

Fahrzyklen im E-Handwerk

Abschlussbericht über Forschungsprojekt zur Messung typischer Fahrzyklen im Bereich des Elektrohandwerks in Berlin

Als Grundlage zur Beurteilung des Einsatzes von Elektrofahrzeugen. (kurz: Fahrzyklen im E-Handwerk)

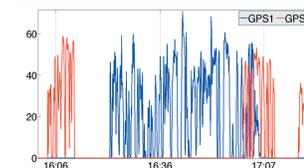
Projektleiter: Oliver Arnhold | Projektmitarbeiter: Oliver Hoch, Oliver Wallner

Danksagung

Sehr geehrte Projektbeteiligte,

wir bedanken uns bei Ihnen für die konstruktive und erkenntnisreiche Zusammenarbeit im Forschungsprojekt „E-Mobilität im E-Handwerk“. Durch die vom RLI aufgenommenen und analysierten Fahrzyklen aller beteiligten Firmen konnte ein erster Hinweis für den sinnvollen Einsatz und die allgemeine Machbarkeit der E-Mobilität im E-Handwerk erarbeitet werden. Somit kann mit Hilfe dieses Berichtes im Weiteren beurteilt werden, ob und wie die Elektromobilität für das E-Handwerk eine ökologische und ökonomisch sinnvolle Erweiterung oder Ergänzung zu den bestehenden Fahrzeugflotten darstellt.

Einen besonderen Dank richten wir an die beteiligten Fahrer der Firmen SWP Elektrotechnik GmbH aus Berlin Pankow, QFM Fernmelde- und Elektromontagen GmbH aus Berlin Tempelhof und Elektro Janz aus Berlin Tempelhof. Nur mit Ihrer Hilfe war es möglich ein aussagekräftiges Ergebnis zu generieren. Sie helfen damit persönlich die Elektromobilität voranzubringen und leisten der Gesellschaft und unserer Umwelt einen großen Dienst.



Zusammenfassung

Im E-Handwerk Berlin wächst das Interesse E-Fahrzeuge einzusetzen. Berlin als Großstadt mit Umweltzone eignet sich sehr gut für den Betrieb von E-Fahrzeugen. Fahrzeughersteller versprechen Reichweiten von ca. 80 km bis 130 km. Die Aufladezeiten der Batterien sind abhängig von den angeschlossenen Ladeleistungen und werden mit ca. 4 bis 12 Stunden angegeben. Inwieweit Elektrofahrzeuge im alltäglichen Betrieb des E-Handwerks sinnvoll eingesetzt werden können, ist derzeit unbekannt. Das RLI untersuchte daher in diesem Forschungsprojekt die aktuellen Fahrzyklen im E-Handwerk Berlins.

Dabei wurde an Hand von fünf realen Fahrzeugen eine Gesamtfahrstrecke von mehr als 10.000 km an ca. 40 Werktagen vermessen und ausgewertet. Um eine aussagekräftige Bewertung garantieren zu können, handelt es sich bei allen fünf Fahrzeugen um dieselbetriebene VW T5 mit vergleichbarer Motorleistung. Mittels GPS- und CAN-Bus-Datenlogger wurden dabei verschiedene Messgrößen, wie z.B. der Geschwindigkeitsverlauf und die abgerufenen Motorleistungen aufgenommen. Über die aufgezeichneten Geschwindigkeiten wurden sowohl die gefahrenen Wegstrecken als auch die Standzeiten zwischen den Einzelfahrten bestimmt.

Die Auswertung erfolgte nach den vier Aspekten; Fahrstrecken, Standzeiten, gefahrenen Geschwindigkeiten und der Antriebsleistung. Die Ergebnisse wurden dabei den Herstellerangaben eines Referenz-Elektrofahrzeugs gegenübergestellt. Als Referenzfahrzeug diente ein Mercedes Vito E-Cell. Dieser erreicht nach dem Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) eine maximale Reichweite von 130 km und unter schlechtesten realen Bedingungen von ca. 80 km. Die Höchstgeschwindigkeit begrenzt der Hersteller zugunsten der Reichweite auf 80 km/h. Die gemessenen Gesamtfahrstrecken der einzelnen Fahrzeuge schwanden

ken im Messzeitraum stark zwischen 738 km und 3.895 km. Die Definition der Einzelfahrstecken ist von der Länge der dazwischen liegenden Standzeiten abhängig. Werden Standzeiten von 6 Stunden definiert (entspricht der vollständigen Ladezeit mit 6,4 kW Ladeleistung für die 36 kWh der Fahrzeugbatterie) könnten durchschnittlich 95 % der Fahrten vom Referenz-Elektrofahrzeug unter guten Bedingungen ersetzt werden. Wird eine vollständige Aufladung mit 3,7 kW unterstellt, könnte das Referenzfahrzeug 88 % der Fahrten substituieren. Die gemessenen Standzeiten am Einsatzort wären in 45 % der Fälle ausreichend lang (mindestens sechs Stunden), um das Fahrzeug über das 380/400 V-Netz laden zu können. Die kürzeren Standzeiten könnten allerdings ebenfalls für eine Zwischenladung tagsüber genutzt werden, wenn die Fahrzeugbatterie nicht komplett entladen wurde. Dabei muss genauer untersucht werden, in wieweit die vorhandene Ladeinfrastruktur den Bedarf der Zwischenladung abdecken kann. Die gemessenen Höchstgeschwindigkeiten liegen mit 136 bis 159 km/h zwar deutlich über der Maximalgeschwindigkeit des Referenz-E-Fahrzeugs. Über 90 % der ermittelten Geschwindigkeiten liegen jedoch unter 80 km/h. Mit einem Anteil von ca. 10 % hat der Geschwindigkeitsbereich von 46 bis 50 km/h die größte Bedeutung. Die Leistung des Referenz-E-Fahrzeugs liegt mit 60 kW nur sehr knapp unter den 61 kW Leistung von vier der fünf VW T5. Lediglich eines der betrachteten Fahrzeuge wird selten ausgenutzt, denn 90 % der abgerufenen Leistungen liegen unter 30 kW. Es treten daher keinerlei Einschränkungen in der Antriebsleistung auf. Die Untersuchung realer Fahrzyklen im Elektrohandwerk hat ergeben, dass schon heute der größ-

te Anteil der Fahrenforderung von Elektrofahrzeuge abgedeckt werden kann. Technische Detailfragestellungen der Elektromobilität können jedoch nur in einem Feldtest mit Elektrofahrzeugen untersucht und bewertet werden. Für die Bewertung der realen Einsatzmöglichkeiten von Elektrofahrzeugen muss auch eine Wirtschaftlichkeitsanalyse erfolgen.

1 Einleitung – Ziel des Projektes

Die Elektromobilität ist in den Medien, Politik, Wirtschaft, aber auch bei Privatpersonen sehr präsent. Jedem sind auch die aktuell verwendeten Schlagworte: Klimaprobleme, steigende Mobilitätskosten, erneuerbare Energien bewusst und veranlassen sich mit diesen Thema zu beschäftigen. Für potentielle Nutzer ist es daher wichtig, die Einsatzmöglichkeiten aber auch die Hemmnisse der Elektromobilität zu kennen. Gerade für den innerstädtischen gewerblichen Verkehr, der mit nur 5 % der städtischen Fahrzeuge ca. 20 % des Verkehrs ausmacht eignet sich die Elektromobilität sehr gut. [ISB12] Aus diesen genannten Gründen interessiert sich die Feb Fördergesellschaft Berlin sehr an dem Einsatz von E-Fahrzeugen im städtischen Betrieb. Es ist jedoch bisher unbekannt, ob diese Fahrzeuge den Anforderungen von Firmen im E-Handwerk genügen.

Als Grundlage zur Bewertung des Einsatzes von E-Fahrzeugen im E-Handwerk wurden in diesem Forschungsprojekt reale Fahrdaten von fünf bereitgestellten Fahrzeuge (VW T5) aufgenommen. Die Messdaten wurden anonymisiert, um die Persönlichkeitsrechte der einzelnen Fahrer nicht zu tangieren. Im Rahmen des Projektes wurden die gesammelten Daten durch das RLI aufbereitet, ausgewertet und analysiert. Das Ziel dieses Forschungsprojektes ist, den möglichen Einsatz von E-Fahrzeuge im E-Handwerk auf Basis

von gemessenen Fahrzyklen zu bewerten. Damit wird eine Grundlage für die Bewertung technischer Details in zukünftigen Feldversuchen erarbeitet und kann auch als erste Grundlage bei wirtschaftlichen Einschätzungen herangezogen werden.

2 Grundlagen 2.1 Elektro-Fahrzeuge

Batterieelektrische Fahrzeuge (auch E-Fahrzeuge, engl. Battery Electric Vehicle (BEV)) sind Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb und elektrochemischem Speicher. Als Basis einer Mobilität ohne fossile Kraftstoffe und bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien mit sehr niedrigen Schadstoffemissionen spielen BEVs bei der Betrachtung des zukünftigen Fahrzeugparks meist eine große Rolle. [RLI11]; [SZA11]

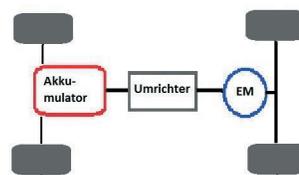
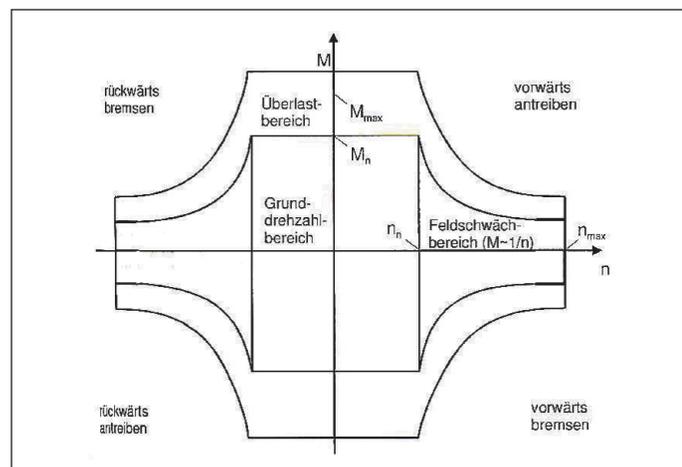


Abbildung 1: Vereinfachtes Antriebsschema eines batterieelektrisch angetriebenen Fahrzeugs [RLI11]

Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau eines Elektrofahrzeugs. Der Energiespeicher (rot dargestellt) ist der Akkumulator bzw. die Batterie, in neueren Fahrzeugen

werden nahezu ausschließlich Li-Ionen-Akkus verwendet. Der Umrichter wandelt den Gleichstrom der Batterie in den für die elektrische Antriebsmaschine benötigten Wechselstrom um. Daneben übernimmt der Umrichter Batteriemangementaufgaben und berücksichtigt Betriebsgrenzen [VIE07]. Die elektrische Antriebsmaschine bzw. der Elektromotor (EM) treibt das Fahrzeug an. Elektromotoren eignen sich aufgrund ihres Betriebsverhaltens für den mobilen Einsatz, da beim Anfahren (Drehzahl $n = 0$) das nahezu volle Drehmoment zur Verfügung steht. Diese Eigenschaft ist in der in Abbildung 2 dargestellten Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie zu erkennen. Des Weiteren können bei Elektromotoren kurzzeitige Leistungssteigerungen durch Überlasten erreicht werden. Beim Bremsen des Fahrzeuges kann Energie zurückgewonnen werden, da der Elektromotor auch als Generator betrieben werden kann (Rekuperation). Vorteile des Elektrofahrzeugs sind die lokale Emissionsfreiheit bzw. bei Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien auch die globale (nahezu) Emissionsfreiheit sowie hohe Wirkungsgrade der Elemente im Antriebsstrang. Nachteilig wirken

Abbildung 2: Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie eines Elektromotors [WAL10]



sich meist die verringerte Reichweite und hohe Kosten der Fahrzeuge aus (beides verursacht durch Akkumulatoren).

