

## **Ein neuer Ansatz zur Lösung des Reichweitenproblems von Elektrofahrzeugen**

Alexander Hars, hars@inventivio.com

### **Zusammenfassung**

Trotz vieler Vorteile haben sich sich Elektromobile wegen ihrer begrenzten Reichweite bisher noch nicht durchsetzen können. In diesem Beitrag analysieren wir das Reichweitenproblem und zeigen, dass es letztlich auf die Unfähigkeit unserer Mobilitätssysteme zurückgeführt werden kann, individuelle Mobilitätsbedarfe jeweils mit dem am besten geeigneten Antrieb - im Nahverkehr dem Elektromotor, im Fernverkehr noch für eine Weile dem Verbrennungsmotor - zu kombinieren.

Bisher gab es keine Technologie, die es ermöglichte, das Verkehrsmittel exakt auf den Mobilitätsbedarf abzustimmen. Der durchschnittliche PKW muss heute alle Mobilitätsbedarfe - sowohl Nah- als auch Fernverkehr abdecken. Dies kann sich durch die rasch reifende Technologie autonomer Fahrzeuge ändern. Sobald Autos ohne menschlichen Eingriff - auch leer - fahren können, können Flotten von Elektrofahrzeugen im Nahbereich Mobilität mit großer Flexibilität, zu deutlich niedrigeren Kosten und mit erheblich weniger Umweltbelastung zur Verfügung stellen. Die autonome Fahrzeugtechnologie wird so zum Katalysator für den Durchbruch der Elektromobilität.

### **Einführung**

Obwohl große Anstrengungen zur Förderung der Elektromobilität unternommen werden, lassen die Erfolge auf sich warten. Zwar fallen die Batteriepreise und steigen die Produktionskapazitäten. Alle Autohersteller haben inzwischen Elektromobile im Angebot. Dennoch sind die Zulassungsstatistiken enttäuschend: Im Jahr 2013 wurden nur etwa 6.000 PKW mit elektrischem Antrieb neu zugelassen<sup>1</sup>. Die Fahrzeuge scheinen hauptsächlich von Firmen bzw. zu Demonstrations- und Repräsentationszwecken gekauft zu werden und finden bisher wenig Akzeptanz bei Privatkunden<sup>2</sup>. Das Ziel einer Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen bis 2020 erscheint daher in weiter Ferne.

Die mangelnde Reichweite der Elektrofahrzeuge wird bisher als das größte Hindernis angesehen. Während konventionelle Fahrzeuge mit einer Tankfüllung problemlos 400km zurücklegen und die Tanks in wenigen Minuten aufgefüllt werden können, kommen die meisten Elektrofahrzeuge auch bei günstigen Außentemperaturen nicht einmal 200km weit und benötigen wesentlich länger für die Aufladung. Größere Reichweiten erfordern hohe Investitionen in die Batterien und entsprechende



Fahrzeuge können auch mittelfristig wohl nur im Premium-Markt (siehe Tesla) erfolgreich sein. Der zusätzliche Energiebedarf für Kühlung oder Heizung, Alterserscheinungen von Batterien sowie der Aufbau einer nationalen Schnellladeinfrastruktur (mit erheblichem zusätzlichem Platzbedarf an den Tankstellen) erschweren das Problem.

Obwohl große Anstrengungen unternommen werden, die Reichweite zu steigern, und weltweit Milliarden in die Forschung investiert werden, wagen selbst Optimisten kaum auf einen baldigen Durchbruch zu hoffen. Dabei wird übersehen, dass es auch grundsätzliche andere Lösungsansätze gibt:

## **Das Reichweitenproblem**

Betrachtet man das Reichweitenproblem etwas genauer, so ergibt sich in erster Näherung, dass der Erfolg von Elektromobilen davon abhängt, dass die Fahrzeuge in der Lage sein müssen, auch auf der Langstrecke zu einem akzeptablen Anschaffungspreis und mit kurzen Ladezeiten zu fahren. Wahrscheinlich sind Reichweiten von deutlich über 300km nötig, um den Privatkunden zum Umstieg auf Elektrofahrzeuge zu bewegen.

