

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT

WIEN

Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Integrationsansätze und Wirkungsanalyse elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel im Personenverkehr

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des
akademischen Grades einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung: Dipl.-Ing. Dr. techn. Bardo HÖRL

Mitbetreuung: Dipl.-Ing. Michael ERNST

E 280/5 Fachbereich Verkehrssystemplanung

Department für Raumentwicklung, Infrastruktur- und Umweltplanung

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Barbara Manhart

Matr.-Nr.: 0326626

Libussagasse 7/3

1100 Wien

Wien, am 2. Juni 2012

VORWORT

Danksagung

Ein Studium und ganz besonders das Verfassen einer Diplomarbeit gehören nicht zu den Dingen, die man alleine bewältigen kann. Ich bin glücklich für die Unterstützung meiner Familie, meiner Freunde und der Lehrenden der TU-Wien und möchte ihnen an dieser Stelle danken.

Der größte Dank gebührt konkurrenzlos meinen Eltern, die mir und meinen Schwestern eine wunderbare Jugend und die Möglichkeit einer guten Ausbildung geschenkt haben. Dazu zählt auch ihre langjährige finanzielle Unterstützung und die vielen Stunden, in denen sie uns mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind. Vor allem aber haben sie in uns Interesse und Freude an Kultur, Technik, Natur, Sport, fremden Ländern, Kunst und Ethik geweckt und fördern und bis heute in alledem. An dieser Stelle: Danke, dass ihr unsere Welt so bunt gemacht habt!

Weiters möchte ich mich bei meinen Schwestern und Freunden bedanken, die mir vor allem in den letzten Monaten meinen Schreib-Alltag versüßt haben. Danke für die vielen Stunden in eurer Gesellschaft, euer geduldiges Zuhören und eure ermutigenden Worte, für fachliche Diskussionen, Berichte und Erkundungen und für methodische und fachliche Ratschläge. Danke für eure Freundschaft, euren Humor und eure liebevolle Unterstützung!

Dankbar bin ich auch für die guten Studienbedingungen, die meine Kommilitonen und ich während unseres Studiums der Raumplanung und Raumordnung an der TU-Wien hatten. Dass dies keine Selbstverständlichkeit ist, weiß man. Zu verdanken ist dies vor allem dem Engagement von Lehrenden, Fachschaft, Dekanat und Institutsmitarbeiterinnen weit über ihre Verpflichtungen hinaus. Ihre Leidenschaft für die Raumplanung war während des ganzen Studiums spürbar und gibt uns Studierenden und Absolventinnen Kraft und Mut, unser Wissen nun auch im Beruf einzusetzen. In diesem Zusammenhang möchte ich ganz besonders meinen Diplomarbeitbetreuern danken: Dipl.-Ing. Dr. techn. Bardo Hörl, unterstützt durch Dipl.-Ing. Michael Ernst. Ihre gründliche fachliche und methodische Betreuung aber auch Ihr Vertrauen in mein Können, hat wesentlich dazu beigetragen, dass diese Arbeit nun ihren Abschluss gefunden hat. Vielen Dank!

Hinweis

Zur besseren Lesbarkeit der Arbeit wurde von Begriffen jeweils nur die weibliche Form verwendet. So sich die Begriffe nicht auf einzelne Personen beziehen, sind diese als geschlechtsneutral zu betrachten.

KURZFASSUNG

Die Organisation des Personenverkehrs muss in Hinblick auf zukünftige Anforderungen und Möglichkeiten immer wieder hinterfragt und entsprechend adaptiert werden. Ausgangsbasis hierfür bilden bisherige Erfahrungen betreffend der Wirkungen des bestehenden Systems auf Mensch, Umwelt und Wirtschaft.

Ziel der Arbeit ist die Beantwortung der Frage, in welchen Bereichen und auf welche Weise elektrisch unterstützt angetriebene Mobilitätsarten einen Beitrag zu höherer Effizienz im Personenverkehrssystem leisten können.

Schwerpunkte der Arbeit sind die Analyse der Eigenschaften elektrisch unterstützter angetriebener Verkehrsmittel, die Analyse des derzeitigen Mobilitätsverhaltens und seiner Wirkungen sowie in Folge die Betrachtung jener Mobilitätsbedürfnisse und -muster, zu deren Befriedigung der Einsatz elektrisch unterstützter angetriebener Verkehrsmittel sinnvoll erscheint. Einen weiteren Schwerpunkt der Arbeit stellt die Auslotung von Integrationsmöglichkeiten elektrischer Verkehrsmittel als Teil komodaler Mobilität dar.

Am Beispiel des österreichischen Bundeslandes Vorarlberg wird in Szenarien der Einsatz elektrisch unterstützter angetriebener Verkehrsmittel hinsichtlich seiner Wirkungen auf Art und Umfang des energetischen Endbedarfs sowie auf Schadstoffemissionen analysiert.

ABSTRACT

The organisation of passenger transport has to be constantly adopted according to future demands and possibilities. Starting point is the knowledge earned by experiences concerning the effects of the present system on human beings, environment and economy.

Aim of the thesis is the answer to the question in which fields and in what ways electrically supported vehicles can contribute to a higher efficiency in the present passenger transport system.

The thesis is focused on the analysis of properties of electrically supported vehicles, the infrastructure involved, especially the necessary energy supply and the effects on energy demand and emissions of air pollutants and noise.

Furthermore the thesis deals with the present patterns of behaviour concerning the needs for mobility and ways of meeting them, as well as the consequences of these patterns. Subsequently the needs and patterns of mobility that were identified as being suitable to be met by electrically supported vehicles were observed.

Another main point is the discussion of possibilities of integrating electrically supported vehicles as a part of a transport system, that supports the flexible choice of transport means according to their suitability for meeting the demands of the actual journey or parts of it.

As an example Vorarlberg, a province of Austria was chosen, to simulate the implementation of electrically supported vehicles for selected applications in the private and public passenger transport system to analyse possible effects on energy demand and air pollution including greenhouse gases.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|-----------|
| Vorwort | 2 |
| Kurzfassung | 3 |
| Abstract | 3 |
| | |
| 1 EINLEITUNG | 7 |
| 1.1 Problemstellung | 7 |
| 1.2 Fokus und Schwerpunkte der Arbeit | 9 |
| 1.3 Methodische Vorgehensweise | 9 |
| | |
| 2 ZIELSETZUNGEN UND BEURTEILUNGSKRITERIEN FÜR EINE WIRKUNGSANALYSE ELEKTRISCH UNTERSTÜTZT ANGETRIEBENER VERKEHRSMITTEL | 11 |
| 2.1 Zielsetzungen nach Wirkungsbereichen | 11 |
| 2.1.1 Energie | 11 |
| 2.1.2 Mobilität | 12 |
| 2.1.3 Lebensraum..... | 13 |
| 2.2 Beurteilungskriterien für eine methodische Analyse | 16 |
| 2.2.1 Energie | 16 |
| 2.2.2 Mobilität | 16 |
| 2.2.3 Lebensraum..... | 16 |
| | |
| 3 GRUNDLAGEN ELEKTRISCH UNTERSTÜTZT ANGETRIEBENER VERKEHRSMITTEL | 17 |
| 3.1 Grundlagen - Technologie | 17 |
| 3.1.1 Antriebsarten | 17 |
| 3.1.2 Grundelemente elektrischer Antriebe | 18 |
| Der Energiespeicher..... | 18 |
| Der Elektromotor | 21 |
| 3.2 Grundlagen - Verkehrsmittel | 22 |
| 3.2.1 Pedelecs und Elektrofahräder | 22 |
| 3.2.2 Elektro-Krafträder | 25 |
| 3.2.3 Elektro- und Hybrid-Kraftwagen..... | 29 |
| 3.2.4 Elektro- und Hybrid-Omnibusse..... | 33 |
| 3.2.5 Schienenfahrzeuge..... | 36 |
| 3.3 Grundlagen - Energieversorgung | 37 |
| 3.3.1 Erzeugung der Antriebsenergie | 38 |
| Erzeugung elektrischer Energie..... | 38 |
| Erzeugung von Wasserstoff..... | 43 |
| Erzeugung fossiler Kraftstoffe..... | 44 |
| 3.3.2 Energietransport und -übertragung ins Fahrzeug | 44 |
| Transport und Übertragung elektrischer Energie..... | 44 |
| Transport und Übertragung von Wasserstoff | 49 |
| Transport und Übertragung fossiler Kraftstoffe..... | 50 |
| 3.3.3 Energiebedarf im Fahrzeug | 50 |
| Tank-to-Wheel Wirkungsgrad | 50 |
| Nutzenergiebedarf der Bewegung | 51 |
| 3.3.4 Überblick über Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen der vorgestellten Antriebskonzepte..... | 52 |
| 3.4 Analyse der Eigenschaften von Elektromobilität | 53 |
| 3.4.1 Energie | 54 |
| 3.4.2 Mobilität | 55 |
| 3.4.3 Lebensraum..... | 56 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4 | MOBILITÄTSVERHALTEN IN ÖSTERREICH | 58 |
| 4.1 | Rahmenbedingungen der Mobilitätsnachfrage | 58 |
| 4.1.1 | Nachfragende von Mobilität | 58 |
| 4.1.2 | Verteilung der Nutzungen im Raum | 61 |
| | Charakterisierung unterschiedlicher Siedlungsstrukturen | 61 |
| | Entwicklung der Bevölkerungsverteilung in Österreich | 62 |
| | Erreichbarkeit regionaler und überregionaler Zentren in Österreich | 64 |
| 4.1.3 | Umgang mit Ressourcen | 65 |
| 4.2 | Mobilitätsangebote | 66 |
| 4.2.1 | Personenkraftwagen und Krafträder | 67 |
| 4.2.2 | Fahrräder | 70 |
| 4.2.3 | Fußgänger | 71 |
| 4.2.4 | Omnibusse und Schienenverkehr | 72 |
| 4.2.5 | Organisationsformen unterschiedlicher Verkehrsmittel | 72 |
| 4.3 | Bestandsaufnahmen bestehender Mobilitätsmuster | 74 |
| 4.3.1 | Werktägliche Mobilitätsnachfrage | 75 |
| 4.3.2 | Werktägliche Verkehrsmittelwahl | 79 |
| 4.3.3 | Auslastung von Verkehrsmitteln und Verkehrsinfrastrukturen | 85 |
| 4.3.4 | Sonntägliches Mobilitätsverhalten | 86 |
| 4.4 | Wirkungsanalyse der bestehenden Mobilitätsmuster | 86 |
| 4.4.1 | Energie | 86 |
| 4.4.2 | Mobilität | 87 |
| 4.4.3 | Lebensraum | 88 |
| | | |
| 5 | MÖGLICHE ANWENDUNGSBEREICHE FÜR ELEKTROMOBILITÄT | 90 |
| 5.1 | Kernstadt | 90 |
| 5.2 | Stadtumland | 95 |
| 5.3 | Verkehrskorridor | 98 |
| 5.4 | Periphere Gebiete | 100 |
| 5.5 | Zusammenfassung prioritärer Anwendungsbereiche von Elektromobilität | 102 |
| | | |
| 6 | INTEGRATIONSANSÄTZE | 104 |
| 6.1 | Integrationsansätze der Plattform e-connected | 104 |
| 6.1.1 | Zielregion Stadt | 105 |
| 6.1.2 | Zielregion Land | 107 |
| 6.1.3 | Allgemeine Empfehlungen | 109 |
| 6.2 | Praxis-Projekte | 109 |
| | | |
| 7 | WIRKUNGSANALYSE DER INTEGRATION ELEKTRISCH UNTERSTÜTZT ANGETRIEBENER VERKEHRSMITTEL IM PERSONENVERKEHR | 114 |
| 7.1 | Wirkungsanalyse einzelner Verkehrsmittel | 114 |
| 7.1.1 | Energiebedarf einzelner Verkehrsmittel | 114 |
| 7.1.2 | Treibhausgasemissionen einzelner Verkehrsmittel | 116 |
| 7.1.3 | Luftschadstoffemissionen einzelner Verkehrsmittel | 118 |
| 7.1.4 | Lärmemissionen einzelner Verkehrsmittel | 120 |
| 7.2 | Wirkungsanalyse unterschiedlicher Mobilitätsszenarien | 121 |
| 7.2.1 | Szenario BASIS | 122 |
| 7.2.2 | Szenario 100% ELEKTRO | 122 |
| 7.2.3 | Szenario E-EINSATZBEREICHE | 123 |
| | Fahrzeugflotten (Taxi und ÖV) | 123 |
| | Krafträder | 124 |
| | Elektrofahrzeuge als Zweitwagen | 125 |
| | Pedelecs | 126 |
| | Exkurs: Pendlermodell für periphere Gemeinden | 128 |
| 7.2.4 | Vergleich Szenario BASIS, 100% ELEKTRO und E-EINSATZBEREICHE | 130 |
| 7.3 | Wirkungsanalyse von Elektromobilität in Bezug auf politische Zielsetzungen | 134 |

| | | |
|-----------|--------------------------------|------------|
| 8 | SCHLUSSFOLGERUNGEN..... | 136 |
| 9 | EMPFEHLUNGEN | 149 |
| 10 | ZUSAMMENFASSUNG | 150 |
| | Verzeichnisse | 152 |
| | Anhänge 1 - 4..... | 167 |

1 EINLEITUNG

1.1 Problemstellung

Die Organisation des Verkehrssystems muss in Hinblick auf **zukünftige Anforderungen** und **Möglichkeiten** immer wieder hinterfragt und entsprechend adaptiert werden. Ausgangsbasis hierfür bilden bisherige Erfahrungen betreffend der **Wirkungen des bestehenden Systems** auf Mensch, Umwelt und Wirtschaft.

Elektrisch unterstützt angetriebene Verkehrsmittel stellen eine solche zukünftige Möglichkeit dar. Bei Überlegungen zu ihrer Integration sind auch die zukünftigen Anforderungen, weitere (technologische) Möglichkeiten und die Wirkungen in bestehendem Verkehrssystem, die durch Eingriffe verändert werden (sollen), zu betrachten.

Zukünftige Anforderungen und Rahmenbedingungen

Die grundlegende Aufgabe des Personenverkehrssystems hat sich nicht verändert: Das Verkehrsbedürfnis der Menschen, das als Folge der räumlichen Trennung von Orten verschiedener Nutzungen wie Wohnen, Arbeiten, Bildung, Versorgung und Erholung besteht, soll mit möglichst geringem Ressourceneinsatz befriedigt werden.

Verkehrsplanung heute muss sich jedoch nach veränderten Rahmenbedingungen richten, die folgende Aspekte betreffen: Demographie, räumliche Strukturen, Verfügbarkeit von Ressourcen sowie Umweltwirkungen.

Entscheidende Entwicklungen in diesem Zusammenhang sind bspw. folgende:

- **Regional:** Bevölkerungswachstum/steigender Wohnraumverbrauch pro Einwohnerin → Knappheit der Ressource Raum bzw. Boden → steigende Preise in den Städten/günstigeres Bauland außerhalb der Städte (dort: häufig geringere Bebauungsdichten) → größere Entfernungen zwischen den Lebensbereichen → gestiegene Verkehrsnachfrage bei ungünstigen Bedingungen für öffentlichen Verkehr → zunehmende Motorisierung → zunehmender Energieverbrauch, Flächeninanspruchnahme, Emissionen, Unfälle.
- **National:** Wandel der Sozial- und Wirtschaftsstruktur (wachsender Dienstleistungssektor/höheres Bildungsniveau/qualifizierte Arbeitsplätze in den Städten) → Urbanisierung (= Änderung der Bevölkerungsverteilung weg von peripheren Gebieten in oder in die Nähe größerer Agglomerationen → bessere Bedingungen für öffentlichen Verkehr, Fuß- und Radverkehr in den Städten/Probleme Infrastrukturen in peripheren Gebieten zu erhalten.
- **Global:** Bevölkerungswachstum/zunehmender Wohlstand in Schwellenländern → steigende Anzahl an Kraftfahrzeugen/steigender Energieverbrauch insgesamt → steigende Nachfrage nach (nicht-erneuerbaren) Ressourcen → Knappheit/steigende Preise → steigende Mobilitätskosten → steigende Nachfrage nach „verkehrssparenden“ Siedlungsstrukturen (Urbanisierung, Regionalisierung der Wirtschaft¹)/Nachfrage nach energie- bzw. kostensparenden Mobilitätsformen → sparsamer Energieeinsatz/Umstieg auf erneuerbare Ressourcen wo möglich → geringere Importe fossiler Brennstoffe/Ausbau eigener Kraftwerkskapazitäten → Verringerung der wirtschaftlichen

¹ Steigende Kosten im Transportbereich erhöhen die Konkurrenzfähigkeit regionaler Versorger.

Abhängigkeit/Verringerung der Umweltwirkungen, die durch Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen. Dies wiederum beeinflusst die Bereiche Gesundheit, Klimaschutz, Artenschutz.

Zukünftige Möglichkeiten

Wissenschaftlicher Fortschritt ermöglicht es, die bestehenden Aufgaben im Verkehrswesen mit neuen „Werkzeugen“ effizienter zu erfüllen. Betrachtet werden folgende Ebenen:

- **Entwicklungen auf Fahrzeugebene:** Diese ermöglichen einen geringeren Energieeinsatz bei gleich bleibendem Mobilitätsverhalten. Darunter fallen etwa Optimierungen bestehender Antriebe, neue Antriebstechnologien sowie neue Arten von Fahrzeugen.
- **Entwicklungen auf Systemebene:** Diese ermöglichen ein effizienteres Mobilitätsverhalten der Nutzerinnen bzw. eine bessere Informationsgrundlage für Anbieter von Verkehrsdienstleistungen. Betrachtet werden Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sowie Entwicklungen im Bereich des Energiesektors.
- **Erkenntnisgewinn über Mobilitätsbedürfnisse und -verhalten:** Durch neu gewonnenes Wissen aus Erfahrungen der Vergangenheit, weiß man heute besser über Zusammenhänge Bescheid, die Mobilitätsbedürfnisse und -verhalten bestimmen und zu deren Beeinflussung eingesetzt werden können.

Wirkung des bestehenden Systems

Die Wirkungen verkehrlicher Anlagen und der darauf verkehrenden Fahrzeuge sind vielfältig. Sie betreffen einerseits Auswirkungen, die durch die Anlagen selbst bedingt sind, wie: Flächeninanspruchnahme, Trennwirkung, Veränderungen des Kleinklimas sowie Veränderungen des Stadt- und Landschaftsbildes. Bezüglich des Einsatzes elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsarten sind jedoch vor allem jene Wirkungen relevant, die aus dem Betrieb der Anlagen entstehen. Dies sind vor allem Eigenschaften der Fahrzeuge bezüglich ihres Energiebedarfes und ihrer Emissionen. Diese betreffen Schadstoffe sowie Verkehrslärm und optische Reize.²

Im Jahr 2008 wurden in Österreich rund 35 Prozent des energetischen Endverbrauches für Mobilität aufgewandt.³ Während die Belastungen einiger Schadstoffe in den vergangenen Jahrzehnten reduziert werden konnten, sind bei anderen Stoffen die Belastungen weiterhin zu hoch. *„Besonders Feinstaub (PM10), Ozon und Stickstoffoxide (NO_x) können in Konzentrationen auftreten, die zu Beeinträchtigungen der Gesundheit sowie zu negativen Auswirkungen etwa auf empfindliche Ökosysteme führen.“* [HP: UBA, Luft, 2011] Zur Bedeutung des Verkehrs als Schadstoffemittent: *„Im Jahr 2009 verursachte der Sektor Verkehr 32 Prozent der CO₂-, 60 Prozent der NO_x-, 27 Prozent der CO- und 21 Prozent der PM10-Emissionen Österreichs.“* [UBA, ET, 2011, S.72] Bezüglich Lärms steigt der Anteil jener, die sich in ihrer Wohnung durch Lärm belästigt fühlen. Im Jahr 2007 waren 39 Prozent der österreichischen Bevölkerung davon betroffen. Hauptverursacher war dabei der Verkehrslärm, von dem sich 25 Prozent der Bevölkerung gestört fühlten; 14 Prozent durch andere Lärmquellen.⁴

Gesetzliche Grenzwerte, die zum Schutz der Menschen und der Umwelt zu Lärm- und Schadstoffimmissionen festgelegt wurden, werden regelmäßig überschritten. Dies beinhaltet auch eine soziale Komponente, da in unmittelbarer Nähe stark befahrener Straßen, die Wohnflächen häufig besonders günstig und daher tendenziell von sozial schwächeren Personen genutzt werden.

² vgl. Cerwenka et al., Grundlagen, 2003, Blatt 10-1

³ vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.47

⁴ vgl. HP: UBA, Lärm, 2011

Die genannten zukünftigen Anforderungen und die Auswirkungen der derzeitigen Verkehrsorganisation zeigen auf, dass Handlungsbedarf besteht, das bestehende System zu überdenken. Andererseits haben wir auch neue „Werkzeuge“ in der Hand, aus denen sich eine Reihe von Möglichkeiten für die zukünftige Gestaltung des Verkehrssystems ergeben.

Die vorliegende Arbeit soll also einen Beitrag dazu leisten, Handlungsspielräume, die sich aus elektrisch unterstützt angetriebenen Verkehrsmitteln ergeben, weiter herauszuarbeiten.

1.2 Fokus und Schwerpunkte der Arbeit

Ziel der Arbeit ist die Beantwortung der Frage, in welchen Bereichen und auf welche Weise elektrisch unterstützt angetriebene Mobilitätsarten einen Beitrag zu höherer Effizienz im Personenverkehrssystem leisten können. Schwerpunkt ist daher die Betrachtung jener Mobilitätsbedürfnisse und -muster, zu deren Befriedigung der Einsatz elektrisch unterstützt angetriebener Mobilitätsarten aufgrund deren Eigenschaften und Wirkungen sinnvoll erscheint. Monetäre Überlegungen fließen ausdrücklich nicht in die Beurteilung mit ein, da die Preisentwicklungen von Akkumulatoren, Fahrzeugen und Energie (Strom, Benzin, Diesel) mit großen Unsicherheiten behaftet sind, die im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht behandelt werden können. Ebenfalls nicht behandelt werden – mit Ausnahme der Herstellung von Akkumulatoren – Energiebedarf und Umweltwirkung der Herstellung von Verkehrsmitteln und Infrastrukturen. Einen weiteren Schwerpunkt der Arbeit stellt die Auslotung von Integrationsmöglichkeiten elektrischer Verkehrsmittel als Teil komodaler Mobilität dar.

1.3 Methodische Vorgehensweise

Zunächst wird in Kapitel 2 dargestellt, welche allgemeinen politischen Zielsetzungen sowie Zielsetzungen für den Personenverkehr auf verschiedenen institutionellen und räumlichen Ebenen gesetzt wurden. Dies bildet die Basis für die Analyse der Wirksamkeit verschiedener verkehrsorganisatorischer Maßnahmen zur Erreichung dieser Ziele. Darauf aufbauend werden Indikatoren festgelegt, die im weiteren Verlauf der Arbeit für die Analyse der Wirkungen von Elektromobilität auf die Wirkungsbereiche Energie, Mobilität sowie Lebensraum (Raumqualität und -struktur) herangezogen werden.

In Kapitel 3 folgt eine Einführung in die Grundlagen elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel, die sich mit der zugrunde liegenden Technologie, der Bandbreite der verfügbaren Verkehrsmittel sowie infrastrukturellen Ansprüchen auseinandersetzt. In einem weiteren Schritt werden in Vorbereitung auf mögliche Einsatzbereiche Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken untersucht.

Um neue Technologien für die passenden Zwecke einzusetzen – sowohl aus Nutzerinnen- als auch aus umweltpolitischer Sicht – beschäftigt sich die Arbeit in Kapitel 4 mit dem Mobilitätsverhalten und -bedürfnissen potentieller Nutzerinnen. Es wird analysiert, welche Verkehrsmittel den Haushalten zur Verfügung stehen und für welche Zwecke, Distanzen und dgl. sie eingesetzt werden und nach welchen Kriterien die Auswahl erfolgt. Auf Basis dieser Daten wird auch ein Blick auf die Wirkungen dieses Verhaltens geworfen – sowohl für Nutzerinnen, als auch für die Allgemeinheit (inklusive Umwelt).

Im nachfolgenden Kapitel 5 werden die Erkenntnisse der beiden vorangegangenen Kapitel zusammengeführt, um potentielle Einsatzbereiche elektrisch unterstützt angetriebener

Verkehrsmittel zu definieren. In Folge konzentriert sich die Arbeit auf jene Bereiche, die für den Einsatz von Elektromobilität das höchste Potential aufweisen

Es folgt in Kapitel 6 die Vorstellung verschiedener Integrationsansätze von Elektromobilität anhand von theoretischen Konzepten und Projekten aus der Praxis bezüglich kaufmännischer Organisation und technischer Umsetzung.

Am Beispiel des Bundeslandes Vorarlberg soll in Kapitel 7 exemplarisch gezeigt werden, wie Teilbereiche des Verkehrssystems unter Einbeziehung elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel ergänzt werden könnten und welche Wirkungen dadurch zu erwarten wären.

Es folgen Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

2 ZIELSETZUNGEN UND BEURTEILUNGSKRITERIEN FÜR EINE WIRKUNGSANALYSE ELEKTRISCH UNTERSTÜTZT ANGETRIEBENER VERKEHRSMITTEL

Voraussetzung für die Bewertung jeder Maßnahme im Verkehrsbereich, sind Zielvorstellungen, denen das Verkehrssystem gerecht werden soll. Diese Zielvorstellungen manifestieren sich auf verschiedenen institutionellen, räumlichen und thematischen Ebenen. Die formulierten Ziele spiegeln die wahrgenommenen Probleme und Wertvorstellungen der Gesellschaft einer bestimmten Zeit wieder, bzw. jene der mitwirkenden Interessenvertretungen. *„Die Herleitung eines Zielsystems (...) ist im Grunde ein politischer, also normativer Prozess. Es gibt für die Aufnahme von Zielen in ein Zielsystem (...) keine wissenschaftliche Begründbarkeit.“* [Cerwenka et al., VSP, 2007, S.62] Für Politikerinnen gilt es bei der Zielformulierung die Interessen der Allgemeinheit (bzw. jene der Wählerinnen) hinsichtlich deren sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Präferenzen abzuwägen.

Die vorliegende Arbeit soll einen Überblick darüber geben, wie sich die Integration von elektrobasierten Verkehrsmitteln in das Personenverkehrssystem auf den Verbrauch bzw. die Belastung ausgewählter Ressourcen auswirken kann. Der Inhalt dieses Kapitels wird im späteren Verlauf der Arbeit wieder herangezogen, um den zu erwartenden Beitrag der Elektromobilität zur Erreichung der folgend ausgeführten Ziele zu ermessen.⁵

2.1 Zielsetzungen nach Wirkungsbereichen

Elektromobilität hat das Potential auf verschiedene übergeordnete Wirkungsbereiche Einfluss zu nehmen. Das trifft in besonderem Maß auf die Energiewirtschaft zu. Im Verkehr eröffnen neuartige Verkehrsmittel veränderte Bedingungen für die Verkehrsorganisation. Weiters sind die Wirkungen auf Qualität und Quantität von Raum wichtige Beurteilungsaspekte. Daher erfolgt die detaillierte Betrachtung der Wirkungen gegliedert nach den Bereichen Energie, Mobilität und Lebensraum.

2.1.1 Energie

Der Einsatz von Fahrzeugen mit elektrischem Antrieb stellt veränderte Anforderungen an Umfang und Art der Energieversorgung im Verkehr. Im Jahr 2008 wurden in Österreich rund 35 Prozent des energetischen Endverbrauches für Mobilität aufgewandt.⁶ Daraus folgt eine hohe Relevanz des Themas Elektromobilität für die Energiewirtschaft.

Auf Ebene der Europäischen Union wurde 2008 das Energie- und Klimapaket^{7 8 9} verabschiedet. Darin enthalten sind eine Entscheidung zur EU-internen Lastenaufteilung, eine Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energieträger, eine Revision der Emissionshandels-Richtlinie und eine

⁵ Der Vollständigkeit halber wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass Ziele so konkret formuliert werden sollen, dass deren Erreichung unter Verwendung wissenschaftlicher Beurteilungskriterien gemessen werden kann. In diesem Sinne wäre es ratsam zu unterscheiden, welche Ziele als verbindliche (und damit auch messbare) Ziele festgeschrieben werden und welche Vorstellungen eher den Charakter einer Vision oder Leitlinien haben, die eine langfristige Richtung vorgeben. In dieser Hinsicht vorbildhaft ist das Verkehrskonzept Vorarlberg 2006 „Mobil im Ländle“.

⁶ vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.47

⁷ vgl. Richtlinie 2009/29/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009

⁸ vgl. Richtlinie 2009/31/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009

⁹ vgl. Richtlinie 2009/28/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009

Richtlinie über Kohlenstoffabscheidung und -speicherung.¹⁰ Die Richtlinien traten am 25. Juni 2009 in Kraft. Österreich verpflichtet sich demgemäß für das Jahr 2020 zu folgenden Zielen:

- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger am Bruttoendenergieverbrauch auf 34 Prozent
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energiequellen auf 10 Prozent der im Verkehr eingesetzten Energie (durch den Einsatz biogener Treibstoffe und Elektromobilität)
- 20 Prozent höhere Energieeffizienz im Vergleich zu einem Referenz-Szenario
- Reduktion der Treibhausgasemissionen um mindestens 16 Prozent (bezogen auf die Emissionen des Jahres 2005) in Sektoren, die nicht dem Emissionshandel unterliegen. Für die dem EU-Emissionshandel unterliegenden Sektoren, ist eine EU-weite Reduktion der Treibhausgase um 21 Prozent gegenüber 2005 beschlossen worden.

Weiters wurde auf europäischer Ebene die Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen beschlossen, laut der bis 2016 in jedem EU-Mitgliedstaat neun Prozent des, in der Periode 2000 bis 2005 durchschnittlichen, jährlichen Endenergieverbrauchs einzusparen ist. Das bedeutet für Österreich eine Einsparung von 33,3 TWh (als Zwischenziel wurde für das Jahr 2010 der Einsparungswert mit 5 TWh festgelegt). Außerdem sind die EU-Mitgliedstaaten verpflichtet, der Europäischen Kommission nationale Energieeffizienz-Aktionspläne zu übermitteln. Der zweite Energieeffizienz-Aktionsplan wurde der Europäischen Kommission im Jahr 2011 vorgelegt. Auf Bundesebene erfolgt die Umsetzung auf Basis einer Art. 15a B-VG Vereinbarung zwischen Bund und Ländern sowie freiwilligen Vereinbarungen mit Fachverbänden.^{11 12}

Weiters wurde in der Energiestrategie Österreich eine Stabilisierung des energetischen Endverbrauchs auf den Wert von 2005 festgelegt. Dieser beträgt 305,6 TWh. Das sektorale Ziel für den Bereich Mobilität beträgt 101,7 TWh bis zum Jahr 2020.

Als grundsätzliche Rahmenvorgaben wurden Versorgungssicherheit, Sozialverträglichkeit, Umweltverträglichkeit, Wettbewerbsfähigkeit und Kosteneffizienz benannt.¹³

2.1.2 Mobilität

Auf europäischer Ebene gibt das Weißbuch zur gemeinsamen Verkehrspolitik¹⁴ Orientierung, welche Leitlinien die Mitgliedstaaten der EU in punkto Verkehrspolitik verfolgen. Das Dokument konzentriert sich allerdings primär auf den Güterverkehr. Folgende Grundsätze sind jedoch auch für den Personenverkehr relevant: die Wiederbelebung des Schienenverkehrs, die Verwirklichung der Intermodalität, eine wirksame Tarifierungspolitik (Harmonisierung der Kfz-Steuer, Harmonisierung der Infrastruktur-Benützungsabgaben, Anlastung externer Kosten und ggf. auch Querfinanzierung umweltfreundlicher Verkehrsträger), Forschung und Technologie im Dienste umweltfreundlicher und leistungsfähiger Verkehrsmittel.¹⁵

¹⁰ vgl. HP: Ö-EW, 2012

¹¹ vgl. HP: BM WFJ, 2011

¹² vgl. Kap. 2 Art. 4 Abs. 1, Richtlinie 2006/32/EG des europäischen Parlaments und des Rates

¹³ vgl. BM WFJ, E-STR, 2010, S.9f, 18, 29, 38, 46

¹⁴ vgl. EU, 2001

¹⁵ vgl. BM VIT, 2002, S.11f

Auf nationaler Ebene in Österreich sind „seit dem Jahr 2000 die wesentlichen Verkehrsagenden in einem Ressort vereint, sodass ein Gesamtkonzept für alle Verkehrsträger auf Bundesebene erleichtert wird.“ Man ist sich darüber im Klaren, dass „die Ziele der österreichischen Verkehrspolitik letztlich nur durch verkehrsträgerübergreifende Strategien erreicht werden können.“ [vgl. BM VIT, 2002, S. 3,7]

Vom Generalverkehrsplan Österreich sind Nahverkehr, niederrangiges Straßennetz sowie Flugverkehr ausgenommen.¹⁶ Insofern bleiben wichtige potentielle Einsatzbereiche der Elektromobilität darin unberücksichtigt. Die im Generalverkehrsplan festgeschriebenen Ziele und Grundsätze können nichtsdestotrotz auch auf diese Bereiche umgelegt werden. Die Kompetenz für die Verkehrsplanung liegt jedoch im Fall des Nahverkehrs und des niederrangigen Straßennetzes bei den Ländern und Gemeinden. Folgende Ziele sind relevant:

- Stärkung des Wirtschaftsstandorts Österreich und Abbau regionaler Unterschiede: Die Schwerpunkte der Raumentwicklung sollen stärker als bisher auf die Hauptkorridore der Verkehrsinfrastruktur abgestimmt werden.
- Effizienter und bedarfsgerechter Ausbau der Netze: Ausbaumaßnahmen sollen intermodale Systemvorteile berücksichtigen. Die bessere Nutzung bestehender Systeme ist unabdingbar und oft wirtschaftlicher als Neubaumaßnahmen.
- Nachhaltige Mobilität fördern: Auf die negativen Auswirkungen einer ungehemmten Mobilität muss hingewiesen werden und gegebenenfalls regelnd eingegriffen werden.¹⁷

2.1.3 Lebensraum

Auswirkungen des Einsatzes elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel, sind auch hinsichtlich (Umwelt-)Qualität des Raumes, Flächenverbrauch sowie Siedlungsstruktur und Verkehrsorganisation zu betrachten. Dementsprechend relevant sind die hierfür angestrebten Zielsetzungen.

Augrund des – im Zusammenhang mit dem Ausstoß von Treibhausgasen – vermuteten Treibhausgas-effektes und den damit verbundenen Gefahren (und Kosten) eines weiteren weltweiten Temperaturanstieges, wurde das Kyoto-Protokoll beschlossen: 1997 wurden in Kyoto für die 38 Industriestaaten der Klimakonvention, Reduktionsziele für die wichtigsten Treibhausgase (Kohlendioxid, Methan, Distickstoffoxid, teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe, perfluorierte Kohlenwasserstoffe und Schwefelhexafluorid) von insgesamt fünf Prozent zum Basisjahr 1990 vereinbart. Für die damaligen EU-15 Staaten gilt ein gemeinsames Reduktionsziel von acht Prozent. Österreich hat sich innerhalb der EU im "burden sharing agreement" verpflichtet, 13 Prozent der Treibhausgasemissionen, gegenüber dem Wert von 1990 bis zur Verpflichtungsperiode 2008 bis 2012 zu vermindern. Seit der Ratifizierung des Kyoto-Protokolls ist dieses Ziel völkerrechtlich verbindlich.¹⁸

Um natürliche Lebensgrundlagen in Form hoher (Umwelt-)Qualität für Mensch, Pflanzen- und Tierwelt zu erhalten bzw. zu erreichen, sind anthropogene Einflüsse bspw. in Form von Schadstoffen und Lärm gering zu halten. Daher wurden für verschiedene Einflussfaktoren, gesetzliche Grenzwerte verankert. Es folgen die wichtigsten Gesetze gegliedert nach Störungsart.

¹⁶ vgl. BM VIT, 2002, S. 9

¹⁷ vgl. BM VIT, 2002, S.13ff

¹⁸ vgl. HP: Klimabündnis, 2011

Schadstoffe

Um die menschliche Gesundheit sowie Ökosysteme und Vegetation zu schützen, sind im *Immissionsschutzgesetz-Luft* und im *Ozongesetz Grenz-, Ziel- und Schwellenwerte* für die wichtigsten Luftschadstoffe festgelegt.¹⁹

Das Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L 1997) regelt die Messung und Bewertung von Luftschadstoffen in Österreich. Es beinhaltet Immissionsgrenzwerte und Zielwerte. Im täglichen Luftgütebericht werden die Daten der Messstellen der Bundesländer und des Umweltbundesamtes veröffentlicht. Folgende Grenzwerte sind im IG-L und im Ozongesetz festgelegt, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Immissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe (in µg/m³ ausgenommen CO: in mg/m³)

| | HMW/ 1MW | 8MW | TMW | JMW |
|---|---------------|----------|-------|------|
| Schwefeldioxid (SO ₂) | 200* (HMW) | | 120 | |
| Kohlenstoffmonoxid (CO) | | 10 | | |
| Stickstoffdioxid | 200 (HMW) | | | 30** |
| Feinstaub (PM10) | | | 50*** | 40 |
| Blei in PM10 | | | | 0,5 |
| Benzol | | | | 5 |
| Ozon | 180 (1MW)**** | 120***** | | |
| Halbstundenmittelwerte (HMW), Einstundenmittelwert (1MW), Achtundenmittelwerte (8MW), Tagesmittelwerte (TMW), Jahresmittelwerte (JMW) | | | | |
| * drei Halbstundenmittelwerte pro Tag, jedoch maximal 48 Halbstundenmittelwerte pro Kalenderjahr bis zu einer Konzentration von 350 µg/m ³ gelten nicht als Überschreitung | | | | |
| ** Die Toleranzmarge von 5 µg/m ³ gilt gleich bleibend ab 1. Jänner 2010. | | | | |
| *** maximal 25 Überschreitungen pro Kalenderjahr sind zulässig. | | | | |
| **** Informationsschwelle: schon bei kurzer Exposition besteht ein Gesundheitsrisiko für besonders empfindliche Personen. | | | | |
| ***** an maximal 25 Tagen pro Kalenderjahr (im Mittel über 3 Jahre) sind Überschreitungen zulässig | | | | |
| Quellen: vgl. IG-L, vgl. Ozongesetz, in den Fassungen vom 18.11.2010 | | | | |

Auf Ebene der Europäischen Union wurden verpflichtende Grenzwerte für die durchschnittlichen spezifischen CO₂-Emissionen der Neuwagenflotte für PKW festgesetzt. Diese sind nach Jahren gestaffelt. Ab dem Jahr 2012 liegt die Grenze bei 130 g/km, ab 2020 bei 95 g/km, wobei 10 g/km durch zusätzliche Maßnahmen eingespart werden sollen.²⁰

Tabelle 2: Grenzwerte für PKW nach den Schadstoffklassen Euro 4, Euro 5 und Euro 6

| | [in g/km] | Euro 4 | Euro 5 | Euro 6 |
|-------------------------------------|------------------------------------|--------|---------|---------|
| Benzin | Kohlenmonoxid (CO) | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| | Kohlenwasserstoffe (HC) | 0,1 | 0,1* | 0,1* |
| | Stickoxide (NO_x) | 0,08 | 0,06 | 0,06 |
| | Partikel | --- | 0,005** | 0,005** |
| Diesel | Kohlenmonoxid (CO) | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | HC + NO_x | 0,3 | 0,23 | 0,17 |
| | Stickoxide (NO_x) | 0,25 | 0,18 | 0,08 |
| | Partikel | 0,025 | 0,005 | 0,005 |
| * Nicht-Methan HC=0,068 g/km | | | | |
| ** PKW mit Direkteinspritzmotoren | | | | |
| Quelle: vgl. HP: UBA, Verkehr, 2012 | | | | |

Weitere Schadstoff-Emissionen von PKW werden durch entsprechende EU-Richtlinien zu Schadstoff-Grenzwerten bei Neuwagen geregelt. Tabelle 2 stellt die Grenzwerte für die Schadstoffklassen Euro 4 (ab 2006), Euro 5 (ab 2011) und Euro 6 (ab 2015) dar.

¹⁹ vgl. HP: UBA, Luft-akt, 2011

²⁰ vgl. Verordnung 443/2009/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, vom 23. April 2009

Zusätzlich legt die Emissionshöchstmengenrichtlinie 2001/81/EG²¹ eine jährliche Emissionsobergrenze für Österreich von 103.000 Tonnen Stickstoffdioxid ab 2010 fest. Ziel ist die Verminderung der Ozonbelastung, der Versauerung und der Eutrophierung.²²

Lärm

Gesetzliche Grundlage zur Bewertung und Bekämpfung von Lärm zum Schutz der menschlichen Gesundheit ist die EU-Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG²³ und auf nationaler Ebene das Bundes-Umgebungslärmschutzgesetz²⁴. Darin ist die Ausarbeitung strategischer Umgebungslärmkarten für Ballungsräume und Hauptverkehrsstraßen vorgesehen. Die Bewertung der Lärmsituation erfolgt über den „Tag-Abend-Nacht-Lärmindex“ (L_{den}) und den Nachtlärmindex (L_{night}). Inhalt der Karten sind weiters Angaben zu betroffenen Einrichtungen und Wohnbevölkerung. Bei Überschreitung der Schwellenwerte sind (Teil-)Aktionspläne zu erstellen. Es gelten folgende Schwellenwerte (siehe Tabelle 3):

Tabelle 3: Schwellenwerte für Lärmimmissionen nach Verursacher und Tageszeit

| Verursacher | L_{den} | L_{night} |
|-------------------------------------|-----------|-------------|
| Verkehr auf Hauptverkehrsstraßen | 60 dB | 50 dB |
| Verkehr auf Eisenbahnstrecken | 70 dB | 60 dB |
| Ziviler Luftverkehr | 65 dB | 55 dB |
| Industrielle Tätigkeiten | 55 dB | 50 dB |
| Quelle: vgl. § 8 Abs.1 Bundes-LärmG | | |

Siedlungsstruktur

Das österreichische Raumentwicklungskonzept (ÖREK) ist „ein gemeinsames Leitbild und Handlungsprogramm auf gesamtstaatlicher Ebene für raumrelevante Planungen und Maßnahmen von Bund, Ländern, Städten und Gemeinden. Das ÖREK hat Empfehlungscharakter und dient als Richtlinie für die Tätigkeit der Verwaltung.“ [HP: ÖROK, ÖREK, 2011]

Im ÖREK 2011 sind für einen Planungshorizont von 10 Jahren folgende Zielschwerpunkte formuliert²⁵:

- Allgemein: Raumordnerische Maßnahmen auf ihre Energie- und Klimarelevanz überprüfen z.B. energieschonende Siedlungsentwicklung – auch zur Vermeidung von MIV
- Um die Versorgung der Bevölkerung mit Gütern und Dienstleistungen wohnortnah zu sichern: kompakte Siedlungsstrukturen, polyzentrische Strukturen, das Netz von Klein- und Mittelzentren stützen, Bewältigung des Bevölkerungswachstums und der Zunahme der Flächeninanspruchnahme gesellschaftlicher Grundfunktionen
- Leistungsfähige Achsen, funktionelle Verflechtungen
- Förderung der Entwicklungen der nicht-städtischen Räume und Stärkung der Entfaltung regional-spezifischer Potentiale

²¹ vgl. Richtlinie 2001/81/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001

²² vgl. UBA, UKB, 2010, S.164

²³ vgl. Richtlinie 2002/49/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002

²⁴ vgl. § 8 Abs.1 Bundes-LärmG

²⁵ vgl. ÖROK, 2011, S.18f

Nachhaltigkeit

Seit der Veröffentlichung des Brundtland Reports hat das Planungsprinzip der Nachhaltigkeit in beinahe jeden Zielkatalog (zumindest als Begriff) Einzug gehalten. Die im Brundtland Report formulierte Definition von nachhaltiger Entwicklung lautet „*development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*“ [WK-UE, 1987]. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Wirkung von Planungen bezüglich ihres Ressourcenverzehrs.

2.2 Beurteilungskriterien für eine methodische Analyse

Auf Basis der oben angeführten Zielsetzungen sollen mit Hilfe der folgenden Kriterien, mögliche Wirkungen des Einsatzes elektrisch unterstützt angetriebener Mobilitätsarten analysiert werden. Die verwendeten Indikatoren teilen sich auf die Themenfelder Energie, Mobilität und Lebensraum auf.

2.2.1 Energie

- Systemebene: Energiebedarf des Verkehrssektors (in Wh)
- Systemebene: Nachfrage nach elektrischer Energie (in Wh im zeitlichen Verlauf)
- Fahrzeugebene: Energiebedarf (in Wh) pro 100 Kilometer (Stadtverkehr, Überland)
- Anteil erneuerbarer Energieträger am Bruttoendenergieverbrauch (in Prozent)
- Anteil erneuerbarer Energieträger an der im Verkehr eingesetzten Energie (in Prozent)
- Energieeffizienz Well-to-Tank und Tank-to-Wheel (in Prozent)
- Diversität der Energieversorgung im Verkehrssektor (Versorgungssicherheit)

2.2.2 Mobilität

- Potentiale der Mobilitätsmuster für komodale Mobilität (inter- und multimodale Mobilität)
- Verfügbarkeit von Mobilitätsangeboten
- Übergangsmöglichkeiten zwischen den Verkehrsträgern (Dichte und Organisation)
- Auslastung vorhandener Infrastrukturen (ÖV, ruhender und fließender MIV)
- Reisezeiten verschiedener Mobilitätsarten entlang ausgewählter Routen
- Potentielle Auswirkungen elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel auf die Verkehrsmittelwahl

2.2.3 Lebensraum

- Systemebene: Schadstoffemissionen des Verkehrssektors
- Fahrzeugebene: Schadstoffemissionen pro 100 km (Stadtverkehr, Überland)
- Infrastrukturerfordernisse, Flächenverbrauch (ruhender, fließender Verkehr)
- Lärmemissionen einzelner Fahrzeuge in Dezibel
- Trennwirkung, Veränderung des Stadt- und Landschaftsbildes
- Möglichkeiten und Hemmnisse für ressourcensparende Siedlungsstrukturen

3 GRUNDLAGEN ELEKTRISCH UNTERSTÜTZT ANGETRIEBENER VERKEHRSMITTEL

Das vorliegende Kapitel gibt im ersten Teil einen Überblick über die Grundlagen von Technologie und Funktionsweise elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsarten, sowie Art und Umfang ihrer energetischen Versorgung. Der zweite Teil des Kapitels beschäftigt sich mit den konkreten Verkehrsmitteln und deren Eigenschaften. Im dritten Teil werden Energiegewinnung und -bereitstellung für verschiedene Antriebskonzepte näher erläutert. Es folgt im letzten Teil eine Analyse der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der vorgestellten Antriebskonzepte und Verkehrsmittel.

3.1 Grundlagen - Technologie

Im Folgenden wird ein Überblick darüber gegeben, welche grundsätzlichen technologischen Möglichkeiten es für den Antrieb von Fahrzeugen gibt und durch welche Grundelemente sich elektrisch unterstützt angetriebene Fahrzeuge von Verbrennungskraftmaschinen unterscheiden.

3.1.1 Antriebsarten

Elektrisch unterstützte Antriebsarten reihen sich wie folgt in die Palette der vorhandenen Antriebstechnologien ein:

- **Verbrennungsantriebe:** Bei PKW sind reine Verbrennungskraftmaschinen heute der Standard. Dazu gehören außer Benzin- und Diesel betriebenen Fahrzeugen auch solche, die mit Erdgas- sowie Wasserstoffverbrennungsmotoren betrieben werden.
- **Elektrische Antriebe:** Der Antrieb des Fahrzeuges erfolgt ausschließlich über Elektromotoren. Diese wandeln elektrische Energie in mechanische Energie für die Antriebsräder um. Je nachdem wie die Energie im Fahrzeug bereitgestellt wird, erfolgt die Kategorisierung der Fahrzeuge.
 - **stromleitungsgebundene Fahrzeuge:** Dazu gehören die meisten Schienenfahrzeuge sowie Oberleitungsbusse.
 - **reine Batteriefahrzeuge:** Dazu gehören Fahrzeuge mit elektrischem Hauptantrieb und wieder aufladbarem elektro-chemischem Energiespeicher (Akkumulator)
 - **Brennstoffzellen-Fahrzeuge:** Hier dient Wasserstoff oder Methanol als Kraftstoff, der wie konventionelle Kraftstoffe immer wieder nachgetankt wird. Brennstoffzellen wandeln die im Kraftstoff gespeicherte Energie in elektrische Energie um.²⁶
- **Hybrid-Fahrzeuge:** Bei Hybrid-Fahrzeugen werden mindestens zwei Antriebsarten z.B. Verbrennungsmotor und Elektromotor oder Muskelkraft und Elektromotor kombiniert eingesetzt. Hybridantriebe gibt es mittlerweile in zahlreichen Ausprägungen, die sich im Ausmaß ihrer Elektrifizierung und ihrer Funktionsweise unterscheiden. Die Einteilung von Hybridfahrzeugen erfolgt entweder nach dem Aufbau des Antriebsstrangs²⁷ oder nach den Aufgaben des Elektroenergiespeichers im Fahrbetrieb. Aus Letzterem ergibt sich folgende Einteilung:

²⁶ vgl. E & I, 2008, S.368

²⁷ Beim Aufbau des Antriebsstranges erfolgt die Unterteilung in: parallelen, seriellen, kombinierten oder leistungsverzweigten Hybridantrieb. Da diese Funktionsweisen keine relevante Aussagekraft für die Fragestellungen dieser Arbeit haben, wird diese Unterteilung nicht weiterverfolgt.

- **Micro-Hybrid:** Kraftstoffeinsparung durch Start-Stopp-Automatik und Rekuperation der Bremsenergie.
- **Mild-Hybrid:** Kraftstoffeinsparung durch Start-Stopp-Automatik, Rekuperation der Bremsenergie und Unterstützung des Verbrennungsmotors durch Elektromotor beim Beschleunigen.
- **Full-Hybrid:** Wie Mild-Hybrid. Zusätzlich reiner Elektroantrieb über kurze Strecken möglich.²⁸
- **Plug-In-Hybrid:** Hierbei kann der Elektroenergiespeicher zusätzlich von außen über das Stromnetz geladen werden. Eine Ausprägung dieser Kategorie sind Fahrzeuge, bei denen ein kleiner Verbrennungsmotor ausschließlich dazu dient, die Batterie nachzuladen und so die Reichweite des ansonsten reinen Elektrofahrzeuges zu erweitern. („Range Extender“)²⁹
- **weitere Antriebsarten:** Daneben gibt es noch wenig gebräuchliche Arten wie der Gyroantrieb, bei denen die Antriebsenergie mechanisch in einem Schwungrad gespeichert wird oder Solarfahrzeuge, bei denen Solarzellen an den Fahrzeugoberflächen den notwendigen Strom erzeugen.³⁰

Entsprechend des Ausmaßes ihrer Elektrifizierung unterscheiden sich die Fahrzeuge bezüglich ihrer Einsatzmöglichkeiten, Umweltwirkungen, Anforderungen an die Infrastruktur, Kosten und dergleichen.

3.1.2 Grundelemente elektrischer Antriebe

Die zwei Hauptkomponenten reiner Elektrofahrzeuge, die sie von konventionellen Verbrennungskraftfahrzeugen unterscheiden, sind der Energiespeicher und der Elektromotor. Deren Eigenschaften sind ausschlaggebend für die Energieeffizienz der einzelnen Fahrzeuge im Betrieb.

3.1.2.1 Der Energiespeicher

Elektrischer Strom (= die Bewegung von Elektronen) kann definitionsgemäß nicht gespeichert werden. Die elektrische Energie muss folglich in andere speicherbare Energieformen umgewandelt werden; im Fall von Elektrofahrzeugen meist in chemische Energie.

Elektrisch angetriebene Fahrzeuge benötigen als Energiespeicher entweder einen Akkumulator (Batteriefahrzeuge), der – mit Ausnahme von seriellen Hybridfahrzeugen³¹ und Solarfahrzeugen – aus dem Stromnetz gespeist wird, oder einen Wasserstoff- bzw. Methanoltank (bei Brennstoffzellenfahrzeugen), der immer wieder befüllt wird.

²⁸ vgl. Hannig et al., 2009, S.9

²⁹ vgl. AEA, 2009, S.47

³⁰ vgl. HP: Wiki, EMotor, 2011

³¹ Bei seriellen Hybridfahrzeugen treibt ein Verbrennungsmotor einen Elektrogenerator an, der in Folge den Akkumulator lädt bzw. die elektrische Energie direkt für Antrieb oder andere elektrische Verbraucher im Fahrzeug zur Verfügung stellt.

Anforderungen an mobile Energiespeicher: ³²

- hohe spezifische Energie: Spezifische Energie (in Wh/kg) bezeichnet den im Material gespeicherten Energiegehalt. Je höher die spezifische Energie, desto geringer das Gewicht des Energiespeichers für die angestrebte Reichweite.
- hohe Leistungsdichte: Die Leistungsdichte (in W/kg) drückt die maximale Strombelastbarkeit des Speichers aus. Dafür ist die Geschwindigkeit der elektrochemischen Reaktionen an den beiden Elektroden entscheidend. Sie ist besonders wichtig bei jenen Hybridfahrzeugen, bei denen Batterie und Elektromotor primär als „Puffer“ während Brems- und Beschleunigungsphasen dienen.³³
- lange Lebensdauer: ausgedrückt in der Zahl der Zyklen, bis zu der ein Akkumulator noch einen bestimmten Wert (meistens 80 Prozent) seiner Nennkapazität während des Entladevorgangs erreicht.³⁴ Auch für die Umweltbilanz ist die Haltbarkeit der Batterie bedeutsam. Derzeit werden herstellerseitig 5 Jahre bzw. 50.000 bis 100.000 km garantiert. Dies dürfte die Untergrenze der zu erwartenden Lebensdauer darstellen.³⁵ „Nach Literaturangaben sind etwa 5.000 Zyklen bei einem Kapazitätsverlust von 20 Prozent möglich. Damit lassen sich mit einer 24 kWh Batterie Pkw-Fahrleistungen von weit über 400.000 km realisieren.“ [Helms et al.-GLB, 2011, S.22,25]
- kurze Ladedauer: drückt aus wie schnell die für den Antrieb benötigte Energie ins Fahrzeug geladen werden kann. Schnellladungen (d.h. kürzere Ladedauer in Verbindung mit höherer Stromspannung) wirken sich jedoch derzeit noch negativ auf die Lebensdauer des Akkumulators aus.
- Sicherheit: Bauweise von Energiespeicher und Fahrzeug müssen so konzipiert werden, dass die Risiken für Mensch und Umwelt etwa bei den Ladevorgängen oder Verkehrsunfällen möglichst gering sind.
- Zuverlässigkeit: Die Funktionsfähigkeit des Energiespeichers soll unabhängig von den Umgebungsbedingungen z.B. auch bei niedrigen Temperaturen gewährleistet sein.

Weitere Schwerpunkte der Entwicklung sind:

- Recycling-Möglichkeiten: Materialien, die für den Bau von Akkumulatoren benötigt werden, sind nur in begrenzter Menge verfügbar. Die Materialien der Akkumulatoren soll an deren Lebensende wieder zurückgenommen und für den Bau neuer Akkus oder anderer Verwendungen aufbereitet werden.³⁶
- Verringerung der Kosten: Die Kosten des Energiespeichers werden von einer Reihe von Faktoren beeinflusst. Die spezifischen Investitionskosten (€ pro kWh) drücken die Kosten des Akkumulators in der Anschaffung aus – ein großer Kostenfaktor in der Herstellung von elektrisch unterstützt angetriebenen Fahrzeugen. Derzeit haben Batterien meist eine kürzere Lebensdauer als das übrige Fahrzeug und müssen ersetzt werden. Entsprechend relevant ist auch die Zyklenfestigkeit des Akkumulators für die Kosten.³⁷ Bei Brennstoffzellen spielen die Kosten der Aufbereitung des Wasserstoffs eine wichtige Rolle.

³² vgl. Möller et al., 2005, S.4ff

³³ vgl. VCÖ, 2/2009, S.20

³⁴ vgl. Hannig et al., 2009, S.113

³⁵ vgl. Helms et al.-GLB, 2011, S.22

³⁶ vgl. Hannig et al., 2009, S.56

³⁷ vgl. Hannig et al., 2009, S.24

- Verringerung des Energiebedarfs bei der Herstellung der Akkumulatoren: Die Herstellung der Akkumulatoren benötigt derzeit hohe Energiemengen und geht mit entsprechenden Schadstoffemissionen einher. Berücksichtigt man den Energiebedarf von Materialherstellung, Materialverarbeitung und Fertigung der Zellen sowie für Batteriemangement, -gehäuse und Transportprozesse, ergibt sich folgender Energieaufwand für 24 kWh-Batterien:^{38 39 40}

- **Annahmejahr 2010**: ca. 21.000 kWh (für 1,5 Batterien⁴¹)

(spezifische Energiedichte: 70 Wh/kg, Lebensdauer: 8 Jahre/Batterie):

Grob überschlagen bedeutet dies für das Jahr 2010 bei der Herstellung einer Kilowattstunde verfügbarer Speicherkapazität einen Energieaufwand von 875 kWh.

Es wird erwartet, dass der Energiebedarf in der Batterieherstellung sich in den nächsten Jahrzehnten erheblich reduziert. Folgendes wird angenommen:

- **Annahmejahr 2030**:⁴² ca. 7.200 kWh

(spezifische Energiedichte: 150 Wh/kg, Lebensdauer: 12 Jahre):

Grob überschlagen bedeutet dies für das Jahr 2030 bei der Herstellung einer Kilowattstunde verfügbarer Speicherkapazität einen Energieaufwand von 300 kWh.

Verschiedene Arten von Energiespeichern erfüllen die oben angeführten Kriterien in unterschiedlichem Ausmaß. Zurzeit sind eine Reihe von Elektroenergiespeichern für den mobilen Einsatz relevant. Mit Ausnahme von Doppelschichtkondensatoren, die als Kurzzeitspeicher in Hybriden eingesetzt werden, verwendet man fast ausschließlich elektrochemische Speichersysteme.

Etablierte Technologien wie Blei-Säure (LA), Nickel-Cadmium (NiCd)- und Nickel-Metallhydrid (NiMH)-Akkumulatoren sind aufgrund geringer spezifischer Energiewerte nicht optimal für den mobilen Einsatz geeignet, jedoch derzeit preislich noch günstiger als Lithium-Ionen-Akkus.

Eine besondere Eignung für mobile Anwendungen wird dem Alkalimetall Lithium zugesprochen. Der Lithium-Ionen (Li-Ion)-Akkumulator hat Vorteile bezüglich Energie- und Leistungsdichte sowie in den Bereichen Zykleneffizienz und -festigkeit. Als Nachteil wird die begrenzte Verfügbarkeit des Materials angesehen. 80 Prozent der geschätzten weltweiten Lithium-Vorkommen von 13,46 Millionen Tonnen lagern in Südamerika; etwa zwei Fünftel davon in den bisher unerschlossenen Salzseen Boliviens.⁴³ Noch unklar ist, wie hoch die Vorräte an Lithium im Erdreich der Koralpe in Kärnten sind.⁴⁴ Die Meinungen darüber, wie lange die Lithium-Ressourcen vorhalten werden, divergieren stark. Einigkeit herrscht darüber, dass kurz- bis mittelfristig keine Engpässe zu erwarten sind.⁴⁵

Batterien ist gemein, dass sich bei geringen Umgebungstemperaturen die chemischen Reaktionen in der Batterie verlangsamen und so weder die volle Leistung noch die volle Kapazität verfügbar

³⁸ Die Werte stellen den Mittelwert der untersuchten Lithium-Eisenphosphat-, Nickel-Kobalt-Aluminium- und Nickel-Mangan-Kobalt-Batterien dar.

³⁹ Bereits heute werden Batteriedichten von 100 Wh/kg für möglich gehalten. Die heute in Fahrzeugen eingesetzten Batterien hingegen weisen eine Energiedichte von 60 bis 80 Wh/kg auf. Je größer die Batterie, desto geringer der Anteil des Gehäuses am Gewicht, sodass hierbei auch höhere Dichten erreicht werden.

⁴⁰ vgl. Helms et al.-GLB, 2011, S.25

⁴¹ In Deutschland sind Fahrzeuge bei der Verschrottung durchschnittlich 12 Jahre alt. Daher wird aufgrund der angenommenen Lebensdauer einer heute hergestellten Batterie damit gerechnet, dass im Lauf des Fahrzeuglebens 1,5 Batterien benötigt werden.

⁴² Szenario „moderat“

⁴³ vgl. VCÖ, 2/2009, S.19

⁴⁴ vgl. HP: Ruzicka, 2012

⁴⁵ vgl. Hannig et al., 2009, S.30

sind. Deshalb ist eine Beheizung der Akkus bei kalter Witterung notwendig. Dies wiederum wirkt sich negativ auf den Energiebedarf und damit auf die Reichweite der Fahrzeuge aus.

Besonders Hochtemperatur-Batterien wie Natrium-Nickelchlorid (NaNiCl)-Akkumulatoren haben den Nachteil, dass permanent Energie dafür aufgewandt werden muss, die Batterie auf hohen Betriebstemperaturen zu halten. Dadurch kommt es zum ständigen Energieverlust, wodurch die Flexibilität im Individualverkehr stark eingeschränkt wird. Aufgrund ihrer guten Werte hinsichtlich hoher spezifischer Energie bei hoher Zyklenfestigkeit zu niedrigen Kosten werden NaNiCl-Akkus jedoch weiterhin in Fahrzeugen verbaut.

Wasserstoff und Methanol werden als Kraftstoff in Brennstoffzellen-Fahrzeugen eingesetzt. Brennstoffzellen sind – wie Batterien – elektrochemische Wandler und generieren aus der chemischen Energie von Wasserstoffgas (oder Wasserstoffmischgas) und Sauerstoff (aus der Luft) Strom und Wärme. Im Mobilitätsbereich werden Brennstoffzellen vom Typ Polymer Electrolyte Membrane oder Proton Exchange Membrane (PEFC) eingesetzt. Diese arbeiten bei Temperaturen zwischen 0 bis 80°C mit einer elektrochemischen Umwandlungseffizienz von 35 bis 40 Prozent.⁴⁶ Anders als bei der Batterie wird der chemische Energieträger (z.B. in Form von Wasserstoff) kontinuierlich von außen zugeführt.⁴⁷ Wasserstoff hat jedoch Nachteile im Transport. In Drucktanks ist die Energiedichte – selbst bei hohem Druck von 350 bis 800 bar – gering.⁴⁸ In flüssiger Form sind hohe Energiedichten möglich, allerdings ist die Verflüssigung energieaufwändig und erfordert gute Wärmedämmung, da die Temperatur auf etwa –253°C gehalten werden muss. Die dritte Möglichkeit, Feststoffspeicher mit Metall-Hydriden sind derzeit noch zu wenig ausgereift.⁴⁹ Bei entsprechender Bauweise können Brennstoffzellen-Fahrzeuge bei niedrigen Temperaturen ab – 20°C gestartet werden.⁵⁰

3.1.2.2 Der Elektromotor

Elektromotoren wandeln elektrische Energie in mechanische Energie um. Bei reinen Elektrofahrzeugen ersetzen sie den Verbrennungsmotor; in Hybridfahrzeugen werden sowohl Verbrennungs- als auch Elektromotor verbaut.

Elektromotoren besitzen folgende Eigenschaften:⁵¹

- Hoher Wirkungsgrad: Bei Elektromotoren sind Wirkungsgrade von 85 bis 95 Prozent über die gesamte Lastkurve üblich. Zum Vergleich: Wirkungsgrade von Verbrennungsmotoren erreichen max. 35 Prozent bei Benzin bis max. 45 Prozent bei Diesel, wobei im Teillastbereich der Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren besonders stark sinkt. Fahrzeuge fahren im Stadtverkehr fast immer mit Teillast. Da keine Abwärme entsteht – die bei Verbrennungsmotoren für die Beheizung des Innenraums genutzt wird – sind eine bessere Isolation sowie ein entsprechendes Wärmemanagement nötig, um die zusätzliche Energie für die Regelung der Temperatur (für Innenraum, Batterie und Motor) möglichst gering zu halten und die Reichweite des Fahrzeuges nicht zu stark zu verringern.
- Keine lokalen Schadstoffemissionen des Motors: Elektrofahrzeuge eignen sich daher besonders für abgassensible Gebiete bspw. Ballungsräume, Werkhallen, Umweltschutzgebiete etc.
- Geringe Lärmemissionen: Auch diese Eigenschaft ist von Relevanz für sensible Gebiete.

⁴⁶ vgl. Gut et al., 2007, S.9

⁴⁷ vgl. HP: Paschotta, BZ, 2011

⁴⁸ vgl. HP: Wiki, BZ-Fz., 2011

⁴⁹ vgl. HP: Paschotta, BZ, 2011

⁵⁰ vgl. HP: Wiki, BZ-Str., 2011

⁵¹ vgl. HP: Wiki, EA, 2011

- Geringe Betriebskosten: Der Aufbau des Motors ist vergleichsweise einfach und beinhaltet nur wenige bewegliche Teile. Dadurch sind Elektromotoren im Vergleich zu Verbrennungsmotoren besonders wartungsarm und langlebig.
- Geringes Volumen und Masse (ohne Berücksichtigung des Energiespeichers): Die Position des Motors im Fahrzeug ist damit flexibler (auch mehrere kleine Motoren für einzelne Komponenten sind denkbar). Das kann bei entsprechend geänderter Konstruktion zu Vorteilen z.B. bezüglich Aerodynamik oder Schwerpunktsetzung genutzt werden.
- Stufenlose Drehmomentabgabe über den vollen Geschwindigkeitsbereich
- Möglichkeit der Nutzbremmung (Rekuperation): Bei Bremsvorgängen wandelt der Motor einen Teil der vorher beim Beschleunigen eingesetzten kinetischen Energie wieder in elektrochemische Energie zurück. Diese wird in die Batterie oder ins Stromnetz (bei Oberleitungsfahrzeugen) zurückgespeist.

