

Aktuelle Forschungsthemen und innovative Trends der Elektromobilität in Österreich

Jürgen Fabian¹, Helmut Brunner^{1*}, Mario Hirz¹, Thomas Wieland^{2*},
Ernst Schmutzner², Lothar Fickert², Hannes Wegleiter³,
Walter Slupetzky⁴, Robert Schmied⁵

¹TU Graz, Institut für Fahrzeugtechnik, Inffeldgasse 11/II, 8010 Graz,
juergen.fabian@tugraz.at, <http://www.ftg.tugraz.at>

²TU Graz, Institut für Elektrische Anlagen, Inffeldgasse 18/I, 8010 Graz,
lothar.fickert@tugraz.at, <http://www.ifea.tugraz.at>

³TU Graz, Institut für Elektrische Meßtechnik und Meßsignalverarbeitung, Inffeldgasse 23/II,
8010 Graz, wegleiter@tugraz.at, <http://www.emt.tugraz.at>

⁴QUINTESSENZ Organisationsberatung GmbH, Heigerleinstrasse 6/1/1, 1160 Wien,
w.slupetzky@quintessenz.or.at, <http://www.quint-e.at>

⁵e-mobility Graz GmbH, Steyrergasse 114, 8010 Graz, office@emobility-graz.at,
<http://www.emobility-graz.at>

Kurzfassung: Um die Entwicklung der Elektromobilität aussagekräftig prognostizieren zu können, bedarf es einer Gesamtbetrachtung heutiger und zukünftiger Mobilität. Dabei stellt sich für elektrisch angetriebene Fahrzeuge die Herausforderung, sich in die bereits eingprägten und vorhandenen Verkehrsmuster zu integrieren, sowie diese zu ergänzen. Konsens findet sich diesbezüglich zwischen den Nutzeranforderungen und dem möglichen Einsatzpotenzial von Elektrofahrzeugen in urbanen Gebieten, in welchen häufig Kurzstrecken gefahren werden, sowie eine flächendeckende Ladeinfrastruktur zur Verfügung gestellt werden kann. Daher wird sich speziell die urbane Mobilität in voraussehender Zeit auf die Weiterentwicklung der Elektromobilität auswirken.

Die eingereichte Publikation enthält den neusten Stand der Technik hinsichtlich Elektromobilität sowie aktuelle innovative Trends und Lösungsansätze zu den oben genannten Themenschwerpunkten. Als bedeutsame Wandlungstreiber werden die weiterhin zunehmende Urbanisierung sowie die Verknappung fossiler Energieträger in Zusammenhang mit steigenden Abgasemissionen genannt, wobei elektrische Antriebskonzepte einen wesentlichen Beitrag zur Lösung dieser Problematik liefern können.

Weitere entscheidende Erfolgsfaktoren für die flächendeckende Einführung der Elektromobilität ist die Nutzerakzeptanz, sowie in welchem Ausmaß die neue Technologie seitens des Benutzerverhaltens und den gesellschaftlichen Strukturen angenommen wird. Signifikante Veränderungen im Wertschöpfungsprozess können sich ergeben, sofern Automobilhersteller, Verkehrsunternehmen und Elektroenergieversorger miteinander zusammenarbeiten und gemeinsam Mobilitätsangebote entwickeln und anbieten.

Keywords: Elektromobilität, Modellregion, Ladeverhalten, Ladeinfrastruktur, Vehicle-to-Grid, Fahrprofile, Nutzerverhalten, technische/ökonomische/ökologische Aspekte

1 Einleitung

Unser derzeitiger Lebensstandard – mit allen Gütern und Dienstleistungen – ist auf den Verbrauch von Energie basiert. In der heutigen Zeit ist elektrische Energie für die Wirtschaft und für das tägliche Leben des Einzelnen von großer Bedeutung. Sie ist die Grundlage für wirtschaftliche Produktion und die Bereitstellung von Energiedienstleistungen im Haushalt. Elektrizität stellt damit die für den Menschen wertvollste nutzbare Energieform dar. Aufgrund verschiedenster unentbehrlicher Anwendungen der elektrischen Energie leitet sich daraus ein hoher Versorgungsanspruch mit elektrischer Energie ab.

Die Erfolgsgeschichte der elektrischen Energie lässt sich durch ihre Vorteile begründen, dass sie

- sich sowohl aus jeder Primärenergieform umwandeln,
- als auch in alle Nutzenergieformen zurückwandeln lässt,
- über weite Distanzen transportierbar und verteilbar ist,
- sich einfach messen, steuern und regeln lässt,
- für die moderne Informations- und Kommunikationstechnik unverzichtbar ist und
- durch fachgerechte Anwendung eine weitgehend umweltfreundliche und saubere Energieform darstellt.

Diese Vorzüge und Eigenschaften der elektrischen Energie stellen sicher, dass diese auch in Zukunft die wertvollste und wichtigste Energieform bleiben wird.

Ursprünglich entwickelte sich die Infrastruktur der elektrischen Energieversorgung aus lokalen, begrenzten Ortsnetzen zu weiten, ausgedehnten überregionalen Netzen, welche man auch unter der Bezeichnung Verbundnetze kennt. Dadurch ergaben sich signifikante wirtschaftliche und technische Begünstigungen. Einerseits entstehen im Verbundbetrieb vergleichsmäßig geringere Investitionskosten durch die Errichtung einzelner leistungsstärkeren Kraftwerksanlagen und andererseits durch den Kraftwerkseinsatz der kostengünstigsten Anlagen bzw. Primärenergieträger, sowie dem Energieausgleich von dargebotsabhängigen Kraftwerken eine verbesserte Ausnutzung der Anlagen. Ein weiterer Vorteil des Verbundbetriebes liegt in der höheren Versorgungssicherheit durch die Reservehaltung im Störfall als auch die wesentlich bessere Frequenzhaltung.

Heutige Netze genügen den Anforderungen einer sicheren und zuverlässigen Stromversorgung in der Vergangenheit und Gegenwart. Die Versorgung mit elektrischer Energie ist seit der Liberalisierung einem starken Wandel unterzogen, bei einem weltweit zunehmenden Stromverbrauch. Durch die Liberalisierung der Strommärkte wird der Stromhandel zunehmend weiträumiger, neue Leistungsflüsse eingeleitet, einzelne Leitungen stärker belastet. Da die Netze in ihrer ursprünglichen Konzeption nicht dazu geplant waren, stößt man bereichsweise an die Grenzen der historisch gewachsenen Infrastruktur. Weiters soll auch bei dezentraler und schwankender, regenerativer Einspeisung, insbesondere der Windenergie, welche dem Lastprofil meist nicht folgen kann, die Netzstabilität und eine zuverlässige Versorgung garantiert bleiben.

