



Projekt «EmobilitätBasel» 2009 – 2014

Schlussbericht



6. März 2015

0. Zusammenfassung

Im Zentrum des Projekts EmobilitätBasel stand der Praxistest neuester Elektrofahrzeuge verbunden mit einer Begleitforschung im Zeitraum 2009 bis 2014. Träger waren Mobility Solutions AG, IWB, Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt sowie die Gemeinde Riehen. Das Pilotprojekt beinhaltete für Firmen ein «Sorglospaket» (Full-Service-Flottenmanagement). 11 Unternehmen nahmen dieses Angebot in Anspruch. Insgesamt waren 15 Elektrofahrzeuge unterwegs. Für Privatpersonen wurde ein eShare angeboten. Am Bahnhof SBB, in Kleinbasel (Roche) und im Zentrum von Riehen stand je ein Fahrzeug zur Verfügung. Interessierte Nutzerinnen und Nutzer konnten sich über eine Internetplattform registrieren lassen und die Fahrzeuge online buchen.

Über ausgewählte Fahrzeuge aus dem Sorglospaket fand eine vom Bundesamt für Energie finanzierte Begleitforschung statt. Sie bestand aus einer technischen Ausmessung der Fahrzeuge und einer Nutzerbefragung. Bestandteil der Begleitforschung war auch eine regionale Studie zum Thema Ladeinfrastruktur.

Die Ziele des Pilotprojekts, die sich die vier Projektträger zu Beginn gesetzt hatten, konnten weitgehend erreicht werden. Das Pilotprojekt fand in einer Phase statt, wo erste serienmässig hergestellte Fahrzeuge auf dem Markt angeboten wurden. Dank der Beteiligung der Firmen konnten wichtige Erkenntnisse gewonnen werden: Die Fahrzeuge bewähren sich im Alltag und die Kundenzufriedenheit ist sehr hoch. Sofern Strom aus erneuerbaren Quellen bezogen wird, ist die Elektromobilität gerade in städtischen Gebieten eine zukunftsfähige Technologie.

1. Ausgangslage

1.1 Zur Bedeutung der Elektromobilität

Zu Beginn der Automobilherstellung spielte der Elektromotor eine wichtige Rolle. Er wurde aber anfangs des 20. Jahrhunderts fast vollständig durch Verbrennungsmotoren verdrängt. Erst in den 1990er-Jahren gewann er wohl auch im Zuge der Umweltdiskussion wieder an Bedeutung. Diese nahm in den letzten zehn Jahren stark zu. Die absehbare Verknappung fossiler Energieträger sowie Auflagen zum Klimaschutz haben entscheidend zu dieser Entwicklung beigetragen. Heute bieten verschiedene Automobilkonzerne serienmässig hergestellte Personenwagen mit elektrischem Antrieb an.

Die Elektromobilität stellt eine sinnvolle und wirksame Möglichkeit zur CO₂-neutralen und nachhaltigen Mobilität dar, sofern der verwendete Strom aus erneuerbaren Quellen kommt. Ausserdem bietet sie die Möglichkeit, sich durch eigene Stromproduktion, zum Beispiel durch eine eigene Solaranlage, von Preisentwicklungen im Energiesektor teilweise unabhängig zu machen.

Die aktuellen CO₂-Emissionsvorschriften motivieren die Importeure, vermehrt Elektrofahrzeuge zu verkaufen. Jeder verkaufte elektrisch betriebene Neuwagen hilft mit, die durchschnittlichen Emissionen der verkauften Neuwagenflotte zu reduzieren und somit «Strafzahlungen» zu reduzieren. Mit der Elektromobilität ist eine Technologie auf dem Markt, die ein riesiges Potenzial bietet, den CO₂-Ausstoss im Bereich der Individualmobilität massgeblich zu senken.

Für Firmen stellt die Elektromobilität eine gute Möglichkeit dar, die intern gelebte Nachhaltigkeit wirksam und gut sichtbar an die Öffentlichkeit zu tragen. Viele Unternehmen und Kunden legen heute grossen Wert auf nachhaltig agierende Geschäftspartner.

Der elektrische Antrieb verfügt über eine sehr hohe Effizienz und äusserst gute Fahrleistungen. Die Fahrzeuge sind durch den simplen, getriebelosen Aufbau sehr angenehm zu fahren und machen nebenbei Spass. Durch das leise Fahren und die fehlenden Abgase sind solche Fahrzeuge ein grosser Gewinn an Lebensqualität insbesondere im Siedlungsgebiet.

1.2 Engagement bzw. Interesse der einzelnen Projektträger

1.2.1 Mobility Solutions AG

Die Schweizerische Post sieht die nachhaltige Unternehmensführung als Chance, um ressourcenschonend, energieeffizient und mit CO₂-neutralen Produkten und Dienstleistungen in Zukunft wirtschaftlich zu sein. Der Handlungsbedarf, der sich aus der Klimaerwärmung ergibt, wird von der Post anerkannt und in verschiedenen Bereichen umgesetzt. Innerhalb der Mobilität setzt Mobility Solutions AG (MoS) deshalb als Flottenmanagerin der Post auf den Einsatz von Elektrofahrzeugen. Während dies im Bereich von Zweirad- und Dreirad-Fahrzeugen aufgrund der zur Verfügung stehenden Palette und der Anforderungen an die Fahrzeuge einfacher umsetzbar ist, fehlten zum Zeitpunkt des Projektstarts im PW-Bereich noch Erfahrungen. Die Ziele aus Sicht MoS waren deshalb klar definiert:

- Förderung des Markteintritts von energieeffizienten Elektrofahrzeugen
- Eruiieren der Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen
- Erwerb von praktischem Know-how für ein markttaugliches Mobilitätskonzept
- Ausdehnung des Konzeptes auf andere Regionen

1.2.2 IWB

Als Energiedienstleister und Netzbetreiber interessiert sich IWB für die Entwicklung der Elektromobilität aus verschiedenen Gründen:

- E-Mobilität ist in Kombination mit erneuerbaren Energien besonders umweltfreundlich und gewinnt als Antriebstechnologie zunehmend an Bedeutung.
- E-Mobilität ist ein wichtiger Teil des Angebots an smarten Energielösungen und Dienstleistungen.
- Die Entwicklung der E-Mobilität in der Region Basel ist noch unklar.
- Der zukünftige Bedarf an Ladeinfrastruktur muss bei der Netzplanung berücksichtigt werden.
- Es liegen noch wenige Praxiserfahrungen zur Alltagstauglichkeit von E-Fahrzeugen in Flotten vor.

Zielsetzungen

- Konkrete Szenarien für die gesamte Region Basel (Basel-Stadt und Basel-Landschaft) zur Entwicklung der E-Mobilität; insbesondere zur Abschätzung der Netzstabilität und des Anteils am gesamten Stromverbrauch
- Ein besonderer Fokus aus Sicht Netzbetreiber lag auf der Frage, ob die Stromnetze in der Lage sind, auch im optimistischsten Szenario das Aufladen von allen Fahrzeugen zu gewährleisten.
- Fahrzeugtest in der eigenen Flotte hinsichtlich einer Erweiterung/ Ergänzung der Flotte um E-Fahrzeuge

1.2.3 Amt für Umwelt und Energie

Der Kanton Basel-Stadt verfolgt seit vielen Jahren eine fortschrittliche und zukunftsgerichtete Energie- und Umweltschutzpolitik. Für den Regierungsrat bildet die 2000-Watt-Gesellschaft einen Schwerpunkt der Kantonspolitik. Neben dem Gebäudebereich ist auch die Mobilität ein zentrales Handlungsfeld.

2001 ist Basel-Stadt eine Zusammenarbeit mit «Novatlantis», der Plattform des ETH-Bereichs für die Forschung zur nachhaltigen Entwicklung von Ballungsräumen, eingegangen. Im Sinne eines «Praxislabors der Nachhaltigkeitsforschung» soll beispielhaft aufgezeigt werden, was die 2000-Watt-Gesellschaft in den Bereichen Bauen, Mobilität sowie Raum und Ressourcen bedeutet. Im «Erlebnisraum Mobilität» steht die Erprobung neuer Technologien und Treibstoffe im Vordergrund. Es geht u.a. darum, im Rahmen von Praxistests eine Palette von Antriebstechnologien im Alltag zu testen und dabei Erkenntnisse für die Weiterentwicklung der Technologien zu gewinnen. Bis jetzt wurde der Fokus auf Erd- und Biogasfahrzeuge sowie auf wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen-Fahrzeuge gelegt. Eine Ausweitung der Thematik auf den Bereich batteriebetriebener Elektrofahrzeuge unter Berücksichtigung der neusten Entwicklungen entspricht der Gesamtzielsetzung: der Entwicklung einer langfristig sinnvollen Strategie für die Umsetzung einer energieeffizienten und umweltschonenden Fahrzeugflotte, basierend auf glaubwürdigen Fakten durch den Test und Vergleich verschiedener Antriebstechnologien.

1.2.4 Gemeinde Riehen

Die Gemeinde Riehen ist für ihr Engagement im Bereich Energie mit dem European Energy Award Gold ausgezeichnet worden. Möglich ist dies nur dank einer breit gefächerten Energiepolitik, welche die Gemeinde schon seit Jahrzehnten betreibt. Im Verkehr steckt noch ein grosses Energiesparpotenzial. Die Gemeinde fördert zwar in erster Priorität den öffentlichen Verkehr und den sogenannten Langsamverkehr. Sie sieht aber auch Chancen in der Förderung von energieeffizienten Fahrzeugen für den motorisierten Individualverkehr und hat sich deshalb schon von 1996 bis 2001 als Partnergemeinde von Mendrisio am Grossversuch mit Leichtelektromobilen beteiligt. In der Beteiligung am Pilotprojekt «Elektromobilität» sieht die Gemeinde wiederum die Möglichkeit, Impulse für den Einsatz von energieeffizienten, lärm- und abgasarmen Fahrzeugen der neusten Generation zu geben.

1.3 Projektauftrag

Die Projektträger haben am 15. April 2009 den beiliegenden Projektauftrag unterzeichnet. Darin sind die Ziele, Aufgaben, Ressourcen etc. festgehalten.

2. Ziele des Pilotprojekts

2.1 Generelle Ziele

Gemäss Projektauftrag sollten mit dem Projekt folgende Ziele verfolgt werden:

1. den Verbrauch fossiler Energien im Verkehr senken
2. die Energieeffizienz im Verkehr erhöhen
3. die Integration regionaler Unternehmen im Greentech-Bereich fördern
4. Basel-Stadt als Standort für Greentech promoten
5. neuste Fahrzeugtechnologien austesten
6. die Anforderung an die erforderliche Infrastruktur klären (aus Sicht der Anwender, Netzbetreiber, Stromversorger, Sicherheit etc.)
7. die Wirtschaftlichkeit austesten
8. die Rolle der Energielieferanten klären
9. Erfahrungen der Fahrzeugbetreiber und -nutzer sammeln und auswerten
10. die Akzeptanz für neue Technologien bei den Zielgruppen erhöhen

2.2 Sorglospaket

Durch das Sorglospaket sollte Firmen der Einstieg in die Elektromobilität erleichtert werden, da die Fahrzeuge im Full-Service-Flottenmanagement, inklusive der Übernahme des Batterie- und Restwertrisikos, angeboten wurde. Diese Risiken waren zu Beginn des Projektes noch unkalkulierbare Faktoren, da innerhalb der Schweiz keine Vergleichswerte bestanden. Für Kunden war vor allem der Restwert eines Elektrofahrzeuges nicht einschätzbar und die Bereitschaft zur Anschaffung eines Elektrofahrzeuges entsprechend gering. Das Sorglospaket sollte diese Einstiegshürde verringern.

2.3 E-Share

Das Projekt eShare war ein Pilotprojekt, das Erkenntnisse zur Nutzung von Elektrofahrzeugen generieren sollte. Es erfolgte im Sharing-Verfahren, um die Fahrzeuge möglichst vielen verschiedenen Nutzern zugänglich zu machen und damit eine grössere Bandbreite an Informationen zu gewinnen.

Hier stand neben dem Know-how-Ausbau zur Fahrzeugtechnik vor allem das Nutzungsverhalten der Fahrer im Vordergrund. Da bei eShare auch umgebaute konventionelle Fahrzeuge im Einsatz waren, wurde innerhalb der Begleitforschung die Akzeptanz der Elektrofahrzeuge erhoben.

2.4 Begleitforschung

Der Einsatz von neusten Elektrofahrzeugen in der Praxis sollte wissenschaftlich ausgewertet werden. Wichtige Informationen zur Möglichkeit und zu den Grenzen der Technologie sollten durch die Ausmessung verschiedener Typen von Li-Ionen-batteriebetriebenen Fahrzeugen gewonnen werden. Die Ausmessung wurde über zwei Jahre verteilt (Alterung) in der EMPA-Klimakammer bei hohen und tiefen Temperaturen sowie bei Umgebungstemperatur bei der Berner Fachhochschule (BFH) vorgenommen. Ferner ermöglichte ein eingebauter Datenlog-

ger in einzelnen Fahrzeugen die Auswertung des Fahrzeugbetriebs und der –nutzung. Eine Kunden- und Nutzerbefragung gab Aufschluss über die Akzeptanz der Fahrzeuge.

3. Organisation

Die operative Führung des Projektes oblag einem Kernteam, das wie folgt zusammengesetzt war:

- Dominik Keller, Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Vorsitz
- Andreas Haruksteiner, Mobility Solutions AG (bis Feb. 2014)
Simone Leicht, Mobility Solutions AG (ab März 2014)
- Bernhard Brodbeck, IWB (bis Feb. 2010)
Frank Panhans, IWB (ab Feb. 2010)
- Richard Grass, Gemeinde Riehen (bis Nov. 2011)
Philipp Wälchli, Gemeinde Riehen (ab Jan. 2012)

Das Projektteam tagte zwei- bis dreimal pro Jahr. Die Ergebnisse wurden in Beschlussprotokollen festgehalten.

Gemäss Projektauftrag oblag die Steuerung den Leitenden der vier Träger. Ausser zu Beginn des Projektes tagte die Projektsteuerung nicht, sondern wurde via Vertreter des Kernteams regelmässig über den Stand des Projektes informiert.

Für die ursprünglich angedachte Echogruppe bestand kein Bedarf; sie wurde nicht eingesetzt.

4. Ressourcen

4.1 Mobility Solutions AG

	2011	2012	2013	2014	Total
Externe Kosten Begleitforschung	Fr. 835.40	Fr. 47'880.10	Fr. 38'249.00	Fr. 800.00	Fr. 87'764.50
Personenstunden		17	130	43	189.5

Externe Kosten Begleitforschung:

Diese Kosten sind durch die Beauftragung von externen Stellen für Forschungsarbeiten (BFH, EMPA) an den Fahrzeugen entstanden. Weiter sind auch die Kosten für Hardware – und Einbau der Datenlogger darin enthalten.

Personenstunden:

Sie entsprechen den von MoS aufgewendeten Stunden für die Projektleitung und Koordination des Teilprojektes «Begleitforschung Basel».

Fahrzeuge:

Die Fahrzeuge wurden den Kunden im Rahmen einer sogenannten allumfassenden Monatspauschale (exklusiv Stromkosten) zur Verfügung gestellt. Der Kunde oder die Kundin hatte also zu 100% Klarheit über die Mobilitätskosten. Es handelte sich hierbei um ein Fullservice Flottenmanagement. Dabei übernahm MoS sowohl das Batterie- als auch das Restwertrisi-

ko. Zur Kalkulation dieser monatlichen Pauschale wurden die CHF 10'000 pro Fahrzeug, welche das AUE an den Fahrzeugkauf beisteuerte, in Abzug gebracht.
Für das Projekt eShare übernahm MoS die anfallenden Mobilitätspauschalen selbst.

4.2 IWB

Für die Errichtung der erforderlichen Ladeinfrastruktur bei den Testkunden sowie einer Anpassung der vorhandenen öffentlichen Ladesäulen wurde ein Betrag von ca. CHF 30'000 investiert.

Neben diesen Investitionen wurden ca. 300 Stunden in die Begleitung des Projektes, die Beratung von interessierten Kunden, in die Unterstützung der Fahrzeugauswertungen etc. eingebracht.

4.3 Amt für Umwelt und Energie

Pro Fahrzeug leistete das AUE einen Investitionsbeitrag von CHF 10'000. Für die 18 Fahrzeuge betrug die Summe somit CHF 180'000. Dieser Betrag wurde mit dem vom Grossen Rat bewilligten Kredit für die 2000-Watt-Gesellschaft - Pilotregion Basel (Phase 2009 – 2012) finanziert.

4.4 Gemeinde Riehen

Die Gemeinde stellte einen eShare-Parkplatz zur Verfügung und übernahm die Signalisation und Markierung. Zudem musste die Ladeinfrastruktur angepasst werden.

4.5 Bundesamt für Energie

Das Bundesamt für Energie übernahm auf Antrag der Projektträger und des Paul Scherrer Instituts die Kosten für die Begleitforschung. Der bewilligte Kredit betrug CHF 320'553.

5. Kommunikation

5.1 Gemeinsame Auftritte

- Mai 2010: Artikel Info HKBB (Handelskammer beider Basel)
- 12. August 2010: Informationsanlass für Geschäftskunden
- 16. August 2010: Informationsanlass für Dienststellen von Basel-Stadt und die Gemeinde Riehen
- 1. November 2010: Medienanlass Gemeindehaus Riehen
- 6. Mai 2011: Anlass zur Übergabe der Fahrzeuge an die Firmen mit Medieneinladung
- 28. Mai 2011: Präsentation an den «Umwelttagen 2011» auf dem Barfüsserplatz
- August/September 2011: Angebot an Unternehmen, E-Fahrzeuge auszutesten (sog. «Event-Angebot»)
- März 2012: Artikel HKBB: «Emobilität - Innovative Firmen gesucht»

- März 2012: Artikel in kmu-news
- 26. April 2012: Medienmitteilung und Info an Unternehmen: neue Fahrzeuge
- April 2013: Info Newsletter Gewerbeverband
- Juni 2013: Artikel Info HKBB – «noch wenige Plätze frei»

5.2 Mobility Solutions AG

- Website Projekt eShare
- PR-Texte:
 - September 2010: Riehener Zeitung
 - Oktober 2010: Medienmitteilung Post an Wirtschaftsmagazine, Tageszeitungen
 - Mai 2011: Lörracher Gemeinde Zeitung
- Intranet und Newsletter, November 2010, Firma Roche
- Postwurfsendung Stadtgebiet Basel, Auflage 6'000 Stück
- Diverse Events mit POS-Werbung (Displays, Prospekte) oder Referaten zur Elektromobilität, z.B. Elektromobilitätsforum Luzern 2011 und 2012

5.3 IWB

- Februar 2010: de facto «Basel setzt auf Strom»
- März 2010: Veröffentlichung im Kundenmagazin Energie & Wasser

5.4 Amt für Umwelt und Energie

- Vorstellung des Projekts auf der AUE-eigenen Site «2000-Watt-Gesellschaft»: <http://www.2000-watt.bs.ch/>
- Beiträge im AUE-Blog (<http://umweltundenergie.blueblog.ch/>):
 - 11. September 2009
 - 27. Oktober 2010
 - 21. Februar 2012
- Präsentation von EmobilitätBasel im Rahmen des 2. Schweizer Forums für Elektromobilität vom 25./26. Januar 2011 in Luzern
- Mobilitätswoche 2012: Einbezug eShare-Standort Bahnhof bei Führungen zum Thema Energie

5.5 Gemeinde Riehen

- September 2010: Artikel in der Riehener Zeitung
- Mai 2011: Bericht in der gemeinsamen Energiestadt-Zeitung Lörrach/Riehen

6. Ergebnisse

6.1 Grundsätzliche Zielerreichung gemäss Projektauftrag

Ziel		Kommentar
Verbrauch fossiler Energien senken		Aufgrund der geringen Anzahl Fahrzeuge ist kein Gesamteffekt zu erkennen. Für die eingesetzte Flotte ist das Ziel hingegen erreicht.
Energieeffizienz im Verkehr erhöhen		Vgl. Kommentar oben
Integration regionaler Unternehmen im Greentech-Bereich fördern		Es konnten keine regionalen Greentech-Unternehmen gefördert werden.
Basel-Stadt als Standort für Greentech promoten		erfüllt
neuste Fahrzeugtechnologien austesten		erfüllt
Anforderung an Infrastruktur klären		erfüllt
Wirtschaftlichkeit austesten		erfüllt
Rolle der Energielieferanten klären		erfüllt
Erfahrungen der Fahrzeugbetreiber und -nutzer sammeln und auswerten		erfüllt
Akzeptanz für neue Technologien bei den Zielgruppen erhöhen		erfüllt

6.2 Sorglospaket

Innerhalb des Projektzeitraums konnten von den geplanten 20 Fahrzeugen 15 bei Kunden in Betrieb genommen werden. Die Fahrzeugpalette reichte von Umbauten wie dem Renault Twingo Elektra Kamoo bis zu Serienfahrzeugen (z.B. Peugeot iOn, Renault Kangoo Z.E.). Ausserdem wurden Plug-in Hybrid-Fahrzeuge platziert.

Folgende Unternehmen beteiligten sich am Pilotprojekt mit einem bis mehreren Fahrzeugen:

- Tschantré AG
- IWB (2 Fahrzeuge)
- AUE
- Regioplan Nordwestschweiz GmbH
- Gruner AG
- GB Consult AG
- Raiffeisen Schweiz
- Overall

- Generalsekretariat Departement für Wirtschaft, Soziales und Umwelt
- Straumann-Hipp AG (4 Fahrzeuge)
- Grassi & Co AG

Der Verkauf des Sorglos-Pakets erforderte trotz der Fördergelder innerhalb des Projektes einiges an Überzeugungsarbeit. Die Bereitschaft der Kunden, Elektrofahrzeuge in ihrer Flotte aufzunehmen, war zunächst verhalten. Dies ist – wie oben beschrieben – sicher auf die anfänglich beschränkte Modellauswahl und die hohen Einstiegskosten zurückzuführen. Erst heute, nach Projektabschluss, stehen andere und auch kostengünstigere Fahrzeuge zur Verfügung.

Die Learnings für die weitere Marktbearbeitung aus dem Projekt müssen deshalb die veränderte Marktlage einbeziehen. Durch sehr attraktive Fahrzeuge hat sich die Interessenlage verschoben und der Markt für Elektrofahrzeuge in hohen Fahrzeugklassen wächst spürbar. Aufgrund der Total-Cost-Kalkulation werden Serien-Elektrofahrzeuge nun in jeder Hinsicht vergleichbar. Wird der Kunde bei der Installation der Ladeinfrastruktur unterstützt, sind die Einstiegshürden nun deutlich niedriger als zu Projektbeginn.

Aus den bisherigen Feedbacks der Kunden lässt sich insgesamt eine hohe Zufriedenheit mit ihren Fahrzeugen feststellen. Der Aufwand für Reparaturen hielt sich – wie prognostiziert – in Grenzen; das Auto wurde als «pflegeleicht» empfunden.

6.3 E-Share

Für eShare wurden in Basel drei Standorte betrieben: Basel SBB (auf öffentlich zugänglichem IWB-Gelände), Roche Firmengelände (öffentlich zugänglich) und Gemeinde Riehen. Da sich die Nutzergruppe aufgrund der Standorte und der Zugänglichkeit zum Fahrzeug sehr unterschiedlich darstellte, wurden die Fahrzeuge sehr unterschiedlich gebucht. In Basel-Stadt haben sich insgesamt 156 Personen registriert. Folgende Stationen wurden als «Lieblingsstation» von den Nutzern markiert:

- Basel SBB: 93 Personen
- La Roche: 35 Personen
- Riehen: 28 Personen

Die Nutzung hing ausserdem sehr stark von der erfolgten Kommunikation an die unterschiedlichen Nutzergruppen ab.

Der Standort von Roche zeigte mit Abstand die geringste Nutzung, während in Riehen, wo das Fahrzeug auch von den Mitarbeitenden der Gemeinde für Dienstfahrten eingesetzt wurde, eine sehr regelmässige Nutzung stattfand. Das Fahrtaufkommen stieg merklich von Jahr zu Jahr und 2013 buchte die Gemeinde Riehen sogar 78% aller Fahrten.

Beim Start wurde der Standort von Roche aufgrund des Potenzials durch die Mitarbeitenden direkt vor Ort optimistisch bewertet. Da hier allerdings nur wenige Kommunikationsanstösse erfolgten, konnte sich das Carsharing nicht etablieren. In vier Jahren wurden nur 9 Fahrten durch Roche-Mitarbeitende realisiert. Offenbar wurde der Standort von den Mitarbeitenden als zu unattraktiv bewertet – ein plakativerer Standort, direkt vor der Eingangstüre, hätte wohl eine stärkere Aufmerksamkeit und Nutzung nach sich gezogen.

Da eShare von vornherein als Projekt zur Know-how-Gewinnung in Bezug auf die Technik der Elektrofahrzeuge und zur Akzeptanz der Fahrzeugtechnik, nicht des Sharings an sich,

angelegt war, eröffnete das Sharing eine zufriedenstellende Auslastung für die Analyse der Fahrzeugtechnik.

6.4 Begleitforschung

Mit der Begleitforschung zum Projekt EmobilitätBasel sollten die praktischen Erfahrungen, die in Basel mit dem Einsatz von Elektrofahrzeugen gemacht wurden, interpretiert werden. Die Begleitforschung fokussierte sich auf das Monitoring der Technologie und der Untersuchung der Akzeptanz bei den Nutzern. Die Studie umfasste vier Module sowie ein weiteres Projekt zur «Ladeinfrastruktur Region Basel». Die Forschungspartner BFH und EMPA führten Messungen auf dem Rollenprüfstand und im Feld durch. Zudem wurden umfangreiche Betriebsdaten (Fahrtenbuch, Reparaturlog) erfasst und die Sicherheit von Li-Ionen-Batterien beurteilt. Mit einer Befragung zur Kundenakzeptanz konnte die Sichtweise der Kunden und der Entscheidungsträger abgeholt werden. Im Projekt Ladeinfrastruktur wurden die Anforderungen an eine künftige Ladeinfrastruktur in den Kantonen Basel-Landschaft und Basel-Stadt untersucht.

Die Begleitforschung hat aufgezeigt, dass Elektrofahrzeuge für den angepassten Einsatz vollständig funktionsfähig sind. Die Anforderungen an Komfort, Fahrleistungen und Sicherheit werden erfüllt. Fahreigenschaften, wie beispielsweise die Beschleunigung der Fahrzeuge, haben die Nutzer positiv überrascht. Diese Eigenschaft überzeugt insbesondere im Stadtverkehr. Einschränkungen etwa bei der Reichweite und der Mangel an öffentlichen Schnellladestationen sind zwar bekannt, aber kein Hindernis für den gezielten und auf passende Bedürfnisse abgestimmten Einsatz im Flottenverbund.

Ein Blick in die Zukunft zeigt, dass für das Jahr 2030 der Anteil an Elektrofahrzeugen stark steigen wird. Insgesamt wird der Elektrofahrzeugbestand im Jahr 2030 gemäss Hochrechnungen bei einem Anteil am Gesamtfahrzeugbestand von 5 bis 18 Prozent liegen. Damit steigt auch der Bedarf an Ladestationen, wobei mit einem Anteil von 60 bis 200 Schnellladestationen und bis zu 34'000 privaten Ladestationen gerechnet wird.

Die Begleitforschung wurde in einem Synthesebericht zusammengefasst und basierte auf den vier Modulen zum Projekt EmobilitätBasel sowie einem weiteren Projekt zur «Ladeinfrastruktur Region Basel». Modul 1 und 2 bezogen sich auf die Untersuchung rein technischer Daten zum Fahrzeug, zu dessen Batterie und zum Betrieb des Fahrzeugs. Modul 3 deckte die Sichtweite der Kunden, respektive Nutzer, und der Entscheidungsträger ab: Das Modul wurde als Akzeptanzuntersuchung angelegt. Im Projekt Ladeinfrastruktur wurden die Anforderungen an eine künftige Ladeinfrastruktur in den Kantonen Basel-Landschaft und Basel-Stadt untersucht. Modul 4 ist der im Anhang vorliegende Bericht – eine Synthese der drei Module und des Projekts Ladeinfrastruktur Region Basel.

Technische Begleitforschung

- Modul 1: Rollenprüfstand und Feldmessungen
- Leistungs- und Verbrauchsdaten der Fahrzeuge und Batteriekapazitätsmessungen der Traktionsbatterie
 - Prüfstandmessungen bei tiefen und hohen Temperaturen

Modul 1: Sicherheit von Li-Ionen Batterien

Modul 2: Fahrtenbuch

Modul 2: Reparaturlog

Nutzerbefragung

- Modul 3: Kundenakzeptanz
- Kundenverhalten
 - Kundenerfahrung
 - Kundenzufriedenheit

Ladeinfrastruktur

Elektromobilität – Studie Ladeinfrastruktur Region Basel

- Anforderung an Ladeinfrastruktur
- Zukunftsszenarien Elektromobilität

Synthesebericht

Modul 4: Synthesebericht

7. Fazit und Ausblick

7.1 Mobility Solutions AG

Mobility Solutions AG bietet den Flottenkunden nach wie vor Elektrofahrzeuge an und sieht Wachstumschancen für den Markt. Ausschlaggebend für einen erfolgreichen Betrieb von Elektrofahrzeugen ist die Abstimmung der Fahrzeuge auf ihren Einsatzbereich: Kurzstrecken und innerstädtischer Verkehr, Verkehrssituationen mit viel Stop-and-go-Betrieb sowie klar definierte tägliche Touren eignen sich hervorragend für Elektrofahrzeuge.

Aufgrund neuer Modelle und immer attraktiver werdender Preise lohnt sich für viele Flottenbetreiber der Einsatz von Elektromobilität. Preislich überzeugen viele Elektrofahrzeuge mittlerweile auch ohne Fördergelder durch ihre konzeptbedingten Vorteile und geringen Unterhalts- und Energiekosten.

Finanzielle Förderungen können einen Anreiz darstellen. Für den Kunden bzw. Fahrer ausschlaggebender ist aber immer noch die Zuverlässigkeit der und das Vertrauen in die Fahrzeuge.

7.2 IWB

Mit dem Abschluss des Projekts konnten die geplanten Ziele vollumfänglich erreicht werden. Der Test erbrachte den Nachweis, dass die am Markt erhältlichen Elektro-Serienfahrzeuge für den Einsatz in einer Fahrzeugflotte geeignet sind. Sowohl die Reichweite in der Stadt als auch die Benutzerakzeptanz können durchwegs positiv beurteilt werden. Bedingt durch den von IWB gelieferten Strom aus 100% erneuerbaren Quellen kann der CO₂-Austoss der Fahrzeugflotte reduziert werden.

Die Studie «Ladeinfrastruktur Basel» in Verbindung mit der durchgeführten Netzberechnung hat aufgezeigt, dass einerseits die vorhandene Netzinfrastruktur bereit ist für die Elektromobilität und andererseits der benötigte, erneuerbare Strom zur Verfügung gestellt werden kann.

IWB wird das Thema intensiv weiterverfolgen. Derzeit prüft IWB, welche Geschäftsmodelle sich aus einer wachsenden E-Mobilität ergeben könnten. Ausserdem werden öffentliche Ladesäulen an mehreren Standorten errichtet.

7.3 Amt für Umwelt und Energie

Durch die Verknüpfung von Praxistest und Begleitforschung ist das Pilotprojekt ein weiterer Meilenstein im Rahmen der 2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel. Die gute Zusammenarbeit unter den Projektträgern und der Einbezug der Wirtschaftsverbände Handelskammer und Gewerbeverband ermöglichte die Erreichung der wesentlichen Projektziele.

Dank der finanziellen Unterstützung durch das Bundesamt für Energie konnte die Begleitforschung im vorgesehenen Rahmen durchgeführt werden. Somit liegen wichtige Erkenntnisse aus dem Praxistest vor.

Das AUE wird die Entwicklung der Elektromobilität weiter verfolgen. Im Rahmen der 2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel sind weitere Projekte vorgesehen, unter anderem der Betrieb von Schnellladestationen und der Test eines elektrisch betriebenen Kleinbusses in Riehen.

7.4 Gemeinde Riehen

Riehen hat den Praxistest und die Begleitforschung mit Interesse mitverfolgt und die Praxistauglichkeit tatsächlich getestet. Das E-Fahrzeug wurde als Geschäftsfahrzeug der Gemeindeverwaltung intensiv genutzt und als absolut tauglich befunden. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Gemeinde werden als Folgefahrzeug künftig ein E-Fahrzeug von Mobility am selben Standort mitnutzen. Ein weiteres für die Gemeinde sehr interessantes Pilotprojekt im Bereich der Elektromobilität ist die Beteiligung am Testbetrieb eines Elektro-Kleinbusses als Linienfahrzeug des Öffentlichen Verkehrs in Riehen.

Anhang:

Projektauftrag vom 15. April 2009

Schlussbericht Begleitforschung



Kanton Basel-Stadt



Projektauftrag: Pilotprojekt «Elektromobilität in der 2000-Watt-Gesellschaft - Pilotregion Basel»

1. Ausgangslage

Der Klimaschutz und die effiziente Energieverwendung sind zwei zentrale Herausforderungen der heutigen und kommenden Generationen. Der sorgsame Umgang mit Ressourcen, insbesondere mit Energie, ist in Anbetracht hoher Energie- und Rohstoffpreise sowie einer möglichen kommenden CO₂-Abgabe zudem ein wichtiger Erfolgsfaktor, um ein Unternehmen profitabel weiterzuentwickeln.

Die Klimaziele und die steigenden Kosten der fossilen Treibstoffe führen auch zu einem radikalen Umdenken bei der Entwicklung von Fahrzeugen. Dabei zeichnet sich mittel- bis langfristig eine Entwicklung in Richtung von Fahrzeugen mit Elektromotoren ab. Viele etablierte Automobilhersteller entwickeln heute Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb und einige Unternehmen sind entstanden, die sich auf den neuen Trend spezialisieren. Hinsichtlich des Antriebs des Elektromotors gibt es unterschiedliche Varianten: von Batterien bis zu mit Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellen, wie beim in Basel eingesetzten hy.muve, die den Strom on-board herstellen. Die verschiedenen Arten der Energiebereitstellung haben Vor- und Nachteile, die je nach Einsatzgebiet (kleinere Stadtfahrzeuge, Mittelklassefahrzeuge, Nutzfahrzeuge) besonders zur Geltung kommen. Praxistests sind eine wesentliche Voraussetzung für die Weiterentwicklung der Technologien und für die Entwicklung einer Strategie für eine langfristig sinnvolle Umsetzung in den verschiedenen Einsatzgebieten.

Mobility Solutions AG, der Kanton Basel-Stadt, die Gemeinde Riehen und die IWB wollen gemeinsam ein Pilotprojekt zur Austestung von Elektromobilen der neusten Generation lancieren.

1.1 Die Post und Mobility Solutions AG

Auch die Schweizerische Post sieht die nachhaltige Unternehmensführung als Chance, um Ressourcen schonend, energieeffizient und mit CO₂-neutralen Produkten und Dienstleistungen in Zukunft wirtschaftlich zu sein. Sie erkennt den Handlungsbedarf an¹, der sich aus der Klimaerwärmung ergibt und verpflichtet sich, die Ziele der Schweiz im Rahmen des Kyoto-Protokolls, die Ziele von EnergieSchweiz² und die Ziele von PostEurop³ zu erreichen.

Damit die Energie- und Klimaziele erreicht werden können, sind zielgerichtete Massnahmen in allen Geschäftsfeldern der Schweizerischen Post und deren konsequente Umsetzung notwendig. Daher stützt sich die Umweltstrategie⁴ der Schweizerischen Post auf drei Schritte (siehe Grafik 1):

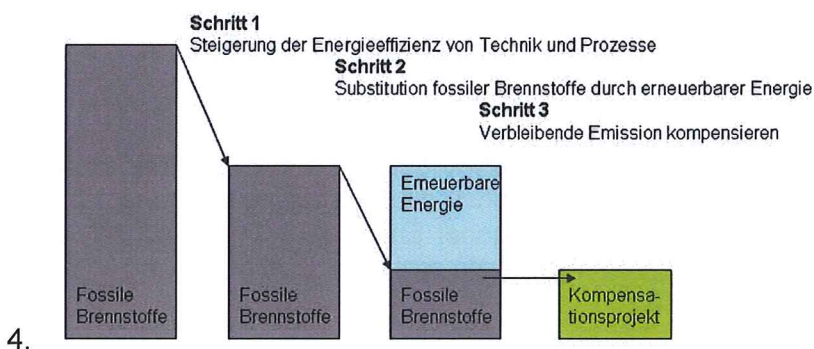
¹ http://www.post.ch/de/uk_gb06_11_umweltziele.pdf

² <http://www.bfe.admin.ch/energie/00553/index.html?lang=de>

³ <http://www.posteurop.org/index.jsp?isoCode=en>

⁴ Bericht: Energieversorgungs- und Klimaerwärmungsstrategie, 20070528, X 01.04, Umweltkoordinationsteam Post

1. Effizienz: Realisierung einer maximalen Energieeffizienz, d.h. kleinstmöglicher Energieeinsatz pro erbrachte Leistung (Betriebliche Optimierung, Investitionen)
2. Substitution: Förderung erneuerbarer Energien. Beim verbleibenden Energieeinsatz (siehe erstens) möglichst hoher Anteil erneuerbarer Energien
3. Kompensation: Klimaneutralität herstellen mittels Kompensation der Anteile von nicht erneuerbarem Restbedarf durch hochwertige CO₂-Emissionszertifikate



Ausländische Postorganisationen haben bereits massgebliche Teile ihrer Fahrzeugflotten auf alternative Energiequellen oder Antriebe umgestellt (z.B. USA 19% der Flotte, Schweden 13%, Holland 10% und Finnland 8%). Weiter laufen grossflächige Versuche mit batteriebetriebenen Elektroautos an. Zum Beispiel möchte das US-Unternehmen «Project Better Place» in Kooperation mit Renault-Nissan 500'000 Ladestationen in Israel aufstellen und in Dänemark einen Pilotversuch mit dem nationalen Energielieferanten DONG mit einigen hundert Elektroautos durchführen.

Mobility Solutions AG (nachfolgend MoS genannt) ist eine hundertprozentige Tochtergesellschaft der Schweizerischen Post. Sie betreibt die Fahrzeugflotte der Post und weiteren Flottenbesitzern - vom Fahrrad bis zum Lastwagen. Bereits in den letzten Jahren hat MoS verschiedene Versuche zu alternativen Antrieben durchgeführt, z.B. mit gasbetriebenen Fahrzeugen und Elektrorollern für die Zustellung. Um dem zweiten Schritt der Umweltstrategie der Schweizerischen Post nachzukommen und sich als umfassender Mobilitätsdienstleister auf dem Drittmarkt zu etablieren, verstärkt MoS ihre Anstrengungen um nachhaltige Mobilitätslösungen zu entwickeln. MoS beabsichtigt, in die E-Mobilität in einzelnen Regionen vertieft – nicht nur im Postbetrieb - auszutesten. Nebst Bern-Ittingen wäre Basel-Stadt eine weitere Option.

1.2 Der Kanton Basel-Stadt

Der Kanton Basel-Stadt verfolgt seit vielen Jahren eine fortschrittliche und zukunftsgerichtete Energie- und Umweltschutzpolitik. Verwaltung, Wirtschaft, Forschung und private Organisationen engagieren sich z.T. mit gemeinsamen Projekten für die Umsetzung dieser Ziele. Riehen und Basel sind beide mit dem Energy Award in Gold ausgezeichnet worden. Für den Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt bildet die «2000-Watt-Gesellschaft» denn auch ein Schwerpunkt der Kantonspolitik. Neben dem Gebäudebereich ist auch die Mobilität ein zentrales Handlungsfeld.

Vor rund 7 Jahren ist Basel-Stadt eine Zusammenarbeit mit «Novatlantis», der Plattform des ETH-Bereichs für die Forschung zur nachhaltigen Entwicklung von Ballungsräumen,

eingegangen. Im Sinne eines «Praxislabor der Nachhaltigkeitsforschung» soll beispielhaft aufgezeigt werden, was die 2000-Watt-Gesellschaft in den Bereichen Bauen, Mobilität sowie Raum und Ressourcen bedeutet. Im «Erlebnisraum Mobilität» steht die Erprobung neuer Technologien und Treibstoffe im Vordergrund. In enger Partnerschaft mit dem Competence Center Energy and Mobility (CCEM-CH) geht es darum, im Rahmen von Praxistests eine Palette von Antriebstechnologien im Alltag zu testen und dabei Erkenntnisse für die Weiterentwicklung der Technologien zu gewinnen. Bis jetzt wurde der Fokus auf Erd- und Biogasfahrzeuge sowie auf wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen-Fahrzeuge gelegt. Eine Ausweitung der Thematik auf den Bereich batteriebetriebener Elektrofahrzeuge unter Berücksichtigung der neusten Entwicklungen entspricht der Gesamtzielsetzung: der Entwicklung einer langfristig sinnvollen Strategie für die Umsetzung einer energieeffizienten und umweltschonenden Fahrzeugflotte, basierend auf glaubwürdigen Fakten durch den Test und Vergleich verschiedener Antriebstechnologien.

1.3 Die Gemeinde Riehen

Die Gemeinde Riehen ist im Besitz der höchsten Auszeichnung für Energiestädte, dem European Energy Award in Gold. Möglich ist dies nur dank einer breit gefächerten Energiepolitik, welche die Gemeinde schon seit Jahrzehnten betreibt. Im Verkehr steckt noch ein grosses Energiesparpotential. Die Gemeinde fördert zwar in erster Priorität den öffentlichen Verkehr und den sogenannten Langsamverkehr. Sie sieht aber auch Sinn in der Förderung von energieeffizienten Fahrzeugen für den motorisierten Individualverkehr und hat sich deshalb schon von 1996 bis 2001 als Partnergemeinde von Mendrisio am Grossversuch mit Leichtelektromobilen beteiligt. In der Beteiligung am Pilotprojekt «Elektromobilität» sieht die Gemeinde wiederum die Möglichkeit, Impulse für den Einsatz von energieeffizienten, lärm- und abgasarmen Fahrzeugen der neusten Generation zu geben. Denkbar sind Leistungen der Gemeinde im Bereich der Infrastruktur, z.B. Bereitstellen von speziellen Parkplätzen für Elektrofahrzeuge oder Ladestationen. Wird im Rahmen des Projekts die Möglichkeit geschaffen, Elektrofahrzeuge zu mieten oder zu testen, finden sich in Riehen unter den zahlreichen Wegpendlern sicher viele Interessenten.

1.4 Die Industriellen Werke Basel - IWB

Die IWB sind ein integriertes Versorgungsunternehmen in den Bereichen Energie, Wasser und Telekommunikation und befinden sich zu 100% im Besitz des Kantons Basel-Stadt. In Übereinstimmung mit der Eigentümerstrategie und dem IWB-Leitbild arbeiten sie aktiv an innovativen Lösungen, um attraktive und ökologische Kundenprodukte sowie ein nachhaltiges Wachstum sicherzustellen. Im Zusammenhang mit dem Pilotprojekt im Bereich Elektromobilität sind sie primär an Erfahrungen im täglichen Umgang mit dem Ladevorgang des Fahrzeugs sowie an möglichen Auswirkungen auf das Versorgungsnetz im Zusammenhang mit der «vehicle-to-grid»-Technologie interessiert.

Übergeordnete Fragestellungen sind:

- Künftige Rolle der IWB als Treibstoff-Lieferantin (Gas-, Strom-, Dampf-Tankstellen)
- Einfluss eines breiten Umstiegs der Endkunden z.B. auf Elektromobile in der Region Basel auf die aktuellen Anforderungen an den Betrieb (u.a. Netzführung) sowie

die Anlagendimensionierungen (Netztopologie, Spitzenkraftwerke wie KWO sowie dezentrale Energieerzeugung).

2. Ziele

Die Ziele des Projekts «E-Mobilität in der 2000-Watt-Gesellschaft - Pilotregion Basel» sind:

1. den Verbrauch fossiler Energien im Verkehr senken
2. die Energie-Effizienz im Verkehr erhöhen
3. die Integration regionaler Unternehmen im Greentech-Bereich fördern
4. Basel-Stadt als Standort für Greentech promoten
5. neuste Fahrzeugtechnologien austesten
6. die Anforderung an die erforderliche Infrastruktur klären (aus Sicht der Anwender, Netzbetreiber, Stromversorger, Sicherheit, etc.)
7. die Wirtschaftlichkeit austesten
8. die Rolle der Energielieferanten klären
9. Erfahrungen der Fahrzeugbetreiber und -nutzer sammeln und auswerten
10. die Akzeptanz für neue Technologien bei den Zielgruppen erhöhen

Die Projektträger sehen ihr Engagement schwerpunktmässig bei der Erreichung folgender Ziele:

	Ziele/Träger	Kanton	MoS	IWB	Riehen
Übergeordnete Ziele	1. Verbrauch fossiler Energien senken	X	X		X
	2. Effizienz im Verkehr erhöhen	X	X		X
	3. Regionale Unternehmen fördern	X			X
	4. Basel-Stadt als Greentech-StaO fördern	X			
Projektspezifische Ziele	5. Technologie austesten	X	X	X	X
	6. Infrastruktur klären	X	X	X	X
	7. Wirtschaftlichkeit testen	X	X	X	
	8. Rolle Energielieferant klären			X	
	9. Erfahrungen als Betreiber und Nutzer sammeln	X	X		X
	10. Akzeptanz erhöhen	X			X

3. Vorgehen

Zur Erreichung der genannten Projektziele (siehe Kap. 2) soll ein Pilot im Kanton Basel-Stadt in drei Phasen durchgeführt werden:

Phase 1 Pilot-Vorbereitung		Gemeinsame Erarbeitung einer Projektstudie «E-Mobilität». Diese Projektstudie soll das Konzept skizzieren und ein Businessmodell für Elektrofahrzeuge aufzeigen. Dazu gehört: <ul style="list-style-type: none"> • Wahl der Fahrzeuge / Infrastruktur • Wahl der Nutzer • Wahl der Betriebsart (Fz, Infrastruktur) • Wahl des Finanzierungsmodells • Entwicklung Konzept für technisches Monitoring und sozio-ökonomische Begleitung • Bestimmung von Grösse und Umfang des Pilots
Phase 2 Pilot-Betrieb		Wahl der Nutzungspartner für den Pilotversuch; Umsetzung des in der Phase 1 aufgezeigten Businessmodells mit einer kleineren Anzahl Fahrzeugen (rund 20 Fahrzeuge). Durchführung eines technischen Monitorings und sozio-ökonomischer Begleitung inkl. Akzeptanzstudien.
Phase 3 Pilot-Auswertung		Auswertung Ergebnisse des technischen Monitorings und der Akzeptanzstudien. Ausarbeitung einer Strategie für die Breitenumsetzung. Anhand der Erfahrungen des Pilotprojektes Multiplizierung und Ausweitung des Geschäftsmodells mit weiteren Partnern und auf andere Zielmärkte.

4. Aufgaben

Das vorliegende Vorhaben weist kundenspezifische, fahrzeug- und infrastrukturenspezifische, betriebsspezifische, kommunikationsspezifische, finanzielle und organisatorische Aspekte auf. Die folgenden Aktivitäten, welche den genannten Aspekten zugeordnet werden können, sollen im Rahmen des Projektes ausgeführt werden.⁵

Aspekt	Aktivität	Verantw.	Kommentar
org	Bestehendes inländisches Wissen und Erkenntnisse sammeln (z.B. mittels Interviews mit inländischen Fachspezialisten/Energieberater)	ErM	unter Einbezug des CCEM und ecos AG
org	Wahl Rechtsstruktur und Betreiber für Pilotprojekt	PS	
org	Erstellung Businessplan inkl. Budget	PL	
org	Durchführung Pilotprojekt	PL	
org	Auswertung Pilotprojekt	PL	durch ErM

⁵ Hinweis: Die Aktivitäten-Liste ist noch nicht vollständig, die Reihenfolge nicht chronologisch, die Einträge unter „Verantwortung“ als Vorschläge zu verstehen.

Aspekt	Aktivität	Verantw.	Kommentar
org	Erstellung Verträge für Pilotprojekt	PS	
org	Entwicklung Konzept für technisches Monitoring und sozio-ökonomische Begleitung	ErM	
org	Bestehende Fahrzeuge, welche ggf. durch Elektroautos ersetzt werden, schätzen	ErM	
org	Möglichkeiten für den Umgang mit Fahrzeugen des Kunden, welche ggf. durch Elektroautos ersetzt werden, erarbeiten	ErM	
finanz	Förderquellen und evtl. Venture Capital Finanzgeber identifizieren	PL	
finanz	Finanzierungsmodelle erarbeiten	PL	
fahrz	potentielle Elektrofahrzeug-Hersteller identifizieren	ErM	In Absprache mit MoS
fahrz	Verfügbarkeit der potentiellen Elektrofahrzeuge identifizieren (inkl. Support-Module wie z.B. Access HW)	ErM	In Absprache mit MoS
fahrz	Technische Merkmale der potentiellen Elektrofahrzeuge prüfen, Sicherstellung des Einbaus einer Tracking Unit für das technische Monitoring	ErM	In Absprache mit MoS
fahrz	Preise der potentiellen Elektrofahrzeuge identifizieren (evtl. aufgegliedert auf Batterie/Akku und Fahrzeug)	MoS	
fahrz	Einsatzmöglichkeiten der verschiedenen Elektrofahrzeuge identifizieren	ErM	
fahrz	Wahl Fahrzeug und Batteriekonzept	PS	
fahrz	Fahrzeug Importeur festlegen	MoS	
fahrz	Fahrzeug Importbestimmungen klären	MoS	
fahrz	Lieferkonditionen klären/verhandeln	MoS	
fahrz	Fahrzeuge Zulassung in der Schweiz klären und sicherstellen	MoS	
fahrz	Technisches Monitoring durchführen	ErM	Unter Einbezug des CCEM
Infrastruktur	Erstellen Energieversorgungs- und Ladekonzept für Pilot	IWB	
infra	Aufstellen von Ladestationen für Pilot	IWB	
infra	Aufstellen von Ladestationen für Roll-out	IWB	
kund	Erstellung Kriterien für Nutzerwahl	ErM	In Absprache mit MoS
kund	Erstellung Liste potentieller Nutzer	ErM	In Absprache mit MoS
kund	Erstellung Dokumentation für Nutzerkontakt	ErM	In Absprache mit MoS
kund	Kontaktnahme zu potentiellen Nut-	ErM	In Absprache mit MoS

Aspekt	Aktivität	Verantw.	Kommentar
	zern		
kund	Pilotkonzept potentiellen Nutzern vorstellen	ErM/MoS	
kund	Verhandlung mit potentiellen Nutzern	MoS	
kund	Auswahl Nutzungspartner für Pilot	PL	
kund	Abklärung Einbezug Postfahrzeuge	MoS	
kund	Abklärung Einbezug Fahrzeuge IWB	IWB	
kund	Abklärung Einbezug weiterer Partner	ErM	
kund	Sozioökonomische Begleitforschung, Akzeptanzstudien	ErM	
komm	Entwicklung/Anpassung Strategie E-Fahrzeuge aufgrund Projektergebnisse	PL	
komm	Kommunikationskonzept erstellen	ErM	Unter Einbezug von ecos AG
komm	Info Öffentlichkeit	PS	

Legende: PS = Projektsteuerung, PL = Projektleitung, MoS = Mobility Solutions AG, ErM = Erlebnisraum Mobilität (Koordination Sustainerv GmbH), CCEM = Competence Centre Energy and Mobility des ETH-Bereichs

Grundsätze

Auf Grund der involvierten Projektpartner und deren jeweiligen Tätigkeitsfelder bzw. Kernkompetenzen, ist bei der Projektdurchführung Folgendes zu berücksichtigen:

- Der Energielieferant sind die IWB.
- Der Flottenmanager ist MoS.
- Der Erlebnisraum Mobilität übernimmt die Rolle einer technischen und einer sozioökonomischen Begleitung inkl. Akzeptanzstudien.
- Die Primärnutzer (Pilotkunde) sind der Kanton Basel-Stadt unter Einbezug der Gemeinde Riehen sowie lokale Flottenbetreiber.

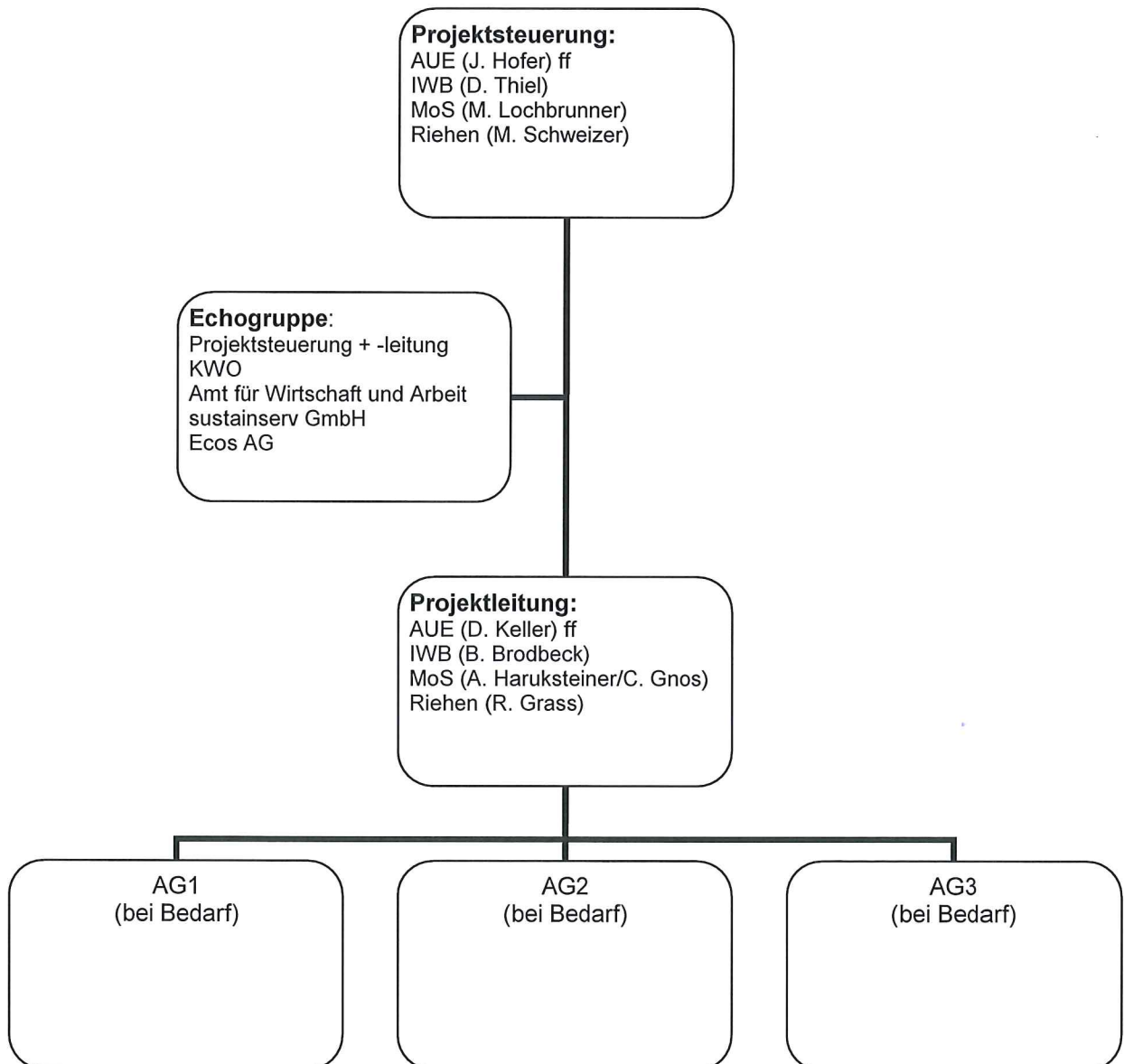
5. Ressourcen

Die für das vorliegende Projekt benötigten Mittel werden im Rahmen der Detailplanung ermittelt und der entsprechende Verteilschlüssel festgelegt.

6. Organisation

Nachfolgende Projektorganisation ist vorgesehen. Arbeitsgruppen werden bei Bedarf eingesetzt.

Projekträger sind IWB, AUE, Gemeinde Riehen und Mobility Solutions AG.

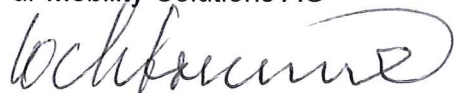


7. Meilensteine

Phase	Was	Wer	Wann
0	Projektauftrag	Projektsteuerung	15. April 2009
0	Projektstart	Projektleitung	17. April 2009
1	Businessplan erstellt	Projektleitung	30. Sept. 2009
1	Vertragswerk unterschrieben	Projektsteuerung	31. Okt. 2009
2	Fahrzeuge bestellt	Projektleitung	1. Quartal 2010
2	Start Pilotprojektbetrieb in Basel	Projektsteuerung	1./2. Quartal 2010
2	Ende Pilotprojektbetrieb in Basel	Projektsteuerung	4 Jahre nach Start
3	Pilotprojekt ausgewertet, Empfehlung bezgl. Pilotkonzept (z.B. ausweiten) erstellt	Projektleitung	laufend
3	Projektende	Projektsteuerung	5 Jahre nach Start

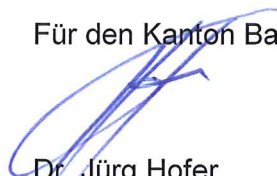
Basel, Bern, Riehen, 15. April 2009

Für Mobility-Solutions AG



Martin Lochbrunner
CEO

Für den Kanton Basel-Stadt



Dr. Jürg Hofer
Leiter Amt für Umwelt und Energie

Für die Gemeinde Riehen



Willi Fischer
Gemeindepräsident

Für die IWB



Dr. David Thiel
Vorsitzender der Geschäftsleitung



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht

Synthesebericht

Begleitforschung zum Pilotprojekt EmobilitätBasel

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel
c/o CCEM
Paul Scherrer Institut
5232 Villigen

Autoren:

Matthias Egli, Sustainerv, matthias.egli@sustainerv.com
Simon Burkart, Sustainerv, simon.burkart@sustainerv.com
Michael Graf, Mobility Solutions AG, michael.graf@post.ch

BFE-Bereichsleiter: Martin Pulfer

BFE-Programmleiter: Martin Pulfer, Programm Verkehr

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500781-01 / 8100079

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Auftraggeber

Die Begleitforschung des Projekts *EmobilitätBasel* wurde durch das Bundesamt für Energie BFE finanziert.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Projekt der 2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel:

Das Projekt ist Teil der „2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel“, welche das Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt koordiniert. Es wird durch novatlantis – Nachhaltigkeit im ETH Bereich als Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis unterstützt.

Projektträger und Steuergruppe

Dominik Keller	Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt
Frank Panhans	IWB, Basel
Philipp Wälchli	Gemeinde Riehen
Simone Leicht	Mobility Solutions AG
Yvonne Siepen	IWB, Basel

Autoren Synthesebericht

Matthias Egli	Sustainserv, Bereichsleiter Programm Management
Simon Burkart	Sustainserv, Junior Consultant
Michael Graf	Mobility Solutions AG

Sustainserv GmbH, Gartenstrasse 16, 8002 Zürich

Kontakt: Matthias Egli, matthias.egli@sustainserv.com

Leistungsträger Begleitforschung EmobilitätBasel

Berner Fachhochschule, EMPA, Mobility Solutions AG, Sustainserv GmbH

Teilnehmende Organisationen

Besonderen Dank gilt den teilnehmenden Organisationen, welche das Projekt und die Datensammlung durch den Einsatz der Fahrzeuge in der Firmenflotte ermöglicht haben:

Amt für Umwelt und Energie Kanton Basel-Stadt

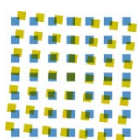
Gruner AG

IWB

Rapp Gebäudetechnik

Regioplan

Tschantré AG



sustainserv

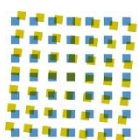
Management Summary

Im Jahr 2011 haben der Kanton Basel-Stadt, die Gemeinde Riehen und IWB gemeinsam das Projekt EmobilitätBasel lanciert. Diese Initiative ist eingebettet in das übergeordnete Projekt „2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel“. Ziel des Emobilität-Projekts war es, mithilfe eines Pilotversuchs den Markteintritt von energieeffizienten Elektrofahrzeugen zu fördern.

Mit der Begleitforschung zum Projekt EmobilitätBasel sollen die praktischen Erfahrungen, die in Basel mit dem Einsatz von Elektrofahrzeugen gemacht wurden, interpretiert werden. Die Begleitforschung fokussiert sich auf das Monitoring der Technologie und der Untersuchung der Akzeptanz bei den Nutzern. Die Studie umfasst vier Module sowie ein weiteres Projekt zur „Ladeinfrastruktur Region Basel“. Die Forschungspartner Berner Fachhochschule (BFH) und das EMPA haben Rollenprüfstand und Feldmessungen durchgeführt. Zudem wurden umfangreiche Betriebsdaten (Fahrtenbuch, Reparaturlog) erfasst und die Sicherheit von Li-Ionen Batterien beurteilt. Mit einer Befragung zur Kundenakzeptanz konnte die Sichtweise der Kunden und der Entscheidungsträger abgeholt werden. Im Projekt Ladeinfrastruktur wurden die Anforderungen an eine künftige Ladeinfrastruktur in den Kantonen Basel-Landschaft und Basel-Stadt untersucht.

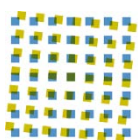
Die Begleitforschung hat aufgezeigt, dass Elektrofahrzeuge für den angepassten Einsatz vollständig funktionsfähig sind. Die Anforderungen an Komfort, Fahrleistungen und Sicherheit werden erfüllt. Fahrzeugeigenschaften, wie beispielsweise die Beschleunigung der Fahrzeuge, haben die Nutzer positiv überrascht. Diese Eigenschaft überzeugt insbesondere im Stadtverkehr. Einschränkungen etwa bei der Reichweite und der Mangel an öffentlichen Schnellladestationen sind zwar bekannt, sind aber kein Hindernis für den gezielten und auf passende Bedürfnisse abgestimmten Einsatz im Flottenverbund.

Ein Blick in die Zukunft zeigt auf, dass für das Jahr 2030 der Anteil an Elektrofahrzeugen stark steigen wird. Insgesamt wird der Elektrofahrzeugbestand im Jahr 2030 gemäss Hochrechnungen bei einem Anteil am Gesamtfahrzeugbestand von 5% bis 18% liegen. Damit steigt auch der Bedarf an Ladestationen, wobei mit einem Anteil von 60 bis 200 Schnellladestationen und bis zu 34'000 privaten Ladestationen gerechnet wird.



Inhalt

Management Summary	2
1 Vorwort	1
2 Projektdesign	2
2.1 Modul 1 & 2: Technische Begleitforschung	2
2.2 Modul 3: Nutzerbefragung	3
2.3 Entwicklung der Ladeinfrastruktur Region Basel.....	4
3 Leistungsfähigkeit.....	5
3.1 Fahrkomfort	5
3.2 Reparaturanfälligkeit.....	6
3.3 Sicherheit der Batterie	6
3.4 Energieverbrauch und Emissionen.....	7
4 Optimierungspotenzial	8
4.1 Reichweite	8
4.2 Ladevorgang.....	10
4.3 Nutzerverhalten beim Laden	10
4.4 Ladeinfrastruktur.....	11
5 Fazit und Empfehlungen.....	12
Aufstellung einer Kosten- und Investitionsrechnung	13
Langfrist-Untersuchung der Li-Ionen Batterien	13
Ermittlung der Auswirkungen auf die Umwelt durch geräuscharme Fahrweise	14
Untersuchung des Zusammenhangs von Nutzerverhalten und Anreizsystemen	14
Studie zu den spezifischen Herausforderungen im Flottenmanagement.....	14



1 Vorwort

Im Jahr 2011 haben der Kanton Basel-Stadt, die Gemeinde Riehen und IWB gemeinsam das Projekt EmobilitätBasel lanciert. Im Rahmen dieses Projektes wurden Serienfahrzeuge in bestehende Firmenflotten integriert. Parallel dazu wurde die Begleitforschung zum Projekt EmobilitätBasel lanciert. Mit dem Ziel wichtige Informationen zu Möglichkeiten und Grenzen der Technologie zu gewinnen und die Akzeptanz der Kunden, respektive Nutzer zu erfahren.

Der vorliegende Synthesebericht fasst die Ergebnisse der Begleitforschung zum Projekt EmobilitätBasel zusammen. Die detaillierten Resultate der jeweiligen Teilprojekte und Module sind in den Einzelberichten dokumentiert (siehe Anhang).

Technologie und Markt der Elektrofahrzeuge haben sich seit dem Projektbeginn vor drei Jahren stark entwickelt. Die positive Nutzererfahrung und die Stabilität der Technologie hätte man vor ein paar Jahren noch kaum erwartet. Die Begleitforschung bestätigt heute, dass Elektrofahrzeuge im gezielten Einsatz voll akzeptiert sind. Neben anderen interessanten Ergebnissen liegt der grösste Mehrwert des Projekts EmobilitätBasel sicher darin, dass in der Schweiz erstmals wichtige neue Daten zu Fahrzeugen erhoben und ausgewertet werden konnten, die mit der Lithium-Ionen-Batterie-Technologie ausgestattet sind („Li-Ionen-Batteriefahrzeuge“). Alle Untersuchungen fallen unter dem Strich positiv für die E-Mobilität aus. Die Initianten haben ihre oben genannten Ziele erreicht.

Alle Untersuchungen fallen unter dem Strich positiv für die E-Mobilität aus.

2 Projektdesign

Die Begleitforschung zum Projekt EmobilitätBasel umfasst vier Module sowie ein weiteres Projekt zur „Ladeinfrastruktur Region Basel“. Modul 1 und 2 beziehen sich auf die Untersuchung rein technischer Daten zum Fahrzeug, zu dessen Batterie und zum Betrieb des Fahrzeugs. Modul 3 deckt die Sichtweite der Kunden, respektive Nutzer, und der Entscheidungsträger ab: Das Modul ist als Akzeptanzuntersuchung angelegt. Im Projekt Ladeinfrastruktur wurden die Anforderungen an eine künftige Ladeinfrastruktur in den Kantonen Basel-Landschaft und Basel-Stadt untersucht. Modul 4 ist der vorliegende Bericht – eine Synthese der drei Module und des Projekts Ladeinfrastruktur Region Basel.

Technische Begleitforschung

- Modul 1: Rollenprüfstand und Feldmessungen
- *Leistungs- und Verbrauchsdaten der Fahrzeuge und Batteriekapazitätsmessungen der Traktionsbatterie*
 - *Prüfstandmessungen bei tiefen und hohen Temperaturen*
- Modul 1: Sicherheit von Li-Ionen Batterien
- Modul 2: Fahrtenbuch
- Modul 2: Reparaturlog

Nutzerbefragung

- Modul 3: Kundenakzeptanz
- *Kundenverhalten*
 - *Kundenerfahrung*
 - *Kundenzufriedenheit*

Ladeinfrastruktur

- Elektromobilität – Studie Ladeinfrastruktur Region Basel
- *Anforderung an Ladeinfrastruktur*
 - *Zukunftsszenarien Elektromobilität*

Synthesebericht

- Modul 4: Synthesebericht

2.1 Modul 1 & 2: Technische Begleitforschung

Im Rahmen der begleitenden Untersuchungen wurden die folgenden verschiedenen Typen von Li-Ionen-Batteriefahrzeugen sowohl auf dem Rollenprüfstand als auch im Feldeinsatz von der BFH und der EMPA getestet: Fiorino MicroVett (Prototyp), Fiorino Kamoo (Prototyp), Renault Kangoo (Serienfahrzeug) und Peugeot iOn (Serienfahrzeug). Auf dem Rollenprüfstand hat man Leistungs- und Verbrauchsdaten erhoben und die Kapazität der Traktionsbatterie ermittelt. Im Fahrzeugeinsatz auf der Strasse erfolgte eine Feldmessung mit Aufbereitung und Auswertung der Fahrdaten. Darüber hinaus liegt ein Reparaturlog vor mit Detailangaben zu Service, Art und Häufigkeit von Pannen und Reparaturen sowie zu Reifenwechsel des Peugeot iOn (s. Anhang). Zudem hat die Mobility Solutions AG in einer Literaturstudie die Sicherheit von Li-Ionen Batterien in Elektrofahrzeugen untersucht.

