung hin auseinander driften. Dies ergibt sich dadurch, dass in Phase 4 hauptsächlich Verluste entstehen, aber kaum noch Nutzenergie in das Fahrzeug geladen wird.

Übertragung von Leistungskenngrößen auf den Normalbetrieb

Wie schon oben beschrieben reicht es nicht, die reine Verlustleistung einer Ladestation zu ermitteln, da sich diese über die verschiedenen Phasen des Ladeprozesses verändert. Hier soll hergeleitet werden, an welchen zu erfassenden Leistungskenngrößen eine Bewertung der Effizienz in Abhängigkeit von Umgebungs- und Nutzungsbedingungen erfolgen kann.

Unterteilung der Ladephasen

Der Ladevorgang eines Elektrofahrzeugs an einer Ladestation kann in vier unterschiedliche Phasen unterteilt werden:

- Phase 1: Stand-by
- Phase 2: Ladebetrieb
- Phase 3: Balancing / Ausgleichsladung
- Phase 4: Stand-by mit angeschlossenem Elektrofahrzeug

Phase 1 bezeichnet die Phase vor dem Anschluss eines Elektrofahrzeugs. Sie beginnt mit dem Abkoppeln des vorherigen Fahrzeugs von der Ladestation.

Phase 2 ist die Ladephase. Sie beginnt mit dem Ankoppeln des Fahrzeugs und endet mit der ersten Reduktion der Ladeleistung auf Stand-by-Betrieb bzw. auf Niveau der Erhaltungsladung oder mit dem Abbruch der Ladung.

Phase 3 beginnt nach Phase 2 und endet mit Beendigung des Balancing-Programms des Fahrzeugs oder mit dem Abbruch der Ladung.

Phase 4 schließt an Phase 3 an und endet mit dem Abkoppeln des Fahrzeugs von der Ladestation.

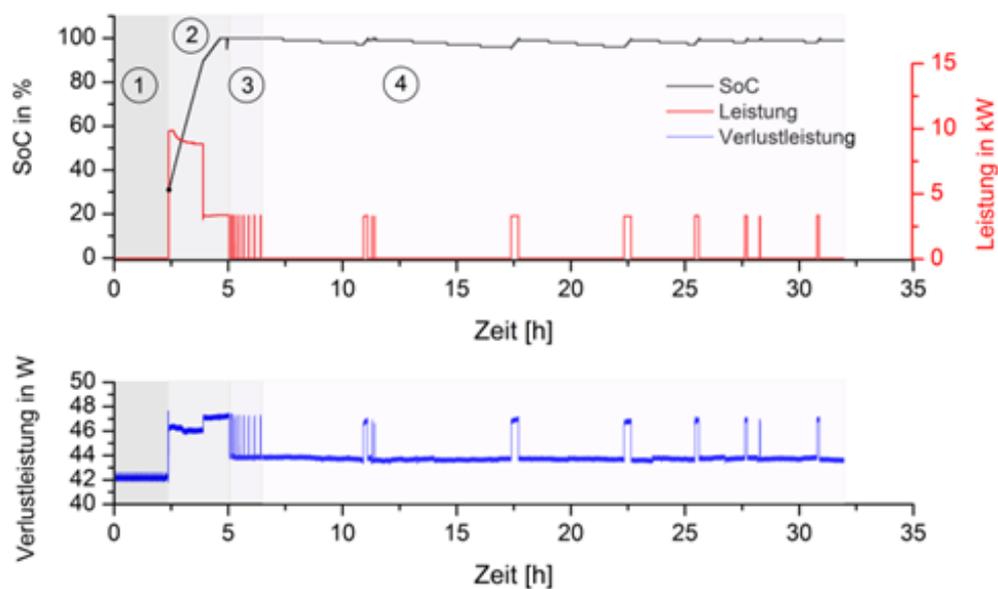


Abb. 40 Der Ladeprozess unterteilt in die vier unterschiedlichen Phasen, wie oben beschrieben

Die ermittelten Nutz- und Verlustenergien sowie die durchschnittlichen Leistungen für die einzelnen Ladephasen sind in Abb. 38 aufgeführt. Dabei werden nur die in der Ladestation entstandenen Verluste berücksichtigt. Dies ist nötig, da nur ein exemplarisches Fahrzeug in diesem Ladestationstest verwendet wurde und somit für die dort entstehenden Verluste keine Allgemeingültigkeit herrscht.

Szenarien als erste Näherung an den Normalbetrieb

Um eine Übertragung der gewonnenen Messergebnisse auf den Normalbetrieb möglichst realistisch zu gestalten, benötigt man einige Informationen über die Häufigkeit der einzelnen Ladephasen und die Höhe des Leistungsbezugs bei einer Ladung bzw. der bezogenen Energiemengen. Um hier aufzuzeigen, welchen Einfluss die Auslastung und die Nutzungsweise auf die Stand-by- und Verlustenergie einer Ladestation haben, werden drei Szenarien mit den erzielten Messergebnissen für einen Jahresbetrieb (365 Tage) dargestellt.

Szenario 1

Es wird angenommen, dass keine Ladungen an der Ladestation erfolgen.

Szenario 2

Es werden pro Tag zwei Elektrofahrzeuge über je 8 Stunden mit ca. 3 kW an der Ladestation geladen. Dies entspricht ungefähr der Auslastung einer Ladestation eines Unternehmens, an der tagsüber ein Angestelltenfahrzeug und nachts ein Firmenwagen geladen werden.

Szenario 3

Es wird durchgängig mit hoher Leistung (ca. 10 kW) geladen. Der Wechsel der Fahrzeuge erfolgt immer bevor ein Fahrzeug vollgeladen ist. Diese Annahme kann z. B. für 24-h-Restaurantes getroffen werden.

Als Basis für die Ergebnisse in Abb. 41 dienen neben den oben beschriebenen Szenarien, die Messergebnisse aus Abb. 36 und Abb. 37 für die drei verschiedenen Ladestationen LS A, LS B und LS C.

Abb. 41 Stand-by- und Verlustenergie verschiedener Ladesysteme über ein Jahr, absolut angegeben und als Wert in Prozent der Nutzenergie

Stand-by- und Verlustenergie		LS A	LS B	LS C
Szenario 1	in kWh	412	263	131
	in %			
Szenario 2	in kWh	383	204	142
	in %	3,5	1,9	1,3
Szenario 3	in kWh	403	210	184
	in %	0,46	0,24	0,21

Wie Abb. 41 zu entnehmen ist, verbessert sich das Verhältnis von Nutzenergie zu Stand-by-Energie plus Verlustenergie mit der Auslastung der Ladestationen. Der schlechteste Fall ist immer bei einer Auslastung von 0 %, da somit nur Stand-by-Verluste entstehen ohne Nutzenergie zu übertragen.

2.4

Untersuchungen zum kabelgebundenen DC-Laden

Für die Untersuchungen zum kabelgebundenen DC-Laden (Mode-4-Ladung) wurden verschiedene DC-Ladestationen und verschiedene Elektrofahrzeuge mit DC-Ladeanschluss im Feld vermessen und die Untersuchungsergebnisse hier dargestellt.

Bei der DC-Ladung wird das Fahrzeug an eine DC-Ladestation angeschlossen und direkt mit dem für die Batterieladung erforderlichem Gleichstrom versorgt. Der Kabelanschluss erfolgt nach DIN EN 61851 über einen Combo-2-Stecker bzw. über den Stecker des asiatischen CHAdeMO Standards. Die Stecker sind aufgrund des hohen Kabelgewichtes in der Regel fest mit der DC-Ladestation verbunden ist.



Abb. 42 Combo-2-Stecker



Abb. 43 CHAdeMO Stecker

Für die Gleichstromübertragung mit dem Combo-2-Stecker sind die übertragbaren Ströme und Spannungen für Typ 1 und 2 gleich. Es sind DC-Spannungen von 200 V bis 600 V vorgesehen und ein maximaler Ladestrom von 400 A. Theoretisch ergibt sich daraus ein maximale Übertragungsleistung von 240 kW. In der Praxis sind aber die meisten DC-Ladestationen mit unter 100-kVA-Anschlussleistung ausgestattet und Fahrzeuge nur selten in der Lage, mehr als 60 - 80 kW aufzunehmen.

CHAdeMO ist ein in Japan entwickelter und im Markt vertretener Standard für die DC-Ladung. Die optimal bereitzustellende DC-Nennleistung an einer Schnellladestation mit CHAdeMO Standard wurde, laut dem CHAdeMO-Konsortium gemäß Abb. 42 bestimmt.

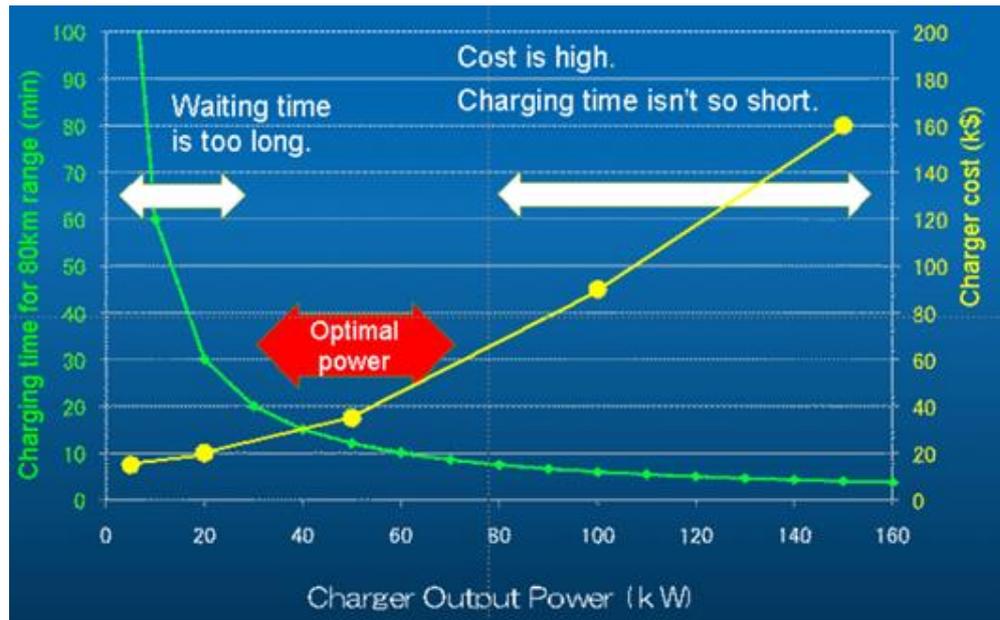


Abb. 44 Bestimmung der ökonomisch und technisch optimalen Ladeleistung für DC-Ladestationen nach CHAdeMO, Quelle: Characteristics of CHAdeMO Quick Charging System (CHAdeMO, Characteristics, 2011)

Im CHAdeMO-Standard sind unter anderem der maximale Strom von 200 A, die Compliance und Sicherheitszertifikate nach UL/CE und die Kommunikation definiert. CHAdeMO Schnellladestationen verwenden analoge und digitale Signale zur Kommunikation in einem redundanten Design. Digital wird über CAN kommuniziert. Der Aufbau des Steckersystems ist in Abb. 45 zu sehen.

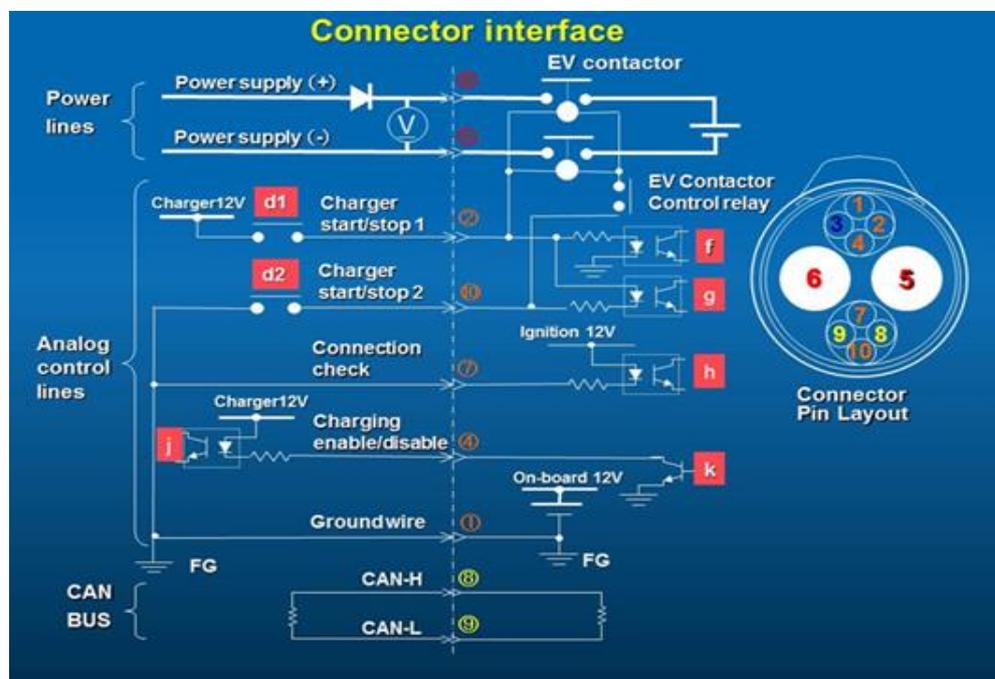


Abb. 45 Darstellung der Kommunikationsleitungen nach CHAdeMO Standard, Quelle: (CHAdeMO, Interface, 2011)

2.4.1 Fahrzeuge und Ladegeräte

Für die Untersuchung der DC-Ladetechnik wurden Versuche mit den Elektrofahrzeugtypen:

1. Mitsubishi i-MiEV
2. VW Golf blue-e-motion

durchgeführt. Die Fahrzeuge und ihre allgemeinen Leistungsdaten sind nachfolgend beschrieben.

Mitsubishi i-MiEV



Abb. 46 Mitsubishi i-MiEV

Die allgemeinen Leistungsdaten gibt der Hersteller wie folgt an¹:

Motor Typ:	Permanentmagnetisierter Synchronmotor
Batterie Typ:	Lithium-Ionen
Abgasnorm:	EURO 6
Feinstaubplakette:	Grün

Leistung

Max. Leistung:	49 kW / 67 PS
Max. Drehmoment:	bei 0-2000 U/min 180 Nm
el. Energieverbrauch:	13,5 kWh/100km
Reichweite:	150 km
Beschleunigung:	0 - 100 km/h in 15,9 sec
Höchstgeschwindigkeit:	130 km/h

Batterie und Ladesystem

Betriebsspannung:	330 V
Energiespeicher:	16 kWh
Schnellladung:	max. 50 kW / 400 V, 30 min. Ladedauer
Normalladung:	230 V, 16 A, 6 Std. Ladedauer

¹ <http://www.imiev.de/docs/iMIEV-daten.pdf> Abgerufen am 23.08.2016

VW Golf blue-e-motion



Abb. 47 VW Golf blue-e-motion, Foto: Volkswagen

Die allgemeinen Leistungsdaten gibt der Hersteller wie folgt an¹:

Motor Typ:	Elektromotor
Batterie Typ:	Lithium-Ionen
Abgasnorm:	EURO 6
Feinstaubplakette:	Grün

Leistung

Max. Leistung:	85 kW / 115 PS
Max. Drehmoment:	270 Nm
el. Energieverbrauch:	---
Reichweite:	150 km
Beschleunigung:	0 - 100 km/h in 11,8 sec
Höchstgeschwindigkeit:	135 km/h

Batterie und Ladesystem

Betriebsspannung:	---
Energiespeicher:	26,5 kWh
Schnellladung:	---
Normalladung:	230 V, 16 A

¹http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/de/themes/2010/11/Volkswagen_Concept_Car_Golf_blue-e-motion.html Abgerufen am 23.08.2016

Gemeinsam mit den oben genannten Elektrofahrzeugen wurden folgende DC-Ladegeräte untersucht:

- DC-Schnellladestation »Epyon Terra 51 Charge Station«
- DC-Schnellladestation ABB Terra 23 CT

Die Geräte sind nachfolgend kurz beschrieben.

DC-Schnellladestation »Epyon Terra 51 Charge Station«



**Abb. 48 DC-Schnell-
ladestation »Epyon Terra 51
Charge Station«, Foto: Epyon**

Die DC-Schnellladestation »Terra 51 Charge Station« des Herstellers Epyon B.V.¹ wurde von Epyon als Einstiegsmodell in die DC-Ladetechnik beworben und vermarktet. Mit einer Maximalleistung von 50 kW kann, laut Hersteller, eine »typische Ladung« eines Elektroautos innerhalb von 15 bis 30 Minuten erfolgen. Als Funktionalitäten der Ladestation werden vom Hersteller folgende Punkte in der Produktdarstellung² angegeben:

- Standard der DC-Anbindung zum Fahrzeug: CHAdeMO
- Nutzer Bedienoberfläche: Farb LCD, Start-Stopp und Not-Aus Bedienelemente
- Authentifizierung: per RFID
- Installierte Ladeleistung: 50 kW_{DC}
- Verbindung zum Fahrzeug: ein flexibler 50 kW_{max} CHAdeMO DC-Anschluss
- Anbindung ans Versorgungsnetz: 400 V_{AC}, 3-phasig

¹ Am 01.07.2011 hat die Firma ABB Ltd. den Kauf von Epyon B.V. bekannt gegeben. Siehe dazu Press Release: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/8d090a3a4d58d6f4c12578c00026b56f.aspx> Abgerufen am 16.09.2011

² <http://www.epyonpower.com/Documents.aspx?directdocument=Epyon-Terra-51-Charge-Station-90003-DL.pdf> Abgerufen am 16.09.2011

- Anbindung an das Kommunikationsnetz: kabelgebundene Ethernet Verbindung
- Anschlussleistung: 55 kVA, 3-phasig

DC-Schnellladestation ABB Terra 23 CT



Abb. 49 DC-Schnellladestation ABB Terra 23 CT

Die DC-Schnellladestation Terra 23 CT des Herstellers ABB dürfte die nachfolgende Generation der Terra 51 von Epyon darstellen. Im Gegensatz zu dieser hat die Terra 53 einen Combo-2-Ladeanschluss und ist vom Gehäusedesign etwas schmäler und insgesamt kleiner.

Die Ladestation kann modular mit Leistungsteilen ausgerüstet werden, so dass die Station zunächst bedarfsgerecht bestellt und später aufgerüstet werden kann. Die allgemeinen Leistungsdaten gibt der Hersteller auf dem Typenschild wie folgt an, wobei die Werte der maximalen Ausbaustufe unter der Version »Terra 53« stehen:

Merkmal	Basis	Terra 53
DC - Leistung:	20 kW	50 kW
DC - Spannung:	50 – 500 V	50 – 500 V
DC – Strom:	0 - 50 A	0 – 125 A
max. AC-Input Leistung:	45 kW	55 kW
max. AC-Input Strom:	63 A	112 A
Netzanschluss:	400 V 3Ph + N 50 Hz	
AC-Output Leistung:	22 kW	22 kW
AC-Output Strom:	32 A	32 A

2.4.2 Messtechnische Untersuchungen im Feld

Im Folgenden werden die drei Kombinationen von Fahrzeugen mit DC-Ladetechnik an jeweils einer DC-Ladestation, die im Feld aufgebaut sind, vorgestellt.

2.4.2.1 Kombination Mitsubishi i-MiEV – Terra 51

Es wurde die DC-Schnellladung eines i-MiEVs vermessen. Dazu wurden zwei hochgenaue Messgeräte eingesetzt, die das Betriebsverhalten aufzeichnen können und an Hand der aufgenommenen Daten Aussagen über Wirkungsgrade sowie die Netzverträglichkeit zulassen. Abb. 50 zeigt den Aufbau der Messgeräte im vermessenen System. Die Schnellladestation ist direkt an einen MS/NS-Transformator (20/0,4 kV) angeschlossen, der die Spannung von der 20-kV-Mittelspannungsebene auf die 400-V-Niederspannungsebene herunter transformiert. Für die Messung wurden sowohl die AC-Größen an der Schnittstelle zum öffentlichen Netz als auch die DC-Größen an der Schnittstelle zum Elektroauto zeitsynchron aufgenommen. Dazu wurde das Messgerät 1, ein Dewe-2602, verwendet. Redundant dazu wurde die Messung auf der AC-Seite auch mit dem Messgerät 2, einem Haag Euro-Quant durchgeführt.

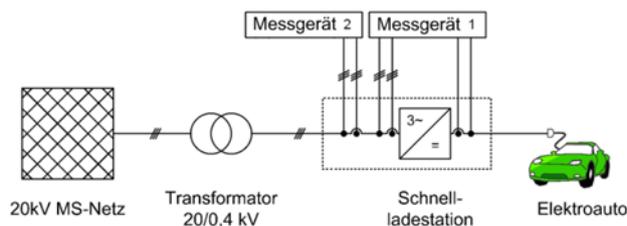


Abb. 50 Messaufbau im Feld zur Charakterisierung einer Schnellladung an einer DC Ladestation



Die Umgebungs- und Anfangsbedingungen der Messungen stellten sich wie folgt dar:

- 20%-SoC-Anfangswert des Ladezustands des i-MiEV
- Witterung: + 25 °C Umgebungstemperatur, direkte Sonneneinstrahlung
- Ausfall eines Leistungsmoduls an der Ladestation, daher eine um 20% reduzierte DC-Leistung

Angaben zur erweiterten Messunsicherheit für die Aufzeichnung der Leistung und damit auch für die errechneten Werte der Energie sind Kapitel 8.4 zu entnehmen.

2.4.2.2 Kombination Golf blue-e-motion - Terra 23

Es wurde die DC-Schnellladung eines Golfs blue-e-motion mit Hilfe des Messgerätes Dewe-2602 vermessen. Das Betriebsverhalten wurde aufgezeichnet, um an Hand der aufgenommenen Daten Aussagen über Wirkungsgrade sowie Netzverträglichkeit treffen zu können. Für die Messung wurden sowohl die AC-Größen an der Schnittstelle zum öffentlichen Netz als auch die DC-Größen an der Schnittstelle zum Elektroauto zeitsynchron aufgenommen. Bei der Messung wurden die Hall-Effekt-Zangenwandler PNA-150 für die Erfassung der AC- und DC-Ströme verwendet.

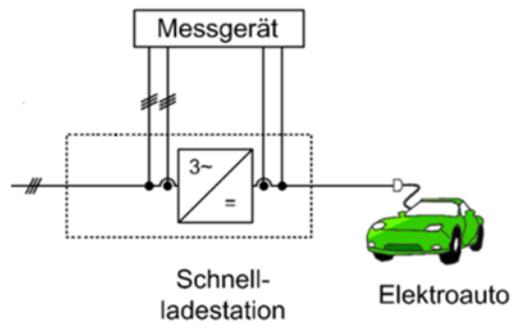


Abb. 51 Schematischer Messaufbau im Feld zur Charakterisierung einer Schnellladung an einer DC Ladestation (oben) und Blick in die geöffnete DC-Ladesäule ABB Terra 23 (unten)



Für die Messung an der Ladestation wurden die AC-Spannungsabgriffe an den Klemmen der AC-Hauptsicherung angebracht und die Stromzangen um die davon abgehenden Versorgungsleitungen gelegt. Die DC-Spannung wurde an den Klemmen des Ladekabels in der Ladestation abgegriffen und der Strom in direkter Nähe erfasst. Die Umgebungs- und Anfangsbedingungen der Messungen stellten sich wie folgt dar:

- ca. 10-20%-SoC-Anfangswert des Ladezustands des Golf blue-e-motion
- + 25-°C-Umgebungstemperatur und direkte Sonneneinstrahlung

Angaben zur erweiterten Messunsicherheit für die Aufzeichnung der Leistung und damit auch für die errechneten Werte der Energie sind Kapitel 8.4 zu entnehmen.

2.4.3

Ladekurven und Systemverhalten

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Messung an den zwei verschiedenen DC-Ladestationen dargestellt und einige Vergleiche gezogen.

Testsystem Mitsubishi i-MiEV an Terra 51

Als Ergebnis für die erste Messung kann festgehalten werden, dass die Ladung von 20% SoC (State of Charge) auf 80% SoC in weniger als 20 Minuten erfolgte. Dabei wurde an der Schnellladestation ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von 92,2% gemessen. Dieser entspricht der Angabe des Herstellers von einem Wirkungsgrad > 92%.

Bezüglich des Ladeprozesses ist festzuhalten, dass die Ladung nicht bis zu einem SoC von 100% durchgelaufen ist, sondern zwischenzeitig abgebrochen hat und per Hand neu gestartet werden musste. Die durchgeführte Messung an der DC Schnellladestation kann an Hand der Ladekurven für Strom, Spannung, Leistung und dem SoC dargestellt werden. Wie in Abb. 52 und Abb. 53 zu sehen erfolgt die Ladung in zwei Abschnitten. Zuerst wird stromgeregelt geladen. Ist dann, auf Grund des Ladezustands der Batterie, die zulässige maximale Ladespannung erreicht wird von der stromgeregelt in die spannungsgeregelte Ladung übergegangen. In der Abb. 52 ist der Wechsel zwischen strom- und spannungsgeregelter Ladung am besten an der Leistung zu sehen, da diese bis zum Wechsel bei ca. 0,15 h leicht ansteigt und danach abfällt.

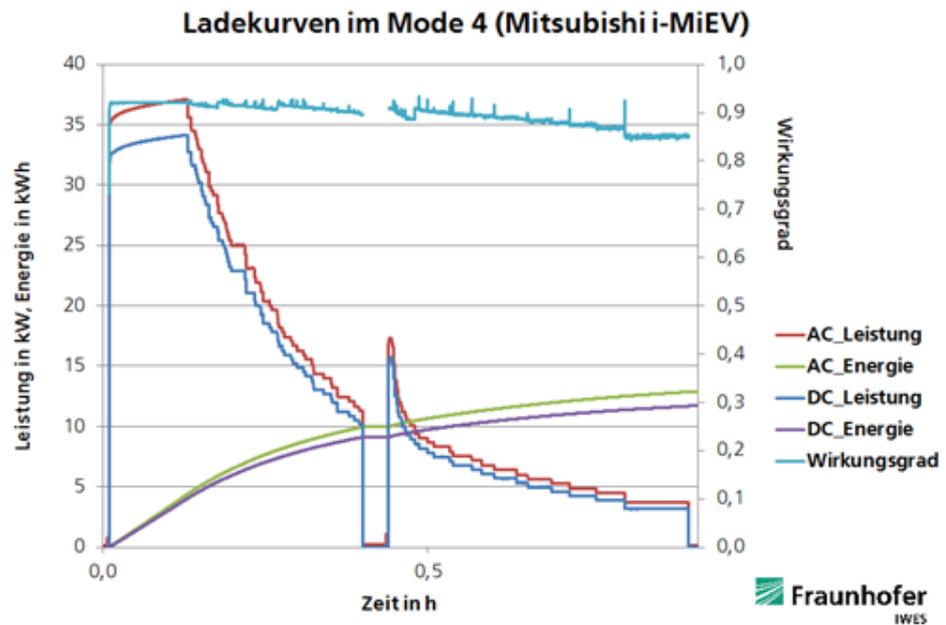


Abb. 52 Ladepower des Mitsubishi i-MiEV an der Ladestation Terra 51

Zur Netzverträglichkeit sind Fragen offen geblieben, da die Untersuchung im Feld durch die unbekannteten Eigenschaften des Ortsnetzes beeinflusst wurde. Nach der groben Analyse muss aber davon ausgegangen werden, dass die Ladestation Netzzrückwirkungen aufweist, die weiter untersucht werden sollten.

Der obere Graph in Abb. 53 stellt die Wirkleistung am Ein- und Ausgang der Schnellladestation dar. Die geringere Wirkleistung auf der DC-Seite entsteht durch die Verluste beim Gleichrichten der AC-Spannung.

Der mittlere und untere Graph der Abb. 53 zeigt die Verläufe der DC-Spannung und des DC-Stroms. Durch das eingesetzte Ladeverfahren Konstantstrom-Konstantspannung mit nachfolgender Abschaltung (IUa-Ladeverfahren) wird die Leistungsaufnahme am Anschlusspunkt der Ladestation bestimmt.

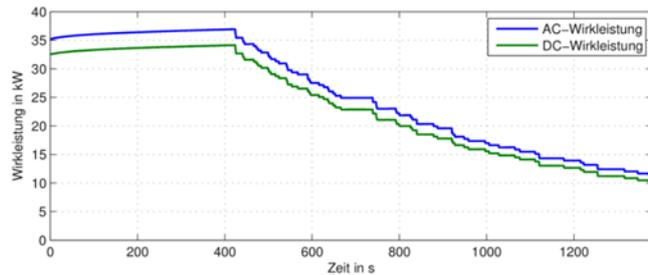
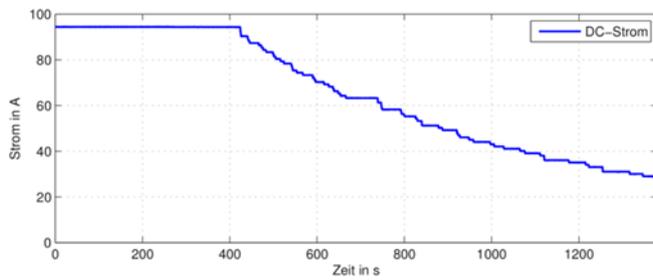
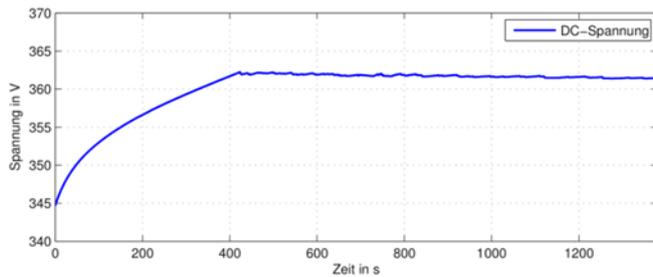


Abb. 53 Verlauf der Wirkleistung auf der AC- und DC-Seite sowie Verläufe von DC-Spannung und DC-Strom der Ladestation über den ersten Abschnitt der Ladung



Insbesondere dann, wenn mehrere Ladestationen innerhalb eines Netzabschnitts angeschlossen sind, kann es beim gleichzeitigen Ladebeginn zu Spitzen im Leistungsbezug kommen. Dies ist durch das benötigte Ladeverfahren der Batterien bestimmt. Deshalb scheint es bei einem zukünftigen vermehrten Einsatz von Schnellladestationen innerhalb eines Netzabschnitts sinnvoll zu sein, die Ladevorgänge zu koordinieren, um Netzüberlastungen oder Leistungsspitzen vermeiden zu können.

Der Energiebedarf bei der Ladung ergibt sich aus den aufgenommenen Daten wie in Abb. 52 zu sehen ist. Dabei wird zwischen den Phasen 1 und 2 des Ladeprozesses unterschieden. Phase 1 ist die Phase der Ladung, in der mit konstantem Strom geladen wird. Diese beginnt zum Zeitpunkt 0 und dauert ca. 7 Minuten (siehe Abb. 53). Phase 2 beginnt mit dem Ende von Phase 1 und wird durch das Erreichen der maximalen Batteriespannung (362 V) des Fahrzeuges i-MiEV bewirkt. Dies geschieht durch das Umschalten der Regelung der Ladestation auf eine Konstant-Spannungs-Ladung. Dabei wird die Spannung konstant auf dem Wert von 362 V gehalten, indem der Strom und damit auch die Leistung reduziert werden.

	DC-Energie	Messunsicherheit	AC-Energie	Messunsicherheit
Ladephase 1	4,0 kWh	2,0 %	4,4 kWh	3,0 %
Ladephase 2	5,1 kWh	7,4 %	5,5 kWh	10,0 %
Gesamt	9,1 kWh	5,0 %	9,9 kWh	6,9 %

Abb. 54 Auflistung der bezogenen AC- und DC-Energie und der erweiterten Messunsicherheit

Zur Bestimmung der Effizienz bzw. des Wirkungsgrads werden die aufgenommenen Werte der Leistung aus der AC- und DC-Messung verglichen. Die Division der DC-

durch die AC-Leistung ergibt die bei der Umwandlung der Energie von Wechselstrom in Gleichstrom in der Ladestation auftretenden Wirkungsgrade. Dies gilt für die verschiedenen Phasen der Ladung und auch für den gesamten Zeitraum der Messung. Es ist zu beachten, dass auch hier die besagten Messunsicherheiten gelten.

Abb. 55 Auflistung der bezogenen AC- und DC- Leistungen

	Ø DC Leistung	max. DC Leistung	Ø AC Leistung	max. AC Leistung	Ø Wirkungsgrad
Ladephase 1	33,32 kW	34,16 kW	36,05 kW	36,94 kW	92,4%
Ladephase 2	18,80 kW	33,85 kW	20,45 kW	36,62 kW	91,5%
Gesamt	26,06 kW	34,16 kW	28,25 kW	36,94 kW	92,2%

Testsystem Golf blue-e-motion an ABB Terra 23

Als Ergebnis für die zweite Messung kann festgehalten werden, dass die Vollladung mit maximal 20-kW-Leistung über eine Stunde gedauert hat. Dabei wurde an der Schnellladestation ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von 93 % gemessen. Dieser entspricht der Angabe des Herstellers von einem Wirkungsgrad > 92 %.

Bezüglich des Ladeprozesses ist festzuhalten, dass die Ladung problemlos bis zu einem SoC von 100 % durchgelaufen ist. Die durchgeführte Messung an der DC-Schnellladestation kann an Hand der Ladekurven für Strom, Spannung, Leistung und dem SoC dargestellt werden. Wie in Abb. 56 und Abb. 57 zu sehen ist, erfolgt die Ladung in zwei Abschnitten. Zuerst wird stromgeregelt geladen. Ist dann auf Grund des Ladezustands der Batterie die zulässige maximale Ladespannung erreicht, wird von der stromgeregelten in die spannungsgeregelte Ladung übergegangen. In der Abb. 56 ist der Wechsel zwischen strom- und spannungsgeregelter Ladung am besten an der Leistung zu sehen, da diese bis zum Wechsel nach ca. einer Stunde leicht ansteigt und danach abfällt.

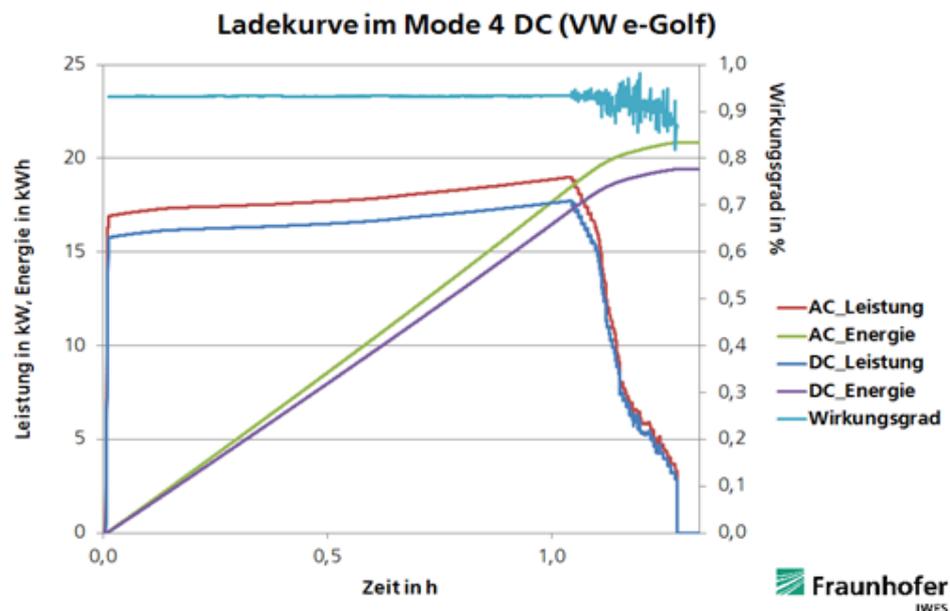


Abb. 56 Zeitlicher Verlauf der AC- und DC-Leistung und daraus abgeleiteter Kenngrößen während der Ladung des Golf blue-e-motion an der Ladestation ABB Terra 23

Auch bei dieser Feldmessung sind Fragen zur Netzverträglichkeit offen geblieben, da das Systemverhalten durch die unbekanntenen Eigenschaften des Ortsnetzes beeinflusst wurde. Nach der Grobanalyse gilt auch hier, dass die Ladestation Netzurückwirkungen aufweist, die weiter untersucht werden sollten.

Der obere Graph in Abb. 56 stellt die Wirkleistung am Ein- und Ausgang der Schnellladestation dar. Die geringere Wirkleistung auf der DC-Seite entsteht durch die Verluste beim Gleichrichten der AC-Spannung. Abb. 57 zeigt die Verläufe der DC-Spannung und des DC-Stroms. Das eingesetzte IUa-Ladeverfahren, bei dem zunächst mit konstantem Strom und danach mit konstanter Spannung geladen wird, bestimmt die Leistungsaufnahme am Anschlusspunkt der Ladestation.

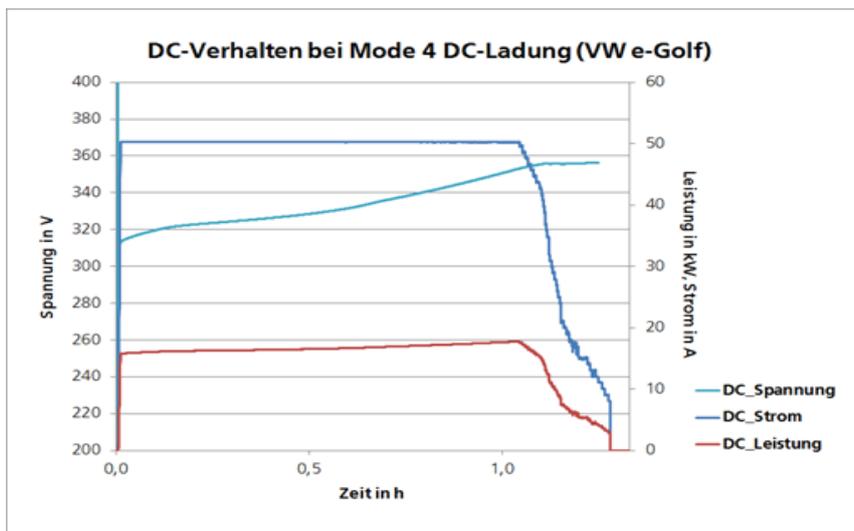


Abb. 57 Zeitlicher Verlauf der elektrischen DC-Größen während der Ladung des Golf blue-motion an der Ladesäule ABB Terra 23

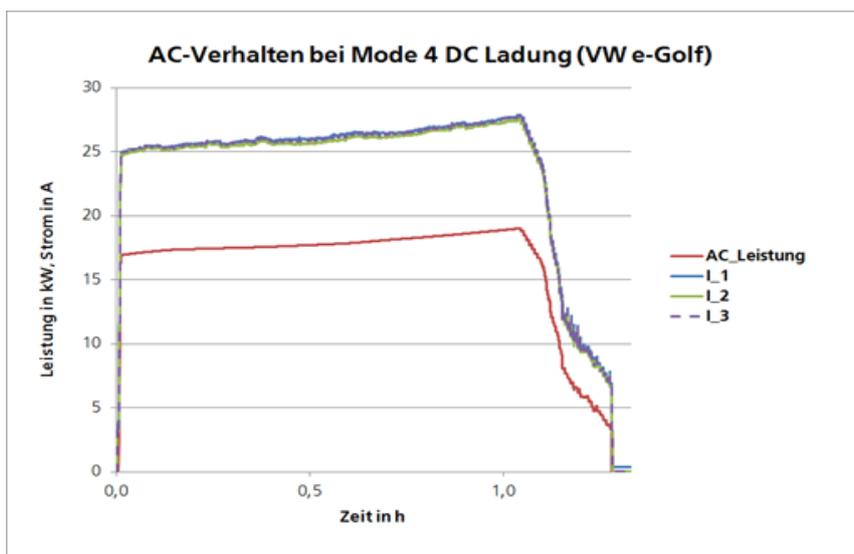


Abb. 58 Zeitlicher Verlauf der elektrischen AC-Größen während der Ladung des Golf blue-motion an der Ladesäule ABB Terra 23

Der Energiebedarf bei der Ladung ergibt sich wie in Abb. 59 zu sehen ist. Dabei wird zwischen den zeitlichen Phasen 1 und 2 des Ladeprozesses unterschieden. Phase 1 ist die Phase der Ladung in der mit konstantem Strom geladen wird. Diese beginnt zum Zeitpunkt 0 und dauert ca. eine Stunde (siehe Abb. 57). Phase 2 beginnt mit dem Ende von Phase 1 und wird durch das Erreichen der maximalen Batteriespannung (353,2 V) des Golf Blue-e-motion bewirkt. Dies geschieht durch das Umschalten der Regelung der Ladestation auf eine Konstanzspannungsladung. Dabei wird die Spannung näherungsweise konstant auf einem Wert von unter 356 V gehalten, indem der Strom und damit auch die Leistung reduziert werden.

Abb. 59 Auflistung der bezogenen AC- und DC-Energie und der erweiterten Messunsicherheit

	DC-Energie	Messunsicherheit	AC-Energie	Messunsicherheit
Ladephase 1	17,2 kWh	3,3 %	18,5 kWh	4,8 %
Ladephase 2	2,2 kWh	5,3 %	2,4 kWh	7,2 %
gesamt	19,4 kWh	3,6 %	20,9 kWh	5,1 %

Zur Bestimmung der Effizienz bzw. des Wirkungsgrads werden die aufgenommenen Werte der Leistung aus der AC- und DC-Messung verglichen. Die Division der DC durch die AC-Leistung ergibt die bei der Umwandlung der Energie von Wechselstrom in Gleichstrom in der Ladestation auftretenden Wirkungsgrade. Dies gilt für die verschiedenen Phasen der Ladung und auch für den gesamten Zeitraum der Messung. Es ist zu beachten, dass auch hier die benannten Messunsicherheiten gelten.

