



Bauzentrum
München

Münchner Energiespartage
08.11.2014

Elektromobilität: Wäre das auch etwas für mich?

Kurze Übersicht über den aktuellen Stand der
Technik und Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Von Alfred Bäder
Elektroingenieur, Dipl.-Wirt.-Ing. (FH),
Solarteur, Energieberater (HWK)
E-Mail: abaeder@mnet-online.de

Vortrag zu Elektromobilität: Überblick

- Welche Arten von Elektrofahrzeugen kommen in Frage?
- Vorteile des Elektromotors gegenüber dem Verbrennungsmotor
- Ladesysteme und -zeiten: Wie kommt der Strom ins Auto?
- Reichweitenfrage und Ladeinfrastruktur: Wo Strom tanken?
- Wirtschaftlichkeit: Fahrkostenvergleich mit Verbrennern
- Preisentwicklung
- Die täglichen Ärgernisse mit der Elektromobilität
- Umweltfreundliche Erzeugung von Strom auf Carport/Hausdach
- Fazit
- Wörterbuch: Fachchinesisch für e-Mobilität

Welche Elektrofahrzeuge kommen in Frage?

- Elektrische Eisenbahnen aller Art (Fernzüge, S-Bahnen, U-Bahnen, Straßenbahnen), Seilbahnen, Magnetschwebebahnen, Grubenbahnen, U-Boote, ...
- Heutiger Vortrag: Elektroautos, Elektroroller, Elektromobile und Elektrofahrräder



Ein **Elektroauto** (auch E-Auto, E-Mobil oder Elektromobil) ist nach amtlicher Definition ein Kraftfahrzeug zur Personenbeförderung mit mindestens vier Rädern (Pkw) der EG-Fahrzeugklasse M, das von einem Elektromotor angetrieben wird und die zu seiner Fortbewegung nötige elektrische Energie in einem Akkumulator (Traktionsbatterie) speichert.

Welche Elektrofahrzeuge kommen in Frage?



Ein **Elektromotorroller** (Elektroroller, E-Scooter oder E-Roller), ist ein Motorroller mit elektrischem Antrieb.

Die Energieversorgung erfolgt aus einer Traktionsbatterie mit mehreren Akkumulatorzellen.

Je nach Bauform beträgt die Geschwindigkeit bis 45 km/h; bei manchen auch 90 km/h.

Die Reichweite beträgt bei einigen Ausführungen über 100 km.

Welche Elektrofahrzeuge kommen in Frage?



Elektromobil: Kleines, offenes, elektrisch angetriebenes Leichtfahrzeug, welches nur den Fahrzeugführer befördern kann und meist von Gehbehinderten genutzt wird.

Damit können Gehbehinderte auch längere Strecken zügig zurücklegen und Rollstuhlzugänge nutzen.

Welche Elektrofahrzeuge kommen in Frage?



E-Bike: Antrieb wird per Drehgriff gesteuert.

Beim **Pedelec** (Pedal Electric Cycle) wird der Fahrer von einem Elektroantrieb unterstützt, wenn er in die Pedale tritt.

In Deutschland ist ein Pedelec, mit einem maximal 250 Watt starken Motor und Limit auf 25 km/h, gemäß der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung kein Kraftfahrzeug.

Deshalb gibt es dafür keine Kennzeichen-, Haftpflichtversicherungs-, Führerschein- und Helmpflicht

Welche Vorteile bringt das elektrische Fahren?

- Vor Ort emissionsfrei. Strom läßt sich leichter CO2-neutral erzeugen wie "Biosprit" infolge höherer Erträge pro Hektar.
- "Kinderkrankheiten" sind weitgehend ausgemerzt.
- Echter Fahrspaß mit dynamischem Fahrverhalten; wie auf "fliegenderm Teppich"
- Die Investitionen für die Entwicklung und Fertigung sind nicht mehr so groß wie bei den hochentwickelten Verbrennungsantrieben. Konkurrenz durch viele neue und im Automobilmarkt noch unbekannte Hersteller belebt sprichwörtlich das Geschäft.
- Umweltfreundliche Fortbewegung für gutes Gewissen und Schonung von Ressourcen
- Durch minimale Lärmentwicklung erleichterte Nutzung von Gebieten mit Beschränkungen wie Umweltzonen, Urlaubs- oder Naturschutzgebiete.
- Besonders bei Eigenstromerzeugung mehr Unabhängigkeit von Energiekonzernen oder Energielieferungen aus politisch instabilen Regionen. Mehr Autarkie!