Das Projekt EmobilitätBasel liefert einige neue Erkenntnisse in Bezug auf Elektromobilität, Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur. Erstmals wurden in der Schweiz in grossem Umfang folgende Daten erhoben bzw. berücksichtigt:

- Prüfstand-Messungen bei tiefen und hohen Temperaturen
- Daten zur Analyse der Sicherheit der Batterien
- Betriebsdaten von mehr als 10'000 km unter realen Bedingungen (Feldmessungen)
- Entwicklung der Kundenakzeptanz über einen längeren Zeitraum (22 Monate)
- Qualitative Aussagen zur Entwicklung der Elektromobilität und der künftig benötigten Ladeinfrastruktur auf Basis einer TA-Swiss-Studie (Technologiefolgenabschätzung bis 2030)

2.2 Modul 3: Nutzerbefragung

Es wurden 69 Personen, die regelmässig eines der unten genannten Elektrofahrzeuge nutzen, nach ihren Erfahrungen, ihrem Verhalten und ihren Einschätzungen befragt. In vier Organisationen kam der Peugeot iOn zum Einsatz, jeweils in einer Organisation der Mitsubishi i-MiEV (Serienfahrzeug) und der Plug-in-Hybrid Opel Ampera (Serienfahrzeug). Zwei dieser Fahrzeuge (Mitsubishi i-MiEV und Opel Ampera) waren allerdings nicht in die technische Begleitforschung eingebunden. Die Fahrzeuge kamen in der Regel bei Geschäftsfahrten (Bauabnahmen, Projektleitungssitzungen, Meetings an anderen Geschäftsstandorten, kleinere Transporte oder Botengänge) in der Region Basel zum Einsatz. Sie standen allen Mitarbeitenden der sechs teilnehmenden Organisationen als Poolfahrzeuge zur Verfügung. Ergänzend zu der Nutzerbefragung wurden die jeweiligen Entscheidungsträger über Ihre Erfahrungen mit der Elektromobilität im Flottenverbund interviewt.



Peugeot iOn im Einsatz

2.3 Entwicklung der Ladeinfrastruktur Region Basel

Das Projekt Ladeinfrastruktur Region Basel wurde auf Initiative von IWB lanciert und gemeinsam mit den Energieversorgern der Region Basel und den Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft unter der Führung des Amtes für Umwelt und Energie Kanton Basel-Stadt realisiert. Ziel der Initianten war es, die prognostizierte Nachfrage nach Ladesäulen für die Zukunft und die Entwicklung der E-Mobilität in der Region Basel besser abschätzen zu können. Für eine derartige Bedarfsplanung liefert die Studie Daten zu möglichen Entwicklungen hinsichtlich des Aufkommens von Elektrofahrzeugen in der Region Basel und den daraus resultierenden Strombedarf, je nach Standort und zeitlichem Ablauf. Der Bedarf an Ladestationen wurde für vier Ladetypen errechnet und zwar anhand von Szenarien zur potenziellen Marktdurchdringung der Elektrofahrzeuge in der Schweiz (TA-SWISS Studie). Als Grundlage dieser Szenarien dienen wiederum politische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen in den Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft, die technische Fahrzeugentwicklung und die Zukunft des motorisierten Individualverkehrs (MIV) aufgrund sozioökonomischer Veränderungen.

Um dem zu erwartenden exponentiellen Wachstum gerecht zu werden, führt die Studie deutlich vor Augen, dass mit der Verbreitung der E-Fahrzeuge bis zu 34'000 private Ladestationen installiert werden. Aber auch die Schnellladestationen müssen in ausreichender Stückzahl vorhanden sein. Bis 2030 werden ca. 60 bis 200 Stationen für die Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft erwartet.

**Bis 2030:
60 bis 200
Schnelllade- und
10'000 – 34'000
private Ladestationen**

3 Leistungsfähigkeit

Der Einsatz der Elektrofahrzeuge in Basel wurde von den Nutzern und Entscheidungsträgern sehr positiv bewertet – trotz anfänglicher Skepsis. Die Befragten berichten durchwegs von guten Erfahrungen, die Zufriedenheit ist hoch. Der Einsatz der Fahrzeuge hat gezeigt, dass diese – bei geeigneter Nutzung – herkömmlichen Benzinmotoren gegenüber in nichts nachstehen. Es kommt also darauf an, das richtige Modell in der richtigen Situation einzusetzen. Komfort, Funktionsfähigkeit und Sicherheit wurden von den Anwendern positiv bewertet. In den Feld- und Labortests konnten zusätzliche Erkenntnisse zur Reichweite, respektive Batteriekapazität der Fahrzeuge gewonnen werden.

Folgende Kriterien von besonderer Bedeutung wurden eingehend untersucht:

3.1 Fahrkomfort

Zu Beginn der Pilotphase des Projekts gab es aufseiten vieler Nutzer noch erhebliche Zweifel an der Robustheit und Zuverlässigkeit eines Elektrofahrzeugs. Der Einsatz des Peugeot iOn hat jedoch gezeigt, dass serienmässige Elektrofahrzeuge heute voll einsatzfähig sind. Die Nutzer vergaben für Fahrzeugfunktionalitäten wie z.B. Lüftung, Sitzkomfort, Stauraum und Design der getesteten Fahrzeuge gute Noten. Lediglich der Geräuschpegel wird ambivalent beurteilt: Die geringe Lärmemission im Auto wie auch in der Umgebung wird von den Nutzern als angenehm wahrgenommen. Allerdings sehen Nutzer in der leisen Fahrweise der Fahrzeuge auch ein Risiko. Das Fahrzeug könne, so der Tenor kritischer Stimmen, gefährlich werden für Fussgänger und Radfahrer, welche die Strasse häufig nach Gehör überqueren.

Die Hersteller der im Pilot benutzten Elektrofahrzeuge haben sich mit ihrer Ausstattung (Komfort) bis dato stark den herkömmlichen Fahrzeugen angepasst. In Zukunft könnten hier weitere Alleinstellungsmerkmale entwickelt werden. Ein Nutzer hinterfragt zum Beispiel die Einrichtung eines Zündschlüssels für ein E-Auto.

94% «Erwartungen erfüllt» und «positiv überrascht»

«Man hört es kaum kommen»

Nutzerfeedback

Insbesondere im Stadtverkehr wird das Fahrverhalten in Bezug auf die Beschleunigung sehr positiv und sogar als „einzigartig“ gewertet. „Man startet mit leichter Verzögerung, hat dann aber mehr Power als ein Verbrennungsmotor“ erklärt ein Anwender.

«Beschleunigung ist einzigartig»

Nutzerfeedback

3.2 Reparaturanfälligkeit

Li-Ionen Batterien sind der Schlüssel zum stabilen Einsatz von Elektrofahrzeugen. Die neue Technologie erhöht Reichweite, Leistung und Robustheit des Systems. Dank der immer stärker wachsenden Produktion sinken auch die Preise für diese Batterien. Das Reparaturlogbuch spiegelt diese Robustheit: Es zeigt, dass es keine Panne gegeben hat, die auf das Antriebssystem, den Elektromotor, zurückzuführen war. Die getesteten E-Fahrzeuge waren mindestens genau so zuverlässig wie andere Fahrzeuge. Pannen sind gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen sogar unterdurchschnittlich aufgetreten.

Keine Pannen beim Antriebssystem

3.3 Sicherheit der Batterie

Der Technologiewandel durch Li-Ionen Batterien hat grossen Einfluss auf die rasante Entwicklung serienmässiger Elektrofahrzeuge im Vergleich zu früheren Prototypen.

Heutige Batterien, die als Energiespeicher für Elektrofahrzeuge verwendet werden, lassen sich durch intelligente Batterie-Management-Systeme überwachen. Zudem haben die Gehäuse eine stabile Konstruktion, um mechanischen Einwirkungen, etwa bei Unfällen, standhalten zu können. Mit der Einhaltung von Normen und spezifischen Zulassungskriterien wie auch durch obligatorische Tests hat der Konsument die Garantie, ein ausgereiftes, qualitativ hochwertiges und sicheres Produkt zu nutzen. Alle diese Massnahmen führen dazu, dass eine Li-Ionen Batterie, die nach Stand der Technik in Elektrofahrzeugen verbaut wird, weder im alltäglichen Betrieb, noch im Falle eines technischen Defekts oder eines Unfalls zu einer ernsthaften Gefahr werden kann.

Aufgrund diverser Vorfälle wird jedoch immer wieder die Sicherheit der Technologie in den Medien und in der Öffentlichkeit in Frage gestellt. Die Technologie hat in der Vergangenheit wegen Batteriebränden oder sogar offenem Feuer in Einzelfällen für negative

Schlagzeilen gesorgt. Crashtests und Versuche in speziellen Labors beweisen jedoch, dass Szenarien – wie z.B. sich spontan entzündende und explodierende Batterien – auch bei fehlerhafter Bedienung praktisch ausgeschlossen werden können, respektive nur unter extremsten Bedingungen auftreten.

Es kann heute gesagt werden, dass Li-Ionen Batterien kein aussergewöhnliches Sicherheitsrisiko darstellen und im Strassenverkehr problemlos eingesetzt werden können. Dank der Präventionsmassnahmen und eines ausgereiften Sicherungssystems (s.o.) lässt ein Elektrofahrzeug sogar weniger Fehlmanipulationen zu als ein konventionell angetriebenes Fahrzeug.

Die Nutzer wurden nicht speziell zur Sicherheit der Batterie befragt, allerdings zur Sicherheit des gesamten Fahrzeugs. Die Sicherheit der Fahrzeugkonstruktion bewerteten die Nutzer grundsätzlich mit „durchschnittlich“. Hier spielt u.a. der Aspekt der Knautschzone eine Rolle. Diesbezüglich schneiden nach Meinung der Nutzer Elektrofahrzeuge offenbar ähnlich ab wie Benziner der gleichen Gewichtsklasse.

«Wie ein normales Auto in der gleichen Gewichtsklasse»

Nutzerfeedback

3.4 Energieverbrauch und Emissionen

Das Serienfahrzeug Peugeot iOn hat von den getesteten Fahrzeugen den tiefsten Verbrauch ab Steckdose für 100 km im Labortest nach NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus). Der effektive Energieverbrauch liegt im realen Einsatz auf der Strasse leicht höher. Bei den Serienfahrzeugen ist der Energieverbrauch wesentlich niedriger als bei den untersuchten Prototypen, was unter anderem auf die hohe Rekuperationsrate von bis zu 23% beim Peugeot iOn zurückzuführen ist.

Der direkte, das heisst lokale, CO₂-Ausstoss eines Elektrofahrzeugs liegt bei null. Um einen Vergleich mit herkömmlichen Fahrzeugen zu ermöglichen, müssen die Emissionen eines E-Fahrzeugs jedoch in Abhängigkeit vom „getankten Strom“ betrachtet werden. Dabei werden die Well-to-Wheel CO₂-Emissionen eines E-Fahrzeugs anhand des bezogenen Strommixes berechnet. Die äquivalente CO₂-Belastung von Elektrofahrzeugen ist bei zertifiziertem Ökostrom bis zu 100fach tiefer, verglichen mit vergleichbaren Verbrennungsfahrzeugen. Bei herkömmlichem Strom gemäss Schweizer Lieferantenstrommix ist der CO₂-Ausstoss mit 18



Gramm CO₂ pro Kilometer Fahrdistanz immer noch bedeutend kleiner als bei vergleichbaren Benzinfahrzeugen.

4 Optimierungspotenzial

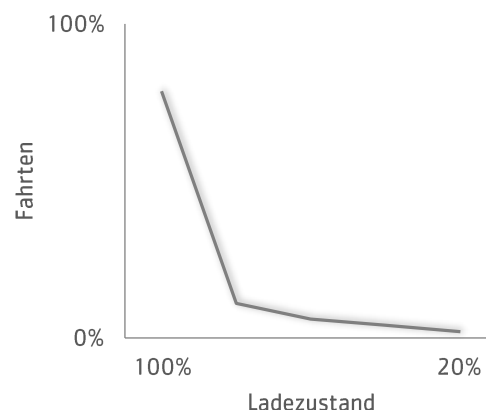
Aufgrund der oben angeführten Leistungsmerkmale dürfen Elektrofahrzeuge als eine sichere, alltagstaugliche sowie in puncto Emissionen unvergleichliche Alternative zu herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren bezeichnet werden. Dennoch gibt es natürlich Potenzial zur Verbesserung. Im Folgenden werden die wichtigsten Punkte aufgeführt:

4.1 Reichweite

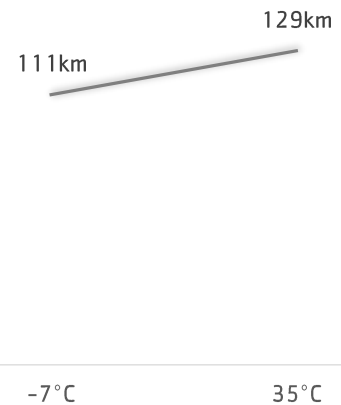
Der Radius der getesteten E-Fahrzeuge war klein, sie kamen überwiegend im städtischen Verkehr zum Einsatz. In der Regel dienten die Pilot-Autos als Ersatz für ein anderes Pool-Fahrzeug oder einen privaten Personenwagen oder wurden – in Einzelfällen – anstelle des öffentlichen Verkehrs benutzt. Die Fahrdistanz lag laut Nutzerangaben für die meisten Einsätze unter 25 Kilometer. Gemäss Datenlogger lag die durchschnittlich zurückgelegte Entfernung sogar unter 8 km pro Fahrt, wobei zu beachten ist, dass nach jedem Stillstand von maximal 10 Minuten Dauer eine neue Fahrt berechnet wurde. Kurze Distanzen sind typisch für die Verhältnisse in der Schweiz: Nur bei 6.25% der Bevölkerung beträgt die tägliche Fahrdistanz mehr als 50 Kilometer.

Die Reichweite bei den Tests auf dem Rollenprüfstand beläuft sich auf 110 bis 140 km pro Batterieladung. Aus der Feldmessung ist zudem gut ersichtlich, dass bei allen Testfahrzeugen der grösste Teil der Fahrten bei voller Batterie gemacht wurde (siehe Grafik). Die potenzielle Reichweite der Batterieladung wird also bei weitem nicht ausgeschöpft. Dementsprechend hat auch die Mehrheit der Nutzer die Reichweite nicht als Problem oder zumindest Behinderung wahrgenommen. Laut Umfrage waren 69% der Nutzer mit der Reichweite „eher zufrieden“ bzw. „zufrieden“. Den Befragten war die limitierte Reichweite durchaus bewusst; entsprechend war aber auch der Einsatzzweck für die jeweiligen Dienstfahrten angepasst.

Fahrdistanz für die meisten Einsätze < 25km



Die Reichweite der Batterie hängt von der Umgebungstemperatur ab. In Labortests hat man diesen Zusammenhang untersucht. Mit abnehmender Temperatur geschieht zweierlei: Die verfügbare Energie der Batterie verringert sich und der Wirkungsgrad der Fahrzeuge sinkt. Folglich verkürzt sich auch die maximale Fahrdistanz bei sinkenden Umgebungstemperaturen. Dieser Effekt konnte jedoch von den Nutzern nur zum Teil wahrgenommen werden, da die Fahrdistanzen dafür meist zu kurz waren und das Batteriepotezial kaum ausgenutzt wurde. Unter Laborbedingungen konnten die Unterschiede jedoch eindeutig nachgewiesen werden: Die Messungen in der Klimakammer der EMPA ergaben, dass die Fahrzeuge bei warmen Temperaturen eine klar höhere Reichweite aufweisen als bei kalten Temperaturen. Zusätzlich wird die Reichweite der Batterie stark von der Nutzung der Heizung mit zirka 5kW Leistung beeinflusst. Das heisst: Der Energieverbrauch steigt während der Wintermonate zum einen aufgrund des geringeren Wirkungsgrades und zum anderen wegen der zusätzlichen Heizleistung. Die maximale Reichweite kann dadurch signifikant abnehmen.

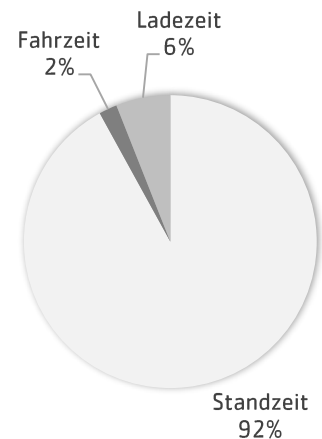


Interessant ist zudem die Frage, ob die Speicherkapazität und somit die Reichweite einer Batterie mit der Zeit abnimmt. Mit der heutigen Lithium-Ionen Technologie ist der Memory-Effekt sehr klein. Das heisst, regelmässige Ladezyklen haben einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Batteriekapazität.

Die „Zielwerte“ für eine konstante Kapazität von mind. 80% der ursprünglichen Batterieleistung liegt bei einer Lebensdauer von 12 Kalenderjahren. Die Frage, ob und inwieweit diese Zielgrösse von den heute verwendeten Batterien tatsächlich erreicht wird, ist aufgrund fehlender empirischer Werte an dieser Stelle nicht zu beantworten. So konnte erwartungsgemäss auch während der Testphase bei den Labortests auf dem Rollenprüfstand bei den getesteten Fahrzeugen kein Leistungsabfall festgestellt werden.

4.2 Ladevorgang

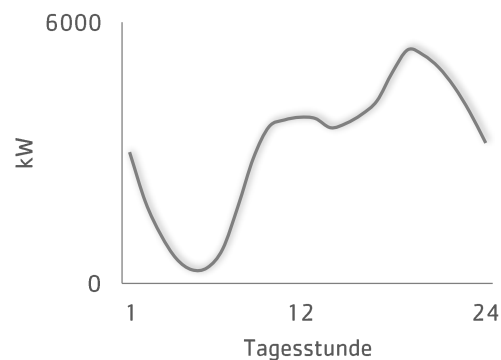
Grundsätzlich waren die Nutzer mit dem Ladevorgang zufrieden oder haben sich mit dem Handling schnell arrangiert. Ein Nutzer empfindet hingegen die Ladedauer als „schon sehr lang“, wenn die Batterie leer ist und keine Schnellladestation zur Verfügung steht. Allerdings waren sich die Nutzer dieser Tatsache beim Gebrauch der E-Fahrzeuge auch bewusst. Eine schnelle Ladung zwischen zwei Fahrten war aufgrund der fehlenden Infrastruktur in der Testphase nicht möglich. Die gemessenen Daten lassen zumindest Rückschlüsse auf das Nutzerverhalten zu. Der Vergleich der Lade-, Stand- und Fahrzeit zeigt klar, dass die Fahrzeuge grösstenteils nicht bewegt wurden. Die Ladezeit beläuft sich im Verhältnis zur Fahrzeit auf rund das Dreifache. Aufgrund der langen Standzeiten könnte man auch anführen, dass die Ladezeit de facto gar keine Einschränkung bei der Nutzung der Fahrzeuge darstellt. Insbesondere auch deshalb nicht, weil es selten vorkommt, dass ein Fahrzeug mit leerer Batterie parkiert wird.



4.3 Nutzerverhalten beim Laden

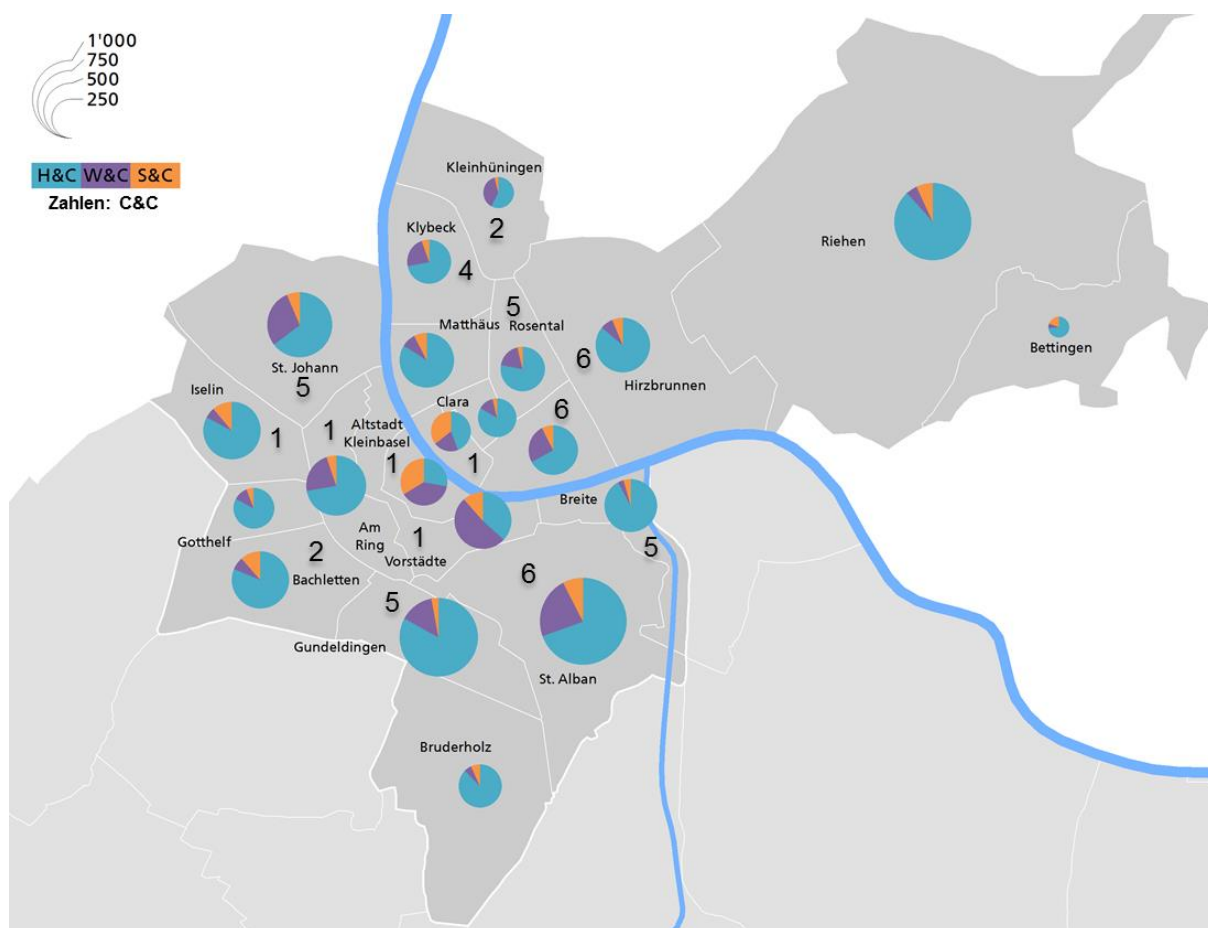
In der Regel ergaben sich Ladepeaks in der Mittagszeit und am späteren Nachmittag, d.h. die meisten Fahrzeuge wurden mit Hochtarif-Strom geladen und nicht mit kostengünstigem Nachtstrom. Es ist zu vermuten, dass die Fahrzeuge im Ruhezustand unabhängig vom Ladestand der Batterie an der Ladestation angeschlossen wurden und die Ladedauer dann relativ kurz war. Das Nutzerverhalten orientiert sich offenbar nicht an den Anreizen durch differenzierte Stromtarife. Würde man das Nutzerverhalten entsprechend verändern oder smarte Ladestationen einsetzen, könnten die Energiekosten gesenkt werden.

Das Verhalten der Nutzer beim Laden hängt allerdings auch stark von der Fahrzeugnutzung ab. Für Flottenfahrzeuge, wie sie bei EmobilitätBasel im Pilotversuch zum Einsatz kamen, gilt anderes als für private Elektrofahrzeuge, die erwartungsgemäss eher zu Hause, also abends, geladen werden dürften. Die zusätzliche Lastverteilung im Stromnetz aufgrund der Elektromobilität dürfte gemäss nebenstehender Graphik für die gesamte Region Basel eher Ladepeaks in den frühen Nachtstunden haben.



4.4 Ladeinfrastruktur

Die mangelhafte Verfügbarkeit von öffentlichen Schnellladestationen führt zu Unzufriedenheit bei den Nutzern. Ausserhalb der Betriebe, vor allem an den Autobahnraststätten, wurden Schnellladestationen vermisst. Tatsächlich sind zum heutigen Zeitpunkt in Basel-Stadt keine Schnellladestationen bekannt. Obwohl die meisten Ladezyklen zu Hause erfolgen, werden Schnellladestationen benötigt um die Flexibilität von Elektrofahrzeugen zu erhöhen. Szenarien zur Entwicklung der Elektromobilität im Raum Basel zeigen mit Blick in die Zukunft einen klaren Wachstumstrend auf: Gemäss dieser unterschiedlichen Szenarien ist ein exponentielles Wachstum des Fahrzeugbestandes an Elektrofahrzeugen zu erwarten.



Für das Jahr 2030 werden je nach Szenario zwischen 2'300 und 8'300 Neuzulassungen pro Jahr von Elektrofahrzeugen in den Kantonen Basel-Landschaft und Basel-Stadt prognostiziert. Insgesamt wird sich der Elektrofahrzeugbestand im Jahr 2030 gemäss

Hochrechnungen zwischen 11'000 und 37'000 bewegen, was einem Anteil am Gesamtfahrzeugbestand von 5% bis 18% entspricht.

Die Entwicklung der Elektromobilität hängt sehr stark mit der Entwicklung der Ladeinfrastruktur zusammen. In der Infrastrukturstudie geht man für das Jahr 2030 von 10'000 bis 34'000 Ladestationen in den beiden Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft aus, davon mehrheitlich solche vom Typ Home & Charge. Die Prognosen für den Bedarf an Schnellladestationen liegen bei nur 60 bis 200 Einrichtungen (Typ Coffee & Charge). Ein Grund für diese geringe Zahl an Schnellladestationen ist, dass die Frequenzierung im Vergleich zu Home & Charge viel höher ist, während bei letzterem eine einzelne Ladestation in der Regel nur von einem Fahrzeug benutzt wird.

Die Abbildung auf Seite 11 zeigt die zu erwartende räumliche Verteilung der prognostizierten Nachfrage an Ladeinfrastruktur in Basel Stadt für das Jahr 2030. Die Verteilung der Ladestationen hängt von der Siedlungsstruktur ab. Dabei wird zwischen Laden zu Hause (H&C: Home&Charge), Laden an der Arbeit (W&C: Work&Charge) Laden beim Einkauf (S&C: Shop&Charge) und Schnellladen mit Kaffee (C&C: Coffee&Charge) unterschieden.

5 Fazit und Empfehlungen

Die Begleitforschung hat aufgezeigt, dass Elektrofahrzeuge für den angepassten Einsatz vollständig funktionsfähig sind. Die Anforderungen an Komfort, Fahrleistungen und Sicherheit werden erfüllt. Fahreigenschaften, wie beispielsweise die Beschleunigung der Fahrzeuge, haben die Nutzer positiv überrascht. Diese Eigenschaft überzeugt insbesondere im Stadtverkehr. Einschränkungen etwa bei der Reichweite und der Mangel an öffentlichen Schnellladestationen sind zwar bekannt, sind aber kein Hindernis für den Einsatz im Flottenverbund.

Die Begleitforschung konnte Resultate zu wichtigen Fragestellungen liefern. Allerdings hat sich während der Studiendauer die Marktpenetration der Elektrofahrzeuge rascher entwickelt als anzunehmen war. So wurde ein Teil der Fragestellung der Studie in

**Elektrofahrzeuge
sind für den ange-
passten Einsatz voll-
ständig funktions-
fähig**

der Zwischenzeit von der Realität überholt. Auch beim Studiendesign mussten aufgrund verschiedener Zeitverzögerung in der Beschaffung einige Inkonsistenzen in Kauf genommen werden. Es wurden beispielsweise für die Messungen im Labor nicht durchwegs dieselben Fahrzeuge und Fahrzeugtypen verwendet wie im Feldtest. Bei der Nutzerbefragung konnten wesentliche Erkenntnisse zur Akzeptanz erhoben werden. Hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs sind aber eingeschränkt Aussagen möglich.

Die Begleitforschung wirft darüber hinaus weitere betriebswirtschaftliche, technische und soziale Fragestellungen auf, die im Rahmen der Studie allerdings unbeantwortet blieben. Daher werden folgende nächste Schritte empfohlen:

Aufstellung einer Kosten- und Investitionsrechnung

Aus technischer- und Nutzersicht gibt es in Bezug auf die Anwendung der Elektrofahrzeuge im Flottenverbund kaum ein Hindernis. Die ökonomische Perspektive wurde im Rahmen der Begleitforschung allerdings nicht betrachtet, wird jedoch entscheidend sein für den Erfolg der Elektrofahrzeuge. Untersuchungen in Flottenverbänden haben bereits zu dem Ergebnis geführt, dass die Gesamtbetriebskosten (Total Cost of Ownership, TCO) unter bestimmten Bedingungen bis zu 10% günstiger sind als Benzin- oder Dieselmotoren. Die Einflussfaktoren und die Gesamtkosten für den Flotteneinsatz müssten jedoch noch weiter untersucht werden.

Langfrist-Untersuchung der Li-Ionen Batterien

Der Alterungsprozess der eingesetzten Batterien konnte nur teilweise betrachtet werden. Nach den beiden Laboruntersuchungen wurde kein signifikanter Leistungsabfall aufgrund des Alterungsprozesses festgestellt. Es ist bekannt, dass der so genannte Memory-Effekt bei Li-Ionen Batterien sehr gering ist. Allerdings kann nur ein langfristiger Untersuchungszeitraum über mehrere Jahre valide Aussagen zur effektiven Batteriealterung liefern. Zudem entwickelt sich die Batterietechnologie sehr schnell, so dass sich Untersuchungen über die Entwicklung der Batteriekapazität an den technologischen Entwicklungen orientieren müssen.

Ermittlung der Auswirkungen auf die Umwelt durch geräuscharme Fahrweise

Der geringe Geräuschpegel im Fahrzeuginneren wird von den Nutzern geschätzt. Allerdings ist die Befürchtung der Nutzer gross, dass der niedrige Geräuschpegel ein Sicherheitsrisiko für andere Verkehrsteilnehmer und Tiere darstellen könnte. Ob der veränderte Geräuschpegel einen signifikanten Einfluss auf die Unfälle hat, gilt es zu untersuchen.

Im Gegensatz zur Sicherheit hat der geringe Geräuschpegel einen positiven Einfluss auf die allgemeinen Lärmemissionen. Interessant wäre die Frage, ob langfristig bei einer Elektrifizierung des Verkehrs Infrastrukturkosten in Bezug auf Lärmschutzmassnahmen reduziert werden könnten.

Untersuchung des Zusammenhangs von Nutzerverhalten und Anreizsystemen

Die Analyse des Ladevorgangs hat gezeigt, dass die meisten Fahrzeuge jeweils nach der Benutzung an der Steckdose angeschlossen wurden. So wurde ein grosser Teil der Fahrten mit voller Batterie durchgeführt. Eine Kostenoptimierung unter Berücksichtigung der Stromtarife hat nicht stattgefunden. Interessant sind zwei Fragen: Lässt sich das Ladeverhalten bei den Nutzern ändern und, wenn ja, durch welche Anreize? Lassen sich die Kosten und die Netzauslastung durch smarte Technologien optimieren?

Studie zu den spezifischen Herausforderungen im Flottenmanagement

Beim Flottenmanagement spielen unter anderem die Faktoren wie die Auslastung, die Ladezeiten und die Fahrdistanz eine wesentliche Rolle. Es wäre interessant zu erfahren zu welchem Prozentsatz und unter welchen Bedingungen eine Firmenflotte mit Elektrofahrzeugen betrieben werden kann.



Im Auftrag des BFE

Modul 1: Rollenprüfstand, Feldmessungen EmobilitätBasel Begleitforschung E-Fahrzeuge

BFH – Berner Fachhochschule, EMPA

Zürich, 17. Dezember 2014

Auftraggeber

Die Begleitforschung des Projektes *EmobilitätBasel* wurde durch das Bundesamt für Energie BFE finanziert.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Projekt der 2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel:

Das Projekt ist Teil der „2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel“, welche das Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt koordiniert. Es wird durch novatlantis – Nachhaltigkeit im ETH Bereich als Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis unterstützt.

Projektträger und Steuergruppe

Dominik Keller	Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt
Frank Panhans	IWB, Basel
Philipp Wälchli	Gemeinde Riehen
Simone Leicht	Mobility Solutions AG
Yvonne Siepen	IWB, Basel

Autoren Modul 1: Rollenprüfstand, Feldmessungen

Reto Zesiger	BFH, MSc
--------------	----------

BFH, Institut for Energy and Mobility Research, Quellgasse 21, 2502 Biel/Bienne
Kontakt: Reto Zesiger, reto.zesiger@ewanet.ch

Leistungsträger Begleitforschung Emobilität Basel

Berner Fachhochschule, EMPA, Sustainserv GmbH, Mobility Solutions AG

Teilnehmende Organisationen

Besonderen Dank gilt den teilnehmenden Organisationen, welche das Projekt und die Datensammlung durch den Einsatz der Fahrzeuge in der Firmenflotte ermöglicht haben:

Amt für Umwelt und Energie Kanton Basel-Stadt

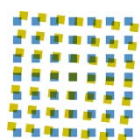
Gruner AG

IWB

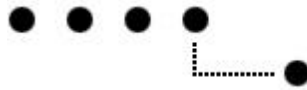
Rapp Gebäudetechnik

Regioplan

Tschantré AG



sustainserv



Berner Fachhochschule

Technik und Informatik

Institute for Energy and Mobility Research

EmobilitätBasel

Begleitforschung E-Fahrzeuge

Schlussbericht

Messauftrag:

- Rollenprüfstand
- Feldmessungen

Messobjekte:

- Peugeot iOn
- Renault Kangoo Z.E.
- MicroVett Fiorino
- Kamoo Fiorino

Auftraggeber: Mobility Solutions AG
(Tochtergesellschaft der Schweizerischen Post)

Autor: Reto Zesiger (MSc BFH)
reto.zesiger@ewanet.ch

Bargen, 1. April 2014

Zusammenfassung

Das Projekt

Mobility Solutions AG (MoS) hat das Projekt „EmobilitätBasel“ lanciert. Mit einer fachlichen Begleitung sollen praktischen Erfahrungen, die im Flottenbetrieb mit dem Einsatz von Elektrofahrzeugen gemacht werden, festgehalten und interpretiert werden. Die Resultate sollen Mobility Solutions AG als Grundlage zur Erweiterung der E-Fahrzeugflotte dienen. Die fachliche Begleitung teilt sich in vier Module auf:

- Rollenprüfstand (Leistungs- und Verbrauchsdaten)
- Batteriekapazität (Ausmessen der Traktionsbatterie)
- Feldmessung (Aufbereitung und Auswertung der Fahrdaten aus dem realen Fahrzeugeinsatz)
- Nutzerbefragung (Aussagen zur Akzeptanz)

Wobei die BFH die ersten drei Punkte bearbeitet, die Teil dieses Berichtes sind.

Insgesamt sind fünf Peugeot iOn im Rahmen des Feldtests im Einsatz. Für die Messungen auf dem Rollenprüfstand sind zusätzliche E-Fahrzeuge zum Vergleich hinzugezogen worden:

- E-Fiorino umgebaut von der italienischen Firma MicroVett
- Fiat E-Fiorino umgebaut von der Zürcher Firma Kamoo
- Renault Kangoo Z.E.



Abbildung 1 Renault Kangoo, Fiat Fiorino MicroVett und Fiat Fiorino Kamoo (v.l.n.r.), Peugeot iOn (oben)

Rollenprüfstand

Auf dem Rollenprüfstand ist der Verbrauch nach NEFZ-Zyklus (Neuer Europäischer Fahrzyklus) ermittelt worden. Der NEFZ-Verbrauch entspricht nicht der Realität, jedoch lassen sich damit die verschiedenen Fahrzeuge vergleichen.

Fahrzeug	MicroVett Fiorino	Kamoo Fiorino	Renault Kangoo Z.E.	Peugeot iOn	Renault Kangoo 1.6 105 Automat
Leergewicht [kg]	1475	1430	1584	1195	1390
E_{100kmTTW} [kWh]	19.2	21.9	17.6	14.8	-
E_{100kmTTW} [l]¹	4.6	5.3	4.2	3.6	8.2²
E_{100kmWTW} [l]³	6.3	7.3	5.8	4.9	11.2
CO₂e_{TTW} pro km [g]	0	0	0	0	190 ⁴
CO₂e_{WTW} pro km [g]⁵	23.4	26.7	21.4	18.0	260
CO₂e_{WTW} pro km [g]⁶	2.8	3.2	2.5	2.1	260

Tabelle 1 Der Verbrauch der Fahrzeuge nach NEFZ-Zyklus

Das Serienfahrzeug Peugeot iOn hat den tiefsten Verbrauch ab Steckdose für 100km nach NEFZ-Zyklus. Die äquivalente CO₂-Belastung Elektrofahrzeuge ist mehr als 100fach tiefer verglichen mit dem Verbrennungsfahrzeug. Da die Schweizerische Post für ihre E-Fahrzeuge nur zertifizierten Ökostrom einkauft, ist auch dieser zum Vergleich herangezogen worden. Bei herkömmlichem Strom aus einer Schweizer Steckdose ist die Reduktion immer noch mehr als das 12fache. Die Emissionen eines E-Fahrzeuges sind also vom „getankten Strom“ abhängig. Dasselbe gilt auch für den Well-to-Wheel Verbrauch (E_{100kmWTW} [l]) eines E-Fahrzeuges, d.h. der Faktor Primärenergie-Benzinäquivalent ist von der Art der Produktion und Übertragung des elektrischen Stromes abhängig.

Zusätzlich wurde die Reichweite der Fahrzeuge, die im Wesentlichen von den jeweils in den Fahrzeugen verbauten Batterien abhängt, mittels eines Dauertest auf dem Rollenprüfstand mit einer konstanten Geschwindigkeit von 80 km/h ermittelt. Die wichtigsten Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

Fahrzeug	MicroVett Fiorino	Kamoo Fiorino	Renault Kangoo Z.E.	Peugeot iOn
Geschwindigkeit [km/h]	80 ^{±5}	80 ^{±5}	80 ^{±5}	80 ^{±5}
Raumtemp. [°C]	25	25	25	25
s_{tot} [km]	130	124	141	108
E_{ab Batterie} [kWh]	19.1	18.4	21.3	13.7
C [Ah]	71.9	83.8	58	40.9
E_{ab Steckdose} [kWh]	22.3	23.0	25.4	16.6
E_{100kmTTW} [kWh]	17.1	23	18.0	15.3

Tabelle 2 Wie viel elektrische Energie speichern die Traktionsbatterien wirklich?

¹ Primärenergie-Benzinäquivalent CH-Verbraucher mix = 0.24 (Literaturverzeichnis [2])

² Pdf: Renault Kangoo Express - Preise und Ausstattungen, Nr. 4.2 – ab April 2013

³ Primärenergiefaktor Benzin = 1.37 (Literaturverzeichnis [2])

⁴ www.wikipedia.org\Kraftstoffverbrauch: 1l Benzin = 2.32kg CO₂ (15.04.2013)

⁵ Schweizer Lieferantenstrommix: 121.7 g CO₂e/kWh (Literaturverzeichnis [1])

⁶ Zertifizierter Strommix: 14.4g CO₂e/kWh (Literaturverzeichnis [1])

Der Wirkungsgrad der Antriebstränge ist bei verschiedenen Geschwindigkeiten ermittelt worden:

Fahrzeug	MicroVett Fiorino	Renault Kangoo Z.E.	Peugeot iOn
$\eta_{30\ 50\ 80\text{km/h}}$ [%/%/%]	59/66/76	52/63/80	49/66/74

Tabelle 3 Der Wirkungsgrad des Antriebstranges bei 25°C und verschiedenen Geschwindigkeiten

Je nach Temperatur variiert die Reichweite der E-Fahrzeuge. Bei den Messungen in der Klimakammer wird deutlich, dass die gemessenen E-Fahrzeuge bei warmen Temperaturen (35°C) eine klar höhere Reichweite aufweisen als bei normalen (25°C) und kalten Temperaturen (-7°C).

Fahrzeug	MicroVett Fiorino	Renault Kangoo Z.E.	Peugeot iOn
$s_{-7^\circ\text{C}}$ [km]	110	119	111
$s_{25^\circ\text{C}}$ [km]	130	141	108 ⁷
$s_{35^\circ\text{C}}$ [km]	147	150	129

Tabelle 4 Die Reichweite der E-Fahrzeuge ist Temperaturabhängig.

Zum einen sinkt das elektrische Fassungsvermögen der Batterien von der normalen Temperatur (25°C) zu der kalten Temperatur (-7°C). Zum anderen steigt der Wirkungsgrade der Fahrzeuge zwischen der der normalen Temperatur (25°C) und der warmen Temperatur (35°C) an.

Feldmessung

Im realen Einsatz der Fahrzeuge sind folgende Werte gemessen worden:

Fahrzeug Nr.	5	6	7	8	9
Firma	IWB	IWB	Regioplan	Tschantre	Amt für Umwelt
Kennzeichen	BS71018	BS71021	BS78428	BS15096	BS59270
Fahrzeugmasse [kg]	1195	1195	1195	1195	1195
Gefahrene Distanz [km]	1744	1977	802	2983	2889
$s_{\text{averag per trip}}$ [km]	7.6	5.7	6.1	6.3	7.8
$E_{\text{averag per trip}}$ [kWh]	0.9	0.8	0.9	1.1	0.9
$T_{\text{averag per trip}}$ [HH:MM:SS]	00:15:58	00:14:59	00:15:03	00:15:37	00:19:10
Rekuperation [%]	18.2	21.6	23.0	15.1	21.8
$E_{\text{ab Batterie pro 100km}}$ [kWh]	12.2	14.5	14.0	17.4	11.5
$\eta_{\text{E Bat. \& Ladegerät}}$ [%] ⁸	83	83	83	83	83
$E_{100\text{kmTTW}}$ [kWh]	14.7	17.5	16.9	21.0	13.9

Tabelle 5 Übersicht des Feldtests mit den wichtigsten Kennzahlen

Die wichtigsten Erkenntnisse:

- Die Feldtests zeigen klar, dass die Reichweiten der Fahrzeuge bei weitem nicht ausgereizt werden.
- Die meisten Fahrzeuge werden mit „Hochtarif-Strom“ geladen und nicht mit kostengünstigem Nachtstrom.
- Der Verbrauch während den Wintermonaten ist höher als während den warmen Monaten.

⁷ Sehr tiefer Wert, jedoch ist die Bremsleistung des Rollenprüfstandes bei dieser Messung ungewöhnlich hoch

⁸ Werte aus Batteriekapazitätsmessung

Inhalt

Zusammenfassung.....	i
Das Projekt	i
Rollenprüfstand.....	ii
Feldmessung.....	iii
1 Vorwort	1
2 Einführung.....	1
3 Auftrag.....	1
3.1 Prüflinge	2
3.1.1 MicroVett Fiorino(BE525263).....	2
3.1.2 Kamoo Fiorino (ZH780359).....	2
3.1.3 Renault Kangoo Z.E. (BE397943)	2
3.1.4 Peugeot iOn (BS59270).....	3
3.2 Messmittel.....	4
4 Glossar	5
5 Theoretische Grundlagen.....	7
5.1 Allgemeines Blockschaltbild E-Fahrzeug	7
5.2 Leistungsfaktor vs. Wirkfaktor	7
6 Rollenprüfstand.....	8
6.1 Fahrwiderstandsmessung.....	8
6.2 Kennlinienadaption auf dem Prüfstand	10
6.2.1 Einstellungen 1-Achsen Rollenprüfstand BFH (Messmittel 7 – 1. Messung)	10
6.2.2 Einstellungen 2-Achsenrollenprüfstand BFH (Messmittel 8)	10
6.2.3 Einstellungen 1-Achsen Rollenprüfstand BFH (Messmittel 7 – 2. Messung)	11
6.3 NEFZ-Zyklus	12
6.4 Leistungsmessung Antriebsstrang bei konstanten Geschwindigkeiten	15
7 Batteriekapazität	20
7.1 Messung der Batteriekapazität bei konstanter Geschwindigkeit und unterschiedlichen Temperaturen	20
7.1.1 Anmerkungen zu den Messungen.....	22
7.2 Torkeln.....	24
8 Feldmessungen.....	25
8.1 Resultate.....	25
8.2 Fahrzeuge im Detail.....	26
8.2.1 Peugeot iOn der IWB Basel (BS71018) – Nr.5	26

8.2.2	Peugeot iOn der IWB Basel (BS71021) – Nr. 6	29
8.2.3	Peugeot iOn von Regioplan Basel (BS78428) – Nr. 7.....	32
8.2.4	Peugeot iOn von Tschantre Basel (BS15096) – Nr. 8.....	35
8.2.5	Peugeot iOn vom Amt für Umwelt Basel (BS59270) – Nr. 9	38
8.3	Erklärung der Histogramme	41
8.3.1	Histogramm Status	41
8.3.2	Histogramm saisonaler Verbrauch	42
8.3.3	Histogramm DoD	43
9	Verzeichnisse.....	44
9.1	Tabellenverzeichnis	44
9.2	Abbildungsverzeichnis.....	44
9.3	Literaturverzeichnis.....	46
Anhang	47

1 Vorwort

Lithium-Batterien kommen in der Elektromobilität immer häufiger zum Einsatz. Die neue Technologie erhöht Reichweite, Leistung und Robustheit des Systems. Dank der immer stärker wachsenden Produktion sinken die Preise für die Batterien. Dadurch ist das öffentliche Interesse an Elektrofahrzeugen stark gestiegen. Insbesondere die schweizerische Post resp. Mobility Solutions AG (MoS), eine Tochtergesellschaft der Post, welche die Postfahrzeugflotte verwaltet, hat mit der praktischen Erprobung der auf dem Markt erhältlichen E-Fahrzeuge begonnen.

2 Einführung

In der Vergangenheit wurde bereits an verschiedenen Fahrzeugen (z.B. Fiat Panda) der hochschuleigene Logger TeleTRUCK eingesetzt. Die Logger zeichneten sowohl CAN-Daten der Batterie sowie GPS-Daten auf und erlaubten damit Auswertungen zu Nutzung und Energieverbrauch der Fahrzeuge. Da die grossen Autobauer keine Informationen zum CAN-Bus der Fahrzeuge bekannt geben, ist das TeleTRUCK-Modul mit vier analogen Eingängen erweitert worden. So können nun eigene Spannungs-, Strom- und Temperatursensoren in den Fahrzeugen verbaut werden.

3 Auftrag

Mit einer fachlichen Begleitung sollen sowohl theoretische wie auch praktische Kennzahlen, die im Flottenbetrieb mit den Elektrofahrzeugen gemacht werden, festgehalten und interpretiert werden. Die Resultate sollen der Mobility Solutions AG als Grundlage zur Erweiterung der E-Fahrzeugflotte dienen.

Die Messungen lassen sich in drei Hauptbereiche gliedern:

Rollenprüfstand: Auf dem Rollenprüfstand soll zum einen gemessen werden, wie hoch der Energieverbrauch pro 100km nach dem NEFZ-Zyklus (Neuer Europäischer Fahrzyklus) ist. Zum anderen soll die benötigte Leistungen/Systemwirkungsgrade bei verschiedenen Geschwindigkeiten ermittelt werden.

Batteriekapazität: Das Speichervermögen an elektrischer Energie bei der Traktionsbatterie soll bei verschiedenen Aussentemperaturen ermittelt werden. Um eine mögliche Alterung der Batterie detektieren zu können, werden die Messungen halbjährlich wiederholt. Die Messungen werden zum einen auf dem Rollenprüfstand bei konstanten 80km/h.

Feldmessungen: Während der Feldmessungen sollen die Data-Logger alle Bewegungen der Fahrzeuge aufzeichnen. Das speziell für diese Datenflut geschriebene Programm ist in der Lage jede gemachte Fahrt sowie Ladung zu erkennen und in einem elektronischen Fahrtenheft darzustellen. Pro Fahrtenheft werden einerseits allgemeine Kennzahlen über die gesamte Zeitperiode ermittelt, andererseits kann auch jede einzelne Fahrt/ Ladung nachvollzogen werden.

3.1 Prüflinge

3.1.1 MicroVett Fiorino(BE525263)



Abbildung 2 Fiat Der Prototyp Fiat E-Fiorino umgebaut von MicroVett

Chassis-Nr: ZFA22500000184166
Kennzeichen: BE 525263

Technische Daten

Leergewicht: 1475 kg
Max. Leistung: 60 kW
Höchstgeschwindigkeit: 94km/h

Batterie

Kapazität: 70Ah
Energieinhalt: -
Spannungsbereich: 298 – 248V
Chemie: Li (NiCoMn)

3.1.2 Kamoo Fiorino (ZH780359)



Abbildung 3 Der Prototyp Fiat E-Fiorino umgebaut von Kamoo

Chassis-Nr: ZFA22500000133487
Kennzeichen: ZH 780359

Technische Daten

Leergewicht: 1430 kg
Max. Leistung: 21 kW
Höchstgeschwindigkeit: 126km/h

Batterie

Kapazität: 100Ah
Energieinhalt: 23.76kWh
Spannungsbereich: 250 – 173V
Chemie: LiFeMnPO4

3.1.3 Renault Kangoo Z.E. (BE397943)



Abbildung 4 Bereits ein Serienfahrzeug, der Renault Kangoo Z.E.

Chassis-Nr: VF1FW0ZBC46991999
Kennzeichen: BE 397943

Technische Daten

Leergewicht: 1584 kg
Max. Leistung: 44 kW
Höchstgeschwindigkeit: 135km/h

Batterie

Kapazität: 65Ah
Energieinhalt: 22kWh
Spannungsbereich: 398 - 245V
Chemie: LiMn

3.1.4 Peugeot iOn (BS59270)



Abbildung 5 Das Elektro-Serienfahrzeug Peugeot iOn

Chassis-Nr: VF 31N ZKZ ZBU 800 842
Kennzeichen: BS 59270

Technische Daten

Leergewicht: 1195 kg
Max. Leistung: 49 kW
Höchstgeschwindigkeit: 130km/h⁹

Batterie

Kapazität: 50Ah⁹
Energieinhalt: 16kWh⁹
Spannungsbereich: 360 - 266V
Chemie: LiMn₂O₄⁹

Die Daten vom Peugeot iOn stammen aus dem fahrzeugeigenen CAN Bus.

Die Angaben zu Leergewicht, Leistung und Chassis-Nr. sind dem Fahrzeugausweis entnommen worden. Kapazität, Energieinhalt und Chemie der Batteriezellen wurde von den Autobauern übermittelt. Alle anderen Daten sind auf dem Rollenprüfstand ermittelt worden.

⁹ Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Mitsubishi_i_MiEV (27.03.2013)

3.2 Messmittel

1: TeleTRUCK

Der hochschuleigene Data-Logger TeleTRUCK ist vom Institut für mobile Kommunikation entwickelt und hergestellt worden. Das TeleTruck-Modul hat eine Auflösung von 10 bit ($2^{10} = 1024$) mit dem Microcontroller AT91SAM7X512. Die verbauten Sensoren sind:

Temperatursensor: EPCOS - B57164K103J - THERMISTOR,NTC Beta Wert 4300 K

Spannungssensor: CYHVS300T von Cheng Yang Technologies GmbH

Stromsensor: CYHCT S4 B250A 33 von Cheng Yang Technologies GmbH

Das TeleTRUCK-Modul ist das Hauptmessmittel und wurde immer dann verwendet, wenn kein anderes Messmittel deklariert ist.

2: Amperemeter für Leistungsmessung

Stromzange von Fluke (Fluke 381, Seriennr.: 2010DJ2641)

3: Voltmeter für Leistungsmessungen

Multimeter von Amprobe 38XR-A (Seriennr.: 091000647)

4: Torkelgerät (elektronische Last)

Torkel 860 von Megger (Seriennr.: 1102609, Kennzahl: BS-49074 R111)

5: Messgerät Wechselstrom

Fluke 1750 Power Recorder, Seriennr.: 1737004, FCC ID: QQQWT11, IC: 5123A-BGTWT11A
Strommesszange: Fluke i40s-PR

6: GPS Logger für Ausrollversuch

Driftbox von Racelogic, Inv. Nr.: F27

7: 1-Achsen Rollenprüfstand der Berner Fachhochschule in Nidau

Schenck, Fert.-Nr.: LNB 0808 / LEB 2310, Typ: 500/GS 60

8: 2-Achsen Rollenprüfstand der Berner Fachhochschule in Nidau

Marke: AFHB, Typ: GSA 200, Chassis Dyno cell No. #1

9: Klimarollenprüfstand der EMPA in Dübendorf

1-Achsen-Rollenprüfstand in einer Klimazelle für Niedertemperaturmessungen nach Richtlinie 692/2008/EG

4 Glossar

C-Faktor	Höhe des Stromes relativ zur nominellen Gesamtkapazität
C [Ah]	Kapazität in Amperestunden
CO _{2e} pro km [g]	Äquivalenter CO ₂ -Ausstoss pro Kilometer in Gramm
$E_{ab\ Batterie}$ [kWh]	Elektrische Energie in Kilowattstunden ab Batterie
$E_{ab\ Batterie\ pro\ 100km}$ [kWh]	Elektrische Energie in Kilowattstunden ab Batterie pro 100km
$E_{100kmTTW}$ [kWh]	Elektrische Energie in Kilowattstunden ab Steckdose pro 100km (TTW: Tank-to-Wheel)
$E_{100kmTTW}$ [l]:	Energie in Liter Benzin die benötigt wird ab Tankstelle pro 100km
$E_{100kmWTW}$ [l]:	Energie in Liter Benzin die benötigt wird ab Bohrloch pro 100km (WTW: Well-to-Wheel)
$E_{ab\ Steckdose}$ [kvarh]	Elektrische Blindenergie ab Steckdose in Kilovarstunden
$E_{ab\ Steckdose}$ [kWh]	Elektrische Wirkenergie ab Steckdose in Kilowattstunden
$E_{averag\ per\ trip}$ [kWh]	Durchschnittliche elektrische Energie in Kilowattstunden ab Batterie pro Fahrt
$E_{ab\ Batterie\ ohne\ Rek.}$ [kWh]	Elektrische Energie in Kilowattstunden ab Batterie ohne Abzug der Rekuperation
$E_{ab\ Batterie\ mit\ Rek.}$ [kWh]	Elektrische Energie in Kilowattstunden ab Batterie nach Abzug der Rekuperation
E_{Dyno} [kWh]	Gesamtbremsarbeit des Rollenprüfstandes in Kilowattstunden (Bestandteil von $E_{Strasse}$)
$E_{Strasse}$ [kWh]	Gesamte kinetische Arbeit, die das Fahrzeug auf die Strasse abgibt, in Kilowattstunden
Geschwindigkeit [km/h]	Gefahrene durchschnittliche Geschwindigkeit oder Zielgeschwindigkeit mit Toleranz
Gefahrene Distanz [km]	Gesamte zurückgelegte Distanz, die mit dem DataLogger überwacht worden ist
Heizung [W]	Elektrische Leistung in Watt bei voller Heizleistung (Ventilation und Heizung) inkl. „Zündung an [W]“
I[A]	Strom in Ampere
Klimaanlage [W]	Elektrische Leistung in Watt bei voller Kühlleistung (Ventilation und Kühlung) inkl. „Zündung an [W]“
Licht [W]	Elektrische Leistung in Watt, die das Abblendlicht oder Fernlicht inkl. „Zündung an [W]“ benötigt
$P_{XXkm/h}$ [V/A/kW/kW]	Spannung in Volt / Strom in Ampere / elektrische Leistung in Kilowatt/ mechanische Leistung in Kilowatt, die das Fahrzeug benötigt um eine konstante Geschwindigkeit zu halten mit Abblendlicht und ohne sonstige Nebenaggregate. Die Geschwindigkeiten sind nach Rollenprüfstand gefahren worden.
$P_{ab\ Batterie}$ [kW]	Elektrische Leistung in Kilowatt ab Batterie ermittelt in der Zeitperiode 500s bis 1000s nach Start des Versuches
P_{Dyno} [kW]	Gesamtbremskraft des Rollenprüfstandes in Kilowatt (Bestandteil von $P_{Strasse}$)
$P_{Strasse}$ [kW]	Gesamte mechanische Leistung, die das Fahrzeug auf die Strasse abgibt, in Kilowatt

Rekuperation [%]	Prozentualer Anteil der Rekuperation: $\left(E_{\text{ab Batterie ohne Rek. [kWh]} - E_{\text{ab Batterie mit Rek. [kWh]} \right) / E_{\text{ab Batterie ohne Rek. [kWh]}}$
Ri [Ohm]	Elektrischer Innenwiderstand der Batterie in Ohm
s [km]	Zurückgelegte Strecke in Kilometer
S _{averag per trip} [km]	Durchschnittliche Strecke pro Fahrt in Kilometer
S _{tot} [km]	Totale Distanz, die auf dem Rollenprüfstand zurückgelegt worden ist
T _{averag per trip} [HH:MM:SS]	Durchschnittliche Zeitdauer pro Fahrt in „Stunden : Minuten : Sekunden“
Tank-to-Wheel¹⁰	Vom Kraftstofftank bis zum Rad, d.h. die Wirkkette von aufgenommener Energie bis zur abgegebenen mechanischen Energie. Bei E-Fahrzeugen auch Grid-to-Wheel genannt. Es ist also nur ein Teilbereich der gesamten Energiekette (Well-to-Wheel), da die Bereitstellung der Antriebsenergie (Well-to-Tank) ausgeklammert wird (siehe auch 7.1).
Well-to-Whell¹¹	Vom Bohrloch zum Rad, d.h. die gesamte Wirkkette für die Fortbewegung von der Gewinnung und Bereitstellung der Antriebsenergie bis zur Umwandlung in mechanische Energie.
Zündung an [W]	Leistung in Watt, die das Fahrzeug 10s nach drehen des Zündschlüssels ohne Nebenaggregate benötigt.
$\eta_{\text{E Bat. \& Ladegerät}}$ [%]	Systemwirkungsgrad Ladegerät und Batterie: $(E_{\text{ab Batterie mit Rek. [kWh]} / E_{\text{ab Steckdose [kWh]} * 100)$
$\eta_{\text{XYkm/h}}$ [%]	Wirkungsgrad Antriebstrang, d.h. von der Batterie auf die Strasse bei XY km/h: $(P_{\text{Strasse [kW]} / P_{\text{ab Batterie. [kW]} * 100)$

¹⁰ <http://de.wikipedia.org/wiki/Tank-to-Wheel> (28.03.2013)

¹¹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Well-to-Wheel> (28.03.2013)

5 Theoretische Grundlagen

5.1 Allgemeines Blockschaltbild E-Fahrzeug

Das allgemeine Blockschaltbild soll dem Leser das Verstehen der verschiedenen Kennzahlen erleichtern.

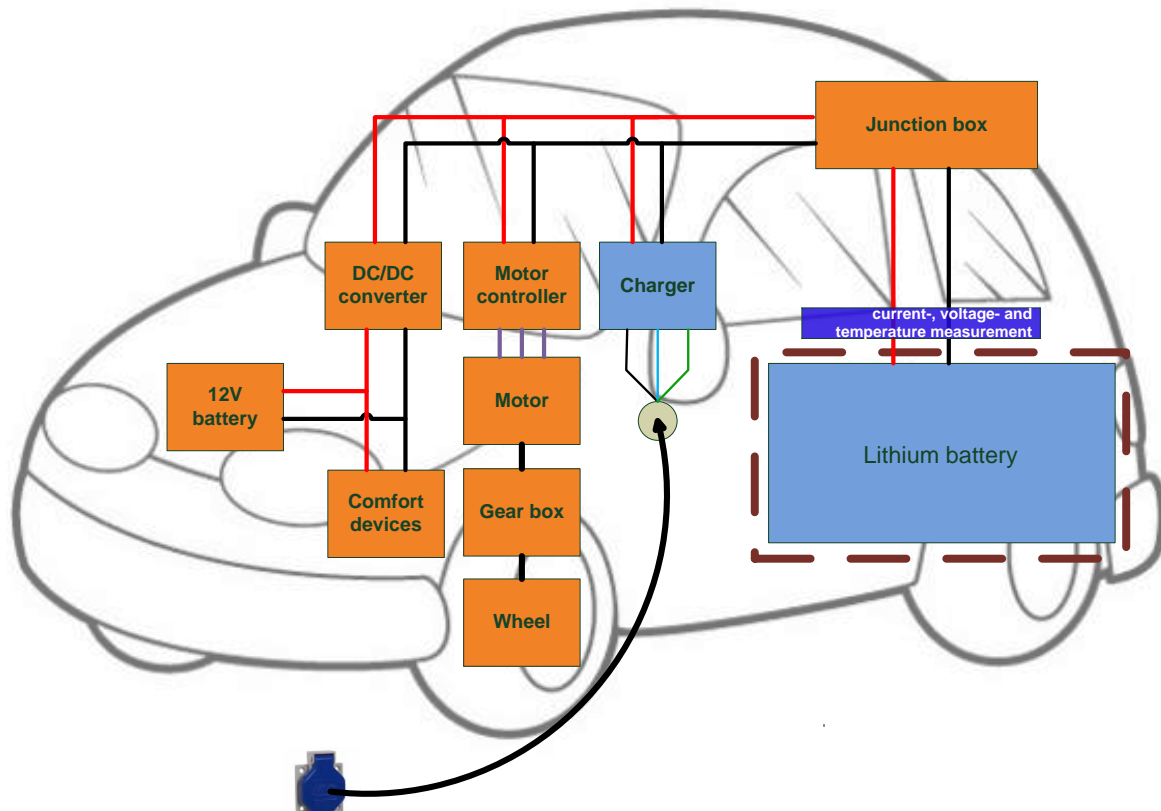


Abbildung 6 Allgemeines Blockschaltbild E-Fahrzeug

5.2 Leistungsfaktor vs. Wirkfaktor

Als Leistungsfaktor bezeichnet man das Verhältnis vom Betrag der Wirkleistung P zur Scheinleistung S . Das Verhältnis wird in folgender Formel ausgedrückt.

$$\text{Leistungsfaktor} = \lambda = \frac{P}{|S|}$$

Ausschliesslich bei Sinusförmigen Strömen und Spannungen wird Wirkfaktor definiert aus dem Verhältnis:

$$\text{Wirkfaktor} = \cos(\varphi) = \frac{P}{S}$$

Wobei der Wirkfaktor nur die Grundwelle berücksichtigt. Bei allen Messungen sind weder Leistungsfaktor noch Wirkfaktor berechnet worden, sondern einfach die Blindleistung inkl. Oberwellen ausgewiesen worden. Wird nun bei einem Anschluss die Blindleistung gemessen, müsste diese auch bezahlt werden. Im folgenden Bericht ist nur die Wirkleistung berücksichtigt worden!

6 Rollenprüfstand

Um die drei Fahrzeuge untereinander und künftig auch mit anderen Fahrzeugen vergleichen zu können, müssen die Probanden bei gleichen Testbedingungen ausgemessen werden. Die Messungen werden allesamt auf dem Rollenprüfstand der Berner Fachhochschule gemacht [Messmittel 7 und 8]. Die Messung „Rollenprüfstand“ besteht aus zwei Teilen:

- NEFZ-Zyklus
- Leistungsmessung bei konstanten Geschwindigkeiten

Mit dem NEFZ-Zyklus (Neuer Europäischer Fahrzyklus), der als Ergebnis die Anzahl Kilowattstunden pro 100 Kilometer hat, lassen sich die Testobjekte gegenseitig und auch mit Verbrennungsfahrzeugen vergleichen. Die Leistungsmessungen sollen aufzeigen, welche elektrische Leistung das Fahrzeug benötigt, um eine konstante Geschwindigkeit zu halten.

Um die Messungen auf dem Rollenprüfstand durchführen zu können, muss dieser das Fahrverhalten des jeweiligen Fahrzeuges auf der Strasse simulieren. Der Prüfstand kann auf zwei unterschiedliche Arten justiert werden: nach Gewicht (genormte Tabelle) oder für die etwas genaueren Messungen mit den gewonnen Parametern des Ausrollversuches. Bei den nachfolgenden Messungen wurde der Prüfstand mit den Ergebnissen des Ausrollversuches eingestellt.

6.1 Fahrwiderstandsmessung

Zur Ermittlung der Fahrwiderstände wurden vorgängig Ausrollversuche durchgeführt. Aus den Messwerten wurden die einzelnen Fahrwiderstände (Rollwiderstand und Luftwiderstand) des Fahrzeuges berechnet und an den Prüfstand adaptiert.

Für die Ausrollversuche wird eine gerade Strecke mit geringer Steigung sowie gleichmässigen Bodenbelag benötigt. Weiter muss die Strecke trocken sein und es darf keinen Gegen- bzw. Rückenwind die Messung beeinflussen. Die Strecke wird pro Fahrzeug 3-mal in beide Richtungen abgefahren. Dabei wird das Fahrzeug auf 85km/h beschleunigt, die Gangschaltung in die neutrale Position gestellt und die Rekuperation ausgeschaltet. Mittels GPS-Logger [Messmittel 6] ist die aktuelle Geschwindigkeit mit 10Hz aufgezeichnet worden. Daraus konnten die Ausrollzeiten der Fahrzeuge berechnet werden:

Geschwindigkeit (km/h)	Micro-Vett Fiorino Mittelwert Ausrollversuch[s]	Kamoo Fiorino Mittelwert Ausrollversuch [s]	Renault Kangoo Mittelwert Ausrollversuch [s]	Peugeot iOn Mittelwert Ausrollversuch [s]
Leergewicht [kg] ¹²	1390	1400	1550	1220
Pneudruck v/h [Bar]	2.5/2.5	2.5/2.5	2.5/2.9	2.5/2.5
85...75	9.6	9.7	9.4	9.4
75...65	11.0	11.3	11.3	11.1
65...55	12.3	12.5	13.0	13.3
55...45	13.5	13.9	15.1	16.1
45...35	14.6	15.1	16.4	19.5
35...25	16.9	18.3	18.8	23.6
25...15	20.5	21.3	24.0	28.4
15...5	19.8	19.6	26.7	33.3

Tabelle 6 Ergebnisse der Ausrollversuche, Werte des Peugeot iOn stammen von der EMPA

¹² Gewogen bei der Firma Müve auf der Fahrzeugwaage

Daraus lässt sich die mechanische Leistung berechnen, die die Fahrzeuge abgeben müssen um die jeweilige Geschwindigkeit halten zu können (Leistungsabgabe ab Rad).

$$P_{Strasse} = m * a * v = m * \frac{\Delta v}{\Delta t} * v_{average}$$

Auf dem Rollenprüfstand besteht $P_{Strasse}$ aus zwei Leistungen:

- Gesamtbremskraft des Rollenprüfstandes (P_{Dyna})
- Roll- und Walkleistung (P_{Fz}) -> die Verlustleistung vom Fahrzeugpneu auf den Prüfstand

Wichtig zu wissen ist hierbei, dass nur P_{Dyna} gemessen wird, während P_{Fz} berechnet werden kann. Relevant für die nachfolgenden Messungen/Berechnungen ist nur noch die Leistung $P_{Strasse}$.