Aufladungskonzepte

Die Aufladung von Elektrofahrzeugen kann auf unterschiedliche Arten erfolgen. Es wird zwischen öffentlichen Ladestrukturen (z.B. Parkhäuser oder Stromtankstellen) und privater Aufladung (Haushaltsanschluss oder Schnellladung) unterschieden. Daneben gibt es unterschiedliche Ladetechniken, die im Folgenden kurz erläutert werden. [DOE09]

Ungesteuerte, unidirektionale Ladung

Elektrofahrzeuge werden ohne Steuerung und ohne Möglichkeit zur Rückspeisung in das Netz (V2G, siehe unten) beladen. Zugangspunkte sind an privaten und öffentlichen Parkmöglichkeiten denkbar.

Die vollständige Aufladung am Haushaltsanschluss ist zwar einfach zu realisieren, dauert aber wegen der geringen abgegebenen Leistung (in Deutschland üblicher Anschluss: 230 V bei 16 A = 3,68 kW) mehrere Stunden.

Vorteile der ungesteuerten, unidirektionalen Ladung sind die geringen Kosten: Kommunikations- und Steuerungstechnik entfallen und Haushaltsanschlüsse sind in der Regel vorhanden. Bei geringer Durchsetzung der Fahrzeugflotte mit Elektrofahrzeugen ist die ungesteuerte Aufladung unproblematisch und bei heutigen Elektrofahrzeugen der Standard. Bei einem hohen Elektrofahrzeugdurchsatz kann es aber bei gleichzeitiger Aufladung mehrerer Fahrzeuge zu ungewollten Lastspitzen oder Spannungsabfällen im Netz kommen, die nur durch eine gesteuerte Ladung vermieden werden können. [VDE10]

Gesteuerte, unidirektionale Ladung

Der Ladevorgang der Elektrofahrzeuge wird gesteuert, aber ohne

die Möglichkeit zur Rückeinspeisung in das Netz. Die Steuerung erfolgt dabei über eine Kommunikationsstruktur im Fahrzeug oder an der Ladeinfrastruktur. Deutlicher Vorteil ist die Planbarkeit der Ladung bzw. der Netzlast und damit die Vermeidung von Überlasten. Nachteilig wirken sich hier die Kosten für die Kommunikationstechnik sowie die mangelnde Kundenakzeptanz bei Fremdeinwirkung auf den Ladevorgang aus.

Auch eine indirekte Steuerung, etwa über gestufte bzw. dynamische Tarifsysteme, ist denkbar. Hier wird dem Fahrzeugnutzer der Stromtarif als „Ladesignal“ übermittelt. Damit wird höchstwahrscheinlich die Kundenakzeptanz gesteigert, da die Entscheidung, ob geladen wird oder nicht, beim Kunden verbleibt. Allerdings muss auch hier eine übermäßige gleichzeitige Ladung bzw. ein „Lawineneffekt“ vermieden werden. [VDE10]

Gesteuerte, bidirektionale Ladung

Ein weiterer Aspekt bei der großflächigen Einführung von elektrischen Fahrzeugen ist die Nutzung der verbauten Akkumulatoren als Zwischenspeicher für die Stromerzeugung, also eine Netzintegration von Elektrofahrzeugen zur Nutzung der Speicherkapazitäten. Dieses Konzept ist unter dem Kürzel V2G (vehicle to grid, dt.: Fahrzeug zum Netz) bekannt geworden und basiert hauptsächlich auf der Tatsache, dass Fahrzeuge den meisten Teil ihrer Lebensdauer stehen.

Nachteil des V2G kann die Verringerung der Lebensdauer der verwendeten Batterien sein, da durch die Zwischenspeicherung die Zyklenzahl der Batterie erhöht wird. Viele technische und wirtschaftliche Fragen rund um das V2G sind ungeklärt. Dazu gehören die durch höhere Zyklenzahl verursachte stärkere Alterung der Traktionsbatterie oder die Identifizierung einzelner Fahrzeuge an den Ladestationen. [VDE10]

Des Weiteren fehlen ökonomisch sinnvolle Verwertungsstrategien die dem Kunden von dem V2G Ansatz überzeugen. Bei Systemdienstleistungen, wie der Frequenzstabilisierung bzw. Regelenergiebereitstellung, ergeben sich Verwertungsstrategien, die dem Kunden einen wirtschaftlichen Vorteil versprechen. Dies könnte unter Umständen die Refinanzierung der teuren Batterie erheblich erleichtern.

Schnellladestation

Es muss zwischen zwei unterschiedlichen Arten von Schnellladestationen unterschieden werden.

- Ladestationen, die an das 380/400 V-Netz angeschlossen sind, haben eine Ladeleistung von ca. 6,4 kW. Das ist ungefähr doppelt so viel wie bei Ladesäulen am „normalen“ 230 V-Netz. Demzufolge halbiert sich ungefähr die benötigte Ladezeit.
- Die Ladung von E-Fahrzeugen kann auch mittel Gleichspannung erfolgen. Die Anschlussleistungen der Ladestationen liegen dann oberhalb von 30 kW. Die Ladeleistung entspricht dann dem zehnfachen einer herkömmlichen Ladung über das 230 V-Netz. Die benötigte Zeit zur Aufladung der Batterie reduziert sich demnach auf ca. 10 %. Eine Ladung dieser Art würde die Möglichkeiten der Elektromobilität deutlich steigern. Allerdings sind hierbei auch die höhere Bat-

teriebelastung sowie die punktuell sehr hohe Belastung des Netzes zu beachten. Eine Betrachtung in diesem Forschungsprojekt wurde nicht vorgenommen, da es zurzeit keine vergleichbaren Elektrofahrzeuge mit der Möglichkeit der Gleichstromladung gibt. [VDE10]

Batteriewechselstation

Dieses Konzept sieht den Austausch der ganzen Batterie in einer Wechselstation vor. Maßgeblich an der technischen Umsetzung ist das Unternehmen Better Place beteiligt, das Wechselstationen bereits in Yokohama (Japan), Guangzhou (China), Kopenhagen (Dänemark) sowie Haifa (Israel) realisiert hat. Nachteilig wirken sich die sehr hohen Investitionskosten aus. Da für die Fahrer des E-Handwerks eine zentrale Batteriewechselstation nicht praktikabel wäre, wurden Wechselstationen in diesem Projekt nicht weiter thematisiert. [BET10]

2.2 Problematik der Fahrzyklen

Standard Fahrzyklen, wie z.B. der in Abbildung 3 dargestellte neue Europäische Fahrzyklus (kurz NEFZ), werden zur Zertifizierung und Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs aller europäischen Kraftfahrzeuge herangezogen. Diese Standardisierung ist wichtig, um eine Vergleichbarkeit der Fahrzeuge zu gewährleisten. Allerdings spiegeln standardi-

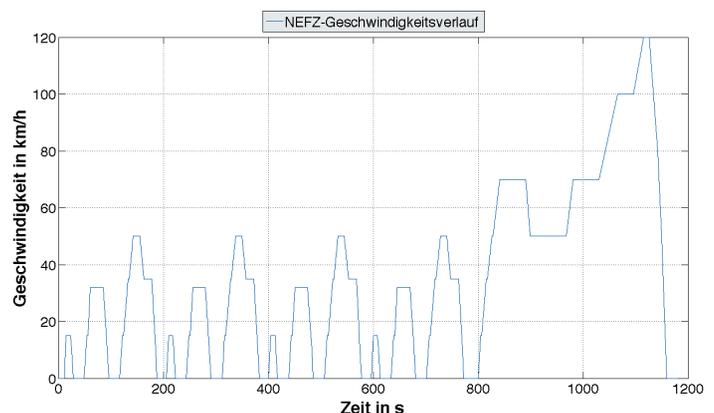


Abb. 3: Darstellung des neuen europäischen Fahrzyklus, [ENG07]

sierte Fahrzyklen selten die tatsächlichen Nutzerprofile wider. [ENG07] Um den möglichen Einsatz von Elektro-Fahrzeugen aussagekräftig beurteilen zu können, wurden in dem Forschungsprojekt reale Fahrzyklen des E-Handwerks aufgenommen und zur Bewertung herangezogen. Bei der Auswertung der Fahrzyklen müssen verschiedene Aspekte betrachtet werden:

- Fahrstrecken
- Standzeiten
- Beladung der Fahrzeuge
- Antriebsleistung

2.2.1 Fahrstrecken / Reichweite / Flexibilität

Die im Projekt betrachteten Fahrzeuge werden in Berlin, im Umland und teilweise darüber hinaus genutzt. Da es sich zum Teil um sehr kurzfristige Aufträge handelt, ist es für die Fahrer außerordentlich wichtig zu jeder Zeit flexibel zu sein. Ein mögliches Elektrofahrzeug darf keine Einschränkung im Bereich der genutzten Reichweite darstellen.

Im durchgeführten Forschungsprojekt wurden daher die realen Fahrstrecken der Fahrzeuge aufgenommen und analysiert. So können mögliche Einschränkungen ermittelt werden.

2.2.2 Standzeiten

Um eine vollständige Auswertung der Fahrzyklen zu ermöglichen, ist es notwendig neben der eigentlichen Fahrstrecke der Fahrzeuge auch die Standzeiten zum Wiederaufladen der Fahrzeuge zu analysieren. Die Dauer der Standzeiten ist in Bezug auf die Umstellung auf E-Fahrzeuge außerordentlich wichtig, da diese meist mehrere Stunden für eine Ladung benötigen.

2.2.3 Geschwindigkeiten

Da viele E-Fahrzeuge eine deutlich geringere Maximalgeschwindigkeit verglichen mit konventionellen Fahrzeugen besitzen, ist es wichtig in diesem Forschungsprojekt zu untersuchen ob die Fahrer

Einschränkungen bei dem Wechsel auf E-Fahrzeuge erwarten müssten. Allerdings ist die Höchstgeschwindigkeit bei Fahrten in Berlin und Umgebung kein essentieller Aspekt für die Bewertung der E-Mobilität.