Die Technik des Elektromotors gilt als ausgereift. In Schienenfahrzeugen oder Oberleitungsbussen findet er schon lange Verwendung. Einer breiteren Verwendung im Individualverkehr, stand bisher die noch nicht ausgereifte Technik der Energiespeicher im Weg.

3.2 Grundlagen - Verkehrsmittel

Das folgende Unterkapitel soll einen Überblick über die Bandbreite an elektrisch unterstützt angetriebenen Verkehrsmitteln geben, samt einer kurzen Beschreibung ihrer Eigenschaften, insbesondere bezüglich Reichweite, Energiebedarf, Transportkapazität sowie deren Ansprüche an die Infrastruktur.

Generell sind die Kraftfahrzeuge in Österreich im Kraftfahrzeuggesetz (KFG) definiert und geregelt. Gemäß § 2 Abs. 1 KFG gilt als „*Kraftfahrzeug ein zur Verwendung auf Straßen bestimmtes oder auf Straßen verwendetes Fahrzeug, das durch technisch freigemachte Energie angetrieben wird und nicht an Gleise gebunden ist, auch wenn seine Antriebsenergie Oberleitungen entnommen wird.*“ [§ 2 Abs. 1 Z.1 KFG] Für Kraftfahrzeuge mit elektrischem Antrieb können laut § 89 KFG per Verordnung eigens Bestimmungen bezüglich Bauart, Ausrüstung und Betriebsart erlassen werden. Im Wesentlichen gelten jedoch für Fahrzeuge mit elektrisch unterstütztem Antrieb dieselben Regelungen wie für Verbrennungskraftmaschinen. Relevant ist für Elektrofahrzeuge, dass sich Beschränkungen zum Leergewicht von Fahrzeugen auf die Fahrzeugmasse ohne Batterien beziehen. Angaben zur maximal zulässigen Motorleistung einzelner Fahrzeugkategorien werden – zusätzlich zu Höchstwerten bezüglich des Hubraumes (relevant bei Verbrennungsmotoren) – in maximal zulässiger Nennleistung des Motors in kW (relevant auch für Elektromotoren) angegeben.⁵²

3.2.1 Pedelecs und Elektrofahrräder

Grundsätzlich gibt es zwei Typen von elektrisch unterstützt angetriebenen Fahrrädern: Pedelecs (kurz für: Pedal Electric Cycle) sind Hybrid-Fahrräder, bei denen die Tretbewegung der Fahrenden durch Zuschalten eines Elektromotors (in verschiedenen Intensitäten) verstärkt werden kann. Bei Elektrofahrrädern (ebenso e-Scooter) kann der Motor auch ohne Tretbewegung der Fahrenden eingesetzt werden. Teilweise sind keine Tretkurbeln mehr am Fahrzeug vorhanden.

⁵² vgl. § 2 KFG

Gesetzliche Bestimmungen

Laut dem österreichischen Kraftfahrzeuggesetz gelten solche Fahrräder nicht als Kraftfahrzeuge sofern die höchstzulässige Leistung 600 Watt und die Bauartgeschwindigkeit bzw. Tretkraftunterstützung bis 25 km/h nicht überschritten wird.⁵³ Es gelten für diese dieselben Bestimmungen wie für rein muskelbetriebene Fahrräder.

Daneben gibt es noch „schnelle Pedelecs“ mit Tretkraftunterstützung bis 45 km/h. Für diese ist die Gesetzeslage in Österreich bislang unklar. In Deutschland sind solche Fahrzeuge, mit Motorunterstützung über 25 km/h, laut Kraftfahrtbundesamt als Leichtmofas klassifiziert, mit entsprechenden Vorschriften zu Fahrerlaubnis und vorgesehenen Verkehrsflächen.⁵⁴

Eigenschaften

Die Akkus von Pedelec sowie Elektrofahrrad können üblicherweise aus dem Fahrzeug entfernt und an normalen Haushaltssteckdosen mit einer Netzspannung von 230 Volt aufgeladen werden.

Der Energiebedarf der Fahrräder und damit auch die Reichweite, ist von vielen Faktoren abhängig, dazu gehören: Steigung, Untergrund, Gewicht (Fahrzeug, Ladung), Reifendruck, Fahrweise, Intensität der elektrischen Unterstützung, Wind etc. Durchschnittlich wird beim Pedelec ein Strombedarf von 0,5 bis 2 kWh auf 100 Kilometer angenommen. Durch Rekuperation von Bremsenergie kann bei manchen Modellen eine Ersparnis von ungefähr 10 Prozent erreicht werden.⁵⁵ Laut im Juni 2010 veröffentlichten Testergebnissen der Zeitschrift „Konsument“, wurden bei minimaler Tretkraftunterstützung durchschnittliche Reichweiten von 68 km erreicht.⁵⁶

Pro Fahrrad kann üblicherweise nur eine Person befördert werden. Bei Ausstattung des Rades mit Kindersitzen und/oder Anhänger, können zusätzlich bis zu drei Kinder mitgenommen werden. Für den Transport von Gepäck gibt es unterschiedliche Fahrzeugmodelle und Ausstattungen. Falträder dürfen in zusammengeklapptem Zustand in öffentlichen Verkehrsmitteln mitgeführt werden. Für alle anderen Räder gelten in bestimmten Verkehrsmitteln zeitliche Beschränkungen oder generelles Mitnahmeverbot. Folgende Vor- und Nachteile des Verkehrsmittels sind zu nennen:

- **Nachteile:** Durch Akku sowie Motor erhöht sich das Fahrzeuggewicht bei Komfort- und Trekkingrädern auf 22,4 bis 30,2 kg⁵⁷, im Unterschied zu etwa 13 bis 18,8 kg bei herkömmlichen Trekkingrädern⁵⁸. Dies ist relevant während der Fahrt ohne elektrische Tretkraftunterstützung sowie beim Transport oder Abstellen der Räder, beispielsweise in nicht ebenerdigen Abstellräumen. Verkehrssicherheit: *„Die Zahl der verunglückten Radfahrer im Alter von 65 Jahren und älter hat sich in den vergangenen 30 Jahren mehr als verdoppelt. [...] Bei zunehmender Alterung der Bevölkerung und mit der Zunahme an elektrisch unterstützten Fahrrädern wird dieser negative Trend voraussichtlich weiter anhalten, befürchtet der Deutsche Verkehrssicherheitsrat.“* [vgl. HP: DVSR, 2011]

Witterungsbedingte Einschränkungen der Einsetzbarkeit von Pedelecs – wie auch von normalen Fahrrädern – besteht bei starkem Wind, Regen oder rutschigem Untergrund. Im Vergleich zu normalen Fahrrädern entsteht bei Pedelecs ein höherer Energie- und Materialaufwand durch Herstellung und Einsatz der Akkumulatoren.

⁵³ vgl. § 1 Abs. 2a KFG

⁵⁴ vgl. HP: Wiki, Pedelec, 2011

⁵⁵ vgl. HP: Wachter, 2011

⁵⁶ vgl. VKI, 6/2010

⁵⁷ vgl. VKI, 8/2011

⁵⁸ vgl. VKI, 2007/2009

- **Vorteile:** Geringere bzw. dosierbare körperliche Anstrengung während der Fahrt; besonders relevant bei Steigungen, schwerer Ladung (Kinder, Einkäufe, Arbeitsutensilien etc.) und langen Distanzen. Damit wird diese Verkehrsart auch für Verkehrszwecke relevant, für die rein muskelbetriebene Fahrräder nicht geeignet sind. Änderungen des Mobilitätsverhaltens verspricht man sich insbesondere von körperlich schwächeren Verkehrsteilnehmerinnen bzw. Personen, die ihren Zielort ohne Anzeichen körperlicher Anstrengung erreichen möchten. Dies kann zu einem steigenden Radanteil beitragen. Allgemein nimmt die Zahl der Radunfälle pro zurückgelegten Kilometer mit steigendem Radverkehrsanteil ab.⁵⁹

Marktentwicklung

Die Nachfrage nach Pedelecs nimmt stark zu. Sie hat sich in Deutschland seit 2007 beinahe verdreifacht auf 200.000 Stück im Jahr 2010. Das entspricht 5 Prozent aller verkauften Fahrräder.⁶⁰ In Österreich wurden 2009 etwa 12.000 Pedelecs verkauft. Zum Vergleich: 2005 lag die Anzahl noch bei 3.500 Stück.⁶¹

Seitens einiger österreichischer Bundesländer gibt es Förderungen unterschiedlicher Höhe für den Ankauf von elektrisch unterstützt angetriebenen Fahrrädern. Durch Nachrüstsätze können normale Fahrräder zu Pedelecs umgebaut werden.⁶² Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Eigenschaften in Österreich verfügbarer Pedelecs.

Tabelle 4: Eigenschaften von Pedelecs im Überblick

| Technische Daten von Pedelecs (Marktübersicht Österreich) | | | | |
|--|-----------------------|---|-----------------------|----------------|
| <small>Quelle: www.topprodukte.at; www.extraenergy.org</small> | | | | |
| | <i>minimaler Wert</i> | <i>Durchschnitt bzw. typischer Standardwert</i> | <i>maximaler Wert</i> | <i>Einheit</i> |
| Preis des Fahrrades | 700 | 2.150 | 4.350 | € |
| Gewicht | 11,5 | 24,7 | 34,8 | kg |
| Zulässiges Gesamtgewicht | 120 | 130 | 170 | |
| Reifendimension | 12 | 26 | 28 | Zoll |
| Kapazität des Akkus | 5 | 9,4 | 15 | Ah |
| Leistung des Akkus | 150 | 270 | 555 | W |
| Ladedauer des Akkus | 2 | 4,7 | 8 | h |
| Lebenserwartung des Akkus | 500 | 740 | 1.000 | Ladezyklen |
| Gewicht des Akkus | 1,9 | 3,0 | 8,6 | kg |
| Preis eines Ersatzakkus | 430 | 570 | 960 | € |
| Reichweite (Herstellerangaben) | 25 | 73 | 160 | km |
| Reichweite in der Praxis-Tour (volle Leistung) | 30 | 41 | 53 | |
| Reichweite in der Praxis-Berg (volle Leistung) | 13 | 17 | 21 | |
| Reichweite in der Praxis-Stadt (volle Leistung) | 15 | 25 | 32 | |
| Unterstützungsfaktor | 0,7 | | 2,1 | Faktor |
| Motorleistung | 200 | 250 | 500 | W |
| Höchstgeschwindigkeit für Hilfsantrieb | | 25 | | km/h |
| Motorstufen | 1 | 3 | stufenlos | Faktor |

Quellen: BM VIT, 2011, S.120

In Tabelle 5 sind exemplarisch drei Pedelec-Modelle vorgestellt, die derzeit am Markt erhältlich sind und im Test der Zeitschrift „Konsument“ vom August 2011 die besten Ergebnisse erzielen konnten.




⁵⁹ vgl. Wittink, 2003, S.172f

⁶⁰ vgl. ZIV, 2011

⁶¹ vgl. BM VIT, 2011, S. 107

⁶² vgl. HP: Elektrobiker, 2011

Tabelle 5: Pedelecs auf dem Markt

| | RALEIGH Leeds HS | DIAMANT Zouma Sport + | WINORA F2 |
|--|---|--|---|
| |  |  |  |
| Motor (alle 250W) | Panasonic Mittelmotor | BionX Hinterradmotor | TranzX Hinterradmotor |
| Akku | Lithium-Ion 12Ah, 25V | Lithium-Ion-Mangan 6,4Ah, 40,7V | Lithium-Ionen 11Ah, 36V |
| Ladedauer | 6:15 Stunden | 4:15 Stunden | 8:15 Stunden |
| Reichweite | 40-75 km | 45-65 km | 50-90 km |
| Quelle: vgl. VKI, 8/2011 Bildquellen (v.l.n.r.): www.e-bikestore.de, extratour-freiburg.de, bike-profi24.de | | | |

3.2.2 Elektro-Krafträder

Krafträder sind Kraftfahrzeuge mit zwei oder drei Rädern (wobei Zwillingräder als ein Rad zu zählen sind⁶³). Sie untergliedern sich in Kleinkrafträder (Motorfahrräder), Motorräder, Motorräder mit Beiwagen und Motordreiräder.

Gesetzliche Bestimmungen^{64 65}

Grundsätzlich gilt für Krafträder ohne Kabinenaufbau Helmpflicht. Radfahranlagen dürfen nicht befahren werden. Ein Motorrad-Abstellplatz hat folgende Mindestmaße: Länge: 2,20 m, Breite: 1,50 m.⁶⁶

Kleinkrafträder (Motorfahrräder): In diese Kategorie fallen zwei- oder dreirädrige Kraftfahrzeuge mit einer Bauartgeschwindigkeit von bis zu 45 km/h. Als Lenkberechtigung ist ein Mopedausweis (ab dem vollendeten 15. Lebensjahr) oder ein Führerschein einer beliebigen Klasse vorgeschrieben. Außer der Lenkerin, darf eine weitere Person befördert werden.

Motorräder sind einspurige Krafträder, die nicht der Definition der Kleinkrafträder entsprechen. Darunter fallen Kleinmotorräder mit maximal 50 ccm Hubraum; weiters Leichtmotorräder mit einer Motorleistung bis 25 kW. Je nach Motorleistung dürfen die Krafträder von Personen ab dem Alter von 18 oder ab 21 Jahren gelenkt werden. Ein Führerschein der Klasse A ist notwendig. Mittels Zusatzschulung können auch Besitzerinnen eines Führerscheins der Klasse B die Lenkerlaubnis für Motorräder bis 11 kW Motorleistung – entspricht 125 ccm Hubraum – erwerben. Auf Motorrädern darf außer der Lenkerin eine weitere Person ab 12 Jahren befördert werden.

Motordreiräder sind Kraftfahrzeuge mit drei symmetrisch angeordneten Rädern und einer Bauartgeschwindigkeit von über 45 km/h. Bei einer Eigenmasse des Fahrzeugs (ohne Batterie) unter 400 kg ist eine Fahrerlaubnis der Klasse A ausreichend, darüber wird Klasse B nötig.

⁶³ vgl. § 2 Abs. 1 Z. 3-4 KFG

⁶⁴ vgl. § 2-3 und § 106 KFG

⁶⁵ vgl. § 1-2, § 6, § 18, § 31 FSG

⁶⁶ vgl. § 6 Abs. 3 bis 4 WGarG

Eigenschaften

Die Energieversorgung der meisten Elektrokrafträder erfolgt über eine 230V-Standard-Steckdose, die über ein Ladekabel mit dem Fahrzeug verbunden ist. Bei einigen wenigen Modellen – wie dem Elektrokleinkraftrad Go! C1.4 von GOVECS – ist es möglich den Akku herauszunehmen und anderenorts aufzuladen. Diese Möglichkeit ist bedeutsam für Fahrzeuge, die üblicherweise an Orten ohne verfügbaren Stromanschluss abgestellt werden. Für Schnellladungen an „Stromanschluss-Stationen zum Wiederaufladen mit Bezahlungsmöglichkeit“ (Stromtankstellen) müssen entsprechende Akkus verwendet werden und die kompatible Kabel-Stecker-Kombination im Fahrzeug mitgeführt werden. Die direkte Integration dieser Komponenten in den Rahmen der Fahrzeuge erfolgt derzeit noch selten. Alternativ könnten standardisierte Schnellladesysteme in die Ladesäulen der Stromtankstellen integriert werden.⁶⁷ Brennstoffzellen-Krafträder können – wie konventionelle Verbrennungskraftmaschinen – in wenigen Minuten mit Kraftstoff (Wasserstoff) betankt werden. Es fehlen derzeit jedoch entsprechende Tank-Infrastrukturen in ausreichender Dichte.

Der Energiebedarf der Krafträder hängt von verschiedenen Variablen ab (siehe Kapitel 3.2.1). Bei einspurigen Krafträdern bis 45 km/h, rechnet man mit etwa 4 kWh pro 100 km.⁶⁸ Für Elektrokrafträder mit einer Höchstgeschwindigkeit von über 45 km/h werden 4 bis 8 kWh pro 100 km angenommen.⁶⁹ Bei den Reichweiten gibt es große Unterschiede. Die Technik der Rekuperation ist für Elektrokrafträder noch wenig ausgereift.⁷⁰ Angaben über den Energiebedarf von Brennstoffzellen-Krafträdern gibt es bisher noch keine.

Folgende Vor- und Nachteile des Verkehrsmittels sind zu nennen:

- **Vorteile:** geringer Platzbedarf (sowohl im fließenden als auch im ruhenden Verkehr), keine Lärmemissionen durch Antriebssystem (v.a. im Vergleich zu Verbrennungskrafträdern), keine Schadstoffemissionen (ausgenommen: Reifenabrieb und Verwirbelung) im Betrieb. Kleinkrafträder sichern fallweise schon ab dem vollendeten 15. Lebensjahr die Mobilität. Elektromotordreiräder bieten durch das dritte Rad mehr Stabilität und damit mehr Sicherheit (relevant bei glattem Untergrund bzw. für unerfahrene Nutzerinnen).
- **Nachteile:** Da es bei den meisten Modellen keine Möglichkeit gibt, den Akku zum Laden aus dem Fahrzeug zu entnehmen, sind Stellplätze mit Lademöglichkeit notwendig. Nachteile dieser Verkehrsart – die auch bei konventionellen Krafträdern viele potentielle Nutzerinnen von deren Gebrauch abhalten – betreffen: höheres Unfallrisiko, meist fehlender Wetterschutz, geringe Gepäckkapazitäten und z.T. witterungsbedingt eingeschränkte Einsetzbarkeit z.B. bei starkem Wind, starkem Regen, etc. Das Nutzungsprofil der Anwenderinnen konventioneller Motorräder (Maschinen mit Höchstgeschwindigkeiten über 45 km/h) zeigt auch höhere Anforderungen an die Reichweite als von derzeit am Markt befindlichen Elektromotorkrafträdern geboten wird, z.B. für längere Touren in der Freizeit.

Marktentwicklung

Zahl und Bandbreite an verfügbaren Elektrokrafträdern steigen, wobei Elektromotorräder in der Entwicklung Elektrokleinkrafträdern hinterherhinken. Eine Herausforderung besteht in der Integration der großen Batterie in den verhältnismäßig kleinen Fahrzeugrahmen. Noch sind in Europa die Anteile von Elektrokrafträdern gering. In Deutschland waren Anfang 2011 nur

⁶⁷ vgl. HP: Wiki, EMotoroller, 2011




⁶⁸ vgl. HP: A-NÖ-LReg, 2011

⁶⁹ vgl. HP: Wiki, EMotorrad, 2011

⁷⁰ vgl. HP: Wiki, EMotoroller, 2011

0,043 Prozent der 3,8 Millionen zugelassenen Krafträder elektrisch betrieben.⁷¹ Anders in China: Dort wurden 2006 erstmals mehr Elektrofahrzeuge als Benzinfahrzeuge verkauft.⁷² Tabelle 6 zeigt eine Auswahl an Modellen, die derzeit am Markt verfügbar sind:

Tabelle 6: Elektro-Kleinkrafträder

| | E-SPRIT Silenzio 45 | BOBTEC conRad | E-MAX 90S |
|--|---|--|---|
| |  |  |  |
| Akku | LiFeMnPo4 40Ah, 48V (1,92kWh) | versch. Varianten möglich | Silicon 40Ah, 4x12V |
| Ladedauer in Stunden (h) | 4-5h, 3h für 90% Ladepazität | Je nach Akku | 3-5h |
| Reichweite[*] | 70 km | Je nach Akku | 60 km |
| Geschwindigkeit | Bis 45 km/h | Bis 45 km/h | Bis 45 km/h |
| Tragkraft | 2 Pers./ 170kg | 1 Pers./ 120kg | 2 Pers. |
| Anmerkungen | Sesseldreirad | | |
| * laut ADAC-Test von 2010 | | | |
| Quellen: vgl. HP: ADAC, 2011 vgl. HP: Wilhelm, 2011 vgl. HP: Jürgensmeyer, 2011 vgl. HP: MSA, 2011 | | | |
| Bildquellen (v.l.n.r.): motorroller.net, www.bobtec.de, emissionslos.com | | | |

Die Modelle von E-sprit und E-Max erreichten beim ADAC-Test eine Bewertung unter den besten drei, können also als repräsentativ für diesen Fahrzeugtyp betrachtet werden. Das Angebot an dreirädrigen Elektro-Kleinkrafträdern ist gering und beschränkt sich eher auf Sonderanfertigungen – wie beim Modell von BobTec, welches je nach Kundenwunsch vom Pedelec bis zum Kleinkraftrad mit verschiedenen Ausstattungen angeboten wird.

Die angebotenen Modelle bei Elektromotorrädern (siehe Tabelle 7) entsprechen in ihrer Ausstattung weitgehend jener von Verbrennungskrafträdern, wobei nur wenige Modelle in der Klasse über 25 kW angeboten werden.

Es werden nahezu keine Elektromotordreiräder am Markt angeboten. Eine Ausnahme bildet der CityEI von Smiles. Dieser ist für eine Person ausgelegt. Je nach verbautem Antriebssystem erreicht er eine Höchstgeschwindigkeit von bis zu 63 km/h und eine Reichweite von bis zu 120 km. Da das Fahrzeug weniger als 400 kg wiegt⁷³, kann es ab Führerscheinklasse A gefahren werden. Als Verbrauch werden 4 bis 10 kWh pro 100 km angegeben.⁷⁴

Elektrokrafträder, deren Energieversorgung auf Basis von Wasserstoff in Kombination mit Brennstoffzellen erfolgt, sind bisher noch wenige am Markt vertreten. Das erste Brennstoffzellen-Kraftrad, das die EU-Typengenehmigung zur Straßenzulassung erreichte, ist der Suzuki Burgmann Fuel Cell-Scooter.⁷⁵

⁷¹ vgl. KBA, 2011, S.27




⁷² vgl. HP: Wiki, EMotoroller, 2011

⁷³ vgl. HP: Smiles, 2011

⁷⁴ vgl. HP: Wiki, EA, 2011

⁷⁵ vgl. NEWIG, 2011, S.12



Tabelle 7: Elektromotorräder

| | GOVECS Go! S3.4 | EKOMOBIL EMX 50 | VECTRIX VX-1 (Li+) |
|---|---|--|---|
| |  |  |  |
| Akku | Lithium | LiFePO4 60Ah, 72V | LiFePO4 5,4kWh, 125V |
| Ladedauer | 4-5h/ 2h bis 85% Ladepkapazität | 4h | 4-6h/ 3,5h für 80% Ladepkapazität |
| Reichweite | 60-80 km | Bis 130 km | 90-135 km |
| Geschwindigkeit | 80-85 km/h | 100 km/h | 110 km/h |
| Tragkraft | 2 Pers./ 150 kg | 2 Pers./ 175 kg | 2 Pers./ 195 kg |
| Anmerkungen | Kategorie bis 11kW | Kategorie bis 11kW | Kategorie bis 25kW |
| Quellen: vgl. HP: GOVECS, 2011 vgl. HP: Ekomobil, 2011 vgl. HP: E4You, 2011 Bildquellen (v.l.n.r.): conrad.de, elektrofahren.at, motomedia.at | | | |

Zusätzlich werden künftig in der Kategorie der Krafträder auch neuartige Fahrzeuge angeboten werden, die weitere Anwendungsbereiche und Nutzergruppen erschließen. Beispiele (siehe Tabelle 8) sind der in Entwicklung befindliche C-1 von Lit Motors; ein Kabinenmotorrad für zwei Personen, das sich im Stehen selbst ausbalanciert. Das Elektromotorrad soll 120 km/h erreichen. Als Reichweite werden 321 km angegeben.⁷⁶

Ein weiteres Beispiel ist der E-Tracer von Peraves; ebenfalls für zwei Personen. Damit kann eine Höchstgeschwindigkeit von bis zu 240 km/h erreicht werden. Die Reichweite bei 100 km/h ist mit 300 km angegeben.⁷⁷ Dieses Fahrzeug ist bereits in der Schweiz erhältlich.

Tabelle 8: neuartige Elektro-Krafträder

| C-1 von Lit Motors | E-Tracer von Peraves |
|---|--|
|  |  |
| Bildquellen: litmotors.com, www.monotracer.ch | |

Die Vorteile von Kabinenmotorrädern sind – neben den allgemeinen Vorteilen von Elektrokrafträdern – Wetterschutz sowie höhere Sicherheit (Sicherheitsgurte, Schutz durch Kabinenaufbau). Sie sind von der Helmpflicht ausgenommen.

Die beiden Beispiele sollen verdeutlichen, dass zukünftig auch im Bereich der Krafträder neue Fahrzeugkonzepte existieren werden. Derzeit sind die Preise für derartige Fahrzeuge allerdings noch nicht dazu geeignet, sie für breitere Nutzergruppen einzusetzen.

⁷⁶ vgl. HP: Menn, 2011

⁷⁷ vgl. HP: Peraves, 2011

3.2.3 Elektro- und Hybrid-Kraftwagen

Ein Kraftwagen ist ein mehrspuriges Kraftfahrzeug mit mindestens vier Rädern. Als Mindestmaße für einen PKW gelten im fließenden Verkehr eine Breite des Verkehrsraumes von 2,25 m und eine Fläche von 2,3 m mal 5 m im ruhenden Verkehr.⁷⁸ Folgende Kategorien von Kraftwagen zur Personenbeförderung sind relevant: Personenkraftwagen und Kombinationskraftwagen, vierrädrige Leichtkraftfahrzeuge (L6e), vierrädrige Kraftfahrzeuge der Klasse L7e.

Gesetzliche Bestimmungen^{79 80}

Personenkraftwagen und Kombinationskraftwagen weisen außer dem Lenkerplatz, Plätze für nicht mehr als acht Personen auf. Das zulässige Gesamtgewicht beträgt 3,5 Tonnen. Als Lenkberechtigung wird ein Führerschein der Klasse B benötigt.

Vierrädrige Leichtkraftfahrzeuge (L6e) unterliegen folgenden Beschränkungen: Die Leermasse der Fahrzeuge beträgt ohne Batterien nicht mehr als 350 kg, ihre bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit ist auf 45 km/h, die maximale Motornennleistung auf 4 kW beschränkt. Als Lenkberechtigung reicht ein Mopedausweis oder ein Führerschein einer beliebigen Klasse aus. Das Fahrzeug ist somit für Personen ab 15 Jahren nutzbar.

Vierrädrige Kraftfahrzeuge der Klasse L7e: Das maximale Leergewicht beträgt hier ohne Batterien 400 kg, die maximale Nutzleistung 15 kW. Als Lenkberechtigung wird ein Führerschein der Klasse A oder B benötigt.

Eigenschaften

Bezüglich der Energieversorgung gibt es – wie eingangs in diesem Kapitel beschrieben – verschiedene Ansätze: Reine Elektrofahrzeuge und Hybridfahrzeuge.

Reine Elektrofahrzeuge: Für die Energieversorgung von Batteriefahrzeugen gibt es drei Möglichkeiten: 230V-Standard-Steckdose, Schnellladestation oder Batterietauschstation. Technisch möglich ist auch die Ladung per Induktion. Die Energieversorgung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen erfolgt durch die Betankung mit Wasserstoff oder Ethanol. Genaueres zu den Eigenschaften dieser Möglichkeiten sind Kapitel 3.3 zu entnehmen. In jedem Fall sind entsprechende öffentliche Infrastrukturen notwendig, um den Einsatz dieser Fahrzeuge auf breiter Basis zu ermöglichen.

„Der spezifische Energiebedarf [von Batteriefahrzeugen] liegt bei 9 bis 28 kWh pro 100 Kilometer, wobei die Kleinfahrzeuge alle im Bereich von 9 bis 15 kWh pro 100 Kilometer liegen.“ [E & I, 2008, S.382ff] Weiters gibt es elektrisch angetriebene Leichtkraftfahrzeuge, wie den Microcar L6e – StartLab Open Street, dessen Energiebedarf etwa bei 7 kWh pro 100 Kilometer liegt. Als Akkutechnologie wird entweder ein Pb-Akku eingesetzt (Reichweite: bis zu 50 km → Kapazität folglich 3,5 kWh) oder ein Li-Akku (Reichweite: bis zu 100 km → Kapazität folglich 7 kWh).⁸¹ Die große Bandbreite ergibt sich durch die unterschiedlichen Eigenschaften der verfügbaren Fahrzeugtypen hinsichtlich Gewichts, Größe, erreichbarer Geschwindigkeit etc. Der Schwerpunkt bei reinen Elektrofahrzeugen liegt auf Fahrzeugen für den Nahverkehr. Bei solchen Fahrzeugen sind Reichweiten um 100 Kilometer üblich.⁸²

⁷⁸ vgl. Cerwenka et al., Grundlagen, 2003, Blatt 6-32, 6-41

⁷⁹ vgl. § 2-3 KFG

⁸⁰ vgl. § 1-2, § 6, § 18, § 31 FSG

⁸¹ vgl. HP: Stalleicher, 2012

⁸² vgl. E & I, 2008, S.382

Brennstoffzellen-Fahrzeuge benötigen etwa 0,8⁸³ bis 1,2⁸⁴ kg Wasserstoff pro 100 Kilometer. Das entspricht einer Energiemenge von 27 bis 40 kWh pro 100km.⁸⁵ Unter Verwendung von Drucktanks ist es möglich ausreichende Mengen Wasserstoff für Reichweiten bis zu 800 km im Fahrzeug zu speichern.⁸⁶

Folgende Vor- und Nachteile des Verkehrsmittels sind zu nennen:

- **Vorteile:** Das Antriebssystem reiner Elektrofahrzeuge verursacht vor Ort keine Schadstoff- und Lärmemissionen. Bei Vorhandensein einer privaten Abstellmöglichkeit mit Steckdosenanschluss ist die Verwendung von Batteriefahrzeugen bereits jetzt möglich. Die Reichweite von Brennstoffzellen-Fahrzeugen ist mit derer konventioneller Verbrennungskraftmaschinen vergleichbar.
- **Nachteile:** Öffentliche Ladestationen stehen noch nicht in ausreichender Menge zur Verfügung. Für den Einsatz über größere Distanzen sind reine Batteriefahrzeuge nur bei flächendeckender Versorgung mit Schnelllade- und Batterietauschstationen möglich. Trotz höherer Reichweiten braucht es auch für Brennstoffzellen-Fahrzeuge eine entsprechende Versorgung mit Wasserstoff-Tankstellen. Im Unterschied zur Versorgung von Batteriefahrzeugen ist eine private Versorgung mit Wasserstoff wesentlich aufwändiger. Die Datenlage bezüglich des Einflusses von zusätzlichen Verbrauchern auf den Energiebedarf des Fahrzeuges wie z.B. durch die Klimatisierung der Fahrgastkabine im Betrieb ist bisher dünn.⁸⁷ Bei konventionellen Fahrzeugen wird hierfür z.T. die Abwärme des Verbrennungsmotors eingesetzt.

Hybridfahrzeuge enthalten mindestens zwei verschiedene Energiespeicher und Energiewandler; üblicherweise Batterie und Treibstofftank sowie Verbrennungs- und Elektromotor. Ihre Eigenschaften bezüglich Nutzungsmöglichkeiten und Umweltwirkung hängen wesentlich vom Grad ihrer Elektrifizierung ab. Dieser spiegelt sich in den Kategorien Micro-, Mild-, Voll- und Plug-In-Hybrid wieder. Tabelle 9 gibt eine Zusammenfassung der Eigenschaften der verschiedenen Hybridantriebe.

Bei Micro-Hybrid, Mild-Hybrid und Full-Hybrid erfolgt die Ladung der Batterie ausschließlich durch Verbrennungsmotor und Rekuperation.

Micro-Hybride sind genau genommen keine wirklichen Hybrid-Fahrzeuge, da sie keinen Elektromotor für den Vortrieb besitzen. Der Verbrennungsmotor wird lediglich im Fahrzeugstillstand ab- und beim Anfahren wieder eingeschaltet (Start-Stopp-Automatik).⁸⁸ Die Eigenschaften solcher Fahrzeuge entsprechen weitestgehend jenen konventioneller Verbrennungskraftmaschinen. In weiterer Folge wird in dieser Arbeit von einer Reduktion des Kraftstoffverbrauches und der damit verbundenen Emissionen von 8 Prozent im Stadtverkehr und 3 Prozent⁸⁹ im Überland-Verkehr ausgegangen.

Mild-Hybride: Eine durchschnittliche Einsparung von 15 Prozent Kraftstoff wird insbesondere durch die Unterstützung des Verbrennungsmotors durch den Elektromotor beim Beschleunigen erreicht. Ein Beispiel dieser Kategorie ist der Honda Civic Hybrid.⁹⁰

⁸³ vgl. HP: Wiki, Toyota, 2011

⁸⁴ vgl. HP: Spiegel Online, 2011

⁸⁵ vgl. HP: LBS, 2011

⁸⁶ vgl. HP: Wiki, Toyota, 2011

⁸⁷ vgl. Beermann et al., 2010, S.65

⁸⁸ vgl. Helms et al., 2011, S.9

⁸⁹ vgl. HP: Wiki, SSS, 2011

⁹⁰ vgl. AEA, 2009, S.46

Full-Hybride nutzen das gleiche Antriebsprinzip wie Mild-Hybride, kurze Strecken können aber auch alleine mit dem Elektromotor bewältigt werden.⁹¹ Ein Beispiel dieser Kategorie ist der Toyota Prius.

Plug-In-Hybride: Die Ladung der Batterie erfolgt primär an der Steckdose („plug-in“) über das reguläre Stromnetz aber auch über Verbrennungsmotor und Rekuperation. Der Verbrennungsmotor wird eingesetzt, um die Batterie für längere Distanzen aufzuladen (Range-extender).⁹² Plug-In Hybride haben entsprechend größer dimensionierte Akkus, um den Großteil der Fahrten im Alltag im rein elektrischen Betrieb zurücklegen zu können. Sie stellen den Übergang zu reinen Elektrofahrzeugen dar. Je nachdem, für welche Mobilitätsmuster die Fahrzeuge eingesetzt werden, kann die tatsächliche Reduktion des Kraftstoffverbrauches sehr unterschiedlich sein. Ein Beispiel für ein solches Fahrzeug ist der Toyota Prius PHV.

Tabelle 9: Unterscheidungsmerkmale verschiedener Hybridantriebe für Personenkraftwagen

| | Micro-Hybrid | Mild-Hybrid | Full-Hybrid | Plug-In Hybrid |
|--|-----------------------|-------------|-------------|----------------|
| Batteriekapazität | < 1 kWh | < 2 kWh | < 5 kWh | 5 -15 kWh |
| DC-Spannung | 12 V | 36-150 V | 150-200 V | 150-200 V |
| Kraftstoffeinsparung | -8% (ECE-Stadtzyklus) | -15% (NEFZ) | -20% (NEFZ) | -20% (NEFZ) |
| Reichweite elektrisch | -- | < 3 km | 20-60 km | 100 km |
| NEFZ: Neuer Europäischer Fahrzyklus; ECE: Economic Commission for Europe DC-Spannung: Gleichstromspannung | | | | |
| Quelle: vgl. Hannig et al., 2009, S.10 | | | | |

Folgende Vor- und Nachteile des Verkehrsmittels sind zu nennen:

- **Vorteile:** Hybridfahrzeuge können auf die bestehende Tankstelleninfrastruktur zurückgreifen und sind damit flexibel einzusetzen. Je nach Auslegung und Verwendung können die Vorteile beider Antriebssysteme genutzt werden.
- **Nachteile:** Durch die doppelte Ausstattung mit Elektro- und Verbrennungsmotor samt dazugehörigen Energiespeichern erhöhen sich Gewicht und Volumen des Antriebssystems. Das wirkt sich nachteilig auf Nutzenergiebedarf und Stauraum der Fahrzeuge aus. Die geringen Umweltwirkungen reiner Elektrofahrzeuge, können mit Hybridfahrzeugen nicht erreicht werden.

Marktentwicklung




Verschiedene Verwendungszwecke stellen unterschiedliche Anforderungen an die Fahrzeuge. Das macht eine Spezialisierung sinnvoll. Folgende Trends zeichnen sich ab: Bei den reinen Batteriefahrzeugen überwiegen Kleinfahrzeuge für den Nahverkehr.⁹³ Die Auslegung auf kurze Distanzen und geringe Geschwindigkeiten ermöglicht kleine, leichte Fahrzeuge, die mit geringeren Batteriekapazitäten auskommen. (siehe Tabelle 10) Das wirkt sich reduzierend auf Verbrauch und Kosten der Fahrzeuge aus.

⁹¹ vgl. ADAC, 2009, S.10

⁹² vgl. AEA, 2009, S.47

⁹³ vgl. E & I, 2008, S.382

Tabelle 10: reine Elektrofahrzeuge

| | PURE MOBILITY Kewet Buddy | MITSUBISHI i-MiEV* | AIXAM Mega City Elektro |
|--|---|--|---|
| |  |  |  |
| Antrieb | elektrisch | elektrisch | elektrisch |
| Akku: | NiMH 14,4 kWh, 72V | Li-Ionen | AGM Blei 10,1 kWh, 48V |
| Ladedauer | 6-8h/ 3h von 30% auf 95% der Kapazität | 5 bis 7h, bei 30min Schnellladung**: 80% der Kapazität | 8 bis 10h |
| Reichweite | 120 km | Bis 130km | 60 bis 80 km |
| Geschwindigkeit | 80 km/h | 130 km/h | 64 km/h |
| Kapazität | 3 Pers./200kg | 4 Pers. | 2 +2 Notsitze |
| Anmerkungen | Klasse L7e | | Leicht-Kfz |
| Quellen: vgl. HP: Buddy, 2011 vgl. HP: Auto Ludwig, 2011 vgl. HP: E&L-Kfz, 2011 * vgl. HP: Vlotte, 2011 **vgl. HP: Wiki, Mitsubishi, 2011 Bildquellen (v.l.n.r.): solarmobil.net, blog.wienenergie.at, eg-autos.de | | | |

Modelle, die große Distanzen und hohe Geschwindigkeiten erreichen, werden vorwiegend als Hybrid- oder Brennstoffzellen-Fahrzeuge angeboten. Diese verfügen zudem meist über eine höhere Transport- bzw. Personenbeförderungskapazität und erfüllen – aufgrund der höheren Geschwindigkeiten und Distanzen – höhere Ansprüche an Komfort und Sicherheit. (siehe Tabelle 11 und Tabelle 12)

Tabelle 11: Mild-Hybrid und Brennstoffzellen-Fahrzeug





| | HONDA Civic Hybrid | HONDA FCX Clarity |
|---|---|---|
| |  |  |
| Antrieb | Mild-Hybrid | elektrisch |
| Energie aus: | Benzin:50 Liter-Tank | Wasserstoff – Brennstoffzelle |
| Akku | NiMH | Li-Ion 288V |
| Ladedauer | wenige Minuten (normaler Tankvorgang) | wenige Minuten |
| Reichweite | Bis 1000 km | 450 km |
| Geschwindigkeit | 185 km/h | 160 km/h |
| Kapazität | 5 Personen | 4 Personen |
| CO2-Emissionen | 109 g/km | keine |
| Quellen: vgl. HP: Habermehl, 2011 vgl. HP: Honda, 2011 Bildquellen (v.l.n.r.): djapanesecars.com, wikicars.org | | |

Tabelle 12: Full- und Plug-In Hybridfahrzeuge

| | TOYOTA Prius | VOLVO V60 Plug-In-Hybrid |
|---|---|---|
| |  |  |
| Antrieb | Full-Hybrid | Plug-In Hybrid |
| Energie aus: | Benzin: 45 Liter-Tank | Stromnetz, Diesel |
| Akku | NiMH | Li-Ion, 12kWh |
| Ladedauer | wenige Minuten (normaler Tankvorgang) | 3 bis 7,5h vom Stromnetz; normaler Tankvorgang |
| Reichweite | 960 bis 1180km | 1200km, elektrisch: 50 km |
| Geschwindigkeit | 180 km/h | 225 km/h, elektrisch: 100km/h |
| Kapazität | 5 Pers. | 5 Personen |
| CO2-Emissionen | 89 g/km | 49 g/km (NEFZ) |
| Quellen: vgl. HP: Toyota-A, 2011 vgl. HP: Toyota-US, 2011 vgl. HP: Dohr, 2011 vgl. HP: Volvo, 2011 Bildquellen(v.l.n.r.): retailers.toyota.at, carsventure.com | | |

Sowohl Angebot als auch Nachfrage nach Elektro- und Hybridfahrzeugen sind bisher marginal. Im Jahr 2011 betrug in Österreich der Bestand an reinen Batterie-Fahrzeugen 989 Fahrzeuge und an Fahrzeugen mit Elektro-Hybrid-Antrieb knapp 6060 Fahrzeuge.⁹⁴ Das entspricht einem Anteil von 0,3 Prozent am Gesamt-PKW-Bestand. Erwähnt wird, dass es die Möglichkeit gibt konventionelle Fahrzeuge zu Elektrofahrzeugen umzubauen.

3.2.4 Elektro- und Hybrid-Omnibusse

Omnibusse weisen außer dem Lenkerplatz Plätze für mehr als acht Personen auf.⁹⁵ „Bus-Verkehrssysteme sind sehr flexibel und können gut an verschiedene topografische und nachfrageseitige Situationen angepasst werden (keine teure Infrastruktur nötig, Linienveränderungen sind rasch und kostengünstig möglich, Variationsbreite der Fahrzeuggrößen)“ [Cerwenka et al., Grundlagen, 2003, Blatt 6-76] Je nach Bauart und Fassungsvermögen spricht man von folgenden Bus-Typen: (siehe Tabelle 13)

Tabelle 13: durchschnittliches Fassungsvermögen von Bussen unterschiedlicher Länge

| | Fahrzeuglänge | Beförderungskapazität |
|------------------------------------|---------------|-----------------------|
| Midi-Bus | 9 m | 40-50 |
| Standardbus, Solobus | 12 m | 100 |
| Gelenkbus | 18 m | 150 |
| Doppelgelenkbus | 24 m | 200 |
| Quelle: vgl. VDV, 2000, S.191, 215 | | |

Bei elektrisch unterstützt angetriebenen Fahrzeugen kann die Beförderungskapazität – gegenüber obigen Angaben – bis zu rund einem Drittel geringer sein. Grund dafür sind das hohe Gewicht und die Größe der Energiespeicher mancher Fahrzeugkonzepte.

⁹⁴ vgl. BM VIT, 2010 S.21

⁹⁵ vgl. § 2 Abs.1 Z. 7 KFG

Folgende Antriebskonzepte werden in Omnibussen eingesetzt:

Batterie-Omnibusse haben den Vorteil, dass sie vor Ort geringe Schadstoff- und Lärmemissionen verursachen. Sie sind nicht an eine bestimmte Streckenführung gebunden und können räumlich flexibel genutzt werden. Das hohe Gewicht eines Standard-Omnibusses erfordert hohe Batteriekapazitäten bzw. schnelle Lademöglichkeiten. Die meisten Batterie-Omnibusse sind auf geringe Beförderungskapazität und Entfernungen ausgelegt. Möglichkeiten der Energieversorgung sind: Ladung an der Steckdose, Batterietausch sowie Energieübertragung ins Fahrzeug per Induktion in den Haltestellen oder während der Fahrt.⁹⁶ Dazu sind entsprechende Infrastrukturen nötig.

Ein Beispiel ist das Modell eBUS-12 des Fahrzeugherstellers BYD, das mit einer Batterieladung eine Distanz von 250 km – bei einem Energiebedarf von 100 kWh pro 100 km – im Stadtverkehr zurücklegen können soll. Die Ladezeit der Batterien ist mit 3 bis 6 Stunden angegeben.⁹⁷ Die Beförderungskapazität beträgt etwa 50 Personen.⁹⁸

Ein Beispiel aus der Praxis ist der seit Herbst 2011 in der niederösterreichischen Gemeinde Perchtoldsdorf getestete „Solarbus“ mit einer Beförderungskapazität von 35 Personen und einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Der Bus wird im Ortverkehr eingesetzt und verbraucht dabei etwa 60 kWh pro 100 km. Die Reichweite pro Batterieladung beträgt 80 bis 100 km. Die Energieversorgung des Fahrzeuges erfolgt per Batteriewechsel. Dieser nimmt zwei Minuten in Anspruch. Zusätzlich sind Photovoltaikmodule am Dach des Fahrzeuges installiert. Ausschlaggebend für den niedrigen Verbrauch ist die Konstruktion des Busses in Leichtbauweise. Sein Gewicht entspricht - mit 4650 kg Leergewicht (inklusive Batterien) – jenem eines vergleichbaren Dieselmotors.⁹⁹

Brennstoffzellen-Busse: Auch diese verursachen geringe Schadstoff- und Lärmemissionen vor Ort. Ebenso sind sie an keine bestimmte Streckenführung gebunden. Im Vergleich zu Batteriefahrzeugen, erreichen Brennstoffzellen-Fahrzeuge zurzeit höhere Reichweiten. Standardbusse können in der Dieselsonne rund 90 Personen befördern. Durch das hohe Gewicht der Brennstoffzellen-Einheit reduziert sich die Beförderungskapazität allerdings um rund ein Drittel. Bezüglich Energiebedarf und Reichweite: Der „Citaro“ von Mercedes Benz für 60 Fahrgäste hat ein Speichervolumen von ca. 40 kg Wasserstoff und kann damit eine Distanz von etwa 250 km zurücklegen, wobei im Durchschnitt 18 kg Wasserstoff pro 100 km angenommen werden.¹⁰⁰ Deutlich niedrigere Verbrauchswerte werden für den 12m-Brennstoffzellen-Bus von MAN angegeben. Diese belaufen sich auf 13 kg Wasserstoff pro 100 km. Die Reichweite einer Tankfüllung beträgt über 300 km.¹⁰¹ Der Energiebedarf eines Brennstoffzellen-Standard-Busses wird daher mit 430 bis 600 kWh pro 100 km angenommen.

Üblicherweise stellen die jeweiligen Verkehrsbetriebe selbst die Versorgung mit Wasserstoff bereit. Ein Beispiel dafür ist der Regionalverkehr Köln, wo Wasserstoff als „Koppelprodukt“ der örtlichen Chemieindustrie anfällt.¹⁰² Eine flächendeckende Infrastruktur mit Wasserstoff-Tankstellen gibt es nicht.

⁹⁶ vgl. AEA, 2009, S.54f

⁹⁷ vgl. HP: BYD, 2011

⁹⁸ vgl. HP: o.V, FNP, 2011

⁹⁹ vgl. HP: Solarmobil Austria, 2012

¹⁰⁰ vgl. HP: VDI, 2011

¹⁰¹ vgl. HP: LBS, 2012

¹⁰² vgl. HP: Schliffke, 2011

Oberleitungsbusse (auch: O-Busse oder Trolley-Busse) sind schon lange erprobt und bewegen sich in ihren Anwendungsbereichen zwischen Omnibus und Straßenbahn. Seine Energie bezieht der O-Bus aus einer Oberleitung mit 550 bis 750 V Gleichspannung.¹⁰³ Am Betriebsort verursacht der Antrieb dadurch keine Schadstoffemissionen. Im Fahrzeug selbst sind keine Energiespeicher vorhanden. Deshalb ist der O-Bus an eine bestimmte Streckenführung gebunden. Es besteht keine Möglichkeit zum Überholen durch andere O-Busse. Weiters sind kurzfristige Kursänderungen oder verkürzte Kurse in den Nebenverkehrszeiten nicht möglich. Im Unterschied zur Straßenbahn kann er kleineren Hindernissen allerdings bis zu 4,5 m ausweichen.¹⁰⁴ Oberleitungsbusse sind ausschließlich im Linienverkehr einzusetzen. Besonders in hügeligem Gelände und bei vielen Haltestopps können die größten Vorteile gegenüber konventionellen Omnibussen generiert werden. Da in Oberleitungsbusen kein Energiespeicher mitgeführt werden muss, ist die Beförderungskapazität nicht eingeschränkt. Im Vergleich zu herkömmlichen Omnibussen, kann ein O-Bus wesentlich schneller beschleunigen, wodurch kürzere Reisezeiten erzielt werden können. Zudem ist im Vergleich zum Dieselbus mit einem O-Bus eine beträchtliche Lärmreduktion zu erreichen. Der Unterschied beträgt je nach Quelle 6 bis 9 Dezibel.^{105 106} „Ein Pegelunterschied von 10 Dezibel entspricht etwa der Verdoppelung bzw. Halbierung der empfundenen Lautheit.“ [vgl. Cerwenka et al., VSP, 2007, S.102f]

Der Energiebedarf von O-Bussen liegt zwischen jenem von Straßenbahnen und Dieselbussen. Durch Rekuperation kann beim Bremsen Energie ins Netz zurückgespeist werden; bei Betrieb in hügeligem Gelände oder vielen Bremsvorgängen bis zu 30 Prozent der aufgenommenen Energie.¹⁰⁷ Für einen Trolleybus mit einer Kapazität von 135 Fahrgästen werden 195 kWh pro 100 km veranschlagt (Rekuperation einberechnet).¹⁰⁸ Eine andere Analyse geht für Gelenk-Trolleybusse von einem Energiebedarf von 270 bis 320 kWh pro 100 km aus (Rekuperation einberechnet).¹⁰⁹

Das größte O-Bus-System Österreichs befindet sich mit 95 Fahrzeugen (zum Großteil Gelenk-O-Busse) in der Stadt Salzburg. Ein weiteres Netz existiert in Linz.¹¹⁰

Duo-Busse stellen eine Mischung aus O-Bussen und Batteriefahrzeugen dar. Ihre Energieversorgung kann je nach Bedarf sowohl über die Oberleitung als auch über die mitgeführte Batterie erfolgen. In beiden Fällen sorgt ein Elektromotor für den Antrieb. Diese Flexibilität erlaubt den Einsatz der Fahrzeuge auch auf Streckenabschnitten, die nicht für den O-Bus-Betrieb geeignet sind, etwa bei Umleitungen, veränderter Kursführung in Nebenverkehrszeiten und dergleichen. Während der Führung an der Oberleitung kann gleichzeitig die Batterie geladen werden. Der Energiebedarf entspricht annähernd jenem der O-Busse. Lärm und Schadstoffemissionen sind ebenso gering wie beim O-Bus. Der Nachteil ist der Aufwand, den die „doppelte Energieversorgung“ der Fahrzeuge mit sich bringt. Bisher konnten sich Duo-Busse wirtschaftlich nicht durchsetzen. Schwachpunkt war bislang die Batterie. Der Einsatz von Versuchsfahrzeugen beispielsweise in Esslingen wurde wieder eingestellt.¹¹¹

Hybrid-Busse beziehen ihre Energie aus zwei verschiedenen Quellen, üblicherweise elektrischer Energie (Oberleitung/Batterie) und Energie in Form von Treibstoff (Benzin/Diesel/Wasserstoff).¹¹²

¹⁰³ vgl. AEA, 2009, S.63

¹⁰⁴ vgl. HP: Kiebler, 2011

¹⁰⁵ vgl. Björklund et al., 1999, S.33

¹⁰⁶ vgl. Infrac, 2008, S.21

¹⁰⁷ vgl. HP: VK, 2011

¹⁰⁸ vgl. Björklund et al., 1999, S.30

¹⁰⁹ vgl. Infrac, 2008, S.36

¹¹⁰ vgl. HP: Wiki, Obus, 2012

¹¹¹ vgl. HP: Daimler, 2011

¹¹² vgl. HP: Wiki, HB, 2011

Der Hybridbus erlaubt es die Vorteile von Elektrofahrzeugen (bezüglich Energieeffizienz, Lärm und Schadstoffen) zu nutzen und mit Hilfe des Treibstoffes die Einsatzmöglichkeiten des Fahrzeuges zu erweitern (durch zusätzliche Reichweite und flexible Kursführung). Nachteil ist – wie beim Duo-Bus – der Aufwand, den die „doppelte Energieversorgung“ der Fahrzeuge mit sich bringt.

Der Energiebedarf hängt von verschiedenen Faktoren ab. In dieser Arbeit wird von einer durchschnittlichen Ersparnis von 27,5 Prozent ausgegangen.^{113 114} Geht man vom Energiebedarf von Dieseln aus, ergeben sich folgende Verbrauchswerte: (siehe Tabelle 14)

Tabelle 14: Energiebedarf von Hybrid-Bussen

| | kWh pro 100 km | Liter Diesel pro 100 km | kWh pro 100 Platz- km |
|---|-------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Mini-Bus (40 Plätze) | 142 | 14,4 l | 3,6 |
| Midi-Bus (60 Plätze) | 182 | 18,4 l | 3,0 |
| Solobus (77 Plätze) | 237 | 24,0 l | 3,1 |
| Gelenkbus (110 Plätze) | 380 | 38,4 l | 3,5 |
| Quelle: vgl. Leuthardt et al., 2009, S.9ff vgl. FdA, 2009, S.11 vgl. Linz, 20011, S.5 vgl. HP: BLAU, 2012 | | | |

3.2.5 Schienenfahrzeuge

Durch die geringe Rollreibung von Schienenfahrzeugen, können große Massen mit vergleichsweise geringem Energieaufwand bewegt werden. In dieser Arbeit werden – entsprechend ihrer Einsatzbereiche – zwischen Straßenbahn, U-Bahn, Schnellbahn und Fernverkehrszügen unterschieden. Ihre wichtigsten Unterscheidungskriterien betreffen: Dichte der Stationen, Fahrgastkapazität, Spurführung und Geschwindigkeit. Ihre unterschiedlichen Wirkungen betreffen: Energiebedarf, Infrastrukturanforderungen und -kosten. Tabelle 15 sind die durchschnittlichen Energieverbrauchswerte der verschiedenen elektrifizierten Schienenfahrzeuge zu entnehmen.

Straßenbahn: Straßenbahnen verkehren vorwiegend auf bündig mit der Straßenoberfläche abschließenden Schienen. Streckenweise sind auch vom Individualverkehr getrennte Gleiskörper möglich. Straßenbahnen dienen üblicherweise dem Nahverkehr bei einer vergleichsweise geringen Beförderungsgeschwindigkeit von 15 bis 25 km/h. Dies ist zum einen auf Behinderungen durch den Individualverkehr und zum anderen auf die kurzen Haltestellenabstände von 300 bis 800 Meter zurückzuführen. Die Beförderungskapazität beträgt 100 bis 200 Personen.

U-Bahn: U-Bahnen sind von der Technologie her Eisenbahnen zuzuordnen. Sie verkehren im Linienbetrieb nach Taktfahrplan unabhängig von anderen Verkehrsmitteln auf eigenem Fahrweg (überwiegend unterirdisch). Fahrzeugboden und Bahnsteig sind niveaugleich. Die U-Bahn erfüllt, (überwiegend) innerhalb der Kernstadt entlang von Achsen mit hohem Fahrgastaufkommen, die Haupterschließungsfunktion im öffentlichen Verkehr. Übliche Haltestellenabstände liegen bei 500 bis 1000 Metern. Die Beförderungsgeschwindigkeit beträgt etwa 40 km/h. Die Beförderungskapazität pro Wagen beträgt etwa 150 Personen, wobei z.B. die Wiener U-Bahn pro Zug etwa 900 Personen (in drei Doppelwägen) fassen kann.

Schnellbahn: Schnellbahnen sind eine Sonderform des Eisenbahnverkehrs. Sie benutzen gemeinsam mit anderen Zügen vorwiegend die Infrastruktur der staatlichen Eisenbahnen. Im

¹¹³ vgl. FdA, 2009, S.11

¹¹⁴ vgl. Linz, 2011, S.5

Bereich von Großstädten werden sie oft auf eigenen Gleisanlagen geführt. Schnellbahnen sind meist Durchmesserlinien und verbinden das Stadtumland mit der Kernstadt. Übliche Haltestellenabstände sind 2 bis 3 Kilometer, wobei dieser Abstand innerhalb der Kernstadt oft geringer ausfällt. Die Beförderungsgeschwindigkeit beträgt je nach Haltestellenabstand 40 bis 80 km/h. Die Beförderungskapazität liegt je nach Bauart und Zuglänge bei 300 bis 1200 Personen.¹¹⁵

Fernverkehrszüge: Charakteristisch für den Einsatz von Eisenbahnen im Fernverkehr sind große Haltestellenabstände, hohe Beförderungskapazität und große Geschwindigkeiten. In Österreich wird der Railjet der Österreichischen Bundesbahnen mit bis zu 230 km/h eingesetzt.¹¹⁶ Eisenbahnen verkehren auf eigenen, vom Individualverkehr getrennten Gleiskörpern. Die Energieversorgung erfolgt über Elektro- aber auch Dieseltraktion. Im Jahr 2010 waren von insgesamt 5146 km Betriebslänge der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) 32,5 Prozent nicht elektrifiziert.¹¹⁷ Die Erzeugung des nötigen Bahnstroms erfolgt hauptsächlich über erneuerbare Energien (mehr dazu in Kapitel 3.3.1.1). Tabelle 15 zeigt durchschnittliche Energieverbrauchswerte elektrifizierter Schienenfahrzeuge.

Tabelle 15: Energieverbrauch von Schienenfahrzeugen mit Elektrotraktion

| | Beförderungskapazität | kWh pro 100 km | kWh pro 100 Platz-km |
|--|-----------------------|----------------|----------------------|
| Straßenbahn* | 180 | 270 bis 360 | 1,5 bis 2,0 |
| U-Bahn* | 592 | 470 bis 1000 | 0,8 bis 1,7 |
| Schnellbahn (Vorstadtzug) | 300 | 750 | 2,5 |
| Fernverkehr (Intercity) | 563 | 1530 | 2,7 |
| * die unteren Werte gelten für die künftig vorwiegend eingesetzte Drehstromwechselrichter-Technik | | | |
| Quellen: vgl. VDV, 2009, S.9 vgl. HP: Wiki, UBahn, 2012 vgl. Cerwenka et al., VSP, 2007, S.14 | | | |

3.3 Grundlagen - Energieversorgung

Die Art der Energieversorgung ist das Hauptunterscheidungsmerkmal von elektrisch unterstützt angetriebenen Fahrzeugen und konventionellen Verbrennungskraftmaschinen. Das folgende Kapitel beschäftigt sich daher mit Energiebedarf, Energieerzeugung (und ihren Wirkungen) sowie mit den Möglichkeiten zur Übertragung der Energie in die Fahrzeuge. Betrachtet werden Nutzenergie, Endenergiebedarf und Primärenergieeinsatz der Bewegung.¹¹⁸

Für eine umfassende Analyse des – sich aus der Verwendung von Elektrofahrzeugen ergebenden – gesamten Primärenergieeinsatzes des Verkehrs, wäre eine Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus von Fahrzeugen (sowie Infrastruktur) notwendig, die von der Herstellung der einzelnen Komponenten, über den Betrieb bis zum Recycling der verwendeten Materialien nach Lebensende des Fahrzeuges reicht. Leider standen detaillierte Angaben dazu nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung. Deshalb beschränken sich Überlegungen bzw. Vergleiche zum Energiebedarf auf Gewinnung, Übertragung und Verbrauch des Kraftstoffes. In Kapitel 3.1.2 ist zudem der Endenergiebedarf der Batterieherstellung dargelegt.

¹¹⁵ vgl. Cerwenka et al., Grundlagen, 2003, Blatt 6-68

¹¹⁶ vgl. HP: ÖBB-PV, 2012

¹¹⁷ vgl. ÖBB, ZDF, 2011

¹¹⁸ vgl. Cerwenka et al., VSP, 2007, S.10

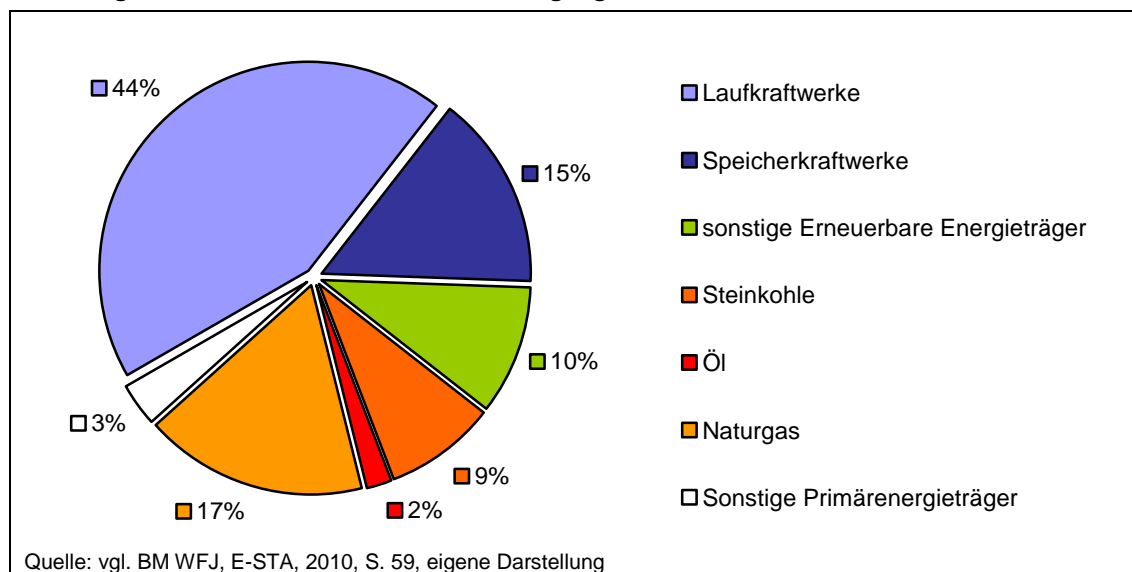
3.3.1 Erzeugung der Antriebsenergie

Will man Aussagen über die Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf die Emissionen treffen, spielt die Art der Energiegewinnung und deren Emissionen eine zentrale Rolle. Vergleiche zwischen elektrisch unterstützt angetriebenen Fahrzeugen und Benzin- und Dieselbetriebenen Fahrzeugen müssen mittels Werten zum Primärenergiebedarf gezogen werden, da den zwei Antriebskonzepten unterschiedliche Endenergieträger (Strom, fossiler Kraftstoff) zugrunde liegen. Das vorliegende Unterkapitel beschäftigt sich mit der Energieeffizienz der Umwandlungs- und Transportkette von der Primärenergie zur Endenergie. Dies wird durch den Well-to-Tank Wirkungsgrad ausgedrückt. Weiters wird ein Blick auf die österreichische und europäische Energiewirtschaft geworfen.

3.3.1.1 Erzeugung elektrischer Energie

In Österreich betrug im Jahr 2008 die inländische Bruttostromerzeugung 64,37 TWh. 69 Prozent davon stammen aus erneuerbaren Primärenergieträgern, 31 Prozent aus Wärmekraftwerken (siehe Abbildung 1). Etwa 80 Prozent des Stroms aus Wärmekraftwerken wurde in Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt. Da hierbei der Kraftstoff sowohl in Strom (45 Prozent) als auch in (nutzbare) Wärme (55 Prozent) umgewandelt wird, werden hohe Gesamtwirkungsgrade (im Jahr 2008: 74 Prozent) erreicht.¹¹⁹ Ohne die Nutzung der Wärme würde der Wirkungsgrad der Umwandlung in elektrische Energie bei 33 Prozent liegen. Abbildung 1 zeigt die Anteile der Primärenergieträger am Mix der österreichischen Bruttostromerzeugung:

Abbildung 1: österreichische Bruttostromerzeugung 2008



Aus dem hohen Anteil erneuerbare Energien erklären sich die niedrigen CO₂-Emissionen der Bruttostromerzeugung von 155 g pro kWh.¹²⁰

Allerdings kann der energetische Endverbrauch an elektrischer Energie in Österreich nicht durch eigene Stromerzeugung gedeckt werden. Im Jahr 2008 wurden 20 TWh aus dem Ausland importiert, jedoch auch 15 TWh exportiert. Somit beträgt der Austauschsaldo 5 TWh. Dies entspricht sieben Prozent des Inlandsstromaufkommens.¹²¹ „Gemäß § 45a des Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetzes ist Strom unbekannter Herkunft im Rahmen

¹¹⁹ vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.31ff

¹²⁰ vgl. HP: OeMAG, 2011

¹²¹ vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S. 36

des Versorgermix als UCTE-Mix (Union for the Coordination of Transmission of Electricity) auszuweisen.“ [HP: Energie Control, UCTE, 2011]

Abbildung 2: UCTE-Mix der Primärenergieträger 2009

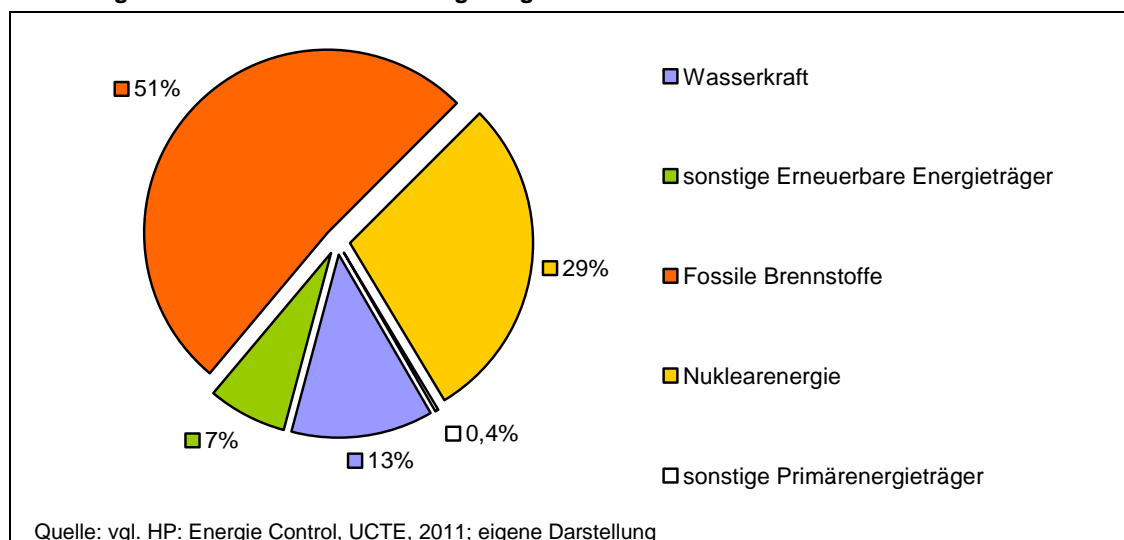


Abbildung 2 zeigt die Anteile der Primärenergieträger am UCTE-Mix 2009. Die aus dem UCTE-Mix hervorgehenden CO₂-Emissionen wurden mit 432 g pro kWh angenommen¹²², zuzüglich 0,001 g radioaktivem Abfall pro kWh.¹²³ Diese Werte werden im weiteren Verlauf der Arbeit herangezogen, um die CO₂-Emissionen jenes Stromverbrauches zu berechnen, der nicht durch inländische Stromerzeugung abgedeckt werden kann.