Abb. 60 Auflistung der bezogenen AC- und DC- Leistungen

	Ø DC Leistung	max. DC Leistung	Ø AC Leistung	max. AC Leistung	Ø Wirkungsgrad
Ladephase 1	16,63 kW	17,74 kW	17,84 kW	19,0 kW	93,3%
Ladephase 2	9,2 kW	17,6 kW	9,9 kW	18,8 kW	91,6 %
gesamt	26,06 kW	17,74 kW	kW	19 kW	93,1%

2.5 Fazit zum kabelgebundenen Laden

Die Untersuchungen zeigen, dass die in Kapitel 4 näher beschriebenen integrierten Testabläufe sehr wichtig sind, da die verschiedenen zu untersuchenden Fahrzeugeigenschaften sich gegenseitig beeinflussen. So ist die Fahrbelastung und damit die Temperatur der Batterie direkte Einflussgröße auf einen anschließend folgenden Landetest. Umgekehrt beeinflusst die Ladeleistung die Kapazität einer Batterie und somit den Führttest nach der Ladung. Die Herausforderung ist nun, die Einflussfaktoren zu benennen und in den Testverfahren so zu wählen, dass zumindest die Reproduzierbarkeit der Tests gegeben ist aber besser noch Vergleichbarkeit herrscht.

Für die Vermessung im Feld sollte das Thema Netzvorbelastung näher untersucht werden, damit eine Abgrenzung zwischen den durch die Anlage und den durch das Netz verursachten Rückwirkungen getroffen werden kann. Alternativ bietet sich die Vermessung der Schnellladestation an einem geeigneten Netzsimulator an, welche unerwünschte Netzvorbelastung vermeidet.

Bezüglich des Leistungsvermögens von DC-Schnellladestationen ist festzuhalten, dass die Ladung bis zu einem SoC von ca. 50 % sehr schnell funktioniert. Auch bis zu einem

SoC von ca. 85 % ist die Ladung mit einer DC-Schnellladestation wesentlich schneller, als mit einem einphasigen 3 kW oder dreiphasigen 9-kW-On-board-Ladegerät zu bewerkstelligen. Für die Vollladung ab ca. 85 % sind Schnellladestationen nicht besser geeignet als leistungsschwächere On-board-Ladegeräte. Daher ist aus wirtschaftlicher Sicht eine Verwendung von DC- Schnellladestationen für Zwischenladungen bis zu einem SoC < 80% zu empfehlen.

Die Untersuchung der Ladestationen hat gezeigt, dass diese erhebliche Stand-by- und Betriebsverluste aufweisen können, wenn sie Funktionen, wie beispielsweise Beleuchtung, Farbdisplays, Funkkommunikation usw. bereitstellen. Insofern muss überlegt werden, welcher zusätzliche Nutzen durch solche Funktionen gewonnen werden kann und ob der damit verbundene Energieeinsatz lohnt. Besonders im Hinblick auf die gewollte Effizienzsteigerung durch die Elektromobilität sollte auch Ladeinfrastruktur entwickelt werden, die immer effizienter arbeitet. Dazu sind Ansätze zu integrierten Komponenten der Sicherheits- und Messtechnik, wie auch neue Designideen und gesetzliche Vorgaben (siehe (Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments, 2014)) zu berücksichtigen.

Zukünftig sind weitere Messungen zu den Verlusten, die bei der Ladung in den Elektrofahrzeugen entstehen, erforderlich. Dabei ist insbesondere auch der Zusammenhang zwischen entstehenden Verlusten und der Ladekommunikation nach den Normen DIN EN 61851-1 und ISO/IEC 15118 zu untersuchen. Schlussendlich sollten auch Untersuchungen zum Verhalten von Ladestationen unter erweiterten klimatischen Bedingungen durchgeführt werden.

2.6 Kabelloses induktives Laden

Die Technik des kabellosen induktiven Ladens verspricht eine komfortable Art der Batterieladung und Vorteile bei der Integration der Ladetechnik in das räumliche Umfeld. Diese Ladetechnologie findet deshalb auch eine stärkere Beachtung in der in Überarbeitung befindlichen Publikation »Technischer Leitfaden Ladeinfrastruktur«, die im Auftrag der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) durch die Arbeitsgruppe E-MOBILITY.60 bei der DKE (Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informatik- und Messtechnik im DIN und VDE) erfolgt.

Beim kabellosen induktiven Laden von Elektrofahrzeugen wird die Energie über ein Spulensystem übertragen, welches in der Regel aus einem primären und sekundären Spulensystem besteht. Die Übertragungsfrequenz eines derartigen Energieübertragungssystems liegt für Elektrofahrzeuge typischerweise zwischen 20 kHz und 140 kHz (siehe Abb. 61). Das zur Energieübertragung generierte elektromagnetische Feld besteht aus einem Hauptfeld zwischen dem primären und sekundären Spulensystem und einem Streufeld, welches die beiden Spulensysteme umgibt. Die Einwirkung des elektromagnetischen Streufeldes auf Personen sollte ganz vermieden bzw. auf ein zulässiges Maß begrenzt werden. Derartige Grenzwerte werden von der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)¹ angegeben. Die für Deutschland gültigen Grenzwerte sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) zu finden (BMUB, 2013). Abb. 61 zeigt den von in-

¹ ICNIRP e.V., Ingolstaedter Landstr. 1, 85764 Oberschleissheim, Germany, <http://www.icnirp.org/>

duktiven Ladesystemen genutzten Frequenzbereich und markiert die zulässigen ICNIRP-Grenzwerte für die magnetische Feldstärke.

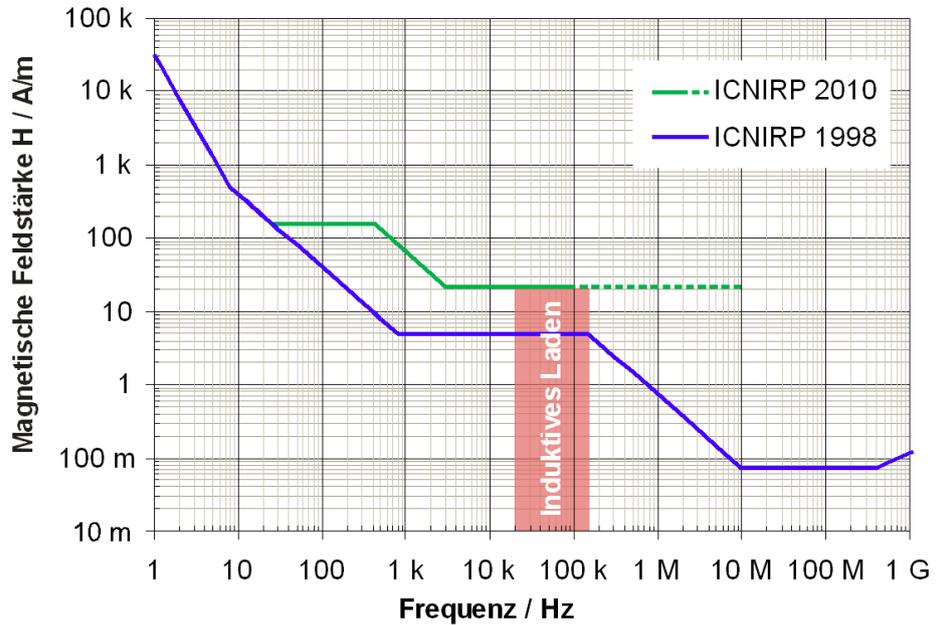


Abb. 61 Von der ICNIRP angegebene Grenzwerte für die magnetische Feldstärke zur Sicherung des Personenschutzes (ICNIRP, 1998) (ICNIRP, 2010)

Werden die in den Normen EN 55011 (EN 55011, 2017) und EN 55015 (EN 55015, 2016) festgelegten Grenzwerte im Zusammenhang mit denen der ICNIRP-Richtlinie dargestellt, so ergibt sich das in Abb. 62 dargestellte Bild.

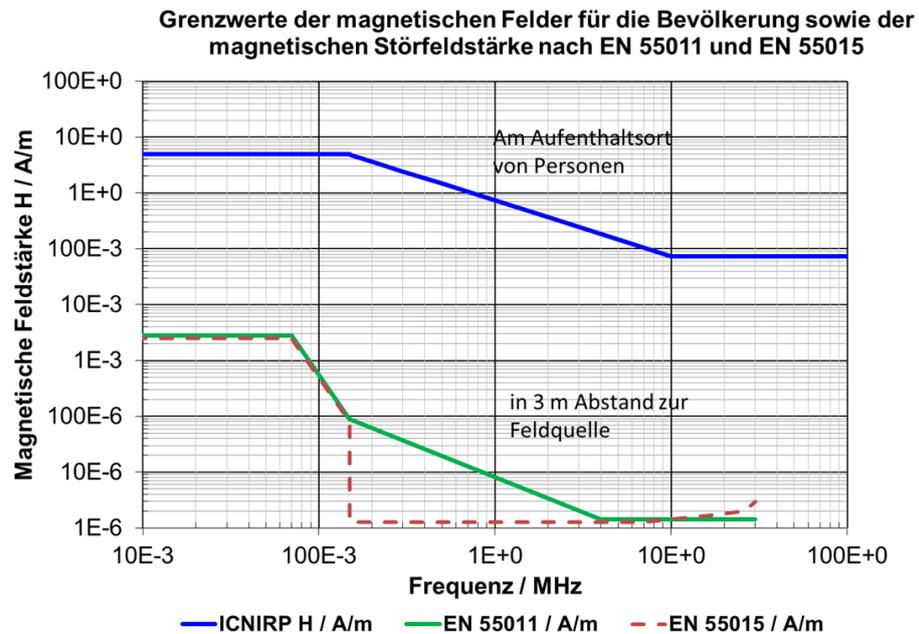


Abb. 62 Vergleich der EMV-Grenzwerte für die magnetische Feldstärke nach EN 55011 und EN 55015 und den ICNIRP Richtwerten für den Personenschutz

In der Anwendungsregel VDE-AR-E 2122-4-2 mit dem Titel »Elektrische Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen« wird auf die ICNIRP-Grenzwerte verwiesen. Ergänzend werden dort Messverfahren für die Ermittlung der Wirkungsgrade einer induktiven Energieübertragungsstrecke bei Versatz der Spulen angegeben. Da sich bei einem Versatz der Spulen die Kopplung ändert, müssen auf elektronischen Wege Kompensationsmaßnahmen stattfinden, um trotz der geringeren Kopplung die gleiche Leistung übertragen zu können. Dies kann unter Umständen zu einer Zunahme der Feldbelastung innerhalb des öffentlich zugänglichen Bereichs führen. Neben der VDE-Anwendungsregel sind die IEC Entwürfe der Normenreihen 61980 von Bedeutung.

Vermessung der induktiven Ladetechnik – Elektromagnetische Felder

Um die EMV- und Wirkungsgradeffekte messtechnisch erfassen zu können, wurde das in Abb. 63 gezeigte Messkonzept erarbeitet, bei welchem der »öffentlichen zugängliche Bereich« neben dem Fahrzeug mit Hilfe von Feldsonden rasterförmig abtastet werden soll.

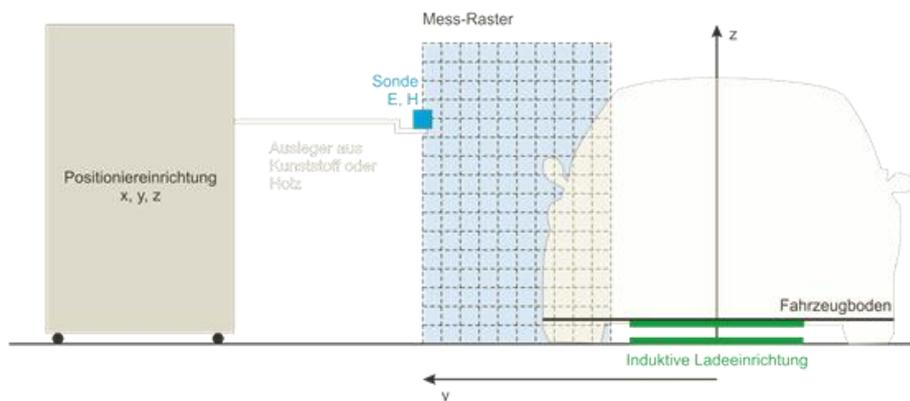
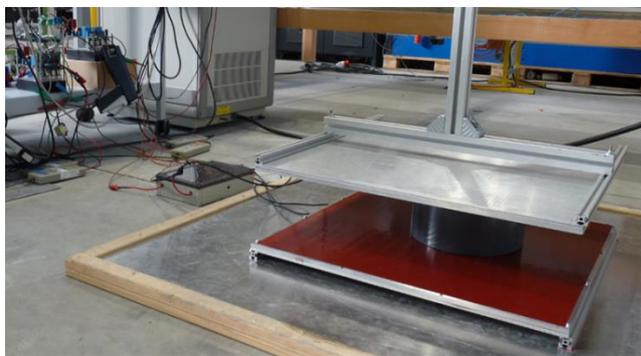


Abb. 63 Messprinzip (ohne Fahrzeug) für die Messung der ortsabhängigen Feldstärke bzw. Flussdichte (links) bei einer induktiven Ladetechnik (rechts), welche über eine zweite Positioniereinrichtung bezüglich der Abstände und Positionen variiert werden kann

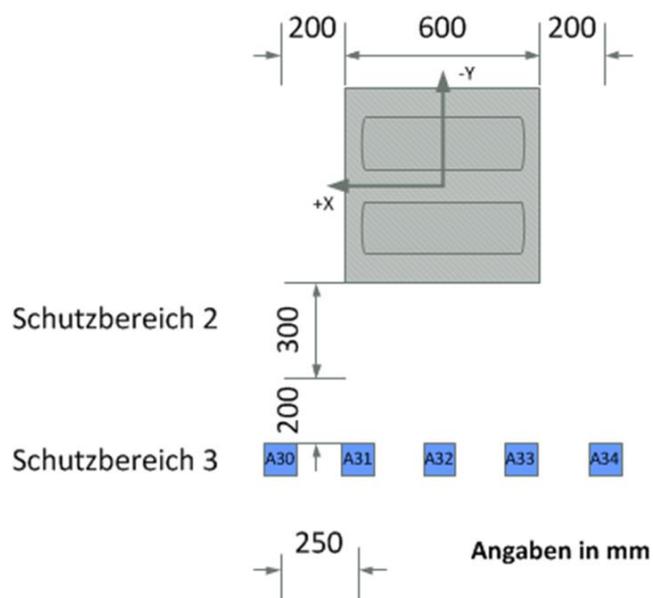
Die hierfür erforderliche Positionier- und Messeinrichtung wurde aufgebaut. Für den Laboraufbau bleibt der Einfluss der Fahrzeugkarosserie bisher unberücksichtigt. Das in Abb. 64 unten gezeigte und für die Inbetriebnahme genutzte Spulensystem ist ein Labormuster und Ergebnis des F&E-Vorhabens »Bidirektionales induktives Energieübertragungssystem für Elektrofahrzeuge« (Marklein, 2015).



Abb. 64 Positioniereinrichtung x-y-z zur Messung der magnetischen Feldstärke (oben) sowie ein zu vermessender Laboraufbau eines Spulensystems (unten) im Labor



Mit der aufgebauten Versuchsanordnung wurden Messungen der magnetischen Feldstärke vorgenommen. Die folgende Abb. 65 verdeutlicht dies exemplarisch für eine durchgeführte Messung.



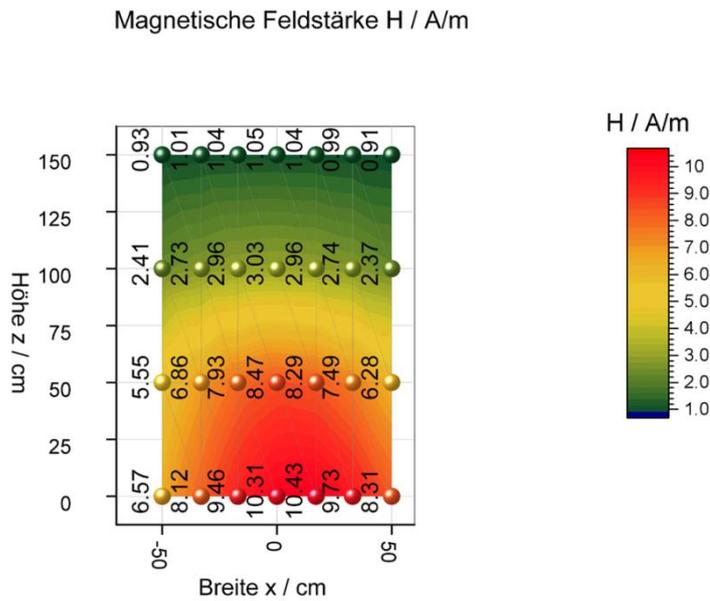


Abb. 65 Geometrische Anordnung des induktiven Übertragungssystems (Doppel-D-Spule, Leistung 3,6 kW) und der Mess-Sonde (oben) und das erzielte Messergebnis für die magnetische Feldstärke im Schutzbereich 3 (unten)

Vermessung der induktiven Ladetechnik – Energieeffizienz

Um den Einfluss der Positionierung von Sende- und Empfangsspule auf den Wirkungsgrad des gesamten Ladesystems (Quelle, Spulen, Last) messtechnisch erfassen zu können, wurde eine zweite Positioniereinrichtung aufgebaut. Diese ist in der Lage, schwere Spulen mit Gewichten bis zu 40 kg bewegen und genau positionieren zu können. Damit kann ein Versatz zwischen Sendespule (im Boden) und Empfängerspule (im Fahrzeug) definiert und reproduzierbar hergestellt werden. Das Positioniersystem wurde mit Baugruppen des Herstellers Bosch-Rexroth realisiert, welche auf einem Holztisch montiert sind, um keine störenden magnetischen Wechselwirkungen mit dem zu prüfenden induktiven Ladesystem zu erhalten.

Abb. 66 zeigt die aufgebaute Positioniereinrichtung x-y-z (oben) im IWES-Labor DeMoTec. Das Achsensystem ist auf einem Holztisch montiert, welcher in der Mitte über eine ausreichend große Öffnung verfügt, um die Positionierung der Empfängerspule über einer stationären Senderspule zu ermöglichen.

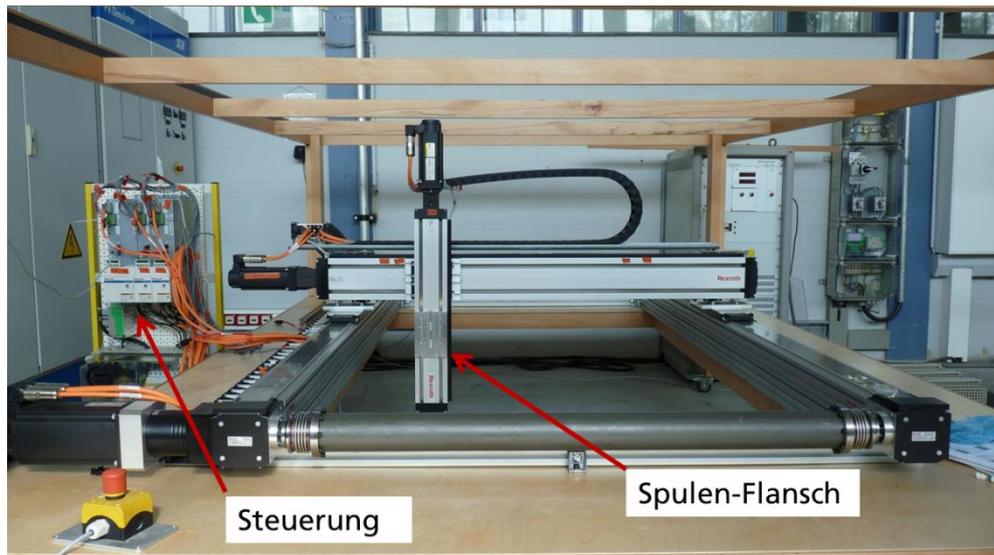


Abb. 66 Positioniereinrichtung x-y-z (oben) sowie ein zu vermessender Laboraufbau eines Spulensystems (unten)

Detaillierte technische Angaben zu den oben beschriebenen Messplätzen sind in der Masterarbeit (Strecker, 2016) zu finden (siehe auch (Kirchhof, et al., 2016)).

Die Vermessung eines marktverfügbaren induktiven Ladesystems mithilfe des realisierten Prüfstandes konnte im Rahmen des Vorhabens nicht umgesetzt werden, da kein geeignetes kommerzielles Ladesystem (Stromrichter, Spulen, Ansteuerung) zur Verfügung stand.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass mit den oben beschriebenen Prüfeinrichtungen die technischen Möglichkeiten bestehen, induktive Ladesysteme hinsichtlich ihrer elektromagnetischen Felder als auch der Energieeffizienz im Labor sowohl qualitativ als auch quantitativ zu vermessen und zu bewerten.

3 Elektrofahrzeuge im Feldbetrieb

Die Partner der Allianz Elektromobilität betreiben in ihren Mobilitätsprojekten kleine bis mittlere Flotten von Elektrofahrzeugen, die entweder als Dienstwagen, Poolfahrzeug oder Carsharing-Fahrzeug im täglichen Einsatz sind. Darüber hinaus betreibt die Fraport AG auch Sonderfahrzeuge, die für den Flughafenbetrieb erforderlich sind.

Um die Betriebsbedingungen besser zu verstehen und die Leistungsfähigkeit der Fahrzeuge einschätzen zu können, wurde ein Großteil dieser Fahrzeuge mit einer Datenerfassungseinrichtung ausgestattet. Handelt es sich hierbei um eine Telematikeinrichtung, so werden relevante Betriebsdaten im Fahrzeug erfasst, ggf. gebündelt und automatisch per Funk an einen Telematikanbieter übertragen. Alternativ wird auch eine manuell angestoßene Datenübertragung direkt am Fahrzeug in Verbindung mit der persönlichen Datenweiterleitung an eine zentrale Sammelstelle praktiziert.

Der Minimaldatensatz der NOW (Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie) legt fest, welche Daten für die Bewertung von Elektrostraßenfahrzeugen relevant sind und mindestens erfasst werden sollen. Dieser Minimaldatensatz wurde zu Beginn des Vorhabens mit interessierten Teilnehmern aus verschiedenen Projekten aller Modellregionen diskutiert und festgelegt.

Für die Sonderfahrzeuge des Flughafenbetriebs existiert kein vergleichbarer Minimaldatensatz. Der Datenumfang wurde nach den Bedürfnissen des Projektes »E-Fleet operated by Fraport« projektspezifisch festgelegt.

3.1 Elektrostraßenfahrzeuge

Aus den Flotten der Straßenfahrzeuge wurden die in Abb. 67 aufgeführten Fahrzeuge mit einem Datenerfassungssystem ausgestattet und damit in das Datenmonitoring für die übergeordnete Begleitforschung eingebunden. Im Rahmen dieses Vorhabens hat die Auswahl der Datenerfassungssysteme sowie die Sammlung- und Bearbeitung der Betriebsdaten bis hin zur Weitergabe an die zentrale Datenbank, in welche alle Modellregionen ihre Daten einspeisen, stattgefunden.

Fahrzeughersteller	Typ	Fahrzeugklasse KBA	Anzahl
Mercedes	Vito E-Cell	Utility	2
Mercedes	A-Klasse*	Kompaktklasse	1
Mitsubishi	i-MiEV	Mini	10
Opel	Ampera	Kompaktklasse	6
Renault	Fluence*	Kompaktklasse	2
Renault	Kangoo	Utility	5
	ZOE	Kleinwagen	8
Smart	fortwo	Mini	14

* sehr geringe Datenverfügbarkeit

Abb. 67 Zusammenstellung der Fahrzeuge, die mit einer Datenerfassungseinrichtung ausgestattet wurden mit der Zuordnung der Fahrzeugklasse gemäß Kraftfahrzeugbundesamt (KBA)

3.1.1 Erfassung der Betriebsdaten (Monitoring)

Für die Verarbeitung der Fahrzeugbetriebsdaten und deren Auswertung werden leistungsfähige Server und Betriebs- und Datenbanksysteme eingesetzt. Dafür steht eine Sammlung von Tools zur Verfügung, die den Transfer, die Weiterverarbeitung und Bereitstellung von Messdaten automatisieren.

Um einen Datenfluss zu erzeugen, kommen in der Regel folgende Tools zum Einsatz:

- Das Java-Programm DafNe (vgl. Abb. 68), das für
 - das automatische Abholen von Messdaten von FTP-Servern, Mail-Konten, Web-services, Internet-Seiten,
 - das automatische Abspeichern der unbearbeiteten Rohdaten,
 - das Konvertieren von Zeichen in den Rohdaten (z.B. Umwandlung des Spaltentrenners in Semikolon, Löschen von Carriage Return),
 - das Speichern der Datenfiles als *.csv-Files in einem speziellen Upload-Verzeichnis und
 - die Definition des Konfigurationsfiles für das Einladen in die Datenbank verantwortlich ist.
- Das Oracle-Tool SQL-Loader, mit dessen Hilfe die Messdaten automatisch in eine Tabelle in der Datenbank geladen werden können.
- Eine Sammlung von LINUX-Scripten und PL/SQL-Packages, die die Konvertierung z.B. in Zahlen- oder Datumswerte, eine Plausibilisierung u.a. und die Bereitstellung der Daten in den Tabellen des Nutzers übernehmen.
- Das Monitoring-System Check MK und den zugehörigen Scripten, die die Überwachung der Aktualität des Datenflusses bereitstellen.

In Abhängigkeit von den Anforderungen in den Forschungsprojekten wurden darüber hinaus individuelle Scripte entwickelt, die eine automatische Weiterverarbeitung, Auswertung und Auslieferung ermöglichen.

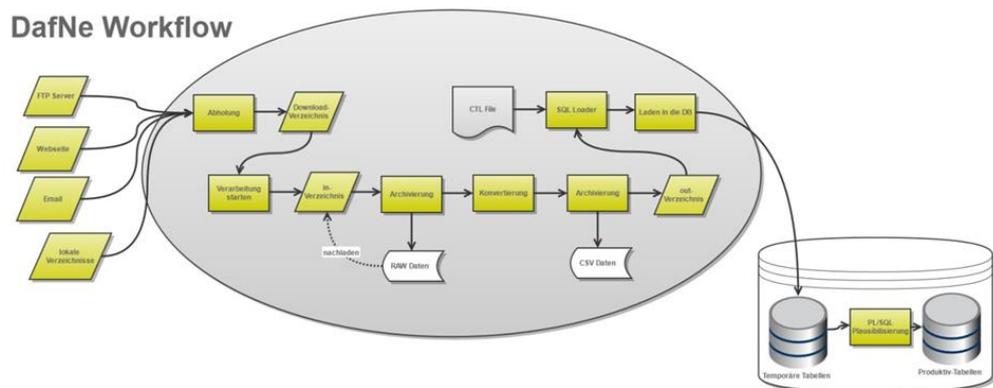


Abb. 68 DafNe Workflow

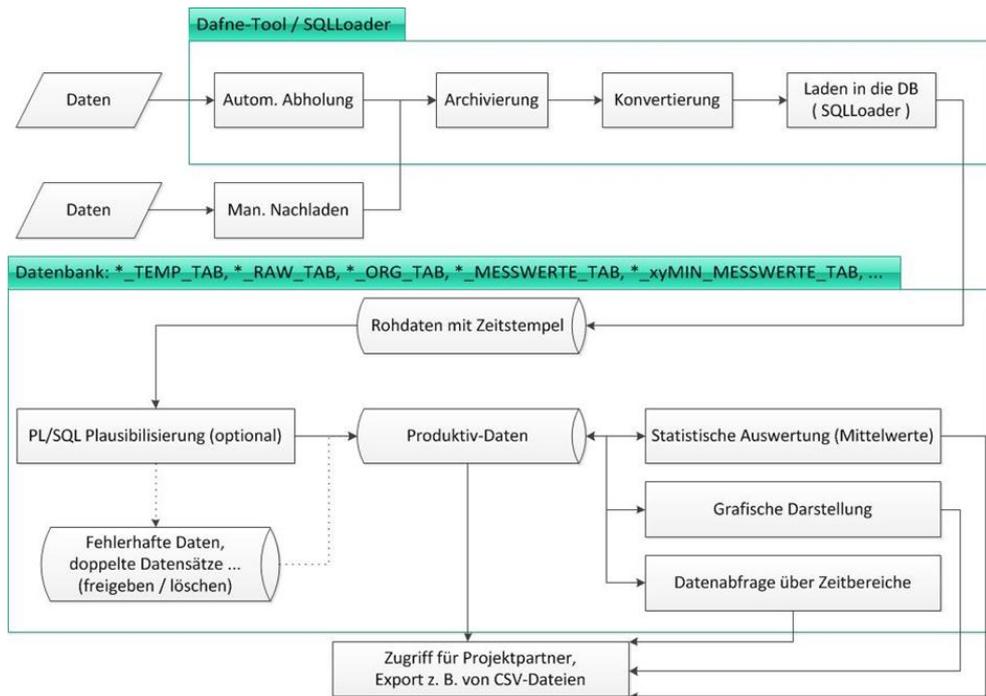


Abb. 69 Datenfluss inklusive Datenbank

Datenverarbeitung im TeBALE Projekt

Für die Datenerfassung im Projekt wurden die oben beschriebenen Werkzeuge angepasst und notwendige Skripte entwickelt, die eine automatisierte detaillierte Plausibilisierung und Auswertung vornehmen. Die plausibilisierten Minimaldatensätze der Fahr- und Ladeereignisse sollten dann monatlich automatisch an die übergeordnete Begleitforschung übermittelt werden.

Zu Beginn des Projekts war geplant, alle Fahrzeuge mit einem einheitlichen Telematiksystem auszustatten, um systematisch einheitliche Daten zu erhalten sowie nur einen Datenflussweg realisieren zu müssen. Dieser Ansatz konnte nicht umgesetzt werden, da kein bekannter Telematikanbieter den Zugang zu den relevanten Fahrzeugdaten aller Hersteller und Typen realisieren konnte. Aus diesem Grund war es unumgänglich, die erforderlichen Daten von verschiedenen Telematikanbietern über unterschiedliche Wege einzuholen und zu verarbeiten. Details hierzu können der Abb. 70 entnommen werden.

Datenquelle	Übertragung	Datentyp
Daimler	Manuell per E-Mail	Reduzierte Minimaldatensätze von Fahrten und Ladungen
CarMediLab	Abholung von Web-Service	Minimaldatensätze
CSB	Abholung von Web-Service	Zeitreihen
AMV Networks	Abholung von Web-Service	Zeitreihen
Opel Ampera	Abholung von Mail-Konto	Zeitreihen

Abb. 70 Bereitstellung von Fahrzeugbetriebsdaten

Abb. 71 verdeutlicht die Datenflüsse für die im Feld befindlichen und mit einer Telematikereinrichtung ausgestatteten Fahrzeuge. Die in den Formaten und Qualitäten unterschiedlichen Messdaten wurden erfasst, verarbeitet und das Ergebnis in Form von Minimaldatensätzen der übergeordneten Begleitforschung zur Verfügung gestellt. Bei den Datenflüssen CarMediaLab, CSB, AMV Networks und Opel Ampera wurden die Daten mit dem modifizierten Java-Tool abgeholt, die Roh- und konvertierten CSV-Daten auf dem internen Storage-Server abgelegt und in die zugehörige Eingangstabelle in der Datenbank geladen. Die Daten des Datenflusses Daimler wurden manuell auf dem internen Storage-Server abgelegt, konvertiert und in die Datenbank geladen.

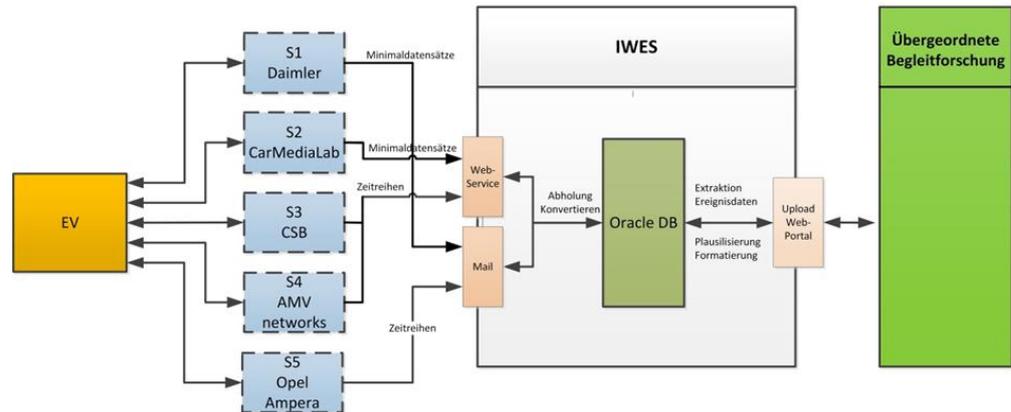


Abb. 71 Datenfluss für die im Feld befindlichen und mit einem Telematiksystem ausgestatteten Straßenfahrzeuge bis hin zur übergeordneten Begleitforschung

Verarbeitung der Eingangsdaten

Die Verarbeitung der Eingangsdaten bis zur Bereitstellung für die Auswertung findet bei allen Datenflüssen nach dem gleichen Schema statt. Die Eingangsdaten werden

- in der Eingangstabelle XYZ_TMP_TAB (Anm. XYZ steht für den jeweiligen Datenfluss) als Charakter abgelegt,
- in die entsprechenden Datentypen VARCHAR2, TIMESTAMP, INTERVAL PER SECOND und NUMBER konvertiert und
- in der Eingangstabelle für die Auswertung XYZ_ORG_TAB eingetragen.

Abb. 72 zeigt den Datenfluss und Abb. 73 benennt die Aufgaben der jeweiligen Tabellen.

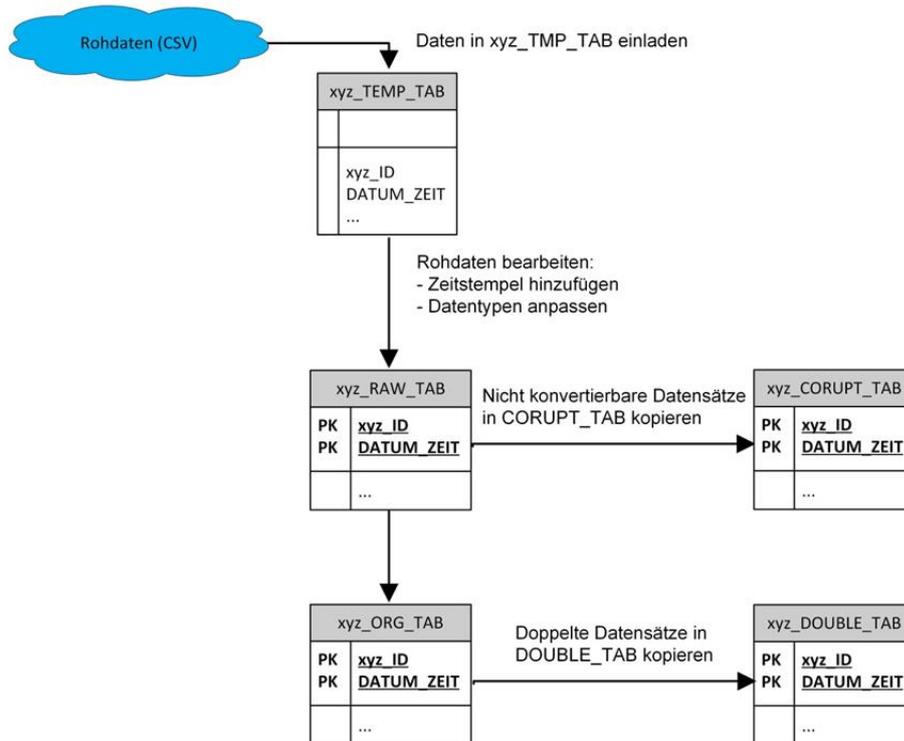


Abb. 72 Verarbeitung der Eingangsdaten in der Datenbank

Tabelle	Aufgabe
XYZ_TMP_TAB	Speicherung der Eingangsdaten als Charakter. Löschen der Datensätze nach Verarbeitung. Eingangstabelle.
XYZ_TMP_TAB_TMP	Speicherung der Eingangsdaten als Charakter. Backuptabelle.
XYZ_DOUBLE_TMP	Speicherung der konvertierten Eingangsdaten bei gleichem Primary-Key aber unterschiedlichen Werten. Werden hier Datensätze abgelegt, muss manuell geprüft werden, ob der in der Datenbank vorhandene oder der neu eingeladene Datensatz der gültige ist.
XYZ_DOUBLE_TMP	Hilfstabelle
XYZ_CORUPT_TAB	Speicherung der Eingangsdaten als Charakter, wenn eine Konvertierung in TIMESTAMP, INTERVAL PER SECOND oder NUMBER wegen Änderung des Datums- oder Zahlenformats nicht möglich war.
MELMO_MESS.XYZ_ORG_TAB	Ausgangstabelle für die Auswertung mit konvertierten und eindeutigen Werten.

Abb. 73 Übersicht über Tabellen zur Verarbeitung der Eingangsdaten

Generierung von Ereignissen, Plausibilisierung, Generierung Minimaldatensätze

Grundsätzlich sollen alle Datenflüsse nach einem einheitlichen Schema bearbeitet werden. Die Eingangsdaten stehen unter dem Nutzer MELMO_MESSDATEN in den XYZ_ORG_TAB-Tabellen zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Bei der Übertragung in die XYZ_INIT_TAB wird aus den Keys der Eingangsdaten, dem Einladedatum, dem Dateinamen etc. ein eindeutiger Fahrzeug- und Ereignis-Key generiert. Der eingehende eindeutige Fahrzeug-Key und der eingehende generierte eindeutige Ereignis-Key werden über eine Konvertierungstabelle in einen zufällig generierten anonymisierten eindeutigen Fahrzeug-Key und Ereignis-Key übersetzt, um eine Identifizierung der Fahrzeuge bzw. Fahrer zu unterbinden.

Mit Hilfe angepasster Algorithmen wird analysiert, ob es sich bei dem Ereignis um eine Fahrt oder eine Ladung handelt. Weiterhin werden die Werte für die Minimaldatensätze für die übergeordnete Begleitforschung mit anonymisiertem Fahrzeug-Key und Ereignis-Key generiert und in den Tabellen XYZ_MINDAT_IVV_FAHR_TAB bzw. XYZ_MINDAT_IVV_LADE_TAB abgelegt.

Unter Verwendung der Plausibilisierungskriterien von NOW werden nicht plausible Datensätze entfernt bzw. nicht plausible Werte gelöscht und die »gecleaneten« Datensätze in den Tabellen XYZ_MINDAT_FAHR_CLEAN_TAB und XYZ_MINDAT_LADE_CLEAN_TAB abgelegt.

Der vollständige Datensatz, der an die übergeordnete Begleitforschung übertragen wird, steht mit den vorgegebenen Formatierungen im View IVV_MINDAT_FRZ_BETRIEB_VIEW zur Verfügung, dessen Grundlage die Tabellen XYZ_MINDAT_FAHR_CLEAN_TAB und XYZ_MINDAT_LADE_CLEAN_TAB bilden.

Da die Anbieter von Daten sehr unterschiedliche Arten von Daten, Formate und Werte zur Verfügung gestellt haben, sind zum Teil Abweichungen vom geplanten Datentransfer und der Datenauswertung notwendig. Detaillierte Beschreibungen sind in den nachfolgenden Erläuterungen zu den jeweiligen Datenlieferanten zusammengefasst.