2.2.4 Beladung der Fahrzeuge

Der Leistungsbedarf der Fahrzeuge steigt mit der Zuladung an. Ein schwer zu bewertender Aspekt ist der Beladungszustand der Fahrzeuge. Die zulässige maximale Zuladung der untersuchten Fahrzeuge beträgt ca. 970 kg, besonders Handwerksbetriebe nutzen diese oft aus. Gelegentlich (im betrachteten Messzeitraum nicht vorgekommen) werden Anhänger mit einer Masse von bis zu 300 kg genutzt.

Eine genaue Bestimmung der Zuladung wäre nur durch tägliches messen des Fahrzeuggewichts möglich. Das ist allerdings nur schwer umsetzbar, da es einen erheblichen Mehraufwand für die Fahrer bedeuten würde und ist daher im Forschungsprojekt unterblieben.

2.2.5 Antriebsleistung

In diesem Forschungsprojekt wird der momentane Leistungsbedarf der Fahrzeuge gemessen. Somit kann neben dem Fahrprofil, Nutzerverhalten, Steigung etc. auch der Einfluss des Beladungszustandes indirekt erfasst werden. Die vom Motor bereitgestellte Leistung kann mit dem entsprechenden Messgerät direkt über die Drehzahl und das Drehmoment bestimmt werden. (siehe Kapitel 2.3.2)

2.3 Messverfahren

Ein vollständiger Fahrzyklus eines Messfahrzeugs enthält sowohl die gefahrene Strecke, die Länge der einzelnen Standzeiten, die gefahrenen Geschwindigkeiten als auch den Verlauf des Leistungsbedarfs. Diese benötigten Daten werden mit Hilfe zweier unterschiedlicher Messgeräte aufgenommen:



Abbildung 4:
eingesetzter GPS-
Datenlogger [WIN12]

- GPS-Datenlogger
- CAN-Bus-Datenlogger

Die Auswertung der Messwerte erfolgte mit selbstentwickelten Auswerteskripten auf der Basis der Programmierumgebung „Matlab“. [MAT11]

2.3.1 GPS-Datenlogger

In jedem der fünf zur Verfügung stehenden Fahrzeuge war ein GPS-Datenlogger des Unternehmens Wintec installiert. [WIN12]

Dieser nimmt sowohl GPS-, GALILEO-, WAAS-, EGNOS- und MSAS-Signale auf, infolgedessen wird eine verbesserte Positionierung und eine höhere Genauigkeit der Messdaten erreicht.

Durch einen integrierten Bewegungssensor schaltet sich der Datenlogger bei Beginn einer Fahrt von alleine ein und bei längerem Stillstand wieder aus. So wird ermöglicht, dass nur genau die Daten aufgenommen werden, die auch für die Auswertung gebraucht werden. Detaillierte Angaben zum verwendeten GPS-Datenlogger befinden sich im Anhang.

2.3.2 CAN-Bus-Datenlogger

Neben den fünf GPS-Datenloggern wurde zur Messwertaufnahme noch ein CAN-Bus-Datenlogger verwendet. Dieser wird direkt an das On-Board-Diagnosesystem (OBD) des Fahrzeugs angeschlossen und liest die im Fahrzeug intern aufgenommenen Daten aus. Der verwendete

Datenlogger nimmt beispielsweise den Kraftstoffverbrauch, die Geschwindigkeit, die Motordrehzahl, das Drehmoment und viele weitere Messgrößen direkt aus der Bordelektronik auf und ist daher äußerst präzise.

Da nur einer dieser Datenlogger zu Verfügung steht, werden die damit aufgenommenen Geschwindigkeitsdaten zur Überprüfung und zur Qualifizierung der durch die in jedem Fahrzeug vorhandenen GPS-Datenlogger verwendet.

Die Bestimmung der Antriebsleistung erfolgt mit dem CAN-Bus-Datenlogger, da dafür die Motordrehzahl und das Drehmoment benötigt werden. Diese beiden Messgrößen werden nur von diesem Gerät aufgenommen.

3 Methode

3.1 Untersuchte Fahrzeuge

Tabelle 1 listet die für dieses Projekt wichtigsten Kenndaten der untersuchten Fahrzeuge auf.

Bei allen betrachteten Fahrzeugen handelte es sich um dieselbetriebene VW T5 Transporter mit 62 bzw. 75 kW Leistung (in Tabelle 1 dargestellt) und manuellem Getriebe. Der Dieselmotor im VW T5 leistet in der 62 kW Variante 220 Nm und mit in der 75 kW Variante 250 Nm Drehmoment. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt bei beiden Modellen ca. 150 km/h. Alle der fünf betrachteten Fahrzeuge haben ein Leergewicht von ca. 2.030 kg und eine maximale

Tabelle 1: Fahrzeugkennndaten

	Baujahr	Motorleistung [kW] (PS)	Reifen
Fahrzeug 1	2010	62(84)	215/65 MS
Fahrzeug 2	2010	62(84)	215/65 MS
Fahrzeug 3	2009	62(84)	215/65 MS
Fahrzeug 4	2010	62(84)	215/65 MS
Fahrzeug 5	2007	75(102)	215/65 MS

Zuladung von ca. 970 kg bei einem Gepäckraumvolumen von 4,3 m³. Die Fahrzeuge werden ausschließlich in Berlin und Umgebung gefahren. Die Fahrer pendeln täglich vom Wohnort zu den jeweiligen Einsatzorten und zurück. Ein zentraler Nachtstandort der Fahrzeuge auf dem jeweiligen Betriebsgelände der einzelnen Firmen ist nicht gegeben.



Abbildung 5:
Im Projekt beteiligte Firmenfahrzeuge (Elektro Janz, QFM, SWP)

3.2 Einbau der verwendeten Messtechnik

Die GPS-Logger wurden in jedem der fünf VW T5, wie Abbildung 6 zeigt, auf dem Armaturenbrett befestigt. So haben alle den optimalen Empfang und mögliche Fehler durch Aussetzer können minimiert werden. Als Anschluss wird nur ein 12 V-Stecker zur Stromversorgung benötigt.

Der CAN-Bus-Datenlogger ist direkt am OBD-Stecker im Fahrerfußraum des Fahrzeugs angeschlossen (Abbildung 7 linkes Bild). Somit greift er unmittelbar auf die Daten aus dem Motorsteuergerät zu. Vor dem Einbau des Datenloggers unter dem Fahrersitz wird er zum Schutz vor Beschädigungen in Luftpolsterfolie verpackt (Abbildung 7 rechtes Bild). Das Kabel wird im Fußraum hinter

der Mittelkonsolenverkleidung verlegt und muss nur das kurze Stück vom Ende der Mittelkonsole bis unter den Fahrersitz auf dem Boden angeklebt werden. So gibt es keiner-

lei Beeinträchtigung für die Fahrer. Prinzipiell wären auch andere Einbauorte im Fahrzeug möglich allerdings sollte der Einbauaufwand so gering wie möglich gehalten werden.



Abbildung 6: Einbauplatzierung des GPS-Loggers auf dem Armaturenbrett



Abbildung 7:
Einbau des CAN-Bus-Datenloggers. Oben: Anschließen des CAN-Bus-Steckers im Fahrerfußraum. Rechts: CAN-Bus-Datenlogger (blau).

3.3 Messablauf / Messprogramm

Nach dem Einbau der Messtechnik in die fünf Fahrzeuge, wurden die Messdaten wöchentlich ausgelesen, aufbereitet und analysiert. Da nur ein CAN-Bus-Datenlogger zu Verfügung stand, war es erforderlich, dass dieser jede Woche in ein anderes Fahrzeug eingebaut wurde. Nach Beendigung der achtwöchigen Messphase wurden alle Datenlogger aus den Fahrzeugen ausgebaut. Die aufgenommenen Messdaten wurden zusammengefasst und auf Fehler überprüft. Anschließend erfolgte

die Auswertung der Gesamtdaten nach verschiedenen Aspekten. In Abbildung 8 sind alle einzelnen Schritte des Projektes als Flussdiagramm dargestellt. Der zusammenhängende achtwöchige Messzeitraum stellt nach Angaben der drei beteiligten Unternehmen einen typischen Fahrzyklus dar. Dennoch können saisonale Unterschiede in den Fahrzyklen nicht in den Messdaten abgebildet werden. Um die Fahrzyklen besser bewerten zu können, wäre ein einjähriger Messzeitraum wünschenswert. (siehe 7. Handlungsempfehlungen)

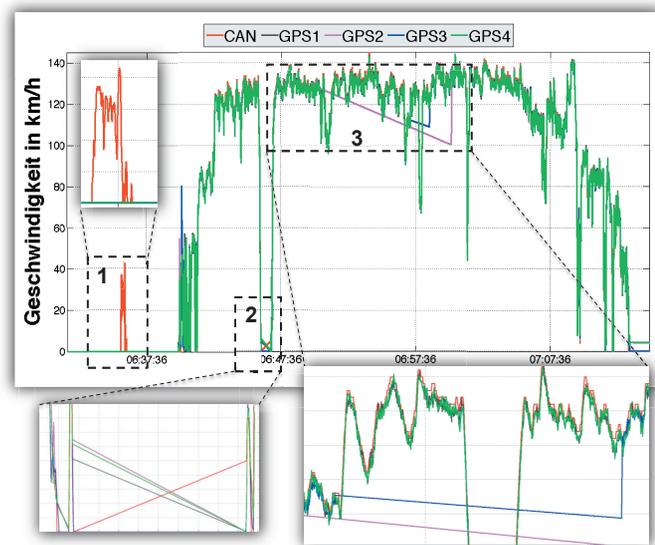
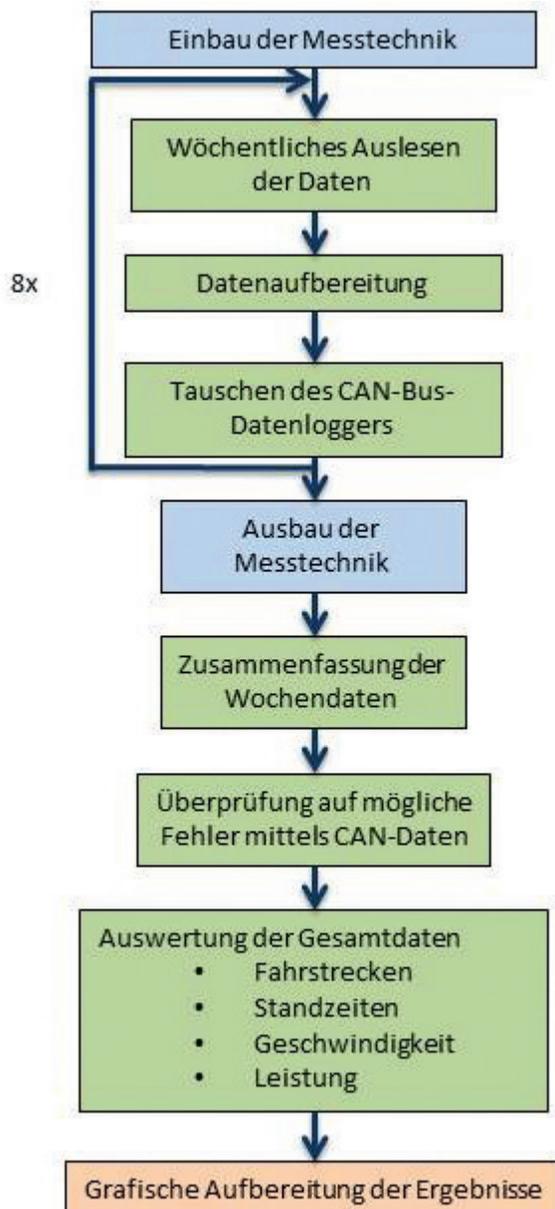


