

Alles elektrisch?! – Chancen und Konzepte der Elektromobilität

Fabian PETERS
Universität Bremen
Tokyo Metropolitan University

Einführung

Im Sommer 2009 hat die Bundesregierung mit dem „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ das offizielle Ziel ausgegeben, bis zum Jahr 2020 eine Million Elektroautos auf deutsche Straßen zu bringen und Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln [Sch10]. Bisher liegen Know-how und Fertigungskapazitäten für die wichtigsten Komponenten vor allem in Asien, namentlich China, Korea und Japan [Dud10]. Auch diese Länder investieren große Summen in die Weiterentwicklung und die Verbreitung von Elektromobilität [Rat10], [Rob10], [Dud10]. Auch in die Tagespresse findet das Thema in jüngster Zeit immer stärkeren Eingang (z. B. [Kön11], [Dri11], [Tre11d]). Dabei wird allgemein davon ausgegangen, dass die gegenwärtigen, auf fossilen Energieträgern beruhenden Konzepte für den Individualverkehr in Zukunft durch alternative, auf elektrischen Antrieben beruhende Ansätze ergänzt oder ersetzt werden müssen.

Elektromobilität

Unter den Begriff Elektromobilität fallen jegliche, ganz oder teilweise durch elektrische Energie angetriebenen Fahrzeuge. Größe, Reichweite und Transportkapazität spielen hier also zunächst keine Rolle. Selbst Kinderspielzeuge, die sich mittels eines Elektromotors selbständig fortbewegen sind in diesem Sinne elektromobil. Auch Straßen-, U- und S-Bahnen, die über einen Fahrdrabt mit elektrischer Energie

versorgt werden und diese in Vortrieb umsetzen, sind ganz alltägliche Träger von Elektromobilität, die schon seit Jahrzehnten das Bild unserer Städte prägen. Elektromobilität ist also keineswegs eine neue Erscheinung der letzten Jahre, sondern hat die Geschichte der modernen technisierten Fortbewegung fast von Beginn an mitgeprägt.

Der Grund für die derzeitige Aktualität des Themas liegt folglich nicht darin, dass die Idee elektrischer Antriebskonzepte eine grundlegende Neuheit darstellt. Vielmehr ist es ihre Übertragung auf den motorisierten Individualverkehr und damit das Vordringen in einen der wenigen Bereiche des Alltags, in dem sie bisher praktisch keine Rolle spielte. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war die Frage, welches Antriebskonzept die bessere Wahl für die zu dieser Zeit erstmals auftretenden Automobile sein würde, keineswegs so eindeutig zu beantworten, wie es heute erscheint. Damals setzten in Deutschland noch gut ein Viertel aller Automobilhersteller ausschließlich auf Elektrofahrzeuge [Kön11]. Diese boten gegenüber verbrennungsmotorbasierten Ansätzen zahlreiche Vorteile, wie etwa die einfache und beliebige An- und Abschaltbarkeit des Elektromotors. Damit entfiel die Notwendigkeit einer Kurbel zum Anlassen des Motors. Auch Sauberkeit und geringe Geräuschentwicklung sprachen von Beginn an für den Elektromotor als Antrieb der Zukunft. Letztlich entschied der Benzinantrieb das Rennen jedoch, vor allem aufgrund von Kostenvorteilen, für sich [Kön11]. Auch konnte die Reichweite der Elektrofahrzeuge aufgrund der im Vergleich geringeren Energiedichte der elektrischen Energiespeicher bisher nie mit denen der fossil betriebenen Fahrzeuge mithalten. Während die knapper werdenden Erdölreserven und die damit einhergehenden Preissteigerungen für Benzin und Diesel den Preisvorteil heute zunehmend kleiner werden lassen, besteht das Problem der geringen Energiedichte nach wie vor fort.

Stand der Batterietechnik

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Batterietypen, die sich sowohl in der Zusammensetzung ihrer grundlegenden Komponenten als auch in ihrer Auslegung auf spezielle Anwendungen unterscheiden [Rad07]. Grundsätzlich wird außerdem zwischen wiederaufladbaren Sekundärzellen („Akkus“) und nicht wiederaufladbaren Primärzellen unter-

schieden [JW06]. Wie für die meisten mobilen Anwendungen ist für die Elektromobilität nur der Einsatz wiederaufladbarer Systeme interessant.