Um die Anforderungen an die Elektrizitätsversorgung, elektrische Energie ausreichend, sicher, kostengünstig und umweltfreundlich bereitzustellen zu erfüllen, scheint eine mit einer

Erneuerung einhergehende Netzoptimierung langfristig Erfolg versprechend zu sein. Dazu müssen, durch den stetig steigenden Energiebedarf, neben einer ausreichenden Energieerzeugung auch genügend Übertragungskapazitäten vorgesehen werden. Deshalb ist ein Netzausbau bzw. eine optimierte Netzregelung notwendig, damit weder Versorgungsengpässe noch die Überlastung von Übertragungsleitungen sowie Transformatoren resultieren [1-6].

1.1 Modellregionen für Elektromobilität

In Österreich gibt es derzeit acht so genannte Modellregionen E-Mobilität. In diesen Modellregionen, welche vom Klima- und Energiefonds und dem Lebensministerium initiiert und unterstützt werden, sollen Erfahrungen zu allen Aspekten rund um die Elektromobilität gesammelt werden. Diese Erfahrungen sind ein wesentlicher Bestandteil zur Unterstützung einer breiten Einführung von Elektromobilität in Österreich. Neue Mobilitäts- und Energiedienstleistungskonzepte sollen, basierend auf erneuerbarer Energie, zur Entwicklung von mit nachhaltigen Energiesystemen zu vereinbarenden Verkehrskonzepten, sowie zur Stärkung der Technologiekompetenz österreichischer Unternehmen beitragen.



Abb. 1: Die acht Modellregionen E-Mobilität Österreichs im Überblick [7]

Die Forschungsinhalte sowie gewonnene Erkenntnisse aus dem Betrieb der Elektromobilitätsregionen sollen der Öffentlichkeit und potenziellen Multiplikatoren zugänglich gemacht werden. Die Schwerpunktthemen umfassen dabei:

- Ladeverhalten und Leistungsbedarf für das Laden (erneuerbarer Strom und Ladeinfrastruktur),
- Auswirkungen auf das Stromnetz (Ortsnetzstationen) und die Energiebereitstellung bei Hochrechnung der Nutzungsdaten,
- Potenzial von Vehicle-to-Grid Modellen,
- Technisches Monitoring hinsichtlich der Fahrprofile,
- Kundenbedürfnisse und -akzeptanz sowie Nutzerverhalten,
- Bewertung technischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte.

Neben der Errichtung der notwendigen Ladeinfrastruktur ist der Ausbau des vorhandenen elektrischen Stromnetzes ebenso wichtig. Bedingt durch strengere Emissionsvorschriften, sowie dem prognostizierten Trend zu ansteigenden Ölpreisen findet derzeit ein Paradigmenwechsel zugunsten der Elektromobilität statt. Energieeffizienz und Umweltschutz nehmen in der Bevölkerung einen zunehmend wichtigen Stellenwert ein, welcher einen starken Einfluss auf die Entwicklung zukünftiger Fahrzeuggenerationen haben wird. Zusätzlich ergeben sich durch die derzeit begrenzte Reichweite sowie die günstigen Haltungskosten von Elektrofahrzeugen interessante Geschäftsmodelle für Fuhrparkbetreiber, wie beispielsweise Car-Sharing Modelle.

Kernthemen in den Modellregionen sind der Ausbau der Infrastruktur, die Entwicklung neuer Geschäfts- und Mobilitätsmodelle und die Kombination von Elektromobilität mit erneuerbaren Energieträgern. Da sich diese Regionen in Bezug auf geographische Ausdehnung, Zielgruppen und Geschäftsmodelle stark unterscheiden, wird in Zukunft verstärkt auf Kooperation und Vernetzung unter den Modellregionen gesetzt. Damit wird sichergestellt, dass die Erfahrungen der einzelnen Regionen untereinander ausgetauscht, und Synergien genutzt werden können [8].

2 Ladeverhalten und Leistungsbedarf für das Laden

Aus dem derzeitigen Wandel der elektrischen Energieversorgung nach technischen, wirtschaftlichen, politischen, gesellschaftlichen sowie ökologischen Perspektiven ergeben sich neue Herausforderungen an die elektrische Stromversorgung der Zukunft. Durch die voranschreitende Industrialisierung nimmt auch der Energiebedarf an elektrischer Energie zu, wobei es heutzutage mit dem Knapper-Werden von fossilen Rohstoffen ein Umdenken in Richtung erneuerbarer und umweltfreundlicher Ressourcen zur Energieumwandlung gibt.

Aus Kostengründen ist jedoch bis heute noch keine flächendeckende Kommunikationsanbindung von dezentralen Energieeinspeisern untereinander und zum Netzbetreiber realisiert, wodurch die Regelung in den untersten Netzebenen unkoordiniert ist. Es ist daher abzusehen, dass sich mittelfristig ein Wechsel vom passiven zum aktiven Verteilnetz (Smart Grid) ergeben wird. Durch den Einsatz von so genanntem Smart Metering kann einerseits durch die informationstechnische Vernetzung eine Koordination von dezentralen Einspeisern bewerkstelligt werden und andererseits lässt sich eine Effizienzsteigerung innerhalb eines Elektroenergiesystems ermöglichen [9].

Die Bewertung der Auswirkungen der zukünftigen Elektromobilität auf das elektrische Versorgungsnetz, insbesondere der elektrischen Niederspannungs-Stromnetze, wird mittels einer Auswertung von vorhandenen Messdaten der sich in Betrieb befindlichen Elektrofahrzeuge durchgeführt. Das Monitoring der Ladestationen dient der Erfassung bzw. Analyse der folgenden charakteristischen Parameter während des Ladeprozesses der Elektrofahrzeuge:

- Leistungsverlauf,
- Ladehäufigkeit,
- Ladedauer,
- geladene Energiemenge,

- Frequentierung der Ladestationen,
- Einfluss auf die Power Quality,
- Protokollierung unterschiedlicher Arten von Störungen (seitens der Ladestation bzw. der Elektrofahrzeuge).

Die Analyse des Flottenverhaltens dient der Zuordnung und Kategorisierung der einzelnen Bedarfsträger zu den individuellen Ladepunkten. Aus dem Verhältnis der Stromentnahme von Heimladestationen zu öffentlichen Ladestationen ermöglicht, den Bedarf an öffentlichen Ladestationen zu eruieren. Der in der Öffentlichkeit oft diskutierte Bedarf an Schnellladestationen – mit einer großen Nennleistung bis 55 kVA [10] – kann ebenfalls durch den zuvor beschriebenen Punkt, in Relation zu den Ladestationen mit geringerer Anschlussleistung, eruiert werden. Die notwendige Ladeinfrastruktur bis zum Jahr 2020 wird mittels einer Hochrechnung, auf Basis der ausgewerteten Daten der Elektrofahrzeuge, durchgeführt.