Abbildung 9: Fehlerarten der GPS- und CAN-Datenaufnahme dargestellt in den Ausschnitten 1 bis 3

3.4 Fehlererfassung / Messdatenaufbereitung

Messvorgänge sind immer fehlerbehaftet und können in systematische und zufällige Fehler unterteilt werden. Ein Teil dieser Fehler lässt sich korrigieren, die verbleibenden Fehler lassen sich lediglich abschätzen. Dazu wurden im Forschungsprojekt vor Beginn der eigentlichen Messwertaufnahme alle Datenlogger in das gleiche Fahrzeug eingebaut. So können die Fehler zwischen den einzelnen Datenloggern erkannt werden. In Abbildung 9 ist ein Ausschnitt aus den so aufgenommenen Messwerten dargestellt. Die von den GPS-Loggern aufgenommenen Messwerte enthalten verschiedene Fehler (1 bis 3) welche eine objektive Betrachtung der Gesamtergebnisse verhindern würden. Diese werden durch die entsprechenden Auswerteskripte korrigiert. Die verbleibenden, nicht zu korrigierenden Fehler liegen in der Größenordnung von $\pm 2\%$. Eine genaue Fehlerfortpflanzung wurde in diesem Forschungsprojekt, auf Grund des relativ kleinen Fehlers, nicht durchgeführt.

Abbildung 9 zeigt exemplarisch drei mögliche durch die Messung entstandene Fehlerarten:

1. Der GPS-Logger hat zu Beginn der Fahrt noch kein Signal. Es nimmt nur der CAN-Bus-Datenlogger (rot) eine Geschwindigkeit auf.
2. Bei kurzen Stopps des Fahrzeugs, z.B. an Ampeln, geht die vom GPS-Logger gemessene Geschwindigkeit nicht auf 0 km/h sondern fällt linear ab.
3. Wenn der GPS-Logger plötzlich keinen Satellitenempfang mehr hat, fällt die aufgenommene Geschwindigkeit geradlinig ab (blau und magenta). Diese entstehende Linie verbindet den letzten vor und den ersten Messpunkt nach dem Empfangsausfall. Da die Messpunkte sekundlich aufgenommen werden, sind die entstehenden Geschwindigkeitsverläufe sehr „kantig“. Durch eine in MatLab integrierte Filterfunktion werden diese geglättet ohne die Daten zu verfälschen. Das heißt die Fläche unter den Geschwindigkeitskurven, physikalisch die gefahrene Strecke, wird durch die Korrektur nicht beeinflusst.

Die in einer Woche gefahrene Strecke wird mittels der aufgenommenen Geschwindigkeiten berechnet und mit der von den Fahrern im Fahrtenbuch angegebenen Strecke verglichen. Somit können mögliche Aufzeichnungsfehler zielgerichtet identifiziert werden.

Zur Überprüfung der erhaltenen Messdaten werden in jeder Messwoche die Daten von einem der fünf GPS-Logger mit den durch den CAN-Bus-Datenlogger aufgenommenen Daten verglichen.

4 Auswertung

4.1 Referenz-E-Fahrzeug

Aufgrund der Ähnlichkeit in Größe, Form und Zuladung ist der E-Cell Vito mit den verwendeten VW T5 Verbrennungsfahrzeugen am besten zu vergleichen und stellt somit das Elektroreferenzfahrzeug dar. In Kapitel 6.2 „Handlungsempfehlungen“ werden weitere Elektrokleintransporter als Ersatz für die verwendeten T5 vorgestellt.

Der in Abbildung 10 dargestellte Mercedes Vito E-Cell bietet für alle folgenden Auswertungen die Grundlage des Referenzfahrzeugs. Optisch ist er identisch mit dem Mercedes Vito mit Verbrennungsmotor.

Wie in Abbildung 10 zu sehen, unterscheidet sich der strukturelle Aufbau eines Elektrofahrzeuges deutlich von einem mit fossilem Kraftstoff angetriebenen Fahrzeug. Der im Vito E-Cell verwendete permanent erregte Synchronmotor leistet 60 kW (82 PS) Dauerleistung und ein maximales Drehmoment von 280 Nm. Da das volle Drehmoment direkt beim Anfahren zu Verfügung steht, schafft er den Sprint von 0 auf 60 km/h in nur 6,5 Sekunden.

Da bei dem elektrisch angetriebenen Vito, als einziger der Vito-Familie, ausschließlich die Vorderäder angetrieben werden, bietet der Unterboden genug Platz für die benötigten Batterien. So sind die 16 Module der Lithium-Mangandioxid-Ionen-Batterie mit insgesamt 192 Zellen unter dem Ladeboden ver-

staut. Auf diese Weise wird das Ladevolumen des Vito E-Cell nicht beeinträchtigt. Die Batterien haben ein Gesamtgewicht von ca. 500 kg mit einer Gesamtkapazität von 36 kWh, von denen allerdings nur 32 kWh für den Fahrbetrieb nutzbar sind.

Aufgeladen werden die Batterien am 380/400 V-Netz mit einer Ladeleistung von 6,4 kW. Eine vollständige Aufladung dauert so maximal sechs Stunden. Alternativ kann das Fahrzeug auch am 230 V-Netz geladen werden, allerdings verdoppelt sich dann die Ladedauer auf maximal zwölf Stunden.

Um eine maximale Reichweite von 130 km nach NEFZ zu gewähren, wurden beim Vito E-Cell z.B. auf eine Klimaanlage verzichtet. Ebenso wurde die Höchstgeschwindigkeit elektronisch auf 80 km/h begrenzt. [ATZ11]

4.2 Fahrzyklenanalyse

Die Auswertung der Messdaten erfolgte nach mehreren Kriterien:

1. Fahrstrecken
2. Standzeiten
3. Geschwindigkeiten
4. Leistung

4.2.1 Fahrstrecken

Für die Auswertung der einzelnen Fahrstreckenlängen wird anfangs definiert, dass eine Fahrt eine minimale Dauer von drei Minuten hat. Somit werden weitere Fehler der GPS-Daten-Aufnahme behoben, da manche der fünf GPS-Logger nachts kurze Fahrten aufgenommen haben, zu Zeiten an denen sich das Fahrzeug nicht bewegt hat.

Die im gesamten Messzeitraum zusammengefassten Messdaten werden so aufgeteilt, dass jede Fahrt als separater Datensatz erfasst ist. Das für die Abgrenzung verwendete Kriterium ist die Standzeit zwischen zwei Fahrten, diese kann für verschiedene Betrachtungen variiert werden.

Für jede der einzelnen Fahrten wird die gefahrene Strecke errechnet, um ein Bewertungskriterium für die mögliche Umstellung auf Elektrofahrzeuge zu erhalten.

Die Auswertung erfolgt für jedes der Fahrzeuge einzeln, sowie für die Gesamtheit der Messdaten aller fünf Fahrzeuge. So können Unterschiede zwischen den einzelnen Fahrzeugen besser festgestellt werden.

4.2.2 Standzeiten

Es werden alle im Messzeitraum vorkommenden Standzeiten separiert und jeweils die Dauer berechnet. Zur Vermeidung von Fehlern wird eine minimale Standzeit von drei Minuten vorausgesetzt. So werden z.B. Stopps an Ampeln nicht als Standzeit gezählt. Wie in Abschnitt 4.2.1 ist auch bei dieser Betrachtung eine minimale Fahrzeit von drei Minuten definiert.

Die Betrachtung der Standzeiten ist in Bezug auf die Möglichkeit ein genutztes Elektroauto zu laden, außerordentlich wichtig.

Die Auswertung der Standzeiten erfolgt nur für die Gesamtheit der Messdaten. Da die Fahrzeuge täglich unterschiedliche Fahrstrecken und Fahrzeiten haben, variieren sowohl die Standzeiten tagsüber, als auch die Nachtstandzeiten.

Abbildung 10: Innen- und Außenansicht des Mercedes Benz Vito E-Cell [BEN12]



4.2.3 Geschwindigkeiten

Zur Auswertung der Geschwindigkeiten werden alle im Messzeitraum aufgenommenen Geschwindigkeiten betrachtet. Es wird, wie in Abschnitt 4.2.2, nicht zwischen den Fahrzeugen unterschieden. Die Auswertung der Geschwindigkeiten spielt für die Betrachtung, ob der Einsatz von Elektrofahrzeugen möglich wäre, nur eine nebensächliche Rolle.

4.2.4 Antriebsleistung

Aus dem aufgenommenen Drehmoment sowie der dazugehörigen Drehzahl lässt sich die abgerufene Leistung berechnen. Es wird, wie bei der Betrachtung der Standzeiten und der Geschwindigkeit, nicht zwischen den einzelnen Fahrzeugen unterschieden. Da die Leistung des Referenzfahrzeugs ähnlich ist, hat dieser Aspekt keinen großen Einfluss auf die Bewertung der E-Mobilität. Es kann jedoch geschlossen werden, in wie weit die Fahrzeuge ihre maximale Leistung ausnutzen. Möglicherweise wäre ein Wechsel auf E-Fahrzeuge mit weniger Leistung realisierbar.

5 Ergebnisse

5.1 Nutzerbezogene Fahrzyklen

In ca. 40 Werktagen legten die 5 Fahrzeuge mehr als 10.000 km zurück. Abbildung 11 vermittelt einen beispielhaften Überblick über die gefahrenen Strecken zweier Fahrzeuge in einem Ausschnitt von drei Messtagen. Es wurde ein Fahrzeug mit mittlerer Fahrstrecke (Fahrzeug 1 mit 160 km, blau) und ein Fahrzeug mit geringer Fahrstrecke (Fahrzeug 5 mit 27 km, rot) in einem Geschwindigkeits-Zeit Diagramm dargestellt.

