

Elektrische Mobilität – Effizienzsteigerung sowie Herausforderungen für die Energiebereitstellung

DI Christoph Leitinger¹, Prof. Dr.-Ing. Günther Brauner

Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Technische Universität Wien,
Gußhausstraße 25 / 373-1, 1040 Wien, Österreich; Tel.: +43 1 58801 37335;
E-Mail: leitinger@ea.tuwien.ac.at; Web: www.ea.tuwien.ac.at/ea

Kurzfassung:

Die Frage der Versorgung mit fossilen Energieträgern ist seit Jahren in Diskussion, in letzter Zeit aber weiter zunehmend von Bedeutung. Zum einen stieg der Erdölpreis im vergangenen Jahr 2007 drastisch an und verfehlte nur knapp die 100-\$-Marke. Der wirtschaftliche Einsatz fossiler Energien in sämtlichen Anwendungsfeldern zu annähernd gleichen Rahmenbedingungen wie bisher scheint deshalb ungewiss.

Zum anderen werden politisch fundamentale Klimamaßnahmen gefordert und beschlossen, sei es am G8-Frühjahrgipfel 2007 oder das bestehende Kyoto-Protokoll, das mit Anfang des Jahres 2008 von der Vorbereitungsphase auf die Verpflichtungsperiode, den Beobachtungszeitraum 2008-2012 mit bindenden Emissionswerten, übergeht. Bekanntermaßen weichen die Reduktionsziele Österreichs von den tatsächlichen CO₂-Emissionen deutlich ab. Analysen zeigen, dass in sämtlichen Bereichen des Energieeinsatzes derzeit das Ziel verfehlt wird. Am deutlichsten tritt aber im Verkehrsbereich die Abweichung zu Tage. Bezogen auf 1990 haben sich in diesem Sektor die Treibhausgasemissionen annähernd verdoppelt.

Dies gibt größten Anlass im Mobilitätsbereich aktive Maßnahmen und Wege für eine nachhaltige Energieversorgung zu entwickeln. Bei genauer Betrachtung der Thematik stellt man die Relevanz des motorisierten Individualverkehrs sowohl beim Energieverbrauch als auch bei den CO₂-Emissionen fest.

In technologischer Hinsicht ist die Effizienzsteigerung in der gesamten Energiekette bis zum Endverbrauch der Individualmobilität von größter Bedeutung.

In dieser Arbeit wird als Schwerpunkt auf den technologischen Weg in Richtung einer elektrischen Individualmobilität eingegangen, Herausforderungen speziell die Energiespeicherung betreffend diskutiert und Begleiterfordernisse bei Infrastruktur und der elektrischen Energieversorgung erhoben.

Keywords:

Energieeffizienz, Elektrische Mobilität, Fahrleistungen, Batteriespeicher, Nachladeverhalten

¹ Nachwuchsautor

1 Einleitung

Eingangs sei die Ausgangssituation im Verkehr erklärt. Die Entwicklung des Energieverbrauchs im Verkehr zeigt ein rasantes und nahezu lineares Wachstum an. Setzt sich dieses in gleichem Maße fort, käme es zu einer Verdoppelung des Verbrauchs von 2000 bis 2030, wie Abbildung 1 darstellt. Anzunehmen ist, dass aufgrund von Sättigungseffekten das Wachstum geringer ausfallen wird, jedoch ohne einschneidende Maßnahmen der Verbrauch weiter anwachsen würde.

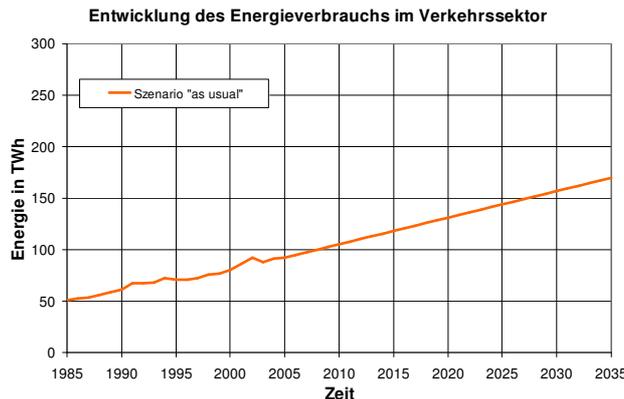


Abbildung 1: Entwicklung des Energieverbrauchs im Verkehrssektor in Österreich

Betrachtet man nun den Energieverbrauch des Verkehrs nach Transportmittel, so erkennt man die erhebliche Bedeutung des PKW- und Zweiradverkehrs von über 57 %, während vergleichsweise der Öffentliche Verkehr nur etwa 5 % des Energieverbrauchs innerhalb des Verkehrssektors ausmacht. Mit einem Anteil von etwa 25 % ist der Verkehr auch maßgeblich Verursacher von CO₂-Emissionen, wie folgende Abbildungen verdeutlichen.