Vergleich - Elektromotor vs Verbrennungsmotor:

Elektromotor	Verbrennungsmotor
Wenige Einzelteile	Sehr viele Einzelteile (ca. 4.000 - 6.000)
Nahezu wartungsfrei	Wartungsintensiv (Schmierung, Zahnriemen, Filter)
Wandelt elektrische Energie in mechanische Energie um und umgekehrt (Generator-Betrieb für Rekuperation)	Wandelt Kraftstoff (Benzin, Diesel, Gas, ...) in Bewegungsenergie für Antrieb und Abwärme
Sehr breiter Drehzahlbereich. Kein Getriebe nötig oder nur vereinfachte Ausführung	Optimales Arbeitsverhalten nur innerhalb engen Drehzahl-/Drehmomentbereichs. Kupplung/Wandler und mechanisches Getriebe.
Bereits ab Drehzahl Null volles Drehmoment	Minstdrehzahl zwingend erforderlich, um "Abwürgen" zu vermeiden. Häufiges Schalten.
Wirkungsgrad > 90 % (bis zu 98 %)	Wirkungsgrad < 43 %, bei Teillast viel schlechter
Wirkungsgrad steigt bei niedrigen Temperaturen	Bei kaltem Motor und insbesondere Teillast sehr hoher Verbrauch

Ladesysteme (1): Wie kommt der Strom ins Auto?

IEC 62196-1 Typ 2, auch Typ2- oder Mennekes-Stecker



Steckertyp für die Ladung von Elektrofahrzeugen an Ladesäulen. Festlegung als Standard im Januar 2013 von der EU-Kommission. Für Wechselstrom derzeit bis max. 19,2 kW verfügbar. Die asymmetrische Form des Steckers stellt stets die korrekte Polung sicher. Der Stecker ist so aufgebaut, dass die Verbindung mit dem Schutzkontakt zuerst erfolgt, Signalkontakte zur Leistungs-freigabe zuletzt. Eine Trennung des Stromkreises erfolgt nicht im Stecker selbst. Dies schützt die elektrischen Kontakte und der Explosionsschutz bleibt gewährleistet, da kein elektrischer Funke entsteht.

Ladesysteme (2): Wie kommt der Strom ins Auto?

JARI Level 3 DC - CHAdeMO


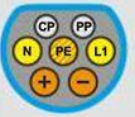




Vor allem in Japan, Nordamerika; zunehmend auch in Europa eingesetzt. Wird u.a. von Mitsubishi, Nissan, Toyota und Subaru verbaut sowie dem Stromversorger TEPCO. Ladesystem für Schnellladung mit hohen Gleichströmen, welche von der Ladestation direkt in die Traktionsbatterie gespeist werden. Ladeleistung von typisch 50 kW bis 62,5 kW.

Ladesysteme (3): Wie kommt der Strom ins Auto?

Combined Charging System (CCS)

AC & DC Ladesteckvorrichtungen Typ 2

	AC ein - bis dreiphasig	max. 500V AC 3 x 63A oder 1 x 80A
	AC ein - bis dreiphasig DC-Low	max. 500V AC/DC 3 x 63A AC oder 1 x 70A AC oder 1 x 80A DC
	DC-Mid	max. 500V DC 1 x 140 A
	DC-High	≥ 500V DC 1 x 200A

Das **Combined Charging System (CCS)** wurde im Oktober 2011 von deutschen und amerikanischen Automobilherstellern gemeinsam entwickelt und als SAE-Standard festgelegt.

Das CCS wird von den acht großen Autoherstellern Audi, BMW, Chrysler, Ford, General Motors, Porsche und VW propagiert

Renault-Nissan hingegen unterstützt den kombinierten Stecker nicht.

Der Combo-Stecker erlaubt alle bekannten Ladearten mit Kabel (einphasig mit Wechselstrom, mehrphasig mit Drehstrom und ultraschnelles Laden mit Gleichstrom bei Leistungen bis zu 100 kW).