Für die Ermittlung der Emissionen des energetischen Endverbrauches von elektrischer Energie, sind Transportverluste, Importe und Exporte, der Verbrauch der Kraftwerke selbst, sowie jener des Energiesektors einzuberechnen: Für das Jahr 2008 gilt folgende Rechnung¹²⁴: (siehe Tabelle 16)

Tabelle 16: Energetischer Endverbrauch elektrischer Energie 2008 und CO₂-Emissionen

| | TWh | CO ₂ Emissionen [in mio t] | Anmerkung |
|-------------------------------------|----------------|---------------------------------------|--|
| österr.Bruttostromerzeugung | = 64,37 | = 9,98 | 155g CO₂/kWh |
| - Eigenverbrauch | - 1,40 | | |
| = Nettostromerzeugung | = 62,97 | | |
| + Importe | +19,80 | + 8,55 | Plus: 432g CO ₂ /kWh (UCTE-Mix) |
| - Exporte | - 14,93 | - 2,31 | Minus: 155g/kWh |
| = Inlandsstromaufkommen | = 67,83 | | |
| - Transportverluste | - 3,45 | | |
| = Inlandsstromverbrauch | = 64,38 | | |
| - Umwandlungseinsatz | - 0 | | |
| - Verbrauch des Sektors Energie | - 5,66 | | |
| = energetischer Endverbrauch | = 58,72 | = 16,21 | |

Quelle:
vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.36
vgl. HP: OeMAG, 2011
vgl. HP: Energie Control, UCTE, 2011
eigene Berechnungen

Daraus ergaben sich für das Jahr 2008 CO₂-Emissionen in der Höhe von durchschnittlich 276 g pro kWh energetischen Endverbrauches in Österreich, wobei nach Abzug der Exporte 71 Prozent

¹²² vgl. HP: Energie Control, UCTE, 2011

¹²³ vgl. Klell et al., 2009, S.7

¹²⁴ Daten des UCTE-Mix stammen aus 2009

aus österreichischer Stromerzeugung stammen. Die restlichen 29 Prozent wurden importiert und entsprechend des UCTE-Mix berechnet. Würde der energetische Endverbrauch rein aus österreichischer Erzeugung stammen, betrügen die THG-Emissionen 184 g pro kWh. Bei ausschließlichem Bezug der Endenergie im UCTE-Mix, betrügen die THG-Emissionen 499 g pro kWh energetischen Endverbrauchs.

Energieversorgung im Schienenverkehr

Für die Betrachtung der Energieversorgung im Schienenverkehr wird jene der österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) herangezogen. Energielieferant des gesamten ÖBB-Konzerns ist der Kraftwerksbereich der ÖBB-Infrastruktur AG. 30 Prozent (699 GWh)¹²⁵ des Jahresbedarfs aller Bahnstromverbraucher wird in zehn Wasserkraftwerken durch Eigenproduktion hergestellt, 25 Prozent werden von Partnerkraftwerken und 45 Prozent aus dem öffentlichen Netz erworben¹²⁶, wobei insgesamt 93 Prozent des Bahnstrombedarfs aus erneuerbarer Primärenergie – hauptsächlich Wasserkraft – stammen.¹²⁷ Die Energieaufbringung für Elektro-Traktion betrug für 2006 etwa 1810 GWh.¹²⁸ Allerdings erfolgt die Energieversorgung der Schienenfahrzeuge nicht ausschließlich mittels elektrischer Energie. 2010 waren von insgesamt 5146 km Betriebslänge der ÖBB 32,5 Prozent nicht elektrifiziert.¹²⁹ Die Energieaufbringung für Diesel-Traktion betrug für das Jahr 2006 49 Mio. Liter Diesel (entspricht: 484 GWh an energetischem Endverbrauch), wovon 27,5 Mio. Liter Diesel (entspricht: 272 GWh an energetischem Endverbrauch) auf den Personenverkehr entfielen.¹³⁰ Für den Personentransport auf der Schiene insgesamt wurden im Jahr 2010 14,7 g CO₂-Emissionen pro Personenkilometer angegeben.¹³¹ Die Schadstoffemissionen pro kWh eingesetzter Endenergie (bei Elektro-Traktion) sowie pro Liter Dieselmotorkraftstoff (bei Diesel-Traktion) sind im Anhang ausgewiesen.

Energieeffizienz und THG-Emissionen verschiedener Kraftwerke

Über den Lebenszyklus der Kraftwerke gerechnet fallen Schadstoffemissionen bei ausnahmslos allen Kraftwerktypen an. Ein Beitrag der Ruhr-Universität Bochum in der Zeitschrift „BWK Das Energie-Fachmagazin“, unter dem Titel „CO₂-Emissionen der Stromerzeugung“ vergleicht Ergebnisse verschiedener Studien zu Energieeffizienz und Treibhausgas-Emissionen (THG) von Kraftwerken mit Standort in Deutschland. Folgende Werte werden daraus übernommen: (siehe Tabelle 17). Die Werte aus Tabelle 17 sollen helfen, bei künftigen Planungen Veränderungen des Treibhausgas-Ausstoßes bei unterschiedlichen Zusammensetzungen des Kraftwerkparks einzuschätzen.

¹²⁵ vgl. ÖBB, ZDF, 2011

¹²⁶ vgl. HP: ÖBB-IS, 2011

¹²⁷ vgl. ÖBB, GB, 2011, S.19

¹²⁸ vgl. Cecil L., o.J., S.3

¹²⁹ vgl. ÖBB, ZDF, 2011

¹³⁰ vgl. Cecil L., o.J., S.3f

¹³¹ vgl. ÖBB, NB, 2011, S.10

Tabelle 17: Wirkungsgrad und THG-Emissionen verschiedener Techniken der Stromerzeugung

| Stromerzeugung aus: | Wirkungsgrad (Kraftwerk) | CO ₂ -Äquivalente in g/kWh | Anmerkungen |
|---------------------|--------------------------|---------------------------------------|---|
| Braunkohle | 40 bis 43 % | 970 bis 1070 | |
| Steinkohle | 43 % | 900 bis 950 | |
| Erdgas | 50 bis 58 % | 400 bis 530 | Abh. von Kraftwerkstyp und Transportentfernung des Erdgases |
| Photovoltaik | 12 bis 14 % | 50 bis 60 | Dachflächen in Mitteleuropa Emissionen v.a. bei Fertigung der Solarmodule |
| Windenergie | k.A. | 30 bis 45 | Onshore Emissionen v.a. bei Bau der Anlage |
| Wasserkraft | 90 bis 96 % | 10 bis 20 | Anlagen mit 0,3 bis 3 MW Emissionen v.a. bei Bau der Anlage |
| Biomasse | k.A. | -580 bis 160 | Je nach Berechnungsart und Nutzungsvariante* |
| Kernenergie | 33 % | 10 bis 30 | Ohne Endlagerung |

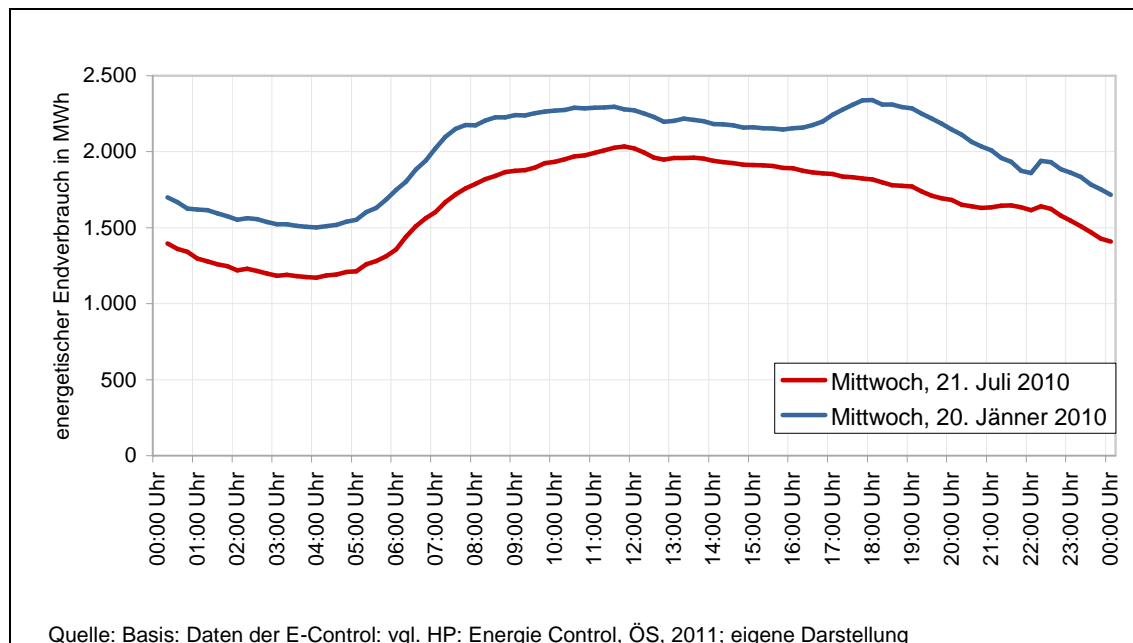
* Emissionsgutschriften bei Kraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung oder wenn Biomasse vergoren und energetisch genutzt wird anstatt sie verrotten zu lassen. Beim Verrotten entsteht eine höhere Menge THG

Quelle: vgl. Wagner et al., 2007, S.44f

Zeitliche Verteilung des elektrischen Endenergiebedarfs

Um die Auswirkungen elektrisch unterstützt angetriebener Fahrzeuge auf die Elektrizitätswirtschaft zu analysieren, ist die zeitliche Verteilung des elektrischen Endbedarfs über den Tag zu betrachten, da die Kraftwerkskapazitäten (ohne Berücksichtigung von Energiespeichern) für die Zeitpunkte mit den höchsten Verbrauchswerten ausgelegt werden müssen. Abbildung 3 ist der typische Belastungsablauf eines Winter- sowie eines Sommertages zu entnehmen.

Abbildung 3: Belastungsablauf eines Sommer- und Wintertages



Der Belastungsablauf im Sommer ist dadurch gekennzeichnet, dass zu Mittag zwischen 11:00 und 12:00 Uhr der Stromverbrauch am höchsten ist und dann bis etwa 4:00 Uhr in der Früh sukzessive abnimmt. Insgesamt betrug der energetische Endverbrauch 2010 im Juli 4,6 TWh. Der Belastungsablauf im Winter ist von einer deutlichen Mittags- und Abendspitze gekennzeichnet. Während der Nachmittagsstunden nimmt der Stromverbrauch nur geringfügig ab. Insgesamt liegt

der energetische Endverbrauch an Strom im Winter höher als im Sommer und betrug 2010 im Jänner 5,5 TWh.¹³² Gemeinsam mit Informationen über Standzeiten privater PKW (siehe Kapitel 4.3.3) können Einschätzungen über die Auswirkungen des Einsatzes elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel auf die Tagesganglinien des Stromverbrauches vorgenommen werden.

Auch in der Stromerzeugung variiert das Angebot erneuerbarer Energien im Tages- und Jahresverlauf. Für den Ersatz fossiler Kraftwerke ist es jedoch wichtig, wie stetig erneuerbare Energiequellen Strom liefern können. Absolut stetig ist Geothermie gefolgt von der Wasserkraft. Windkraft unterliegt sowohl im Tages- als auch Jahresverlauf starken Schwankungen, jedoch sind bereits sehr genaue Vorhersagen möglich, sodass gezielt Back-up Kraftwerke zugeschaltet werden können. Photovoltaik ist am unstetigsten, da bereits vorbeiziehende Wolken die Stromerzeugung beeinträchtigen. Über große Flächen ist die Gesamt-Einspeisung ins Netz aber ebenfalls gut vorhersagbar. Im Jahresverlauf zeigen Photovoltaik und Windkraft eine gegenläufige Tendenz (mehr Wind im Winter, mehr Photovoltaik im Sommer). Dadurch sind geringere Back-up Kapazitäten notwendig als bei alleiniger Verwendung einer Energiequelle.¹³³

Künftige Stromerzeugung

Auf Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend sowie des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft wurde 2010 die Energiestrategie Österreich ausgearbeitet. Ihr Ziel ist es eine gesellschaftlich akzeptable, effiziente, umwelt- und klimaschonende Energienutzung und -bereitstellung in der Zukunft zu ermöglichen. Bis zum Jahr 2020 wird mit einer Erhöhung des Stromverbrauches von durchschnittlich 1,2 Prozent pro Jahr gerechnet, wobei der Anteil erneuerbarer Energie an der Stromaufbringung durch die zunehmende Nutzung des vorhandenen Potentials annähernd gleich bleiben soll.¹³⁴ Eng damit verbunden sind der Ausbau und die intelligente Weiterentwicklung der Netze sowie der Ausbau der Speicherkapazitäten in den Alpen. Schwerpunkte im Bereich erneuerbarer Energien sind der Ausbau der Wasserkraft und der Windkraft sowie der Biomasse und der Photovoltaik:

- Das technisch-wirtschaftliche Potential der Wasserkraft beträgt etwa 56 TWh pro Jahr, wovon rund 70 Prozent bereits genutzt sind. Jedoch sind gesetzliche Vorgaben hinsichtlich Naturschutzes, Ökologie und sonstiger öffentlicher Interessen zu berücksichtigen. Von 2008 bis 2015 wird eine realistische Ausbaugröße von 3,5 TWh angenommen.¹³⁵ Würde der geplante Ausbau von 0,5 TWh pro Jahr (2008 bis 2015) bis 2020 fortgeschrieben, stünden im Jahr 2020 weitere 2,5 TWh Strom aus Wasserkraft zur Verfügung; insgesamt also 34,2 TWh aus Laufkraftwerken.¹³⁶
- Die Erzeugungskapazitäten der Windkraft sollen bis zum Jahr 2020 durch Neubau und Repowering bestehender Standorte (indem bestehende Anlagen durch neue, leistungsfähigere Anlagen ersetzt werden) um bis zu 2,8 TWh auf 4,9 TWh gesteigert werden. Durch die unregelmäßige Energieabgabe der Windkraft sind ein weiterer Ausbau der Pumpspeicherkapazitäten sowie der Übertragungsnetze in Österreich erforderlich.¹³⁷

¹³² vgl. HP: Energie Control, ÖS, 2011

¹³³ vgl. Summhammer, 2008

¹³⁴ vgl. BM WFJ, E-STR, 2010, S.114

¹³⁵ vgl. BM WFJ, E-STR, 2010, S.79-81

¹³⁶ vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.59

¹³⁷ vgl. BM WFJ, E-STR, 2010, S.81ff

- Zur Stromerzeugung aus Biomasse und Biogas wird von 2008 bis 2015 die Errichtung von zusätzlich 600 GWh angestrebt.¹³⁸ Würde der geplante Ausbau von 86 GWh pro Jahr (2008 bis 2015) bis 2020 fortgeschrieben, stünden im Jahr 2020 weitere 429 GWh Strom aus Biomasse und Biogas zur Verfügung. Im Jahr 2008 betrug die gemeinsame Leistung der per Bescheid genehmigten¹³⁹ Biomasse-Anlagen 434 MW, jene der Biogas-Anlagen (inklusive Deponie- und Klärgas) 121 MW¹⁴⁰. Bei durchschnittlichen Volllaststunden von 6000 (Biomasse-Anlagen) bzw. 6500 (Biogas-Anlagen)¹⁴¹ ergibt sich im Jahr 2008 eine Stromerzeugung von 3393 GWh. Zusammen mit den ausgebauten Kapazitäten würden durch Biomasse und Biogas im Jahr 2020 demnach 4,4 TWh zur Verfügung stehen.
- Bei der Photovoltaik wird das größte Potential in Österreich bei der Integration in Gebäude gesehen.¹⁴² Je nach Vorhersagemodell wird für das Jahr 2020 mit einer Stromerzeugung aus Photovoltaik von 100 bis 300 GWh pro Jahr gerechnet.¹⁴³

Insgesamt soll im Jahr 2020 die Bruttostromerzeugung aus Laufkraftwerken, Windkraft, Biomasse und Biogas sowie Photovoltaik folglich knapp 44 TWh betragen. Darin sind die Kapazitäten von Pumpspeicherkraftwerken nicht einberechnet. Bei einer Erhöhung des Stromverbrauches bis 2020 um durchschnittlich 1,2 Prozent pro Jahr würde (auf Basis des Jahres 2008) das Inlandsstromaufkommen 2020 etwa 78 TWh betragen.¹⁴⁴

3.3.1.2 Erzeugung von Wasserstoff

Um Wasserstoff für mobile Verwendungen herzustellen, gibt es verschiedene Alternativen. Bei der Wasserstoff-Erzeugung aus Methan können Wirkungsgrade bis 80 Prozent erreicht werden, bei der Herstellung mittels Elektrolyse reichen die Wirkungsgrade bis zu 75 Prozent. Zusätzlich ist die Energieeffizienz der jeweiligen Stromerzeugung zu berücksichtigen. Weiters wird Energie benötigt, um den erzeugten Wasserstoff für den Transport zu verdichten oder zu verflüssigen. Die Wirkungsgrade dabei erreichen bei Verdichtung etwa 85 Prozent, bei Verflüssigung ungefähr 70 Prozent.¹⁴⁵

Bei Herstellung mittels Elektrolyse und Verdichtung des Wasserstoffs für Transport und Lagerung ist somit ein Wirkungsgrad von 64 Prozent (ohne Berücksichtigung der Stromerzeugung) erreichbar. Das bedeutet, dass für 1 kWh Energie in Form von gebrauchsfertigem Wasserstoff für Mobilitätszwecke 1,56 kWh elektrischer Endenergie eingesetzt werden müssen. Die THG-Emissionen der Wasserstoffherstellung hängen maßgeblich von der Erzeugung der hierfür eingesetzten Endenergie ab.

Der gesamte Well-to-Tank Wirkungsgrad ist aufgrund unterschiedlicher Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung nicht eindeutig festzulegen. Im Falle der Verwendung von Strom aus Wasserkraft (angenommen: 93 Prozent Wirkungsgrad der Stromerzeugung und 13,4 Prozent Verlust von Nettostromerzeugung bis Endenergie) betrüge der Well-to-Tank Wirkungsgrad für Wasserstoff 52 Prozent; bei Verwendung von Strom aus Braunkohle (angenommen: 41,5 Prozent Wirkungsgrad der Stromerzeugung und 13,4 Prozent Verlust von Nettostromerzeugung bis Endenergie) würde er bei 23 Prozent liegen.

¹³⁸ vgl. § 4 Abs. 3 ÖSG

¹³⁹ Kommentar: erlaubt keine Aussage darüber, ob diese Anlagen tatsächlich gebaut und in Betrieb sind.

¹⁴⁰ vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.60

¹⁴¹ vgl. § 10 Abs. 6 ÖSG

¹⁴² vgl. BM WFJ, E-STR, 2010, S.83

¹⁴³ vgl. BM WFJ, E-STR, 2010, S.115

¹⁴⁴ vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S. 36

¹⁴⁵ vgl. Klell et al., 2009, S.4

Die THG-Emissionen für Erzeugung und Verdichtung von Wasserstoff mit einem Energiegehalt von 1 kWh stellen sich wie folgt dar:

- Mix der österreichischen Endenergie 2008: 430g THG-Emissionen
- Endenergie aus österreichischer Erzeugung 2008: 287g THG-Emissionen
- Endenergie aus UCTE-Mix 2009: 778g THG-Emissionen
- Endenergie aus Windkraft: 66 g THG-Emissionen
- Endenergie aus Braunkohle: 1800 g THG-Emissionen¹⁴⁶

3.3.1.3 Erzeugung fossiler Kraftstoffe

Die Umwandlungs- und Transportkette vom Rohöl zum gebrauchsfertigen Kraftstoff Benzin oder Diesel im Fahrzeugtank (Well-to-Tank) erfolgt bei Wirkungsgraden bis 87 Prozent.¹⁴⁷ Bei Diesel werden CO₂-Äquivalente im Ausmaß von 0,428 kg pro Liter (43 g pro kWh), bei Benzin 0,534 kg pro Liter (58 g pro kWh) ausgestoßen.¹⁴⁸

Die inländische Erzeugung von Energie in Form von Öl betrug 2008 etwa 45,6 PJ. Es wurde Öl im Ausmaß von 624,5 PJ importiert und im Ausmaß von 101,7 PJ exportiert. Der österreichische Bruttoinlandsverbrauch von Öl betrug 562,6 PJ. Die Importabhängigkeit der österreichischen Energieversorgung im Bereich Öl (Nettoimporttangente = Quotient aus Importsaldo und Bruttoinlandsverbrauch) belief sich im Jahr 2008 daher auf knapp 93 Prozent.¹⁴⁹ Das Rohöl stammt in der Hauptsache aus Russland, Kasachstan, Nigeria und Saudi Arabien, Iran und Libyen.¹⁵⁰ 75 Prozent des energetischen Endverbrauchs von Öl in Österreich wurde für Mobilität aufgewandt.¹⁵¹ In der Raffinerie Schwechat wird das Rohöl zu verschiedenen Mineralölprodukten wie z.B. Benzin, Diesel, Petroleum und Heizöl verarbeitet.

3.3.2 Energietransport und -übertragung ins Fahrzeug

Das folgende Unterkapitel setzt sich mit den Infrastrukturen auseinander, die für die energetische Versorgung der Fahrzeuge notwendig sind. Die Gliederung erfolgt nach den Arten der im Fahrzeug verwendeten Kraftstoffe.

3.3.2.1 Transport und Übertragung elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie

Das österreichische Stromnetz ist Teil eines europaweiten Verbundnetzes aus Hoch- und Höchstspannungsleitungen zur Verteilung elektrischer Energie. Elektrische Stromnetze können Energie nicht zwischenspeichern, weshalb die Menge des eingespeisten Stromes genau der Menge des dem Netz entnommenen Stroms entsprechen muss. Der Vorteil eines Verbundnetzes liegt darin, dass Schwankungen in Verbrauch und Erzeugung einfacher ausgeglichen werden können, als dies bei isolierten nationalen Netzen möglich ist.¹⁵² *„Der Transport und die Verteilung von elektrischer Energie erfolgt mit Leitungs- und Schaltanlagen, die hierarchisch nach Spannungsebenen strukturiert sind. Höchstspannungsnetze (380 kV und 220 kV) und*

¹⁴⁶ Annahmen: 37,5 g THG-Emissionen pro erzeugter kWh aus Windkraft bzw. 1020 g THG-Emissionen pro erzeugter kWh aus Braunkohle (siehe Tabelle 17) sowie 13,4 Prozent Verlust von Nettostromerzeugung bis Endenergie (siehe Tabelle 16)

¹⁴⁷ vgl. Penth, 2002, S.108

¹⁴⁸ vgl. HP: BLAU, 2012

¹⁴⁹ vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.5,40ff

¹⁵⁰ vgl. HP: OMV, 2011

¹⁵¹ vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.47

¹⁵² vgl. HP: Wiki, EVS, 2011

Hochspannungsnetze (mehr als 36 kV bis 110 kV) dienen der Übertragung großer Mengen elektrischer Energie über längere Distanzen sowie dem internationalen Austausch. Die Weiterverteilung bis hin zum Endverbraucher erfolgt über Mittelspannungs- (mehr als 1 kV bis 36 kV) und Niederspannungsnetze (1 kV und darunter).“ [BM WFJ, E-STA, 2010, S.35]

Die beabsichtigte Steigerung des Anteils erneuerbarer Elektrizität stellt auch veränderte Ansprüche an das Stromnetz. Das begründet sich in den natürlichen Schwankungen der Stromproduktion durch erneuerbare Energien (etwa durch Windkraft- oder Photovoltaik-Anlagen) sowie in einer zunehmend dezentralen Erzeugerstruktur (z.B. durch zahlreiche kleine Photovoltaik-Anlagen auf privaten Wohnhäusern). Zum einen sind leistungsfähige Netze und Speichertechnologien gefragt, durch die Produktionsspitzen erneuerbarer Energien zwischengespeichert werden können. Dazu gehören Pumpspeicherkraftwerke und in Zukunft möglicherweise auch ans Stromnetz angeschlossene Elektrofahrzeuge. Zum anderen wird künftig ein erhöhter Bedarf an Informationsaustausch zwischen Erzeugungsanlagen, Netzbetreibern sowie Endverbraucherinnen bestehen. Dazu wird am Aufbau „intelligenter“ Netze, so genannter **Smart Grids** gearbeitet, die mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) eine effizientere Abstimmung zwischen Nutzerinnen, Erzeugern und Netzbetreibern ermöglichen sollen. Ein wichtiges Hilfsinstrument zur Realisierung des Smart Grids sind **Smart Meters**, moderne Stromzähler, die ebenfalls durch Zuhilfenahme von IKT den Verbrauch von Energie in kurzen Zeitintervallen erfassen und die Verbrauchswerte zeitnah Kundinnen sowie Netzbetreibern und Stromerzeugern zur Verfügung stellen. Durch die bessere Entscheidungsgrundlage erhofft man sich von den Nutzerinnen den bewussteren Umgang mit Energie im Sinne von reduziertem Verbrauch bzw. die zeitliche Verschiebung der Nachfrage, sodass Spitzen im Verbrauch und somit der Bedarf an (häufig emissionsstarken) Back-up Kraftwerken abgemindert werden. Auch Stromerzeugern und Netzbetreibern ermöglichen die detaillierten Verbrauchswerte eine effizientere Organisation der Energieversorgung.¹⁵³ *„Die Umsetzung von Smart-Metering ist auf EU-Ebene in der Elektrizitätsbinnenmarkt-Richtlinie geregelt. Die Richtlinie fordert, dass 80 Prozent der EndverbraucherInnen spätestens im Jahr 2020 intelligente Zähler haben.“* [BM WFJ, E-STR, 2010, S.96]

Zur Abschätzung der Wirksamkeit dieser Technologien für die Senkung des Stromverbrauches muss auch der zusätzliche Energiebedarf von Informationsübertragung und -bereitstellung einbezogen werden. Weiters sind Datenschutzaspekte zu berücksichtigen.

Übertragung elektrischer Energie ins Fahrzeug

Bei der Übertragung elektrischer Energie in Fahrzeuge gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, die sich in weiterer Folge auf die Einsatzmöglichkeiten des Fahrzeuges für die Nutzerinnen, für die Stromnetzbetreiber sowie auf Ansprüche an die Infrastruktur auswirken. Verschiedene Ladekonzepte unterscheiden sich in der Geschwindigkeit der Ladung, dem Ort der Ladung und im Ausmaß der Koordination und Kommunikation zwischen Fahrzeug und Stromnetz.

Bezüglich der Ladegeschwindigkeit gibt es drei „Tankkonzepte“:^{154 155 156}

- **Langsamladen:** 3,68 kW Ladeleistung (einphasig: 230 V, 16 A) mittels On-Board Charger

Der technische Aufwand der Einrichtung eines Anschlusses (auf privaten Stellplätzen) ist gering. Die Stromentnahme erfolgt über das Niederspannungsnetz. Mittelfristige ist keine Netzanpassung notwendig. Zur Ladung ist eine ausreichende Standzeit erforderlich.

¹⁵³ vgl. BM WFJ, E-STR, 2010, S.94f

¹⁵⁴ vgl. BM VIT, 2010, S.19

¹⁵⁵ vgl. Karner et al., 2011, S.20

¹⁵⁶ vgl. K&EF, 2010, S.27

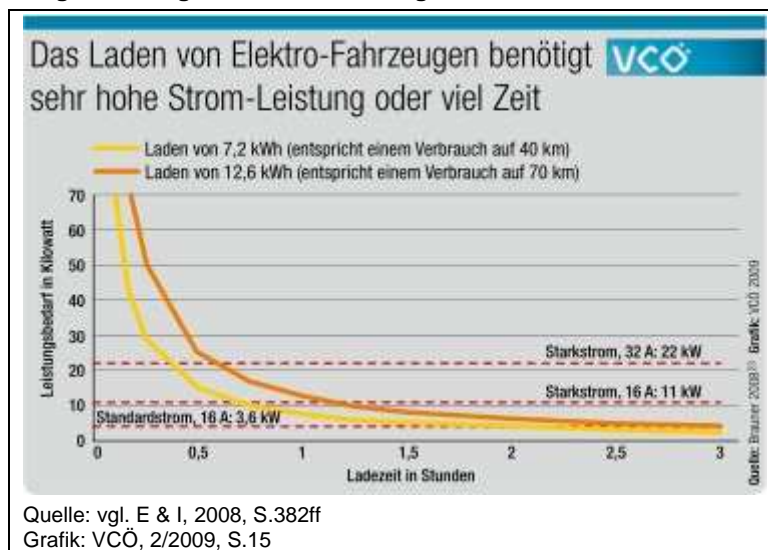
▪ **Schnellladen:** (ab 10 kW Ladeleistung)

- auf Niederspannungsebene: 11 kW Ladeleistung (dreiphasig: 3 x 230 V, 16 A) bis zu 22 kW (vom Hersteller Renault erreicht durch indirekte Nutzung der Motorwicklungen als Ladegerät)
- auf Mittelspannungsebene: über 30 kW Ladeleistung mittels Gleichspannung. Der Strom wird in der Ladestation umgewandelt.

Ein Starkstromanschluss ermöglicht hohe Ladeleistungen „jedoch nur unter der Voraussetzung, dass in einem Versorgungsgebiet gleichzeitig nur wenige andere große Stromverbraucher Energie beziehen. In Städten umfassen diese Gebiete typischerweise einige mehrgeschossige Gebäude, im ländlichen Bereich größere Teile einer Siedlung.“ [VCÖ, 2/2009, S.15] Folglich wird bei Verbreitung von Elektrofahrzeugen bzw. von Schnellladestationen eine Anpassung des Versorgungsnetzes notwendig. Die Energieeffizienz bei der Schnellladung ist geringer und die Lebensdauer der Batterie wird verkürzt.

- **Batteriewechsel:** Ein automatisierter Batterietausch dauert zwischen einer und fünf Minuten und damit in etwa gleich lang oder kürzer als ein Tankvorgang für konventionelle Verbrennungskraftmaschinen. Eine Wechselstation benötigt geringfügig mehr Fläche als eine konventionelle Tankstelle. Jedoch sind ein hoher Lagerbestand an Wechselbatterien sowie eine Ladestation mit hoher Ladekapazität erforderlich. Einheitliche Standards für Batterien und deren Befestigung im Fahrzeug sind nötig, um den automatisierten Austausch und Ladevorgang der Batterien bewerkstelligen zu können.¹⁵⁷

Abbildung 4: Ladung von Elektrofahrzeugen – Ladezeit und elektrische Spannung



In Abbildung 4 sind die Zusammenhänge von Ladedauer und Netzspannung abgebildet. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Energieversorgung von Batteriefahrzeugen für den Nahverkehr durch das bestehende Versorgungsnetz grundsätzlich bewerkstelligt werden kann. Im Fernverkehr sind Batteriefahrzeuge (auch bei Verbreitung von Schnellladestationen) nur mittels Energieversorgung durch Batterietauschstationen realistisch einsetzbar. Um diese wirtschaftlich betreiben zu können, sind ist eine entsprechend hohe Marktdurchdringung durch Batteriefahrzeuge und einheitliche Batterie-Standards bezüglich Art und Befestigung im Fahrzeug nötig.

¹⁵⁷ vgl. HP: Better Place, 2012

Grundsätzlich ist auch eine Ladung der Fahrzeuge mittels Induktion möglich. Entweder während der Standzeiten von Fahrzeugen (z.B. bei Fahrzeugen des ÖV: in Haltestellen) oder auch während der Fahrt (z.B. auf bestimmten Autobahnabschnitten). Beim PRIMOVE-System des Unternehmens Bombadier sind elektrische Versorgungskomponenten am Boden des Fahrzeugs und im Boden unter den Gleisen bzw. der Fahrbahn verbaut. Die Energie wird berührungsfrei vom Schienenstrang bzw. der Straße zum Fahrzeug übertragen. Die Technik wird derzeit in Straßenbahnen und Bussen in Augsburg (Deutschland) und Lommel (Belgien) getestet. Für Straßenbahnen bedeutet der Wegfall von Oberleitungen geringere Beeinträchtigungen des Stadtbildes. Die Oberfläche über den Versorgungskomponenten ist von anderen Verkehrsteilnehmerinnen normal benutzbar. Für Elektro-Straßenfahrzeuge könnte durch Ladung per Induktion, während der Fahrt bzw. bei kurzen Standzeiten (an Haltestellen, Ampeln etc.) die Reichweite der Fahrzeuge erhöht werden. Für Nutzerinnen fällt außerdem das Hantieren mit Kabeln und Steckern weg.¹⁵⁸ Derzeit ist die berührungslose Übertragung von Energie jedoch noch mit größeren Verlusten behaftet als die Übertragung per Kabel.¹⁵⁹

Je nach Ort der Ladung stellen sich unterschiedliche Ansprüche an die Infrastruktur:

- Bei Ladung eines Fahrzeuges auf dem **privaten Stellplatz am Wohnort** (bzw. für die Ladung von herausnehmbaren Akkumulatoren von Pedelecs und Kleinkrafträdern) sind die infrastrukturellen Ansprüche am Geringsten. Die Standzeiten speziell über Nacht erstrecken sich typischerweise über mehrere Stunden, sodass ein Anschluss zur Langsamladung in den meisten Fällen ausreicht. *„Gemäß IEC 61851 „Ladebetriebsart 1“ ist das Laden zu Hause ein- und dreiphasig erlaubt. Dies erfordert einen handelsüblichen Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter, RCD) und eine Überstrom-Schutzeinrichtung auf der Netzseite. Bei einer Absicherung mit einer 16 A-Sicherung ergibt das eine maximale Ladeleistung von 3,7 kW (einphasig) bzw. 11 kW (dreiphasig, Stern).“* [K&EF, 2010, S.26] Ein Abrechnungssystem bzw. Koordination mit dem Netzbetreiber sind dabei in der Einführungsphase nicht unbedingt notwendig. Ab einer Verbreitung von Elektro-PKW in über 10 Prozent der Haushalte, ist jedoch bei nicht vorhandener zeitlicher Steuerung eine deutliche Erhöhung der Lastspitze am Abend zu erwarten.¹⁶⁰ *„Das führt sinnvollerweise auch zu einer Nutzung der Ladebetriebsarten 2-4 nach IEC 61851 und damit zur Kommunikation zwischen Ladestation und Elektrofahrzeug.“* [K&EF, 2010, S.26] Der private Stromanschluss ist für die Nutzerin jederzeit verfügbar. Die Verwendung eines Batteriefahrzeuges für den Nahverkehr ist somit für Personen mit privatem Stellplatz jederzeit ohne größeren technischen Aufwand möglich.
- Längere Standzeiten von Fahrzeugen finden üblicherweise auch am **Arbeitsort** bzw. auf dem Weg dorthin, an **Übergängen zu anderen Verkehrsmitteln** (z.B. einer Bike/Park & Ride – Anlage am Bahnhof) statt. An diesen Orten können (bei Vorhandensein eines zentralen Parkplatzes) Lademöglichkeiten inklusive eines Abrechnungssystems in konzentrierter Form geschaffen werden. Durch die typischerweise mehrstündigen Standzeiten würde auch hier die Langsamladung dominieren.
- Für Nutzerinnen von Batteriefahrzeugen, die auf die Benutzung öffentlicher Stellplätze angewiesen sind, gestaltet sich die Schaffung von Lademöglichkeiten schwieriger. Dasselbe gilt für Fahrzeuge, deren Tageskilometerleistung mit einer Batterieladung nicht abgedeckt werden kann. Für diese Gruppen scheinen vor allem Ladeinfrastrukturen geeignet, die eine kurze Ladezeit erlauben bzw. (nach weiterem technologischen

¹⁵⁸ vgl. HP: Bombadier, 2012

¹⁵⁹ vgl. Helms et al., 2011, S. 22

¹⁶⁰ vgl. K&EF, 2010, S.26

Fortschritt) die Ladung durch Induktion während der Fahrt oder im öffentlichen Verkehr in Haltestellen oder an Taxistandplätzen. Bei Ladung im Stand sind Orte zu favorisieren, an denen die (Schnell-)Ladezeit (von etwa einer halben Stunde) anderweitig genutzt werden kann, beispielsweise an **öffentlichen Verwaltungs-, Konsum- oder Freizeiteinrichtungen**. Auch hier sind entsprechende Abrechnungssysteme vorzusehen.

- **Entlang wichtiger Verkehrskorridore** wird der Schwerpunkt auf Schnelllade- und Batterietauschstationen liegen. Nach weiterem technologischem Fortschritt könnte hier auch Induktion während der Fahrt eingesetzt werden.
- Grundsätzlich gibt es noch die Möglichkeit von **im öffentlichen Raum verteilten Ladestationen**, jedoch ist hierbei eine hohe Dichte notwendig, um die Energieversorgung der Fahrzeuge dort zu gewährleisten, wo sie benötigt wird (insbesondere bei Langsamladung). In der Einführungsphase, bei geringer Anzahl von Elektrofahrzeugen, wären solche Stellplätze schlecht ausgelastet und öffentlicher Raum bliebe ungenutzt. Andererseits sind diese Ladestationen *„wichtig, um Elektromobilität sichtbar zu machen und um den Fahrern eines Elektroautos das sichere Gefühl zu geben, dass es eine ausreichende Infrastruktur gibt.“* [K&EF, 2010, S.27]

Bezüglich des Ausmaßes der Koordination und Kommunikation zwischen Fahrzeug und Stromnetz gibt es – wie Abbildung 5 zu entnehmen – drei Möglichkeiten:

- Das Elektrofahrzeug kann als einfacher Verbraucher im Netz agieren. Dabei fällt die Stromentnahme aus dem Netz zufällig nach Bedarf der Nutzerin zeitgleich mit dem Anschluss an das Stromnetz an. Die Ladung erfolgt aus Sicht des Netzbetreibers ungesteuert und kann nachteilige Auswirkungen auf Häufigkeit, Dauer und Höhe von Spitzenlasten nach sich ziehen.
- Der Ladevorgang der Batterien kann durch Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) zeitlich gezielt gesteuert werden, sodass vorzugsweise zu Schwachlastzeiten bzw. bei Überangebot erneuerbarer Energien geladen wird. Dadurch können zusätzlich erhöhte Spitzenlasten vermieden und eine bessere Auslastung vorhandener (erneuerbarer) Kraftwerkskapazitäten erreicht werden, wodurch ein effizienterer Netzbetrieb insgesamt möglich ist.
- Die höchste Integration von Batterien ins Stromnetz wird beim Konzept „Vehicle to grid“ angedacht. Die Nutzerinnen würden bei den üblichen Tageskilometerleistungen selten die vollständige Kapazität der Batterie nutzen, sodass ein definierter Prozentsatz der Speicherkapazität als Ausgleichsspeicher (ähnlich Pumpspeicherkraftwerken) im Stromnetz zur Verfügung steht. Dieser würde zu Zeiten hohen Stromangebots geladen und bei hoher Stromnachfrage entladen. Auch Preisdifferenzen zu verschiedenen Zeiten könnten so genutzt werden.¹⁶¹

¹⁶¹ vgl. Karner et al., 2011, S.18f

Abbildung 5: Elektromobilität aus Sicht des Energieversorgungssystems

| Elektroauto als ... | Zeitpunkt der Akkuladung | Auswirkungen/Potenziale |
|---|---|---|
| 1. einfacher Verbraucher  | stochastisch/nach Bedarf des Nutzers | 1. Zusätzlicher Strombedarf/-absatz 2. Veränderung des Lastprofils |
| 2. steuerbare Last  | bei Schwachlast/ Überangebot von erneuerbaren Energien | 1. effizienter Netzbetrieb („Speicher“) 2. Integration erneuerbarer Energien |
| 3. Energiespeicher  | Ladung/Entladung ähnlich Pumpspeicherkraftwerken | 1. Nutzung von Strompreisdifferenzen 2. Systemdienstleistungen |

Quelle: HP: Süß, 2009

Auf Initiative von Eurosolar Austria ist unter www.elektrotankstellen.net ein Verzeichnis mit knapp 3200 registrierten österreichischen Elektrotankstellen (Stand: 9.1.2012) abrufbar. Die meisten davon sind normale Haushaltssteckdosen, die von Gemeinden, Betrieben und privaten Haushalten angeboten werden, viele davon nur nach telefonischer Voranmeldung. Trotz der hohen Anzahl angebotener Anschlüsse, braucht es bei weiterer Verbreitung von Elektrofahrzeugen ein flächendeckendes, öffentlich zugängliches Tankstellennetz, mit einheitlichen Standards zu Sicherheit, Zugang und Abrechnung.

Es gibt jedoch Initiativen verschiedener österreichischer Regionen, den Ausbau einer professionellen Ladeinfrastruktur voranzutreiben. „Der Zugang zu den VLOTTE-Stromstellen erfolgt über das sogenannte Park&Charge-System. Die Jahresvignette und ein Zugangsschlüssel ermöglichen den VLOTTE-Kunden die kostenlose Lademöglichkeit ihrer Fahrzeuge in Vorarlberg, Deutschland, der Schweiz und Liechtenstein.“ [HP: Vlotte, 2012] In Vorarlberg gibt es 85 Ladestationen dieses Systems.¹⁶² Alle öffentlichen Stromstellen werden mit Vorarlberger Ökostrom gespeist.^{163 164}

Im Bundesland Salzburg gibt es derzeit 34 Ladestationen für PKW und 108 Ladestationen für Pedelecs, die mit der Kundenkarte DriveCard genutzt werden können. Weiters enthalten die Säulen ein Display mit Infos, beispielsweise zu Anschlussmöglichkeiten von öffentlichen Verkehrsmitteln. Die Stromversorgung erfolgt aus erneuerbaren Quellen.¹⁶⁵

3.3.2.2 Transport und Übertragung von Wasserstoff

Die niedrige Dichte von Wasserstoff führt zu hohem Aufwand und Energiebedarf bei der Verteilung von Wasserstoff. Transportmöglichkeiten sind: Wasserstoffgasnetze oder die Verflüssigung von Wasserstoff für die Verteilung per Tankwagen. Für Wasserstoffgasnetze muss die entsprechende Infrastruktur errichtet werden. Weiters fallen im Betrieb Pumpkosten an. Die Verflüssigung von Wasserstoff (bei -253°C) benötigt viel Energie und ist deswegen wesentlich teurer. Zum Vergleich: für Wasserstoffgasnetze wird mit Kosten von 4,3 US-Dollar pro MWh Wasserstoff gerechnet. Für die Verteilung des Wasserstoffes nach vorheriger Verflüssigung werden Kosten in der Höhe von 25 bis 36 US-Dollar pro MWh Wasserstoff geschätzt.¹⁶⁶ Bei Verwendung im gasförmigen Zustand wird

¹⁶² vgl. HP: LEMnet, 2012

¹⁶³ vgl. HP: Vlotte, 2012

¹⁶⁴ Im Rahmen des Projekts VLOTTE des Vorarlberger Energiedienstleisters illwerke vkw, wurde Vorarlberg ab 2008 zur Modellregion für Elektromobilität.

¹⁶⁵ vgl. HP: ElectroDrive, 2012

¹⁶⁶ vgl. Gut et al., 2007, S.8

der Wasserstoff bereits im Rahmen des Tankvorganges auf 350 bis 800 bar komprimiert übertragen und in entsprechenden Tanks im Fahrzeug gespeichert. Zusammengefasst befinden sich Technologien zur Wasserstoffspeicherung bzw. -verteilung noch in Entwicklung, weshalb eine flächendeckende Versorgung mit Wasserstofftankstellen derzeit nicht wirtschaftlich zu bewerkstelligen ist. Eine zentrale Bereitstellung von Wasserstoff für Fahrzeuge, die in begrenztem Radius eingesetzt werden oder die Errichtung von Wasserstofftankstellen an wichtigen Verkehrsachsen ist jedoch denkbar. Ein Beispiel aus der Praxis hierfür ist die Versorgung von Bussen des Regionalverkehrs Köln, wo Wasserstoff als „Koppelprodukt“ in der örtlichen Chemieindustrie anfällt.¹⁶⁷

3.3.2.3 Transport und Übertragung fossiler Kraftstoffe

Ölimporte nach Österreich gelangen (fast ausschließlich) über die Transalpine Ölleitung ins Land, die ihren Ausgang im Hafen von Triest nimmt. Bis dorthin gelangt das Rohöl über Tankschiffe aus den Herkunftsländern. In Kärnten zweigt die Adria-Wien-Pipeline zur Raffinerie Schwechat ab. Über diese erfolgt der gesamte Rohölimport Österreichs. Die Adria-Wien-Pipeline hatte 2008 einen Durchsatz von 7,9 Mio. t. Im Jahr 2010 gab es in Österreich 2656 Tankstellen.¹⁶⁸ Die Übertragung des Treibstoffes ins Fahrzeug erfordert wenige Minuten. Die Bezahlung erfolgt einheitlich mittels Bargeld, Bank- oder Kreditkarte.

3.3.3 Energiebedarf im Fahrzeug

Von der Technologie der Elektrofahrzeuge erhofft man sich höhere Energieeffizienz und damit geringeren Energiebedarf der Fahrzeuge im Betrieb. Das vorliegende Kapitel setzt sich damit auseinander, wie effizient verschiedene Antriebskonzepte die im Tank bzw. der Batterie gespeicherte Energie nutzen, d.h. wie viel der gespeicherten Energie bei den Antriebsrädern ankommt. Dies wird durch den Tank-to-Wheel Wirkungsgrad ausgedrückt (Verhältnis Nutzenergiebedarf der Bewegung zu Endenergiebedarf der Bewegung). Außerdem werden Faktoren besprochen, die den Nutzenergiebedarf der Fahrzeuge unabhängig vom Antriebskonzept beeinflussen.

3.3.3.1 Tank-to-Wheel Wirkungsgrad

Im Fahrzeug entstehen Verluste im Energiespeicher durch Umwandlung sowie durch Getriebe und Zusatzaggregate. Diese Verluste bewirken eine Verminderung des Wirkungsgrades des Energieeinsatzes im Fahrzeug.¹⁶⁹ Ein Wirkungsgrad von 100 Prozent würde erreicht, wenn der Endenergiebedarf dem Nutzenergiebedarf der Bewegung entspräche.¹⁷⁰

- Im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) beträgt der Tank-to-Wheel Wirkungsgrad für Benzinfahrzeuge typischerweise 19 Prozent (optimal: 20 Prozent), für Dieselfahrzeuge 22 Prozent (optimal: 30 Prozent).¹⁷¹
- In einem Batteriefahrzeug wird von einem Gesamtwirkungsgrad von der Übertragung elektrischer Energie z.B. aus der Steckdose bis zum mechanischen Vortrieb von etwa 77 Prozent ausgegangen.¹⁷²

¹⁶⁷ vgl. HP: Schliffke, 2011

¹⁶⁸ vgl. HP: WKÖ, 2012

¹⁶⁹ vgl. Cerwenka et al., VSP, 2007, S.10

¹⁷⁰ Kommentar: ohne Berücksichtigung zusätzlicher Verbraucher wie Klimaanlage, Autoradio etc.

¹⁷¹ vgl. Klell et al., 2009, S.11

¹⁷² vgl. Helms et al., 2011, S.30

- Brennstoffzellen-Fahrzeuge: Die Brennstoffzelle selbst hat (bei der Umwandlung von Wasserstoff in elektrischen Strom) einen Wirkungsgrad von ca. 60 Prozent. Die verschiedenen Zusatzaggregate wie Ventilatoren, Verdichter, Ventile etc. sowie Elektromotor und Getriebe haben zusammen einen Wirkungsgrad von etwa 65 Prozent. Der Tank-to-Wheel Wirkungsgrad beträgt insgesamt folglich ca. 40 Prozent.¹⁷³

3.3.3.2 Nutzenergiebedarf der Bewegung

Der Nutzenergiebedarf der Bewegung hängt ab von: Rollwiderstand, Luftwiderstand, Beschleunigungs- und Steigungswiderstand.¹⁷⁴

- Der **Rollwiderstand** ist vom Gewicht des Fahrzeuges und vom Rollwiderstandskoeffizienten abhängig. Bei horizontaler Bewegung ist der Rollwiderstand direkt proportional zur Gewichtskraft (d.h. doppeltes Gewicht führt zu doppeltem Rollwiderstand). Der Rollwiderstandskoeffizient ist eine dimensionslose Größe und hängt von den Materialeigenschaften von Rad und Untergrund ab, sowie von der Geometrie des abrollenden Körpers (je größer der Radius, desto geringer die Reibung). Typische Rollwiderstandskoeffizienten sind beispielsweise: 0,001 bis 0,002 (Stahlrad auf Schiene), 0,013 bis 0,015 (PKW-Reifen auf Asphalt) oder 0,006 bis 0,010 (LKW-Reifen auf Asphalt).¹⁷⁵
- Der **Steigungswiderstand** hängt von Gewicht des Fahrzeuges und dem Neigungswinkel der Straße ab. Der **Beschleunigungswiderstand** leitet sich aus dem 2. Newton'schen Grundgesetz ab: $Kraft = Masse \cdot Beschleunigung$
- Der **Luftwiderstand** ist neben der Dichte der Luft, vom Strömungswiderstandskoeffizienten (cw-Wert), der Querschnittsfläche des Fahrzeuges sowie von der Geschwindigkeit der anströmenden Luft abhängig. Der Strömungswiderstandskoeffizient ist durch die Form des Fahrzeuges bedingt. Typische cw-Werte liegen bei 0,57 (Motorrad verkleidet), 0,39 (Mercedes M-Klasse), 0,325 (VW Golf V), 0,26 (Toyota Prius). Die Querschnittsfläche hängt stark mit der Fahrzeuggröße zusammen. Typische Werte sind 0,79 m² (Motorrad verkleidet), 1 m² (City EI), 1,8 m² (Kleinwagen), 2 m² (Mittelklasse)^{176 177}. Die Geschwindigkeit der anströmenden Luft entspricht bei Windstille der Geschwindigkeit des Fahrzeuges. Der Luftwiderstand steigt mit dem Quadrat der Geschwindigkeit.¹⁷⁸

Obige Zusammenhänge zeigen, dass der Nutzenergiebedarf der Bewegung durch geringeres Fahrzeuggewicht und -größe sowie durch reduzierte Geschwindigkeit stark gesenkt werden kann.

¹⁷³ vgl. Penth, 2002, S.107ff

¹⁷⁴ vgl. HP: Sewart, 2012

¹⁷⁵ vgl. HP: Elweb-roll, 2012

¹⁷⁶ vgl. HP: Elweb-cw, 2012

¹⁷⁷ vgl. HP: Huppertz, 2012

¹⁷⁸ vgl. HP: Elweb-cw, 2012

3.3.4 Überblick über Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen der vorgestellten Antriebskonzepte

An dieser Stelle sind kurz die Annahmen über Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen aus den vorangegangenen Kapiteln zusammengefasst. Tabelle 18 stellt Wirkungsgrad und THG-Emissionen differenziert nach Well-to-Tank und Tank-to-Wheel sowie – wo möglich – Well-to-Wheel dar. Dabei wird unterschieden nach Antriebskonzept und Strommix.

Tabelle 18: Wirkungsgrade und Treibhausgasemissionen von Energiebereitstellung und Umsatz bei unterschiedlichen Antriebskonzepten

| | Energiebereitstellung (WTT) | | Umsatz im Fahrzeug (TTW) | | THG-Emissionen (WTW) | |
|---|---|-------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--|-------------------------|
| | WTT- η | WTT- THG _{EE} | TTW- η | TTW-THG _{EE} | WTW- η | WTW-THG _{NE} |
| Verbrennungskraftmaschinen – Energiebereitstellung durch: Benzin und Diesel | | | | | | |
| Benzin | 87 % | 524 g je Liter 58 g je kWh | 19 % | 2330 g je Liter 259 g je kWh | 16,5 % | 1668g je kWh |
| Diesel | 87 % | 428 g je Liter 43 g je kWh | 22 % | 2630 g je Liter 266 g je kWh | 19 % | 1405g je kWh |
| Brennstoffzellen-Fahrzeug – Energiebereitstellung durch: Wasserstoff (im Fahrzeug), Elektrizität (elektrische Endenergie zur Wasserstoffherzeugung) | | | | | | |
| Wasserstoff mit Ö-Stromerzeugung | | 287 g je kWh | 40 % | keine | 25,6 % | 717 g je kWh |
| Wasserstoff mit UCTE-Strommix | 64% plus η von Stromerzeugung und -übertragung | 778 g je kWh | 40 % | keine | plus η von Stromerz und -übertrag | 1945g je kWh |
| Wasserstoff mit Ö-Strommix 2008 | | 430 g je kWh | 40 % | keine | | 1075g je kWh |
| Wasserstoff mit Strom aus Windkraft | | 66 g je kWh | 40 % | keine | | 165 g je kWh |
| Wasserstoff mit Strom aus Braunkohle | 23 % | 1800 g je kWh | 40 % | keine | 9,2 % | 4500g je kWh |
| Wasserstoff mit Strom aus Wasserkraft | 51,5 % | 29 g je kWh | 40 % | keine | 20,6 % | 73 g je kWh |
| Batteriefahrzeuge - Energiebereitstellung durch: Elektrizität | | | | | | |
| Endenergie Ö-Stromerzeugung | 86,6 % plus Wirkungsgrad der Stromerzeugung | 184 g je kWh | 77 % | keine | 66,7 % plus η der Stromerzeugung | 239 g je kWh |
| Endenergie UCTE-Mix | | 499 g je kWh | 77 % | keine | | 648 g je kWh |
| Endenergie Ö-Mix 2008 | | 276 g je kWh | 77 % | keine | | 358 g je kWh |
| Endenergie Braunkohle | 35,9 % | 1178 g je kWh | 77 % | keine | 27,6 % | 1530g je kWh |
| Endenergie Wasserkraft | 80,5 % | 17 g je kWh | 77 % | keine | 62 % | 22 g je kWh |
| Stromleitungsgebundene Fahrzeuge – Energiebereitstellung durch: Elektrizität | | | | | | |
| Endenergie ÖBB-Strommix | 78 % | 112 g je kWh | k.A. | keine | k.A. | 112 g/kWh _{EE} |
| Hybridfahrzeuge - Energiebereitstellung durch: Benzin, Diesel, Strom (bei Plug-in-Hybriden) | | | | | | |
| Wirkungsgrade und Treibhausgasemissionen von Benzin, Diesel sowie elektrischer Energie sind oben genannt. Der Umsatz im Fahrzeug hängt im Wesentlichen vom Ausmaß der Elektrifizierung und den Einsatzgebieten des Fahrzeuges ab und kann daher nicht pauschal beantwortet werden. | | | | | | |
| η ...Wirkungsgrad THG _{EE} ...Treibhausgas-Emissionen in g CO ₂ -Äquivalenten je Liter bzw. je kWh Endenergie THG _{NE} ...Treibhausgas-Emissionen in g CO ₂ -Äquivalenten je kWh Nutzenergie WTT...Well-to-Tank TTW...Tank-to-Wheel WTW...Well-to-Wheel | | | | | | |
| Quellen: Die hier präsentierten Zahlen sind eine Zusammenstellung aus dem vorangegangenen Kapitel 3.3. Die entsprechenden Quellenangaben sind dort zu finden. | | | | | | |

Letztlich ist der Endenergiebedarf der Bewegung von einzelnen Personen relevant, der sich aus Nutzenergiebedarf der Bewegung, Tank-to-Wheel-Wirkungsgrad und der Auslastung des

Verkehrsmittels ergibt. Anmerkung: Die Autorin ist sich bewusst, dass das Gewicht von zusätzlich beförderten Personen (durchschnittlich: 80 kg pro Person) einen steigenden Nutzenergiebedarf des Fahrzeuges bewirkt. 2010 betrug das durchschnittliche Leergewicht von Personenwagen in der Schweiz 1460 kg.¹⁷⁹ Die zusätzliche Masse pro beförderte Person beträgt somit etwa 5,5 Prozent des Fahrzeug-Leergewichtes von PKW. In Folge wird in vorliegender Arbeit der Energiebedarf durch zusätzliche Passagiere nicht in den Berechnungen berücksichtigt. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden Energiebedarfswerte, wie in Anhang 1 zusammengefasst, verwendet.

3.4 Analyse der Eigenschaften von Elektromobilität

An dieser Stelle sollen grundlegende Wirkungen der Technologie elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel analysiert werden. Auswirkungen des Gesamt-Verkehrssystems bei Integration elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel werden in Kapitel 7 der Arbeit diskutiert. Zunächst wird ein Blick darauf geworfen, in welchen Wirkungsbereichen des Verkehrs grundsätzlich Änderungen durch den Einsatz von Elektromobilität zu erwarten sind. Wie Abbildung 6 zu entnehmen, sind v.a. im Fahrzeugbetrieb Vorteile bezüglich Schadstoff- und Lärmemissionen durch Elektrofahrzeugen zu erreichen. Keine signifikanten Verbesserungen im Betrieb sind hingegen auf Stadt- und Landschaftsbild, Kleinklimaveränderungen, Trennwirkung und Flächeninanspruchnahme sowie optische Reize zu erwarten. Vieles ist jedoch von den Rahmenbedingungen abhängig. Die entscheidende Rolle bezüglich nahezu aller Beurteilungsaspekte spielt die Art der Energieerzeugung.

Abbildung 6: Einfluss von elektrisch unterstützt angetriebenen Antriebstechnologien auf Wirkungsfelder des Verkehrs

| Wirkungen | Antriebstechnologien | | | | | | | |
|--|---|-----|-----------|-----|--------|-----|-------------|-----|
| | Batteriefz. | | Hybridfz. | | BZ-Fz. | | SL-geb. Fz. | |
| | TTW | WTT | TTW | WTT | TTW | WTT | TTW | WTT |
| Veränderungen des Stadt- und Landschaftsbildes | | | | | | | | |
| Kleinklimaveränderung | | | | | | | | |
| Trennwirkung | | | | | | | | |
| Flächeninanspruchnahme | | | | | | | | |
| Lärm und Erschütterungen | | | | | | | | |
| optische Reize (Lichtverschmutzung) | | | | | | | | |
| Verkehrssicherheit | | | | | | | | |
| Energiebedarf | | | | | | | | |
| Schadstoffemissionen: | | | | | | | | |
| Kohlenmonoxid (CO) | | | | | | | | |
| Kohlenwasserstoffe (HC) | | | | | | | | |
| Stickoxide (NOx) | | | | | | | | |
| Schwefeldioxid (SO2) | | | | | | | | |
| Partikel /Feinstaub /PM10 | | | | | | | | |
| Benzol | | | | | | | | |
| Ozon | | | | | | | | |
| Treibhausgase (CO2, CH4, N2O, NH3) | | | | | | | | |
| gegenüber Verbrennungsfahrzeugen ergeben sich: | Abkürzungen: | | | | | | | |
| Vorteile | TTW Fahrzeug-Betrieb (Tank-to-Wheel) | | | | | | | |
| Nachteile | WTT Energiebereitstellung (Well-to-Tank) | | | | | | | |
| kein Unterschied | SL-geb. Fahrzeug stromleitungsgebundenes Fahrzeug | | | | | | | |
| ist von Rahmenbedingungen abhängig | BZ-Fahrzeug Brennstoffzellenfahrzeug | | | | | | | |

Quelle: eigene Darstellung

Die Analyse der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken erfolgt vor dem Hintergrund der, im vorherigen Kapitel 2, definierten Ziele und Indikatoren für die Themenfelder Energie, Mobilität und Lebensraum.

¹⁷⁹ vgl. HP: BAE, 2011

3.4.1 Energie

Stärken

Die höhere Energieeffizienz von Elektromotoren gegenüber Verbrennungsmotoren schlägt sich im höheren Tank-to-Wheel Wirkungsgrad nieder, wobei der TTW-Wirkungsgrad bei Brennstoffzellen-Fahrzeugen etwa doppelt so hoch und jener von Batteriefahrzeugen knapp vier mal höher liegt als typische Wirkungsgrade von konventionellen PKW. Ähnliches gilt für teilelektrifizierte Hybridfahrzeuge, bei denen aufgrund des Elektromotors insbesondere im Teillastbereich eine Steigerung ihrer Wirkungsgrade erreicht wird. Infolge liegt der Endenergiebedarf pro 100 Kilometer von elektrisch unterstützt angetriebenen Fahrzeuge niedriger als jener vergleichbarer Verbrennungskraftmaschinen. Weitere Vorteile im Verbrauch sind bei Elektrofahrzeugen mit Möglichkeit zur Rekuperation zu erreichen – insbesondere bei Fahrprofilen mit häufigen Beschleunigungs- und Bremsvorgängen, wie sie etwa im Stadtverkehr typisch sind.

Die in den Fahrzeugen eingesetzte elektrische Energie – bzw. bei Brennstoffzellen-Fahrzeugen, die Energie, die für die Herstellung des Treibstoffes benötigt wird – wird durch Kraftwerke verschiedener Art gewonnen, wodurch die starke Abhängigkeit des Verkehrs von einem einzigen Rohstoff reduziert und der Anteil erneuerbarer Energieträger an der im Verkehr eingesetzten Energie sowie am Bruttoendenergieverbrauch erhöht werden kann. Die Versorgungssicherheit für Energie im Verkehrssektor wird dadurch gesteigert.

Schwächen

Für die Herstellung von Akkumulatoren werden große Energiemengen benötigt und entsprechende Schadstoffemissionen verursacht. Mit steigender Kilometerleistung des Fahrzeuges werden diese durch den geringeren Energiebedarf im Betrieb kompensiert. Wann dieser Punkt erreicht ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab, mehr dazu in Kapitel 7.1 Im Vergleich zu den Treibstoffen Benzin und Diesel, weisen Akkumulatoren eine bedeutend geringere Energiedichte auf. Daraus resultieren größerer Platzverbrauch und Gewicht für Akkumulatoren im Fahrzeug. Das zusätzliche Gewicht wirkt sich wiederum negativ auf den Nutzenergiebedarf der Fahrzeuge im Betrieb aus und kompensiert so einen Teil der Effizienzvorteile des Elektromotors. Wasserstoff weist in natürlicher Form ebenfalls eine geringe Dichte auf, weshalb er für den Transport verdichtet oder verflüssigt werden muss. Diese Vorgänge gehen mit gesteigertem Energiebedarf und Kosten einher. Insbesondere die Produktion von Wasserstoff ist mit Verlusten behaftet, wodurch der Well-to-Tank-Wirkungsgrad bei Wasserstoff besonders gering ist. Effizienzvorteile von Brennstoffzellenfahrzeugen gegenüber Verbrennungskraftmaschinen über die gesamte Well-to-Wheel-Kette sind nur bei Einsatz von Kraftwerken mit hoher Energieeffizienz möglich.

Chancen

Bei zeitlich gesteuerter Ladung der Fahrzeuge, können Lastspitzen der Stromnachfrage ausgeglichen werden. Daraus folgt, dass Kraftwerke gleichmäßiger und damit wirtschaftlicher gefahren werden können. Zusätzliche positive Auswirkungen auf das Stromnetz sind möglich, wenn Fahrzeug-Akkumulatoren als Stromspeicher im Stromnetz zur Verfügung stehen (Vehicle-to-Grid-Konzept) und zu Zeiten hohen Angebots von Strom aus erneuerbaren Quellen, diesen speichern um zu Spitzenzeiten elektrische Energie – bis zu einem definierten Ladestand der Fahrzeug-Batterie – ins Netz zurückzuspeisen. Dadurch würde der Bedarf an Back-up Kapazitäten in Kraftwerken reduziert. Für die Wasserstoffherzeugung ergibt sich die Chance bei hoher Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie, diese für die Produktion von Wasserstoff einzusetzen und auf diese Art zu speichern.