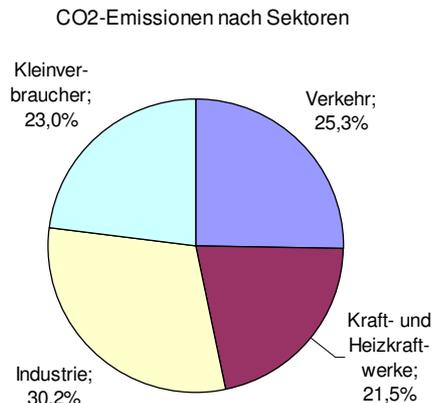
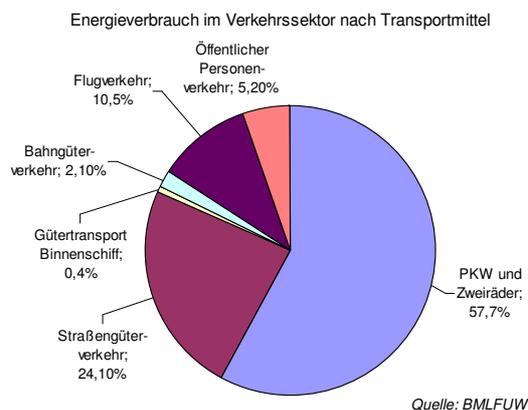


Abbildung 2: Energieverbrauch im Verkehrssektor nach Transportmittel

Abbildung 3: CO₂-Emissionen nach Sektoren

Zudem muss erwähnt werden, dass der Verkehrssektor, im Speziellen der Individualverkehr, weiterhin dem stärksten Wachstum aller Sektoren ausgesetzt ist. Aufgrund zunehmender Folgeerscheinungen der Umwelt- und Klimabelastungen wird es erforderlich, neben den anderen Verursachern auch im Verkehrssektor Maßnahmen zu setzen, um die Auswirkungen auf die Umwelt zu begrenzen und zu reduzieren.

Im Jahr 2005 betrug der gesamte Treibstoffverbrauch in Österreich 5,36 Mrd. Liter oder umgerechnet 93 TWh Energieinhalt. Der Anteil des PKW-Verkehrs machte somit etwa 55 TWh aus, also ähnlich viel Energie wie österreichweit in einem Jahr insgesamt für Stromdienstleistungen verbraucht wird.

Interessant erscheint im motorisierten Individualverkehr auch die Verteilung der Fahrdistanzen pro Weg. So zeigt Abbildung 4, dass nahezu die Hälfte aller Wege kürzer als fünf Kilometer ist bzw. 80 % aller Fahrten weniger als 15 Kilometer ausmachen. Diese Grafik gibt jedoch noch nicht Aufschluss über die insgesamt zurückgelegten Strecken, der Fahrleistung eines PKW.

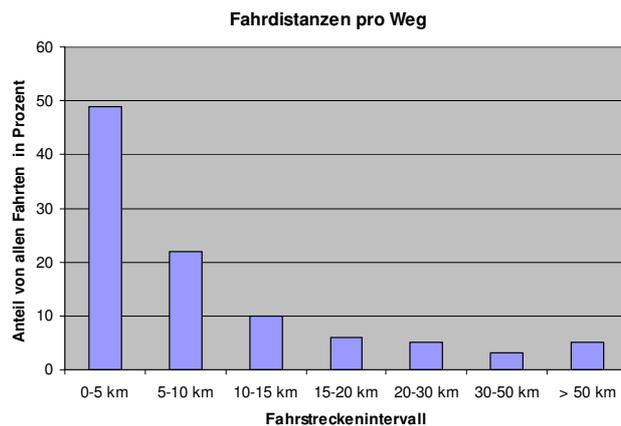


Abbildung 4: Wegstreckenverteilung von PKW-Fahrten in Österreich

Die Verteilung der Fahrleistungen ergibt ein etwas anderes Bild. In Abbildung 5 ist erkennbar, dass nur etwa ein Drittel der Gesamtfahrleistung eines durchschnittlichen PKWs pro Jahr durch Strecken unter 20 Kilometer erzielt wird. Ein weiteres Drittel wird durch die Fahrten bis 50 km erzielt, das übrige Drittel durch Fahrten über 50 km.

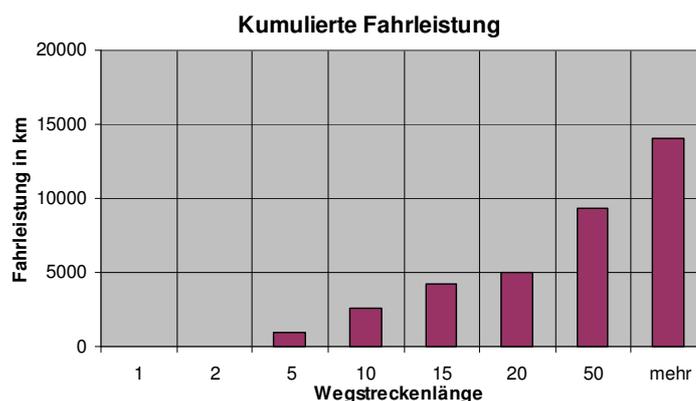


Abbildung 5: Fahrleistungsverteilung von PKW-Fahrten (Deutschland), Quelle: Engel

Dieser Sachverhalt ist von Bedeutung, um in weiterer Folge die Fahrleistungen und Potentiale von alternativen Antrieben, speziell des Elektroantriebs, richtig einordnen zu können.