Quelle:

Deutsche Industrie- und Handelskammer in Japan, VDI/VDE-IT

Ladesysteme (4): Ladezeiten nach System

Einphasig mit 16 A-Absicherung (gewöhnliche Schuko-Steckdose in Ausführung als "L+N+PE,6h-Steckverbinder", sog. "Campingstecker"):

$$240 \text{ V} * 16 \text{ A} = 3,84 \text{ kW}$$

Bei Ladewirkungsgrad von 80 % und wenn Akku um 25 kWh geladen werden soll ==> $25 \text{ kWh} / (3,84 * 0,8) \text{ kW} = 8,1 \text{ h}$

Dreiphasig mit mit 16 A-Absicherung (Drehstromsteckdose):

$$3 * 240 \text{ V} * 16 \text{ A} = 11,5 \text{ kW}$$

Bei Ladewirkungsgrad von 80 % und wenn Akku um 25 kWh geladen werden soll ==> $25 \text{ kWh} / (11,5 * 0,8) \text{ kW} = 2,7 \text{ h}$

Schnellladung mit 50 kW: ==> $25 \text{ kWh} / (50 * 0,8) \text{ kW} = 38 \text{ min}$

Bei Elektrofahrrädern und -rollern dauern die Ladungen meist mehrere Stunden.

Reichweitenfrage - Ein Problem?

Aktuelle Elektroautos haben unter Standardbedingungen wenigstens ca. 150 km Reichweite und dieser Wert steigt ständig bei neueren Automodellen.

Elektroroller kommen mit einer Ladung typisch 80 km weit; Elektrofahrräder je nach Ausführung ca. 40 - 100 km.

Laut Statistischem Bundesamt (2006) ist die durchschnittliche Länge einer motorisierten Fahrt im Individualverkehr gerade mal 16 km lang.

Der ADAC gibt in einer Studie aus dem Jahre 2008 an, die durchschnittliche Länge des Arbeitsweges betrage knapp 18 km. Dienstliche Wege sind im Durchschnitt gerade einmal 21 km lang.

(Quelle: Statistisches Bundesamt 2013)

Insofern wird klar: Elektrofahrzeuge sind bereits jetzt für einen weit überwiegenden Anteil an Fahrten geeignet.

Ladeinfrastruktur - Wo kann man Strom tanken?

Ladestellen sind selten und niemand will sie aufstellen - wirklich?
Tatsächlich gibt es zumindest in Ballungsräumen mittlerweile ein relativ dichtes Netz an Elektrotanksäulen.

Problematisch ist aber mittlerweile die Vielfalt (Chaos?) an geschlossenen Abrechnungssystemen, weshalb Fahrer von Elektroautos mehrere Kundenkarten vorhalten müssen.

Dies begünstigt letztlich kapitalstarke Konzerne, weil es kein wirklich schlagkräftiges Geschäftsmodell für öffentliche Ladesäulen gibt.

Strom ist zu billig!

Es gibt zum Glück Lösungen, die kostengünstige öffentliche Ladesäulen ermöglichen zu Preisen, die auch für Privatleute erschwinglich sind.

Suche nach Ladesäulen z.B. über www.lemnet.org

Nichtkommerzielle Ladeinfrastruktur:

- www.drehstromnetz.de
- www.park-charge.de

Wirtschaftlichkeit (1): Fahrkostenvergleich mit Verbrennern

Elektroauto: Typischer Verbrauch von 16 kWh pro 100 km. Bei 0,26 cent/kWh kostet der gefahrene Kilometer bei einem Ladewirkungsgrad von 80% also 5,2 cent an "Treibstoff" pro Kilometer.

Benzinauto: Bei einem Benzinpreis von 1,45 €/l und einem (relativ geringen) Verbrauch von 7 l/100 km sind das 10,15 €/100 km oder 10,2 cent/km.

==> Elektroautos können ihre Vorteile wie etwa die günstigeren Betriebskosten besonders dann ausspielen, wenn sie häufig genutzt werden. Auch bei häufigen kurzen Fahrten, oder im Berufsverkehr ggf. mit viel Stop & Go kann der e-Antrieb seine Stärken umsetzen.