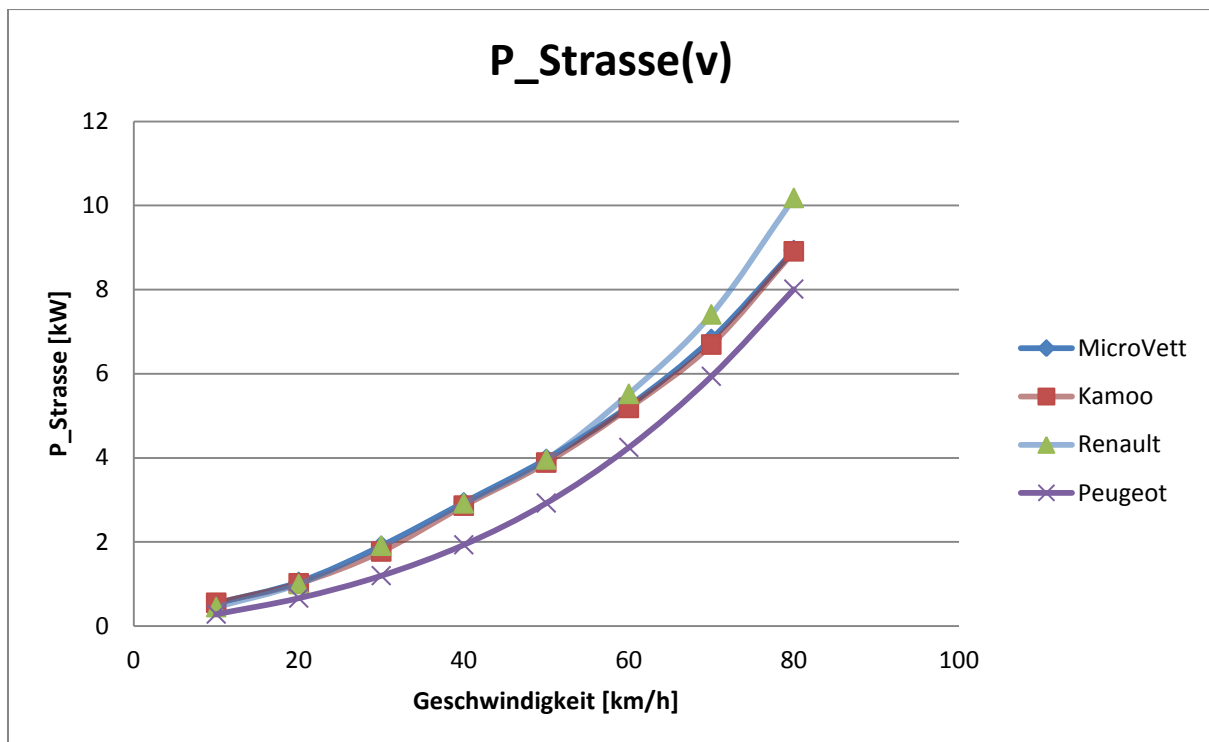


Abbildung 7 Leistung, die ein Fahrzeug abgeben muss, um eine bestimmte Geschwindigkeit halten zu können

6.2 Kennlinienadaption auf dem Prüfstand

Mit den ermittelten Kennlinien der Ausrollversuche können die Fahrzeuge an den Prüfstand adaptiert werden. Die ermittelten Daten der Fahrwiderstandsmessung dienen dabei als Referenzwerte. Die Fahrzeuge werden auf dem Prüfstand wiederum auf 85km/h beschleunigt und analog den Ausrollversuchen auf der Strasse ausgerollt. Dabei wurden für die 3 Fahrzeuge folgende Werte ermittelt:

6.2.1 Einstellungen 1-Achsen Rollenprüfstand BFH (Messmittel 7 - 1. Messung)

R0	186.59	R1	4.6721	R2	0.28330
F0	-7.67	F1	0.9865	F2	0.35321
M0	179.47	M1	5.6425	M2	0.24754
L0	187.14	L1	4.6560	L2	-0.10567

Tabelle 7 Micro-Vett E-Fiorino Einstellungen 1- Achsen Rollenprüfstand

R0	191.36	R1	2.0795	R2	0.38399
F0	27.57	F1	-0.7506	F2	0.44067
M0	183.79	M1	2.8892	M2	0.34770
L0	156.23	L1	3.6397	L2	-0.09297

Tabelle 8 Kamoo E-Fiorino Einstellungen 1- Achsen Rollenprüfstand

R0	159.65	R1	5.9723	R2	0.40314
F0	13.66	F1	-0.3487	F2	0.54395
M0	153.98	M1	5.7979	M2	0.41390
L0	140.33	L1	6.1467	L2	-0.13005

Tabelle 9 Renault Kangoo Einstellungen 1- Achsen Rollenprüfstand

6.2.2 Einstellungen 2-Achsenrollenprüfstand BFH (Messmittel 8)

R0	182.24	R1	4.5629	R2	0.27669
F0	10.54	F1	1.3340	F2	0.33733
M0	182.49	M1	4.0821	M2	0.29445
L0	171.95	L1	2.7481	L2	-0.04287

Tabelle 10 Micro-Vett E-Fiorino Einstellungen 2- Achsen Rollenprüfstand

R0	90.42	R1	2.9155	R2	0.41569
F0	56.55	F1	-0.6080	F2	0.52849
M0	86.68	M1	3.0590	M2	0.39540
L0	30.13	L1	3.6670	L2	-0.13309

Tabelle 11 Peugeot iOn Einstellungen 2- Achsen Rollenprüfstand

R0	145.56	R1	5.4453	R2	0.36758
F0	27.32	F1	4.9375	F2	0.36099
M0	146.27	M1	4.6431	M2	0.39130
L0	118.95	L1	-0.2944	L2	0.03030

Tabelle 12 Renault Kangoo Einstellungen 2- Achsen Rollenprüfstand

6.2.3 Einstellungen 1-Achsen Rollenprüfstand BFH (Messmittel 7 – 2. Messung)

R0	186.59	R1	4.6721	R2	0.28330
F0	76.91	F1	2.3796	F2	0.45270
M0	185.85	M1	3.9961	M2	0.30539
L0	108.95	L1	1.6164	L2	-0.14731

Tabelle 13 Micro-Vett Fiorino Einstellungen 1- Achsen Rollenprüfstand

R0	90.60	R1	2.8424	R2	0.41970
F0	1.52	F1	0.4564	F2	0.62654
M0	90.10	M1	2.8655	M2	0.41603
L0	88.57	L1	2.4090	L2	-0.21050

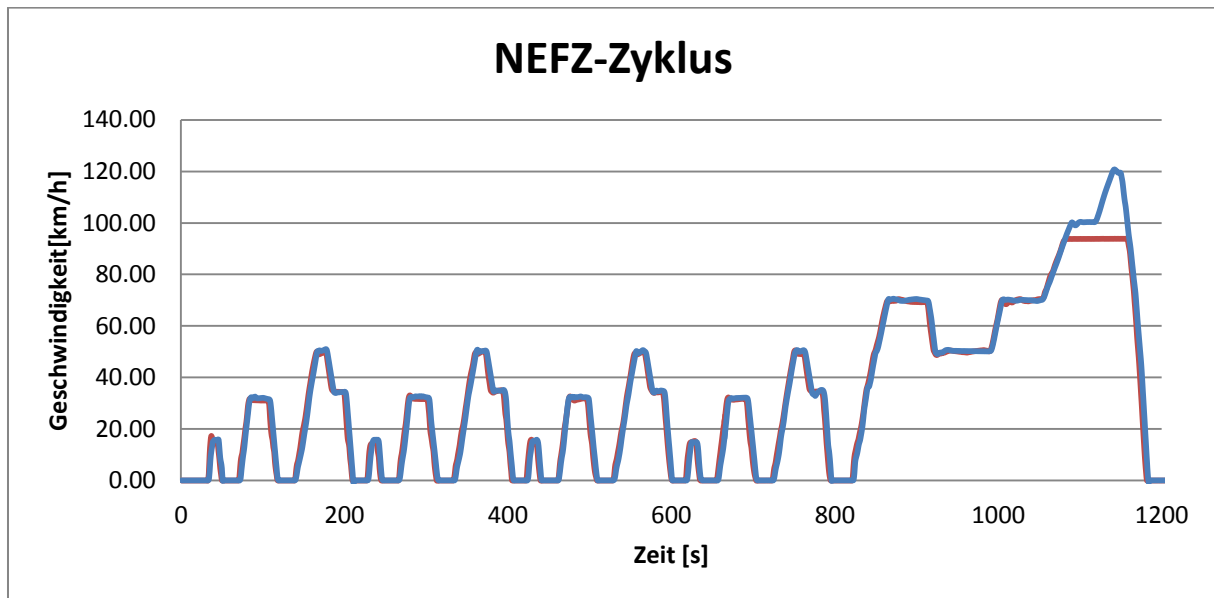
Tabelle 14 Peugeot iOn Einstellungen 1- Achsen Rollenprüfstand

R0	151.11	R1	5.6523	R2	0.38154
F0	60.76	F1	5.7660	F2	0.59613
M0	150.28	M1	5.6589	M2	0.38186
L0	89.53	L1	-0.1071	L2	-0.21427

Tabelle 15 Renault Kangoo Z.E. Einstellungen 1- Achsen Rollenprüfstand

6.3 NEFZ-Zyklus

Seit dem 1. Januar 1996 wird in der Europäischen Union der Neue Europäische Fahrzyklus zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs verwendet. Der Zyklus besteht aus vier Stadtzyklen (ECE-15) anschliessend folgt eine Überlandfahrt mit einer kurzen Autobahnfahrt (EUDC - Extra Urban Driving Cycle). Der Zyklus dauert 1220 Sekunden (ca. 20 Minuten), wobei eine Fahrstrecke von ca. 11 km zurückgelegt wird. Da das Fahrzeug MicroVett E-Fiorino nur über eine Höchstgeschwindigkeit von 94km/h verfügt, wurde bei diesem Fahrzeug die Höchstgeschwindigkeit des Zyklus angepasst (rot).



Grafik 1 Neuer Europäischer Fahrzyklus (blau), angepasster Zyklus für den E-Fiorino von MicroVett (rot)

Die nachfolgende Tabelle beinhaltet die Resultate der **1. Messungen auf dem 1-Achsenrollenprüfstand** [Messmittel 7]:

Fahrzeug	MicroVett Fiorino	Kamoo Fiorino	Renault Kangoo Z.E.
Datum	07.08.2012	07.08.2012	07.08.2012
Km-Stand [km]	11'014	4944	191
$\eta_{\text{Bat. \& Ladegerät}} [\%]$ ¹³	86	80	86
s [km]	10.620	10.970	10.970
$E_{\text{ab Batterie ohne Rek.}} [\text{kWh}]$	1.877	2.145	2.037
$E_{\text{ab Batterie mit Rek.}} [\text{kWh}]$	1.772	1.917	1.862
Rekuperation [%]	5.6	8.1	8.6
$E_{\text{ab Batterie pro 100km}} [\text{kWh}]$	16.7	17.5	17.0
$E_{100\text{kmTTW}} [\text{kWh}]$	19.4	21.9	19.8
$E_{100\text{kmTTW}} [\text{l}]$ ¹⁴	4.7	5.3	4.8
$\text{CO}_2e_{\text{WTW}} \text{ pro km} [\text{g}]$ ¹⁵	23.6	26.7	24.1
$\text{CO}_2e_{\text{WTW}} \text{ pro km} [\text{g}]$ ¹⁶	2.8	3.2	2.9

Tabelle 16 Resultate der NEFZ-Zyklus Messungen auf dem Rollenprüfstand (1. Messung)

¹³ Werte aus Batteriekapazitätsmessung

¹⁴ Primärenergie-Benzinäquivalent CH-Verbraucher mix = 0.24 (Literaturverzeichnis [2])

¹⁵ Schweizer Lieferantenstrommix: 121.7 g CO₂e/kWh (Literaturverzeichnis [1])

¹⁶ Zertifizierter Strommix: 14.4g CO₂e/kWh (Literaturverzeichnis [1])

Da die Werte der Rekuperation zwischen NEFZ-Zyklus und Feldtests bei dem Renault Kangoo grosse Unterschiede aufweisen, entschied man sich die **Messungen auf einem 2-Achsenrollenprüfstand zu Wiederholen** [Messmittel 8]. Da bei einem 1-Achsenrollenprüfstand die hinteren beiden Räder nicht in Bewegung sind haben die ABS-Sensoren des Renault Kangoo ein korrektes Rekuperieren verhindert.

Fahrzeug	MicroVett Fiorino	Peugeot iOn	Renault Kangoo Z.E.
Datum	02.07.2013	02.07.2013	02.07.2013
Km-Stand [km]	17'422	11'716	7'247
$\eta_{\text{Bat. \& Ladegerät}}$ [%] ¹⁷	86	83	84
s [km]	10.658	10.893	10.631
$E_{\text{ab Batterie ohne Rek.}}$ [kWh]	1.860	1.650	1.977
$E_{\text{ab Batterie mit Rek.}}$ [kWh]	1.756	1.345	1.577
Rekuperation [%]	5.6	18.5	20.2
$E_{\text{ab Batterie pro 100km}}$ [kWh]	16.5	12.3	14.8
$E_{100\text{kmTTW}}$ [kWh]	19.2	14.8	17.6
$E_{100\text{kmTTW}}$ [l] ¹⁸	4.6	3.6	4.2
$\text{CO}_2e_{\text{WTW}}$ pro km [g] ¹⁹	23.4	18.0	21.4
$\text{CO}_2e_{\text{WTW}}$ pro km [g] ²⁰	2.8	2.1	2.5

Tabelle 17 Resultate der NEFZ-Zyklus Messungen auf dem Rollenprüfstand (2. Messung)

Die Tabelle ist in drei Bereiche eingeteilt: gegebene Werte, gemessene Werte und berechnete Werte. Ziel der Messung ist der Verbrauch elektrischer Energie ab Steckdose pro 100km zu ermitteln (Tank-to-Wheel). Üblich für diese Messung war bis anhin, den Zyklus ein- oder zweimal auf dem Prüfstand zu fahren und anschliessend mit einem Energiezähler die elektrische Wirkenergie der Nachladung ab Steckdose zu messen. Der Wirkungsgrad der Ladegeräte ist jedoch nicht konstant und im Teillastbereich häufig schlechter. Aus diesem Grund ist der Wirkungsgrad ($\eta_{\text{Bat. \& Ladegerät}}$), bei der Batteriekapazitätsmessung ermittelt worden. Dank diesem Wert kann der elektrische Verbrauch gleichstromseitig nach der Batterie aufgenommen werden und das Resultat hängt nicht mehr vom Ladezustand der Batterie ab.

¹⁷ Werte aus Batteriekapazitätsmessung

¹⁸ Primärenergie-Benzinäquivalent CH-Verbraucher mix = 0.24 (Literaturverzeichnis [2])

¹⁹ Schweizer Lieferantenstrommix: 121.7 g CO₂e/kWh (Literaturverzeichnis [1])

²⁰ Zertifizierter Strommix: 14.4g CO₂e/kWh (Literaturverzeichnis [1])



Abbildung 8 Messen des NEFZ-Zyklus beim E-Fiorino von MicroVett auf dem 1-Achsenrollenprüfstand der BFH



Abbildung 9 Messen des NEFZ-Zyklus beim Renault Kangoo Z.E. auf dem 2-Achsenrollenprüfstand der BFH

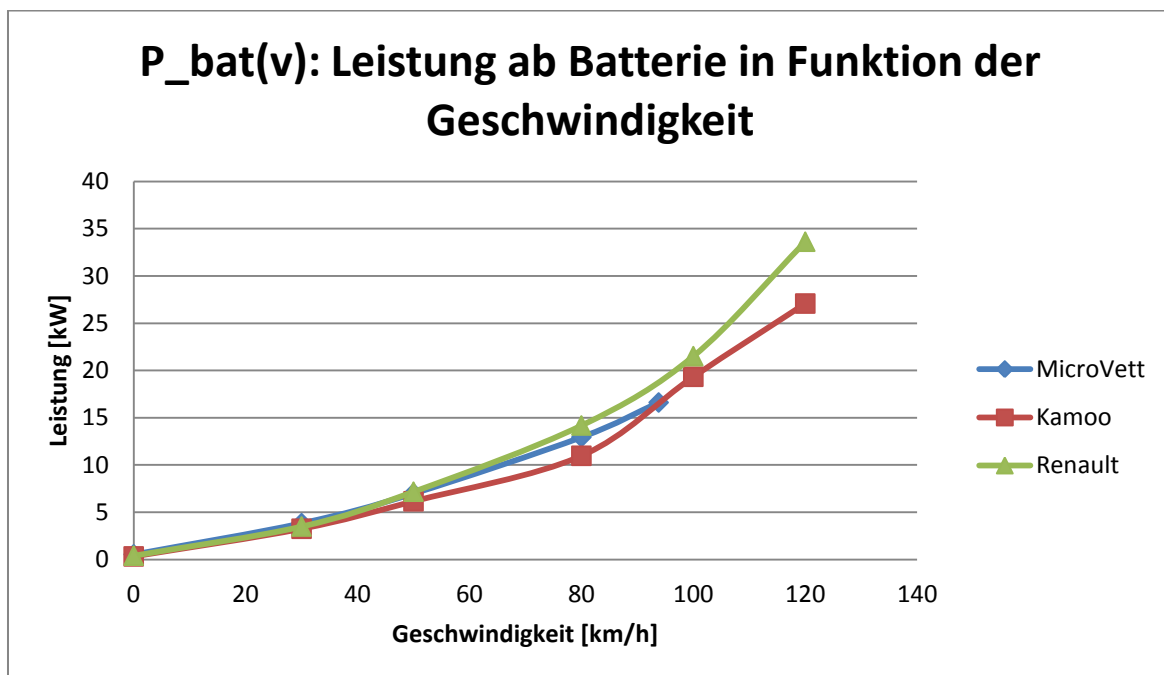
6.4 Leistungsmessung Antriebsstrang bei konstanten Geschwindigkeiten

Die **1. Leistungsmessung** ist am 7. August 2012 in Nidau auf dem Rollenprüfstand der Berner Fachhochschule bei 26°C Raumtemperatur aufgezeichnet worden. Die Messwerte sind mit den Messmittel [3] und [4] gemessen worden. Gemessen ist der Verbrauch ab Batterie.

Fahrzeug	MicroVett Fiorino	Kamoo Fiorino	Renault Kangoo Z.E.
Km-Stand [km]	11'013	4943	190
Zündung an [V/A/W]	294.0/1.8/529	241.3/1.3/314	392.9/1.0/393
Abblendlicht [V/A/W]	294.0/2.0/588	241.1/2.0/482	392.8/1.2/471
Fernlicht [V/A/W]	293.9/2.0/588	241.1/2.1/506	392.8/1.4/550
Heizung [V/A/W]	293.9/2.1/617	237.7/14.4/3423	392.6/1.3/510 ²¹
Klimaanlage [W]	-	-	-
P _{30km/h} [V/A/kW]	292.5/13.1/3.8	236.5/13.7/3.2	391.0/8.9/3.5
P _{50km/h} [V/A/kW]	290.7/24.0/7.0	231.1/26.6/6.1	389.3/18.4/7.2
P _{80km/h} [V/A/kW]	287.3/45/12.9	226.0/48.5/11.0	386.1/36.7/14.2
P _{100km/h} [V/A/kW]	284.3/58.4/16.6 (93.5km/h)	216.4/89.3/19.3	382.0/56.3/21.5
P _{120km/h} [V/A/kW]	-	206.5/131.1/27.1	375.6/89.5/33.6
Ri [Ohm]	0.171	0.268	0.195

Tabella 18 Was benötigt welche Leistung?

Die nachfolgende Grafik visualisiert die gewonnenen Messwerte. Das Fahrzeug von Kamoo schneidet bei diesen Messungen am besten ab, während das Fahrzeug von MicroVett mit einer Höchstgeschwindigkeit von 93.8km/h nicht alle Messwerte abfahren konnte. Alle Fahrzeuge sind mit Winterreifen ausgestattet und die Reifen mit dem vom Hersteller empfohlenen Reifendruck aufgepumpt.



Grafik 2 Der E-Fiorino von Kamoo benötigt durchwegs die geringste Leistung ab Batterie, um eine konstante Geschwindigkeit zu fahren, während der MicroVett eine Höchstgeschwindigkeit von nur 94 km/h hat.

²¹ Heizleistung variiert stark mit der Aussentemperatur, bei erneuter Messung am 20.02.2013 an der EMPA in der Klimakammer bei -7°C ist eine Heizleistung bis 5kW gemessen worden.

Da der Luftwiderstand der drei Fahrzeuge sehr ähnlich ist, kann das nicht Grund für das leicht bessere Abschneiden des Kamoo's sein. Jedoch sind die Fahrzeuggewichte unterschiedlich und beim Fahrzeug von Kamoo auch am tiefsten.

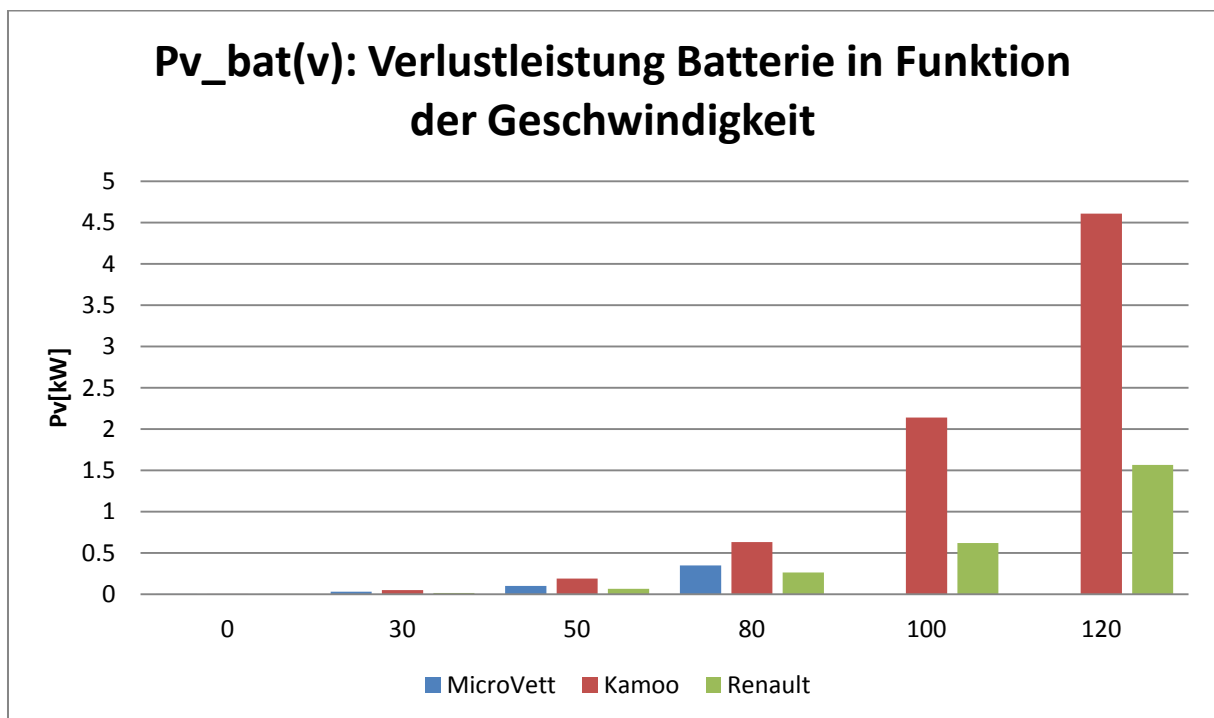
Da verschieden Lastpunkte aufgezeichnet worden sind, kann der Innenwiderstand der Batterie bestimmt werden:

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

Die Verlustleistung in der Batterie berechnet sich nun wie folgt:

$$P_V = I^2 * R_i.$$

Der Strom hat somit einen quadratischen Einfluss auf die Verlustleistung, während der Innenwiderstand der Batterie sich nur linear bemerkbar macht.



Grafik 3 Der Renault Kangoo hat dank der hohen Batteriespannung nur eine sehr geringe Verlustleistung in der Batterie.

Wegen der hohen Batteriespannung des Renault Kangoo von 400V (MicroVett: 300V, Kamoo: 250V) fließt ein verhältnismässig geringerer Strom verglichen mit den anderen Probanden ($P = U \cdot I$). Wird die Verlustleistung nicht zur Heizung des Innenraumes verwendet, muss diese vollumfänglich als Verluste betrachtet werden. Die Speicherkapazität der Batterie verringert sich entsprechen dieser Verlustenergie.

Die **2. Leistungsmessung** ist am am 2. Juli auf dem 2-Achsenrollenprüfstand [Messmittel 8] erneut durchgeführt worden mit dem Fokus auf den Wirkungsgrad des Antriebsstranges bei verschiedenen Geschwindigkeiten:

Fahrzeug	MicroVett Fiorino	Peugeot iOn	Renault Kangoo Z.E.
Km-Stand [km]	17'417	11'711	7'242
$P_{0km/h}$ [V/A/kW]	293.9/1.8/0.529	359.4/0.5/0.180	392.8/1.0/0.392
$P_{30km/h}$ [V/A/kW/kW]	286.3/11.2/3.209/1.904	358.6/6.8/2.426/1.197	392.6/9.4/3.675/1.908
$P_{50km/h}$ [V/A/kW/kW]	284.4/21.1/6.014/3.972	356.9/12.4/4.429/2.923	390.7/16.2/6.322/3.960
$P_{80km/h}$ [V/A/kW/kW]	279.1/42.2/11.773/8.938	352.9/30.8/10.869/8.012	387.4/34.2/13.230/10.179
$P_{100km/h}$ [V/A/kW]	277.2/56.2/15.587 ²²	348.1/50.6/17.615	384.0/53.5/20.545
$P_{120km/h}$ [V/A/kW]	-	340.7/82.2/28.023	379.0/78.1/29.589
$\eta_{30\ 50\ 80}$ [%/%/%]	59/66/76	49/66/74	52/63/80
Ri [Ohm]	0.202	0.236	0.198

Tabelle 19 Die benötigte elektrische und mechanische Leistung um eine konstante Geschwindigkeit zu halten

Die nachfolgende Grafik visualisiert die gewonnenen Messwerte. Der Peugeot iOn benötigt durchwegs die geringste Leistung um eine konstante Geschwindigkeit zu fahren. Jedoch ist der Peugeot mit 1195kg auch das leichteste Fahrzeug im Test (MicroVett 1475kg, Renault 1584kg).

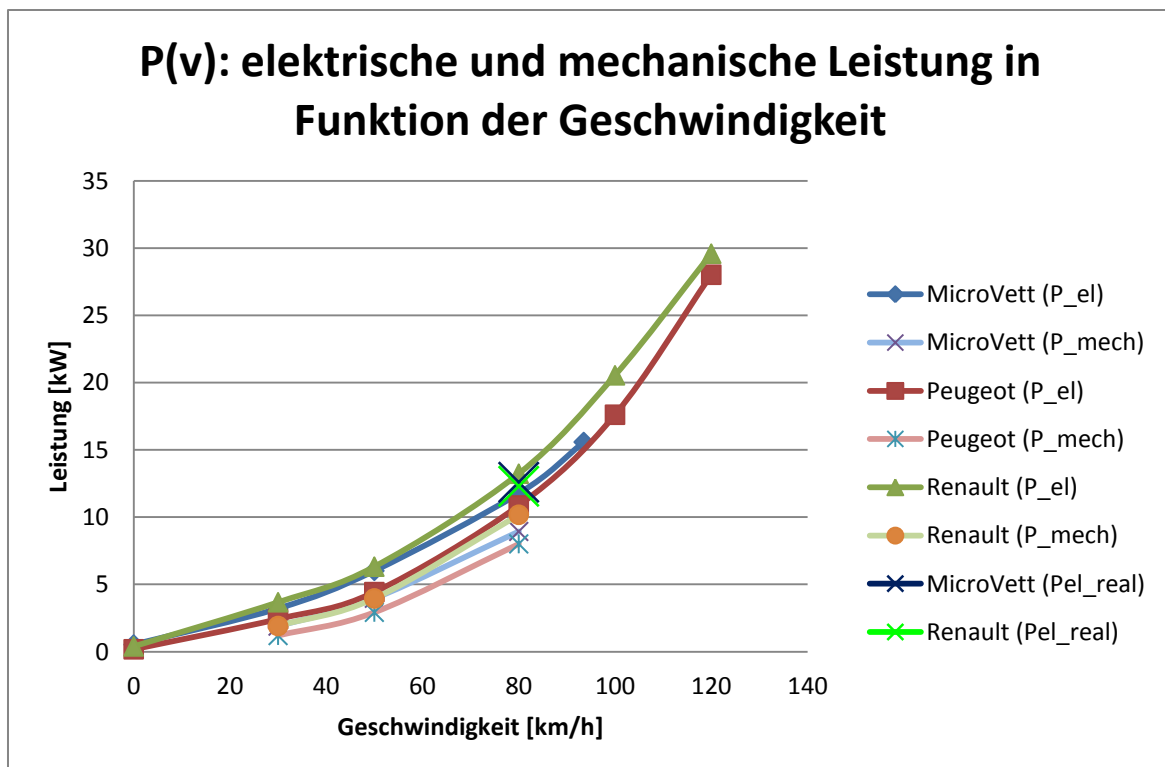


Abbildung 10 Die Grafik visualisiert die gewonnenen elektrischen und mechanischen Messwerte

²² Messung bei 93.5km/h (Höchstgeschwindigkeit Fiat Fiorino von MicroVett)

Da sowohl die elektrische Leistung ab Batterie sowie die mechanisch Leistung, welche auf den Rollenprüfstand einwirkt, aufgezeichnet worden ist können die Wirkungsgrade der Fahrzeuge bei verschiedenen Geschwindigkeiten ermittelt werden.

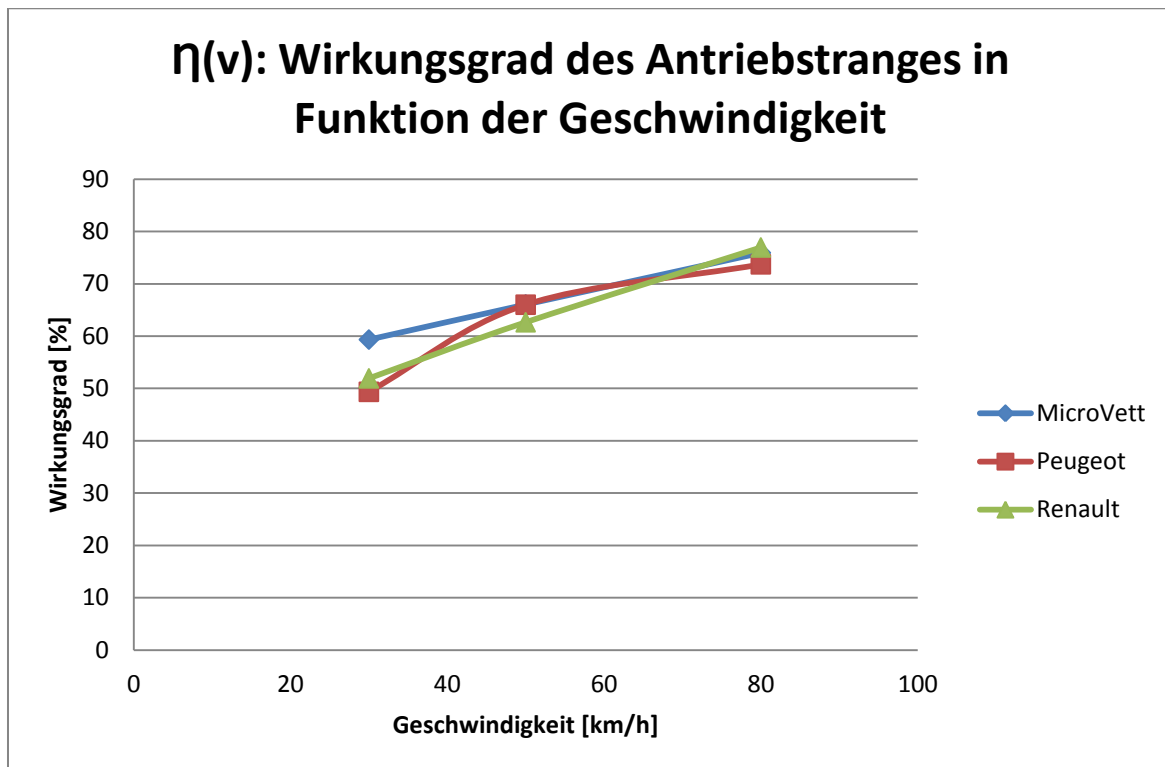


Abbildung 11 Der Wirkungsgrad steigt mit höheren Geschwindigkeiten

Die nachfolgende Grafik zeigt die Verluste im Antriebsstrang auf (ab Batterie bis auf die Strasse).

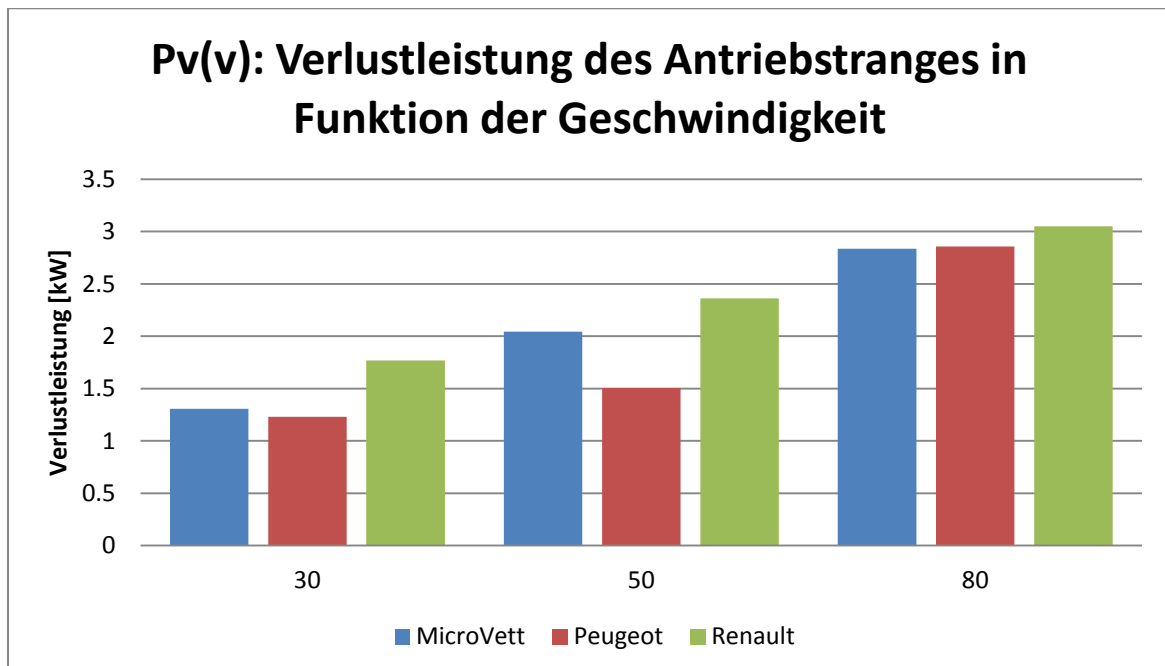


Abbildung 12 Die Verluste im Antriebsstrang verlaufen annähernd linear während die Leistung, die ein Fahrzeug aufbringen muss um schneller zu fahren quadratisch mit dem Luftwiderstand ansteigt

Da die elektrische Leistung erst ab Batterie aufgezeichnet worden ist, kann mit dem Innenwiderstand der Batterie auch dessen Verlustleistung berechnet werden. Die Verlustleistung der Batterie ist in der vorhergehenden Grafik noch nicht berücksichtigt worden.

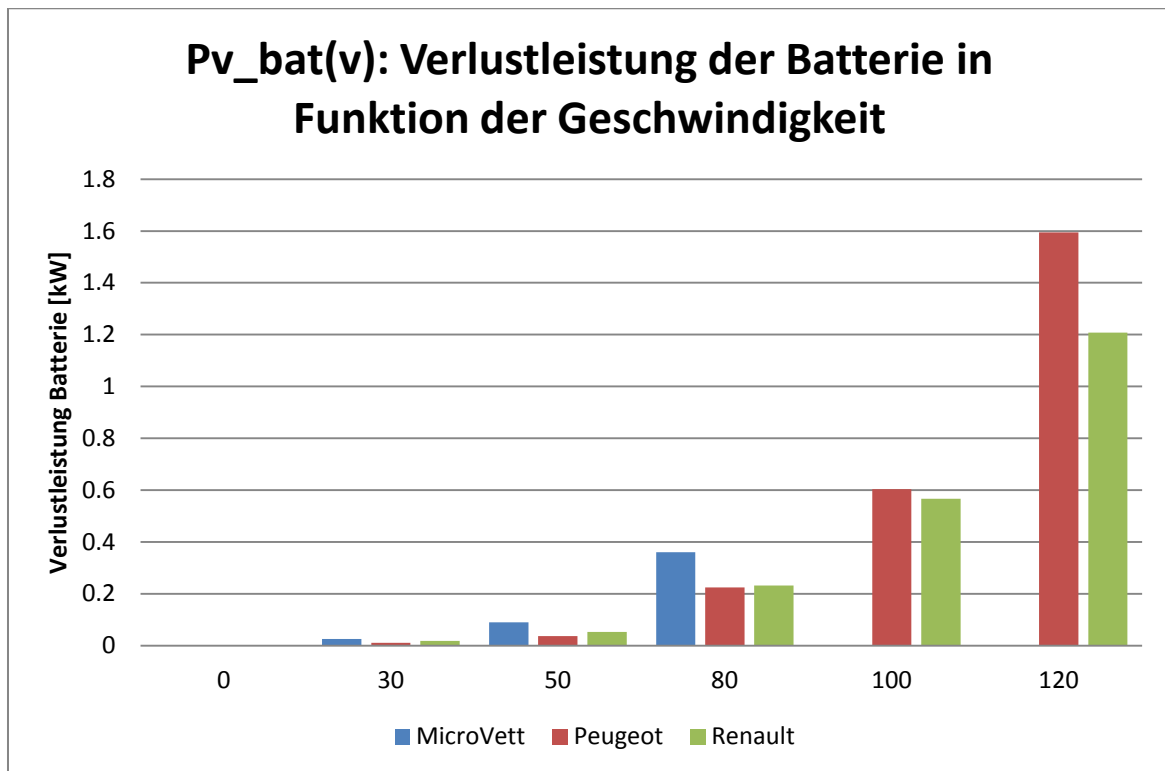


Abbildung 13 Die Verlustleistung in der Batterie steigt quadratisch mit der Stromstärke an

7 Batteriekapazität

Die Messungen zur Batteriekapazität beinhalten das Ausmessen der Traktionsbatterie bei verschiedenen Temperaturen und Alterungszuständen, resp. Nennzyklen.

Die Messungen lassen sich in zwei Kategorien teilen:

- Konstante Leistungsentladung
- Konstante Stromentladung

Bei der konstanten Leistungsentladung wird die Batterie auf dem Rollenprüfstand bei konstanten 80 km/h leer gefahren. Um die Batterie mit einem konstanten Strom zu entladen, wird eine elektronische Last direkt an der Traktionsbatterie angeschlossen.

7.1 Messung der Batteriekapazität bei konstanter Geschwindigkeit und unterschiedlichen Temperaturen

Die Batterien von allen Fahrzeugen sind auf dem Rollenprüfstand vermessen worden. Die Entladung der Traktionsbatterie mit konstanter Geschwindigkeit entspricht einer Entladung mit konstanter Leistung. Um die Batterie zu vermessen, ist Kapazität und Energieinhalt ab der vollgeladenen Batterie gemessen worden. Mit den wiederkehrenden Messungen will man eine mögliche Alterung feststellen. Zudem sind bei der EMPA die gleichen Messungen bei verschiedenen Temperaturen (-7°C und 35°C) auf dem Klimarollenprüfstand gemacht worden. Die Messungen in der Klimakammer geben über das Verhalten bei sehr kalten und sehr warmen Temperaturen Aufschluss.

Auf dem Rollenprüfstand kann nicht nur die Batterie mit einer konstanten Leistungsentladung vermessen werden, sondern auch gleich den Tank-to-Wheel-Verbrauch bei 80km/h über die gesamte Batterieentladung ermittelt werden. Hierzu muss zusätzlich die Wirkenergie ab Steckdose und die zurückgelegte Distanz auf dem Rollenprüfstand gemessen werden. Es lassen sich weitere spannende Kennzahlen berechnen, sofern auch der Verlauf der mechanischen Leistung auf der Rolle aufgezeichnet wird, wie z.B. der Wirkungsgrad des Antriebsstranges vom Fahrzeuges unter den erwähnten Bedingungen.

Die nachfolgende Grafik zeigt auf, was alles zum Tank-to-Wheel-Verbrauch eines E-Fahrzeuges dazugehört. Jedes Element hat auch einen Wirkungsgrad, der wiederum einen Einfluss auf den Gesamtwirkungsgrad des Elektrofahrzeuges hat.

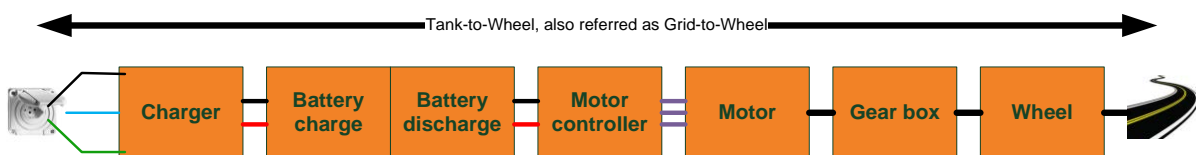


Abbildung 14 Tank-to-Wheel - Der Verbrauch von der Steckdose auf die Strasse

Damit ein E-Fahrzeug effizient ist, sind Komponenten mit tiefen Verlusten unabdingbar. Es ist also sehr wichtig, dass vom Ladegerät bis zum eingesetzten Reifen hochwertige Komponenten verbaut worden sind.

Übersicht Batterieentladung bei konstanter Geschwindigkeit			MicroVett Fioriono		
Datum	07.08.2012	26.02.2013	28.02.2013	03.07.2013	04.12.2013
Km-Stand [km]	11'036	14'915	15'115	17'432	19'778
Raumtemp. [°C]	25	-7	35	25	25
Geschwindigkeit [km/h]	80 ^{±5}	76.0	78.4	79.3	76.6
s _{tot} [km]	114.190	110.206	146.684	130.180	-
P _{Dyno} [kW]	-	4.034	4.171	4.649	7.881
E _{Dyno} [kWh]	6.019	5.565	7.647	7.557	8.519
P _{ab Batterie} [kW]	12.966	12.207	10.979	12.176	17.845
E _{ab Batterie} [kWh]	19.3	16.169	19.555	19.148	18.983
C [Ah]	72.7	63.1	73.3	71.9	72.2
E _{ab Steckdose} [kWh]	-	19.51	22.9	22.30	22.67
E _{ab Steckdose} [kvarh]	-	1.76	2.44	2.52	2.62
η _{E Bat. & Ladegerät} [%]	-	83	85	86	84
E _{100kmTTW} [kWh]	-	17.7	15.6	17.1	-
Übersicht Batterieentladung bei konstanter Geschwindigkeit			Renault Kangoo Z.E.		
Datum	08.08.2012	19.02.2013	21.02.2013	03.07.2013	04.12.2013
Km-Stand [km]	202	4'514	4679	7'257	10'173
Raumtemp. [°C]	25	-7	35	25	25
Geschwindigkeit [km/h]	80 ^{±5}	77.1	76.4	77.7	76.8
s _{tot} [km]	126.870	119.128	149.996	141.298	-
P _{Dyno} [kW]	-	7.261	7.228	7.147	11.502
E _{Dyno} [kWh]	10.038	10.332	12.961	12.337	11.956
P _{ab Batterie} [kW]	13.640	13.922	11.554	12.445	19.965
E _{ab Batterie} [kWh]	21.9	19.624	21.559	21.267	21.39
C [Ah]	60.7	54.5	58.5	58	58.2
E _{ab Steckdose} [kWh]	25.5	22.99	26.55	25.40	25.14
E _{ab Steckdose} [kvarh]	3.8	2.93	3.37	3.28	2.99
η _{E Bat. & Ladegerät} [%]	86	85	81	84	85
E _{100kmTTW} [kWh]	20.1	19.3	17.7	18.0	-
Übersicht Batterieentladung bei konstanter Geschwindigkeit			Peugeot iOn		
Datum	-	19.03.2013	21.03.2013	03.07.2013	04.12.2013
Km-Stand [km]	-	9'764	9'923	11'726	14'022
Raumtemp. [°C]	25	-7	35	25	25
Geschwindigkeit [km/h]	80 ^{±5}	77.8	75.7	78.7	77.0
s _{tot} [km]	-	111.059	128.555	108.477	-
P _{Dyno} [kW]	-	5.48	5.132	6.820	7.259
E _{Dyno} [kWh]	-	7.489	8.387	9.162	7.58
P _{ab Batterie} [kW]	-	9.395	8.171	10.313	12.792
E _{ab Batterie} [kWh]	-	12.67	13.907	13.722	13.465
C [Ah]	-	39.5	41.2	40.9	40.8
E _{ab Steckdose} [kWh]	-	17.03	14.00	16.60	16.96
E _{ab Steckdose} [kvarh]	-	4.5	7.44	3.22	3.08
η _{E Bat. & Ladegerät} [%]	-	74	-	83	79
E _{100kmTTW} [kWh]	-	15.3	-	15.3	-

Tabelle 20 Übersicht der Batteriekapazitätsmessungen bei konstanter Geschwindigkeit der drei Fahrzeuge. Bei der Messung im Dezember 2013 ist ein Fehler bei den Einstellung des Rollenprüfstands passiert, deshalb sind bei diesen Messungen Reichweite und Verbrauch auf 100 Kilometer nicht angegeben.

Übersicht Batterieentladung bei konstanter Geschwindigkeit		Kamoo Fioriono
Datum	08.08.2012	
Km-Stand [km]	4'955	
Raumtemp. [°C]	26	
Geschwindigkeit [km/h]	80 ^{±5}	
s _{tot} [km]	124.000	
E _{Dyno} [kWh]	7.741	
C [Ah]	83.8	
E _{ab Batterie} [kWh]	18.4	
E _{ab Steckdose} [kWh]	23.0	
E _{ab Steckdose} [kvarh]	9.5	
η _{Bat. & Ladegerät} [%]	80	
E _{100kmTTW} [kWh]	23	

Tabelle 21 Messdaten zum Fiat Fiorino Kamoo bei der ersten Messung im August 2012

7.1.1 Anmerkungen zu den Messungen

Messserie August 2012

Auf dem Rollenprüfstand der BFH-TI in Nidau ist nur die Summe der mechanischen Arbeit, die auf die Rolle abgegeben worden ist, festgehalten worden, ohne den Leistungsverlauf aufzuzeichnen.

Nachladung des Fiat Fiorino von MicroVett ist fehlgeschlagen.

Neben den gemessenen Resultaten konnte auch festgestellt werden, wie sich die Fahrzeuge verhalten, wenn die Batterie leer gefahren wird:

MicroVett: Sobald die Batterie leer ist, wird diese ohne Leistungsrosselung schlagartig vom Antriebsstrang getrennt und das Fahrzeug rollt aus.

Kamoo: Die Anzeige beginnt ab 25% SoC an zu blinken, ab 10% SoC wird die Leistung gedrosselt.

Renault: Bei 0% SoC nach Anzeige beginnt das Fahrzeug die Leistung zu drosseln.

Alle Messungen sind bei 20km/h beendet worden.

Messserie Februar 2013

Die Batterie vom Peugeot iOn arbeitet nur in einem Temperaturbereich zwischen 12-31°C vollständig. Bei Temperaturen über 31°C wird die Leistung reduziert. Aus diesem Grund wurde die Aufladung nach der 35°C Messung vom Fahrzeug vorzeitig unterbrochen.²³

Messserie Juli 2013

Der Stromsensor des Renault Kangoo Z.E. ist wegen zu hohen mechanischer Beanspruchung während des Feldtestes ausgefallen. In Zukunft sollte bei der Montage darauf geachtet werden, dass das Anschlusskabel über eine Zugentlastung am Sensor gesichert wird. Zudem sollte der Sensor, sofern möglich, an einem Ort verbaut werden, wo dieser nicht zu stark der Witterung ausgesetzt ist.

²³ http://de.wikipedia.org/wiki/Mitsubishi_i_MiEV (27.03.2013)

Messserie Dezember 2013

Beim Einstellen des Rollenprüfstandes ist dem Betreiber ein Fehler unterlaufen. Aus diesem Grund sind die Fahrzeuge zum Teil wesentlich stärker belastet worden als bei den vorhergehenden Messungen. Was eine kleinere Reichweite und einen höheren Verbrauch zur Folge hat. Damit keine falschen Schlüsse aus den Messresultaten gezogen werden, sind die beiden Kennzahlen nicht in der Tabelle aufgeführt. Das elektrische Speichervermögen der Batterie konnte trotzdem ausgemessen werden, was auch das Ziel der Messung war.

7.2 Torkeln

Als einziges Fahrzeug wird der Renault Kangoo getorkelt. Der Torkel ist eine elektronische Last, die den Entladestrom während der gesamten Entladung der Batterie konstant hält. Die Messung ist ähnlich wie die Batterieentladung bei konstanter Geschwindigkeit, jedoch darf eine höhere Genauigkeit bei den Torkel-Resultaten erwartet werden. Auf die Torkelmessungen der beiden Fiorinos wurde wegen Garantiefrazen verzichtet.

Entladestrom: 26A (0.4C)

Abbruchspannung: 245V (Wert auf Rollenprüfstand ermittelt)

Übersicht Torkeln Renault Kangoo Z.E			
Datum	09.08.2012	04.07.2013	04.12.2013
Km-Stand [km]	329	7'398	10'284
Raumtemp. [°C]	25	25	25
I [A]	26	26	26
C-Faktor	0.4	0.4	0.4
C [Ah]	56.9	58.3	57.6
E _{ab Batterie} [kWh]	20.8	21.475	21.583
E _{ab Steckdose} [kWh]	26.6	25.19	24.79
E _{ab Steckdose} [kvarh]	4.0	3.11	2.89
η _{Bat. & Ladegerät} [%]	78	85	87

Tabelle 22 Zusammenfassung der Torkelmessungen



Abbildung 15 Torkeln des Renault Kangoo Z.E.

8 Feldmessungen

Für den Feldtest sind alle fünf Peugeot iOn mit einem Datenlogger der BFH [Messmittel 1] ausgestattet worden. Bei den Fahrzeugen fünf bis acht sind die Messwerte mittels fahrzeuginternen CAN-Bus erfasst worden. Bei Fahrzeug Nr. 9 ist in einer ersten Periode der fahrzeuginterne CAN-Bus aufgezeichnet worden und in einer zweiten Periode sind die Messwerte mit zusätzlich verbauten Sensoren erfasst worden. Die Logger zeichnen pro Sekunde einmal den Strom, die Spannung und die Aussentemperatur sowie die GPS-Position auf. Bei Messungen mit dem fahrzeuginternen CAN-Bus steht auch der Wert DoD zur Verfügung.

8.1 Resultate

Die wichtigsten Resultate des Feldtests kurz zusammengefasst:

Fahrzeug Nr.	5	6	7	8	9
Firma	IWB	IWB	Regioplan	Tschantre	Amt für Umwelt
Kennzeichen	BS71018	BS71021	BS78428	BS15096	BS59270
Fahrzeugmasse [kg]	1195	1195	1195	1195	1195
Gefahrene Distanz [km]	1744	1977	802	2983	2889
$S_{\text{averag per trip}}$ [km]	7.6	5.7	6.1	6.3	7.8
$E_{\text{averag per trip}}$ [kWh]	0.9	0.8	0.9	1.1	0.9
$T_{\text{averag per trip}}$ [HH:MM:SS]	00:15:58	00:14:59	00:15:03	00:15:37	00:19:10
Rekuperation [%]	18.2	21.6	23.0	15.1	21.8
$E_{\text{ab Batterie pro 100km}}$ [kWh]	12.2	14.5	14.0	17.4	11.5
$\eta_{\text{E Bat. \& Ladegerät}}$ [%] ²⁴	83	83	83	83	83
$E_{100\text{kmTTW}}$ [kWh]	14.7	17.5	16.9	21.0	13.9

Tabelle 23 Übersicht des Feldtests mit den wichtigsten Kennzahlen

Die wichtigsten Erkenntnisse:

- Die Feldtests zeigen klar, dass die Reichweiten der Fahrzeuge bei weitem nicht ausgereizt werden.
- Die Histogramme <Status> mit den Zuständen „Laden“, „Fahren“ und „Stehen“, zeigen ein grosses Sparpotential auf. Das Laden der Fahrzeuge sollte während der Nieder-Tarif-Periode erfolgen. Die Ausnahme stellt Fahrzeug Nr. 7 dar.
- Der Verbrauch während den Wintermonaten ist signifikant höher als während den warmen Monaten.

Viele weitere Kennzahlen sind auf den nachfolgenden Tabellen und Histogrammen zu entnehmen. Des Weiteren sind alle Fahrten und Ladungen pro Fahrzeug detailliert ausgewertet und mit 12 Kennzahlen klassifiziert worden. Zu allen Ladungen ist ein Spannung-Strom-Diagramm erstellt worden und die Fahrten können alle in Google Earth mit vielen zusätzlichen Informationen betrachtet werden.

²⁴ Werte aus Batteriekapazitätsmessung

8.2 Fahrzeuge im Detail

8.2.1 Peugeot iOn der IWB Basel (BS71018) - Nr.5

Allgemeine Kennzahlen

Car:	Peugeot iOn_CAN	Battery type:	Lithium
Car number:	BS71018	Battery chemistry:	LiMn
In use for:	Basel		
Time periode:	20.06.2013 -		18.10.2013
Number of trips:			242
Total distance during this period [km]			1744.1
Total energy consumption [kWh]:			230.4
Total used energy during the trips [kWh]:			264.3
Thereof produced energy during the trips (recuperation) [kWh]:			48.1
Difference input/output [kWh]:			14.2
Percentage of energy produced by recuperation			18.20%
Average energy consumption per 100km [kWh]			12.2
Average distance of a trip [km]			7.6
Average distance per day [km]			28.6
Average energy consumption of a trip [kWh]			0.9
Average time of a trip			00:15:58
Average number of stops per trip			6
Average proportion of stops per trip [%]			22.63
Drives per weekday		Charges per weekday	
Monday	43	Monday	7
Tuesday	55	Tuesday	10
Wednesday	57	Wednesday	6
Thursday	46	Thursday	9
Friday	41	Friday	7
Saturday	0	Saturday	0
Sunday	0	Sunday	0
Number of trips	242	Number of charge	39

Tabelle 24 Allgemeine Kennzahlen des Peugeot iOn ermittelt durch einen mehrmonatigen Feldtest.

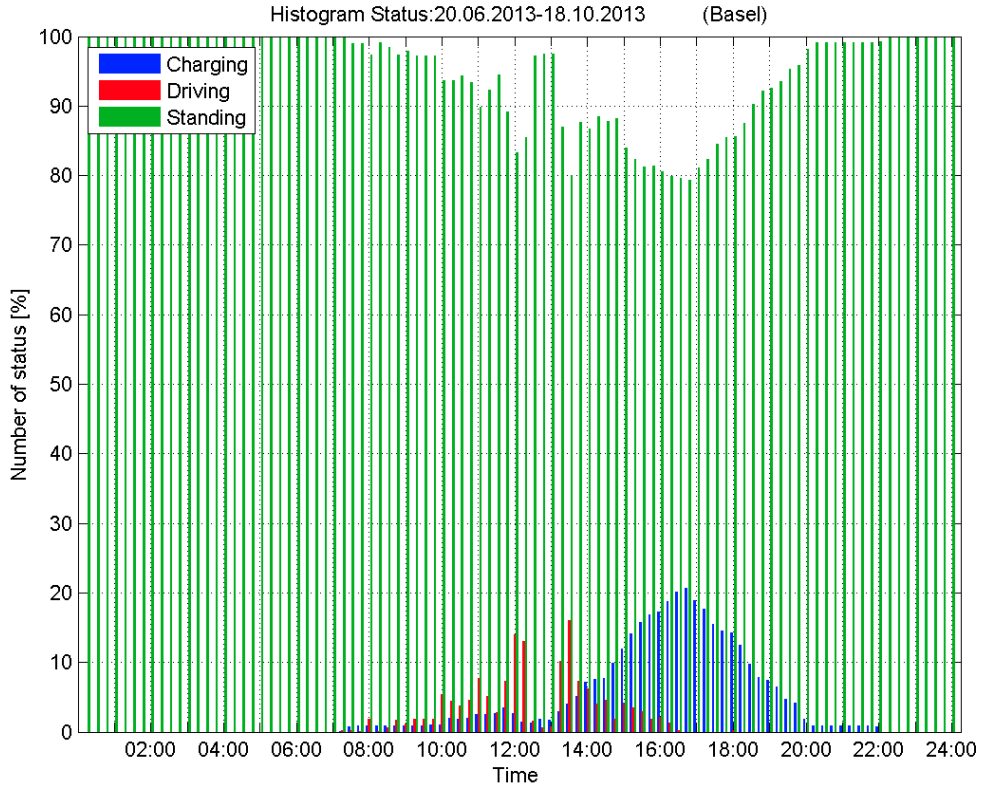


Abbildung 16 Histogramm Status

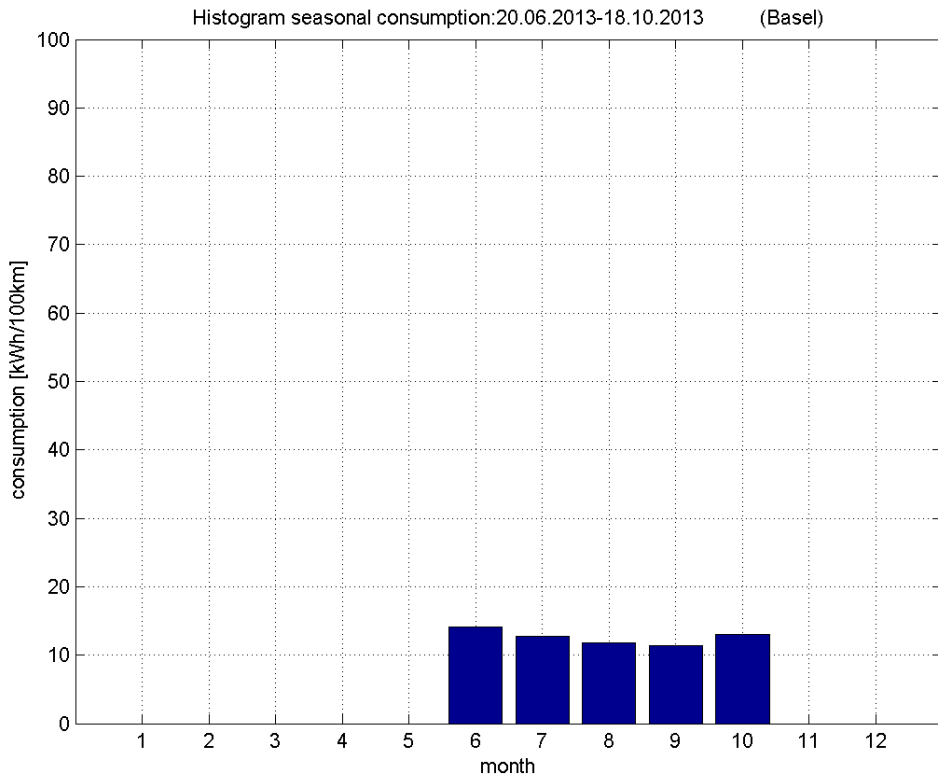


Abbildung 17 Histogramm saisonaler Verbrauch

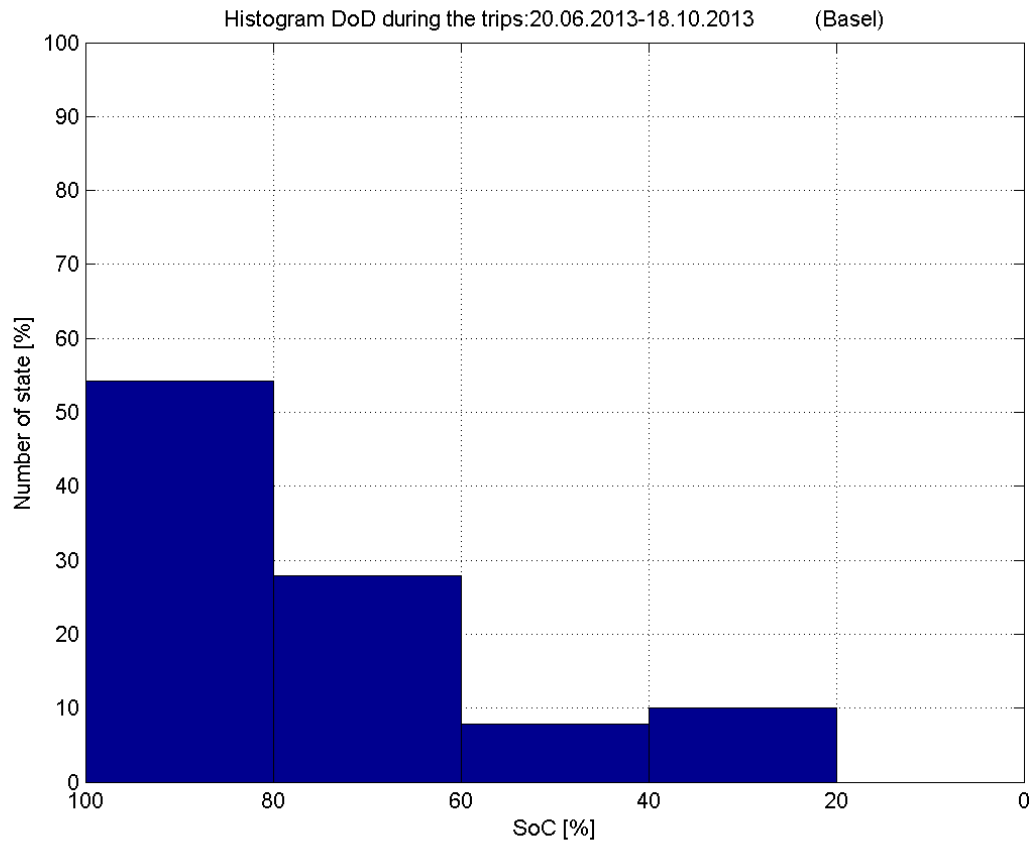


Abbildung 18 Histogramm DoD des Peugeot iOn. Es ist gut ersichtlich, dass der grösste Teil der Fahrten bei voller Batterie gemacht wurde.

8.2.2 Peugeot iOn der IWB Basel (BS71021) – Nr. 6

Car:	Peugeot iOn_CAN	Battery type:	Lithium
Car number:	BSXXXX	Battery chemistry:	LiMn
In use for:	Basel		
Time periode:	02.04.2013	-	03.12.2013
Number of trips:			354
Total distance during this period [km]			1977.3
Total energy consumption [kWh]:			313.4
Total used energy during the trips [kWh]:			369.3
Thereof produced energy during the trips (recuperation) [kWh]:			79.8
Difference input/output [kWh]:			23.9
Percentage of energy produced by recuperation			21.60%
Average energy consumption per 100km [kWh]			14.5
Average distance of a trip [km]			5.7
Average distance per day [km]			18.7
Average energy consumption of a trip [kWh]			0.8
Average time of a trip			00:14:59
Average number of stops per trip			7
Average proportion of stops per trip [%]			23.86
Drives per weekday		Charges per weekday	
Monday	61	Monday	29
Tuesday	75	Tuesday	31
Wednesday	73	Wednesday	28
Thursday	78	Thursday	30
Friday	66	Friday	24
Saturday	1	Saturday	1
Sunday	0	Sunday	0
Number of trips	354	Number of charge	143

Abbildung 19 Allgemeine Kennzahlen des Peugeot iOn ermittelt durch einen mehrmonatigen Feldtest.

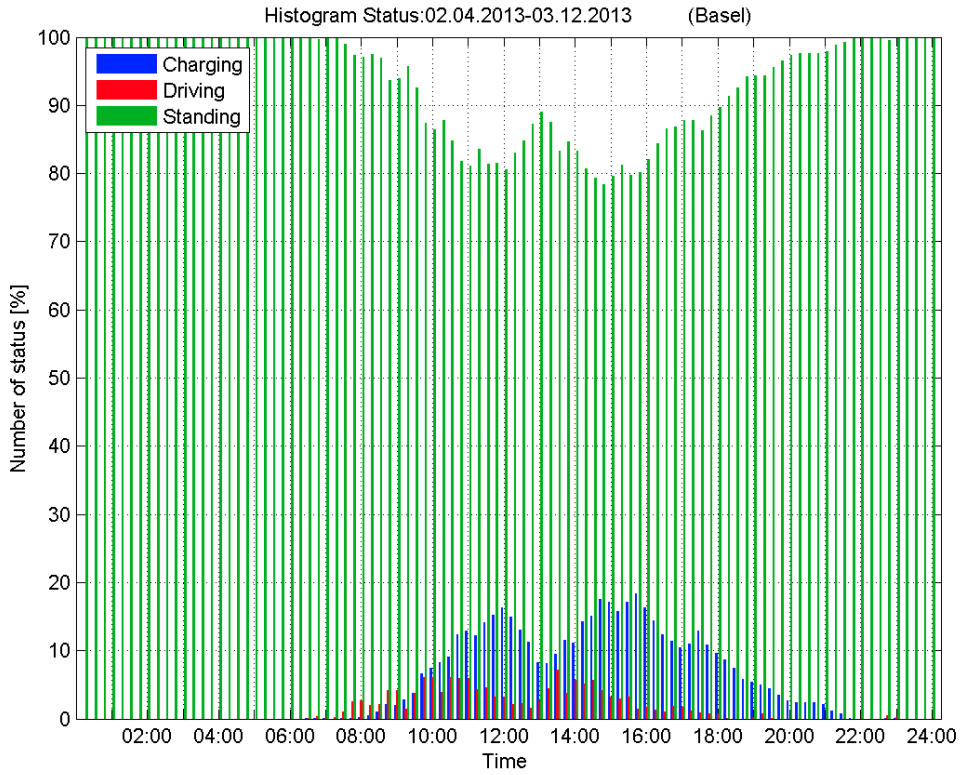


Abbildung 20 Histogramm Status

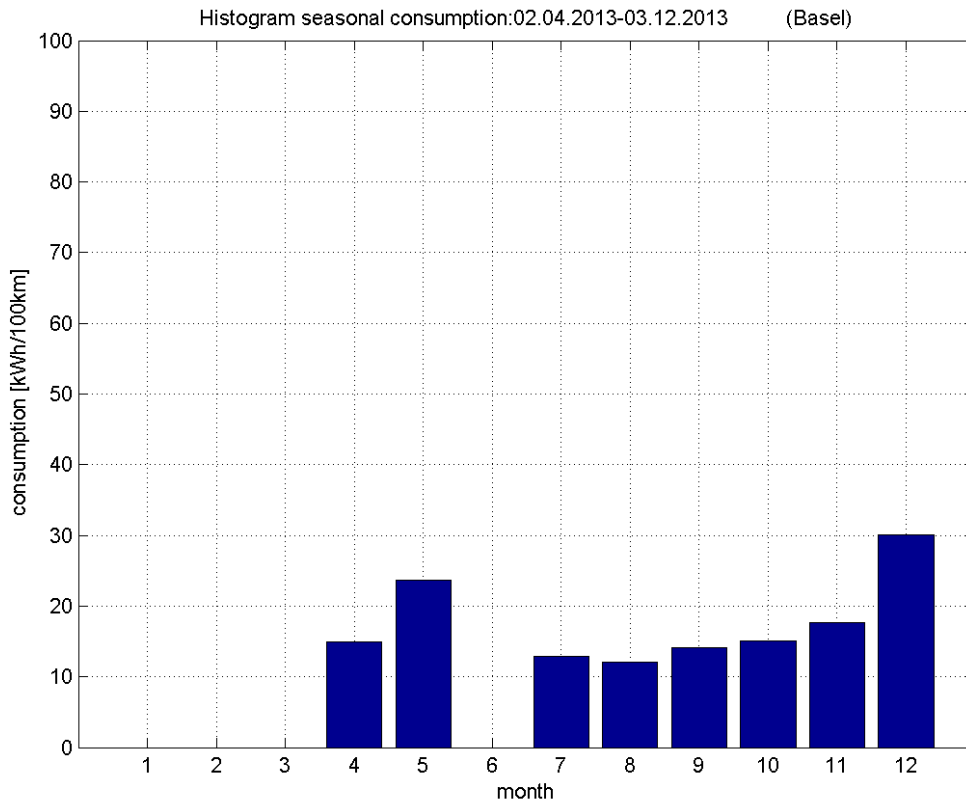


Abbildung 21 Histogramm saisonaler Verbrauch

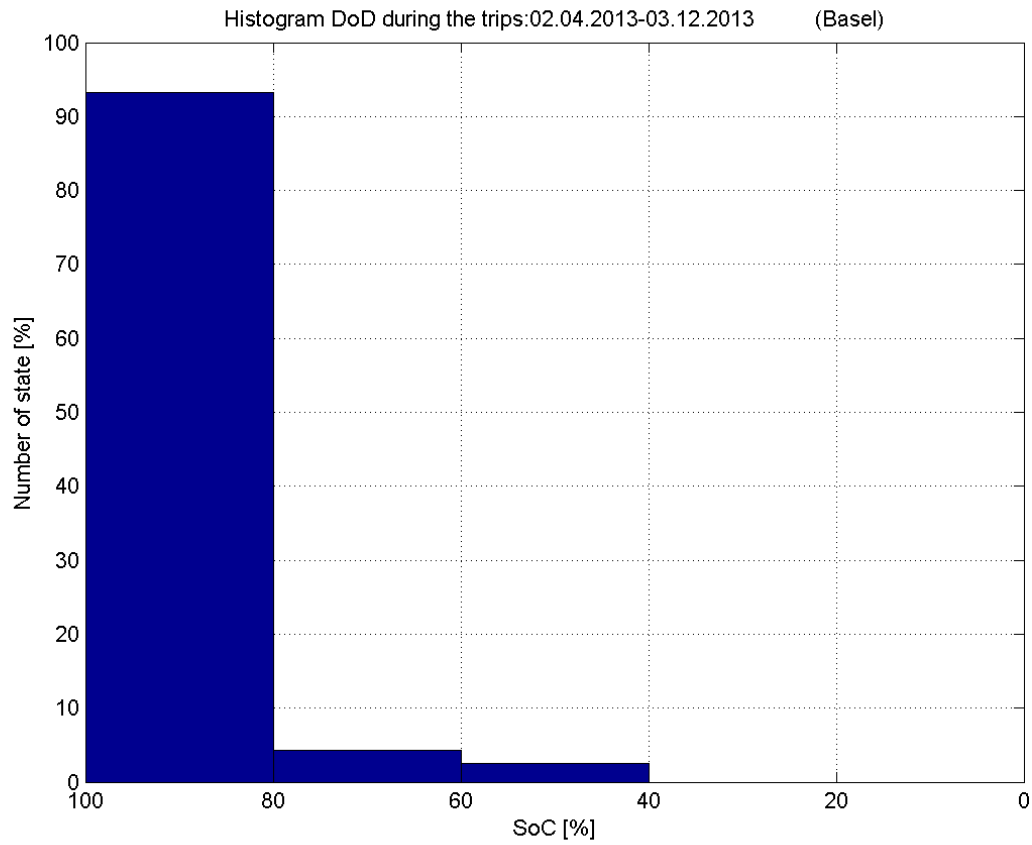


Abbildung 22 Histogramm DoD des Peugeot iOn. Es ist gut ersichtlich, dass der grösste Teil der Fahrten bei voller Batterie gemacht wurde.

8.2.3 Peugeot iOn von Regioplan Basel (BS78428) – Nr. 7

Allgemeine Kennzahlen

Car:	Peugeot iOn_CAN	Battery type:	Lithium
Car number:	BS78428	Battery chemistry:	LiMn
In use for:	Basel		
Time periode:	10.05.2013	-	02.07.2013
Number of trips:			131
Total distance during this period [km]			802.2
Total energy consumption [kWh]:			111.1
Total used energy during the trips [kWh]:			145.4
Thereof produced energy during the trips (recuperation) [kWh]:			33.4
Difference input/output [kWh]:			-0.9
Percentage of energy produced by recuperation			23%
Average energy consumption per 100km [kWh]			14.0
Average distance of a trip [km]			6.1
Average distance per day [km]			22.9
Average energy consumption of a trip [kWh]			0.9
Average time of a trip			00:15:03
Average number of stops per trip			8
Average proportion of stops per trip [%]			27.58
Drives per weekday		Charges per weekday	
Monday	15	Monday	2
Tuesday	18	Tuesday	3
Wednesday	18	Wednesday	3
Thursday	31	Thursday	7
Friday	17	Friday	1
Saturday	28	Saturday	6
Sunday	4	Sunday	2
Number of trips	131	Number of charge	24

Tabelle 25 Allgemeine Kennzahlen des Peugeot iOn ermittelt durch einen mehrmonatigen Feldtest.