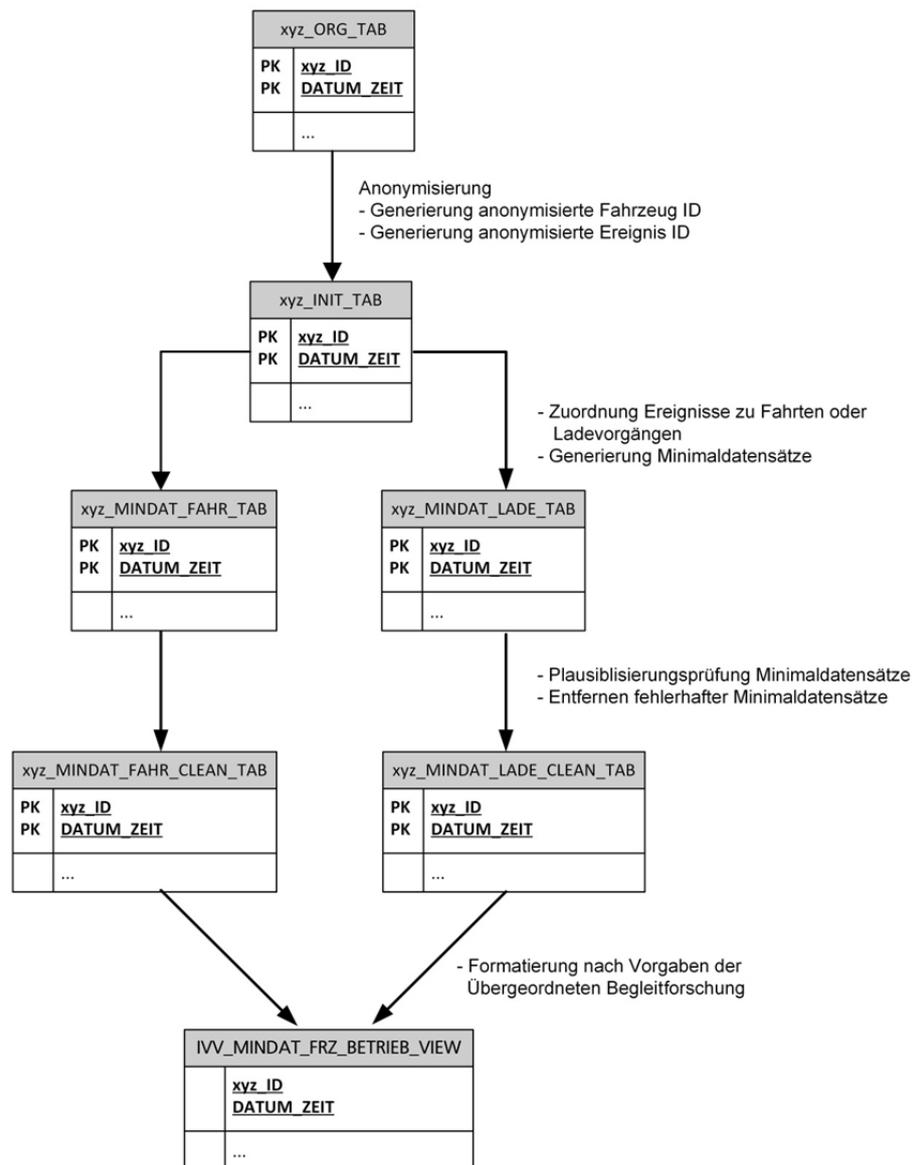


Abb. 74 Weiterverarbeitung der Daten in der Datenbank

Datenfluss Daimler

Eckdaten

- Datenbereitstellung durch: Daimler AG
- Abholung: Zusendung per Mail
- Einladen: Manuell
- Datenart: Ereigniswerte
- Vorhaltung: im Mailserver
- Ereignisunterscheidung: im XLS-File
- Fahrzeuge: Vito E-Cell

Dateneingang

- Monatlich per Mail ein *.xlsx-File mit Fahrereignissen und Ladeereignissen
- Manuelle Konvertierung von *.xlsx in *.csv für Fahrten und Ladungen
- Manuelles Einladen in die DB

Weiterverarbeitung

- Weiterverarbeitung als Fahrten und Ladungen
- Konvertierung der Datentypen und Übertragung in die ORG-Tabelle
- Anpassung der Datensätze und Übertragung in die INIT-Tabelle (Generierung Ereignis-Key aus Fahrzeug-ID und Startdatum)
- Anonymisierung der Datensätze
- Generierung der Ereignisdaten und Übertragung in die Fahrt- bzw. Ladungstabelle
- Plausibilisierung der Fahrten und Ladungen und Eintragung in die CLEAN-Tabellen

Ausgangsdaten

- Export der Daten in den CLEAN-Tabellen in dem von NOW bzw. IVV vorgegebenen Format

Abb. 75 Datenfluss Daimler - Tabellen für die Verarbeitung in der Datenbank

Tabellenname	Bemerkung	Datensätze bis 12/2015
MERC_ECELL_FAHR_ORG_TAB	Eingangstabelle mit konvertierten Werten (Fahrten)	2.441
MERC_ECELL_LADE_ORG_TAB	Eingangstabelle mit konvertierten Werten (Ladungen)	
MERC_ECELL_FAHR_I_NTDAT_TAB	Ereignistabelle mit generierter Ereignis-ID (Fahrten)	2.441
MERC_ECELL_LADE_I_NTDAT_TAB	Ereignistabelle mit generierter Ereignis-ID (Ladungen)	1.834
MERC_MINDAT_IVV_FAHR_TAB	Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Fahrten)	2.441
MERC_MINDAT_IVV_LADE_TAB	Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Ladungen)	1.834
MERC_MINDAT_IVV_FAHR_CLEAN_TAB	Plausibilisierte Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Fahrten)	2.227
MERC_MINDAT_IVV_LADE_CLEAN_TAB	Plausibilisierte Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Ladungen)	1.834

Eckdaten

- Datenbereitstellung durch: CarMedialab GmbH
- Abholung: Web-Service
- Einladen in DB: Automatisiert (DafNe)
- Datenart: Ereigniswerte
- Datenvorhaltung: Beim Web-Service
- E-Fahrzeuge: Smart, Renault

Dateneingang

- Abholung beim Web-Service mit dem angepassten Datenflusstool DafNe
- Automatisches Erzeugen der *.csv -Files
- Automatisches Einladen in die DB

Weiterverarbeitung

- Konvertierung der Datentypen und Speicherung in der ORG-Tabelle
- Anpassung und Übertragung der Ereignisdaten in die INIT-Tabelle
- (Generierung Ereignis-Key aus Fahrzeug-ID und Startdatum)
- Anonymisierung der Datensätze
- Zuordnung der Ereignisse als Fahrten oder Ladungen

- Definition Fahrten:

```
(SCHNELLADUNG_STATUS IS NULL  
OR SCHNELLADUNG_STATUS = 0)  
AND  
(LADESTECKER_STATUS IS NULL  
OR LADESTECKER_STATUS = 0)  
AND  
(ONBOARD_LADESPANNUNG IS NULL  
OR ONBOARD_LADESPANNUNG = 0))  
AND  
GANG IN ('D', 'N', 'R', 'P', 'BRAKE', 'Z/DEFAULT')
```

- Definition Ladungen:

```
(TRIP_ENERGY_CONS_SUM <= 0  
AND TRIP_DIST_START IS NULL  
AND TRIP_DIST_END IS NULL  
AND TRIP_DISTANCE IS NULL)  
OR  
(TRIP_ENERGY_CONS_SUM = 0  
AND TRIP_DISTANCE = 0)  
OR  
TRIP_SOC_MIN <0  
OR  
TRIP_SOC_MIN >100  
OR  
TRIP_SOC_MAX <0  
OR  
TRIP_SOC_MAX > 100
```

- Übertragung der Ereignisdaten in die Fahrt- bzw. Ladungs-Tabelle
- Plausibilisierung der Fahrten und Ladungen und Eintragung in die CLEAN-Tabellen

Ausgangsdaten

- Export der Daten in den CLEAN-Tabellen in dem von NOW bzw. IVV vorgegebenen Format

Abb. 76 Datenfluss CarMedialab - Tabellen für die Verarbeitung in der Datenbank

Tabellenname	Bemerkung	Datensätze bis 12/2015
CARMEDIAL-AB_ORG_TAB	Eingangstabelle mit konvertierten Werten	67.175
CARMEDIAL-AB_INTDAT_TAB	Ereignistabelle mit generierter Ereignis-ID	67.175
CARM_MINDAT_IV V_FAHR_TAB	Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Fahrten)	56.644
CARM_MINDAT_IV V_LADE_TAB	Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Ladungen)	9.411
CARM_MINDAT_IV V_FAHR_CLEAN_TAB	Plausibilisierte Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID(Fahrten)	34.514
CARM_MINDAT_IV V_LADE_CLEAN_TAB	Plausibilisierte Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Ladungen)	9.411

Datenfluss AMV-Networks

Eckdaten

- Bereitstellung durch: AMV Networks GmbH
- Abholung: Web-Service
- Einladen in DB: DafNe
- Datenart: Sekundenwerte
- Vorhaltung: 24 h
- Ereignisunterscheidung: keine
- Fahrzeuge: E-Kfz (Mitsubishi)
- Bemerkungen:
In den Eingangsdateien werden nur Wertänderungen übertragen
Zur Auswertung werden die Werte in der Datenbank aufgefüllt

Dateneingang

- Abholung beim Web-Service mit dem angepassten Datenflusstool DafNe
- Automatisches Erzeugen der *.csv -Files
- Automatisches Einladen in die DB

Weiterverarbeitung

- Konvertierung der Datentypen und Auffüllen der Datensätze in der ORG-Tabelle. Da von AMV nur Änderungen der Werte aufgenommen werden, werden in den Tabellen die aktuellen Werte nach unten bis zur Änderung der Werte aufgefüllt. Sind zu Beginn der Übertragung alle Wert = NULL, so werden diese Werte gelöscht, bis der erste Wert gesetzt ist.
- Anpassung der Datensätze und Übertragung in die INIT-Tabelle
- Zuordnung der Ereignisse als Fahrten oder Ladungen
- (Da die TRACK_ID zwar einzelne Ereignisse definiert, aber dieses Ereignis mehrere Fahrten und/oder Ladungen enthalten kann, wird beim Einfügen in die INIT_FAHRTEN bzw. INIT_LADUNGEN-Tabellen eine zusätzliche Ereignis-ID generiert)
- Anonymisierung der Datensätze
- Zuordnung der Ereignisse als Fahrten oder Ladungen
 - Alle Ereignisse, die keine Ladungen sind, werden als Fahrten eingestuft.

Definition Ladungen:
(SCHNELLADUNG_STATUS = 1
OR LADESTECKER_STATUS = 1
OR ONBOARD_LADESPANNUNG > 0)
AND
(EL_LEISTUNG IS NULL
OR EL_LEISTUNG = 0)

- Übertragung der Ereignisdaten in die Fahrt- bzw. Ladungs-Tabelle
- Plausibilisierung der Fahrten und Ladungen und Eintragung in die CLEAN-Tabellen

Ausgangsdaten

- Export der Daten in den CLEAN-Tabellen in dem von NOW bzw. IVV vorgegebenen Format

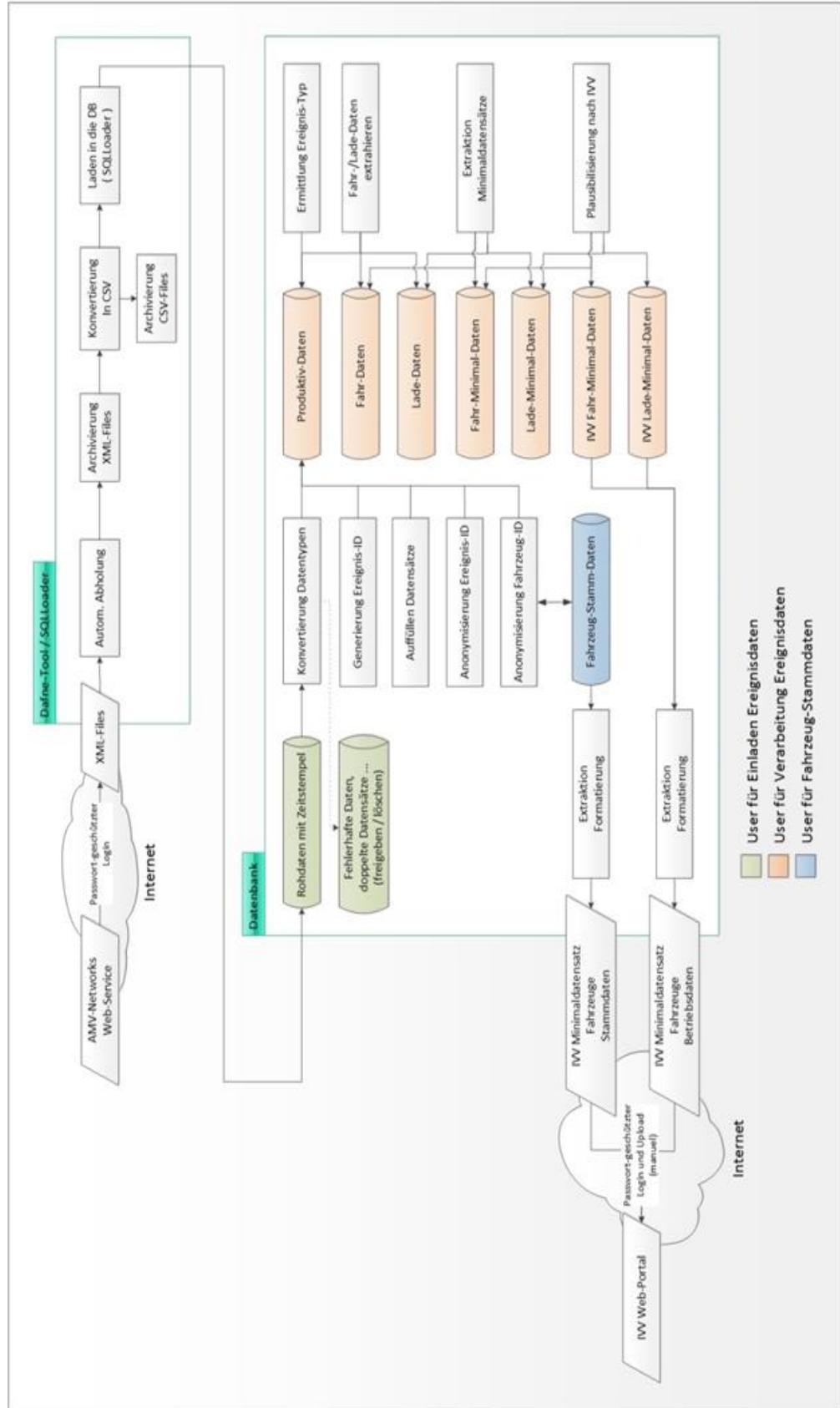


Abb. 77 Detaillierter Datenfluss AMV Networks

Tabellenname	Bemerkung	Datensätze bis 12/2015
AMV_GAENGE_TAB		20
AMV_ORG_TAB	Eingangstabelle mit konvertierten Werten	28.884.559
AMV_INTDAT_TAB	Eingangstabelle mit generierter Ereignis-ID	28.564.723
AMV_INITDAT_FAHRTEN_TAB	Eingangstabelle aller Datensätze, die die Bedingung für Fahrten erfüllen	10.096.963
AMV_INITDAT_LADEN_TAB	Eingangstabelle aller Datensätze, die die Bedingung für Ladungen erfüllen	17.727.800
AMV_INITDAT_MINDAT_FAHRTEN_TAB	Eingangstabelle aller Datensätze, die die Bedingung für Fahrten erfüllen mit generierten Fahrereignissen	10.096.963
AMV_INITDAT_MINDAT_LADEN_TAB	Eingangstabelle aller Datensätze, die die Bedingung für Fahrten erfüllen mit generierten Ladeereignissen	17.727.800
AMV_MINDAT_IVV_FAHR_TAB	Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Fahrten)	19.619
AMV_MINDAT_IVV_LADE_TAB	Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Ladungen)	2.788
AMV_MINDAT_IVV_FAHR_CLEAN_TAB	Plausibilisierte Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Fahrten)	15.852
AMV_MINDAT_IVV_LADE_CLEAN_TAB	Plausibilisierte Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Ladungen)	2.788

Abb. 78 Datenfluss AMV-Networks - Tabellen für die Verarbeitung in der Datenbank

Die Berechnungsvorschrift für die Erstellung der Minimaldatensätze aus den Ereignisdaten ist im Anhang 8.2 zu finden.

Datenfluss Opel Ampera

Eckdaten

- Bereitstellung durch: Fahrzeugnutzer / Flottenbetreiber
- Abholung: Zusendung per Mail
- Einladen in DB: Automatisiert mit DafNe
- Datenart: Sekundenwerte
- Vorhaltung: Im Mail-Server
- Ereignisunterscheidung: keine
- Fahrzeuge: Opel Ampera

Dateneingang

- Per Mail an info.sys@iwes.fraunhofer.de

- Abholung beim Mail-Konto mit dem angepassten Datenflusstool DafNe
- Automatisches Erzeugen der *.csv -Files
- Automatisches Einladen in die DB

Weiterverarbeitung

- Konvertierung der Datentypen und Speicherung in der ORG-Tabelle
- Anpassung und Übertragung der Ereignisdaten in die INIT-Tabelle
- (Generierung Ereignis-Key aus Fahrzeug-ID und Startdatum)
- Anonymisierung der Datensätze
- Zuordnung der Ereignisse als Fahrten oder Ladungen
 - Zunächst werden alle Ereignisse als Fahrten eingestuft. Dann werden SoC, Kraftstoffverbrauch etc. ermittelt. Aufgrund der Ergebnisse werden Ladungen aus den Fahrten generiert.
- Generierung der Ereignisdaten und Übertragung in die Fahrt- bzw. Ladungstabelle
- Plausibilisierung der Fahrten und Ladungen und Eintragung in die CLEAN-Tabellen

Ausgangsdaten

- Export der Daten in den CLEAN-Tabellen in dem von NOW bzw. IVV vorgegebenen Format

Abb. 79 Datenfluss Opel Ampera - Tabellen für die Verarbeitung in der Datenbank

Tabellenname	Bemerkung	Datensätze bis 12/2015
OPEL_AMP_1S_ORG_TAB	Eingangstabelle der 1s-Werte	4.460.440
OPEL_AMP_250MS_ORG_TAB	Eingangstabelle der 250ms-Werte	14.003.972
OPEL_AMP_30S_ORG_TAB	Eingangstabelle der 30s-Werte	235.305
O-PEL_AMPERA_ORG_TAB	Eingangstabelle mit konvertierten Werten	23.920.850
O-PEL_AMPERA_INTD_AT_TAB	Eingangstabelle mit generierter Ereignis-ID	23.906.598
O-PEL_MINDAT_IVV_F_AHR_TAB	Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Fahrten)	6.742
O-PEL_MINDAT_IVV_F_AHR_ADD_TAB	Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Fahrten) mit zusätzlichen Werten	6.742
O-PEL_MINDAT_IVV_L_ADE_TAB	Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Ladungen)	1.301

O- PEL_MINDAT_IVV_F AHR_CLEAN_TAB	Plausibilisierte Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Fahrten)	5.937
OPEL_MINDAT_IVV _LADE_CLEAN_TAB	Plausibilisierte Ereignistabelle im IVV-Format mit anonymisierter Ereignis-ID und anonymisierter Fahrzeug-ID (Ladungen)	868

Elektrofahrzeuge im Feldbetrieb

Die Berechnungsvorschrift für die Erstellung der Minimaldatensätze aus den Ereignisdaten ist im Anhang 8.3 zu finden.

Datenfluss beim SOR-Elektrobus

Neben der automatisierten Verarbeitung von Betriebsdaten wurde für die Begleitung des Elektrobusse im Projekt FREE eine manuelle Datenerfassung in Kombination mit einer automatischen Aufzeichnung von Zeitreihen der vom Batterieladegerät aus dem Netz bezogenen Energie installiert. Hierbei werden Betriebsdaten aus dem Fahrtenbuch des Elektrobusse mit den erfassten Energiemengen zusammengeführt und ein tages-scharfes Profil erstellt. Durch diese Kombination ist es möglich, die von der übergeordneten Begleitforschung gewünschten Betriebsdaten bereit zu stellen. In der folgenden Abb. 80 sind die zu protokollierenden Informationen zusammengestellt.

Kategorie		Merkmal	Erfassung	
Datum	Betriebszeiten	Plan-Betriebsstunden	Manuell	
		Ist-Betriebsstunden	Manuell	
		Nicht Betrieb - Batteriedefekt	Manuell	
		Nicht Betrieb – Ladegerät defekt	Manuell	
		Nicht Betrieb – Unfall / Vandalismus	Manuell	
		Kein Betrieb - Wartung	Manuell	
Datum	Allgemein	Liniennummer		
		Betriebsdaten Fahrzeug	Aufgenommene Energiemenge in kWh – Standardladung	---
			Aufgenommene Energiemenge in kWh – Schnellladung	---
			Verbrauchte Energiemenge in kWh	---
		SoC in % Betriebsbeginn	Manuell	
		SoC in % Betriebsende	Manuell	
Datum	Betriebsdaten Infrastruktur	Kennung ID Ladestelle	Manuell	
		Abgegebene Energiemenge in	Automatisch	

Abb. 80 Minimaldatensatz für den Elektrobus

Kategorie	Merkmal	Erfassung
	kWh	
	Start Ladung	Automatisch
	Ende Ladung	Automatisch
	Ladezeiten	Automatisch
	Verfügbarkeit Infrastruktur	Manuell
Allgemein	Kommentare	Manuell

Zur Absicherung der Einzelangaben wurden, jeweils zum Monatswechsel, die folgenden Stände aller relevanten Zähler zu einem Zeitpunkt und durch eine Person manuell erfasst:

- Kilometerstand des Fahrzeuges
- Kilowattstunden der Betreiberzählstelle
- Kilowattstundenzähler im Fahrzeug
- elektronischer Kilowattstundenzähler am Ladegerät

In den Fällen, in denen signifikante Differenzen zwischen den Zählerständen und den Einzelaufzeichnungen festzustellen sind, wurden die manuell registrierten Werte nochmals auf deren Richtigkeit überprüft. Die so geprüfte Tabelle wurde im Zeitraum vom April 2014 bis März 2015 in der Regel monatlich an die übergeordnete Begleitforschung übermittelt.

IVV Minimaldatensatz

Der von der Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG definierte Minimaldatensatz enthält Fahrten und Ladungen von reinen Elektrofahrzeugen und Hybriden in einer Datei. In der folgenden Abb. 81 sind die Spalten des Minimaldatensatz angegeben und dem jeweiligen Ereignisse zugeordnet.

Abb. 81 Minimaldatensatz IVV – Parameter Fahrten und Ladungen

Zuordnung	Identifikation	Indikator	Einheit
		Anonymisierte Fahrzeug-ID	[SF] _ [Projekt(4char)] _ Fzg [lfdn(4char)]
		Kilometerstand	Km-Stand bei Fahrtantritt
	Kommentar	Bemerkungen	Freier Text
Temperaturen	Außen-Temperaturen	Außentemperatur (Start)	[°C]
		Außentemperatur (Min)	[°C]
		Außentemperatur (Max)	[°C]
Batterie-Temperaturen	Batterie-Temperaturen	Batterietemperatur (Start)	[°C]
		Batterietemperatur (Min)	[°C]
		Batterietemperatur (Max)	[°C]

Zuordnung	Identifikation	Indikator	Einheit
Fahrdaten	Fahrzeiten	Startzeit	[TT.MM.JJJ] [hh:mm:ss] (24h)
		Endzeit	[TT.MM.JJJ] [hh:mm:ss] (24h)
	Streckenmerkmale	Fahrdistanz	[km]
		gefahrene Höhenmeter (positiv)	[m]
		gefahrene Höhenmeter (negativ)	[m]
		Anzahl der Stopps	[Stk.]
		Max. Geschwindigkeit	[km/h]
		Geschwindigkeiten	0-3 km/h
	3-30 km/h		[hh:mm:ss]
	30-60 km/h		[hh:mm:ss]
60-90 km/h	[hh:mm:ss]		
90-120 km/h	[hh:mm:ss]		
Energieverbrauch	Verbrennungsmotor	Betriebsstunden	[hh:mm:ss]
		Kraftstoffverbrauch Verbrennungsmotor	[l]
	Elektroantrieb	Betriebsstunden Range extender	[hh:mm:ss]
		Kraftstoffverbrauch Range extender	[l]
		Erzeugte elektrische Energiemenge	[kWh]
		Start-SoC	[%]
		End-SoC	[%]
		Energiefluss positiv	[kWh]
	Elektroantrieb	Energiefluss negativ	[kWh]
		Restlaufstrecke max.	[km]
	Restlaufstrecke min.	[km]	

Abb. 82 Minimaldatensatz IVV – Parameter Fahrten

Abb. 83 Minimaldatensatz IVV – Parameter Ladungen

Zuordnung	Identifikation	Indikator	Einheit
Energiebezug	Strombezug	Ladestations-ID	[SF] _ [Projekt(4char)] _ LS [lfdn(4char)]
		Ladeinfrastrukturkoordinaten	[GPS-Koordinaten]
		maximale Ladeleistung	[kW]
		Startzeit	[TT.MM.JJJJ] [hh:mm:ss] (24h)
		Endzeit	[TT.MM.JJJJ] [hh:mm:ss] (24h)
		Dauer Ladevorgang	[hh:mm:ss]
		Aufgenommene Energiemenge	[kWh]
		Start-SoC	[%]
		End-SoC	[%]
		Kilometerstand Betankung elektr. Energie	[km]

Anonymisierung

Ein besonderer Fokus im Projekt liegt auf der Anonymisierung der personen- und fahrzeugbezogenen Daten. Die rechtliche Grundlage hierfür ist im Bundesdatenschutzgesetz¹ in §3 Absatz 6 zu finden:

»Anonymisieren ist das Verändern personenbezogener Daten derart, dass die Einzelangaben über persönliche oder sachliche Verhältnisse nicht mehr oder nur mit einem unverhältnismäßig großen Aufwand an Zeit, Kosten und Arbeitskraft einer bestimmten oder bestimmbarer natürlichen Person zugeordnet werden können.«

Die im Projekt für die Anonymisierung relevanten Daten sind:

- Stammdaten (Kennzeichen, Typ etc.)
- Ortsdaten
- Zeitangaben

Um dieser Anforderung zu genügen, werden bei allen Datenübertragungen außerhalb des Datenbanksystems sowohl die Fahrzeuge, als auch die einzelnen Fahr- oder Ladeereignisse mit einer zufällig generierten Fahrzeug-ID bzw. Ereignis-ID anonymisiert. In den Eingangsdatensätzen sind die Geräte-ID der jeweiligen Logger eingetragen, die in Verbindung mit den Stammdaten innerhalb der Datenbank die Identifikation des Fahrzeugs ermöglichen. Diese Zusammenführung ist für die folgenden Plausibilitätsprüfungen und Auswertungen erforderlich. Die Stammdaten sind in einem separaten Da-

¹ https://www.bfdi.bund.de/bfdi_wiki/index.php/3_BDSG

tenutzer abgelegt und durch Passwortschutz nur für die Mitarbeiter der Datenverarbeitung im Projekt einsehbar.

Um Ereignisse aus den Zeitreihendaten zu extrahieren wird eine interne Ereignis-ID aus der Geräte-ID und dem Zeitstempel generiert. Sowohl die Geräte-ID als auch die interne Ereignis-ID werden nach der Plausibilisierung und Auswertung über Konvertierungstabellen, die unter dem Stammdatennutzer abgelegt sind, in eine anonymisierte zufällig generierte »externe« Fahrzeug ID und eine zufällig generierte »externe« Ereignis ID konvertiert. Rückschlüsse auf real existierende Fahrzeuge, Fahrzeugereignisse oder Personen sind so nur mit einem sehr hohen Aufwand möglich.

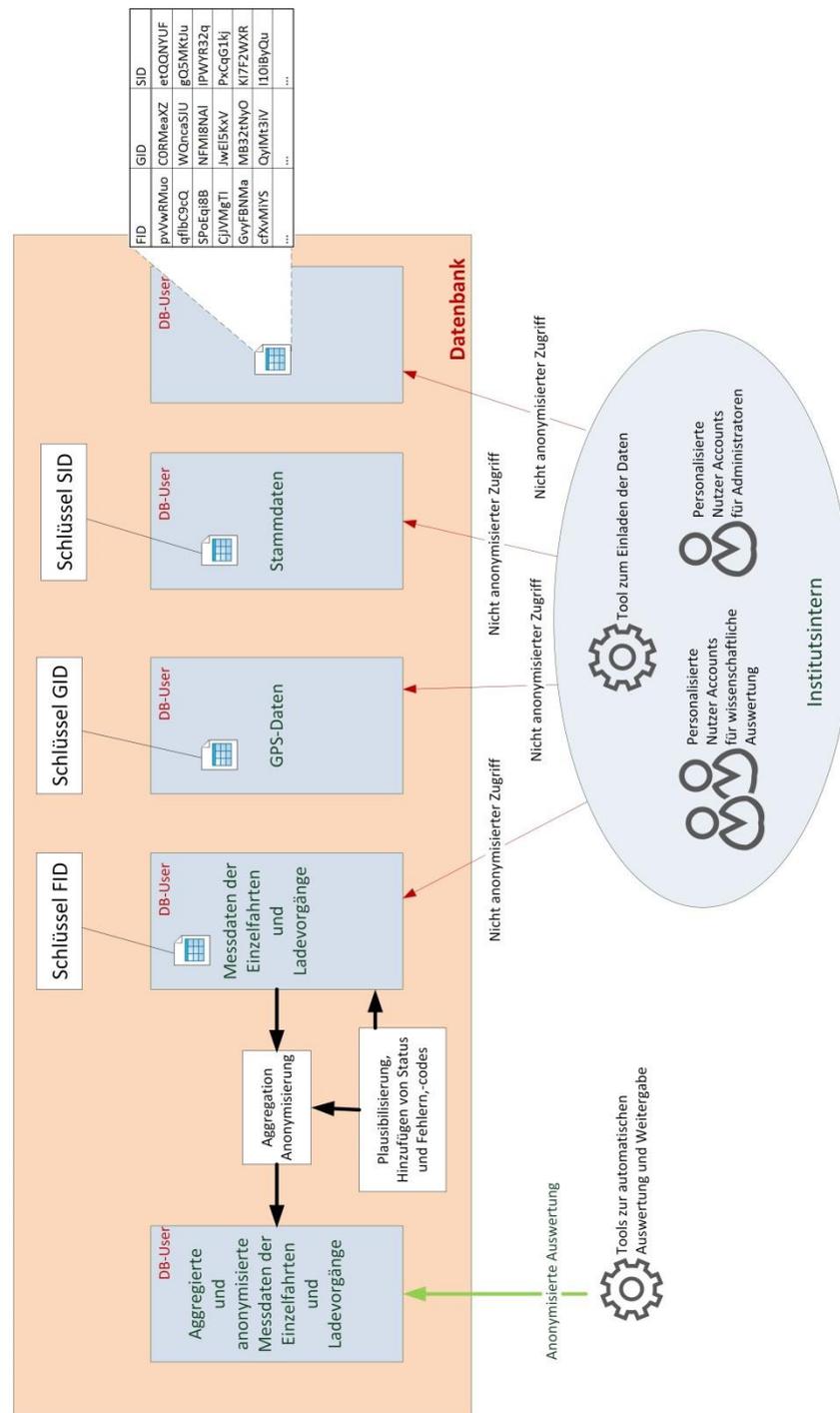


Abb. 84 Anonymisierung von Betriebsdaten (FID = Fahrzeug ID (Extern, anonymisiert), SID = Stammdatensatz ID, GID = Geräte ID)

Monitoring Datenlieferung

Der Feldbetrieb der Elektrostraßenfahrzeuge mit Telematikeinrichtungen (Datenlogger) hat gezeigt, dass es auch zu Ausfällen dieser Datenerfassungssysteme kommt. Ursachen hierfür sind Defekte an der Hardware, während des Feldbetriebes gelöste Steck-

verbindungen, als auch Softwareabstürze, insbesondere in mit Verbindung mit aufzuspielenden Updates.

Eine wichtige Aufgabe ist, diese Defekte frühzeitig zu erkennen, um potentielle Datenausfälle gering zu halten. Grundsätzlich sind sowohl die Betriebszeiten als auch die Standorte der Fahrzeuge unbekannt, weshalb ausschließlich anhand der Dateneingänge zu entscheiden ist, ob ein Defekt wahrscheinlich und eine Werkstattkontrolle erforderlich ist. Für diese Entscheidungsfindung wurde eine kritische Zeitspanne für jeden Datenfluss festgelegt. Das entwickelte Monitoring-Tool Check MK prüft, ob diese Zeitspanne für neue Daten überschritten ist. Bei einer festgestellten Zeitüberschreitung wird diese angezeigt und die im Projekt benannten Kontaktpersonen erhält automatisch eine Nachricht per E-Mail.

Das Monitoring neuer Daten wird nach folgendem Schema bearbeitet:

Schritt 1:

Neue Daten werden unter dem Nutzer LOAD_REGULAR in die zugehörige Tabelle ..._TMP_TAB hochgeladen

Schritte 2 bis 4:

Die Daten werden von der dafür vorgesehenen Prozedur weiterverarbeitet (2.) und in die für die weitere Verarbeitung relevanten ORG-Tabellen eingefügt (3. und 4.).

Schritte 5 und 6

Die Prozedur startet das Package »MONITOR_ORG« (5.), und die zum jeweiligen Datentyp gehörige Prozedur des Package (6.), welches sich auf dem Nutzer MONITOR befindet.

Schritt 7

Die Prozedur befüllt dann die Tabelle »DATA_MONITOR_TAB« mit den für das Check MK erforderlichen Daten. Hierzu greift das Package auf die ORG-Tabelle zu und ermittelt dort den maximalsten Zeitstempel-Eintrag.

Schritt 8:

Das Monitoring Tool Check MK greift auf die Tabelle »DATA_MONITOR_TAB« zu und stellt diese Daten auf der Internetseite für den Nutzer aufbereitet dar.

Abb. 85 stellt den Ablauf grafisch dar.

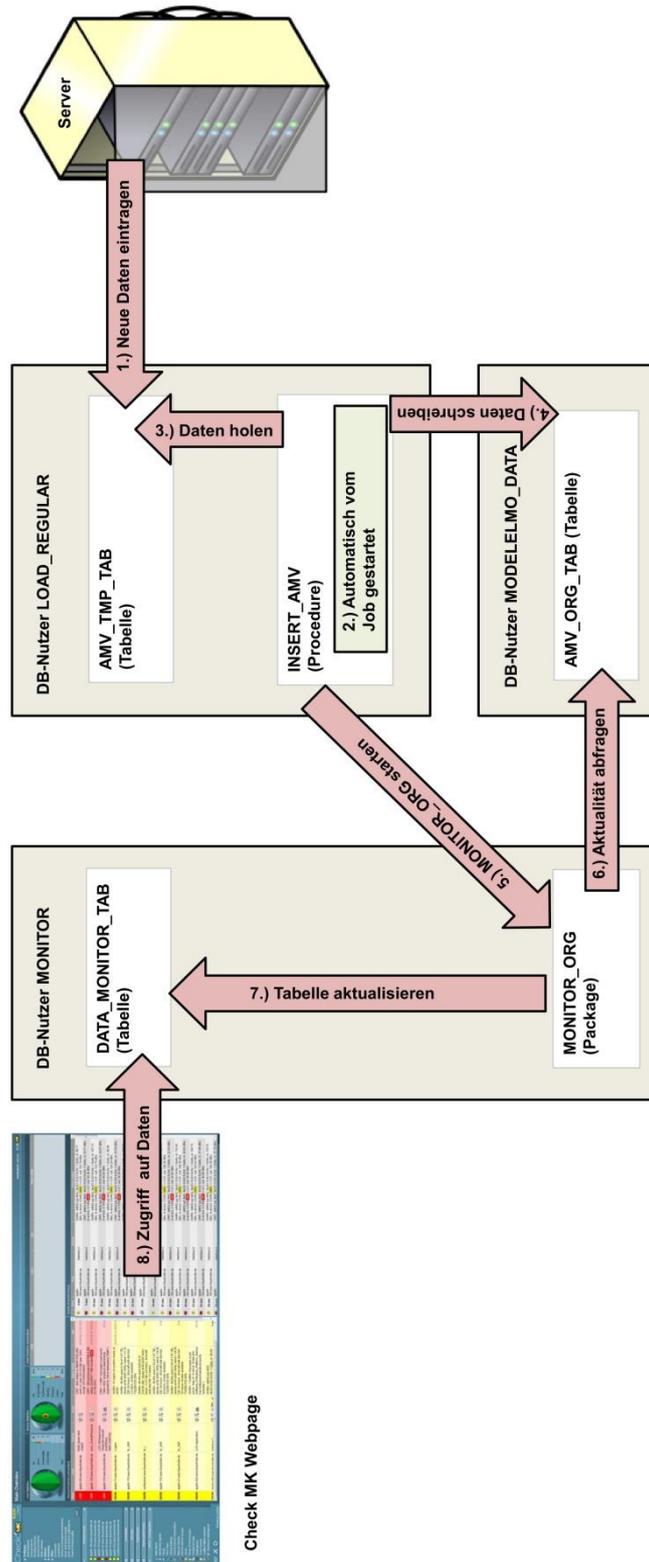


Abb. 85 Ablauf zur Kontrolle der Datenlieferung von Fahrzeugen mit Telematikeinrichtung

3.2 Sonderfahrzeuge für den Flughafenbetrieb

Mit dem Projekt »E-Fleet operated by Fraport« baut die Fraport AG den Anteil an Elektrofahrzeugen weiter aus und will die Alltagstauglichkeit und Erdölunabhängigkeit dieser Fahrzeuge unter Beweis stellen. Dazu kommen am Flughafen Frankfurt weitere Elektrofahrzeuge, darunter Spezialfahrzeuge für die Flugzeugabfertigung sowie Kleinbusse und PKW zum Einsatz kommen. Um die Elektrofahrzeuge aufladen zu können, wurde bereits mit der Einrichtung einer Infrastruktur von Ladestationen im Betriebsbereich begonnen.

Bereits heute ist ein nennenswerter Teil der Fraport-Fahrzeuge am Flughafen Frankfurt batterieelektrisch angetrieben, darunter die hier betrachteten Sonderfahrzeuge wie beispielsweise Paletten-Container-Lader (sogenannte »Loader«), Schleppfahrzeuge, Fluggasttreppen und Förderbandwagen. Zum Zeitpunkt der Untersuchung sind, wie Abb. 86 zeigt, 100 rein elektrisch betriebene Sonderfahrzeuge im Einsatz. Davon werden insgesamt 12 mit Datenloggern zur Erfassung der Betriebsdaten, ausgestattet.

Fahrzeugart	Anzahl	Nutzungsart	Ruhezeit	Verfügbare Ladezeit
Palettenhubwagen (Loader)	8	Container Lifter Abfertigung	22:30 – 05:00	6,5 h
Förderbandwagen	91	Abfertigung, Be-/ Entladen	22:30 – 05:00	6,5 h
Solar-Fluggasttreppe	1	Abfertigung		

Abb. 86 Überblick über elektrische Sonder- und Serienfahrzeuge der Fraport AG am Frankfurter Flughafen

3.2.1 Paletten-Container-Lader

Bei dem Paletten-Container-Lader, kurz »Loader« genannt, handelt es sich um ein elektrisch betriebenes Paletten-Container-Verladefahrzeug mit einer Hubkapazität von bis zu 7 Tonnen. Der Loader eignet sich zum Be- und Entladen der Frachträume im Unter- bzw. Hauptdeck bei nahezu allen derzeit im Einsatz stehenden Zivilflugzeugen. Abb. 87 zeigt einen typischen Paletten-Container-Lader vom Typ CHAMP 70SE der Firma Trepel, wie er auch bei FRAPORT eingesetzt wird.



Abb. 87 Gesamtansicht des Loaders CHAMP 70SE (Quelle: Trepel Airport Equipment GmbH)

3.2.1.1 Technik / Gerätebeschreibung

Die im Loader verbauten ElektrokompONENTEN sind Serienprodukte der Industrie aus der Antriebs-, Batterie- und Ladetechnik. Diese Komponenten dienen dazu, die Hydraulik-Hauptpumpe anzutreiben, den Betriebsdruck für die Arbeitshydraulik herzustellen und die Antriebsbatterie aufzuladen.

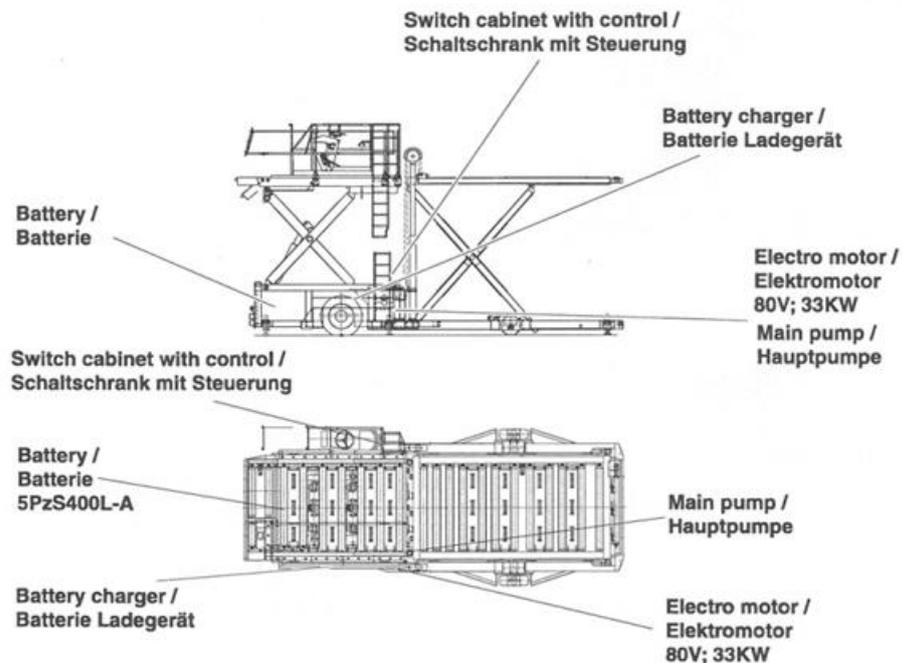


Abb. 88 Übersicht über die ElektrokompONENTEN (Quelle: CHAMP 70SE Wartungsanleitung)

Bei dieser Konversionslösung ersetzt ein Elektromotor den ursprünglich verbauten Verbrennungsmotor. Anstelle des Dieseltanks wurde der Elektromotor und anstelle des Verbrennungsmotors die Batterie eingebaut. Der Elektromotor ist an die originale Hyd-

raulik-Hauptpumpe angeflanscht, die die Hydraulikmotoren für den Fahr-, Hebe- und Stützbetrieb antreibt. Einige Loader sind zusätzlich für den Rangierbetrieb der Plattformen mit einem Längs- und Querantrieb ausgerüstet, um das Rangieren und Drehen der Fracht auf den beiden Plattformen zu ermöglichen.

Elektrohydraulischer Zentralantrieb

Der elektrohydraulische Zentralantrieb versorgt die Arbeitshydraulik zum Betreiben von Fahr-, Hub- und Stützbetrieb. An den 33-kW-Asynchronmotor ist die hydraulische Hauptpumpe angeflanscht, die die Arbeitshydraulik versorgt. Ein 80-Volt-Batteriesatz mit einer Kapazität von 625 Ah speist einen Stromrichter, der die Motordrehzahl für den Zentralantrieb regelt.

Fahrtrieb

Das Antriebssystem für den Fahrbetrieb besteht aus einer lenkbaren Hauptachse mit einem an der Gelenkantriebswelle angeflanschten Hydraulikmotor. Dieser wird über die Arbeitshydraulik mit dem entsprechenden Arbeitsdruck versorgt. Der Arbeitsdruck wird durch die Zentraleinheit, bestehend aus Elektromotor und hydraulische Hauptpumpe (kurz: Zentralantrieb) erzeugt.

Antriebsbatterie

Zur Energieversorgung des Zentralantriebs ist im Unterflurbereich des Loaders (siehe Abb. 89) eine Blei-Säure-Batterie mit 80-Volt-Nennspannung und 625 Ah Nennladung verbaut. Der detaillierte Aufbau des Batterieverbandes ist Abb. 90 zu entnehmen. Über einen Elektrolytfüllstandsensor mit drahtloser Meldeeinrichtung wird signalisiert, dass über das zentrale Wassernachfüllsystem Batteriewasser nachgefüllt werden muss. Der Standard-Batterietrog ist nicht gegen Temperatureinfluss gedämmt.

