



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

6. März 2015

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

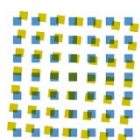
Gruner AG

IWB

Rapp Gebäudetechnik

Regioplan

Tschantré AG



sustainserv

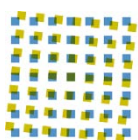
Management Summary

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.

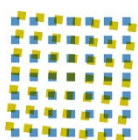
Die Begleitforschung hat aufgezeigt, dass Elektrofahrzeuge für den angepassten Einsatz vollständig funktionsfähig sind. Die Anforderungen an Komfort, Fahrleistungen und Sicherheit werden erfüllt. Fahrzeugeigenschaften, wie beispielsweise die Beschleunigung der Fahrzeuge, haben die Nutzer positiv überrascht. 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

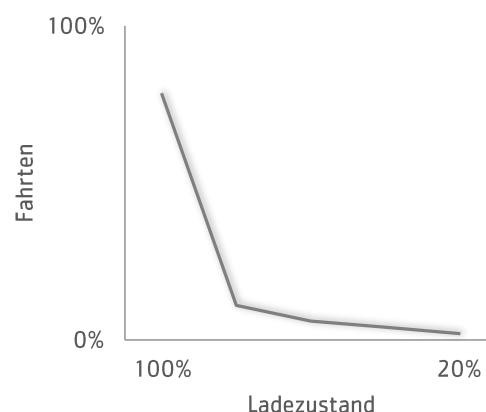
Aufgrund der oben angeführten Leistungsmerkmale dürfen Elektrofahrzeuge als eine sichere, alltagstaugliche sowie in puncto Emissionen unvergleichliche Alternative zu herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren bezeichnet werden. Dennoch gibt es natürlich Potenzial zur Verbesserung. Im Folgenden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

4.1 Reichweite

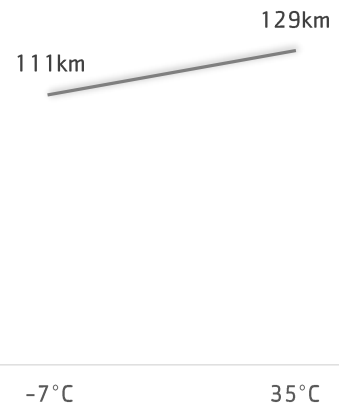
Der Radius der getesteten E-Fahrzeuge war klein, sie kamen überwiegend im städtischen Verkehr zum Einsatz. In der Regel dienten die Pilot-Autos als Ersatz für ein anderes Pool-Fahrzeug oder einen privaten Personenwagen oder wurden – in Einzelfällen – anstelle des öffentlichen Verkehrs benutzt. Die Fahrdistanz 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.

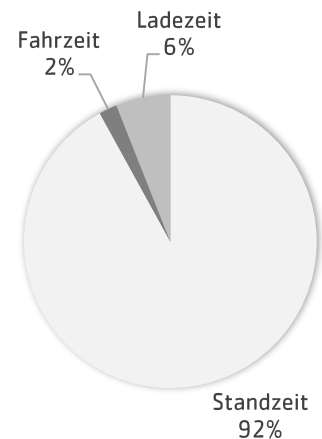


Interessant ist zudem die Frage, ob die Speicherkapazität und somit die Reichweite einer Batterie mit der Zeit abnimmt. Mit der heutigen Lithium-Ionen Technologie ist der Memory-Effekt sehr klein. Das heisst, regelmässige Ladezyklen haben einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Batteriekapazität.

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

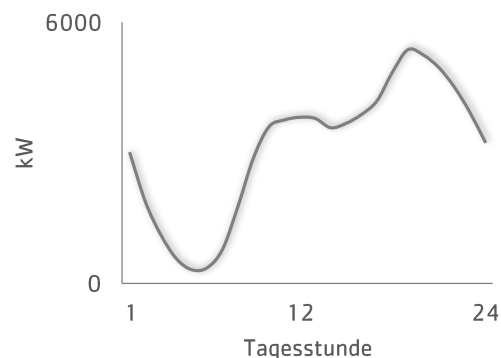
Grundsätzlich waren die Nutzer mit dem Ladevorgang zufrieden oder haben sich mit dem Handling schnell arrangiert. Ein Nutzer empfindet hingegen die Ladedauer als „schon sehr lang“, wenn die Batterie leer ist und keine Schnellladestation zur Verfügung steht. Allerdings waren sich die Nutzer dieser Tatsache 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