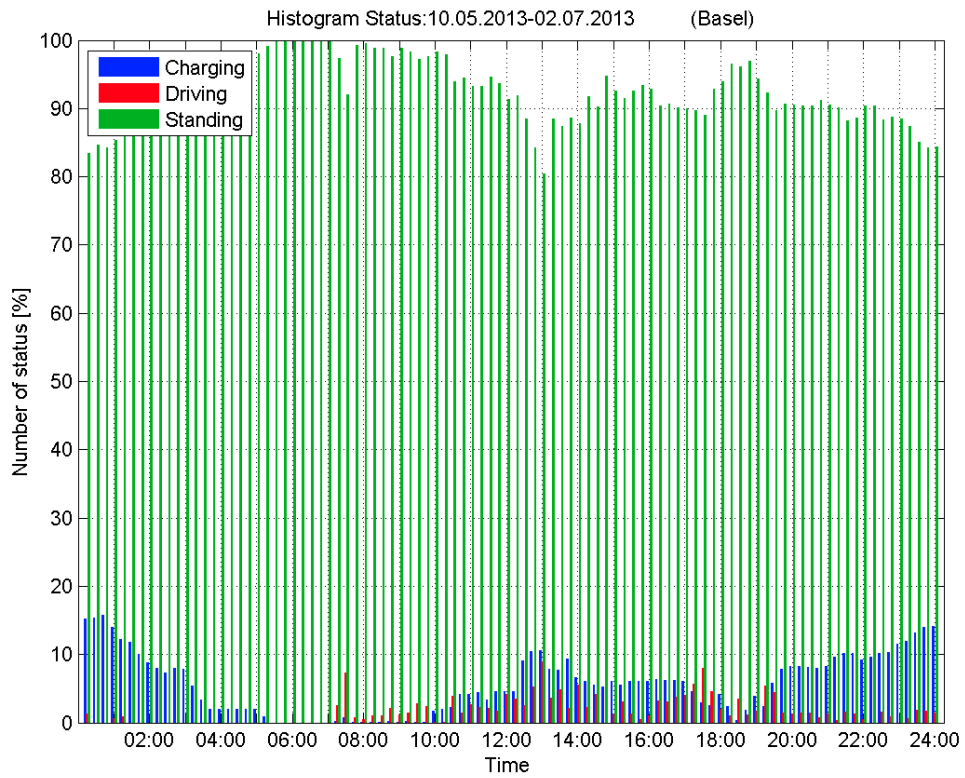


Abbildung 23 Histogramm Status

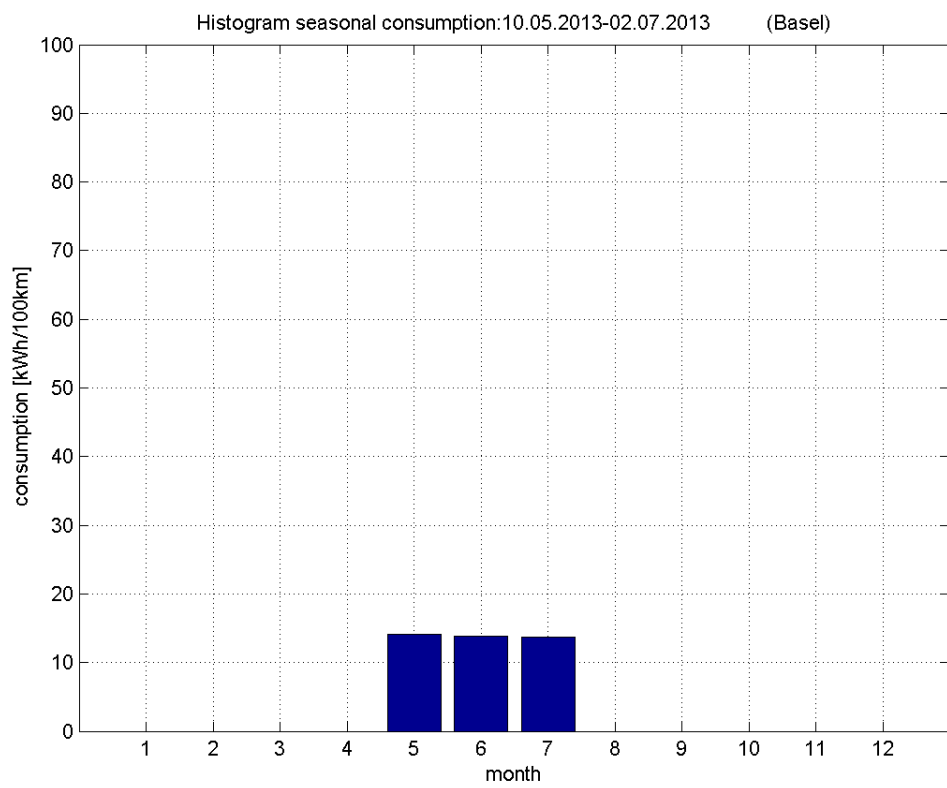


Abbildung 24 Histogramm saisonaler Verbrauch

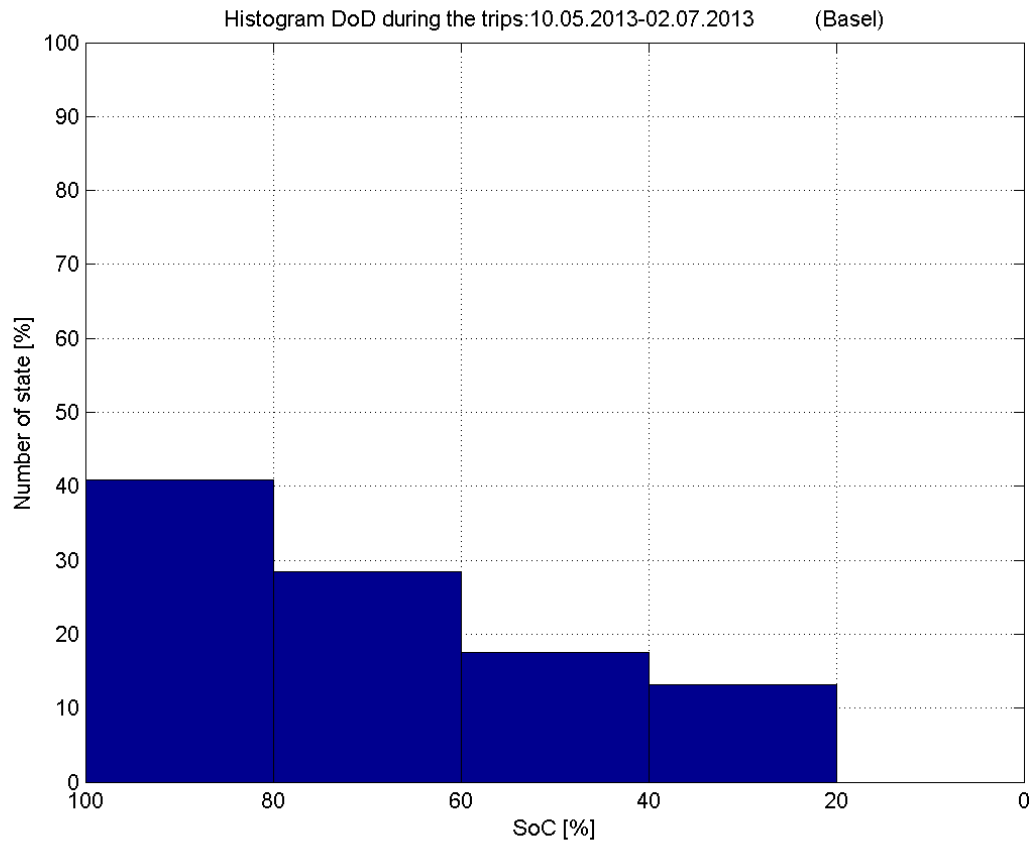


Abbildung 25 Histogramm DoD des Peugeot iOn.

8.2.4 Peugeot iOn von Tschantre Basel (BS15096) – Nr. 8

Car:	Peugeot iOn_CAN	Battery type:	Lithium
Car number:	BSXXXX	Battery chemistry:	LiMn
In use for:	Basel		
Time periode:	18.01.2013 -		12.12.2013
Number of trips:			476
Total distance during this period [km]			2982.9
Total energy consumption [kWh]:			560.5
Total used energy during the trips [kWh]:			615.4
Thereof produced energy during the trips (recuperation) [kWh]:			92.9
Difference input/output [kWh]:			37.9
Percentage of energy produced by recuperation			15.10%
Average energy consumption per 100km [kWh]			17.4
Average distance of a trip [km]			6.3
Average distance per day [km]			25.1
Average energy consumption of a trip [kWh]			1.1
Average time of a trip			00:15:37
Average number of stops per trip			5
Average proportion of stops per trip [%]			20.22
Drives per weekday		Charges per weekday	
Monday	109	Monday	49
Tuesday	113	Tuesday	58
Wednesday	83	Wednesday	38
Thursday	95	Thursday	45
Friday	76	Friday	39
Saturday	0	Saturday	0
Sunday	0	Sunday	0
Number of trips	476	Number of charge	229

Abbildung 26 Allgemeine Kennzahlen des Peugeot iOn ermittelt durch einen mehrmonatigen Feldtest.

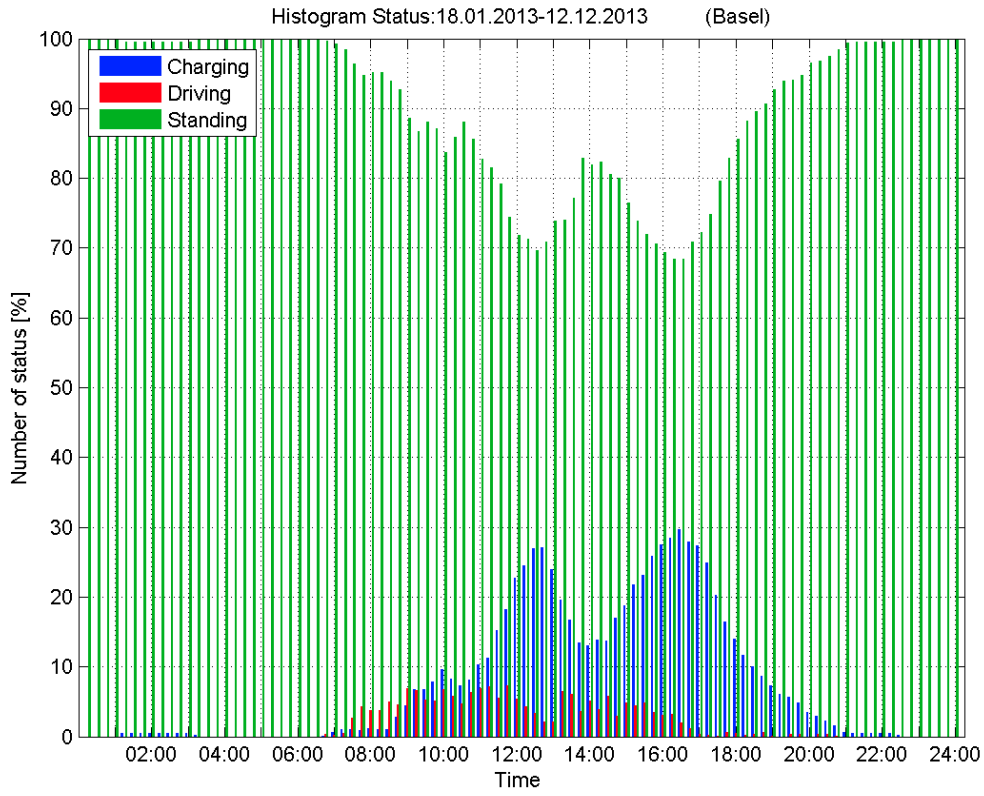


Abbildung 27 Histogramm Status

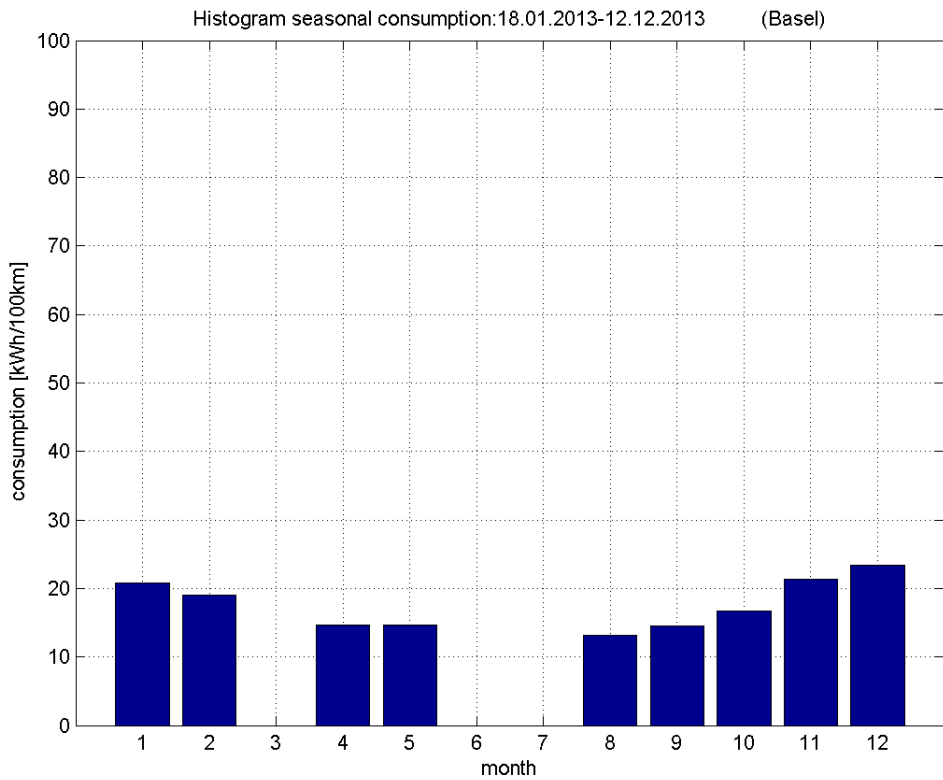


Abbildung 28 Histogramm saisonaler Verbrauch

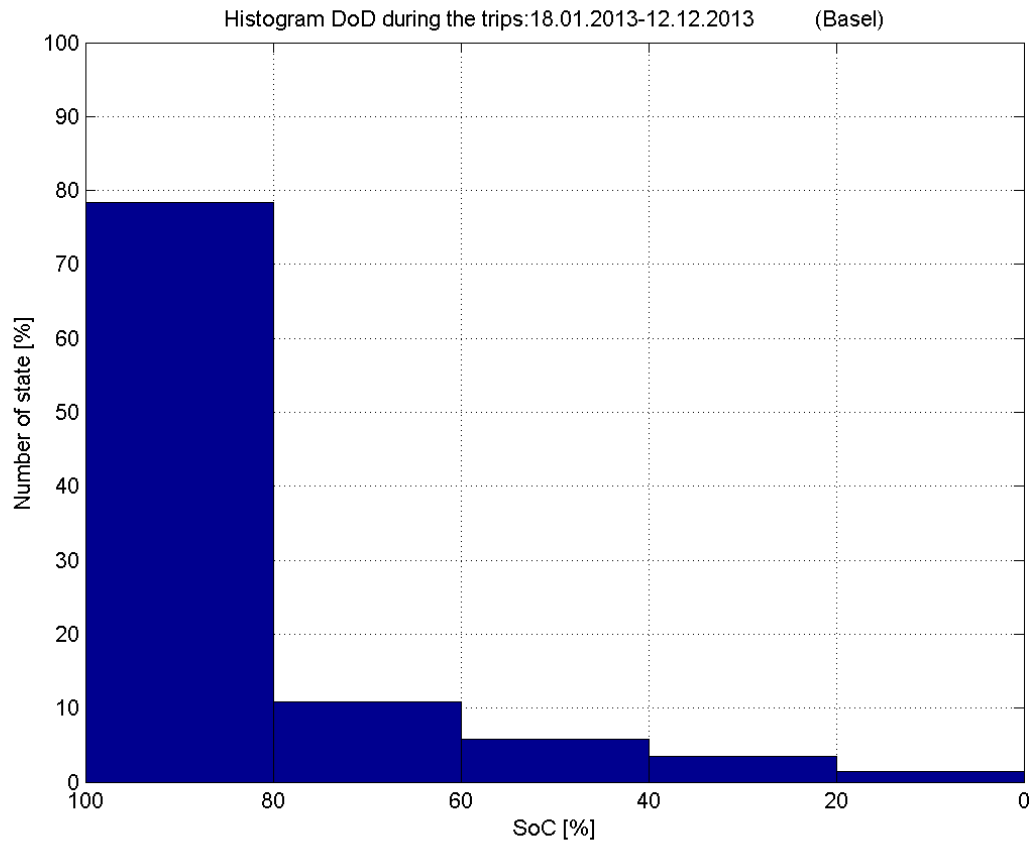


Abbildung 29 Histogramm DoD des Peugeot iOn. Es ist gut ersichtlich, dass der grösste Teil der Fahrten bei voller Batterie gemacht wurde.

8.2.5 Peugeot iOn vom Amt für Umwelt Basel (BS59270) – Nr. 9

Car:	Peugeot iOn	Battery type:	Lithium
Car number:	BS59270	Battery chemistry:	LiMn
In use for:	Amt für Umwelt Basel		
Time periode:	22.03.2013 -		02.12.2013
Number of trips:	373		
Total distance during this period [km]	2888.8		
Total energy consumption [kWh]:	378.5		
Total used energy during the trips [kWh]:	438.7		
Thereof produced energy during the trips (recuperation) [kWh]:	95.4		
Difference input/output [kWh]:	35.2		
Percentage of energy produced by recuperation	21.80%		
Average energy consumption per 100km [kWh]	11.5		
Average distance of a trip [km]	7.8		
Average distance per day [km]	24.3		
Average energy consumption of a trip [kWh]	0.9		
Average time of a trip	00:19:10		
Average number of stops per trip	9		
Average proportion of stops per trip [%]	30.15		
Drives per weekday	Charges per weekday		
Monday	88	Monday	49
Tuesday	78	Tuesday	38
Wednesday	57	Wednesday	28
Thursday	62	Thursday	33
Friday	62	Friday	29
Saturday	12	Saturday	3
Sunday	14	Sunday	3
Number of trips	373	Number of charge	183

Abbildung 30 Allgemeine Kennzahlen des Peugeot iOn ermittelt durch einen mehrmonatigen Feldtest.

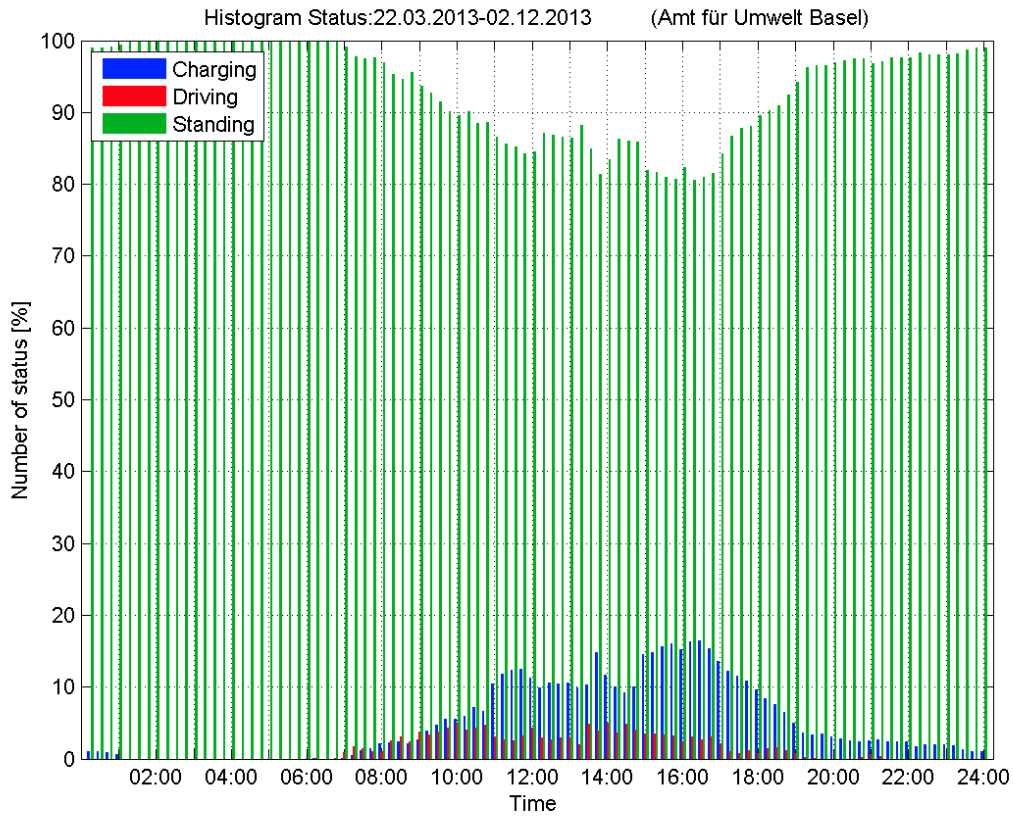


Abbildung 31 Histogramm Status

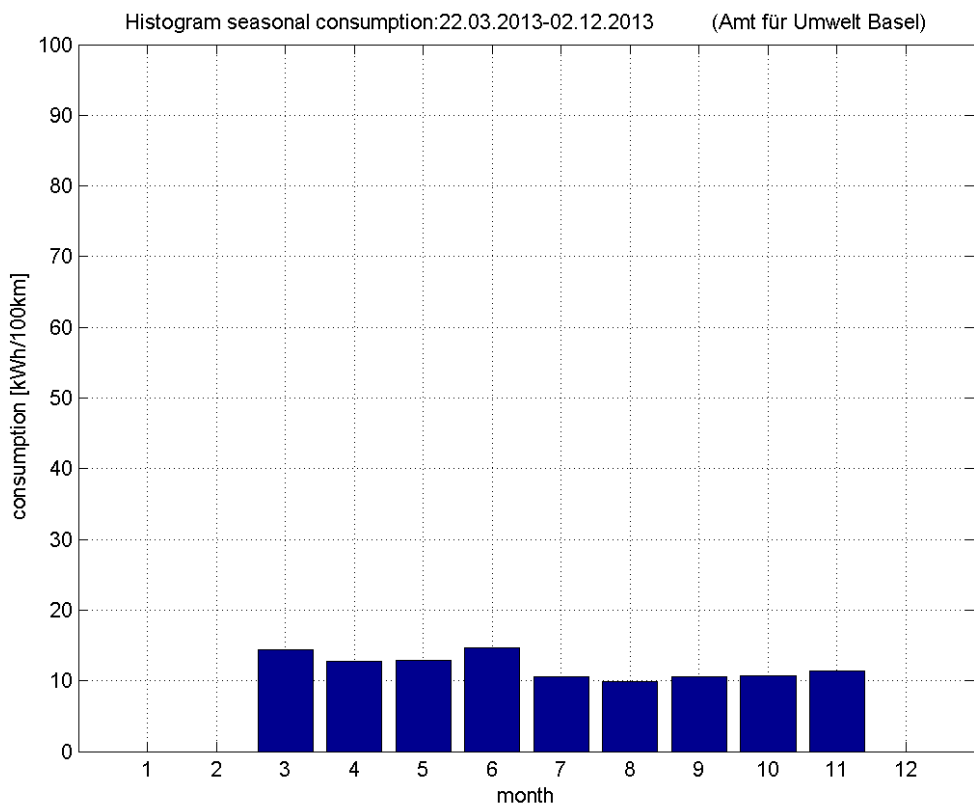


Abbildung 32 Histogramm saisonaler Verbrauch

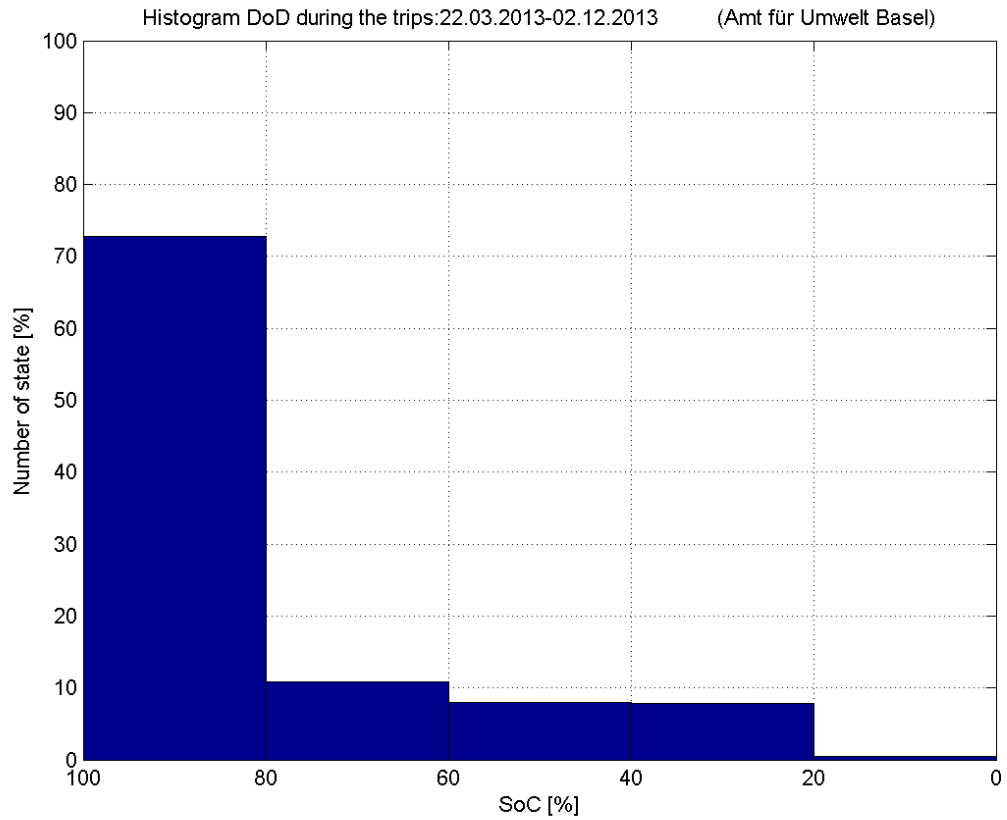


Abbildung 33 Histogramm DoD des Peugeot iOn. Es ist gut ersichtlich, dass der grösste Teil der Fahrten bei voller Batterie gemacht wurde.

8.3 Erklärung der Histogramme

8.3.1 Histogramm Status

Im Histogramm Status wird der ganze Tag in Viertelstunden-Abschnitte (900 Sekunden) aufgeteilt. Zu jeder Viertelstunde gehören ein blauer, ein roter und ein grüner Balken, wobei zu manchen Zeiten der rote Balken, der den Status Fahren darstellt, gleich Null ist. Die drei Balken, derselben Viertelstunde aufaddiert, müssen immer 100% ergeben.

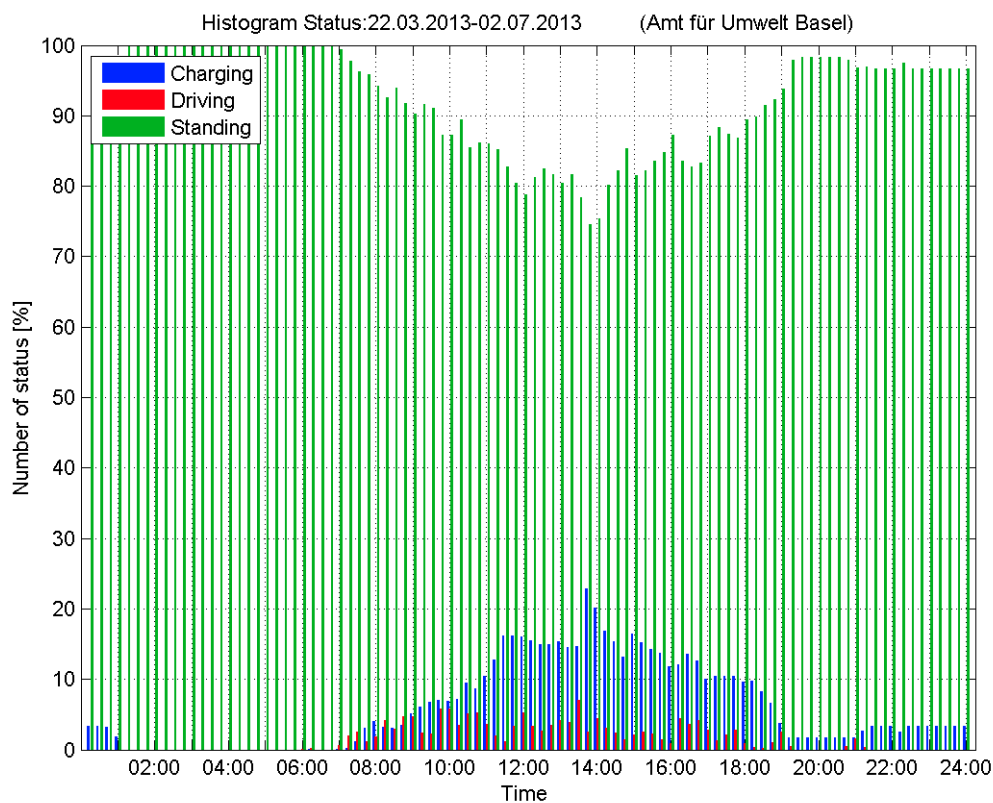


Abbildung 34 Histogramm Status

Mit dem Histogramm erhält man nun auf einen Blick eine Übersicht über die ganze Zeitperiode. D.h. jeder Status, das bedeutet jede Sekunde der Zeitperiode wurde einem Zustand eines Zeitschlitzes zugeteilt, aufaddiert und dargestellt in diesem Histogramm. Aus dem Histogramm dieses Fahrzeuges ist z.B. ersichtlich, dass dieses Fahrzeug am meisten Ladezustände über den Mittag verzeichnet.

8.3.2 Histogramm saisonaler Verbrauch

Das Histogramm saisonaler Verbrauch zeigt auf, wie viele elektrische Energie in Kilowattstunden ein anfahrzeug im jeweiligen Monat für 100km benötigt. Häufig können zwischen den Jahreszeiten grosse Unterschiede beobachtet werden. Die Unterschiede ergeben zum einen aus den temperaturabhängigen Wirkungsgraden und zum anderen durch die Nutzung von Nebenaggregaten, wie z.B. der Innenraumheizung.

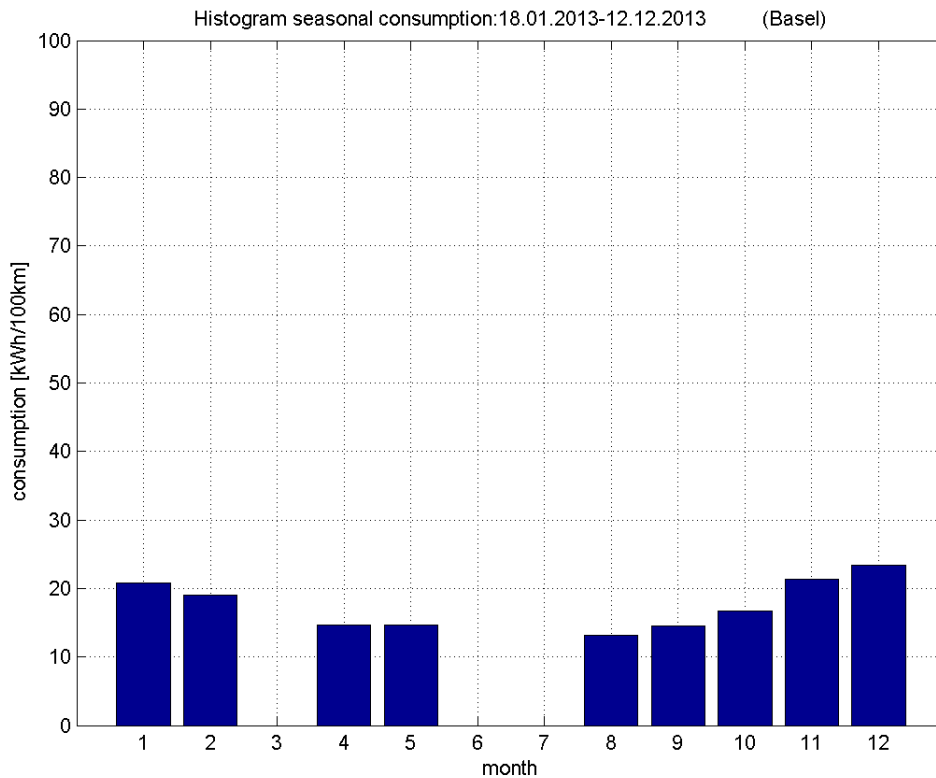


Abbildung 35 Histogramm saisonaler Verbrauch

8.3.3 Histogramm DoD

Um das Histogramm über die Entladetiefe erstellen zu können, werden die Werte der Entladetiefe während allen Fahrten einem 20% grossen Bereich zugeordnet und dargestellt. Die Höhe eines Balkens gibt also Auskunft über den prozentualen Anteil an der Gesamtzeit aller Fahrten bei der mit diesem SoC-Wert (State of Charge) gefahren wurde. Alle fünf Balken zusammen sollten demzufolge 100% ergeben.

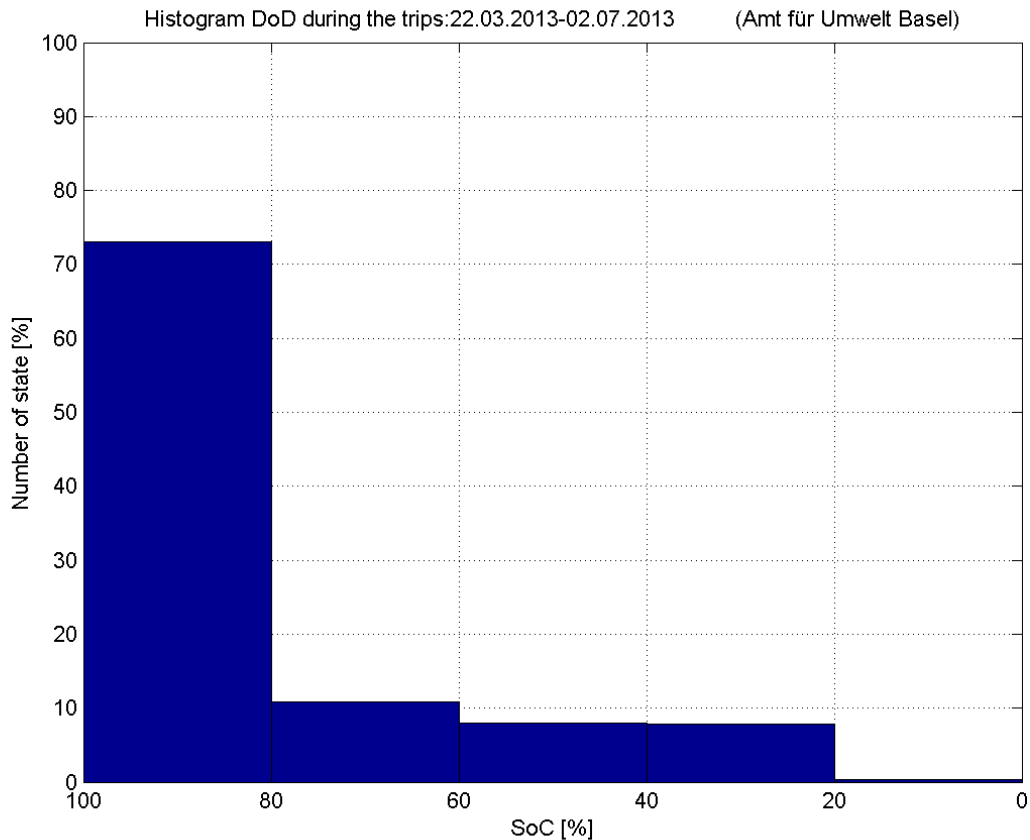


Abbildung 36 Histogramm DoD

Aus diesem Histogramm ist zum Beispiel ersichtlich, dass die Benutzer dieses Fahrzeuges die Batterie meistens in den ersten 20% SOC betrieben haben.

9 Verzeichnisse

9.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Der Verbrauch der Fahrzeuge nach NEFZ-Zyklus.....	ii
Tabelle 2 Wie viel elektrische Energie speichern die Traktionsbatterien wirklich?.....	ii
Tabelle 3 Der Wirkungsgrad des Antriebstranges bei 25°C und verschiedenen Geschwindigkeiten	iii
Tabelle 4 Die Reichweite der E-Fahrzeuge ist Temperaturabhängig.	iii
Tabelle 23 Übersicht des Feldtests mit den wichtigsten Kennzahlen	iii
Tabelle 6 Ergebnisse der Ausrollversuche, Werte des Peugeot iOn stammen von der EMPA	8
Tabelle 7 Micro-Vett E-Fiorino Einstellungen 1- Achsen Rollenprüfstand	10
Tabelle 8 Kamoo E-Fiorino Einstellungen 1- Achsen Rollenprüfstand	10
Tabelle 9 Renault Kangoo Einstellungen 1- Achsen Rollenprüfstand	10
Tabelle 10 Micro-Vett E-Fiorino Einstellungen 2- Achsen Rollenprüfstand	10
Tabelle 11 Peugeot iOn Einstellungen 2- Achsen Rollenprüfstand	10
Tabelle 12 Renault Kangoo Einstellungen 2- Achsen Rollenprüfstand	10
Tabelle 13 Micro-Vett Fiorino Einstellungen 1- Achsen Rollenprüfstand	11
Tabelle 14 Peugeot iOn Einstellungen 1- Achsen Rollenprüfstand	11
Tabelle 15 Renault Kangoo Z.E. Einstellungen 1- Achsen Rollenprüfstand.....	11
Tabelle 16 Resultate der NEFZ-Zyklus Messungen auf dem Rollenprüfstand (1. Messung).....	12
Tabelle 17 Resultate der NEFZ-Zyklus Messungen auf dem Rollenprüfstand (2. Messung).....	13
Tabelle 18 Was benötigt welche Leistung?	15
Tabelle 19 Die benötigte elektrische und mechanische Leistung um eine konstante Geschwindigkeit zu halten.....	17
Tabelle 20 Übersicht der Batteriekapazitätsmessungen bei konstanter Geschwindigkeit der drei Fahrzeuge. Bei der Messung im Dezember 2013 ist ein Fehler bei den Einstellung des Rollenprüfstands passiert, deshalb sind bei diesen Messungen Reichweite und Verbrauch auf 100 Kilometer nicht angegeben.	21
Tabelle 21 Messdaten zum Fiat Fiorino Kamoo bei der ersten Messung im August 2012	22
Tabelle 22 Zusammenfassung der Torkelmessungen	24
Tabelle 23 Übersicht des Feldtests mit den wichtigsten Kennzahlen	25
Tabelle 24 Allgemeine Kennzahlen des Peugeot iOn ermittelt durch einen mehrmonatigen Feldtest.	26
Tabelle 25 Allgemeine Kennzahlen des Peugeot iOn ermittelt durch einen mehrmonatigen Feldtest.	32

9.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Renault Kangoo, Fiat Fiorino MicroVett und Fiat Fiorino Kamoo (v.l.n.r.), Peugeot iOn (oben)	i
Abbildung 2 Fiat Der Prototyp Fiat E-Fiorino umgebaut von MicroVett.....	2
Abbildung 3 Der Prototyp Fiat E-Fiorino umgebaut von Kamoo.....	2
Abbildung 4 Bereits ein Serienfahrzeug, der Renault Kangoo Z.E.....	2
Abbildung 5 Das Elektro-Serienfahrzeug Peugeot iOn.....	3
Abbildung 6 Allgemeines Blockschaltbild E-Fahrzeug.....	7
Abbildung 7 Leistung, die ein Fahrzeug abgeben muss, um eine bestimmte Geschwindigkeit halten zu können.....	9

Abbildung 8 Messen des NEFZ-Zyklus beim E-Fiorino von MicroVett auf dem 1-Achsenrollenprüfstand der BFH	14
Abbildung 9 Messen des NEFZ-Zyklus beim Renault Kangoo Z.E. auf dem 2-Achsenrollenprüfstand der BFH	14
Abbildung 10 Die Grafik visualisiert die gewonnen elektrischen und mechanischen Messwerte	17
Abbildung 11 Der Wirkungsgrad steigt mit höheren Geschwindigkeiten.....	18
Abbildung 12 Die Verluste im Antriebsstrang verlaufen annähernd linear während die Leistung, die ein Fahrzeug aufbringen muss um schneller zu fahren quadratisch mit dem Luftwiderstand ansteigt	18
Abbildung 13 Die Verlustleistung in der Batterie steigt quadratisch mit der Stromstärke an.....	19
Abbildung 14 Tank-to-Wheel - Der Verbrauch von der Steckdose auf die Strasse.....	20
Abbildung 15 Torkeln des Renault Kangoo Z.E.....	24
Abbildung 16 Histogramm Status.....	27
Abbildung 17 Histogramm saisonaler Verbrauch.....	27
Abbildung 18 Histogramm DoD des Peugeot iOn. Es ist gut ersichtlich, dass der grösste Teil der Fahrten bei voller Batterie gemacht wurde.	28
Abbildung 19 Allgemeine Kennzahlen des Peugeot iOn ermittelt durch einen mehrmonatigen Feldtest.....	29
Abbildung 20 Histogramm Status.....	30
Abbildung 21 Histogramm saisonaler Verbrauch.....	30
Abbildung 22 Histogramm DoD des Peugeot iOn. Es ist gut ersichtlich, dass der grösste Teil der Fahrten bei voller Batterie gemacht wurde.	31
Abbildung 23 Histogramm Status.....	33
Abbildung 24 Histogramm saisonaler Verbrauch.....	33
Abbildung 25 Histogramm DoD des Peugeot iOn.	34
Abbildung 26 Allgemeine Kennzahlen des Peugeot iOn ermittelt durch einen mehrmonatigen Feldtest.....	35
Abbildung 27 Histogramm Status.....	36
Abbildung 28 Histogramm saisonaler Verbrauch.....	36
Abbildung 29 Histogramm DoD des Peugeot iOn. Es ist gut ersichtlich, dass der grösste Teil der Fahrten bei voller Batterie gemacht wurde.	37
Abbildung 30 Allgemeine Kennzahlen des Peugeot iOn ermittelt durch einen mehrmonatigen Feldtest.....	38
Abbildung 31 Histogramm Status.....	39
Abbildung 32 Histogramm saisonaler Verbrauch.....	39
Abbildung 33 Histogramm DoD des Peugeot iOn. Es ist gut ersichtlich, dass der grösste Teil der Fahrten bei voller Batterie gemacht wurde.	40
Abbildung 34 Histogramm Status.....	41
Abbildung 35 Histogramm saisonaler Verbrauch.....	42
Abbildung 36 Histogramm DoD.....	43

9.3 Literaturverzeichnis

[1] *Treibhausgas-Emissionen der Schweizer Strommixe, v1.4 (06/2012).*

[2] *Grundlagen für die Berechnung der Benzinäquivalente und Primärenergie-Benzinäquivalente im Rahmen der revidierten Energieetikette, (05/2011).*

Anhang

Anhang A: Messungen vom August 2012 auf dem Rollenprüfstand in Nidau.

Anhang B: -

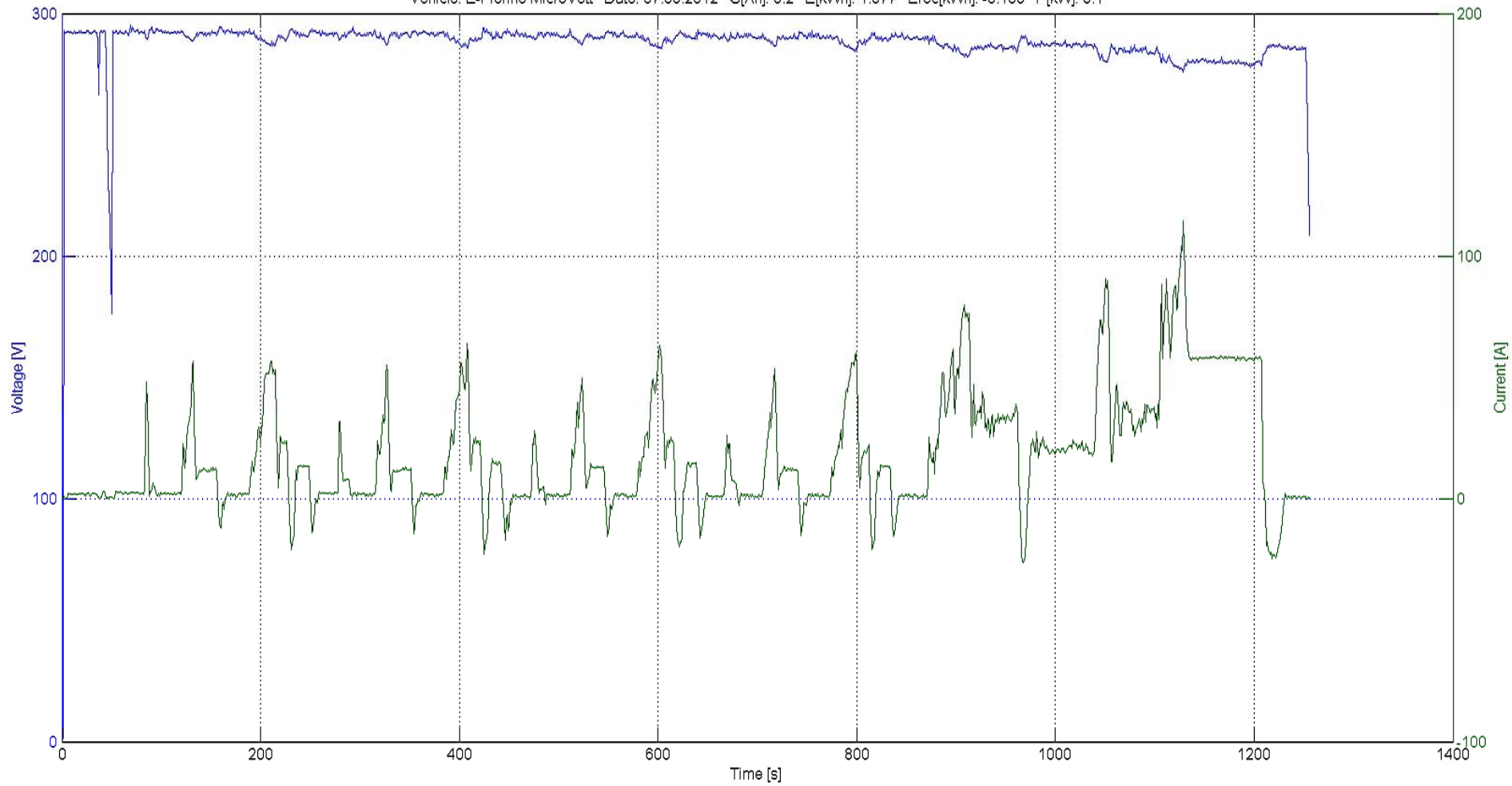
Anhang C: Messungen vom Februar 2013 auf dem Klimarollenprüfstand bei der EMPA in Dübendorf.

Anhang D: Messung vom Juli 2013 auf dem 2-Achsenrollenprüfstand in Nidau

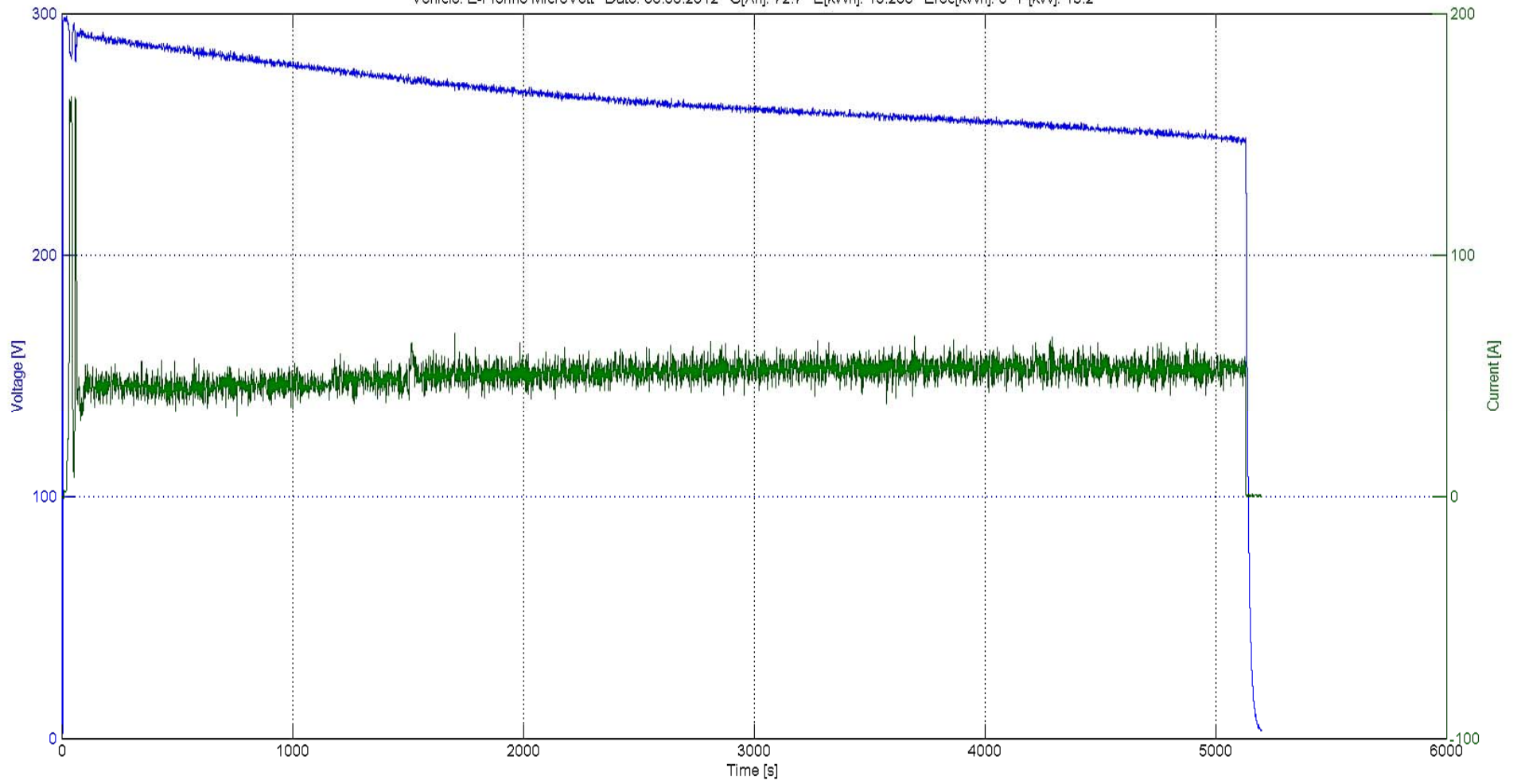
Anhang E: Messung vom Dezember 2013 auf dem Rollenprüfstand in Nidau

Anhang A

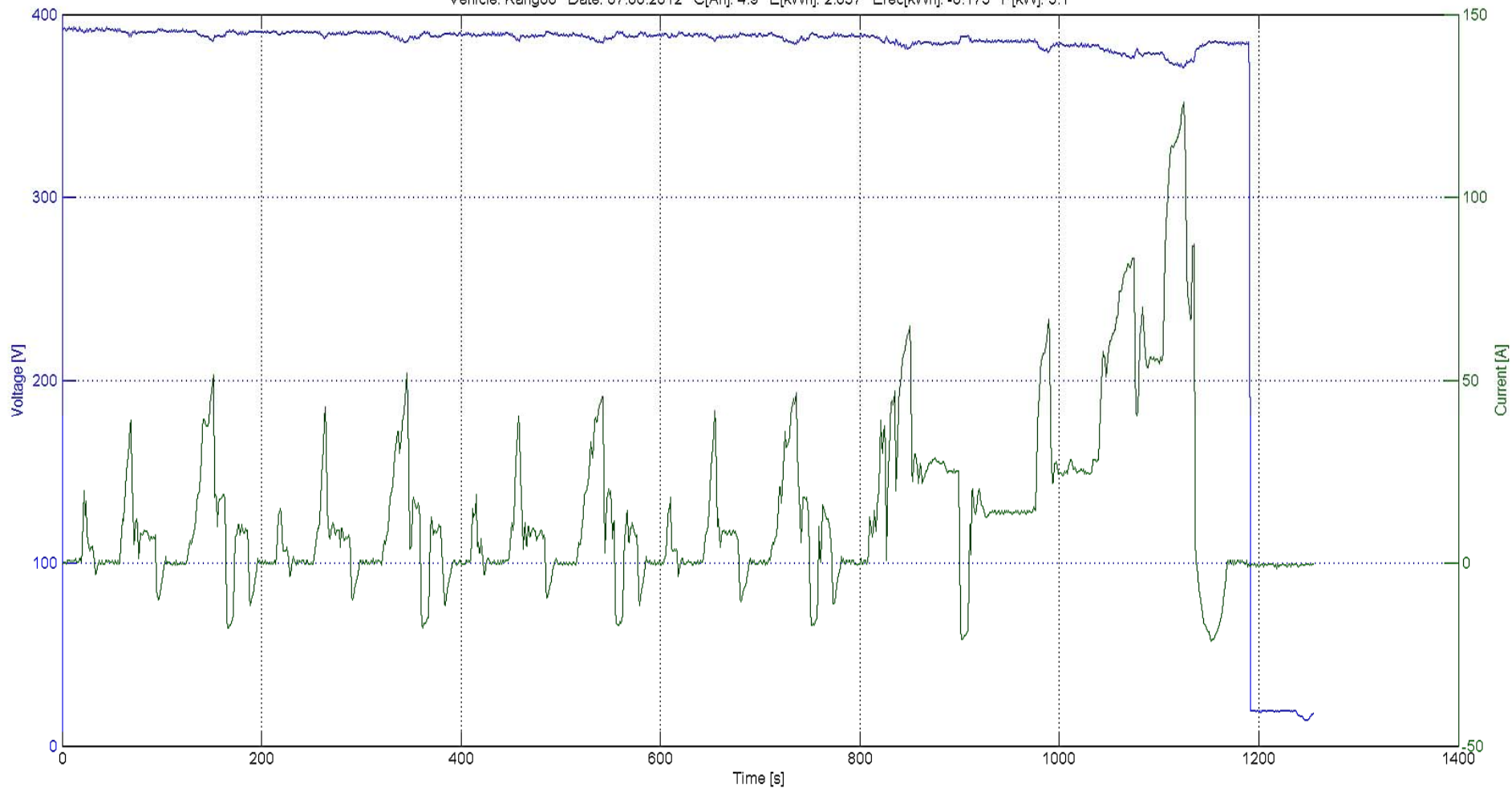
Vehicle: E-Fiorino MicroVett Date: 07.08.2012 C[Ah]: 6.2 E[kWh]: 1.877 Erec[kWh]: -0.105 P[kW]: 5.1



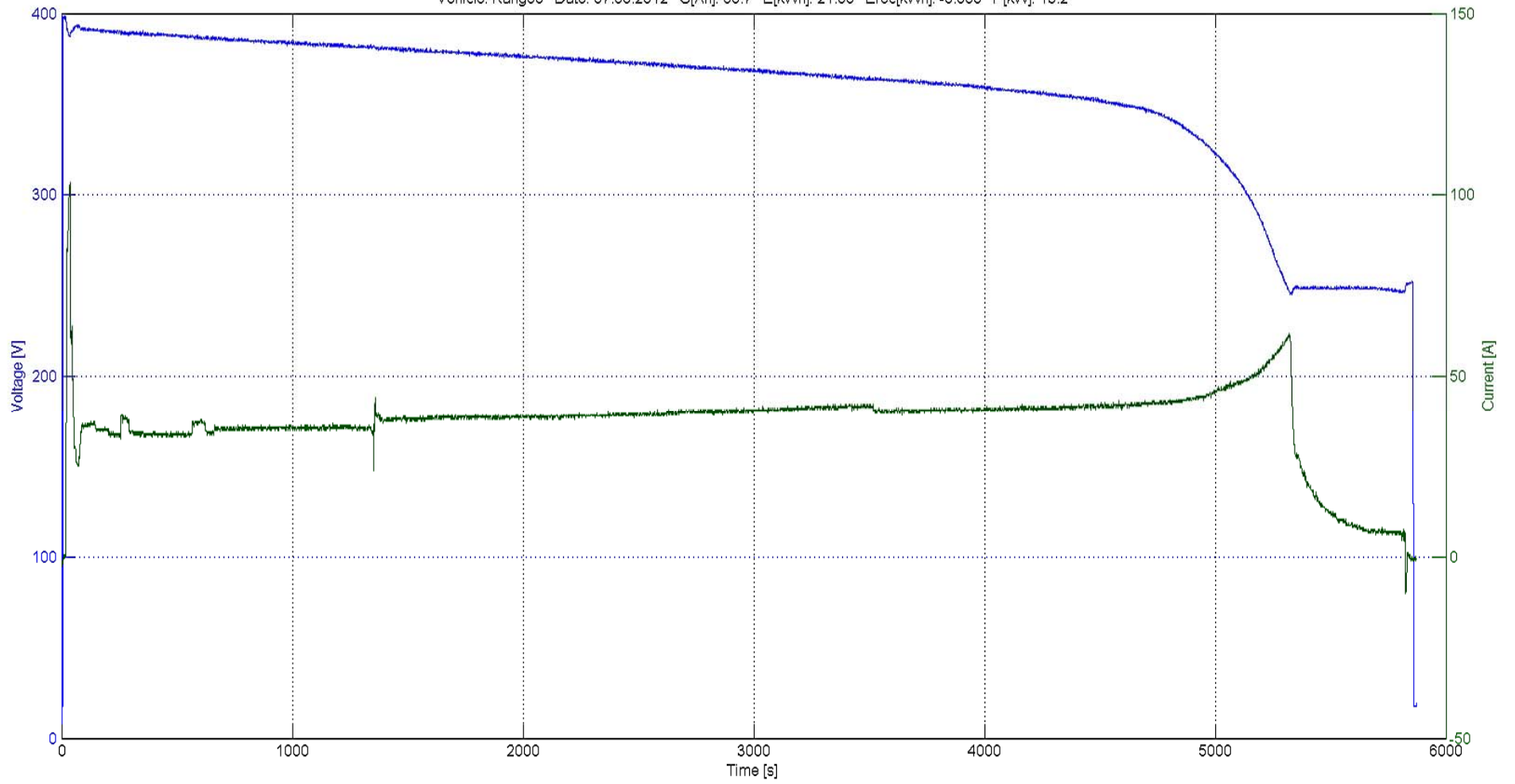
Vehicle: E-Fiorino MicroVett Date: 08.08.2012 C[Ah]: 72.7 E[kWh]: 19.268 Erec[kWh]: 0 P[kW]: 13.2



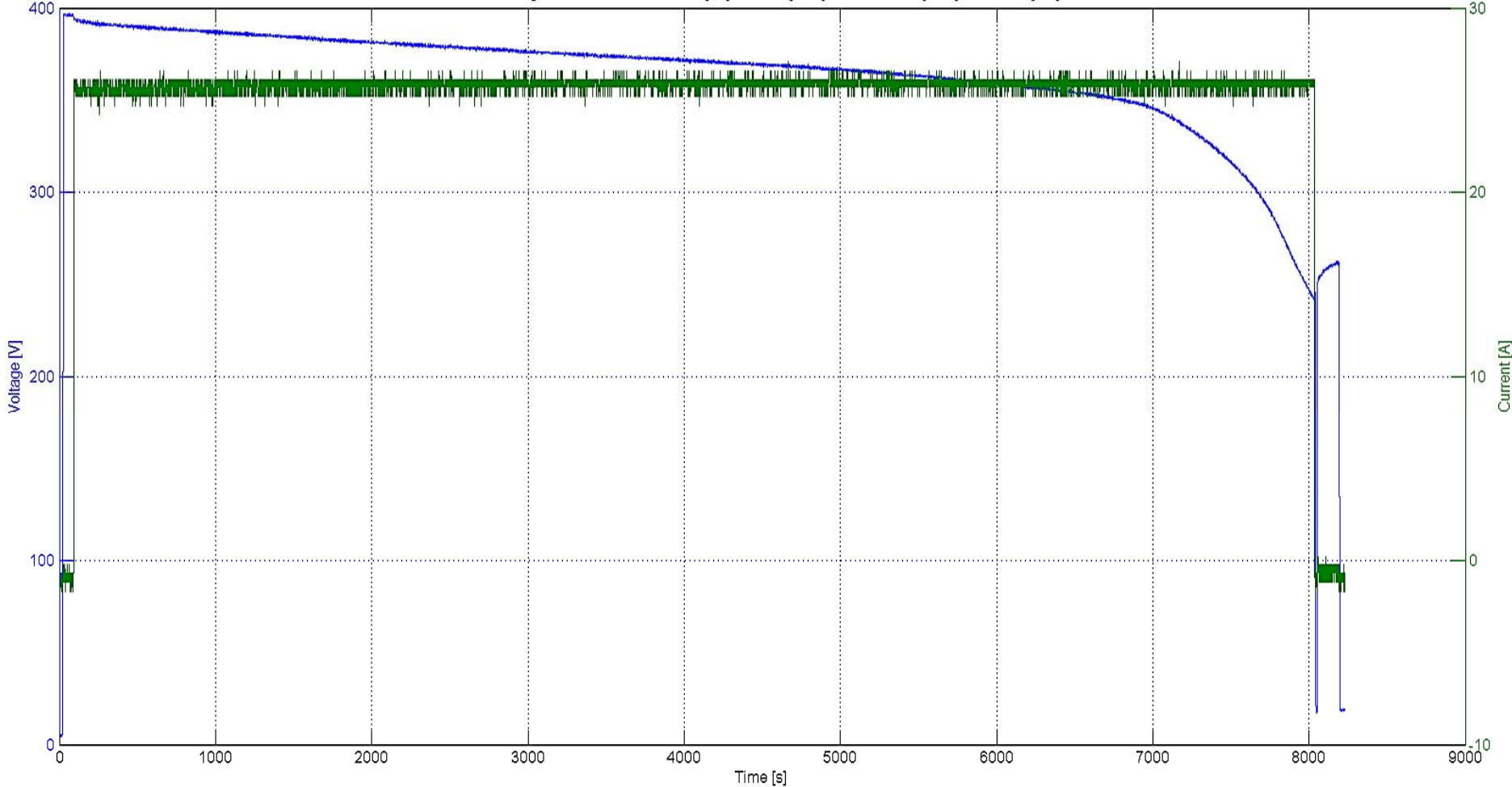
Vehicle: Kangoo Date: 07.08.2012 C[Ah]: 4.9 E[kWh]: 2.037 Erec[kWh]: -0.175 P[kW]: 5.1



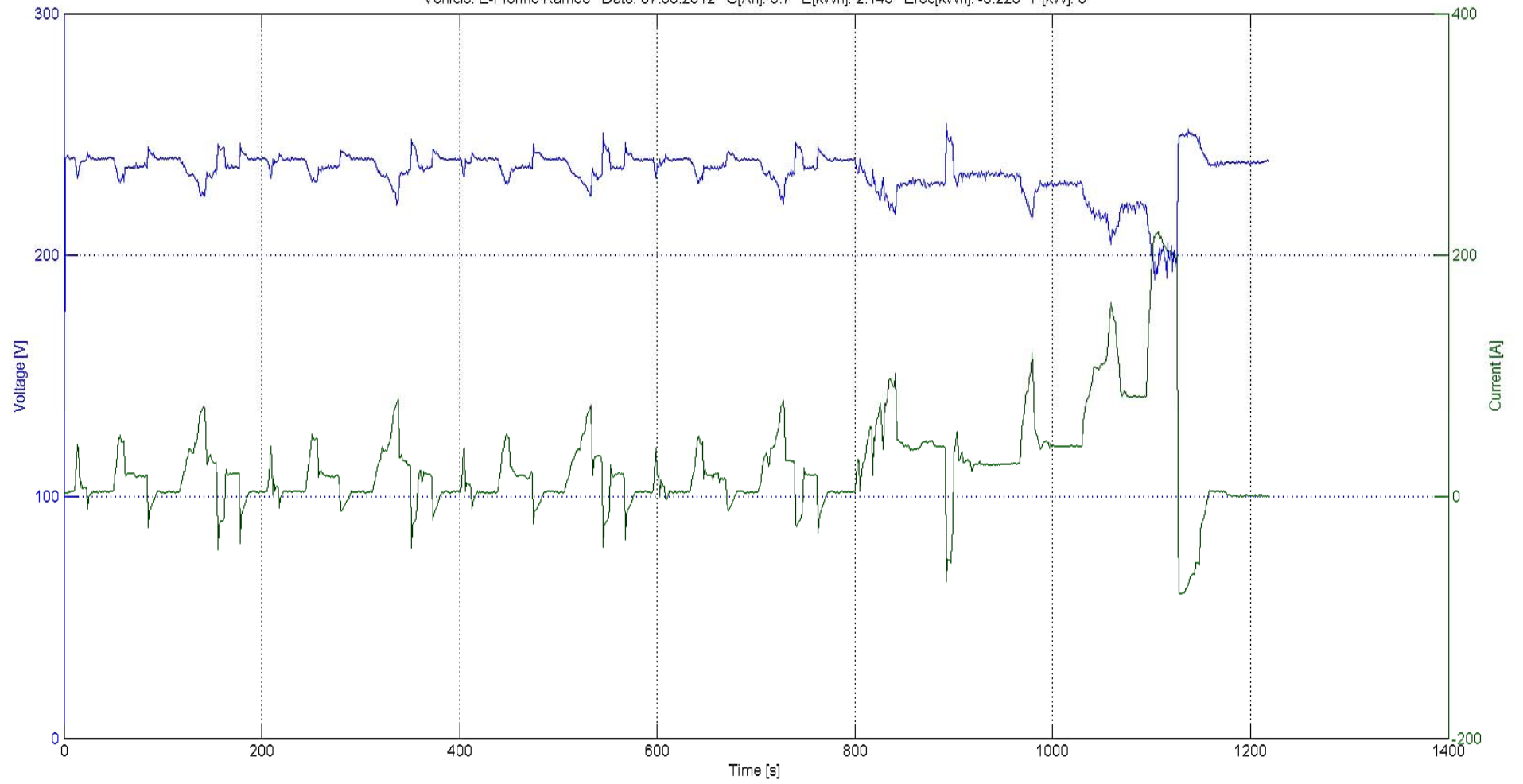
Vehicle: Kangoo Date: 07.08.2012 C[Ah]: 60.7 E[kWh]: 21.86 Erec[kWh]: -0.005 P[kW]: 13.2



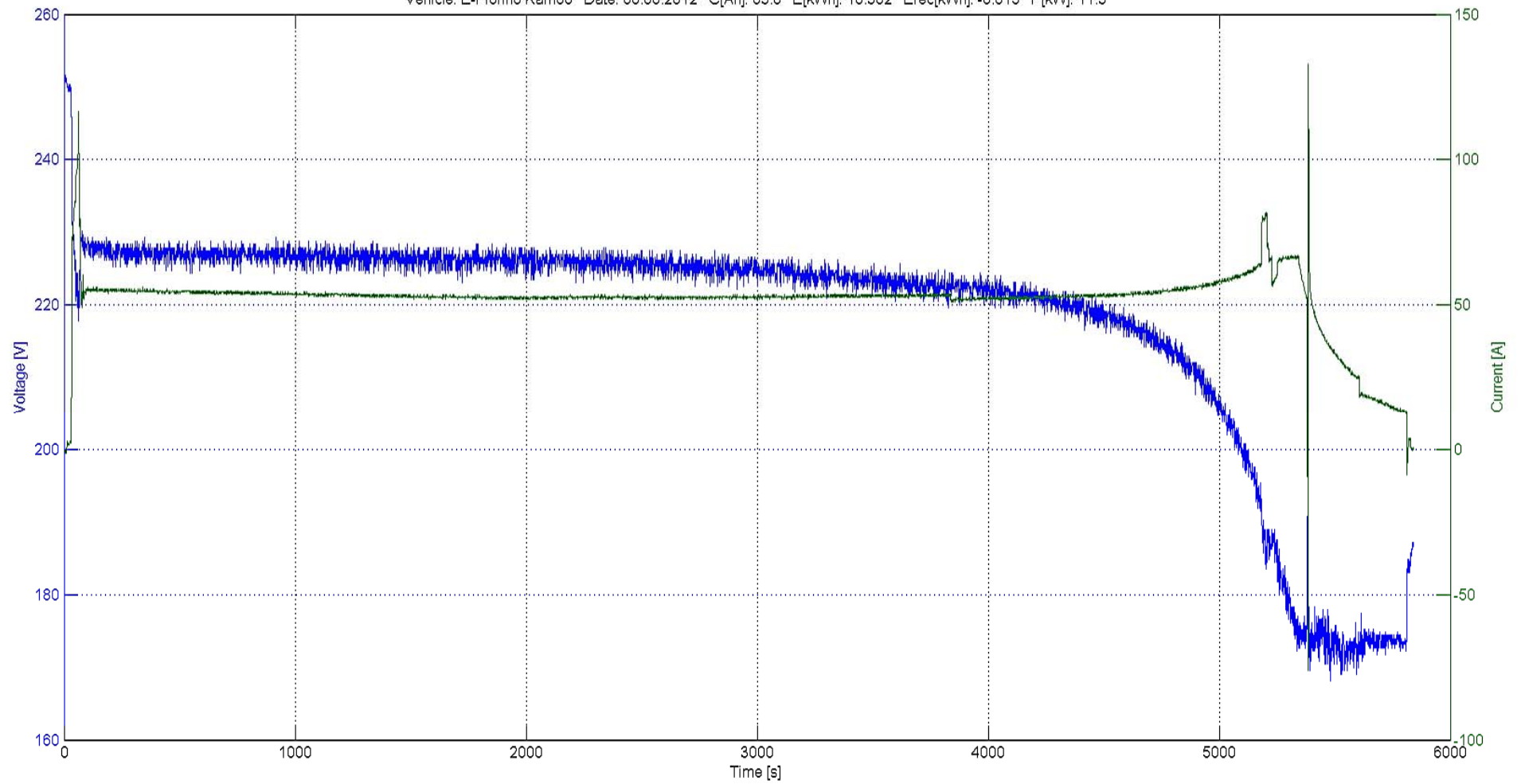
Vehicle: Kangoo Date: 08.08.2012 C[Ah]: 56.9 E[kWh]: 20.771 Erec[kWh]: -0.014 P[kW]: 9