Vergleicht man diese Forderung jedoch mit dem tatsächlichen Mobilitätsverhalten, so ergibt sich ein interessanter Kontrast: In Deutschland betrug die durchschnittliche Weglänge bei PKW-Fahrern im Jahr 2008 im Mittel 14,7km.<sup>3</sup> Der Wert berücksichtigt PKW-Fahrten sowohl im Nah- als auch im Fernverkehr. Die meisten Wege sind noch kürzer und werden im Nahverkehr zurückgelegt. Fahrten im Fernverkehr - über 100km sind vergleichsweise seltene Ereignisse<sup>4</sup>, die sehr ungleich über die Bevölkerung verteilt sind: Etwa 14% der Bevölkerung unternimmt im Jahresverlauf mit dem PKW oder anderen Verkehrsmitteln gar keine Reisen (Hin- und Rückfahrt) mit mehr als 100km einfacher Fahrtstrecke und die aktivsten 10% der Bevölkerung unternehmen 50% aller Reisen.<sup>5</sup>

Diese empirisch ermittelten Mobilitätsbedarfe zeigen, dass die Reichweite von Elektrofahrzeugen für sich genommen nicht das Kernproblem sein kann. Denn selbst Elektrofahrzeuge mit sehr niedriger Reichweite können bereits heute den überwiegenden Teil der alltäglichen Mobilitätsbedarfe abdecken.

Die Reichweite wird erst dadurch zu einem Problem, dass Fahrzeugkäufer die Reichweite zu einem wichtigen Kriterium erheben, um ihre Fahrzeuge auch für Fernfahrten einsetzen können, selbst wenn diese nur relativ selten stattfinden. So rational dieses Kriterium für den Einzelnen ist, führt es doch gesamtwirtschaftlich gesehen zu erheblichen Ineffizienzen und erweist sich als großes Hindernis für die Durchsetzung von Elektrofahrzeugen.

Damit können wir das Reichweitenproblem etwas präziser so formulieren, dass Elektrofahrzeuge derzeit

1) zwar einen großen Teil der Mobilitätsbedarfe potenzieller Nutzer abdecken können,

- 2) sie seltenere Mobilitätsbedarfe mit größeren Entfernungen aber nicht bewältigen können und
- 3) Nutzer kaum bereit sind, sich für Elektromobile zu entscheiden, die nicht sämtliche Mobilitätsbedarfe abdecken können.

Beim Reichweitenproblem handelt es sich damit nicht nur um ein Entfernungsproblem sondern auch um die Unfähigkeit unserer Mobilitätssysteme, individuelle Mobilitätsbedarfe jeweils mit dem am besten geeigneten Antrieb - im Nahverkehr dem Elektromotor, im Fernverkehr wahrscheinlich noch für eine Weile dem Verbrennungsmotor - zu kombinieren.

## **Intelligente Mobilität**

In einem idealen System müsste für jeden Mobilitätsbedarf der optimale Fahrzeugtyp zur Verfügung stehen. Bei privat genutzten Fahrzeugen wären die Kosten für die gleichzeitige Anschaffung eines Kurz- und Langstreckfahrzeugs prohibitiv; bei Car-Sharing Systemen wäre es zwar gut möglich, Fahrzeuge für die verschiedenen Mobilitätsbedarfe zu erwerben; dann ergibt sich aber das Problem, wie ein Fahrzeug zum Nutzer bzw. der Nutzer zum Fahrzeug kommt. Zufällig zeichnet sich für dieses Problem gerade eine ganz neue Lösung ab: In den letzten Jahren hat es enorme Fortschritte bei der Entwicklung selbstfahrender Fahrzeuge gegeben, die ohne menschlichen Eingriff und ohne zusätzliche Infrastruktur in der Stadt, auf Landstraßen und der Autobahn - auch leer - fahren können. Selbstfahrende Fahrzeuge haben das Potenzial die Mobilität zu revolutionieren und Mobilität als Dienstleistung um ein Vielfaches günstiger und umweltschonender als bisher anzubieten.