2 Die Elektrifizierung des Antriebsstranges

2.1 Technologische Energiepfade

Zur Darstellung der technologischen Energiepfade des Individualverkehrs im Straßenverkehr ist folgende Abbildung 6 geeignet und umfasst bestehende und mögliche zukünftige Pfade. Als Antriebssystem sind prinzipiell nur Verbrennungsmotoren und Elektroantriebe bzw. eine Kombination von beiden (Hybrid) nach jetzigem Stand der Technik relevant. Treibstoffe hingegen sind in einer größeren Vielfalt vorhanden.

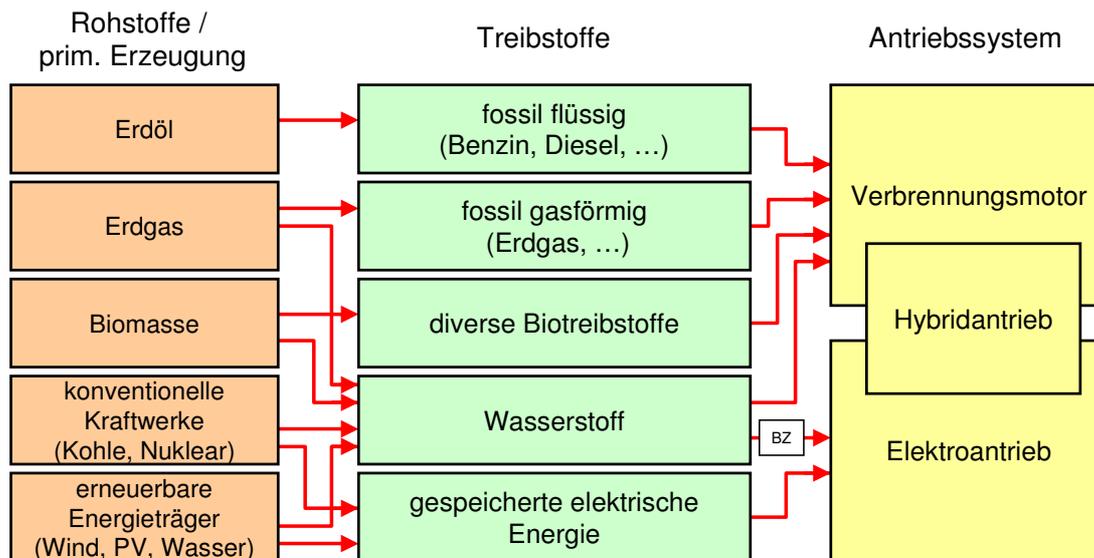


Abbildung 6: technologische Energiepfade für Antriebskonzepte des Straßenverkehrs

Geht man von den eingangs erwähnten Kernproblemen (Importabhängigkeit, Umwelt- und Klimabelastungen, Preisinstabilitäten) aus, kann eine nachhaltige, langfristige Lösung nicht über bisherige Kraftstoffe Benzin und Diesel führen.

Biotreibstoffe werden hier zusammengefasst abgebildet, da sie in Bezug auf die Kriterien ähnlich Verhalten zeigen. So können Biotreibstoffe im Allgemeinen als CO₂-neutral (die freigesetzte CO₂-Menge entspricht der absorbierten Menge im Wachstum der Pflanzen) oder CO₂-ausstoßsenkend betrachtet werden. Wenig Verbesserung ist jedoch im Bereich von Schadstoffemission zu erwarten, da Staub- und NO_x-Belastungen im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen aufgrund der „heißen Verbrennung“ hoch bleiben. In geringfügigen Mengen (%-Bereich) wird es möglich sein, erforderliche Biomasse im dezentralen Nahbereich von Produktionsanlagen zu ernten. Ein höherer Anteil am Treibstoffsektor ist jedoch mengenmäßig beschränkt (max. 15 – 20 % Anteil) oder mit Importen aus Osteuropa verknüpft, wodurch wiederum eines der Kernprobleme (Importabhängigkeit) ungelöst bleibt. Weiters ist durch den intensiven Flächenbedarf für Biomasse mit einer Verteuerung des Rohstoffes und auch mit deutlichen Preissteigerungen von land- und forstwirtschaftlichen Produkten wie gewissen Lebensmitteln und Holzprodukten (Brennstoff, Baustoff, Zellulose) zu rechnen.

Erdgas hingegen besitzt zum Großteil den CO₂-Nachteil der fossilen Stoffe, da im Vergleich zu Benzin und Diesel nur etwa 25 % weniger CO₂ emittiert wird. Die Schadstoffbilanz von Erdgas ist jedoch gut einzustufen, da die Verbrennung vollständiger stattfindet und deutlich

geringere Mengen an Kohlenwasserstoffen (bis zu –80 % HC) und Stickstoffoxiden (bis zu –95 %) freigesetzt werden sowie kein gesundheitsschädlicher Feinstaub auftritt. Weitere Vorteile finden sich in der bereits existierenden Verteilinfrastruktur von Erdgas und dem höheren Energieinhalt im Vergleich zu Diesel oder Benzin. Derzeit ist Erdgas (aufgrund von steuerlicher Begünstigung) auch kostengünstiger als Normalbenzin.