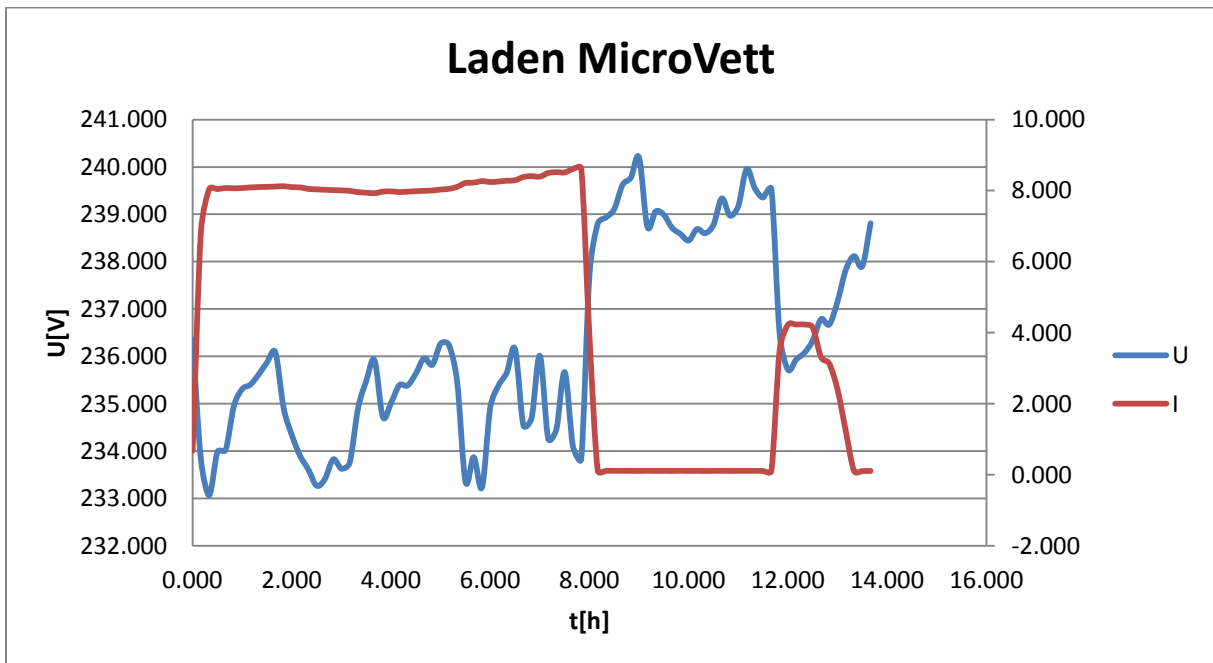
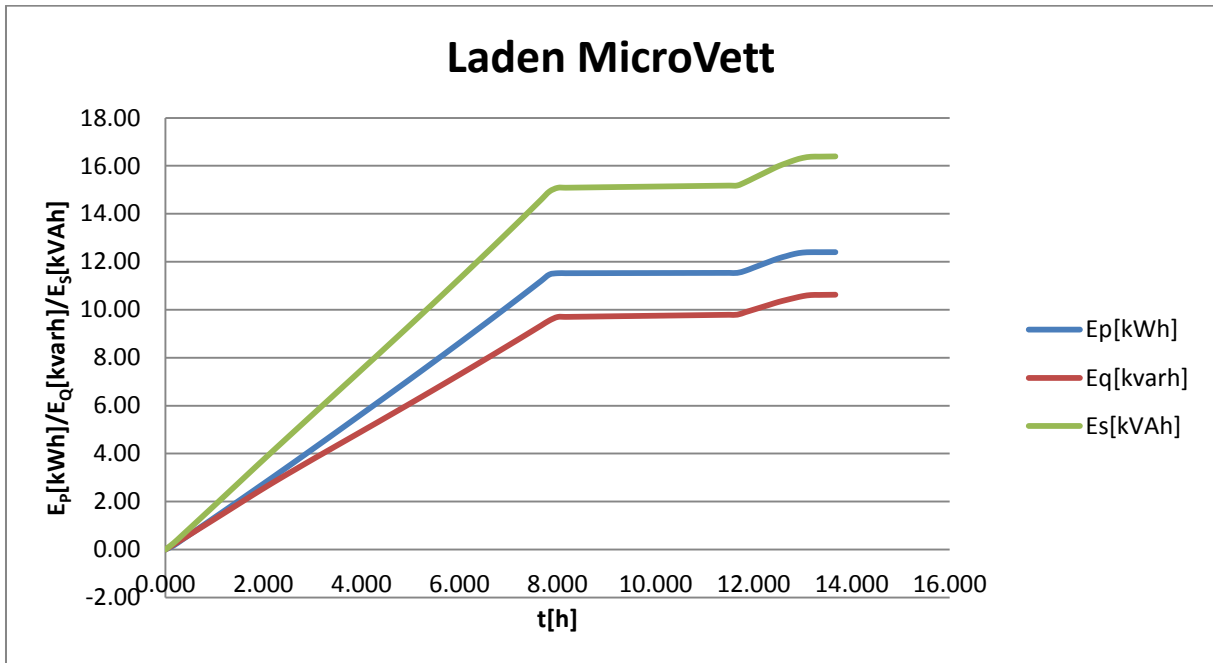
Vehicle: E-Fiorino Kamoo Date: 07.08.2012 C[Ah]: 8.7 E[kWh]: 2.145 Erec[kWh]: -0.228 P[kW]: 6

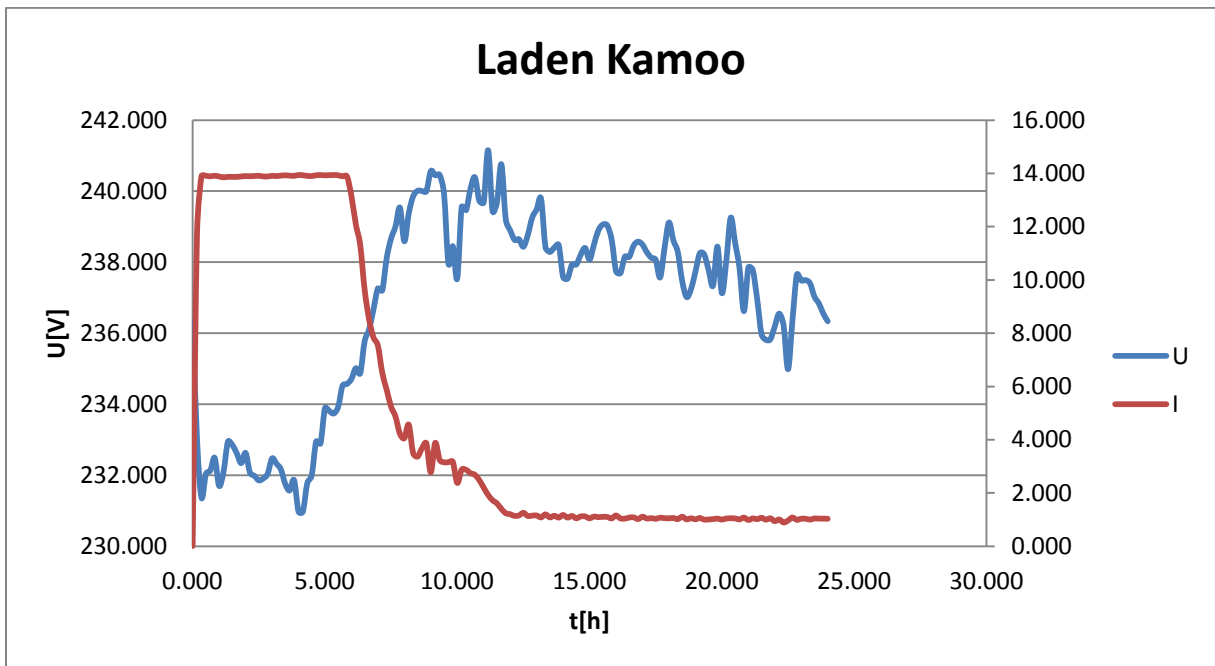
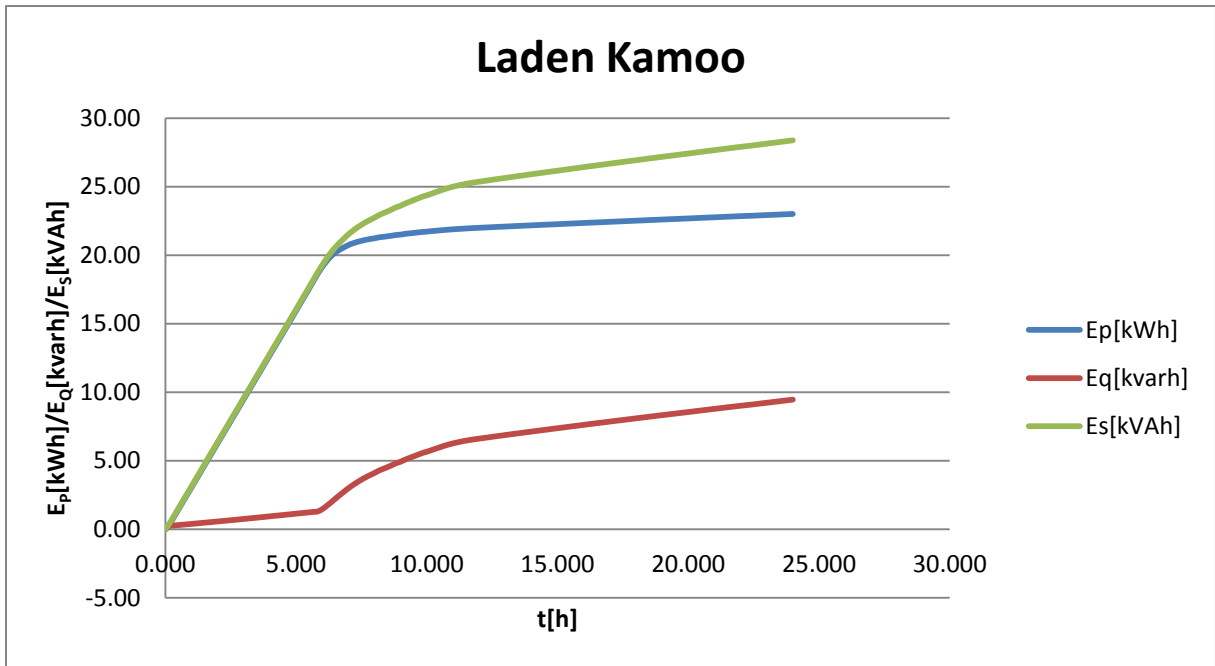


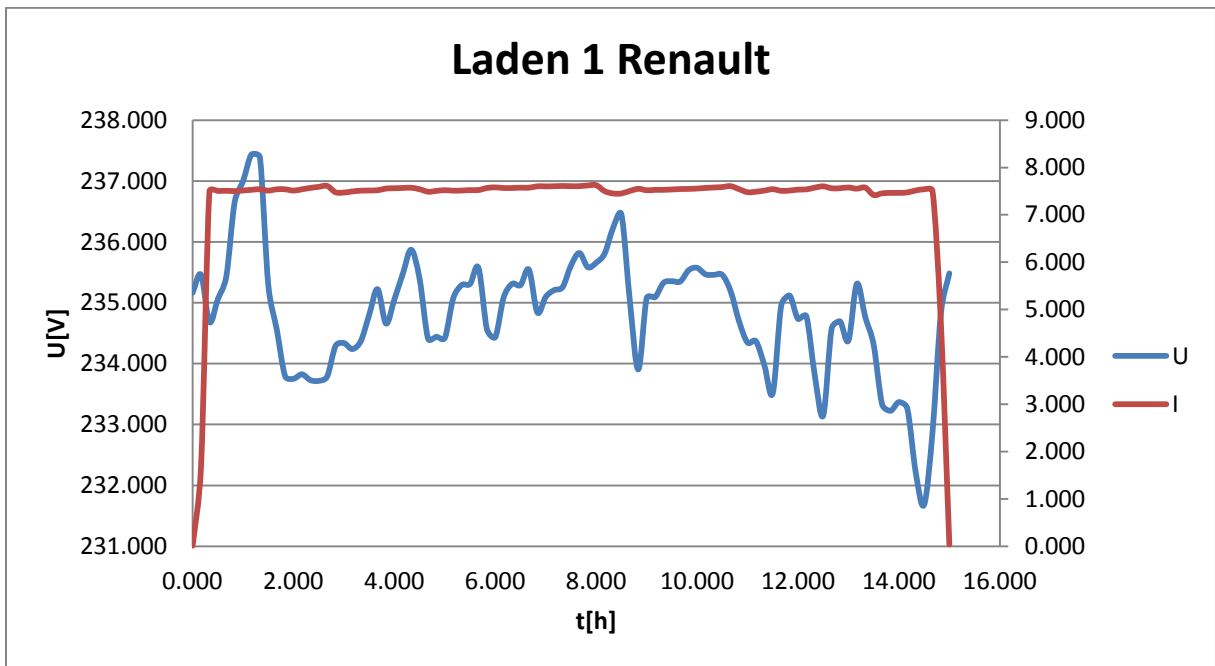
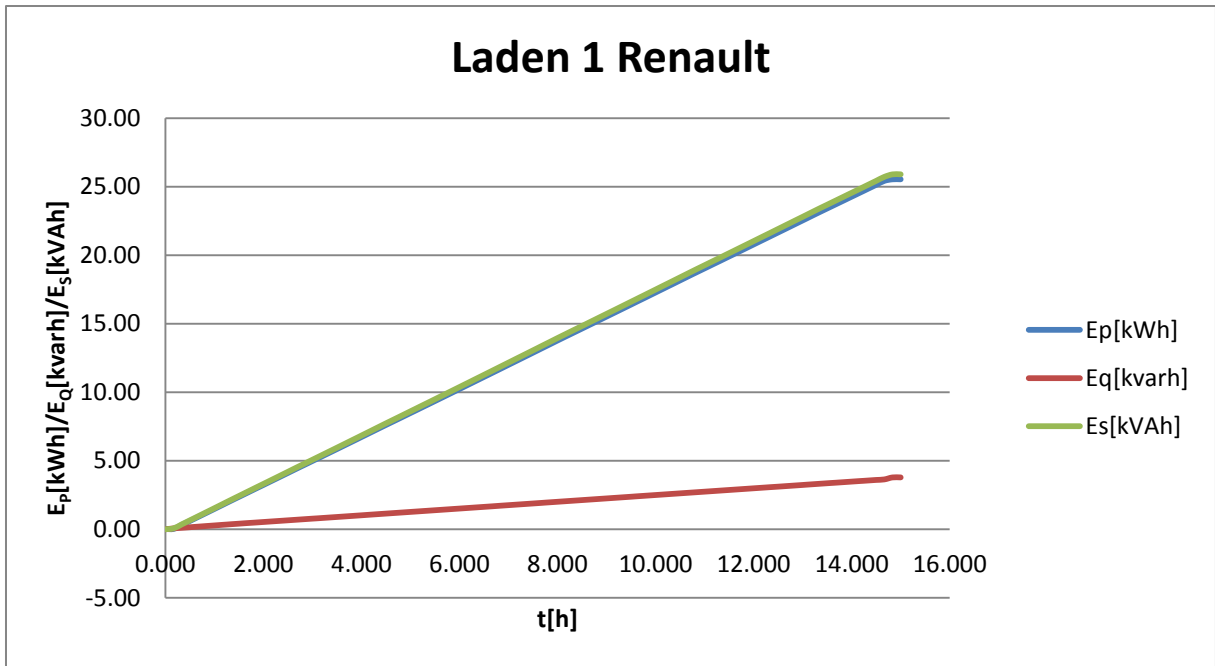
Vehicle: E-Fiorino Kamoo Date: 08.08.2012 C[Ah]: 83.8 E[kWh]: 18.382 Erec[kWh]: -0.015 P[kW]: 11.3

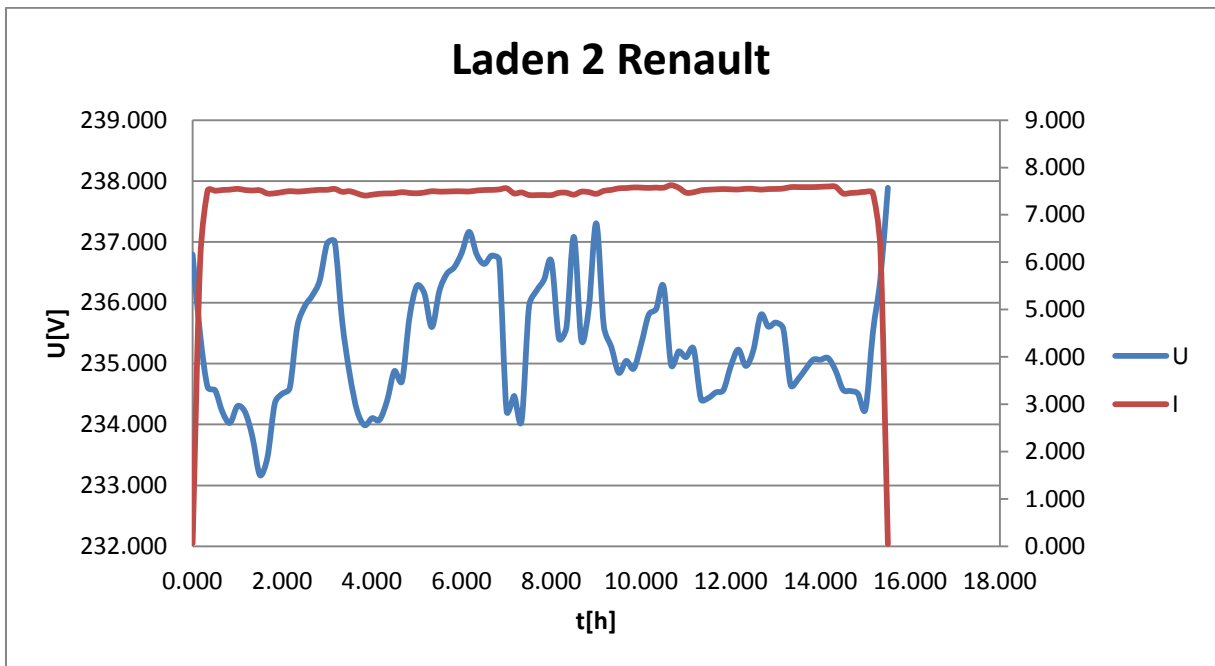
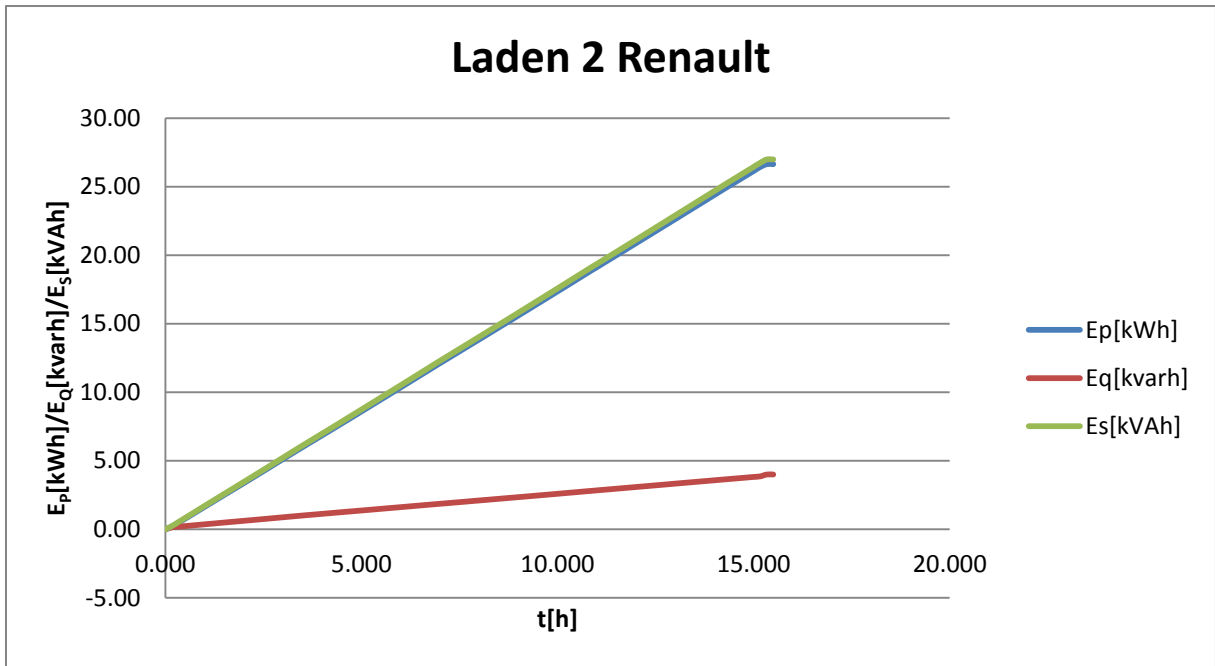


August 2012: Laden AC-seitig









Anhang C

Messprogramm Klimakammer EMPA

Konditionierung, Entladung (bei $V=80$ km/h) und Ladung (Kapazitätsbestimmung Batterie) bei $-7^{\circ}\text{C}/0\%rF$ und $35^{\circ}\text{C}/50\% rF$ (je 1 Messung pro Fz)

- Fr: - Fz-Anlieferung (SoC <50%)
- Mo: - Fz- Aufbau, Prüfstandseinstellung, Konditionierung (alles bei $-7^{\circ}\text{C}/0\%rF$)
- Restladung auf 100% SoC nach mind. 1 h Fz-Konditionierung bei $-7^{\circ}\text{C}/0\%rF$
- Mo/Di: - Fz-Konditionierung @ $-7^{\circ}\text{C}/0\%rF$ während mind. 12 h
- Di: - Batterie-Entladung @ $-7^{\circ}\text{C}/50\%rF$ mit 80 km/h (ca. 1 – 1.5 h)
- mind. 1h warten
- Batterieladung ab 230 V-Steckdose (ca. 12 – 14 h)
- Di/Mi: - Auftauen, Batterie-Entladung auf <50% SoC, Fz-Konditionierung (alles bei $35^{\circ}\text{C}/50\%rF$)
- Restladung auf 100% SoC nach mind 1 h. Fz-Konditionierung bei $35^{\circ}\text{C}/50\%rF$
- Fz-Konditionierung @ $35^{\circ}\text{C}/50\%rF$ während mind. 12 h
- Do: - Batterie-Entladung @ $35^{\circ}\text{C}/50\%rF$ mit 80 km/h (ca. 1 – 1.5 h)
- Batterieladung ab 230 V-Steckdose (ca. 12 – 14 h)
- Fr: - Fz- Abbau, Rücktransport

Messgrößen

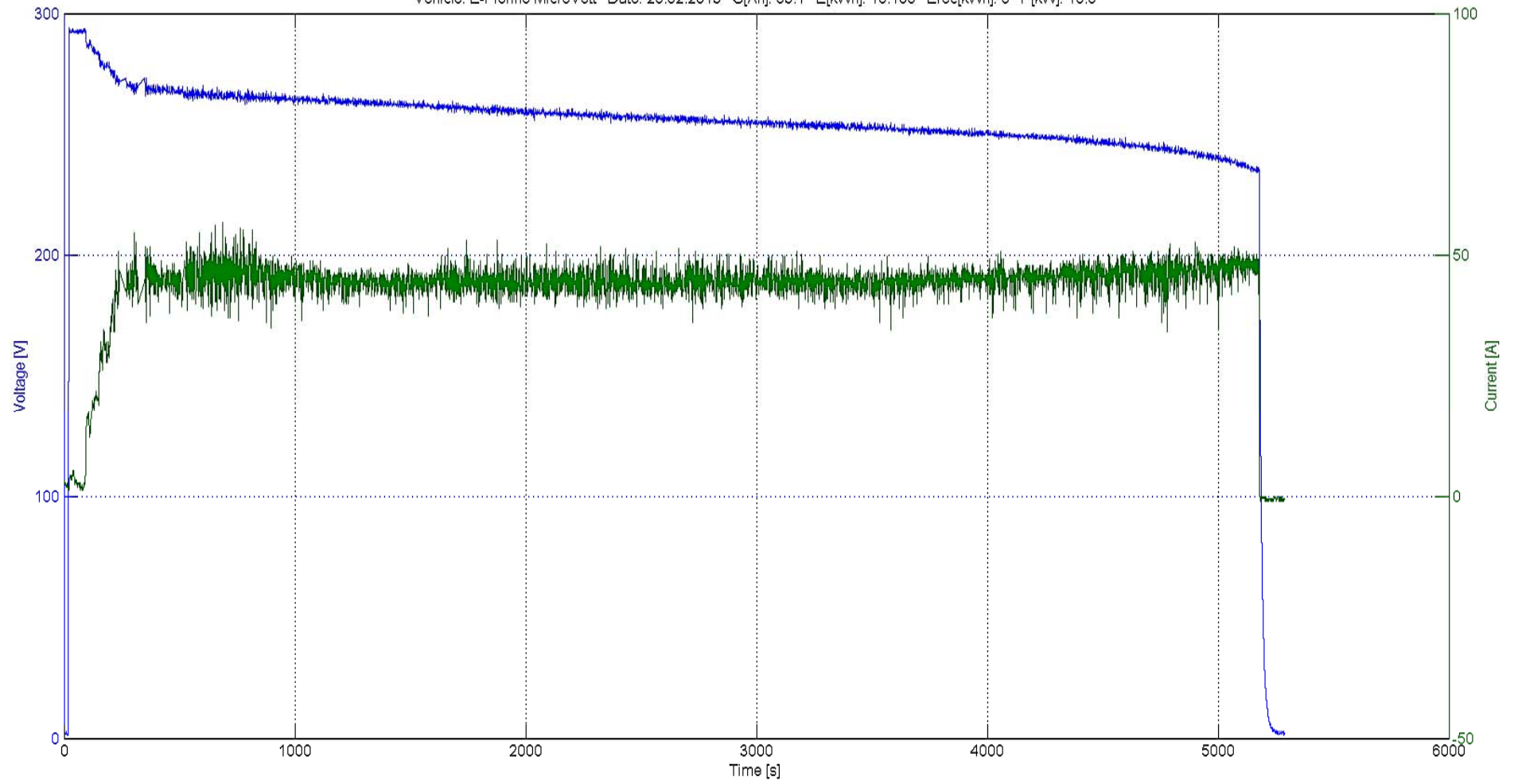
BFH: Alle Verbrauchs- und Batteriedaten (U_{Bat} , I_{Bat} , T & AC-Werte)

Empa: Weg, Geschwindigkeit, Radkraft, Raum-Temperatur, Raum-Feuchte

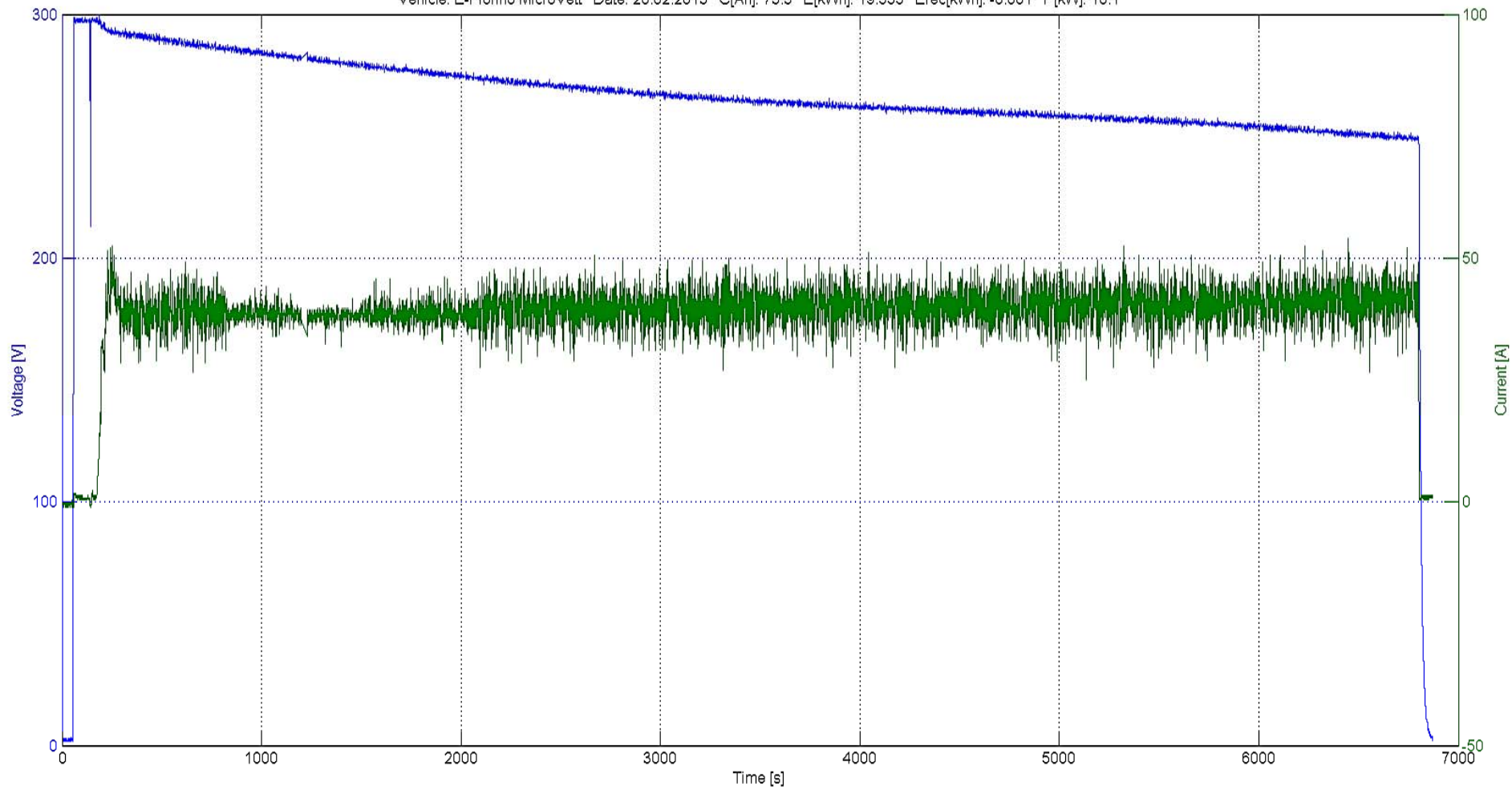
Messtermine

- Fz 1: - Anlieferung am Fr. 15.02.2013
- Rücknahme am Fr. 22.02.2013
- Fz 2: - Anlieferung am Fr. 22.02.2013
- Rücknahme am Fr. 01.03.2013
- Fz 3: - Anlieferung am Fr. 15.03.2013
- Rücknahme am Fr. 22.03.2013

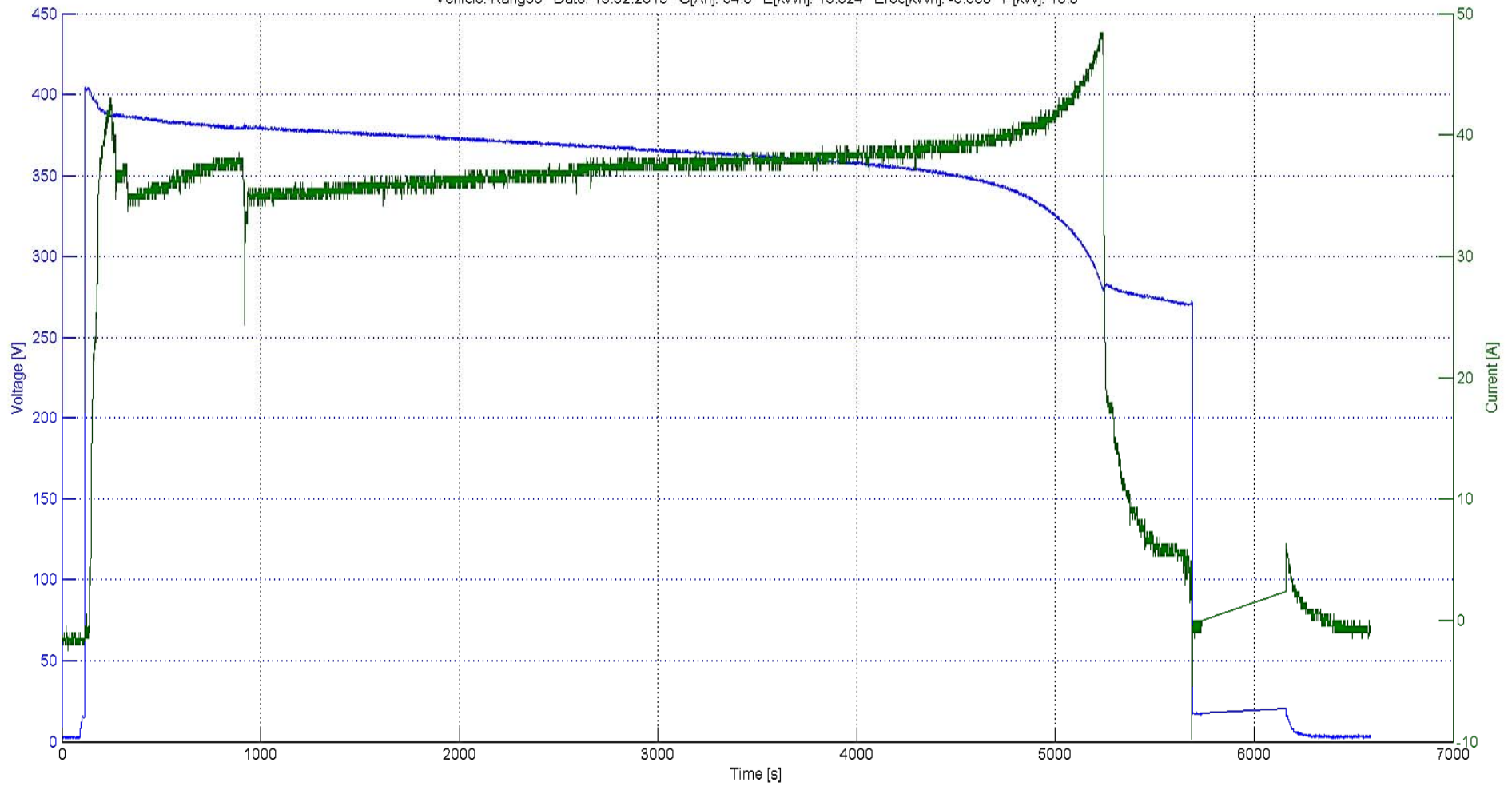
Vehicle: E-Fiorino MicroVett Date: 26.02.2013 C[Ah]: 63.1 E[kWh]: 16.169 Erec[kWh]: 0 P[kW]: 10.8



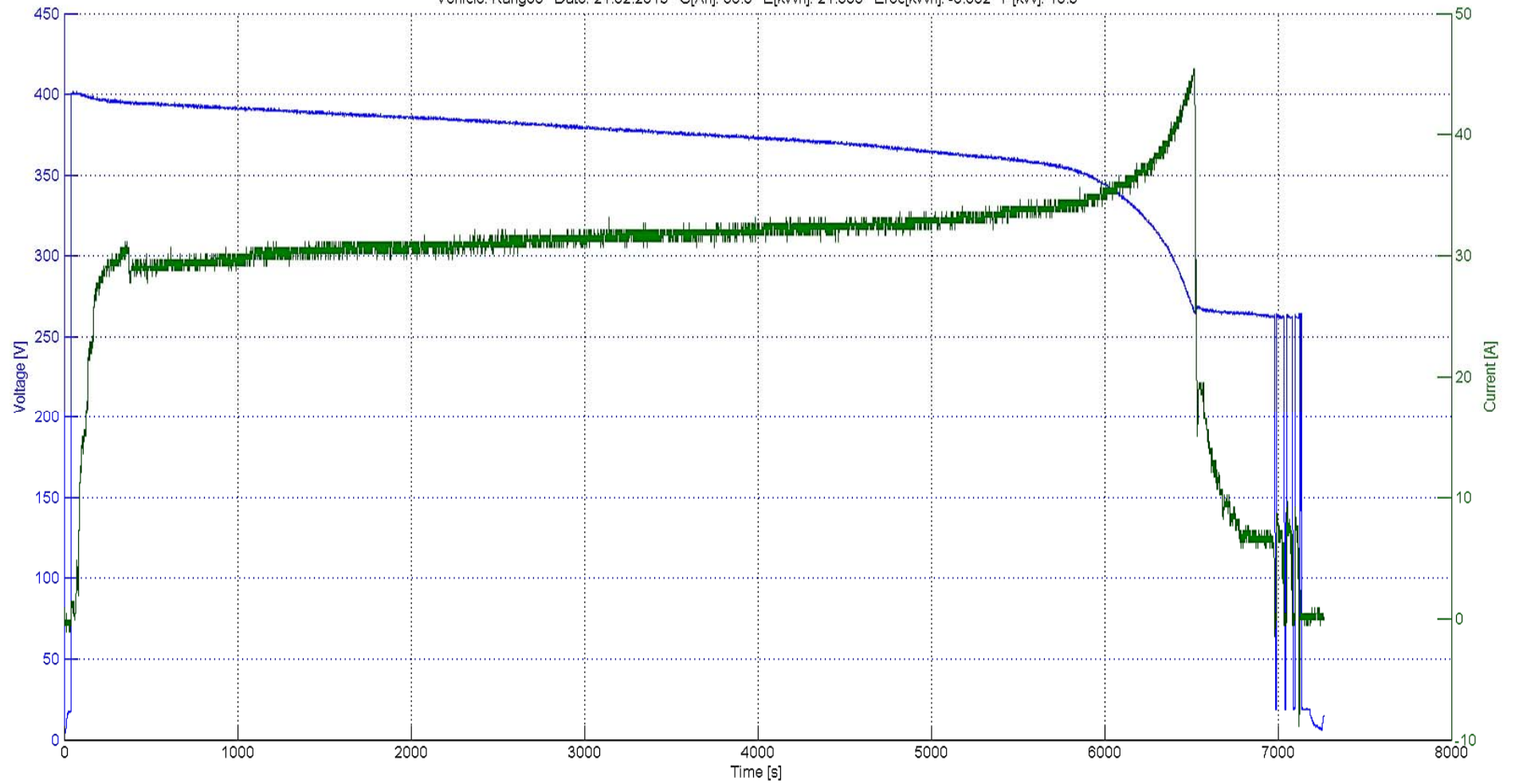
Vehicle: E-Florino MicroVett Date: 28.02.2013 C[Ah]: 73.3 E[kWh]: 19.555 Erec[kWh]: -0.001 P[kW]: 10.1



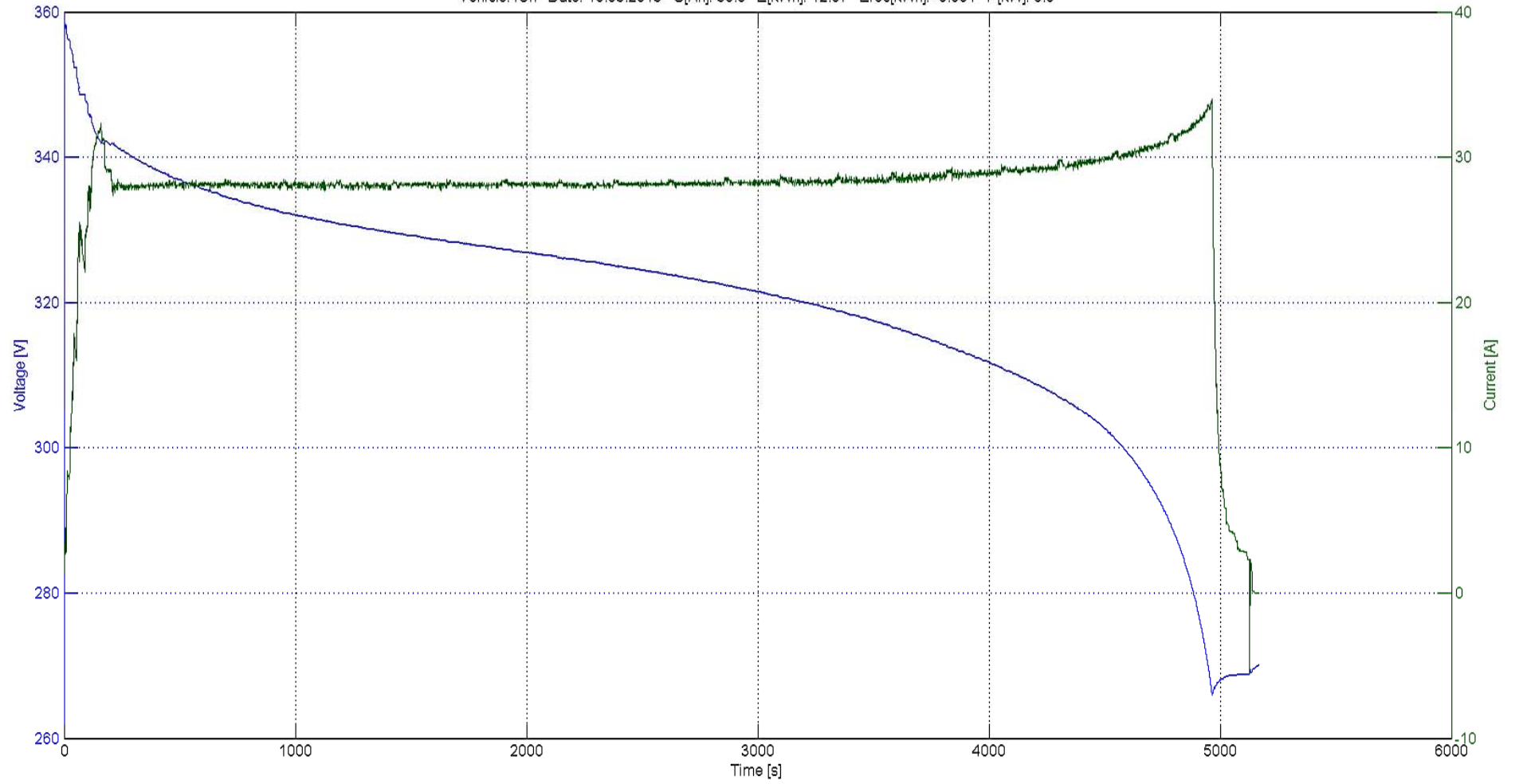
Vehicle: Kangoo Date: 19.02.2013 C[Ah]: 54.5 E[kWh]: 19.624 Erec[kWh]: -0.005 P[kW]: 10.3



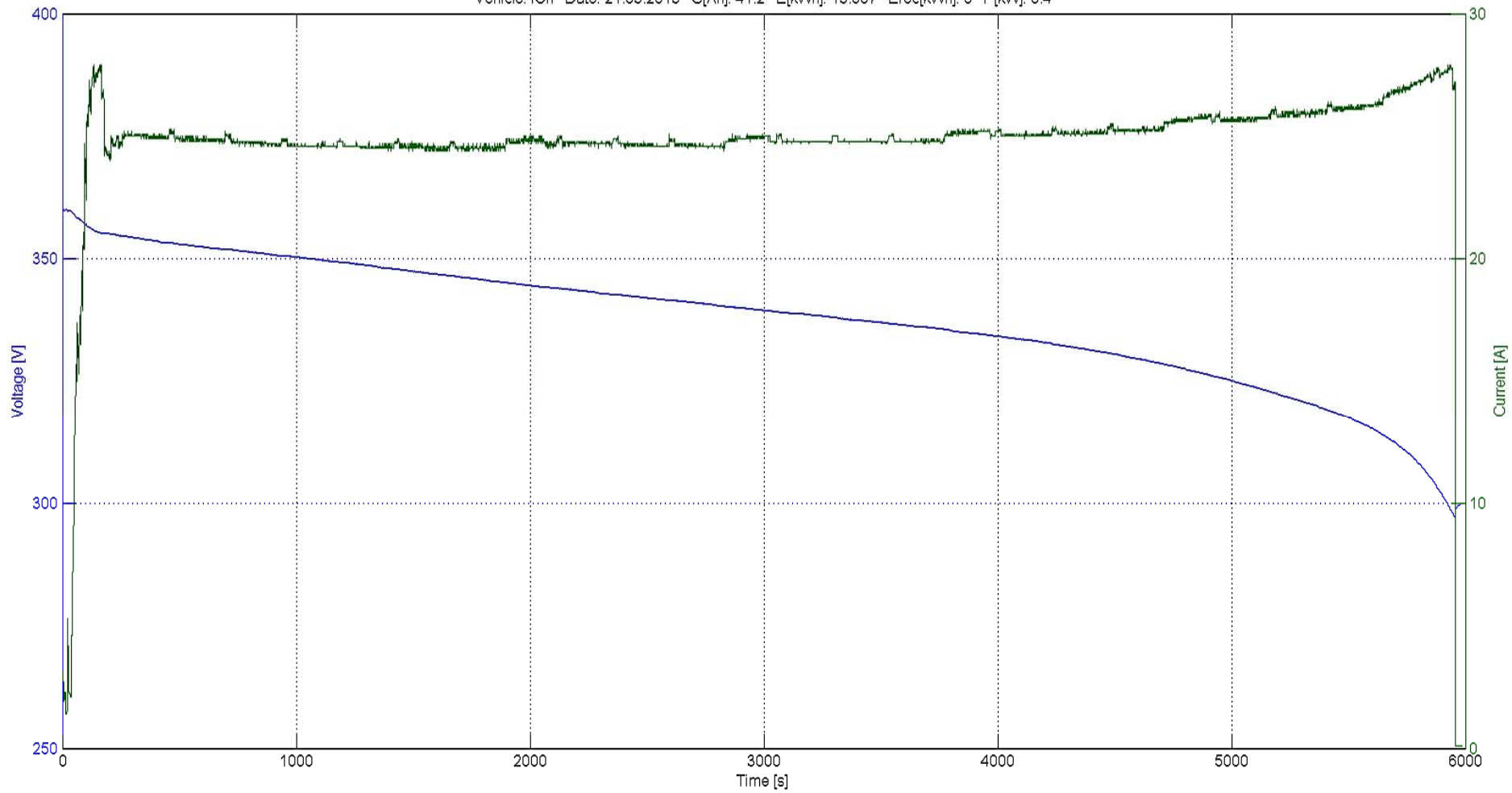
Vehicle: Kangoo Date: 21.02.2013 C[Ah]: 58.5 E[kWh]: 21.559 Erec[kWh]: -0.002 P[kW]: 10.3



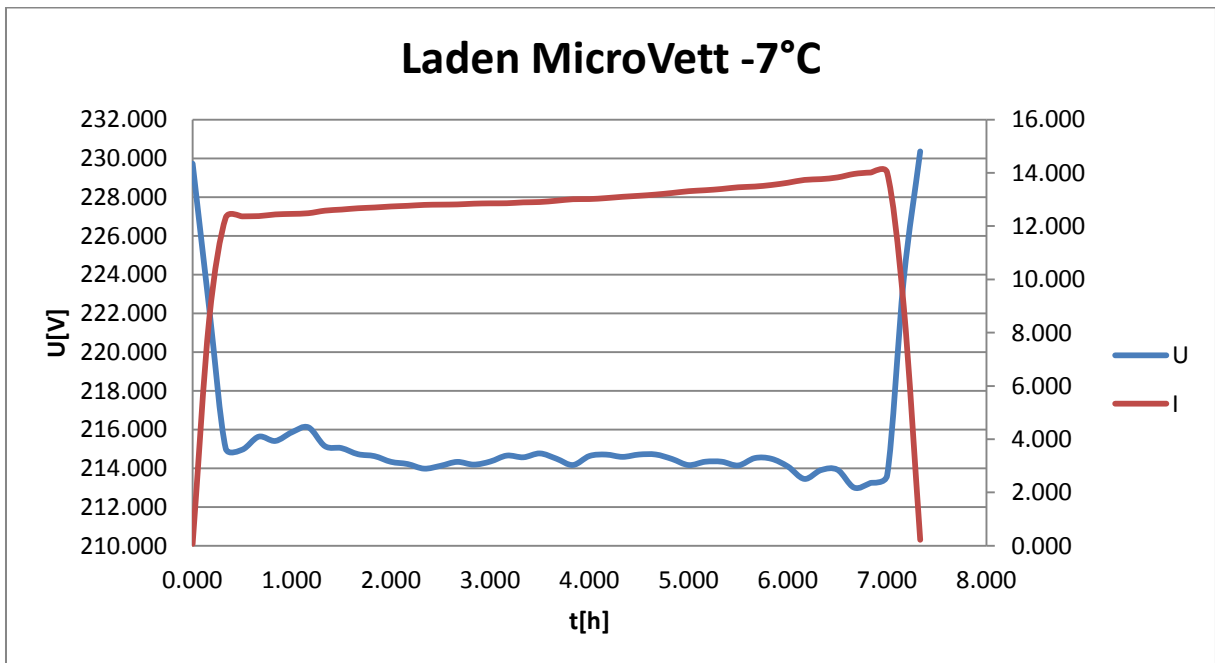
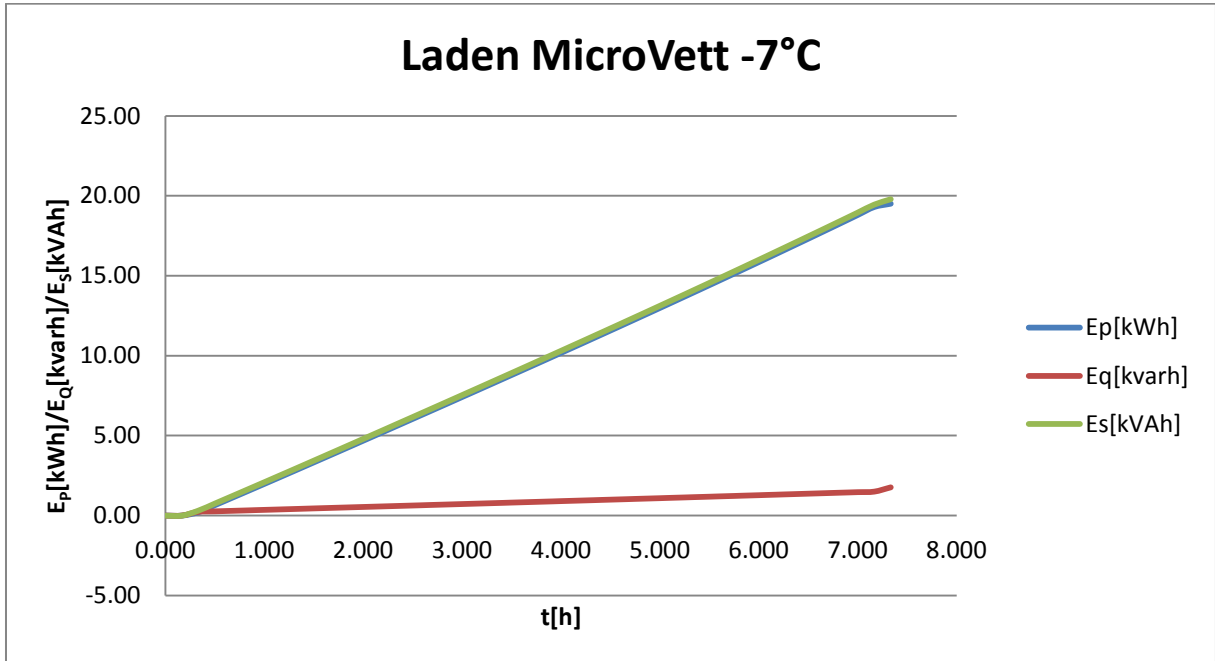
Vehicle: iOn Date: 19.03.2013 C[Ah]: 39.5 E[kWh]: 12.67 Erec[kWh]: -0.001 P[kW]: 8.8

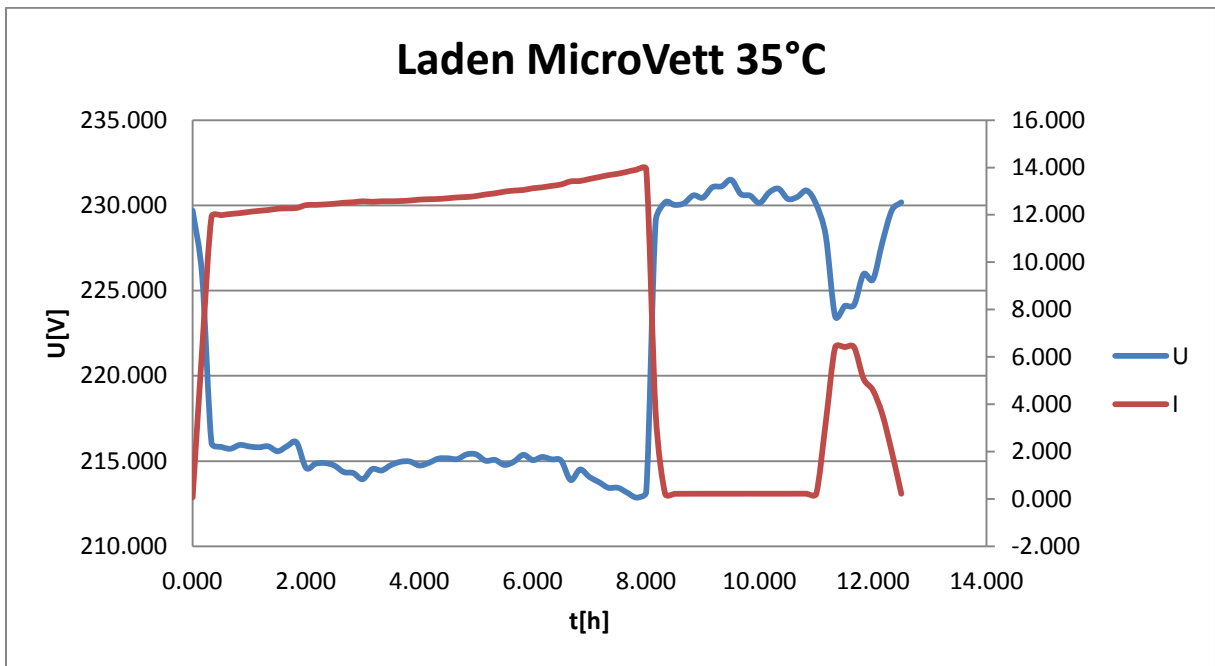
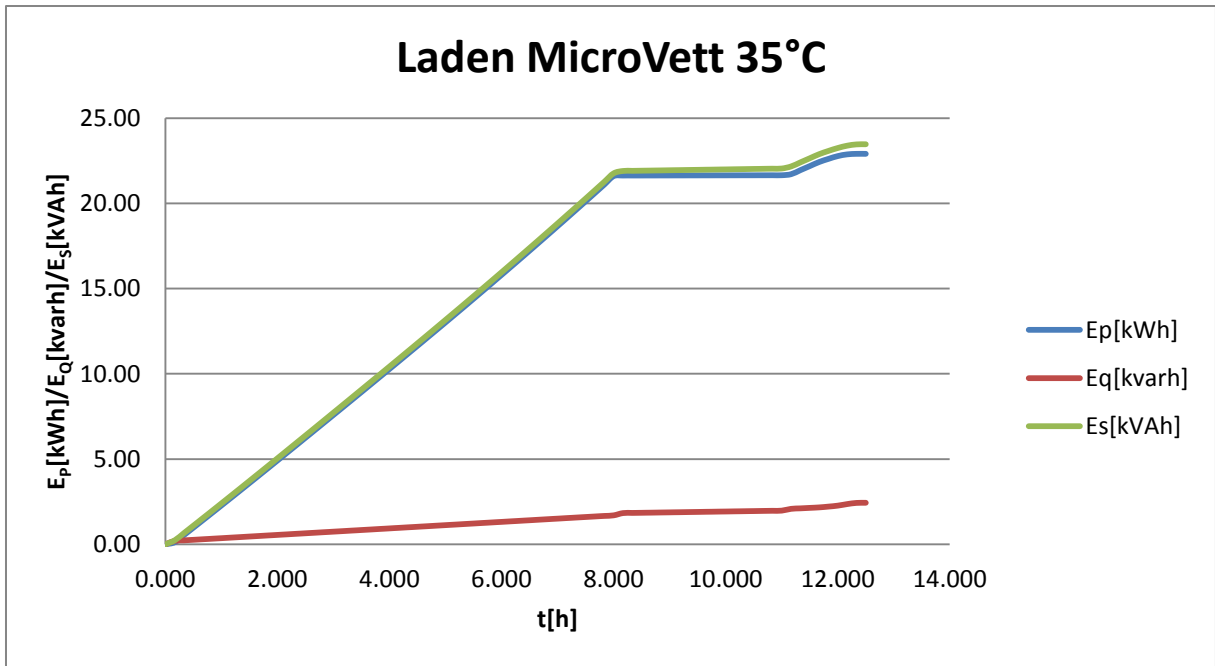


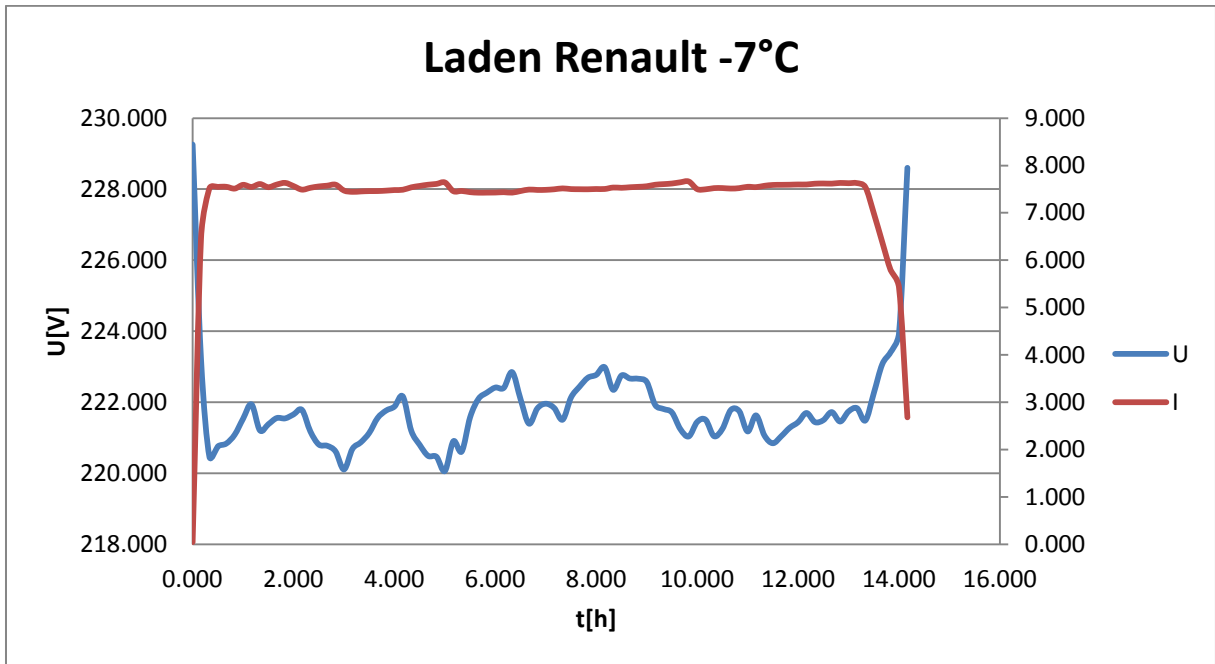
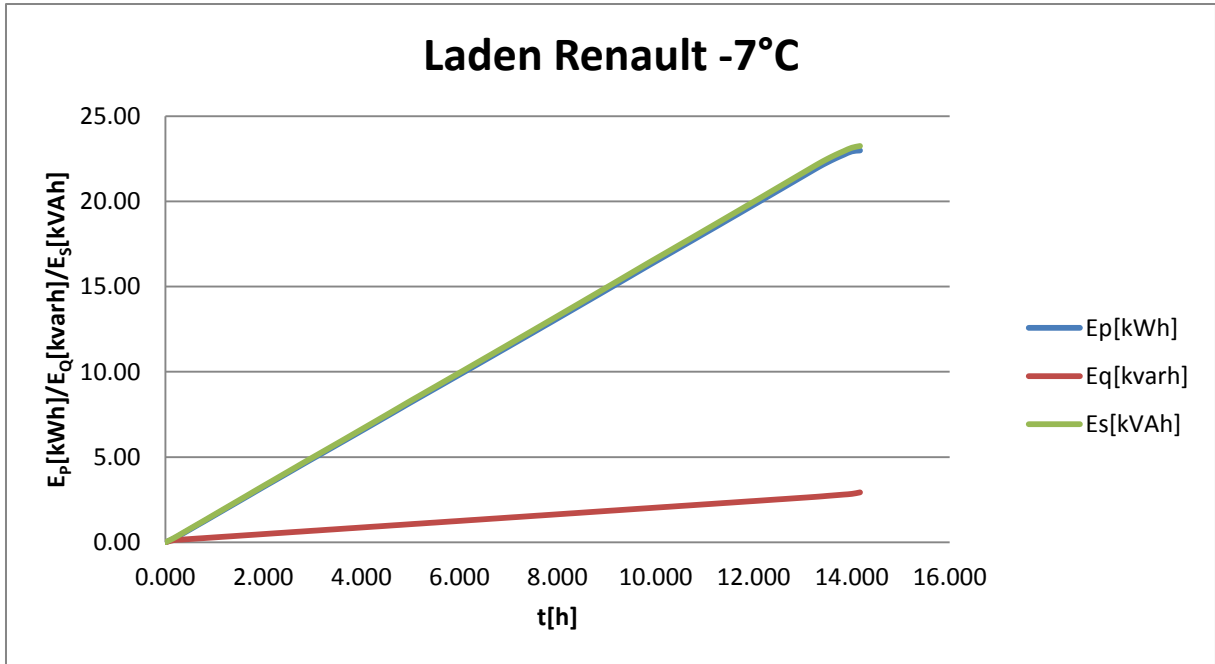
Vehicle: iOn Date: 21.03.2013 C[Ah]: 41.2 E[kWh]: 13.907 Erec[kWh]: 0 P[kW]: 8.4

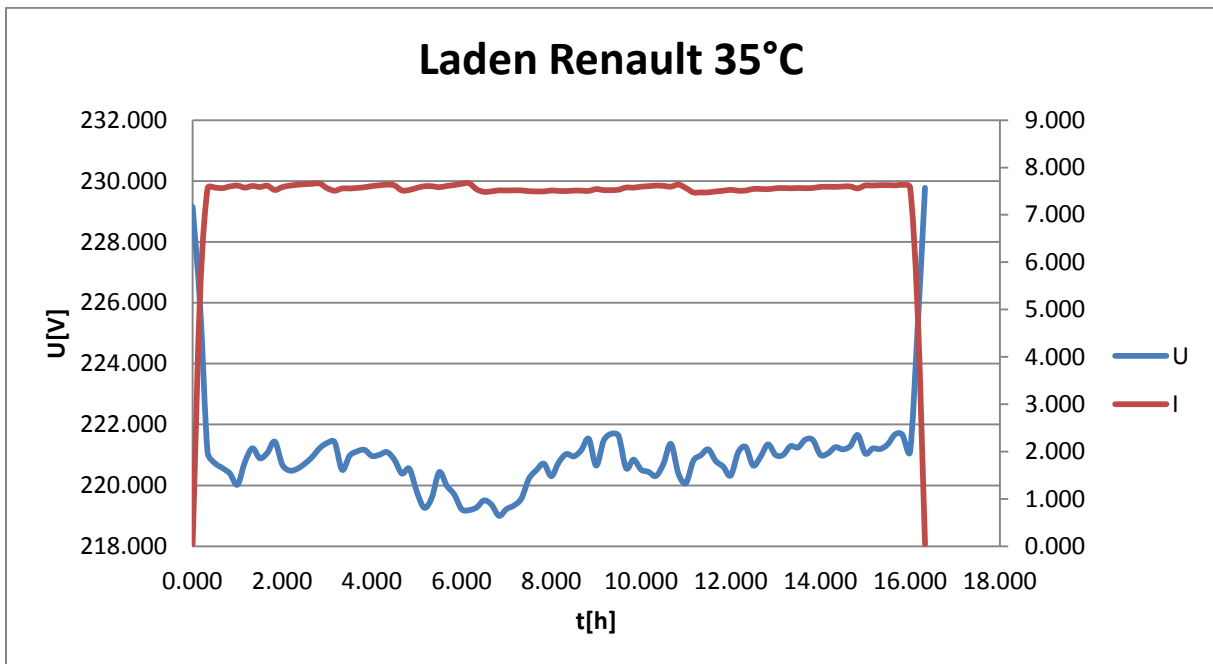
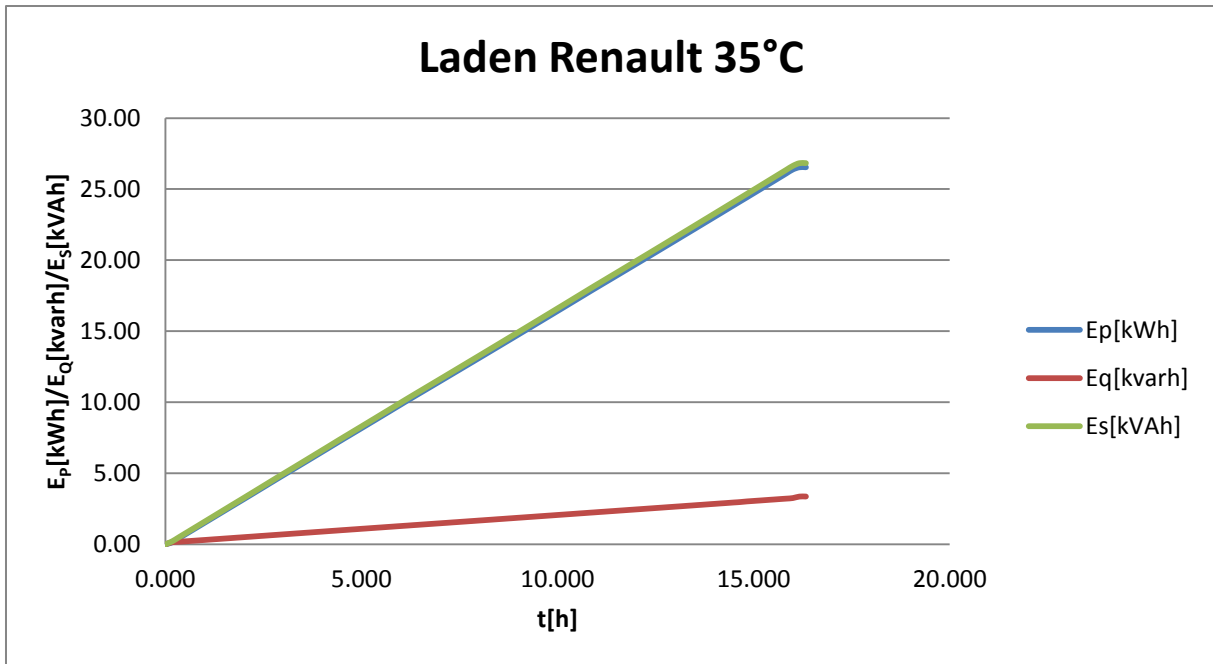


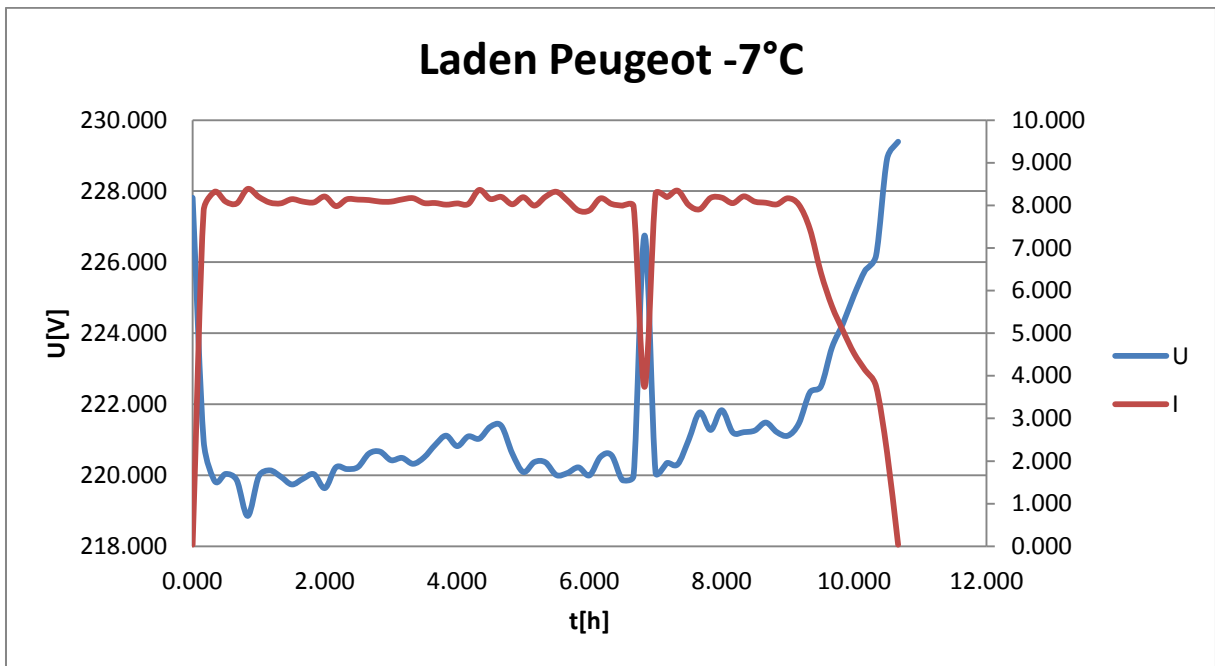
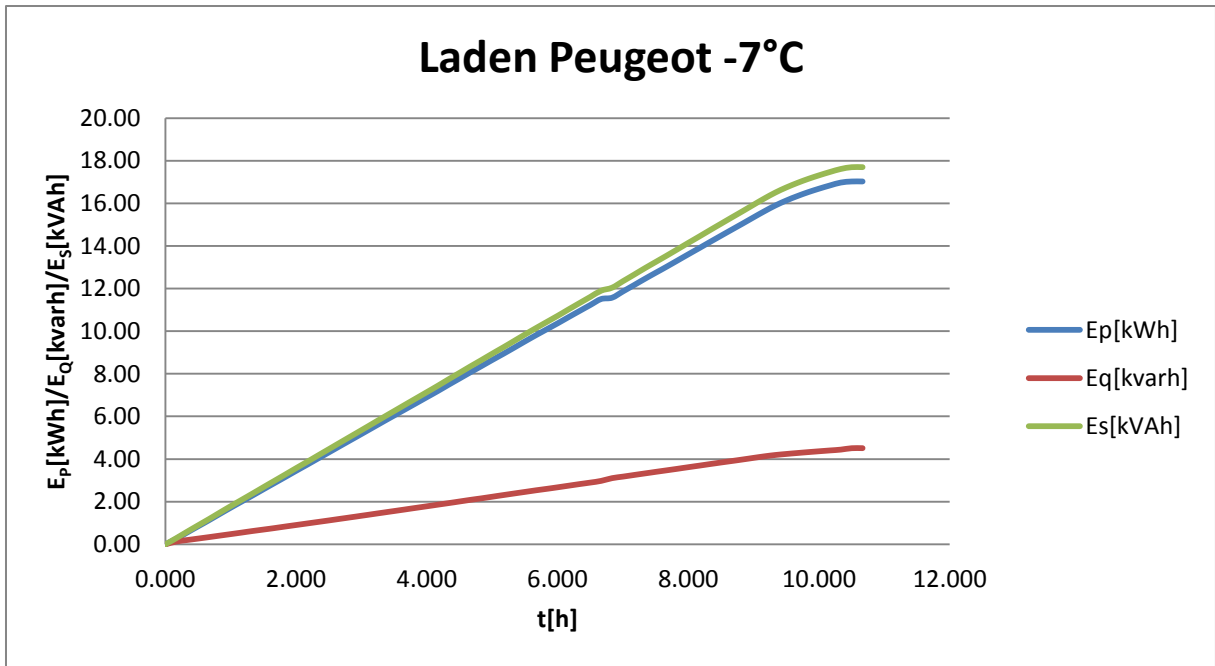
Februar 2013: Laden AC-seitig

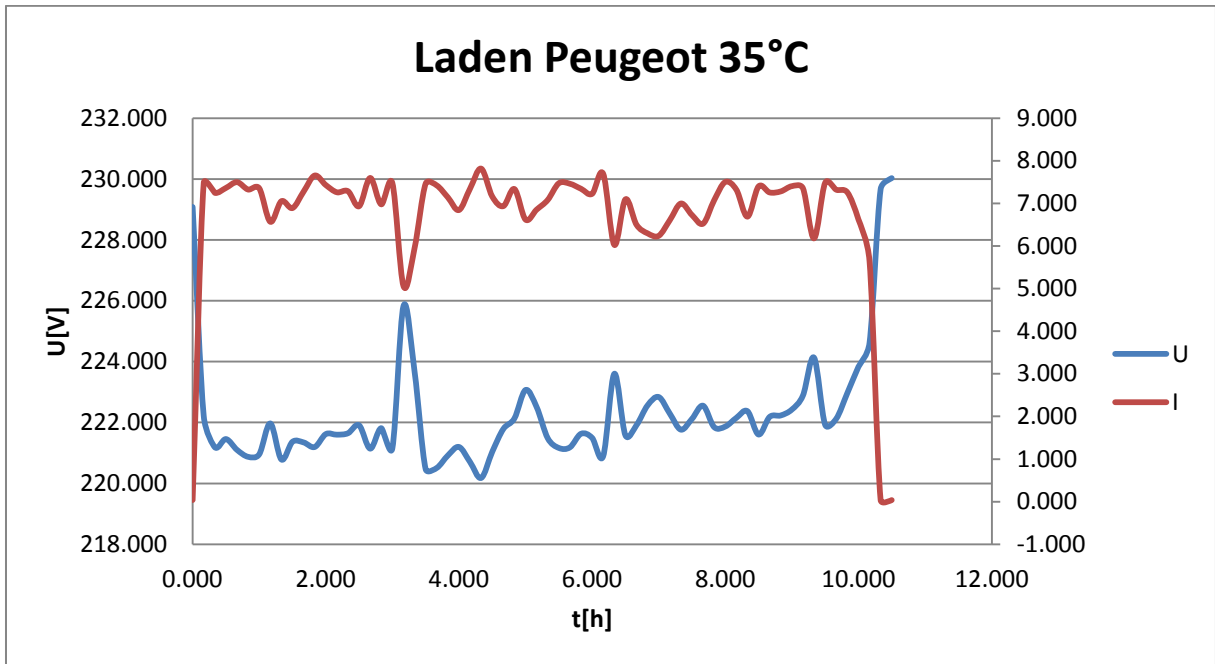
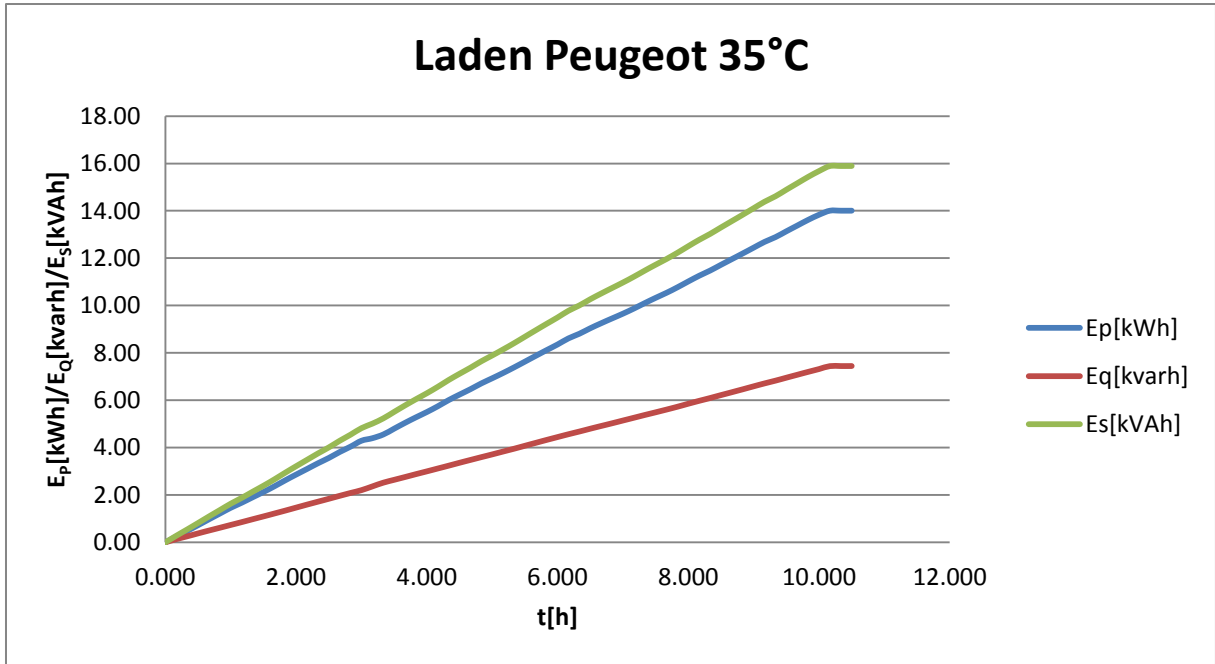












Anhang D

Messung Rollenprüfstand 2013

Messobjekte

- Fiat Fiorino, umgebaut von MicroVett
- Renault Kangoo Z.E.
- Peugeot iOn

Messauftrag

Fahrzeuge auf Rollenprüfstand adaptieren mit bereits ermittelten Ausrolldaten

- Wichtig: Die Rekuperation muss bei der Adaption vollständig deaktiviert sein. Hierzu muss teilweise die Zündung ausgeschaltet werden.