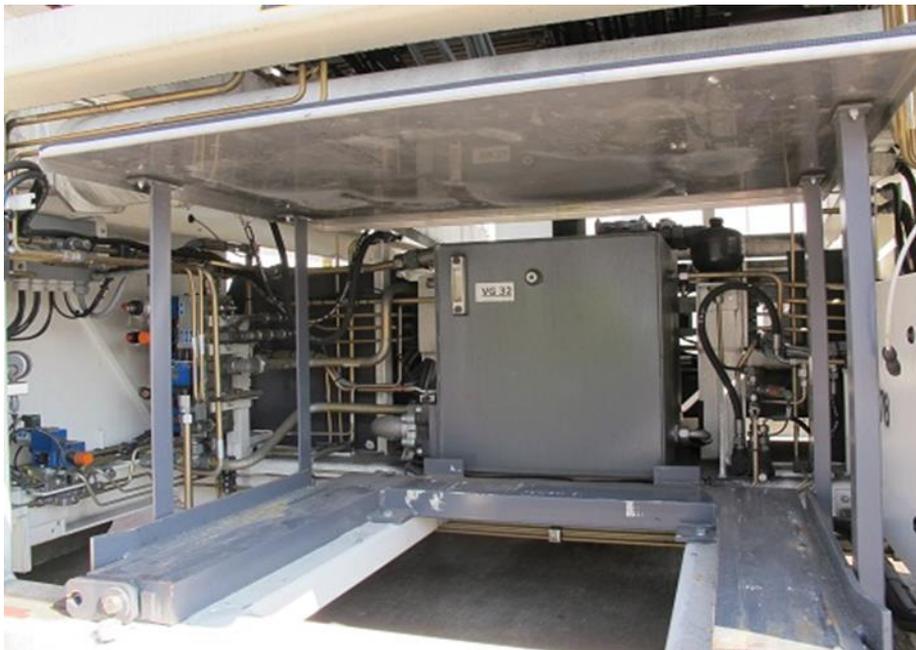


Abb. 89 Einbauort der Antriebsbatterie im Unterflurbereich des Loaders

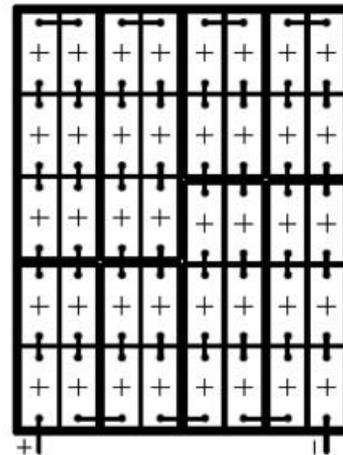


Abb. 90 Trog mit Antriebsbatterie (links) und Schaltung der Zellen (rechts)

Zur Aufzeichnung von Strom-, Spannungs-, Temperatur- und Elektrolytstanddaten wurde ein drahtloser Batterie-Controller vom Typ Wi-IQ eingebaut (siehe Abb. 91).



Abb. 91 Messsystem Wi-IQ zur Erfassung von Batterie-Betriebsdaten

Batterieladegerät

Das luftgekühlte Ladegerät ZIVAN NG9 (siehe Abb. 92) mit einer Nennausgangsleistung von 8 kVA (100 A bei 80 V) wird zum Aufladen der Antriebsbatterie verwendet. Das Gerät ist im Loader verbaut und kann per Anschlussstecker mit dem Gebäudestromnetz verbunden werden (siehe Abb. 93). Entsprechend der Batteriespezifikation wurde das Ladegerät vom Lieferanten programmiert. Am Ladegerät ist kein Temperatursensor angeschlossen, der die Ladespannung bei unterschiedlichen Batterietemperaturen anpasst.

Technische Daten Ladegerät

Hersteller	Zivan
Input	400 VAC / 50 Hz
Output	80 VDC / 100 A
Netzleistung	9,0 kVA
Kennlinie	I U I a
Kein Batterietemperatursensor	



Abb. 92 Technische Daten des Ladegerätes (Quelle: Bedienungsanleitung) und die Geräteansicht (rechts)



Abb. 93 Anschlussstecker des Ladegerätes (links) und Anschlussboxen am Gebäude (rechts)

3.2.1.2 Nutzungsprofil

Die Loader werden täglich genutzt und während des nächtlichen Flugverbotes von 22:30 Uhr bis 05:00 Uhr am Stromversorgungsnetz wieder aufgeladen.

Um für die Nutzung der Batterie Profile zu erstellen, hat Fraport die Fahrzeuge mit Datenloggern ausgestattet (vgl. Anhang 8.1). Die folgenden Auswertungen wurden für ein Fahrzeug auf der Grundlage der im Kalenderjahr 2014 im Betrieb gemessenen Batteriedaten erstellt.

Für die Auslegung der Batterie ist es wichtig, Kenntnisse über die im Betrieb zu erwartenden Last- und Ladeprofile zu haben. Exemplarisch für die messtechnisch begleiteten Palettenhubwagen werden Ergebnisse für das Fahrzeug KPH0242 aus dem Kalenderjahr 2014 vorgestellt.

Messdatengewinnung und ihre Prüfung auf Plausibilität

Die Aufzeichnung der Betriebsdaten erfolgt mit einem Datenlogger des Typs Enersys WI-IQ. Dieser ist so konfiguriert, dass Messdaten, die für den Batteriebetrieb relevant sind, aufgezeichnet und für vollständige Batteriezyklen abgespeichert werden. Folgende Größen werden vom Datenlogger in dieser Betriebsweise erfasst und auf einer SD-Speicherkarte abgespeichert:

- Start Ereignis (Datum, Uhrzeit)
- Ereignistyp (Stillstand, Entladen, Laden)
- Dauer (Stunden, Minuten, Sekunden)
- Energie (kWh)
- Ladung (Ah)
- Temperatur (Startwert, Endwert, Maximum, Mittelwert in °C)
- Zellenspannung (Startwert, Endwert, Minimum, Maximum und Balancingspannung in V)
- Stromstärke (Startwert, Endwert, Maximum in A)
- Ladezustand (%)

Die auf SD-Karte vorliegenden Daten werden in eine Datenbank übertragen und einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Diese zielt darauf ab, die messtechnisch gewonnenen Daten daraufhin zu prüfen, ob sie grundsätzlich nachvollziehbar sind. Konkret bedeutet dies, dass die Messwerte auf ihren sinnvollen Wertebereich und ihre nachvollziehbare zeitliche Abfolge geprüft werden. Mit diesem Schritt können offensichtliche Unstimmigkeiten, beispielsweise durch Betriebsunterbrechungen, Kabelbruch, Sensorausfall usw. erkannt werden. Aussagen über die Richtigkeit der Werte können jedoch nicht getroffen werden.

Plausibilitätsprüfung des Zustandswechsels »SoC Stillstand – SoC Entladen«

Der Ladezustand SoC beziffert die Ladungsmenge, die bereits in die Batterie eingelagert ist. Hier wird vom entladenen Zustand ausgegangen, bei dem die Nennkapazität entnommen ist. Auch für den Ladezustand SoC kann für bestimmte Ereignisfolgen geprüft werden, ob die Werte nachvollziehbar sind. Geprüft wird die Plausibilität der SoC-Werte für den Übergang vom Ereignis »Stillstand« zum Ereignis »Entladen«. In der Stillstandsphase wird die Batterie nicht belastet bzw. entladen. Dauert diese Phase ausreichend lange an, so ist mit einem stabilen SoC-Wert zu rechnen. Beim Übergang zur Phase »Entladen« ist es nachvollziehbar, wenn der SoC-Wert sich nicht verändert. Derartige Übergänge werden mit »plausibel« gekennzeichnet. Aufgrund von möglichen Rundungsungenauigkeiten werden Ereignisse mit Abweichungen von ± 1 % auch als plausible Ereignisse eingestuft. Übergänge mit davon verschiedenen SoC-Werten werden als »nicht plausibel« gekennzeichnet. Die statistische Größe »SoC Stillstand – Entladen« gibt einen weiteren Aufschluss darüber, in welchem Maße die erfassten Datensätze kontinuierlich aufeinander folgen. Die Qualität der Aufzeichnungen ist umso höher, je geringer die Anzahl der nicht plausiblen Ereignisse bezogen auf die total erfassten Ereignisse.

Abb. 94 Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für den Zustandswechsel Stillstand – Entladen für die Daten des Fahrzeuges KPH0242 im Kalenderjahr 2014

Merkmal	Wert
Totale Ereignisse	2003
Plausible Ereignisse	1434
Nicht plausible Ereignisse	569
Plausibilität	71,6 %

Plausibilitätsprüfung »Dauer des Ereignisses«

Um die Angabe der Ereignisdauer zu überprüfen, wird die Zeitspanne zwischen den Starzeitpunkten zwei aufeinander folgender Ereignisstarts bestimmt. Stimmt diese berechnete Zeitspanne mit der vom Datenlogger aufgezeichneten Dauer überein, wird das Ereignis mit »plausibel« gekennzeichnet. Weicht dieser Wert jedoch ab, so wird dies als »nicht plausibel« gekennzeichnet. Abweichungen bis zu einer Minute werden dabei als plausible Ereignisse betrachtet. Der Grund hierfür ist, dass der Datenlogger Ereignisse »minutengenau« abspeichert und es hierdurch zu systematischen »Rundungsfehlern« mit einer Abweichung von einer Minute kommen kann. Bei höheren zeitlichen Abweichungen kann sicher davon ausgegangen werden, dass die Messung unterbrochen wurde. Die statistische Größe »Dauer des Ereignisses« gibt Aufschluss darüber, in welchem Maße die erfassten Datensätze kontinuierlich aufeinander folgen. Folgende statischen Werte werden angegeben:

- Totale Ereignisse (Gesamtanzahl der Ereignisse)
- Plausible Ereignisse (Anzahl der zeitlich direkt aufeinander folgenden Ereignisse)
- Ereignisse mit minimaler Abweichung (Rundungsgenauigkeiten)
- Nicht plausible Ereignisse
- Anzahl der plausiblen Ereignisse zur Gesamtanzahl der Ereignisse

Die Qualität der Aufzeichnungen ist umso höher, je geringer die Anzahl der nicht plausiblen bezogen auf die erfassten Ereignisse ist.

Merkmal	Wert
Totale Ereignisse	6190
Plausible Ereignisse	6100
Nicht plausible Ereignisse	90
Plausibilität	98,5 %

Abb. 95 Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für die Ereignisdauer für die Daten des Fahrzeuges KPH0242 im Kalenderjahr 2014

Ergebnisse

Die nachfolgenden Auswertungen basieren auf den Betriebsdaten des Palettenhubwagens KPH0242 im Kalenderjahr 2014. Die folgende Tabelle fasst die wichtigen Merkmale für den Berichtszeitraum übersichtlich für jeden Wochentag zusammen. Auffällig sind die beobachteten Extremwerte für die untere Zellspannung, die Maximalwerte der Zelltemperatur sowie die minimale Zellspannung.

Merkmal	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Gesamt
Daten Tage [1]	44	45	46	44	44	44	44	311
Entladezeit [(H)H:MM]	117,2	103,8	115,5	114,1	108,6	116,4	128,0	803,6
Ladezeit	238,7	285,3	260,0	224,9	233,5	283,7	280,4	1806,7

Abb. 96 Auf Wochentage bezogene Darstellung wesentlicher Kenngrößen für den Palettenhubwagen KPH0242 im Kalenderjahr 2014

Merkmal	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Gesamt
Stillstandzeit [(H)H:MM]	700,1	676,1	704,4	713,3	696,9	636,3	647,6	4774,7
Gesamtzeit [(H)h:MM]	1056,0	1065,2	1079,9	1052,3	1039,0	1036,5	1056,0	7385,0
Entladen [kWh]	813,4	750,8	825,8	802,7	780,4	856,3	880,4	5709,8
Geladen [kWh]	1287,3	1259,1	1263,2	1180,6	1111,0	1321,9	1332,3	8755,4
SoC min [%]	1	1	0	0	3	0	1	0
Vollladungen [1]	22	37	31	29	18	25	26	188
Ladungen [1]	124	138	151	124	121	132	148	938
Zellspannung min. [V]	1,43	1,44	1,42	1,41	1,42	1,37	1,43	1,37
Zellspannung max. [V]	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,77	2,77	2,78
Zelltemperatur min. [°C]	16	16	15	10	11	14	16	10
Zelltemperatur max. [°C]	56	59	59	61	61	61	56	61

Abb. 97 stellt, bezogen auf die Wochentage von Montag bis Sonntag, die erreichten Ladezeiten dar. Ein gleichmäßiger Verlauf spricht für einen kontinuierlichen Betriebseinsatz des Fahrzeuges. Für die im Fahrzeug eingesetzten Bleibatterien ist es vorteilhaft, wenn das Fahrzeug eine lange Zeitspanne am Ladegerät ist, um den Bleibatterien die Möglichkeit einer Ausgleichladung zu ermöglichen.

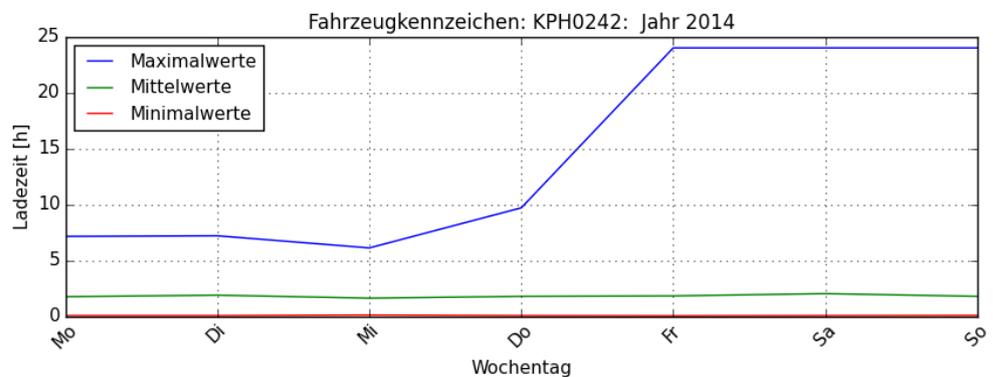


Abb. 97 Darstellung der statischen Größen (Mittelwert und Extremwerte) der Ladezeiten über den Wochentagen Montag bis Sonntag

In Abb. 98 sind die die Extrem- und Durchschnittswerte des erfassten des Ladezustandes des SoC über den Wochentagen Montag bis Sonntag des Berichtszeitraumes dargestellt. Für die im Fahrzeug eingesetzten Bleibatterien ist es vorteilhaft, wenn die Minimalwerte möglichst hoch sind, da dies mögliche Alterungsprozesse in den Batteriezellen verlangsamt.

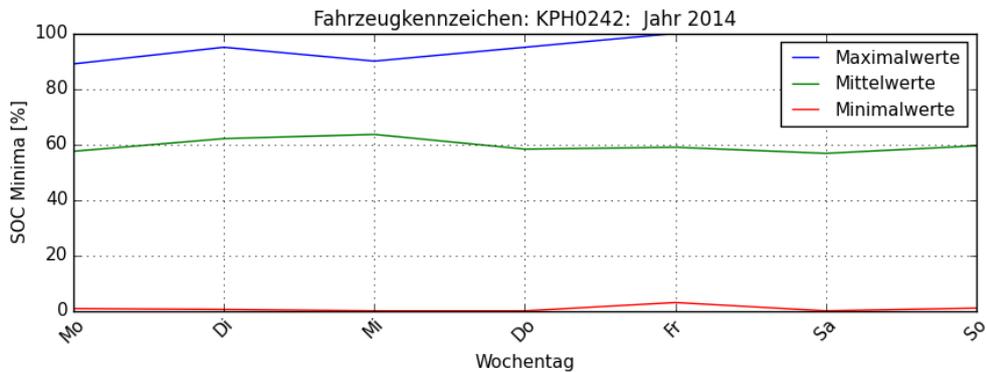


Abb. 98 Darstellung der erfassten Minimalwerte des Ladezustandes SoC über den Wochentagen Montag bis Sonntag

Niedrige Ladezustände beeinträchtigen die Leistungsfähigkeit und beschleunigen die Alterung der eingesetzte Bleibatterie insbesondere dann, wenn sie bei niedrigen Umgebungstemperaturen und über längere Zeiträume auftreten. In Abb. 99 sind deshalb die Verweildauern des Ladezustandes SoC in den definierten Klassen dargestellt. Für einen optimalen Batteriebetrieb wäre anzustreben, dass, bei konservativer Betrachtung, Ladezustände unter 40 % vermieden werden.

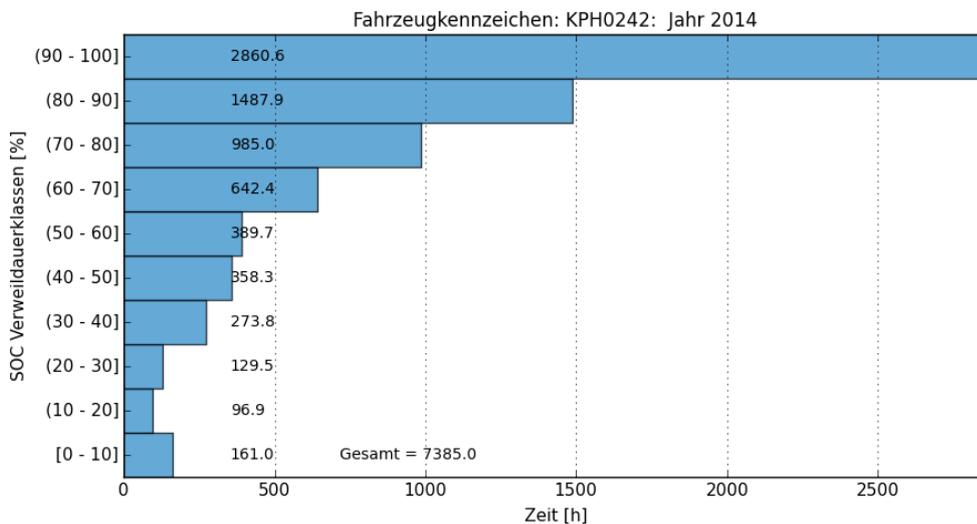


Abb. 99 Verweildauern in verschiedenen SoC-Ladezustände

Das Entladeprofil verdeutlicht Abb. 100 exemplarisch. In Abhängigkeit des zu beladenden Flugzeuges variiert die aus der Batterie entnommene Energie deutlich.

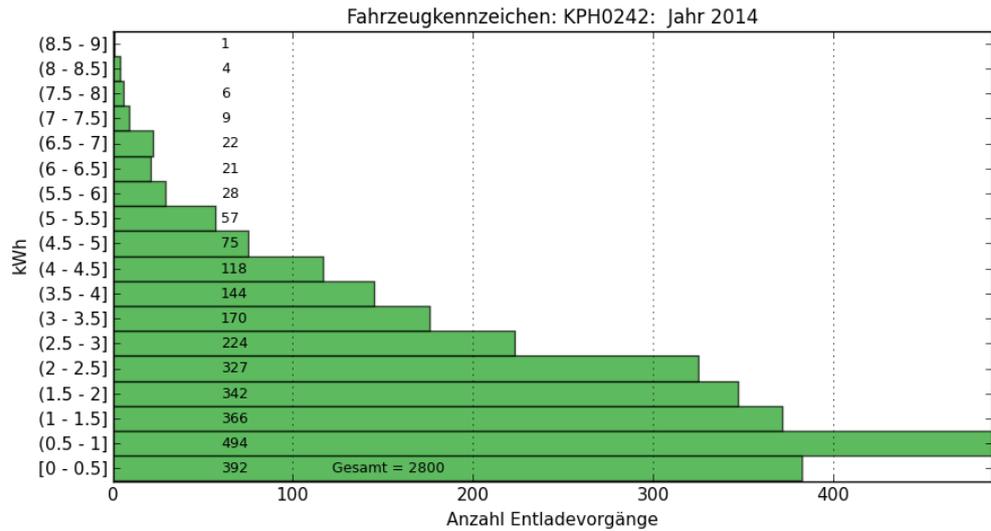


Abb. 100 Häufigkeit der Entladevorgänge über die der Batterie entnommenen Energie in kWh

Abb. 101 zeigt die Häufigkeit, mit welcher eine bestimmte Energiemenge in die Batterie geladen wird. Deutlich sichtbar treten Ladevorgänge bis zu 42 kWh häufiger auf. Bei knapp 80 % der Ladungen werden typischerweise bis zu 14 kWh der Batterie zugeführt.

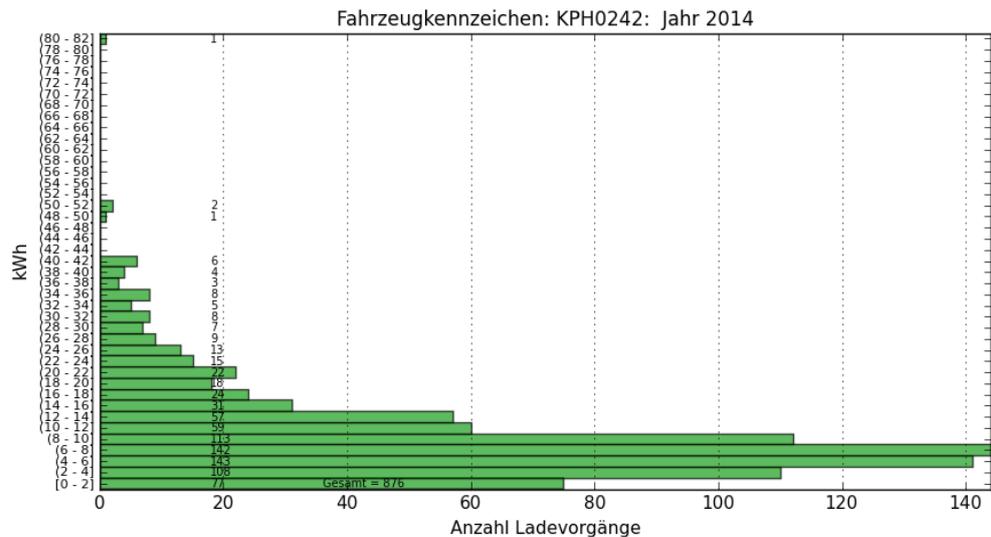


Abb. 101 Häufigkeit der Ladevorgänge über die der Batterie zugeführten Energie in kWh

3.2.1.3 Optimierungspotential Gerätetechnik

Um die Verfügbarkeit zu erhöhen und leistungs- und lebensdauerreduzierende Betriebszustände der Loader zu vermeiden, ist insbesondere die Batterieeinheit zu verbessern. Hierzu können bezüglich der Batterie- und Ladetechnik folgende Maßnahmen durchgeführt werden:

Batterietechnik:

- Einbau einer Elektrolytumwälzung, um die kapazitätsmindernde Säureschichtung (vgl. Abb. 102) bei Bleibatterien mit flüssigem Elektrolyt zu vermeiden. Dadurch ergeben sich für den Anwender folgende Vorteile:
 - Zwischenlademöglichkeit und Schnellladen, somit längere Einsatzzeiten
 - geringere Wartungskosten durch geringeren Wasserverbrauch
 - kürzere Ladezeit
 - geringere Temperaturentwicklung
 - Einsparung von Netzenergie beim Laden

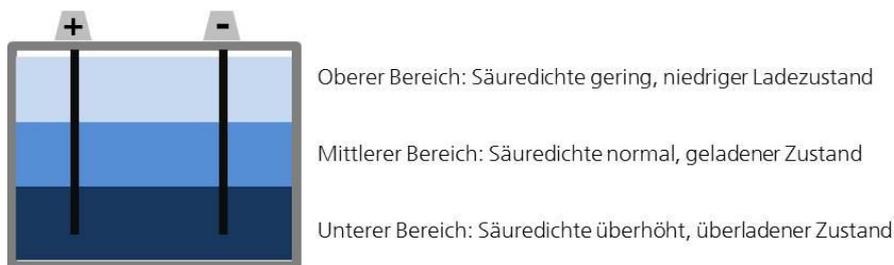


Abb. 102 Säureschichtung in einer Bleibatterie mit flüssigem Elektrolyten

- Temperierung der Batterie: Die Standard-Batterietröge sind nicht gegen äußere Temperatureinflüsse gedämmt, daher empfiehlt es sich, eine außen am Trog befestigte Dämmung für den »Winterbetrieb« anzubringen. Diese, aus säurefesten Platten bestehende Dämmung, kann mit versenkten Magneten versehen werden, so dass diese an dem metallenen Trog haften bleiben. Die während der Betriebsdauer beim Laden und Entladen auftretenden thermischen Verluste können somit bei niedrigen Außentemperaturen zu einer besseren Vergleichmäßigung der Temperatur innerhalb des Troges beitragen.
- Verwendung einer Bleibatterie in Kupferstreckmetall- oder Reinbleitechnik. Im Vergleich mit einer konventionellen Bleibatterie mit Panzerplatte (PzS-Bleibatterie) zeichnen sich diese aus durch:
 - Hochstrom- und Schnellladefähigkeit
 - höhere Energieeffizienz
 - niedrige Batterietemperatur
- Verwendung einer Nickel-Cadmium Batterie. Diese zeichnet sich gegenüber PzS-Bleibatterien aus durch:
 - sehr gutes Tieftemperaturverhalten
 - bessere Entladeeigenschaften
 - höhere Energiedichte bei geringerem Gewicht

Ladetechnik:

- Batterietemperaturgeführtes Laden mit Hilfe eines Temperatursensor

3.2.2 Fluggasttreppe

Die solarelektrisch betriebene Fluggasttreppe wird ausschließlich als Zugangstreppe von Personen zu Flugzeugen auf dem Vorfeld und im Hangar verwendet. Abb. 103 zeigt die Fluggasttreppe vom Typ 50.17-02E der Firma TEC Hünert, wie sie von FRAPORT eingesetzt wird. Die elektrischen Nenndaten sind in Abb. 104 aufgeführt.



Abb. 103 Solarelektische Fluggasttreppe KPT0351 der Fraport

Abb. 104 Elektrische Nenndaten der Fluggasttreppe

<i>KenngroÙe</i>	<i>Werte</i>
Gesamtbetriebsspannung	24 V _{DC}
E-Hydraulikpumpe	24 V / 3 kW, Gleichstrom
Batterie	24 V / 640 Ah, Blei-Säure / nass
Ladegerät	230 V _{AC} / 24 V _{DC} / 85 A
PV-Anlage	24 V _{DC} / 960 Wp
Solar-Laderegler	24 V _{DC} / 30 A

3.2.2.1 Technik / Gerätebeschreibung

Die in der solarelektrischen Fluggasttreppe verbauten Elektrokomponenten sind Serienprodukte der Industrie aus der Antriebs-, Batterie- und Ladetechnik. Diese Komponenten dienen dazu, die hydraulische Hauptpumpe anzutreiben, um den Betriebsdruck für die Arbeitshydraulik herzustellen und die Antriebsbatterie über das mitgeführte Ladegerät und die Photovoltaik-Anlage aufzuladen.

Bei dieser Konversionslösung ersetzt ein Elektromotor den ursprünglich verbauten Verbrennungsmotor. Dieser ist an die originale Hydraulik-Hauptpumpe angeflanscht, die je nach Betriebsart, die Hydraulikmotoren für den Fahr-, Hebe- und Stützbetrieb versorgt. Im Hebebetrieb kann an die unterschiedlichen Einstieghöhen der verschiedenen Flugzeugtypen angedockt werden.

Durch die auf der Überdachung installierte Photovoltaik-Anlage und ein mitgeführtes Batterieladegerät wird die Antriebsbatterie mit Energie versorgt. Abb. 105 zeigt die Gesamtheit mit den Elektrokomponenten.

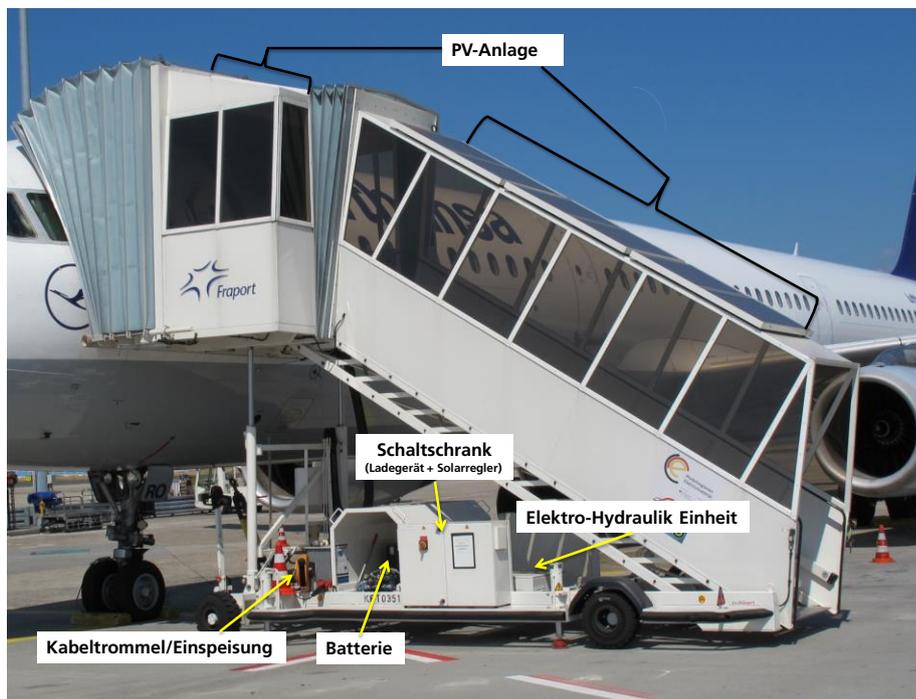


Abb. 105 Übersicht über die Elektrokomponenten der Flugastbrücke

Elektrohydraulischer Zentralantrieb

Der elektrohydraulische Zentralantrieb versorgt die Arbeitshydraulik für den Fahr-, Hebe- und Stützbetrieb. Der Gesamtantrieb besteht aus insgesamt zwei elektrohydraulischen Gleichstromantrieben mit je 3 kW für den Fahrbetrieb und das Heben bzw. Senken der Treppe sowie den Stützbetrieb. Die Motoren sind jeweils an eine hydraulische Hauptpumpe angeflanscht, die die Arbeitshydraulik entsprechend speist.

Hydraulischer Fahrtrieb

Das Antriebssystem für den Fahrbetrieb besteht aus zwei voneinander getrennten Hydraulikmotoren, die einzeln an der Hinterachse direkt mit dem Rad verbunden sind. Beide Motoren werden ausschließlich von einer elektrischen Hydraulikpumpe versorgt. Das stufenlose Beschleunigen und Verzögern der Fahrgeschwindigkeit sowie die Vor- und Rückwärtsfahrt erfolgt über den Doppelbedienhebel an der Fahrdeichsel. Entsprechend der Hebelstellung wird die Geschwindigkeit über ein hydraulisches Stellventil gesteuert.

Plattform- und Stützenbewegung

Die elektrohydraulische Einheit wird über einen Elektromotor mit Hydraulikpumpe versorgt, der die Funktionen (Heben und Senken der Plattform, das Aus- und Einfahren der Stützen und das Positionieren des Faltenbalgs am Flugzeug) sicherstellt.

Antriebsbatterie

Zur Energieversorgung der beiden elektrohydraulischen Hauptpumpen wird eine Blei-Säure-Batterie im Trog, wie in Abb. 106 dargestellt, mit 24 V und 640 Ah eingesetzt. Diese besteht aus 12 in Reihe geschalteten Einzelzellen mit jeweils 2-Volt-Nennspannung. Über einen Batteriefüllstandsensord mit drahtloser Meldeeinrichtung und ein zentrales Wassernachfüllsystem werden dem Wartungspersonal rechtzeitig Hinweise zum Warten der Batterie gegeben. Der Standardbatterietrog ist nicht gegen den Einfluss von tiefen Temperaturen gedämmt.



Abb. 106 Batterietrog mit den Bleibatterien

Batterie-Ladegerät

Das luftgekühlte Ladegerät ZIVAN NG 3 (vgl. Abb. 107) mit einer Nennausgangsleistung von 2,04 kW (24 V und 85 A) wird zum Aufladen der Antriebsbatterie verwendet und ist in einem Schaltkasten untergebracht (Abb. 108). Entsprechend der Batteriespezifikation wurde das Ladegerät vom Lieferanten programmiert. Am Ladegerät wurde jedoch kein Temperatursensor angeschlossen, der die Ladespannung bei unterschiedlichen Batterietemperaturen anpasst.

Technische Daten Ladegerät

Hersteller	Zivan
Input	230 VAC / 50 Hz
Output	24 VDC / 85 A
Netzleistung	3,0 kVA
Kennlinie	I U I a
Anschluss für Batterietemperatursensor vorhanden	



Abb. 107 Ansicht des Batterieladegerätes ZIVAN NG 3 mit seinen elektrischen Nenndaten



Abb. 108 Schaltschrank der Fluggasttreppe mit Steuerung und Batterieladegerät

Photovoltaik-Anlage

Über die auf der Überdachung angebrachten Photovoltaik(PV)-Module wird die Antriebsbatterie zusätzlich mit Energie versorgt. Die PV-Anlage besteht aus insgesamt acht einzelnen monokristallinen Si-Solarmodulen mit je 120 W_p. Die Nennleistung des PV-Generators beträgt 960 W_p. Vier PV-Stränge mit jeweils zwei in Reihe geschalteten Modulen sind an einen 24-Volt-Solar-Laderegler angeschlossen, der die Antriebsbatterie mit bis zu 30 Ampere aufladen kann. Der Laderegler verfügt unter anderem über die Funktionen Ah-Bilanzierung (geladen/entladen) und Ladezustandsberechnung (SoC-Fenster).

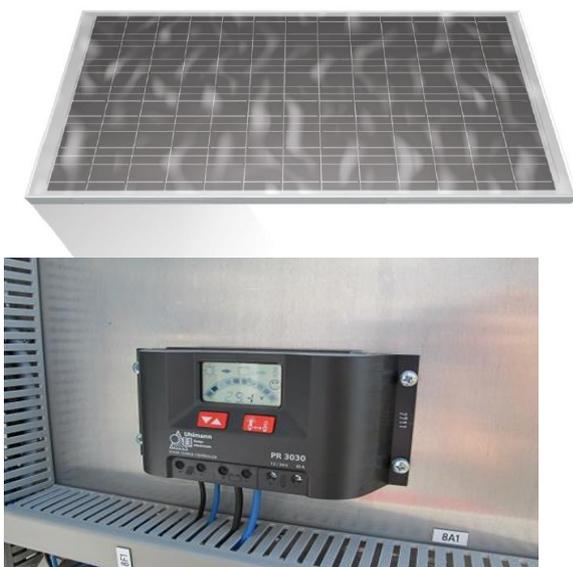


Abb. 109 Monokristallines Solarmodul (oben) mit 120-W_p-Leistung, $I_k = 6,9 \text{ A}$, $U_0 = 21,8 \text{ V}$ und Solarladeregler (unten)

3.2.2.2 Nutzungsprofil

Um für die Nutzung der Batterie Profile zu erstellen, hat Fraport auch dieses Fahrzeug mit einem Datenlogger Wi-IQ ausgestattet. Der erste Teil der folgenden Auswertungen wurden für die Solartreppe auf der Grundlage der im Kalenderjahr 2014 im Betrieb gemessenen Batteriedaten erstellt.

Darüber hinaus hat das Fraunhofer IWES eine weitere Messeinrichtung mit einem Datenerfassungssystem des Herstellers Vector entwickelt und in die Solartreppe integriert, um den solarspezifischen Betriebsdaten erheben und auswerten zu können. Der zweite Teil der folgenden Auswertungen basiert auf diesen Daten.

Messdatengewinnung und ihre Prüfung auf Plausibilität

Die Aufzeichnung und Bewertung der Batteriebetriebsdaten erfolgt wie in Kapitel 3.2.1.2 beschrieben. Für das Fahrzeug KPT0351 ist das Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für den Zustandswechsel »Stillstand-Entladen« in Abb. 110 und das Ergebnis für die Plausibilitätsprüfung »Dauer des Ereignisses« in Abb. 111 dargestellt.

Abb. 110 Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für den Zustandswechsel Stillstand – Entladen für die Daten des Fahrzeuges KPT0351 im Kalenderjahr 2014

Merkmal	Wert
Totale Ereignisse	1584
Plausible Ereignisse	1180
Nicht plausible Ereignisse	404
Plausibilität	74,5 %

Abb. 111 Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für die Ereignisdauer für die Daten des Fahrzeuges KPT0351 im Kalenderjahr 2014

Merkmal	Wert
Totale Ereignisse	7937
Plausible Ereignisse	7489
Nicht plausible Ereignisse	448
Plausibilität	94,4 %

Ergebnisse

Die nachfolgenden Auswertungen basieren auf den Betriebsdaten der Solarbetriebene Fluggasttreppe KPT0351 im Kalenderjahr 2014. Die folgende Tabelle fasst die wichtigen Merkmale für den Berichtszeitraum übersichtlich für jeden Wochentag zusammen. Auffällig sind die beobachteten Extremwerte für die untere Zellspannung, die Maximalwerte der Zelltemperatur sowie die minimale Zellspannung.

Merkmal	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Gesamt
Anzahl Tage [1]	51	50	51	52	51	51	52	358
Entladezeit [(H)H:MM]	33,0	36,1	33,5	29,1	29,7	35,1	33,8	230,3
Ladezeit [(H)H:MM]	188,7	173,4	172,8	169,0	181,2	182,8	194,8	1262,7
Stillstandzeit [(H)H:MM]	951,6	966,4	993,5	982,0	1023,1	957,2	947,0	6820,8
Gesamtzeit [(H)h:MM]	1173,3	1175,9	1199,8	1180,2	1234,0	1175,2	1175,6	8313,9
Entladen [kWh]	35,8	35,5	35,0	31,0	30,1	33,0	35,6	236,1
Geladen [kWh]	46,2	50,3	50,9	40,4	50,4	63,5	49,1	350,9
SoC min [%]								
Vollladungen [1]	125	128	100	190	156	170	149	1018
Ladungen [1]	335	300	301	311	319	277	359	2202
Zellspannung min. [V]	1,82	0,0	0,0	0,0	1,74	0,0	1,82	0,0
Zellspannung max. [V]	2,71	2,63	2,65	2,67	2,66	2,71	2,68	2,71
Zelltemperatur min. [°C]	-4	-1	0	1	2	0	-2	-4
Zelltemperatur max. [°C]	34	34	32	30	29	30	32	34

Abb. 112 Auf Wochentage bezogene Darstellung wesentlicher Kenngrößen für den solarbetriebenen Fluggasttreppe KPT0351 im Kalenderjahr 2014

Die folgende Abb. 113 stellt, bezogen auf die Wochentage von Montag bis Sonntag, die erreichten Ladezeiten dar. Ein gleichmäßiger Verlauf spricht für einen kontinuierlichen Betriebseinsatz des Fahrzeuges. Für die im Fahrzeug eingesetzten Bleibatterien ist es vorteilhaft, wenn das Fahrzeug eine lange Zeitspanne am Ladegerät angeschlossen ist, um den Bleibatterien die Möglichkeit einer Ausgleichladung zu ermöglichen.

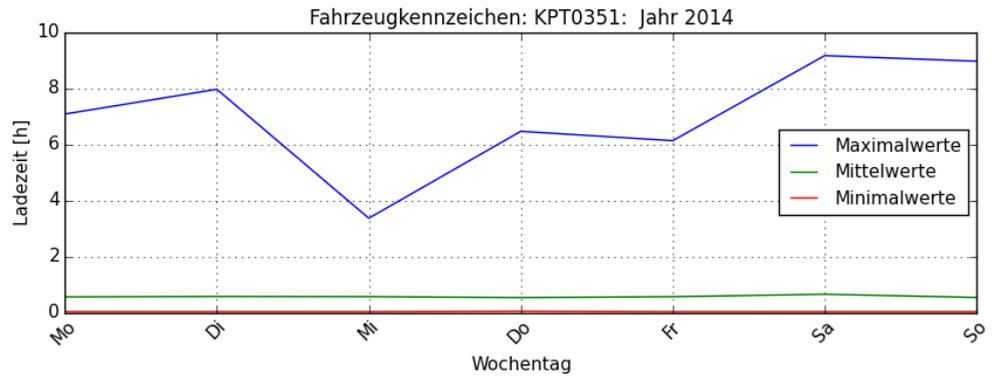


Abb. 113 Darstellung der statischen Größen (Mittelwert und Extremwerte) der Ladezeiten über den Wochentagen Montag bis Sonntag

In Abb. 114 sind die die Extrem- und Durchschnittswerte des erfassten des Ladezustandes SoC über den Wochentagen Montag bis Sonntag des Berichtszeitraumes dargestellt. Für die im Fahrzeug eingesetzten Bleibatterien ist es vorteilhaft, wenn die Minimalwerte möglichst hoch sind, da dies mögliche Alterungsprozesse in den Batteriezellen verlangsamt.