Google, Daimler, Nissan und andere arbeiten intensiv an dieser Technologie. Das Entwicklungsteam von Google hat z.B. vor kurzem von erheblichen Fortschritten bei vollautonomen Fahrten im Stadtverkehr berichtet. Die Fahrzeuge fahren zwar nur in Bereichen, die vorher von Google im Detail kartografiert worden sind, können aber inzwischen flüssig am Stadtverkehr teilnehmen. Sie erkennen Fußgänger und Radfahrer zuverlässig und beobachten die Bewegungen aller Verkehrsteilnehmer - einschließlich des Querverkehrs. Die Fahrzeuge erkennen Baustellen und kommen - auch ohne neue Kartografierung - mit den Veränderungen zurecht. Auf Betreiben von Google wurde in Kalifornien ein Gesetz verabschiedet, dass die Zulassung von selbstfahrenden Fahrzeugen ermöglicht. Bis Ende Dezember 2014 muss die Zulassungsbehörde die Umsetzungsvorschriften erlassen. Es wird allgemein erwartet dass Google kurz darauf die Zulassung der ersten vollautonomen Fahrzeuge beantragen wird. Dabei wird es sich um elektrische Fahrzeuge handeln, die von Grund auf für den autonomen Betrieb ohne Gaspedal und Steuer konzipiert sind. Die Zweisitzer haben eine Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h. Ab 2015 könnte die erste Flotte selbstfahrender Fahrzeuge in Mountain View, Kalifornien, Fahrt aufnehmen, wobei der Nutzerkreis wohl zunächst auf die Angestellten des Google Konzerns beschränkt sein wird.

Neben Google gibt es weitere Institutionen und Unternehmen, die selbstfahrende Fahrzeuge entwickeln. In Rivium (Niederlande) befördern seit mehr als 10 Jahren selbstfahrende Elektrobusse

Passagiere auf einer mehrere Kilometer langen Strecke, die allerdings für den normalen Verkehr gesperrt ist. In England wird mit großer Intensität an der Einführung selbstfahrender Fahrzeuge gearbeitet. In einem Projekt sollen ab 2015 in Milton Keynes kleine selbstfahrende Elektrofahrzeuge eingesetzt werden, die Personen vom Hauptbahnhof in die Innenstadt bringen. Die Höchstgeschwindigkeit ist dabei auf 20km/h beschränkt und die Fahrzeuge werden zumindest am Anfang auf abgetrennten Fahrbahnen auf dem Fußweg fahren. Bereits kommerziell erhältlich ist der Elektrokleinbus 'Navia' der Firma Induct. Er wird in Singapur, Lausanne und auf einer amerikanischen Militärbasis zur Beförderung von Fußgängern auf der Kurzstrecke eingesetzt. Weitere selbstfahrende Fahrzeuge werden im europäischen Projekt CityMobil2 entwickelt. Sie kommen in 2014 und 2015 in mehreren europäischen Städten zum Einsatz, benötigen aber Anpassungen in der Infrastruktur. Es ist kein Zufall, dass es sich bei all diesen Vorhaben im Nahbereich um Elektrofahrzeuge handelt. Dort kann der Elektromotor seine Vorteile sowohl bei der Fahrzeugkonfiguration als auch im Betrieb voll ausspielen.