Die obige Detaildarstellung (einstündiger Ausschnitt) zeigt einen Fahrzyklus von 23 km (Fahrzeug 1) und 8 km (Fahrzeug 5). Da die Geschwindigkeiten sekundlich aufgezeichnet wurden lässt sich die zurückgelegte Strecke sehr einfach ermitteln. Die Summe der aufgezzeichneten Geschwindigkeitsmesspunkte ergibt die gefahrene Wegstrecke in km.

RLI gGmbH 23.03.2012 Seite 25/38
In Abbildung 12 sind 2 Tagesfahrverläufe exemplarisch in einer Berlinkarte dargestellt. Die deutlichen Unterschiede zwischen den Fahrstrecken sind hier gut zu erkennen. Da eine Gesamtdarstellung aller Fahrzyklen, wie auch in Abbildung 11, nicht übersichtlich wäre, werden die Fahrzyklen in der Tabelle 2 detailliert angegeben. Hierbei werden die großen Unterschiede der individuellen Gesamtfahrstrecke deutlich. So legte das „Fahrzeug 2“ mit 3.895 km beispielsweise mehr als fünfmal so viel Strecke zurück wie das „Fahrzeug 5“ (738 km).

Die maximal gefahrene Geschwindigkeit unterscheidet sich dagegen nicht sonderlich stark. Sie liegt bei allen fünf Fahrzeugen im Bereich zwischen 136 km/h und 159 km/h. Die genaue Auswertung der Messdaten sind den folgenden vier Abschnitten Fahrstrecken, Standzeiten, Geschwindigkeiten und Antriebsleistung zu entnehmen.

Detaildarstellung

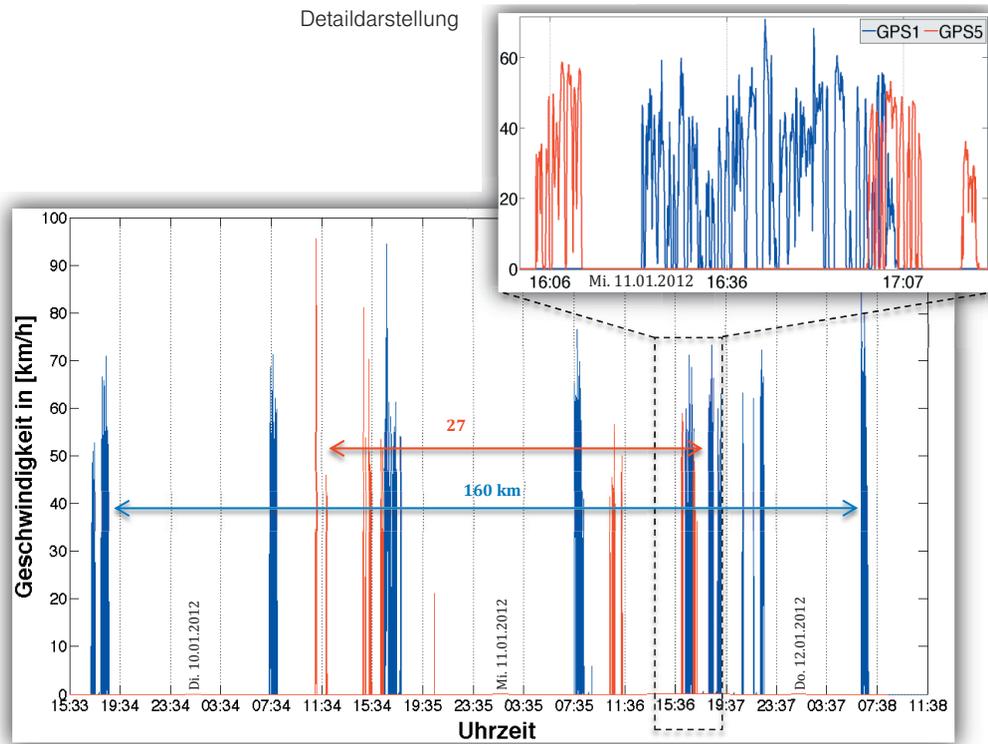


Abbildung 11: dreitägiger Ausschnitt aus dem Fahrzyklus von Fahrzeug eins (blau dargestellt) und fünf (rot dargestellt)

Abbildung 12:

zwei exemplarische Fahrverläufe durch Berlin



Tabelle 2: Gesamtdarstellung der fünf Fahrzeuge

Stand	Anzahl der Messtage	Gesamtfahrstrecke [km]	gesamte Fahrzeit [h]	gesamte Standzeit [h]	längste Einzelfahrt [km]*	maximale Geschwindigkeit [km/h]
14.02.2012						
Fahrzeug 1	66	2238	68	1508	103	136
Fahrzeug 2	66	3895	95	1359	84	146
Fahrzeug 3	28	1341	27	641	82	138
Fahrzeug 4	64	2006	66	1462	102	137
Fahrzeug 5	59	738	22	1312	44	159

*Bei einer minimalen Standzeit von drei Minuten (vgl. Kapitel 5.2)

5.2 Fahrstrecken

Zur Auswertung der Fahrstrecken wurden aus der Gesamtheit aller Messdaten die einzelnen Fahrstrecken generiert. Eine Einzelfahrt ist dabei definiert als Fahrt zwischen zwei Stopps, welche beide länger sind als drei Minuten. Somit werden die Einzelfahrten der Fahrzeuge nicht durch kurzes anhalten an roten Ampeln oder im Stau unterteilt.

In Abbildung 13 sind im oberen Diagramm die aus der Aufteilung resultierenden Einzelfahrten anteilig über den gefahrenen Strecken dargestellt. Die Aufteilung erfolgte für jedes der fünf Fahrzeuge, so können die unterschiedlichen Fahrzyklen besser analysiert werden.

Das untere Diagramm in Abbildung 13 zeigt die Verteilung aller einzelnen Fahrstrecken, wenn keine Unterscheidung zwischen den einzelnen Fahrzeugen vorgenommen wurde. Hierbei wurde die Gesamtheit aller Fahrten der fünf Fahrzeuge auf die einzelnen Säulen kumuliert.

Um den Einsatz von Elektrofahrzeugen bewerten zu können, wurde die maximale Reichweite des Referenz-Elektrofahrzeuges nach NEFZ bei optimalen Bedingungen (130 km, schwarz dargestellt), sowie die maximale Reichweite unter schlechtesten Bedingungen im Winter (80 km, als gestrichelte Linie dargestellt) in

beide Diagrammen mit eingefügt. [ATZ11]

Bei flüchtiger Betrachtung der Säulen in Abbildung 13 könnte geschlossen werden, dass so gut wie alle Fahrten mit dem Referenzelektroauto auch möglich wären. Lediglich 2 Fahrzeuge fuhren Strecken die länger sind als die im schlechtesten Fall möglichen 80 km. Fahrstrecken über 130 km sind in dieser Betrachtung bei keinem der fünf Fahrzeuge ersichtlich. Dagegen liegen knapp 70 % der Fahrten im Bereich unter 15 km. Allerdings lässt sich aus diesem Diagramm keine sichere Aussage treffen, ob der Einsatz von Elektrofahrzeugen wirklich sinnvoll wäre, da nicht bekannt ist wie lange genau die Standzeit zwischen zwei Einzelfahrten ist und welche Länge die nächste Fahrt hat. In diesem Forschungsprojekt wurde nicht betrachtet, ob am Einsatzort eine Lademöglichkeit zur Verfügung steht. Es kann daher nicht gewährleistet werden, dass das Fahrzeug zu Beginn der nächsten Fahrt eine 100 % vollgeladene Batterie besitzt. Auf Grund dessen wurden die Kriterien zur Aufteilung auf die Einzelfahrten angepasst. In Abbildung 14 wurde die Aufteilung mit einer Standzeit von mindestens zwölf Stunden zwischen zwei Einzelfahrten durchgeführt. Dies entspricht der notwen-

digen Zeit, um die Fahrzeugbatterie am „normalen“ 230 V-Netz vollständig laden zu können. Da jede bereits in Berlin installierte Ladesäule über einen solchen Stromanschluss verfügt, kann davon ausgegangen werden, dass zu Beginn jeder hier dargestellten Fahrt die Fahrzeugbatterie vollständig geladen werden konnte.

Während in Abbildung 13 knapp 70 % Fahrten eine Länge zwischen 0 und 15 km aufgewiesen hatte, ist in Abbildung 14 eine deutlich größere Streuung zu erkennen. Der größte Anteil der Fahrten liegt mit 21 % zwischen 31 km und 45 km. 12 % der Fahrten ist länger als die nach NEFZ maximale Reichweite des Referenzfahrzeuges von 130 km. Folglich wären vier von den betrachteten fünf Fahrern in ihrer genutzten Reichweite eingeschränkt.

Bei ungünstigen Bedingungen für das Elektrofahrzeug (80 km Reichweite) könnten ca. 70 % der Fahrten vom Elektrofahrzeug abgedeckt werden.

Unter der Annahme dass das Fahrzeug nicht bei jeder Fahrt vollständig entladen wird und dass es auch dreiphasig am 380/400 V-Netz geladen werden kann, wird in der folgenden Betrachtung die minimale Standzeit auf sechs Stunden verringert. Diese Zeit reicht am „nor-

malen“ 230 V-Netz aus um über die Hälfte der Batterie zu laden. Hat der Fahrer die Möglichkeit das Fahrzeug an das dreiphasige 380/400 V-Netz anzuschließen, genügt die Zeit um die Batterie vollständig laden zu können. In Abbildung 15 sind alle Fahrstrecken mit einer dazwischen liegenden Standzeit von mindestens sechs Stunden dargestellt.

Die Verteilung der Fahrstrecken in Abbildung 15 ist ähnlich zu Abbildung 14. Beträgt die Standzeit zwischen den Fahrten mindestens sechs Stunden, verschiebt sich die Häufigkeitsverteilung in Richtung geringerer Fahrstrecken. So können auch unter schlechten Bedingungen für das Referenzfahrzeug ca. 89 % aller Fahrten abgedeckt werden. Unter guten Bedingungen können 95 % der Fahrten mit dem Referenzfahrzeug substituiert werden. Nur zwei der fünf Fahrzeuge (Fahrzeug zwei und drei) haben mit 20 % und 70 % einen signifikanten Anteil ihrer Fahrten länger als die maximale Reichweite unter schlechtesten Bedingungen. Der Anteil der Strecken von Fahrzeug eins und vier, die länger sind als 80 km, liegt jeweils deutlich unter 5 %. Demnach hätten drei der fünf Fahrzeuge keinen bemerkbaren Nachteil bei einer Umstellung auf Elektrofahrzeuge. Die Voraussetzungen bei Fahrzeug fünf für die Umstellung auf ein Elektrofahrzeug sind ideal, da keine Strecken länger als 80 km gefahren wurden. Hier ist eine 100 %ige Deckung aller Fahrten mit dem Referenzelektrofahrzeug möglich.