Wichtige Kenngrößen für die Auswahl des richtigen Energiespeichersystems für Elektrofahrzeuge sind vor allem dessen gravimetrische Energiedichte und gravimetrische Leistungsdichte. Die gravimetrische Energiedichte gibt an, wie viel Energie pro Kilogramm Batteriemasse gespeichert werden kann, während die Leistungsdichte ein Maß dafür ist, wie schnell diese Energie wieder entnommen werden kann [JW06]. Im Sinne einer möglichst großen Reichweite und eines möglichst großen Fahrkomforts sollten beide Werte möglichst hoch liegen. Mit anderen Worten: Die Batterie eines Elektroautos sollte bei möglichst geringem Gewicht möglichst viel Energie speichern und diese auch schnell genug wieder zur Verfügung stellen können, um eine angemessene Beschleunigung und Höchstgeschwindigkeit zu ermöglichen. Nach dem heutigen Stand der Technik erfüllen Lithium-Ionenbatterien diese Anforderungen am besten. Allerdings haben Verbrennungsmotoren momentan noch einen großen Vorsprung hinsichtlich ihrer Alltagstauglichkeit [Tre11a].

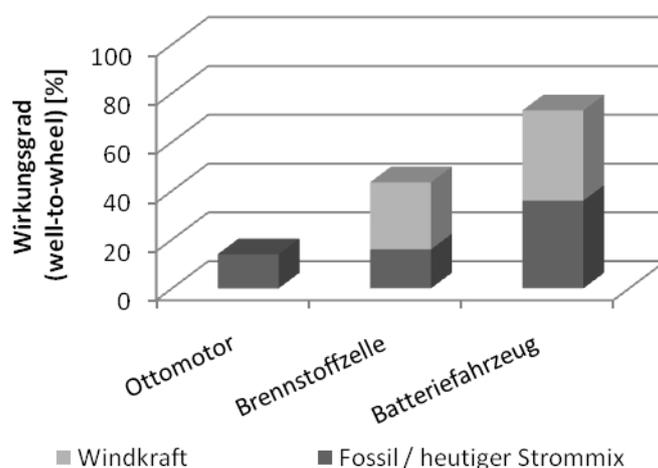


Abbildung 1: Vergleich der Well-to-Wheel Wirkungsgrade verschiedener Antriebskonzepte. (Daten [Fra11])

Aktuelle Lithium-Ionenbatterien erreichen eine gravimetrische Energiedichte von etwa 0,2 kWh/kg. Benzin und Diesel bringen es dagegen auf einen Energiegehalt von rund 12 kWh/kg. Um die gleiche Energiemenge zu speichern, wie in 40 Litern Dieselkraftstoff enthal-

ten sind, benötigt man folglich eine Lithium-Ionenbatterie von über 2 Tonnen Gesamtgewicht [Tre11c]. Dieser große Unterschied wird allerdings durch den höheren Wirkungsgrad von Elektrofahrzeugen teilweise kompensiert. Abbildung 1 stellt den Wirkungsgrad verschiedener Antriebskonzepte gegenüber. Durch die hier vorgenommene „Well-to-Wheel“-Betrachtung werden alle Energieverluste, die entlang der Transportkette des Energieträgers von dessen Bereitstellung („Well“) bis zum Verbrauch zum Antrieb des Fahrzeugs („Wheel“) auftreten, berücksichtigt. Unter Verwendung regenerativer Energien zur Erzeugung des elektrischen Stroms kann ein Batterie-fahrzeug heute einen Well-to-Wheel-Wirkungsgrad erzielen, der um das Vier- bis Fünffache über dem eines verbrennungsmotorbetriebenen Fahrzeugs liegt. Der für die Dimensionierung der Batterie entscheidende Fahrzeugwirkungsgrad liegt unter guten Bedingungen immer noch zwei- bis dreimal über dem von Benzin- und dieselbetriebenen Fahrzeugen. Die benötigte Batteriemasse würde sich im obigen Beispiel damit auf etwa 750 kg reduzieren. Die zum Vergleich angeführten 40 Liter Dieselkraftstoff wiegen dagegen nur rund 33 kg. Daraus wird deutlich, dass die Energiedichte zukünftiger Batteriesysteme immer noch wenigstens um den Faktor zehn gesteigert werden muss, um mit heutigen konventionellen Kraftfahrzeugen mithalten zu können.