Einen anderen Weg gehen die Automobilhersteller, die sich auf Fahrerassistenzsysteme und das individuelle Fahrvergnügen konzentrieren. Volvo wird bis spätestens 2017 einen Versuch mit 100 teilautonomen Fahrzeugen auf der Ringautobahn um Göteborg durchführen. Daimler hat in 2013 einen vollautonomen Prototyp auf einer Strecke von ca. 100km fahren lassen; im Jahr 2014 stellte Daimler dann ein frühes Konzept für einen autonomen Lastwagen vor. Auch Bosch und Continental arbeiten intensiv an diesen Themen.

Autonome Fahrzeugtechnologien entwickeln sich sehr rasch. Im Gegensatz zu vielen anderen Innovationsprozessen - bei denen die Reifung einer Technologie meist länger dauert als zunächst erwartet - ist bei dabei das umgekehrte Phänomen zu beobachten: Während die meisten Autohersteller noch vor zwei Jahren voll autonome Fahrzeuge gar nicht oder erst ab 2030 erwarteten, wurde diese Einschätzung zunächst auf Mitte des nächsten Jahrzehnts verschoben; inzwischen erwarten mehrere Automobilhersteller (Nissan, Volvo, Daimler) dass ihre ersten autonomen Fahrzeugmodelle Anfang der 20er Jahre am Markt sein werden. Im letzten Herbst kündigte Volvo einen Feldversuch mit 100 teilautonomen Fahrzeugen in Göteborg an; inzwischen mehren sich die Anzeichen, dass dieser Termin vorverlegt wird und bereits 2015 mit den Tests begonnen wird. Google hatte ursprünglich das Jahr 2018 als Termin für den Markteintritt der ersten selbstfahrenden Fahrzeuge angedeutet; die ersten vollautonomen Fahrzeuge werden aber wahrscheinlich bereits im nächsten Jahr den Betrieb aufnehmen.

## **Flotten autonomer Elektrofahrzeuge**

In diesem komplexen, weltweiten Innovationsprozess werden Fahrzeugflotten aus Elektrofahrzeugen eine besondere Rolle spielen. Sie sind der beste Pfad, um die autonome Fahrzeugtechnologie zur Marktreife zu entwickeln und an den Markt zu bringen. Denn das universelle autonome Fahrzeug, das überall perfekt funktioniert, ist deutlich schwieriger zu realisieren, als eine Flotte von autonomen

Fahrzeugen, die in einer genau bestimmten Region und unter Umständen auf sorgfältig ausgewählten Strecken bei zunächst relativ niedrigen Geschwindigkeiten Mobilität als Dienstleistung anbieten.

Autonome Flotten von Elektromobilen wie sie in Milton Keynes, Mountain View und anderen Städten derzeit realisiert werden, haben viele Vorteile: Sie ermöglichen es, die Risiken zu minimieren, viel Erfahrung mit der Technologie und dem Betreiben von Fahrzeugflotten zu sammeln und gleichzeitig eine nützliche Dienstleistung zu erbringen. Die Flottenfahrzeuge werden in der Regel im Nahbereich eingesetzt und haben ganz andere Anforderungen als konventionelle PKW. Sie eignen sich daher perfekt für den Einsatz von Elektrofahrzeugen: Prototypen können schneller entwickelt werden und Elektrofahrzeuge sind wartungsärmer als Fahrzeuge mit konventionellen Antrieben. Die besonderen Anforderungen autonomer Fahrzeuge in Bezug auf Steuerung, Drive-By-Wire und redundante Auslegung der sicherheitsrelevanten Komponenten lässt sich einfacher realisieren. Z.B. kann ein Elektromotor beim Versagen der Bremse auch zur Notbremsung eingesetzt werden. Aufgrund des regionalen Einsatzes spielen Reichweite und Batteriekapazität nur eine untergeordnete Rolle. Im Flottenbetrieb ist auch der Aufbau einer Ladeinfrastruktur unproblematisch - zum einen, wegen der größeren Zahl der Fahrzeuge, zum anderen weil die Fahrzeuge die Ladestationen selbständig anfahren können,