Entwicklung der Ölpreise - Ein Blick in die Glaskugel:

Etwa im Jahre 2012 kostete ein Liter Super ca. 1,61 €.

Infolge des Wachstums in den BRICS-Staaten ist relativ kurz- und auch langfristig wieder mit deutlich steigenden Ölpreisen zu rechnen.

Stichwort: peak oil (Folge der Endlichkeit der Erdölvorkommen)

Wirtschaftlichkeit (2): Probleme bei der Ermittlung realistischer Verbräuche

Schummeleien der Hersteller bei Ermittlung der Normverbräuche:

-Tricks der Hersteller für geringstmöglichen Verbrauch auf Prüfständen: Selektierte Motoren, andere Reifen, Lichtmaschine und Klimaanlage abschalten, Lufteinlässe abkleben oder die Software auf Erkennung des MNEFZ (Modifizierter Neuer Europäischer Fahrzyklus) trimmen.

- Jahr 2013: Deutsche Umwelthilfe deckt die Sprintschummeleien der Autohersteller mit Daten des "ADAC Eco-Test" von 144 Modellen auf: Durchschnittliche Abweichung nach oben 23 %; ein Ausreißer mit 34 %! DUH-Bundesgeschäftsführer Jürgen Resch: "Der durchschnittliche reale Mehrverbrauch gegenüber den Herstellerangaben hat sich zwischen 2001 und 2011 von sieben auf 23 Prozent mehr als verdreifacht."

- Studie des Autoexperten Ferdinand Dudenhöffer/CAR Institut, zusammen mit Ökoglob-Institut der Uni Duisburg-Essen: Autos verbrauchen unter realitäts-nahen Bedingungen durchschnittlich 27 Prozent mehr Treibstoff als angegeben, was auch die Vorgaben der EU zu CO₂-Emissionen zur Makulatur macht.

Wirtschaftlichkeit (3): „Verbrauchswunder“ bei Elektrohybridfahrzeugen

Elektrohybrid-Fahrzeuge – ECE-Norm R 101

In dieser Norm ist für Plug-in-Hybridautos ein gut elf Kilometer langer Fahrzyklus festgelegt:

Eine Stadt- und eine Überlandfahrt, welche die Plug-ins zweimal durchfahren – mit vollen und mit leeren Akkus.

Zuerst mit dem Elektromotor, dann auch mit dem Verbrenner.

Über eine Mischkalkulation werden beide Werte kombiniert.

Pferdefuß:

Weil im E-Betrieb kein Sprit verbraucht wird, geht dieser Anteil mit null ein und täuscht phänomenal niedrige CO₂-Verbräuche vor.

Wirtschaftlichkeit (4): Wie künftig berechnen?

Lügen haben kurze Beine:

Die deutschen Autohersteller kommen noch stärker unter Druck, wenn von 2020/2021 an 95 Gramm CO₂/km als Flotten-Höchstwert gelten. Laut ADAC soll zudem der problematische MNEFZ vermutlich im Jahre 2017 durch die neue und realistischere Worldwide Harmonized Light Duty Test Procedure ("WLTP-Zyklus") ersetzt werden. Einzelne Hersteller wurden bereits wegen der Sprit-Schummeleien verklagt.

Verschiedene Berechnungsgrundlagen bei den Betriebskosten

Verbrennungsmotor: "Liter pro 100 Kilometer"

Meßnorm: MNEFZ

Elektroauto: "Kilowattstunden pro 100 Kilometer"

Meßnorm: ECE-Norm R 101

Also wie Kosten für Treibstoffverbrauch vergleichen?

==> Korrekturen einführen um mit realen Verbräuchen zu rechnen. Verbrenner und e-Mobile in Euro pro 100 Km umrechnen, Zeitwert berücksichtigen.