Risiken

Insgesamt wird die Nachfrage nach elektrischer Energie durch den Einsatz elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel gesteigert. Nimmt man an, dass der Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energiequellen unabhängig von der Verbreitung von Elektrofahrzeugen erfolgt, steigt die Menge der nachgefragten elektrischen Endenergie bei gleich bleibender Strommenge aus erneuerbaren Quellen. Der Anteil der Erneuerbaren am elektrischen Endenergiebedarf würde damit sinken.

Bei zeitlich ungesteuerter Ladung der Fahrzeuge, können Lastspitzen der Stromnachfrage weiter erhöht werden. Daraus ergibt sich ein höherer Bedarf an (meist emissionsintensiveren) Back-up Kraftwerken bzw. Speicher-Kapazitäten. Durch Analyse bestehender Mobilitätsmuster ist die zeitliche Verteilung des voraussichtlichen Ladebedarfs bei ungesteuerter Ladung zu prüfen.

Ob und in welchem Ausmaß elektrisch unterstützt angetriebene Verkehrsmittel einen höheren Gesamtwirkungsgrad (Well-to-Wheel) erreichen können, hängt letztlich von der Energieeffizienz der für die Stromerzeugung eingesetzten Kraftwerke ab.

3.4.2 Mobilität

Stärken

Im ÖV ist die energetische Versorgung durch Elektrizität im Schienenverkehr sowie bei Oberleitungsbussen schon lange usus. Mit der nun möglichen Elektrifizierung des Verkehrs ohne Bindung an eine Stromleitung, ergeben sich auch für den Individualverkehr alternative Möglichkeiten der Energieversorgung. Zwei wesentliche Neuerungen sind festzuhalten: Erstens: Die Elektrifizierung von Fahrrädern (Pedelecs und Elektrofahrräder) erhöht die Leistungsfähigkeit des Verkehrsmittels Fahrrad. Daraus ergeben sich sowohl in räumlicher Hinsicht als auch bezüglich Nutzergruppen erweiterte Einsatzbereiche. Zweitens: Sowohl im MIV als auch im ÖV sind Fahrzeuge mit stark verringerten Lärm- und Schadstoffemissionen verfügbar und können so individuelle Mobilität auch in sensiblen Gebieten gewährleisten. Brennstoffzellen- und Hybridfahrzeuge bieten für Nutzerinnen gewohnte Eigenschaften, wie bspw. hohe Reichweiten und Geschwindigkeiten. Hohe Reisegeschwindigkeiten sind auch mit U-Bahn sowie im Schienenregional und -fernverkehr zu erreichen.

Schwächen

Das aus technologischer Sicht größte Hemmnis stellt die geringe Energiedichte der Akkumulatoren und die daraus resultierende eingeschränkte Reichweiten von Batteriefahrzeugen dar. Durch den Betrieb von Zusatzaggregaten – beispielsweise die Beheizung der Fahrgastkabine (bei Elektromotoren keine Abwärme) – wird die Reichweite weiter reduziert. Auch niedrige Umgebungstemperaturen können die aus den Akkumulatoren abrufbare Kapazität und Leistung mindern. Die folglich verkürzte Reichweite im Winter, kann die Einsatzmöglichkeiten der Fahrzeuge einschränken. Ist die Kapazität des Akkumulators abseits einer Lademöglichkeit ausgeschöpft, muss das Fahrzeug abgeschleppt werden. Der Ersatz eines defekten Akkus ist mit hohen Kosten verbunden. Derzeit rechnet man damit, dass die Lebensdauer eines Akkus kürzer ist als jene des Fahrzeuges.

Chancen

Kleine, leichte Fahrzeuge, die auf kurzen Distanzen und geringe Höchstgeschwindigkeiten ausgelegt sind und einen geringen Nutzenergiebedarf aufweisen bieten gute Voraussetzungen für die Energieversorgung mittels in einer Energie gespeicherter elektro-chemischer Energie. Bei Vorhandensein einer 230 V-Standardsteckdose am privaten Stellplatz, können Batterie-Fahrzeuge ohne weitere Infrastrukturinvestitionen betrieben werden.

Für Fahrzeuge, die in einem definierten räumlichen Umkreis eingesetzt werden – beispielsweise Taxis oder öffentlicher Verkehr – können Energiespeicher und Energieversorgung vergleichsweise einfach an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Größere Fahrzeugflotten mit einheitlichen Batteriestandards etwa begünstigen den wirtschaftlichen Betrieb von Batterietauschstationen. Selbiges gilt für Wasserstofftankstellen. Die energetische Versorgung – insbesondere von Linienverkehren – per Induktionsstrom z.B. in Stationen oder Fahrspuren, kann künftig ebenfalls eine Alternative darstellen. Bei enger Verknüpfung elektrisch unterstützt angetriebener Individualverkehrsmittel mit dem ÖV, kann dieser ergänzt und damit aufgewertet werden. Spezialisierte Fahrzeugkonzepte können zusätzlich dazu beitragen, Mobilitätsbedürfnisse effizient zu erfüllen.

Risiken

Außerorts auf Landstraßen und Autobahnen erreichen Hybridfahrzeuge nur geringe Effizienzvorteile durch den Elektromotor bzw. werden diese durch das zusätzliche Gewicht der doppelten Ausstattung kompensiert.

Anforderungen, die derzeit beim Kauf von PKW an die Fahrzeuge gestellt werden, wie hohe Geschwindigkeiten, Reichweite und zum Teil Größe, können von Batteriefahrzeugen nicht erfüllt werden. Dies ginge einher mit hohen Batteriekapazitäten und damit hohem Gewicht des Energiespeichers sowie hohen Kosten. Es besteht die Gefahr, dass potentielle Nutzerinnen die Technologie als allgemeinen Ersatz für Verbrennungskraftmaschinen wahrnehmen und in Folge als nicht konkurrenzfähig einstufen.

Der Aufbau von Infrastrukturen für Batterieladung bzw. -tausch oder Wasserstofftankstellen benötigt Zeit und kann anfangs nicht flächendeckend zur Verfügung gestellt werden. Dies wäre insbesondere für den Betrieb von Fahrzeugen notwendig, die auf öffentliche Stellplätze angewiesen sind oder deren Tageskilometerleistung die Reichweite des Fahrzeuges mit einer Batterieladung überschreiten. Bei starker Verbreitung von Batteriefahrzeugen – und damit erhöhter Nachfrage auch nach Schnelllademöglichkeiten – können Anpassungen im Stromnetz notwendig werden.

Durch den geringeren Energiebedarf von Batteriefahrzeugen pro Kilometer sind die Grenzkosten der Bewegung gering. Das kann dazu führen, dass Batteriefahrzeuge verstärkt für Wege herangezogen werden, die ansonsten durch Fußwege, Fahrrad oder ÖV realisiert würden. Es besteht das Risiko, dass Strukturen und Verhaltensmuster (überhöhter MIV-Besitz und Nutzung, Flächenverbrauch des Verkehrs etc.) weiter gefestigt werden.

3.4.3 Lebensraum

Stärken

Elektrisch unterstützt angetriebene Verkehrsmittel weisen lokal deutlich reduzierte Lärm- und Schadstoffemissionen auf. Gerade bei geringen Geschwindigkeiten bis 40 km/h – wie sie im Stadtverkehr dominieren – sind die Geräusche des Antriebs maßgebend. Dieser verursacht bei

reinen Elektrofahrzeugen nur geringe Lärmemissionen. Bei höheren Geschwindigkeiten sind die Reduktionspotentiale geringer, da Roll- und Windgeräusche hierbei maßgeblich für die Lärmemissionen sind. Reine Elektrofahrzeuge emittieren lokal nahezu keine Luftschadstoffe. Dies erhöht die Qualität der Räume in denen sie eingesetzt werden. Lokal entstehen lediglich Partikelemissionen durch Abrieb sowie Verwirbelung.¹⁸⁰

Schwächen

Für die Herstellung der Akkumulatoren von Elektrofahrzeugen wird dem Alkalimetall Lithium eine besondere Eignung zugesprochen. Dieses ist jedoch ebenso wie Erdöl nur in begrenztem Umfang auf der Erde verfügbar.

Für die Versorgung der Elektrofahrzeuge sind – parallel zu bestehenden Infrastrukturen von Verbrennungskraftmaschinen – zusätzliche Infrastrukturen und damit auch Flächen für Stromerzeugung sowie für Strom- und Wasserstofftankstellen bzw. Batterietauschstationen notwendig. Auch Wirkungen auf Stadt- und Landschaftsbild z.B. durch Windkraft-Anlagen sind gegeben - wobei der Strombedarf durch Elektromobilität nur einen vergleichsweise geringen Anteil am Strombedarf Österreichs darstellen würde.

Chancen und Risiken

Die geringen Lärmemissionen von Elektrofahrzeugen, können zu einem erhöhten Unfallrisiko führen.

Bei reinem Ersatz von Verbrennungskraftmaschinen durch Elektrofahrzeuge sind keine Verringerungen von Flächenbedarf, Trennwirkung und Beeinträchtigungen des Stadt- und Landschaftsbildes durch Anlage und Betrieb von Verkehrsinfrastrukturen zu erreichen. Das Vorhalten von öffentlichen Stellplätzen für Ladeprozesse beansprucht zudem öffentlichen Raum. Gerade in der Einführungsphase von Batteriefahrzeugen ist eine geringe Auslastung dieser Flächen zu erwarten. Nur ein integratives, verkehrsmittelübergreifendes Gesamtverkehrs- und Siedlungssystem, das kurze Wege sowie den Einsatz des jeweils am besten geeigneten Verkehrsmittels für verschiedene Mobilitätsbedürfnisse fördert, kann negative Wirkungen auf Flächenbedarf, Trennwirkung und Beeinträchtigungen des Stadt- und Landschaftsbildes mindern.

„Einen Beitrag kann Elektromobilität vor allem zur Lösung von emissionsbedingten Problemen – seien es zum Klimaschutz, Luftreinhaltung oder zum Lärmschutz – leisten. Stausituationen, Flächenverbrauch und Flächenzerschneidung werden auch Elektrofahrzeuge nicht verringern, so lange sie nicht mit grundlegend neuen Mobilitätskonzepten verbunden sind.“

[Helms et al., 2011, S. 6]

¹⁸⁰ vgl. Schopf, 2010, Folie 10

4 MOBILITÄTSVERHALTEN IN ÖSTERREICH

Um die neuen Technologien für die passenden Zwecke einzusetzen – sowohl aus Nutzerinnen- als auch aus umweltpolitischer Sicht – beschäftigt sich die Arbeit an dieser Stelle mit dem Mobilitätsbedürfnissen und -verhalten der Nutzerinnen, aufbauend auf den heutigen und künftig zu erwartenden Rahmenbedingungen. Es wird analysiert, welche Verkehrsmittel den Haushalten zur Verfügung stehen, wie sie eingesetzt werden und nach welchen Kriterien die Auswahl erfolgt.

Auf Basis dieser Daten wird auch ein Blick auf die Wirkungen dieses Verhaltens geworfen – sowohl für Nutzerinnen, als auch für die Allgemeinheit (inklusive Umwelt).

4.1 Rahmenbedingungen der Mobilitätsnachfrage

Die Gestaltung des Verkehrssystems bleibt auch weiterhin ein Wechselspiel aus den Mobilitätsangeboten und der Mobilitätsnachfrage. Beide unterliegen sich verändernden Rahmenbedingungen. Die Entwicklungen der Mobilitätsangebote werden in den Kapiteln 3.2 und 4.2 behandelt. Auf jene der Mobilitätsnachfrage soll folgend näher eingegangen werden. Dazu werden drei Bereiche betrachtet: erstens Nachfragende von Mobilität, zweitens Verteilung der Nutzungen im Raum und drittens zur Raumüberwindung zur Verfügung stehende Ressourcen.

4.1.1 Nachfragende von Mobilität

Um die Nachfrage nach Mobilität abzuschätzen, ist zunächst die Menge der Nachfragenden bedeutsam. In Österreich, Europa sowie global wächst die Bevölkerungszahl – hierzulande und in Europa vergleichsweise langsam. 1999 bis 2009 waren folgende Bevölkerungszuwächse zu verzeichnen:

- Österreich: + 4,64 Prozent auf 8,4 Millionen ¹⁸¹
- Europa: + 1,08 Prozent auf 737 Millionen ¹⁸²
- Global: + 12,88 Prozent auf 6,8 Milliarden ¹⁸³

Der starke globale Bevölkerungsanstieg hat für die österreichische und europäische Verkehrsplanung lediglich bei der Abschätzung der zukünftig verfügbaren Material-Ressourcen und deren Kosten Bedeutung (mehr dazu in Kapitel 4.1.3). Innerhalb von Europa ist das Wachstum nicht gleichmäßig verteilt. Während manche Staaten einen starken Bevölkerungsanstieg verzeichnen (z.B. Irland und Luxemburg) sinkt in anderen Staaten die Einwohnerzahl (z.B. Estland und Lettland).¹⁸⁴ Auf die Bedeutung dieser Entwicklungen für die europäische Verkehrspolitik wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen.

Die österreichische Bevölkerungsanzahl allein lässt noch keine Schlüsse auf die Anforderungen an die Verkehrsorganisation im Personenverkehr zu. Relevant ist die Verteilung der einzelnen Lebensbereiche im Raum (siehe Kapitel 4.1.2) sowie individuelle Bedürfnisse, auf die mit Hilfe demographischer und wirtschaftlicher Parameter Rückschlüsse möglich sind. Wichtige Parameter sind etwa die Altersverteilung oder der Status der Erwerbstätigkeit von Personen.

¹⁸¹ vgl. STA, SJ, 2010, S.314

¹⁸² vgl. HP: UN-SD, 2011

¹⁸³ vgl. HP: US-CB, 2011

¹⁸⁴ vgl. Herry, ViZ, 2007, S.3

Abbildung 7 zeigt das Hauptszenario der Statistik Austria bezüglich der Entwicklung der österreichischen Bevölkerung 2008 bis 2020 nach Alterskategorien. Die Alterskategorien wurden nach Aspekten des Mobilitätsbedarfes gewählt.

- Kinder bis 5 Jahre sind in ihrer Mobilität von Begleitpersonen abhängig. Als Mitfahrer können sie (bis auf Krafträder) in sämtlichen Verkehrsmitteln mitgenommen werden. Mobilitätsbedarf entsteht für diese Gruppe beispielsweise im Zusammenhang mit Kinderbetreuungseinrichtungen.
- Kinder und Jugendliche zwischen 6 und 14 Jahren können Wege bereits eigenständig mit Verkehrsmitteln des Umweltverbundes (Fuß, Rad, ÖV) zurücklegen. Verkehrsmittel des motorisierten Individualverkehrs können sie als Mitfahrer nutzen (Krafträder ab dem vollendeten 12. Lebensjahr). Mobilitätsbedarf entsteht hauptsächlich im Zusammenhang mit Bildungs- und Freizeiteinrichtungen.
- Der Altersgruppe der 15 bis 64-jährigen stehen sämtliche Verkehrsmittel zur Erfüllung ihrer Mobilitätsbedürfnisse zur Verfügung; wobei bis zum vollendeten 18. Lebensjahr das Lenken von Kraftfahrzeugen auf Kleinkrafträder und vierrädrige Leichtkraftfahrzeuge beschränkt ist. Mobilitätsbedarf entsteht in dieser Alterskategorie z.T. durch Wege zu Bildungseinrichtungen primär jedoch im Zusammenhang mit einer Erwerbsarbeit. Weiters ist der Wegzweck Bringen und Holen von Personen in dieser Altersklasse besonders ausgeprägt. Im Jahr 2008 betrug der Anteil der Erwerbstätigen an dieser Gruppe österreichweit 72 Prozent. Etwa 77 Prozent der Erwerbstätigen arbeiten Vollzeit, 23 Prozent Teilzeit (bis 35 Stunden pro Woche).¹⁸⁵
- Der Altersgruppe der über 64-jährigen stehen grundsätzlich ebenfalls alle Verkehrsmittel zur Verfügung. Jedoch steigt mit zunehmendem Alter der Anteil jener Menschen, die aufgrund von gesundheitlichen Behinderungen (vor allem Seh- und Gehbehinderungen) in ihrer Mobilität eingeschränkt sind. Nach Verkehrsverhaltensbefragungen von Herry Consult im Jahr 2008 in Vorarlberg (Vbg) und Niederösterreich (NÖ) fühlten sich 18 Prozent (Vbg) bis 25 Prozent (NÖ) der Personen über 64 Jahren subjektiv in ihrer Mobilität eingeschränkt. Im Vergleich dazu betrug dieser Anteil an allen befragten Personen (ab 6 Jahren) 4 Prozent (Vbg) bis 7 Prozent (NÖ).^{186 187 188} Vergleicht man diese Ergebnisse mit Werten des Bundesministeriums für soziale Sicherheit und Generationen, handelt es sich bei diesen Zahlen um eine Untergrenze.¹⁸⁹ Für die Berechnung der voraussichtlichen Anzahl von Personen mit Mobilitätseinschränkung im Jahr 2020 wird daher auf die höheren niederösterreichischen Werte zurückgegriffen.

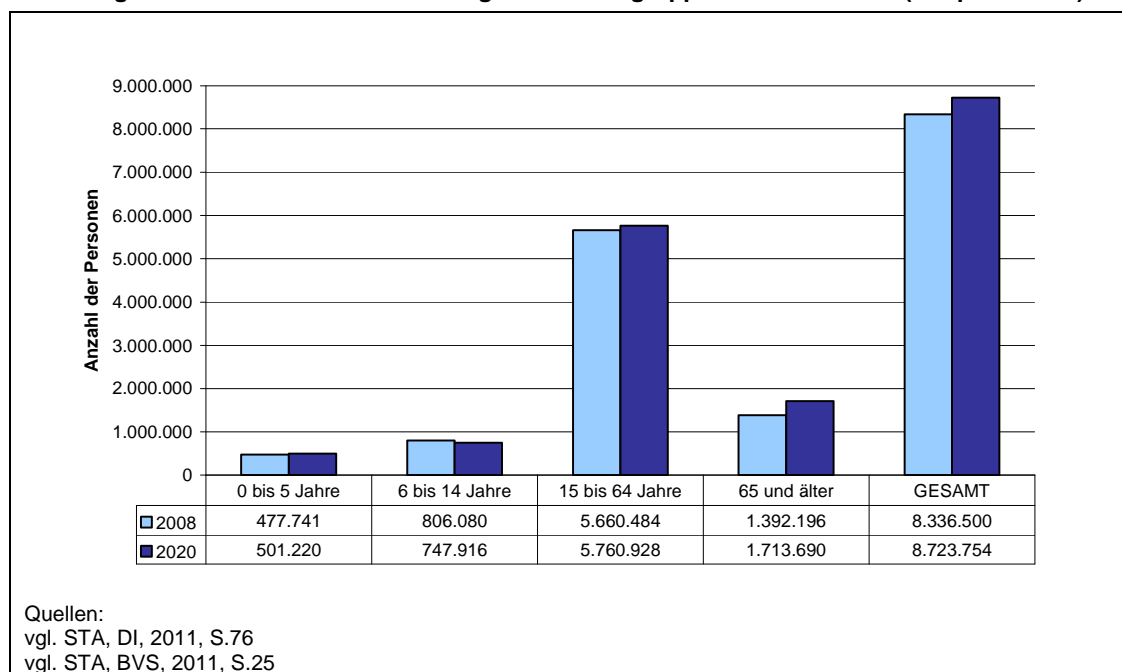
¹⁸⁵ vgl. STA, AKE, 2009, S.192, 264

¹⁸⁶ 11 Prozent der über 64-jährigen bzw. 7 Prozent aller Befragten beantworteten diese Frage in Vorarlberg nicht

¹⁸⁷ vgl. Herry, Vbg, 2009, S.35f

¹⁸⁸ vgl. Herry, NÖ, 2008, S. 29

¹⁸⁹ vgl. BM ASK, 2009, S.13

Abbildung 7: österreichische Bevölkerung nach Altersgruppen 2008 und 2020 (Hauptszenario)


Wie Abbildung 7 zu entnehmen ist, wird die Bevölkerung bis zum Jahr 2020 (Basis 2008) um etwa 4,6 Prozent wachsen, wobei die Gruppe der über 64-jährigen mit etwa 23 Prozent den stärksten Zuwachs verzeichnen wird. Ein Bevölkerungsrückgang ist mit minus 7 Prozent hingegen in der Kategorie der 6 bis 14-jährigen zu erwarten.

Unter der Annahme, dass die Werte zur subjektiven Mobilitätseinschränkung von Niederösterreich auf alle Bundesländer zutreffen, wird bis zum Jahr 2020 (aufgrund des höheren Anteils älterer Personen an der Gesamtbevölkerung) die Anzahl mobilitätseingeschränkter Personen (ab 6 Jahren) von österreichweit knapp 550.000 Personen um etwa 15 Prozent auf gut 630.000 Personen steigen.¹⁹⁰

Für die Abschätzung der Anzahl der Erwerbstätigen wird die Bevölkerungsentwicklung der Altersgruppe der 15 bis 64-jährigen herangezogen, der 98 Prozent der Erwerbstätigen im Jahr 2008¹⁹¹ zuzuordnen sind. Bei Beibehalten der Erwerbstätigenquote wird die Anzahl der Erwerbstätigen dieser Alterskategorie von etwa 4.081.000 auf 4.154.000 steigen.^{192 193 194}

Generell ist der Lebensstandard der österreichischen Bevölkerung in den letzten Jahrzehnten gestiegen. Zusammen mit der sinkenden durchschnittlichen Haushaltsgröße – auf 2,38 Personen pro Haushalt im Jahr 2001¹⁹⁵ – führte dies von 1971 bis 2001 zu einem Anstieg der Wohnnutzfläche von 22 m² auf durchschnittlich 36 m² pro Person. Im Jahr 2001 waren drei Viertel aller Gebäude Ein- und Zweifamilienhäuser.¹⁹⁶

Bei der Abschätzung der „Verkehrsnachfragenden“ im Personenverkehr sind, neben der Wohnbevölkerung, jene Personen zu berücksichtigen, die ihren Wohnsitz im Ausland haben und entweder ein Ziel innerhalb Österreichs ansteuern oder Österreich lediglich durchqueren (Ziel- und Durchgangsverkehr). Auf diese Gruppen wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen.

¹⁹⁰ Es wurde angenommen, dass bis zum Jahr 2020 der Anteil subjektiv mobilitätseingeschränkter Personen in den Altersgruppen konstant bleibt. Tatsächlich ist davon auszugehen, dass aufgrund medizinischer Fortschritte und geänderter Lebensbedingungen Menschen künftig länger körperlich leistungsfähig bleiben.

¹⁹¹ vgl. STA, AKE, 2009, S.137

¹⁹² vgl. STA, AKE, 2009, S.264

¹⁹³ vgl. STA, DI, 2011, S.76,

¹⁹⁴ vgl. STA, BVS, 2011, S.25

¹⁹⁵ vgl. Herry, ViZ, 2007, S.3

¹⁹⁶ vgl. UBA, UKB, 2010, S.190

4.1.2 Verteilung der Nutzungen im Raum

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Verteilung der Nutzungen im Raum stark gewandelt. Während manche Gebiete eine Abwanderung von Bevölkerung verzeichnen, steigt in anderen die Bevölkerungszahl an. Beides führt zu einem veränderten Mobilitätsbedarf und veränderten Anforderungen an die verkehrliche Infrastruktur bzw. Bedingungen für verschiedene Verkehrsmittel. Generell gilt: je höher die Bevölkerungsdichte und Nutzungsdurchmischung desto geringer der Aufwand für Raumüberwindung.

4.1.2.1 Charakterisierung unterschiedlicher Siedlungsstrukturen

Im Folgenden werden verschiedene Siedlungsstrukturen, mit ihren jeweiligen spezifischen Bedingungen und Anforderungen für Verkehrsinfrastrukturen definiert.

Kernstadt

Kernstädte zeichnen sich durch hohe räumliche Dichte verschiedenartiger Nutzungen aus. Daraus resultiert, dass die Distanzen, die zur Erfüllung der Bedürfnisse des täglichen Lebens überwunden werden müssen, gering sind.

Folgende Anforderungen werden an Verkehrsinfrastrukturen im urbanen Raum gestellt:

Verkehrsteilnehmerinnen bewegen sich in hoher Dichte durch den Raum. Um mit dem gegebenen öffentlichen Raum auszukommen – welcher neben verkehrlichen eine Vielzahl weiterer Funktionen zu erfüllen hat – soll der Flächenverbrauch pro Verkehrsteilnehmerin gering gehalten werden - sowohl im fließenden als auch in ruhenden Verkehr. Um gesundheits- und umweltrelevante Immissionsgrenzwerte bezüglich Lärm und Schadstoffen einhalten zu können, sind entsprechende Emissionen pro Verkehrsteilnehmerin zu minimieren. Es sind Strukturen zu fördern, die effiziente Mobilität bei guter Qualität des Wohnumfeldes ermöglichen. Unter den gegebenen strukturellen Voraussetzungen (kurze Wege und gebündelte Verkehrsströme) kommen öffentliche Verkehrsmittel sowie Fuß- und Radverkehr den genannten Anforderungen in urbanen Räumen am nächsten.

Stadtumland

Die Knappheit des Raumes innerhalb der Grenzen der Kernstädte führt dazu, dass zunehmend Flächen im Stadtumland für Betriebsansiedlungen sowie Wohnbau genutzt werden. Im Vergleich zur Kernstadt ist in diesen Bereichen üblicherweise eine geringere Siedlungsdichte zu verzeichnen. Gründe dafür sind günstiges Bauland, traditionell-dörfliche Strukturen (mit niedrigen Gebäuden umgeben von privatem Grün) bzw. die Orientierung der Flächenwidmung an der Nachfrage nach Wohnraum mit privaten Grünflächen. Standortanforderungen größerer Handelsbetriebe, in Bezug auf die Größe von Flächen für Verkauf und Kundenparkplätze, werden oftmals in den alten Ortskernen nicht erfüllt, weshalb sich Betriebe vielfach am Ortsrand ansiedeln. Arbeits- oder Ausbildungsplätze der Wohnbevölkerung liegen häufig in der Kernstadt. Die räumliche Trennung der verschiedenen Lebensbereiche führt zu einer Steigerung der Verkehrsnachfrage.

Folgende Anforderungen werden an Verkehrsinfrastrukturen gestellt: Da Stadtumlandbereiche starke funktionale Verflechtungen mit der Kernstadt aufweisen, sind die Anforderungen an die Kapazität der verbindenden Verkehrsinfrastrukturen entsprechend hoch. Schienenverkehre sind auf solchen linienförmigen Relationen mit starker Verkehrsnachfrage effizient umsetzbar. Ein hohes Risiko für Kapazitätsengpässe besteht im fließenden MIV, zu Verkehrsspitzenzeiten an den Verbindungsstraßen mit der Kernstadt sowie im ruhenden MIV, in der Kernstadt. Gegenmaßnahmen sind Park & Ride-Anlagen in den Umlandgemeinden bzw. am

Rand der Kernstadt. Je nach Gemeindestruktur und Ausgestaltung des öffentlichen Raumes, können Wege innerhalb der Gemeinde zu Fuß und mit Fahrrädern zurückgelegt werden. Bei niedriger Bebauungsdichte innerhalb sowie zwischen benachbarten Umlandgemeinden, sind die Kapazitäten des Straßenraumes für fließenden sowie ruhenden MIV meist ausreichend, bedeuten jedoch ungünstige Bedingungen für öffentliche Linienverkehre. Um die verschiedenen Bereiche des täglichen Lebens zu erreichen, sind die Distanzen höher als in der Kernstadt.

Verkehrskorridor

Um größere Entfernungen zwischen verschiedenen Ballungsräumen in kurzer Zeit überwinden zu können, sind Verkehrskorridore definiert, entlang derer hochrangige Verkehrsinfrastrukturen (Schnellstraßen, Autobahnen, Schienenverkehr) den Transport von Personen und Gütern mit hoher Geschwindigkeit ermöglichen. Nutzungen des täglichen Lebens, die in verschiedenen Siedlungsgebieten entlang desselben Verkehrskorridors verortet sind, können daher mit geringem Zeitaufwand verbunden werden. Gebündelte Verkehrsströme entlang definierter Strecken, ermöglichen die Organisation effizienter Verkehrsinfrastrukturen. Über größere Distanzen ist der Schienenverkehr, bei entsprechender Auslastung, die bezüglich Flächen- und Energieverbrauchs effizienteste Verkehrsart. Je nach räumlicher Struktur der Gebiete entlang von Verkehrskorridoren, sind unterschiedliche Verkehrsmittel geeignet, als Zubringer zum Korridor zu dienen. Entsprechend wichtig ist es daher, den Wechsel zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln zu vereinfachen.

Periphere Gebiete

Als periphere Gebiete werden in dieser Arbeit Strukturen mit geringer Siedlungsdichte, in großer Distanz zu zentralen Orten, mit mangelnder Anbindung an hochrangige Verkehrsinfrastrukturen bezeichnet. Arbeitsplätze befinden sich meist außerhalb der Wohngemeinde. Die Bedingungen für öffentliche Linienverkehre sind ungünstig. Große Distanzen zwischen den einzelnen Zielen schließen Fußgängerverkehr oftmals aus. Fahrräder sind nur zum Teil einsetzbar. Ein hoher Prozentsatz der Wege kann nur durch motorisierten Individualverkehr realisiert werden. Die Kapazitäten des Straßenraumes für fließenden sowie ruhenden motorisierten Individualverkehr sind ausreichend. Um verschiedene Bereiche des täglichen Lebens zu verbinden, ist die Überwindung großer Distanzen nötig. Auch hier ist zu beachten, ob für Teile eines Weges andere Verkehrsmittel eine höhere Effizienz aufweisen und Übergänge zu anderen Verkehrsmitteln zu vereinfachen. Abbildung 8 gibt einen Überblick über die räumliche Entwicklung der Wohnbevölkerung von 1991 bis 2001. Insgesamt hat im Zeitraum 1991 bis 2001 die österreichische Bevölkerung um 3,7 Prozent zugenommen.¹⁹⁷ Die größten Einwohnerzuwächse waren in den Stadtumlandgemeinden von Wien, Linz, Salzburg Klagenfurt und Graz zu verzeichnen sowie in Vorarlberg und im Inntal. Bevölkerungsrückgänge gab es im Waldviertel, Südburgenland sowie in der Obersteiermark und Teilen Kärntens.

4.1.2.2 Entwicklung der Bevölkerungsverteilung in Österreich

Wie Abbildung 8 und Abbildung 9 zu entnehmen, wächst die Bevölkerung besonders stark in jenen Gebieten, die bereits jetzt eine höhere Dichte aufweisen. Dies entspricht dem weltweiten Trend zunehmender Verstädterung. Im Jahr 2009 lebt etwa 45 Prozent der österreichischen Bevölkerung in den 73 Städten mit 10.000 und mehr Einwohnern. Bezieht man die Stadtregionen¹⁹⁸ mit ein, sind es sogar 65 Prozent. Dies entspricht 2009 einer Zahl von 5,4 Millionen Personen in Österreich.¹⁹⁹

¹⁹⁷ vgl. STA, DI, 2011, S.46f

¹⁹⁸ Stadtregion: Kernzone plus Umlandgemeinden mit hohem Auspendleranteil in die Kernzone

¹⁹⁹ vgl. HP: STA, BEV, 2011

Abbildung 8: Veränderung der Wohnbevölkerung 1991 bis 2001

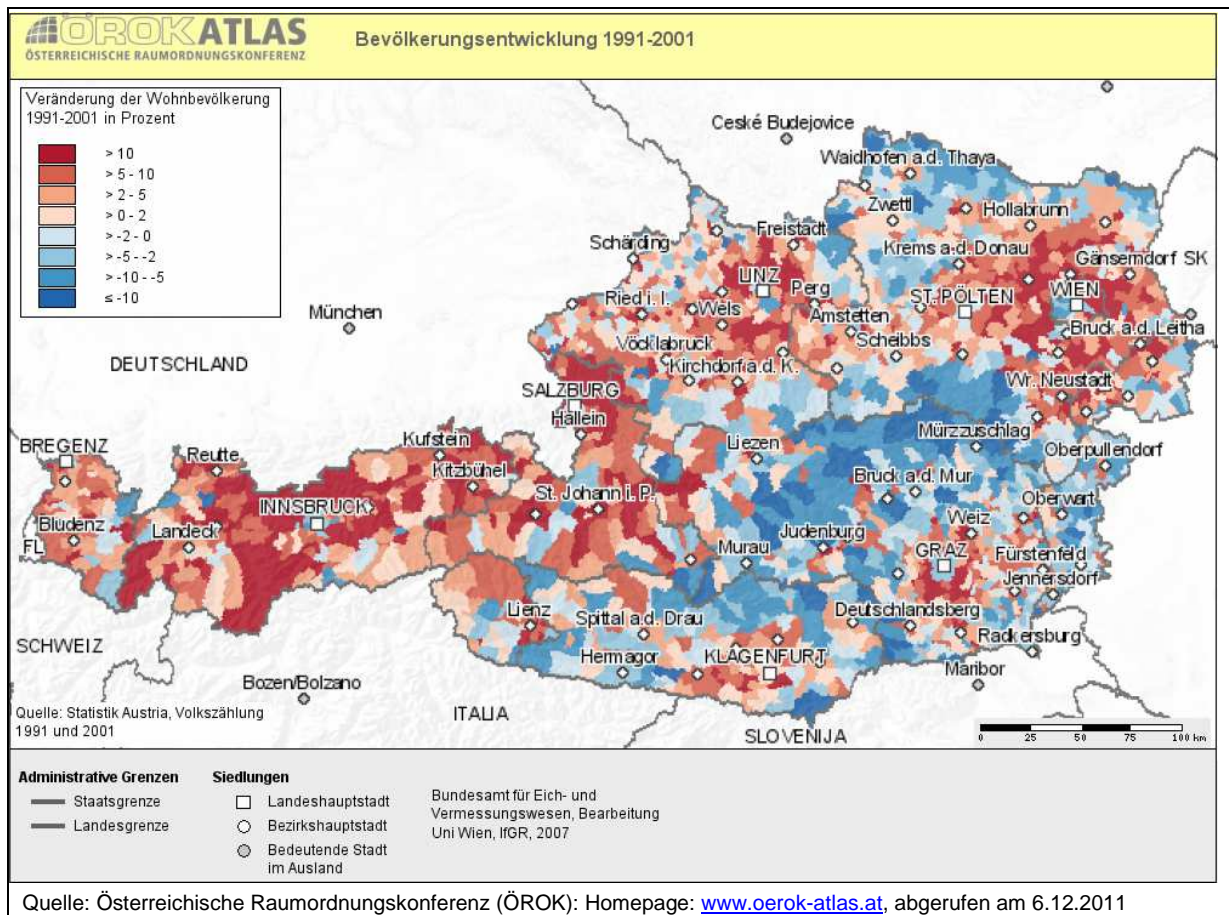
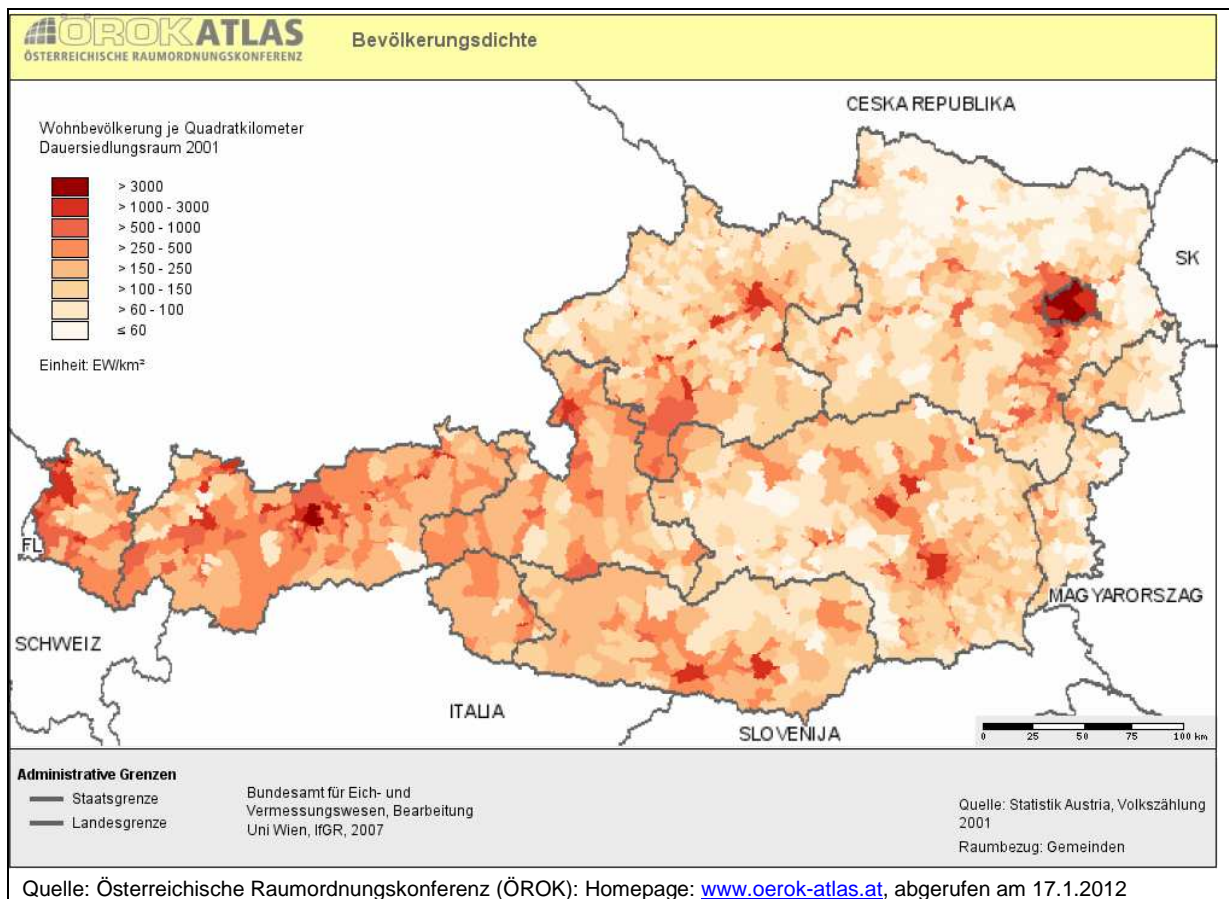


Abbildung 9: Bevölkerungsdichte je Quadratmeter Dauersiedlungsraum 2001



Gemäß einer Prognose der Bevölkerungsentwicklung 2010 bis 2030 werden sich die Trends der Vergangenheit fortsetzen. Die Anzahl der Personen über 64 Jahren nimmt überall zu, wobei in Wachstumsregionen parallel auch die Anzahl der Personen in der Alterskategorie 20 bis 64 und in geringerem Ausmaß auch die Anzahl der Personen bis 19 Jahre zunimmt.²⁰⁰ Daraus ist abzuleiten, dass in Gebieten mit schrumpfender Bevölkerungszahl – und damit schrumpfender Dichte – der Anteil älterer und damit der Anteil mobilitätseingeschränkter Personen ansteigt.

4.1.2.3 Erreichbarkeit regionaler und überregionaler Zentren in Österreich

Nachdem im vorherigen Kapitel die Ausstattung der Haushalte mit Verkehrsmitteln beleuchtet wurde, beschäftigt sich der vorliegende Abschnitt nun mit der Erreichbarkeit regionaler und überregionaler Zentren durch die österreichische Wohnbevölkerung. Diese ist ein wichtiges Kriterium für den Zugang zu Bildungseinrichtungen und Arbeitsmarkt. Hierfür wird die Studie „Erreichbarkeitsverhältnisse in Österreich 1997/2005“ der österreichischen Raumordnungskonferenz herangezogen, die – gemeinsam mit entsprechendem Kartenmaterial (siehe Anhang 4) – in Auszügen auf der Homepage der ÖROK zur Verfügung steht.

Als regionale Zentren werden die Bezirkshauptstädte bezeichnet. Hier wurde der zumutbare Reiseaufwand mit 30 Minuten festgelegt. Regionale Zentren sind von 98 Prozent der Österreicher im MIV erreichbar. Im ÖV erreichen 73 Prozent (ohne Wien: 67 Prozent) ein regionales Zentrum im gegebenen Zeitrahmen. Die Unterschiede zwischen den Bundesländern sind im ÖV größer, Zusammenhänge mit der Siedlungsstruktur deutlich zu erkennen. So liegen die ÖV-Erreichbarkeitswerte in Bundesländern mit ausgeprägt disperser Siedlungsstruktur und einem geringen Anteil in Zentren lebender Bevölkerung (Steiermark, Niederösterreich, Oberösterreich) besonders niedrig (63 bis 65 Prozent)

Als überregionale Zentren sind die österreichischen Landeshauptstädte sowie zusätzlich Villach, Krems, Wiener Neustadt, Wels, Steyr, Leoben, Feldkirch und Dornbirn und grenznahe überregionale Zentren im Ausland klassifiziert. Der zumutbare Reiseaufwand wurde mit 50 Minuten angenommen. Überregionale Zentren sind im MIV von 88 Prozent der Bevölkerung innerhalb der gegebenen Zeit erreichbar. Besonders hohe Werte erzielte Vorarlberg mit 98 Prozent (nach Wien mit 100 Prozent). Auch Bundesländer, deren überregionale Zentren zentral gelegen sind, wie bspw. Oberösterreich, Niederösterreich und Kärnten, weisen hohe Erreichbarkeitswerte im MIV auf (87 bis 91 Prozent). In Grenzregionen sowie im alpinen Raum ist die Erreichbarkeit überregionaler Zentren hingegen eingeschränkt. Die niedrigsten Werte weisen hierbei Salzburg und Tirol mit 74 Prozent auf. Die Erreichbarkeiten im ÖV liegen mit österreichweit 62 Prozent (ohne Wien: 53 Prozent) deutlich unter den Werten des MIV. Meist spiegeln die Erreichbarkeitswerte den Anteil der Bevölkerung eines Bundeslandes wider, die in den Ballungsräumen der überregionalen Zentren leben. Hohe Werte erzielt im ÖV wieder das Bundesland Vorarlberg mit 89 Prozent (nach Wien mit 100 Prozent). Danach folgen mit großem Abstand Niederösterreich, Salzburg und Kärnten (54 bis 56 Prozent). Am niedrigsten sind die ÖV-Erreichbarkeiten überregionaler Zentren im Burgenland und der Steiermark (41 und 42 Prozent).²⁰¹

„Nach den vorangegangenen Vergleichen lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die Erreichbarkeiten im ÖV oft an die direkte Nähe zu den Zentren und eine entsprechend dichte Siedlungsstruktur gekoppelt sind, während durch den MIV – bei entsprechenden topografischen Voraussetzungen – großflächigere Erreichbarkeiten gegeben sind. Vielfach spiegelt diese Situation die Wechselwirkung von Angebot und Nachfrage wider.“ [ÖROK, 2007]

²⁰⁰ vgl. HP: ÖROK, Atlas, 2012

²⁰¹ vgl. ÖROK, 2007

4.1.3 Umgang mit Ressourcen

Das vorliegende Unterkapitel beschäftigt sich mit jenen Ressourcen, die bei der Bewertung der Auswirkungen und Bedingungen der Verkehrsorganisation eine Rolle spielen. Dazu zählen Raum (qualitativ und quantitativ), Energie (erneuerbare und nicht-erneuerbare), Materialressourcen sowie Zeit.

Raum

Raum bzw. die Oberfläche der Erde ist eine begrenzt vorhandene Ressource. Er hat eine Vielzahl naturräumlicher, wirtschaftlicher und sozialer Funktionen zu erfüllen. Das österreichische Staatsgebiet umfasst eine Fläche von 83.885 km². Aufgrund naturräumlicher Begebenheiten (Gebirge, Gewässer, Schutzwälder etc.) stehen lediglich 37,4 Prozent (31.373 km²) als Dauersiedlungsraum für Landwirtschaft, Siedlung und Verkehrsanlagen zur Verfügung.²⁰²

Neben dem primären Verbrauch von Flächen für verkehrliche Anlagen, sind weitere Flächen qualitativ von Auswirkungen durch Verkehrsanlagen und deren Betrieb betroffen. Darunter fallen Trennwirkung, (Klein-)Klimaveränderung, Immission von Lärm und Schadstoffen, Veränderung des Stadt- und Landschaftsbildes, Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit²⁰³ sowie der Verbrauch von Flächen für Energie- und Materialgewinnung.

Energie

Die inländische Energieerzeugung betrug 2008 insgesamt 131 TWh, davon 103 TWh aus erneuerbaren Energien. Der Bruttoinlandsverbrauch lag im gleichen Jahr bei 397 TWh. Speziell in den Bereichen Kohle, Öl und Gas ist man auf hohe Importmengen angewiesen.²⁰⁴ Durch den weltweiten Bevölkerungsanstieg und den wirtschaftlichen Aufschwung in Schwellenländern wie China, Indien oder Brasilien steigt auch der weltweite Energiebedarf. Verknappung bzw. Preisanstieg werden sich infolge dessen verschärfen.

Zum Teil können endliche Energieträger durch erneuerbare substituiert werden. Dies ist jedoch je nach Art der Energiegewinnung ebenfalls mit Wirkungen auf Flächenverbrauch (z.B. bei Energiepflanzen), Treibhausgasemissionen, Ökosysteme etc. verbunden. Daher ist es wichtig den Energiebedarf von Verkehrssystem und Siedlungsstrukturen insgesamt zu senken und Potentiale zu höherer Energieeffizienz zu identifizieren und auszuschöpfen.

Zum Zusammenhang der Ressourcen **Raum und Energie** ist festzustellen, dass zunehmender Flächenverbrauch für Siedlungszwecke auch mit zunehmendem Energiebedarf für Raumüberwindung und Raumwärme einhergeht.²⁰⁵ Zur Gewinnung von Energie sind wiederum zusätzliche Flächen notwendig.

Materialressourcen

Sowohl für den Bau verkehrlicher Anlagen als auch für Herstellung und Betrieb von Fahrzeugen, ist der Einsatz von Materialressourcen nötig. Im Zusammenhang mit den Fragestellungen dieser Arbeit sind insbesondere Materialaufwand und Verfügbarkeit von Komponenten zur Energieversorgung relevant. Das sind zum einen die Energieträger selbst. In Bezug auf Elektrofahrzeuge sind die Bestandteile der Batterie von Interesse. Nähere Angaben dazu sind Kapitel 3.1.2 zu entnehmen. Generell wird noch festgehalten, dass mit steigender Fahrzeuggröße

²⁰² vgl. UBA, UKB, 2010, S.188

²⁰³ vgl. Cerwenka et al., Grundlagen, 2003, Blatt 10-2

²⁰⁴ vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.40ff

²⁰⁵ vgl. UBA, UKB, 2010, S.190

bzw. -gewicht, ein erhöhter Materialaufwand bei der Herstellung sowie Energiebedarf im Fahrbetrieb einhergehen.

Unabhängig von Menge und Art der eingesetzten Materialien, ist für eine abschließende Bewertung des Ressourcenverbrauches unbedingt einzubeziehen, inwieweit die verbauten Materialien am Ende des Lebenszyklus eines Produkts, durch Recycling wieder für Produktionszwecke zur Verfügung stehen. Diese Fragestellung kann im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht näher behandelt werden.

Zeit

ist ebenfalls nur in begrenztem Umfang vorhanden. Im Zusammenhang mit Mobilität ergeben sich folgende Wirkungskategorien:

- Zeitaufwand für Raumüberwindung – quantitativ

Fragestellung: Wie viele Minuten benötigt die Raumüberwindung zwischen zwei Standorten?

- Zeitaufwand für Raumüberwindung – qualitativ

Fragestellung: Wie wird die Zeit für Raumüberwindung verbracht? Wie wirken sich Art und Ort der Fortbewegung auf die menschliche Gesundheit aus (Bewegung, Stress, Immissionen), kann die Zeit auch für andere Tätigkeiten genutzt werden (arbeiten, lesen), können entlang des Weges auch andere Erledigungen gemacht werden (Einkäufe, Freizeiteinrichtungen etc.)?

- Auswirkungen auf die Lebenszeit durch Verkehrsgeschehen

Fragestellung: Inwieweit wird durch die Raumüberwindung bzw. das gewählte Verkehrsmittel die verfügbare Lebenszeit (von Nutzerinnen und Außenstehenden) eingeschränkt (z.B. durch gesundheitsschädliche Einflüsse, Unfälle, Umwege)

Weitere Ressourcen

Durch technologischen Fortschritt können Verbesserungen der Effizienz im Bereich der Verkehrsmittel selbst sowie (mittels Informations- und Kommunikationstechnologien) bei der Koordination der Verkehrsmittel im Gesamt-Verkehrssystem erreicht werden.

Um Verkehrsteilnehmerinnen koordinieren zu können, sind Informationszugang zu Mobilitätsangeboten sowie die Vernetzung der Akteurinnen wichtig. Im Jahr 2011 verfügten 75 Prozent der Haushalte²⁰⁶ über einen Internetzugang; Tendenz steigend. In höherem Alter ist der Anteil der Internetnutzerinnen jedoch geringer.²⁰⁷ Bereits über 50 Prozent der österreichischen Bevölkerung (ab 14 Jahren) nutzten Ende 2011 Internetdienste über ein Mobiltelefon.²⁰⁸

4.2 Mobilitätsangebote

Die folgenden Unterkapitel beschäftigen sich mit derzeit vorherrschenden Mobilitätsmustern. Dafür wird zunächst betrachtet, welche Verkehrsmittel der österreichischen Bevölkerung zur Verfügung stehen, um in einem nächsten Schritt deren Einsatz für verschiedene Verkehrszwecke, Weglängen etc. näher zu analysieren.

Hier soll kurz die bestehende verkehrliche Infrastruktur für den Personenverkehr diskutiert werden, wobei der Schwerpunkt beim Individualverkehr auf den eingesetzten Verkehrsmitteln und nicht auf

²⁰⁶ Haushalte mit mindestens einem Haushaltsmitglied von 16 bis 74 Jahren

²⁰⁷ vgl. HP: STA, IKT, 2011

²⁰⁸ vgl. HP: Integral, 2012

der Straßeninfrastruktur liegt. Die Betrachtung umfasst öffentliche Verkehrsmittel sowie Verkehrsmittel des Individualverkehrs. Nicht behandelt werden Luft- und Schifffahrt, Reitverkehr, Fuhrwerke und Seilbahnen. Energiebedarfswerte und Schadstoffemissionen sind in den Anhängen 1 bis 3 zu finden.

4.2.1 Personenkraftwagen und Krafträder

Dazu gehören Fahrzeuge der Fahrzeugarten Personenkraftwagen (PKW) und Kombinationskraftwagen, Motor- und Leichtmotorräder, Motorfahrräder, Kleinmotorräder, Motordrei- und -vierräder und mehrspurige Leichtkraftfahrzeuge. Ende des Jahres 2011 waren in diesen Kategorien in Österreich 5.256.850 Fahrzeuge gemeldet, davon: 85,7 Prozent PKW, 7,8 Prozent Motor- und Leichtmotorräder, 5,7 Prozent Motorfahrräder, und 0,6 Prozent Kleinmotorräder, Motordrei- und -vierräder und mehrspurige Leichtkraftfahrzeuge.²⁰⁹ Dies entspricht einem Durchschnitt von 622 derartigen Fahrzeugen pro 1000 Einwohnerinnen²¹⁰. Wie Abbildung 10 zu entnehmen ist, variiert dieser jedoch stark nach Bundesländern. Eine hohe Motorisierung (mit etwa 660 bis 700 Fahrzeugen pro 1000 Einwohnerinnen) ist insbesondere in den Bundesländern Niederösterreich, Burgenland, Kärnten und Oberösterreich und der Steiermark zu verzeichnen. Niedrige Werte (mit etwa 580 bis 600 Fahrzeugen pro 1000 Einwohnerinnen) weisen hingegen die Bundesländer Vorarlberg, Salzburg, Tirol und insbesondere Wien (mit etwa 440 Fahrzeugen pro 1000 Einwohnerinnen) auf. Bei den Entwicklungen der Motorisierung zeigt sich ein ähnliches Bild: Starke Steigerungen des Motorisierungsgrads um mehr als 35 Prozent von 1990 bis 2005 waren im Burgenland (durchschnittlich 2,6 Prozent pro Jahr), Kärnten sowie der Steiermark (durchschnittlich 2,2 Prozent pro Jahr) zu verzeichnen. Die niedrigsten Steigerungsraten mit durchschnittlich 0,8 bis 1,4 Prozent pro Jahr verzeichneten Wien, Salzburg, Tirol und Vorarlberg.²¹¹

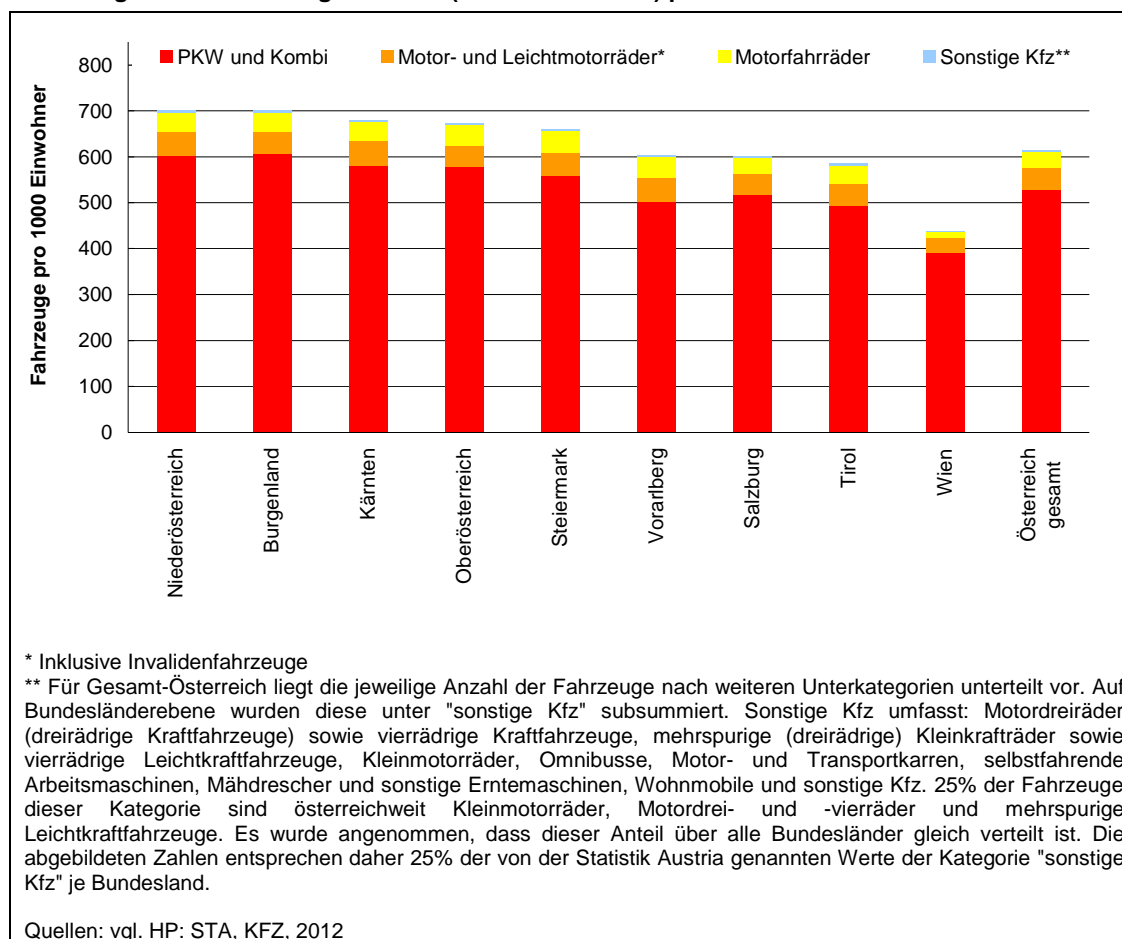
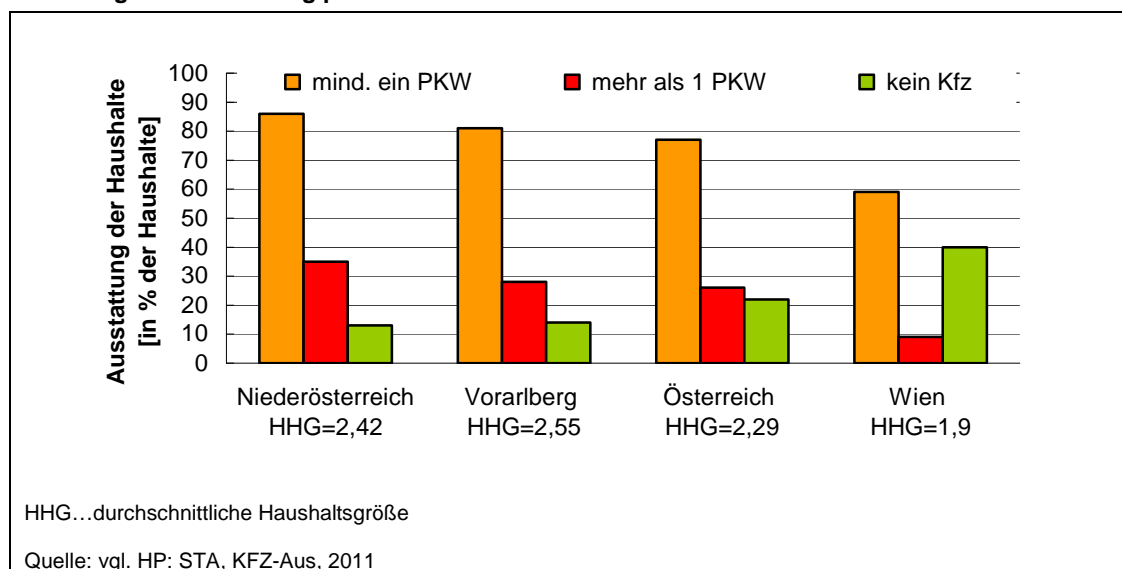
Um das künftige Potential elektrisch unterstützt angetriebener Fahrzeuge ermessen zu können, ist auch der PKW-Besitz auf Haushaltsebene relevant, da insbesondere bei Vorhandensein von mehr als einem PKW, Spezialisierungen der Fahrzeuge sinnvoll sein können. Abbildung 11 zeigt auf Basis der Konsumentenerhebung 2009/2010 der Statistik Austria für Gesamtösterreich, Niederösterreich, Vorarlberg und Wien die Anteile der Haushalte mit mindestens einem PKW, mehr als einem PKW sowie den Anteil der Haushalte ohne zur Verfügung stehende Kraftfahrzeuge. Als ergänzende Information sind die durchschnittlichen Haushaltsgößen des jeweiligen Gebietes angegeben, da mit steigender Anzahl von Personen je Haushalt auch eine höhere Nachfrage des Haushaltes nach Mobilität insgesamt einhergeht. Wie untenstehende Abbildung 11 zeigt, besitzt österreichweit etwa ein Drittel der „PKW-Haushalte“ mehr als einen PKW. In Wien ist dieser Anteil am geringsten, in Niederösterreich am höchsten. Umgekehrt verhält es sich mit den Anteilen jener Haushalte, denen kein Kraftfahrzeug zur Verfügung steht.²¹²

²⁰⁹ vgl. HP: STA, KFZ, 2012

²¹⁰ vgl. HP: STA, BEV, 2012

²¹¹ vgl. Herry, ViZ, 2007, S.72

²¹² vgl. HP: STA, KFZ-Aus, 2011

Abbildung 10: Kraftfahrzeuge des MIV (Personenverkehr) pro 1000 Einwohner im Jahr 2011

Abbildung 11: Ausstattung privater Haushalte 2009/2010


In folgenden Tabellen sind allgemeine Eigenschaften von Kraftwagen (Tabelle 19) und Krafträdern (Tabelle 20) dargestellt.

Bei den Antriebsarten des PKW-Bestandes dominierten 2011 mit 55,5 Prozent Dieselantriebe gefolgt von 44,2 Prozent Benzinantrieben. Lediglich 0,3 Prozent entfielen auf sonstige Antriebe. Darunter fallen Flüssiggas, Erdgas, bivalenter Betrieb und kombinierter Betrieb (Hybrid). 989 PKW verfügten über einen Elektroantrieb.²¹³ Die durchschnittlichen CO₂-Emissionen neu zugelassener

²¹³ vgl. HP: STA, KFZ, 2012

PKW betragen im Jahr 2011 bei benzinbetriebenen PKW etwa 138 g pro Kilometer und bei Dieselfahrzeugen etwa 140 g pro Kilometer. Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch der 2011 neu zugelassenen PKW liegt bei 5,6 Litern (ca. 53 kWh) pro 100 Kilometer. Allgemein geht der Trend zu leistungsstärkeren Fahrzeugen.²¹⁴ In Deutschland liegt die mittlere Lebensdauer bei gut 12 Jahren.²¹⁵

Tabelle 19: Bestand und Eigenschaften von Kraftwagen

| | |
|--|--|
| Kraftwagen allgemein | Ein Kraftwagen ist ein mehrspuriges Kraftfahrzeug mit mindestens vier Rädern. Üblich ist ein kabinenartiger Aufbau, der Schutz vor Witterungseinflüssen bietet. Als Mindestmaße für einen PKW gelten im fließenden Verkehr eine Breite des Verkehrsraumes von 2,25 m und eine Fläche von 2,3 m mal 5 m im ruhenden Verkehr. |
| Personenkraftwagen Klasse M1 | <u>Bestand 2011:</u> 4.513.421 Fahrzeuge, davon: 2.506.511 Diesel 1.997.066 Benzin 989 Elektroantriebe 8.855 sonstige Antriebe PKW und Kombis weisen außer dem Lenkerplatz Plätze für nicht mehr als acht Personen auf. Die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit ist nicht begrenzt. Bei den meisten Modellen liegt diese über der erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h im österreichischen Straßennetz. Für Hybrid- und Elektrofahrzeuge siehe Anhang 1 sowie Kapitel 3.2. Verbrauchswerte sind Anhang 1 zu entnehmen. |
| Mehrspurige Leichtkraftfahrzeuge Klasse L6e | <u>Bestand 2011:</u> 15.390 Fahrzeuge Gesetzliche Definitionen und Bestimmungen: siehe Kapitel 3.2.3 Verbrauchswerte sind Anhang 1 zu entnehmen. |
| Vierrädrige Kraftfahrzeuge Klasse L7e | <u>Bestand 2011:</u> (L7e, L5e): 15.404 Fahrzeuge Gesetzliche Definitionen und Bestimmungen: siehe Kapitel 3.2.3 Verbrauchswerte sind Anhang 1 zu entnehmen. |
| Quellen: vgl. § 1-2, § 6, § 18, § 31 FSG vgl. § 2-3 KFG vgl. Cerwenka et al., Grundlagen, 2003, Blatt 6-32, 6-41 vgl. HP: STA, KFZ, 2012 | |

Ein weiterer Einflussfaktor bzw. Indikator für das Mobilitätsverhalten ist der Besitz einer Lenkerberechtigung. Bei Verkehrsbefragungen in Niederösterreich (NÖ) und Vorarlberg (Vbg.) 2008 gaben 87 (NÖ) bis 90 (Vbg.) Prozent der erwachsenen Befragten an, eine Lenkerberechtigung der Klasse B zu besitzen.^{216 217}

In Bezug auf den Besitz eines Mofas oder Motorrades zeigten sich im Rahmen der Mobilitätsbefragung 2008 in Niederösterreich große Unterschiede zwischen den Altersgruppen. Während in ganz NÖ durchschnittlich 11 Prozent der Befragten ab 16 Jahren ein Kraftrad besaßen, ist der Anteil bei den 16 bis 17-jährigen mit 45 Prozent am höchsten. Große Unterschiede gibt es auch zwischen den Geschlechtern. Niederösterreichweit besaßen 5 Prozent

²¹⁴ vgl. HP: STA, KFZ-Neu, 2011

²¹⁵ vgl. Helms et al.-GLB, 2011, S.22

²¹⁶ vgl. Herry, NÖ, 2008, S.25

²¹⁷ vgl. Herry, Vbg, 2009, S.30

der weiblichen Befragten über 16 Jahren ein Mofa oder Motorrad; gegenüber 18 Prozent der männlichen Befragten.²¹⁸

Tabelle 20: Bestand und Eigenschaften von Krafträdern

| | |
|---|---|
| Krafträder allgemein | Krafträder sind Kraftfahrzeuge mit zwei oder drei Rädern (wobei Zwillingsräder als ein Rad zu zählen sind). Ein Motorrad-Abstellplatz hat folgende Mindestmaße: Länge: 2,20 m, Breite: 1,50 m. Weitere Eigenschaften: siehe auch Kapitel 3.2.2 |
| Motorräder Klasse L3e | <u>Bestand 2011:</u> Kleinmotorräder: 1.310 Leichtmotorräder: 179.279 Motorräder: 230.396 Gesetzliche Definitionen und Bestimmungen: siehe Kapitel 3.2.2 Verbrauchswerte sind Anhang 1 zu entnehmen. |
| Kleinkrafträder (Motorfahrräder) Klasse L1e | <u>Bestand 2011:</u> 301.650 Fahrzeuge Gesetzliche Definitionen und Bestimmungen: siehe Kapitel 3.2.2 Verbrauchswerte sind Anhang 1 zu entnehmen. |
| Motordreiräder Klasse L5e | <u>Bestand 2011:</u> siehe L7e |
| Quellen: vgl. HP: STA, KFZ, 2012 (Anmerkungen siehe Abbildung 10) vgl. § 2 Abs. 1 Z. 3-4 KFG vgl. § 6 Abs. 3 bis 4 WGarG | |

4.2.2 Fahrräder

Österreichweit kamen im Jahr 2010 auf 1000 Einwohner durchschnittlich 710 Fahrräder, wobei es in Haushalten mit Fahrrädern häufig mehr Fahrräder als Personen gibt. Dies weist darauf hin, dass je nach Verkehrszweck unterschiedliche Räder zur Verfügung stehen.²¹⁹ Der Bestand an Fahrrädern pro 1000 Einwohnerinnen variiert je nach Bundesland, wie Abbildung 12 zu entnehmen ist. Auch unter den Altersgruppen gibt es Unterschiede: Am höchsten – mit etwa 90 Prozent in Niederösterreich und Vorarlberg – ist der Fahrradbesitz in den Altersgruppen der 6 bis 17-jährigen sowie der 35 bis 49-jährigen, am geringsten bei den über 64-jährigen.^{220 221} Allgemein übersteigt der Fahrradbestand jenen der Fahrzeuge des MIV (Ausnahmen: Burgenland und Kärnten), wobei zu berücksichtigen ist, dass sich Fahrradbesitz und -nutzung auch auf Personen unter 16 Jahren erstrecken. In Tabelle 21 sind die wichtigsten Eigenschaften von Fahrrädern zusammengefasst.