Daher führt der Entwicklungspfad autonomer Fahrzeugtechnologien über Flotten von Elektrofahrzeugen. Gleichzeitig erweisen sich diese Flotten als Katalysator für den Durchbruch der Elektromobilität. Denn sie bieten das optimale Einsatzprofil für Elektrofahrzeuge: Die Flotten ermöglichen individuelle Mobilität, können aber gleichzeitig das Reichweitenproblem umgehen: Im Nahbereich, der mehr als 90% aller Fahrten umfasst, setzen die Flotten vorzugsweise Elektromobile ein; für die selteneren Fernfahrten wird der Reisende entweder dem öffentlichen Fernverkehr per Elektromobil, das ihn zum Bahnhof bringt, zugeführt oder er nutzt ein (u.U. ebenfalls selbstfahrendes) Flottenfahrzeug mit konventionellem Antrieb.

Damit legt die Kombination aus autonomen Technologien und Elektroantrieb die Grundlagen für eine tiefgreifende Veränderung individueller Mobilität, die Ressourcen spart, die Umweltbelastung deutlich reduzieren kann und viele weitere positive Auswirkungen - bis hin zur Freisetzung großer, bisher zum Parken genutzter Flächen - hat.<sup>6</sup>

## **Kostenaspekte und Wohlfahrtsgewinn**

In mittel bis dicht besiedelten Gegenden - nicht nur in Städten - kann die gemeinsame Nutzung einer Flotte selbstfahrender Fahrzeuge die Kosten individueller Mobilität deutlich senken. Dies wird zum einen dadurch erreicht, dass die Fahrzeuge erheblich besser ausgelastet werden, als privat genutzte Fahrzeuge, die etwa 94% Prozent ihrer Zeit auf einem Parkplatz verbringen. Zudem werden die Fahrzeuge für den Nahverkehr ausgelegt werden, über weniger Sitze verfügen, da bereits heute die mittlere Besetzungszahl eines PKWs bei nur 1,5 Personen liegt<sup>7</sup>, und damit kleiner, leichter und

energieeffizienter sein. Die Kosten können durch die Optimierung der Nutzungsdauer noch weiter gesenkt werden. Professionelle Wartung, langlebige Komponenten, einschließlich der robusten Elektromotoren, ermöglichen Nutzungsdauern von mehreren Jahrzehnten, wie sie im Schienenverkehr, im Luftverkehr und in der Schifffahrt bereits heute die Regel sind.

Wir haben anhand von Modellrechnungen an anderer Stelle gezeigt, dass die Mobilitätskosten je Personenkilometer im Nahverkehr dadurch um einen Faktor von zwei bis drei sinken können und im Fernverkehr noch höhere Kostensenkungen möglich sind.<sup>8</sup> Gleichzeitig verändern sich die Anforderungen an die Batterien. Während heute die Reichweite und damit die Kosten je kWh Speicherkapazität im Vordergrund stehen, rückt beim Flotteneinsatz die Gesamtkilometerleistung und Lebensdauer der Batterien und damit die Zyklenfestigkeit in den Vordergrund. Bei den Batterien, die in aktuellen Elektrofahrzeugen wie dem Nissan Leaf eingesetzt werden, beträgt die Abschreibung der Batterie bei einer Lebensdauer von ca. 200.000 km ca. 5 Cent pro km und übersteigt damit die Stromkosten! Batterien müssen daher für den Flotteneinsatz so optimiert werden, dass sie deutlich häufiger wieder aufgeladen werden können. Dies ist bereits mit heutiger Technologie möglich.<sup>9</sup>

Im Jahr 2012 betragen die Mobilitätsausgaben deutscher Haushalte im Schnitt 373 Euro pro Monat, was einem Anteil von 12,9% am Haushaltseinkommen entspricht.<sup>10</sup> Nimmt man eine Verringerung der Mobilitätskosten durch autonome Fahrzeugflotten um nur 20% (50%) an, so ergibt sich ein jährlicher Wohlfahrtsgewinn für die 36,897 Millionen deutschen Haushalte in Höhe von 33 (83) Milliarden Euro! Dabei sind weitere Effekte durch weniger Verkehrsunfälle, Gewinn an verfügbarer Zeit usw. noch gar nicht berücksichtigt.