Die zusätzliche Protokollierung der aufgetretenen Störungen während des Ladevorganges wird verwendet, um eine Störstatistik und daraus in weiterer Folge eine Verfügbarkeitsanalyse der Elektrofahrzeuge zu erhalten. Eine Power Quality Messung während des Ladeprozesses des Elektrofahrzeuges gibt Aufschluss über die Netzurückwirkungen auf das elektrische Netz. Zusätzlich wird durch diese Messung geprüft, ob die europäische Spannungsqualitätsnorm EN 50160 [11] sowie die technischen und organisatorischen Regeln Tor-D2 [12] eingehalten werden.

Die in der Modellregion errichteten Ökostromanlagen, insbesondere die Photovoltaik-Anlagen, werden einem Monitoring unterzogen und folgende Parameter analysiert:

- Stromerträge (Tages-, Monats-, Jahresverlauf),
- Deckungsgrad der Stromeinspeisung (Ökostromanlagen) zum Strombedarf der Elektromobilität,
- Protokollierung von Störungen sowie Stillstandszeiten.

Die Analysen der einzelnen Parameter zeigen, inwieweit die Bereitstellung von Ökostrom zu einem emissionsfreien Betrieb seitens der Elektromobilität beitragen kann. Die Eruierung des bis zum Jahre 2020 hochgerechneten, eingespeisten Ökostromes und der hochgerechneten Elektromobilität ermöglichen die Auswirkungen auf das elektrische Niederspannungsnetz darzustellen. Die Analyse der ungesteuerten bzw. der möglichen gesteuerten Ladung seitens der Elektrofahrzeuge (Lademanagement) zeigt die entstehenden Lastspitzen im elektrischen Niederspannungsnetz auf.

2.1 Vehicle-to-Grid Konzept

Unter dem Vehicle-to-Grid Konzept (V2G) versteht man die mögliche Rückspeisung des gespeicherten Stromes seitens des Elektrofahrzeuges. Dadurch kann das elektrische Versorgungsnetz in Zeiten eines hohen Strombezugs (z. B. hoher Mittagsstromverbrauch bzw. Abendverbrauchsspitze) durch die Einspeisung des gespeicherten Stromes der Elektrofahrzeuge entlastet werden. In Zeiten hoher Stromeinspeisung seitens dezentraler Stromerzeugungseinheiten (Photovoltaik-Anlagen) wird durch den gleichzeitigen Bezug seitens der Elektrofahrzeuge die Strombelastung im elektrischen Niederspannungsnetz

reduziert. In diesem Projekt wird das Vehicle-to-Grid Konzept auf die technische Erhebung des Rückspeisepotentials seitens der Elektromobilität reduziert. Die kalkulatorischen Vergleichsrechnungen mit anderen auf dem Markt befindlichen Speichertechnologien zeigen die Konkurrenzfähigkeit dieses Konzeptes.

Betrachtet man die Energieziele vieler Länder, so lässt sich ein klarer Trend in Richtung verstärktem Einsatz von erneuerbaren Energieträgern erkennen. Die aktuellen Diskussionen über die CO₂-Reduzierung verstärken diesen Trend noch weiter. Durch einen Anstieg der Nutzung erneuerbarer Energie kommt eine enorme Herausforderung auf bereits bestehende Stromnetze zu. Die klare Struktur, die es bisher gab, eine zentrale Stromerzeugung mit einem monodirektionalem Lastfluss wird sich hingehend zu einer dezentralen Stromerzeugung mit einem bidirektionalen Lastfluss entwickeln.

Die Umstrukturierung der derzeitigen Netze zu intelligenten Verteilnetzen, so genannten Smart Grids soll ermöglichen, dass der Verbrauch der elektrischen Energie bei einer Überproduktion von erneuerbaren Energieträgern durch gezieltes Einschalten von bestimmten Verbrauchern (z. B. stromstarke Haushaltsgeräte, Geräte mit Speichereffekt) gezielt gesteuert werden kann, während man bei drohendem Erzeugungsdefizit bestimmte Verbraucher gezielt vom Netz abschalten kann, um so die Netzstabilität sicherzustellen. Des Weiteren ermöglichen Smart Grids eine angebotsgerechte Steuerung dezentraler Erzeugungseinrichtungen durch Zusammenfassen zu so genannten virtuellen Kraftwerken, welche zentral vom Netzbetreiber gesteuert werden können. Man entwickelt sich also von einer geplanten Erzeugung gemäß prognostizierter Lastkurven in Richtung eines Verbrauchs, der vom Dargebot der erneuerbaren Energieträger abhängig ist (Lokales Last Management, LLM). Um die oben genannten Anforderungen umsetzen zu können, muss eine Kommunikation zwischen Netzbetreiber und Verbraucher stattfinden. Zum Aufbau eines Smart Grids müssen bestehende Netze um ein Kommunikationsnetz erweitert werden. Für diese Kommunikation gibt es derzeit folgende technische Möglichkeiten:

- Power-Line Carrier oder Breitband Power-Line Technologie,
- GPRS¹/GSM² (Datenübertragung mittels GPRS-Technologie über das Mobilfunknetz),
- GPRS/DSL³ (Datenübertragung mittels GPRS-Technologie über Breitband-Internet),
- Langwellenrundfunk.

Welche dieser Kommunikationstechnologien sich letztendlich durchsetzen wird, ist bisher noch nicht eindeutig geklärt. Stark abhängig ist diese Entscheidung sicher davon, welches Datenvolumen übertragen werden muss, wobei derzeit die Technologien DSL und GSM verstärkt in Betracht kommen. Abbildung 2 gibt ein Beispiel für ein smartes Gesamtsystem wieder [3], [9].

¹ General Packet Radio Service (Allgemeiner paketorientierter Funkdienst)

² Global System for Mobile Communications (Standard für volldigitale Mobilfunknetze)

³ Digital Subscriber Line (Digitaler Teilnehmeranschluss)