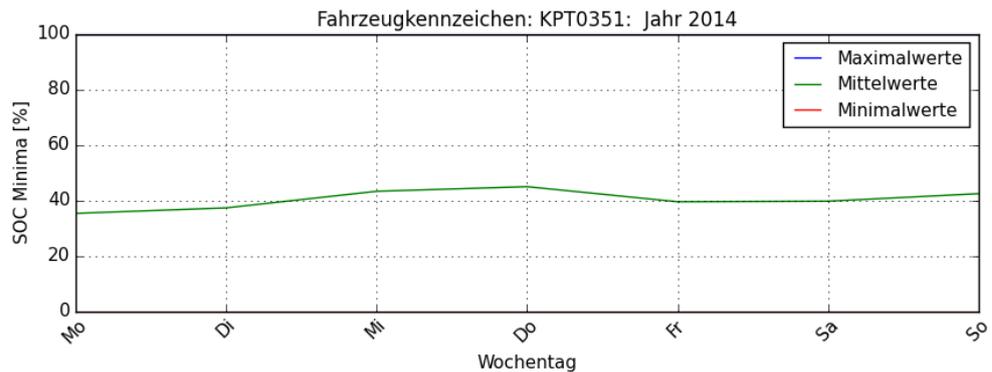
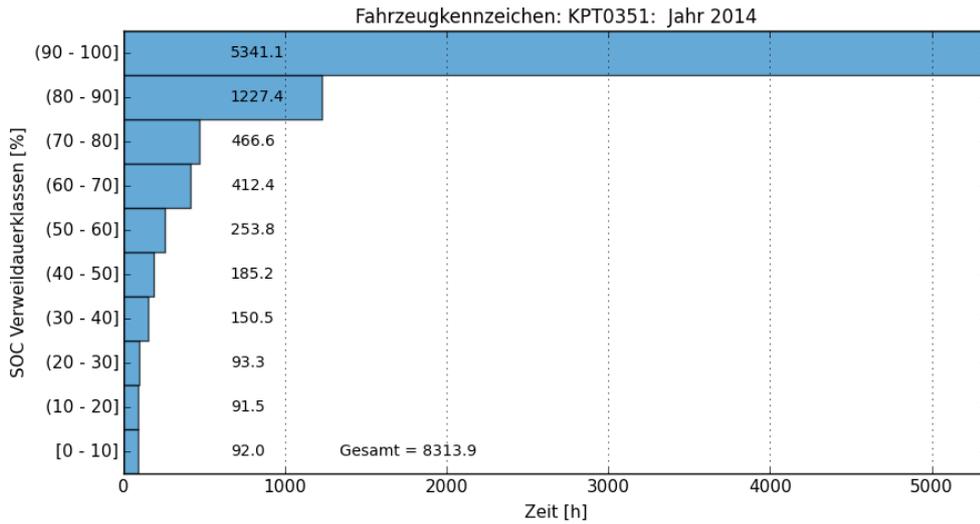


Abb. 114 Darstellung der erfassten Minimalwerte des Ladezustandes SoC über den Wochentagen Montag bis Sonntag

Niedrige Ladezustände beeinträchtigen die Leistungsfähigkeit und beschleunigen die Alterung der eingesetzte Bleibatterie insbesondere dann, wenn sie bei niedrigen Umgebungstemperaturen und über längere Zeiträume auftreten. In Abb. 115 sind deshalb die Verweildauern des Ladezustandes SoC in den definierten Klassen dargestellt. Die Solaranlage sorgt dafür, dass der Ladezustand der Batterie in der Regel hoch ist.



 Elektrofahrzeuge im Feldbetrieb

Abb. 115 Verweildauern der Batterie in verschiedenen SoC-Ladezuständen

Das Entladeprofil verdeutlicht Abb. 116 exemplarisch. Deutlich über 99,8 % aller registrierten Entladevorgänge liegen in der Klasse bis 0,5 kWh.

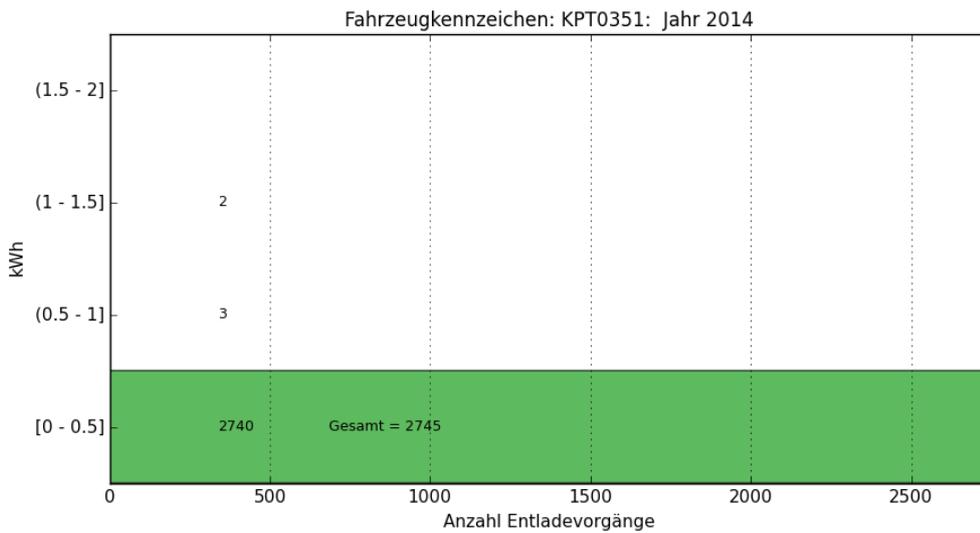


Abb. 116 Häufigkeit der Entladevorgänge über die der Batterie entnommenen Energie in kWh

Abb. 117 zeigt die Häufigkeit, mit welcher eine bestimmte Energiemenge in die Batterie geladen wird. Bei 99,55 % der erfassten Ladevorgänge werden 2 kWh in die Batterie geladen. Die hohe Anzahl der Ladungen und die geringe Energiemenge je Ladung zeigen, dass diese durch die Photovoltaikanlage verursacht werden. Bei den Ladungen, bei denen mehr als 6 kWh in die Batterie geladen werden, ist davon auszugehen, dass es sich dabei um Ladungen aus dem elektrischen Versorgungsnetz handelt.

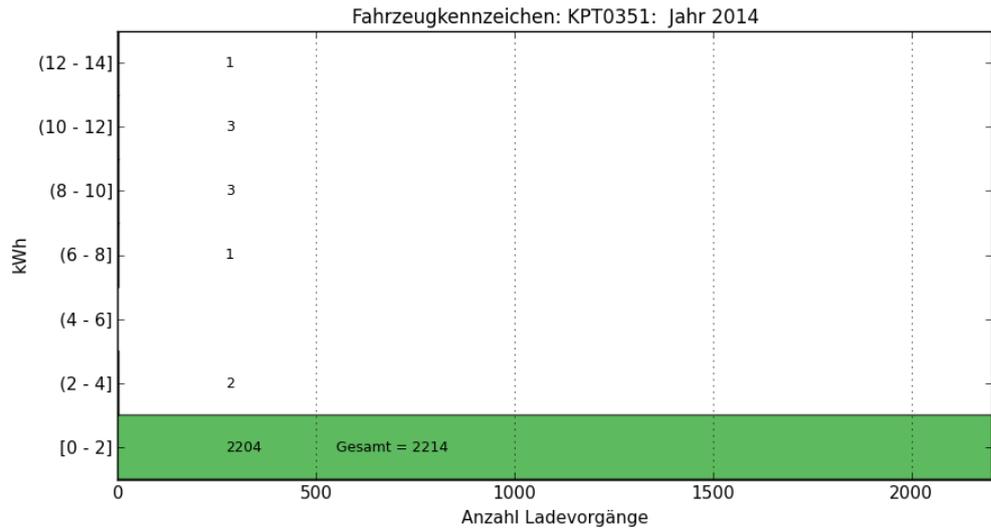


Abb. 117 Häufigkeit der Ladevorgänge über die der Batterie zugeführten Energie in kWh

Um den Betrieb der Solarversorgung detaillierter untersuchen zu können, ist die Solar-
 treppe neben dem Batteriedatenlogger Wi-IQ mit einem zusätzlichen Datenerfassungs-
 system ausgestattet worden. Das elektrische Anlagen- und Messschema verdeutlicht
 Abb. 118. Der Datenlogger Vector GL 1000 verarbeitet Signale des Batteriecontrollers
 DCC 6000, des Strahlungssensors Sensol, Impulse des Energiezählers sowie analoge
 Strom- und Temperatursignale.

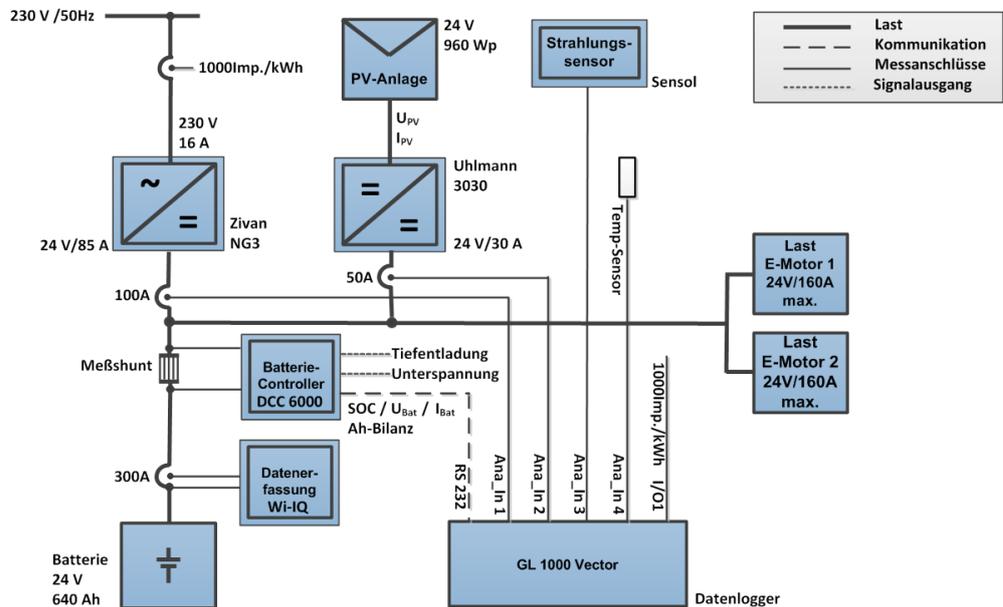


Abb. 118 Elektrisches Anlagen- und Messschema für die solarversorgte Fluggasttreppe

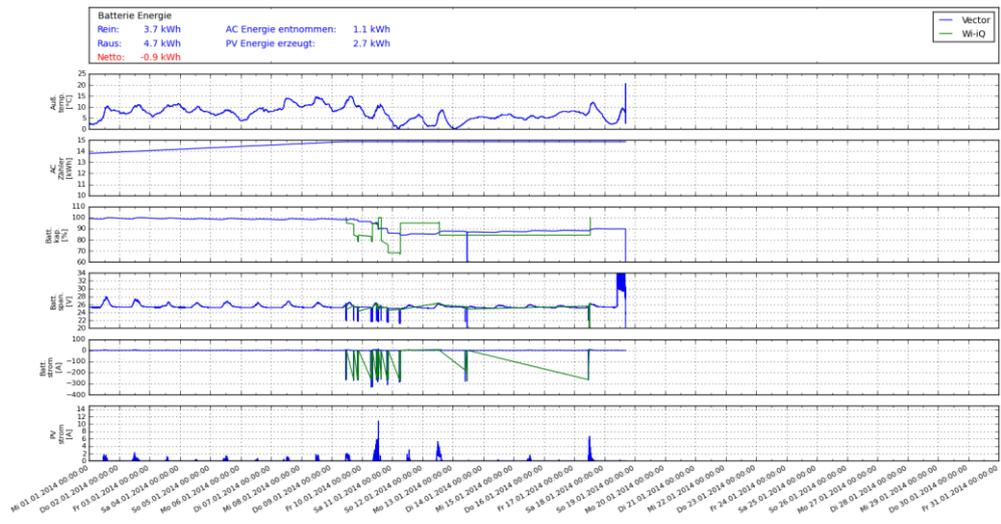
Die zentrale Komponente dieses Systems ist der Datenlogger GL 1000 des Herstellers Vector, der die folgenden Messgrößen mit eigener Sensorik erfasst:

- Außentemperatur
- AC-Zählerstand (vom Stromnetz zugeführte Energie)
- Batteriekapazität auf Berechnungsgrundlage des Solarladereglers
- Batteriespannung
- Batteriestrom
- von der PV-Anlage gelieferter Strom

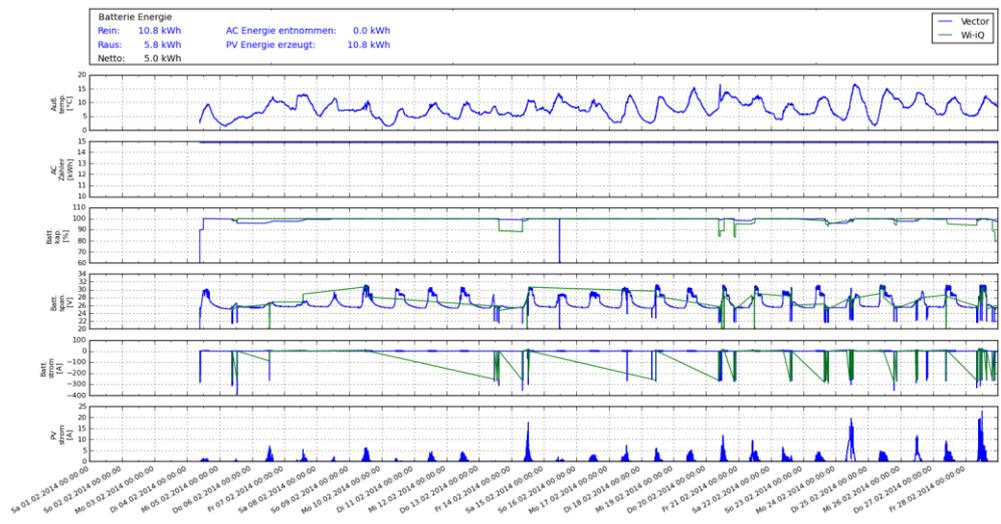
Die folgenden 4 Abbildungen zeigen die Tagesganglinie der obigen Messgrößen für alle Monate des Kalenderjahres 2014. Für die Größen Batteriespannung, Batteriestrom und Ladezustand sind die Messergebnisse sowohl des Batteriesensors Wi-IQ als auch des Datenloggersystems Vector dargestellt. Dabei werden quantitative Abweichungen sichtbar. Diese beruhen unter anderem darauf, dass der Batteriesensor Wi-IQ Ströme kleiner 1 A nicht berücksichtigt. Anhand der Änderungen der Größe »AC-Zähler« ist erkennbar, wann die Batterie aus dem Stromnetz zusätzlich geladen wird. Den Beitrag der Solarenergie zur Batterieladung verdeutlicht der jeweils untere Graph »PV-Strom«.

Über alle Monatsgänge ist festzustellen, dass eine wünschenswerte 100-%-Versorgung der Batterie aus der PV-Anlage nicht erreicht wird. In den Monaten April bis Anfang Oktober hingegen versorgt die PV-Anlage die Fluggasttreppe ausreichend mit Energie.

Fraport Solartreppe: 2014.01.01 - 2014.01.31



Fraport Solartreppe: 2014.02.01 - 2014.02.28



Fraport Solartreppe: 2014.03.01 - 2014.03.31

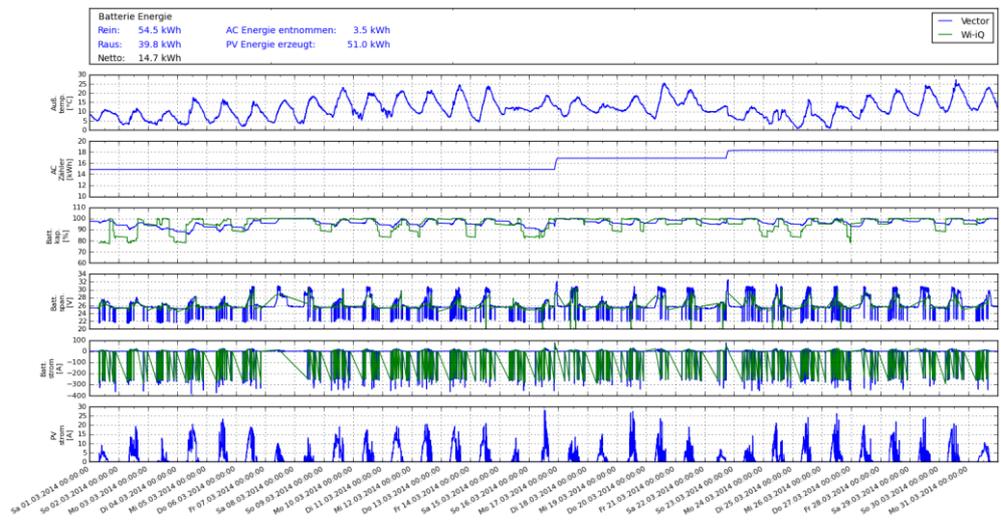
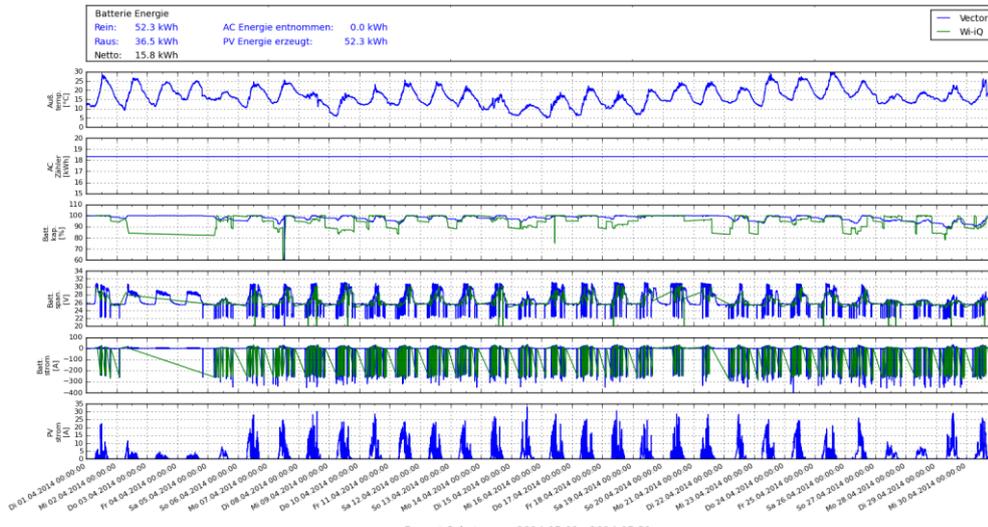
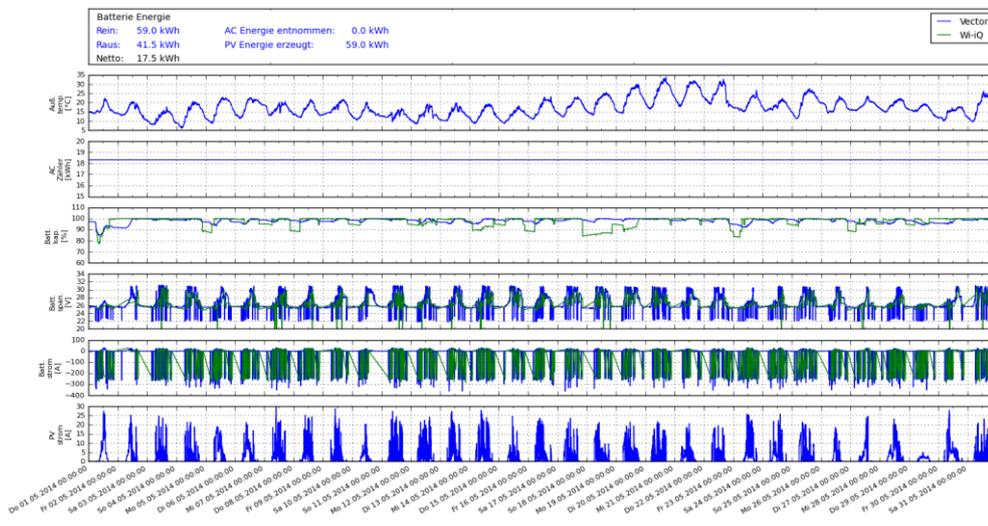


Abb. 119 Tagesgänge und Energiebilanzen für die Solartreppe KPT0351 für das 1. Quartal 2014



Fraport Solartreppe: 2014.05.01 - 2014.05.31



Fraport Solartreppe: 2014.06.01 - 2014.06.30

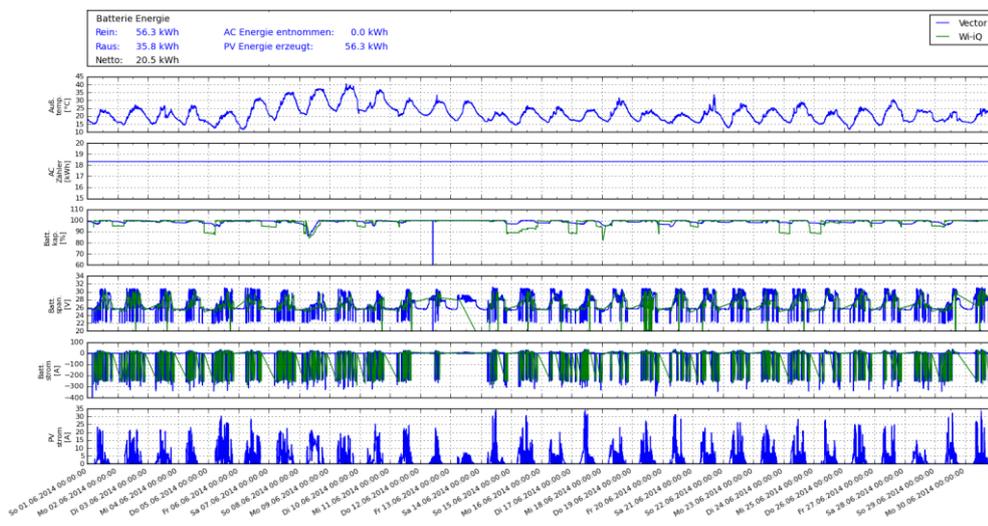
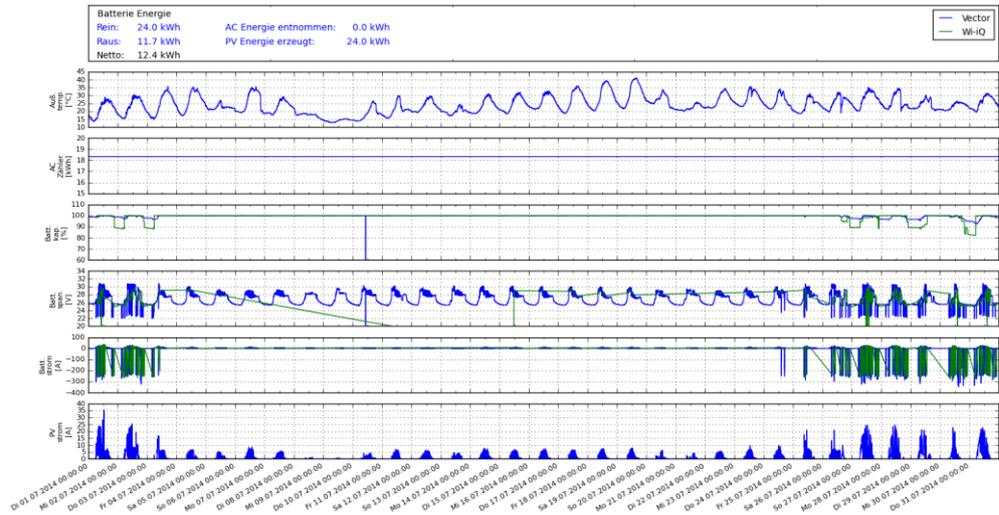
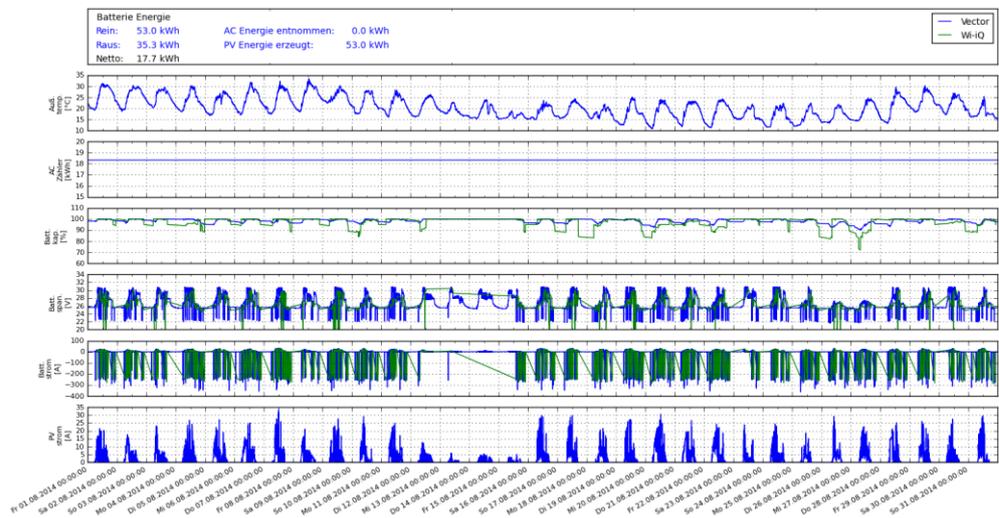


Abb. 120 Tagesgänge und Energiebilanzen für die Solartreppe KPT0351 für das 2. Quartal 2014

Fraport Solartreppe: 2014.07.01 - 2014.07.31



Fraport Solartreppe: 2014.08.01 - 2014.08.31



Fraport Solartreppe: 2014.09.01 - 2014.09.30

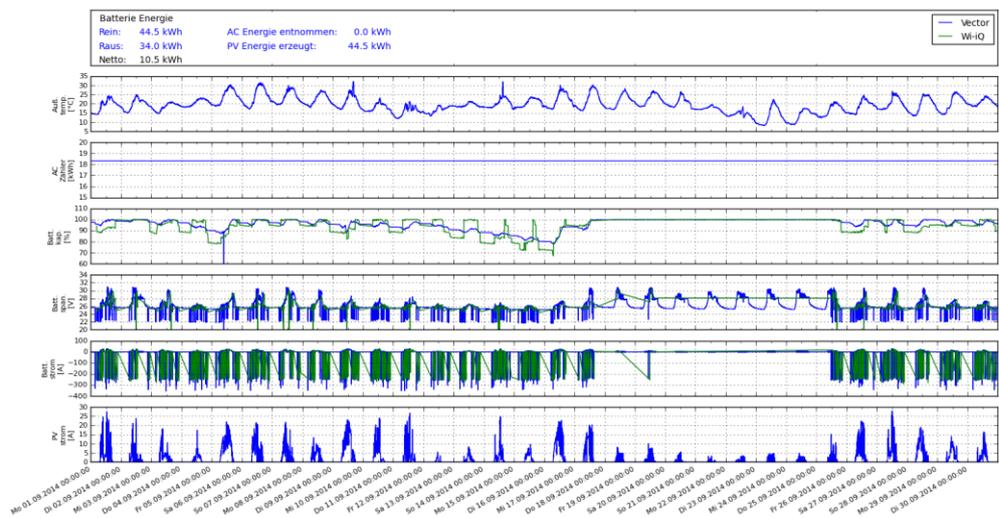


Abb. 121 Tagesgänge und Energiebilanzen für die Solartreppe KPT0351 für das 3. Quartal 2014

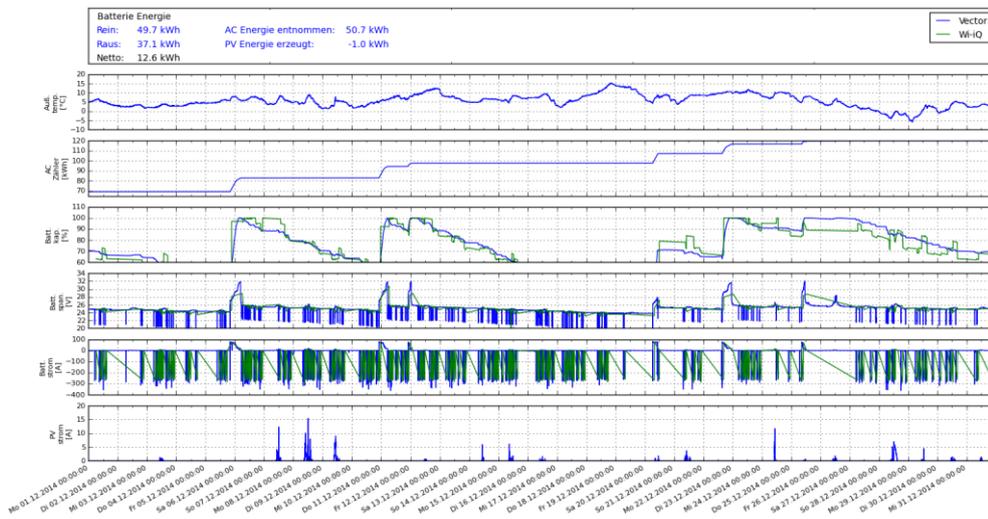
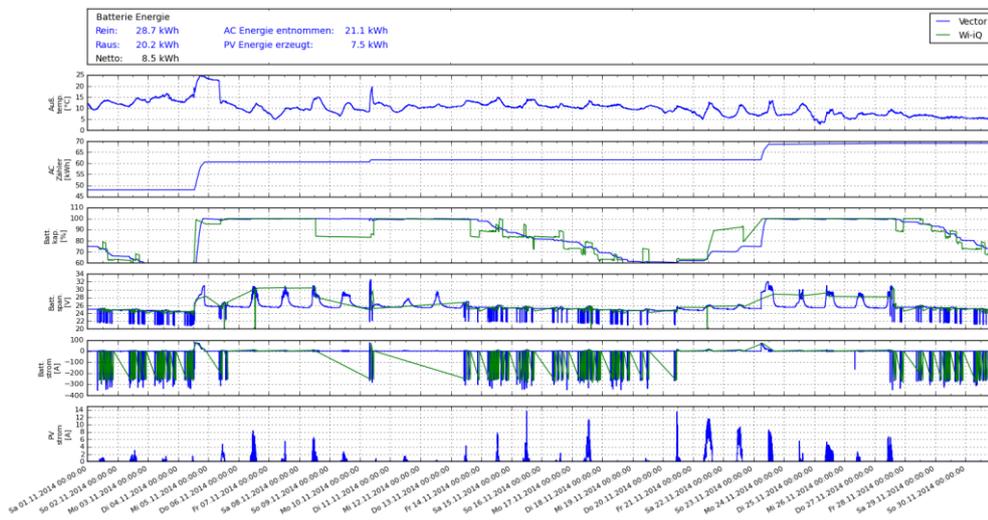
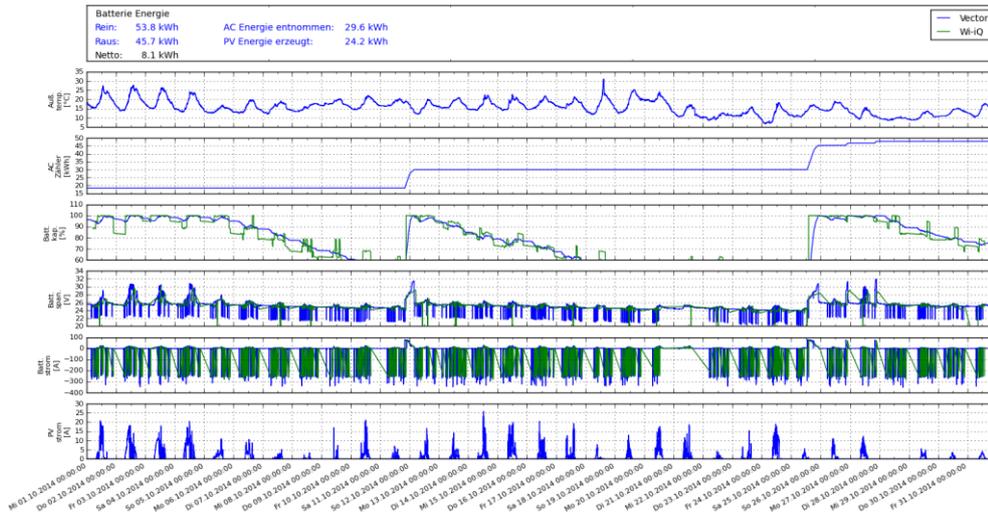


Abb. 122 Tagesgänge und Energiebilanzen für die Solartreppe KPT0351 für das 4. Quartal 2014

3.2.2.3 Optimierungspotential Gerätetechnik

Durch den Einsatz der Solaranlage soll erreicht werden, dass die Fluggasttreppe möglichst ohne zusätzliche Ladungen aus dem Versorgungsnetz zuverlässig betrieben werden kann. Dieses Ziel kann mit der untersuchten Anlage im Kalenderjahr 2014 über einen Zeitraum von April bis Mitte Oktober erreicht werden. Für die verbleibenden Monate reicht die vom Solargenerator bereitgestellte Energie nicht aus.

Zur Erhöhung der Autarkie könnte die Speicherkapazität der Batterie erhöht werden, was u.a. zu mehr Bauraum, höheren Energieverlusten und zu deutlichen Mehrkosten führen würde. Aufgrund der geringen Solarstrahlung in den Herbst- und Wintermonaten besteht bei dieser Anlagenkonstellation weiterhin das grundsätzliche Problem, die Energieversorgung ausschließlich solar und ohne zusätzliche Energiequelle über mehrere Wochen abzusichern. Soll auf eine Batterieladung aus dem Netz verzichtet werden, müsste über einen deutlich leistungsstärkeren Solargenerator, den Einsatz eines Hilfsgenerators auf dem Fahrzeug oder über einen nachfüllbaren Speicher nachgedacht werden. Hier ist an eine Redox-flow-Batterie oder eine Brennstoffzelle zu denken. Beide Lösungen sind aufwändig und können kostenmäßig nicht mit der vorhandenen Lösung konkurrieren.

Um die Verfügbarkeit des bestehenden Systems zu erhöhen bieten sich die folgenden Verbesserungsmöglichkeiten an:

Batterietechnik:

- Einbau einer Elektrolytumwälzung, um die Säureschichtung Bleibatterien mit flüssigem Elektrolyt zu vermeiden. Dadurch ergeben sich für den Anwender folgende Vorteile:
 - Zwischenlademöglichkeit und Schnellladen, somit längere Einsatzzeiten
 - geringere Wartungskosten durch geringeren Wasserverbrauch
 - kürzere Ladezeit
 - geringere Temperaturentwicklung
 - Einsparung von Netzenergie beim Laden
- Temperierung der Batterie: Die Standard-Batterietröge sind nicht gegen äußere Temperatureinflüsse gedämmt. Im Winterbetrieb ist es empfehlenswert, eine außen am Trog befestigte Wärmedämmung anzubringen.

Ladetechnik:

- Batterietemperaturgeführtes Laden mittels Temperatursensor

Monitoring:

- Monitoring der Batteriespannung / des Batterieladezustandes und Meldung kritischer Werte

3.2.3 Förderbandwagen

Der batterieelektrisch betriebene Förderbandwagen ist für die Be- und Entladung von Frachtgütern an geparkten Flugzeugen vorgesehen. Das Fahrzeug verfügt über einen elektrischen Fahrantrieb und ein Hydraulikaggregat. Dieses dient zur Versorgung des Bandantriebmotors, der Bandhöhenverstellung sowie der Lenk- und Bremsanlage. Die Technik wird nachfolgend beschrieben.

3.2.3.1 Technik / Gerätebeschreibung

Die in dem Elektro-Förderbandwagen verbauten Komponenten sind Serienprodukte der Industrie aus der Antriebs-, Batterie- und Ladetechnik. Diese Komponenten dienen dazu, das Fahrzeug anzutreiben, den Betriebsdruck für die Arbeitshydraulik herzustellen und die Antriebsbatterie über das mitgeführte Ladegerät aufzuladen. Die Arbeitshydraulik steuert über die Steuerventile die Höhenverstellung des Förderbandes, die stufenlose Bandlaufgeschwindigkeit und das Lenksystem.



Abb. 123 Elektrokomponenten des Förderbandwagens – Ansicht von hinten links (oben) und der Seiten (unten)



Elektrohydraulische Einheit

Der elektrohydraulische Gleichstromantrieb mit einer Leistung von ca. 5 kW versorgt die Arbeitshydraulik für die Höhenverstellung des Transportbandes, den Bandantriebsmotor sowie die Lenk- und Bremsanlage. Die elektrische Maschine ist an die Hydraulikpumpe angeflanscht (siehe Abb. 124) und wird über eine Schalteinheit aus einer 80-V_{DC}-Batterie versorgt.



Abb. 124 Elektrohydraulische Einheit mit Hydraulikventilen

Fahrtrieb

Das Antriebssystem für den Fahrbetrieb besteht aus einem Drehstrom-Elektromotor mit einer Leistung von 12 kW. Dieser wird über einen Umrichter aus der 80-V-Batterie versorgt. Über eine einstufige Übersetzung ist der Antriebsmotor an das Hinterachsdifferential angeflanscht. Das Fahrzeug erreicht eine maximale Geschwindigkeit von 25 km/h.

Antrieb für Heben, Senken und Fördern

Die elektrohydraulische Einheit (siehe Abb. 124) speist die Arbeitshydraulik für die Funktionen Bandhöhenverstellung und Versorgung des Bandantriebsmotors, dargestellt in Abb. 125. Die Umschaltung in den entsprechenden Modus erfolgt vom Bedienpanel im Fahrerhaus.

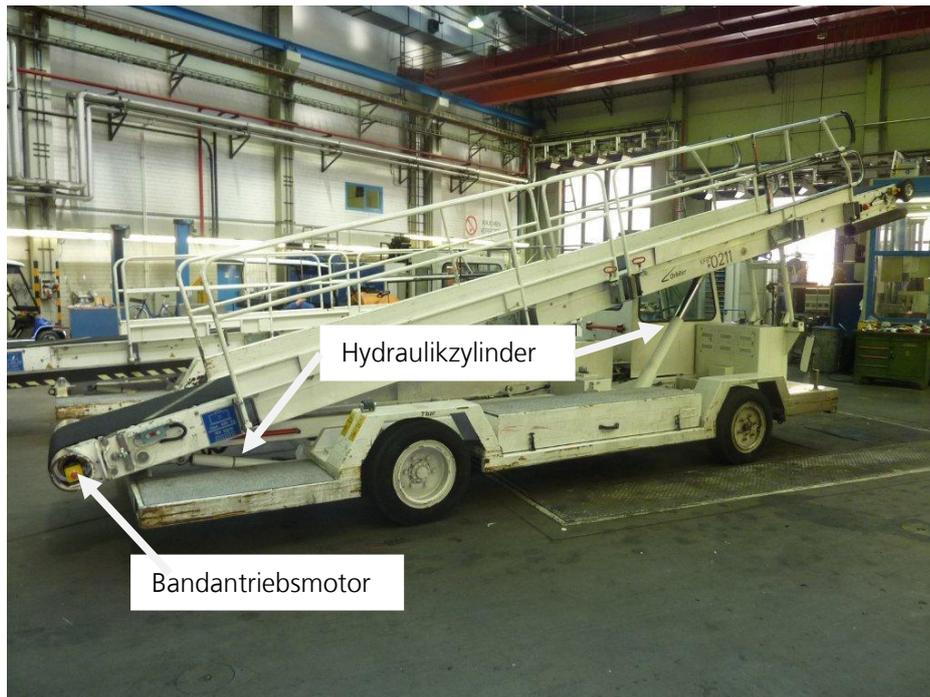


Abb. 125 Bandantriebsmotor und Höhenverstellung durch Hydraulikzylinder

Antriebsbatterie

Zur Energieversorgung der Fahrtriebssteuerung und der elektrohydraulischen Einheit wird eine Blei-Säure Batterie im Trog mit 80 V / 460 Ah eingesetzt (siehe Abb. 126). Der Standard-Batterietrog ist nicht gegen den Einfluss der Umgebungstemperatur gedämmt. Über einen Batteriefüllstandsensoren mit drahtloser Meldeeinrichtung und ein zentrales Wassernachfüllsystem werden dem Wartungspersonal Hinweise zum Warten der Batterie gegeben.



Technische Daten Batterie

Hersteller	Hawker
Bezeichnung	4PZS 460 Ah
Nennspannung	80 V
Kapazität (C5)	460 Ah
Gewicht	1240 kg
Zellen	40
Schutzklasse	IP 20
Schaltung	DIN A

Abb. 126 Batterietrog mit Batteriezellen und die technischen Daten des Batterieverbandes

Batterie-Ladegerät

Das luftgekühlte Onboard-Ladegerät (siehe Abb. 127) des Herstellers Hawker wird zum Aufladen der Antriebsbatterie verwendet und ist im vorderen Bereich des Fahrzeugs untergebracht. Die elektrischen Nenndaten sind:

- Anschlusswerte: 400 V_{AC} / 50 Hz, 13,4 kVA
- Ausgangswerte: 80 V_{DC} / 80 A

Entsprechend der Batteriespezifikation wurde das Ladegerät vom Hersteller programmiert. Am Ladegerät wurde jedoch kein Temperatursensor angeschlossen, der die Ladepannung an die jeweilige Batterietemperatur anpasst.



Abb. 127 Förderbandwagen mit dem Batterieladegerät 0774

3.2.3.2 Nutzungsprofil

Die Förderbandwagen werden in der Regel täglich genutzt und während des nächtlichen Flugverbotes von 22:30 Uhr bis 05:00 Uhr am Stromversorgungsnetz wieder aufgeladen.

Um für die Nutzung der Batterie Profile zu erstellen, hat Fraport die Fahrzeuge mit Datenloggern ausgerüstet. Die folgenden Auswertungen wurden für ein Fahrzeug auf der Grundlage der im Kalenderjahr 2014 im Betrieb gemessenen Batteriedaten erstellt.

Für die Auslegung der Batterie ist es wichtig Kenntnisse über die im Betrieb zu erwartenden Last- und Ladeprofile zu haben. Exemplarisch für die messtechnisch begleiteten Förderbandwagen werden Ergebnisse für das Fahrzeug KFB0225 aus dem Kalenderjahr 2014 vorgestellt.

Messdatengewinnung und ihre Prüfung auf Plausibilität

Die Aufzeichnung und Bewertung der Batteriebetriebsdaten erfolgt wie in Kapitel 3.2.1.2 beschrieben. Für den Förderbandwagen KFB0225 ist das Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für den Zustandswechsel »Stillstand-Entladen« in Abb. 128 und das Ergebnis für die Plausibilitätsprüfung »Dauer des Ereignisses« in Abb. 129 dargestellt.