Wie tiefgreifend Flotten autonomer Fahrzeuge die Mobilität verändern können zeigen drei Studien, die für unterschiedliche Städte die Rahmenbedingungen für autonome Fahrzeugflotten untersucht haben. Die Studien, deren Ergebnisse in Tabelle 1 zusammengefasst sind, verwendeten mathematische Methoden und Simulation auf der Basis der regionalen Mobilitätsdaten um herauszufinden, wie groß autonome Fahrzeugflotten in der jeweiligen Region ausgelegt werden müssten.

Alle drei Studien verwenden unterschiedliche Ansätze und stützen sich auf unterschiedlich detaillierte Datenquellen. Dennoch stimmen sie in der Kernaussage überein, dass im Vergleich zum aktuellen Fahrzeugbestand ein deutlich geringerer Fahrzeugpool ausreichen würde um die individuellen lokalen Mobilitätsbedarfe abzudecken. Für Ann Arbor kamen die Wissenschaftler zu dem Schluss, dass 18.000 Flottenfahrzeuge ausreichen würden um alle lokalen Fahrten, für die derzeit etwa 120.000 privat genutzte PKWs im Einsatz sind, abzuwickeln. Dabei würden sich selbst in Stoßzeiten nur Wartezeiten von weniger als 1 Minute ergeben. Fagnant et al. kamen für die Stadt Austin zu ähnlichen Ergebnissen. Die Studie über Singapur ist etwas anders angelegt. Sie geht davon aus, dass alle Mobilitätsbedarfe mit autonomen Fahrzeugen abgewickelt werden - auch Fahrten mit öffentlichen Verkehrsmitteln, die in Singapur sehr gut ausgebaut sind. Dadurch ergibt sich ein deutlich niedrigeres Ersetzungsverhältnis als bei den Studien zu Ann Arbor und Austin, die nur den PKW-Verkehr betrachtet haben.

|                                  | Ann-Arbor, USA                       | Singapur  | Austin, USA   |
|----------------------------------|--------------------------------------|---|---|
| Einwohner                        | 285.000                              | 4,8 Millionen   | 1,8 Millionen   |
| Flottenleistung in Wegen pro Tag | 528.000<br>(= alle lokalen PKW-Wege) | 5,9 Millionen<br>(= alle lokalen PKW Wege sowie gesamter öffentlicher Nahverkehr) | 2,85 Millionen<br>(nur im Kernbereich von Greater Austin, = 57% aller PKW-Wege) |
| Flottengröße                     | 18.000<br>(ersetzt 120.000 PKWs)     | 300.000<br>(= 1 Flottenfahrzeug je 16 Einwohner)                                  | 110.850<br>(ersetzt 930.000 PKWs)   |
| Ersetzungsverhältnis             | 6,7                                  | 2,2 <sup>11</sup>   | 8,4   |
| Wartezeit zu Stoßzeiten          | < 1 Minute                           | maximale durchschn. Wartezeit: 15 Minuten   | < 50 Sekunden   |
| Quelle                           | Burns et al., 2013 <sup>12</sup>     | Spieser et al., 2014 <sup>13</sup>  | Fagnant et al., 2014 <sup>14</sup>  |

Tabelle 1: Rahmenbedingungen von autonomen Fahrzeugflotten

Insgesamt zeigen die Studien das große Potenzial derartiger Flotten auf. Wenn die Technologie ausgereift ist können autonome Flotten rasch aufgebaut werden und organisch wachsen.