Das Potential der derzeit auf dem Markt befindlichen Lithium-Ionenbatterien ist bereits weitgehend ausgeschöpft. Größere Steigerungen der Kapazitäten sind mit den hier angewandten Materialkombinationen nicht mehr zu erwarten, da sich die derzeit erzielten Energiedichten bereits nahe an den theoretischen Obergrenzen der Technologie befinden [Yos09]. Die Hoffnungen ruhen deshalb auf der nächsten Generation der Lithium-Ionentechnologie. Lithium-Luft- und Lithium-Schwefelsysteme werden derzeit intensiv erforscht und sollen innerhalb der nächsten zehn bis zwanzig Jahre zur Marktreife gebracht werden. Die dabei erwarteten Kapazitätssteigerungen liegen im Bereich des Fünf- bis Sechsfachen [Fra11]. Auch sogenannte Redox-Flow-Systeme, bei denen die Energie in Form eines austauschbaren, flüssigen Elektrolyten gespeichert wird, stellen eine mögliche Alternative dar. Derzeit ist allerdings noch nicht sicher, ob sich mit diesem Ansatz auch die benötigten Kapazitätssteigerungen erzielen lassen [Tre11c].

Gesellschaftliche Aspekte

Wie im vorhergehenden Abschnitt gezeigt, stellt die technische Seite zwar anspruchsvolle, aber keine unüberwindbaren Hürden für die Elektromobilität dar. Daneben gibt es aber noch eine Reihe gesellschaftlicher und ökonomischer Faktoren, die über den Erfolg und die Geschwindigkeit des letztlich wohl unausweichlichen Technologiewechsels mitentscheiden werden.

Allen voran steht die Frage der Kosten, die der Umstieg auf ein Elektrofahrzeug für den Anwender mit sich bringt. Gegenwärtig liegt der Anschaffungspreis für einen Elektrokleinwagen (Abbildung 2) mit durchschnittlichem Komfort bei etwa 20.000 bis 40.000 Euro [Hau11]. Etwa die Hälfte davon macht die Batterie aus. Selbst unter Berücksichtigung der späteren Kostenersparnis durch den geringeren Wartungsaufwand und den geringeren Kilometerpreis ist die Anschaffung eines solchen Fahrzeugs für den Durchschnittsnutzer deshalb gegenwärtig wenig attraktiv. Die allmählich anlaufende Massenproduktion wird hier sicherlich zu einer gewissen Preissenkung, vor allem im Bereich der Karosserie und Elektronik führen. Die Senkung des Batteriepreises hängt nicht zuletzt auch vom Einsatz neuer Werkstoffe ab, die kostengünstig und in großen Mengen verfügbar sind.

Ein weiteres wichtiges Thema ist die Etablierung einer Ladeinfrastruktur für Elektroautos. Gerade bei den geringen momentan erzielbaren Reichweiten von etwa 100 bis 180 km pro Batterieladung [Mül11] ist der einfache Zugang zum Stromnetz auch unterwegs wichtig. Experten gehen zwar davon aus, dass die durchschnittlichen Fahrstrecken für Elektroautos in Großstädten bei etwa 30 Kilometern pro Tag liegen und eine Ladung zu Hause damit normalerweise problemlos möglich ist [Mül11]. Andererseits gibt es aber gerade in den dichtbesiedelten Stadtzentren, wo viele potentielle Benutzer wohnen, einen großen Anteil sogenannter „Laternenparker“, die wechselnde öffentliche Stellplätze nutzen und somit keine Möglichkeit zum Anschluss ihres Fahrzeugs an das eigene Hausnetz haben [Hau11]. Diese Benutzergruppe ist daher auf die Nutzung öffentlicher Zugangspunkte zum Stromnetz angewiesen, um ein privates Elektrofahrzeug zu betreiben.



Abbildung 2: Aktuelles Kleinserien-Elektrofahrzeug (Tazzari ZERO).

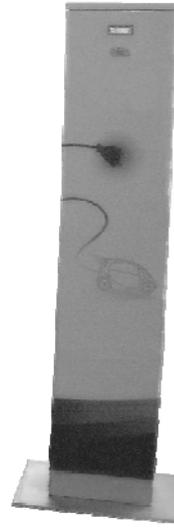


Abbildung 3: Mögliche Ausführung einer öffentlichen Ladesäule zum Aufladen von Elektrofahrzeugen.

Die einfachste Möglichkeit, einen solchen Netzzugang zu ermöglichen, stellen öffentliche Ladesäulen dar, die zum Beispiel vom örtlichen Stromversorger aufgestellt werden. Abbildung 3 zeigt eine mögliche Ausführung einer solchen Ladesäule. Um sein Auto aufzuladen, muss sich der Kunde hier identifizieren, um die Abrechnung der entnommenen Strommenge zu ermöglichen. Nach erfolgreicher Anmeldung wird die Säule freigeschaltet und der Kunde kann sein Fahrzeug über ein Kabel mit der Säule verbinden und den Ladevorgang beginnen. Solche Säulen könnten auch standardmäßig mit Hochspannungsanschlüssen ausgestattet werden und so ein schnelleres Laden gegenüber dem 230 V-Hausnetz ermöglichen [Rat10].