Merkmal	Wert
Totale Ereignisse	2680
Plausible Ereignisse	1572
Nicht plausible Ereignisse	1098
Plausibilität	58,9 %

Abb. 128 Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für den Zustandswechsel Stillstand – Entladen für die Daten des Fahrzeuges KFB0225 vom 25.01.2014 bis 31.12.2014

Merkmal	Wert
Totale Ereignisse	5945
Plausible Ereignisse	5920
Nicht plausible Ereignisse	25
Plausibilität	99,6 %

Abb. 129 Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für die Ereignisdauer für die Daten des Fahrzeuges KFB0225 im Zeitraum vom 25.01.2014 bis 31.12.2014

Ergebnisse

Die nachfolgenden Auswertungen basieren auf Daten des Förderbandwagens KFB0225 im Kalenderjahr 2014. Die folgende Tabelle fasst die wichtigen Merkmale für den Berichtszeitraum übersichtlich für jeden Wochentag zusammen.

Merkmal	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Gesamt
Anzahl Tage [1]	41	42	42	41	41	41	43	291
Entladezeit [(H)H:MM]	86,9	98,7	97,1	99,3	87,2	97,1	101,2	667,5
Ladezeit [(H)H:MM]	100,5	96,5	84,9	68,9	103,1	77,4	85,2	616,5
Stillstandzeit [(H)H:MM]	796,6	788,7	801,5	789,0	770,6	793,8	796,0	5536,2
Gesamtzeit [(H)h:MM]	984,0	984,0	983,6	957,2	960,9	968,3	982,4	6820,3
Entladen [kWh]	148,9	165,8	162,6	161,6	145,0	168,5	177,1	1129,5
Geladen [kWh]	391,7	300,2	230,9	236,1	372,2	294,0	231,9	2057,1
SoC min [%]	20	8	24	9	1	3	22	1
Vollladungen [1]	0	0	0	1	2	0	3	6

Abb. 130 Auf Wochentage bezogene Darstellung wesentlicher Kenngrößen für den Förderbandwagen KFB0225 im Zeitraum vom 25.01.2014 bis 31.12.2014

Merkmal	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Gesamt
Ladungen [1]	48	45	40	35	41	32	43	284
Zellspannung min. [V]	1,59	1,45	1,45	1,52	1,51	1,46	1,48	1,45
Zellspannung max. [V]	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,79	2,81	2,81
Zelltemperatur min. [°C]	1	6	4	4	5	4	1	1
Zelltemperatur max. [°C]	48	48	45	38	48	48	47	48

Die folgende Abb. 131 stellt, bezogen auf die Wochentage von Montag bis Sonntag, die erreichten Ladezeiten dar. Ein gleichmäßiger Verlauf spricht für einen kontinuierlichen Betriebseinsatz des Fahrzeuges. Für die im Fahrzeug eingesetzten Bleibatterien ist es vorteilhaft, wenn das Fahrzeug eine lange Zeitspanne am Ladegerät ist, um den Bleibatterien die Möglichkeit einer Ausgleichladung zu ermöglichen.

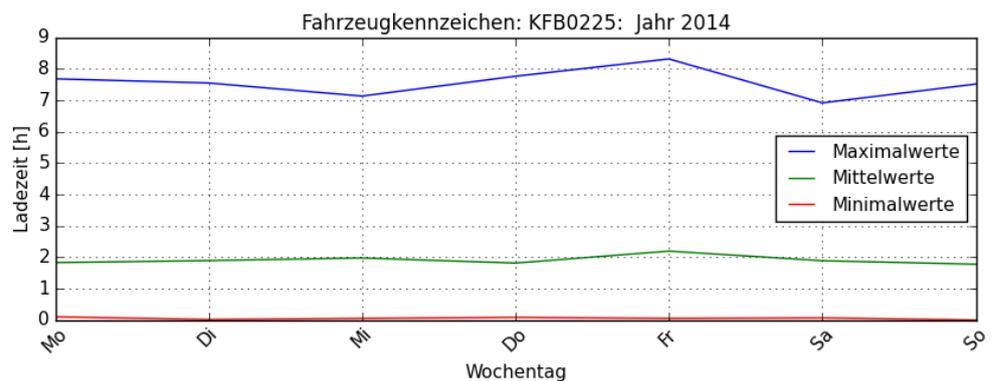


Abb. 131 Darstellung der statischen Größen (Mittelwert und Extremwerte) der Ladezeiten über den Wochentagen Montag bis Sonntag

In Abb. 132 sind die Extrem- und Durchschnittswerte des erfassten des Ladezustandes SoC über den Wochentagen Montag bis Sonntag des Berichtszeitraumes dargestellt. Für die im Fahrzeug eingesetzten Bleibatterien ist es für deren Lebensdauer günstig, wenn die Batterien möglichst wenig tief entladen und nach dem Entladen zeitnah aufgeladen werden, da so Alterungsprozesse in den Batteriezellen langsamer ablaufen.

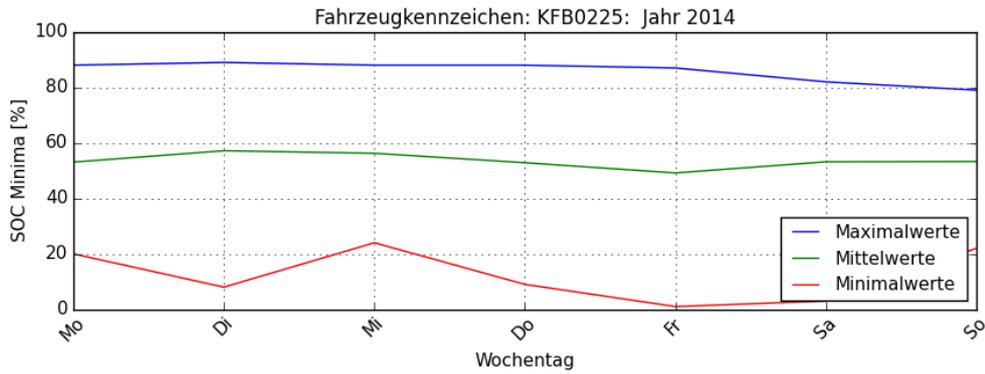


Abb. 132 Darstellung der erfassten Minimalwerte des Ladezustandes SoC über den Wochentagen Montag bis Sonntag

Niedrige Ladezustände beeinträchtigen die Leistungsfähigkeit und beschleunigen die Alterung der eingesetzten Bleibatterie insbesondere dann, wenn sie bei niedrigen Umgebungstemperaturen und über längere Zeiträume auftreten. In Abb. 133 sind deshalb die Verweildauern des Ladezustandes SoC in den definierten Klassen dargestellt. In der Regel ist ein guter Batteriebetrieb gegeben, wenn Ladezustände unter 40 % vermieden werden.

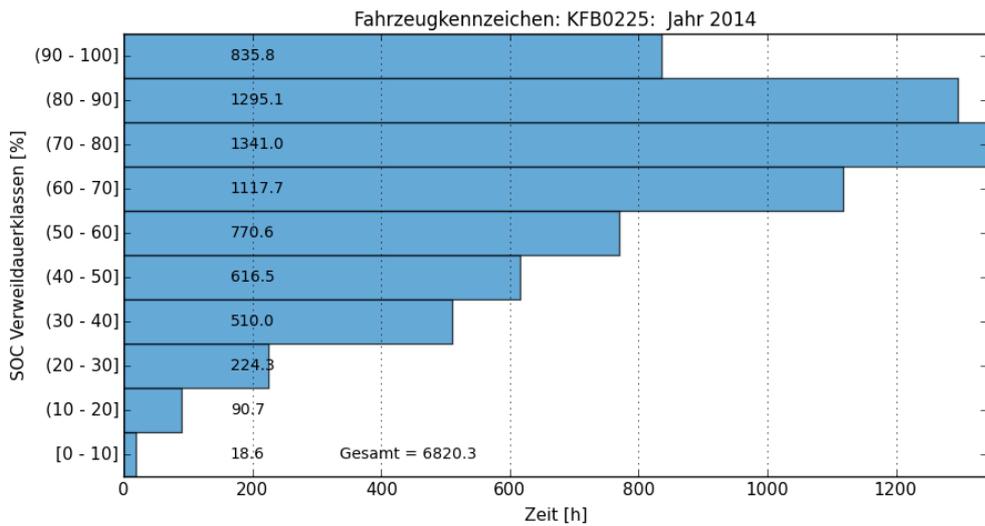


Abb. 133 Verweildauern in verschiedenen SoC-Ladezuständen

Das Entladeprofil verdeutlicht Abb. 134. Bei 72,5 % der Entladungen werden nicht mehr als 0,5 kWh je Vorgang. Weitere 20,1 % der Entladungen liegen im Bereich über 0,5 kWh bis 1 kWh.

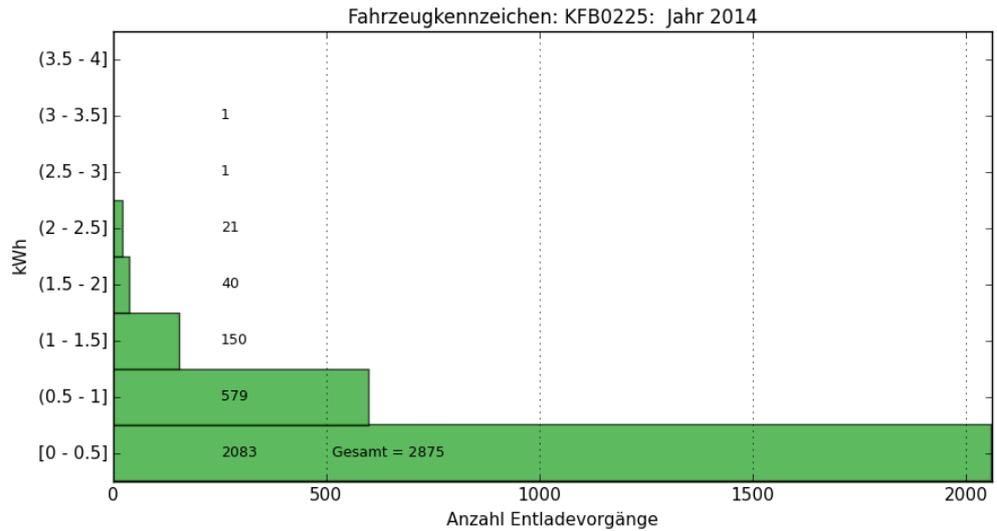


Abb. 134 Häufigkeit der Entladevorgänge über die der Batterie entnommenen Energie in kWh

Eine etwas andere Verteilung ist bei den erfassten Ladevorgängen festzustellen. Abb. 135 zeigt, dass bei 52 % der registrierten Batterieladungen bis zu 8 kWh geladen werden. Bei weiteren 38 % werden über 8 kWh bis zu 18 kWh in die Batterie geladen. Bei den verbleibenden Ladungen (10 %) wird mehr als 50 % der nominell in der Batterie gespeicherten Energie (36,8 kWh) zugeführt.

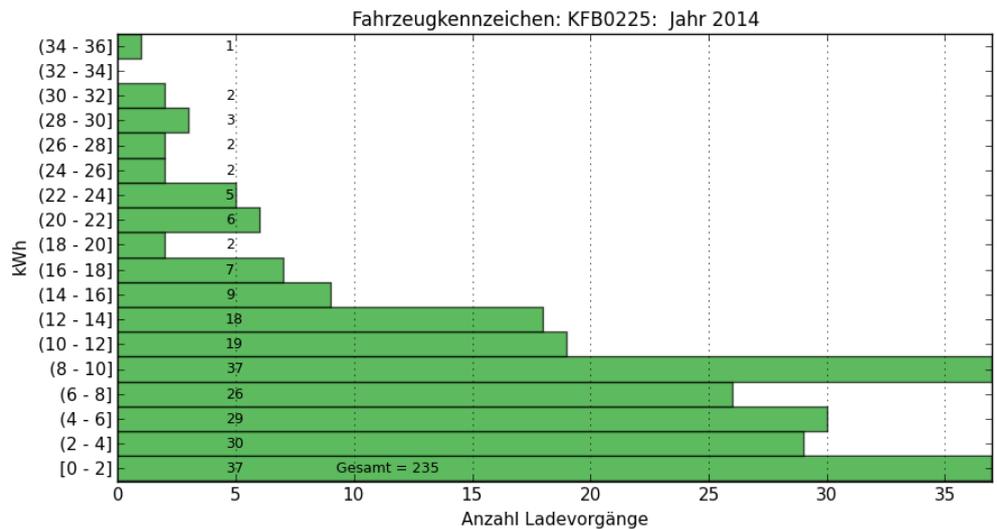


Abb. 135 Häufigkeit der Ladevorgänge über die der Batterie zugeführten Energie in kWh

3.2.3.3 Optimierungspotential Gerätetechnik

Aufgrund des ähnlichen Aufbaus der Gerätetechnik wie beim oben betrachteten Loader können die in Kapitel 3.2.2.3 beschriebenen Maßnahmen auch hier empfohlen werden.

3.2.4 Zusammenfassung

Die vorliegende Bestandsaufnahme umfasst verschiedene elektrisch betriebene Sonderfahrzeuge, die am Frankfurter Flughafen durch die Fraport AG betrieben werden. Die durchgeführten Untersuchungen und Erfahrungen zeigen, dass im Bereich der Batteriespeicher durch Verwendung einer temperaturgeführten Ladung Verbesserungspotentiale bestehen.

Eine sorgfältige Auswahl des einzusetzenden Batterietyps im Hinblick auf den Einsatzbereich, insbesondere hinsichtlich des Temperaturbereichs, in dem die Batterien verwendet werden, sollte vorgenommen werden. Da bei Bleibatterien im Kältebetrieb mit Funktionseinschränkungen und bei hohen Temperaturen mit einer deutlich erhöhten Zellalterung zu rechnen ist, wird empfohlen, diesbezüglich die Eigenschaften unterschiedliche Batterietypen zu prüfen und unter Last zu erproben. Die für die Auslegung notwendigen Last- und Nutzprofile liegen nun vor.

Photovoltaikgeneratoren können die Stromversorgung der Sonderfahrzeuge ganzjährig unterstützen. Bei dem untersuchten Fahrzeugtyp Fluggasttreppen mit seinem Nutzungsprofil ersetzt der PV-Generator in den strahlungsintensiveren Frühjahrs- und Sommermonaten die Ladung der Batterie aus dem Netz vollständig und reduziert damit deutlich den Betriebsaufwand, der durch das Laden am Stromnetz entsteht. In den einstrahlungsschwachen Herbst- und Wintermonaten ist eine zusätzliche Stromquelle für den Betrieb erforderlich.

Seitens der elektrohydraulischen Antriebstechnik ist anzumerken, dass dies eine Konversionstechnologie ist, die - nach Auskunft des Betreibers - zuverlässig arbeitet. Grundsätzlich stehen heute rein elektrisch arbeitende Komponenten zur Umsetzung der gewünschten Funktionen zur Verfügung. Bei neuen Geräteentwicklungen könnte daher der Verzicht auf die Hydraulik in Betracht gezogen werden.

4 Laborprüfung Elektrostraßenfahrzeuge

4.1 Laborprüfverfahren für Elektrostraßenfahrzeuge

Dem Testverfahren zur Bestimmung der elektrischen Fahr- und Ladeigenschaften von Elektrofahrzeugen liegt die Idee zugrunde, dass Fahrversuche auf einem Rollenprüfstand und Ladeversuche an einem Netzsimulator kombiniert in einem Labor durchgeführt werden. Dabei sollen der Zeit- und Ressourcenaufwand minimiert werden.

Ziel der Testverfahren ist es, die elektrische Leistungsfähigkeit eines Elektrofahrzeugs möglichst effizient und vergleichbar zu bestimmen. Dies soll sowohl für Tests gegeben sein die zwischen verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt werden als auch für Tests verschiedener Elektrofahrzeuge.

Methodisch wurde für die Kombination aus Fahr- und Ladetests eine Wechselfolge gewählt. Diese Wechselfolge, bei der auf jeden Ladetest ein Fahrttest folgt, ermöglicht eine schnelle Durchführung der Tests. Das Testverfahren zur Untersuchung der elektrischen Fahr- und Ladeigenschaften von Elektrofahrzeugen setzt sich aus maximal neun Modulen zusammen (siehe Abb. 136). Entwickelt wurde die Wechselfolge, um für jeden Ladetest ein Testfahrzeug mit einer entladenen Batterie und für jeden Fahrttest ein Testfahrzeug mit einer geladenen Batterie verfügbar zu haben.

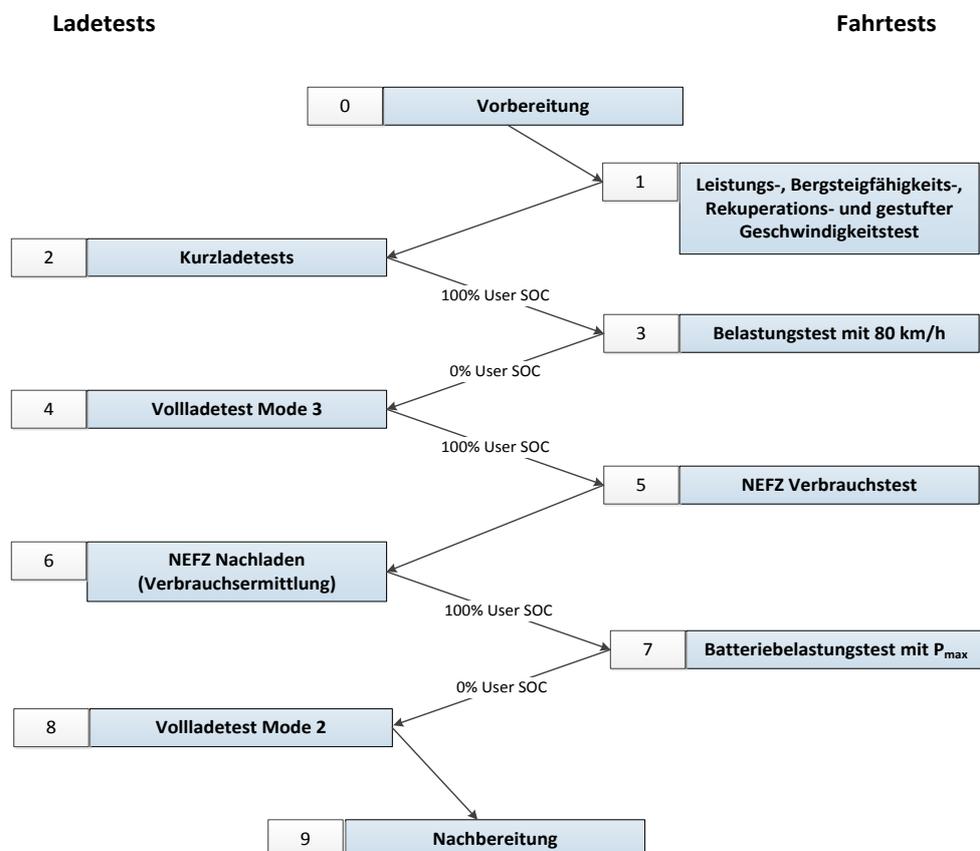


Abb. 136 Wechselfolge aus Fahr- und Ladetests

Die in Abb. 136 dargestellten Bausteine werden kurz in Kapitel 4.3 beschrieben. Dabei wird auf ihre Anwendung und ihre Zielsetzung eingegangen.

Im Laufe des Projektes wurden aus der oben abgebildeten Wechselfolge aus Fahr- und Ladetests weitere Wechselfolgen abgeleitet die für andere Untersuchungsschwerpunkte angewendet werden können. Außerdem wurde so durch Kürzung der Wechselfolgen um einzelne Bausteine ein zeitlicher Vorteil erreicht. Die abgeleiteten Wechselfolgen bestehen im Prinzip aus einzelnen Abschnitten der Wechselfolge aus Abb. 136 und wurden um die entsprechende Vor- und Nachbereitung ergänzt.

In Abb. 137 ist z.B. eine Wechselfolge beschrieben, die für Tests von gebrauchten Elektrofahrzeugen angewendet werden kann. Analog zu dieser exemplarischen Kurzwechselfolge sind weitere Wechselfolgen denkbar, die für die Untersuchung von Elektrofahrzeugen für verschiedene Nutzergruppen gestaltet werden können. Dies ist sinnvoll, da nicht alle zu erhaltenden Informationen aus dem Testverfahren für jede Nutzergruppe von gleichem Interesse sind und somit das Testverfahren so verkürzt werden kann, dass nur die relevanten Versuche durchgeführt werden.

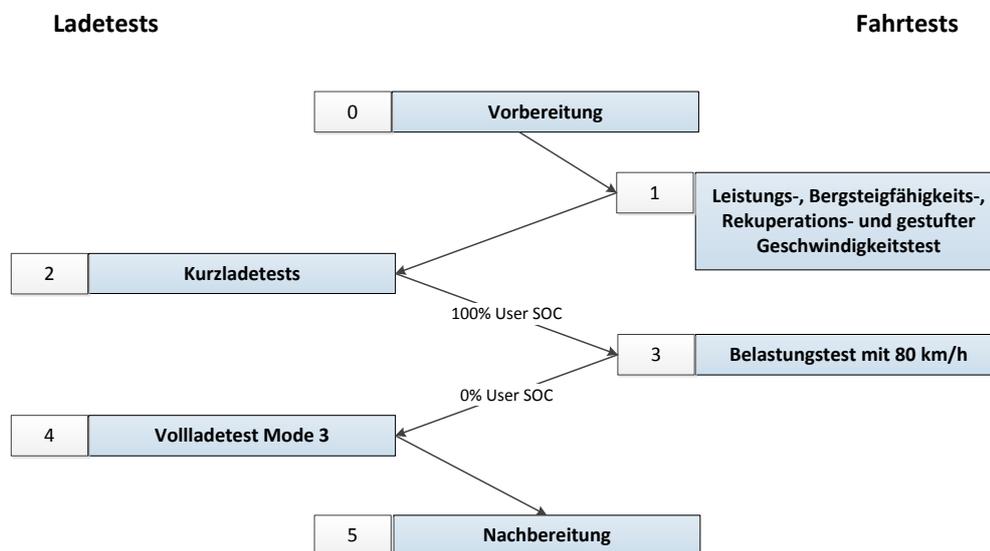


Abb. 137 Wechselfolge aus Fahr- und Ladetests für den Test eines Gebrauchtwagens

Als Ergebnisse der integrierten Testverfahren stehen neben den direkten Messergebnissen bzw. den Ladekurven, wie unter Kapitel 2 dokumentiert, weitere daraus berechnete Kenngrößen zur Verfügung. Zusammengefasst und in Relation zu den Tests an weiteren Elektrofahrzeugen soll so in Zukunft ein Elektrofahrzeugbenchmark hinsichtlich des jeweiligen Anwendungsfalls erstellt werden.

4.2 Die wichtigsten zu berücksichtigenden Umgebungs- und Randbedingungen

Zuerst werden die zu berücksichtigenden Umgebungs- und Randbedingungen sowie deren Grenzwerte definiert. Durch die Einhaltung dieser Umgebungs- und Randbedingungen wird eine Vergleichbarkeit der erzielten Ergebnisse gewährleistet.

Als Umgebungs- und Randbedingung sind zu nennen:

- Umgebungstemperatur
- vorhergegangenes Fahrverhalten
- vorhergegangenes Ladeverhalten
- Bedingungen des elektrischen Versorgungsnetzes
- Reifendruck
- Zuladung
- Software-Stand des Fahrzeugs

Für die nicht physikalisch messbaren Randbedingungen, wie beispielsweise den Software-Stand eines Fahrzeugs, ist eine Abschätzung des Einflusses auf die Tests durchzuführen und zu dokumentieren.

Um den Einfluss der **Umgebungstemperatur** möglichst klein zu halten, werden alle Versuche bei +20 °C mit einer Toleranz von +/- 5 °C durchgeführt. Außerdem wird ein bestimmtes temperaturabhängiges Verhalten, wie z.B. eine eingeschaltete Batteriekühlung, bei den Versuchen berücksichtigt bzw. vermieden.

Um das **vorhergegangene Fahr- bzw. Ladeverhalten** bei den Tests immer reproduzierbar zu halten, wurde die Wechselfolge wie oben beschrieben eingeführt. Dadurch ist für jeden Test ein vorhergehender Prozess definiert, wodurch bei jeder Wiederholung des Tests, die gleiche Vorkonditionierung des Fahrzeugs gewährleistet wird, ohne diese explizit vornehmen zu müssen.

Die **Bedingungen des elektrischen Versorgungsnetzes** sind durch die Verwendung einer Netznachbildung immer gleich und in ihrem Verhalten einfach zu beeinflussen bzw. zu kontrollieren. Es wird immer eine Spannung von 230 V bzw. 400 V verwendet und die Netzimpedanz bzw. die Impedanz der Netznachbildung ist näherungsweise Null, also als ideale Quelle/Senke anzusehen.

Der **Reifendruck** wird für die Tests immer so gewählt, dass der maximal für das Fahrzeug angegebene Reifendruck für ein vollbeladenes Fahrzeug eingestellt wird. Dies sind die geeigneten Testbedingungen, um einen reibungs- und abriebarmen Betrieb des Fahrzeugs auf dem Rollenprüfstand zu gewährleisten.

Die **Zuladung** wird immer – ohne weitere Zuladung – mit einer Person mit ca. 100-kg-Körpergewicht auf dem Fahrersitz gewählt.

Der **Software-Stand des Fahrzeugs** wird vor den Tests mit einem Diagnosegerät erfasst und auf mögliche Änderungen zu Vergleichsmessungen überprüft. Sollte dies der Fall sein, so wird besonders auf abweichendes Verhalten der Betriebsführung im Vergleich zum Verhalten während der Vergleichsmessung geachtet.

Zu den berücksichtigten Randbedingungen ist zu sagen, dass durch die festgelegten Prüfverfahren und die Durchführung im Labor es erst möglich wird, reproduzierbare Untersuchungen vorzunehmen.

4.3 Bausteine des Prüfverfahrens

Basierend auf der definierten Wechselfolge in Abb. 136 werden nachfolgend die einzelnen Bausteine des Testverfahrens in derselben Reihenfolge beschrieben. Dabei haben die Ladeversuche die geraden und die Fahrversuche die ungeraden Nummern.

0 Vorbereitung

Zu den Vorbereitungen gehören die Überprüfung des Reifendrucks, des Lieferzustands und der Ladekabel für den Mode 2 und 3, die zum Fahrzeug gehören. Weiterhin werden die Dokumentation bzw. das Handbuch und der Fahrzeugschein kopiert. Durch Fotos wird der Zustand des zu testenden Fahrzeugs dokumentiert.

Weitere vorbereitende Arbeiten sind das Wiegen des Fahrzeugs auf einer geeichten Waage und die Straßenfahrttests.

Bei den Straßenfahrttests werden im Rahmen von mehreren Ausrollversuchen die ABC-Koeffizienten des Testfahrzeugs ermittelt. Außerdem werden einige kurze Leistungstest auf der Straße durchgeführt, um erstens einen Eindruck der Leistung des Fahrzeugs zu erhalten und zweitens um einige Anhalts- bzw. Messpunkte für einen kontrollierenden Vergleich mit den Daten auf dem Rollenprüfstand zu haben. Weiter wird dabei noch abgeglichen, in welchem Maß die Anzeige der Geschwindigkeit im Fahrzeug von einer externen Messung per GPS abweicht.

Nachdem das Testfahrzeug auf dem Rollenprüfstand fixiert wurde, können mit Hilfe der Daten der Ausrollversuche die eigentlichen ABC-Koeffizienten bzw. die spezifischen ABC-Koeffizienten für den Betrieb des Rollenprüfstands bestimmt werden. Dies geschieht durch die Eingabe der Daten der Ausrollversuche in die Prüfstands-Software und ein nachfolgendes iteratives Verfahren zur Bestimmung der Koeffizienten. Bei diesem Verfahren rollt das Fahrzeug nach einer Beschleunigung auf ca. 120 km/h auf dem Rollenprüfstand aus und die Software passt den Fahrwiderstand gegeben durch die Rollen des Prüfstands so an, dass das Ausrollverhalten dem der Messung auf der Straße entspricht.

Der letzte vorbereitende Arbeitsschritt ist die Installation der Messmittel im und am Testfahrzeug. Sind die Messmittel installiert, die ABC-Koeffizienten im Rollenprüfstand hinterlegt und das Testfahrzeug auf dem Rollenprüfstand fixiert, so können die eigentlichen Fahrzeugtests durchgeführt werden.

1 Kurzfahrttests

Der Kurzfahrttest beinhaltet alle Fahrttests auf dem Rollenprüfstand, die innerhalb weniger Minuten durchfahren werden können. Die Tests sind zu einem Testblock zusammengefügt, da es nicht nötig ist, zwischen ihnen das Testfahrzeug wieder auf den vollen Ladezustand aufzuladen.

1.1 Leistungstest

Beim Leistungstest wird das Testfahrzeug maximal beschleunigt und die Endgeschwindigkeit angefahren. Dabei wird die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Fahrzeugs aufgenommen, aus der sich viele wichtige Daten, wie z.B. die maximale Leistung oder das maximale Drehmoment ablesen lassen. Nach Erreichen der Endgeschwindigkeit rollt das Fahrzeug mit offener Kupplung aus, wobei das »Schleppmoment« ermittelt wird. Dabei ist zu beachten, dass das Schleppmoment eher bei konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor von Bedeutung ist. Sinnvoller für Elektrofahrzeuge ist die Ermittlung des Drehmoments sowie der mechanischen und elektrischen Leistungen im Rekuperationsbetrieb.

1.2 Rekuperationstest

Für den Test der Rekuperationsfähigkeit eines Testfahrzeugs wird das Fahrzeug auf die maximale Geschwindigkeit bzw. 120 km/h beschleunigt und dann durch Rekuperation bis zum Stillstand des Fahrzeugs abgebremst. Dieser Test wird für die verschiedenen vorhandenen Rekuperationsmodi wiederholt. Anhand der Leistungsflüsse kann man Rückschlüsse auf die Effizienz der Rekuperation ziehen und am Verlauf der Leistungskurven über der Zeit bzw. den gefahrenen Kilometern das Rekuperationsverhalten charakterisieren.

1.3 Gestufter Geschwindigkeitstest

Der gestufte Geschwindigkeitstest dient zum Abgleich von realen Fahrdaten mit den Daten auf dem Rollenprüfstand. Dazu werden in Schritten von 10 km/h die Geschwindigkeitsstufen angefahren und für eine bestimmte Zeit (ca. 30 sec bis zu einer Minute) gehalten. Danach wird die nächste Stufe angefahren. Dies wird sowohl auf dem Rollenprüfstand als auch auf der Straße durchgeführt. Die generierten Daten zu Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit werden für den Abgleich genutzt. Als weiteres Ergebnis könnte der Energieverbrauch bei einer Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit ermittelt werden.

1.4 Test der Bergsteigfähigkeit

Für die Ermittlung der Bergsteigfähigkeit wird das Fahrzeug auf die maximale Geschwindigkeit beschleunigt und danach die simulierte Steigung auf dem Rollenprüfstand sukzessiv erhöht. Dies wird solange fortgesetzt bis das Testfahrzeug die Steigung nicht mehr überwinden kann und stehen bleibt. Im Unterschied zum Verbrennungsfahrzeug kann dieser Test so durchgeführt werden, da ein Elektromotor sein maximales Drehmoment aus dem Stillstand heraus und nicht wie beim Verbrennungsmotor erst bei einer deutlich höheren Motordrehzahl zur Verfügung stellen kann.

2 Kurzladetests

In den Kurzladetests zur Bestimmung des Verhaltens von Elektrofahrzeugen am Netz, bei externer Steuerung der Ladeleistung nach DIN EN 61851-1, sind fünf Tests zur Bestimmung des Verhaltens bei Leistungsvariation zusammengefasst. Durch neun weitere Tests zum allgemeinen Netzverhalten und die Vollladetests in den verschiedenen möglichen Lademodi werden die Elektrofahrzeugtests zum Ladeverhalten komplettiert.

3 Belastungstest bei konstanter Belastung - 80 km/h

Der Belastungstest mit konstanter Belastung – vorzugsweise bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h – ist einer der zentralen Versuche in der Wechselfolge des Testverfahrens zur Bestimmung des elektrischen Verhaltens von Batteriesystemen in Elektrofahrzeugen. Mit diesem Belastungstest wird einerseits ermittelt, wie weit ein Elektrofahrzeug mit einer konstanten Geschwindigkeit von 80 km/h fahren kann und andererseits aber auch ermittelt, wie viel Energie dafür aus der Batterie entnommen wird. Die Geschwindigkeit von 80 km/h wurde gewählt, da diese Geschwindigkeit von den meisten Elektrofahrzeugen erreicht werden kann.

Begonnen wird der Test mit einem SoC von 100%, was durch den vorhergegangenen Versuch sichergestellt werden soll. Beendet wird der Versuch bei SoC= 0% bzw. dann, wenn das Fahrzeug eine Weiterfahrt durch Abschalten verhindert und so die Batterie vor Tiefentladung schützt. Es wird mit dem Fahrzeug auch noch mit einer geringeren Geschwindigkeit als 80 km/h weitergefahren, wenn eine Warnstufe die Leistung des Fahrzeugs reduziert. Das wichtigste Ergebnis des Versuchs ist, in Kombination mit dem nachfolgenden Versuch (der Vollladung), die Ermittlung der Batteriekapazität und des Verhältnisses von geladener Energie zu verfügbarer Bewegungsenergie.

4 Vollladetest im Mode 3

Der Vollladetest stellt auf der einen Seite einen eigenständigen Test dar, der im Allgemeinen zur Untersuchung des Ladeprozesses dient. Aus diesem Test ergeben sich wichtige Daten bzgl. der Leistungs- und Energieaufnahme, des Ladewirkungsgrads, der Batteriekapazität und des Ladeprozesses. Auf der anderen Seite wird durch den Vollladetest in Kombination mit dem vorhergehenden Belastungstest die Ermittlung der Batteriekapazität und des Verhältnisses von geladener Energie zu verfügbarer Bewegungsenergie realisiert.

Der Ablauf des Vollladetest ergibt sich nach der Beendigung des Belastungstests wie folgt: Zuerst wird das auf 0% SoC leergefahrene Testfahrzeug an die Testladestation mit dem zum Fahrzeug gehörenden Mode-3-Ladekabel angeschlossen und die Messungen gestartet. Danach erfolgt die Ladung bis mindestens 100% SoC oder besser noch, eine Ladung, die mindestens 12 Stunden andauert, auch wenn 100% SoC bereits erreicht ist. Dies dient dazu, eine mögliche spätere Wiederaufnahme des Ladeprozesses, ausgelöst durch die Ladesteuerung des Fahrzeugs, mit zu untersuchen. Dieses Verhalten ist möglich, wenn sich nach dem Ladeprozess bis 100% SoC noch eine Balancing-Phase anschließt, die zu einem späteren Zeitpunkt ein Nachladen der Batterie wieder auf 100% SoC gewährleistet.

Während des gesamten Tests ist die Testladestation am Netzsimulator angeschlossen. Die Messungen der AC-Ströme und -Spannungen erfolgen an der Testladestation, die Messungen des DC-Stroms und der DC-Spannung erfolgen hingegen im Fahrzeug.

5 NEFZ-Verbrauchstest

Der Verbrauchstest nach dem Neuen Europäischen Fahrzyklus, kurz NEFZ stellt die Standardmethode zur Ermittlung des Energieverbrauchs von Personenkraftwagen in der Europäischen Union (EU) dar.

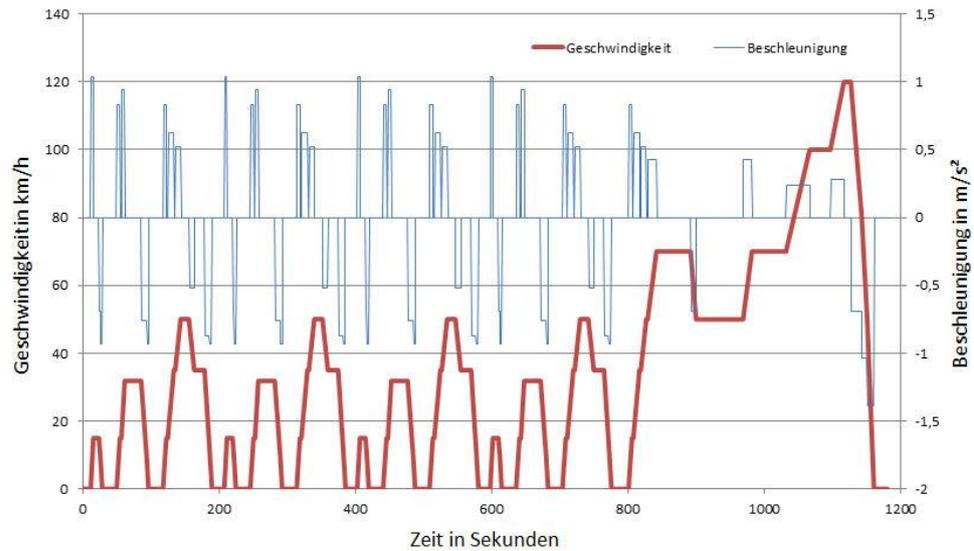


Abb. 138 Zeitlicher Verlauf der Geschwindigkeit und der Beschleunigung nach Vorgabe des Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ), vgl. (Richtlinie 70/220/EWG)

Beim NEFZ handelt es sich um eine genormte Methode zur Ermittlung von CO₂-Emissionen und des Energieverbrauchs. Dabei sind identische Testverfahren für alle europäischen Fahrzeugtypen (Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, Elektrofahrzeuge und Hybridfahrzeuge) vorgesehen. Der NEFZ stellt so ein Testverfahren für den Vergleich zwischen unterschiedlichen Fahrzeugmodellen verschiedener Hersteller dar. Der Test findet in zwei Etappen statt. Wie man in Abb. 138 sehen kann, werden die Stadtzyklusabschnitte (ECE-15-Zyklus) viermal durchfahren bevor der Überlandzyklus einmal durchfahren wird. Durch die Wiederholungen wird ein Verhältnis der unterschiedlichen Abschnitte zueinander gebildet, dass die Verkehrsstatistik widerspiegelt.

Für den NEFZ-Verbrauchstest wird das Testfahrzeug auf dem Rollenprüfstand bis auf 100% SoC aufgeladen und dann der NEFZ zweimal hintereinander durchfahren. Damit dauert der Test ca. 45 Minuten, da eine kurze Pause von ca. 5 Minuten zwischen den beiden Fahrten vorgegeben ist. Als Schwierigkeit bei diesem Test ergibt sich das exakte Abfahren des Zyklus ohne Fahrroboter, wofür der Testfahrer über eine entsprechende Qualifikation verfügen muss.

6 NEFZ-Nachladen (Verbrauchsermittlung)

Nach dem zweimaligen Abfahren des NEFZ erfolgt die NEFZ-Nachladung durch die ermittelt wird, wieviel Energie ab Netz für den NEFZ-Verbrauchstest benötigt wurde. Dazu wird das Testfahrzeug auf dem Rollenprüfstand mit dem fahrzeugeigenen Mode-3-Ladekabel an die Testladestation angeschlossen und die Messungen gestartet. Danach erfolgt die Ladung bis mindestens 100 % SoC. Der Test ist beendet, wenn das Fahrzeug die Ladung bei Erreichen des maximalen Ladezustands beendet.

Während des gesamten Tests ist die Testladestation am Netzsimulator angeschlossen. Die Messungen der AC-Ströme und -Spannungen erfolgen an der Testladestation. Die Messungen des DC-Stroms und der DC-Spannung erfolgen hingegen im Fahrzeug.

7 Batteriebelastungstest mit P_{max}

Der Batteriebelastungstest mit maximaler Leistung wurde in der ersten Testrunde als In-Situ-Batterietestzyklus eingeführt. Bei dem In-Situ-Test handelte es sich um den Versuch, Leistungs- und Energietests in einem Testlauf zu vereinen. Wie man in Abb. 139 sieht, besteht der In-Situ-Batterietestzyklus aus drei Beschleunigungsfahrten mit anschließender Rekuperation bis zum Stillstand bei unterschiedlichen Steigungen und dem Batteriebelastungstest mit maximaler Leistung zum Schluss. Die Beschleunigungsfahrten beeinflussen die Kurzfahrttests zum Leistungsvermögen, der Rekuperation und zur Bergsteigfähigkeit.