²¹⁸ vgl. Herry, NÖ, 2008, S.26f

²¹⁹ vgl. BM VIT, 2011, S.11f

²²⁰ vgl. Herry, NÖ, 2008, S.29

²²¹ vgl. Herry, Vbg, 2009, S.34

Abbildung 12: Vergleich: Fahrräder und Kfz des MIV pro 1000 Einwohner im Jahr 2010

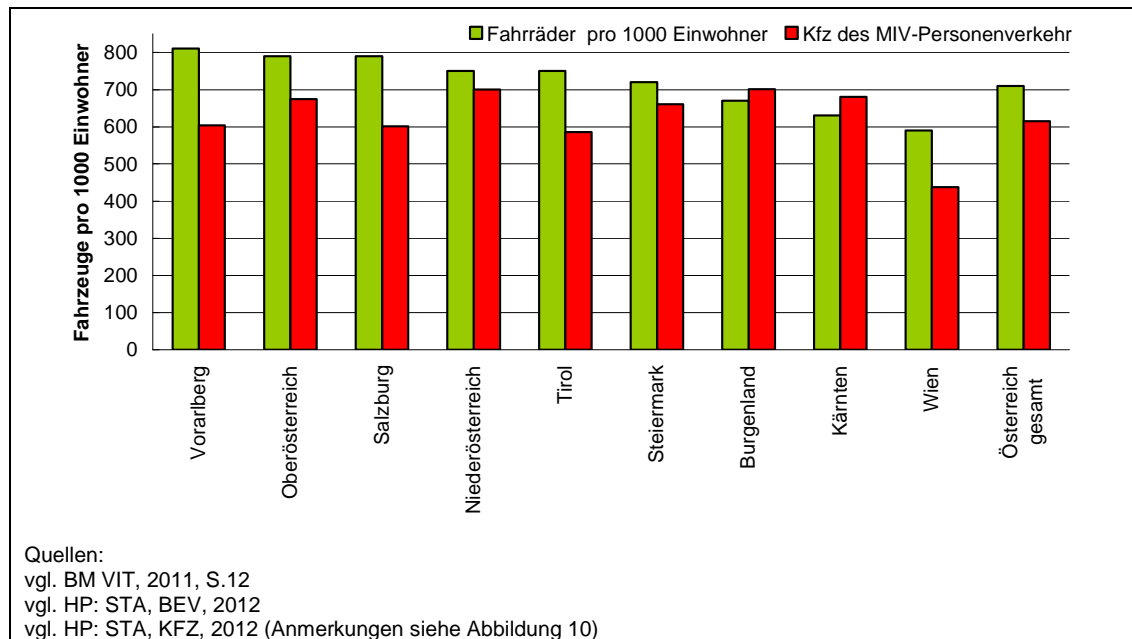


Tabelle 21: Eigenschaften von Fahrrädern

| | |
|-------------------|---|
| Definition | Unter Fahrrad versteht man ein meist zweirädriges und einspuriges Fahrzeug, das mit Muskelkraft durch Treten von Pedalen angetrieben wird. Es gibt jedoch verschiedene Variationen, wie Fahrräder mit drei Rädern oder Fahrräder, die durch Handkurbeln angetrieben werden. Auch Räder, die eine Leistung von 600 Watt und eine Bauartgeschwindigkeit bzw. Tretkraftunterstützung bis 25 km/h nicht überschreiten, sind im Gesetz als Fahrräder definiert. Diese werden Pedelecs oder Elektrofahrräder genannt. (Details siehe Kapitel 3.2.1) |
| Allgemein | Fahrräder verfügen über keinen Witterungsschutz. Mit ihnen werden im Alltag durchschnittliche Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h erreicht. Pro Fahrrad wird üblicherweise eine Person befördert. Als Mindestmaße für ein Fahrrad gilt im fließenden Verkehr eine Breite des Verkehrsraumes von 1,5 m, im ruhenden Verkehr eine Fläche von 0,80 x 2 m. Weitere Eigenschaften siehe Kapitel 3.2.1 |
| Quellen: | vgl. Cerwenka et al., Grundlagen, 2003, Blatt 6-25 vgl. § 6 Abs. 3 bis 4 WGarG vgl. § 1 Abs. 2a KFG |

4.2.3 Fußgänger

„Neben dem reinen Fußgängerverkehr entstehen fußläufige Ortsveränderungen bei allen Fahrten mit Verkehrsmitteln.“ [Cerwenka et al., Grundlagen, 2003, Blatt 6-2]

Die Gehgeschwindigkeit liegt zwischen 2,5 und 6,5 km/h; im Durchschnitt bei 5 km/h. Sie variiert je nach Neigung der Verkehrsfläche, persönlichen Möglichkeiten (Alter, Gesundheitszustand, Mitnahme von Personen, Tieren oder Gegenständen etc.) sowie insbesondere je nach Dichte des Fußgängerstroms.²²²

²²² vgl. Cerwenka et al., Grundlagen, 2003, Blatt 6-11f

4.2.4 Omnibusse und Schienenverkehr

Omnibusse können sowohl im öffentlichen Linienverkehr (z.B. auch als Rufbusse, die entweder wie Anrufsammeltaxis funktionieren oder eine festgelegte Stammstrecke befahren, bei telefonischer Voranmeldung jedoch davon abweichen, um definierte Bedarfshaltestellen zu bedienen) als auch für Gelegenheitsverkehre eingesetzt werden, etwa als Zubringer zu Veranstaltungen, für Busreisen etc. Ende 2011 waren in Österreich 9.602 Fahrzeuge der Klassen M2 und M3 gemeldet. Omnibusse bieten je nach Größe Platz für etwa 40 (Minibus) bis 110 (Gelenkbus) Fahrgäste.

Folgende Verkehrsmittel werden rein als öffentliche Linienverkehre eingesetzt: Die Verkehrsmittel O-Bus, Straßenbahn und U-Bahn zählen zu den elektrifizierten Linienverkehren und werden in Kapitel 3.2 behandelt. Die Verkehrsmittel S-Bahn sowie Regional- und Fernzug werden teils in Elektro-Traktion, teils in Diesel-Traktion betrieben. Ihre Eigenschaften und Einsatzbereiche wurden ebenfalls in Kapitel 3.2 näher behandelt.

Verbrauchswerte von Omnibussen, O-Bussen und Verkehrsmitteln des Schienenverkehrs sind in Anhang 1 zu finden.

Zur Erreichbarkeit von Haltestellen des ÖV werden die Mobilitätsbefragungen des Jahres 2008 in Niederösterreich und Vorarlberg herangezogen. Dabei gaben 91 bis 97 Prozent der Befragten an, eine Bushaltestelle in durchschnittlich 5 bis 7 Minuten fußläufig erreichen zu können. Für Bahnhaltestellen liegt der Anteil jener Personen, die diese fußläufig erreichen können, deutlich niedriger, bei 60 bis 67 Prozent der Befragten. Die Wegdauer dorthin ist mit 16 bis 17 Minuten auch wesentlich höher.^{223 224}

Ein wichtiger Einflussfaktor bzw. Indikator für die Benutzung öffentlicher Verkehrsmittel ist der Besitz von Zeitkarten für den ÖV. 23 (NÖ) bis 29 (Vbg.) Prozent der Befragten ab 6 Jahren gaben an, eine Zeitkarte zu besitzen. Besonders groß ist dieser Anteil in der Altersgruppe der 6 bis 17-jährigen mit 53 (NÖ) bis 68 (Vbg.) Prozent.^{225 226}

4.2.5 Organisationsformen unterschiedlicher Verkehrsmittel

Verkehrsmittel können in unterschiedlichen Organisationsformen eingesetzt werden. Die größte Unterscheidung ist jene in Individualverkehr und öffentlichen Verkehr. In der Vergangenheit bis heute überwiegen im Individualverkehr Fahrzeuge, die sich im Privatbesitz der NutzerInnen befinden – sowohl bei den motorisierten als auch nicht motorisierten Verkehrsmitteln. In den letzten Jahren ist eine Zunahme an Mobilitätsangeboten zu verzeichnen, bei denen Nutzung und Besitz der Fahrzeuge entkoppelt sind. Folgend sollen entsprechende Mobilitätsangebote für die unterschiedlichen Verkehrsmittel vorgestellt werden.

Fahrrad

Neben konventionellen einzelnen privaten Verleihern, gibt es mittlerweile in verschiedenen Städten und Regionen Österreichs auch Radverleihsysteme, bei denen die Fahrräder den NutzerInnen zur Selbstbedienung im öffentlichen Raum bzw. an öffentlich zugänglichen Stationen zur Verfügung stehen. Die verwendeten Fahrräder sind üblicherweise stabil und einfach ausgestattet und eignen sich besonders für kurze Distanzen. Im Unterschied zum privaten Fahrrad sind sie auch für Einwegfahrten einsetzbar. Zugang und Abrechnung erfolgen mittels Bankomat- oder Kreditkarte, Mobiltelefon oder spezieller Zugangskarte. In Österreich gibt es derartige Systeme mit „Citybike“ in

²²³ vgl. Herry, NÖ, 2008, S.21

²²⁴ vgl. Herry, Vbg, 2009, S.23

²²⁵ vgl. Herry, NÖ, 2008, S.28

²²⁶ vgl. Herry, Vbg, 2009, S.31

Wien (92 Stationen mit 1200 Fahrrädern²²⁷) und mit „nextbike“ in: Niederösterreich, Oberösterreich, Salzburg (Stadt) und Vorarlberg.

Personenkraftwagen

- **Kfz-Verleih:** Zum Verleih stehen verschiedene Fahrzeugmodelle zur Verfügung, die üblicherweise vorher reserviert werden müssen. Häufig werden Fahrzeuge für mindestens einen Tag gemietet und an derselben Station zurückgegeben.
- **Taxi und Mietwagen:** Taxis und Mietwagen sind PKW, die mit zugehöriger Kraftfahrerin für individuelle Strecken gebucht werden. Je nach Versorgungsgebiet erfolgt die Bestellung per Telefon, Internet oder direkt im Straßenraum. Meist werden Fahrzeuge der Mittel- oder Oberklasse eingesetzt. Im Jahr 2010 waren in Österreich insgesamt 16.511 Taxis und 10.129 Mietwagen bei der Wirtschaftskammer registriert. Beim Wagenstand der Taxis und Mietwagen wurde von 2001 bis 2010 ein Zuwachs von etwa 30 Prozent verzeichnet.²²⁸ Als Jahresfahrleistung werden 50.000 bis 60.000 km pro Fahrzeug angenommen.²²⁹

Einen Sonderfall stellt das Anrufsammeltaxi dar: Dieses wird in Zeiten oder Räumen eingesetzt, in denen der Transport von Personen nicht wirtschaftlich durch Linienverkehre abgedeckt werden kann. Anrufsammeltaxis sind laut §38 Abs.3 Kraftfahrliniengesetz „Taxiverkehre, die Fahrgäste nach telefonischer Vorbestellung mit eigens als Anrufsammeltaxi gekennzeichneten Taxis zu festen Abfahrtszeiten von besonders bezeichneten Abfahrtsstellen gegen einen fixen Fahrpreis zu einem gewünschten Fahrziel innerhalb eines vorgegebenen abgegrenzten Betriebsgebietes befördern.“ [Kraftfahrgesetz (KFG) 1967]

Das Taxi wird über eine zentrale Rufnummer telefonisch bestellt. Zum Teil gibt es auch regelmäßig frequentierte Anfahrtsstellen, bei denen keine vorherige Buchung erforderlich ist, z.B. an höherrangigen ÖV-Stationen. Der Zustieg erfolgt an definierten Stationen, der Ausstieg kann meist unmittelbar am Fahrziel erfolgen. Die Routenplanung erfolgt durch die FahrerIn nach den individuellen Zielvorgaben der Fahrgäste.

- **Carsharing:** Die Fahrzeuge stehen den NutzerInnen – meist in Selbstbedienung – an fixen Standplätzen oder im öffentlichen Raum zur Verfügung. Im Unterschied zu herkömmlichen Leihfahrzeugen können die Fahrzeuge auch für kurze Zeiträume (minuten- oder stundenweise) sowie zum Teil auch für Einwegfahrten genutzt werden. Untersuchungen im Rahmen des Carsharing Projektes „momo“ der EU legen dar, dass Carsharing-Flotten einen geringeren durchschnittlichen Treibstoffverbrauch als die jeweiligen nationalen Flotten, geringere CO₂-Emissionen (durchschnittlich minus 20 Prozent) sowie einen geringeren Flächenverbrauch vorweisen. Das wird zurückgeführt auf den Einsatz moderner Fahrzeuge, die je nach Fahrzeuggröße preislich gestaffelt angeboten werden. Generell werden vorwiegend Kleinwagen eingesetzt. Durch die Verwendung von Carsharing entfällt für NutzerInnen die Notwendigkeit selbst ein Fahrzeug zu besitzen bzw. einen Zweit- oder Drittwagen zu erwerben. Ein Carsharing Fahrzeug ersetzt durchschnittlich 4 bis 8 PKW.²³⁰ Dementsprechend wird der Bedarf an Verkehrsflächen für den ruhenden Verkehr reduziert. In Österreich betreiben derartige Systeme, DENZEL Mobility CarSharing GmbH (österreichweit) und Car2Go Österreich GmbH (Wiener Innenbezirke und Teile der Außenbezirke). DENZEL Mobility stellte 2011 ungefähr 300 Fahrzeuge an ÖV-

²²⁷ vgl. Wegschneider, 2012

²²⁸ vgl. FdB, 2011, S.5

²²⁹ vgl. L & K, 2006, S.19

²³⁰ vgl. HP: EC, 2012

Knotenpunkten in Österreich bereit. Nach eigenen Angaben liegt der Treibstoffverbrauch der Fahrzeugflotte bei durchschnittlich etwa 5 l pro 100 km mit einem CO₂-Ausstoß von 126 g pro km.²³¹ Mit Car2Go stehen 500 Fahrzeuge (Modell: Smart Fortwo mhd) im öffentlichen Raum in Wien zur Verfügung. Ihr Verbrauch liegt bei 4,5 l Diesel pro 100 km, der CO₂-Ausstoß bei 97 g pro km.²³²

Anmerkung: Carsharing wird üblicherweise von gewerblichen Anbietern bereitgestellt. Möglich ist jedoch auch die Bereitstellung privater PKW, in Zeiten in denen sie nicht von den Besitzerinnen gebraucht werden. In den USA gibt es bereits entsprechende Websites, die Anbietende und Nachfragende miteinander vernetzen.²³³

- **Carpooling:** Beim Carpooling befindet sich das Fahrzeug im Besitz einer der beförderten Personen. Durch Mitnahme weiterer Personen werden der Besetzungsgrad und damit die Effizienz des Fahrzeugeinsatzes erhöht. Fahrgemeinschaften können privat oder über Mitfahrportale (im Internet) organisiert werden. Sowohl regelmäßige als auch einmalige Arrangements sind möglich.

4.3 Bestandsaufnahmen bestehender Mobilitätsmuster

Das vorliegende Kapitel beschäftigt sich damit, nach welchen Mustern Verkehrsmittel in Österreich eingesetzt werden. Die Analyse bestehender Mobilitätsmuster dient dazu, einzuschätzen, wo Potentiale zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs im Personenverkehr brach liegen. Weiters dient es als Vorbereitung für die Definition vorrangiger Einsatzbereiche elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel.

Das „Mobilitätsverhalten von Personen lässt sich in viele Einzelbestandteile zerlegen: Wichtig sind dabei die Häufigkeit und der Anlass der Ortsveränderungen sowie deren räumliche, zeitliche und modale Aspekte. Zur Abbildung dieser Aspekte stehen im verwendeten Datenbestand eine Reihe von Mobilitätsmerkmalen zur Verfügung, wie z.B. die Verkehrsmittelwahl, der Wegzweck (Anlass der Ortsveränderung) oder die Weglänge und -dauer“ [Herry, Vbg, 2009, S.38]

Als Datengrundlage dienen Ergebnisse der Verkehrsverhaltensbefragungen 2008 in Niederösterreich (NÖ) und Vorarlberg (Vbg.) sowie Verkehr in Zahlen 2007 (beides von Herry Consult), weiters der Bericht Radverkehr in Zahlen sowie eine Analyse vorhandener Mobilitätserhebungen im Rahmen des Projekts „Smart Electric Mobility“.

Da sich das Mobilitätsverhalten an Werktagen stark von jenem an Sonntagen unterscheidet, wird in der Analyse zunächst nur auf Werktage eingegangen. Am Ende des Kapitels sind in einem kurzen Abriss die wichtigsten Kennzahlen zum sonntäglichen Mobilitätsverhalten erläutert.

Anmerkung: Anhand der oben genannten Mobilitätserhebungen von Herry Consult, kann keine klare Abgrenzung zum Güterverkehr getroffen werden, da ALLE Wege der befragten Personen einbezogen wurden. Dies betrifft Angaben zum Wegzweck „dienstlich/geschäftlich“ sowie die Verkehrsart „MIV-Lenker“ (in NÖ) bzw. „sonstige Verkehrsmittel“ (in Vbg.), worunter Taxis, LKWs und andere Nutzfahrzeuge fallen können.²³⁴

²³¹ vgl. HP: Denzel, 2012

²³² vgl. HP: Car2Go, 2012

²³³ vgl. HP: Zelechowski, 2012

²³⁴ vgl. Steinacher, 2012

4.3.1 Werktägliche Mobilitätsnachfrage

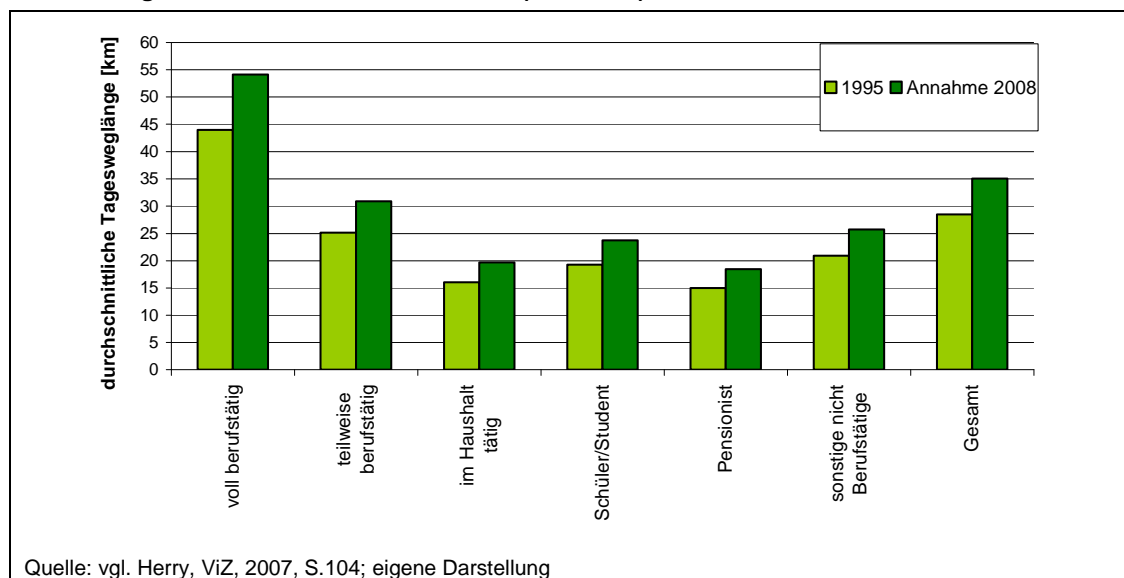
In vorliegendem Kapitel wird der werktägliche Mobilitätsbedarf betrachtet. Dabei wird den Fragen nachgegangen, zu welchem Zweck Wege unternommen werden, welche Distanzen dabei zurückgelegt werden, zu welchen Zeiten die Ortsveränderungen stattfinden sowie in welchem Ausmaß sich die entsprechenden Werte zwischen verschiedenen Altersgruppen und Raumstrukturen unterscheiden.

Durchschnittliche Tagesweglänge – allgemein und nach Beschäftigung

Die durchschnittliche Tagesweglänge pro Person betrug in Österreich im Jahr 1995 etwa 29 km. Seitdem sind die Tagesdistanzen tendenziell gestiegen. Geht man in Österreich von einem ähnlichen Trend aus, wie ihn die Bundesländer Niederösterreich und Vorarlberg seit 1995 verzeichnen, liegt die durchschnittliche Tagesweglänge pro Person ab 6 Jahren bei etwa 35 Kilometern. In den genannten Bundesländern nahm die durchschnittliche Tagesweglänge von 1995 bis 2003 um etwa 23 Prozent auf 43 km (NÖ) bzw. 32 km (Vbg.) zu. Bis 2008 blieb die Tagesweglänge pro Person ab 6 Jahren in Vorarlberg (mit Ausnahme peripherer Gemeinden) jedoch stabil bis leicht rückläufig.^{235 236}

Nach Beschäftigung differenziert liegen durchschnittliche Tagesweglängen für das Jahr 1995 vor. Auf den oben beschriebenen Entwicklungen der Tagesweglänge basierend, wurde eine Zunahme um 23 Prozent (über alle Personenkategorien) bis 2008 angenommen. Wie Abbildung 13 zeigt, variieren diese stark mit Berufs- bzw. Erwerbstätigkeit von Personen. Die höchsten Tagesweglängen legen 2008 voll Berufstätige mit 54 km pro Tag zurück, gefolgt von teilweise Berufstätigen mit 31 km. Die kürzesten Distanzen sind in der Gruppe der Pensionisten mit 18 km pro Tag zu verzeichnen. 1995 legten Männer eine beinahe doppelt so große Distanz zurück wie Frauen; jedoch reduzierte sich dieser Unterschied in den letzten Jahren.²³⁷

Abbildung 13: Werktägliche durchschnittliche Tagesweglänge je Person nach Berufs- bzw. Erwerbstätigkeit – Österreich 1995 und 2008 (Annahme)



²³⁵ vgl. Herry, ViZ, 2007, S.86f, 104

²³⁶ vgl. Herry, ViZ, 2007, S.86f, 104

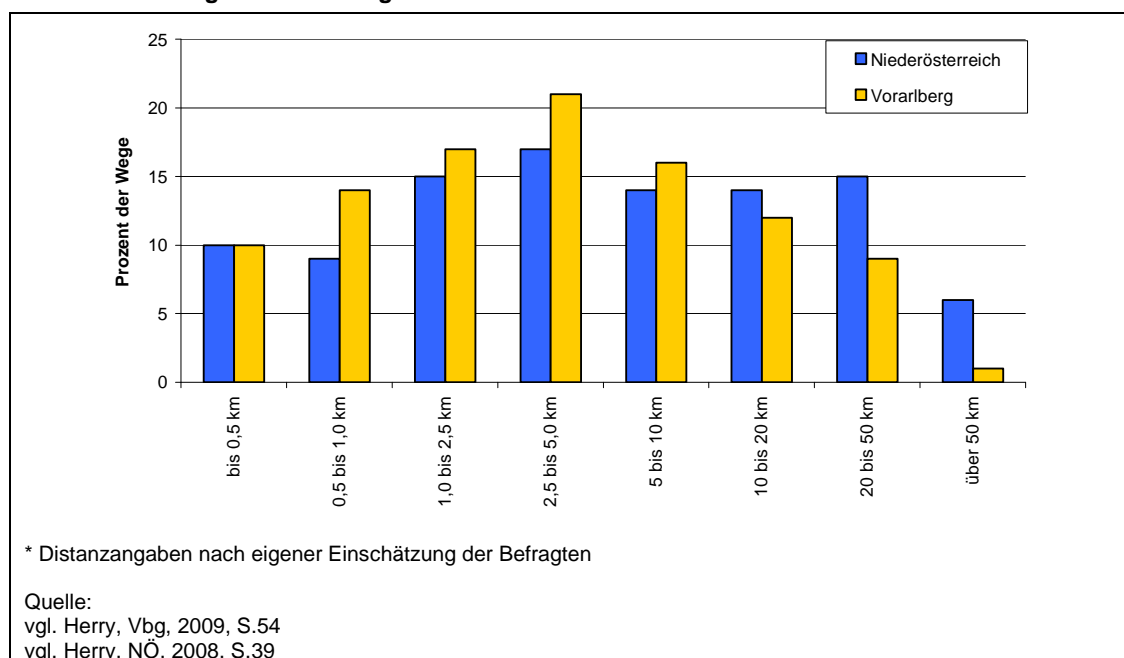
²³⁷ vgl. Herry, ViZ, 2007, S.104

Anzahl der zurückgelegten Wege – nach Weglänge und Wegzweck

In Österreich wurden 1995 etwa 3 Wege pro Person und Tag zurückgelegt. Seitdem ist dieser Wert nahezu stabil geblieben; variiert jedoch zwischen den Bundesländern von 2,7 im Burgenland bis 3,4 in Vorarlberg.²³⁸

In Abbildung 14 sind die Wege in Niederösterreich und Vorarlberg für 2008 nach Distanzklassen differenziert dargestellt. Neben Rahmenbedingungen – wie Witterung, Gepäck oder weitere Ziele – ist die Länge des Weges ein wichtiges Kriterium für die Eignung der zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel. Es fällt auf, dass ein hoher Prozentsatz der Wege (19 bis 24 Prozent) nicht länger als ein Kilometer ist. 50 bis 60 Prozent der Wege liegen im Bereich bis 5 Kilometer und 65 bis 78 Prozent sind immerhin nicht länger als 10 Kilometer und können z.B. innerhalb einer halben Stunde durch Fahrräder, Pedelecs oder Elektrofahräder zurückgelegt werden. Weitere 20 bis 30 Prozent der Wege liegen zwischen 10 und unter 50 Kilometer und sind damit grundsätzlich durch Batterie-PKW realisierbar.

Abbildung 14: Werk tägliche Weglängenverteilung nach Weglängenklassen der Wohnbevölkerung in NÖ und Vbg. 2008



Der Zweck eines Weges ist die jeweilige Aktivität am Zielort, die Anlass der Ortsveränderung war. Die zurückgelegten Wege teilen sich wie in Abbildung 15 ersichtlich, auf die einzelnen Wegzwecke auf. Ebenfalls angeführt sind durchschnittliche Weglängen, differenziert nach Wegzweck für Niederösterreich und Vorarlberg. In Abbildung 16 werden 24-Stunden Fahrprofile von PKW für die einzelnen Verkehrszwecke nach Fahrleistung. Über den Wegzweck können Annahmen für die Verkehrsorganisation getroffen werden, etwa über räumliche und zeitliche Nachfrage nach Verkehrsinfrastrukturen (im fließenden sowie ruhenden Verkehr) bzw. Anforderungen an einzelne Verkehrsmittel (z.B. Transportkapazität). Abbildung 15 zeigt:

- Etwa 35 bis 40 Prozent der realisierten Wege dienen der Raumüberwindung zwischen Arbeitsplatz bzw. Ausbildungsort und Wohnort. Charakteristisch für solche Wege sind ihr regelmäßiges Auftreten an Werktagen mit Spitzen zwischen 7:00 und 8:00, zwischen 13:00 und 14:00 sowie zusätzlich für Arbeitspendler um 17:00 Uhr. Am Zielort sind lange Aufenthalte der Personen die Regel. Dies ist beispielsweise relevant für die Prognose von Standzeiten und -orten von Fahrzeugen. Die durchschnittliche Weglänge bei

²³⁸ vgl. Herry, ViZ, 2007, S.91

Arbeitspendlerinnen beträgt etwa 10 km (Vbg.) bis 21 km (NÖ). Für Ausbildungspendlerinnen liegt dieser Wert etwa um ein Viertel niedriger.

- Hohe Anteile erreichen weiters die Verkehrszwecke Freizeit, Einkauf und private Erledigungen: Zusammengenommen machen sie knapp 50 Prozent der realisierten Wege aus. Zum Teil ist mit diesen Wegzwecken die Notwendigkeit von Transportkapazitäten verbunden, zum Beispiel für Waren nach Einkäufen oder Gegenstände im Zusammenhang mit Freizeitaktivitäten. Die Nachfrage nach Verkehrsleistungen für oben genannte Zwecke erfolgt nach zeitlich und räumlich unregelmäßigeren Mustern, wobei Freizeitfahrten an Werktagen verstärkt ab 14:00 Uhr auftreten, während private Fahrten am Vormittag ihr Maximum erreichen. Die durchschnittliche Weglänge für Einkaufszwecke beträgt 5 bis 8 km, für Freizeitwecke und private Erledigungen 8 bis 12 km.
- Wege für dienstliche bzw. geschäftliche Zwecke folgen keinen regelmäßigen räumlichen und zeitlichen Mustern. Mit 22 bis 33 km weisen sie die höchsten durchschnittliche Weglängen auf.
- Für das Holen und Bringen von Personen sind Transportkapazitäten erforderlich. Die durchschnittlichen Weglängen dafür sind mit 5 bis 7 km vergleichsweise kurz.

Allen Wegzwecken ist gemein, dass sie zwischen 22:00 Uhr und 5:00 Uhr nahezu keine Mobilitätsnachfrage generieren.

Abbildung 15: Werk tägliche Wegzweckverteilung nach Wegzweckanteilen, Werk täglich durchschnittliche Weglänge nach Wegzwecken der Wohnbevölkerung in NÖ und Vbg 2008

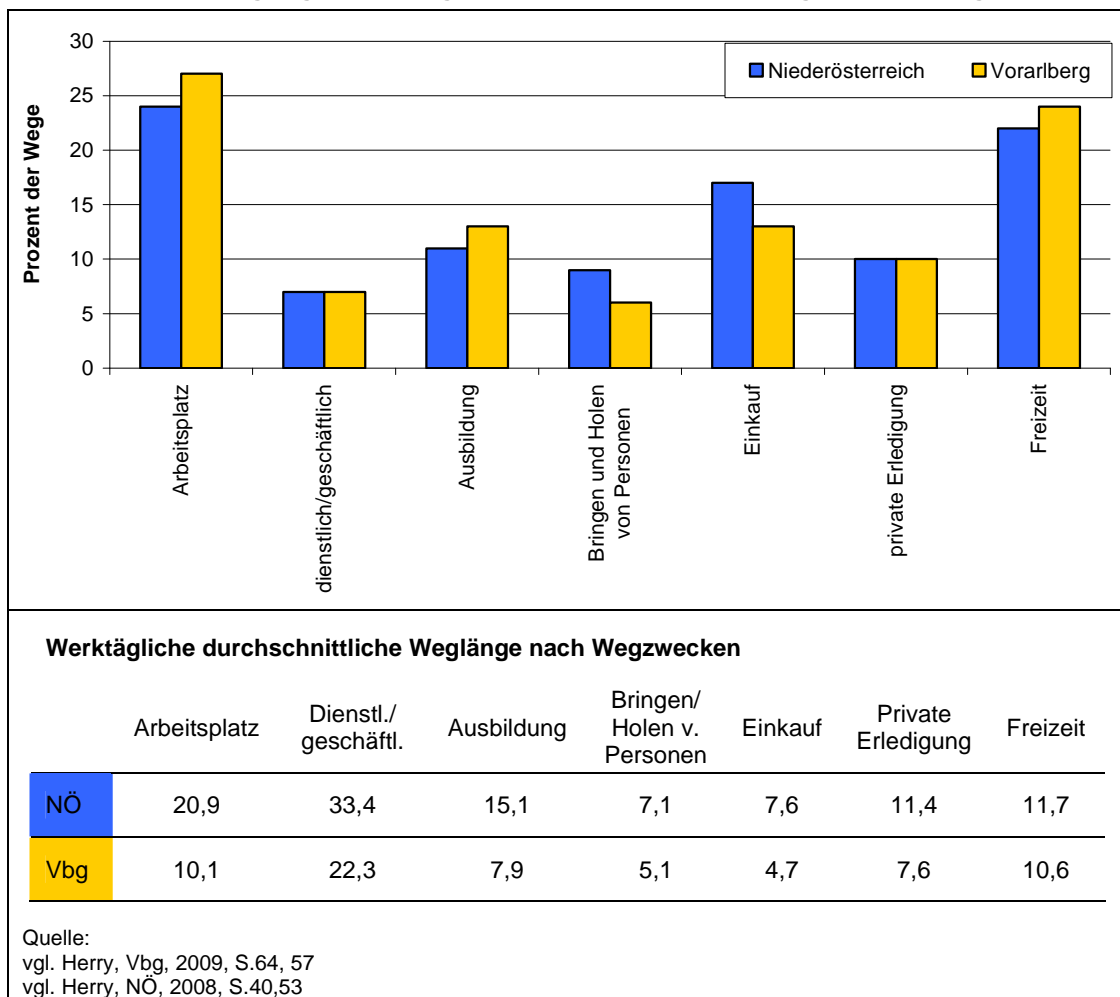
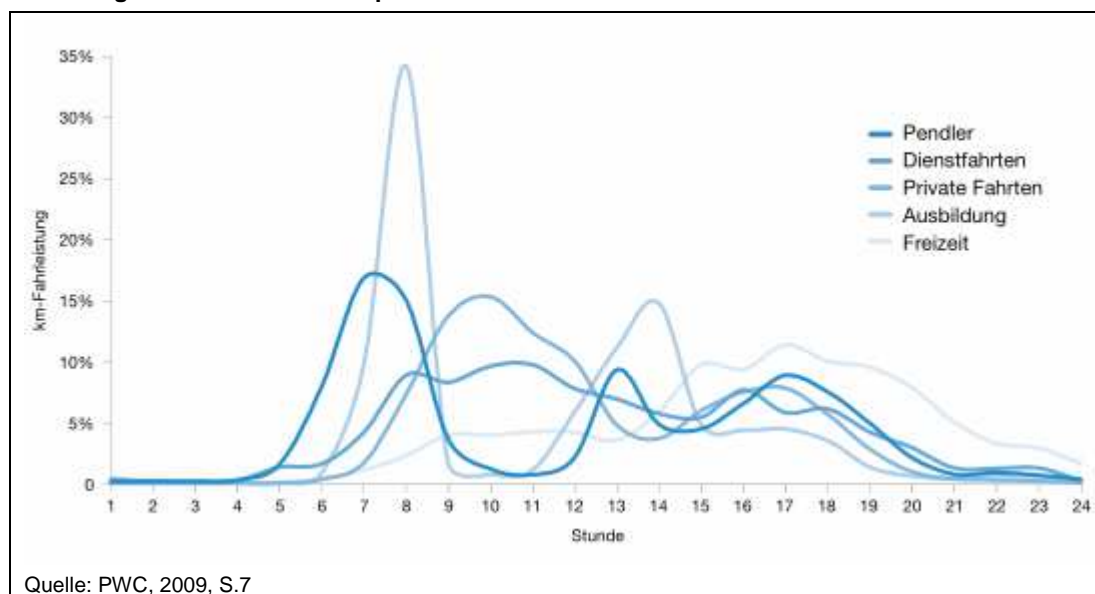
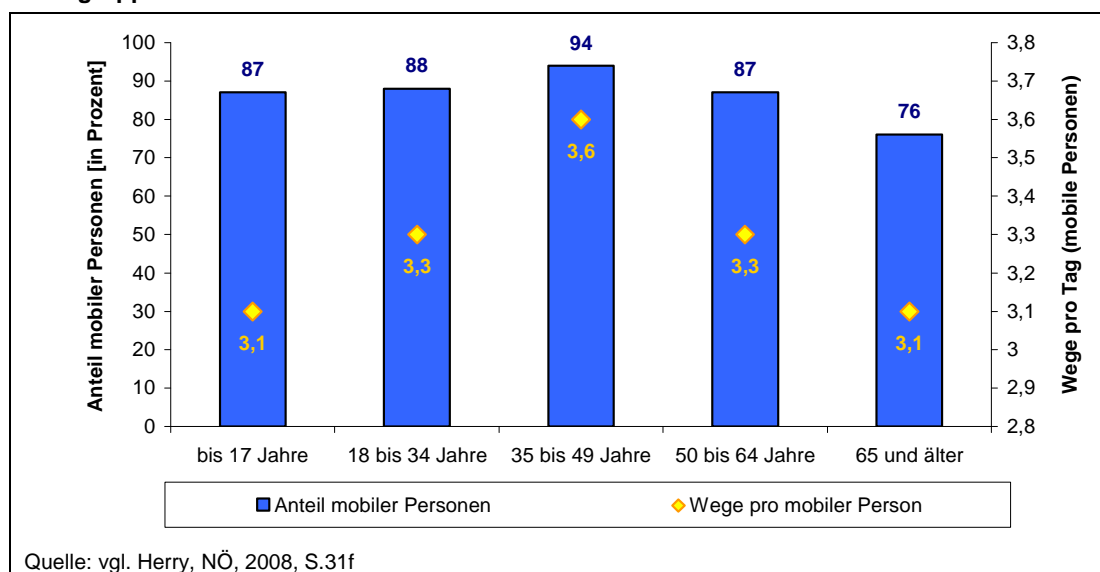


Abbildung 16: 24-Stunden-Fahrtprofile von PKW für die einzelnen Fahrtzwecke


Anzahl der zurückgelegten Wege nach Altersgruppen

Bei Angaben zur Anzahl der Wege pro Person und Tag ist zu unterscheiden zwischen „mobilen“ und „nicht-mobilen“ Personen. Eine Person gilt als „mobil“, wenn sie am befragten Stichtag zumindest einmal Wege außer Haus unternommen hat.

Abbildung 17: Werktäglicher Anteil mobiler Personen und Wege pro mobiler Person nach Altersgruppen in Niederösterreich 2008


Im Jahr 1995 lag in Österreich der Anteil mobiler Personen bei durchschnittlich 82 Prozent. Seitdem ist dieser Anteil tendenziell gestiegen. Beispielsweise nahm er in NÖ von 1995 mit 81 Prozent bis 2008 auf 87 Prozent zu. Ein ähnliches Bild zeigt sich in Vorarlberg, wo der Anteil seit 1995 von 86,5 auf 90 Prozent im Jahr 2008 stieg.^{239 240 241} Wie Abbildung 17 zu entnehmen, steigt der Anteil mobiler Personen mit zunehmendem Alter bis zur Altersgruppe der 35 bis 49-jährigen. Danach fällt er ab und erreicht sein Minimum bei über 65-jährigen Personen. Ähnlich verhält es sich bei der Anzahl der Wege, die pro Tag von mobilen Personen zurückgelegt werden.

²³⁹ vgl. Herry, Vbg, 2009, S.8, 40

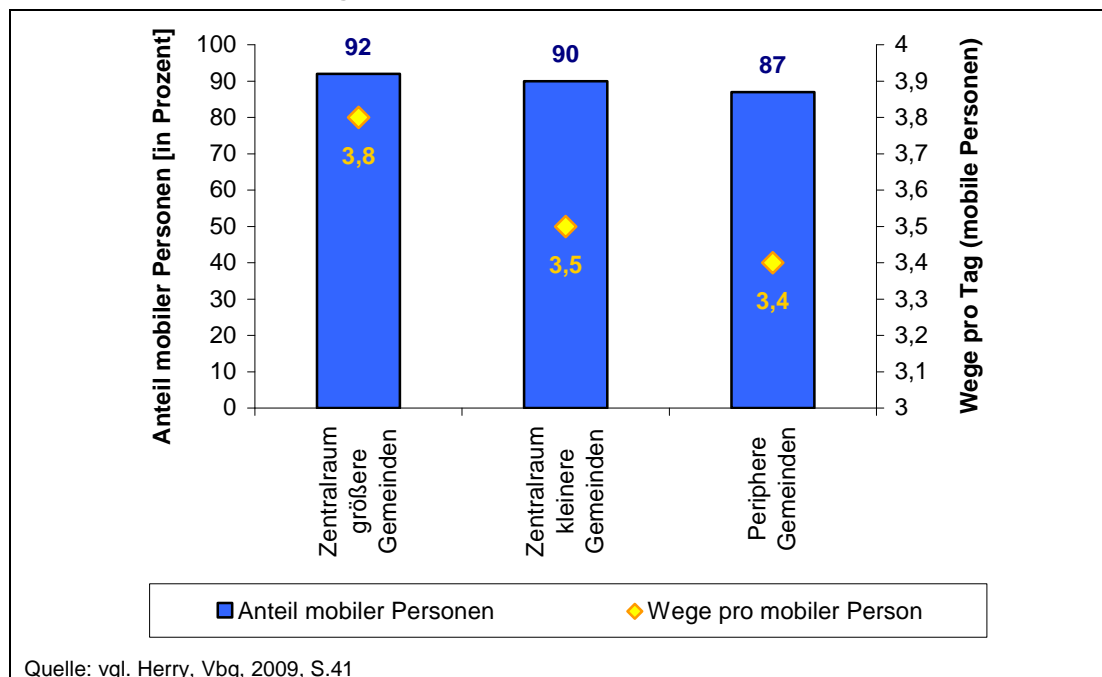
²⁴⁰ vgl. Herry, ViZ, 2007, S.86, 89

²⁴¹ vgl. Herry, NÖ, 2008, S.30

Anzahl der zurückgelegten Wege und Anteil mobiler Personen nach Raumstrukturen

Wie bereits angesprochen, spielen räumliche Rahmenbedingungen wie Siedlungsstruktur und Siedlungsdichte eine wichtige Rolle in der Mobilitätsnachfrage. Im Zuge der Verkehrsverhaltensbefragung Vorarlberg 2008 wurde differenziert nach den Kategorien Zentralraum größere Gemeinden, Zentralraum kleinere Gemeinden und periphere Gemeinden erhoben. Wie in Abbildung 18 dargestellt, sinken sowohl der Anteil mobiler Personen als auch die Wegehäufigkeit mit abnehmender Zentralität und Gemeindegröße. Die durchschnittliche Weglänge jedoch steigt – von 8,5 km bei Bewohnerinnen größeren Gemeinden im Zentralraum auf 12 km pro Weg für Bewohnerinnen peripherer Gemeinden.²⁴²

Abbildung 18: Werktägliches Anteil mobiler Personen und Wege pro mobiler Person nach Raumstrukturen in Vorarlberg 2008



4.3.2 Werk tägliche Verkehrsmittelwahl

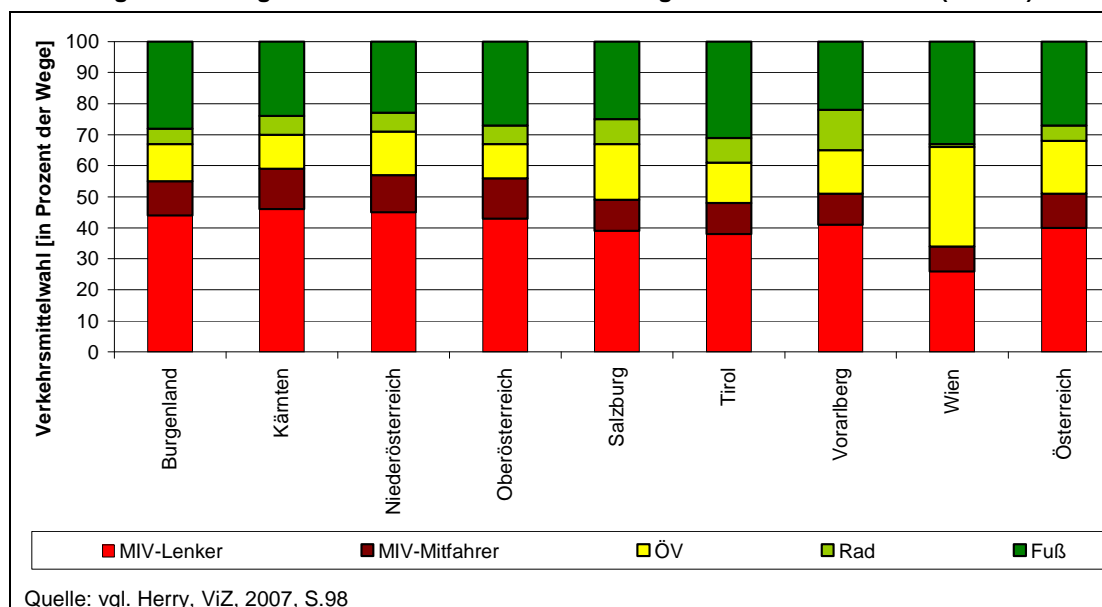
Nun wird ermittelt, welche Verkehrsmittel zur Realisierung des werktäglichen Mobilitätsbedarfs genutzt werden. Wiederum erfolgt die Betrachtung differenziert nach Weglängen, Raumstrukturen sowie Altersgruppen und Wegdauer. Außerdem wird ein Blick darauf geworfen in welchem Ausmaß „komodale Mobilität“ in Österreich realisiert wird.

Verkehrsmittelwahl nach Wegen und Verkehrsleistung

Für die bundesweite Verkehrsmittelwahl liegen nur Ergebnisse aus dem Jahr 1995 vor. In Abbildung 19 sind diese in Prozent der realisierten Wege für die österreichischen Bundesländer sowie für Gesamt-Österreich dargestellt. Bundesweit wird etwa jeder zweite Weg mit dem MIV zurückgelegt. Einzige Ausnahme stellt Wien dar, wo sich die Verkehrsmittelwahl zu ungefähr gleichen Teilen auf MIV, ÖV und nicht-motorisierten Verkehr (Fuß und Rad) verteilt. Der Anteil nicht-motorisiert zurückgelegter Wege betrug in allen Bundesländern zwischen 30 und 40 Prozent.

²⁴² vgl. Herry, Vbg, 2009, S.57

Abbildung 19: Werkägliche Verkehrsmittelwahl nach Wegen und Bundesländern (Ö 1995)



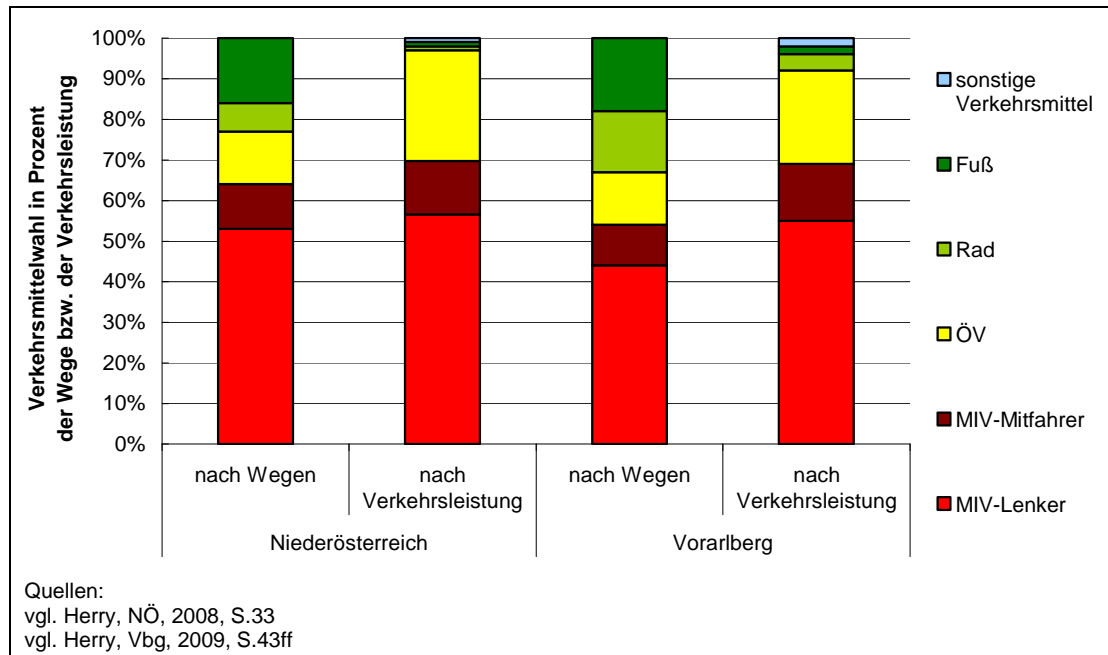
Anders sieht die Verteilung der Verkehrsmittel nach Verkehrsleistung²⁴³ aus. Abbildung 20 zeigt einen Vergleich der Verkehrsmittelaufteilung nach Wegen und Verkehrsleistung, für Niederösterreich und Vorarlberg im Jahr 2008.²⁴⁴ Da für einen Weg oft mehrere Verkehrsmittel benutzt werden, erfolgt die Zuordnung der Verkehrsmittel zu Wegen nach dem „hauptsächlich benutzten Verkehrsmittel“. *„Das hauptsächlich benutzte Verkehrsmittel eines Weges ist das Verkehrsmittel jener Etappe dieses Weges, das innerhalb einer festgelegten Hierarchie den höchsten Rang hat. Die Hierarchie gestaltet sich wie folgt: Bahn schlägt Bus, ÖV (Öffentlicher Verkehr) schlägt IV (Individualverkehr), MIV (motorisierter Individualverkehr) schlägt nMIV (nicht-motorisierter Individualverkehr), Rad schlägt Fuß.“* [Herry, Vbg, 2009, S.42]

Da mit dem MIV und ÖV zurückgelegte Wege durchschnittlich länger sind als Fuß- oder Radwege, steigen die Anteile von MIV und ÖV bei Betrachtung der Verkehrsleistung im Vergleich zu Betrachtung der Weganzahl an. Im Vergleich zwischen NÖ und Vorarlberg fällt auf, dass der MIV-Anteil nach Wegen in Vorarlberg um rund 10 Prozentpunkte niedriger liegt als in Niederösterreich. Bei Betrachtung des MIV-Anteils nach Verkehrsleistung liegen jedoch beide Bundesländer gleichauf. Das bedeutet, dass in Vorarlberg der MIV zwar seltener, jedoch für längere Distanzen benutzt wird. Selbiges gilt in Niederösterreich für den ÖV.

²⁴³ Verkehrsleistung: Personenkilometer je Zeiteinheit in einem definierten Gebiet

²⁴⁴ Für NÖ und Vbg. unterscheidet sich die Kategorisierung der Verkehrsarten bezüglich sonstige Verkehrsmittel, MIV-Lenker und MIV-Mitfahrer. Für Vorarlberg liegen die Daten in detaillierter Form vor und sind untergliedert in PKW-Lenker, PKW-Mitfahrer sowie sonstige Verkehrsmittel, während für NÖ lediglich die Kategorien MIV-Lenker und MIV-Mitfahrer unterschieden werden. „sonstige Verkehrsmittel“ bezeichnet Fahrzeuge, die nicht in anderen Kategorien berücksichtigt wurden, darunter auch Taxis, LKWs, diverse Nutzfahrzeuge etc.

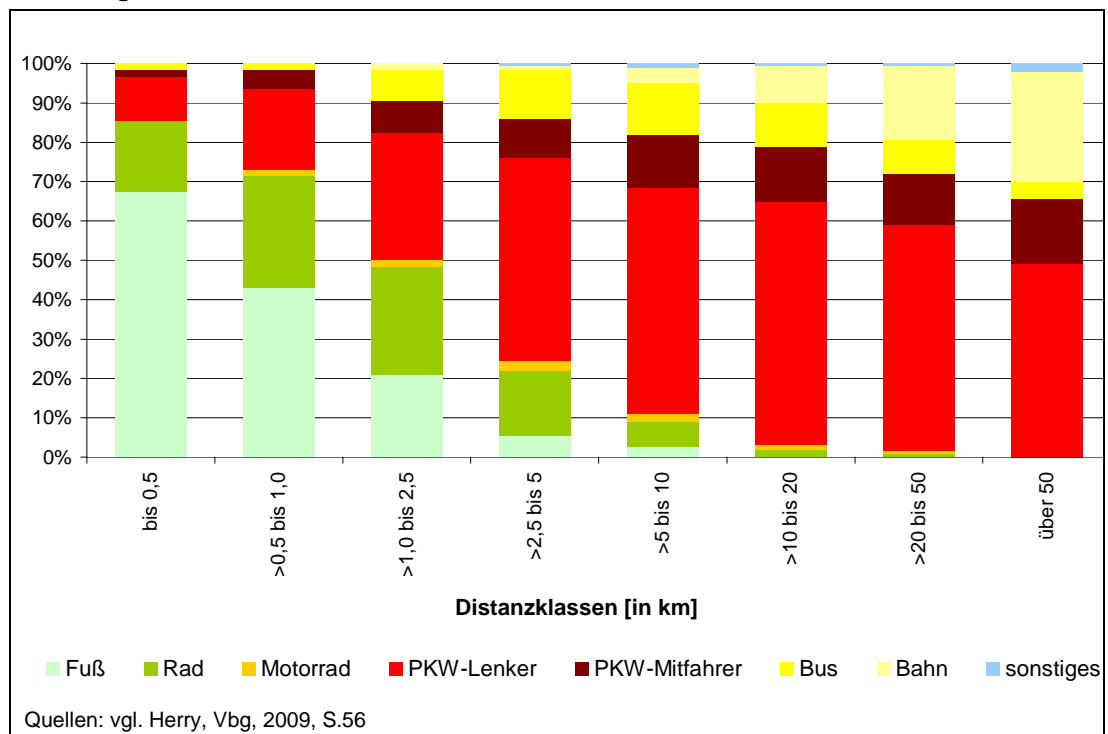
Abbildung 20: Werk tägliche Verkehrsmittelwahl nach Wegen und Verkehrsleistung – Niederösterreich und Vorarlberg 2008



Verkehrsmittelwahl nach Weglänge

Um Potentiale zur Verlagerung von Wegen vom MIV zu Verkehrsmitteln des Umweltverbundes bzw. möglicherweise zu elektrisch unterstützt angetriebenen Verkehrsmitteln zu ermitteln, wird an dieser Stelle die Verkehrsmittelwahl nach Weglängen näher betrachtet. Abbildung 21 zeigt dies am Beispiel von Vorarlberg.

Abbildung 21: Werk täglich hauptsächlich benutztes Verkehrsmittel nach Weglängenklassen – Vorarlberg 2008



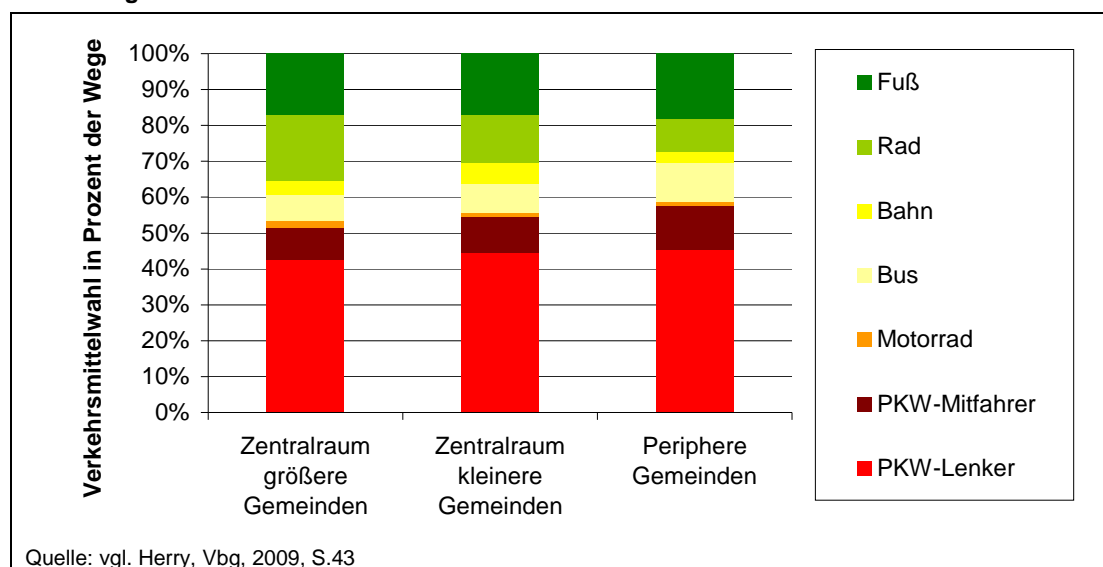
Durchschnittlich werden in Vorarlberg pro Fußweg ca. 1,3 km zurückgelegt. Etwa 10 Prozent aller PKW-Fahrten liegen innerhalb dieses Radius. Pro Weg mit dem Fahrrad werden durchschnittlich 3 km zurückgelegt. Etwa 20 Prozent der PKW-Fahrten enden bei maximal 2,5 km, 47 Prozent sind kürzer als 5 km.²⁴⁵

Bezüglich der Tagesfahrteleistungen von PKW ist festzustellen, dass personenbezogene und PKW-bezogene Tagesfahrteleistungen nahezu ident sind. Daraus ist abzuleiten, dass ein PKW vorwiegend nur von einer Person als Lenkerin genutzt wird. 90 Prozent der personenbezogenen Tagesfahrteleistungen mobiler Personen sind nicht höher als 92 bis 109 km, 95 Prozent nicht höher als 140 bis 166 km.²⁴⁶

Verkehrsmittelwahl nach Raumstrukturen

Je nach Raumstrukturen herrschen andere Bedingungen hinsichtlich Verkehrsmittelangebot und -nachfrage. Mobilitätsdaten zu Vorarlberg nach Gemeindekategorien zeigen entsprechende Tendenzen auf. Es ist allerdings zu erwähnen, dass Vorarlberg im Vergleich zu anderen Bundesländern eine hohe Siedlungsdichte insgesamt aufweist. Wie in Abbildung 22 ersichtlich, nimmt der Anteil des MIV mit abnehmender Zentralität der Gemeinde zu. Beim Radverkehrsanteil verhält es sich umgekehrt. Der Anteil der Fußwege ist hingegen in allen Gebietskategorien gleich hoch. Die Distanzen, die durchschnittlich pro Weg zurückgelegt werden, sind für Fuß- und Radwege über alle Gemeinde-Kategorien annähernd gleich hoch. Die durchschnittliche Weglänge bei Verkehrsmittel des MIV und ÖV hingegen steigt mit abnehmender Zentralität an, wobei die größten Distanz-Unterschiede zwischen den Gebietskategorien bei Wegen mit der Bahn – mit einer Spanne von 28 bis 52 km – zu verzeichnen sind.²⁴⁷

Abbildung 22: Werk tägliche Verkehrsmittelwahl in Prozent der Wege nach Raumstrukturen – Vorarlberg 2008



Verkehrsmittelwahl nach Altersgruppen

Die Wahl der Verkehrsmittel variiert aufgrund unterschiedlicher Mobilitätsbedürfnisse, zur Verfügung stehender Verkehrsmittel und Ressourcen (z.B. Zeit, Geld, Gesundheit) stark zwischen den Altersklassen. Abbildung 23 zeigt die werktäglich hauptsächlich benutzten Verkehrsmittel nach Wegen und Altersklassen für Niederösterreich und Vorarlberg. Daraus lässt sich entnehmen, dass die Benutzung von Verkehrsmittel des Umweltverbundes (Fuß, Rad und ÖV) in der Altersklassen

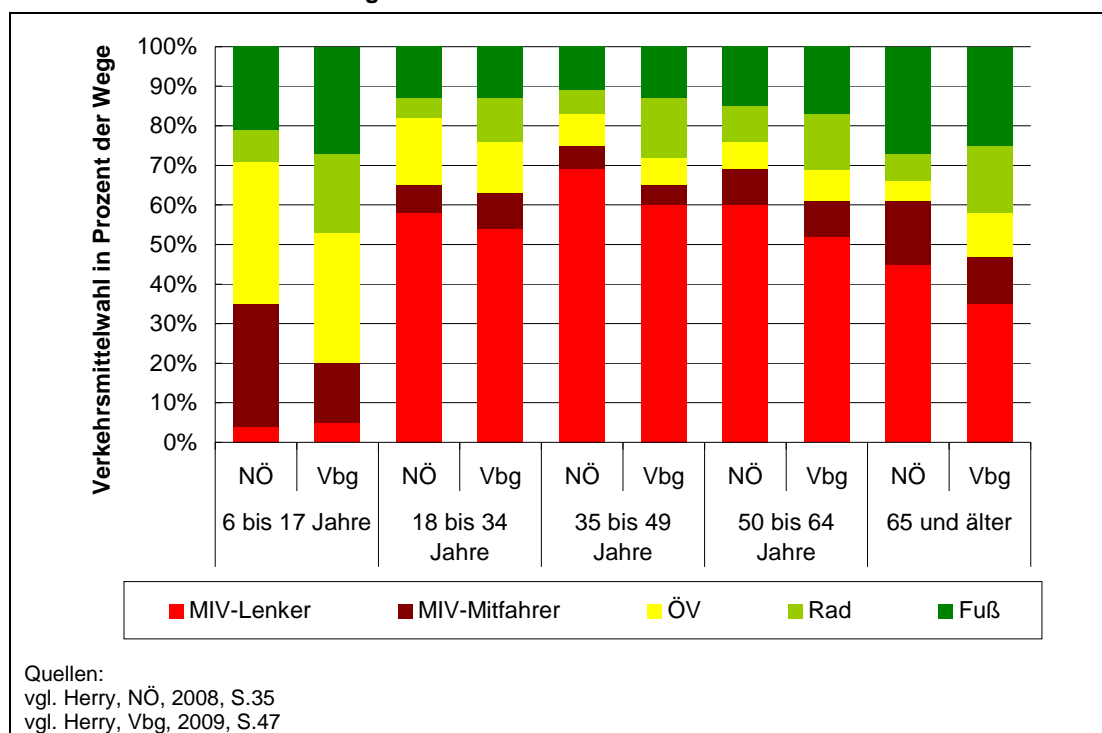
²⁴⁵ vgl. Herry, Vbg, 2009, S.59

²⁴⁶ vgl. Link et al., 2010, S.16

²⁴⁷ vgl. Herry, Vbg, 2009, S.57

der 6 bis 17-jährigen die höchsten Anteile erreicht, gefolgt von den über 64-jährigen. Den MIV nutzt am häufigsten die Gruppe der 35 bis 49-jährigen. Über alle Alterskategorien sind die Anteile des Umweltverbundes in Vorarlberg höher als in Niederösterreich.

Abbildung 23: Werk tägliche Verkehrsmittelwahl in Prozent der Wege nach Altersklassen – Niederösterreich und Vorarlberg 2008



Wegdauer nach Verkehrsmitteln und Wegzweck

Ein weiteres wichtiges Entscheidungskriterium bei der Wahl des Verkehrsmittels ist die Zeit, die aufgebracht werden muss, um einen vorgegebenen Weg damit zurückzulegen. Bei Betrachtung der werktäglich durchschnittlichen Wegdauer in Österreich 1995 nach benutztem Verkehrsmittel zeigt sich: Wege im MIV dauerten im Schnitt 23 Minuten bei einer durchschnittlichen Weglänge von knapp 14 Kilometern. Ähnliche Distanzen wurden auch im ÖV realisiert, allerdings bei einer Wegdauer von knapp 40 Minuten, also beinahe doppelt so lang. Für Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad wird im Durchschnitt etwa eine Viertelstunde aufgewandt. In dieser Zeit werden im Schnitt ein bis zwei Kilometer zurückgelegt.

Interessant ist auch die Betrachtung der Wegdauer nach Wegzweck. Dabei zeigt sich für das Jahr 1995 für die Wegzwecke Berufspendler, Ausbildungsverkehr und Freizeit ein nahezu konstanter Wert von etwa 25 Minuten Wegdauer. Abweichungen nach oben sind beim Wegzweck dienstlich/geschäftlich mit 36 Minuten, Abweichungen nach unten beim Wegzweck private Erledigung/Einkauf mit 16 Minuten zu verzeichnen.^{248 249}

Diese Zahlen stellen lediglich Durchschnittswerte für Österreich dar und sind nicht geeignet als Entscheidungsgrundlage für die Wahl des Verkehrsmittels an spezifischen Standorten herangezogen zu werden. Durch einschränkende Faktoren, wie gesetzliche Höchstgeschwindigkeiten, Verkehrsdichte, Kreuzungen, Stellplatzsuche etc. ergeben sich zum Teil erhebliche Verschiebungen im Verhältnis Weglänge zu Wegdauer für die einzelnen Verkehrsmittel. In urbanen Räumen beispielsweise – die wie in Kapitel 4.1.2 erwähnt einen zunehmenden Anteil

²⁴⁸ Aktuellere Daten aus 2003 und 2004 deuten darauf hin, dass sich die durchschnittliche Wegdauer seit 1995 nur leicht erhöht hat.