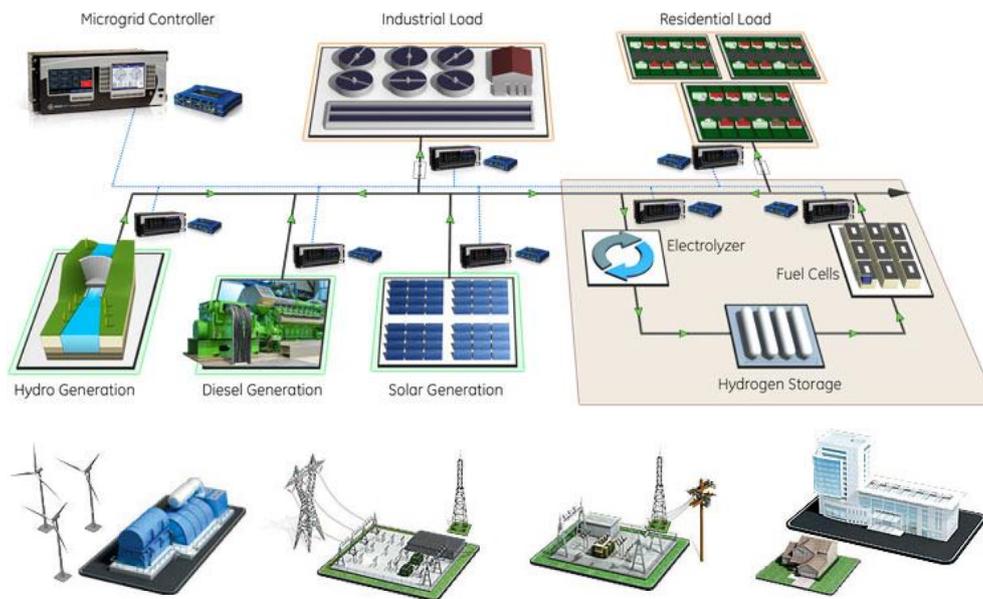


Abb. 2: „Smartes Gesamtsystem“ im Überblick: smarte Erzeugung – smarter Transport – smarte Verteilung – smarter Verbrauch [13]

3 Technisches Monitoring hinsichtlich der Fahrprofile

Das technische Monitoring stellt die Grundlage für das oben beschriebene Vorhaben dar. Daher wurden in der Vergangenheit mehrere Elektrofahrzeuge der Modellregion Graz mit Sensoren ausgerüstet und Messdaten aufgezeichnet. Es stehen somit neben den durch die Benutzer geführten Fahrtenbüchern auch das aufgezeichnete GPS-Signal, die Stromverbräuche der wesentlichsten elektrischen Komponenten, sowie auch etwaige Fehlermeldungen des Bordcomputers im Fahrzeug zur Verfügung. Basierend auf diesen Messungen ist eine Vielzahl an Erkenntnissen möglich:

- Aufgrund der Aufzeichnungen in den Fahrtenbücher und den Daten aus dem Bordcomputer kann auf die Benutzerakzeptanz geschlossen werden.
- Basierend auf den gemessenen Stromverläufen und dem aufgezeichneten GPS-Signal kann auf das Ladeverhalten des Benutzers geschlossen werden. Interessante Aussagen sind hierbei neben der Ladedauer und Ladehäufigkeit vor allem die Ladezeitpunkte, die Lademenge, als auch der Standort – wird nur zu Hause oder auch unterwegs das Fahrzeug wieder aufgeladen.
- Es lässt sich die Effizienz der Antriebsstrangkomponenten (Wirkungsgrade) des Energiemanagements als auch der Ladeelektronik bestimmen.
- Die Messungen erlauben einen Einblick in die Energiemanagementstrategie der Fahrzeuge.
- Basierend auf den gemessenen Stromverläufen und den aufgezeichneten Geschwindigkeiten kann mittels einer Längsdynamik-Simulation das Verhalten der Fahrzeuge mathematisch nachgebildet werden. Dies erlaubt eine Optimierung der Antriebskomponenten als auch des Energiemanagementsystems des betrachteten Elektrofahrzeugs für unterschiedliche Einsatzbedingungen und Betriebszustände. Von

besonderem Interesse sind hierbei folgende Parameter: Reichweite unter Berücksichtigung des realen Nutzerverhaltens, Maximalgeschwindigkeit, Beschleunigung, Energieverbrauch, Wirkungsgrad, Effizienz der Nebenaggregate (Betrieb von Klimaanlage und Heizungsanlage). Die Kenntnisse dieser Parameter sind ausschlaggebend um zukünftige Elektrofahrzeuge den Bedürfnissen der Benutzer optimal anpassen zu können, und somit die Herstellungskosten der Fahrzeuge, die Kosten in Hinblick auf die Infrastrukturbereitstellung und somit auch die laufenden Kosten des Fahrzeugs selbst weiter senken zu können.

- Außerdem kann die alterungsbedingte Kapazitätsabnahme der Batterie erfasst werden. Es können damit Rückschlüsse auf die im realen Betrieb erreichbare Batterielebensdauer gezogen werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein begleitendes technisches Monitoring essentiell für eine kundenorientierte Weiterentwicklung der Fahrzeuge ist. Nur so ist es möglich die eingesetzten Fahrzeuge zu validieren und einen realistischen Vergleich mit konventionellen Fahrzeugen zu machen.

4 Bewertung technischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte

Durch die stetig ansteigende Bevölkerung bei gleichzeitig zunehmendem Wohlstand in städtischen Großräumen, wird es in den nächsten Jahren zu einer erhöhten Verkehrsdichte sowie einem Engpass an Stellplätzen im urbanen Raum kommen [14], [15]. Zusätzlich wird durch ein erhöhtes Verkehrsaufkommen die Feinstaub- sowie CO₂-Belastung vom aktuellen hohen Niveau noch weiter ansteigen, dargestellt in Abbildung 3 und Abbildung 4 [16], [17].

Um diesen Effekten entgegenzuwirken und um die Lebensqualität der Bürgerinnen und Bürger zu steigern, wird nach neuen Entwürfen für nachhaltigen Personenverkehr gesucht. Durch den Anstieg der Optionenvielfalt innerhalb der individuellen Mobilität bietet sich Multimodalität als alternatives Verkehrskonzept an, das eine Veränderung bisheriger ressourcenintensiver Mobilitätsmuster im Personenverkehr, die durch automobiler Einzelpersonen geprägt sind, hin zu flexibler, verschiedene Verkehrsmittel je nach Wegzweck und Tagessituation umfassender, sowie innerhalb einer Interessensgemeinschaft von Familienmitgliedern, Nachbarn, Arbeitskollegen, etc. koordinierter Mobilität propagiert. Intermodalität geht noch einen Schritt weiter und bewirbt das intelligente Kombinieren mehrerer Verkehrsmittel auf demselben Weg.