## Durchbruch für die Elektromobilität

Der Schlüssel für den Durchbruch der Elektromobilität besteht daher darin, dass Mobilitätsbedarfe intelligenter befriedigt werden und es nicht länger notwendig ist, dass man ein relativ wenig genutztes Wirtschaftsgut - den PKW - besitzen muss, damit individuelle motorisierte Mobilität möglich ist. Dazu ist es nicht notwendig, die Reichweite von Elektrofahrzeugen zu vergrößern.

Dies hat Konsequenzen für die Politik, Investoren und Forschung: Das Ziel der Bundesregierung, dass bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen im Einsatz sein sollen, erweist sich als griffig, aber unglücklich formuliert: Das eigentliche Ziel müsste darin bestehen, dass ein größerer Anteil unserer individuellen Mobilität durch Elektrofahrzeuge erbracht wird. Bundesweit werden täglich etwa 162 Millionen Wege und 2,5 Milliarden Personenkilometer im motorisierten Individualverkehr zurückgelegt.<sup>15</sup> Das Ziel könnte daher auch so formuliert werden, dass im Jahr 2020 ein dem angestrebten Anteil von Elektrofahrzeugen (1 Mio) am Gesamtfahrzeugbestand (43,432 Mio<sup>16</sup>) in Höhe von 2,3% äquivalenter Anteil im motorisierten Individualverkehr mit Elektrofahrzeugen zurückgelegt werden. Dazu müssten täglich 3,7 Millionen Wege bzw. 57 Millionen Personenkilometer in Elektrofahrzeugen zurückgelegt werden. Noch besser wäre es, die Ziele über die Umweltbilanz der Mobilität zu definieren, bei der auch die Lasten der Fahrzeugherstellung und - Entsorgung mit berücksichtigt werden.

Die Formulierung der Ziele ist wesentlich, weil sich daraus Anreize bzw. Fehlanreize ergeben können.

Der Fokus auf den Privatkunden - dessen Fahrzeug weniger als eine Stunde pro Tag im Einsatz ist - ist ein Fehler. Autonome Flottenfahrzeuge werden eine um den Faktor 6 oder höhere Auslastung und Laufleistung erreichen. Sicher wäre das Ziel von 167.000 elektrischen Flottenfahrzeugen einfacher zu erreichen als das Ziel einer Million Privatfahrzeuge. Gleichzeitig ist die Umweltbilanz eines Flottenfahrzeugs, das für den Nahverkehr ausgelegt ist, um einen noch größeren Faktor günstiger als die Bilanz eines Privatfahrzeugs, da es kleiner und leichter ist und damit sowohl in der Produktion als auch im Betrieb weniger Ressourcen beansprucht.

Der Fokus auf den Fahrzeugbestand verhindert die Entwicklung intelligenterer Mobilitätssysteme, die unseren ökologischen und energiepolitischen Zielen viel mehr entsprechen. Viele scheinbar grundlegende Probleme der Elektromobilität - wie die Vergrößerung der Reichweite und der Aufbau einer nationalen Ladeinfrastruktur treten plötzlich in den Hintergrund, wenn wir effizientere Strukturen für individuelle Mobilität entwickeln, bei denen Flotten elektrischer, autonomer Fahrzeuge Mobilität als Dienstleistung anbieten und den optimalen Übergang vom individuellen zum öffentlichen Nah- und Fernverkehr ermöglichen.