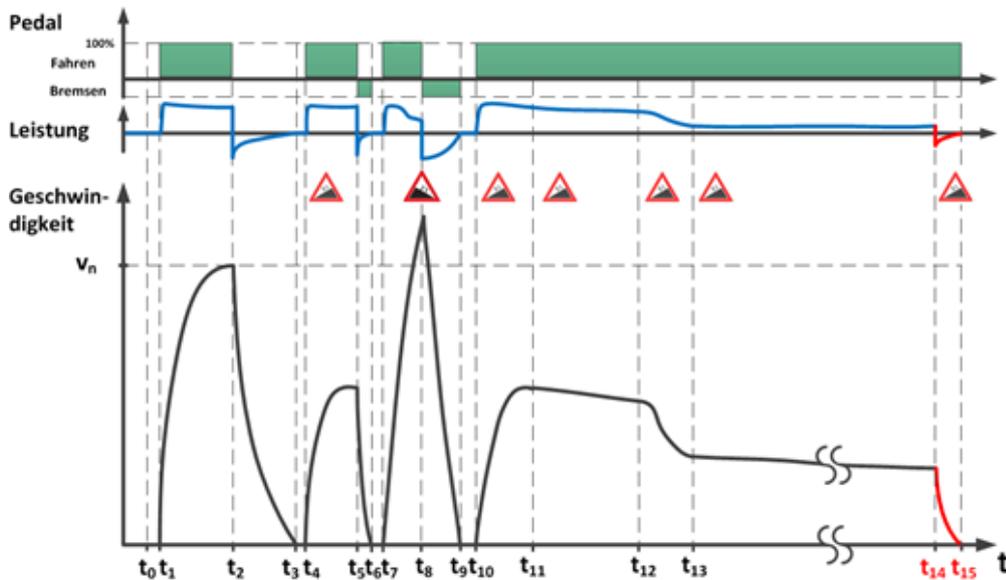


Abb. 139 In-Situ-Batterietestzyklus

In der praktischen Durchführung hat sich gezeigt, dass die beim In-Situ-Test entstehende Messdatenzeitreihe einen höheren Aufwand für die Auswertung erfordert als dies im Vergleich mit separaten und nacheinander folgenden Einzeltests der Fall ist. Aus diesem Grund sollen zukünftig die Tests zur Leistungs- und Rekuperationsmessung im aktuellen Prüfablauf im Rahmen der Kurzfahrttests stattfinden. Es verbleibt dann noch der Batteriebelastungstest mit maximaler Leistung (ab Zeitpunkt t_{10} gemäß Abb. 139)

Der Batteriebelastungstest mit maximaler Leistung wird wie folgt durchgeführt: Zuerst wird das auf 100 % SoC geladene Testfahrzeug auf 80 km/h beschleunigt. Dann wird möglichst schnell die Steigung so hoch eingestellt, dass das Testfahrzeug bei voller Leistungsabgabe seine Geschwindigkeit von 80 km/h noch halten kann. Ab diesem Zeitpunkt fährt das Testfahrzeug mit voller Leistung oder reduzierter Leistung solange weiter bis die Fahrzeugsteuerung den Fahrzeugantrieb abschaltet.

Ein wesentliches Ergebnis des Tests ist, in welchem Maß sich die verfügbare Batteriekapazität eines Fahrzeugs reduziert, wenn mit maximaler Leistung gefahren wird. Die dabei erzielten Reichweiten liegen deutlich unter denen, die beim NEFZ erreicht werden.

8 Volladetest im Mode 2

Der Volladetest stellt einen eigenständigen Test dar, der zur Untersuchung des Ladeprozesses im Mode 2 dient. Aus diesem Test ergeben sich wichtige Daten bzgl. der Leistungs- und Energieaufnahme, des Ladewirkungsgrades, der Batteriekapazität und des Ladeprozesses. Weiterhin wird durch den Volladetest in Kombination mit dem vorhergehenden Batteriebelastungstest mit maximaler Leistung die Ermittlung der Batteriekapazität und des Verhältnisses von geladener Energie zu verfügbarer Bewegungsenergie in diesem extremen Belastungsfall realisiert.

Der Ablauf des Volladetests ergibt sich nach der Beendigung des Belastungstests wie folgt: Zuerst wird das auf 0 % SoC leergefahrene Testfahrzeug an die Testladestation mit dem zum Fahrzeug gehörenden Mode-2-Ladekabel angeschlossen und die Messungen gestartet. Danach erfolgt die Ladung bis mindestens 100 % SoC oder besser noch, eine Ladung, die mindestens 12 Stunden andauert. Dies dient dazu, eine mögliche spätere Wiederaufnahme des Ladeprozesses, durch die Ladesteuerung des Fahrzeugs, mit zu untersuchen. Dieses Verhalten ist möglich, wenn sich nach dem Ladeprozess bis 100 % SoC noch eine Balancing-Phase anschließt, die zu einem späteren Zeitpunkt ein Nachladen der Batterie wieder auf 100 % SoC sicherstellt.

Während des gesamten Tests ist die Testladestation am Netzsimulator angeschlossen. Die Messungen der AC-Ströme und Spannungen erfolgen an der Testladestation. Die Messungen des DC-Stroms und der DC-Spannung erfolgen hingegen im Fahrzeug.

9 Nachbereitung

Der Fehlerspeicher wird mit einem Steuergerätetester ausgelesen und mögliche Fehlermeldungen werden gelöscht.

4.4 Fahrergebnisse

Im Folgenden sind ausgewählte Ergebnisse der Messungen auf dem Allrad-Scheitelrollenprüfstand MSR 1050¹ der Firma MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG, Haldenwang, Deutschland im Test- und Experimentierzentrum SysTec des Fraunhofer IWES für die untersuchten Fahrzeuge dargestellt. Die Tests erfolgten in der Regel in der oben beschriebenen Abfolge von Lade- und Fahrzyklen.

Für die Fahrsimulation auf dem Rollenprüfstand muss das Straßenfahrverhalten des zu prüfenden Fahrzeuges nachgebildet werden. Hierbei wird eine ebene Strecke und Windstille angenommen. Nach Angaben des Herstellers (MAHA) bildet das folgende Modell die fahrzeugspezifische Fahrwiderstandskennlinie mit Massensimulation ab:

$$F = \frac{Koeff A}{v(ref)} + \frac{Koeff B * v^2}{v^2(ref)} + \frac{Koeff C * v^3}{v^3(ref)} + \frac{Koeff D * v^{Exp D}}{v^{Exp D+1}(ref)} + (Masse - m(mech)) * \frac{dv}{dt} + Masse * g * \sin \alpha$$

¹ <http://www.maha.de/scheitelrollen-funktions-und-scheitelrollen-leistungspruefstand-msr-1050.htm>

Hierin bedeuten:

F	[N]	Zugkraftsollwert
Koeff A	[kW]	Rollwiderstandskoeffizient, konstant
Koeff B	[kW]	Walkwiderstandskoeffizient, linear
Koeff C	[kW]	Luftwiderstandskoeffizient, quadratisch
Koeff D	[kW]	Luftwiderstandskoeffizient, exponentiell mit n
Exp. D	[1]	Exponent D
Masse	[kg]	Fahrzeugmasse
$m(\text{mech})$	[kg]	mechanische Masse
v	[m/s]	Rollengeschwindigkeit
dv/dt	[m/s ²]	Rollenbeschleunigung
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
α	[%]	Steigungswinkel (+/-)
$v(\text{ref})$	[m/s]	Referenzgeschwindigkeit, hier: 90 km/h

Im Folgenden werden ausschließlich die relevanten ABC-Koeffizienten erläutert (MAHA, 2011). Um die Rollwiderstandsleistung abzubilden, die durch die Reibung von Rad und Fahrbahn entsteht, werden die Einflussfaktoren in dem Koeffizienten A zusammengefasst. Es gilt:

$$\text{Koeff A} = \mu(r) * m * G * v(\text{ref})$$

mit

$\mu(r)$	[1]	Rollwiderstandskoeffizient Reifen
m	[kg]	Fahrzeugmasse
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
$v(\text{ref})$	[m/s]	Referenzgeschwindigkeit, hier: 90 km/h

Weitere Verluste entstehen dadurch, dass die Reifen auf der Fahrbahn bzw. Rolle geknetet bzw. gewalkt werden. Die Walkleistung wird mit dem Koeffizienten B abgebildet. Die Berechnung erfolgt nach der Gleichung:

$$\text{Koeff B} = \mu(w) * m * G * v(\text{ref})$$

mit

$\mu(w)$	[1]	Rollwiderstandskoeffizient Reifen
m	[kg]	Fahrzeugmasse
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
$v(\text{ref})$	[m/s]	Referenzgeschwindigkeit, hier: 90 km/h

Mit zunehmender Geschwindigkeit dominieren die Verluste, die durch den Widerstand der Luft entstehen. Diese wachsen quadratisch sowohl mit der Fahrgeschwindigkeit als auch der Fläche der Fahrzeugfront an. Die Luftwiderstandsleistung wird mit dem Koeffizienten C abgebildet. Die Berechnung erfolgt nach der Gleichung:

$$\text{Koeff C} = 0,5 * \rho * c(w) * A(\text{front}) * (v(\text{ref}) + v(o))^2 * v(\text{ref})$$

mit

ρ	[kg/m ³]	Luftdichte
$c(w)$	[1]	Luftwiderstandsbeiwert
$A(\text{front})$	[m ²]	Frontfläche des Fahrzeuges

$v(\text{ref})$ [m/s] Referenzgeschwindigkeit, hier: 90 km/h
 $v(o)$ [m/s] Gegenwindgeschwindigkeit, hier: 0 km/h

Die ABC-Koeffizienten werden zunächst durch Versuche auf der Straße bestimmt. Mit Hilfe dieser Straßenkoeffizienten werden auf dem Rollenprüfstand die Koeffizienten ermittelt, mit denen das Straßenverhalten auf dem Rollenprüfstand simuliert werden kann. Die untersuchten Fahrzeuge verfügen über Stabilitätssysteme, die durch Vergleich der Radgeschwindigkeiten kritische Zustände erkennen können. Für den Fahrzeugbetrieb auf dem Rollenprüfstand bedeutet dies, dass entweder die Rolle für die nicht angetriebene Fahrzeugachse synchron angetrieben oder das Stabilitätssystem deaktiviert wird. Immer dann, wenn kein Betriebsmodus des Fahrzeuges auf dem Prüfstand angewählt werden konnte, erfolgte die Messung in der Lastanpassung »Allradantrieb«.

Aufgrund der Arbeitsweise des Rollenprüfstandes hat die Wahl unterschiedlicher Lastanpassungen Konsequenzen auf die gemessenen Reichweiten. Wird bei der Lastanpassung »Vierradantrieb« eine Achse vom Rollenprüfstand angetrieben, so muss diese Leistung von der Antriebsachse durch eine entsprechende Mehrleistung so kompensiert werden, dass die Summenleistung beider Achsen wieder dem aus den ABC-Koeffizienten für die jeweilige Geschwindigkeit ermittelten Leistungswert entspricht. Im Ergebnis folgt daraus, dass die ermittelten Reichweiten nur für identische Lastanpassungen verglichen werden dürfen. Da dies bei den durchgeführten Messungen vereinzelt der Fall ist, weisen die folgenden Ergebnistabellen an verschiedenen Stellen bewusst Leerstände auf, um einen unzulässigen Vergleich zu vermeiden.

4.4.1 BMW i3

Das Fahrzeug BMW i3 stand für Messungen im Juni 2014 und im Dezember 2015 zur Verfügung. Es handelt sich um ein Fahrzeug mit einem Range Extender, der für die durchgeführten Messungen deaktiviert wurde.

Die Tests wurden mit unterschiedlichen Lastanpassungen durchgeführt. Die Messung 1 erfolgte in der Lastanpassung »Allradantrieb«. Für die Messung 2 konnte das elektronische Stabilitätssystem für den Betrieb auf dem Rollenprüfstand deaktiviert werden. Bei gleicher Rollengeschwindigkeit ($v = 80$ km/h) erfolgte die Messung 2 mit der Lastanpassung Hinterradantrieb und der für die Geschwindigkeit korrekten Radlast von 5,75 kW.

Den in Abb. 140 gezeigten Ergebnisse liegen die folgenden Straßen- und Rollen-Koeffizienten und eine Fahrzeugmasse von 1430 kg zugrunde.

	A-Koeffizient	B-Koeffizient	C-Koeffizient
Straße	5,325 kW	5,704 kW	2,126 kW
Rolle	2,087 kW	1,054 kW	4,356 kW

Abb. 140 Testergebnisse für den BMW i3 auf dem Rollenprüfstand

Merkmal	Herstellerangabe	Messung 1	Messung 2
Datum der Messung	---	6/2014	12/2015
Kilometerstand	---	7.472 km	38.500 km

Merkmal	Herstellerangabe	Messung 1	Messung 2	Laborprüfung Elektrostraßenfahrzeuge
Maximale Motorleistung	125 kW	121 kW	129 kW	
Maximale Leistung am Rad	---	107 kW	112 kW	
NEFZ				
- Reichweite	190 km	---	---	
- Energieverbrauch / 100 km	12,9 kWh	---	---	
Konstante Last				
		$P_{\text{Rad}} = 8,5 \text{ kW}$	$P_{\text{Rad}} = 5,75 \text{ kW}$	
- Maximale Fahrstrecke	---	132,8 km	151,0 km	
- Energieverbrauch ab Batterie	---	---	---	
- Energieverbrauch ab Netz	---	---	21,4 kWh (Mode 2)	
- Maximale Fahrstrecke	---	---	154,4 km	
- Energieverbrauch ab Batterie	---	---	---	
- Energieverbrauch ab Netz	---	---	21,9 kWh (Mode 3)	
In-Situ-Test				
- Maximale Fahrstrecke	---	30,3 km	34,5 km	
- Energieverbrauch ab Batterie	---	---	---	
- Energieverbrauch ab Netz	---	---	---	

Bewertung:

Das Fahrzeug legte in 18 Monaten zwischen der ersten und der zweiten Messung eine Fahrstrecke von 31.028 km zurück. Aufgrund der bei den Messungen unterschiedlich gewählten Lastanpassung ist ein direkter Vergleich der maximalen Fahrstrecke bei konstanter Radlast nicht möglich.

4.4.2 Smart fortwo

Das Fahrzeug smart fortwo stand für Messungen im Februar 2014 und im November 2015 zur Verfügung.

Die Tests wurden durchgängig mit der Lastanpassung »Hinterradantrieb« gefahren, weshalb die Messdaten der beiden Messungen (vgl. Abb. 141) miteinander verglichen werden können.

Den in Abb. 141 gezeigten Ergebnisse liegen die folgenden Straßen- und Rollen-Koeffizienten und eine Fahrzeugmasse von 1170 kg zugrunde:

	A-Koeffizient	B-Koeffizient	C-Koeffizient
Straße	2,373 kW	15,796 kW	-7,456 kW
Rolle	0.432 kW	11,422 kW	-5,347 kW

Abb. 141 Testergebnisse für den smart fortwo auf dem Rollenprüfstand

Merkmal	Herstellerangabe	Messung 1	Messung 2
Datum der Messung	---	2/2014	12/2015
Kilometerstand	---	113	15.429 km
Maximale Motorleistung	55 kW	65,5 kW	65,8 kW
Maximale Leistung am Rad	----	43,4 kW	44 kW
NEFZ			
- Reichweite	145 km	---	---
- Energieverbrauch / 100 km	15,1 kWh	---	---
Konstante Last (v = 80 km/h)			
- Maximale Fahrstrecke	---	$P_{\text{Rad}} \sim 5,8 \text{ kW}$ 134 km	$P_{\text{Rad}} \sim 5,8 \text{ kW}$ 132 km
- Energieverbrauch ab Batterie	---	---	18,1 kWh
- Energieverbrauch ab Netz	---	---	20,5 kWh (Mode 2)
In-Situ-Test			
Maximale Fahrstrecke	---	32,9 km	34,7 km
Energieverbrauch ab Batterie	---	---	---
Energieverbrauch ab Netz	---	19 kWh (Mode 3)	---

Bewertung:

Nach gut 22 Monaten Betriebszeit und einer Laufleistung von 15.316 km ist auf dem Prüfstand keine Minderung der möglichen Reichweite oder der verfügbaren Leistung festzustellen.

4.4.3 Renault Kangoo

Das Fahrzeug Renault Kangoo stand für Messungen im Anfang September 2014 und im Ende Oktober 2015 zur Verfügung.

Die Tests wurden durchgängig mit der Lastanpassung »Hinterradantrieb« gefahren, weshalb die Messdaten der beiden Messungen (vgl. Abb. 142) miteinander verglichen werden können.

Den in Abb. 142 gezeigten Ergebnisse liegen die folgenden Straßen- und Rollen-Koeffizienten und eine Fahrzeugmasse von 1850 kg zugrunde:

	A-Koeffizient	B-Koeffizient	C-Koeffizient
Straße	7,862 kW	-12,687 kW	24,303 kW
Rolle	5,004 kW	- 16,998 kW	26,731 kW

Merkmal	Herstellerangabe	Messung 1	Messung2
Datum der Messung	---	9/2014	10/2015
Kilometerstand	---	22.700 km	45.500 km
Maximale Motorleistung	44 kW	52,3 kW	53,8 kW
Maximale Leistung am Rad	---	30,5 kW	32,7 kW
NEFZ			
- Reichweite	170 km	---	---
- Energieverbrauch / 100 km	15,5 kWh	---	---
Konstante Last (v = 80 km/h)			
- Maximale Fahrstrecke	---	108,1 km	102,3 km
- Energieverbrauch ab Batterie	---	~20 kWh	~18 kWh
- Energieverbrauch ab Netz	---	24,1 kWh	---
In-Situ-Test			
- Maximale Fahrstrecke	---	41,4 km	---
- Energieverbrauch ab Batterie	---	~19 kWh	---
- Energieverbrauch ab Netz	---	24,7 kWh (Mode 3)	---

Abb. 142 Testergebnisse für den Renault Kangoo auf dem Rollenprüfstand

Bewertung:

Im Vergleich zur ersten Messung hat die maximale Fahrstrecke bei konstanter Belastung nur geringfügig abgenommen. Die verfügbare Motorleistung übertrifft die Angabe des Herstellers.

4.4.4 Renault ZOE

Das Fahrzeug Renault Zoé stand für Messungen Anfang Februar 2014 und Anfang November 2015 zur Verfügung.

Die Tests wurden mit unterschiedlichen Lastanpassungen durchgeführt und sind deshalb nicht vollständig vergleichbar.

Den in Abb. 143 gezeigten Ergebnisse liegen die folgenden Straßen- und Rollen-Koeffizienten und eine Fahrzeugmasse von 1700 kg zugrunde:

	A-Koeffizient	B-Koeffizient	C-Koeffizient
Straße	3,243 kW	3,551 kW	7,681 kW
Rolle	1,186 kW	- 0,218 kW	9,755 kW

Merkmal	Herstellerangabe	Messung 1	Messung2
Datum der Messung	---	2/2014	11/2015
Kilometerstand	---	13.671 km	45.850 km

Abb. 143 Testergebnisse für den Renault ZOE auf dem Rollenprüfstand

Laborprüfung
Elektrostraßenfahrzeuge

Merkmal	Herstellerangabe	Messung 1	Messung2
Maximale Motorleistung	65 kW	71,7kW	71,5 kW
Maximale Leistung am Rad	---	57 kW	58,5 kW
NEFZ			
- Reichweite	210 km	---	---
- Energieverbrauch / 100 km	14,6 kWh	---	---
Konstante Last			
- Maximale Fahrstrecke	---	$P_{\text{Rad}} \sim 7,2 \text{ kW}$ 134,77 km	$P_{\text{Rad}} \sim 7,0 \text{ kW}$ 148,8 km
- Energieverbrauch ab Batterie		~22 kWh	---
- Energieverbrauch ab Netz		---	26,4 kWh (Mode 3)
In-Situ-Test			
- Maximale Fahrstrecke	---	37,1 km	35,5 km
- Energieverbrauch ab Batterie	---	~22 kWh	---
- Energieverbrauch ab Netz	---	---	---

Bewertung:

Nach 45.850 km liegt die bei konstanter Belastung erreichbare Fahrstrecke über der in der ersten Messung erreichten Strecke. Die ermittelte Motorleistung befindet sich im Bereich der Herstellerangabe.

4.4.5 Mitsubishi i-MiEV

Das Fahrzeug Mitsubishi i-MiEV stand für Messungen Mitte Februar 2014 und Anfang November 2015 zur Verfügung.

Die Tests wurden mit verschiedenen Lastanpassungen durchgeführt, weshalb ein Vergleich der Ergebnisse beim In-Situ-Test nicht möglich ist.

Den in Abb. 144 gezeigten Ergebnisse liegen die folgenden Straßen- und Rollen-Koeffizienten und eine Fahrzeugmasse von 1150 kg zugrunde:

	A-Koeffizient	B-Koeffizient	C-Koeffizient
Straße	2,695 kW	3,888 kW	5,389 kW
Rolle	1,193 kW	0,200 kW	7,524 kW

Abb. 144 Testergebnisse für den Mitsubishi i-MiEV auf dem Rollenprüfstand

Merkmal	Herstellerangabe	Messung 1	Messung2
Datum der Messung	---	2/2014	11/2015
Kilometerstand	---	5.952 km	27.426 km
Maximale Motorleistung	49 kW	58,2 kW	59,4 kW
Maximale Leistung am Rad	---	41,5 kW	42 kW
NEFZ			

- Reichweite	150 km	---	---	Laborprüfung Elektrostraßenfahrzeuge
- Energieverbrauch / 100 km	13,5 kWh	---	---	
Konstante Last (v = 80 km/h)			$P_{\text{Rad}} \sim 6,6 \text{ kW}$	$P_{\text{Rad}} \sim 6,8 \text{ kW}$
- Maximale Fahrstrecke	---		119 km	107 km
- Energieverbrauch ab Batterie	---		---	---
- Energieverbrauch ab Netz	---		18,3 kWh	---
In-Situ-Test				
- Maximale Fahrstrecke	---		25,7	20 km
- Energieverbrauch ab Batterie	---		---	---
- Energieverbrauch ab Netz	---		---	---

Bewertung:

Nach insgesamt 27.426 km hat die bei konstanter Belastung erreichbare Reichweite gegenüber der ersten Messung etwas abgenommen. Die ermittelte Motorleistung hingegen ist unverändert.

4.4.6

Mercedes Benz Vito E-Cell

Von diesem Modell standen im November 2013 zwei Fahrzeuge für Messungen zur Verfügung. Aufgrund eines unfallbedingten Ausfall des ersten Fahrzeuges und einer sehr geringen Jahreskilometerleistung (< 5000 km/a) des zweiten Fahrzeuges wurde auf eine zweite Messung verzichtet.

Die Tests wurden mit der Lastanpassung für Allradfahrzeuge durchgeführt. Es ist deshalb die Radlast anstelle der Rollengeschwindigkeit angegeben.

Den in Abb. 145 gezeigten Ergebnisse liegen die folgenden Straßen- und Rollen-Koeffizienten und eine Fahrzeugmasse von 2350 kg zugrunde:

	A-Koeffizient	B-Koeffizient	C-Koeffizient
Straße	6,378 kW	14,675 kW	4,926 kW
Rolle	-2,458 kW	6,449 kW	8,819 kW

Merkmal	Herstellerangabe	Messung F1	Messung F2
Datum der Messung	---	11/2013	11/2013
Kilometerstand	---	306 km	219 km
Maximale Motorleistung	60 kW	58,2 kW	59,4 kW
Maximale Leistung am Rad	---	41,5 kW	42 kW
NEFZ			
- Reichweite	130 km	---	---
- Energieverbrauch / 100 km	25,2 kWh	---	---
Konstante Last		$P_{\text{Rad}} = 12,43 \text{ kW}$	$P_{\text{Rad}} = 12,37 \text{ kW}$
- Maximale Fahrstrecke	---	85,2 km	90,5 km

Abb. 145 Testergebnisse für den Mercedes Benz Vito E-Cell auf dem Rollenprüfstand

Merkmal	Herstellerangabe	Messung F1	Messung F2
- Energieverbrauch ab Batterie	---	---	---
- Energieverbrauch ab Netz	---	25,7 kWh	25 kWh

In-Situ-Test			
- Maximale Fahrstrecke	---	49,1	48,0 km
- Energieverbrauch ab Batterie	---	---	---
- Energieverbrauch ab Netz	---	23,6 kWh	22,6 kWh

Bewertung:

Die ermittelte Motorleistung liegt bei beiden Fahrzeugen im Bereich der vom Hersteller angegeben Motorleistung. Die bei konstanter Radlast ermittelten Reichweiten wurden bei einer Rollengeschwindigkeit von 80 km/h gemessen. Die Radlasten sind aufgrund der gewählten Lastanpassung für Allradantrieb jedoch im Vergleich zur Lastanpassung für eine Achse um 2,79 kW bzw. 3,68 kW höher als im Normalbetrieb bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 80 km/h auf ebener Strecke.

4.5 Fazit Fahrerergebnisse

Es wurden Fahrzeuge der Klassen Mini bis Utility gemäß Kategorisierung des Kraftfahrzeugbundesamtes KBA in zwei Messkampagnen untersucht.

Die Durchführung der Messungen auf dem Rollenprüfstand im Labor haben gezeigt, dass zwischen der ersten Messung (in der Regel im Winter 2013/14) und der zweiten Messung im Spätherbst 2015 im Allgemeinen keine signifikanten Unterschiede bei der Leistungsfähigkeit der untersuchten Fahrzeuge beobachtet werden konnten. Die Laufleistung der Fahrzeuge variierte dabei stark von unter 10 Tkm bis zu 45 Tkm. Die höchste erreichte Jahreslaufleistung eines Testfahrzeuges betrug 23.270 km.

Bei den Untersuchungen kam ein im Vorhaben entwickelter Test zum Einsatz, bei dem Lade- und Fahrzyklen in einer definierten Abfolge stattfanden. Diese Art von Testverfahren erlaubt eine deutlich verbesserte Interpretation der jeweils erzielten Messergebnisse, da die Ergebnisse der Lade- und Fahrtests in einem direkten Zusammenhang stehen.

Die Fahrten auf dem Rollenprüfstand wurden manuell und ohne Fahrroboter durchgeführt. Hierbei kann es allerdings zu Abweichungen bei den einzelnen Fahrtests geben, die durch den manuellen Testbetrieb bedingt sind. Für eine höhere Genauigkeit und bessere Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist der Einsatz eines Fahrroboters empfehlenswert.

Die im Labor erzielten Ergebnisse sichern die Ergebnisse aus den Betriebsmessungen, der im Feld befindlichen Fahrzeuge ab. Aufgrund der im Labor verfügbaren Präzisionsmesstechnik sowie der reproduzierbaren Umgebungs- und Randbedingungen können die von Telematikeinrichtungen erfassten Betriebsdaten verifiziert werden.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen der Allianz Elektromobilität wurden technische Begleitforschungsthemen im Projekt TeBALE übergreifend behandelt und die Ergebnisse auf den Themenfeldtreffen der Modellregionen Elektromobilität zeitnah kommuniziert.

An der Festlegung des Minimaldatensatzes für das Fahrzeugmonitoring wurde mitgearbeitet. Dies gilt ebenso für das nachgelagerte Thema des Schutzes persönlicher Daten in Verbindung mit dem Fahrzeugmonitoring.

Es wurden verschiedene kabelgebundene Ladetechnologien beschrieben und in Verbindung mit Fahrzeugen im Labor und im Feld untersucht. Es zeigte sich, dass der Ladeprozess einer Fahrzeugbatterie in verschiedene Phasen unterteilt werden kann. Der Energieeigenbedarf von verschiedenen Ladesäulen wurde bestimmt. Hierbei traten große Unterschiede bei den untersuchten Produkten auf. Mit Hilfe von Nutzungsszenarien wurden die zu erwartenden Eigenverluste berechnet. Es stellte sich heraus, dass hinsichtlich der Anforderungen an eine hohe Energieeffizienz bei einzelnen Geräten Optimierungspotential besteht. Hier sind Zielanforderungen an die Gerätetechnik zu formulieren, die dann in den Rollout für die Elektromobilität eingehen sollten.

Für die Bewertung von berührungslosen induktiven Ladesystemen wurde eine halbautomatische Messeinrichtung zur räumlichen Vermessung der elektromagnetischen Felder und zur Messung des Wirkungsgrades entwickelt und aufgebaut. Mit dieser Einrichtung können die Einflüsse der Systemparameter eines Spulensystems auf die elektromagnetischen Felder und den Wirkungsgrad im Detail reproduzierbar untersucht werden.

Die im Feld untersuchten Elektrofahrzeuge wurden über geeignete Datenerfassungssysteme gemonitort. Dafür wurden technische Konzepte entwickelt sowie mit verschiedenen Telematikanbietern und den Partner der Allianz Elektromobilität umgesetzt. Die Daten, die die unterschiedlichen Telematikdienstleister in den Fahrzeugen erfasst haben, wurden dann an eine Datenzentrale weitergeleitet. In dieser Zentrale wurden die Daten aller Modellregionen für eine weitere übergeordnete Begleitforschung gesammelt.

Gemeinsam mit der Fraport AG wurden Sonderfahrzeuge für den Flughafenbetrieb untersucht. Nach der Entwicklung und Umsetzung eines Messkonzeptes stehen Betriebsdaten über mehr als ein Jahr für die Auslegung von elektrischen Batterie- und Antriebssystemen sowie die Optimierung von Betriebsführungsstrategien zur Verfügung. Die Untersuchung der Konversionsfahrzeuge ergab darüber hinaus konkrete Verbesserungsvorschläge für die Gerätetechnik, welche teilweise während der Projektlaufzeit umgesetzt wurden.

Die Untersuchung des Systems »Elektrofahrzeug – Ladegerät« erfordert eine klare Festlegung des Prüfablaufes, da die Wechselwirkungen zwischen Fahrbetrieb und Ladebetrieb stark von der Reihenfolge der Einzeltests abhängen. Hierfür wurde ein Testverfahren erarbeitet und in zwei Messkampagnen erprobt und weiterentwickelt.

6 Abbildungen

Abb. 01	Die sieben Elektromobilitätsprojekte der Allianzpartner der Modellregion Elektromobilität Rhein-Main (Quelle: Allianz Elektromobilität Regionale Projektleitstelle Elektromobilität Modellregion Rhein-Main)	5
Abb. 02	Einordnung der aktuellen Normen zur Elektromobilität in die vier Kategorien Sicherheit, Ladetopologie, Kommunikation und Ladestecker, Quelle: (Nationale Plattform Elektromobilität (NPE), Dezember 2014).....	8
Abb. 03	Schematische Komponentendarstellung einer Ladesäule	9
Abb. 04	Mode-3-Ladekabel in dreiphasiger Ausführung mit Typ-2-Stecker.....	9
Abb. 05	Mode-3-Ladekabel in einphasiger Ausführung mit Typ-1-Stecker	9
Abb. 06	Combo-2-Stecker, Quelle: (Nationale Plattform Elektromobilität (NPE), Dezember 2014), Seite 72.....	10
Abb. 07	BMW i3	11
Abb. 08	Mitsubishi i-MiEV	11
Abb. 09	Mercedes Vito E-Cell.....	12
Abb. 10	Renault Kangoo	12
Abb. 11	smart fortwo.....	12
Abb. 12	German E-Cars Stromos.....	13
Abb. 13	Volkswagen e-up!	13
Abb. 14	Renault Zoé.....	13
Abb. 15	Opel Ampera	14
Abb. 16	Übersicht über wichtigen Kenngrößen als Ergebnisse der Ladeversuche an den zehn Testfahrzeugen	14
Abb. 17	Übersicht über die zeitlichen Verläufe der im Mode 3 bestimmten AC-Ladeleistungen der Testfahrzeuge	16
Abb. 18	Momentaufnahme des Netzverhaltens eines Elektrofahrzeuges während der Hauptladephase	16
Abb. 19	BMW i3: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung.....	17
Abb. 20	Mitsubishi i-MiEV: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung.....	17
Abb. 21	Mercedes Vito E-Cell: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung.....	18
Abb. 22	Renault Kangoo: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung.....	18
Abb. 23	Smart fortwo: zeitlicher Verlauf der elektrischen Leistung und der Energie in der Vorladephase einer Mode-3-Ladung	19
Abb. 24	Smart fortwo: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung.....	19
Abb. 25	German E-Cars: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung.....	20
Abb. 26	Volkswagen e-up!: zeitlicher Verlauf der elektrischen AC-Leistung und der Energie für eine Mode-3-Ladung.....	20
Abb. 27	Volkswagen e-Golf: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung.....	21
Abb. 28	Renault Zoé: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-3-Ladung.....	21
Abb. 29	Opel Ampera: zeitlicher Verlauf der elektrischen AC-Leistung und Energie für eine Mode-3-Ladung	22
Abb. 30	BMW i3: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-2-Ladung.....	22

Abb. 31	Mitsubishi i-MiEV: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-2-Ladung	Abbildungen 23
Abb. 32	Smart fortwo: zeitlicher Verlauf der elektrischen Größen und die daraus abgeleiteten Kenngrößen für eine Mode-2-Ladung	23
Abb. 33	Schematische Darstellung der einzelnen Komponenten in einer Ladestation	25
Abb. 34	Versuchsordnung bei der Verbrauchermessung an einer AC-Ladestation	25
Abb. 35	Versuchsordnung der Differenzmessung an einer AC-Ladestation	26
Abb. 36	Darstellung der Verlustleistung (auch in % der Gesamtleistung) für eine Ladung mit ca. 3 kW	27
Abb. 37	Darstellung der Verlustleistung (auch in % der Gesamtleistung) für eine Ladung mit ca. 10 kW	27
Abb. 38	Darstellung der Nutz- und Verlustenergie bezogen auf die vier zeitlichen Phasen einer Ladung	28
Abb. 39	Darstellung der abgelesenen Energiemenge im Vergleich zur gemessenen Energiemenge	28
Abb. 40	Der Ladeprozess unterteilt in die vier unterschiedlichen Phasen, wie oben beschrieben	29
Abb. 41	Stand-by- und Verlustenergie verschiedener Ladesysteme über ein Jahr, absolut angegeben und als Wert in Prozent der Nutzenergie	30
Abb. 42	Combo-2-Stecker	31
Abb. 43	CHAdeMO Stecker	31
Abb. 44	Bestimmung der ökonomisch und technisch optimalen Ladeleistung für DC-Ladestationen nach CHAdeMO, Quelle: Characteristics of CHAdeMO Quick Charging System (CHAdeMO, Characteristics, 2011)	32
Abb. 45	Darstellung der Kommunikationsleitungen nach CHAdeMO Standard, Quelle: (CHAdeMO, Interface, 2011)	32
Abb. 46	Mitsubishi i-MiEV	33
Abb. 47	VW Golf blue- e-motion, Foto: Volkswagen	34
Abb. 48	DC-Schnell-ladestation »Epyon Terra 51 Charge Station«, Foto: Epyon	35
Abb. 49	DC-Schnellladestation ABB Terra 23 CT	36
Abb. 50	Messaufbau im Feld zur Charakterisierung einer Schnellladung an einer DC Ladestation	37
Abb. 51	Schematischer Messaufbau im Feld zur Charakterisierung einer Schnellladung an einer DC Ladestation (oben) und Blick in die geöffnete DC-Ladesäule ABB Terra 23 (unten)	38
Abb. 52	Ladekurve des Mitsubishi i-MiEV an der Ladestation Terra 51	40
Abb. 53	Verlauf der Wirkleistung auf der AC- und DC-Seite sowie Verläufe von DC-Spannung und DC-Strom der Ladestation über den ersten Abschnitt der Ladung	41
Abb. 54	Auflistung der bezogenen AC- und DC-Energie und der erweiterten Messunsicherheit	41
Abb. 55	Auflistung der bezogenen AC- und DC- Leistungen	42
Abb. 56	Zeitlicher Verlauf der AC- und DC-Leistung und daraus abgeleiteter Kenngrößen während der Ladung des Golf blue-e-motion an der Ladestation ABB Terra 23	42
Abb. 57	Zeitlicher Verlauf der elektrischen DC-Größen während der Ladung des Golf blue-e-motion an der Ladesäule ABB Terra 23	43
Abb. 58	Zeitlicher Verlauf der elektrischen AC-Größen während der Ladung des Golf blue-e-motion an der Ladesäule ABB Terra 23	43
Abb. 59	Auflistung der bezogenen AC- und DC-Energie und der erweiterten Messunsicherheit	44
Abb. 60	Auflistung der bezogenen AC- und DC- Leistungen	44
Abb. 61	Von der ICNIRP angegebene Grenzwerte für die magnetische Feldstärke zur Sicherung des Personenschutzes (ICNIRP, 1998) (ICNIRP, 2010)	46
Abb. 62	Vergleich der EMV-Grenzwerte für die magnetische Feldstärke nach EN 55011 und EN 55015 und den ICNIRP Richtwerten für den Personenschutz	46

Abb. 63	Messprinzip (ohne Fahrzeug) für die Messung der ortsabhängigen Feldstärke bzw. Flussdichte (links) bei einer induktiven Ladeeinrichtung (rechts), welche über eine zweite Positioniereinrichtung bezüglich der Abstände und Positionen variiert werden kann	47
Abb. 64	Positioniereinrichtung x-y-z zur Messung der magnetischen Feldstärke (oben) sowie ein zu vermessender Laboraufbau eines Spulensystems (unten) im Labor	48
Abb. 65	Geometrische Anordnung des induktiven Übertragungssystems (Doppel-D-Spule, Leistung 3,6 kW) und der Mess-Sonde (oben) und das erzielte Messergebnis für die magnetische Feldstärke im Schutzbereich 3 (unten)	49
Abb. 66	Positioniereinrichtung x-y-z (oben) sowie ein zu vermessender Laboraufbau eines Spulensystems (unten).....	50
Abb. 67	Zusammenstellung der Fahrzeuge, die mit einer Datenerfassungseinrichtung ausgestattet wurden mit der Zuordnung der Fahrzeugklasse gemäß Kraftfahrzeugbundesamt (KBA).....	51
Abb. 68	DafNe Workflow	52
Abb. 69	Datenfluss inklusive Datenbank.....	53
Abb. 70	Bereitstellung von Fahrzeugbetriebsdaten	53
Abb. 71	Datenfluss für die im Feld befindlichen und mit einem Telematiksystem ausgestatteten Straßenfahrzeuge bis hin zur übergeordneten Begleitforschung	54
Abb. 72	Verarbeitung der Eingangsdaten in der Datenbank	55
Abb. 73	Übersicht über Tabellen zur Verarbeitung der Eingangsdaten.....	55
Abb. 74	Weiterverarbeitung der Daten in der Datenbank	57
Abb. 75	Datenfluss Daimler - Tabellen für die Verarbeitung in der Datenbank.....	58
Abb. 76	Datenfluss CarMediaLab - Tabellen für die Verarbeitung in der Datenbank	60
Abb. 77	Detaillierter Datenfluss AMV Networks.....	62
Abb. 78	Datenfluss AMV-Networks - Tabellen für die Verarbeitung in der Datenbank.....	63
Abb. 79	Datenfluss Opel Ampera - Tabellen für die Verarbeitung in der Datenbank	64
Abb. 80	Minimaldatensatz für den Elektrobus	65
Abb. 81	Minimaldatensatz IVV – Parameter Fahrten und Ladungen.....	66
Abb. 82	Minimaldatensatz IVV – Parameter Fahrten	67
Abb. 83	Minimaldatensatz IVV – Parameter Ladungen	68
Abb. 84	Anonymisierung von Betriebsdaten (FID = Fahrzeug ID (Extern, anonymisiert), SID = Stammdatensatz ID, GID = Geräte ID).....	70
Abb. 85	Ablauf zur Kontrolle der Datenlieferung von Fahrzeugen mit Telematikeinrichtung	72
Abb. 86	Überblick über elektrische Sonder- und Serienfahrzeuge der Fraport AG am Frankfurter Flughafen	73
Abb. 87	Gesamtansicht des Loaders CHAMP 70SE (Quelle: Trepel Airport Equipment GmbH).....	74
Abb. 88	Übersicht über die Elektrokomponenten (Quelle: CHAMP 70SE Wartungsanleitung)	74
Abb. 89	Einbauort der Antriebsbatterie im Unterflurbereich des Loaders	75
Abb. 90	Trog mit Antriebsbatterie (links) und Schaltung der Zellen (rechts)	76
Abb. 91	Messsystem Wi-IQ zur Erfassung von Batterie-Betriebsdaten	76
Abb. 92	Technische Daten des Ladegerätes (Quelle: Bedienungsanleitung) und die Geräteansicht (rechts)	77
Abb. 93	Anschlussstecker des Ladegerätes (links) und Anschlussboxen am Gebäude (rechts).....	77
Abb. 94	Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für den Zustandswechsel Stillstand – Entladen für die Daten des Fahrzeuges KPH0242 im Kalenderjahr 2014.....	78
Abb. 95	Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für die Ereignisdauer für die Daten des Fahrzeuges KPH0242 im Kalenderjahr 2014.....	79
Abb. 96	Auf Wochentage bezogene Darstellung wesentlicher Kenngrößen für den Palettenhubwagen KPH0242 im Kalenderjahr 2014.....	79

	Abbildungen
Abb. 97 Darstellung der statischen Größen (Mittelwert und Extremwerte) der Ladezeiten über den Wochentagen Montag bis Sonntag	80
Abb. 98 Darstellung der erfassten Minimalwerte des Ladezustandes SoC über den Wochentagen Montag bis Sonntag.....	81
Abb. 99 Verweildauern in verschiedenen SoC-Ladezustände	81
Abb. 100 Häufigkeit der Entladevorgänge über die der Batterie entnommenen Energie in kWh.....	82
Abb. 101 Häufigkeit der Ladevorgänge über die der Batterie zugeführten Energie in kWh.....	82
Abb. 102 Säureschichtung in einer Bleibatterie mit flüssigem Elektrolyten	83
Abb. 103 Solarelektrische Fluggasttreppe KPT0351 der Fraport	84
Abb. 104 Elektrische Nenndaten der Fluggasttreppe.....	84
Abb. 105 Übersicht über die Elektrokomponenten der Flugastbrücke	85
Abb. 106 Batterietrog mit den Bleibatterien	86
Abb. 107 Ansicht des Batterieladegerätes ZIVAN NG 3 mit seinen elektrischen Nenndaten	86
Abb. 108 Schaltschrank der Fluggasttreppe mit Steuerung und Batterieladegerät.....	87
Abb. 109 Monokristallines Solarmodul (oben) mit 120-Wp-Leistung, $I_k = 6,9$ A, $U_0 = 21,8$ V und Solarladeregler (unten).....	87
Abb. 110 Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für den Zustandswechsel Stillstand – Entladen für die Daten des Fahrzeuges KPT0351 im Kalenderjahr 2014	88
Abb. 111 Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für die Ereignisdauer für die Daten des Fahrzeuges KPT0351 im Kalenderjahr 2014	88
Abb. 112 Auf Wochentage bezogene Darstellung wesentlicher Kenngrößen für den solarbetriebenen Fluggasttreppe KPT0351 im Kalenderjahr 2014	89
Abb. 113 Darstellung der statischen Größen (Mittelwert und Extremwerte) der Ladezeiten über den Wochentagen Montag bis Sonntag	90
Abb. 114 Darstellung der erfassten Minimalwerte des Ladezustandes SoC über den Wochentagen Montag bis Sonntag.....	90
Abb. 115 Verweildauern der Batterie in verschiedenen SoC-Ladezuständen	91
Abb. 116 Häufigkeit der Entladevorgänge über die der Batterie entnommenen Energie in kWh.....	91
Abb. 117 Häufigkeit der Ladevorgänge über die der Batterie zugeführten Energie in kWh.....	92
Abb. 118 Elektrisches Anlagen- und Messschema für die solarversorgte Fluggasttreppe	92
Abb. 119 Tagesgänge und Energiebilanzen für die Solartreppe KPT0351 für das 1. Quartal 2014	94
Abb. 120 Tagesgänge und Energiebilanzen für die Solartreppe KPT0351 für das 2. Quartal 2014	95
Abb. 121 Tagesgänge und Energiebilanzen für die Solartreppe KPT0351 für das 3. Quartal 2014	96
Abb. 122 Tagesgänge und Energiebilanzen für die Solartreppe KPT0351 für das 4. Quartal 2014	97
Abb. 123 Elektrokomponenten des Förderbandwagens – Ansicht von hinten links (oben) und der Seiten (unten)	99
Abb. 124 Elektrohydraulische Einheit mit Hydraulikventilen	100
Abb. 125 Bandantriebsmotor und Höhenverstellung durch Hydraulikzylinder	101
Abb. 126 Batterietrog mit Batteriezellen und die technischen Daten des Batterieverbandes	101
Abb. 127 Förderbandwagen mit dem Batterieladegerät 0774	102
Abb. 128 Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für den Zustandswechsel Stillstand – Entladen für die Daten des Fahrzeuges KFB0225 vom 25.01.2014 bis 31.12.2014.....	103
Abb. 129 Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für die Ereignisdauer für die Daten des Fahrzeuges KFB0225 im Zeitraum vom 25.01.2014 bis 31.12.2014	103