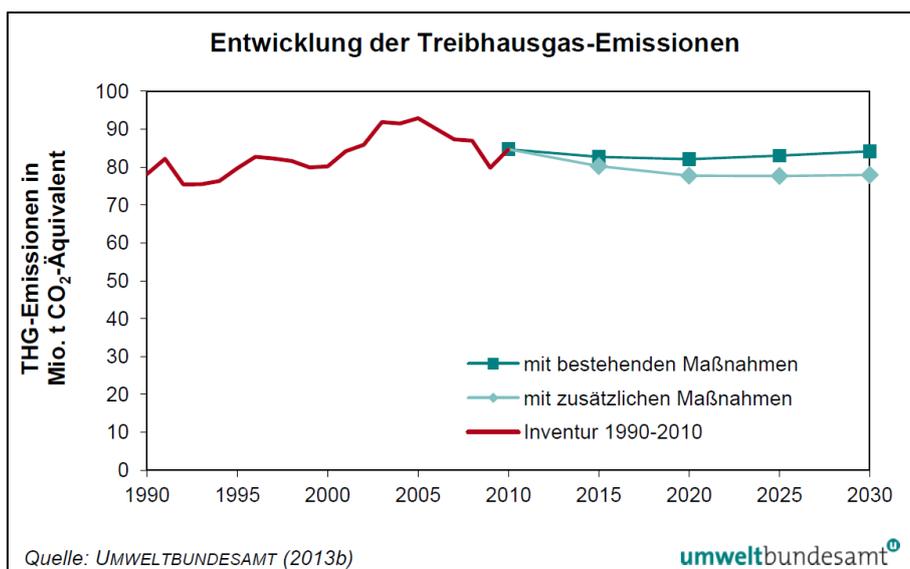


Abb. 3: Projektion der Treibhausgas-Emissionen Österreichs [16]

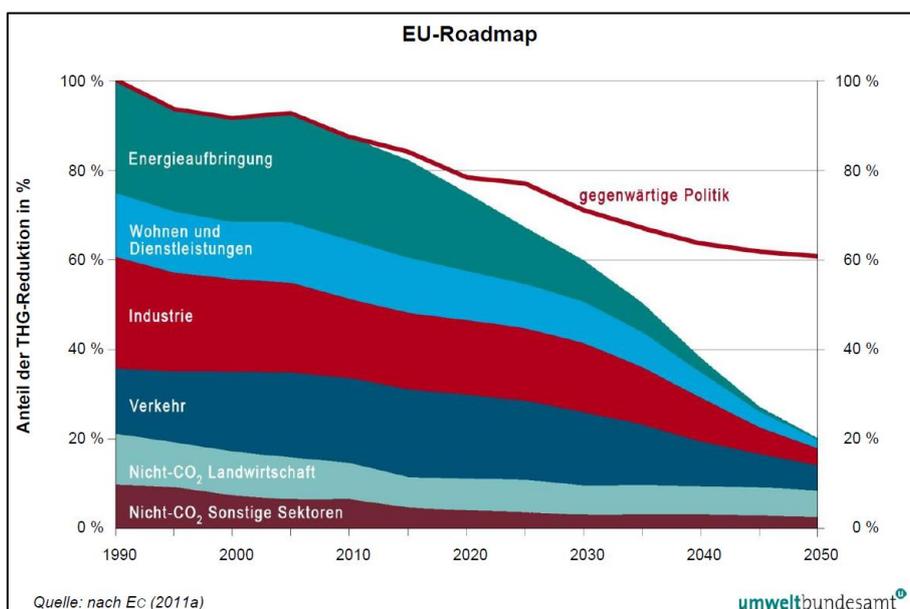


Abb. 4: Fahrplan zur Verringerung der Treibhausgas-Emissionen in der EU um 80 % (100 % = 1990) [16]

Einschlägige Strategiepaperie auf EU-, nationaler und lokaler/regionaler Ebene fordern den Wandel zu Elektromobilität:

EU-Ebene:

- 20/20/20 Ziele: Die 20/20/20 Ziele fokussieren auf die Reduktion der Treibhausgase, den Ausbau der erneuerbaren Energieträger und die Reduktion des Energieverbrauchs um jeweils 20 %. Änderungen im Mobilitätsverhalten sind notwendig um diese Ziele zu erreichen, da Mobilität für rund ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs verantwortlich ist [18].
- Action Plan on Urban Mobility [19]: In diesem Aktionsplan geht es vorrangig um die Erstellung und den Erhalt zukunftsträchtiger und nachhaltiger Mobilitätskonzepte für

den urbanen Raum. Im Rahmen dieses Aktionsplans wurde schon eine Vielzahl, teilweise sehr großer und mittlerweile sehr bekannter, Projekte im Mobilitätsbereich umgesetzt, u. a. die CIVITAS Initiative und ELTIS PLUS.

- White Paper on Transport: Diese umfassende Strategie für ein wettbewerbsfähiges und umweltfreundliches Verkehrssystem umfasst auch den Stadt- und Pendlerverkehr, für den in erster Linie der Umstieg auf alternativ betriebene Fahrzeuge und die notwendige Stärkung des öffentlichen Nahverkehrs genannt werden [20].
- European Road Map 2050: Die Energy Road Map 2050 ist ein weiterer wichtiger Meilenstein der Europäischen Kommission im Klimaschutz. Auch hier wird Elektromobilität als ein Weg die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, anerkannt [21].

National:

- Österreichische Energiestrategie: Die Energiestrategie Österreichs hebt gemäß Abbildung 5 vielzählige Aspekte hervor, unter anderem die Forderung nach attraktiven und vernetzten Angeboten für den öffentlichen Personenverkehr, die Verbesserung des Modal Split und ein österreichweiter Taktfahrplan inklusive attraktivem Ticketangebot. Auch die Begünstigung schadstoffarmer Antriebssysteme wie die Elektromobilität sind hier ein Thema [22].

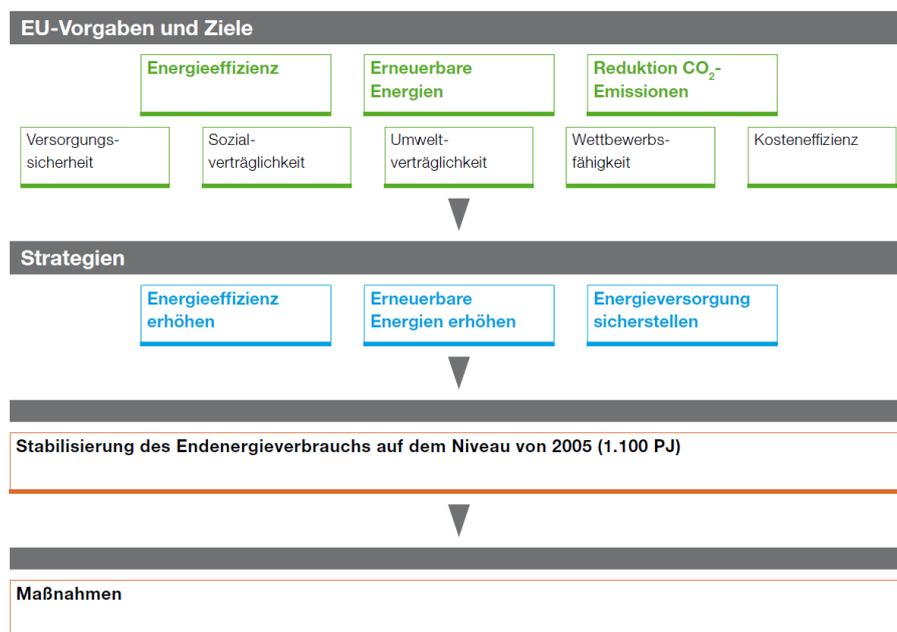


Abb. 5: Drei Strategiesäulen Österreichs: Steigerung der Energieeffizienz, der Energieeinsparung und Ausbau der erneuerbaren Energien [22]