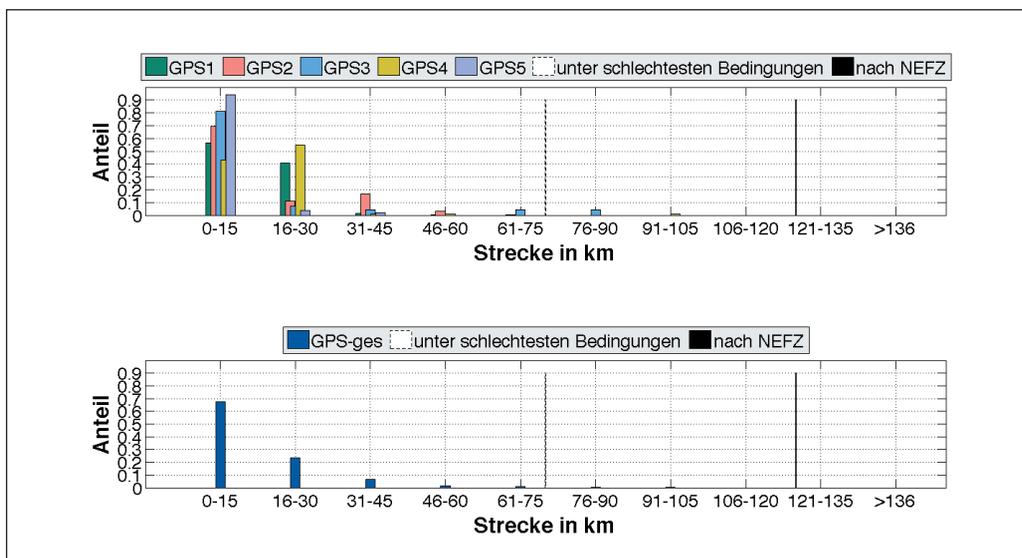


Abbildung 13: Anteil der Fahrstrecken mit einer Standzeit von mindestens drei Minuten. Oben: alle fünf Fahrzeuge einzeln. Unten: nach Fahrstrecke gewichteter Mittelwert aller Fahrzeuge

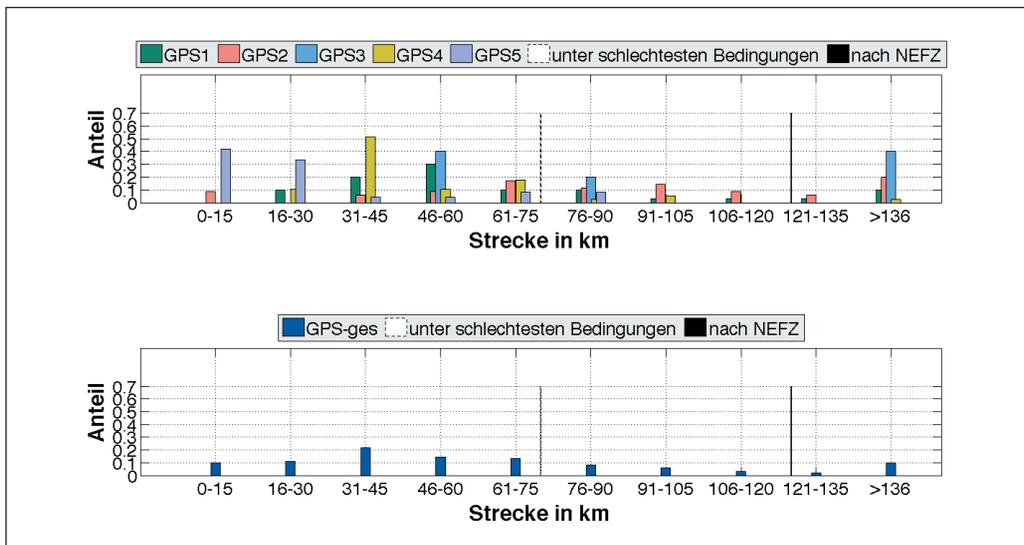


Abbildung 14:
Anteil der Fahrstrecken mit einer Standzeit von mindestens zwölf Stunden. Oben: alle fünf Fahrzeuge einzeln. Unten: nach Fahrstrecke gewichteter Mittelwert aller Fahrzeuge

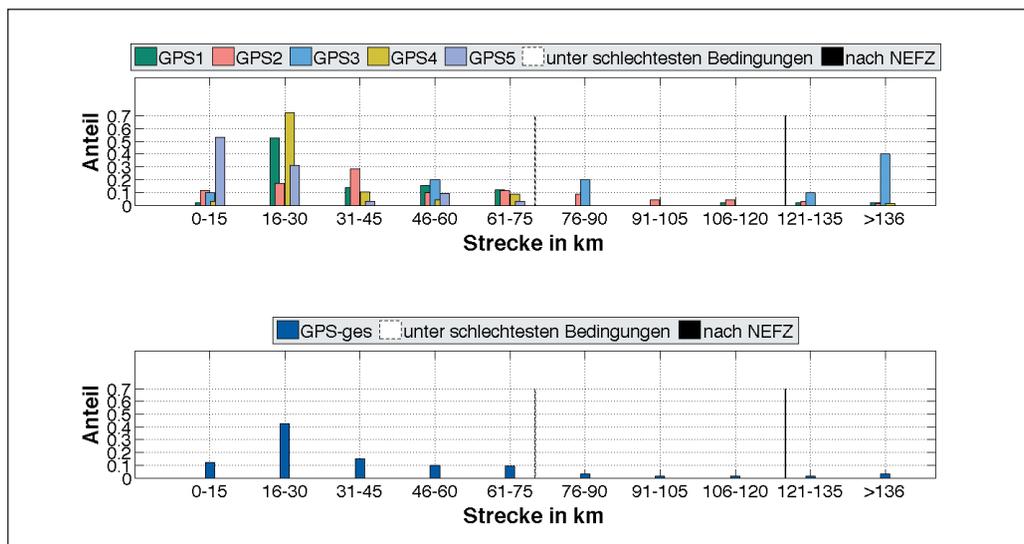


Abbildung 15:
Anteil der Fahrstrecken mit einer Standzeit von mindestens sechs Stunden. Oben: alle fünf Fahrzeuge einzeln. Unten: nach Fahrstrecke gewichteter Mittelwert aller Fahrzeuge

5.3 Standzeiten

Die Dauer der Standzeiten ist ausschlaggebend dafür, wie viel mit den beiden Ladeleistungen (3,7 kW und 6,4 kW) von der Batterie wieder aufgeladen werden kann. Da die Fahrzeuge am Wochenende ungenutzt sind, wurde die Länge der maximalen Standzeit auf 36 Stunden begrenzt. Die genauen Standzeiten am Wochenende sind irrelevant, da es in jedem Fall mehr als zwölf Stunden sind. Es kann demzufolge davon ausgegangen werden, dass am Montagmorgen alle Fahrzeuge vollständig aufgeladen sind. Mit der Begrenzung der Standzeit auf 36 h wurde

zugleich eine Verfälschung der Ergebnisse durch die im Messzeitraum liegenden Weihnachtsfeiertage vermieden.

In Abbildung 16 ist die Aufteilung der einzelnen Standzeiten nach den jeweiligen Längen dargestellt. Es wurde hier allerdings nicht zwischen den fünf Fahrzeugen unterschieden, sondern die Gesamtheit aller Standzeiten betrachtet. Die in „4.2 Fahrstrecken“ verwendeten minimalen Standzeiten (sechs und zwölf Stunden) wurden in Abbildung 16 ebenfalls abgebildet.

Die Abbildung 16 zeigt, dass ca. 55 % der Standzeiten kürzer ist als sechs

Stunden. Demnach wäre in 45 % der Fälle die Standzeit ausreichend, um das Fahrzeug am 400 V-Netz vollständig laden zu können. In 26 % der Standzeiten kann sogar eine vollständige Aufladung der Batterien am 230 V Netz erfolgen.

Die zeitaufgelöste Analyse der Standzeiten (hier nicht dargestellt) ergab, dass tagsüber die Längen der Standzeiten zwischen 30 Minuten und 8 Stunden variieren. Daher kann keine generelle Aussage darüber getroffen werden, ob eine vollständige Ladung am Arbeitsort möglich wäre. Die Nachtstandzeiten sind in über 95 % der Fälle länger als zwölf Stun-

den, demzufolge kann das Fahrzeug über das 230 V-Netz komplett geladen werden.

5.4 Geschwindigkeit

Die Abbildung 17 zeigt die Anteile aller gefahrenen Geschwindigkeiten der fünf Fahrzeuge. Analog zu den vorherigen Auswertungen, wurde auch hier die maximale Geschwindigkeit des Elektrofahrzeuges von 80 km/h als Referenz eingetragen. Der Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 5 km/h ist mit einem Anteil von ca. 12 % am größten. Häufige Anfahrvorgänge, „Stop-and-Go“ und das Rangieren am Einsatzort

sind die Hauptgründe dafür. In diesen Geschwindigkeitsbereichen arbeitet ein Verbrennungsmotor in sehr schlechten Wirkungsgradbereichen, hohe Kraftstoffverbräuche sind die Folge. Bei einem Fahrzeug mit Elektromotor steht in diesem Geschwindigkeitsbereich das maximale Motordrehmoment zur Verfügung. Da die Motordrehzahl jedoch gering ist, ist die Leistungsaufnahme ebenfalls niedrig. Durch

diese Tatsache und den höheren Wirkungsgrad des Elektromotors, könnten Elektrofahrzeuge in diesem Fahrprofil deutlich effizienter betrieben werden. Der weitere Geschwindigkeitsverlauf verdeutlicht, dass die Fahrzeuge überwiegend in der Stadt gefahren werden. Das zweite lokale Maximum wird im Bereich von 46 bis 50 km/h mit einem Anteil von fast 10 % erreicht. Lediglich in 5 % der Fahrten werden

Geschwindigkeiten über 80 km/h gefahren.

5.5 Antriebsleistung

In Abbildung 18 sind die von den Fahrzeugen im Messzeitraum abgerufenen Leistungen dargestellt. Zusätzlich ist die maximale Dauerleistung des Referenzfahrzeugs abgebildet. Nahezu 100 % der benötigten Motorleistung liegt unter der des Referenzfahrzeugs von 60

kW. Ursache ist, dass nur eines der konventionellen Fahrzeuge deutlich über 60 kW bereitstellen könnte. Die Maximalleistung der restlichen vier Fahrzeuge beträgt 61 kW.