²⁴⁹ vgl. Herry, ViZ, 2007, S.86,96

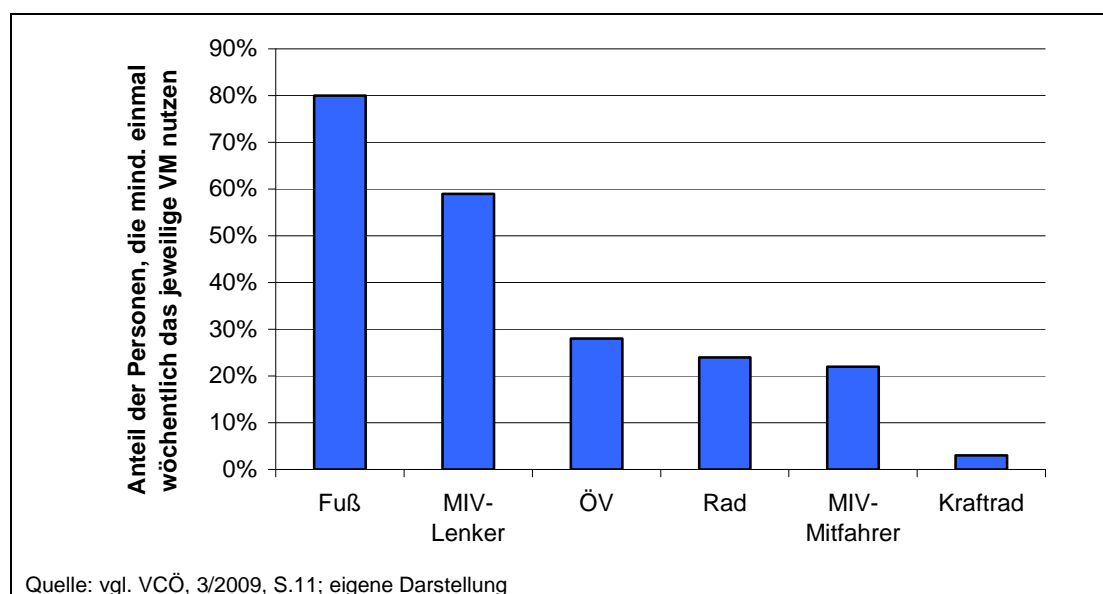
der Bevölkerung beherbergen – stellt sich die zeitliche Konkurrenzfähigkeit zwischen den Verkehrsmitteln anders dar. Der MIV bewegt sich hier aufgrund verschiedener Umstände im fließenden Verkehr mit einer deutlich geringeren Durchschnittsgeschwindigkeit. Hinzu kommt häufig zusätzlicher Zeitaufwand für die Suche nach einem Stellplatz. Infolgedessen sind in der Stadt die zeitlichen Differenzen zwischen den einzelnen Verkehrsmitteln deutlich geringer bzw. sind Verkehrsmittel des Umweltverbundes zum Teil auch schneller am Zielort.

Komodale Mobilität

„ist gemäß der Europäischen Kommission die effiziente Nutzung einzelner Verkehrsmittel oder ihrer Kombination.“ [VCÖ, 3/2009, S.11] Darunter fallen intermodale Wege, d.h. für einen Weg werden mehrere Verkehrsmittel kombiniert (z.B. Fahrrad und ÖV) sowie multimodale Mobilität, d.h. eine Person benutzt über einen bestimmten Zeitraum hinweg wechselnde Verkehrsmittel (z.B. ÖV für Arbeitswege und MIV für Freizeitwege)²⁵⁰

Abbildung 24 stellt die auf eine Woche bezogene multimodale Mobilität der österreichischen Bevölkerung für 2009 dar. Bei Betrachtung fällt auf, dass über 70 Prozent der Personen weniger als einmal pro Woche ÖV und Fahrrad nutzen. Der Anteil jener, die mindestens einmal pro Woche den MIV nutzen ist hingegen mehr als doppelt so hoch. In Kenntnis der realisierten Weglängen müssten Fahrräder als Verkehrsmittel für wesentlich mehr Personen von Relevanz sein. Potentiale für eine flexiblere, situationsangepasste Wahl von Verkehrsmitteln sind folglich noch vorhanden.

Abbildung 24: Anteil der Personen, die mindestens einmal wöchentlich das jeweilige Verkehrsmittel nutzen - Österreich 2009



Betrachtet man die Rahmenbedingungen einzelner Abschnitte eines Weges, sind durch Intermodalität weitere Effizienzerhöhungen möglich.

In Niederösterreich wurden 2008 ÖV-Wege zu 7 Prozent mit dem Fahrrad kombiniert, 27 Prozent mit dem PKW (bei Arbeitswegen sogar 52 Prozent). In den übrigen Fällen wurde der ÖV zu Fuß erreicht. Pro Weg werden durchschnittlich 1,84 Verkehrsmittel eingesetzt. Allerdings wurde hier die Nutzung bspw. der Kombination Bus und Bahn als zwei genutzte Verkehrsmittel gezählt.²⁵¹

²⁵⁰ vgl. VCÖ, 3/2009, S. 11

²⁵¹ vgl. Herry, NÖ, 2008, S.36

4.3.3 Auslastung von Verkehrsmitteln und Verkehrsinfrastrukturen

Bei Strategien zur Erhöhung der Ressourceneffizienz im Verkehr sind Überlegungen zur Auslastung von Verkehrsmitteln und -infrastrukturen zentrale Themen.

Die Auslastung von Verkehrsmitteln im fließenden Verkehr gibt an, wie die in einem Fahrzeug verfügbaren Platzkapazitäten ausgenutzt werden. PKW verfügen über 2 bis maximal 9 Plätze, üblich sind 5 Plätze pro Fahrzeug. Die Auslastung ist meist gering. So lag in Niederösterreich der durchschnittliche Besetzungsgrad 2008 an Werktagen bei 1,2 Personen (entspricht: 24 Prozent bei 5 Plätzen) an Sonntagen etwas höher bei 1,6 Personen (entspricht: 32 Prozent bei 5 Plätzen).²⁵² Für den ÖV ist die Datenlage schwieriger, weshalb für Bahnverkehr auf Werte der Deutschen Bahn aus 2009 zurückgegriffen wird. S-Bahnen verzeichnen eine Auslastung von 30 Prozent, Intercity-Züge liegen bei 42 Prozent.²⁵³ Für den Nahverkehr wird in der Statistik 2008 des Verbandes deutscher Verkehrsunternehmen die durchschnittliche Auslastung mit 21 Prozent beziffert.²⁵⁴

Die Auslastung von Verkehrsmitteln im Tagesverlauf: PKW werden an Tagen, an denen sie genutzt werden, durchschnittlich etwa zwischen 50 und 70 Minuten bewegt. Die restliche Zeit werden sie nicht genutzt.²⁵⁵ Im Durchschnitt beträgt die Standzeit zwischen zwei Fahrten etwa 9 Stunden, variiert jedoch mit dem Abstellort des PKW. Die längsten Standzeiten treten im Anschluss an den Fahrtzweck „nach Hause“ auf, gefolgt von Wegen zu Arbeitsplatz, Ausbildung und Freizeit. In 99,5 Prozent der Fälle beträgt die längste Tagesstandzeit mindestens ca. 6 Stunden.²⁵⁶ Im ÖV erfolgen Anschaffung und Einsatz der Verkehrsmittel auf Basis der Nachfragesituation bzw. wirtschaftlicher Überlegungen. Längere Standzeiten entstehen lediglich nach Betriebsschluss, zu Zeiten schwacher Nachfrage bzw. durch Reservefahrzeuge.

Die Auslastung von Verkehrsinfrastrukturen: Sowohl im fließenden (Straße und Schiene) als auch im ruhenden Verkehr sind die (räumlichen) Kapazitäten begrenzt. So kommt es zu Spitzenverkehrszeiten in einzelnen Streckenabschnitten immer wieder zu Überlastungen. Dies betrifft insbesondere den Straßenverkehr (z.B. an hochrangigen Einfallstraßen in die Kernstädte) sowie den ruhenden Verkehr in Stadtgebieten.

Die Anzahl privater Stellplätze wurde durch Umsetzung entsprechender Gesetze gesteigert, konnte jedoch die Zunahme des Kfz-Bestandes nicht kompensieren. Vor allem in dicht verbauten Gebieten ist die Organisation des ruhenden Verkehrs ein zentrales Problem. Durch Parkraumbewirtschaftung kann die Stellplatzauslastung und damit auch die realisierten Fahrleistungen durch Parkplatzsuchverkehr sowie vorschriftwidriges Parken reduziert werden. Weiters führte die Stellplatzbewirtschaftung in Wien zu Verlagerungen von MIV zu ÖV und Radverkehr.²⁵⁷

Mit zunehmender Zahl von Nachfragern sind auch einzelne Streckenabschnitte im Schienenverkehr betroffen. Beispielsweise ist auf einzelnen Strecken der Wiener U-Bahn das Potential zur Verringerung der Kursfolgezeiten nahezu ausgeschöpft.²⁵⁸

²⁵² vgl. Herry, NÖ, 2008, S.9

²⁵³ vgl. IFEU, 2011, S.14

²⁵⁴ vgl. VDV, 2009, S.25

²⁵⁵ vgl. Link et al., 2010, S.14ff

²⁵⁶ vgl. Link et al., 2010, S.26ff

²⁵⁷ vgl. Herry, ViZ, 2007, S. 65f

²⁵⁸ vgl. Diskussion, 2011

4.3.4 Sonntägliches Mobilitätsverhalten

Das sonntägliche Mobilitätsverhalten wird am Beispiel Vorarlbergs dargestellt. Zentraler Unterschied im sonntäglichen Verkehrsverhalten ist die Art der Anlässe von Ortsveränderungen. Die werktags stark vertretenen Wegzwecke Arbeitsplatz, Ausbildung, Einkauf sind sonntags wesentlich geringer, wobei die Wegzwecke Arbeitsplatz und dienstlich/geschäftlich zusammen immerhin noch 8 Prozent erreichen. Der Anteil des Wegzwecks Freizeit hingegen liegt bei knapp 80 Prozent. Insgesamt werden sonntags weniger Wege zurückgelegt, durchschnittlich 2,2 Wege pro Person im Vergleich zu 3,2 Wegen an Werktagen. Die durchschnittliche Weglänge liegt an Sonntagen mit 15,7 km (gegenüber 9,6 km werktags) wesentlich höher als unter der Woche, wobei immer noch 57 Prozent der Wege nicht länger als 5 km sind, weitere 15 Prozent der Wege sind nicht länger als 10 km. Nur 5 Prozent der Wege gehen über Distanzen höher als 50 km.

Bezüglich der Verkehrsmittelwahl steigt der Anteil der Fußwege leicht an, auf 20 Prozent, ÖV wird hingegen mit 5 Prozent (gegenüber 13 Prozent werktags) kaum benutzt. Der Anteil der mit dem Fahrrad zurückgelegten Wege ist mit 14 Prozent in etwa gleich hoch, allerdings steigt die durchschnittlich mit dem Rad zurückgelegte Distanz auf 5,8 km an (gegenüber 2,6 km werktags). Am Sonntag werden weniger PKW-Fahrten unternommen, diese jedoch bei einem höheren Besetzungsgrad von 1,75 Personen je Fahrzeug (gegenüber 1,23 Personen werktags) und höheren Distanzen (sonntags rund 17,3 km gegenüber werktags 12 km pro Weg).²⁵⁹

4.4 Wirkungsanalyse der bestehenden Mobilitätsmuster

An dieser Stelle sollen die Wirkungen des beschriebenen Mobilitätsverhaltens analysiert werden. Die Analyse erfolgt vor dem Hintergrund der, im Kapitel 2, definierten Ziele und Indikatoren für die Themenfelder Energie, Mobilität und Raum.

4.4.1 Energie

Bei Kategorisierung nach Verbrauchszwecken, wurden 2008 für Mobilität 104,6 TWh Endenergie aufgewandt. (Ziel: 101,7 TWh bis zum Jahr 2020²⁶⁰) Davon wurden knapp 90 Prozent durch Öl, knapp 3 Prozent durch Gas, 4,5 Prozent durch erneuerbare Energien und 3,1 Prozent durch elektrische Energie abgedeckt.²⁶¹ (Ziel: 10 Prozent im Jahr 2020²⁶²)

Der Anteil erneuerbarer Energieträger am Bruttoendenergieverbrauch wird für 2008 auf knapp 29 Prozent geschätzt. (Ziel: 34 Prozent im Jahr 2020)²⁶³

Wie Kapitel 3.3.1.3 zu entnehmen, liegt die Energieeffizienz der Treibstoffproduktion vom Rohöl bis zum gebrauchsfertigen Benzin oder Diesel an der Tankstelle (Well-to-Tank) bei etwa 87 Prozent. Die Energieeffizienz in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor liegt üblicherweise bei 19 (Benzin) bis 22 (Diesel) Prozent. Insgesamt ergibt das einen WTW-Wirkungsgrad von 16,5 bis 19 Prozent.

Um der Rahmenvorgabe „Versorgungssicherheit“ zu entsprechen, gilt es die Abhängigkeit von einzelnen Energieträgern, Lieferländern oder Transitrouten zu vermeiden.²⁶⁴ 89,6 Prozent (93,7 TWh) des energetischen Endverbrauches der Mobilität wurden durch Ölprodukte gedeckt.

²⁵⁹ vgl. Herry, Vbg, 2009, S.42, 43f, 51, 54, 56

²⁶⁰ vgl. BM WFJ, E-STR, 2010, S. 38

²⁶¹ vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.47

²⁶² vgl. Richtlinie 2009/28/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009

²⁶³ vgl. BM WFJ, E-STR, 2010, S. 9, 18, 29

²⁶⁴ vgl. BM WFJ, E-STR, 2010, S. 25

Die inländische Erzeugung von Energie in Form von Öl betrug 2008 etwa 12,7 TWh.²⁶⁵ Der Rest stammt aus dem Ausland, vor allem aus Russland, Kasachstan, Nigeria und Saudi Arabien, Iran und Libyen.²⁶⁶ Die Ölimporte gelangen (fast ausschließlich) über die Transalpine Ölleitung ins Land, die ihren Ausgang in Triest nimmt.²⁶⁷

4.4.2 Mobilität

In den Kernstädten sowie großteils in Ballungsgebieten ist eine steigende Verfügbarkeit von vielfältigen Mobilitätsangeboten durch ÖV, Taxiverkehr sowie zum Teil durch Carsharing- und Radverleihsysteme zu verzeichnen. Auch der Mobilitätsbedarf von mobilitätseingeschränkten Personen sowie Kindern und Jugendlichen kann dort großteils gedeckt werden. Es kann angenommen werden, dass in diesen Gebieten ein hohes Reduktionspotential für Besitz und Nutzung von PKW besteht, das auszuschöpfen bei den prognostizierten steigenden Bevölkerungszahlen zunehmende Bedeutung erlangen wird. In diesem Zusammenhang ist insbesondere der hohe Flächenbedarf (v.a. an öffentlichem Raum) dieser Verkehrsart zu erwähnen. Flächen für Fuß- und Radverkehr sind aufgrund dessen zum Teil stark beengt. Ein infolge mindernder Einfluss auf deren Nutzung kann vermutet werden. An den Rändern von Ballungsräumen sowie in peripheren Gebieten ist die Versorgung mit Mobilitätsangeboten teils lückenhaft. Hier ist meist eine Abhängigkeit von Verkehrsmitteln des MIV (zumindest als Zubringer zu ÖV-Stationen) zu beobachten. Mobilitätseingeschränkte Personen sowie Kinder und Jugendliche unter 15 Jahren sind in diesen Gebieten in ihrer Selbstständigkeit beeinträchtigt. Grundsätzlich wird durch Informations- und Kommunikationstechnologien der Zugang zu Informationen über Mobilitätsangebote sowie deren Organisation erleichtert, wobei ältere Personen teilweise nicht mit der Nutzung der entsprechenden Technologien vertraut sind.

Die Potentiale für komodale Mobilität sind vielfältig: Beispielsweise liegt der Wohnort einer Person häufig in Gebieten mit geringerer Siedlungsdichte, Arbeitsplätze hingegen konzentrieren sich stark in den Kernstädten. Aufgrund der unterschiedlichen Gebietscharakteristika (Stadtumland oder Peripherie/Verkehrskorridor/Kernstadt) sind intermodale Wegketten möglich, z.B.: MIV–ÖV–Fuß oder Fahrrad–ÖV–ÖV.

Die große Bandbreite und Kombinationen aus Weglänge, Wegzweck, persönlichen Möglichkeiten, Witterung, Transportbedarf, räumlichen Rahmenbedingungen, Zeitbudget, persönlichen Einschränkungen (z.B. Gesundheitsaspekte oder Alkoholkonsum), führen zwangsläufig zu unterschiedlichen Anforderungen an das Verkehrsmittel in der jeweiligen Situation. Entsprechend hoch ist das Potential für multimodale Mobilität.

Solange die Fahrzeugnutzung stark an den Fahrzeugbesitz gebunden ist, ist es wichtig, dass Verkehrsknotenpunkte hohe Kapazitäten an Abstellmöglichkeiten für die verschiedenen Verkehrsmittel beinhalten. Zu nennen sind insbesondere Park & Ride sowie Bike & Ride-Angebote an Stationen des (meist hochrangigen) öffentlichen Verkehrs. In den letzten Jahren wurden die entsprechenden Kapazitäten stetig ausgebaut. Zunehmend werden auch Leihfahrzeuge (Fahrräder und PKW) für die individuellen Wege von der ÖV-Linie zum Zielort angeboten. In diesem Zusammenhang gilt: Je weniger die Verkehrsmittelnutzung an den Besitz des Verkehrsmittel geknüpft ist, desto höher die Flexibilität in der Verkehrsmittelwahl.

Insbesondere zu Spitzenzeiten der Verkehrsnachfrage kommt es häufig zu Überschreitungen der Leistungsfähigkeit von Verkehrsanlagen und infolge zu Staus. Auch bei den PKW-Stellplätzen sind

²⁶⁵ vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.40, 47

²⁶⁶ vgl. HP: OMV, 2011

²⁶⁷ vgl. HP: Wiki, ÖEW, 2011

Engpässe zu verzeichnen. Die Auslastung der Fahrzeuge (Personen pro Fahrzeug, Nutzung des Fahrzeugs pro 24h) hingegen ist gering (insbesondere auch zu den Spitzenzeiten des Pendlerverkehrs). Die Beförderungskapazitäten im ÖV sind nicht ausgeschöpft bzw. können durch Einsatz zusätzlicher Fahrzeuge an die Nachfrage angepasst werden. Einzelne U-Bahn-Linien nähern sich bezüglich der möglichen Kursfolgezeiten ihrem Maximum, wobei die technischen Möglichkeiten zur effizienten Steuerung der Fahrzeuge noch nicht ausgeschöpft sind.

Je nach Umfeld können die realisierbaren Geschwindigkeiten eines Verkehrsmittels stark variieren. So ist die Reisezeit im MIV durch Staus und Parkplatzsuchverkehr zum Teil stark erhöht. Im dichten Stadtverkehr sind aus diesem Grund auch Fahrräder zeitlich konkurrenzfähig, wobei durch die Radwegebenutzungspflicht und mangelhafte Dimensionierung und Gestaltung der Radwege (enge Kurvenradien, Wegführung gemeinsam mit Fußgängerinnen, doppelte Wartezeiten an Ampeln etc.) das Potential dieses Verkehrsmittel vielerorts nicht ausgeschöpft werden kann. Im ÖV sind die Reisezeiten bestimmt durch die Distanz zu und Wartezeit an der Station, sowie durch die Kursführung (Stationsdichte, Umwege, Trennung vom MIV). Im Fernverkehr erreichen Züge ähnliche Geschwindigkeiten wie der MIV.

4.4.3 Lebensraum

Die Verpflichtungen der EU ihre Treibhausgasemissionen bis 2012 insgesamt um acht Prozent (Basis 1990) zu reduzieren wurden erfüllt (1990 bis 2007: minus 12,5 Prozent) Der Ausstoß des Sektors Verkehr ist jedoch um 24 Prozent gestiegen.²⁶⁸ In Österreich war, statt der zugesagten Reduktion von 13 Prozent, eine Steigerung um insgesamt knapp 11 Prozent (Personenverkehr: etwa 35 Prozent) zu verzeichnen. Die Steigerung im Personen-Straßenverkehr ist vor allem auf die gestiegene Verkehrsleistung und den Kraftstoffexport zurückzuführen.²⁶⁹ Seit 2005 ist in Österreich ein Rückgang der Treibhausgase zu beobachten. Ihr Ausstoß betrug 2008 etwa 86,6 Mio.t CO₂-Äquivalente, wovon 22,6 Mio.t auf den Verkehr entfielen. Das entspricht einer Reduktion von 6,9 Prozent. (Ziel: 78 bzw. 73 Mio.t CO₂-Äquivalente im Jahr 2020 [entspricht einer Reduktion von 16 bzw. 21 Prozent zum Basisjahr 2005])

Die durchschnittlichen CO₂-Emissionen neu zugelassener PKW betragen im Jahr 2011 bei benzinbetriebenen PKW etwa 138 g pro km und bei Dieselfahrzeugen etwa 140 g pro km.²⁷⁰ Ab dem Jahr 2012 liegt die Grenze bei 130 g pro km, ab 2020 bei 95 g pro km, wobei 10 g pro km durch zusätzliche Maßnahmen eingespart werden sollen.²⁷¹

Durch verbesserte Technologien im Fahrzeug, sind die Emissionen in den letzten Jahrzehnten stark gesunken. Dennoch kommt es bei einzelnen Schadstoffen zu Überschreitungen der gesetzlich festgelegten Grenzwerte. Besonderes Augenmerk ist auf Stickoxide (NO_x bzw. NO₂) und Partikel zu legen.²⁷²

Der Anteil jener, die sich in ihrer Wohnung durch Lärm belästigt fühlen, steigt. Im Jahr 2007 wurde als Hauptverursacher der Verkehrslärm genannt, von dem sich 25 Prozent der Bevölkerung gestört fühlten; 14 Prozent durch andere Lärmquellen.²⁷³

Im Jahr 2011 entfielen in Österreich 4.448 km² auf Bauflächen (55 Prozent) und Verkehrsflächen (45 Prozent). Das Ausmaß von Bau- und Verkehrsflächen ist seit 2004 um mehr als 6 Prozent

²⁶⁸ vgl. Entscheidung 2002/358/EG des Rates vom 25. April 2002

²⁶⁹ vgl. UBA, KSB, 2010, S.164ff

²⁷⁰ vgl. HP: STA, KFZ-Neu, 2011

²⁷¹ vgl. Verordnung 443/2009/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009

²⁷² vgl. UBA, LGM, 2011, S.7f

²⁷³ vgl. HP: UBA, Lärm, 2011

gestiegen. Die Bevölkerungszahl stieg im gleichen Zeitraum lediglich um 2,6 Prozent.^{274 275} Im ruhenden Verkehr betragen die Mindestmaße für einen Stellplatz für einen PKW 11,5 m², für ein Motorrad 3,3 m² und für ein Fahrrad 1,6 m². Beim derzeitigen Motorisierungsgrad bedeutet das bspw. für Wien einen Flächenbedarf von ca. 8 km² für den ruhenden PKW-Verkehr und 1,6 km² für Fahrradabstellflächen.

In den letzten Jahrzehnten orientierte sich Siedlungsentwicklung stark an den Möglichkeiten und Bedürfnissen des MIV. Daraus resultierte weiterer Flächenverbrauch in Form disperser Siedlungsstrukturen (Geschäftsflächen am Ortsrand, Wohnhäuser fernab von Einrichtungen des täglichen Bedarfs, Stellplätze im öffentlichen Raum etc.). Die vermehrte Anlage von Verkehrsinfrastrukturen geht einher mit Veränderungen des Stadt- und Landschaftsbildes sowie Trennwirkung durch Straßen- und Schieneninfrastruktur. Sowohl Ausmaß als auch Qualität von Flächen für konkurrierende Nutzungen werden infolge dessen eingeschränkt.

²⁷⁴ vgl. UBA, UKB, 2010, S.188

²⁷⁵ vgl. HP: UBA, Flächen, 2012

5 MÖGLICHE ANWENDUNGSBEREICHE FÜR ELEKTROMOBILITÄT

In den zwei vorangegangenen Kapiteln wurden allgemeine Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken von Fahrzeugen und Technologie elektrisch unterstützter Antriebe diskutiert sowie Mobilitätsbedürfnisse, -arten und -verhalten der österreichischen Bevölkerung analysiert. Nun sollen die Erkenntnisse dieser Kapitel zusammengeführt werden, um bevorzugte Anwendungsbereiche elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel zu definieren.

Als allgemeine Vorgaben für den Einsatz von Verkehrsmitteln werden formuliert:

- Geringe Ressourceninanspruchnahme und -beeinträchtigung (Energie, Fläche, Lärm, Schadstoffe, Zeit)
- Deckung der individuellen Mobilitätsbedürfnisse

Spezifische Anforderungen, die sich aus den Eigenschaften des räumlichen Umfelds ableiten, sollen berücksichtigt werden. Charakteristika der einzelnen Raumkategorien bezüglich Bedingungen und Ansprüchen für und an Verkehrsinfrastrukturen wurden im vorherigen Kapitel näher ausgeführt und werden in diesem Kapitel nur stichwortartig zusammengefasst. Potentielle Einsatzbereiche werden nach folgenden Raumkategorien gegliedert diskutiert: Kernstadt, Stadtumland, Verkehrskorridor, periphere Gebiete.

Überlegungen zur Eignung von Verkehrsmitteln inkludieren, neben den elektrisch unterstützt angetriebenen, auch alle anderen verfügbaren Verkehrsmittel, da letztlich eine Beurteilung, ob der Einsatz eines bestimmten Verkehrsmittels sinnvoll ist nur durch Abwägung der unterschiedlichen Optionen vorgenommen werden kann. Ebenso fließen Erkenntnisse aus der Analyse des derzeitigen Mobilitätsverhaltens mit ein, die aufzeigen, dass – unabhängig von eingesetzten Antriebstechnologien – durch Anpassungen der Verkehrsorganisation (Entkoppelung Fahrzeugbesitz und Nutzung, Spezialisierung von Fahrzeugen, IKT zur Förderung einer flexibleren Verkehrsmittelwahl etc.) negative Wirkungen des Verkehrssektors maßgeblich reduziert werden können. Folglich liegt der Fokus bei der Ermittlung möglicher Einsatzbereiche für Elektromobilität nicht primär auf dem reinen Ersatz konventioneller Antriebssysteme, sondern auf der Rolle, die elektrisch unterstützt angetriebenen Verkehrsmittel in einem Personenverkehrssystem spielen, das die Benutzung des – für den jeweiligen Verwendungszweck – am besten geeigneten Verkehrsmittel fördert.

In Kapitel 6 werden Organisationsformen vorgestellt, wie Elektromobilität in Personenverkehr und Energieversorgung integriert werden kann.

5.1 Kernstadt

Für die Verkehrsorganisation der Kernstädte sind folgende Aspekte entscheidend:

- geringe Distanzen und Geschwindigkeiten, hohe Anzahl an Verkehrsteilnehmerinnen, hohe Zahl an Einpendlerinnen (und Touristinnen)
- Knappheit des (öffentlichen) Raums, hohe Sensibilität gegenüber Lärm- und Schadstoffemissionen
- Kfz-Abstellplätze: häufig im Straßenraum und auf/in Sammelparkplätzen bzw. -garagen (öffentlich, halböffentlich, privat), private Einzelgaragen nur in geringem Ausmaß

5.1.1 Verkehrsmittel

Folgende Verkehrsmittel weisen eine besonders hohe Eignung für Mobilitätsbedürfnisse und Rahmenbedingungen in der Kernstadt Raum auf:

- Fuß
- Fahrrad (privat, Radverleihsysteme)
- ÖV (Bus, O-Bus, Straßenbahn, U-Bahn und S-Bahn, Fernzüge)
- Taxi
- (Klein-)PKW (privat, Carsharing)
- (Klein-)Kraftrad

Geringe Distanzen erlauben die Überwindung eines hohen Anteils der Wege mittels Fuß- sowie Radverkehr. Die Dichte des urbanen Raums ermöglicht zudem ein engmaschiges Netz öffentlicher Linienverkehre als Basis der urbanen Mobilität. Wichtig sind auch effiziente ÖV-Verbindungen mit dem Umland und weiteren zentralen Orten. Davon profitiert eine breite Allgemeinheit, insbesondere Personen für die Besitz oder Nutzung eines (motorisierten) Individualverkehrsmittels nicht möglich sind. Dazu gehören beispielsweise Touristinnen, Personen mit knappen finanziellen Mitteln, Kinder und Jugendliche unter 15 Jahren sowie mobilitätseingeschränkte Personen. Die drei genannten Verkehrsarten zeichnen sich durch geringe Werte bezüglich Flächeninanspruchnahme, Energiebedarf sowie Lärm- und Schadstoffemissionen aus. In punkto Wegdauer sind sie im urbanen Raum oftmals mit Verkehrsmitteln des MIV vergleichbar. Zusätzlich können zu Randzeiten bzw. in Randgebieten Anrufsammeltaxis den öffentlichen Linienverkehr ergänzen.

Als ressourcenschonende Möglichkeiten des MIV gelten Krafträder, Taxis sowie die Nutzung von Carsharing-Fahrzeugen. Die beiden letzteren können durch die hohe Dichte potentieller Nutzerinnen eine hohe Auslastung und damit hohe Effizienz bezüglich ihrer Flächeninanspruchnahme erreichen. Selbiges gilt für Leihradsysteme. Die genannten Möglichkeiten erlauben Einweg-Fahrten, und erhöhen damit die Flexibilität bei der Verkehrsmittelwahl. Damit wird komodale Mobilität und folglich die Wahl des effizientesten Verkehrsmittels für den jeweiligen Verwendungszweck gefördert. Auch durch Reduktion von Größe, Gewicht und Leistung der eingesetzten Fahrzeuge – auf die tatsächlich für die Fahrt erforderlichen Beförderungserfordernisse – können Energiebedarf, Emissionen und Flächeninanspruchnahme reduziert werden.

Erst die Abwicklung eines hohen Anteils der Wege mittels der genannten Verkehrsarten im Personenverkehr, ermöglicht ausreichende Kapazitäten für Fahrten, die nur im MIV realisierbar sind. Dazu gehören beispielsweise Wirtschaftsverkehre, Krankentransporte, Polizei-, Feuerwehr-, Rettungsfahrten und dergleichen.

5.1.2 Technologie

Durch die hohe Sensibilität urbaner Räume gegenüber Lärm und Schadstoffen liegt der Schwerpunkt auf emissionsarmen Antriebstechnologien. Unter Beachtung der urbanen Mobilitätsbedürfnisse, ist dies bei folgenden elektrisch unterstützt angetriebenen Fahrzeugarten erfüllt:

Batterie für Fahrräder (Elektrofahrräder), (Klein-)Krafträder, PKW und Busse

Batteriefahrzeuge weisen die höchste Energieeffizienz im Betrieb sowie die geringsten Schadstoff- und Lärmemissionen auf. Begrenzte Reichweite und Geschwindigkeiten von Batteriefahrzeugen stellen im urbanen Raum nur in geringem Maße eine Nutzungseinschränkung dar. Allerdings ist der hohe Energiebedarf der Batteriefahrzeuge in der Herstellung nur durch eine hohe

Kilometerleistung der Fahrzeuge über ihre Lebensdauer zu kompensieren. Unter der Zielvorgabe, dass individuelle Batteriefahrzeuge als Ergänzung und keinesfalls als Konkurrenz zu Fuß, Rad und ÖV fungieren sollen, sind Nutzungsmodelle anzustreben, die eine hohe Auslastung der Fahrzeuge fördern, diese jedoch nur eingesetzt werden, wenn im konkreten Fall der Weg nicht geeignet ist mittels Fußweg, konventionellem Fahrrad und ÖV zurückgelegt zu werden. In diesem Sinne bietet sich die Verwendung von Batterie-PKW als Carsharing-Fahrzeug oder Taxi an. Für die Verwendung von Batteriefahrzeugen als Taxis werden Batterietausch oder Schnellladestationen benötigt. Für die Verwendung von Batteriefahrzeugen als Carsharing-Fahrzeuge muss die Rückgabe der Fahrzeuge an fixen Stationen mit Ladeinfrastrukturen erfolgen.²⁷⁶ Ob potentielle Carsharing-Nutzerinnen vom Umgang mit neuen Technologien abgeschreckt oder angezogen werden, ist zu prüfen. (Für Batterie-Taxis muss gelöst werden, wie die Fahrzeuge an Taxistandplätzen klimatisiert werden. Eine Möglichkeit ist der Einsatz kleiner Einheiten von Brennstoffzellen, die Wärme und Strom liefern.^{277 278})

Busse werden naturgemäß viele Stunden pro Tag eingesetzt. Der hohe Energiebedarf bei der Herstellung der Akkumulatoren wird folglich durch hohe Kilometerleistungen bei niedrigem Energieverbrauch über die Lebensdauer der Fahrzeuge kompensiert.

In der Kategorie Krafträder, reichen Kleinkrafträder meist für die Erfüllung der individuellen Mobilitätsbedürfnisse im urbanen Raum aus. Auch werden in der Klasse der Kleinkrafträder vereinzelt Modelle mit herausnehmbarem Akku angeboten, wodurch die Energieversorgung wesentlich vereinfacht wird.

Hybridantrieb für Fahrräder (Pedelects), PKW und Busse

Hybrid-Fahrzeuge (ausgenommen: Pedelects) erreichen im Betrieb nicht die geringen Schadstoff- und Lärmemissionen von Batterie-, Brennstoffzellen- und leitungsgebundenen Fahrzeugen, bieten im Stadtverkehr - durch höhere Effizienz im Teillastbereich sowie der Möglichkeit begrenzte Distanzen rein elektrisch zurückzulegen (bei Full- und Plug In-Hybrid) - jedoch Vorteile gegenüber konventionellen Verbrennungskraftmaschinen. Für Verkehrszwecke, die regelmäßig den Einsatz von Individualverkehr mit hoher Geschwindigkeit und/oder über hohe Distanzen notwendig machen, die jedoch auch Teile der Wege im Stadtgebiet zurücklegen, können Hybrid-PKW eine sinnvolle Alternative darstellen. Darunter fallen auch Taxis, die beispielsweise häufig zwischen Flughafen und Stadtgebiet verkehren.

Das Fahrprofil von Bussen des urbanen ÖV beinhaltet aufgrund der Haltestopps für das Ein- und Aussteigen der Fahrgäste besonders häufige Brems- und Beschleunigungsvorgänge. Durch Einsatz von Hybridtechnologie können im Vergleich zu konventionellen Dieselnissen Effizienzerhöhungen erreicht werden. Der räumliche Aktionsradius von Hybridbussen ist höher als jener von Batteriefahrzeugen, insbesondere bei (noch) fehlenden Versorgungsinfrastrukturen in Form von Batterietauschstationen (z.B.: in der Einführungsphase oder aus ökonomischen Gründen in Randgebieten).

Brennstoffzellen für Krafträder, PKW und Busse

Vorteile von Brennstoffzellen-Fahrzeugen speziell im urbanen Raum sind lokale Emissionsfreiheit sowie die Unabhängigkeit von Ladeinfrastrukturen bei der Stellplatzsuche. Weiters sind mit ihnen hohe Reichweiten zu erzielen. Allerdings schränken hohes Gewicht und Volumen der Wasserstofftanks die Transport- und Beförderungskapazitäten ein und erhöhen den

²⁷⁶ vgl. HP: Autolib, 2012

²⁷⁷ vgl. HP: Wiki, SOFC, 2012

²⁷⁸ vgl. BM VIT, 2010, S.77

Nutzenergiebedarf der Fahrzeuge. Daran mag es liegen, dass der Energiebedarf mancher Brennstoffzellen-Busse höher liegt als bei vergleichbaren Dieselfahrzeugen angegeben. Folglich ist der Nachteil des hohen Energiebedarfs gegen den Vorteil der lokalen Emissionsfreiheit abzuwägen.²⁷⁹ Die Eignung als Carsharing-Fahrzeug oder Taxi ist damit gegeben. Der Einsatz von Brennstoffzellen in Krafträdern ist noch wenig erprobt. Der Vorteil der Unabhängigkeit von Ladeinfrastrukturen bei der Stellplatzsuche würde jedoch speziell bei diesem Verkehrsmittel den Umstieg auf elektrisch angetriebene Fahrzeuge erleichtern.

Leitungsgebundene Energieversorgung für O-Busse, Straßen-, U-, S-Bahnen und Fernzüge

Die Energieversorgung von Fahrzeugen mittels Stromleitung bietet zwar wenig Flexibilität in der Streckenführung, jedoch benötigt man aufgrund hoher Siedlungs- und Nutzerdichte im urbanen Raum leistungsfähige Stammstrecken bei denen die unveränderbare Streckenführung keinen Nachteil darstellen muss.

5.1.3 Infrastruktur

Eine hohe Nutzerdichte und vielfältige Fahrmuster sowohl im Güter- als auch Personentransport im urbanen Raum, führen zu einer breiten Palette an eingesetzten Fahrzeugtypen und Antriebstechnologien. In größeren Städten sollten den infrastrukturellen Ansprüchen aller Fahrzeugtypen – zumindest durch Angebot einer Grundversorgung – entsprochen werden. Die hohe Anzahl potentieller Nachfragerinnen ermöglicht hohe Auslastungen und damit den wirtschaftlichen Betrieb von Energieversorgungsinfrastrukturen für elektrisch unterstützt angetriebene Verkehrsmittel. Denkbare Infrastrukturen der Energieversorgung sind in diesem Zusammenhang:

Batterietauschstation

Der Einsatz von Batterie-PKW als Taxi oder Carsharing-Fahrzeug geht einher mit hohen Tagesdistanzen und stellt damit hohe Ansprüche an Dichte und Übertragungsgeschwindigkeit von Energieversorgungsinfrastrukturen. In beiden Fällen können Fahrzeugflotten mit einheitlichen Batteriestandards aufgebaut werden. Selbiges gilt für Omnibusse des ÖV. Dies vereinfacht den Betrieb von Batterietauschstationen an strategischen Standorten in der Stadt. Auch für privat eingesetzte PKW sind einheitliche Standards anzustreben.

Für den Betrieb der Batterietauschstationen sind möglicherweise Anpassungen im elektrischen Netz erforderlich. Zudem sind Zugangs- und Abrechnungssysteme zu installieren. Die Ladung der Reserve-Batterien in der Station kann zeitlich auf den Belastungsablauf des Stromnetzes abgestimmt werden kann und damit helfen Lastspitzen auszugleichen.

Wasserstofftankstelle

Die höhere Reichweite von Brennstoffzellenfahrzeugen gegenüber Batteriefahrzeugen macht eine geringere räumliche Dichte von Wasserstofftankstellen (gegenüber: Batterietauschstationen) erforderlich. Hier ist die Basisinfrastruktur an Wasserstofftankmöglichkeiten auf die Erfordernisse von ÖV, Taxis sowie gegebenenfalls Carsharing-Flotten abzustimmen. Es ist zu prüfen ob und wo Wasserstoff als Nebenprodukt in Unternehmen anfällt (wie dies in Köln der Fall ist) und so günstig zur Verfügung steht.

²⁷⁹ Interessanterweise liegen die angegebenen Verbrauchswerte von Brennstoffzellen-PKW unter jenen vergleichbarer Diesel PKW.

Schnellladung

Um eine vielfältige Energieversorgung zu gewährleisten, sind in urbanen Räumen auch Schnellladestationen sinnvoll. Insbesondere für Carsharing-Fahrzeuge, die bei starker Auslastung im Tagesverlauf auf schnellen Energienachschub angewiesen sind. Es sind Standorte zu bevorzugen, die es der Nutzerin erlauben, die Ladezeit sinnvoll für andere Zwecke zu nutzen. Dazu gehören beispielsweise Gastronomie, Freizeiteinrichtungen und Geschäfte. Letztere sind besonders relevant, da der Wegzweck „Einkauf“ häufig mit Transportbedarf einhergeht, wozu im Bedarfsfall Carsharing-Fahrzeuge eingesetzt werden können. Parkflächen sind bei genannten Einrichtungen häufig vorhanden. Ladeinfrastrukturen mit entsprechenden Abrechnungssystemen müssten allerdings erst errichtet werden. Eventuell sind Anpassungen im elektrischen Stromnetz notwendig.

Langsamladung

Langsamladung macht überall dort Sinn, wo Fahrzeuge über mehrere Stunden hinweg abgestellt werden. Bei der gewerbsmäßigen Nutzung von Fahrzeugen sind Lademöglichkeiten in Betriebsgaragen von Taxi und ÖV-Unternehmen vorzusehen. Für solcherart konzentrierte Abstellplätze, können zeitlich gesteuerte Ladung sowie die Umsetzung des Konzeptes Vehicle-to-Grid einen Beitrag zur gleichmäßigen Lastverteilung des elektrischen Endverbrauchs darstellen.

Für Privatfahrzeuge ist die Langsamladung relevant für Pedelecs und Elektrofahrräder, deren Akku aus dem Fahrzeug entnommen und an Wohn- oder Arbeitsort an der normalen Steckdose aufgeladen werden kann. Für private PKW entstehen längere Standzeiten an Wohn- und Arbeitsort sowie in Park & Ride – Anlagen. Letztere werden großteils von Einpendlern aus dem Stadtumland frequentiert. Auch hier können zeitlich gesteuerte Ladung sowie die Umsetzung des Konzeptes Vehicle-to-Grid einen Beitrag zur gleichmäßigen Lastverteilung des elektrischen Endverbrauchs leisten. Entsprechende Zugangs- und Abrechnungssysteme sind vorzusehen. In Privatgaragen ist der Aufwand der Errichtung einer Ladeinfrastruktur minimal, jedoch sind diese in urbanen Räumen verhältnismäßig selten. In Sammelgaragen an Wohn- und Arbeitsort bzw. öffentlichen Parkgaragen sind bei der Bereitstellung von Ladeinfrastrukturen entsprechende Zugangs- und Abrechnungssysteme vorzusehen.

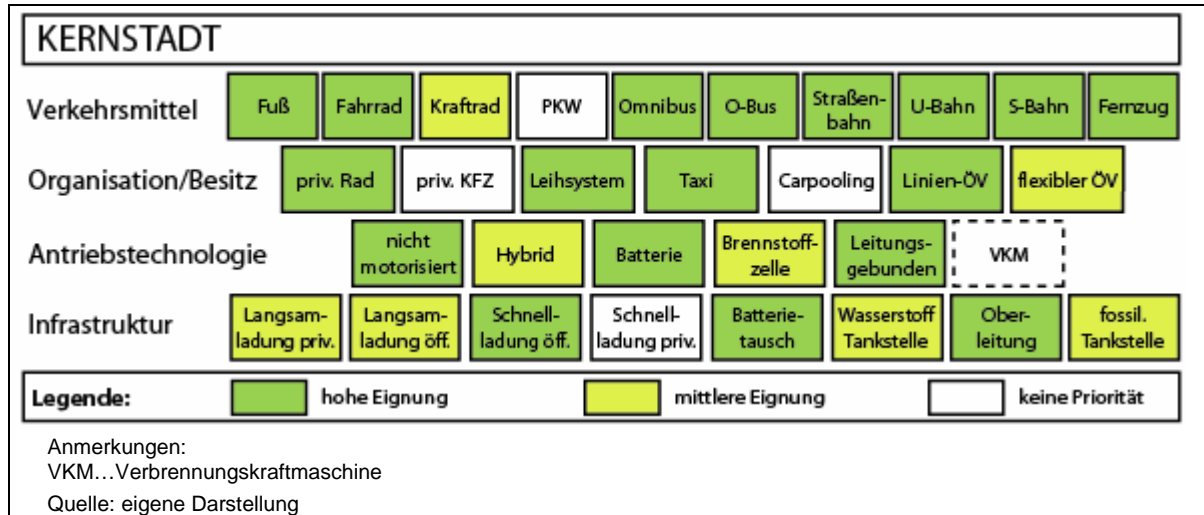
Stromleitungen für O-Busse und Bahnen sowie konventionelle Tankstellen

Konventionelle Tankstellen (für die Versorgung von Hybridfahrzeugen) sind in ausreichendem Ausmaß vorhanden. Im schienengebundenen ÖV sowie naturgemäß bei O-Bussen erfolgt die Energieversorgung meist über Oberleitungen. Oberleitungen führen zu Beeinträchtigungen des Stadtbildes. In Innenstadtbereichen ist zu prüfen, ob andere Möglichkeiten einer leitungsgebundene Versorgung in Frage kommen. Die Versorgung per Induktion kann – bei weiterer Entwicklung der Technologie (v.a. zur Reduktion ihrer Übertragungsverluste) in diesen Bereichen künftig eine Alternative darstellen.

5.1.4 Überblick

Abbildung 25 gibt einen grafischen Überblick über die diskutierten Anwendungsbereiche, bewertet nach: hoher Eignung, mittlerer Eignung und keine Priorität. Die Darstellung erfolgt gegliedert nach Verkehrsmitteln, Organisation/Besitz, Art der Antriebstechnologie und dazu notwendiger Infrastruktur.

Abbildung 25: Überblick Anwendungsbereiche – Kernstadt



5.2 Stadtumland

Für die Verkehrsorganisation im Stadtumland sind folgende Aspekte entscheidend:

- Innerhalb der Umlandgemeinde: kurze bis mittlere Distanzen und Geschwindigkeiten, mittlere Anzahl an Verkehrsteilnehmern, hohe Anzahl an Auspendlerinnen
- Starke Verflechtungen mit der Kernstadt, Kapazitätsengpässe auf den Einfallstraßen sowie im ruhenden Verkehr in der Kernstadt
- Kfz-Abstellmöglichkeiten: meist hohe Kapazitäten an Abstellflächen, zahlreiche Abstellplätze in privaten Einzelgaragen, häufig geringe Kapazitäten im Ortskern

5.2.1 Verkehrsmittel

Folgende Verkehrsmittel weisen eine besonders hohe Eignung für Mobilitätsbedürfnisse und Rahmenbedingungen im Stadtumland auf:

- Fuß
- Fahrrad (privat)
- ÖV (Bus, hochrangige Verbindung in Kernstadt, AST, Rufbus)
- Taxis
- (Klein-)PKW (privat, Carsharing)
- (Klein-)kraftrad
- Carpooling

Innerhalb der Umlandgemeinden dienen Fuß-, Rad- und öffentliche Linienverkehre (größtenteils Busse) als Grundversorgung der Mobilität, ergänzt durch flexible öffentliche Verkehrsmittel – wie Anrufsammeltaxis, Rufbusse und Taxis - in Randgebieten und Randzeiten.

Die hohe Anzahl an Auspendlerinnen (meist in die Kernstadt) erfordert (insbesondere zu den Spitzenzeiten) hohe Personenbeförderungskapazitäten zwischen Umlandgemeinde und Kernstadt. In Bezug auf Flächen- und Energiebedarf sowie Schadstoffemissionen und z.T. Zeit ist das

effizienteste Verkehrsmittel zu diesem Zweck die Bahn. Für die gebündelten, regelmäßig auftretenden Wege der Pendlerinnen in die Kernstadt kann auch durch Carpooling eine Reduktion von Schadstoff- und Lärmemissionen sowie von Flächenverbrauch speziell in der Kernstadt erreicht werden.

Um die flexible Wahl des am Besten geeigneten Verkehrsmittel für den jeweiligen Zweck zu fördern, ist die Gestaltung der Übergänge zwischen den unterschiedlichen Verkehrsmitteln von größter Bedeutung. Als wichtigste Verkehrsknotenpunkte in den einzelnen Umlandgemeinden sind dabei die Bahnhöfe zu nennen, die den Umstieg von den – in der Fläche effizienten – Individualverkehrsmitteln zum – auf linearen und urbanen Strukturen effizienten – ÖV erleichtern sollen. Hierzu sind großzügige Park/Bike & Ride-Anlagen vorzusehen.

Als ressourcenschonende Möglichkeiten des MIV gelten Krafräder sowie die Nutzung von Carsharing-Fahrzeugen. Bei Standort der Fahrzeuge am Bahnhof, können diese, dessen zentrale Rolle bei der Förderung von komodaler Mobilität stärken. Weiters können durch Reduktion von Größe, Gewicht und Leistung der eingesetzten Fahrzeuge Energiebedarf, Flächeninanspruchnahme und Emissionen reduziert werden.

Im Abschlußbericht 2010 von e-connected wird als Grundkonzept für die Verkehrsmittelwahl als Zubringer zu ÖV-Stationen eine Art „Zwiebelmodell“ vorgeschlagen. Es bildet ab, mit welchen Verkehrsmitteln eine ÖV-Haltestelle innerhalb von 10 Minuten Wegzeit erreicht werden kann.²⁸⁰ Von folgenden Durchschnittsgeschwindigkeiten bzw. innerhalb von 10 Minuten überwindbaren Distanzen für die einzelnen Verkehrsmittel wird ausgegangen:²⁸¹

Tabelle 22: Zwiebelmodell der Verkehrsmittelwahl

| Verkehrsmittel | Durchschnittliche Geschwindigkeit | innerhalb von 10 min. überwindbare Distanz |
|--------------------------------|-----------------------------------|--|
| Zu Fuß | 4 km/h | 0,7 km |
| Fahrrad | 12 km/h | 2,0 km |
| Pedelec, Elektrofahrrad | 21 km/h | 3,5 km |
| Elektro-Kleinkraftrad | 40 km/h | 6,5 km |
| Elektroauto | 60 km/h | 10,0 km |
| Quelle: vgl. K&EF, 2010, S.47 | | |

5.2.2 Technologie

Als Rahmenbedingungen für die Wahl der geeigneten Fahrzeug-Technologie sind im Stadtumland relevant: höhere durchschnittliche Geschwindigkeiten und Distanzen, Es gibt zahlreiche Berufs- und AusbildungsPendlerinnen, die täglich gleich bleibende Distanzen zurückzulegen haben.

Batterie für Fahrräder (Elektrofahrräder), (Klein-)Krafräder, PKW und Busse

Täglich gleich bleibende geringe bis mittlere Distanzen können mit Batteriefahrzeugen ohne Nachladen unter tags bewältigt werden. Regelmäßige Wege von Pendlerinnen, die aufgrund des Wohn- und/oder Arbeits- oder Ausbildungsstandortes oder der Entfernung nicht geeignet sind, durch Fuß-, Rad- oder ÖV zurückgelegt zu werden, können – eventuell auch in Kombination mit dem ÖV – mit Batterie-PKW oder Batterie-Krafrädern realisiert werden. Insbesondere bei häufigen Wegen in oder durch sensible (urbane) Räume kann die weitgehende Emissionsfreiheit von Batteriefahrzeugen ein Vorteil sein. Es ist allerdings zu prüfen, ob bei geringen Kilometerleistungen

²⁸⁰ Dieser Zeitgrenze liegt die Annahme zugrunde, dass sich Personen ab einer Wegzeit von 10 Minuten zur ÖV-Station für einen Umstieg auf eine schnellere Fortbewegungsmöglichkeit entscheiden.

²⁸¹ vgl. K&EF, 2010, S.47

des Fahrzeuges über seine Lebenszeit tatsächlich Energie und Schadstoffemissionen im Vergleich zu Verbrennungskraftmaschinen eingespart werden. Weitere Einsatzgebiete von Batteriefahrzeugen betreffen Elektrofahrräder sowie Busse des ÖV, deren Batteriekapazitäten und dazugehörige Infrastrukturen auf die Erfordernisse des Linienbetriebes abgestimmt werden können.

Hybridantrieb für Fahrräder (Pedelects), PKW und Busse

Pedelects erlauben unabhängig vom siedlungsstrukturellen Umfeld erweiterte Einsatzbereiche von Fahrrädern. Individualverkehrsmittel sind umso bedeutender je geringer die Versorgungsdichte mit öffentlichen Verkehrsmitteln. Bewohnerinnen von Stadtumlandgemeinden bewegen sich häufig sowohl in locker besiedeltem Gebiet als auch im urbanen Raum. Bei Notwendigkeit eines privaten PKW bestehen die Anforderungen daran folglich in hohen realisierbaren Geschwindigkeiten und Distanzen sowie hoher Effizienz und niedrigen Emissionen im Stadtverkehr. Dies wird von Hybridfahrzeugen (v.a. Plug-In und Full-Hybridfahrzeugen) erfüllt. Auch für Carsharing-Fahrzeuge können Hybridantriebe eingesetzt werden. Ähnliches gilt für Busse des Regionalverkehrs.

Leitungsgebundene Energieversorgung für S-Bahnen und Fernzüge

Die Elektrifizierung der Bahnstrecken ist umso wichtiger je höher der Anteil der Strecke, der durch dicht besiedeltes Gebiet führt und je höher die Anzahl der auf der Strecke verkehrenden Züge. Beides ist im Stadtumland gegeben.

5.2.3 Infrastruktur

Für die vorgenannten Einsatzbereiche sind folgende Infrastrukturen relevant:

Batteriewechselstation

Bei Betrieb von Batteriebusen im ÖPNV, sind entsprechende Infrastrukturen vorzusehen. Je nach Erfordernissen können dies Batteriewechselstationen oder Ladestationen sein.

Park/Bike & Ride – Anlagen mit Langsamladung

Da Individualverkehrsmittel als Zubringer zum hochrangigen ÖV eingesetzt werden (sollen), sind entsprechende Ladekapazitäten in Park & Ride-Anlagen vorzusehen. Im Rahmen dieser Anlagen können die zeitliche Steuerung der Ladung sowie die Realisierung des Konzeptes Vehicle-to-Grid sinnvoll sein. Einheitliche Zugangs- und Abrechnungssysteme sind zu errichten.

Langsamladung auf Privatparkplätzen

Im Stadtumland stehen häufig private Abstellplätze zur Verfügung, auf denen Fahrzeuge ohne Installation eines Abrechnungssystems an normalen Haushaltssteckdosen geladen werden können. Eine zeitliche Steuerung der Ladung ist zu fördern.

Schnell- und Langsamladung im Ortszentrum

Als öffentliche Grundinfrastruktur sind neben den Langsamlademöglichkeiten in Park & Ride-Anlagen noch Ladesysteme an zentralen Standorten der Umlandgemeinden sinnvoll. Möglich ist damit auch die Versorgung von Fahrzeugen eines etwaigen Gemeindefuhrparks.

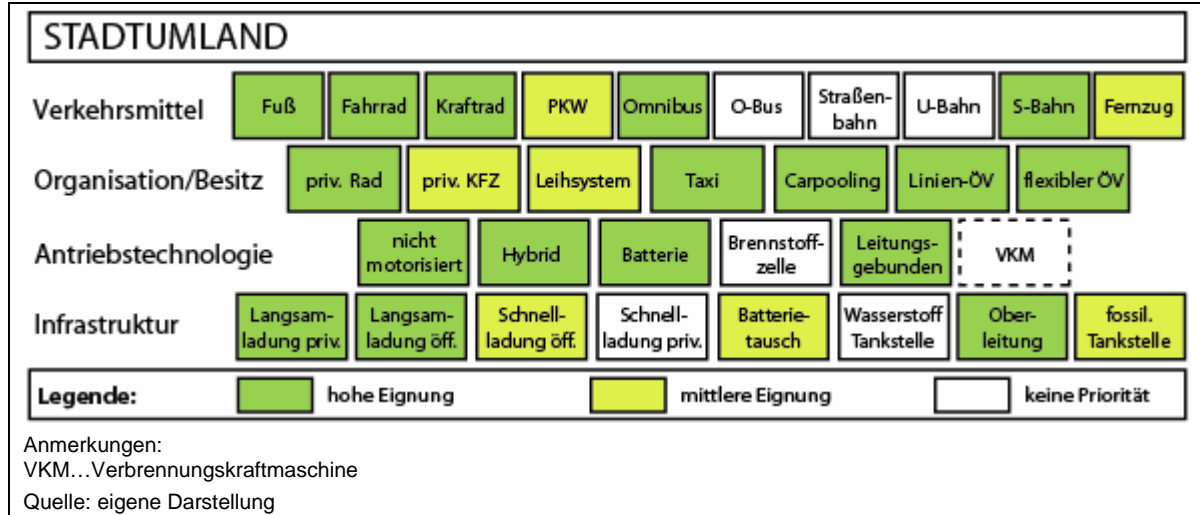
Konventionelle Tankstellen

Für Hybridfahrzeuge sowie konventionelle Fahrzeuge sind konventionelle Tankstellen nötig.

5.2.4 Überblick

Abbildung 26 gibt einen grafischen Überblick über die diskutierten Anwendungsbereiche, bewertet nach: hoher Eignung, mittlerer Eignung und keine Priorität. Die Darstellung erfolgt gegliedert nach Verkehrsmitteln, Organisation/Besitz, Art der Antriebstechnologie und dazu notwendiger Infrastruktur.

Abbildung 26: Überblick Anwendungsbereiche – Stadtumland



5.3 Verkehrskorridor

Für die Verkehrsorganisation von Verkehrskorridoren sind folgende Aspekte entscheidend:

- hohe Nutzerdichte, große Distanzen und Geschwindigkeiten
- im Verkehrskorridor und angrenzenden Standorten herrschen jeweils unterschiedliche Bedingungen für die verschiedenen Verkehrsmittel

5.3.1 Verkehrsmittel

Folgende Verkehrsmittel weisen eine besonders hohe Eignung für Mobilitätsbedürfnisse und Rahmenbedingungen in Verkehrskorridoren auf:

- ÖV (Schienenregional- und –fernverkehr, Zubringer-ÖV)
- MIV (Carsharing an Knotenpunkten)
- Carpooling

Gebündelte Verkehrsströme in hoher Geschwindigkeit und über hohe Distanzen können effizient mit Verkehrsmitteln des öffentlichen Schienenverkehrs abgewickelt werden. Im MIV kann per Carpooling versucht werden, den Besetzungsgrad der Fahrzeuge zu erhöhen um damit Emissionen, Energiebedarf und Kapazitätsengpässe zu reduzieren.

Da sich die Rahmenbedingungen der Verkehrsmittelwahl im Verkehrskorridor (hohe Distanzen und Geschwindigkeiten) oftmals von jenen in den angrenzenden Gemeinden und Städten unterscheiden, sind einfache Übergangsmöglichkeiten zwischen den Verkehrsmitteln vorzusehen. Dazu gehören Park/Bike & Ride-Anlagen sowie Carsharing-Angebote an hochrangigen ÖV-Stationen. Mobilitätsangebote in den angrenzenden Gemeinden haben sich nach den jeweiligen siedlungsstrukturellen Gegebenheiten zu orientieren.

5.3.2 Technologie

Folgende Antriebstechnologien sind für die in Verkehrskorridoren eingesetzten Verkehrsmittel relevant:

Hybrid-Fahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge

Fahrzeuge beider Antriebskonzepte können hohe Distanzen und Geschwindigkeiten erreichen. Allerdings bedingt das hohe Gewicht der Antriebe einen erhöhten Nutzenergiebedarf der Fahrzeuge. Die Effizienzvorteile dieser Technologien gegenüber Verbrennungskraftmaschinen sind bei Fahrten in einheitlicher hoher Geschwindigkeit gering.

Stromleitungsgebundener ÖV

Individuelle Kursführung ist auf hochrangigen Verkehrskorridoren nicht nötig. Öffentliche Schienenverkehre erreichen bei entsprechender Auslastung den geringsten Energiebedarf sowie Emissionen und Flächenbedarf. Weiters sind mit ihnen hohe Geschwindigkeiten realisierbar.

Eingeschränkt: Batteriefahrzeuge

Batteriefahrzeuge sind meist nicht auf hohe Geschwindigkeiten und Distanzen ausgelegt. Ihre Einsatzgebiete liegen primär in den an Verkehrskorridore angrenzenden Gemeinden. Dennoch ist zu gewährleisten, dass mit Batteriefahrzeugen auch andere Standorte erreichbar sind.

5.3.3 Infrastruktur

Schnellladestationen und Batterietauschstationen

Um zu gewährleisten, dass Batteriefahrzeuge im Bedarfsfall auch andere Standorte erreichen können, ist in angemessenen Abständen die Errichtung von Schnellladestationen bzw. bei hoher Nutzerdichte auch Batterietauschstationen im Verkehrskorridor vorzusehen. Entsprechende Zugangs- und Abrechnungssysteme sind vorzusehen.

Wasserstofftankstellen

Zur Versorgung von Brennstoffzellenfahrzeugen sind an wichtigen Verkehrskorridoren in regelmäßigen Abständen Wasserstofftankstellen als Grundinfrastruktur dieser Verkehrsmittel sinnvoll.

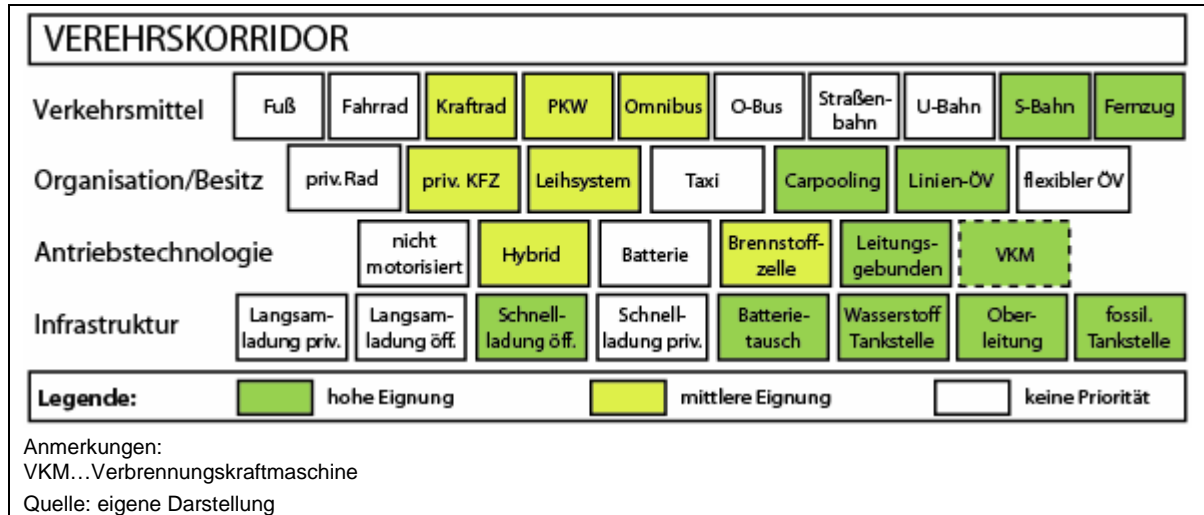
Konventionelle Tankstellen

Für die Versorgung von Verbrennungskraftmaschinen sowie Hybridfahrzeuge sind konventionelle Tankstellen für Benzin und Diesel nötig.

5.3.4 Überblick

Abbildung 27 gibt einen grafischen Überblick über die diskutierten Anwendungsbereiche, bewertet nach: hoher Eignung, mittlerer Eignung und keine Priorität. Die Darstellung erfolgt gegliedert nach Verkehrsmitteln, Organisation/Besitz, Art der Antriebstechnologie und dazu notwendiger Infrastruktur.

Abbildung 27: Überblick Anwendungsbereiche – Verkehrskorridor



5.4 Periphere Gebiete

Für die Verkehrsorganisation peripheren Gebieten sind folgende Aspekte entscheidend:

- Geringe Siedlungsdichte, große Distanzen, mittlere bis hohe Geschwindigkeiten
- Kfz-Abstellmöglichkeiten: meist private Einzelgaragen vorhanden

5.4.1 Verkehrsmittel

Folgende Verkehrsmittel weisen eine besonders hohe Eignung für Mobilitätsbedürfnisse und Rahmenbedingungen in peripheren Gebieten auf:

- Fahrrad
- ÖV (Bus, AST, Rufbus)
- Taxi
- (Klein-)PKW
- (Klein-)Kraftrad

Außerhalb der Ortskerne ist die Erfüllung von Mobilitätsbedürfnissen per zu Fuß gehen meist nicht möglich. Zum Teil können Wege mit dem Fahrrad zurückgelegt werden. Die Bedingungen für öffentliche Linienverkehre sind ungünstig und müssen durch flexible ÖV-Systeme wie Anrufsammeltaxis, Rufbusse sowie Taxis ergänzt werden. Infolge dessen kommt den Individualverkehrsmitteln Fahrrad, Kraftrad und PKW ein hoher Stellenwert bei der Erfüllung der Mobilitätsbedürfnisse zu.

Durch Reduktion von Größe, Gewicht und Leistung der eingesetzten Fahrzeuge können Energiebedarf, Flächeninanspruchnahme und Emissionen von PKW und Krafträdern reduziert werden.

5.4.2 Technologie

Folgende elektrisch unterstützte Antriebstechnologien sind für den Einsatz in peripheren Gebieten relevant. Allerdings sind die Effizienzvorteile elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel gegenüber Verbrennungskraftmaschinen außerorts geringer. Weiters wirkt sich das höhere Fahrzeuggewicht steigernd auf den Nutzenergiebedarf der Bewegung aus. Effizienzvorteile werden daher zum Teil stark kompensiert.

Batterie für Elektrofahrrad, Kraftrad und PKW

Sofern die im MIV zurückzulegenden Tagesdistanzen die Reichweite der Fahrzeuge nicht überschreiten, können Batteriefahrzeuge eingesetzt werden, beispielsweise als Zubringer zu höherrangigen ÖV-Stationen. Generell sind die Distanzen, die für die Erreichung der verschiedenen Lebensbereiche zurückgelegt werden müssen länger als dies in Stadtumland und Kernstadt der Fall ist. Insofern ist von Fall zu Fall zu prüfen, ob Batteriefahrzeuge hier einen sinnvollen Beitrag zur Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse leisten können.

Hybridantrieb für Pedelecs, PKW und Busse

Mit Hybridfahrzeugen können die in peripheren Räumen oftmals geforderten hohen Reichweiten und Geschwindigkeiten realisiert werden.