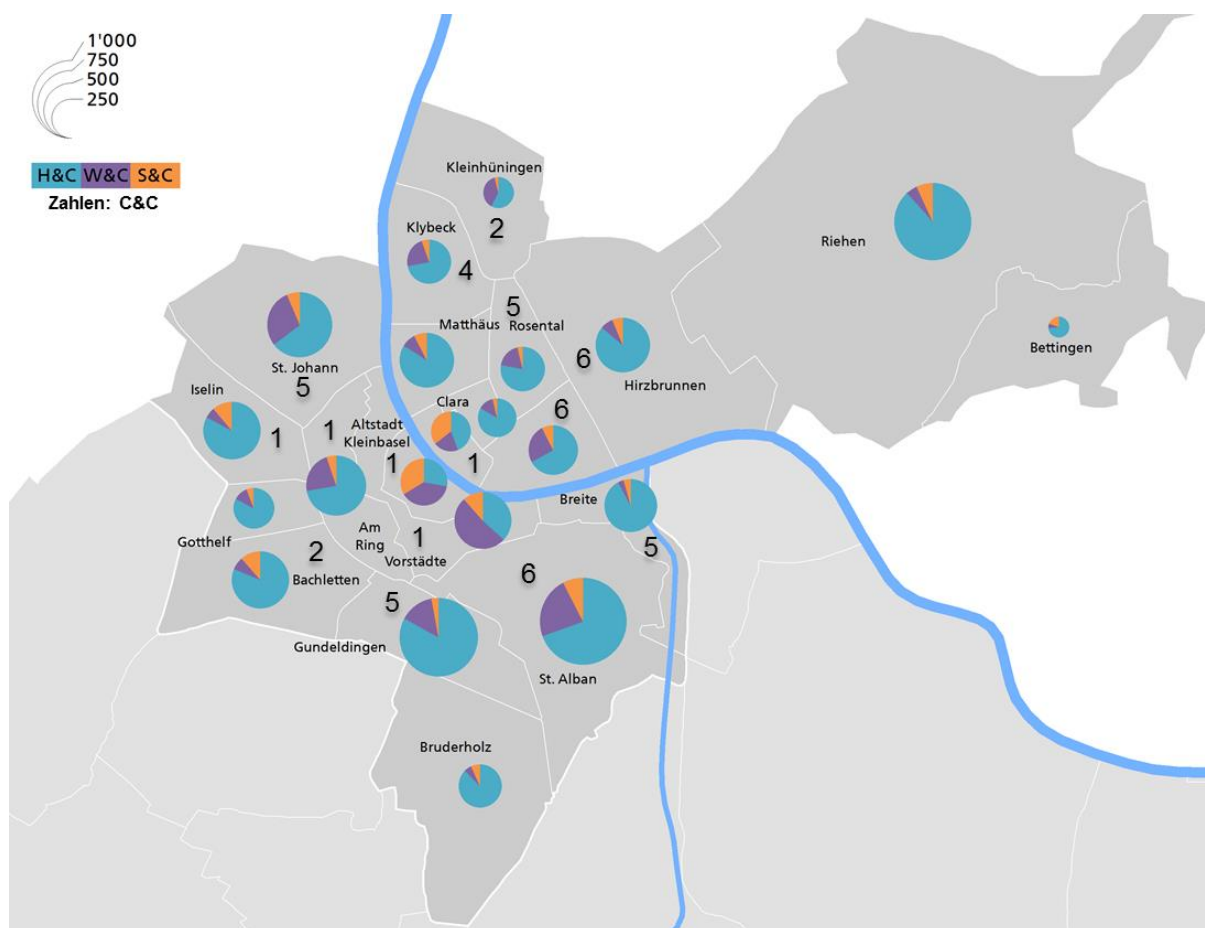
In der Regel ergaben sich Ladepeaks in der Mittagszeit und am späteren Nachmittag, d.h. die meisten Fahrzeuge wurden mit Hochtarif-Strom geladen und nicht mit kostengünstigem Nachtstrom. Es ist zu vermuten, dass die Fahrzeuge im Ruhezustand unabhängig vom Ladestand der Batterie an der Ladestation angeschlossen 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.