Wirtschaftlichkeit (5): Preisentwicklung

- Weniger Wartung durch simplere Bauweise: Kein oder nur noch einfacheres Getriebe, kein Kraftstofftank, Anlasser oder Lichtmaschine, keine Auspuffanlage, Katalysator und Rußpartikelfilter, kein komplizierter Verbrennungsmotor, kaum mehr Verschleiß der Bremsbeläge (wg. Rekuperation)
- Der Bund der Energieverbraucher schätzt, der Aufpreis für Elektrofahrzeuge liegt bis 2020 deutlich unter zehn Prozent.
- Ständig fallende Kosten durch steigende Stückzahlen und Verbesserungen bei Schlüsselkomponenten wie der Batterie. Es wird geschätzt, daß man pro kWh Batteriekapazität im Jahre 2020 rund 150 Euro zahlen wird, während der Preis derzeit etwa dreimal so hoch liegt.
- Smartphone Samsung Galaxy SIII: August 2012: 580 €, jetzt ab 240 € erhältlich.

Hemmnisse für Elektromobilität

- Vielerorts noch wenig Erfahrung mit Elektroantrieben. Hersteller, Zulieferer, Händler und Werkstätten brauchen Vorlauf.
- Technische Begrenzungen, wie die limitierte Reichweite, welche besonders bei hohen Laufleistungen und Geschwindigkeiten (z.B. Vertreterfahrzeug) ins Gewicht fällt.
- Nutzung der noch begrenzten und bei den Bezahlungssystemen zersplitterten Ladeinfrastruktur erfordert manchmal noch nennenswerte Planungsleistungen vor Fahrtantritt.
- Zubehör manchmal nicht verfügbar; wie z.B. Anhängerkupplungen.
- Teilweise verwirrende Preismodelle mit Kombination von Kaufpreis und Miete bei Batterien.
- Meist noch höherer Anschaffungspreis; keine überzeugende Förderung vom Staat wie anderswo.
- Nahe am Wohnort oder Arbeitsplatz keine Lademöglichkeit; etwa wegen "Laternengarage".
- Parkplätze mit Ladesäulen werden von Verbrennern zugeparkt.

Umweltfreundliche Erzeugung von Solarstrom in Carports oder auf dem eigenen Hausdach

Abschätzung der Größenordnungen:

Annahme:

15 m² frei auf Hausdach (30 Grad Neigung) nach Süden

Auf dieser Fläche passen ca. $0,14 \text{ kWp/m}^2 * 15 \text{ qm} = \mathbf{2,1 \text{ kWp}}$

Falls keine nennenswerte Verschattung vorliegt:

Ertrag von $1.000 \text{ kWh} / (\text{kWp} * \text{a}) * 2,1 \text{ kWp} = \mathbf{2.100 \text{ kWh/a.}}$

Wenn ein Elektroauto pro 100 km typisch 15 kWh verbraucht, reicht dies bei einem Ladewirkungsgrad von 80 % für eine jährliche Fahrleistung von bis zu:

$0,8 * (2.100 \text{ kWh} / 15 \text{ kWh}) * 100 \text{ km} = \mathbf{11.200 \text{ km !!!}}$

Investitionskosten für die PV-Anlage: ca. **3.600 Euro**

Stromgestehungskosten für selbstgenutzten Solarstrom:

Ertrag in 20 Jahren: $2.100 \text{ kWh/a} * 20 \text{ a} = \mathbf{42.000 \text{ kWh}}$

Bei dieser Anlage kostet die kWh den Betreiber nur **8,6 cent.**

Fazit (1): Elektroautos

- Elektroautos können ihre Vorteile besonders dann ausspielen, wenn sie häufig genutzt werden. Dann sind sie in der Lage, die derzeit meist noch höheren Anschaffungskosten wettzumachen oder sogar wirtschaftlicher zu fahren. Es kommt auf Ihre Nutzungsart an!
- Elektrisch fahren mit Graustrom, etwa aus Braunkohle (Wirkungsgrad max. 43 %), ist NICHT umweltfreundlich. Um wirklich CO₂-neutral zu fahren, muß der Strom aus Regenerativen Quellen stammen. Dies kann man durch Eigenerzeugung von Solarstrom auf einem Carport oder einem Hausdach realisieren. Wenn diese Voraussetzungen nicht gegeben sind, kann man immer noch einen (Grün)Stromanbieter wählen.

Fazit (2): Elektrofahrräder

Fahrräder mit elektrischem Antrieb können helfen, Nischen zu erschließen.