Dennoch ist es fraglich, ob öffentliche Ladesäulen in naher Zukunft in nennenswerter Zahl in den Städten zu finden sein werden. Den hohen Investitionskosten für die Aufstellung und den Anschluss der Säulen stehen eine hohe Vandalismus- und Unfallgefahr sowie teilweise ungeklärte rechtliche Fragen entgegen [Hau11]. Herumhängende Kabel bieten leichte Ziele für mutwillige Beschädigung und stellen ein nicht unerhebliches Verletzungsrisiko dar. Hinzu kommt, dass mit Ladestationen ausgestattete Parkplätze exklusiv für Elektrofahrzeuge reserviert werden müssten, damit eine sinnvolle Nutzung möglich ist. Einige Städte lösen dieses Problem durch die Ausweisung von Parkverboten, von denen Elektrofahrzeuge während des Ladens

ausgenommen sind [Ber11]. Die Straßenverkehrsordnung lässt eine solche Privilegierung jedoch bislang eigentlich nicht zu, so dass diese Modelle sich noch in einer rechtlichen Grauzone bewegen [Hau11].

Als Alternative für das kabelgebundene Laden gilt zunehmend das induktive Laden [Tre11b]. Hierbei wird die elektrische Energie über ein elektromagnetisches Feld, das von einer in den Boden eingelassenen Spule erzeugt wird, auf das Fahrzeug übertragen. Dasselbe Prinzip wird heute bereits in kleinerem Maßstab zur Aufladung von Elektrokleingeräten, etwa elektrischen Zahnbürsten, erfolgreich angewandt. In einem ersten Schritt könnten solche Spulen vor allem an festen Punkten wie Taxiständen und Parkhäusern zum Einsatz kommen und so ein bequemes Nachladen auch unterwegs ermöglichen. Später wäre dann die Ausdehnung auch auf vielbefahrene Straßen und Autobahnen denkbar, so dass auch während der Fahrt zumindest ein Teil des Energiebedarfs direkt aus dem Stromnetz entnommen werden könnte. Damit wäre eine Verringerung der benötigten Batteriekapazität in den Fahrzeugen verbunden [Tre11b].

Ein weiteres Problem für die Elektroautos könnte ihnen aus einem ihrer eigentlich größten Vorteile erwachsen: ihrer weitgehenden Geräuschlosigkeit. Bei Schrittgeschwindigkeit ist außer einem leichten Surren des Elektromotors kaum etwas zu hören. Erst ab einer Geschwindigkeit von etwa 40 km/h nähert sich das Rollgeräusch der Reifen an die Lautstärke moderner Autos an. Dadurch sind solche Fahrzeuge für Verkehrsteilnehmer mit eingeschränkter visueller Wahrnehmung wie zum Beispiel Blinde und Kinder (geringe Sichthöhe) unter Umständen nur noch schwer zu erkennen. Mögliche Lösungsansätze sehen hier den Einbau künstlicher Geräuschgeneratoren oder den Einsatz von vibrierenden Warngeräten vor [Mod11].

Ausblick

Durch die Verknappung der Reserven fossiler Energieträger und den steigenden Mobilitätsbedarf, vor allem in den Schwellenländern, wird langfristig kein Weg an der flächendeckenden Einführung der Elektromobilität vorbeiführen. Auch der Klimawandel und die damit verbundene Notwendigkeit zur Reduktion der Treibhausgasemissionen verlangen nach post-fossilen Mobilitätskonzepten. Die dezentralisierte Bereitstellung regenerativer Energie bietet hier gute Ver-

bindungsmöglichkeiten mit elektrisch angetriebenen Fahrzeugen, die als Zwischenspeicher für elektrische Energie dienen und gleichzeitig emissionsfreies Fahren ermöglichen können [Tre11b].

Der Übergang von der fossilen zur elektrischen Mobilität wird dabei wahrscheinlich eher langsam vonstattengehen und beide Konzepte für lange Zeit nebeneinander bestehen. Insbesondere Hybridfahrzeuge, die sowohl über einen Elektro- als auch einen Verbrennungsmotor verfügen, werden den Markt in den nächsten Jahren prägen. Dabei wird sich der Elektromotor nach und nach vom heutigen Hilfsaggregat zur vornehmlichen Antriebsquelle entwickeln und vermutlich frühestens in den Jahren 2040 bis 2050 [Tre11a] den Verbrennungsmotor vollständig verdrängen.