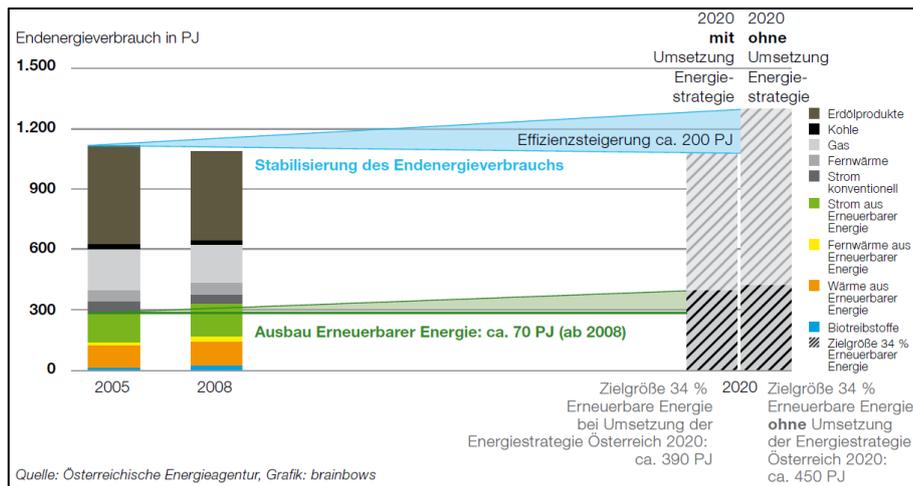


Abb. 6: Modell der Energiestrategie in Österreich [22]

- Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels 2008-2012: Auch in dieser 2007 erlassenen Strategie spielt Mobilität eine wesentliche Rolle. Einige der darin vorgeschlagenen Maßnahmen sind: Bewusstseinsbildungsmaßnahmen, Förderung des Rad- und Fußgängerverkehrs, Attraktivierung und Ausbau des öffentlichen Verkehrs und Mobilitätsmanagement, sowie Beratungs- und Förderprogramme [22-23].
- Nationaler Einführungsplan Elektromobilität: Diese Initiative unterstreicht die Notwendigkeit, Elektromobilität in Rahmenbedingungen aus Verkehrspolitik, Raumplanung und Ladestelleninfrastruktur einzubetten [22], [24].

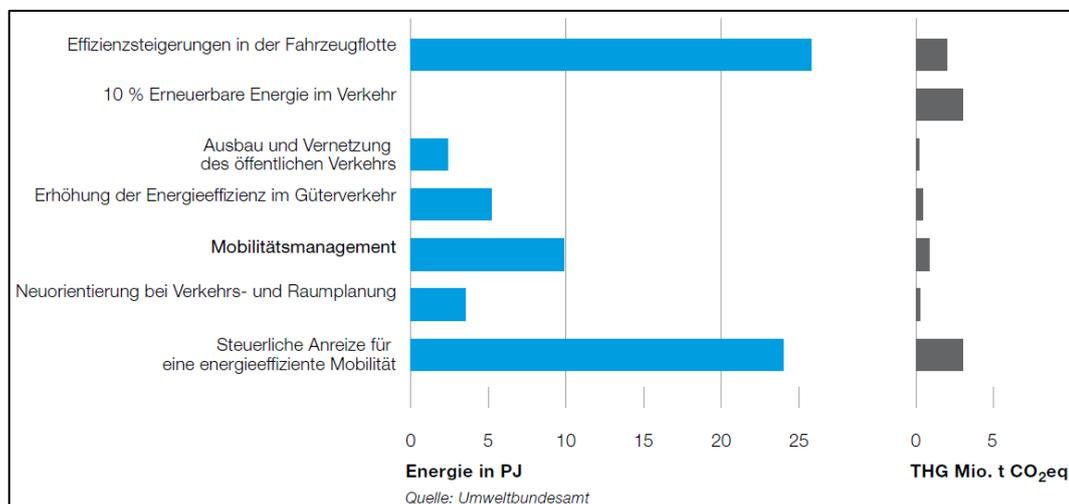


Abb. 7: Potenziale der Maßnahmen im Bereich Verkehr [22]

Anwendung	Pendler	Taxis	Urbaner ÖV-Benutzer	Freizeit- Verkehr	öffentliche Flotten	betriebliche Flotten	City- Logistik	Güter-Straßen- Fernverkehr				
Fahrzeugklasse	E-Fahrrad	E-Moped	E-Motorräder	PKW	Leichte NFZ	Busse	schwere NFZ					
Technologie	Full-Hybrid		Plug-In-Hybrid		Batterie- Elektrofahrzeug		Brennstoffzellen- Fahrzeug					
räumliche Verortung	urban		Agglomeration		Verkehrskorridor		ländlicher Flächenverkehr					
Intermodale Verknüpfung	Fußgänger, Rad		Schiene kurz		Schiene lang		Busse Flugverkehr Schiff					
Handlungsfeld	„Umsetzungs- regionen“		Legistische Maßnahmen		F&E- Förderung		Infrastruktur		Ministeriums- Internes		Synergien mit ÖV	
	Öffentliche Beschaffung		Verkehrs- politik		Intermodale Verknüpfung		Öffentlichkeits- Arbeit		Internationale Vernetzung			
	Aus- und Weiterbildung		Finanzielle Förderung & Ausgleichsmaßnahmen		Betreiber- Modelle		Energie- Bereitstellung		Mobilitäts- Management			
Stakeholder	Ministerien, Gemeinden, Länder		Unter- nehmen		F&E- Institutionen		Fahrzeug- Industrie		Energie- Versorger		Verkehrs- Dienstleister Infrastruktur- Unternehmen	
Zeitplan	kurzfristig				mittelfristig				langfristig			

Abb. 8: Dimensionen der Elektromobilität [24]

Lokal und regional:

- Energiestrategie Steiermark 2025: Auch das Land Steiermark unterstützt die Schaffung alternativer Mobilitätsangebote, besonders im Zuge des Ausbaus des S-Bahn Systems und der Forcierung des Radland Steiermark [25].
- Klimaschutzplan Steiermark 2020/2030: Der Klimaschutzplan identifiziert eine Vielzahl an Handlungsoptionen zur Reduktion der Umweltauswirkungen des Verkehrs in der Steiermark. Unter anderem werden der Ausbau der öffentlichen Verkehrs, alternativer Antriebe und des Rad- und Fußverkehrs sowie flexible Verkehrslösungen, intermodaler Verkehr, Car-Sharing, u. v. m. genannt [25].
- Roadmap Elektromobilität Steiermark 2025: Verfasst von der Grazer Energieagentur im Jahr 2012, liefert die Roadmap Elektromobilität Steiermark eine Handlungsgrundlage für die Entscheidungsträger des Land Steiermark um das Land für Elektromobilität fit zu machen. Dazu zählen auch Aspekte des Fahrzeug-Poolings, die Forcierung multi- und intermodaler Mobilitätsangebote und die Bewusstseinsbildung [26].
- Mobilitätsstrategie der Stadt Graz: In den Verkehrspolitischen Leitlinien 2020 und im Grazer Mobilitätskonzept 2020 spielt Multimodalität und sanfter Verkehr eine essentielle Rolle.