Auch für Forschung und Entwicklung ergeben sich andere Prioritäten: Es geht nicht mehr so sehr darum, die Batteriekapazitäten zu steigern; die Verlängerung ihrer Lebensdauer ist entscheidend, da sie bisher eine sehr hohe Auswirkung auf die Gesamtkosten je Fahrzeugkilometer hat. Beim privaten Einsatz kommen diese Probleme bisher nicht so sehr zum Tragen, weil die durchschnittliche Jahresfahrleistung - anders als bei Fahrzeugflotten - relativ gering ist. Durch den Einsatz im Flottenbetrieb ändert sich auch der Lösungsraum für weitere Probleme von Elektrofahrzeugen wie z.B.: Ladeinfrastruktur, Aufladestrategien, Optimierung der Batteriekapazität in Abhängigkeit der Mobilitätsbedarfe, Ansätze zum Heizen bzw. Kühlen bei extremen Temperaturen, und Optimierungsansätze durch Kooperation zwischen Flottenfahrzeugen. Forschungsbedarf besteht außerdem bei allen Aspekten von für den Flottenbetrieb optimierten Elektrofahrzeugen, sowie der Weiterentwicklung autonomer Fahrzeugtechnologien. Großer Bedarf besteht auch an Methoden und Algorithmen für die Steuerung autonomer Fahrzeugflotten sowie die Vorhersage und Aggregation der Mobilitätsbedarfe.

Insgesamt zeigt sich, dass die Technologie autonomer Fahrzeuge der ideale Katalysator ist, um individuelle Mobilität erheblich effizienter, ressourcenschonender und sicherer zu gestalten, sie auch für Bevölkerungsgruppen zugänglich zu machen, die bisher von individueller Mobilität weitgehend ausgeschlossen sind, und der Elektromobilität im Nahverkehr zum Durchbruch zu verhelfen.



- 1 Kraftfahrzeug Bundesamt (2014): Jahresbilanz der Neuzulassungen 2013 [[url](#)].
- 2 Schott, B. u.a. (2013): Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland im internationalen Vergleich und Analysen zum Stromverbrauch.
- 3 Infas, DLR (2010): Mobilität in Deutschland 2008, [url](#).
- 4 Chlond, B. (2005): Wie wenige reisen viel? Nachfragestruktur im Personenfernverkehr. [url](#).
- 5 Manz, W.; Last, J.; Chlond, B. (2005): Die intermodale Vernetzung von Personenverkehrsmitteln unter Berücksichtigung der Nutzerbedürfnisse (Inverno-Schlussbericht), S. 82, [url](#).
- 6 Hars, A. (2014): Wie revolutionär sind selbstfahrende Fahrzeuge? Eine Wirkungskettenanalyse. In: Proff, H. (Hrsg), Radikale Innovationen in der Mobilität. S. 267-283.
- 7 Infas, DLR (2010): Mobilität in Deutschland 2008, S.3, [url](#).
- 8 Hars, A. (2014): Flotten selbstfahrender Fahrzeuge: Revolution der Mobilität. Erscheint in: ZfAW 4 / 2014.
- 9 Wilka, M.D.: Untersuchungen von Polarisierungseffekten an Lithium-Ionen Batterien. Dissertation, Ulm, 2013, S. 138, [url](#).
- 10 Statistisches Bundesamt (2014): Einnahmen und Ausgaben privater Haushalte. Fachserie 15 Reihe 1, S. 13, [url](#).
- 11 2012 waren 684221 PKWs und Taxis in Singapur registriert. Quelle: Singapore Land Transport Authority, (2013): Singapore Land Statistics in Brief 2013, [url](#).
- 12 Burns, L.D.; Jordan, C.W. and Scarborough, B.A. (2013): Transforming personal mobility, [url](#).
- 13 Spieser, K. Treleaven, K., Zhang, R. et al. (2014): Toward a systematic approach to the design and evaluation of automated mobility-on-demand systems. In: Meyer, G.; Beikers, S.: Road vehicle automation, [[url](#)].
- 14 Fagnant, D, D.J., Kockelmann, K. (2014): Development and application of a network-based shared automated vehicle model in Austin, Texas, [[url](#)].
- 15 Infas, DLR (2010) Mobilität in Deutschland 2008, S.87, [url](#).
- 16 Statistische Bundesamt (2014): Zahlen und Fakten (Stand: 2013) [url](#).