Die Vorteile des Kraftstoffs Wasserstoff liegen in der vielseitigen Möglichkeit der Produktionsverfahren und Wahl der Primärenergien. Einerseits kann Wasserstoff durch Dampfreformierung von Erdgas gewonnen werden, wobei dies den Wirkungsgrad der Gesamtkette mindert, sodass der direkte Einsatz von Erdgas als Treibstoff in diesem Fall günstiger erscheint. Andererseits kann Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser unter Zugabe von elektrischer Energie erzeugt werden, wobei die Verwendung von erneuerbaren Energien zur Elektrizitätsgewinnung erforderlich ist, um für Klima, Umwelt und Importabhängigkeiten eine nachhaltige Lösung darzustellen. Die Umsetzung von Wasserstoff im Fahrzeug kann dann entweder in Brennstoffzellen erfolgen (keine Emissionen aufgrund „kalter Verbrennung“) oder in eigenen Verbrennungsgasmotoren unter sehr geringen NO_x-Emissionen. Problematisch gestaltet sich vor allem die Tatsache, dass für Wasserstoff Umstellungen in allen Bereichen der Energiekette erforderlich sind und derzeit keine Wasserstoffinfrastruktur existiert (Investitionsbedarf). Weiters sind die Kosten und die Entwicklungsziele von Brennstoffzellen (Lebensdauer, etc.) für Wettbewerbsfähigkeit noch nicht erreicht.

Elektrisch gespeicherte Energie als Treibstoff besitzt ähnlich positive Aspekte wie Wasserstoff, jedoch mit dem weiteren Vorteil der kürzeren Erzeugungskette und somit höherem Gesamtwirkungsgrad.

Für Wasserstoff und elektrischer Energie als „Treibstoff“ ist zu erwähnen, dass sie, bei Erzeugung aus erneuerbaren Energieträgern, die einzigen Möglichkeiten beschreiben, um Null-Emission im motorisierten Verkehr zu erreichen. (Selbst anderweitige Erzeugung der elektrischen Energie mittels konventionellen, kohlenstoffhaltigen Verfahren reduziert die CO₂-Emissionen. Dies soll aber nur für eine Übergangsphase zu erneuerbarer Energieversorgung erforderlich sein.)

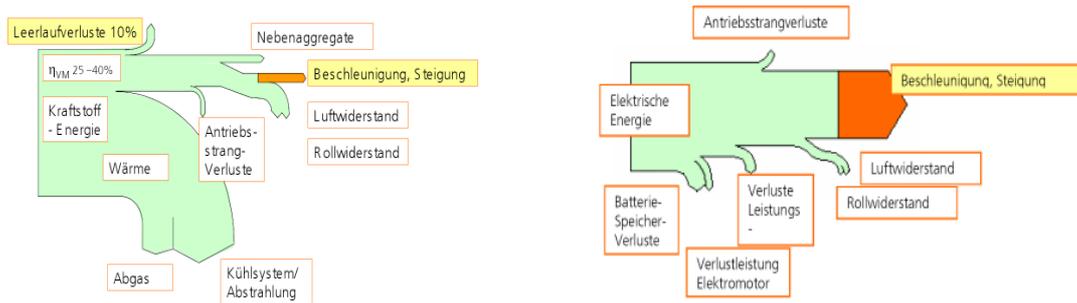
Weiters ist festzuhalten, dass der Einsatz anderer als konventioneller Treibstoffe gewisse Auswirkungen des Verkehrs lindern können, die Summe der Kernprobleme aber nicht beseitigen können. Neben der Treibstoffwahl sollte auch noch auf weitere technische Anpassungsmöglichkeiten (Gewichtsreduktion des Fahrzeugs, geeignete Reifenwahl, etc.) verwiesen werden.

2.2 Effizienzvergleich

Am Fahrzeug selbst kommt es antriebstechnisch zunehmend zu einer Elektrifizierung des Antriebs, welcher sich durch deutlich höhere Effizienzen im Vergleich zum konventionellen Verbrennungsmotor auszeichnet. Abbildung 7 zeigt den Vergleich im Sankey-Diagramm.

Werden die Antriebsverluste (Differenzial, Getriebe, Lagerreibung, ...), die Verluste durch die Nebenaggregate (Wasserpumpe, Ölpumpe, ...) und die Fahrwiderstände mit berücksichtigt, erreicht das Verbrennungskraftsystem einen Wirkungsgrad von ca. 25%, wobei noch die in der Praxis auftretenden Leerlaufverluste durch verkehrsbedingte Fahrpausen einbezogen

werden müssen (10%). Durch die vorwiegende Nutzung im Stadtverkehr mit entsprechend vielen Leerlaufphasen wird ein mittlerer Wirkungsgrad von 0,18 angesetzt.



Verbrennungskraftmotor

Elektrisches Antriebssystem

Abbildung 7: Sankey-Diagramm - Leistungsverluste im Vergleich

Ein elektrisches Antriebssystem bietet in einem entsprechend abgestimmten System mit kurzer Wirkungsgradkette einen deutlich höheren Wirkungsgrad bis etwa 70%. Nachteilig sind bei dieser Antriebsart die Verlustleistung durch Steuerungselektronik und Batterieverlustleistung, welche aber immer noch vergleichsweise niedrig ausfallen [Wiel, Bergelt]. Positiv tritt die Möglichkeit zur Rückgewinnung der Bremsenergie in Erscheinung.