Mit dem nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität hat der Weg in die Elektromobilität auch in Deutschland endgültig begonnen. Gegenwärtig werden allerdings erst weniger als 1 Prozent aller Fahrzeuge in Deutschland elektrisch angetrieben. Die Bundesregierung geht ab 2017 von einem starken Anwachsen des Marktes aus. Ob das hochgesteckte Ziel von einer Million Elektroautos bis 2020 erreicht werden kann, ist aber nach wie vor unsicher [Tre11d]. Zwar werden Elektroautos in Deutschland für zehn Jahre von der Kfz-Steuer befreit und auch Anreize wie die Erlaubnis zur Nutzung von Busspuren sind im Gespräch [Tre11d]. Ein staatliches Subventionsprogramm zur Ankurbelung des Verkaufs von Elektrofahrzeugen, wie es in Korea und Japan bereits erfolgreich praktiziert wird [Rat10], [Rob10], ist aber derzeit nicht geplant [Tre11d].

Literaturverzeichnis

- [Ber11] Berliner Kurier: Streit um Elektro-Parkschild.
<http://www.berlinonline.de/berliner-kurier/print/berlin/344542.html>, 25.04.2011.
- [Dri11] Driessen, C.: Studie: E-Autos sofort einsatzfähig. Pilotprojekt bringt neue Erkenntnisse. In *Weser-Kurier Bremen*, 07.08.2011; S. 13.
- [Dud10] Dudenhöffer, F.: Hochvolt-Energiespeicher. Konkurrenz in Deutschland, Europa und Asien. In *ATZ Elektronik*, 2010, 5; S. 26–31.

- [Fra11] Fraunhofer-Gesellschaft Hrsg.: weiter.vorn. Beilage Elektromobilität, 2011.
- [Hau11] Hauschildt, E.: Nachhaltige Mobilität mit Strom: Zur Gestaltung der Ladeinfrastruktur für Elektroautos in Bremen. Bachelorarbeit, Bremen, 31.01.2011.
- [JW06] Jossen, A.; Weydanz, W.: Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen. 36 Tabellen. Ubooks-Verl; Inge Reichardt Verl, Neusäß, Untermeitingen, 2006.
- [Kön11] König, J.-G.: Bremen – Pionier der Elektromobilität. In Weser-Kurier Bremen, 08.07.2011.
- [Mod11] Modellregion Bremen/Oldenburg: Sehbehinderte Menschen hören Elektroautos, Bremen, 10.06.2011.
- [Mül11] Müller-Wondorf, R.: Elektrofahrzeuge reif für den Großstadteinsatz. In VDI Nachrichten, 12.08.2011; S. 19.
- [Rad07] Radke, P.: Zukunftsmarkt elektrische Energiespeicherung. Fallstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau, 2007.
- [Rat10] Ratzeburg, D.: Japan sorgt sich um Spitzenposition in der Elektromobilität.
http://www.gtai.de/DE/Content/_SharedDocs/Links-Einzeldokumente-Datenbanken/fachdokument.html?flident=MKT201002168011, 13.08.2011.
- [Rob10] Robaschik, F.: Korea (Rep.) setzt auf Elektromobilität. Hyundai stellt Elektroauto vor, Netz von Ladestationen wird aufgebaut. http://www.gtai.de/DE/Content/_SharedDocs/Links-Einzeldokumente-Datenbanken/fachdokument.html?flident=MKT201009308013, 13.08.2011.
- [Sch10] Schöttle, M.: Nationale Forschungsaktivitäten im Gesamtkontext Elektromobilität. In ATZ Elektronik, 2010, 5; S. 68–72.
- [Tre11a] Trechow, P.: Vor dem Elektroantrieb kommt die Aufladung von Benzin- und Dieselmotoren. In VDI Nachrichten, 29.07.2011a; S. 19.
- [Tre11b] Trechow, P.: Elektromobilität ohne Ladekabel. In VDI Nachrichten, 12.08.2011b; S. 19.
- [Tre11c] Trechow, P.: Suche nach Alternativen zu Li-Ionen-Akkus. In VDI Nachrichten, 12.08.2011c; S. 19.
- [Tre11d] Trechow, P.: Elektromobilität soll 30 000 Jobs zusätzlich in Deutschland schaffen. In VDI Nachrichten, 20.05.2011d; S. 1.
- [Yos09] Yoshio, M.: Lithium-Ion Batteries. Science and technology. Springer, New York, 2009.