Als zukünftige Schlüsselstrategie zählt die Elektromobilität zu einem wichtigen Baustein zur Erfüllung der europäischen Klimaschutzziele. Durch die Bereitstellung eines umfassenden Mobilitätskonzeptes kann Elektromobilität nutzer- und umweltfreundlich aufbauend auf der bestehenden Infrastruktur eingesetzt werden. Ein erhöhtes Bewusstsein der Bevölkerung hin zu klimafreundlicher Mobilität muss durch vermehrte Information und Wissen geschaffen werden, um ein nachhaltiges Mobilitätsverhalten zu bewirken.

Die praktische Umsetzung beinhaltet schwerpunktmäßig drei Zielsetzungen:

- Gesamtheitliches Mobilitätskonzept: Elektromobilität soll besonders verstärkt in die bisherige Verkehrsstruktur (öffentlicher Verkehr, Fuß- sowie Radverkehr, konventionelle Pkw und Pooling-/Sharing-/Verleihkonzepte) nutzerfreundlich integriert werden. Dabei ist der Elektromobilität (E-Bike, E-Roller, E-Auto, usw.) im Besonderen eine Schlüsselrolle im innerstädtischen Nahverkehr zugeordnet, um den NutzerInnen eine flexible, schnelle und umweltfreundliche Transporttechnologie zur Verfügung zu stellen.

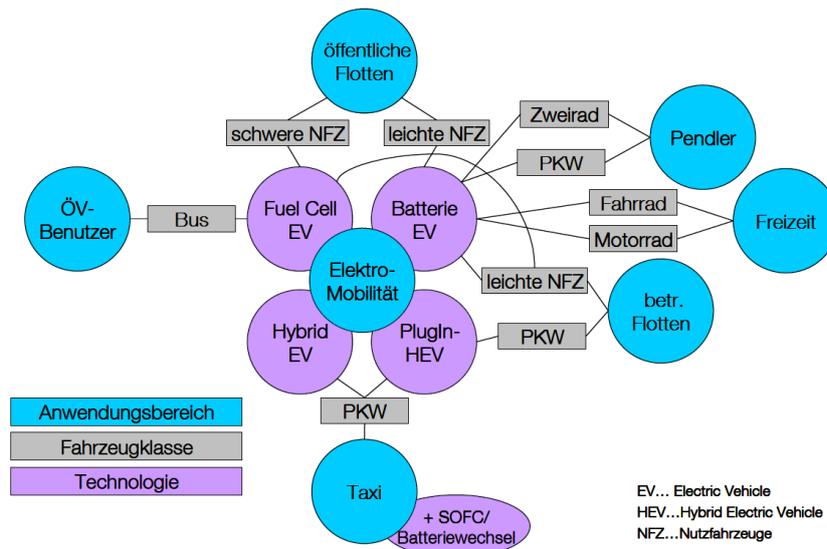


Abb. 9: Mögliche Wege bei der Einführung der Elektromobilität – Fokus Technologie [24]

- Nutzergruppenorientierung: Das Mobilitätsverhalten der einzelnen Nutzergruppen soll entsprechend ihrer Bedürfnisse und Interessenslagen innerhalb eines gesamtheitlichen Mobilitätskonzeptes abgedeckt werden. Dies soll durch ein abgestimmtes Zusammenspiel zwischen NutzerInnen, Infrastruktur und Verkehrsmittel über ein interaktives Mobilitätsservice (z. B. Smartphone sowie Internet) ermöglicht werden. Eine einfache und verständliche Handhabung eines interaktiven Apps soll Synergien erkennen und so z. B. Mitfahrgelegenheiten aufzeigen, welche in weiterer Folge Kosten sparen und Umwelteinflüsse reduzieren.
- Mobilitätsbewusstsein: Durch die aktive Vernetzung und Erfassung des Mobilitätsverhaltens der NutzerInnen lassen sich Nachhaltigkeitsbewertungen bezüglich Ökonomie (z. B. Fahrtkosten, Lebenszykluskosten), Ökologie (z. B. CO₂-Emissionen, ökologischer Fußabdruck) sowie zu sozialen Aspekten (z. B. Kontakte, Gesundheit) erstellen. Speziell zu diesem Zweck entworfene Werkzeuge (z. B. Informationsplattform) sollen unterstützend ein Bewusstsein für die Kosten und Umweltauswirkungen schaffen und den Ausgangspunkt für selbstreflektiertes Mobilitätshandeln bereitstellen.

Im Besonderen wirkt sich die Elektromobilität in Ländern mit hohem Ökostromanteil, wie es in Österreich beispielsweise der Fall ist, auf die CO₂-Bilanz sehr günstig aus. So werden durch die Elektromobilität nicht nur fossile Ressourcen geschont, sondern es wird auch zusätzlich durch die Verwendung erneuerbarer Energien nachhaltig Ökostrom umweltfreundlich umgesetzt [27-29].

5 Zusammenfassung

Die Elektromobilität zeigt großes Potenzial, die Verringerung der verkehrsbedingten Probleme in Ballungsräumen zu unterstützen. Allerdings stellt diese Technologie keine Insellösung dar, sondern muss in Zusammenhang mit einem Bündel an Maßnahmen bewertet werden. Nur im Verbund mit dem Ausbau öffentlicher und privater Ladestationen, der Anpassung des elektrischen Versorgungssystems und der Bereitstellung neuer Mobilitätskonzepte kann die Elektromobilität einen nachhaltigen Beitrag zur Mobilität der Zukunft leisten. Aktuelle Forschungsthemen beschäftigen sich mit verschiedenen Aspekten und Einflussgrößen der Elektromobilität. Neben der Analyse des potenziellen Nutzerverhaltens hinsichtlich der Mobilitätsbedürfnisse, des Transportbedarfs und Aspekten des Komforts werden technologisch relevante Themenstellungen untersucht. Dazu gehören das Ladeverhalten und der Energiebedarf in Abhängigkeit von Uhrzeit und Wochentag, die Möglichkeiten elektrisch angetriebene Fahrzeuge in Versorgungsnetze zu integrieren, sowie das Verhalten der Fahrzeuge selbst. Eine besondere Herausforderung stellt die Integration der Elektromobilität in bestehende Verkehrssysteme dar.