Beim Elektroantrieb entstehen keine Emissionen, wobei die Bereitstellung der elektrischen Energie in eine Emissionsbilanz einbezogen werden muss.

Wie in folgenden Abschnitten behandelt, sind noch nicht alle Hürden für Elektrofahrzeuge überwunden, um Marktreife in allen Anwendungsbereichen zu erlangen. Wesentliche Punkte sind dabei der Energiespeicher und die fehlende Infrastruktur für die Nachladung der Energiespeicher der Fahrzeuge.

3 Herausforderungen im Fahrzeug - Energiespeicherung

3.1 Allgemeines zu Batteriespeichern

Das elektrische Fahrzeug verfügt bereits über sehr ausgereifte Komponenten. Eine Vielzahl von Expertenmeinungen deutet darauf hin, dass aber vor allem bei der Batteriespeichertechnologie am Fahrzeug noch das größte Entwicklungspotential für ein vollständig ausgereiftes Produkt vorhanden ist. Nicht nur für reinelektrische Fahrzeuge spielt der Akkumulator eine wichtige Rolle, sondern auch alle Hybridarten erfordern eine effiziente und kostengünstige Batterie. Sie stellt sozusagen die Schnittstelle aller Fahrzeuge mit elektrischem Antriebsstrang dar.

Wesentliche Parameter von elektrischen Batterien sind

- die Zellenspannung,
- die Zyklenfestigkeit,
- die Leistungs- und Energiedichte,
- die Umweltverträglichkeit,
- die Langzeitspeicherfähigkeit sowie

- das Tieftemperaturverhalten. [Köhler]

Neue Entwicklungen im Bereich der Nanotechnologie sowie der Entwicklung von Batteriespeichern auf Lithium-Basis ermöglichen bereits größere Fahrleistungen und Lebensdauern.

Während es bei Hybridfahrzeugen in erster Linie wesentlich ist, eine hohe Leistungsdichte für Beschleunigungsvorgänge zu erzielen, ist es für reinelektrische Fahrzeuge zudem wichtig, eine hohe Energiedichte im Speicher für entsprechende Reichweiten zu erzielen. Der Zusammenhang dieser beiden Größen bei unterschiedlichen Batteriesystemen ist im so genannten Ragone-Diagramm in Abbildung 8 dargestellt.

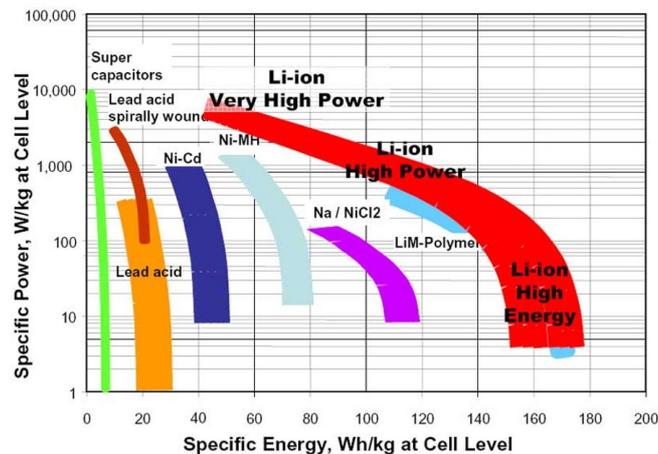


Abbildung 8: Ragone-Diagramm, Spezifische Leistungs- und Energiedichten unterschiedlicher Batterietypen, *Quelle: Saft Batteries / Johnson Controls*

Man erkennt, dass Li-Ionen-Akkus den höchsten Dichtebereich erreichen können und ein weites Feld von hoher Leistungsdichte bis hin zu hoher Energiedichte abdecken, wodurch sich dieser Batterietyp besonders gut für Fahrzeuganwendungen eignet. ZEBRA-Batterien (Natrium-Chlorid-Nickel) weisen gute Werte auf, verlieren aber an Bedeutung. Andere Arten spielen für reine Elektrofahrzeuge eine untergeordnete Rolle oder wurden zum Teil in frühen Entwicklungen im vorigen Jahrhundert verwendet (Ni-Cd, Blei) und weisen ungünstige Umwelteigenschaften auf.

Als dritte wichtige Größe des Batterieverhalten sei die Zyklenfestigkeit und somit die Lebensdauer erwähnt. Die Nennzyklenzahl ist als Funktion von der Entladetiefe (DOD - Depth of Discharge) abhängig, siehe Abbildung 9 für das Beispiel einer Nickel-Metallhydrid-Batterie, die aber vom Prinzip in diesem Zusammenhang mit der Li-Ionen-Batterie vergleichbar ist. Regelmäßige vollständige Entladung (100% DOD) ermöglicht nur eine Nennzyklenzahl von wenigen tausend Zyklen. Wird jedoch die Batterie nur zu einem geringen Maße regelmäßig entladen, so erhöht sich die Nennzyklenzahl und aufgrund der geringeren Entladung die absolute Zyklenzahl auf einige hundert tausend. Dies ist auf die unterschiedlichen Ladephasen (CC und CV) und den dabei auftretenden Erwärmungen des Akkumulators zurückzuführen.