1x pro Fahrzeug den NEFZ Zyklus aufzeichnen (el. & mech.)

1x pro Fahrzeug die Leistung bei verschiedenen Arbeitspunkten ermitteln (el. & mech.)

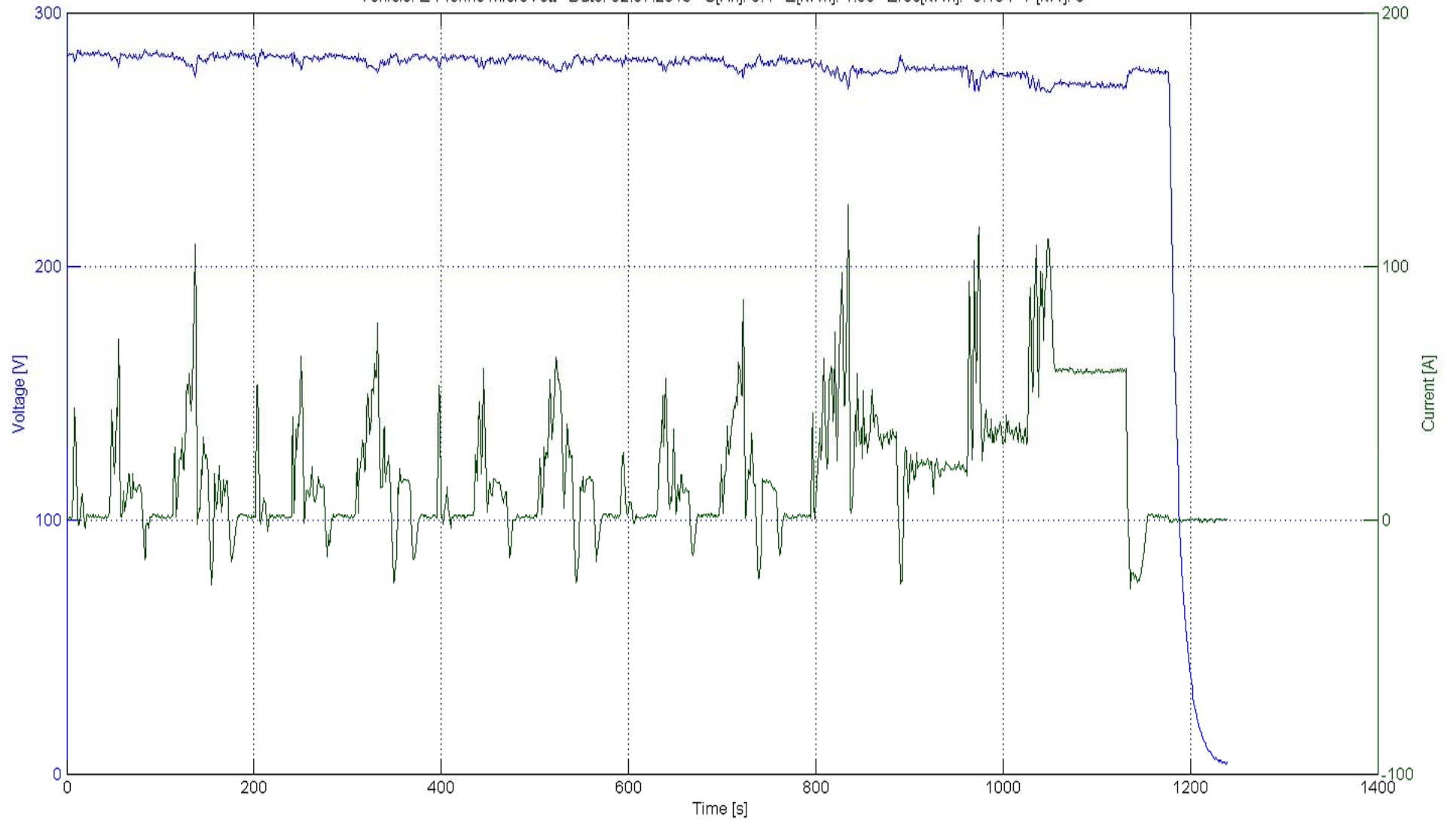
- Leistung bei folgenden Geschwindigkeiten aufzeichnen: 0, 30, 50, 80, 100 und 120km/h
- Verbrauch: Heizung und Klimaanlage ermitteln

1x pro Fahrzeug Traktionsbatterie bei 80 km/h leer fahren

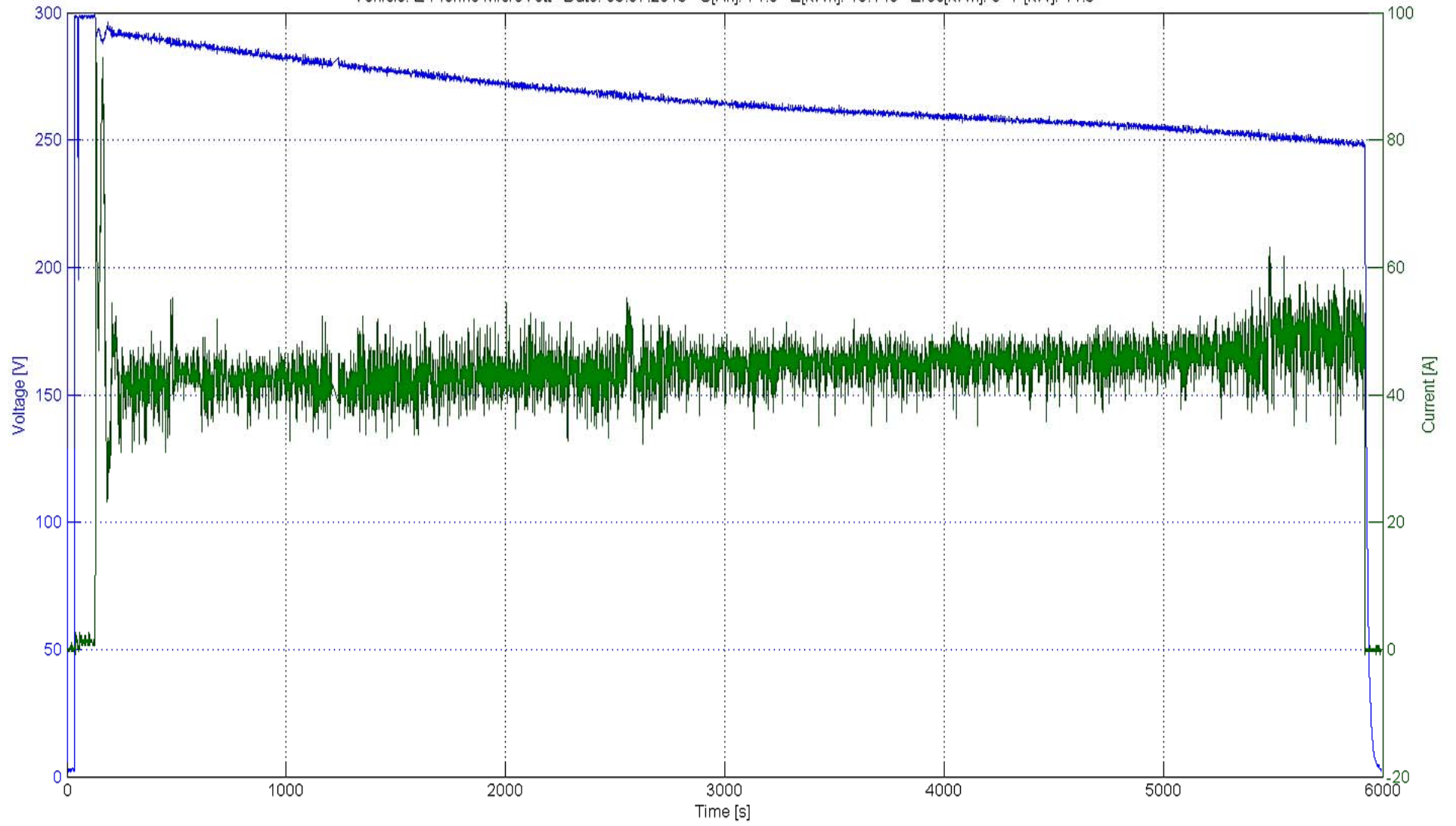
1x Traktionsbatterie beim Renault Kangoo vollständig mit elektronischer Last entladen (nicht auf dem Rollenprüfstand).

Alle elektrischen Messgrößen werden von R. Zesiger aufgenommen, für die mechanischen Messgrößen (mind. 1 Messwert pro Sekunde und Messgröße) ist der Rollenprüfstandbetreiber verantwortlich.

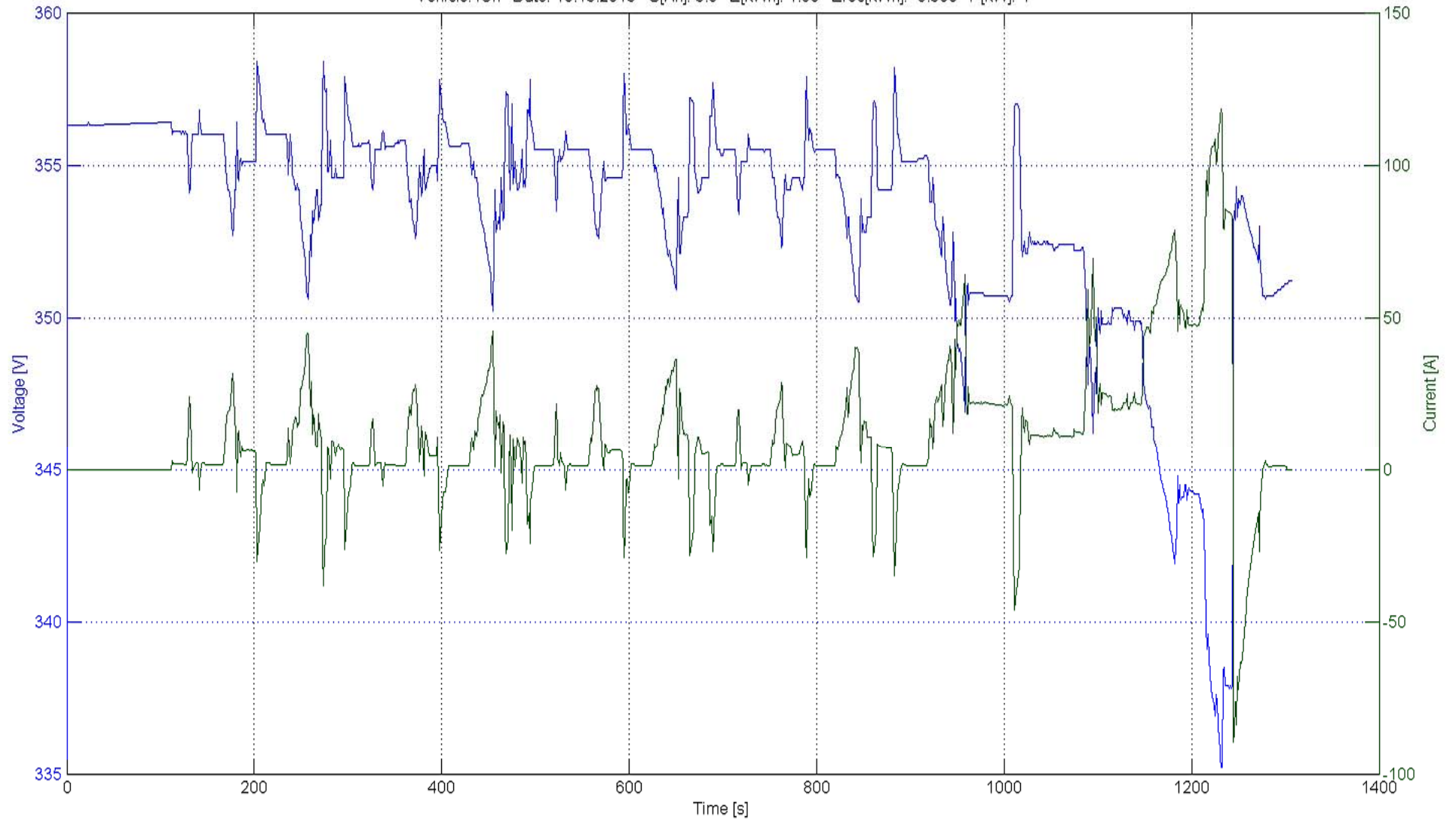
Vehicle: E-Fiorino MicroVett Date: 02.07.2013 C[Ah]: 6.4 E[kWh]: 1.86 Erec[kWh]: -0.104 P[kW]: 5



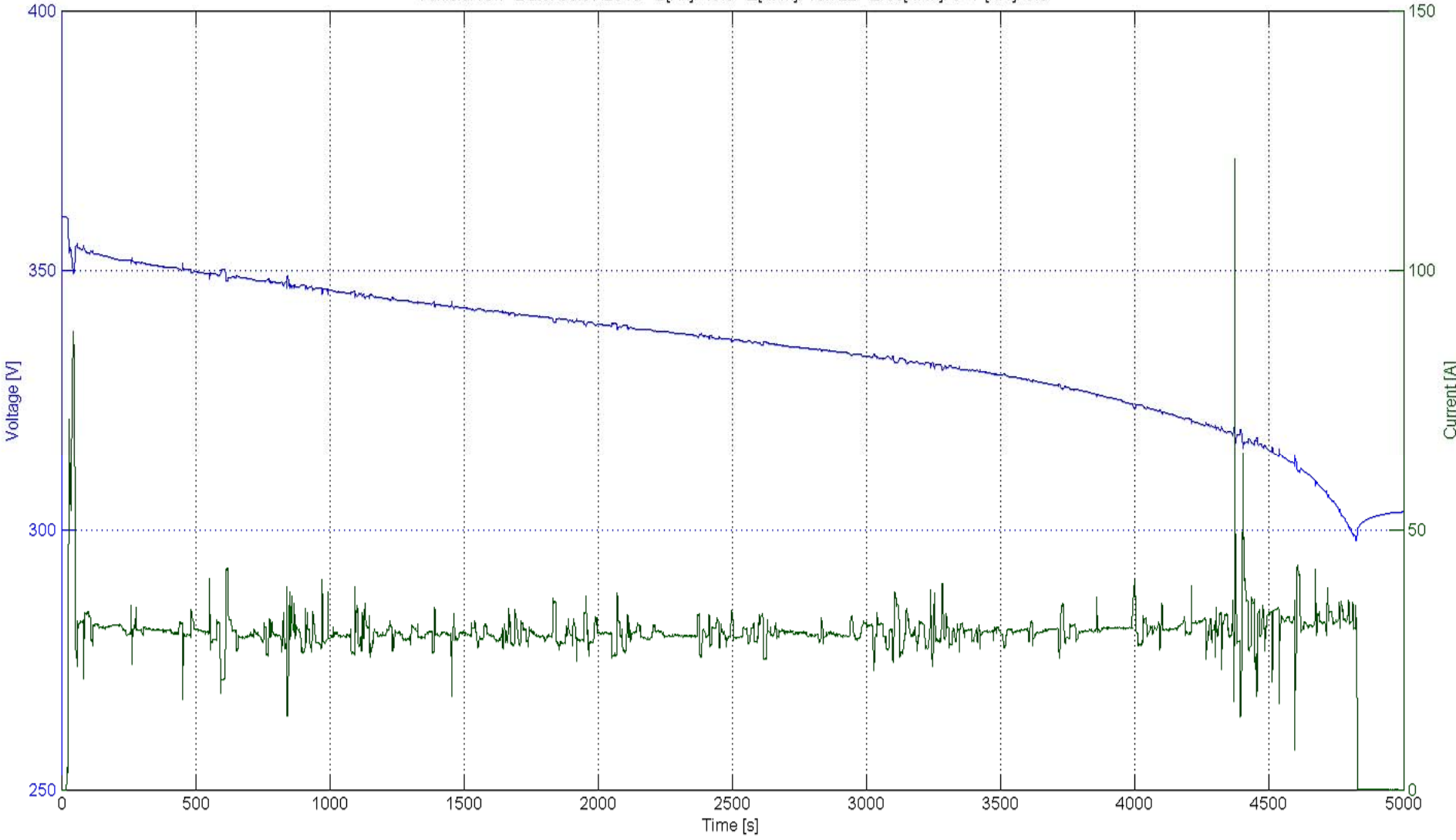
Vehicle: E-Fiorino MicroVett Date: 03.07.2013 C[Ah]: 71.9 E[kWh]: 19.148 Erec[kWh]: 0 P[kW]: 11.3



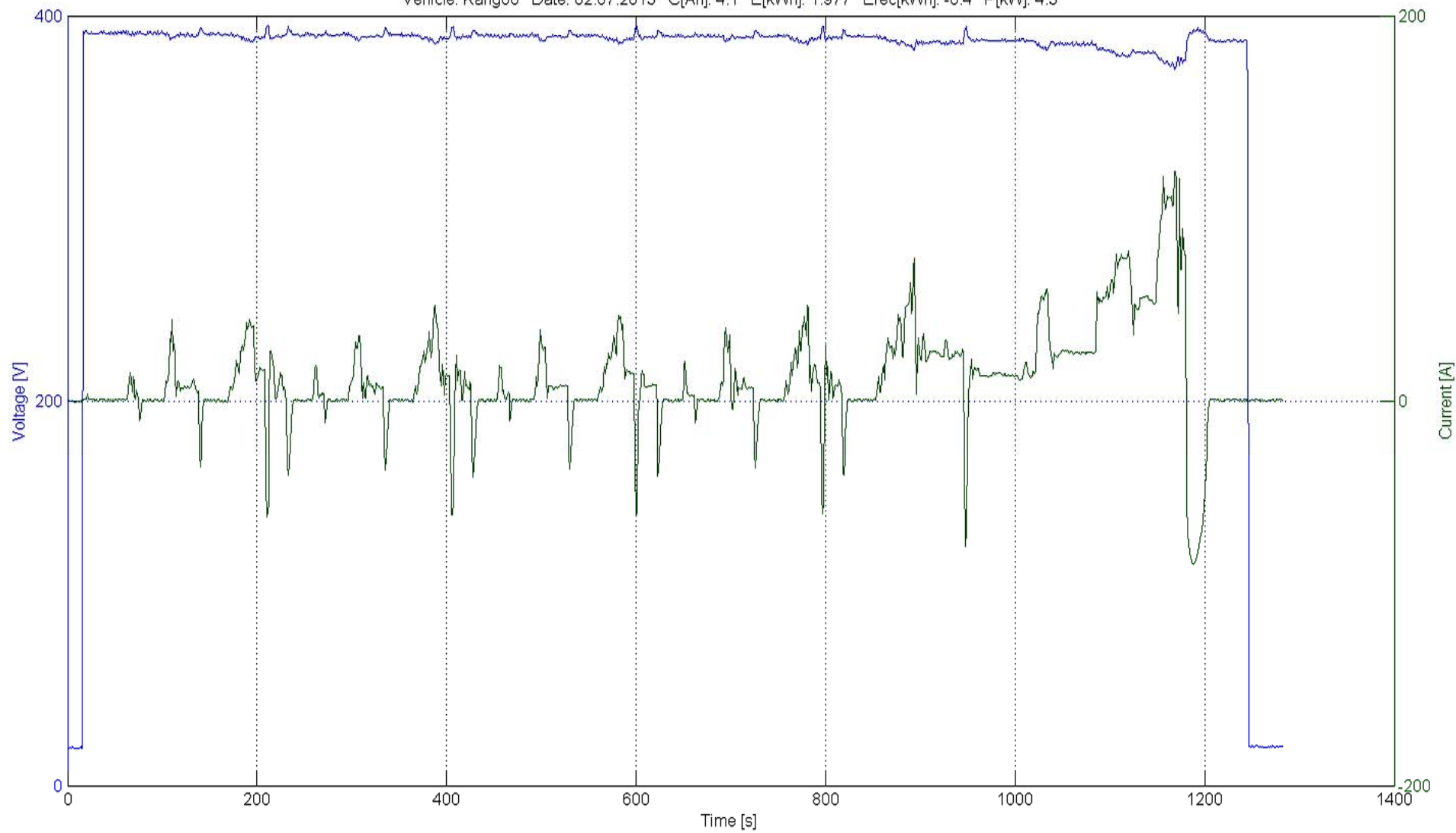
Vehicle: iOn Date: 15.13.2013 C[Ah]: 3.9 E[kWh]: 1.65 Erec[kWh]: -0.305 P[kW]: 4



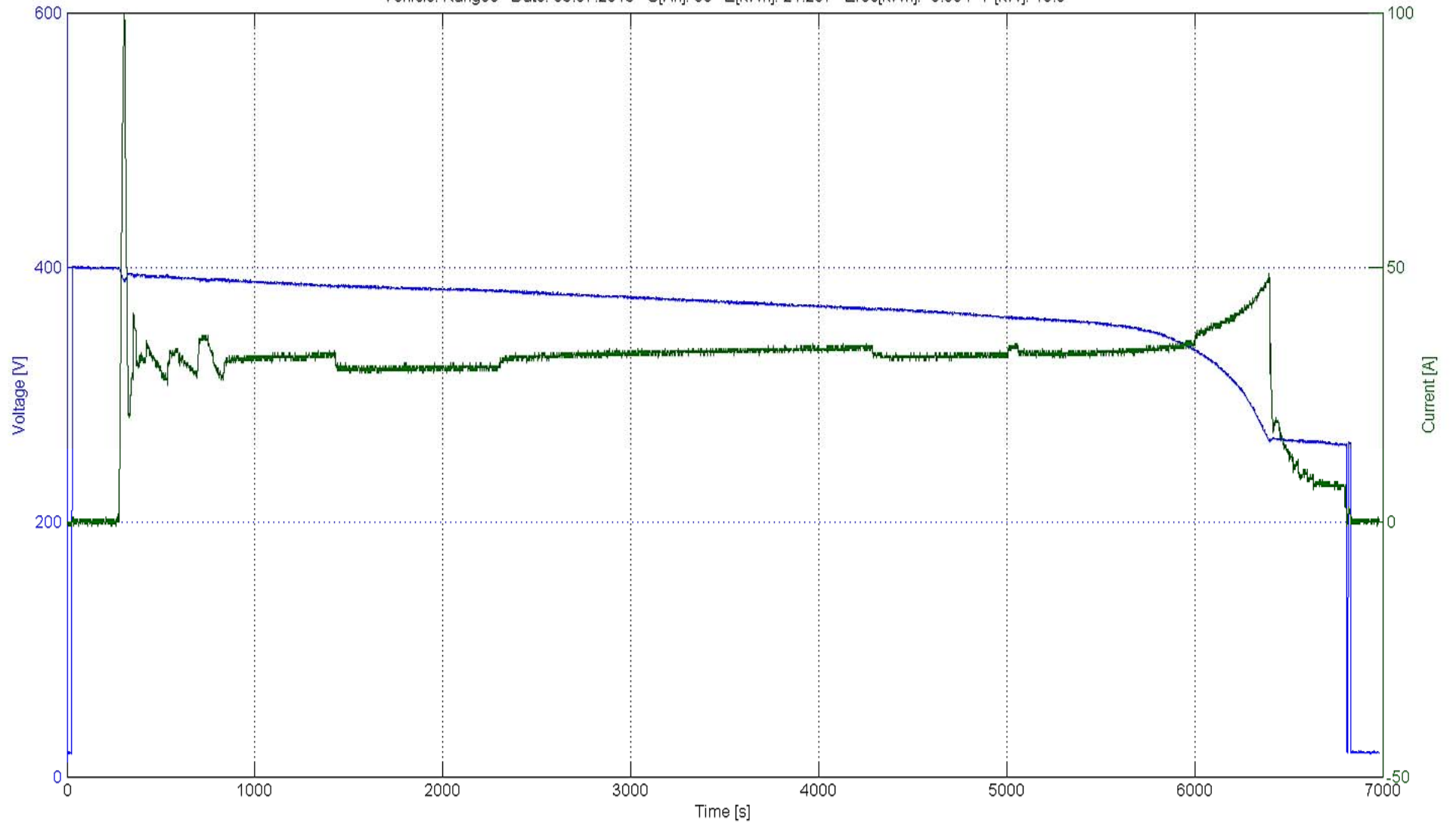
Vehicle: iOn Date: 03.07.2013 C[Ah]: 40.9 E[kWh]: 13.722 Erec[kWh]: 0 P[kW]: 9.9



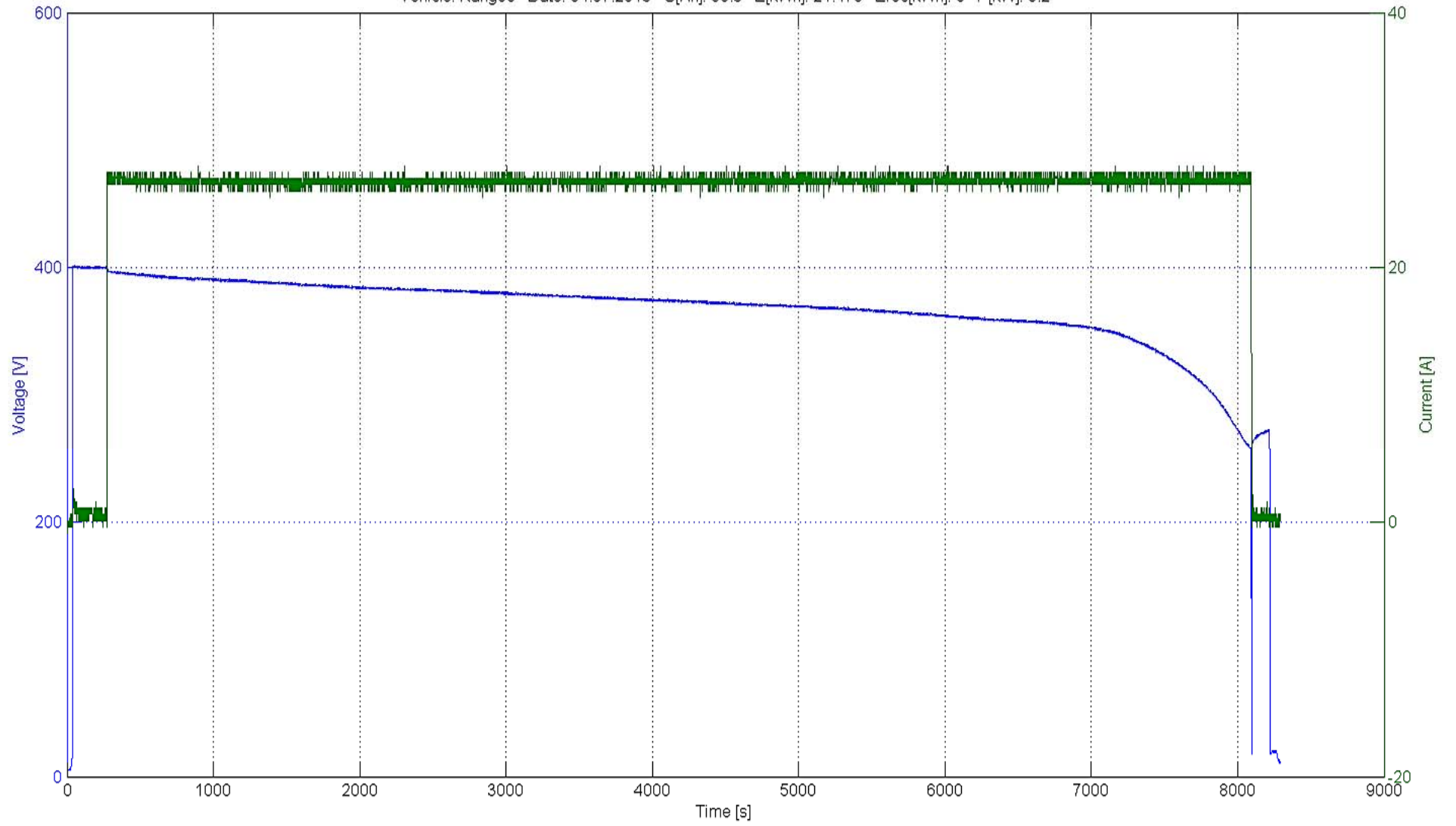
Vehicle: Kangoo Date: 02.07.2013 C[Ah]: 4.1 E[kWh]: 1.977 Erec[kWh]: -0.4 P[kW]: 4.3



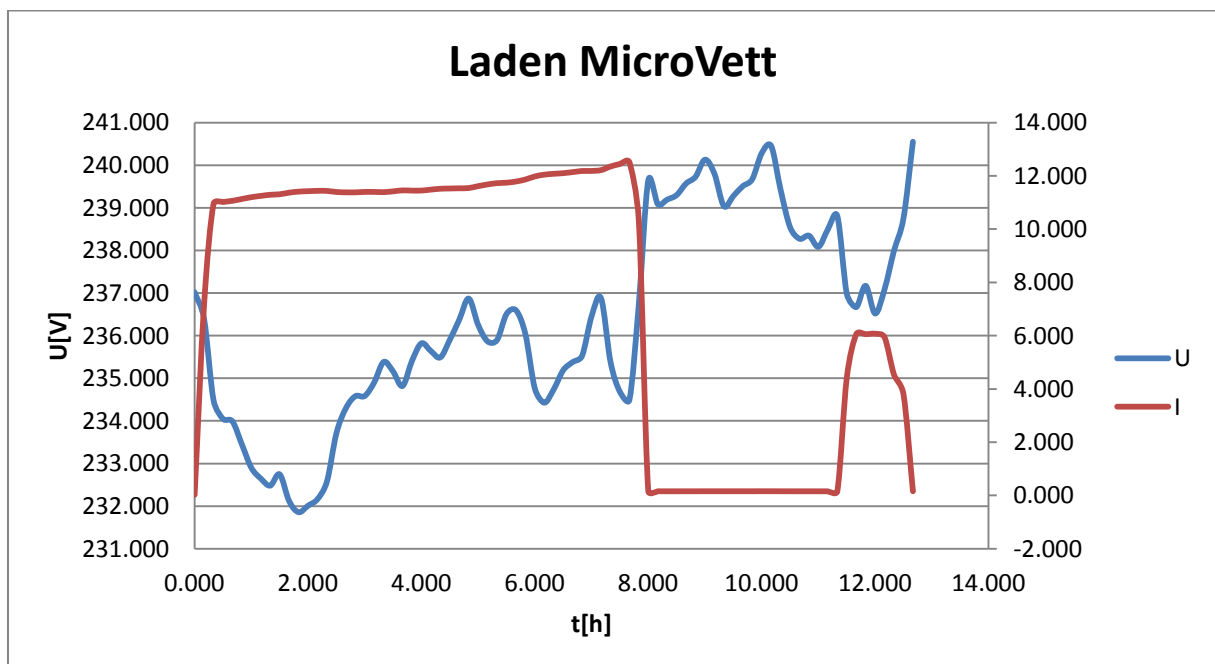
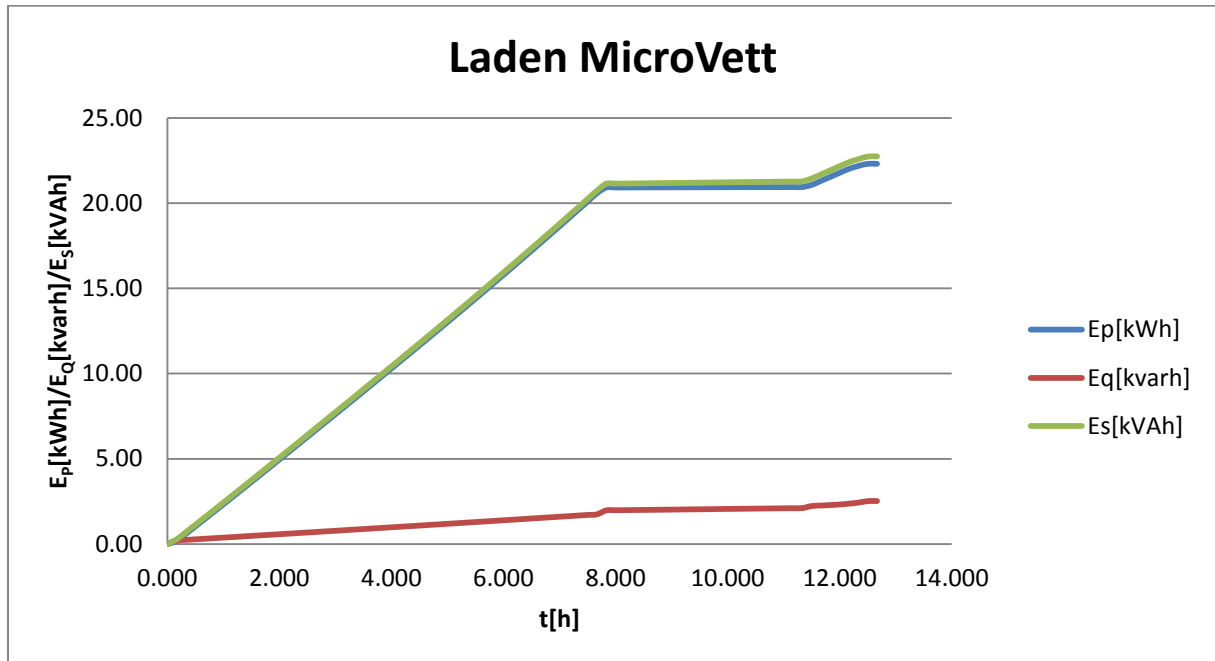
Vehicle: Kangoo Date: 03.07.2013 C[Ah]: 58 E[kWh]: 21.267 Erec[kWh]: -0.004 P[kW]: 10.6

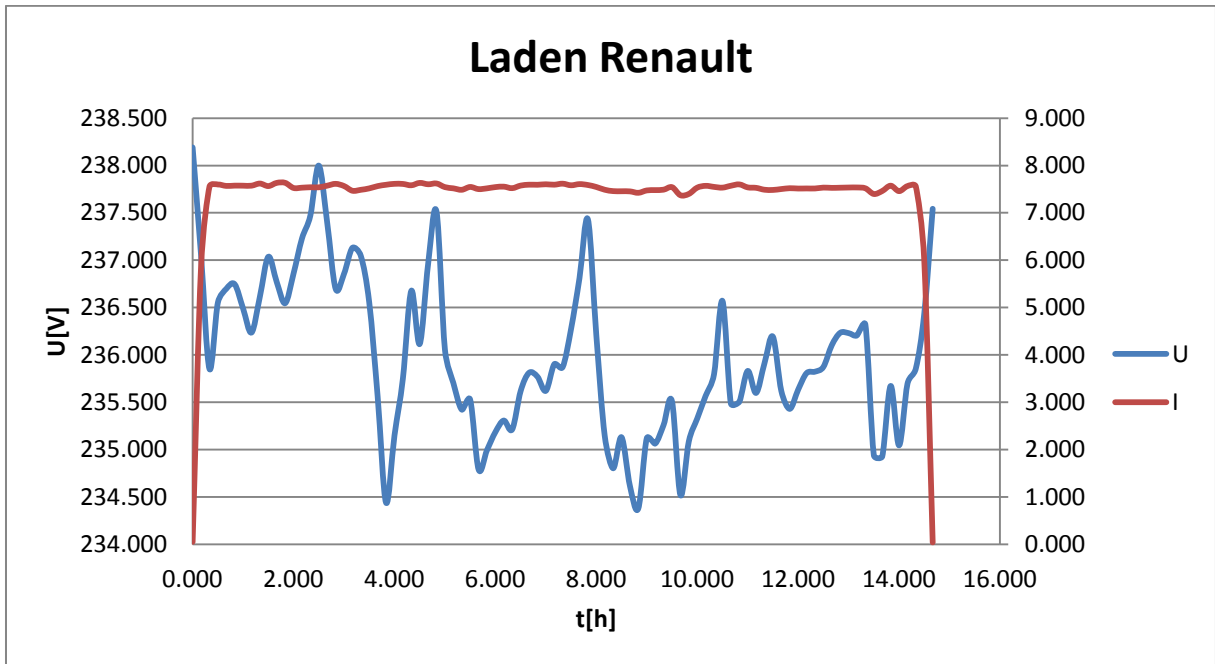
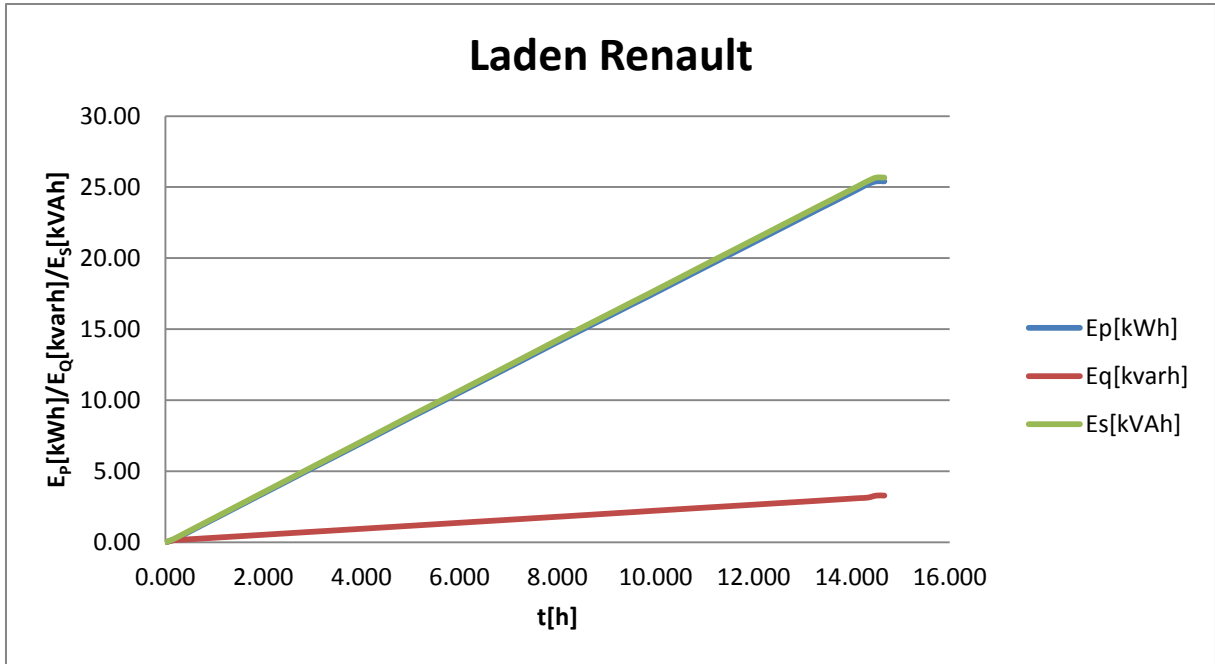


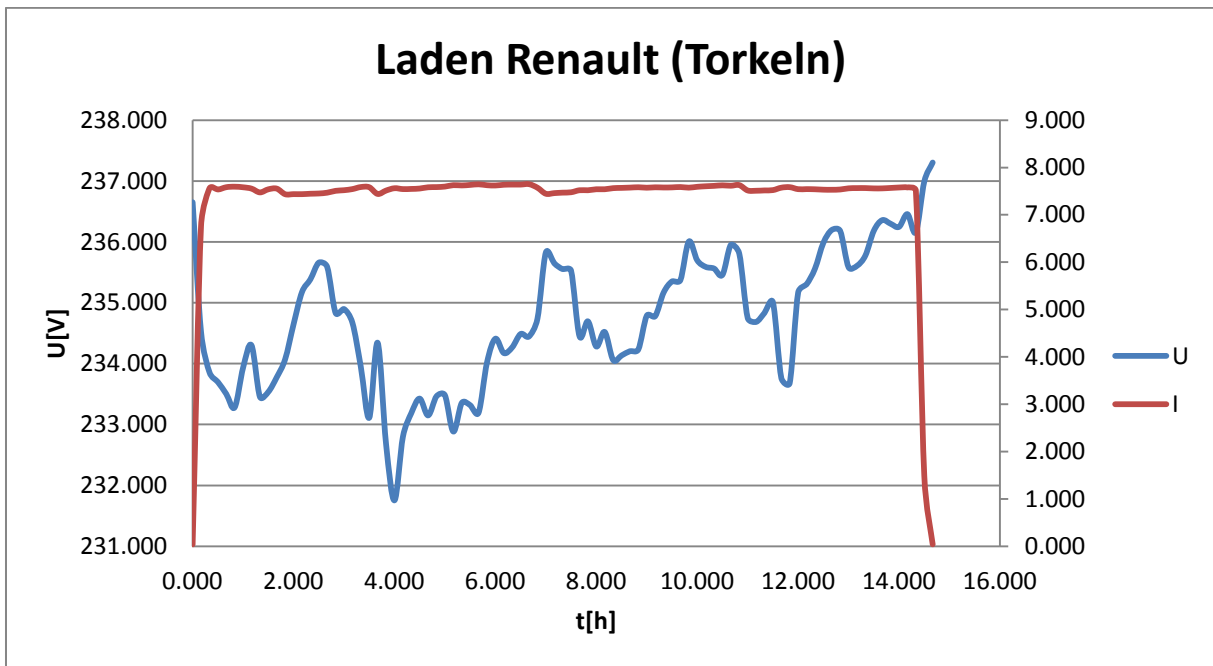
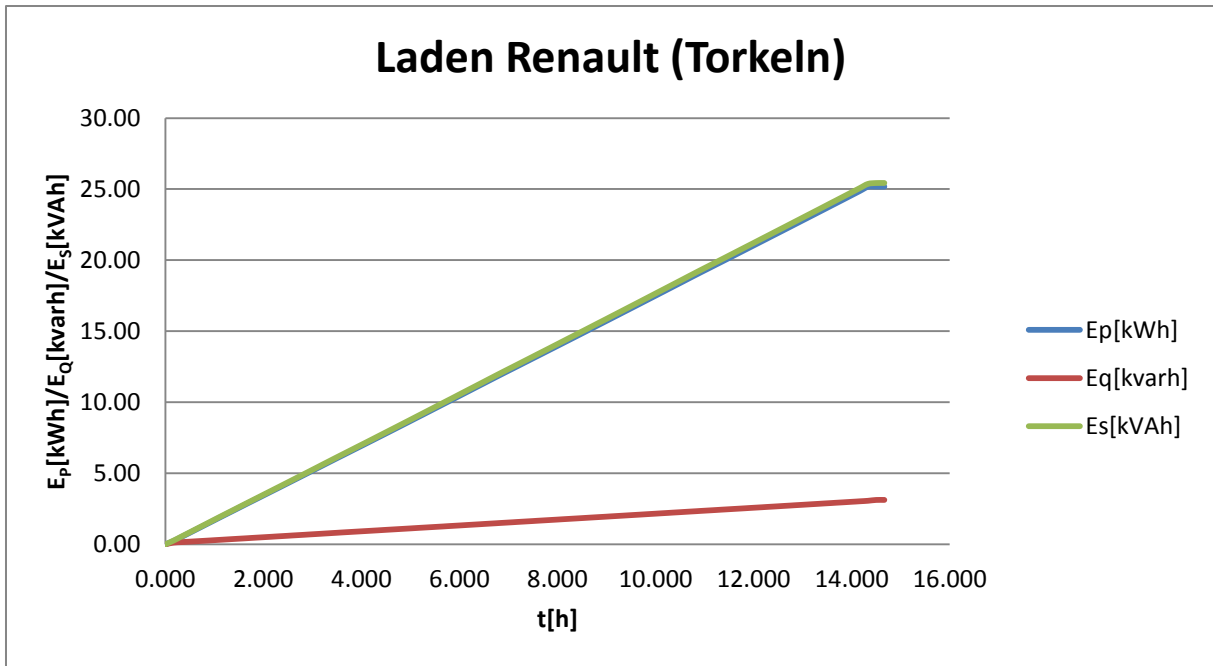
Vehicle: Kangoo Date: 04.07.2013 C[Ah]: 58.3 E[kWh]: 21.475 Erec[kWh]: 0 P[kW]: 9.2

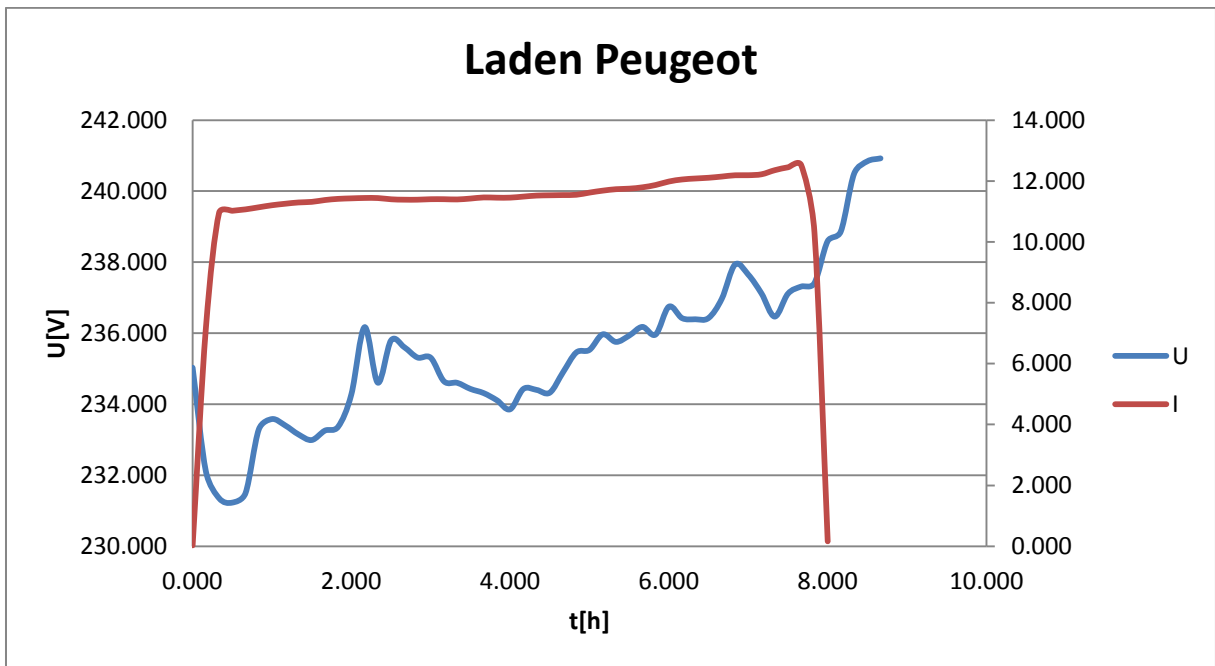
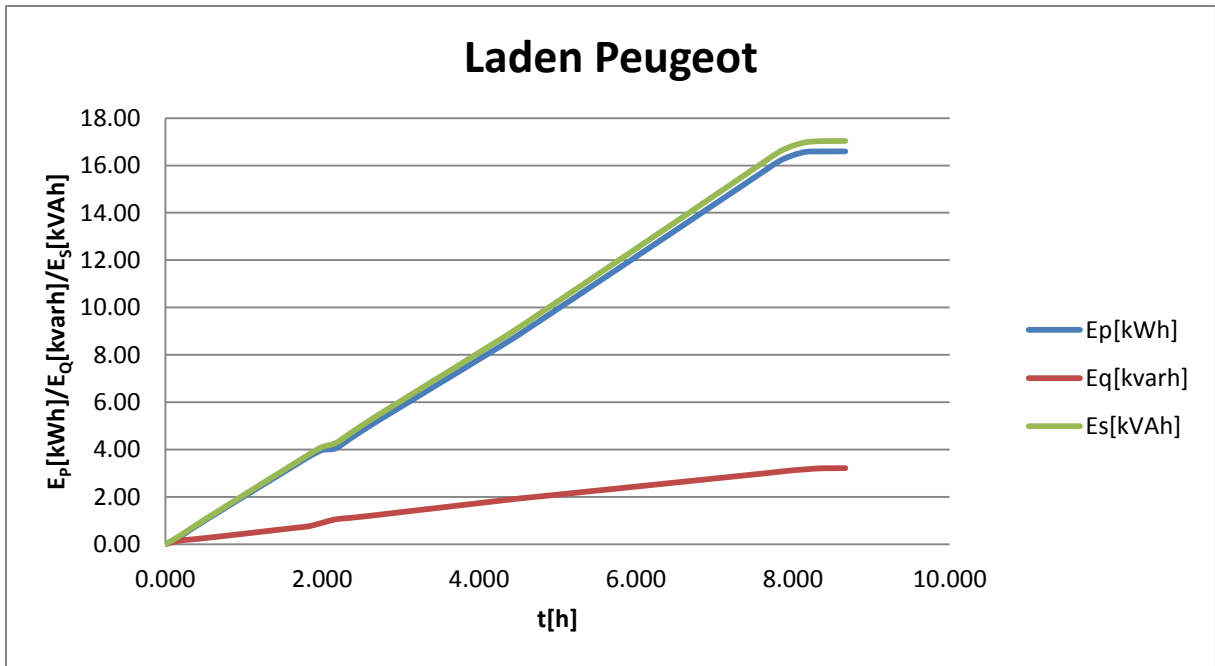


Juli 2013: Laden AC-seitig



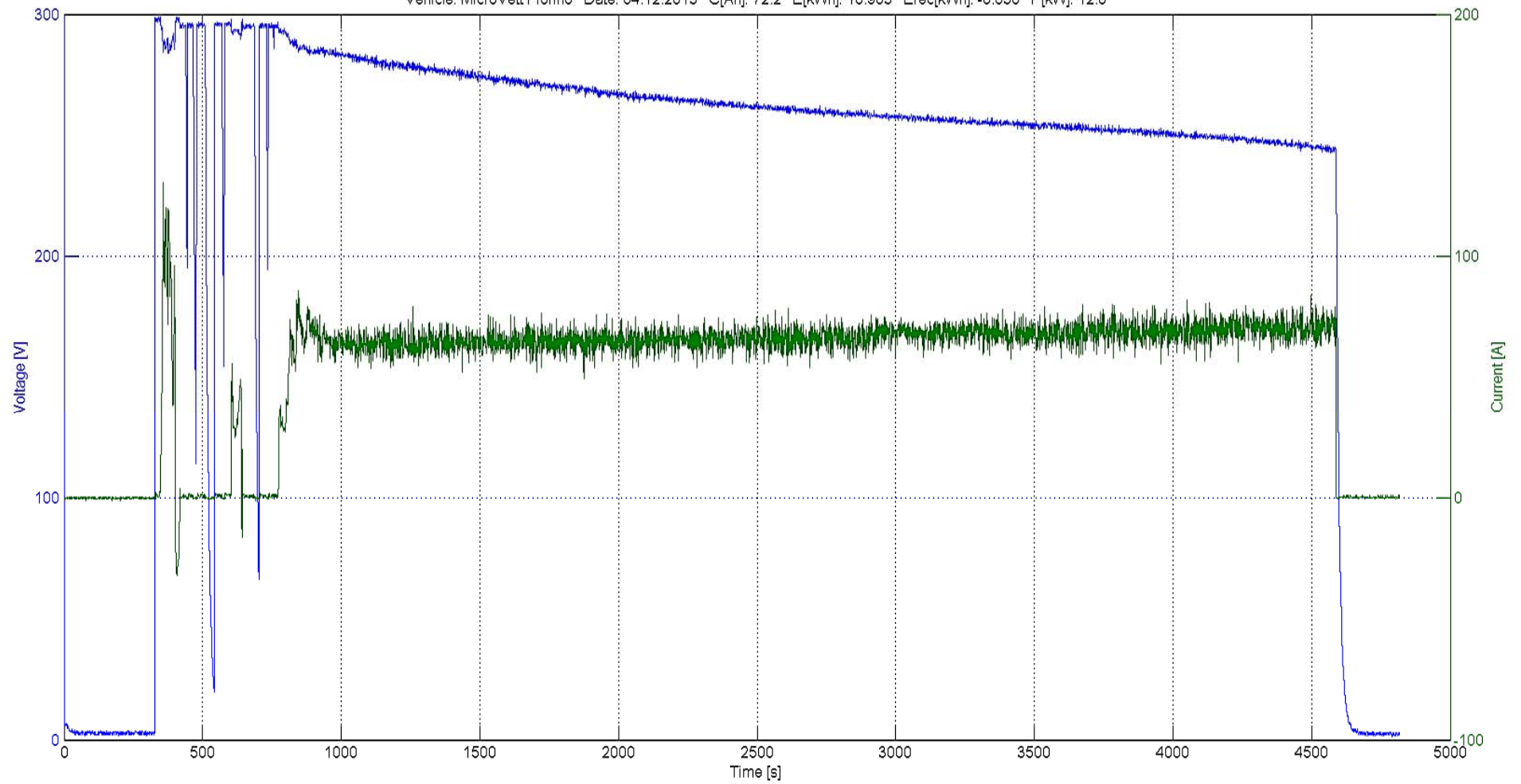




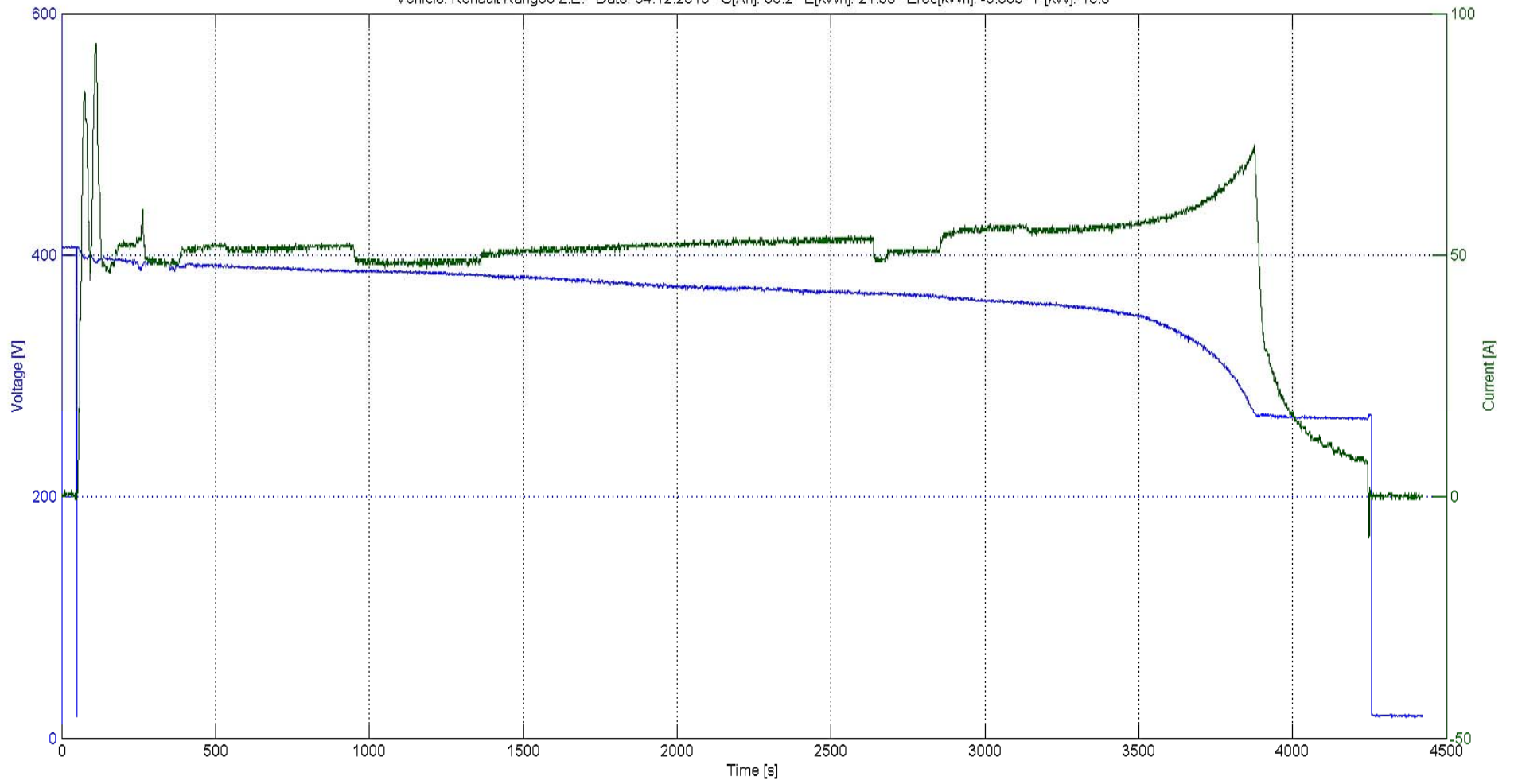


Anhang E

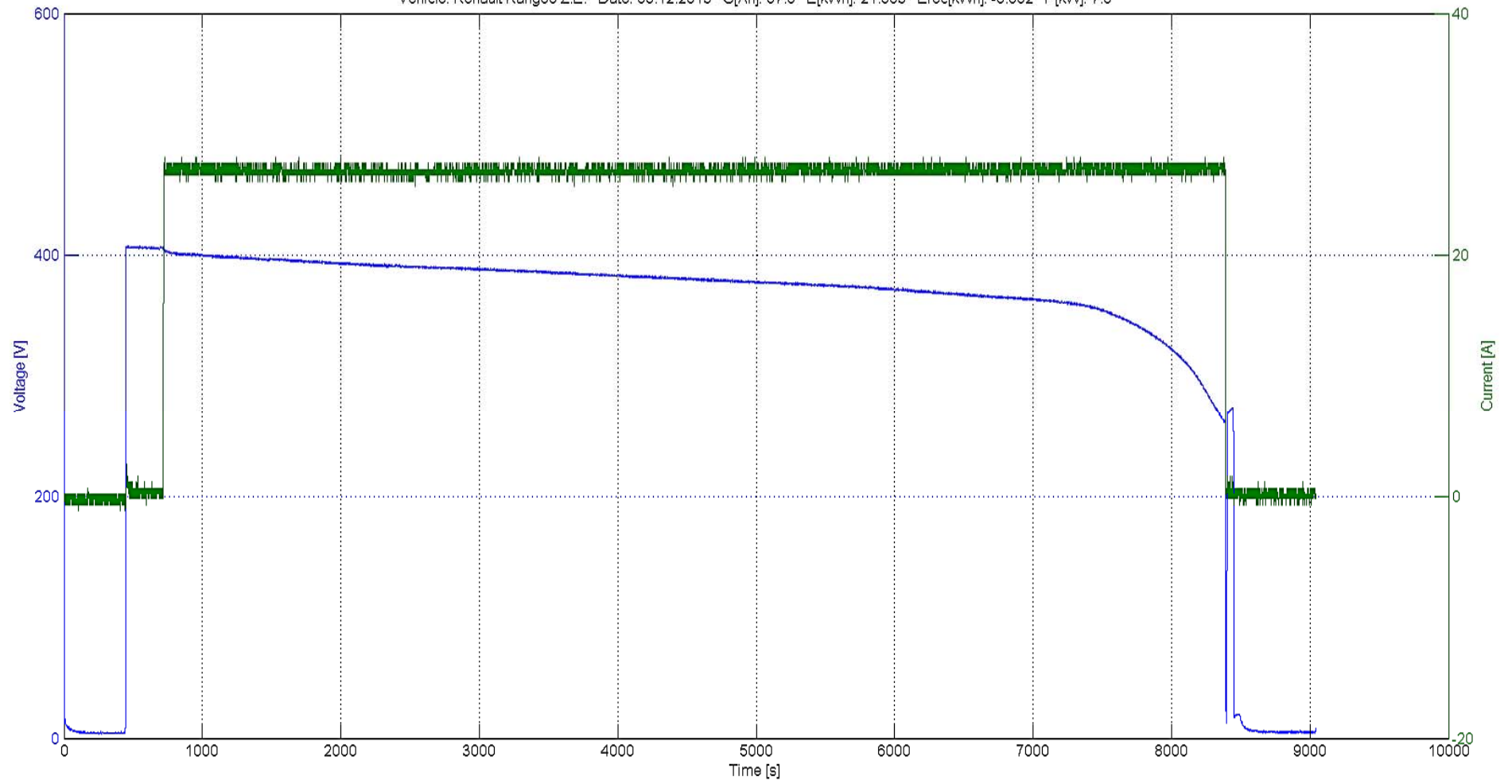
Vehicle: MicroVett Fiorino Date: 04.12.2013 C[Ah]: 72.2 E[kWh]: 18.983 Erec[kWh]: -0.036 P[kW]: 12.6