5.4.3 Infrastruktur

Für die vorgenannten Einsatzbereiche sind folgende Infrastrukturen vorzusehen:

Langsamladung in Privatgarage

Grundsätzlich verfügen Haushalte in ländlichen Gebieten meist über einen privaten Stellplatz. Batteriefahrzeuge können bei Vorhandensein einer Haushaltssteckdose ohne weitere Investitionen geladen werden. Lediglich eine Vorrichtung zur zeitlichen Steuerung der Ladung scheint sinnvoll.

Schnellladung in Ortszentrum

Bei Bedarf können Langsam- und Schnellladesysteme an zentralen Standorten der Wohngemeinden errichtet werden. Entsprechende Zugangs- und Abrechnungssysteme sind vorzusehen. Möglich ist damit auch die Versorgung von Fahrzeugen eines möglicherweise (teil-)elektrifizierten Gemeindefuhrparks.

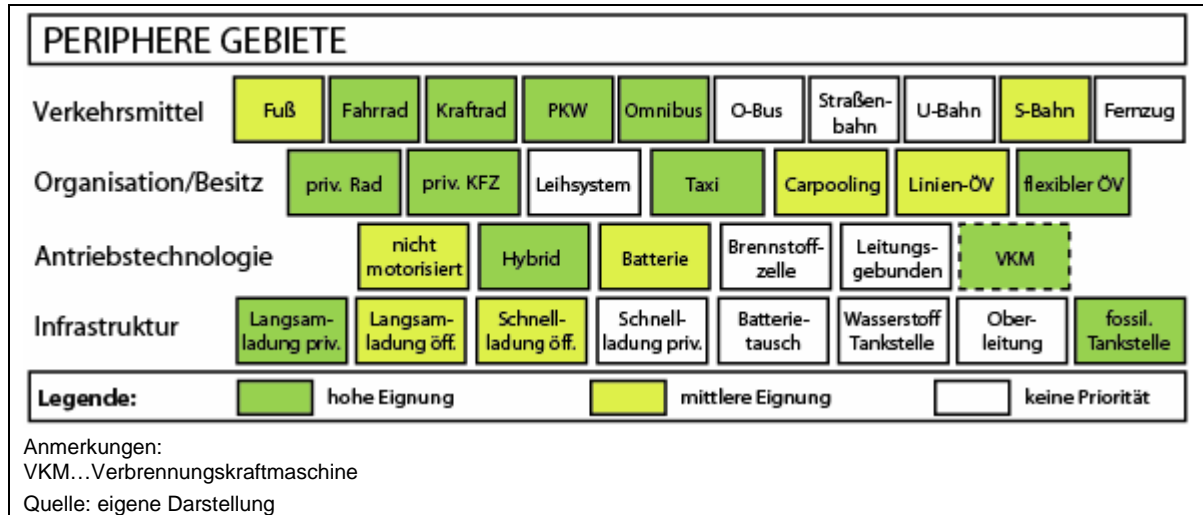
Konventionelle Tankstellen

Tankstellen für Benzin und Diesel werden für reine Verbrennungskraftmaschinen sowie Hybridfahrzeuge benötigt.

5.4.4 Überblick

Abbildung 28 gibt einen grafischen Überblick über die diskutierten Anwendungsbereiche, bewertet nach: hoher Eignung, mittlerer Eignung und keine Priorität. Die Darstellung erfolgt gegliedert nach Verkehrsmitteln, Organisation/Besitz, Art der Antriebstechnologie und dazu notwendiger Infrastruktur.

Abbildung 28: Überblick Anwendungsbereiche – Periphere Gebiete



5.5 Zusammenfassung prioritärer Anwendungsbereiche von Elektromobilität

Nachdem nun die Eignung unterschiedlicher Verkehrsmittel und Antriebstechnologien näher erörtert wurden, kristallisieren sich prioritäre Anwendungsbereiche für Elektromobilität – wie aus Tabelle 23 ersichtlich – heraus.

Unabhängig von der Antriebstechnologie, sind Verkehrsmittel mit geringem Nutzenergiebedarf pro Personen-Kilometer zu unterstützen. Dazu kann es einerseits sinnvoll sein, die Auslastung von Fahrzeugen durch eine größere Anzahl von Fahrgästen zu erhöhen z.B. durch Carpooling. Dies ist jedoch nicht immer möglich oder erwünscht. Eine zweite Möglichkeit ist die Reduktion des Nutzenergiebedarfes des Fahrzeuges selbst z.B. durch kleinere und leichtere Fahrzeuge, geringere Motorleistung etc. Derzeit verfügbar sind etwa (Klein-)Krafträder oder Leicht-Kfz. Begrüßenswert sind Entwicklungen innovativer (leistbarer) Fahrzeuge, wie beispielsweise von Krafträdern, die Platz für ein bis zwei Personen sowie Wetterschutz und Stabilität bieten. (siehe Kapitel 3.2.2) Zusätzlicher positiver Effekt ist, dass sich Fahrzeuge mit geringem Nutzenergiebedarf eher für eine Energieversorgung durch Batterien eignen, da diese deutlich kleiner dimensioniert werden kann, wodurch Fahrzeuggewicht und Kosten erheblich gesenkt werden können. Insbesondere im urbanen Raum sind geringe lokale Lärm- und Schadstoffemissionen sowie geringer Flächenverbrauch von Verkehrsmitteln ein zentrales Beurteilungskriterium. Folglich sind Entwicklung und Einsatz kleiner, emissionsarmer Fahrzeuge zu unterstützen.

Tabelle 23: prioritäre Anwendungsbereiche elektrisch unterstützter Antriebstechnologien

| Anwendungsbereiche | Argumente und Überlegungen |
|---|---|
| <p>Fahrräder</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pedelecs - Elektrofahrräder | <ul style="list-style-type: none"> - zur Erweiterung der Einsatzbereiche (Zielgruppen, Distanzen, Situationen) des Verkehrsmittels Fahrrad - keine speziellen Ladeinfrastrukturen nötig |
| <p>Fahrzeugflotten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Taxis (PKW) - ÖV (Bus und Bahn) - Carsharing (PKW) - Betriebsflotten (Fahrräder, PKW, Kleinkrafträder) <p><u>Technologie:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Batterie - Brennstoffzelle - Hybrid - Leitungsgebundene | <ul style="list-style-type: none"> - Fahrzeuge mit hohen Kilometerleistungen, die in begrenztem geographischen Aktionsradius (häufig im Teillastbereich) bzw. auf vorgegebenen Strecken verkehren - durch die hohen Kilometerleistungen bei geringem Energiebedarf im Betrieb, kann der hohe Energiebedarf bei der Herstellung der Batterien bzw. die hohen Kosten der Anschaffung des Fahrzeuges und der Infrastruktur kompensiert werden. - unterschiedliche Antriebstechnologien sind möglich; damit verbunden: Aufbau entsprechender Infrastrukturen |
| <p>Fahrzeuge für Pendlerinnen bzw. als ÖV- Zubringer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fahrräder - Krafträder - Leicht-Kfz und PKW <p><u>Technologie:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Batterie - Hybrid - ev. Brennstoffzellen | <ul style="list-style-type: none"> - Fahrräder oder Krafträder mit herausnehmbarer Batterie bzw. Fahrzeuge mit privatem Stellplatz, die täglich gleich bleibende Distanzen zu bewältigen haben - Insbesondere wenn ein Haushalt über mehrere Fahrzeuge verfügt, ist eine Spezialisierung der Fahrzeuge ohne Einbußen persönlicher Mobilität möglich. - keine bis geringe Kosten für den Aufbau von privater Ladeinfrastruktur; jedoch sinnvoll: Ladeinfrastruktur an Park & Ride - Anlagen |

6 INTEGRATIONSANSÄTZE

Aufgabe von Planungen im Verkehrsbereich ist es nun, die Rahmenbedingungen der verschiedenen Verkehrsarten solcherart zu organisieren, dass die individuellen Mobilitätsbedürfnisse der Bevölkerung bei möglichst geringen negativen externen Effekten mit geringem Ressourceneinsatz befriedigt werden können. Dazu ist es hilfreich, die einzelnen Verkehrsarten nicht getrennt voneinander, sondern in einem integrierten Gesamtverkehrskonzept zu behandeln. Um einen effizienten Einsatz der vorhandenen Ressourcen zu erreichen, gilt der Grundsatz, **das optimale (Verkehrs-)mittel für den jeweiligen Zweck** einzusetzen. Die Herausforderung besteht folglich primär in der Organisation des Zugangs, der Abrechnung und der Übergänge zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln.

Es folgt die Vorstellung verschiedener Integrationsansätze von Elektromobilität bezüglich kaufmännischer Organisation und technischer Umsetzung anhand von theoretischen Ansätzen und Projekten aus der Praxis.

Die Bandbreite reicht dabei vom reinen Ersatz konventioneller PKW durch Elektrofahrzeuge für einzelne Verkehrszwecke oder Gebiete (z.B. Projekt Better Place) bis hin zu integrativen Konzepten, die neben der differenzierten Nutzung verschiedener Antriebskonzepte auch die Verknüpfung der unterschiedlichen Verkehrsarten zum Ziel haben und damit komodale Mobilität fördern. (z.B. Projekt eMORAIL)

6.1 Integrationsansätze der Plattform e-connected

Der Einsatz elektrisch unterstützter Antriebe im Straßenverkehr ist bisher erst auf niedrigem Niveau Realität. Folglich existieren verschiedene Konzepte zur Integration elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel im Personenverkehr bislang nur in der Theorie.

Die österreichische Plattform e-connected hat sich eingehend mit derartigen Integrationsansätzen beschäftigt. E-connected wurde gemeinsam von Lebensministerium und Klima- und Energiefonds initiiert. Ziel ist es *„die CO₂-Emissionen im österreichischen Verkehr mittels rascher und nachhaltiger Einführung von E-Mobilität zu minimieren.“* [HP: ECON, 2012] Die Initiative soll den Erfahrungsaustausch zwischen potentiellen Akteurinnen erleichtern und der Öffentlichkeit den Zugang zu wesentlichen Informationen bezüglich Elektromobilität ermöglichen. In Expertengruppen wurden die Themen Ausbildung, Geschäftsmodelle, Elektrofahrzeuge, Ladestationen, Rahmenbedingungen und Systemintegrierte Elektromobilität behandelt. Deren Ergebnisse sind in den Publikationen „Abschlussbericht e-connected I“ (2009) und „Abschlussbericht e-connected II“ (2010) festgehalten.

Für das vorliegende Unterkapitel sind die Themenbereiche „Geschäftsmodelle“ und „systemintegrierte Elektromobilität“ (sowie dessen interne erweiterte Fassung) relevant.

Anmerkung: Die im Rahmen von e-connected erarbeiteten Modelle legen den Schwerpunkt auf die Integration von elektrisch unterstützt angetriebenen Individualverkehrsmittel mit dem ÖV. Der Einsatz von Elektromobilität im ÖV ist – mit Ausnahme des Modells „e-Collect Anrufzubringerdienste“ – nicht Teil der „Abschlussberichte e-connected I und II“. Nichtsdestotrotz können Elektro- und Hybridantriebe auch für Fahrzeuge des öffentlichen Linienverkehrs (Schienen- und Busverkehr) sinnvoll eingesetzt werden. Beispiele dafür wurden bereits in den Kapiteln 3.2.4 sowie 3.2.5 beschrieben und werden an dieser Stelle nicht weiter vertieft.

Im Kapitel **Geschäftsmodelle** des „Abschlussberichts e-connected II“ werden acht Gruppen von Akteurinnen identifiziert, für die die Entwicklung von Geschäftsmodellen für Produkte oder Serviceangebote für Elektromobilität von Interesse sein können. Diese umfassen:

- Fahrzeughersteller (z.B. Toyota, BMW, BYD)
- Fahrzeugflottenbetreiber (z.B. DPD, FedEx, Firmen- und Gemeindefuhrparks)
- Mobilitätsanbieter (z.B. CarSharing, better place, ÖBB)
- Telekommunikationsunternehmen (z.B. mobilcom austria, orange)
- Energieversorger (z.B. Verbund, KELAG)
- Tourismus (z.B. Tourismusverbände, Gemeinden, Veranstalter)
- Flächenanbieter
 - Öffentlich (z.B. ASFiNAG, Stadt Wien)
 - Kommerziell (z.B. Tankstellen, APCOA, Einzelhandelsbetriebe)
- Infrastrukturanbieter
 - System- und Komponentenanbieter (z.B. Siemens, elektromotive, General Electric, li-Tec., MENNEKES)
 - Dienstleister (z.B. Google, PayLife, Werkstätten, Raiffeisen Leasing)²⁸²

Eine weitere Spezifizierung von Geschäftsmodellen erfolgt an dieser Stelle nicht. Im Kapitel werden jedoch mögliche Herangehensweisen zur Entwicklung von Geschäftsmodellen für einzelne Anbieter beschrieben, die hier aber nicht näher ausgeführt werden.

Im Kapitel **Systemintegrierte Elektromobilität** des „Abschlussberichts e-connected II“ werden mögliche Organisationsformen für bestimmte Einsatzbereiche beschrieben. Es folgen allgemeine Überlegungen der Arbeitsgruppe, die z.T. bereits in der Praxis erprobt werden. Der Fokus des Kapitels liegt auf dem Einsatz von Elektromobilität als Ergänzung bzw. Stärkung des Umweltverbundes. Räumlich wird unterschieden nach den Zielregionen Stadt und Land (untergliedert in ländliche Kernregionen²⁸³ und periphere Regionen).

6.1.1 Zielregion Stadt

Für die Zielregion Stadt liegen thematische Schwerpunkte auf der Elektrifizierung von Zweirädern (Modell „E-Bikes und E-Scooter“, für Details siehe Zielregion Land) und Fahrzeugflotten, größtenteils in Modellen, die eine Entkoppelung von Fahrzeugbesitz und Fahrzeugnutzung vorsehen (Modelle „E-Carsharing (ECS)“ und „Citytaxi“). Die Grundversorgung der persönlichen Mobilität in der Stadt wird als durch die Verkehrsmittel des Umweltverbundes abgedeckt angenommen. Es folgt ein kurzer Abriss der genannten Modelle:

Elektro-PKW als Mietwagen und Carsharingfahrzeuge^{284 285}

Durch Implementierung solcher Mobilitätsangebote erwartet man sich die bereits beobachteten positiven Effekte konventionellen Carsharings (auf Fahrzeugbesitz, Flächenverbrauch und Flexibilität bei der Verkehrsmittelwahl) verbunden mit den reduzierten lokalen Umweltwirkungen von Elektrofahrzeugen. Außerdem haben Nutzerinnen auf diese Weise die Möglichkeit neue

²⁸² vgl. K&EF, 2010, S.18

²⁸³ Dies dürfte in etwa den in dieser Arbeit als „Stadtumland“ definierten Räumen entsprechen.

²⁸⁴ vgl. K&EF, 2010, S.41f, 45

²⁸⁵ vgl. Slupetzky, 2009, S.8f, 12f

Technologien auszuprobieren und Berührungängste abzubauen. Organisatorische Möglichkeiten sind:

- städtische Verleihsysteme (ähnlich dem Wiener Leihradsystem Citybike)

Die Fahrzeuge werden selbstständig von den Nutzerinnen an fixen Verleihstationen (mit Lademöglichkeit) ausgeliehen und müssen auch wieder an einer solchen abgestellt werden. Die Parkplatzsuche entfällt dadurch. Die Verfügbarkeit von Fahrzeugen in der Umgebung kann über Handys abgefragt werden. Die Tarifstruktur soll dabei jener der Citybikes ähneln; mit sehr günstigen Tarifen bei kurze Leihdauer, die mit längerer Nutzungsdauer progressiv ansteigen, sodass eine hohe Verfügbarkeit der Fahrzeuge gewährleistet ist.

- Elektrofahrzeuge als normale Leihfahrzeuge bzw. zur Erweiterung der Fahrzeugpalette konventioneller Carsharing- und Mietwagenanbieter.

Den Kundinnen steht eine breite Fahrzeugpalette aus einer Hand zur Verfügung, beispielsweise auch für lange Fahrtstrecken oder Großtransporte. Jedenfalls sollen sich Standorte von Leihstationen auch an ÖV-Stationen orientieren.

Für beide Systeme wird als wichtig erachtet:

- Die Tarife für Elektrofahrzeuge sollen jene konventioneller Fahrzeuge nicht überschreiten.
- gute Sichtbarkeit der Fahrzeuge und Leihstationen im öffentlichen Raum, sodass Bewusstsein für dieses Mobilitätsangebot geschaffen wird
- ausreichende Anzahl bzw. Dichte verfügbarer Fahrzeuge bzw. Standplätze
- Wünschenswert: Abrechnung der Leistungen gemeinsam mit dem ÖV (ev. auch Taxis) über eine einheitliche „Mobility Card“.

Mögliche Akteure sind: Öffentliche Verkehrsunternehmen (Zugangskarten und Lesegeräte), Carsharing-/Mietautofirma (PKW und Fuhrparkmanagement), Stromversorger (Energie und Ladeinfrastruktur), Service durch mobile Mechanikerinnen und lokale Werkstätten, Kommune (Bereitstellung von Flächen, ev. finanzielle Unterstützung, da positive externe Effekte zu erwarten sind)

In der Praxis wird ein ähnliches System mit „Autolib“ im Raum Paris angeboten. Bis Juni 2012 soll das Angebot 1740 Fahrzeuge (Modell Bluecar des Anbieters Bolloré) und 1100 Leihstationen mit 5000 Ladepunkten umfassen.²⁸⁶

Elektrotaxis^{287 288}

Taxiverkehre bewegen sich vorwiegend im Stadtgebiet und werden mit Fahrzeugen der Mittel- und Oberklasse realisiert. Damit geht ein hoher Treibstoffverbrauch einher. Grundsätzlich sind sie eng mit dem ÖV verknüpft, etwa als Zubringer zu ÖV-Stationen.

Elektrotaxis können als Kooperation von Taxibetreibern und Gebietskörperschaften realisiert werden, wobei die Herstellung der Lade- und Wechselstationen (bei Batteriefahrzeugen) durch die Kommune erfolgt. Durch Ankaufförderung seitens Bund und Land soll zusätzlich der höhere Anschaffungspreis der Fahrzeuge reduziert werden. Vorgeschlagen wird eine schrittweise Steigerung der Elektrifizierung der Flotte von Hybrid-Fahrzeugen über Plug-In Hybride zu reinen

²⁸⁶ vgl. HP: Autolib, 2012

²⁸⁷ vgl. K&EF, 2010, S.44-46

²⁸⁸ vgl. Slupetzky, 2009, S.10f

Batterie-Taxis. Neben den geringeren Umweltwirkungen der Fahrzeuge im Stadtgebiet erwartet man sich eine höhere Sichtbarkeit von Elektrofahrzeugen im Stadtverkehr sowie für Fahrgäste Erfahrungen bzw. Informationen (durch die Taxilenkerin als Auskunftsperson). Weiters kann die im Zuge der Elektrifizierung des Taxiverkehrs ausgebaut Basisinfrastruktur in Folge auch von weiteren Nutzerinnen verwendet werden, beispielsweise durch Firmenflotten, Privatfahrzeuge, Carsharing-Fahrzeuge etc., wodurch die Wirtschaftlichkeit der Anlagen gesteigert würde.

Mögliche Akteure sind: Taxiunternehmer einer Kommune (Anschaffung einheitlicher Fahrzeuge mit Wechselakku), Kommune (Bereitstellung von Wechselstationen an zentralen Standorten), Land/Bund (Ankaufförderung für Fahrzeuge), Verkehrsunternehmen (Flächen für Wechsel- und Ladestationen an ÖV-Knotenpunkten) und Energieversorger (Errichtung von Ladestationen bei Taxi-Abstellplätzen und -Garagen)

In der Praxis werden und wurden bereits Brennstoffzellen-Fahrzeuge (London), Hybrid-Fahrzeuge (Wien, Graz) und Batterie-Fahrzeuge mit Wechselakku (Tokio) im Taxibetrieb eingesetzt.

Elektrofahrzeuge als Firmenfahrzeuge lokaler Zustell- und Servicedienste²⁸⁹

Im Zuge der Berufsausübung beispielsweise bei mobilen Sozialdiensten wie „Essen auf Rädern“ werden häufig Wege in einem begrenzten räumlichen Wirkungsgebiet mit vielen Zwischenstopps zurückgelegt. Neben Nachhaltigkeitsüberlegungen machen auch Wirtschaftlichkeitsgründe eine Verwendung von Elektrofahrzeugen für diese Gruppe interessant. Auch die Sichtbarkeit der Fahrzeuge in der Öffentlichkeit wird als positiv gewertet. Problematisch kann hingegen der höhere Anschaffungspreis werden, der insbesondere für gemeinnützige Organisationen Ankaufförderungen notwendig erscheinen lässt. Idealerweise werden die Fahrzeuge in betriebliche Mobilitätskonzepte hinsichtlich der Wege der Mitarbeiterinnen zur nächsten ÖV-Station oder zum Wohnstandort eingebunden. Eine weitere Möglichkeit stellt eine geteilte Nutzung der Fahrzeuge mit öffentlichen Verkehrsunternehmen dar, wie etwa im Rahmen des Praxis-Beispiels eMORAIL vorgesehen.

6.1.2 Zielregion Land

Für die Zielregion Land liegt der Fokus auf der Überwindung der „first/last mile“ zwischen ÖV-Station und Zielort. Durch Anwendung der Verkehrsmittel wie sie das „Zwiebelmodell der Verkehrsmittelwahl“ (siehe Kapitel 5.2.1) vorsieht, soll auch hier der ÖV ergänzt und gestärkt werden. Die Modelle umfassen den Einsatz von elektrifizierten Zweirädern (Modell „E-Bikes und E-Scooter“), weiterem elektrifiziertem ÖV (Modell „E-Collect Anrufzubringerdienste“) sowie Elektro-PKW, z.T. ebenfalls bei Entkoppelung von Besitz und Nutzung (Modell „kommunales Teilen von Elektroautos“ oder auch Leasing und Fahrgemeinschaften). Die Mobilität von Pendlerinnen bildet einen weiteren thematischen Schwerpunkt. Es folgt ein kurzer Abriss der genannten Modelle:

E-Bikes und E-Scooter^{290 291}

Dazu zählen Pedelecs, Elektrofahrräder (innerhalb von 10 Minuten, Distanzen bis 3,5 km) und Elektro-Kleinkrafträder (innerhalb von 10 Minuten, Distanzen bis 6,5 km). Elektrisch unterstützte angetriebene Zweiräder können u.A. in locker besiedelten Ballungsgebieten als Zubringer zum ÖV dienen. Die Notwendigkeit eines Zweit- oder Dritt-PKWs für Haushalte kann dadurch entfallen. Wichtig für den Einsatz sind überdachte und diebstahlsichere Abstellplätze mit Ladeanschlüssen an den ÖV-Stationen sowie entsprechend gestaltete Verbindungswege zum Bahnhof.

²⁸⁹ vgl. K&EF, 2010, S.40f

²⁹⁰ vgl. K&EF, 2010, S.46f

²⁹¹ vgl. Slupetzky, 2009, S.14f

Gegebenenfalls können auch Leihräder eine sinnvolle Ergänzung darstellen. Als Geschäftsmodell wird ein Angebot zum Kombileasing mit fixer Monatsrate für ÖV-Netzkarte und elektrisch unterstützt angetriebenes Zweirad vorgeschlagen. Möglich sind Förderungen im Rahmen betrieblicher Mobilitätskonzepte. Weiters können verschärfte Abgasnormen und Vorgaben zur Einschränkung der Lärmentwicklung die Umstellung von Kleinkrafträdern von Verbrennungsmotor auf Elektroantrieb beschleunigen.

Zu den Akteuren zählen: Verkehrsunternehmen (Bereitstellung von Ladeinfrastrukturen und geeigneten Abstellplätzen, ev. ein Miet-service für Zweiräder), Energieversorger (Versorgung der Ladestationen)

E-Collect Anrufzubringerdienste²⁹²

Auf Basis eines flexiblen Routenplanes (siehe Abschnitt „Rufbus“ von Kapitel 4.2.5) wird mit großen Elektro-PKW oder Elektro-Kleinbussen eine Verbindung zwischen Wohnorten ohne ÖV-Anschluss und ÖV-Linien hergestellt. Der Tarif sollte nicht höher als bei einem normalen ÖV-Ticket liegen.

Als Akteure werden vorgeschlagen: Taxi- bzw. Busbetreiber (Organisation und Betrieb des Dienstes), Kommune (Bereitstellung von Ladeinfrastruktur, finanzielle Unterstützung)

Kommunales Teilen von Elektroautos^{293 294}

Das Konzept sieht ein gemeindeeigenes Carsharing-Programm für kleine Gemeinden vor. Die eingesetzten Fahrzeuge sind grundsätzlich als Dienstfahrzeuge in der Gemeinde im Einsatz und können zu bestimmten Zeiten auch von Privatpersonen, die nur selten einen PKW benötigen, genutzt werden. Die Organisation erfolgt mittels telefonischer Voranmeldung im Gemeindeamt. An Infrastruktur sind lediglich Lademöglichkeiten am Gemeindeparkplatz vorzusehen. In Kombination mit dem Pendlermodell (siehe nachfolgende Abschnitte) kann kommunales Teilen von Elektroautos zu komodalem Mobilitätsverhalten beitragen. Wie schon in den vorgenannten Modellen, wird Bürgerinnen der Zugang zu Informationen und Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen erleichtert.

Einzige Akteurin ist die Gemeinde, welche Buchungsservice, Fahrzeuge sowie Ladeinfrastruktur zur Verfügung stellt.

Pendlermodell für periphere Regionen (All Inclusive P & R Kombileasing)^{295 296}

Das Pendlermodell ist auf Arbeitspendlerinnen zugeschnitten, bei denen der Arbeitsplatz grundsätzlich über eine leistungsfähige ÖV-Verbindung erreicht werden kann, jedoch eine größere Distanz zwischen Wohnstandort und hochrangiger ÖV-Station zu überwinden ist. Das Konzept sieht vor, dass der öffentliche Verkehrsanbieter, die Gemeinde oder ein anderer Betreiber der Pendlerin ein Elektrofahrzeug zur Verfügung stellt. Die Pendlerin zahlt monatlich eine Gebühr, die sowohl die ÖV-Verbindung zum Arbeitsort als auch eine Nutzungsgebühr für das Elektrofahrzeug (All-Inklusive, kilometerabhängig oder kombiniert) inklusive Parkplatz und Ladestation in der P & R-Anlage, Fahrzeug-Wartung, Reparaturen, Versicherung etc. inkludiert. Ein reduzierter monatlicher Tarif bei Bildung von fixen Fahrgemeinschaften ist möglich. Auch für sonstige private Fahrten kann das Fahrzeug genutzt werden und erspart somit möglicherweise die Anschaffung

²⁹² vgl. Slupetzky, 2009, S.16

²⁹³ vgl. K&EF, 2010, S.43

²⁹⁴ vgl. Slupetzky, 2009, S.17f

²⁹⁵ vgl. K&EF, 2010, S.42f

²⁹⁶ vgl. Slupetzky, 2009, S.6f

eines (Zweit-) PKW. Im Projekt eMORAIL wird dieses Konzept kombiniert mit dem Modell „kommunales Teilen von Elektroautos“ umgesetzt.

Als Akteure werden vorgeschlagen: Öffentliches Verkehrsunternehmen (Chipkarte und Lesegeräte für den Zugang zu Parkplatz, Service und ÖV), P & R-Betreiber (Bereitstellung von Flächen für Service- und Ladeinfrastruktur), Stromversorger (Bereitstellung von Ladeinfrastruktur und Energie), Servicebetrieb (Servicearbeiten vor Ort und in der Werkstatt), Leasingfirma (PKW und Abrechnung), Koordination dieser Aktivitäten durch ein Fuhrparkmanagement bei einem der genannten Akteure.

6.1.3 Allgemeine Empfehlungen

Weiters sind in der erweiterten internen Fassung der Arbeitsgruppe „systemintegrierte Elektromobilität“²⁹⁷ folgende allgemeine Empfehlungen für die Einführung von Elektromobilität genannt:

- Start der diskutierten Geschäftsmodelle in kleinem Umfang mit wissenschaftlicher Begleitung und Öffentlichkeitsarbeit. Schrittweise Ausweitung bei Erfolg.
- Bei der Implementierung von Anreizmaßnahmen für die Verwendung von Elektrofahrzeugen (z.B.: Gratisparken im Stadtzentrum) soll auf mögliche negative Wechselwirkungen mit Verkehrsmitteln des Umweltverbundes geachtet werden.
- Sinnvolle Anreizmaßnahmen (elektrospezifisch und allgemein) können sein:
 - Vergünstigter Stromtarif auf reservierten P & R-Parkplätzen
 - ÖV-Netzkarten als Gegenleistung für die Entrichtung der Kfz-Steuer für Elektro-PKW
 - Angebot verkehrsmittelübergreifender Mobilitätspakete
 - Vereinheitlichung von ÖV-Tarifen und erweiterte Nutzung der ÖV-Karten für den Zutritt zu Carsharing-Fahrzeugen (elektro und konventionell)
 - Einheitliches Verkehrsinformationssystem, das überall verfügbar ist (Internet, ÖV-Stationen, im PKW,)
 - Miet- und Versicherungsangebote bzw. mehrjährige Garantien für Akkumulatoren
 - Finanzierungslösung für öffentliche Ladestationen (bspw. über einen Fonds wie in den Niederlanden)
 - Die Typisierung von Kraftfahrzeugen soll stärker auf die Eigenheiten von Elektrofahrzeugen abgestimmt werden. Derzeit: starke Orientierung auf konventionelle Kraftfahrzeuge
 - Förderung des „Downsizing“ (Verringerung von Größe, Gewicht, Verbrauch etc.) von Straßenfahrzeugen
 - Der Mehrverbrauch an Strom durch Elektrofahrzeuge soll ausschließlich mittels erneuerbarer Energien gedeckt werden.

6.2 Praxis-Projekte

Anhand zweier Projekte aus der Praxis, soll gezeigt werden, wie groß die Bandbreite an Möglichkeiten zum Einsatz von elektrisch unterstützt angetriebenen Verkehrsmitteln ist.

²⁹⁷ vgl. Slupetzky, 2009, S.19

6.2.1 Praxis-Projekt eMORAIL298

Die Projektbezeichnung eMORAIL steht für „Integrated eMobility Service for Public Transport“. Entwicklungsziel des Pilotprojekts ist „*die nachhaltige Verknüpfung von eSharingmodellen in der ersten/letzten Meile des Öffentliche Verkehr*“ [HP: eMORAIL, 2012] Das Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms "Technologische Leuchttürme der Elektromobilität" umgesetzt. Projektpartner sind die ÖBB, Denzel Mobility Carsharing und sycube sowie unterschiedliche Institutionen, die das Projekt wissenschaftlich begleiten und beraten, darunter: Quintessenz Organisationsberatung, Herry Consult, Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel der Karl- Franzens-Universität Graz und weitere.

Eckdaten des Projektes

- Zielgruppen und Einsatzbereiche: Pendlerinnen, die aus ländlichen Regionen in Niederösterreich und der Steiermark in die Städte Wien oder Graz pendeln
- Art der eingesetzten Fahrzeuge: bis zu 10 Batterie-PKW und 7 Elektrofahräder, öffentlicher Verkehr. Im Rahmen der inkludierten CarSharing-Mitgliedschaft sind zusätzliche verschiedenartige Fahrzeuge in Österreich und der Schweiz nutzbar.
- Art und Ort der Energiezufuhr: Die benötigte elektrische Energie wird per Photovoltaik und Kleinwindkraftanlagen erzeugt. Ladestationen werden am Wohnstandort der Nutzerin sowie in den zugeordneten Park & Ride-Anlagen errichtet. Zusätzlich sind Lade-Standorte geplant, die den Anforderungen der "Untertags-Nutzerinnen" entsprechen.
- Organisation von Besitz und Nutzung der Verkehrsmittel: Elektro-PKW und -fahräder befinden sich nicht im Besitz der Nutzerin. Die Elektro-PKW stehen den Teilnehmern werktags bis ca. 7:00 und ab 16:00 Uhr sowie an Wochenenden und Feiertagen zur freien Verfügung. In der Zwischenzeit werden sie von lokalen Organisationen wie Hilfswerk, Post oder von Gemeindebediensteten genutzt. Für die Verbindung "Bahnhof-Wohnort" – „Bahnhof-Arbeitsort“ erhalten die Teilnehmerinnen eine Streckenkarte der ÖBB. Für den ÖV am Arbeitsort erhält die Pendlerin weiters eine ÖV-Netzkarte. Über die inkludierte CarSharing-Mitgliedschaft der Teilnehmerinnen, können diese auch am Zielort Elektrofahräder und PKW (zum Teil mit elektrisch unterstütztem Antrieb) günstig nutzen. Unklar ist, ob die Nutzerinnen einen fixen monatlichen All-inklusive Mobilitätsbeitrag zahlen, wie es an einer Stelle heißt, oder ob sich die Abrechnung des Individualverkehrsmittels nach gefahrenen Kilometern richtet, wie an anderer Stelle beschrieben. Die Fahrzeugbetreuung erfolgt durch eine Vertragswerkstätte an der P & R Station. Für den Fall einer Panne werden Taxigutschein bzw. Ersatzfahrzeug bereitgestellt. Durch Aufzahlung können verschiedene Zusatzleistungen in Anspruch genommen werden, darunter: kostenlose Benützung des gesamten österreichischen Bahnnetzes, Ermäßigungen bei Auslandsreisen oder Fahrguthaben für CarSharing.
- Schnittstellen zu anderen Mobilitätsarten: Alle Dienstleistungen die im Zusammenhang mit Mobilität anfallen, konzentrieren sich auf die Bahnhöfe. Dort werden Service der Fahrzeuge, Ladung sowie neben ÖV und Elektrofahrzeug auch weitere Fahrzeuge im Rahmen von Carsharing angeboten. Weiters erhalten die Nutzerinnen ein Smartphone, über welches mobilitätsrelevante Informations- und Kommunikationsangebote zur Verfügung stehen. Dazu gehören aktuelle Informationen zu Fahrzeug und ÖV-Route wie

²⁹⁸ vgl. HP: eMORAIL, 2012

Echtzeit-Bahninformationen oder aktueller Ladestand und Reichweite des E-Autos, Abrechnungen, Notfallinfo etc.^{299 300}

Unter Betrachtung des derzeitigen Mobilitätsverhaltens kann eMORAIL folgendes zur Förderung nachhaltiger Mobilitätsentscheidungen beitragen:

- Lösungsansatz für die Problematik der „last mile“ im ÖV
Insbesondere in Gebieten mit geringer Siedlungsdichte reduzieren z.T. hohe Distanzen zur nächsten (hochrangigen) ÖV-Station die Attraktivität des ÖV insgesamt. Für diese "last mile" wird somit Individualverkehr notwendig. Im Rahmen von eMORAIL wird hierzu ein emissionsarmes Verkehrsmittel zur Verfügung gestellt.
- Lösungsansatz gegen ineffiziente Auslastung privater PKW über den Tag
Private Fahrzeuge werden im Tagesverlauf durchschnittlich lediglich 50 bis 70 Minuten bewegt. (siehe Kapitel 4.3.3 oben) Die restliche Zeit werden sie nicht genutzt und benötigen Abstellflächen. Im Rahmen von eMORAIL kann durch die gemeinsame Nutzung von Fahrzeugen von Pendlerinnen und lokalen Organisationen die Anzahl der notwendigen Fahrzeuge insgesamt reduziert werden, was zu reduziertem Flächenverbrauch im ruhenden Verkehr führt. Insbesondere bei Batteriefahrzeugen gilt, dass der hohe Energiebedarf bzw. Schadstoffemissionen (und auch Kosten) bei der Herstellung der Akkumulatoren durch hohe Kilometerleistungen - bei geringem Energiebedarf und Emissionen - schneller kompensiert werden. In geringerem Ausmaß gilt dies auch für konventionelle Fahrzeuge. Für teilnehmende Haushalte im ländlichen Raum reduziert sich die Notwendigkeit eines Privat-PKW bzw. eines Zweitwagens, wie sie derzeit häufig wahrgenommen wird.
- Lösungsansatz um Unsicherheiten für Nutzerinnen neuer Technologien (durch beschränkte Reichweite, Batteriekosten, Batterielebensdauer) zu reduzieren.

Die an eMORAIL teilnehmenden Pendlerinnen sind nicht im Besitz des Fahrzeuges und infolgedessen von Risiken, die mit dem Kauf eines Elektrofahrzeuges einhergehen, befreit. Damit steigt die Bereitschaft ein solches Fahrzeug zu verwenden. Bei Problemfällen wird die Mobilität der Teilnehmerinnen mittels Taxigutschein bzw. Ersatzfahrzeug gewährleistet. Durch die Entkoppelung von Besitz und Nutzung des Fahrzeuges wird zudem komodales Mobilitätsverhalten gefördert. (Allerdings in abgeschwächter Form, da in den Tagesrandzeiten sowie an Wochenenden der Nutzerin das Fahrzeug uneingeschränkt zur privaten Verfügung steht.)

Etwaige Probleme können durch die beschränkte Reichweite des Elektrofahrzeuges bei starker Nutzung untertags entstehen. Es muss jedenfalls gewährleistet werden, dass der Pendlerin auf dem Heimweg ein ausreichender Ladestand des Akkus zur Verfügung steht. Über die Ladeleistung der geplanten Ladeinfrastrukturen ist bisher nichts bekannt. Zu vermeiden ist außerdem eine Konkurrenzsituation zu ÖV, Fahrrad oder Fußgängerverkehr.

Anmerkungen: Das Konzept kann nicht auf eine unbegrenzte Zahl von Pendlerinnen ausgeweitet werden da die Nachfrage für Fahrzeuge untertags in der Wohnortgemeinde begrenzt ist. Bei der Auswahl der Teilnehmerinnen ist darauf zu achten, dass ausschließlich Personen angesprochen werden, deren Weg zum Bahnhof nicht durch Fußweg, Fahrrad oder ÖV zurückgelegt werden kann. Abzuwägen sind außerdem die Abrechnungsarten „monatlicher All-Inclusive-Tarif“ und

²⁹⁹ vgl. HP: eMORAIL, 2012

³⁰⁰ vgl. Federle, 2011, S.39

„Kilometerabhängige Abrechnung“. Erstere Option hat den Nachteil, dass die Attraktivität des PKW gegenüber anderen Verkehrsarten für kurze Alltagswege künstlich gesteigert würde. Vorteil des Abrechnungsschemas sind die überschaubaren monatlichen Mobilitätskosten für die Nutzerin.

Aufgrund seines umfassenden Konzeptes und die Fokussierung auf die Mobilitätsbedürfnisse einer präzise definierten Zielgruppe und Siedlungsstruktur, hat das Projekt eMORAIL das Potential die effiziente Nutzung von (unterschiedenen) Verkehrsmitteln in diesem (begrenzen) Bereich zu fördern.

6.2.2 Praxis-Projekt Better Place

Das Unternehmen Better Place wurde 2007 in Kalifornien gegründet. Sein Ziel ist der Aufbau einer flächendeckenden Infrastruktur für den Massenbetrieb von Elektroautos. Gestartet wurde die Realisierung in Israel. Weitere Umsetzungsprojekte in Dänemark, Japan, USA u.a. folgen; zum Teil – wie in Israel – flächendeckend für die gesamte Bevölkerung, teilweise auch regional oder auf einzelne Nutzergruppen begrenzt – wie in Tokio. Better Place arbeitet in Kooperation mit dem Automobilhersteller Renault-Nissan sowie vor Ort mit lokalen Behörden und Energieversorgern. Das Geschäftsmodell gestaltet sich wie folgt: Die Kundin erwirbt ein Elektrofahrzeug ohne Akkumulator. Kosten und Risiko bleiben damit für die Kundin gering. Der Akkumulator bleibt Eigentum von Better Place. In Folge wird zwischen Better Place und der Kundin ein Vertrag abgeschlossen, der die Miete der Batterie und die Nutzung der Energieinfrastruktur umfasst. Die Kundin bezahlt für gefahrene Kilometer. In Israel wurden von Better Place Abkommen mit Bahnhöfen sowie Einkaufszentren und Tankstellen über die Errichtung von Lade- und Batteriewechselinfrastrukturen abgeschlossen. Zusätzlich sollen Ladepunkte an Wohn- und Arbeitsorten der Nutzerinnen errichtet werden. Grundsätzlich soll der zusätzliche Strombedarf über erneuerbare Energieträger gewonnen werden. Ergänzend werden Ladestand und -prozess aller Batterien durch eine entsprechende Software zentral erfasst. Diese Informationen dienen dazu Angebotsspitzen an elektrischer Energie (wie sie bspw. häufig durch Windkraftanlagen zu beobachten sind) in den angeschlossenen Akkumulatoren zu speichern. Dem Netzbetreiber ist es möglich die Verteilung der Energie zu optimieren.³⁰¹

Wie im vorherigen Kapitel näher erläutert, profitieren speziell Fahrzeugflotten mit hohen Fahrleistungen im städtischen Umfeld von elektrisch unterstützten Antriebskonzepten. Wie in untenstehender folgend näher erläutert, wurden in Tokio während einer mehrmonatigen Testphase, batteriebetriebene Taxis in Verbindung mit Batteriewechselstationen getestet. Das Umsetzungskonzept gestaltete sich wie folgt.

Eckdaten des Projektes

- Zielgruppen und Einsatzbereiche: Taxi-Flotte im städtischen Umfeld (Tokio)
- Art der eingesetzten Fahrzeuge: Batterie-PKW (in Tokio: 3 Fahrzeuge)
- Art und Ort der Energiezufuhr: Batteriewechselstation an strategisch günstigen Standorten
- Organisation von Besitz und Nutzung der Verkehrsmittel: Nicht bekannt. Denkbar sind unterschiedliche Modelle zur Organisation von Besitz und Nutzung von Fahrzeug, Akkumulator und Elektrizitätsversorgungsinfrastrukturen. Anzustreben sind einheitliche Standards für Batterien und deren Befestigung im Fahrzeug, sodass Wechselstationen durch möglichst viele Fahrzeuge (Privatfahrzeuge, betriebliche Flotten, z.T. auch ÖV) genutzt und damit wirtschaftlich betrieben werden können.

³⁰¹ vgl. HP: Better Place, 2012

- Schnittstellen zu anderen Mobilitätsarten: „Taxis sind sehr eng mit dem ÖV verknüpft, etwa als Zubringer zu Bahnhöfen oder in Form von Anrufsammeltaxis zur Überbrückung der ‚first/last mile““ [K&EF, 2010, S.44] Die Benutzung eines Taxis ist üblicherweise mit höheren Kosten für den Nutzer verbunden als dies bei anderen Verkehrsarten der Fall ist. Insofern werden Taxis vor allem dann nachgefragt, wenn die Mobilität der Nutzerin am gegebenen Ort bzw. zur gegebenen Zeit nicht durch andere Mobilitätsarten zufrieden stellend befriedigt werden kann. Daher dienen Taxis primär als Ergänzung zu anderen Verkehrsarten. Für Personen, deren Mobilitätsbedarf größtenteils durch ÖV, Fahrrad und zu Fuß gedeckt wird, kann - durch die punktuell eingesetzte Verwendung von Taxis - die Anschaffung eines privaten Kfz obsolet werden.^{302 303}

Unter Betrachtung des derzeitigen Mobilitätsverhaltens kann Better Place folgendes zur Förderung nachhaltiger Mobilitätsentscheidungen beitragen:

- Lösungsansatz um die Verknüpfung von MIV und ÖV zu stärken
Da ein Teil der Ladeinfrastrukturen an Bahnhöfen errichtet werden soll, können die Elektrofahrzeuge als Zubringer zum ÖV verstanden werden
- Lösungsansatz um Einschränkungen und Unsicherheiten für Nutzerinnen neuer Technologien (durch beschränkte Reichweite, Batterielebensdauer) zu reduzieren.
Das Risiko der beschränkten Lebensdauer des Akkus trägt nicht die Nutzerin, sondern das Unternehmen Better Place. Durch den flächendeckenden Aufbau von Batteriewechselstationen in großem Maßstab, wird die beschränkte Reichweite der Fahrzeuge mit einer Batterieladung nicht zum Problem. Zudem werden Ladepunkte an jenen Orten errichtet, an denen private Fahrzeuge die längsten Standzeiten aufweisen, nämlich an Wohn- und Arbeitsort.
- Lösungsansatz um Nachfrage- und Angebotsspitzen im Elektrizitätsnetz auszugleichen
Bei Schwankungen der Stromerzeugung, wie sie durch Stromgewinnung aus erneuerbaren Quellen (z.B. Wind-, Wasserkraft-, Photovoltaikanlagen) auftreten, kann die Steuerung der Ladung der Batterien zu ausgeglichener Lastverteilung im Tagesverlauf beitragen.

Anmerkungen: Das Konzept ist dazu geeignet von einer breiten Allgemeinheit genutzt zu werden und so die lokalen Lärm- und Luftschadstoffemissionen zu senken. Es verspricht eine Alternative zu PKW mit Verbrennungskraftmotoren und festigt die bestehenden Strukturen des MIV. Dies läuft Zielsetzungen zuwider, die darauf abzielen neben lokalen Emissionen andere negative Wirkungen des MIV – wie etwa Flächenverbrauch der Fahrzeuge selbst, hohen Ressourcenverbrauch aufgrund von Zersiedelung etc. – durch Umsetzung integrativer Mobilitätskonzepte zu verringern.

Ein ähnliches Konzept bietet auch der Mobilitätsanbieter The Mobility House (TMH) an, der Energieversorger, Fahrzeughersteller, Gebietskörperschaften, Firmen und Privatpersonen bei der Einführung von Elektromobilität berät sowie verschiedene Produkte wie Ladestationen, Energiepakete sowie Marketingstrategien (z.B. über die Eigenmarke „Elektrodrive“) anbietet. Bisher gibt es Kooperationen mit lokalen Partnern in sieben Regionen in Österreich, Deutschland und der Schweiz. Meist umfassen die angebotenen Leistungen Leasingangebote für Firmen und Privatpersonen von Elektro-Zweirädern und -PKW in Verbindung mit Ladeinfrastruktur und Energie aus (meist) erneuerbaren Quellen.³⁰⁴

³⁰² vgl. K&EF, 2010, S.44

³⁰³ vgl. HP: Better Place, 2012

³⁰⁴ vgl. HP: TMH, 2012

7 WIRKUNGSANALYSE DER INTEGRATION ELEKTRISCH UNTERSTÜTZT ANGETRIEBENER VERKEHRSMITTEL IM PERSONENVERKEHR

Das folgende Kapitel wird in die zwei Abschnitte „Wirkungsanalyse einzelner Verkehrsmittel“ und „Wirkungsanalyse unterschiedlicher Mobilitätsszenarien“ unterteilt.

- Im Kapitel „Wirkungsanalyse einzelner Verkehrsmittel“ werden die Verbräuche und Emissionen der betrachteten Verkehrsmittel einander gegenübergestellt. Erstens unter der Voraussetzung der aktuell eingesetzten Technologien, Energiequellen und beobachteten Auslastungen, sowie – für ausgewählte Verkehrsmittel – unter Simulation der Verwendung alternativer Energiequellen.
- Im Abschnitt „Wirkungsanalyse unterschiedlicher Mobilitätsszenarien“ werden aufgrund der erhobenen Daten zum Mobilitätsverhalten in Vorarlberg 2008 sowie unter der Annahme der Implementierung von Elektromobilität in vorrangigen Einsatzbereichen bzw. anhand vorgestellter Integrationsansätze, Wirkungsszenarien modelliert.

7.1 Wirkungsanalyse einzelner Verkehrsmittel

Zunächst werden Energiebedarf und Treibhausgas-Emissionen (THG) derzeit verfügbarer Verkehrsmittel näher untersucht. Tabelle 24 stellt den Endenergiebedarf ausgewählter Verkehrsmittel dar.³⁰⁵ Um ein realistischeres Bild über den tatsächlichen Energiebedarf und Schadstoff-Emissionen für Raumüberwindung einzelner Personen zu erhalten, wurden die durchschnittlichen Auslastungen der unterschiedlichen Verkehrsmittel für die Berechnung des Endenergiebedarfs pro 100 Personenkilometer einbezogen.

7.1.1 Energiebedarf einzelner Verkehrsmittel

In Folge sind die Verkehrsmittel nach aufsteigendem Endenergiebedarf pro 100 Personenkilometer dargestellt. Sieht man sich die Daten näher an, fällt folgendes ins Auge: Die Tabelle wird erwartungsgemäß angeführt von nicht- oder nur leicht motorisierten Verkehrsmitteln, bzw. Verkehrsmitteln, die aufgrund geringerer Größe und Gewicht – einhergehend mit geringerer Beförderungskapazität und damit höherer durchschnittlicher Auslastung – einen geringeren Energiebedarf insgesamt aufweisen. Ebenfalls niedrige Energiebedarfe auf den Personenkilometer bezogen zeigen öffentliche Verkehrsmittel. Bezüglich der eingesetzten Antriebstechnologien zeigt sich, dass elektrisch unterstützt angetriebene Fahrzeuge aufgrund ihrer höheren Effizienz besser abschneiden. Nicht berücksichtigt ist der Energiebedarf der Batterieherstellung, der an späterer Stelle für ausgewählte Verkehrsmittel näher betrachtet wird. Die Bandbreite der Energieverbräuche pro 100 Personenkilometer innerorts liegt zwischen 1,25 kWh (für Pedelecs) bis 82,5 kWh (für Diesel-Oberklasse-PKW). Folgende Verkehrsmittel zeigen überraschende Plazierungen: Im Bereich MIV weisen Batterie-Kleinkrafträder und Batterie-Leichtkraftfahrzeuge mit 4 bis 6 kWh Werte auf, die noch unter jenen des ÖV liegen. Negativ fallen Benzin-Kleinkraftrad und Brennstoffzellen-Solobus mit einem Endenergiebedarf von 30 bis 40 kWh pro 100 Personenkilometer auf, die damit deutlich in der unteren Hälfte der Tabelle einzuordnen sind. Ebenfalls hohe Verbräuche zeigen Regional- und S-Bahnen mit Dieseltraktion.

³⁰⁵ Eine vollständige Liste aller Verkehrsmittel bezüglich ihres Endenergiebedarfs und ihrer Treibhausgasemissionen ist Anhang 1 und 2 zu entnehmen.

Im Vergleich der Verbrauchsdaten von Platz- und Personenkilometer, fällt – wie bereits besprochen – die Bedeutung der Auslastung der Fahrzeuge für den Energiebedarf der Raumüberwindung einzelner Personen ins Auge.

Tabelle 24: Endenergiebedarf in kWh pro 100 Fahrzeugkilometer, Platzkilometer und Personenkilometer für ausgewählte Verkehrsmittel (Schwerpunkt Nahverkehr)

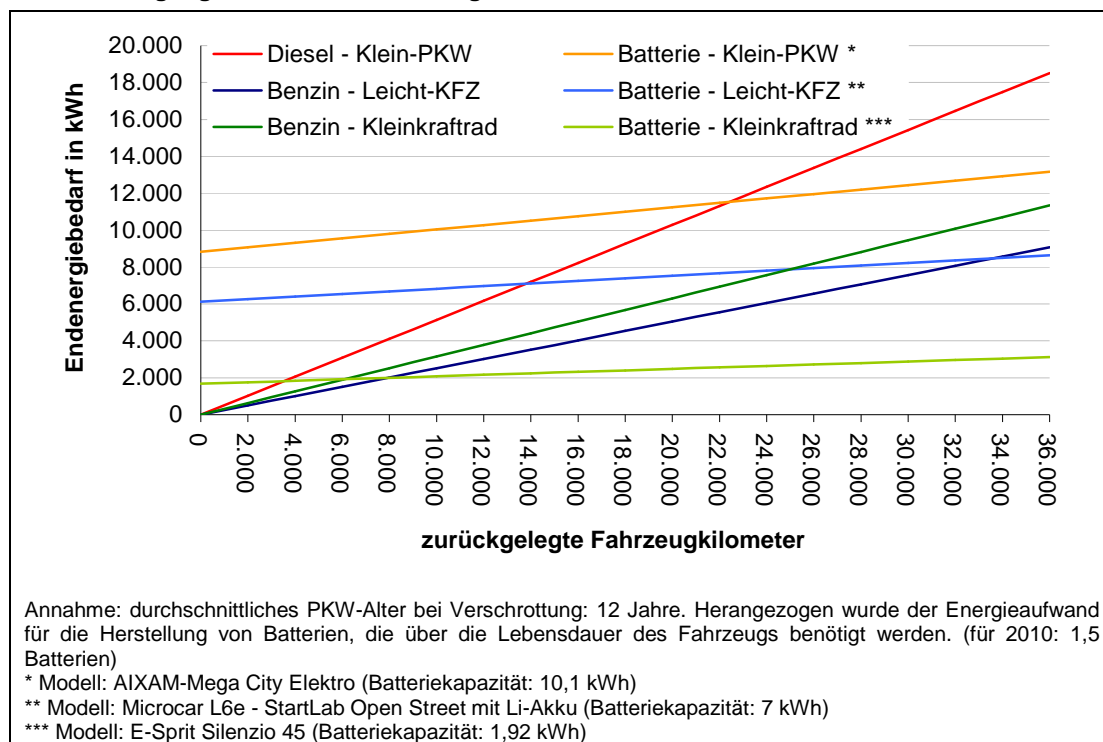
| Verkehrsmittel | Endenergiebedarf | | | Anmerkungen | |
|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|------------|
| | pro 100 Fz-km | pro 100 Platz-km | pro 100 Pers.-km | Kapazität | Auslastung |
| Fuß und Fahrrad | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1 | 100% |
| Pedelecs und Elektrofahrräder | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1 | 100% |
| Batterie - Kleinkrafttrad | 4,0 | 2,0 | 4,0 | 2 | 50% |
| Batterie-Leichtkraftfahrzeug | 7,0 | 3,5 | 5,8 | 2 | 60% |
| U-Bahn | 735,0 | 1,2 | 5,9 | 592 | 21% |
| O-Solobus | 195,0 | 1,4 | 6,9 | 135 | 21% |
| Straßenbahn | 315,0 | 1,8 | 8,3 | 180 | 21% |
| Elektro-Regional/S-Bahn | 750,0 | 2,5 | 8,3 | 300 | 30% |
| Batterie - Solobus | 100,0 | 2,0 | 9,5 | 50 | 21% |
| Batterie - Klein-PKW | 12,0 | 3,0 | 10,0 | 4 | 30% |
| Hybrid - Solobus | 237,4 | 3,1 | 14,7 | 77 | 21% |
| Batterie - Mittelklasse-PKW | 21,5 | 4,3 | 17,9 | 5 | 24% |
| Diesel - Solobus | 326,4 | 4,2 | 20,2 | 77 | 21% |
| Benzin-Leichtkraftfahrzeug | 25,2 | 12,6 | 21,0 | 2 | 60% |
| Diesel-Regional/S-Bahn | 2146,1 | 7,2 | 23,8 | 300 | 30% |
| Brennstoffzellen-Mittelklasse-PKW | 33,3 | 6,7 | 27,8 | 5 | 24% |
| Benzin - Kleinkrafttrad | 31,5 | 15,8 | 31,5 | 2 | 50% |
| Full-Hybrid-Klein-PKW | 41,5 | 10,4 | 34,6 | 4 | 30% |
| Brennstoffzellen - Solobus | 516,6 | 8,6 | 41,0 | 60 | 21% |
| Diesel - Klein-PKW | 51,4 | 12,9 | 42,9 | 4 | 30% |
| Full-Hybrid-Mittelklasse-PKW | 59,3 | 11,9 | 49,5 | 5 | 24% |
| Diesel - Mittelklasse-PKW | 74,2 | 14,8 | 61,8 | 5 | 24% |
| Diesel-Oberklasse-PKW | 99,9 | 20,0 | 83,2 | 5 | 24% |

grün...nicht motorisiert // gelb...Hybrid- und Kraftträder // rot...PKW // hellblau...Busse // violett...Schienenfahrzeuge

Anmerkungen:

- Aufsteigend sortiert nach Endenergiebedarf in Kilowattstunden pro 100 Personenkilometer
- Der Schwerpunkt liegt hier auf dem Nahverkehr; bei Vorhandensein differenzierter Verbrauchsdaten wurden „Innerorts“-Verbrauchsdaten herangezogen.
- Die Kapazität (Personenbeförderungskapazität) der Fahrzeuge entspricht den in vorherigen Kapiteln zusammengestellten Werten.
- Die Annahmen zur Auslastung von PKW, Omnibussen und Schienenfahrzeugen beruhen auf den in Kapitel 4.3.3 genannten Durchschnittswerten. Für Pedelecs und Kraftträder wird angenommen, dass überwiegend nur eine Person damit befördert wird.
- Der Energiebedarf der Batterieherstellung wurde in dieser Auflistung nicht berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung des Energiebedarfs bei der Batterieherstellung, wird in der folgenden Abbildung 29 exemplarisch jeweils ein Batterie- einem Benzin- bzw. Dieselfahrzeug der Fahrzeugarten: Kleinwagen, Leichtkraftfahrzeuge und Kleinkrafttrad gegenübergestellt. Der höhere Energiebedarf bei der Batterieherstellung wird durch die geringeren Verbrauchswerte im Betrieb der Fahrzeuge mit zunehmender Kilometerleistung kompensiert. Je nach Kapazität der Batterie und Verbrauchsdifferenz im Betrieb wird dieser Punkt früher oder später erreicht. Bei den betrachteten Kleinkraftträdern ist dies bereits ab etwa 6.100 Kilometern der Fall. Bei den Kleinwagen liegt dieser Punkt bei etwa 22.500 Kilometern, für die verglichenen Leichtkraftfahrzeuge bei 34.000 Kilometern. Bei Fahrleistungen darüber hinaus sind die Batterievarianten bezüglich ihres Endenergiebedarfs der Energieversorgung im Vorteil. Wie bereits in Kapitel 3.1.2 erläutert, wird damit gerechnet, dass durch weitere Technologieentwicklung auf dem Gebiet der Akkumulatoren künftig wesentlich weniger Energie für Batterieherstellung benötigt werden wird - bei zusätzlich steigender Lebensdauer der Batterien. Dementsprechend können künftig schon bei geringeren Kilometerleistungen energetische Vorteile durch Elektrofahrzeuge erzielt werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden keine diesbezüglichen Szenarien berechnet.

Abbildung 29: Vergleich des Endenergiebedarfs ausgewählter Fahrzeuge in kWh unter Berücksichtigung der Batterieherstellung

7.1.2 Treibhausgasemissionen einzelner Verkehrsmittel

In Folge sind ausgewählte Verkehrsmittel (Auswahl identisch mit Tabelle 24) aufsteigend nach THG-Emissionen pro 100 Personenkilometer dargestellt. Die Berechnung erfolgt auf Basis des energetischen Bedarf der Verkehrsmittel differenziert nach den aufgewendeten Energieträgern: fossile Kraftstoffe, Wasserstoff, Bahnstrom und Strom aus dem öffentlichen Netz.

Die linke Grafik von Abbildung 30 zeigt die Ergebnisse auf Basis des Mix der österreichischen Endenergie 2008 (für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge). Die Reihung präsentiert sich ähnlich wie jene des Endenergiebedarfs. Aufgrund des hohen Anteils erneuerbarer Energieträger für die Erzeugung des österreichischen Bahnstroms, verbessern sich Schienenfahrzeuge mit Elektrotraktion und O-Busse im Vergleich zur Betrachtung des Endenergiebedarfs weiter. Generell verstärken sich die Unterschiede zwischen den Verkehrsmitteln, da zusätzlich zur tendenziell höheren Effizienz von Elektrofahrzeugen, für die Aufbringung der Energie auf emissionsarme Quellen zurückgegriffen werden kann. Dies demonstriert die rechte Grafik, bei der anstatt des österreichischen Endenergiemix 2008, den Berechnungen die Verwendung von Windenergie zugrunde gelegt wurde. Hierbei fällt die THG-Reduktion der Brennstoffzellen-Fahrzeuge auf, die bei Herstellung von Wasserstoff durch erneuerbare Energieträger erreichbar ist. Weiterer Vorteil dieser Vorgangsweise ist – wie bereits an früherer Stelle erläutert, dass zu Angebotsspitzen des z.T. stark fluktuierenden Stromangebots aus erneuerbaren Energien, diese Energie für die Wasserstoffproduktion eingesetzt werden und solcherart gespeichert werden könnte.

Geht man vom Fall der Stromerzeugung basierend auf Braunkohle aus (siehe Abbildung 31), vervielfachen sich die THG-Emissionen von Elektrofahrzeugen, allen voran von Brennstoffzellen-Fahrzeugen, begründet durch deren hohen Energiebedarf für die Wasserstoffherstellung.

Abbildung 30: Treibhausgasemissionen in Gramm CO₂-Äquivalent pro 100 Personenkilometer für ausgewählte Verkehrsmittel (Schwerpunkt Nahverkehr), Annahmen: Stromerzeugung im Mix der österreichischen Endenergie 2008 und ÖBB-Bahnstrom 2009 oder Windenergie

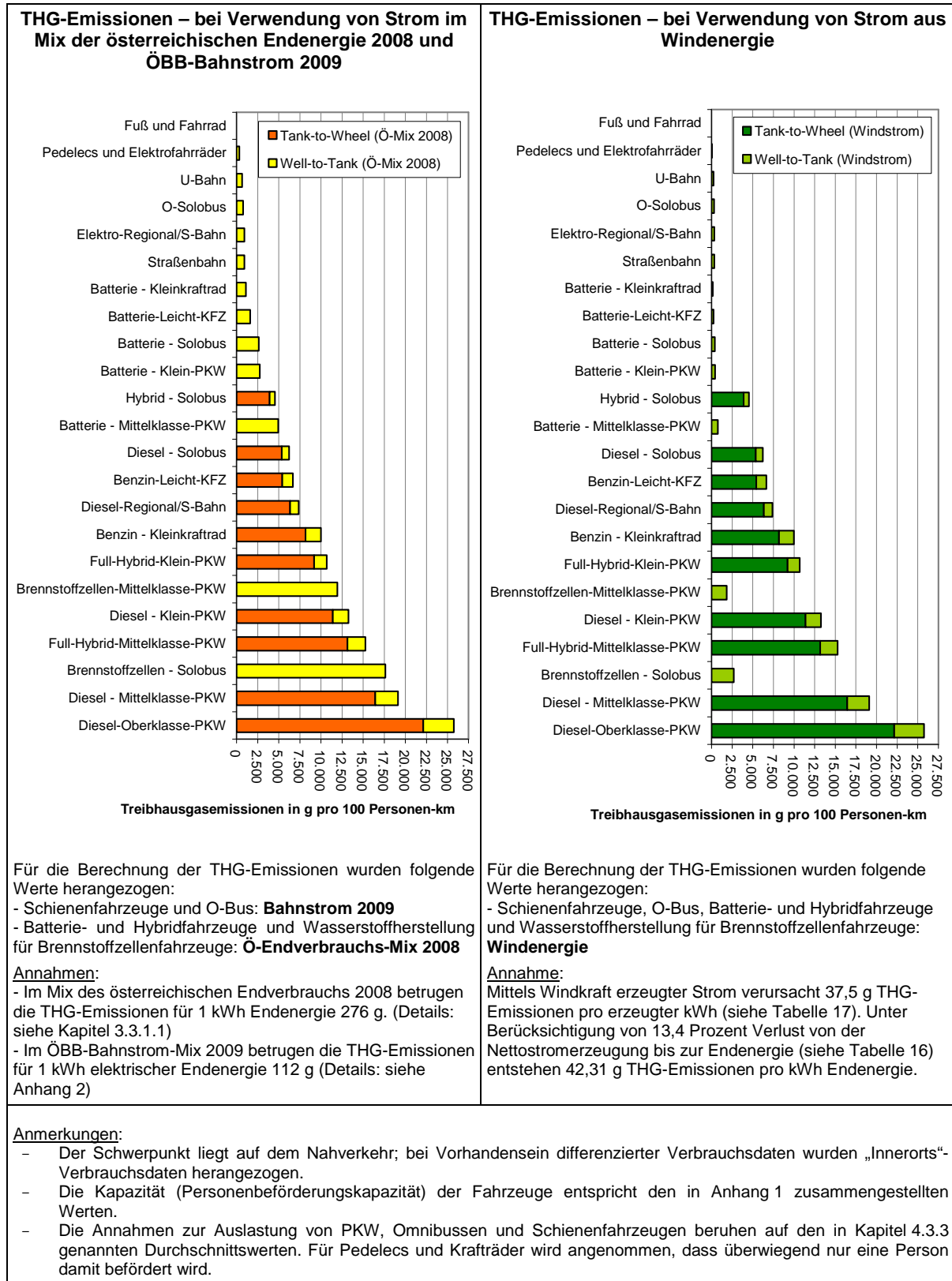
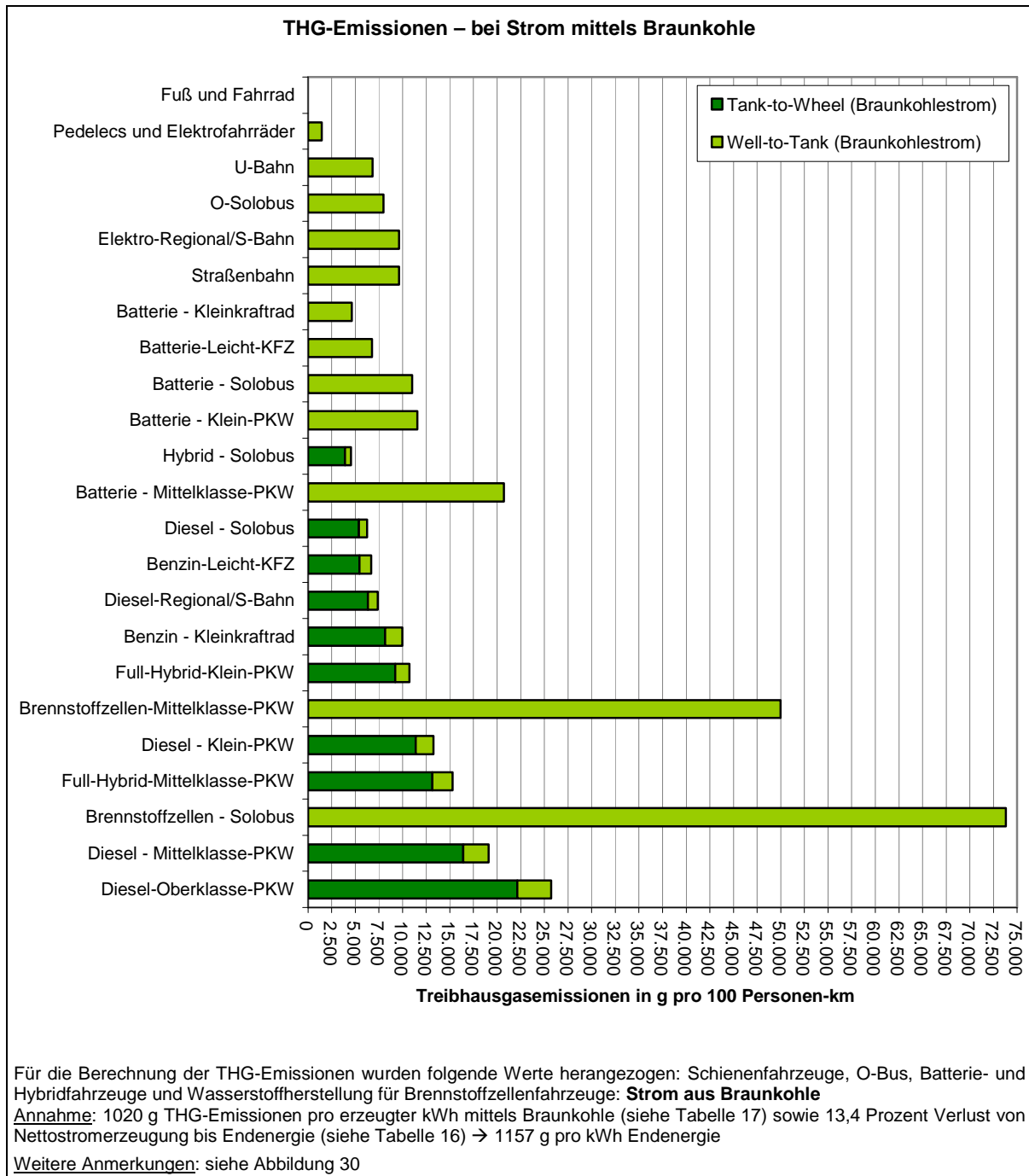


Abbildung 31: Treibhausgasemissionen in Gramm CO₂ pro 100 Personenkilometer für ausgewählte Verkehrsmittel (Schwerpunkt Nahverkehr), Annahme: Stromerzeugung mittels Braunkohle



7.1.3 Luftschadstoffemissionen einzelner Verkehrsmittel

Während Treibhausgase global wirken, sind für die lokale Luftqualität andere Luftschadstoffe relevant.³⁰⁶ Durch verbesserte Technologien sind die Schadstoff-Emissionen in den letzten Jahrzehnten stark gesunken. Wie bereits genannt, kommt es dennoch bei einzelnen Schadstoffen


³⁰⁶ Leider konnten keine allgemeinen aktuellen Emissionsfaktoren für die Stromerzeugung ermittelt werden. Es wurde für die Einschätzung der Stromerzeugung daher ausschließlich auf Daten des Verbund Nachhaltigkeitsberichtes 2009 zurückgegriffen, in dem der eingespeisten Menge an Energie (Strom: 97,3% und Wärme: 2,7%) Emissionsmengen für Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxide (NO_x) und Staub gegenübergestellt wurden. Weiters werden im Bericht die entsprechenden Vergleichswerte eines modernen Steinkohlekraftwerkes angegeben. Für die übrigen Schadstoffe konnten genaue Daten nur für fossile Kraftstoffe und in geringerem Ausmaß für Bahnstrom erhoben werden. Diese Werte fließen nun in die Berechnung der Schadstoffemissionen ausgewählter Verkehrsmittel ein.


zu Überschreitungen der gesetzlich festgelegten Immissionsgrenzwerte. Besonderes Augenmerk ist auf Stickoxide (NO_x bzw. NO₂) und Partikel zu legen.³⁰⁷ Für den Vergleich der Schadstoffemissionen in Tabelle 25 wurden Angaben des Nachhaltigkeitsbericht 2009³⁰⁸ des Verbund zu Emissionen der Stromproduktion herangezogen.