Nichtsdestotrotz entspricht bereits eine Nennzyklenzahl von 2000 mit einer Reichweite von 100 km/Nennzyklus einer Lebensdauer von 200.000 km, die für normalen Fahrbetrieb reichen sollte. Batterien mit diesen Werten müssen in Zukunft mit stabilen und sicheren Verhältnissen sowie kostengünstig erzeugt werden können.

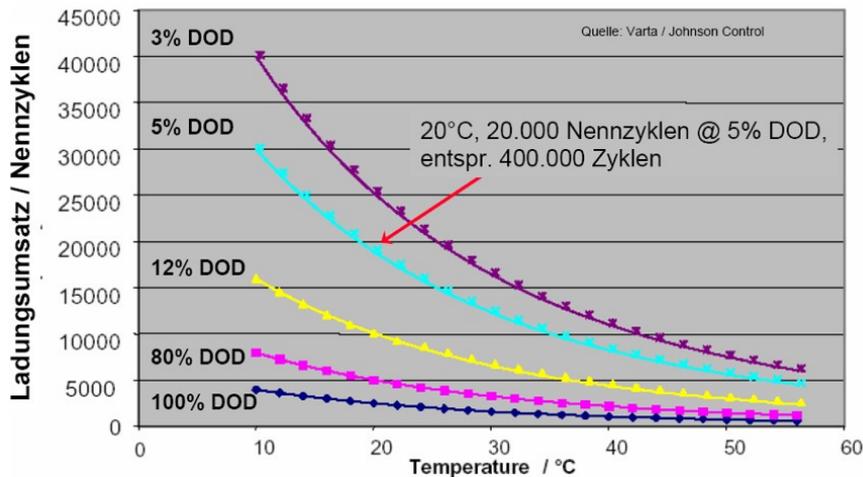


Abbildung 9: Lebensdauer als Funktion der Entladetiefe, Quelle: Sauer

Es lassen sich die Anforderungen von „Alleskönner“-Batterien zusammenfassend durch eine Kombination von sechs Faktoren beschreiben: Hochleistung (>1000W/kg), Hochenergie (>200Wh/kg), Lebensdauer (250.000 km oder 15 Jahre), hohe Sicherheit bei (normaler und missbräuchlicher) Nutzung, Temperatur-kompatibilität (-30°C ... +70°C) und Kosten (in 10 Jahren bei 300 ... 450 €/kWh).

Ziel muss es sein, die Entwicklungen raschest möglich an die oben erwähnten Werte anzunähern, wobei die bereits erreichten Kenngrößen zum Teil nicht mehr weit von den Zielwerten entfernt liegen.

3.2 Simulation von Nachladezyklen

Um den Sachverhalt der Batterieerfordernisse zu verdeutlichen, wurden Simulationen von Nachladezyklen durchgeführt. Hierfür wurden vorerst drei Profile für Tagesfahrleistungen von Fahrzeugen im Nahverkehr gemäß Tabelle 1 erstellt. Abbildung 10 verdeutlicht den Tagesverlauf.

Tabelle 1: Profile für Tagesfahrleistungen

Pendlerprofil:	Kurzstrecke	Mittelstrecke	Langstrecke
Fahrleistung:	50 km / Tag	76 km / Tag	130 km / Tag

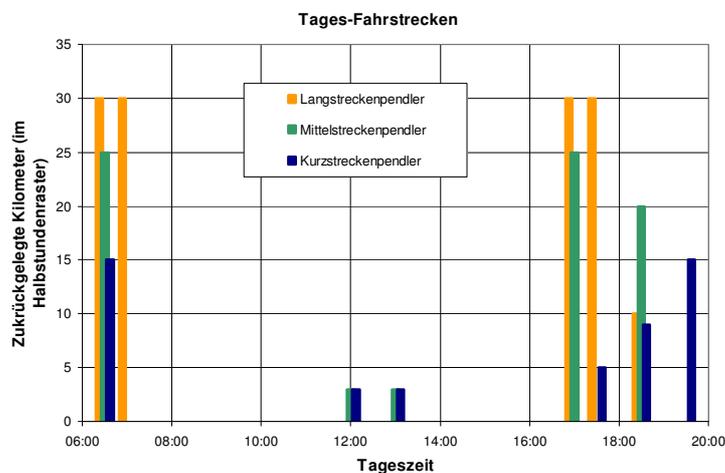


Abbildung 10: Verlauf von Fahrleistungen über den Tag entsprechend mehrerer Pendlerprofile

Mit entsprechenden Kennwerten für Elektrofahrzeuge werden Analysen zur Nachladung durchgeführt. Bestehende Netzversorgungen sind gemäß Tabelle 2 verfügbar und können bis zu einem angegebenen Leistungswert liefern.

Tabelle 2: Ladegeräte entsprechend max. Netzversorgung je Stromkreis

Versorgungsspg.	Art des Systems	Absicherung	Max. Leistung
230 V	einphasig	10 A	2,3 kW
230 V	einphasig	16 A	3,6 kW
400 V	dreiphasig	16 A	11 kW
400 V	dreiphasig	32 A	22 kW

Für die Simulation wird ein Nachladen mit 2 kW angenommen. Dies entspricht - auf einen Haushalt bezogen – einer großen Last, die über mehrere Stunden ansteht.

Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse, wenn die Nachladung nur nachts stattfindet, Abbildung 12 stellt den Batterieladestand dar, wenn das Fahrzeug immer, wenn es abgestellt wird, auch zum Nachladen angeschlossen wird.

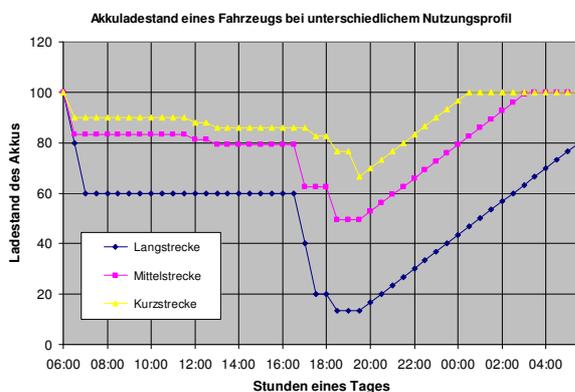


Abbildung 11: Ladezustand bei Nachladung nur nachts

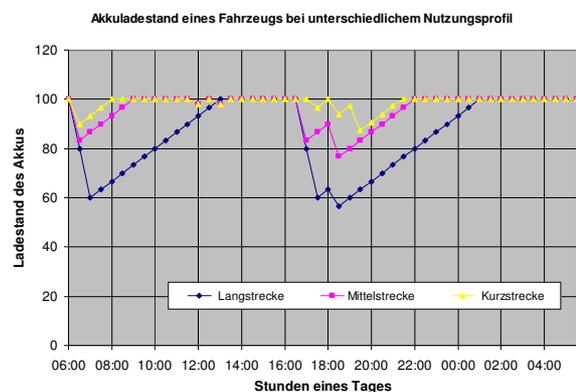


Abbildung 12: Ladezustand bei Nachladung immer, wenn Fahrzeug abgestellt wird

Aus den Abbildungen lassen sich einige Schlussfolgerungen ableiten:

- Das Nachladen sollte nicht nur nachts sondern auch tagsüber erfolgen, um den Ladezustand des Akkus hoch zu halten. Dies stellt einen wichtigen Faktor für die Zyklenfestigkeit dar (höhere Zyklenzahl erreichbar).
- Für das Profil von Kurzstreckenpendlern reicht auch ausschließlich nächtliches Nachladen aus um einen dauerhaft hohen Ladezustand zu wahren. Andererseits macht es bei diesem Fahrprofil Sinn, die Ladung auch zusätzlich tagsüber durchzuführen und aufgrund der Batteriekosten kleinere Akkukapazitäten einzusetzen.
- Wesentlich sind längere Aufenthalte zum Nachladen. Kurze Standzeiten zwischen mehreren Fahrten lohnen sich nur in hoher Anzahl und wiegen nur dann den Aufwand des An- und Absteckens des Fahrzeugs auf.
- Aus diesem Grund erscheinen meines Erachtens Nachladestationen vorrangig am Wohnort, am Arbeitsplatz, bei Bahnhöfen, Parkhäusern und bei Freizeiteinrichtungen (bzw. großen Einkaufszentren) sinnvoll.

- Dies bedeutet aber auch, dass für typische Pendlerprofile die Dichte von Nachladestellen nicht ausschlaggebend ist, sofern an den wenigen Parkorten der Fahrzeuge Nachladeinfrastruktur vorhanden ist.
- Das Pendlerprofil für Langstrecken inkludiert auch Fahrstrecken bis 50 km. Durch Vergleich mit Abbildung 5 ist erkennbar, dass somit etwa zwei Drittel aller Fahrleistungen von Fahrzeugen rein elektrisch abgedeckt werden könnten.

Insgesamt ist festzuhalten, dass derzeit ein Mittelweg zwischen hoher Akkukapazität (Überdimensionierung für Zyklfestigkeit und Lebensdauer) und den Kosten für Akkumulatoren gefunden werden muss. Die Weiterentwicklung der Batterien hat somit die wichtige Aufgabe, die spezifischen Kosten pro kWh Speichervermögen zu reduzieren um die Fahrzeuge konkurrenzfähig am Markt anbieten zu können.

In einer Übergangsphase, in der große Akkumulatoren noch nicht leistbar erscheinen, sind Nachlade-Hybridfahrzeuge (Plug-in Hybrid Electric Vehicles, kurz PHEVs) zu favorisieren. Diese ermöglichen durch einen zusätzlich eingebauten Verbrennungsmotor eine Reichweitenvergrößerung auf konventionell erzielbare Entfernungen. Kurze Strecken (30 km, 50 km, entsprechend Ausführung) können dann elektrisch zurückgelegt werden und darüber hinausführenden Fahrten durch den Verbrennungsmotor, der je nach Ausführung durch den Elektromotor unterstützt wird. Dies ergibt auch auf längeren Fahrten eine Effizienzverbesserung, da Bremsenergie zurückgespeist werden kann.