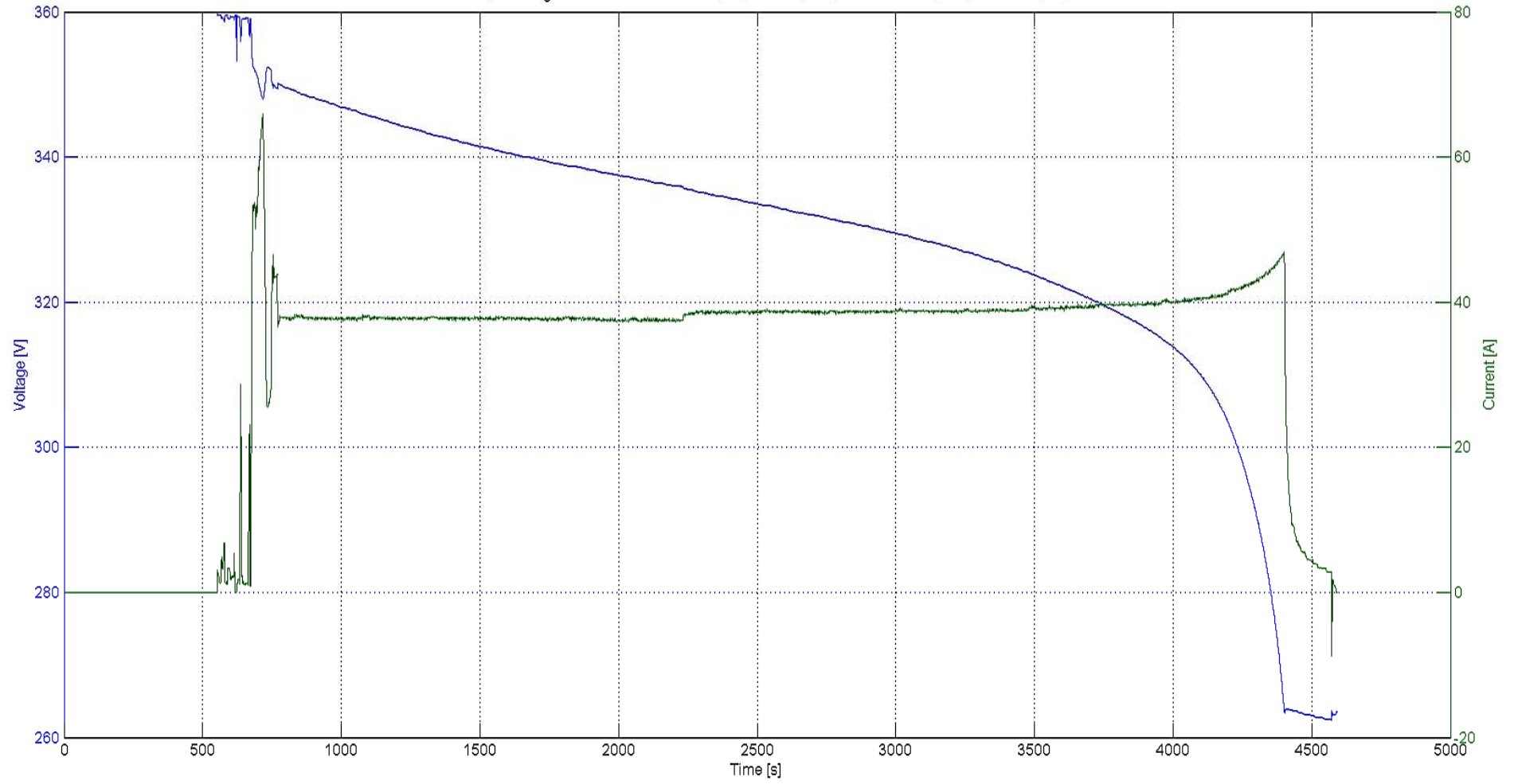
Vehicle: Renault Kangoo Z.E. Date: 04.12.2013 C[Ah]: 58.2 E[kWh]: 21.39 Erec[kWh]: -0.003 P[kW]: 16.6



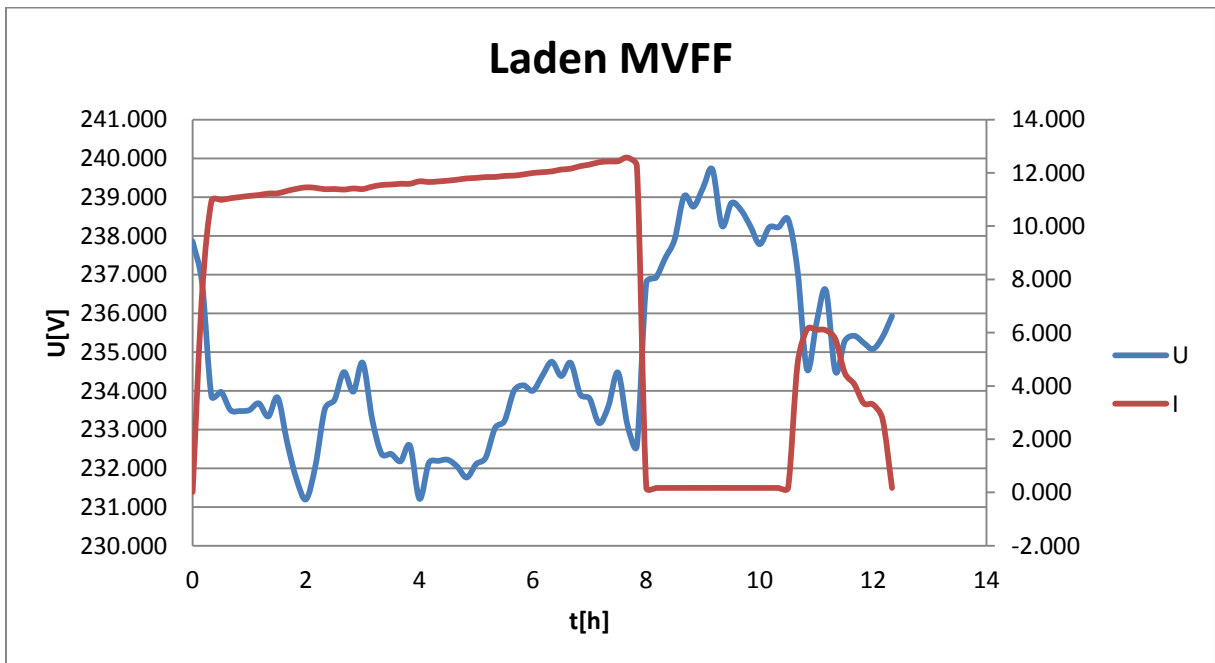
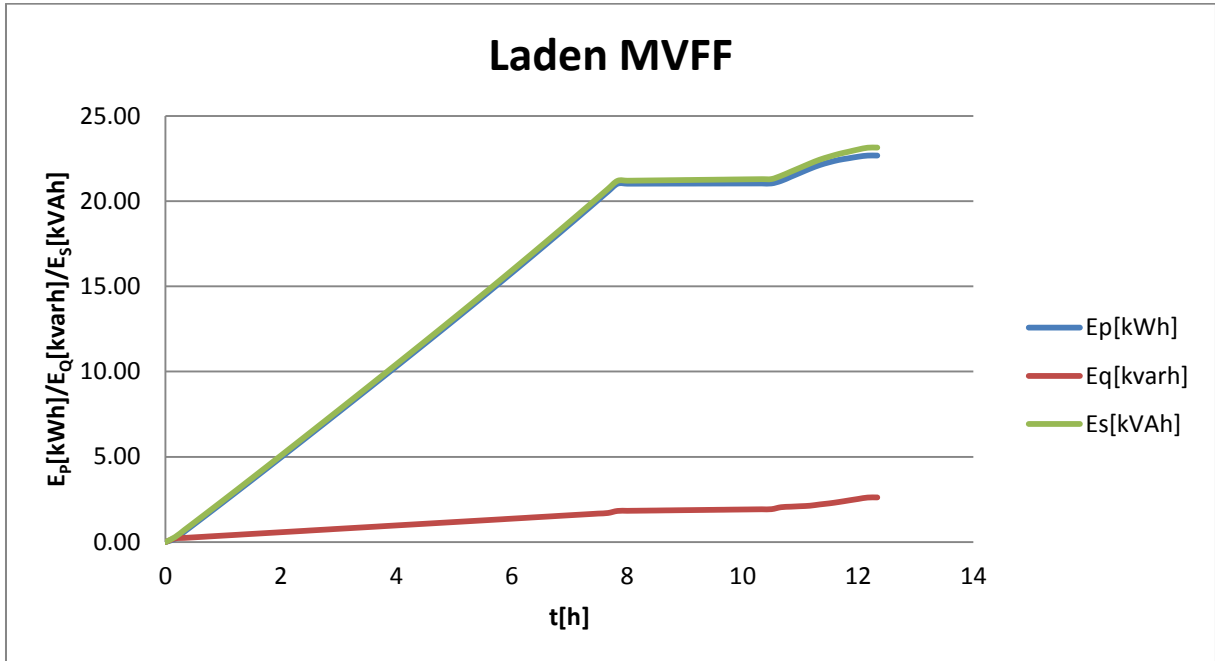
Vehicle: Renault Kangoo Z.E. Date: 05.12.2013 C[Ah]: 57.6 E[kWh]: 21.583 Erec[kWh]: -0.002 P[kW]: 7.6

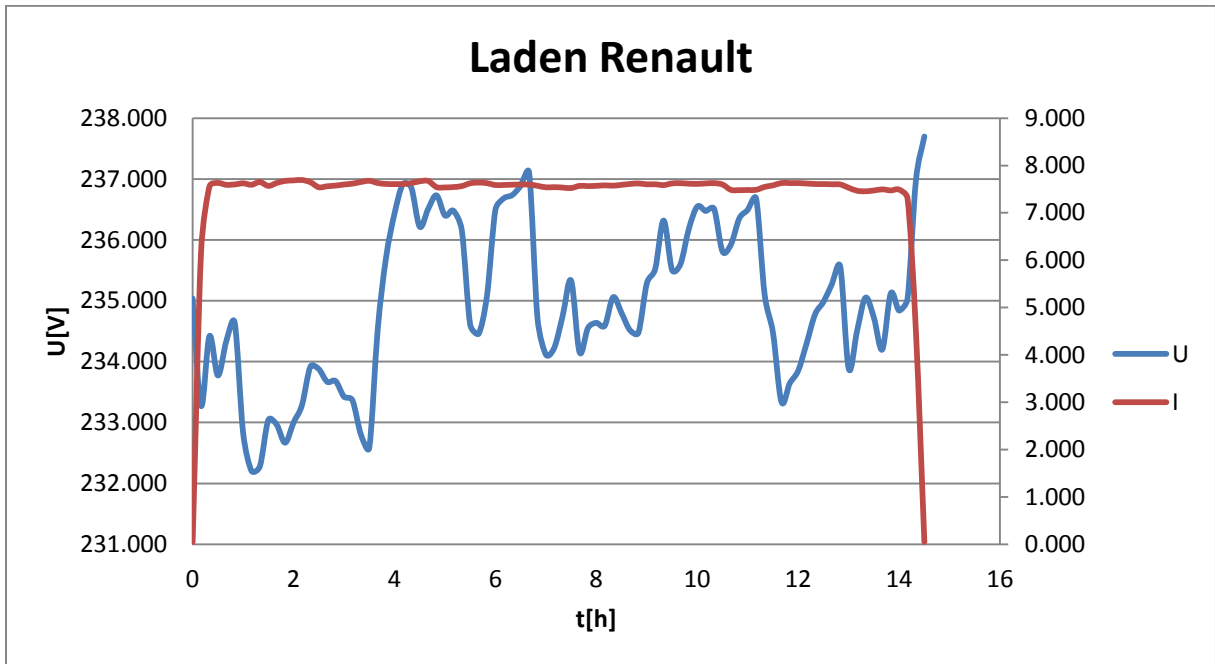
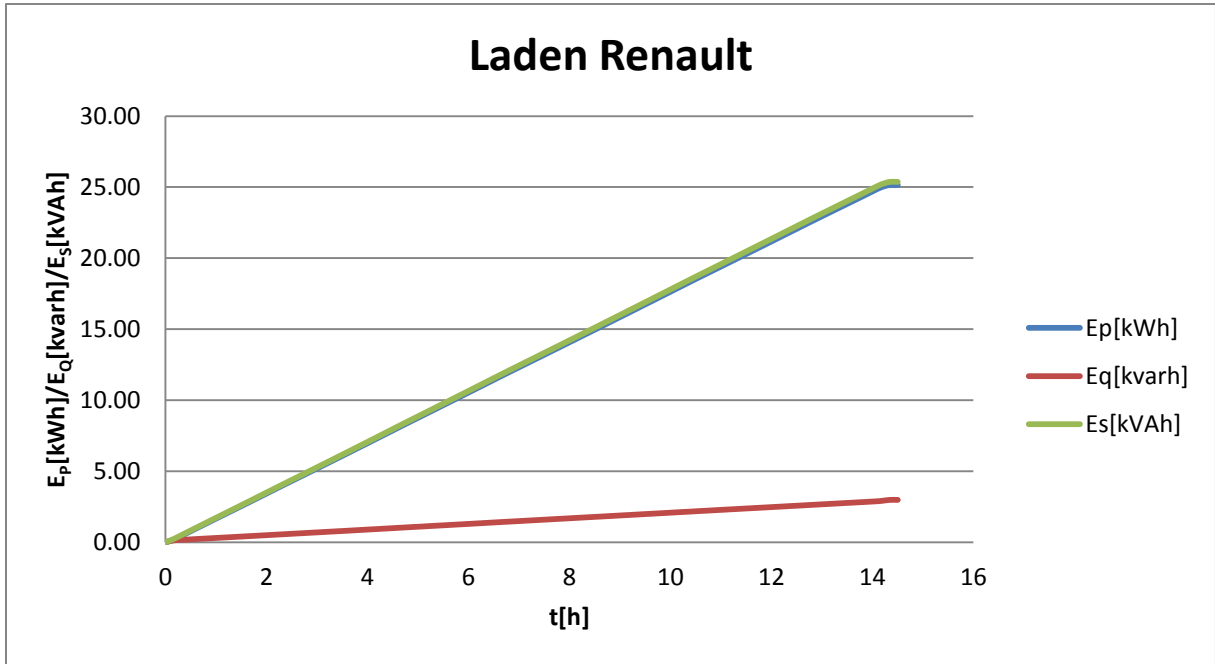


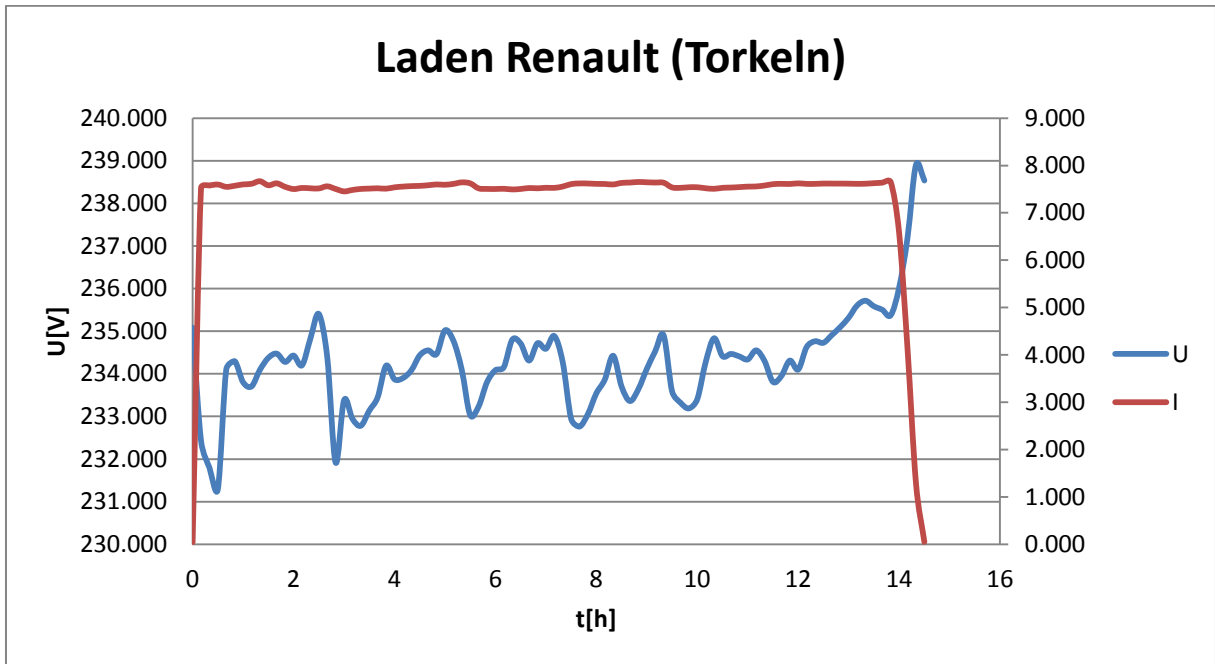
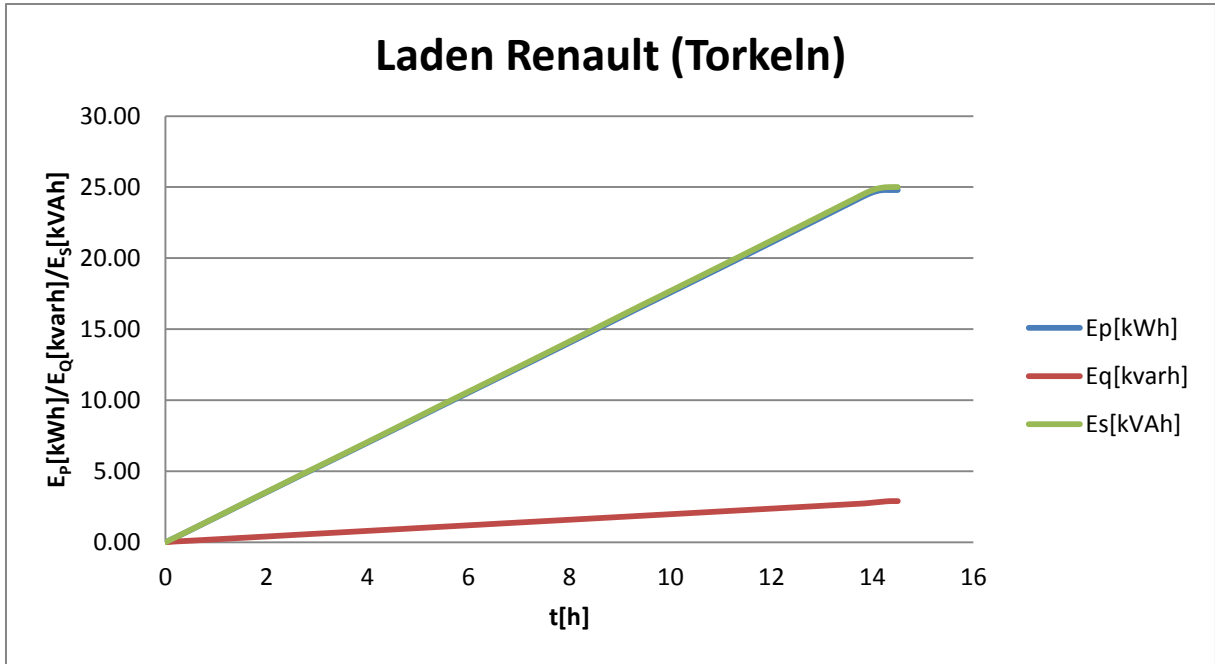
Vehicle: Peugeot iOn_cAN Date: 04.12.2013 C[Ah]: 40.8 E[kWh]: 13.465 Erec[kWh]: -0.001 P[kW]: 11.9

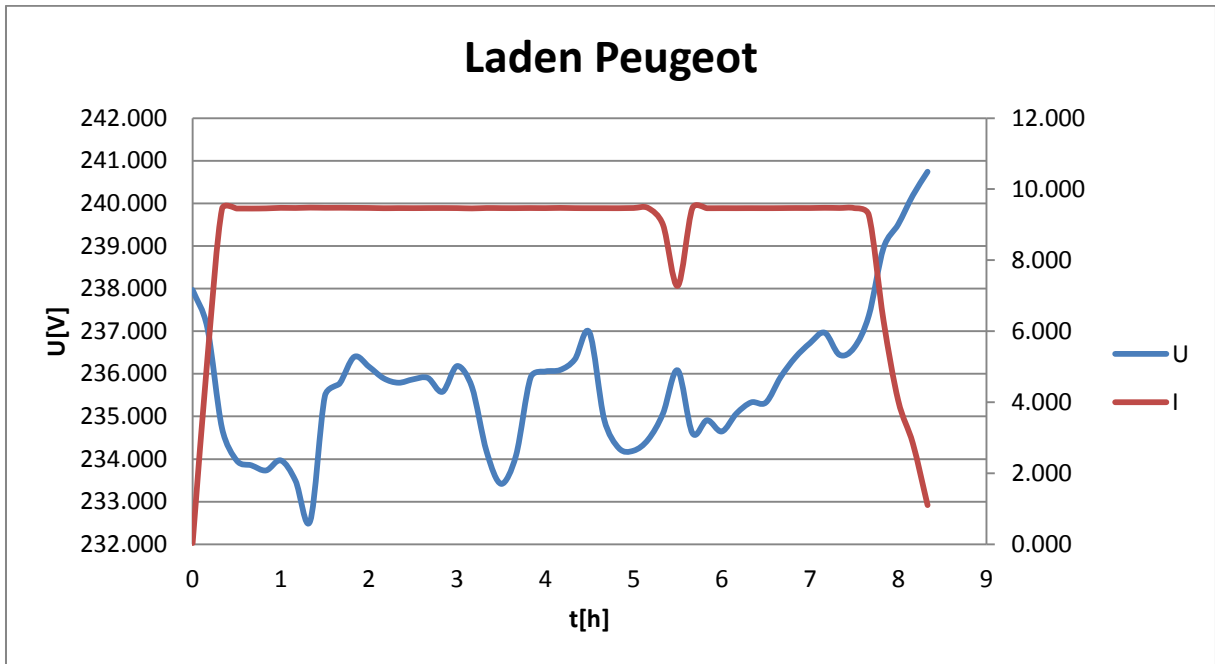
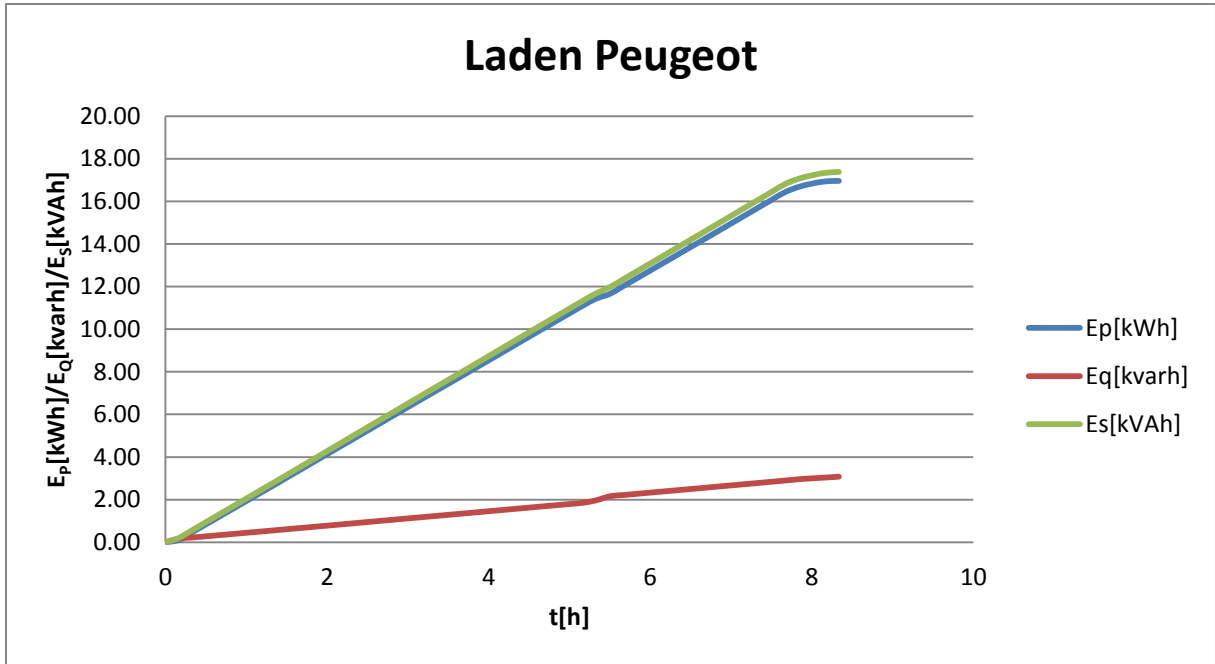


Dezember 2013: Laden AC-seitig











Im Auftrag des BFE

Modul 1: Sicherheit Li-Ion Batterien

EmobilitätBasel Begleitforschung E-Fahrzeuge

Mobility Solutions AG

Bern, 31. Dezember 2013

Mobility Solutions



Auftraggeber

Die Begleitforschung des Projektes *EmobilitätBasel* wurde durch das Bundesamt für Energie BFE finanziert.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Projekt der 2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel:

Das Projekt ist Teil der „2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel“, welche das Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt koordiniert. Es wird durch novatlantis – Nachhaltigkeit im ETH Bereich als Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis unterstützt.

Projektträger und Steuergruppe

Dominik Keller	Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt
Frank Panhans	IWB, Basel
Philipp Wälchli	Gemeinde Riehen
Simone Leicht	Mobility Solutions AG
Yvonne Siepen	IWB, Basel

Autoren Modul 1: Sicherheit Li-Ion Batterien

Michael Graf	Mobility Solutions AG
--------------	-----------------------

Mobility Solutions AG, Stöckackerstrasse 50, 3030 Bern

Kontakt: Michael Graf, michael.graf.1@post.ch

Leistungsträger Begleitforschung Emobilität Basel

Berner Fachhochschule, EMPA, Mobility Solutions AG, Sustainserv GmbH

Teilnehmende Organisationen

Besonderen Dank gilt den teilnehmenden Organisationen, welche das Projekt und die Datensammlung durch den Einsatz der Fahrzeuge in der Firmenflotte ermöglicht haben:

Amt für Umwelt und Energie Kanton Basel-Stadt

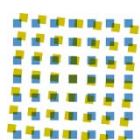
Gruner AG

IWB

Rapp Gebäudetechnik

Regioplan

Tschantré AG



sustainserv

Mobility Solutions AG
Stöckackerstrasse 50
3030 Bern

Telefon
+41 (0)58 338 20 86

Bericht über die Sicherheit von Li-Ion Batterien in Elektrofahrzeugen

Dokumentart	BE
Autor/in	Michael Graf
Ausgabestelle	ME MoS
Geltungsbereich	allgemein
Klassifizierung	Nicht klassifiziert
Version	V01.01
Ausgabedatum	08. Oktober 2013
Ersetzt Ausgabe vom	-

Prüfstelle	Freigabestelle	Datum	Visum
MoSAG, Leiter ME		08.10.2013	Gez. A. Haruksteiner
	MoSAG, Leiter ME	08.10.2013	Gez. A. Haruksteiner

Änderungskontrolle

Diese Seite zeigt den Änderungsstand dieses Dokumentes. Mit jeder Änderung erfolgt eine Neuausgabe.

Version	Überarbeitung	Ersteller	Datum
X01.00	Neues Dokument	Michael Graf MoS	24.09.2013
X01.01	Ergänzung Kap.3.3, 3.4	Michael Graf MoS	08.10.2013

Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage.....	3
2.	Die Lithium-Ionen Batterie.....	3
2.1	Lithium Eisenphosphat Batterie	5
2.2	Lithium Kobalt	6
2.3	Lithium Mangan	6
2.4	Gemischte Varianten.....	6
3.	Sicherheit	6
3.1	Gefahren	7
3.2	Sicherheitsmassnahmen	8
3.3	Lagerung	10
3.4	Transportsicherheit	11
4.	Batterie Testcenter	11
5.	Sicherheitsnormen.....	12
6.	Erfahrungen aus der Praxis.....	12
6.1	Beispiel externer Kurzschluss.....	13
6.2	Beispiel interner Kurzschluss.....	13
6.3	Beispiel Brand	14
7.	Stellungnahme zu Zwischenfällen mit Li-Ion Batterien	14
7.1	Batteriebrand Chevrolet Volt.....	14
7.2	Batteriebrände Laptops	14
7.3	Rauchentwicklung Boeing 787 Dreimaliger	14
7.4	Explosion Smartphone Batterie.....	15
7.5	Fahrzeugbrand Tesla Model S	15
8.	Fazit	15
9.	Quellenverzeichnis.....	16

1. Ausgangslage

In der Region Basel wurde mit dem Pilotprojekt „EmobilitätBasel“ ein Projekt lanciert um die Praxistauglichkeit und den Einfluss von äusseren Bedingungen auf die Elektromobilität zu untersuchen.

In der Pilotregion sind mittlerweile diverse gängige Fahrzeugtypen für verschiedene Einsatzzwecke unterwegs. Diese Fahrzeuge werden alle im Rahmen eines „Sorglos Paketes“ von der Mobility Solutions AG betreut und teilweise mittels einer Begleitforschung begleitet.

Bestandteil dieser begleitenden Massnahmen ist es auch bei gewissen Fahrzeugen periodisch die Leistungsfähigkeit und somit die „Gesundheit“ der Traktionsbatterien zu untersuchen.

Ein Hauptgrund dafür, dass sich die Elektromobilität erst heute durchzusetzen scheint, ist die Batterietechnologie. Früher waren diese oft zu schwer, zu unzuverlässig, zu gross, zu teuer, nicht langzeitfest, usw.

Erst die Lithium-Ionen basierten Batterietypen haben vor wenigen Jahren den gewünschten Erfolg gebracht. Ausschlaggebend sind vor allem die hohe Energiedichte, der fehlende Memory Effekt und der stetig fallende Preis. Möglich wurde dies aber auch nur durch die computergestützten Batterie Management Systeme (nachfolgend BMS genannt) welche den grössten Nachteil der Li-Ion Batterien, nämlich das sensible Verhalten einzelner Zellen in Bezug auf Über- oder Unterspannung, aushebeln.

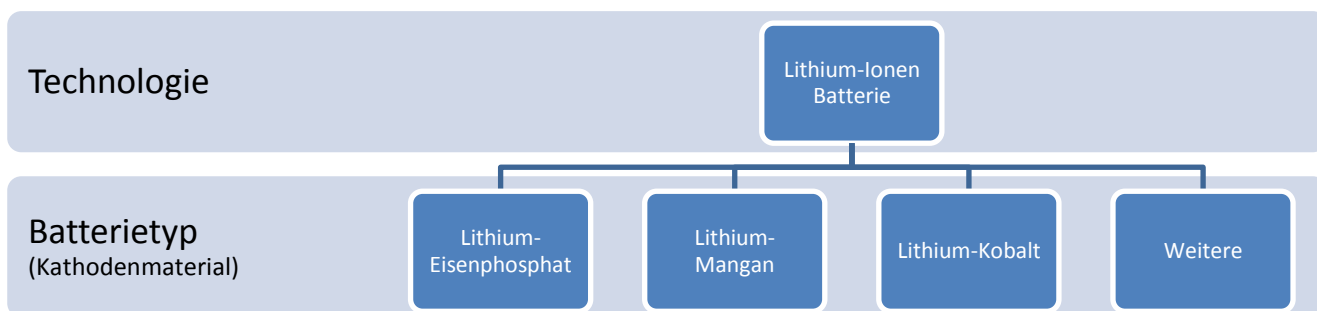
Dieser Bericht geht nun auf die Eigenheiten, die Alltagstauglichkeit und die Sicherheit der Li-Ion Batterien wie sie heute als Antriebsbatterie in Elektrofahrzeugen verwendet werden ein.

2. Die Lithium-Ionen Batterie

Lithium-Ionen Batterie ist ein Oberbegriff über unzählige Ausprägungen dieser Batterietechnologie. Diese unterscheiden sich hauptsächlich durch das Kathodenmaterial. Für die Anode wird in den meisten Fällen Graphit verwendet.

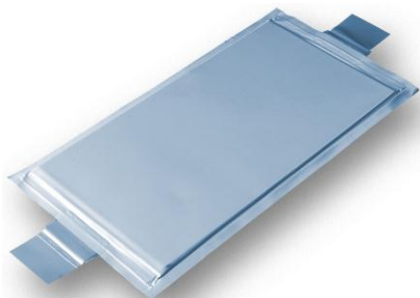
Da bei den meisten aktuell gebauten Elektrofahrzeugen mit Lithium-Eisenphosphat, Lithium-Mangan oder Lithium-Kobalt Batterien ausgestattet sind, konzentriert sich dieser Bericht auf diese drei Batterietypen, obwohl auf dem Markt noch unzählige andere Lithium-Batterietypen erhältlich sind.

Die wichtigsten Bestandteile einer solchen Batterie sind die Anode, die Kathode und der Elektrolyt wofür jeweils verschiedene Materialien in Frage kommen. Der Elektrolyt besteht aus einer nicht wässrigen, aber flüssigen Lösungsmittel-Legierung, da Wasser sehr heftig mit Lithium reagiert. Je nach Materialwahl und Kombination dieser drei Hauptkomponenten werden die Eigenschaften der Batterie bezüglich Spannung, Kapazität, Lebensdauer und Sicherheit massgeblich beeinflusst.



Ausgabestelle	ME MoS
Titel	Bericht über die Sicherheit von Li-Ion Batterien in Elektrofahrzeugen
Geltungsbereich	Intern
Klassifizierung	Nicht klassifiziert

Weiter können sich die Batteriezellen durch ihre Bauart (Coffee-Bag und Prismatisch = flach, Zylindrisch = rund) und die Materialien für die Separatoren unterscheiden.



Coffee-Bag Li-Ion Zelle

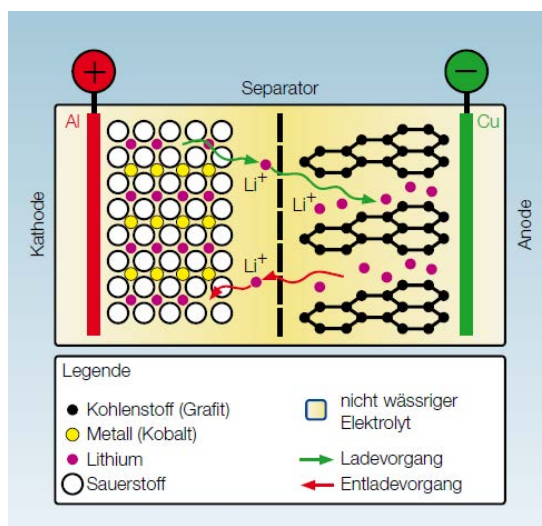


Zylindrische Li-Ion Zelle



Prismatische Li-Ion Zelle

Lithium-Ionen Batterie weisen im Vergleich zu herkömmlichen Batterien sehr hohe Kapazitäten bei vergleichsweise geringem Gewicht auf und ermöglichen somit erst eine akzeptable Reichweite bei Elektrofahrzeugen. Ein weiterer wichtiger Vorteil ist der eliminierte Memory-Effekt, welcher bei anderen Batterien die nutzbare Kapazität teilweise stark einschränkte.



Schema Li-Ion Batterie

Quelle: Wikipedia

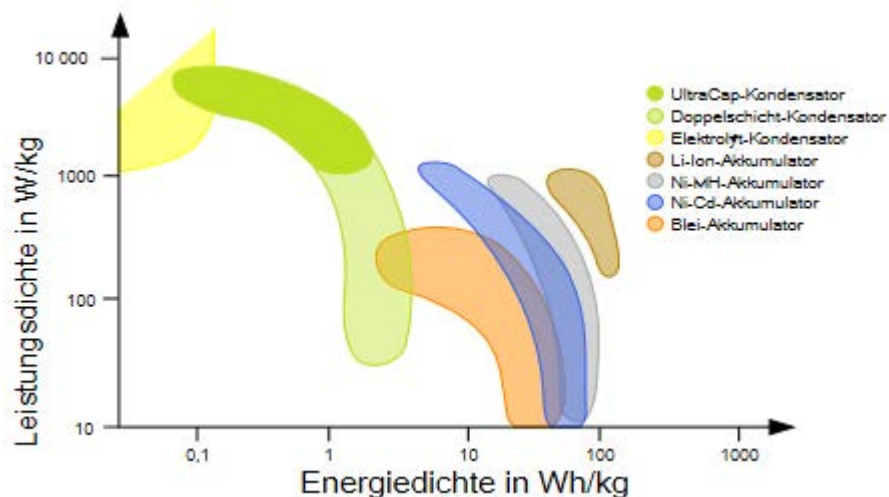
Bei Li-Ion Batterien wandern die Lithium-Ionen zwischen den beiden Elektroden hin und her. Konkret befinden sich diese im geladenen Zustand in der negativen Anode und im entladenen Zustand in der positiven Kathode. Beim Laden und Entladen der Batterie bewegen sich die Lithium-Ionen über den Elektrolyten durch den Separator hindurch.

Da die Batteriechemie einen grossen Einfluss auf die Eigenschaften und das Verhalten einer Batterie hat können nicht alle Aussagen pauschal auf alle Lithium basierten Batterietypen abgeleitet werden.

Allen Lithium Batterien ist jedoch gemeinsam dass sie:

- Eine hohe Energiedichte aufweisen
- Sehr präzise überwacht werden müssen (hochwertiges BMS)
- Über keinen Memory-Effekt verfügen
- Eine geringe Selbstentladung haben
- Eine lange Lebensdauer erreichen
- Hohe Entladeleistungen ertragen

Das unten stehende Diagramm zeigt wie sich die Lithium Ionen Technologie in Bezug auf Leistungsdichte und Energiedichte im Vergleich mit anderen Energiespeichersystemen behauptet. Sie verbindet den Vorteil einer im Vergleich zu anderen Batterietypen sehr hohen Energiedichte, was ein vergleichsweise geringes Gewicht garantiert, mit einer hohen Leistungsdichte. Letzteres bedeutet dass die Batterie hohe Ströme verarbeiten kann, dies ermöglicht einerseits das schnelle Aufladen und andererseits den Betrieb von leistungsintensiven Verbrauchern.



Charakteristik Li-Ion Batterien

Quelle: Wikipedia

In modernen Elektrofahrzeugen werden heute aufgrund ihrer Eigenschaften in der Regel folgende drei Lithium Batterietypen verbaut:

- Lithium Eisenphosphat(LiFePO₄)
- Lithium Kobalt (LiCoO₂)
- Lithium Mangan (LiMnO₂)

Übersichtstabelle Batterietypen

	Lithium-Eisenphosphat	Lithium-Mangan	Lithium-Kobalt
Kathodenmaterial	LiFePO ₄	LiMnO ₂	LiCoO ₂
Mittlere Spannung	3.3V	3.7 - 3.8V	3.6V
Energiedichte	95 - 140 Wh/kg	110 - 120 Wh/kg	110 - 190 Wh/kg
Zyklen Festigkeit	hoch	mittel	mittel
Temperaturstabilität	bis 250°C	bis 250°C	bis 150°C
Eigensicherheit	hoch	hoch	gering
Umweltverträglichkeit	hoch	hoch	gering
Schnellladefähigkeit	Ja	Ja	Nein

Quelle: BFH, Wikipedia

Die meisten Automobilhersteller konzentrieren sich heute aufgrund der mehrheitlich positiven und einfach zu handhabenden Eigenschaften auf Lithium-Eisenphosphat, Lithium-Mangan oder eine Kombination mehrerer Inhaltsstoffe.

2.1 Lithium Eisenphosphat Batterie

Der Lithium Eisenphosphat Batterie kommt aufgrund ihrer vielen positiven und gutmütigen Eigenschaften in der Elektromobilität eine grosse Bedeutung zu.

Dieser Batterietyp weist eine sehr hohe thermische Stabilität auf. Ein thermisches Durchgehen (sich selbst verstärkender wärme produzierender Prozess) gilt als nahezu ausgeschlossen. Es kann also nicht zum Brand

Ausgabestelle	ME MoS
Titel	Bericht über die Sicherheit von Li-Ion Batterien in Elektrofahrzeugen
Geltungsbereich	Intern
Klassifizierung	Nicht klassifiziert

kommen. Durch diese überlegenen Sicherheitsmerkmale reduziert sich der Aufwand für zusätzliche Sicherheitseinrichtungen erheblich, was wiederum den Kosten zu Gute kommt.

Als Nachteil dieser Technologie kann die im Vergleich zu anderen Lithium Batterie Typen etwas geringere Energiedichte gesehen werden. Diese liegt bei etwa 95 – 140 Wh/kg. Dies schlägt natürlich auf das Gewicht der Batterie.

Eine wichtige Eigenschaft der Lithium Eisenphosphat Batterie ist ihre Hochstromfähigkeit, sie bietet also eine hohe Leistungsdichte. Es können hohe Ströme von der Batterie gezogen werden.

Weiter verfügt die Lithium Eisenphosphat Batterie über eine höhere Lebensdauer als andere Lithium Batterien.

2.2 Lithium Kobalt

Lithium Kobalt ist die erste Zellchemie, welche für Lithium-Ionen Batterien verwendet wurde. Diese Technologie weist zwar eine sehr hohe Energiedichte von 110 – 190 Wh/kg auf, ist im Gegenzug dazu aber chemisch und thermisch relativ instabil. Bei einer Beschädigung kann es zu heftigen chemischen und thermischen Reaktionen kommen.

Kobalt ist ausserdem aus umwelttechnischen Gründen eher bedenklich.

Diese Tatsachen setzen bei diesem Batterietyp einen relativ hohen technischen Aufwand in Bezug auf notwendige Sicherheitsvorrichtungen voraus.

Aufgrund der teilweise negativen Eigenschaften von Lithium Kobalt Batterien wird diese Technologie in der E-Mobilität nur noch wenig verwendet.

2.3 Lithium Mangan

Die Lithium Mangan Batterie weist eine etwas geringere Energiedichte von 110 – 120 Wh/kg auf. Im Gegenzug ist diese Technologie kostengünstiger und chemisch stabiler als Kobalt basierte Batterien. Ausserdem ist Mangan ein sicheres und umweltverträgliches Kathodenmaterial.

2.4 Gemischte Varianten

Um die Vorteile verschiedener Kathodenmaterialien kombinieren zu können, werden heutige Batterien oftmals als Kombination aus verschiedenen Kathodenmaterialien entwickelt. So können optimale Kompromisse erzielt werden und die Batterien optimal an die geplanten Einsatzzwecke angepasst werden.

So ist heute zum Beispiel die Kombination aus Eisenphosphat und Mangan (LiFeMnPO₄) bei vielen Herstellern sehr beliebt. So kann zum Beispiel die hohe Zyklen Festigkeit von Eisenphosphat mit der tendenziell etwas höheren Zellenspannung von Mangan kombiniert werden.

3. Sicherheit

Die Sicherheit ist ein wichtiges Kriterium bei Batterien. Lithium-Ionen Batterien haben in der Vergangenheit im Zusammenhang mit brennenden und explodierenden Laptops und Mobil Telefonen immer wieder für negative Schlagzeilen gesorgt. Dabei muss aber festgehalten werden, dass hierbei oft Batteriezellen von minderwertiger Qualität und sehr einfach gehaltene BMS Systeme verwendet wurden. Die fehlerhaften Batterien wiesen Verunreinigungen in deren Inneren (Produktionsrückstände) auf, welche unter bestimmten Umständen zu internen Kurzschlüssen und somit zum thermischen Durchgehen, also einem Brand/Explosion, geführt haben.

Heutige Batterien welche als Energiespeicher für Elektrofahrzeuge verwendet werden, sind sehr aufwändig konstruiert und werden durch intelligente BMS Systeme akribisch überwacht. Hinzu kommen ausgeklügelte Systeme zur Temperaturregelung- und Überwachung. Die Gehäuse werden sehr robust konstruiert um mechanischen Einflüssen vorzubeugen und es werden Überdruckventile verbaut welche im Fehlerfall anfallende hohe Drücke abbauen können. Zusätzlich werden die Batterien beim Ausschalten der Zündung von allen externen Bauteilen getrennt, dasselbe passiert auch im Falle eines Unfalles mit Hilfe eines Crash Sensors.

All diese Massnahmen führen dazu dass eine Lithium-Ionen Batterie wie sie heute in Elektrofahrzeugen verbaut wird weder im alltäglichen Betrieb noch im Falle eines technischen Defektes oder eines Unfalles zu einer ernsthaften Gefahr werden kann.

Ausgabestelle	ME MoS
Titel	Bericht über die Sicherheit von Li-Ion Batterien in Elektrofahrzeugen
Geltungsbereich	Intern
Klassifizierung	Nicht klassifiziert

3.1 Gefahren

Nachfolgend sind die hauptsächlichen Gefahren beschrieben welche von Li-Ion Batterien ausgehen können. Bei modernen Akkus werden diese jedoch durch zahlreiche Sicherheitsmassnahmen eliminiert.

Es gilt zu beachten dass im Kraftstofftank eines konventionell angetriebenen Fahrzeuges eine viel grössere potenzielle Gefahr lauert als in einer Batterie. Der Energiegehalt eines einzigen Liters Benzin beträgt mit ~8.7kW/h rund die Hälfte einer durchschnittlichen (16 – 20 kW/h) Li-Ion Batterie in einem modernen Elektrofahrzeug. Hochgerechnet auf einen vollen Tank enthält ein konventionell angetriebenes Fahrzeug also ein vielfaches an Energie die im Fehlerfall freigesetzt werden könnte.

3.1.1 Mechanische Belastung

Durch mechanische Belastung kann es in den Zellen zu inneren Kurzschlüssen kommen. Durch solche Kurzschlüsse können hohe Temperaturen und Brände entstehen. Reaktionen können auch noch Stunden oder Tage nach einer Beschädigung auftreten, daher sollten die Batterien nach einem Unfall auf jeden Fall überprüft werden und im Zweifel ersetzt werden.

Solche Reaktionen werden als „thermisches Durchgehen“ bezeichnet, dabei wird durch das starke Erhitzen einer Zelle eine Kettenreaktion ausgelöst.

3.1.2 Chemische Reaktionen

Lithium, welches als hochreaktives Material gilt, ist bei Lithiumbatterien zwar nur als chemische Verbindung vorhanden. Trotzdem bestehen solche Batterien hauptsächlich aus leicht brennbaren Materialien. Brennbar ist vor allem der Elektrolyt, welcher zu einem grossen Teil aus Lösungsmitteln besteht. Dieser kann, je nach Zusammensetzung, bei hohen Temperaturen und Kontakt mit Sauerstoff in Brand geraten.

Eine brennende Batterie sollte niemals mit Wasser gelöscht werden, da Lithium Zellen heftig mit Wasser reagieren können. Eine in Brand geratene Batterie sollte nach Möglichkeit mit Sand, speziellen chemische Löschmitteln oder CO₂ gelöscht werden. Durch die Verwendung von CO₂ wird die Batterie einerseits gekühlt und andererseits wird dem Feuer der Sauerstoff entzogen. Wichtig dabei ist es die in Brand geratene Batterie zu kühlen, da sie sich sonst wieder selber entzünden kann.

3.1.3 Toxische Gefahren

Einige Bestandteile von Lithium Batterien, speziell Kobalt, können Vergiftungen beim Menschen hervorrufen. Deshalb ist davon abzuraten mit allfällig ausgelaufenen Flüssigkeiten in direkten Kontakt zu geraten und austretende Dämpfe einzusatmen.

Speziell zu erwähnen ist das Lithium selber ungiftig ist. Es wird in der Medizin sogar zu therapeutischen verwendet. Natürlich gilt auch hier, dass zu hohe Dosen gefährlich sein können.

3.1.4 Gefahren für die Umwelt

Bestandteile von Li-Ion Batterien können bei unsachgemässer Entsorgung einen belastenden Einfluss auf die Umwelt haben. Deshalb ist es sehr wichtig, dass auch an die fachgerechte Entsorgung, also an das Recycling gedacht wird. Auch die sogenannten „seltenen Erden“, wobei es sich um Rohstoffe handelt welche nur mit sehr hohem und umweltbelastendem Aufwand unter schwierigen Bedingungen abgebaut werden können, können durch fachgerechte Recycling Prozesse zurückgewonnen und wiederverwendet werden.

3.1.5 Thermische Belastung

Li-Ion Batterien reagieren typischerweise aufgrund ihres Zellenaufbaus sensibel auf hohe Temperaturen. Je nach Batterietyp kann dies in der Folge zu internen Kurzschlüssen führen. Um dies zu verhindern ist ein hochwertiges BMS System, welches Ströme, Spannungen und Temperaturen überwacht und das System bei kritischen Werten zuverlässig abschaltet, unabdingbar. Im Inneren der einzelnen Zellen bieten neuartige keramische und bei hohen Temperaturen selbst-isolierende Separatoren erhöhte Sicherheit.

3.1.6 Explosion

Eine explodierende Batterie kann die Folge von internen Kurzschlüssen und den daraus folgenden hohen Temperaturen in der Batterie sein. Dabei entstehen Gase welche hohe Drücke aufbauen und das Batteriegehäuse zum Bersten bringen können. Speziell bei Zylindrischer Zellenbauart besteht diese Gefahr sofern keine konstruktiven Schutzmassnahmen (Überdruckventile/Sollbruchstellen) für den Abbau der entstehenden Drücke sorgen können.

Ausgabestelle	ME MoS
Titel	Bericht über die Sicherheit von Li-Ion Batterien in Elektrofahrzeugen
Geltungsbereich	Intern
Klassifizierung	Nicht klassifiziert

3.1.7 Elektrischer Schlag

Li-Ion Batterien als Traktionsbatterien in Fahrzeugen weisen in der Regel Spannungen auf, welche im Hochvolt Bereich (200V – 800V) sind. Da es sich bei den Batterien um in sich geschlossene Systeme handelt und diese entsprechend isoliert vom Rest des Fahrzeuges verbaut werden, kann die Gefahr eines elektrischen Schlages ausgeschlossen werden.

Zudem sind alle stromführenden Kabel orange gekennzeichnet und werden beim Deaktivieren der Zündung oder im Falle eines Unfalles automatisch von der Batterie getrennt. Auch der Motor welcher beim Ausrollen noch Rekuperationsenergie abgeben könnte, wird deaktiviert.

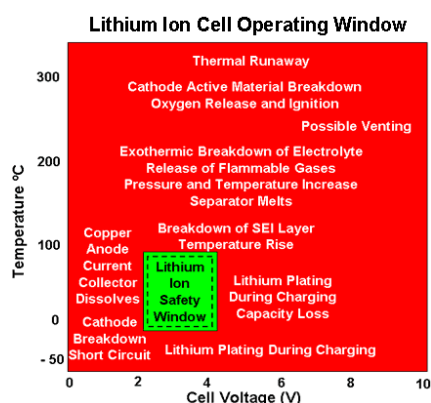
Für den Fall, dass ein Feuerwehreinsatz notwendig werden sollte, existieren von den Herstellern sogenannte Rettungskarten, auf welchen alle Stromführenden Kabel und Komponenten eingetragen sind. Damit wird vermieden, dass bei einem Rettungsversuch beim Durchschneiden eines Holmes nicht versehentlich ein Kurzschluss verursacht wird. Auf diese Dokumente haben die Rettungskräfte jederzeit Zugriff.

3.2 Sicherheitsmassnahmen

3.2.1 Batterie Management System

Da Lithium Batterien sehr empfindlich auf falsche Behandlung reagieren, ist ein qualitativ hochwertiges und korrekt an die Batterie angepasstes BMS Voraussetzung, um die Sicherheit und das Alterungsverhalten zu überwachen und zu steuern. Ohne ein solches elektronisch gesteuertes System, kann und darf eine Li-Ion Batterie nicht betrieben werden.

Sowohl Überladen als auch zu tiefes Entladen kann zur Folge haben dass sich Lithiumablagerungen an den Elektrodenoberflächen bilden können. Wenn diese Ablagerungen den Separator verletzen kann es zu Kurzschlüssen und in Folge zu Bränden kommen.



Fenster für sicheren Betrieb von Li-Ion Batterien

Quelle: Electropedia

Wie die Abbildung zeigt, steuert das BMS im Allgemeinen die Lade- und Entladeschlussspannung an jeder Batteriezelle. Diese darf abhängig von der genauen Batteriechemie, gewisse Werte auf keinen Fall über- oder unterschreiten. Eine weitere wichtige Aufgabe des BMS ist das „Balancing“ der einzelnen Zellen. Hierbei wird die Zellspannung jeder einzelnen Zelle an die anderen Zellen der Batterieeinheit angepasst. Dies ist wichtig für die Speicherkapazität der Batterie. Weiter werden vom BMS auch Strom- und Temperaturmessungen durchgeführt um sicherzustellen, dass das System bei kritischen Zuständen abgeschaltet wird und die Batterie somit vor Folgeschäden geschützt werden kann.

Diese BMS Systeme sind unter anderem dafür verantwortlich, dass Lithium Batterien erst seit wenigen Jahren die Serienreife erlangt haben und kommerziell genutzt werden können.

Der grosse Vorteil solcher BMS Systeme ist, dass der Nutzer eigentlich nichts mehr falsch machen kann im Umgang mit der Batterie. Die ganze Steuerung und Überwachung der Lade- und Entladevorgänge laufen voll automatisch ab.

Ausgabestelle	ME MoS
Titel	Bericht über die Sicherheit von Li-Ion Batterien in Elektrofahrzeugen
Geltungsbereich	Intern
Klassifizierung	Nicht klassifiziert

3.2.2 Temperatur Management

Im Allgemeinen bewegt sich der Temperaturbereich von Li-Ion Batterien zwischen -20 – 60°C. Die Betriebstemperatur ist ein sehr wichtiges Element bei Lithium basierten Batterien. Einerseits kann die Energieabgabe je nach Batterietemperatur sehr stark variieren und andererseits kann eine zu hohe Temperatur zur Zerstörung und bei einigen Kathodenmaterialien sogar zum Brand der Batterie führen. Um dies zu verhindern ist ein ausgeklügeltes Temperaturmanagement notwendig.

Zur Kühlung wird entweder eine Wasserkühlung oder eine Luftkühlung mit Fahrtwind oder Gebläsekühlung verwendet. Dies ist speziell bei hoher Leistungsabgabe über einen längeren Zeitraum, wie zum Beispiel bei einer Passfahrt, wichtig.

Um sicherzustellen, dass die Temperatur nicht zu stark sinkt, werden die Batteriegehäuse sehr gut isoliert und teilweise, speziell beim Laden, sogar mit einer Heizung auf Temperatur gehalten. Wenn das Fahrzeug mit dem Stromnetz verbunden ist kann die Batterie auf diese Weise temperiert werden um ein vollständiges Aufladen zu ermöglichen.

3.2.3 Interne Sicherheitsmechanismen

Um interne Beschädigungen und Kurzschlüsse durch thermisches Durchgehen zu verhindern, werden speziell bei den Separatoren welche die Elektroden elektrisch voneinander trennen, grosse Anstrengungen unternommen. So gibt es mittlerweile Separatoren welche sich bei bestimmten Temperaturen verändern und für Ionen undurchlässig werden. Andere werden mit Keramik beschichtet und sind so imstande Temperaturen von bis zu 700°C zu ertragen.

3.2.4 Batteriegehäuse

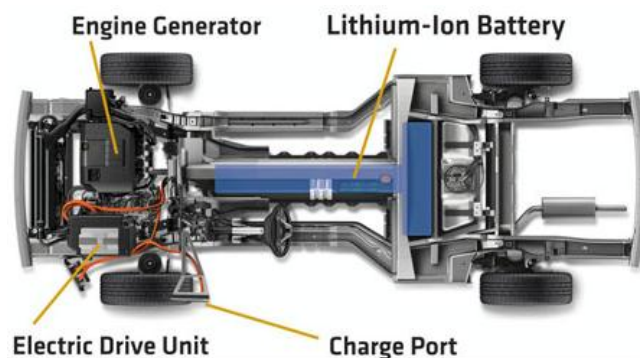
Bei einigen Batterietypen mit chemisch weniger stabilem Aufbau, wird häufig ein speziell stabiles Gehäuse verwendet. Je nach Hersteller kann dieses sogar regelrecht gepanzert sein, um das Eindringen von Fremdkörpern bei einem Unfall, oder Schäden durch einen schlagartigen Energieabbau im Inneren der Batterie zu verhindern.

Weiter werden die Gehäuse mit Überdruckventilen ausgestattet, welche den Aufbau von hohen Drücken, bei einer allfälligen Bildung von Gasen, verhindern. Auf diese Weise kann das Explodieren einer Batterie im Ansatz verhindert werden.

3.2.5 Anordnung der Batterie

Ein nicht zu vernachlässigender Punkt bei der Sicherheit ist der Ort wo die Batterie im Fahrzeug angeordnet wird. Dieser sollte bei einem Crash möglichst gut vor mechanischer Beschädigung geschützt sein. Nicht zu unterschätzen ist dabei die grosse Masse (teils mehrere hundert kg) einer Batterie. Diese kann bei einem Crash eine hohe Menge an Energie freisetzen.

Ein gutes Beispiel dafür ist der Opel Ampera/Chevrolet Volt. Bei diesen Fahrzeugen ist die Batterie T-förmig im Zentrum unter dem „Kardantunnel“ und unter der Rücksitzbank angeordnet. Dies ist der Bereich welcher von jeder Fahrzeugseite her am optimalsten geschützt wird. Crashtests haben belegt dass die Batterie so sehr sicher untergebracht ist und keine Gefahr darstellt.



Anordnung Elektrokomponenten Chevrolet Volt

Ausgabestelle	ME MoS
Titel	Bericht über die Sicherheit von Li-Ion Batterien in Elektrofahrzeugen
Geltungsbereich	Intern
Klassifizierung	Nicht klassifiziert

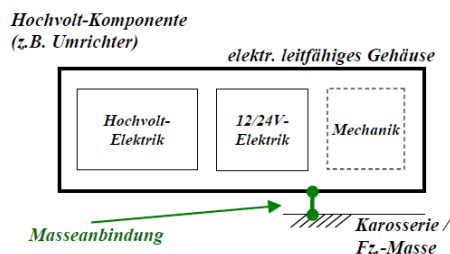
Auch Tesla (Model S) und BMW (i3) positionieren die Traktionsbatterie im Fahrzeugboden zwischen den beiden Achsen. Die kürzlich erzielten Spitzenresultate beim Crashtest mit dem Tesla S gibt dieser Konstruktionsart Recht.

3.2.6 Elektrische Trennung

Da Traktionsbatterien in Elektrofahrzeugen mit sehr hohen Spannungen arbeiten, ist einerseits das Unfallpotential beim Hantieren mit Spannungsführenden Teilen und andererseits das Schadenspotential bei Kurzschlüssen relativ hoch. Um diese Gefahren auszuschalten wird der Elektrische Stromkreis beim Ausschalten der Zündung und bei einem Unfall direkt an der Batterie unterbrochen. Somit befinden sich in solchen Situationen alle stromführenden Hochvolt-Bauteile stromlos. Die Ausschaltung erfolgt jeweils über das Deaktivieren der sogenannten Hauptschütze (Automatisch betätigte Ein/Aus Schalter). Im Falle eines Unfalles werden die Schütze durch das Signal des Crash Sensors betätigt.

3.2.7 Potentialausgleich

Um zu verhindern, dass die Hochvolt-Bauteile bei einem internen Kurzschluss oder einer beschädigten Isolation eine Gefahr für Mensch und das Fahrzeug werden kann, sind alle Gehäuse welche Bauteile des Hochvolt-Systems beinhalten, also auch die Traktionsbatterie, elektrisch miteinander verbunden. So wird sichergestellt, dass allfällige Fehlerströme kontrolliert über den Potentialausgleich und die Fahrzeugmasse abgeleitet werden können und sich nicht über andere Fahrzeugbauteile oder eine Person entladen können.



Schema Potentialausgleich Elektrofahrzeug

3.3 Lagerung

Zur Lagerung von Li-Ion Batterien existieren derzeit keine gesetzlichen Richtlinien, diese befinden sich jedoch in Erarbeitung.

Aufgrund der potenziellen Entzündungsgefahr von Lithium Batterien unter gewissen Umständen sind diese jedoch als Brandgut einzustufen. Für den Umgang mit Brandgut existieren gewisse Richtlinien welche hier beschrieben sind: http://www.praever.ch/de/bs/vs/richtlinien/Seiten/default_richtlinien.aspx

Im Allgemeinen lässt sich aber folgendes zur Lagerung von Li-Ion Batterien sagen:

- Batterien an einem kühlen und gut belüfteten Ort bei einem Ladestand (SOC) von 40 – 60% einlagern
- Lagerung bei Vollladung und hohen Temperaturen sollten vermieden werden.
- Vollständig entladene Batterien dürfen auf keinen Fall eingelagert werden. In diesem Fall können sich Metallablagerungen an den Elektrodenoberflächen bilden welche im ungünstigsten Fall den Separator durchstechen und somit zum internen Kurzschluss führen können. Durch einen solchen Kurzschluss kann die Batterie in Brand geraten.
- Keinesfalls dürfen defekte Batterien eingelagert werden, solche sind umgehend fachgerecht zu entsorgen.
- Lithium Batterien sind in klar abgetrennten Räumlichkeiten zu lagern
- Das aneinander stapeln grosser Mengen von Batterien ist zu vermeiden, da ein allfälliger Brand einer defekten Batterie so leicht auf die daneben Platzierten intakten Batterien übergreifen könnte.
- Es ist empfehlenswert die Batterien in Behältnissen zu lagern welche gegen aussen einen Brandschutz darstellen, zum Beispiel robuste Metallcontainer.
- Die örtliche Feuerwehr ist über die Lagerung von Li-Ion Batterien zu informieren.

Ausgabestelle	ME MoS
Titel	Bericht über die Sicherheit von Li-Ion Batterien in Elektrofahrzeugen
Geltungsbereich	Intern
Klassifizierung	Nicht klassifiziert

3.4 Transportsicherheit

Der Transport von Lithium Batterien ist in der im Kapitel 5 erwähnten **Norm (DIN EN 62281)** geregelt.

Ziel der Norm

Die Norm legt Prüfverfahren und Anforderungen für Lithium-Primär- und -Sekundärzellen / Batterien fest, um ihre Sicherheit beim Transport, ausgenommen zur Wiederverwertung oder zur Entsorgung, sicherzustellen.

Inhalt:

Typprüfung, Stichprobennahme und Wiederholungsprüfung

Transportprüfungen T1 – T8 (siehe unten UN Prüfhandbuch Abschnitt 38.3)

Die oben genannten Vorgaben zum Transport von Li-Ion Batterien sind international anerkannt und als gesetzlich verbindlich zu betrachten. Diese gelten als Voraussetzung, dass ein spezifischer Batterietyp sicher und legal transportiert werden kann.

UN Prüfhandbuch Abschnitt 38.3

Alle Lithiumbatterien werden seit 1.1.2009 als Gefahrgut der Klasse 9 eingestuft. Generelle Voraussetzung für die Zulassung von Lithium-Batterien / Zellen zum Transport ist der Nachweis der erfolgreichen Prüfungen gem. UN Manual "Test and Criteria" Teil III, 38.3

(<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/manual/Rev5/English/ST-SG-AC10-11-Rev5-EN.pdf>)

Bei diesen Tests werden diverse Gefahrensituationen simuliert, die beim Transport der Lithiumbatterien eventuell zu einem Brand oder einer Explosion des Akkus führen können. Die Tests müssen von einer qualifizierten Prüfeinrichtung mit entsprechend qualifiziertem Personal durchgeführt werden. Die Akkupacks müssen 8 Testkriterien in der vorgeschriebenen Reihenfolge bestehen, um das erforderliche Zertifikat für den Transport zu erhalten.

Umwelttests

- T1: Höhensimulation (Altitude Simulation)
- T2: Thermischer Test (Thermal Test)
- T3: Vibrationstest (Vibration Test)
- T4: Stosstest (Shock test)

Missbrauch/Misshandlung

- T5: Äusserer Kurzschluss-Test (External Short Circuit)
- T6: Schlagprüfung (Impact)
- T7: Überlasttest (Overcharge)
- T8: Erzwungene Entladung (Forced discharge)

Defekte Batterien dürfen generell NUR durch darauf spezialisierte Firmen transportiert werden. Der Transport solcher defekten Batterien bedingt die Beachtung und Verwendung von speziellen Sicherheitsregeln -und Behältnissen.

4. Batterie Testcenter

Im Jahr 2012 wurde im VDE Umwelttestzentrum in Offenbach (DE) ein spezieller Batterieprüfstand errichtet, welcher für Batterie- und Fahrzeughersteller offen steht. Ziel dieser Einrichtung ist es die Sicherheit von Lithium-Ionen Fahrzeugbatterien im Crashfall zu testen.

Der Prüfstand bietet die Möglichkeit Falltests aus einer Höhe von bis zu 10 Meter, mechanische Beschädigung durch einrammen von Fremdkörpern, Feuer tests, usw. durchzuführen. Weiter können Einwirkungen von äusseren

Ausgabestelle	ME MoS
Titel	Bericht über die Sicherheit von Li-Ion Batterien in Elektrofahrzeugen
Geltungsbereich	Intern
Klassifizierung	Nicht klassifiziert

Einflüssen wie Nässe, Salz, Staub, Erschütterungen, usw. geprüft werden. Die Einrichtung bietet sogar die Möglichkeit die Batterien während der Testroutine mit verschiedenen Leistungen zu Laden und zu entladen.

Solche Prüfeinrichtungen werden in Zukunft mithelfen die Batterietechnologie noch sicherer zu machen und die Akzeptanz dieser Technologie bei der Allgemeinheit zu festigen.

5. Sicherheitsnormen

Um den sicheren Betrieb von Lithium Batterien garantieren zu können existieren unzählige internationale Normen zur Prüfung solcher Batterien. Normen sind primär nur Empfehlungen und somit nicht verbindlich, erst wenn ein Gesetz oder eine Verordnung darauf hinweist erhalten diese müssen diese zwingend beachtet werden. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass sich alle namhaften Hersteller nach diesen Normen richten, ihre Produkte entsprechend entwickeln und auch prüfen und zertifizieren lassen.

Unabhängige Testcenter wie zum Beispiel der TÜV-Süd testen Batterien nach diesen genau vorgegebenen Prüfungsbedingungen. Nur so können weltweit einheitliche Prüfbedingungen und Sicherheitsstandards garantiert werden.

Anschliessend sind einige Beispiele solcher für die E-Mobilität relevanten Normen aufgeführt, die Aufzählung ist nicht abschliessend:

- **DIN EN 61959**
Akkumulatoren und Batterien mit alkalischem oder anderen nichtsäurehaltigen Elektrolyten – Mechanische Prüfungen für tragbare gasdichte Akkumulatoren und Batterien (2004)
- **DIN IEC 61960**
Akkumulatoren und Batterien mit alkalischem oder anderen nichtsäurehaltigen Elektrolyten – Lithium-Akkumulatoren und -batterien für tragbare Geräte (2008)
- **DIN IEC 62133**
Akkumulatoren und Batterien mit alkalischem oder anderen nichtsäurehaltigen Elektrolyten – Sicherheitsanforderungen für tragbare gasdichte Akkumulatoren und daraus hergestellte Batterien für die Verwendung in tragbaren Geräten (2008)
- **DIN EN 62281**
Sicherheit von Primär- und Sekundär-Lithiumbatterien beim Transport (2004)
- **DIN V VDE V 0510-11**
Sicherheitsanforderungen an Lithium-Sekundärbatterien für Hybridfahrzeuge und mobile Anwendungen (2008)

6. Erfahrungen aus der Praxis

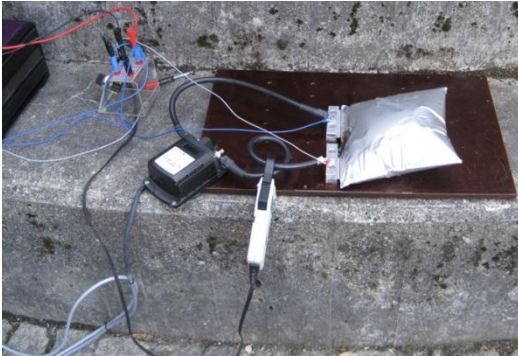
Praxiserfahrungen haben gezeigt, dass ein Elektrofahrzeug mit Li-Ion Batterien nicht gefährlicher ist als ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Dank den oben erwähnten Sicherheitsmassnahmen kann eine brennende Lithium Batterie weder explodieren noch endet ein Batteriebrand in einem Feuerinferno.