Abb. 130 Auf Wochentage bezogene Darstellung wesentlicher Kenngrößen für den Förderbandwagen KFB0225 im Zeitraum vom 25.01.2014 bis 31.12.2014	103
Abb. 131 Darstellung der statischen Größen (Mittelwert und Extremwerte) der Ladezeiten über den Wochentagen Montag bis Sonntag	104
Abb. 132 Darstellung der erfassten Minimalwerte des Ladezustandes SoC über den Wochentagen Montag bis Sonntag	105
Abb. 133 Verweildauern in verschiedenen SoC-Ladezuständen	105
Abb. 134 Häufigkeit der Entladevorgänge über die der Batterie entnommenen Energie in kWh	106
Abb. 135 Häufigkeit der Ladevorgänge über die der Batterie zugeführten Energie in kWh	106
Abb. 136 Wechselfolge aus Fahr- und Ladetests	108
Abb. 137 Wechselfolge aus Fahr- und Ladetests für den Test eines Gebrauchtwagens	109
Abb. 138 Zeitlicher Verlauf der Geschwindigkeit und der Beschleunigung nach Vorgabe des Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ), vgl. (Richtlinie 70/220/EWG)	114
Abb. 139 In-Situ-Batterietestzyklus	115
Abb. 140 Testergebnisse für den BMW i3 auf dem Rollenprüfstand	118
Abb. 141 Testergebnisse für den smart fortwo auf dem Rollenprüfstand	120
Abb. 142 Testergebnisse für den Renault Kangoo auf dem Rollenprüfstand	121
Abb. 143 Testergebnisse für den Renault ZOE auf dem Rollenprüfstand	121
Abb. 144 Testergebnisse für den Mitsubishi i-MiEV auf dem Rollenprüfstand	122
Abb. 145 Testergebnisse für den Mercedes Benz Vito E-Cell auf dem Rollenprüfstand	123
Abb. 146 Funktionsumfang des Batteriedatenloggers WI-IQ	133
Abb. 147 Messfehler der verwendeten Messmodule und -wandler	139
Abb. 148 Darstellung des relativen und absoluten Fehlers der DC-Leistungsmessung (oben) und der AC-Leistungsmessung (unten)	142
Abb. 149 Darstellung des absoluten Fehlers der Wirkungsgradmessung in Abhängigkeit der gemessenen AC-Leistung für verschiedene Wirkungsgrade	143

- 61851-1, I. (7. February 2017). Electric vehicles conductive charging system - Part 1: General Requirements. (3.0). IEC. Von <https://webstore.iec.ch/publication/33644> abgerufen
- Arbeitsgruppe 4 „Normung, Standardisierung und Zertifizierung“ der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE). (August 2013). Technischer Leitfaden Ladeinfrastruktur. (S. 3.–3. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (GGEMO), Hrsg.) Von <http://www.din.de/blob/97246/c0cbb8df0581d171e1dc7674941fe409/technischer-leitfaden-ladeinfrastruktur-data.pdf> abgerufen
- BMUB. (19. Februar 2013). Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV). (N. B. Bundesministerium für Umwelt, Hrsg.) Berlin, Berlin. Abgerufen am 18.. Januar 2017 von https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimsv_26/gesamt.pdf
- CHAdEMO. (2011). *Characteristics*. Von <http://www.chademo.com/pdf/characteristics.pdf> abgerufen
- CHAdEMO. (2011). *Interface*. Von <http://www.chademo.com/pdf/interface.pdf> abgerufen
- EN 55011. (März 2017). Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Geräte - Funkstörungen - Grenzwerte und Messverfahren. Von <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-55011/265726286> abgerufen
- EN 55015. (April 2016). Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörungen von elektrischen Beleuchtungseinrichtungen und ähnlichen Elektrogeräten. Von <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-55015/247819232> abgerufen
- EN 62752. (April 2017). Ladeleitungsintegrierte Steuer- und Schutzeinrichtung für die Ladebetriebsart 2 von Elektro-Straßenfahrzeugen (IC-CPD). http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=62682. Von <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-62752/265416852> abgerufen
- Hering, E. M. (2004). *Physik für Ingenieure*. Berlin: Springer-Verlag .
- ICNIRP. (3. März 1998). *ICNIRP GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (UP TO 300 GHZ)*. (I. C.-I. (ICNIRP), Hrsg.) Abgerufen am 14.. Februar 2017 von <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>
- ICNIRP. (1. Dezember 2010). *GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (1 Hz TO 100 kHz)*. (I. C.-I. Protection, Hrsg.) Abgerufen am 14.. Februar 2017 von <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdl.pdf>
- Kirchhof, J., Strecker, O., Marklein, R., Jung, M., Georgios, L., Wang, M., & Rahen, M. (2016). Automatisierte Messung von räumlichen Streufeldern beim induktiven Laden. *EMV 2016*. Düsseldorf.
- MAHA. (2011). *Original-Betriebsanleitung BA053101-de*. Haldenwang: Maha Maschinenbau Haldenwang.
- MAHA. (kein Datum). *Dokumentation D1 0523BA1--D07*. Haldenwang: MAHA Maschinenbau Haldenwang.
- Marklein, R. (21. Mai 2015). *Bidirektionales induktives Energieübertragungssystem für Elektrofahrzeuge*. Abgerufen am 14.. Februar 2017 von <http://www.elektromobilitaet.fraunhofer.de/content/dam/elektromobilitaet/de/produktblaetter/Bidirektionales%20induktives%20Energie%3%BCbertragungssystem%20f%3%BCr%20Elektrofahrzeuge.pdf>

- Nationale Plattform Elektromobilität (NPE). (Dezember 2014). *Die Deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität - Version 3.0*. Berlin: Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität (GGEMO).
- Peitz, M., Matrose, C., Schnettler, A., & Hackmann, M. (2012). Entwicklung neuartiger Prüfverfahren für Elektrofahrzeuge und Ladesäulen. *VDE-Kongress*. Stuttgart.
- Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments. (22. Oktober 2014). <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0094>.
- Richtlinie 70/220/EWG. (kein Datum). *RICHTLINIE DES RATES vom 20. März 1970 Zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen und Verordnung 2006/96/EG (Abl.L 363, 20.12.2006)*. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1970L0220:20070101:DE:PDF>. Von <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1970L0220:20070101:DE:PDF> abgerufen
- Strecker, O. (13. Januar 2016). Automatisierung eines Messplatzes zur Ermittlung von elektrischen und magnetischen Streufeldern an einer Ladeeinrichtung für Elektrofahrzeuge mit Hilfe von NI LabVIEW. *Masterarbeit*. Kassel: Universität Kassel.

8 Anhang

8.1 Messsystem EnerSys WI-IQ

Betriebsdaten sind die Grundlage von Nutzungs- und Lastprofilen. Um sie für die unterschiedlichen Sonderfahrzeuge zu gewinnen, empfiehlt sich der Einsatz von elektronischen Datenerfassungsgeräten. Damit können beispielsweise batterierelevante Betriebsdaten einfach und zuverlässig erfasst und abgespeichert werden. Die Datenspeicherung erfolgt üblicherweise entweder als Zeitreihe oder ereignisorientiert.

Im Projekt E-Fleet hat Fraport AG den drahtlos arbeitenden Batteriecontroller Wi-IQ der Firma EnerSys zum Sammeln von Betriebsdaten der Batterien eingesetzt. Das Messsystem WI-IQ erlaubt folgende Betriebsmodi:

Cycle-Mode:

Die Batteriebetriebsdaten Strom, Spannung und Temperatur werden für Lade- und Entladevorgänge zyklusbezogen gespeichert. Es können bis zu 2.550 einzelne Zyklen abgespeichert werden.

Profile-Mode:

Die Batteriegrößen Spannung Stromstärke und Temperatur werden in wählbaren Zeitintervallen von 0,5 Sekunden bis zu 10 Minuten gespeichert. Die Speichertiefe reicht dabei von 5 Stunden bis zu 250 Tagen.

Event-Mode:

Ausgewählte Betriebsdaten werden ereignisbezogen aufgezeichnet, beispielsweise bei parametrierbaren Stromänderungen.

Mit den erfassten Betriebsdaten erlaubt das Messsystem WI-IQ die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Auswertungen:

Parameter	Bedeutung
Cylce	Anzahl der Zyklen
Start of Discharge	Datum & Uhrzeit Entladebeginn
Start Disc. Temp (°C)	Starttemperatur bei Entladen
Disch. Time	Dauer der Entladung
Disch. Idle Time	Leerlaufzeit I<4A
Disch. Ah-	entnommene Ah
% Time I>0.2xC5	Zeit I>20% C5
% Ah- I>0.2xC5	Prozent der Entladung
Current max (A)	max. Entladestrom
With Vbat/Cell (V)	Zellenspannung
Vbat/cell min (V)	niedrigste Zellenspannung
With Vbal/cell (V)	Zellenspannung
And Current (A)	letzter Strom bei Ladung
Average Temp. (°C)	mittlere Temperatur
Dis. Energy (kWh)	entnommene kWh

**Abb. 146 Funktionsumfang
des Batteriedatenloggers WI-
IQ**

Parameter	Bedeutung
Dis. Ah+	entnommene Ah
End of Discharge	Datum & Uhrzeit Entladeende
End Vbat/cell (V)	Entladeschlussspannung
End Temp. (°C)	Temperatur bei Entladeende
% State of Charge	Prozentuale Restladung
Start of Charge	Datum & Uhrzeit der Aufladung
I start of charge (A)	Anfangsladestrom
Temp. (°C)	Temperatur bei Start
Charge Time	Dauer der Aufladung
End of Charge	Datum & Uhrzeit Ladeende
Ah+ Charge	eingeladene Ah
Charge Energy (kWh)	eingeladene kWh
Average Temp. (°C)	mittlere Temperatur
End of charge Vbat/cell (V)	Ladeschlussspannung
End of Charge Current (A)	Ladeschlussstrom
End of Charge Temp. (°C)	Temperatur bei Ladeende
Equal. Time	Ausgleichsladezeit
Equal. Ah	Eingeladene Ah in der Ausgleichsladung
Equal. Energy (kWh)	Eingeladene kWh in der Ausgleichsladung
Cycle Temp.Min (°C)	min. Temp dieses Zyklus
Cycle Temp.Max (°C)	max. Temp dieses Zyklus?
Time < 10°C	Zykluszeit bei < 10°C
Time > 60°C	Zykluszeit bei > 60°C
Time between 46 to 50°C	Zykluszeit zwischen 46 - 50°C
Time between 51 to 55°C	Zykluszeit zwischen 51 – 55°C
Time between 56 to 60°C	Zykluszeit zwischen 56 – 60°C
Low Level	niedriger Säurestand
Balance	Fehlermeldung bei Mittenspannungsdiffe-

8.2

Datenfluss AMV - Zuordnung von Ereignistabellen zu Minimaldatensätzen

Fahrten

Spalten IVV-Fahr-Tabellen	Spalten AMV_MINDAT_IVV_FAHR_TAB
INT_FRZ_ID	INT_FRZ_ID
FAHR_START_KMSTAND	MIN(KILOMETERSTAND)
BERMERKUNG	NULL
TEMP_AUS_START	NULL
TEMP_AUS_MIN	NULL
TEMP_AUS_MAX	NULL
TEMP_BAT_START	NULL
TEMP_BAT_MIN	NULL
TEMP_BAT_MAX	NULL
FAHR_START_ZEIT_UTC	MIN(a. ZEITSTEMPEL)
FAHR_END_ZEIT_UTC	MAX(a. ZEITSTEMPEL)
FAHRDISTANZ	MAX(KILOMETERSTAND)-MIN(KILOMETERSTAND)
HOEHENMETER_POS	NULL
HOEHENMETER_NEG	NULL
ANZ_STOPPS	Summe Ereignisse mit GESCHWINDIGKEIT = 0 mehr als 1-mal
GESCHW_MAX	MAX(GESCHWINDIGKEIT)
FAHRDAUER_3KM	Summe Sekundenwerte mit GESCHWINDIGKEIT > 0 AND GESCHWINDIGKEIT <= 3
FAHRDAUER_30KM	Summe Sekundenwerte mit GESCHWINDIGKEIT > 3 AND GESCHWINDIGKEIT <= 30
FAHRDAUER_60KM	Summe Sekundenwerte mit GESCHWINDIGKEIT > 30 AND GESCHWINDIGKEIT <= 60
FAHRDAUER_90KM	Summe Sekundenwerte mit GESCHWINDIGKEIT > 60 AND GESCHWINDIGKEIT <= 90
FAHRDAUER_120KM	Summe Sekundenwerte mit GESCHWINDIGKEIT > 90 AND GESCHWINDIGKEIT <= 120
FAHRDAUER_GR120KM	Summe Sekundenwerte mit GESCHWINDIGKEIT > 120
VERBMOT_BETRIEBH	NULL
VERBMOT_VERB_KRAFTST	NULL
RANGEXT_BETRIEBH	NULL
RANGEXT_VERB_KRAFTST	NULL
ERZ_EL_ENERGIE	NULL
FAHR_START_SOC	Erster Wert SOC
FAHR_END_SOC	Letzter Wert SOC
ENERGIEFLUSS_POS	NULL
ENERGIEFLUSS_NEG	SUM(EL_LEISTUNG/(1000*3600))
RESTLAUFST_MAX	NULL
RESTLAUFST_MIN	NULL

Ladungen

Spalten IVV-Lade-Tabellen

INT_FRZ_ID
BERMERKUNG
TEMP_AUS_START
TEMP_AUS_MIN
TEMP_AUS_MAX
TEMP_BAT_START
TEMP_BAT_MIN
TEMP_BAT_MAX
LADESTATION_ID
LADESTATION_KOORD
LADELEISTUNG_MAX
LADE_START_ZEIT.UTC
LADE_END_ZEIT.UTC

LADEDAUER
AUFG_EL_ENERGIE
LADE_START_SOC
LADE_END_SOC
LADE_START_KMSTAND

Spalten AMV_MINDAT_IVV_LADE_TAB

INT_FRZ_ID
NULL
MIN(a. ZEITSTEMPEL)
MAX(a. ZEITSTEMPEL)
MAX_ZEITSTEMPEL, MAX(a. ZEITSTEMPEL) - MIN(a.
ZEITSTEMPEL)
NULL
NULL
NULL
MIN(a. KILOMETERSTAND)

8.3

Datenfluss Opel - Zuordnung von Ereignistabellen zu Minimal- datensätzen

Anhang

Fahrten

Spalten IVV-Lade-Tabellen	Spalten OPEL_MINDAT_IVV_FAHR_TAB
INT_FRZ_ID	
FAHR_START_KMSTAND	MIN(KILOMETERZAEHLER)
BERMERKUNG	NULL
TEMP_AUS_START	Erster Wert von AUSSENTEMP
TEMP_AUS_MIN	MIN(MIN_AUSSENTEMP)
TEMP_AUS_MAX	MAX(MAX_AUSSENTEMP)
TEMP_BAT_START	Erster Wert von HOCHVOLT- BATT_MINIMALTEMP
TEMP_BAT_MIN	MIN(HOCHVOLTBATT_MINIMALTEMP)
TEMP_BAT_MAX	MAX(HOCHVOLTBATT_MINIMALTEMP)
FAHR_START_ZEIT_UTC	MIN(a.DATUM_UTC_IN_MIN)
FAHR_END_ZEIT_UTC	MIN(a.DATUM_UTC_IN_MIN)+MAX(a.INTERVAL _SEIT_START)
FAHRDISTANZ	MAX(a.KILOMETERZAEHLER) - MIN(a.KILOMETERZAEHLER),
HOEHENMETER_POS	Summe aller positiven Änderungen BAROMET- RISCHE_HOEHE größer 1.5625
HOEHENMETER_NEG	Summe aller negativen Änderungen BAROMET- RISCHE_HOEHE größer 1.5625
ANZ_STOPPS	Anzahl Intervalle mit FZGGE- SCHW_VORDERA_MET = 0
GESCHW_MAX	MAX(a.FZGGESCHW_VORDERA_MET)
FAHRDAUER_3KM	(FZGGESCHW_VORDERA_MET > 0 AND FZGGE- SCHW_VORDERA_MET <= 3) * 250 ms
FAHRDAUER_30KM	(FZGGESCHW_VORDERA_MET > 3 AND FZGGE- SCHW_VORDERA_MET <= 30) * 250 ms
FAHRDAUER_60KM	(FZGGESCHW_VORDERA_MET > 30 AND FZG- GESCHW_VORDERA_MET <= 60) * 250 ms
FAHRDAUER_90KM	(FZGGESCHW_VORDERA_MET > 60 AND FZG- GESCHW_VORDERA_MET <= 90) * 250 ms
FAHRDAUER_120KM	(FZGGESCHW_VORDERA_MET > 90 AND FZG- GESCHW_VORDERA_MET <= 120) * 250 ms
FAHRDAUER_GR120KM	(FZGGESCHW_VORDERA_MET > 120) * 250 ms
VERBMOT_BETRIEBH	VERBRENNSMOTOR_LAEUFT='Ja' * 250 ms
VERBMOT_VERB_KRAFTST	
RANGEXT_BETRIEBH	MOTORDZ <> 0 ' * 250 ms
RANGEXT_VERB_KRAFTST	
ERZ_EL_ENERGIE	Letzter Wert von HV_BATT_GELADENE_ENG
FAHR_START_SOC	Erster Wert von LADEZU- STAND_HOCHVOLTBATT
FAHR_END_SOC	Letzter Wert von LADEZU- STAND_HOCHVOLTBATT
ENERGIEFLUSS_POS	
ENERGIEFLUSS_NEG	
RESTLAUFST_MAX	NULL
RESTLAUFST_MIN	NULL

Spalten IVV-Lade-Tabellen	Spalten OPEL_MINDAT_IVV_LADE_TAB
INT_FRZ_ID	
BERMERKUNG	NULL
TEMP_AUS_START	Letzter Wert von AUSENTTEMP vorherige Fahrt
TEMP_AUS_MIN	
TEMP_AUS_MAX	
TEMP_BAT_START	Letzter Wert von HOCHVOLT-BATT_MINIMALTEMP vorherige Fahrt
TEMP_BAT_MIN	
TEMP_BAT_MAX	
LADESTATION_ID	NULL
LADESTATION_KOORD	NULL
LADELEISTUNG_MAX	NULL
LADE_START_ZEIT_UTC	DATUM_UTC_IN_MIN der vorherigen Fahrt
LADE_END_ZEIT_UTC	DATUM_UTC_IN_MIN der folgenden Fahrt
LADEDAUER	DATUM_UTC_IN_MIN der folgenden Fahrt - DATUM_UTC_IN_MIN der vorherigen Fahrt
AUFG_EL_ENERGIE	$(LADE_END_SOC - LADE_START_SOC) * 10,2 / 63$
LADE_START_SOC	Erster Wert von LADEZU-STAND_HOCHVOLTBATT vorherige Fahrt
LADE_END_SOC	Letzter Wert von LADEZU-STAND_HOCHVOLTBATT folgende Fahrt
LADE_START_KMSTAND	MIN(KILOMETERZAEHLER) vorherige Fahrt

8.4 Betrachtung des Messfehlers und der Messunsicherheit für elektrische Größen

Für die Berechnung des auftretenden Messfehlers werden die Herstellerangaben zu den im Messgerät Dewe 2602 verbauten Messmodulen herangezogen. Diese sind:

- Stromwandler des Typs PNA CLAMP 150 DC in Verbindung mit den Spannungsmessmodulen vom Typs DAQP-LV und
- Spannungsmessmodule vom Typ DAQP-HV,

wofür in Abb. 147 die Messfehler, aufgeteilt in Messwert- und Messbereichsfehler, dargestellt sind. Die angegebenen relativen Fehler beziehen sich bei der AC-Messung auf den quadratischen Mittelwert und bei der DC-Messung auf den arithmetischen Mittelwert. Dabei wurden die unterschiedlichen Messbereiche von 125 A für die AC-Strommessung, 250 A für die DC-Strommessung und 800 V für die AC- und DC-Spannungsmessung berücksichtigt. Auch berücksichtigt wurde der durch das Erdmagnetfeld potentiell verursachte Fehler in den Stromwandlern, dieser ist im Messbereichsfehler der Stromwandler mit angegeben.

Messmodule	Messfehler AC- Messung		Messfehler DC-Messung	
	Linearität	+ Offset	Linearität	+ Offset
PNA CLAMP 150 DC Stromwandler	± 0,3 %	± 0,01 %	± 0,3 %	± 0,005 %
DAQP-LV Spannungsmessmodulen	± 0,12 %	± 0,15 %	± 0,02 %	± 0,05 %
DAQP-HV Spannungsmessmodulen	± 0,15 %	± 0,15 %	± 0,05 %	± 0,05 %

Abb. 147 Messfehler der verwendeten Messmodule und -wandler

Aus Abb. 147 kann für die direkt mit dem DAQP-HV-Modul durchgeführte AC-Spannungsmessung, der relative Messwertfehler δU_{Lin_AC} und der relative Messbereichsfehler δU_{Off_AC} abgelesen werden:

$$\begin{aligned}\delta U_{Lin_AC} &= \pm 0,15\% \\ \delta U_{Off_AC} &= \pm 0,15\%\end{aligned}$$

Dies gilt ebenso für den relativen Messwertfehler δU_{Lin_DC} und den relativen Messbereichsfehler δU_{Off_DC} der DC-Spannungsmessung:

$$\begin{aligned}\delta U_{Lin_DC} &= \pm 0,05\% \\ \delta U_{Off_DC} &= \pm 0,05\%\end{aligned}$$

Um die Messfehler der Strommessung zu ermitteln, wird die Messkette bestehend aus dem Stromwandler PNA-CLAMP-150-DC und dem Spannungsmessmodul DAQP-LV betrachtet. Da das vom Stromwandler generierte Spannungssignal im Spannungsmessmodul weiterverarbeitet wird, ist für den Messwertfehler von einer korrelierten Fehlerfortpflanzung über die Messkette auszugehen. Der korrelierte relative Fehler für die einfache Multiplikation der Messwerte ergibt sich nach dem Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz gemäß der folgenden Gleichung (1) aus der Quadratwurzel der Quadratsumme der Messwertfehler (vgl. (Hering, 2004)):

$$\begin{aligned}(1) \quad \delta I_{Lin} &= \sqrt{(\delta I_{Lin_PNA})^2 + (\delta U_{Lin_LV})^2} \\ \delta I_{Lin_AC} &= \sqrt{(\pm 0,3\%)^2 + (\pm 0,12\%)^2} = \pm 0,3231\% \approx \pm 0,33\% \\ \delta I_{Lin_DC} &= \sqrt{(\pm 0,3\%)^2 + (\pm 0,02\%)^2} \approx \pm 0,3007\% \approx \pm 0,3\%\end{aligned}$$

Für den Messbereichsfehler der Strommessung ist hingegen anzunehmen, dass keine Korrelation vorliegt, da sich ein Offset bei der Messung mit dem Stromwandler potentiell vollständig über das Spannungsmessmodul fortpflanzt. Daher ist für den Messbereichsfehler die Summe der Beträge der Einzelfehler gemäß der folgenden Gleichung (2) anzusetzen:

$$\begin{aligned}(2) \quad \delta I_{Off} &= |\delta I_{Off_PNA}| + |\delta U_{Off_LV}| \\ \delta I_{Off_AC} &= |\pm 0,01\%| + |\pm 0,15\%| = \pm 0,16\% \\ \delta I_{Off_DC} &= |\pm 0,005\%| + |\pm 0,05\%| = \pm 0,06\%\end{aligned}$$

Entsprechend den Regeln zur Fehlerfortpflanzung (vgl. (Hering, 2004)) kann für die ermittelten DC-Leistungswerte (vgl. Gleichung (3)) der absolute Messwertfehler $\Delta P_{\text{Lin_DC}}$ nach Gleichung (4) berechnet werden. Es ergibt sich daraus der relative Messwertfehler $\delta P_{\text{Lin_DC}}$ als Quadratwurzel der Quadratsumme der Messwertfehler für die Spannungsmessung $\delta U_{\text{Lin_DC}}$ und die Strommessung $\delta I_{\text{Lin_DC}}$.

$$(3) \quad P_{\text{DC}} = I_{\text{DC}} \cdot U_{\text{DC}}$$

$$(4) \quad \Delta P_{\text{Lin_DC}} = \sqrt{\left(\frac{\partial P_{\text{DC}}}{\partial I_{\text{DC}}} \Delta I_{\text{Lin_DC}}\right)^2 + \left(\frac{\partial P_{\text{DC}}}{\partial U_{\text{DC}}} \Delta U_{\text{Lin_DC}}\right)^2}$$

$$(5) \quad \delta P_{\text{Lin_DC}} = \sqrt{\delta I_{\text{Lin_DC}}^2 + \delta U_{\text{Lin_DC}}^2}$$

$$\delta P_{\text{Lin_DC}} = \sqrt{\pm 0,3\%^2 + \pm 0,05\%^2} \cong \pm 0,3041\% \approx \pm 0,31\%$$

Der absolute Messbereichsfehler der DC-Leistungsmessung $\Delta P_{\text{Off_DC}}$ wird als Summe der Betragswerte der relativen Messbereichsfehler für die Strom- und die Spannungsmessern multipliziert mit dem Messbereich $P_{\text{Messb.}}$ angegeben (siehe Gleichung (8)), da es sich um nicht korrelierte Fehler handelt. Der Messbereich der DC-Leistungsmessung $P_{\text{DC_Messb.}}$ wurde auf 200 kW festgelegt. Abgeleitet wurde die Gleichung zur Berechnung von $\Delta P_{\text{Off_DC}}$ aus der Gleichung (6) mit der Grundannahme zur Fehlerfortpflanzung von nicht korrelierten Fehlern aus Gleichung (7).

$$(6) \quad \Delta P_{\text{Off_DC}} = \left(\left| \frac{\partial P_{\text{DC}}}{\partial I_{\text{DC}}} \Delta I_{\text{Off_DC}} \right| + \left| \frac{\partial P_{\text{DC}}}{\partial U_{\text{DC}}} \Delta U_{\text{Off_DC}} \right| \right)$$

$$(7) \quad \delta P_{\text{Off_DC}} = (|\delta I_{\text{Off_DC}}| + |\delta U_{\text{Off_DC}}|)$$

$$(8) \quad \Delta P_{\text{Off_DC}} = (|\delta I_{\text{Off_DC}}| + |\delta U_{\text{Off_DC}}|) \cdot P_{\text{DC_Messb.}}$$

$$\Delta P_{\text{Off_DC}} = (|\pm 0,06\%| + |\pm 0,05\%|) \cdot 200 \text{ kW} = \pm 220 \text{ W}$$

Entsprechend den Regeln zur Fehlerfortpflanzung (siehe (Hering, 2004)) kann für die nach Gleichung (9) und (10) ermittelten AC-Leistungswerte, der absolute Messwertfehler zur gemessenen Leistung ΔP_1 nach Gleichung (11) berechnet werden. Es ergibt sich daraus der relative Messwertfehler δP_1 als Quadratwurzel der Quadratsumme der Messwertfehler für die Spannungsmessung $\delta U_{\text{Lin_AC}}$, die Strommessung $\delta I_{\text{Lin_AC}}$ und die $\cos\varphi$ -Messung $\delta \cos\varphi_{\text{Lin}}$.

$$(9) \quad P_{\text{AC}} = P_1 + P_2 + P_3$$

$$(10) \quad P_1 = I_1 \cdot U_1 \cdot \cos\varphi_1$$

Für die Messung des bestehenden Phasenwinkels φ zwischen Strom und Spannung bei 50 Hz bzw. des daraus resultierenden $\cos\varphi$ wie in Gleichung (10) verwendet, gibt der Hersteller einen sehr kleinen Fehler von $<0,1^\circ$ an, woraus ein quasi zu vernachlässigender Fehler für $\cos\varphi$ von max. $\delta \cos\varphi_{\text{Lin}} = 0,002\%$ resultiert.

$$(11) \quad \Delta P_1 = \sqrt{\left(\frac{\partial P_1}{\partial I_1} \Delta I_{\text{Lin_AC}}\right)^2 + \left(\frac{\partial P_1}{\partial U_1} \Delta U_{\text{Lin_AC}}\right)^2 + \left(\frac{\partial P_1}{\partial \cos\varphi_1} \Delta \cos\varphi_{\text{Lin}}\right)^2}$$

$$(12) \quad \delta P_1 = \sqrt{\delta I_{\text{Lin_AC}}^2 + \delta U_{\text{Lin_AC}}^2 + \delta \cos\varphi_{\text{Lin}}^2}$$

$$(13) \quad \delta P_{\text{Lin_AC}} = \sqrt{3 \cdot \delta I_{\text{Lin_AC}}^2 + 3 \cdot \delta U_{\text{Lin_AC}}^2 + 3 \cdot \delta \cos \varphi_{\text{Lin}}^2}$$

$$\delta P_{\text{Lin_AC}} = \sqrt{3 \cdot \pm 0,15\%^2 + 3 \cdot \pm 0,33\%^2 + 3 \cdot \pm 0,002^2}$$

$$\delta P_{\text{Lin_AC}} \cong \pm 0,6279\% \approx \pm 0,63\%$$

Der absolute Messbereichsfehler der AC-Leistungsmessung $\Delta P_{\text{Off_AC}}$ wird als Summe der Betragswerte der relativen Messbereichsfehler für die Strom- und Spannungsmessung multipliziert mit dem Messbereich angegeben (siehe Gleichung (14)), da es sich um nicht korrelierte Fehler handelt (vergleiche Herleitung für den DC-Fall). Der Messbereich der AC-Leistungsmessung $P_{\text{AC_Messb.}}$ wurde auf 100 kW festgelegt.

$$(14) \quad \Delta P_{\text{Off_AC}} = (|\pm \delta I_{\text{Off_AC}}| + |\pm \delta U_{\text{Off_AC}}|) \cdot P_{\text{AC_Messb.}}$$

$$\Delta P_{\text{Off_AC}} = (|\pm 0,16\%| + |\pm 0,15\%|) \cdot 100 \text{ kW} = \pm 310 \text{ W}$$

Für die weiteren elektrischen Größen Scheinleistung S , Blindleistung Q und AC-Energie E_{AC} ergeben sich dieselben Fehlerwerte, wie sie schon für die AC-Leistung berechnet wurden. Für die Größe der DC-Energie sind dieselben Fehlerwerte wie für die DC-Leistung anzusetzen. Allerdings muss der Offsetfehler von der Einheit Watt zu Wattstunden überführt werden, dabei wird der Messfehler der Zeitmessung vernachlässigt. Es gelten damit folgende Messfehler:

$$\begin{aligned} \delta S_{\text{Lin}} &= \pm 0,63\% \\ \Delta S_{\text{Off}} &= \pm 310 \text{ VA} \\ \delta Q_{\text{Lin}} &= \pm 0,63\% \\ \Delta Q_{\text{Off}} &= \pm 310 \text{ Var} \\ \delta E_{\text{Lin_AC}} &= \pm 0,63\% \\ \Delta E_{\text{Off_AC}} &= \pm 310 \text{ Wh} \\ \delta E_{\text{Lin_DC}} &= \pm 0,31\% \\ \Delta E_{\text{Off_DC}} &= \pm 220 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Für die Messfehler der ermittelten Ladewirkungsgrade muss eine weitere Fehlerfortpflanzung auf Basis der Fehler für die AC- und die DC-Leistung vorgenommen werden. Dies geschieht in Form der folgenden Gleichungen.

$$(15) \quad \eta = \frac{P_{\text{DC}}}{P_{\text{AC}}}$$

$$(16) \quad \Delta \eta_{\text{Lin}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial P_{\text{DC}}} \Delta P_{\text{Lin_DC}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial P_{\text{AC}}} \Delta P_{\text{Lin_AC}}\right)^2}$$

$$(17) \quad \delta \eta_{\text{Lin}} = \sqrt{\delta P_{\text{Lin_DC}}^2 + \delta P_{\text{Lin_AC}}^2}$$

$$\delta \eta_{\text{Lin}} = \sqrt{\pm 0,31\%^2 + \pm 0,63\%^2} \cong \pm 0,7021\% \approx \pm 0,7\%$$

Auch für den Messbereichsfehler kann im Fall des Wirkungsgrades ein Fehler abgeleitet werden, wie in den folgenden Gleichungen beschrieben wird.

$$(18) \quad \Delta \eta_{\text{Off}} = \left(\left| \frac{\partial \eta}{\partial P_{\text{DC}}} \Delta P_{\text{Off_DC}} \right| + \left| \frac{\partial \eta}{\partial P_{\text{AC}}} \Delta P_{\text{Off_AC}} \right| \right)$$

$$(19) \quad \delta \eta_{\text{Off}} = (|\delta P_{\text{Off_DC}}| + |\delta P_{\text{Off_AC}}|)$$

$$(20) \quad \Delta \eta_{\text{Off}} = (|\delta P_{\text{Off_DC}}| + |\delta P_{\text{Off_AC}}|) \cdot 1$$

$$\Delta \eta_{\text{Off}} = (|\pm 0,11\%| + |\pm 0,31\%|) \cdot 1 = \pm 0,0042$$

Um die Auswirkung des Fehlers auf die betrachteten Messergebnisse besser einschätzen zu können, sind in Abb. 148 die Fehlerkurven des relativen und absoluten Fehlers der DC- und AC-Leistungsmessung grafisch verdeutlicht.

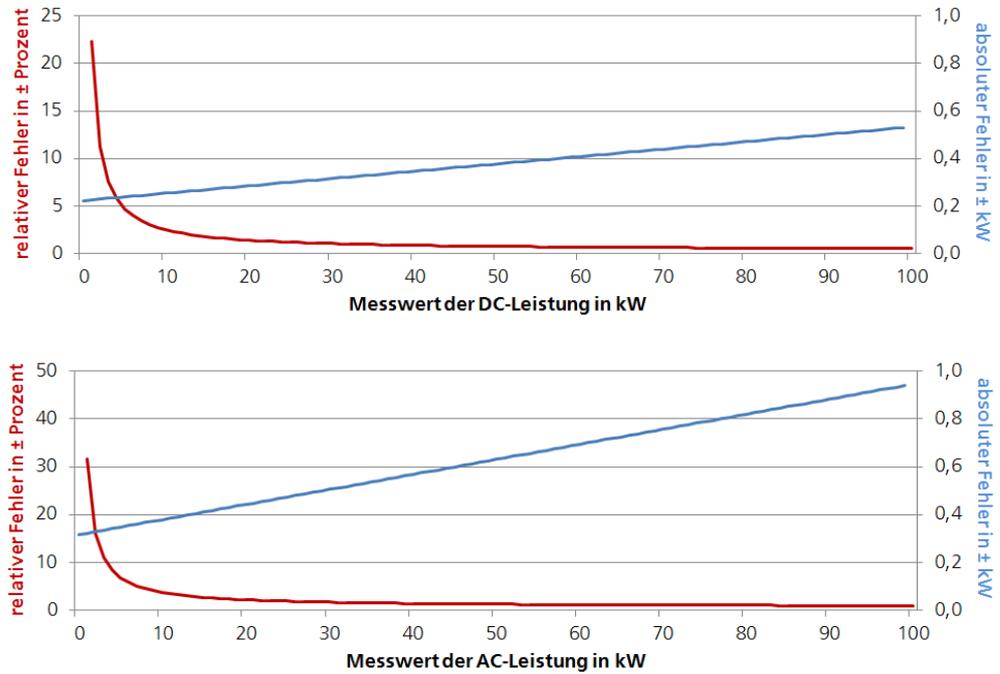


Abb. 148 Darstellung des relativen und absoluten Fehlers der DC-Leistungsmessung (oben) und der AC-Leistungsmessung (unten)

Abschließend zeigt Abb. 149 verschiedene Fehlerkurven des zu erwartenden absoluten Fehlers der Wirkungsgradmessung in Abhängigkeit der gemessenen AC-Leistung und für verschiedene Wirkungsgradwerte. Den Kurven liegt die folgende Gleichung (21) zu Grunde:

$$(21) \quad \Delta \eta = \frac{1}{P_{\text{AC}}} (|\Delta P_{\text{Off_DC}}| + |\eta \cdot \Delta P_{\text{Off_AC}}|) + \eta \cdot \delta \eta_{\text{Lin}}$$

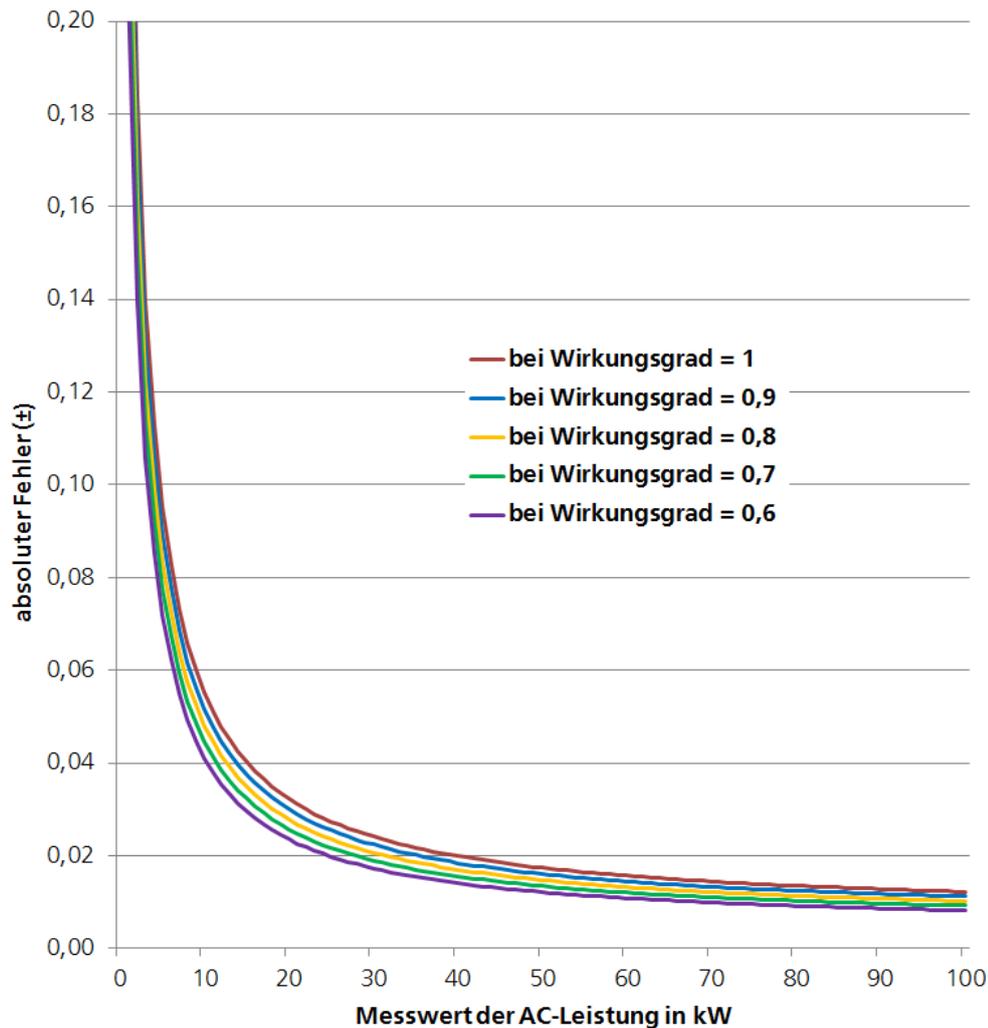


Abb. 149 Darstellung des absoluten Fehlers der Wirkungsgradmessung in Abhängigkeit der gemessenen AC-Leistung für verschiedene Wirkungsgrade

Deutlich sichtbar wirkt sich der Messbereichsfehler bei kleinen Messwerten stark auf die Höhe des absoluten Fehlers aus. Zum Messbereichsfehler muss aber noch angemerkt werden, dass durch die Möglichkeit einer Offsetanpassung in der verwendeten Messsoftware Dewesoft, der Messbereichsfehler schon vor einer Messung minimiert werden kann und dies bei den Messungen auch durchgeführt wurde. Bezüglich einer Quantifizierung der durchgeführten Offset-Anpassung und der daraus resultierenden Verringerung des Messbereichsfehlers kann leider keine Aussage getroffen werden, da diese immer nur zum Zeitpunkt der Anpassung gültig wäre und somit nicht für die gesamte Zeit einer Messung gilt.