Fast 90 % der tatsächlich abgerufenen Leistung liegt unter 30 kW. Diese könnte zu der Schlussfolgerung verführen, bei Neuanschaffungen von Fahrzeugen kleine Motoren einzusetzen. Kleinere Motoren stellen jedoch meistens auch weni-

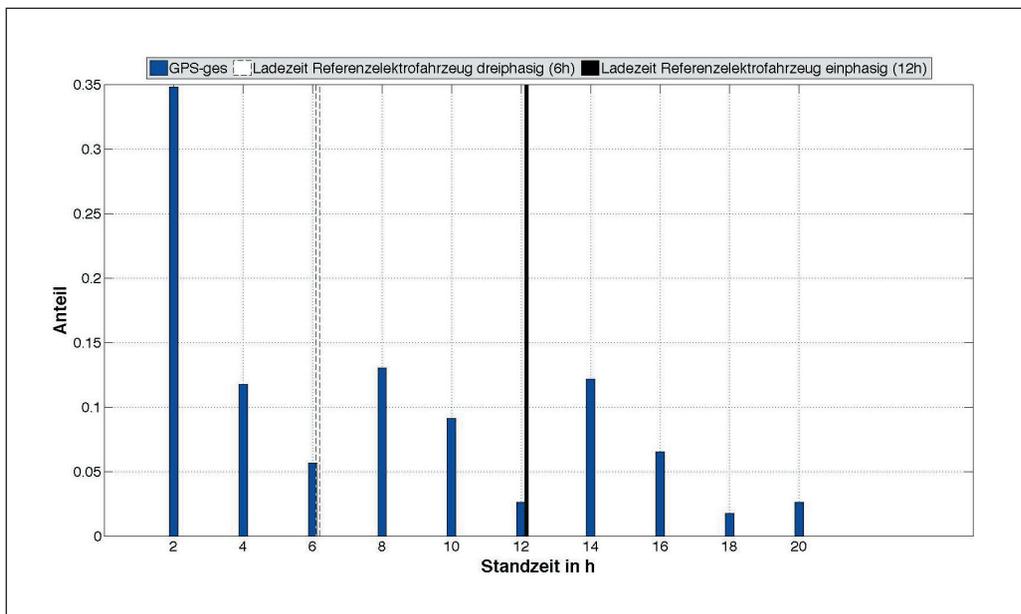


Abbildung 17: Anteile der im Messzeitraum gefahrenen Geschwindigkeiten

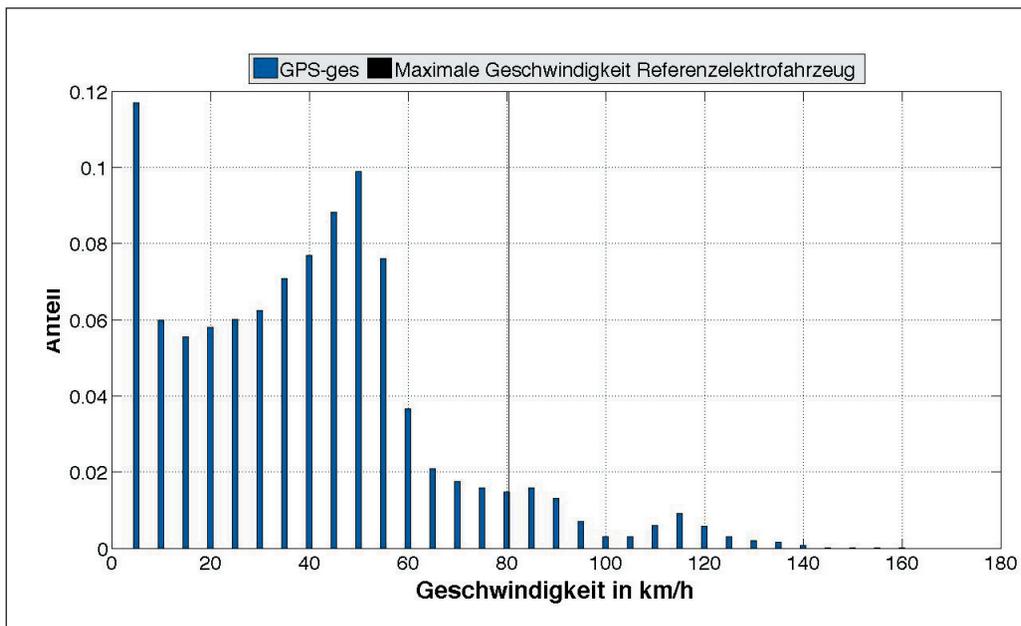


Abbildung 18: Anteil der abgerufenen Leistungen

ger Motordrehmoment zur Verfügung. Das maximale Motordrehmoment wurde bei den untersuchten Fahrzeugen jedoch regelmäßig in Anspruch genommen (hier nicht dargestellt). Die maximale Zuladung und die Fahrt mit einem Anhänger sollten daher stets sicher gestellt sein. Das Referenz-E-Fahrzeug könnte nahezu alle Leistungsanforderungen in den untersuchten Fahrzyklen abdecken. Das höhere Motordrehmoment könnte sogar Vorteile gegenüber konventionellen Fahrzeugen liefern. In einem Feldtest mit einem Elektrofahrzeug sollte diese Vermutung verifiziert werden.

6 Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

Im E-Handwerk Berlin wächst das Interesse E-Fahrzeuge einzusetzen. Berlin als Großstadt mit Umweltzone eignet sich sehr gut für den Betrieb von E-Fahrzeugen. Fahrzeughersteller versprechen Reichweiten von ca. 80 km bis 130 km. Die Aufladezeiten der Batterien sind abhängig von den angeschlossenen Ladeleistungen und werden mit ca. 4 - 12 Stunden angegeben. Inwieweit Elektrofahrzeuge im alltäglichen Betrieb des E-Handwerks sinnvoll eingesetzt werden können, ist derzeit unbekannt.

Das RLI untersuchte daher in diesem Forschungsprojekt die aktuellen Fahrzyklen im E-Handwerk Berlins. Dabei wurde an Hand von fünf realen Fahrzeugen eine Gesamtfahrstrecke von mehr als 10.000 km an ca. 40 Werktagen vermessen und ausgewertet. Um eine aussagekräftige Bewertung garantieren zu können, handelt es sich bei allen fünf Fahrzeugen um dieselbetriebene VW T5 mit vergleichbarer Motorleistung. Mittels GPS- und CAN-Bus-Datenlogger wurden dabei verschiedene Messgrößen, wie z.B. der Geschwindigkeitsverlauf und die abgerufenen Motorleistungen aufgenommen. Über die aufgezeichneten Geschwindigkeiten wurden sowohl die

gefahrenen Wegstrecken als auch die Standzeiten zwischen den Einzelfahrten bestimmt.

Die Auswertung erfolgte nach den vier Aspekten; Fahrstrecken, Standzeiten, gefahrenen Geschwindigkeiten und der Antriebsleistung. Die Ergebnisse wurden dabei den Herstellerangaben eines Referenz-Elektrofahrzeugs gegenübergestellt. Als Referenzfahrzeug diente ein Mercedes Vito E-Cell. Dieser erreicht nach dem Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) eine maximale Reichweite von 130 km und unter schlechtesten realen Bedingungen von ca. 80 km. Die Höchstgeschwindigkeit begrenzt der Hersteller zugunsten der Reichweite auf 80 km/h.

Die gemessenen Gesamtfahrstrecken der einzelnen Fahrzeuge schwanken im Messzeitraum stark zwischen 738 km und 3.895 km. Die Definition der Einzelfahrstrecken ist von der Länge der dazwischen liegenden Standzeiten abhängig. Werden Standzeiten von 6 Stunden definiert (entspricht der vollständigen Ladezeit mit 6,4 kW Ladeleistung für die 36 kWh der Fahrzeugbatterie) könnten durchschnittlich 95 % der Fahrten vom Referenz-Elektrofahrzeug unter guten Bedingungen ersetzt werden. Wird eine vollständige Aufladung mit 3,7 kW unterstellt, könnte das Referenzfahrzeug 88 % der Fahrten substituieren. Die gemessenen Standzeiten am Einsatzort wären in 45 % der Fälle ausreichend lang (mindestens sechs Stunden), um das Fahrzeug über das 380/400 V-Netz laden zu können. Die kürzeren Standzeiten könnten allerdings ebenfalls für eine Zwischenladung tagsüber genutzt werden, wenn die Fahrzeugbatterie nicht komplett entladen wurde. Dabei muss genauer untersucht werden, in wieweit die vorhandene Ladeinfrastruktur den Bedarf der Zwischenladung abdecken kann.

Die gemessenen Höchstgeschwindigkeiten liegen mit 136 bis 159 km/h zwar deutlich über der Maxi-

malgeschwindigkeit des Referenz-E-Fahrzeugs. Über 90 % der ermittelten Geschwindigkeiten liegen jedoch unter 80 km/h. Mit einem Anteil von ca. 10 % hat der Geschwindigkeitsbereich von 46 bis 50 km/h die größte Bedeutung.

Die Leistung des Referenz-E-Fahrzeugs liegt mit 60 kW nur sehr knapp unter den 61 kW Leistung von vier der fünf VW T5. Lediglich eines der betrachteten Fahrzeuge ist mit 75 kW höher motorisiert. Die maximale Leistung der Fahrzeuge wird selten ausgenutzt, denn 90 % der abgerufenen Leistungen liegen unter 30 kW. Es treten daher keinerlei Einschränkungen in der Antriebsleistung auf. Die Untersuchung realer Fahrzyklen im Elektrohandwerk hat ergeben, dass schon heute der größte Anteil der Fahranforderung von Elektrofahrzeuge abgedeckt werden kann. Technische Detailfragestellungen der Elektromobilität können jedoch nur in einem Feldtest mit Elektrofahrzeugen untersucht und bewertet werden. Für die Bewertung der realen Einsatzmöglichkeiten von Elektrofahrzeugen muss auch eine Wirtschaftlichkeitsanalyse erfolgen.

7 Handlungsempfehlungen

Die achtwöchige Untersuchung realer Fahrzyklen im Elektrohandwerk hat ergeben, dass schon heute der größte Anteil der Fahranforderung von Elektrofahrzeugen abgedeckt werden kann. Es ist jedoch nicht bekannt, in wie weit dieser Messzeitraum repräsentativ für ein ganzes Jahr ist. Technische Detailfragestellungen der Elektromobilität können daher nur in einem mindestens einjährigen Feldtest mit Elektrofahrzeugen untersucht und bewertet werden. Dafür ist ein Forschungsprojekt anzustreben, in dem auch die klimatischen Einflussgrößen (z.B. der Temperatureinfluss auf die Reichweite der Fahrzeuge) im realen Alltagsbetrieb, sowie unterschiedliche Fahrstrecken bedingt durch saisonale Veränderungen der Auftragslage untersucht werden können. Außerdem sollte die Verfügbarkeit von

Lademöglichkeiten in Berlin und Umgebung in diesem Test analysiert werden, da bei möglicher Zwischenladung tagsüber am Einsatzort der Aktionsradius der Fahrzeuge deutlich erhöht werden könnte. Die gemessenen und ausgewerteten Fahrzyklen stellen eine gute Basis für eine Wirtschaftlichkeitsanalyse dar. Dabei sollten neben den hauptsächlichlichen Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten auch potentielle Förderungen für E-Fahrzeuge, sowie Vorteile bei den Steuern, Versicherungen und anderen Vergünstigungen betrachtet werden. Diese Subventionen können jedoch nicht als Dauerlösung betrachtet werden, sondern sollen bei der Markteinführung der Elektromobilität helfen.