Etwa Fahrten zur Arbeit, wenn man nicht verschwitz ankommen will, oder wenn die Körperkräfte an Steigungen nicht ausreichen. Auch beim Transport von Lasten können elektrisch angetriebene Räder gute Dienste leisten.

Die Qualität der Fahrräder hat in jüngster Zeit zugenommen, da oft alteingesessene KFZ-Zulieferer Komponenten liefern und durch Tests wie etwa von der Stiftung Warentest Druck auf die Hersteller ausgeübt wird. Vor dem Kauf unbedingt Probefahrten machen.

Bremsen als Schlüsselkomponenten neben Motor und Akku sind besonders hochwertig auszuführen; etwa als hydraulische oder Scheibenbremsen.

Fazit (3): Roller und Leichtmotorräder

Roller und Leichtmotorräder führen zwar derzeit noch ein Nischendasein.

Dies vermutlich aufgrund der höheren Preise und weil die Kundschaft auf die gewohnte Lärmentwicklung nicht verzichten will.

Auch weil die Fahrzeuge nur während einer kurzen Zeitspanne im Lebensalter (meist von 16 - 18) gebraucht werden.

Ein Blick etwa nach China zeigt jedoch, wie vehement die Entwicklung etwa beim Elektroroller verlaufen kann, wenn der Staat strengere Grenzwerte bei Lärm und Abgasen einfordert.

Sammlung nützlicher Internet-Adressen

Elektromobilität: Revolution der Automobilindustrie von Lars Thomsen

<https://www.youtube.com/watch?v=JHUzfw24oCk>

Spritverbrauch von Pkw: Deutsche Umwelthilfe fordert Eingreifen des Staates gegen manipulierte Herstellerangaben

Pressemitteilung 13.05.2013, 10:30 Uhr -

[http://www.duh.de/pressemitteilung.html?&tx_ttnews\[tt_news\]=3098](http://www.duh.de/pressemitteilung.html?&tx_ttnews[tt_news]=3098)

China droht Auto-Herstellern mit Strafe bei hohem Spritverbrauch

Do, 16.10.2014 15:47 <http://www.tt.com/home/9126190-91/china-droht-auto-herstellern-mit-strafe-bei-hohem-spritverbrauch.csp>

Spritverbrauch schöngerechnet: Falsche US-Verbrauchsangaben kosten Hyundai insgesamt 750 Millionen Dollar

04.11.2014 <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/falsche-spritangaben-kosten-hyundai-in-usa-700-millionen-dollar-a-1000961.html>

CHAdEMO Stromtankstellen in Deutschland

<http://www.goingelectric.de/stromtankstellen/Deutschland/Ladestecker/chademo/>

Verzeichnis von Stromtankstellen für Elektrofahrzeuge

<http://lemnet.org/de/>

Quellen: bsm - Bundesverband Solare Mobilität, Wikipedia.org, ADAC, Deutsche Umwelthilfe, eigene Recherchen

Wörterbuch: Fachchinesisch für e-Mobilität

- **Hochvolt:** Um ausreichende Leistungen zu erreichen, liegen in Elektrofahrzeugen die Spannungen an der Traktionsbatterie zwischen 100 V und 600 V. Eine Berührung könnte tödlich wirken, daher besondere Sicherheitsmaßnahmen.
- **Wärmepumpe:** Effiziente Methode, um aus einer kWh Strom bis zu 4 kWh Heizwärme im Elektrofahrzeug zu gewinnen. Funktionsprinzip wie beim Kühlschrank, als Nutzen Heizung oder Kühlung im Auto.
- **Rekuperation:** Zurückgewinnung von Bewegungsenergie beim Bremsen zur Erhöhung der Reichweite von Elektromobilen; insbesondere bei Autos.
- **MNEFZ:** Modifizierter **N**euer **E**uropäischer **F**ahrzyklus. Umstrittene Methode zur Ermittlung des Normverbrauchs von Kraftfahrzeugen.
- **Wallbox:** Anschlußmöglichkeit zum Laden von Elektroautos; meist in Innenräumen auf Privatgelände.



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit
Noch Fragen?

Alfred Bäder

Elektroingenieur, Energieberater (HWK)

Neideckstraße 42, 81249 München

Tel.: 089 / 83 99 95 44, abaeder@mnet-online.de