4 Herausforderungen für die Energiebereitstellung

In Abschnitt 3 wurde die Nachladung im unteren Leistungsbereich (2 kW) und über lange Zeit von einigen Stunden vorgenommen. Bei einer geringen Durchdringung des Marktes mit Elektrofahrzeugen und derartigen Dauerlasten von einigen Kilowatt bleibt die Netzbelastung in Summe gering.

Ist jedoch beabsichtigt die Ladung durch Schnelllademechanismen (3-phasig, 10-20 kW und mehr) durchzuführen, sind grundsätzlich neue Überlegungen betreffend der Energieanspeisung und Zuleitung anzustellen.

Gleiches gilt für den Fall des Langsamladens bei hoher Durchdringung mit Elektrofahrzeugen, die dann in Summe die Belastung regionaler Netze in die Höhe treiben könnten. Dieser Sachverhalt ist ebenfalls gesondert und sorgsam zu analysieren.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- Der motorisierte Individualverkehr trägt wesentlich zum Energieverbrauch und den CO₂-Emissionen der Gesellschaft bei. Der Großteil (fast zwei Drittel) der Fahrleistungen wird dabei auf Strecken unter 50 km zurückgelegt.
- Der Energiebedarf bei elektrischen Fahrzeugen liegt deutlich niedriger als bei konventionellen Fahrzeugen. Das elektrische Antriebssystem von Fahrzeugen zeigt im Vergleich zum Verbrennungsmotor deutlich höhere Effizienz, speziell aufgrund des äußerst geringen Verbrauchs in Standzeiten (bei Ampeln, im Stau) sowie der Rekuperation beim Bremsvorgang.
- Aus Sicht der Klima- und Umweltkriterien zeigt sich, dass Wasserstoff und gespeicherte elektrische Energie die einzigen beiden Lösungswege darstellen, die eine Null-Emission ermöglichen, sofern die Erzeugung durch erneuerbare Energieträger erfolgt. Gespeicherte elektrische Energie weist durch die kurze Wirkungsgradkette auch gegenüber Wasserstoff höhere Effizienz auf.
- Elektrische Fahrzeuge sind bereits ausgereift und stehen unmittelbar vor dem Markteintritt. Mitentscheidend dafür sind Weiterentwicklungen von mobilen Speichersystemen, vor allem im Bereich von Batterien mit Nanotechnologie. Lithium-Ionen-Batterien eröffnen ein weites Feld an energiereichen und leistungsstarken Speichern. Bis zu einer Kostenreduktion werden tendenziell kleinere Speicher einen Einsatz finden und somit vorerst kürzere Reichweiten rein-elektrisch ermöglichen. Plug-In-Hybridfahrzeuge verwenden prinzipiell einen kleineren elektrischen Speicher und betreiben auf längeren Strecken zusätzlich einen konventionellen Motor, mit dem eine Ausdehnung der Reichweite auf Distanzen herkömmlicher Fahrzeuge erreicht wird.
- Die Nachladung der Fahrzeugbatterien kann entweder mit bestehender Infrastruktur entsprechend langsam durchgeführt werden oder mit entscheidend verstärkter Anspeisung in speziellen Schnell-Ladeverfahren. Es ergeben sich neue Lastprofile mit bislang unbekanntem Gleichzeitigkeiten der zusätzlichen Lasten, wodurch hier eine umfassende Analyse anzusetzen ist um die Herausforderungen zu lokalisieren.

Elektrische Mobilität ermöglicht bedeutende Verbesserungen der Effizienz. Viele Probleme der frühen elektrischen Fahrzeuge sind heute gelöst. Es gilt die elektrische Mobilität neu zu definieren und unter den neuen Rahmenbedingungen (Ressourcenknappheit fossiler Treibstoffe, Umwelt- und Klimaschutz, verbesserte technische Möglichkeiten) zu beleuchten. Die nachhaltige Bereitstellung der Energie nimmt dabei eine wesentliche Rolle ein.

Insgesamt sei darauf hingewiesen, dass in der Elektromobilität nur eine Teillösung der gesamten Verkehrsproblematik gefunden werden kann. Gerade der erwartete zukünftige Zuwachs lässt sich nicht ausschließlich mit technischen Alternativen und Verbesserungen kompensieren, sondern bedarf auch ergänzender Maßnahmen der Verkehrslenkung sowie die Einbeziehung sämtlicher Externalitäten, die eine kostenwahre Bewertung der individuellen Mobilität zulassen und das Verkehrsverhalten beeinflussen.

6 Literaturverzeichnis

- Engel „Plug-in Hybrids“, Studie zur Abschätzung des Potentials zur Reduktion der CO2-Emissionen im PKW-Verkehr, Deutsche Ges. für Sonnenenergie e.V.
- Köhler „Hochleistungsbatterien für neue Fahrzeuganwendungen“, Spezial-Report, VARTA
- Pucher et al. „Wasserstoff als Energieträger der automobilen Zukunft“, Endbericht zu A3-Projekt H2-Automotive, Wien, 2006
- Sauer „Energiespeicher in Fahrzeugen“, Vortragsunterlagen zur Fachtagung „Life needs Power“, Hannover, 2007
- Wiel, Bergelt „Untersuchungen zu entwicklungstechnischen Potenzialen hocheffizienter Antriebe“, Fraunhofer IVI Dresden