Ein Feldtest mit realen Elektrofahrzeugen würde die Belastbarkeit der Wirtschaftlichkeitsanalyse erhöhen. Für eine ökologische Bewertung der E-Fahrzeuge müsste der CO₂-Ausstoß zwischen dieselbetriebenen Fahrzeugen und aus dem deutschen Strommix betankten E-Fahrzeugen verglichen werden. [SZA11] Dabei müsste die Verbesserung der Verbrennungsmotoren in den nächsten Jahren berücksichtigt werden. Hier könnten verschieden Szenarien in der Zusammensetzung des deutschen Strommixes betrachtet werden. Die sehr effiziente Elektromobilität besitzt nicht nur eine lokale Emissionsfreiheit sondern auch ein sehr hohes CO₂ Einsparungspotential in Verbindung mit erneuerbaren Energien. Eine Elektromobilität mit heute noch typischem „Graustrom“ (deutscher Energiemix 2012 ca. 21 % erneuerbare Energien [UNE12]) ist unter objektiven Gesichtspunkten ökologisch nicht sinnvoll. Nur die Verbindung der Elektromobilität mit erneuerbaren Energien wird sich auf lange Sicht durchsetzen, da nur so alle Potentiale ausgenutzt werden können.

Die in diesem Projekt gewonnenen Daten stellen für die vorgeschlagenen Handlungsempfehlungen eine gute Grundlage dar.

8 Anhang

Ein Überblick über die in Frage kommenden E-Fahrzeuge im Vergleich zum dieselbetriebenen Fahrzeug gleicher Bauart. [REN12], [BEN12]

KANGOO Z.E.

auch als Kangoo Maxi erhältlich

TECHNISCHE DATEN :

Fahrzeugtyp : **Leichtes Nutzfahrzeug**
 Länge : **4.213 mm (4.597 mm)**
 Höhe : **1.818 mm**
 Breite mit/ohne Außenspiegel :
2.133 mm / 1.829mm
 Leistung : **44 kW (60 PS)**
 max. Drehmoment : **226 Nm**
 Höchstgeschwindigkeit : **130 km/h**
 Reichweite : **170 km (NEFZ)**
 Sitzplätze : **2**
 Leergewicht : **1.483 kg**
 Nutzlast : **595 kg**
 Laderaumvolumen : **3 bis 3,5 m³**
 Bereifung :
Rollwiderstandsoptimierte Reifen

MOTORISIERUNG :

Leistungsdaten

Leistung : **44 kW (60 PS)**
 max. Drehmoment : **226 Nm**
 Gewicht des Motors : **130 kg**
 Verbrauch, kombiniert : **5,2 l/100km**
 Gewicht der Batterie : **260 kg**
 Nutzbare Akkukapazität : **22 kWh**
 Verbrauch : **0,13 kWh/km**

Preis des Kangoo Z.E.
 (ohne Batterie):

20.000,- € ohne MwSt.

Batteriemiete :
75,- € ohne MwSt.**

** (48 Monate mit 15.000 km/Jahr)

Realer Barwert (effektiver Kaufwert) für 4 Jahre Nutzung:
 2.925,-€ bei 4 % Kapitalkosten

Realer Barwert (effektiver Kaufwert) für 10 Jahre Nutzung:
 7.120,-€ bei 4 % Kapitalkosten

KANGOO dCi 75

TECHNISCHE DATEN :

Fahrzeugtyp : **Leichtes Nutzfahrzeug**
 Länge : **4.213 mm**
 Höhe : **1.818 mm**
 Breite mit/ohne Außenspiegel :
2.133 mm / 1.829 mm
 Leistung : **55 kW (75 PS)**
 max. Drehmoment : **180 Nm**
 Höchstgeschwindigkeit : **151 km/h**
 Reichweite : **ca. 1000 km**
 Sitzplätze : **2**
 Leergewicht : **1.335 kg**
 Nutzlast : **601 kg**
 Laderaumvolumen : **3 bis 3,5 m³**
 Bereifung :
Rollwiderstandsoptimierte Reifen

MOTORISIERUNG :

Leistungsdaten

Leistung : **55 kW (75 PS)**
 max. Drehmoment : **180 Nm**

Preis des Kangoo dCi 75

14.190,- € ohne MwSt.

Mercedes-Benz VITO E-Cell

TECHNISCHE DATEN :

Fahrzeugtyp : **Nutzfahrzeug**
 Länge : **4.763 mm**
 Höhe : **k.A.**
 Breite mit/ohne Außenspiegel : **k.A.**
 Leistung : **60 kW (82 PS)**
 max. Drehmoment : **280 Nm**
 Höchstgeschwindigkeit : **80 km/h**
 Reichweite : **130 km (NEFZ)**
 Sitzplätze : **2**
 Leergewicht : **2.150 kg**
 Nutzlast : **900 kg**
 Laderaumvolumen : **5,2 m³**
 Bereifung :
Rollwiderstandsoptimierte Reifen

MOTORISIERUNG :

Leistungsdaten

Leistung : **60 kW (82 PS)**
 max. Drehmoment : **280 Nm**
 Gewicht des Motors : **200 kg**
 Gewicht der Batterie : **500 kg**
 Nutzbare Akkukapazität : **36 kWh**
 Verbrauch : **0,3 kWh/km**

Preis des VITO E-Cell

k.A.

Mercedes-Benz VITO 110 CDI

TECHNISCHE DATEN :

Fahrzeugtyp : **Nutzfahrzeug**
 Länge : **4.763 mm**
 Höhe : **k.A.**
 Breite mit/ohne Außenspiegel : **k.A.**
 Leistung : **70 kW (110 PS)**
 max. Drehmoment : **250 Nm**
 Höchstgeschwindigkeit : **158 km/h**
 Reichweite : **900 km kombiniert**
 Sitzplätze : **2**
 Leergewicht : **1.888 kg**
 Nutzlast : **1200 kg**
 Laderaumvolumen : **5,2 m³**
 Bereifung :
Rollwiderstandsoptimierte Reifen

MOTORISIERUNG :

Leistungsdaten

Leistung : **70 kW (110 PS)**
 max. Drehmoment : **250 Nm**
 Verbrauch, kombiniert : **7,5 l/100km**

Preis des VITO CDI 110

23.860,00,- € ohne MwSt.



Abbildung 19: GPS-Logger [WIN12]

Technische Daten WBT 202 GPS Empfänger

Tabelle 3:

Überblick über die wichtigsten Kenndaten des GPS-Datenloggers

Wichtigste Daten im Überblick:	
Positionsgenauigkeit:	2.0 m – 2.5 m
Eingebaute Antenne	Keramik Patchantenne
Empfindlichkeit	-160dBm
Aktualisierungszeit Blitz Start	ca. 0,1 Sek.
Heiß Start	ca. 3.5 Sek.
Warm Start	ca. 33 Sek.
Kalt Start	ca. 34 Sek.
Automatische Update-Zeit	alle 1 Sek.
Wiederaufnahme bei Verlust	0,1 Sek.
GPS Kanäle	32
Trackingkanäle	18
Chipsatz	u-blox 5
Empfangsfrequenz	1575.42 MHz
Update Rate	1Hz
microSD Speicher	1GB für bis zu 60 Millionen GPS Positionen
Datenspeicherung	Breiten- & Längengrad, Höhe sowie Datum & Zeit
Log Modus	Winkel-, Geschwindigkeits-, Zeit-, Distanz-, Mix-Intervall
Akku	Li-Ion (wechselbar)
Akkuleistung	3.7V, 1200mA, 4.44Wh
Gewicht inkl. Akku	55g
Größe	64 x 40 x 17 mm
Betriebstemperatur	-10°C bis +50°C
Ext. Stromversorgung	DC 5V (miniUSB)
Akkuladezeit	ca. 4 Stunden
Stromverbrauch	ca. 40mA - 50mA (Bluetooth ein/aus)
Dauerbetrieb	ca. 23 - 24 Stunden (Bluetooth ein/aus)

9 Quellen

[ATZ11]

Pohl, Andreas; Locht, Thorsten; Jörgensen, Heinz: Mercedes-Benz VITO E-Cell Erster Transporter mit Elektroantrieb ab Werk. Automobil-Technische-Zeitschrift Ausgabe 3/2011

[BEN12]

Daimler-AG, 2012, Stuttgart, Vito E-Cell, http://www.mercedesbenz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/van/home/vans_world/blueefficiency/technologies/e-cell.0002.html, abgerufen am: 23.02.2012

[BET10]

Better Place, 2012, Palo Alto CA, Batteriewechselstation, <http://www.betterplace.com/the-solution-switch-stations>, abgerufen am: 20.02.2012

[DOE09]

Doescher, Timo: Netzauswirkungen einer hohen Durchdringung von Elektrofahrzeugen. Diplomarbeit, Universität Flensburg, September 2009

[ENG07]

Engel, Timo: Plug-in Hybrids, Verlag Dr. Hut, München 2007

[ISB12]

Vallee, Dirk: Mobilitätsbedürfnisse und Mobilitätsverhalten der Stadtbewohner von heute und morgen. Präsentation Drive-E-Akademie, ISB RWTH Aachen, März 2012

[MAT11]

MATLAB, 2011. Version 7.13.0 (R2011b), The MathWorks Inc., Natick, <http://www.mathworks.de>, Dezember 2011

[REN12]

Renault Deutschland AG, 2012, Brühl, RENAULT Z.E., <http://www.renault-ze.com/de-de/modelle-z.e>, abgerufen am: 23.02.2012

[RLI11]

Mörke, Fabian: Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte zur Nutzung von Energieüberschüssen aus erneuerbaren Energien am Beispiel einer portugiesischen Atlantikinsel. Masterarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Februar 2011

[SZA11]

Arhold, Oliver: Überschüsse aus Erneuerbaren Energien zur Basis für nachhaltige Mobilitätskonzepte? Auszug einer Studie am Beispiel der Azoreninsel Graciosa, Solarzeitalter Ausgabe 4/2011

[UNE12]

Agentur für Erneuerbare Energien, 2012, Berlin, Aktuelle Daten und Fakten, <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/wirtschaft/aktuelle-daten-und-fakten.html>, abgerufen am: 22.03.2012

[VDE10]

Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik (VDE) e.V.: VDE-Studie Elektrofahrzeuge. Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf., Offenbach April 2010

[VIE07]

Braess, Hans-Hermann/ Seifert, Ulrich (Hrsg.): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. 5. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2007

[WAL10]

Wallentowitz, Henning; Freialdenhoven, Arndt; Olschewski, Ingo: Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges. Technologien, Märkte und Implikationen. 1. Auflage, Vieweg+Teubner GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2010

[WIN12]

Wintec GPS Vertrieb Deutschland, 2012, Berlin, WINTEC-WBT-202, http://www.wintec-gps.de/wintec_wbt-202.php, abgerufen am: 23.02.2012