Dies beweisen etliche Versuche welche durch renommierte Forschungsanstalten durchgeführt wurden. Bei diesen Tests wurden Li-Ion Batterien Feuer ausgesetzt, spitze metallische Gegenstände eingeführt, interne sowie externe Kurzschlüsse provoziert und mechanisch verformt.

Es gilt zu beachten, dass die unten gezeigten Tests mit einzelnen Batteriezellen durchgeführt wurden und nicht mit kompletten Batterieblöcken wie sie normalerweise in Fahrzeugen verbaut werden. Somit fallen wichtige Schutzeinrichtungen wie zum Beispiel ein stabiles und isoliertes Batteriegehäuse und Kühlungssysteme weg. Die folgenden Szenarien sind also in der Realität sehr unwahrscheinlich.

Diverse Laborversuche beweisen dass ein Elektrofahrzeug nicht gefährlicher ist als ein herkömmlich angetriebenes Fahrzeug. Folgende Beispiele stammen aus Versuchen welche die Berner Fachhochschule mit verschiedenen Li-Ion Zellen durchgeführt hat.

6.1 Beispiel externer Kurzschluss



Externer Kurzschluss Li-Po Coffee-bag Quelle BFH

Extern verursachter Kurzschluss einer Li-Po Coffee-bag Zelle. Die Zelle erhitzt sich und bläht sich aufgrund der Gasbildung durch den Elektrolyt auf. In einem Batterieblock kann dieser Überdruck durch im Gehäuse integrierte Ventile abgebaut werden.

6.2 Beispiel interner Kurzschluss



Li-Po Coffee-bag Zelle Quelle BFH

Durch einschlagen eines Nagels verursachter interner Kurzschluss. Die verschiedenen Li-Ion Batterien reagieren unterschiedlich auf diese Belastung. Die Zellen entwickeln alle Wärme und bauen durch die Gasentwicklung des Elektrolyten im Inneren einen Druck auf.

Die brennende Li-Po Zelle konnte sich nur entzünden weil der verwendete Nagel speziell behandelt wurde damit dieser eine optimale elektrische Leitfähigkeit aufwies, bei einem ersten Versuch mit einem herkömmlichen Nagel konnte kein Brand provoziert werden.

Bei der Lithium Eisenphosphat Zelle läuft lediglich der Elektrolyt aus.



LiFePo4 Zelle Quelle BFH



Li-Po Zelle Quelle BFH

6.3 Beispiel Brand



LiFePo4 Zelle

Quelle BFH

Die Lithium Zellen wurden auf Benzinflamme gelegt welche eine Temperatur von ca. 600 – 800°C aufwies.

Daraus resultierten stark unterschiedliche Reaktionen der verschiedenen Lithium Zellen. Die Lithium Eisenphosphat Zelle explodierte nach einigen Minuten relativ heftig, was aber eher auf die mechanische Bauart der Zelle in Form eines Metallgehäuses ohne Überdruckventil zurückzuführen ist. Diese konnte den entstehenden Überdruck nicht abbauen.

Die anderen Batteriezellen produzierten zwar Gase welche sich beim Entweichen entzündeten, diese konnten aber entweder aufgrund verbauter Überdruckventile oder andere Sicherheitseinrichtungen nicht explodieren.

7. Stellungnahme zu Zwischenfällen mit Li-Ion Batterien

In letzter Zeit haben einige Zwischenfälle mit Li-Ionen Batterien die Medienwelt bewegt und bei der Bevölkerung zu Misstrauen gegenüber dieser Batterietechnologie geführt. Um hier etwas Licht ins Dunkle zu bringen wird nachfolgend zu den wichtigsten Fällen kurz Stellung genommen.

7.1 Batteriebrand Chevrolet Volt

Die bei der Einführung des Chevrolet Volt in den Medien verbreitete Aussage, dass das Fahrzeug nach einem Crashtest Feuer gefangen hat, ist zu relativieren. Da das Fahrzeug nach dem Crashtest mehrere Tage mit immer noch geladener Batterie in einer Lagerhalle gestanden hatte, konnte sich die Batterie durch einen internen mechanischen Defekt selber erhitzen und hat in Folge dessen Tage nach dem Crash angefangen zu brennen. Bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren wird nach Crashtests immer der Treibstofftank vollständig entleert, um solchen Ereignissen vorzubeugen. Es handelt sich bei diesem Fall somit um eine Fehlmanipulation beim Testabschluss. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei zukünftigen Tests die Vorkehrungen welche getroffen werden müssen, klar geregelt sein werden.

7.2 Batteriebrände Laptops

In den Jahren 2006 – 2008 wurde eine riesige Rückrufaktion von Laptop Akkus durchgeführt welche ca. 10 Millionen Batterien umfasste. Diese von Sony produzierten Li-Ion Batterien konnten, verursacht durch interne Verunreinigungen welche bei der Produktion angefallen sind, interne Kurzschlüsse produzieren und in Brand geraten. Der Grund der Probleme mit diesen Laptop Batterien war also ein Fehler im Produktionsprozess beim Zusammenbau der einzelnen Zellen.

7.3 Rauchentwicklung Boeing 787 Dreimaliger

Im Januar 2013 hat sich auf dem Flughafen Boston ein Zwischenfall mit einer Batterie an Bord einer Japanischen Boeing 787 ereignet. Dem Flugzeugtyp wurde danach die Starterlaubnis entzogen wurde. Die Batterie ist kurz nach der Landung in Brand geraten. Untersuchungen der nationalen Behörde für Transportsicherheit NTSB (USA) haben bis heute kein eindeutiges Ergebnis geliefert weshalb die Batterie in Brand geraten konnte.

Bei der Batterie der Boeing wurde zugunsten einer möglichst hohen Energiedichte (geringes Gewicht bei hohem Energiegehalt) eines der heikelsten Kathodenmaterialien, nämlich Lithium-Cobalt-Dioxin, eingesetzt. Solche Batterien reagieren im Fehlerfall sehr heftig und setzen eine Kettenreaktion welche sich auf alle benachbarten Zellen ausweitet aus.

Das Flugzeug hat mittlerweile aufgrund mehrerer technischer Sicherheitsmassnahmen die Flugerlaubnis wieder erhalten. Unter anderem wurde die vom BMS gesteuerte Ladeschlussspannung abgesenkt und die

Ausgabestelle	ME MoS
Titel	Bericht über die Sicherheit von Li-Ion Batterien in Elektrofahrzeugen
Geltungsbereich	Intern
Klassifizierung	Nicht klassifiziert

Entladeschlussspannung angehoben. Die einzelnen Zellen wurden besser gegeneinander abgekapselt um ein Übergreifen von Flammen zu verhindern und die Batterie wurde in ein feuerfestes und gegen aussen hin entlüftetes Gehäuse eingebaut. Seither sind keine Zwischenfälle mehr bekannt.

7.4 Explosion Smartphone Batterie

Im Juli 2013 explodierte ein Smartphone Akku in der Tasche einer jungen Schweizerin und verursachte dabei schwere Verbrennungen. Die vom Gerätehersteller bei der EMPA in Auftrag gegebene Untersuchung hat ergeben, dass es sich bei dieser Batterie offenbar nicht um ein Originalteil gehandelt hat.

Da eine Li-Ion Batterie immer durch ein passendes BMS System überwacht werden muss, ist es sehr wichtig bei Batterien und Ladegeräten sicherzustellen dass im Ersatzfall immer auf ein vom Hersteller autorisiertes Ersatzteil zurückgegriffen wird.

Heutzutage besteht die Problematik oftmals darin, dass billige und illegale Kopien aus Fernost auf den Markt kommen. Bei solchen „billigen“ Batterien und Ladegeräten kann es durch solche nicht kompatiblen Bauteile gefährlich werden.

7.5 Fahrzeugbrand Tesla Model S

Im Oktober 2013 kursierte ein YouTube Video mit einem im vorderen Teil brennenden Tesla Model S im Internet und diversen Medien. Erneut wurde die Sicherheit von Li-Ion Batterien in Frage gestellt. Eine umgehend an alle Tesla Eigner und die Medienvertreter veröffentlichte Stellungnahme von Tesla CEO Elon Musk ging sehr offen und ehrlich auf den Vorfall ein.

Das Fahrzeug fuhr mit vollem Tempo über ein grosses Metallteil welches kurz vorher von einem Anhänger auf die Fahrbahn gestürzt war welches sich aufgrund des Aufprallwinkels und des speziellen Form des Bauteils mit einer Wucht von 25 Tonnen durch die 6mm dicke Panzerplatte in das vorderste von 16 Batteriemodulen bohrte und einen internen Kurzschluss verursachte welcher schlussendlich zum Brand führte. Der Fahrer wurde durch das Fahrzeugeigene Alarmsystem gewarnt und konnte noch bevor ein Brand entstehen konnte unbeschadet aus dem Fahrzeug aussteigen.

Es ist wichtig zu erwähnen dass ich das Feuer auf den oben erwähnten vorderen Teil der Batterie konzentriert hat welcher durch die integrierten Feuersperren von den anderen 15 Batteriemodulen abgetrennt war.

Durch die gute Abschottung der Batterie vom Fahrzeuginnenraum wurde dieser zu keiner Zeit beschädigt oder vom Feuer in Mitleidenschaft gezogen.

Dadurch dass die Feuerwehr das Fahrzeug zum Löschen auf die Seite legte und Löcher in den hinteren, vom Feuer abgekapselten Teil der Batterie bohrte konnte sich das Feuer weiter ausbreiten. Erst diese Aktion führte zu den überall gezeigten spektakulären Bildern.

Derselbe Vorfall hätte bei einem herkömmlich angetriebenen Fahrzeug einen erheblich grösseren Schaden angerichtet. Ein normaler Benzintank besteht normalerweise aus dünnem Metallblech oder Kunststoff. Solche Tanks können leicht beschädigt werden und der darin enthaltene Treibstoff kann durch einen minimalen vom Aufprall entstehenden Funken umgehend in Brand geraten.

- [Stellungnahme Tesla](#)

8. Fazit

Jede Lithium-Ionen Batterie verhält sich aufgrund ihrer Bauart und Zellchemie unterschiedlich in kritischen Situationen. Genau wie beim Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten wie Benzin oder Diesel kommt es auch bei Batterien auf den fachgerechten Umgang an.

Da die heute verwendeten Batteriepakete in Elektrofahrzeugen so konstruiert sind, dass verschiedene, genau auf den jeweils verwendeten Batterietypen abgestimmte Sicherheitsmassnahmen zusammenspielen und die Systeme durch hochmoderne Batterie Management Systeme genauestens überwacht werden, sind diese Batterien äusserst

Ausgabestelle	ME MoS
Titel	Bericht über die Sicherheit von Li-Ion Batterien in Elektrofahrzeugen
Geltungsbereich	Intern
Klassifizierung	Nicht klassifiziert

sicher zu betreiben. Ein Elektrofahrzeug mit Li-Ion Batterie lässt aufgrund all dieser Massnahmen sogar bedeutend weniger Fehlmanipulationen zu als ein konventionell angetriebenes Fahrzeug.

Crashtests und Versuche in speziellen Labors beweisen dass auch im Fehlerfall, Szenarien wie sich spontan entzündende- und explodierende Batterien in der Praxis praktisch ausgeschlossen werden können.

Normen und speziell vorgeschriebene Test- und Zulassungskriterien garantieren dem Endnutzer ausgereifte, qualitativ hochwertige und sichere Produkte.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass eine Li-Ion Batterie kein besonderes Sicherheitsrisiko darstellt und somit im Strassenverkehr problemlos eingesetzt werden kann.

9. Quellenverzeichnis

- BFH – Bericht über Blei-Säuren und Lithium-Ionen Batterien 2009
- BFH – Handout Sicherheitsaspekte Lithium Akkus
- BFH – Sicherheitsaspekte von Hybridbatterien 2011
- SEV Bulletin – Lithiumionen-Batterien als Speicher für Elektrofahrzeuge 2009
- Dekra – Lithium-Ionen-Batterien stellen in Brandversuchen Sicherheit unter Beweis – 2012
- Uni Regensburg - Elektrochemische Charakterisierung von Elektrolyten und Elektroden für Lithium-Ionen-Batterien – 2010
- MoS – Remarketing-Module Oxygen E-Scooter – Fokus 2.Life Einsatz Batterien - 2013
- [UN – Recommendations Transport of dangerous goods – 2009](#)
- Internetrecherche – Diverse News
- Wikipedia
- [Electropedia](#)

Im Auftrag des BFE

Modul 2: Fahrtenbuch

EmobilitätBasel Begleitforschung E-Fahrzeuge

Mobility Solutions AG

Bern, 31. Dezember 2013

Mobility Solutions



Auftraggeber

Die Begleitforschung des Projektes *EmobilitätBasel* wurde durch das Bundesamt für Energie BFE finanziert.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Projekt der 2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel:

Das Projekt ist Teil der „2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel“, welche das Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt koordiniert. Es wird durch novatlantis – Nachhaltigkeit im ETH Bereich als Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis unterstützt.

Projektträger und Steuergruppe

Dominik Keller	Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt
Frank Panhans	IWB, Basel
Philipp Wälchli	Gemeinde Riehen
Simone Leicht	Mobility Solutions AG
Yvonne Siepen	IWB, Basel

Autoren Modul 3: Fahrtenbuch

Michael Graf	Mobility Solutions AG
--------------	-----------------------

Mobility Solutions AG, Stöckackerstrasse 50, 3030 Bern

Kontakt: Michael Graf, michael.graf.1@post.ch

Leistungsträger Begleitforschung Emobilität Basel

Berner Fachhochschule, EMPA, Mobility Solutions AG, Sustainserv GmbH

Teilnehmende Organisationen

Besonderen Dank gilt den teilnehmenden Organisationen, welche das Projekt und die Datensammlung durch den Einsatz der Fahrzeuge in der Firmenflotte ermöglicht haben:

Amt für Umwelt und Energie Kanton Basel-Stadt

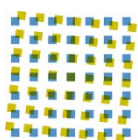
Gruner AG

IWB

Rapp Gebäudetechnik

Regioplan

Tschantré AG




sustainserv

Reparaturlog Begleitforschung Basel

Typ	Fz. Nr.	Schild	Einsatzort	Rechnung	Rechnungsdatum	KM	Stand	Kreditor	Betrag	Position	Reifen	Allgemeine Rep.	Wartung	Garantierep	Liegenbleiber	Unfall / Parkrempler	Zubehör	Defekt Elektroantrieb	Begleitforschung/Logger				
Peugeot i-On	205253	BS 59270	AUE Basel	2000133756	22.09.2011	20	Pneu Egger Münchenstein	Fr. 570.25	4 neue Winterreifen		X												
				29057	08.12.2011	3'493	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 139.55	4 Reifen wechseln		X												
				22090040	03.01.2012	3'475	Löwen Garage Bern	Fr. 835.40	Logger einbauen													X	
				29879	04.05.2012	5'301	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 415.30	Reifen montieren, Service	X	X												
				31000	06.11.2012	7'731	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 139.55	Reifen wechseln	X													
				2000308244	13.02.2013	9'143	Pneu Egger Münchenstein	Fr. 132.20	1 neuer Winterreifen	X													
				31594	13.02.2013	9'143	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 39.10	Reifen v.l. ersetzen, defekt	X													
				32164	17.05.2013	11'013	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 633.10	Reifen montieren, Service	X	X												
				32546	29.07.2013	12'100	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 318.95	Panne, Batterie ersetzt								X						
				32709	13.09.2013	12'525	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 245.60	Panne, Batterie Leer - Logger								X					X	
				33036	30.10.2013	13'021	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 146.30	Reifen montieren	X													
				Peugeot i-On	205252	BS 71018	IWB Basel	2000133757	22.09.2011	20	Pneu Egger Münchenstein	Fr. 570.25	4 neue Winterreifen		X								
								28732	12.11.2011	3'656	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 142.25	4 Reifen wechseln	X									
29865	03.05.2012	6'443	Senn Auto AG Münchenstein					Fr. 352.30	4 Reifen wechseln, Service, KDM Stg. Bluetooth	X	X	X											
31109	13.11.2012	9'014	Senn Auto AG Münchenstein					Fr. 141.85	4 Reifen wechseln	X													
32402	25.06.2013	11'992	Senn Auto AG Münchenstein					Fr. 624.80	4 Reifen wechseln, Service, KDM Software	X	X	X											
33097	25.10.2013	14'167	Senn Auto AG Münchenstein					Fr. 139.55	4 Reifen wechseln	X													
Peugeot i-On	205251	BS 71021	IWB Basel					2000133758	22.09.2011	20	Pneu Egger Münchenstein	Fr. 570.25	4 Winterreifen		X								
				28733	12.11.2011	3'638	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 139.55	4 Reifen montieren	X													
				1658047	26.03.2012	5'593	Desa Autoglas	Fr. 270.00	Rep. Fahrzeugscheibe								X						
				29884	03.05.2012	6'174	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 416.55	4 Reifen montieren, Service	X	X												
				30545	03.09.2012	8'091	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 141.70	4 Reifen montieren	X													
				31413	03.01.2013	8'900	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 181.45	Panne, Batterie leer								X						
				31816	02.04.2013	11'411	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 955.85	Panne, Service, 4 Reifen mont.	X	X	X									X		
				32060	24.04.2013	11'680	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 480.75	Panne, Fahrzeug im Notlauf								X				X		
				2059925	06.06.2013	11'637	Garage Keigel	Fr. 1'388.65	Stossstange v.R. rep.								X						
				32717	16.09.2013	13'598	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 139.55	4 Reifen montieren	X													
				Peugeot i-On	206327	BS 78428	Regioplan Base	2000133759	22.09.2011	20	Pneu Egger Münchenstein	Fr. 570.25	4 Winterreifen		X								
28577	10.10.2011	1'228	Senn Auto AG Münchenstein					Fr. 297.40	4 Reifen montieren, Lenkgeometrie	X	X												
28611	08.11.2011	1'228	Senn Auto AG Münchenstein					Fr. 302.40	Sitzschiene verlängern - Kundenwunsch												X		
30270	05.07.2012	1'412	Senn Auto AG Münchenstein					Fr. 139.55	4 Reifen montieren	X													
31294	03.12.2012	9'440	Senn Auto AG Münchenstein					Fr. 496.25	4 Reifen montieren, Service, Wassereintritt	X	X	X											
32658	20.08.2013	14'794	Senn Auto AG Münchenstein					Fr. 806.20	Service, KDM, Stossstange h.l. befestigen	X	X	X											
33448	20.12.2013	16'497	Senn Auto AG Münchenstein					Fr. 52.20	Reifen h.R. rep.	X													
Peugeot i-On	205249	BS 15096	Tschantre Base	2000133760	22.09.2011	20	Pneu Egger Münchenstein	Fr. 570.25	4 Winterreifen		X												
				28595	24.10.2011	2'660	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 141.75	4 Reifen montieren	X													
				2000170848	26.11.2011 ? 20		Pneu Egger Münchenstein	Fr. 161.10	1 Neuer Reifen montieren	X													
				29651	11.04.2012 ?		Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 139.55	4 Reifen montieren	X													
				30064	09.05.2012	5'404	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 303.25	Service						X								
				30906	19.10.2012	8'643	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 175.55	4 Reifen montieren	X													
				31053	07.11.2012	8'988	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 151.50	Panne, Fehlermeldungen wegen Datalogger									X			X		
				31931	18.04.2013	11'702	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 164.25	4 Reifen montieren	X													
				32148	13.05.2013	11'954	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 491.60	atterie leer, ern., Schlüssel neu anlernen		X	X											
				32695	23.08.2013	13'431	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 24.45	KDM Motorsoftware							X							
				32937	24.09.2013	14'478	Senn Auto AG Münchenstein	Fr. 766.65	4 Reifen montieren, Service	X	X												

Fazit:
Keine Elektroantriebsspezifischen Probleme
12V Batterieprobleme sind vermutlich auf die für das Projekt verbauten Datenlogger zurückzuführen
Keine Liegenbleiber aufgrund leerer Antriebsbatterie



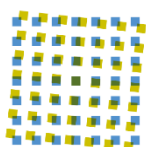
Im Auftrag des BFE

Modul 3: Kundenakzeptanz

EmobilitätBasel Begleitforschung E-Fahrzeuge

Sustainserv GmbH

Zürich, 17. Dezember 2014



sustainserv

Your Partner in Sustainability

Auftraggeber

Die Begleitforschung des Projektes *EmobilitätBasel* wurde durch das Bundesamt für Energie BFE finanziert.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Projekt der 2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel:

Das Projekt ist Teil der „2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel“, welche das Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt koordiniert. Es wird durch novatlantis – Nachhaltigkeit im ETH Bereich als Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis unterstützt.

Projektträger und Steuergruppe

Dominik Keller	Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt
Frank Panhans	IWB, Basel
Philipp Wälchli	Gemeinde Riehen
Simone Leicht	Mobility Solutions AG
Yvonne Siepen	IWB, Basel

Autoren Modul 3: Kundenakzeptanz

Simon Burkart, Consultant bei Sustainserve

Matthias Egli, Senior Consultant bei Sustainserve

Sustainserve GmbH, Gartenstrasse 16, 8002 Zürich

Kontakt: Matthias Egli, matthias.egli@sustainserve.com

Leistungsträger Begleitforschung Emobilität Basel

Berner Fachhochschule, EMPA, Mobility Solutions AG, Sustainserve GmbH

Teilnehmende Organisationen

Besonderen Dank gilt den teilnehmenden Organisationen, welche das Projekt und die Datensammlung durch den Einsatz der Fahrzeuge in der Firmenflotte ermöglicht haben:

Amt für Umwelt und Energie Kanton Basel-Stadt

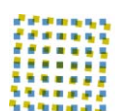
Gruner AG

IWB

Rapp Gebäudetechnik

Regioplan

Tschantré AG



sustainserve

Zusammenfassung

Bei der Diskussion um alternative Antriebe zur Sicherung der künftigen Mobilität wird in die Elektromobilität grosse Hoffnung gesetzt. Verschiedene Fahrzeughersteller vertreiben bereits Serienfahrzeuge mit rein elektrischem Antrieb. Der Kanton Basel-Stadt will die Bevölkerung für dieses Thema sensibilisieren und hat deshalb im Rahmen der «2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel» ein Pilotprojekt zum Test von Elektrofahrzeugen gestartet.

2011 wurde sechs teilnehmenden Organisationen in Basel-Stadt je ein Elektrofahrzeug zur Verfügung gestellt, um diese im Alltag zu testen. Mit den jeweiligen Entscheidungsträgern der teilnehmenden Organisationen wurden Ende 2012 Interviews zur Nutzung und Akzeptanz der Fahrzeuge durchgeführt. In Ergänzung wurden in den gleichen Organisationen Online-Fragebögen an die Fahrzeugnutzer verschickt, um die bisherige Erfahrung in der Nutzung des Elektrofahrzeugs zu erfassen. Um das langfristige Nutzerverhalten zu untersuchen, wurden fast zwei Jahre später nochmals Interviews der Entscheidungsträger und Befragungen der Fahrzeugnutzer durchgeführt.

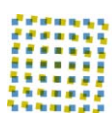
Die Zufriedenheit mit dem Projekt kann als hoch eingeschätzt werden. Die meisten Nutzer waren positiv von den Elektrofahrzeugen überrascht. Eine anfängliche Skepsis wurde in den meisten Fällen nicht bestätigt sondern durch gute Erfahrungen aus dem Weg geräumt. Vor allem die Fahreigenschaften sind den Nutzern positiv aufgefallen.

Kritisch angemerkt worden sind insbesondere die geringe Reichweite und das Aufladen der Batterie. Die Reichweite hat allerdings in der Regel zu keinen Problemen geführt, da vor allem kurze Distanzen gefahren wurden. Sobald aber mittlere oder grosse Distanzen zurückgelegt werden mussten, wurde die Reichweite zu einem nicht zu vernachlässigenden Thema.

Gesamthaft betrachtet haben sich die Elektroautos im Alltagseinsatz bewährt, insbesondere da die Fahrzeuge primär für den Kurzstreckeneinsatz im städtischen Umfeld genutzt wurden. Wenn die Elektrofahrzeuge in einem Fahrzeug-Pool genutzt wurden, konnte bei grösseren Strecken entsprechend auf Fahrzeuge mit anderen Antrieben ausgewichen werden, weshalb viele der Nutzer die Reichweite als akzeptable Einschränkung wahrgenommen hatten. Die limitierte Reichweite stellt dennoch eine wahrnehmbare Einschränkung dar, da die Ladeinfrastrukturen für Langstreckenfahrten derzeit noch als ungenügend erachtet werden.

Inhalt

1	EmobilitätBasel	1
	«Sorglospaket» für Firmen und Verwaltungen	1
	Schlussbericht	1
	Unterschiede zwischen der ersten und zweiten Befragung	1
2	Firmenprofil.....	2
3	Motivation und Erwartungen.....	2
3.1	Motivation	2
3.2	Erwartungen	3
4	Nutzungsverhalten.....	4
4.1	Verwendungszweck.....	4
4.2	Distanz.....	4
4.3	Substitution anderer Verkehrsmittel	5
5	Zufriedenheit und Akzeptanz.....	5
5.1	Gesamteindruck.....	5
5.2	Zufriedenheit mit Fahrleistungen	6
	Reichweite	6
	Geschwindigkeit.....	6
	Beschleunigung	7
	Lenkverhalten	7
5.3	Komfort	7
5.4	Ladevorgang.....	8
	Dauer des Ladevorgangs	8
	Handling der Ladestation.....	8
	Verfügbarkeit von externen Ladestationen.....	9
5.5	Sicherheit.....	9
5.6	Störungen	9
5.7	Unterschiede zwischen Sommer und Winter	10
6	Nutzen des Projekts	10
7	Anhang	11
7.1	Methode.....	11
7.2	Fragebogen	12



1 EmobilitätBasel

Bei der Diskussion um alternative Antriebe zur Sicherung der künftigen Mobilität wird in die Elektromobilität grosse Hoffnung gesetzt. Verschiedene Fahrzeughersteller vertreiben bereits Serienfahrzeuge mit rein elektrischem Antrieb. Der Kanton Basel-Stadt will die Bevölkerung für dieses Thema sensibilisieren und hat deshalb im Rahmen der «2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel» ein Pilotprojekt zum Test von Elektrofahrzeugen gestartet.

«Sorglospaket» für Firmen und Verwaltungen

Für Unternehmen und Verwaltungen wurde ein Elektrofahrzeug mit «Sorglospaket» angeboten: Die Kundin oder der Kunde bezahlt einen fixen monatlichen Betrag, der aufgrund einer Gesamtlaufzeit von vier Jahren und einer vereinbarten Kilometerleistung berechnet wird. In dieser Pauschale inbegriffen ist das komplette Full-Service-Flottenmanagement durch die Mobility Solutions AG: Förderung, Immatrikulation, Fahrzeugauslieferung, Verkehrssteuer, Versicherungen (Haftpflicht und Vollkasko), Service, Reparaturen, Reifenersatz/-wechsel, Pannendienst, Schadenmanagement sowie die Autobahnvignette (für PW). Das Risiko eines allfälligen Batterieausfalls nach der Garantiedauer sowie des Fahrzeugrestwertes wird ebenfalls von der Mobility Solutions AG übernommen.

Als einzige variable Kosten sind die direkten Stromkosten für den Betrieb des Fahrzeuges nicht im «Sorglospaket» enthalten. Damit die Fahrzeuge emissionsfrei betrieben werden können, wird im «Sorglospaket» der benötigte Ökostromanteil über Zertifikate eingerechnet. Die Zertifikate werden nicht benötigt falls der Kunde bereits Ökostrom bezieht.

Schlussbericht

Das Projekt EmobilitätBasel ist in vier Teilmodule unterteilt. Modul 1 und 2 beziehen sich auf rein technische Daten zum Fahrzeug, der Batterie und dem Betrieb des Fahrzeuges. Im Modul 3 wird eine Akzeptanzuntersuchung der Kunden und Entscheidungsträger vorgenommen. Das Modul 4 ist eine Synthese aus den Modulen 1 bis 3. Das heisst, die Interpretation der Zusammenhänge zwischen den drei Modulen wird im Synthesebericht beschrieben. Der Schlussbericht zu Modul 3 fokussiert auf die Zufriedenheit der Kunden des «Sorglospakets» und der Fahrzeugnutzer. Ziel ist, mit aussagekräftigen Daten zur Kundenzufriedenheit die technisch orientierten Forschungsaspekte zu ergänzen.

Dazu wurde Ende 2012 mit Entscheidungsträgern (i.d.R. Flottenmanager) der insgesamt sechs teilnehmenden Organisationen ein Interview durchgeführt. In Ergänzung wurden in den gleichen Organisationen Online-Fragebögen an die Fahrzeugnutzer verschickt, um die bisherige Erfahrung in der Nutzung des Elektrofahrzeugs zu erfassen. Um das langfristige Nutzerverhalten zu untersuchen, wurde fast zwei Jahre später (August 2014) ein zweites Interview mit den Entscheidungsträgern und eine zweite Befragung der Fahrzeugnutzer durchgeführt und ausgewertet. Beide Fragebogen wurden nur an Personen versendet, welche die Elektrofahrzeuge regelmässig genutzt haben. Da der Versand zum Teil intern geschehen ist, kann nicht abgeschätzt werden, wie viele Nutzer den Fragebogen erhalten haben. Bei der ersten Befragung hatten 32 Fahrzeugnutzer teilgenommen und bei der zweiten Befragung 37 (9 Personen haben bei beiden Befragungen teilgenommen). Die nachfolgenden Ergebnisse beinhalten jeweils die Resultate aller 69 Teilnehmer der beiden Befragungen. Detaillierte Informationen zur Erhebung sind im Anhang aufgeführt.

Unterschiede zwischen der ersten und zweiten Befragung

Das Ergebnis der zweiten Befragung war fast identisch mit der ersten Befragung. Die Einstellung zu Elektrofahrzeugen scheint stabil zu sein, was sich in den sehr kleinen Abweichungen der Antworten von der ersten zur zweiten Befragung gezeigt hat. Aufgrund der konstanten Antworten zwischen der ersten

und zweiten Befragung, wurde auf eine Analyse zwischen den beiden Befragungen für die einzelnen Aspekte verzichtet.

2 Firmenprofil

In den teilnehmenden Organisationen sind die Fahrzeugflotten, in denen das Elektrofahrzeug integriert ist, unterschiedlich gross. So hat Regioplan nur einen PW (Peugeot iOn) im Firmenfahrzeugpool und Rapp Gebäudetechnik zwei (Dieselfahrzeug und Opel Ampera). Das Amt für Umwelt und Energie ist mit einer Flotte von 8 Fahrzeugen bereits etwas grösser. Die IWB, Gruner AG und Tschantré besitzen von den befragten Organisationen die grössten Fahrzeugpools: IWB 230 Fahrzeuge (davon 143 Erdgasfahrzeuge), Gruner AG 150 Fahrzeuge (mehrheitlich Hybridfahrzeuge), Tschantré 55 Fahrzeuge (Benzin-, Diesel- und Erdgasfahrzeuge).

Tabelle 1: Fahrzeugmodelle der teilnehmenden Organisationen

Firma	Fahrzeugmodell	Anzahl
Amt für Umwelt und Energie Kanton Basel-Stadt	Peugeot iOn	1
Gruner AG	Mitsubishi i-MiEV	1
Industrielle Werke Basel IWB	Peugeot iOn	2
Rapp Gebäudetechnik	Opel Ampera	1
Regioplan	Peugeot iOn	1
Tschantré AG	Peugeot iOn	1

Je grösser die Flotte, desto stärker ist die Anbindung der Flottenzusammensetzung an die Gesamtunternehmensstrategie und desto mehr Daten werden zur Flotte erhoben. Eine Flotten- oder Mobilitätsstrategie gibt es bereits bei einigen Organisationen. Die Gruner AG hat eine Mobilitätsstrategie und beschafft ausschliesslich zwei Fahrzeugtypen (Škoda Octavia und Toyota Yaris Hybrid), lässt die Nutzung von Privatfahrzeugen zu und finanziert die ÖV-Nutzung mit. Die Tschantré AG hat ein Mobilitätsreglement, wobei auf nachhaltige Beschaffung besonders Wert gelegt wird und das Ziel von 100% Ökoenergie angestrebt wird. Zudem wird auch die ÖV-Nutzung mitfinanziert. Die IWB ist dabei, eine Mobilitätsstrategie zu verabschieden und hat sich zum Ziel gesetzt, CO₂-Emissionen zu senken in dem nur noch Erdgas- und Elektrofahrzeuge beschafft werden, vorausgesetzt die passenden Modelle sind auf dem Markt erhältlich. Beim Amt für Umwelt und Energie sind Flottenentscheidungen an eine übergeordnete Zielvereinbarung gekoppelt. So soll zum Beispiel die Anzahl Dienstfahrzeuge insgesamt reduziert werden. Ausserdem wird die Nutzung von Elektrofahrzeugen vorgeschrieben, wenn die Reichweite für den Verwendungszweck sinnvoll ist. Ansonsten wird verstärkt auf die Nutzung von Mobility-Fahrzeugen Wert gelegt. Bei Rapp Gebäudetechnik und Regioplan ist die strategische Bedeutung der Fahrzeuge geringer.

3 Motivation und Erwartungen

3.1 Motivation

Die Entscheidungsträger wurden zu ihrer Motivation für die Teilnahme am Pilotprojekt gefragt. Fast alle nannten die Attraktivität des «Sorglospakets» in Bezug auf Kosten und Service als Hauptgrund für die Teilnahme. Dies wurde untermauert durch die Aussage vieler Organisationen, dass ein Kauf des gleichen Fahrzeugs aus Kostengründen nicht interessant gewesen wäre. Zudem gaben fast alle teilnehmenden Organisationen an, dass das «Sorglospaket» das richtige Angebot zum richtigen Zeitpunkt war (Fahrzeug passend zum Verwendungszweck).

Der ökologische Gedanke wurde ebenfalls von allen Teilnehmern als Argument aufgeführt. Konkret genannt wurden die Senkung von CO₂-Ausstoss, die Senkung der Lärmemissionen, die Zufriedenheit der

Mitarbeiter durch ökologische Fahrzeuge und der Wunsch nach einem nachhaltigen Umgang mit Energie.

Je nach Organisationen wurden noch spezifische Gründe genannt: Die IWB ist an den Forschungsergebnissen interessiert und wollte neben Erfahrungen in Bezug auf Winter und Sommer-Verhalten von Elektrofahrzeugen vor allem Langzeiterfahrungen sammeln. Tschantré ist ebenfalls an der Alltagstauglichkeit der Elektrofahrzeuge interessiert, um bei zukünftigen Flottenerweiterungen diese als zusätzliche Möglichkeit in der Kostenkalkulation zu berücksichtigen.

3.2 Erwartungen

Im ersten Interview und der ersten Befragung wurden die Erwartungen an die Elektromobilität und das Projekt EmobilitätBasel befragt. Die Erwartungen waren im Vorfeld unterschiedlich: Von gar keiner Erwartung, über reine Neugier, bis hin zu sehr hohen Erwartungen an die Förderung von Elektromobilität in der öffentlichen Wahrnehmung. Letztere ist aus Sicht einiger Entscheidungsträger nur teilweise erfüllt worden, da die Bewerbung und Information des Projekts kommunikativ als zu gering eingeschätzt worden ist und die mediale Wirkung und Sichtbarkeit ausgeblieben sind. Ebenfalls genannt wurde die Erwartung, eine Vorreiterrolle einzunehmen und möglichst viele Teilnehmer in den eigenen Organisationen für das Projekt zu begeistern. In diesem Zusammenhang war ein Ziel, die Nutzung privater PW's zu reduzieren und dadurch Kosten einzusparen.

In Bezug auf das Elektrofahrzeug fokussierten die Erwartungen im Vorfeld vor allem auf dessen Alltagstauglichkeit. Das Elektrofahrzeug sollte im Vergleich zu Benzinern oder Dieselfahrzeugen als gleichwertiges Poolfahrzeug nutzbar sein. Weitere Anforderungen, die genannt wurden:

- „Platz für 4 Personen.“
- „Elektroauto muss bequem sein und trotzdem Leistung haben.“
- „Robustheit der technischen Substanz (Sommer/Winter-Verhalten).“
- „Störanfälligkeit und Fahrverhalten kennenlernen.“
- „Ein funktionierender Belegungsplan aufgrund Batterieladezeiten.“
- „Kosteneinsparung (durch sparsamen Verbrauch oder Substitution privater PW's).“
- „Erfahrungen zum tatsächlichen Energieverbrauch.“

Jeweils mehr als zwei Drittel der Fahrzeugnutzer wollten mit dem Elektrofahrzeug eine neue Technologie und die Fahreigenschaften kennen lernen. Das Testen auf die Flottentauglichkeit der Fahrzeuge war eine sekundäre Erwartung (ca. die Hälfte).

Die Erwartungen über die Vor- und Nachteile an das eingesetzte Elektroauto waren sehr unterschiedlich. Als Vorteile wurden vor allem die geringen Lärmemissionen (was allerdings auch als Nachteil für den Langsamverkehr genannt wurde) und die ökologischen Aspekte genannt. Als Nachteile wurden vor allem die geringe Reichweite und ladebedingte Probleme genannt. Der Fahrkomfort wurde sowohl als Vorteil als auch als Nachteil gesehen. Vor allem bei der Beschleunigung und der Geschwindigkeit existierten vor dem Projekt unterschiedliche Erwartungen, einige haben geringe Beschleunigungen und Geschwindigkeiten erwartet und andere hohe.

Die Fahrzeugnutzer gingen im Vorfeld davon aus, dass die bestehende Flotte mit Elektroautos eher substituiert wird als ergänzt. Auch in den Kommentaren zeigte sich die Erwartung, dass das Projekt ein Test für einen Ersatz bestehender Fahrzeuge sei, respektive ob die Fahrzeuge alltagstauglich sind.

4 Nutzungsverhalten

Die Elektroautos wurden von den Organisationen unterschiedlich genutzt und nach einer anfänglichen Phase der Neugier und des Ausprobierens hat sich die Häufigkeit der Einsätze bei den meisten Organisationen bei 1-2 Fahrten pro Tag eingependelt. Bei der IWB war das Elektrofahrzeug anfangs sogar das am meisten genutzte Fahrzeug im Pool.

Tabelle 2: Einsatz der Fahrzeuge

Firma	Zugriff	Nutzerkreis	Häufigkeit Einsatz
Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt	Ca. 70 Personen	Ca. 20 Personen	7 – 8 Fahrten pro Woche
Gruner AG	Mind. 30 Personen	Ca. 12 Personen	Täglich
Industrielle Werke Basel	Ca. 350 Personen	Ca. 80 Personen	4 – 7 Fahrten pro Woche
Rapp Gebäudetechnik	Ca. 20 Personen	6 – 7 Personen	Täglich
Regioplan	2 Personen	2 Personen	Ca. jeden zweiten Tag
Tschantré AG	Ca. 28 Personen	15 – 20 Personen	Täglich

Ungefähr 30% der Fahrzeugnutzer gaben bei der zweiten Befragung noch an, „mehrmals pro Woche“ das Elektrofahrzeug zu nutzen, ca. 40% nutzten das Fahrzeug „mehrmals im Monat“ und ca. 30% gaben „einmal im Monat“ an.

4.1 Verwendungszweck

Alle Organisationen verwenden das Elektroauto hauptsächlich für Geschäftsfahrten. Darunter fallen je nach Organisationsprofil Bauabnahmen, Projektleitungssitzungen, Meetings an anderen Geschäftsstandorten, kleinere Transporte oder Botengänge. In einigen wenigen Unternehmungen stehen die Autos nach Geschäftsschluss oder über das Wochenende auch für die private Nutzung zur Verfügung.

4.2 Distanz

Pro Einsatz werden grösstenteils kurze Strecken gefahren (bis 25km), wobei der Hauptanteil der Fahrten im Stadtverkehr anfällt. Dies bestätigt sich auch in der Einschätzung der Teilnehmer über das Fahrtenprofil: Im Durchschnitt werden 71% der Strecken in der Stadt gefahren, 13% Überland und 16% auf der Autobahn.

Auffallend war das Fahrtenprofil des Opel Ampera, welcher einen Range Extender eingebaut hat. Ein Range Extender ist ein Verbrennungsmotor, welcher die Batterie auflädt und eingeschaltet werden kann, wenn die Batterie leer ist. Dadurch kann die Reichweite bedeutend vergrössert werden. Mit diesem Modell wurden entsprechend längere Distanzen gefahren.

Tabelle 3: Vergleich der Distanz der Fahrten

Wie ist die durchschnittliche Distanz Ihrer Fahrten?	Anzahl Nutzer: Peugeot I-On; Mitsubishi i-MiEV	Anzahl Nutzer: Opel Ampera
bis 25 km	53	0
25 - 50 km	10	1
über 50 km	0	5
Total	63	6

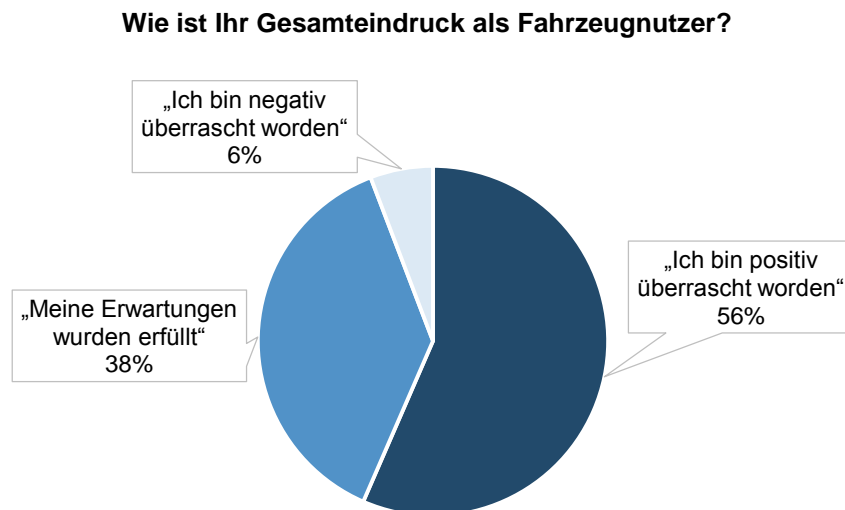
4.3 Substitution anderer Verkehrsmittel

Bei den meisten Organisationen wurde durch die Anschaffung des Elektrofahrzeugs ein anderes Poolfahrzeug oder die Nutzung von privaten PWs ersetzt. Zur Substitution des öffentlichen Verkehrs kam es nur teilweise (12 Nennungen von 69). Bei schlechtem Wetter oder zu langen Strecken wird das Elektrofahrzeug als Alternative zum Velo oder E-Bike genutzt. In einzelnen Organisationen wurde durch das Elektroauto ganz einfach auch ein Mehrbedarf im Sinne einer Flottenerweiterung gedeckt.

5 Zufriedenheit und Akzeptanz

5.1 Gesamteindruck

Die meisten Fahrzeugnutzer sind positiv überrascht worden oder sahen ihre Erwartungen erfüllt. Die einzelnen Kommentare zeigten, dass die Fahreigenschaften besonders positiv überraschten, was sich auch in den Erwartungen gezeigt hatte (siehe 3.2 Erwartungen).

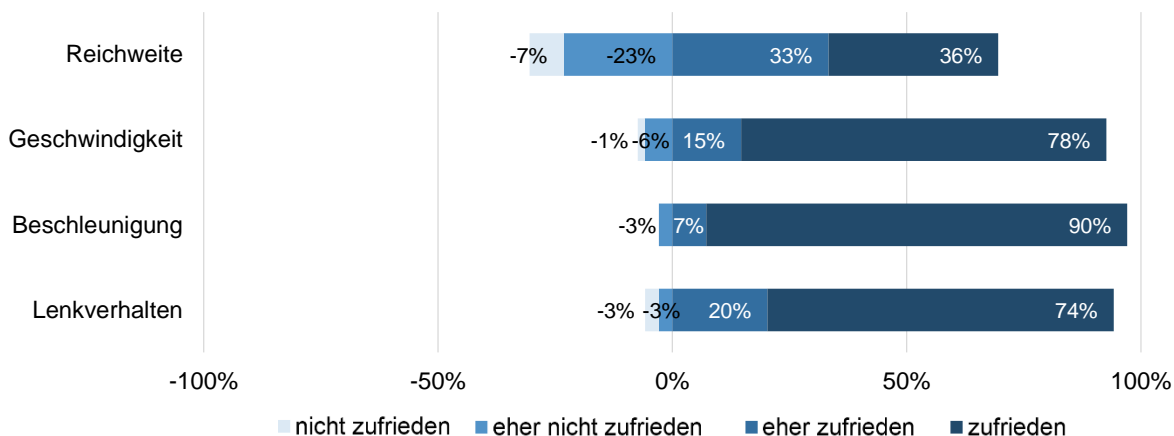


Die Akzeptanz der Elektrofahrzeuge wurde auch von den Entscheidungsträgern als sehr hoch wahrgenommen. Anfangs zurückhaltende Personen sind schnell begeistert gewesen und hatten Spass beim Fahren. Ausnahmen waren vor allem mit der geringen Reichweite zu begründen, aber auch mit einer grundsätzlichen Skepsis. Nachfolgend sind ein paar Aussagen von Entscheidungsträgern bezüglich der Akzeptanz aufgeführt:

- „Bei Unsicherheit wegen Reichweite sinkt die Akzeptanz.“
- „Viele Nutzer waren anfangs skeptisch.“
- „Unsicherheit im Winter wegen Reichweite.“
- „Hat Umdenken gebraucht.“
- „Teilweise totale Ablehnung. Dies begründet vor allem mit Reichweite.“
- „Gewisse Leute lehnen es ab, mit einem Auto zu fahren, das kein Motorengeräusch macht.“

5.2 Zufriedenheit mit Fahrleistungen

Wie zufrieden sind Sie bisher mit den verschiedenen Fahrleistungen, wie:



Reichweite

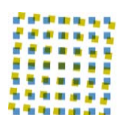
Die geringe Reichweite der Elektrofahrzeuge führte häufig zu Kommentaren, ein grosser Teil ist aber mit der Reichweite zufrieden. Ungefähr 70% gaben an, mit der Reichweite „zufrieden“ oder „eher zufrieden“ zu sein. In den Kommentaren erwähnen viele Nutzer die geringe Reichweite, viele finden aber, es reiche gut für den (Geschäfts-)Alltag. Es scheint, dass die Zufriedenheit mit der Reichweite unter anderem vom Nutzverhalten abhängt. Bei der Frage „War die Reichweite für Ihre Bedürfnisse ausreichend?“ gaben zwei Drittel (68%) der Nutzer an, dass die Reichweite „ausreichend“ und nochmals 23% „knapp ausreichend“ war. Kommentare:

- „Für Fahrten im Job ausreichend. Für weitere Strecken stehen auch normale Fahrzeuge zur Verfügung (Pool). Im privaten Gebrauch als Alleinfahrzeug wäre ich nicht zufrieden.“
- „Für den Stadtverkehr ausreichend, für weitere Strecken ins Umland nicht geeignet.“
- „Bei mehreren Nutzern am gleichen Tag ist die Reichweite kritisch aufgrund des zu langsamen Ladeverhaltens.“; „Fahrtenmanagement teilweise schwierig; je nach Fahrstrecke können keine zwei Fahrten hintereinander durchgeführt werden.“
- „Mit rund 100 km pro Batterieladung ist die Reichweite zu gering für weite Strecken.“
- „Kaltes Wetter wirkt sich negativ auf die Reichweite aus (verkürzte km möglich).“; „Vor allem im Winter ist die Reichweite zu gering.“
- „Als Teamfahrzeug für Nachteinsätze, ohne Tankmöglichkeit, eher nicht einsetzbar.“
- „Die Reichweite kann durch sparsames Fahren vergrössert werden.“
- „Herstellerangaben über die Reichweite stimmen in der Praxis selbst bei sehr sparsamer Fahrt nicht überein.“
- „Das Fahrzeug wird nur verwendet, wenn die Distanz bekannt ist.“

Geschwindigkeit

Eine grosse Mehrheit ist „zufrieden“ mit der Geschwindigkeit der Fahrzeuge (78%). Kommentare:

- „Im Stadtverkehr ideal.“
- „Maximale Geschwindigkeit auf der Autobahn kann erreicht werden.“
- „Leider nur für die Stadt gemacht, sobald man auf die Autobahn geht, spürt man jeden Windstoss.“



Beschleunigung

Noch besser als die Geschwindigkeit wird die Beschleunigung wahrgenommen. Ungefähr 90% sind mit der Beschleunigung „zufrieden“. Kommentare:

- „Beschleunigung ist wirklich gut.“
- „Das ist einzigartig.“
- „Schöne Beschleunigung. Positiv überrascht.“
- „Man startet mit leichter Verzögerung, hat dann aber sogar mehr Power als ein Verbrennungsmotor.“
- „Beschleunigung im unteren Drehzahlbereich gut, nach oben eher schlecht.“
- „Für einen Kleinwagen ist die Beschleunigung sehr gut.“

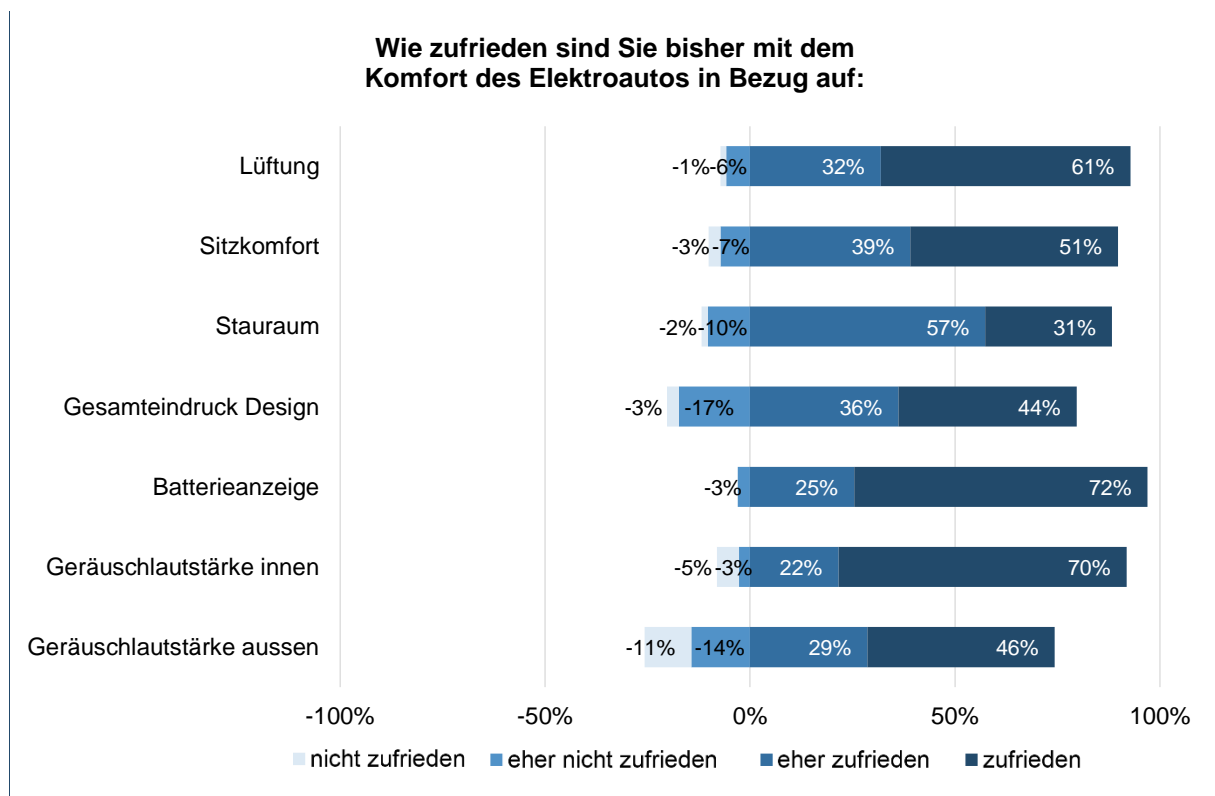
Lenkverhalten

Auch mit dem Lenkverhalten sind die Meisten „zufrieden“ (74%). Kommentare:

- „Kaum Einschränkungen.“
- „Sehr direktes Lenkverhalten.“
- „Kleines Auto, kleiner Radius, für Stadtverkehr super.“
- „Nicht stabil, durch den tiefen Schwerpunkt durch die grosse Akkumenge im Unterbodenbereich.“
- „Lenkverhalten abhängig vom Fahrzeughersteller und nicht von der Antriebsart.“

5.3 Komfort

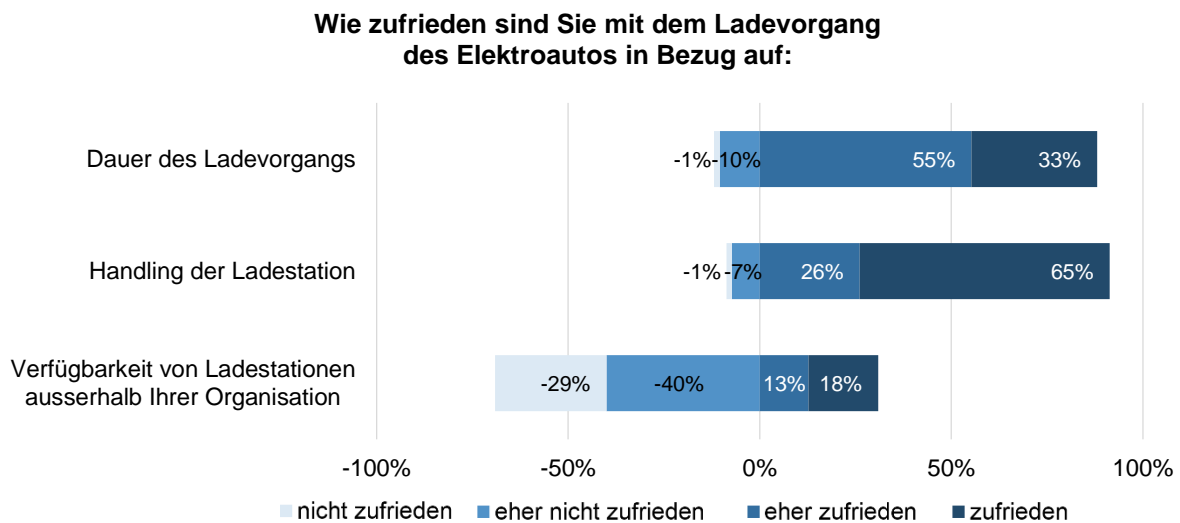
Die meisten Nutzer sind zufrieden mit dem Komfort, den die Fahrzeuge bieten. Ausnahmen betreffen das Design und die Geräuschlautstärke aussen (die Geräuschlautstärke aussen und innen wurde erst in der zweiten Befragung gefragt). In den Kommentaren hat sich gezeigt, dass die Tatsache, dass das Fahrzeug sehr leise fährt, zum Teil als Nachteil empfunden wird, da andere Verkehrsteilnehmer das Fahrzeug später wahrnehmen, als mit konventionellem Antrieb.



Kommentare:

- „Warum ein E-auto einen Zündschlüssel braucht ist mir ein Rätsel. Ausserdem mag ich die Digitalanzeige zur Geschwindigkeit nicht.“
- „Kaum zu hören für die Umwelt. Kann gut bzw. schlecht sein, da man von diesen Personen/Tieren kaum wahrgenommen wird. Unfallrisiko ist hoch!“
- „Sehr leise, was gut ist, aber gefährlich werden kann, da Fussgänger und Radfahrer die Strasse häufig nach Gehör überqueren.“
- „Zu laut, durch die Windgeräusche, bei schneller Fahrt.“

5.4 Ladevorgang



Dauer des Ladevorgangs

Die Dauer des Ladevorgangs fällt bei den Nutzern negativ auf, auch wenn die Batterie meist über Nacht aufgeladen wird. Trotzdem sind immer noch 88% „zufrieden“ oder „eher zufrieden“. Kommentare:

- „Ladevorgang ist sehr langsam.“
- „Ladung über Nacht ist praktisch.“
- „Zwischen zwei Fahrten wäre eine schnellere Ladung sehr oft von Vorteil.“
- „Einschätzung schwierig, da das Fahrzeug als Poolfahrzeug genutzt wird.“
- „Die Ladedauer ist schon sehr lange wenn die Batterie leer ist und es keine Schnellladestation gibt. Dies ist man sich aber beim Gebrauch des Autos bewusst.“

Handling der Ladestation

Die Ladestation scheint keine grösseren Probleme zu bereiten. 91% sind „zufrieden“ oder „eher zufrieden“ damit. Kommentare:

- „Sehr einfache Bedienung.“
- „Für die Bedienung des Hebels im Auto ist es an dieser Stelle sehr dunkel.“
- „Etwas umständlich mit dem sperrigen Kabel. Automatischer Einzug wäre bequemer.“
- „Es wäre gut, wenn ein Symbol im Innenraum bzw. eine Anzeige leuchtet, dass der Deckel bei der Abfahrt noch auf ist.“

Verfügbarkeit von externen Ladestationen

Die Verfügbarkeit von externen Ladestationen führt zu Unzufriedenheit. Insgesamt 70% sind „nicht zufrieden“ oder „eher nicht zufrieden“. Allerdings haben einige Nutzer (12 von 69) darauf keine Antwort gegeben, da sie keinen Bedarf hatten.

Die Unzufriedenheit mit der Verfügbarkeit von externen Ladestationen lag bei der ersten Befragung bei 62% „nicht zufrieden“ oder „eher nicht zufrieden“ und bei der zweiten Befragung bei 76%. Kommentare:

- „Vor allem Schnellladestationen an den Autobahnraststätten fehlen.“
- „Ausserhalb wenig Lademöglichkeiten wahrgenommen.“
- „Keine oder wenig Erfahrungswerte, da bei den meisten Nutzern nicht erforderlich.“
- „Keine Ahnung wo es Ladestationen gibt und wie lange eine Ladung dauern würde.“
- „Geladen wird meist im Betrieb.“
- „Eine Ladestation an einer Grossbaustelle wurde extra installiert.“
- „Für private Nutzung Ladung auch zu Hause möglich (gute Erfahrung).“

5.5 Sicherheit

Die Sicherheit der Fahrzeuge wird als „durchschnittlich“ wahrgenommen (81%) und scheint vergleichbar mit anderen Kleinwagen zu sein. Kommentare:

- „Wie normales Auto in der gleichen Gewichtsklasse.“
- „Keine Knautschzone, zu wenig Airbags, Kurvenverhalten schlecht.“
- „Kleinwagen, sehr hoch (Kippgefahr).“
- „In einem derart kleinen Fahrzeug fühle ich mich nie ganz sicher.“

5.6 Störungen

Erfreulicherweise sind nur wenige Störungen aufgetreten (16%). Die Störungen hatten allesamt nichts mit dem Antrieb zu tun, sondern beispielsweise mit der Systembatterie (unter anderem auf Grund der Datenmessungen). Die Entscheidungsträger waren denn auch mit dem Support bei Störungen durchwegs zufrieden. Kommentare:

- „Leere Systembatterie; dadurch kein Laden der Fahrtbatterie möglich.“
- „Feuchter Innenraum durch Wassereintritt; ob durch Klimaanlage oder von aussen ist in Abklärung.“
- „Bedienungsfehler.“
- „Störung der Elektronik.“
- „Totalabsturz durch die Datenmessungen wenn das Auto lange nicht bewegt wurde, da die grosse Batterie die Kleine nicht versorgt.“
- „Verzögerung Ladung: Probleme mit der Ladestation, lag aber nicht am Auto.“
- „Auto liess sich nicht starten.“
- „Fehlmanipulationen (Entladung der Batterie).“
- „Motorstörung basierend auf Softwareproblem.“
- „Kontrollleuchten haben aufgeleuchtet.“
- „SOS Knopf hat geleuchtet.“

5.7 Unterschiede zwischen Sommer und Winter

Bei der zweiten Befragung der Fahrzeugnutzer wurde gefragt, ob bezüglich Fahrverhalten oder Reichweite Unterschiede zwischen Sommer und Winter aufgefallen sind. Ungefähr die Hälfte (54%) der Fahrzeugnutzer hat zwischen Sommer und Winter keinen Unterschied festgestellt. Die andere Hälfte ist davon überzeugt, dass im Winter die Reichweite spürbar geringer ist als im Sommer. Kommentare:

- „Reichweite ca. -20%.“
- „Im Winter ist die Reichweite weniger, ca. 10 - 15 %.“
- „Die Lüftung für den Sommer mit Klima ist ausreichend. Die Lüftung für den Winter könnte noch leistungsfähiger sein.“
- „Fahrverhalten auf Schnee nicht optimal/angenehm.“

6 Nutzen des Projekts

Die meisten Organisationen haben von der Teilnahme an dem Pilotprojekt profitiert. Häufig war der Nutzen, eine Erfahrung im Umgang mit neuen Fahrzeugen/Technologien zu machen und dadurch eine Erkenntnis zu haben. In manchen Fällen war die Erkenntnis, dass eine Flotte mit nur Elektro-Kleinwagen nicht geeignet ist, sondern Fahrzeuge mit grösserer Reichweite benötigt werden. Häufig wurde der Imagevorteil resp. das Fahrzeug als Kommunikations- und Werbeplattform genannt.

Die Kosten für das Projekt wurden unterschiedlich bewertet, was mit der unterschiedlichen Nutzung zusammenhängen könnte. Bei einigen Organisationen gab es eine Kostenreduktion, andere fanden die Kosten zu hoch. Kommentare:

- „Vorzeigerolle, Vorbildrolle.“
- „Zeigt die Umsetzung des Nachhaltigkeitsgedanken.“
- „Gemeinsam Erfahrungen sammeln und sich austauschen.“
- „Firmen müssen im richtigen Moment erwischt werden (Fahrzeugwechsel muss anstehen).“
- „Modelle noch nicht ausreichend vorhanden.“
- „Imagevorteil gegenüber Kunden und den eigenen Mitarbeitenden.“
- „Kostenreduktion geht auf.“
- „Flottenmanagement.“
- „Einschränkungen sind zu gross für unsere Zwecke.“
- „Ein Ziel wurde erreicht: neue Technologie den Nutzern näher bringen.“

7 Anhang

7.1 Methode

Die Datenerhebung wurde mit Fahrzeugnutzern und Entscheidungsträgern von sechs Organisationen in der Stadt Basel durchgeführt. Die Entscheidungsträger, welche in der Regel Flottenmanager der Organisationen sind, wurden zwei Mal im Abstand von fast zwei Jahren vor Ort oder telefonisch interviewt. Zum Teil haben die Entscheidungsträger auch den Fragebogen ausgefüllt.

Die Nutzerbefragung wurde im Abstand von fast zwei Jahren mit einem Online-Fragebogen durchgeführt. Der zweite Fragebogen wurde mit drei zusätzlichen Fragen ergänzt, welche in den Kommentaren des ersten Fragebogens aufgetaucht sind: Geräuschlautstärke innen und aussen und Unterschiede zwischen Winter und Sommer.

Die Stichprobe der Nutzerbefragung bestand aus 32 Nutzer bei der ersten Befragung und 37 Nutzer bei der zweiten. Insgesamt haben bei der Nutzerbefragung 6 Personen teilgenommen, welche den Opel Ampera getestet haben, 57 den Peugeot iOn und 6 Personen den Mitsubishi i-MiEV.

Fragen	Anzahl Antworten
Für welchen Zweck nutzen Sie das Elektroauto zur Zeit?	n=69
Wie oft nutzen Sie das Fahrzeug?	n=69
Wie ist die durchschnittliche Distanz Ihrer Fahrten?	n=69
Wie ist das typische Fahrprofil Ihrer Fahrten?	n=69
Bitte schätzen Sie ab, wie viel Prozent Sie das Elektroauto für Fahrten in der Stadt, Überland und auf der Autobahn einsetzen.	n=69
Werden durch die Nutzung des Elektroautos andere Verkehrsmittel ersetzt?	n=69
Welche Verkehrsmittel werden durch das Elektroauto ersetzt?	n=55
Wie ist Ihr Gesamteindruck als Fahrzeugnutzer?	n=69
Wie zufrieden sind Sie bisher mit den verschiedenen Fahrleistungen, wie:	
- Reichweite	n=69
- Geschwindigkeit	n=68
- Beschleunigung	n=69
- Lenkverhalten	n=69
War die Reichweite für Ihre Bedürfnisse ausreichend?	n=69
Wie zufrieden sind Sie bisher mit dem Komfort des Elektroautos in Bezug auf:	
- Lüftung	n=69
- Sitzkomfort	n=69
- Stauraum	n=68
- Gesamteindruck Design	n=69
- Batterieanzeige	n=67
- Geräuschlautstärke Innen	n=37
- Geräuschlautstärke Aussen	n=35
Wie zufrieden sind Sie mit dem Ladevorgang des Elektroautos in Bezug auf:	
- Dauer des Ladevorgangs	n=67
- Handling der Ladestation	n=69
- Verfügbarkeit von Ladestationen ausserhalb Ihrer Organisation	n=55
Wie schätzen Sie die Sicherheit des Fahrzeuges ein?	n=69
Sind bei der Nutzung des Elektroautos Störungen aufgetreten?	n=69
Wie häufig sind Störungen aufgetreten (im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen)?	n=12
Sind Ihnen bezüglich Fahrverhalten oder Reichweite Unterschiede zwischen Winter und Sommer aufgefallen?	n=35

7.2 Fragebogen

Willkommen!

Sehr geehrte Damen und Herren Willkommen zur Begleitforschung im Rahmen des Projekts "EmobilitätBasel". Vielen Dank für Ihr Interesse, an der Umfrage teilzunehmen.

Bitte füllen Sie den Fragebogen auch aus, wenn Sie schon einmal teilgenommen haben. Besten Dank.

Kontaktinformationen

Informationen zu Ihrer Person

Name, Vorname

Name Ihrer Organisation

Eingesetztes Elektroauto bitte ankreuzen:

- Opel Ampera
- Peugeot I ON
- Mitsubishi IMIEV
- Renault Kangoo ZE
- Smart Fortwo Coupé ED

A. Allgemeine Informationen

Wie ist Ihre persönliche Einstellung zu Elektroautos? Welche Vor- und Nachteile sehen Sie in dieser Technologie?

Wie ist Ihrer Einschätzung nach die Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen im Raum Basel?

B. Nutzungsverhalten

Für welchen Zweck nutzen Sie das Elektroauto zur Zeit?

- Geschäftsfahrten
- Transporte, Botengänge
- Private Nutzung

Falls andere Gründe, bitte hier kurz nennen:

C. Zufriedenheit

Wie ist Ihr Gesamteindruck als Fahrzeugnutzer?

- Ich bin positiv überrascht worden
- Meine Erwartungen wurden erfüllt
- Ich bin negativ überrascht worden

Bitte geben Sie für Ihre Auswahl eine kurze Begründung an:

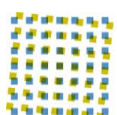
Wie zufrieden sind Sie bisher mit den verschiedenen Fahrleistungen, wie:

	zufrieden	eher zufrieden	eher nicht zufrieden	nicht zufrieden
Reichweite	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar:	<input type="text"/>			
Geschwindigkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar:	<input type="text"/>			
Beschleunigung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar:	<input type="text"/>			
Lenkverhalten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar:	<input type="text"/>			

War die Reichweite für Ihre Bedürfnisse ausreichend?

- Ausreichend
- Knapp ausreichend
- Eher nicht ausreichend
- Nicht ausreichend

Kommentar

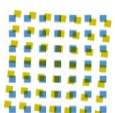


Wie zufrieden sind Sie bisher mit dem Komfort des Elektroautos in Bezug auf:

	zufrieden	eher zufrieden	eher nicht zufrieden	nicht zufrieden
Lüftung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar	<input type="text"/>			
Sitzkomfort	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar	<input type="text"/>			
Stauraum	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar	<input type="text"/>			
Gesamteindruck Design	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar	<input type="text"/>			
Batterieanzeige	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar	<input type="text"/>			
Geräuschlautstärke Innen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar	<input type="text"/>			
Geräuschlautstärke Aussen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar	<input type="text"/>			

Wie zufrieden sind Sie mit dem Ladevorgang des Elektroautos in Bezug auf:

	zufrieden	eher zufrieden	eher nicht zufrieden	nicht zufrieden
Dauer des Ladevorgangs	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar	<input type="text"/>			
Handling der Ladestation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar	<input type="text"/>			
Verfügbarkeit von Ladestationen ausserhalb Ihrer Organisation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar	<input type="text"/>			



Wie schätzen Sie die Sicherheit des Fahrzeuges ein?

- Überdurchschnittlich
- Durchschnittlich
- Unterdurchschnittlich

Kommentar

Sind bei der Nutzung des Elektroautos Störungen aufgetreten?

- Ja
- Nein

Wenn ja, um welche Art von Störung handelte es sich?

Störungen

Wie häufig sind Störungen aufgetreten (im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen)?

- Häufiger
- Vergleichbar
- Seltener

Kommentar:

Unterschiede zwischen Sommer und Winter

Sind Ihnen bezüglich Fahrverhalten oder Reichweite Unterschiede zwischen Winter und Sommer aufgefallen?

- Ja
- Nein

Kommentar:

Unterschiede zwischen Sommer und Winter

Welche Unterschiede sind Ihnen aufgefallen?

Vielen Dank!

Weitere Kommentare:

Vielen Dank für Ihre Teilnahme! Wir werden die Ergebnisse auswerten und Sie über die zuständige Person in Ihrem Unternehmen informieren.

Wir wünschen weiterhin gute Fahrt!