Interessante Alternativen zu gewohnten Verhaltensmustern repräsentieren neue Mobilitätskonzepte, welche die Gesamtheit des Mobilitätsbedarfs durch eine Kombination aus individueller Transportleistung und öffentlichen Verkehrsmitteln abbilden. Die individuelle Transportleistung kann dabei durch eigene Fahrzeuge oder durch auf Leihfahrzeugen basierenden Modellen abgedeckt werden. Im Sinne der Effizienzsteigerung stellen Mitfahrbörsen einen Ansatz dar, der durch den Einsatz moderner Software-Anwendungen über Smartphones deutlich an Attraktivität gewinnen kann.

Die große inhaltliche Breite der Forschungsthemen lässt auf die Komplexität bei der Gestaltung der Mobilität der Zukunft schließen. Nur ein effizientes Zusammenspiel aller Beteiligten – Fahrzeugindustrie, Energieversorger, öffentliche Hand, Gesetzgebung und natürlich die Nutzer selbst – wird auch in Zukunft unsere wachsenden Ballungsräume lebenswert gestalten.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Valentin Crastan: „Elektrische Energieversorgung 1“, Springer, 2. Auflage, 2007, ISBN 978-3-540-69439-7
- [2] Dietrich Oeding, Bernd R. Oswald: „Elektrische Kraftwerke und Netze“, Springer, 6. Auflage, 2006, ISBN 3-540-00863-2
- [3] Adolf J. Schwab: „Elektroenergiesysteme – Erzeugung, Transport, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie“, Springer-Verlag, 2011, ISBN 978-3-642-21957-3
- [4] Jürgen Fabian: „Entwicklung eines FACTS-Moduls für ein analoges Netzmodell“, Diplomarbeit, Institut für Elektrische Anlagen, Technische Universität Graz, 2008
- [5] Jürgen Fabian, Klaus Krischan, Herwig Renner: „FACTS als moderne Elemente zur Netzregelung von Energiesystemen“, VDM-Verlag, 2010, ISBN 978-3-639-11993-0
- [6] Jürgen Fabian, Martin Kircher, Herwig Renner, Michael Muhr: „Anforderungen und Innovationen zur Energieübertragung an zukünftige europäische Stromnetze“, 11. Symposium Energieinnovation, 10.-12.2.2010, Graz

- [7] e-connected, Plattform des Klima- und Energiefonds, www.e-connected.at, heruntergeladen am 27.01.2014
- [8] e-mobility Graz GmbH, <http://www.emobility-graz.at>
- [9] Jürgen Fabian, Thomas Hager, Michael Muhr: „Technologie-Visionen zur elektrischen Energieübertragung zukünftiger europäischer Netze“, 12. Symposium Energieinnovation, 15.-17.2.2012, Graz
- [10] Schrack Technik: Stromtankstellen Elektromobilität – der umweltfreundliche Weg in unsere Zukunft“: <http://www.schrack.at/elektromobilitaet/>, heruntergeladen am: 27.01.2014
- [11] ÖVE/ÖNORM EN 50160: „Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen“, 2011
- [12] E-Control: „Technische und organisatorische Regeln für Betreiber und Benutzer von Netzen – Hauptabschnitt D2 – Richtlinie zur Beurteilung von Netzzrückwirkungen“, E-Control GmbH, 2006
- [13] GE Smart Grid, http://www.gedigitalenergy.com/multilin/smartgrid_innovations.htm, heruntergeladen am 17.01.2012
- [14] Helmut Brunner: „Konzeptionelle Überlegungen für die Entwicklung eines Fahrzeugs für den urbanen Individualverkehr“, Diplomarbeit, Institut für Fahrzeugtechnik, Technische Universität Graz, 2012
- [15] Universität für Bodenkultur, Abteilung Raum, Landschaft und Infrastruktur: „Grundlagen der Verkehrsplanung“, Wien, 2010
- [16] Umweltbundesamt: „Zehnter Umweltkontrollbericht“, 2013, <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/umweltkontrollbericht/ukb/>, heruntergeladen am: 02.10.2013
- [17] BMVIT: „Verkehrsprognose 2025+“, 2009, http://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/verkehrsprognose_2025/index.html, heruntergeladen am: 25.09.2013
- [18] Umweltbundesamt: „Energie in Europa“, 2013, http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/energie/energie_eu/, heruntergeladen am: 25.09.2013
- [19] Europäische Kommission: „Action Plan on Urban Mobility“, 2009, http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility/action_plan_en.htm, heruntergeladen am: 27.01.2014
- [20] Europäische Kommission, Weißbuch: „Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem“, 2011, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:DE:PDF>, heruntergeladen am: 27.01.2014
- [21] Europäische Kommission: „Energy Roadmap 2050“, 2011, http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/index_de.htm, heruntergeladen am: 27.01.2014

- [22] BMWFJ und Lebensministerium: „Energiestrategie Österreich“, 2010, http://www.bmwfj.gv.at/Ministerium/Staatspreise/Documents/energiestrategie_oesterr_eich.pdf, heruntergeladen am: 25.09.2013
- [23] Lebensministerium: „Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels 2008-2013“, 2007, http://www.lebensministerium.at/publikationen/umwelt/archiv/anpassung_der_klimastrategie_oesterreichs_zur_erreichung_des_kyoto-ziels_2008-2012.html, heruntergeladen am: 27.01.2014
- [24] BMVIT: „Strategie und Instrumente sowie prioritäre Anwender- und Einsatzbereiche für den Nationaler Einführungsplan Elektromobilität“, 2012, <http://www.bmvit.gv.at/bmvit/verkehr/strasse/elektromobilitaet/index.html>, heruntergeladen am: 25.09.2013
- [25] Land Steiermark: „Klimaschutzplan“, 2010, http://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11514048_67473811/a74a6e78/KSP-Steiermark-201101-low.pdf, heruntergeladen am: 02.10.2013
- [26] Land Steiermark: „Road Map Elektromobilität Steiermark 2025“, 2012, http://www.grazer-ea.at/cms/upload/intelekt/roadmap_vnwsii_stadtschreiber_2012-09-04.pdf, heruntergeladen am: 19.08.2013
- [27] Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typengenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6), 2007, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:171:0001:0001:DE:PDF>, heruntergeladen am: 25.09.2013
- [28] Commission of the European Communities, Communication from the Commission to the European Council and the European Parliament: „An Energy Policy for Europe“, Brüssel, 2007, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0001:FIN:EN:PDF>, heruntergeladen am: 25.09.2013
- [29] Intergovernmental Panel on Climate Change, Klimaänderung 2007: Ein Bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen, 2007, <http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutch/IPCC2007-SYR-german.pdf>, heruntergeladen am: 25.09.2013