Tabelle 25: Luftschadstoffemissionen ausgewählter Verkehrsmittel in Gramm pro 100 Personenkilometer

| Luftschadstoffemissionen [in g pro 100 Personenkilometer] | NO _x | SO ₂ | NM ₁₀ VOC, NMHC | Benzol | CO | NO ₂ | HC | Partikel (Verbrennung) | Partikel (Verwirbelung und Abrieb) |
|--|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------|-----|-----------------|------|---------------------------|--|
| Diesel - PKW (Fz-Verbrauch: 6,2 l) | 41 | 0,08 | 17,8 | 1,3 | 93 | 17,9 | 1,8 | 1,83 | 3,17 |
| Diesel-Vorkette (Fz-Verbrauch: 6,2 l) | 7,7 | 18,9 | 6,4 | -- | -- | -- | -- | 0,99 | -- |
| Batterie - Klein-PKW (Verbundstrom) | 0,49 | 0,18 | -- | -- | -- | -- | -- | 0,03 | 3,17 |
| Batterie - Klein-PKW (Steinkohlestrom) | 5,2 | 2 | -- | -- | -- | -- | -- | 0,58 | 3,17 |
| Benzin - Kleinkraft (Fz-Verbrauch: 2,5l) | 5,6 | 0,1 | 106 | 5,8 | 276 | 0,3 | 226 | -- | 0,9 |
| Benzin-Vorkette (Fz-Verbrauch: 2,5 l) | 3,9 | 10,7 | 3,9 | -- | -- | -- | -- | 0,53 | -- |
| Batterie - Kleinkraft (Verbundstrom) | 0,2 | 0,07 | -- | -- | -- | -- | -- | 0,01 | 0,9 |
| Batterie - Kleinkraft (Steinkohlestrom) | 2,1 | 0,79 | -- | -- | -- | -- | -- | 0,23 | 0,9 |
| Diesel - Linienbus (Fz-Verbrauch: 40,5l) | 44,5 | 0,04 | 1,64 | 0,03 | 4,2 | 11,1 | 0,12 | 0,02 | 1,52 |
| Diesel-Vorkette (Fz-Verbrauch: 40,5 l) | 3,8 | 9,2 | 3,1 | -- | -- | -- | -- | 0,48 | -- |
| Batterie - Solobus (Verbundstrom) | 0,46 | 0,18 | -- | -- | -- | -- | -- | 0,03 | 1,52 |
| Batterie - Solobus (Steinkohlestrom) | 4,9 | 1,9 | -- | -- | -- | -- | -- | 0,55 | 1,52 |
| Diesel-Regional/S-Bahn (Fz-Verbrauch: 217 l) | 94 | 0,04 | 4,8 | -- | -- | -- | -- | 1,81 | -- |
| Diesel-Vorkette (Fz-Verbrauch: 217 l) | 3,6 | 8,8 | 3 | -- | -- | -- | -- | 0,46 | -- |
| Elektro-Regional/S-Bahn | 0,78 | 0,66 | 0,06 | -- | -- | -- | -- | 0,2 | -- |
| Straßenbahn | 0,78 | 0,66 | 0,06 | -- | -- | -- | -- | 0,2 | -- |

Anmerkungen:

 Emissionen am Standort des Kraftwerkes bzw. entlang der Bereitstellungskette

 Emissionen am Betriebsort des Fahrzeuges

Berechnungen auf folgender Basis:

- Verbräuche und Emissionen (ohne Vorkette) der Straßenfahrzeuge mit Otto- oder Dieselmotoren laut folgender Quelle: vgl. BAFU, 2010, S.108ff
- übrige Verbräuche und Emissionen: lt. der im Anhang genannten Daten zu Energieverbrauch, Emissionsfaktoren und Kapazität
- durchschnittlichen Auslastungen der Fahrzeuge: wie in Kapitel "Mobilitätsverhalten" genannt

Am Betriebsort emittiert jedes Fahrzeug - unabhängig von der Antriebstechnologie - durch Abrieb und Verwirbelung Partikel. Zusätzlich entstehen Partikel in konventionellen Kraftfahrzeugen durch Verbrennung, wobei dieser Anteil mittlerweile vergleichsweise gering ist; bei Diesel-PKW machen diese immerhin noch etwa ein Drittel der Partikelemissionen aus. Andere Schadstoffe werden am Betriebsort ausschließlich durch Verbrennungskraftmaschinen ausgestoßen. Auffällig sind hohe lokale Kohlenmonoxid- und (nicht-Methan-) Kohlenwasserstoff-Emissionen von Benzin-Kleinkraftfahrzeugen sowie Stickoxid-Emissionen von Diesel-S-Bahnen.

Weiters ist der Schadstoffausstoß der Bereitstellungskette (Benzin, Diesel und Strom) zu berücksichtigen; beispielsweise entstehen bei der Bereitstellung für Benzin und Diesel hohe Mengen Schwefeldioxid. Dies ist zwar nicht unmittelbar für die Luftqualität am Betriebsort der Fahrzeuge relevant, jedoch führen auch diese Emissionen andernorts zu (schädlichen) Wirkungen auf Mensch und Umwelt.

Bei den betrachteten Arten der Stromerzeugung betragen die NO_x und SO₂-Werte bei Erzeugung durch Steinkohle etwa das 10-fache der Schadstoffemissionen des Verbund-Mix. Dies entspricht ungefähr dem Anteil des, in kalorischen Kraftwerken, erzeugten Stroms an der Stromproduktion des Verbunds und deckt sich mit Aussagen des Umweltbundesamtes, dass die Luftschadstoffemissionen des Sektors Energiegewinnung aus kalorischen Kraftwerken stammen.³⁰⁹

³⁰⁷ vgl. UBA, LGM, 2011, S.7f

³⁰⁸ vgl. Verbund, 2010, S.60

³⁰⁹ vgl. UBA, ET, 2011, S.58

7.1.4 Lärmemissionen einzelner Verkehrsmittel

In dieser Arbeit werden lediglich Lärmemissionen einzelner Fahrzeuge gegenüber gestellt. Lärmimmissionen an bestimmten Straßen oder Plätzen werden nicht näher betrachtet.

Fahrräder und Pedelecs

Fahrräder und Pedelecs emittieren nur in geringem Maße Lärm. Genaue Werte sind nicht bekannt.

Krafträder und Kraftwagen

Folgende Abbildung 32 zeigt den Lärmbeitrag unterschiedlicher Fahrzeuge und Antriebskonzepte in einer Anwohnerstraße mit 30 km/h Geschwindigkeitsbeschränkung. Für den Vergleich mit Elektrofahrzeugen sind vor allem die Antriebsgeräusche interessant, da diese im Unterschied zu Verbrennungsmotoren bei Elektromotoren verschwindend gering sind. Besonders bei geringen Geschwindigkeiten ist ihr Anteil an den Gesamtgeräuschemissionen entscheidend.

Im Unterschied zu den gekapselten Motoren von PKW, dominieren beim Motorrad stärker die Geräusche des Antriebs.³¹⁰ Elektroantriebe können daher maßgeblich zur Lärmreduktion beitragen. Bei PKW sind geringere Unterschiede zwischen Verbrennungskraftmaschinen und Elektrofahrzeugen zu verzeichnen. Im Rahmen des Projekts VLOTTE wurden vergleichende Messungen zwischen Batterie- und konventionellen PKW an einem normalerweise stark befahrenen Straßenzug in Bregenz durchgeführt.³¹¹ Bei konstantem Geschwindigkeitsniveau waren Elektrofahrzeuge um 3 bis 4 Dezibel leiser als Benzin- und Diesel-PKW. Im Stop-and-Go-Betrieb wurden Differenzen von 8 dB verzeichnet. Dies entspricht einer subjektiv wahrgenommenen Lärmreduktion von 45 Prozent.³¹²

Omnibusse

Für Omnibusse wurden nur Informationen über den Unterschied der Lärmemissionen von O-Bussen und Dieselbusse gefunden. Im Vergleich zum Dieselbus ist mit einem O-Bus eine Lärmreduktion von 6 bis 9 Dezibel zu erreichen.^{313 314} „Ein Pegelunterschied von 10 Dezibel entspricht etwa der Verdoppelung bzw. Halbierung der empfundenen Lautheit.“ [Cerwenka et al., VSP, 2007, S.102f]

Schienenfahrzeuge

Für Schienenfahrzeuge konnten keine Werte gefunden werden. Generell werden Schienenfahrzeuge als lärmintensiv wahrgenommen. Da Bahntrassen von Eisenbahnen jedoch ausschließlich den Schienenfahrzeugen zur Verfügung stehen, können durch Errichtung von Lärmschutzwänden, die Lärmimmissionen in der Umgebung reduziert werden. Für Straßenbahnen gibt es diese Möglichkeit nur sehr eingeschränkt.

³¹⁰ vgl. IFEU, 2004, S. 26

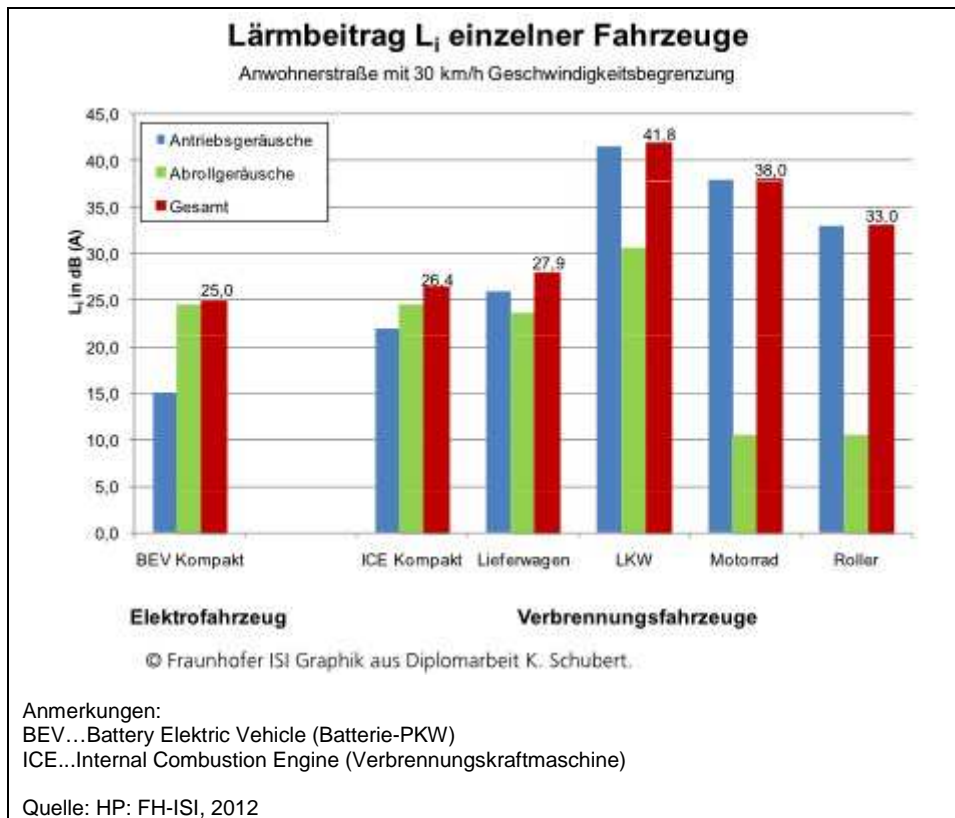
³¹¹ Kommentar: Dabei wurden pro Richtungsfahrbahn je 10 Fahrzeuge auf die Strecke geschickt, die dann in drei verschiedenen Geschwindigkeiten die Messstrecke abfahren:

1. konst. Geschwindigkeit mit 30 km/h 2. konst. Geschwindigkeit mit 50 km/h 3. Stopp & Go - Verkehr

³¹² vgl. EI-Vbg, 2011, S.7f

³¹³ vgl. Björklund et al., 1999, S.33

³¹⁴ vgl. Infrac, 2008, S.43

Abbildung 32: Lärmbeitrag einzelner Fahrzeuge - Anwohnerstraße

7.2 Wirkungsanalyse unterschiedlicher Mobilitätsszenarien

Nachdem im ersten Teil der Wirkungsanalyse Daten in Bezug auf die Wirkungen verschiedener Technologien ermittelt wurden, sollen nun am Beispiel Vorarlbergs, für die in Kapitel 5 definierten vorrangigen Einsatzbereiche, unterschiedliche Szenarien der Integration elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel hinsichtlich ihres Einflusses auf folgende Parameter untersucht werden:

- Energiebedarf und Art der eingesetzten Energieträger
- Schadstoffemissionen
- Anforderungen an die technische Infrastruktur

Lärmimmissionen werden nicht behandelt, da hierbei die lokalen Gegebenheiten des Straßenumfelds entscheidend sind, die zu ermitteln im Umfang dieser Arbeit nicht möglich ist.

Alle Annahmen beziehen sich ausschließlich auf die Werktage eines Jahres (Annahmejahr 2010). Die Wirkungen werden für den Zeitraum eines Jahres berechnet.

Zunächst werden die Daten für das Szenario BASIS zusammengestellt. Die simulierten derzeitigen Wirkungen des Personenverkehrs durch die Vorarlberger Bevölkerung werden im letzten Teil dieses Kapitels als Vergleichsszenario für die Wirkungen bei Implementierung von Elektromobilität herangezogen.

Folgende Szenarien werden simuliert:

- Szenario BASIS
- Szenario 100% ELEKTRO
- Szenario E-EINSATZBEREICHE bestehend aus den Teilbereichen: Fahrzeugflotten (ÖV, Taxi), Kleinkrafträder, Pedelecs und Zweitwagen. Weiters wird in einem kurzen Exkurs die Implementierung des Pendlermodells für periphere Gemeinden simuliert.³¹⁵

7.2.1 Szenario BASIS

Für die Berechnung des Basis-Szenarios werden folgende Daten aus Kapitel 4.3.2 herangezogen:

- Verkehrsmittelwahl nach Verkehrsleistung 2008 in Vorarlberg (Werktag)
- Durchschnittliche Tagesweglänge pro Person 2008 in Vorarlberg (Werktag)

Mithilfe der Bevölkerungszahl Vorarlbergs ab 6 Jahren im Jahresdurchschnitt 2010 sowie der Anzahl der Werktage (261) abzüglich der Feiertage (10) ergeben sich - nach Verkehrsmitteln differenziert - folgende Jahres-Personenkilometer an Werktagen. Siehe Tabelle 26

Tabelle 26: Personenkilometer eines Jahres– nach Verkehrsmitteln pro Person und für die gesamte Vorarlberger Bevölkerung 2010

| Verkehrsmittel | Personenkilometer eines Jahres an Werktagen 2010 | |
|-------------------------|---|-------------------------|
| | pro Person ab 6 Jahren | Bevölkerung ab 6 Jahren |
| Fuß | 156 | 53.802.969 |
| Rad | 311 | 107.605.939 |
| Motorrad | 78 | 26.901.485 |
| PKW-Lenker | 4202 | 1.452.680.175 |
| PKW-Mitfahrer | 1089 | 376.620.786 |
| Bus | 622 | 215.211.878 |
| Bahn | 1167 | 403.522.271 |
| sonstige Verkehrsmittel | 156 | 53.802.969 |

Anmerkungen: Unter sonstige Verkehrsmittel fallen z.B. Taxis, LKW, Nutzfahrzeuge etc. Für sie werden mangels detaillierter Angaben die gleichen Verbrauchswerte wie für PKW, sowie ein Besetzungsgrad von 1,23 Fahrgästen angenommen. Dies entspricht dem werktägigen Besetzungsgrad eines PKW.

Quellen:
vgl. Herry, Vbg, 2009, S.8, 43, 45
vgl. HP: STA, BEV, 2011

Daraus lassen sich derzeitiger Energiebedarf und Schadstoffemissionen des Personenverkehrs an Werktagen durch die Vorarlberger Bevölkerung ab 6 Jahren abschätzen (siehe Ergebnisse in der vergleichenden Aufstellung der Szenarien in Tabelle 32).

7.2.2 Szenario 100% ELEKTRO

Dieses Szenario entspricht im Wesentlichen dem vorgestellten israelischen Projekt „better place“, bei dem ausschließlich Batterie-PKW eingesetzt werden. Zusätzlich wird auch für Motorräder und Busse der Umstieg auf Elektroantrieb angenommen. Das Mobilitätsverhalten bleibt in diesem Szenario konstant. Daraus ergeben sich Auswirkungen auf Energiebedarf und Schadstoffemissionen wie in Tabelle 32 dargestellt. Die Verbräuche der Elektrofahrzeuge im Betrieb liegen wesentlich niedriger als jene konventioneller Fahrzeuge. Es müssen jedoch auch Endenergiebedarf und Schadstoffemissionen bei der Herstellung der notwendigen

³¹⁵ Dessen Ergebnisse fließen - aufgrund der geringen Bedeutung des Modells in Vorarlberg und der schwierigen Abgrenzung zu anderen Annahmen des Szenarios - nicht in die Gesamtaufstellung des Szenarios E-Einsatzbereiche ein.

Batteriekapazitäten sowie Energiebedarf und Auswirkungen der Errichtung entsprechender Infrastrukturen (Ladestationen, Batteriewechselstationen etc.) berücksichtigt werden. Durch die topografischen Verhältnisse des Bundeslandes sind vor allem in peripheren Gemeinden teils längere Wegstrecken mit dem PKW zu bewältigen. Bei ausschließlicher Nutzung von Batteriefahrzeugen, wie im Szenario vorgesehen, wäre die Errichtung von Batteriewechselstationen unabdingbar.

Der Jahresenergiebedarf an elektrischer Energie liegt in diesem Szenario bei 373 GWh. Dies entspricht 13,5 Prozent des Verbrauchs an elektrischer Energie in Vorarlberg 2010.³¹⁶ Bei ungesteuerter Ladung von Elektrofahrzeugen, würde sich die Lastspitze des Stromverbrauches am Abend erhöhen. Folglich wären bei diesem Szenario Steuerungsmechanismen bzw. möglicherweise Adaptierungen des Stromnetzes nötig. Insgesamt ist ein reines Elektroszenario in absehbarer Zeit nicht realistisch.

7.2.3 Szenario E-EINSATZBEREICHE

Im Kapitel „Einsatzbereiche“ wurden vorrangige Einsatzbereiche der Elektromobilität definiert. Für das Bundesland Vorarlberg erfolgen nun Berechnungen, welche Auswirkungen bei Umstellung auf elektrisch unterstützt angetriebene Verkehrsmittel in den einzelnen Bereichen zu erwarten sind.

7.2.3.1 Fahrzeugflotten (Taxi und ÖV)

Mit öffentlichem Verkehr und sonstigen Verkehrsmitteln werden 25 Prozent aller werktäglichen Personenkilometer zurückgelegt. Dies entspricht nach zugrunde gelegter Verkehrsmittelwahl 2008 und Berechnungen des Basisszenarios 11 Prozent des Gesamtenergiebedarfs des betrachteten Personenverkehrs an Werktagen.

Im Jahr 2010 gab es in Vorarlberg 746 Taxis und Mietwagen.³¹⁷ Pro Fahrzeug wird von einer Jahresfahrleistung von 55.000 Kilometern ausgegangen.³¹⁸ Das sind insgesamt 41.030.000 Kilometer in der Kategorie „sonstige Verkehrsmittel“, wobei gerechnet wird, dass davon 44,5 Prozent (18.258.350 km) auf Werktage entfallen.³¹⁹ Pro Fahrzeug wird von 1,23 Fahrgästen (entspricht Besetzungsgrad eines PKW werktags) ausgegangen. Das ergibt 22.457.771 Personenkilometer. Für künftige Antriebstechnologien wird nun der Einsatz von Batterie- und Full-Hybrid-PKW der Mittelklasse berechnet; jeweils für die Hälfte dieser Personenkilometer. Für die übrigen Kilometerleistungen in dieser Kategorie wird weiterhin mit dem Einsatz von Diesel-PKW – ebenfalls mit 1,23 Fahrgästen pro Fahrzeug gerechnet.

Im ÖV wurde bereits im Basis-Szenario angenommen, dass die Bahn ausschließlich in Elektrotraktion betrieben wird. Für Busse wird nun vom Einsatz von Batterie- und Hybrid-Solobussen ausgegangen, mit denen jeweils die Hälfte der Personenkilometer zurückgelegt werden. Tabelle 27 zeigt die aus dem Szenario resultierenden Auswirkungen in den Verkehrsmittelkategorien sonstige Verkehrsmittel, Bus und Bahn.

³¹⁶ vgl. V-LRG, 2011, S.8

³¹⁷ vgl. FdB, 2011, S.5

³¹⁸ vgl. L & K, 2006

³¹⁹ Annahme: es wird davon ausgegangen, dass das Verhältnis der Taxi- und Mietwagenfahrten von Werktagen zu anderen Wochentagen jenem der Kategorie „sonstige Verkehrsmittel“ entspricht. Dazu wurde eine Tageskategorie Samstag mit den Mittelwerten von Werktagen und Sonntagen bezüglich Tagesweglänge und Verkehrsmittelanteil nach Verkehrsleistung simuliert. Nach der tatsächlichen Anzahl von Werktagen, Samstagen und Sonn- und Feiertagen ergibt sich für Werktage ein Anteil von 44,5 Prozent an den Jahreskilometerleistungen der Kategorie „sonstige Verkehrsmittel“.

Tabelle 27: Vergleich: Basis-Szenario Fahrzeugflotten - Elektro-Szenario Fahrzeugflotten (Taxi und ÖV): Endenergiebedarf, eingesetzte Energieträger, THG- und Luftschadstoffemissionen Well-to-Tank und Tank-to-Wheel

| | Endenergie-Bedarf | davon: fossile Treibstoffe | davon: Bahnstrom | davon: Strom (öffentliches Netz) | THG-Emissionen Well-to-Wheel | | | | |
|---|-------------------|----------------------------|------------------|----------------------------------|------------------------------|-------|-----|----------------------|----------------------------------|
| | GWh | | | | in t | | | | |
| Basis-Szenario Fahrzeugflotten(BS) | 110 | 80 | 30 | 0 | 28.130 | | | | |
| Elektro-Szenario Fahrzeugflotten(ES) | 82 | 40 | 30 | 12 | 16.939 | | | | |
| Luftschadstoff-Emissionen [in t] | NOx | SO2 | NMVOc NMHC | Benzol | CO | NO2 | HC | Partikel-Verbrennung | Partikel-Verwirbelung und Abrieb |
| BS Well-to-Tank (Vorkette) | 14,9 | 32,0 | 10,3 | -- | -- | -- | -- | 2,3 | -- |
| BS Tank-to-Wheel (vor Ort) | 117,2 | 0,1 | 12,8 | 0,8 | 58,0 | 33,3 | 1,2 | 1,0 | 4,9 |
| ES Well-to-Tank (Vorkette) | 9,40 | 17,2 | 5,21 | -- | -- | -- | -- | 1,52 | -- |
| ES Tank-to-Wheel (vor Ort) | 50,8 | 0,07 | 8 | 0,55 | 40 | 15,72 | 1 | 0 | 5,82 |
| Anmerkungen: Sind für einen Schadstoff keine Daten verfügbar, ist dies durch das Symbol -- dargestellt. Für Emissionen am Betriebsort fehlen folgende Daten: Partikel durch Verbrennung für Krafträder, Partikel durch Abrieb und Verwirbelung für Fahrräder und Schienenfahrzeuge. Für Emissionen der Vorkette fehlen folgende Daten: Für alle Verkehrsmittel: Benzol, CO, NO ₂ , HC und Partikel durch Abrieb und Verwirbelung. Für die Stromerzeugung fehlen außerdem Daten zur Emission von NMVOc bzw. NMHC. Diese entsprechenden Werte sind in den Gesamtsummen folglich nicht enthalten. Annahmen: - sonstige Verkehrsmittel: Taxi und Mietwagen: für 53.339.000 Personenkilometer 50% Batterie-PKW (Mittelklasse) 50% Full-Hybrid-PKW (Mittelklasse) → übrige Personenkilometer: Diesel-PKW (Euro-4) - Omnibus: 50% Batterie-Solobus 50% Hybrid-Solobus - Bahn (Elektrotraktion): 50% S- und Regionalbahn 50% Intercity Verbräuche: siehe Tabelle 32 | | | | | | | | | |

Das Einsparungspotential der berechneten Simulation beträgt somit 25,5 Prozent an Endenergie und knapp 40 Prozent an THG-Emissionen.

Der Bedarf technischer Infrastrukturen beinhaltet Batteriewechselstationen an zentralen Punkten. In Vorarlberg konzentrieren sich die zentralen Gemeinden sowie hochrangige Verkehrsinfrastrukturen entlang des Rheintales. Periphere Gemeinden sind mit Buslinien an den Zentralraum angebunden. Je nach Streckenverlauf können Batterie-Busse (eher auf den Zentralraum konzentriert) oder Hybridbusse (längere Strecken in peripheren Gebieten) zum Einsatz kommen. Die Versorgung mit Batteriewechselstationen kann in konzentrierter Form in den zentralen Gemeinden des Rheintales erfolgen. Dasselbe gilt für Taxis und Mietwagen.

7.2.3.2 Krafträder

Mit Krafträdern wird etwa ein Prozent aller werktäglichen Personenkilometer zurückgelegt. Dies entspricht nach zugrunde gelegter Verkehrsmittelwahl 2008 und Berechnungen des Basisszenarios 0,9 Prozent des Gesamtenergiebedarfs des betrachteten Personenverkehrs an Werktagen.

Es wird angenommen, dass 50 Prozent der Personenkilometer an Werktagen, für die Motorräder genutzt werden, mit Kleinkrafträdern realisiert werden. Diesem Anteil entsprechend wird nun für 13.450.742 Kilometer angenommen, dass diese mittels Batterie-Kleinkrafträder zurückgelegt werden. Für die restlichen Personenkilometer wird der Einsatz von Benzin-4-Taktern

angenommen, da in höheren Leistungsklassen die Ansprüche an die Fahrzeuge durch die entsprechenden Elektroversionen noch nicht erfüllt werden. Tabelle 28 zeigt die aus dem Szenario resultierenden Auswirkungen in der Verkehrsmittelkategorie Motorrad.

Tabelle 28: Vergleich: Kraffrad-Basis-Szenario und Szenario Elektro-Kleinkrafträder: Endenergiebedarf, eingesetzte Energieträger, THG- und Luftschadstoffemissionen Well-to-Tank und Tank-to-Wheel

| | Endenergie-Bedarf | davon: fossile Treibstoffe | | davon: Bahnstrom | davon: Strom (öffentliches Netz) | | | THG-Emissionen Well-to-Wheel | |
|---|-------------------|----------------------------|-------------|------------------|----------------------------------|------|----|------------------------------|----------------------------------|
| | GWh | | | | | | | in t | |
| Basis-Szenario (BS) | 8,7 | 8,7 | | 0 | 0 | | | 2.771 | |
| E-Kleinkraft-Szenario (ES) | 6,3 | 5,7 | | 0 | 0,5 | | | 1.879 | |
| Luftschadstoff-Emissionen [in t] | NOx | SO2 | NM VOC NMHC | Benzol | CO | NO2 | HC | Partikel-Verbrennung | Partikel-Verwirbelung und Abrieb |
| BS Well-to-Tank (Vorkette) | 1,5 | 4,2 | 0,99 | -- | -- | -- | -- | 0,21 | -- |
| BS Tank-to-Wheel (vor Ort) | 3,1 | 0,03 | 29 | 1,6 | 66 | 0,16 | 34 | 0 | 0,24 |
| ES Well-to-Tank (Vorkette) | 1,02 | 2,8 | 0,99 | -- | -- | -- | -- | 0,14 | -- |
| ES Tank-to-Wheel (vor Ort) | 2,3 | 0,01 | 14 | 0,78 | 29 | 0,12 | 4 | 0 | 0,24 |
| Anmerkungen: Siehe Tabelle 27 | | | | | | | | | |
| Annahmen Szenario Elektro-Kleinkrafträder: 50 % Batterie-Kleinkrafträder, 50% Motorräder 4-Takter | | | | | | | | | |
| Annahmen Basis-Szenario: 50 % Benzin-Kleinkrafträder, 50% Benzin-Motorräder 4-Takter | | | | | | | | | |
| Verbräuche: siehe Tabelle 32 | | | | | | | | | |

Das Einsparungspotential der berechneten Simulation beträgt somit 27,6 Prozent an Endenergie und gut 30 Prozent an THG-Emissionen.

Es wird angenommen (entsprechende Belege fehlen leider), dass für einen hohen Anteil von Nutzerinnen von Kleinkrafträdern grundsätzlich die Möglichkeit besteht, diese auf privaten Flächen abzustellen und gegebenenfalls auch dort zu laden. Beabsichtigt man, dass alle Kleinkrafträder durch Elektro-Kleinkrafträder ersetzt werden sollen, ist die (weitere) Schaffung von Lademöglichkeiten an zentralen Plätzen der Gemeinde und Verkehrsknotenpunkten notwendig.

7.2.3.3 Elektrofahrzeuge als Zweitwagen

Mit Zweit- und Drittwagen etc. werden etwa 20 Prozent aller werktäglichen Personenkilometer zurückgelegt. Dies entspricht nach zugrunde gelegter Verkehrsmittelwahl 2008 und Berechnungen des Basisszenarios etwa 18 Prozent des Gesamtenergiebedarfs des betrachteten Personenverkehrs an Werktagen.

In Vorarlberg besitzt jeder Haushalt durchschnittlich 1,25 PKW.³²⁰ Es wird nun angenommen, dass Zweit- oder Drittfahrzeuge durch Elektrofahrzeuge ersetzt werden; zur Hälfte durch reine Batterie-PKW und zur Hälfte durch Full-Hybrid-PKW. Die Kilometerleistungen werden als ihren Anteilen entsprechend angenommen. Daraus ergeben sich für private PKW folgende Annahmen:

- 148.686 konventionelle Fahrzeuge (80%)
- 18.586 Batterie-PKW (10%)
- 18.586 Full-Hybrid-PKW (10%)

Diese fließen in die Berechnungen ein, deren Ergebnisse Tabelle 29 zeigt. Betrachtet wurde die Verkehrsmittelkategorie PKW-Lenker.

³²⁰ vgl. Herry, Vbg, 2009, S.25

Tabelle 29: Vergleich: Basis-Szenario Zweitwagen und Elektro-Szenario Zweitwagen

| | Endenergie-Bedarf | davon: fossile Treibstoffe | davon: Bahnstrom | davon: Strom (öffentliches Netz) | THG-Emissionen Well-to-Wheel | | | | |
|---|-------------------|----------------------------|------------------|----------------------------------|------------------------------|-----|----|----------------------|----------------------------------|
| | GWh | | | | in t | | | | |
| Basis-Szenario Zweitwagen (BS) | 890 | 890 | 0 | 0 | 275.200 | | | | |
| Elektro-Szenario Zweitwagen (ES) | 664 | 639 | 0 | 25 | 200.394 | | | | |
| Luftschadstoff-Emissionen [in t] | NOx | SO2 | NMVOC NMHC | Benzol | CO | NO2 | HC | Partikel-Verbrennung | Partikel-Verwirbelung und Abrieb |
| BS Well-to-Tank (Vorkette) | 135 | 329 | 0 | -- | -- | -- | -- | 17,2 | -- |
| BS Tank-to-Wheel (vor Ort) | 715 | 1,5 | 309 | 23 | 1.627 | 312 | 32 | 0 | 55 |
| ES Well-to-Tank (Vorkette) | 98 | 237 | 81 | -- | -- | -- | -- | 12,4 | -- |
| ES Tank-to-Wheel (vor Ort) | 629 | 1,3 | 272 | 20 | 1.432 | 275 | 28 | 0 | 55 |
| Anmerkungen: Siehe Tabelle 27 | | | | | | | | | |
| Annahmen Elektro-Szenario: 80 % der Personenkilometer durch Diesel-PKW (Euro-4) 10 % der Personenkilometer durch Batterie-PKW (Mittelklasse) 10 % der Personenkilometer durch Full-Hybrid-PKW (Mittelklasse) Annahmen Basis-Szenario: 100 % durch Diesel-PKW (Euro-4) Verbräuche: siehe Tabelle 32 | | | | | | | | | |

Das Einsparungspotential der berechneten Simulation beträgt somit 25 Prozent an Endenergie und gut 27 Prozent an THG-Emissionen.

Bezüglich der Lademöglichkeiten, ist die Wohnsituation der Vorarlbergerinnen entscheidend. 41 Prozent der Haushalt der Kategorie³²¹ „Zentralraum – größere Gemeinden“ leben in Ein- oder Zweifamilienhäusern. In den Kategorien „Zentralraum – kleinere Gemeinden“ und „Periphere Gemeinden“ liegt dieser Anteil bei 60 Prozent. In letzterer Kategorie erreichen zudem landwirtschaftliche Anwesen Bedeutung, in welchen acht Prozent der Haushalte peripherer Gemeinden angesiedelt sind.³²² Es kann angenommen werden, dass Bewohnerinnen von Ein- und Zweifamilienhäusern zu einem hohen Prozentsatz private Abstellplätze zur Verfügung stehen, die bei Bedarf mit Lademöglichkeiten ausgerüstet werden können. Im Zentralraum können zudem Schnellladestationen oder Batteriewechselstationen sinnvoll sein.

7.2.3.4 Pedelecs

Grundannahme ist, dass mit dem Pedelec knapp doppelt so hohe Durchschnittsgeschwindigkeiten wie mit einem normalen Fahrrad erreicht werden, folglich in derselben Zeit die doppelte Distanz zurückgelegt werden kann. (siehe Tabelle 22 in Kapitel 5). Auf Basis der in Kapitel 4.3.2 dargestellten Abbildung 21³²³ wird daher angenommen, dass durch Pedelecs die Summe der Verkehrsmittelanteile der nicht-motorisierten Verkehrsmittel immer auf den Wert der vorherigen Klasse ergänzt wird – auf Kosten des PKW-Anteils.³²⁴

³²¹ Kategorien: siehe Abbildung 34 bzw. vgl. Herry, Vbg, 2009, S.11ff

³²² vgl. Herry, Vbg, 2009, S.21

³²³ Diese sind solcherart eingeteilt, dass eine Klasse in etwa die doppelte Distanz der vorherigen Klasse beinhaltet (bis 0,5 → 0,5 bis 1 → 1 bis 2,5 → 2,5 bis 5 km usw.)

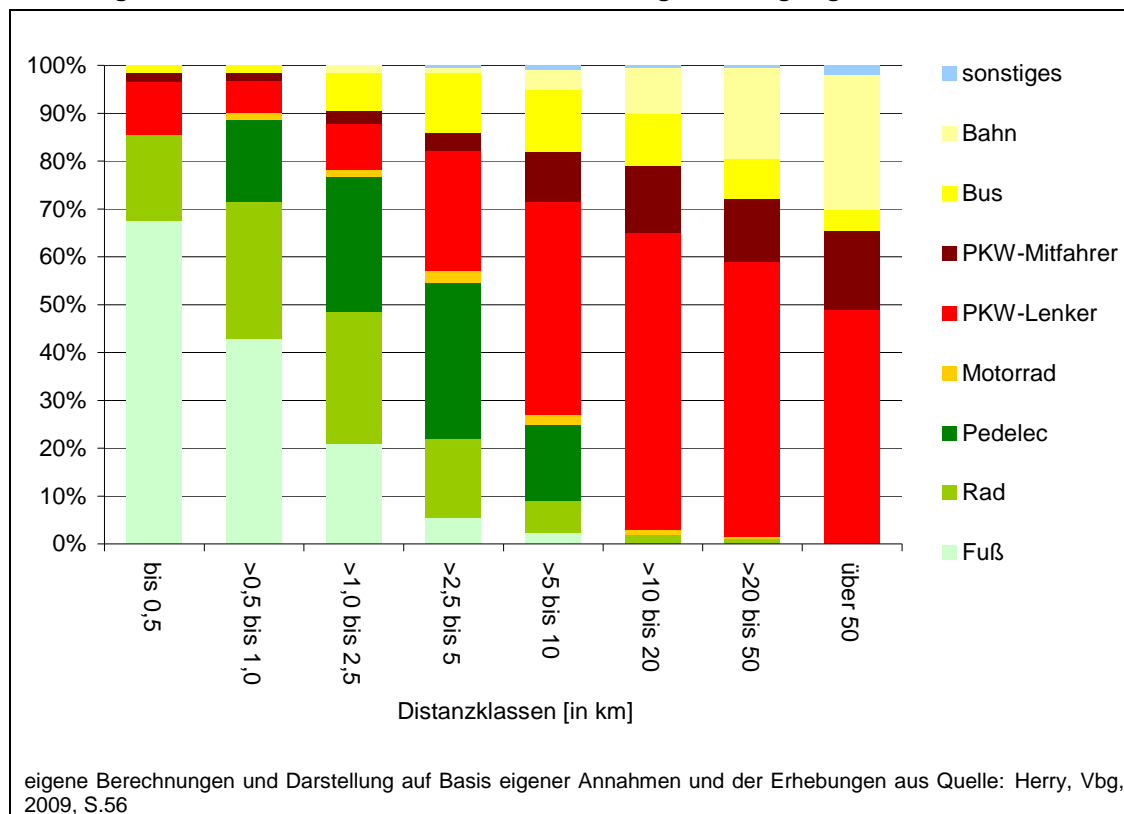
³²⁴ Für jeden wegfallenden PKW-Lenker-Weg werden 1,23 Pedelec-Wege gerechnet sowie 0,23 Wege bei den PKW-Mitfahrern abgezogen (entsprechend des PKW Besetzungsgrades an Werktagen)

In folgenden Distanzklassen werden Verlagerungen vom MIV-Lenker zu Pedelec angenommen:

- Über 0,5 bis 1 km: PKW-Lenker: minus 13,5 Prozentpunkte, Pedelec: 17 Prozentpunkte
- Über 1 bis 2,5 km: PKW-Lenker: minus 22,5 Prozentpunkte, Pedelec: 28 Prozentpunkte
- Über 2,5 bis 5 km: PKW-Lenker: minus 26,5 Prozentpunkte, Pedelec: 33 Prozentpunkte
- Über 5 bis 10 km: PKW-Lenker: minus 12,5 Prozentpunkte, Pedelec: 16 Prozentpunkte

Daraus ergibt sich folgende Verkehrsmittelaufteilung nach Weglängenklassen: (siehe Abbildung 33)

Abbildung 33: Pedelec-Szenario: Verkehrsmittelaufteilung nach Weglängenklassen



Im nächsten Schritt werden auf Basis dieser Annahmen Endenergiebedarf und Luftschadstoffemissionen für die Mobilität der Vorarlberger Bevölkerung werktags errechnet. Die bestehenden Kilometerleistungen mit dem Fahrrad werden weiterhin als rein muskelbetriebenes Fahrrad berechnet; die aus der Verlagerung entstehenden Radkilometer mit Verbrauch und Emissionsfaktoren eines Pedelecs; alle anderen Verkehrsmittel wie im Basis-Szenario. Tabelle 30 zeigt die aus dem Szenario resultierenden Auswirkungen. Betrachtet wurden alle Verkehrsmittelkategorien.

Das Einsparungspotential der berechneten Simulation beträgt somit 7,3 Prozent an Endenergie und 7,6 Prozent an THG-Emissionen.

Da die Akkus der Pedelecs aus den Rädern herausgenommen und an gewöhnlichen Haushaltsteckdosen geladen werden können, können Pedelecs ohne weitere infrastrukturelle Anpassungen eingesetzt werden. Generell ist der weitere Ausbau sicherer und schneller Fahrradverbindungen sowie hochwertiger Abstellplätze auch zur Förderung des Einsatzes dieses Verkehrsmittels sinnvoll.

Tabelle 30: Pedelec-Szenario: Endenergiebedarf, eingesetzte Energieträger, THG- und Luftschadstoffemissionen Well-to-Tank und Tank-to-Wheel

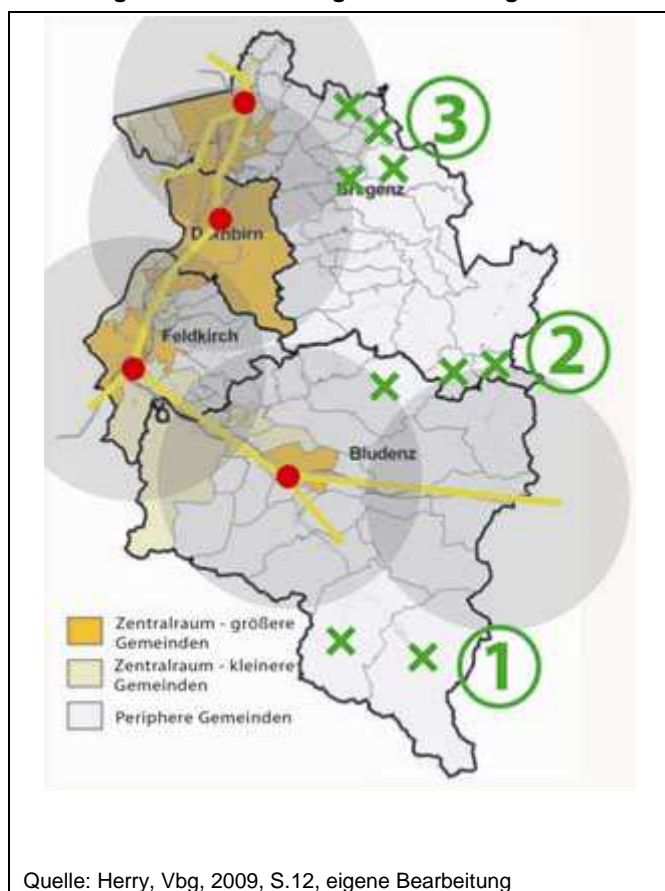
| Endenergie-Bedarf | | davon: fossile Treibstoffe | | davon: Bahnstrom | | davon: Strom (öffentliches Netz) | | THG-Emissionen Well-to-Wheel | |
|----------------------------------|-----|----------------------------|------------|------------------|-------|----------------------------------|----|------------------------------|----------------------------------|
| | | in GWh | | | | | | in t | |
| 935 | | 903 | | 30 | | 2 | | 282.754 | |
| Luftschadstoff-Emissionen [in t] | NOx | SO2 | NMVOE NMHC | Benzol | CO | NO2 | HC | Partikel-Verbrennung | Partikel-Verwirbelung und Abrieb |
| Well-to-Tank (Vorkette) | 140 | 337 | 115 | -- | -- | -- | -- | 18 | -- |
| Tank-to-Wheel (vor Ort) | 774 | 1,5 | 324 | 24 | 1.611 | 319 | 65 | 30 | 56 |

Anmerkungen: Siehe Tabelle 27
Annahmen: Verbräuche: siehe Tabelle 32

7.2.3.5 Exkurs: Pendlermodell für periphere Gemeinden

Etwa 155.000 Vorarlbergerinnen³²⁵ haben ihren Arbeitsort innerhalb von Vorarlberg, 12.400 pendeln ins Ausland, 1.200 ins Bundesland Tirol. Für die Anwendung des Pendlermodells - wie das Projekt eMORAIL es vorsieht – sind jene Personen relevant, deren Wohnsitz in einer peripheren Gemeinde liegt und die zum Arbeiten in eine zentrale, mit der Bahn erreichbare Gemeinde pendeln.

Abbildung 34: Klassifizierung der Vorarlberger Gemeinden



Legt man die Einteilung der Verkehrsverhaltensbefragung 2008 in periphere und zentrale Gemeinden (siehe Abbildung 34) zugrunde ergeben sich Pendlerströme (von peripherer nach zentraler Gemeinde innerhalb Vorarlbergs mit Überschreitung der Bezirksgrenze) von etwa 4500 Personen.³²⁶ Aufgrund des Verlaufs der Bahnlinie (gelbe Linie in Abbildung 34) in innerhalb des Bundeslandes eignen sich jedoch primär die peripheren Gemeinden im Norden und Süden des Bezirk Bregenz sowie jene im Süden und Osten des Bezirk Bludenz für die Anwendung des Pendlermodells. Weitere Ausschluss-kriterien sind eine Distanz unter 15 Kilometer von Wohnort zur nächsten Bahnstation, sowie eine Distanz unter 15 Kilometer von Bahnstation zur Bahnstation des Arbeitsortes.³²⁷

³²⁵ gemeint: aktiv Erwerbstätige

³²⁶ vgl. HP: STA, PEN, 2012

³²⁷ in Quelle [Slupetzky, 2009, S.6] werden 15 km Pendeldistanz mit einem Elektroauto als Grenze der Wirtschaftlichkeit genannt (bei einer Nutzungsdauer des Fahrzeuges von 8 Jahren). Zusätzlich wird von der

Anmerkung: Aus energetischer Sicht (Endenergieverbrauch durch Energiebedarf im Fahrzeugbetrieb und bei der Batterieherstellung) wird bei jährlich 213 Arbeitstagen^{328 329} und einer Lebensdauer der Fahrzeuge von 12 Jahren bereits ab 8,8 Kilometern Pendeldistanz pro Arbeitstag jener Punkt erreicht, an dem Diesel-Klein-PKW und Batterie-Klein-PKW den gleichen Endenergiebedarf aufweisen. Bei Strecken darüber hinaus ist das Batteriefahrzeug im Vorteil.³³⁰ Da in dieser Arbeit der finanzielle Aspekt nicht beleuchtet wurde, wird jedoch auf die oben genannten Distanzen zurückgegriffen.

Berücksichtigt man diese Kriterien bleiben nur wenige Gemeinden übrig.³³¹ (In Abbildung 34 sind relevante Gemeinden mit einem grünen Kreuz gekennzeichnet; die Kreise bezeichnen einen Umkreis von 15 Kilometer Radius.) Für Gruppe 1 und 2 wurden als geeignete Arbeitsorte zentrale Gemeinden in den Bezirken Feldkirch, Dornbirn und Bregenz angenommen; für Gruppe 3 zentrale Gemeinden in Feldkirch und Bludenz. Daraus ergeben sich etwa 377 pendelnde Personen. Die resultierenden Distanzen wurden dem Routenplaner der Website Google Maps entnommen.³³² PKW-Mitfahrer wurden in den Berechnungen mit 1,16 Personen pro PKW berücksichtigt.³³³ Es ergeben sich folgende Jahreskilometerleistungen für PKW und Bahn. Diese bilden die Basis der Berechnung der Auswirkungen auf Energieverbrauch und Schadstoffemissionen.

- PKW-Kilometer (Wohnort - Station): 2,4 mio. Jahres-Personen-km
- Bahn-Kilometer (Station - Bezirkshauptstadt Arbeitsort): 6,83 mio. Jahres-Personen-km
- Bei reiner Verwendung von PKW belaufen sich die Jahreskilometer auf 7,7 mio. Kilometer.³³⁴

Da die Distanzen von Wohnort zu Bahnhof alle zwischen 15 und 30 Kilometern liegen, kann für die ausgewählten Gemeinden ohne weiteres die Verwendung von Batteriefahrzeugen angenommen werden. Die Straßendistanzen zwischen Wohnort und Bezirkshauptstadt des Arbeitsortes schwanken zwischen 50 und 80 Kilometern. Daher wäre die Verwendung von Batteriefahrzeugen für die volle Strecke nicht in allen Fällen (ohne Batteriewechselstationen) möglich. Im Basisszenario wird mit der Verwendung von Diesel-PKW der Emissionsklasse Euro-4 gerechnet. Zusätzlich wurde ein weiteres Szenario „Basis + Modal Split“ skizziert, in welchem die Verkehrsmittelwahl des Pendlermodells angenommen wird, für die Strecke vom Wohnort bis zum Bahnhof jedoch mit einem gewöhnlichen Verbrennungsfahrzeug der Klasse Euro-4 gerechnet wird. Folgende Tabelle 31 zeigt die Ergebnisse der Wirkungsanalyse der drei Szenarien für die beschriebene Nutzergruppe.

Gegenüber dem Basis Szenario, können bei Szenario „Basis + Modal Split“ 58 Prozent an Endenergie und 65 Prozent an THG-Emissionen eingespart werden. Das errechnete Einsparungspotential bei Simulation des Pendlermodells ergibt eine Reduktion von 78 Prozent an Endenergie und 92 Prozent an THG-Emissionen.

Autorin angenommen, dass für Pendlerinnen Park & Ride nur attraktiv ist, wenn die Fahrt mit der Bahn mindestens so lang ist wie der Anfahrtsweg zur Station.

³²⁸ errechnet aus 251 Werktagen minus 25 Urlaubstage minus 13 Krankenstandstage

³²⁹ vgl. HP: STA, KRA, 2012

³³⁰ Berechnung auf Basis der auf S.114 ermittelten Zahlen.

³³¹ In Gemeinden im Nordosten des Bundeslandes sind die Wege zur nächsten Bahnstation ähnlich weit entfernt wie zu potentiellen Arbeitsorten in zentralen Gemeinden. Sie werden daher für die Abschätzung des Potentials des Pendlermodells nicht berücksichtigt.

³³² Für die Berechnung der Jahreskilometer wurde die Anzahl der durchschnittlichen Arbeitstage zugrunde gelegt.

³³³ vgl. Herry, Vbg, 2009, S.6

³³⁴ Die Differenz zur Summe der PKW- und Bahnkilometer des Szenarios Pendlermodell entsteht dadurch, dass bei alleiniger Verwendung eines PKWs für die Strecke Wohnort-Arbeitsort dieser direkter angefahren werden kann.

Werden die in der früh von den Pendlerinnen am Bahnhof abgestellten Fahrzeuge untertags zusätzlich lokal in der Gemeinde genutzt, entstehen weitere Nutzenvorteile bezüglich Energiebedarf, Flächenverbrauch, Kosten etc. In allen drei Szenarien sind 334 PKW im Einsatz. Dies entspricht einem Anteil von 0,2 Prozent an allen in Vorarlberg gemeldeten PKW. Der Einfluss der Umsetzung dieses Modells auf die Auswirkungen des Mobilitätsverhaltens ist entsprechend gering und daher in der Gegenüberstellung von Szenario E-EINSATZBEREICHE und Szenario BASIS in der zusammenfassenden Modellaufstellung nicht enthalten.

Tabelle 31: Vergleich „Pendlermodell“, „Basis-Szenario“ und „Szenario Basis+Modal Split“ für periphere Gemeinden

| | Endenergie-Bedarf | davon: fossile Treibstoffe | | davon: Bahnstrom | | davon: Strom (öffentliches Netz) | | THG-Emissionen Well-to-Wheel | |
|----------------------------------|-------------------|----------------------------|------------|------------------|------|----------------------------------|------|------------------------------|----------------------------------|
| | in GWh | | | | | | | in t | |
| Basis-Szenario (BS) | 4,74 | 4,74 | | 0 | | 0 | | 1.466 | |
| Basis+Modal Split (MS) | 1,99 | 1,49 | | 0,51 | | 0 | | 516 | |
| Pendlermodell (PM) | 1,03 | 0 | | 0,51 | | 0,52 | | 114 | |
| Luftschadstoff-Emissionen [in t] | NOx | SO2 | NMVOE NMHC | Benzol | CO | NO2 | HC | Partikel-Verbrennung | Partikel-Verwirbelung und Abrieb |
| BS Well-to-Tank (Vorkette) | 0,72 | 1,76 | 0,6 | -- | -- | -- | -- | 0,09 | -- |
| BS Tank-to-Wheel (vor Ort) | 3,81 | 0,01 | 1,65 | 0,12 | 8,67 | 1,66 | 0,17 | 0,17 | 0,29 |
| MS Well-to-Tank (Vorkette) | 0,27 | 0,59 | 0,19 | -- | -- | -- | -- | 0,04 | -- |
| MS Tank-to-Wheel (vor Ort) | 1,19 | 0,002 | 0,52 | 0,04 | 2,72 | 0,52 | 0,05 | 0,05 | 0,09 |
| PM Well-to-Tank (Vorkette) | 0,07 | 0,05 | 0,004 | -- | -- | -- | -- | 0,014 | -- |
| PM Tank-to-Wheel (vor Ort) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,09 |

Anmerkungen: siehe Tabelle 27, Verbräuche: siehe Tabelle 32

Annahmen:
 - Basis-Szenario: 100% der Wege mit Diesel-PKW (Euro-4)
 - Basis+Modal Split: Wohnort-Bahnhof am Wohnort: Diesel-PKW (Euro-4), Bahnhof am Wohnort-Bahnhof am Arbeitsplatz: Schienenfahrzeuge (50% Regional- und S-Bahn, 50% Intercity)
 - Szenario Pendlermodell: Wohnort-Bahnhof (Wohnort): Batterie-PKW (Mittelklasse), Bahnhof (Wohnort)-Bahnhof (Arbeitsort): Schienenfahrzeuge (50% Regional- und S-Bahn, 50% Intercity)

7.2.4 Vergleich Szenario BASIS, 100% ELEKTRO und E-EINSATZBEREICHE

In den folgenden Berechnungen fließen die Annahmen aus den einzelnen vorrangigen Einsatzbereichen des Szenarios E-EINSATZBEREICHE (EB) zusammen und werden den Szenarien BASIS (BS) und 100% ELEKTRO (ES) gegenübergestellt. Die Verkehrsmittelaufteilung im Szenario „E-Einsatzbereiche“ baut auf den Annahmen des Einsatzbereiches Pedelecs auf.

Gegenüber Szenario BASIS sind in Szenario E-EINSATZBEREICHE folgende Einsparungen im Personenverkehr der Vorarlberger Bevölkerung an Werktagen möglich (siehe Abbildung 35 bzw. Tabelle 32):

- Endenergie: 17 Prozent (unberücksichtigt: Batterieherstellung)
- Fossile Treibstoffe: 22 Prozent
- Treibhausgase: 20 Prozent

Bei den weiteren Luftschadstoffen sind ähnliche Einsparungen zu erzielen. Eine Ausnahme bilden die Emissionen von Partikeln durch Abrieb und Verwirbelung, die unabhängig von der Antriebstechnologie emittiert werden. Diese liegen bei Batteriebusen sogar etwas höher, da für die Fahrzeuge eine geringere Sitzplatzkapazität angenommen wurde.

Insgesamt steigt der errechnete elektrische Endenergiebedarf des Szenarios E-EINSATZBEREICHE an Werktagen für ein Jahr um 43 GWh. Das entspricht 1,6 Prozent des elektrischen Endenergieverbrauchs Vorarlbergs im Jahr 2010.³³⁵

Gegenüber Szenario BASIS sind in Szenario 100% ELEKTRO folgende Einsparungen im Personenverkehr der Vorarlberger Bevölkerung an Werktagen möglich (siehe Abbildung 35 bzw. Tabelle 32):

- Endenergie: 63 Prozent (unberücksichtigt: Batterieherstellung)
- Fossile Treibstoffe: 100 Prozent
- Treibhausgase: 87 Prozent

Bei den weiteren Luftschadstoffen sind ähnliche Einsparungen zu erzielen, wobei bei reinen Batteriefahrzeugen – wie im Szenario angenommen – vor Ort keinerlei Schadstoffe emittiert werden (ausgenommen Partikel durch Abrieb und Verwirbelung).

Insgesamt steigt der errechnete elektrische Endenergiebedarf des Szenarios 100% ELEKTRO an Werktagen für ein Jahr um 344 GWh. Das entspricht 12,4 Prozent des elektrischen Endenergieverbrauchs Vorarlbergs im Jahr 2010.³³⁶

³³⁵ vgl. V-LRG, 2011, S.8

³³⁶ vgl. V-LRG, 2011, S.8

Abbildung 35: Vorarlberg an Werktagen– jährliche Auswirkungen des Personenverkehrs auf Endenergiebedarf, THG-Emissionen und Luftschadstoffemissionen. Vergleich: Basis-Szenario (BS), Szenario 100%ELEKTRO (ES) und Szenario E-Einsatzbereiche (EB)

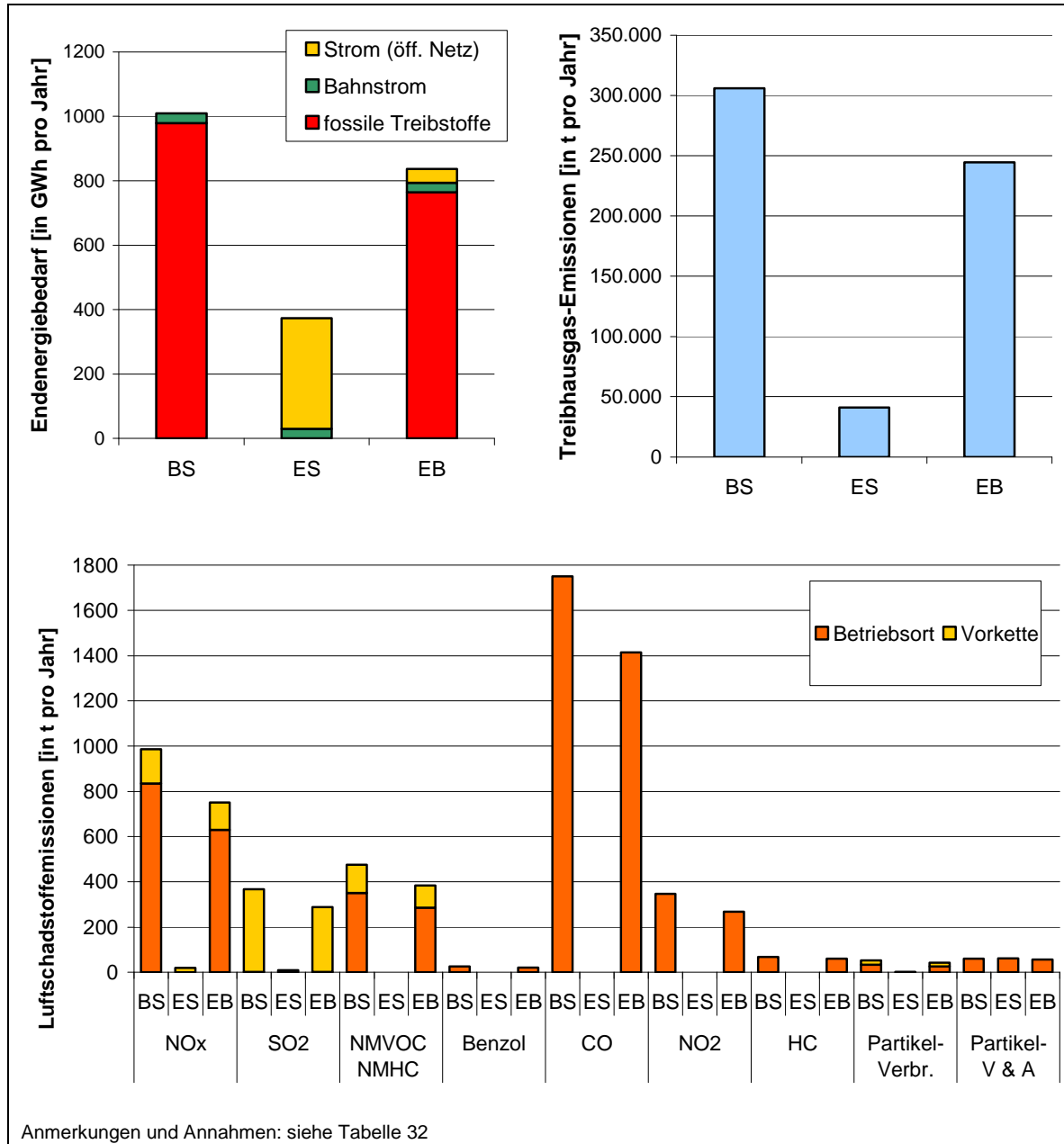


Tabelle 32: Vergleich der Szenarien bezüglich Endenergiebedarf, eingesetzte Energieträger, THG- und Luftschadstoffemissionen Well-to-Tank und Tank-to-Wheel,

| | | Endenergie-Bedarf | davon: fossile Treibstoffe | davon: Bahnstrom | davon: Strom (öffentliches Netz) | THG-Emissionen Well-to-Wheel | | | | | |
|--|-------------------------|-------------------|----------------------------|------------------|----------------------------------|------------------------------|------|----|--------------------------|---|--|
| | | GWh | | | | | in t | | | | |
| Basis-Szenario (BS) | | 1009 | 979 | 30 | 0 | 306.101 | | | | | |
| 100% Elektro (ES) | | 373 | 0 | 30 | 344 | 41.259 | | | | | |
| E-Einsatzbereiche (EB) | | 837 | 764 | 30 | 43 | 244.414 | | | | | |
| Luftschadstoff-Emissionen [in t] | | NOx | SO2 | NMVO NMHC | Benzol | CO | NO2 | HC | Partikel- Verbrennung | Partikel- Verwirbelung und Abrieb | |
| BS | Well-to-Tank (Vorkette) | 151 | 366 | 124 | -- | -- | -- | -- | 20 | -- | |
| | Tank-to-Wheel (vor Ort) | 835 | 1,6 | 351 | 26 | 1.751 | 346 | 68 | 33 | 60 | |
| ES | Well-to-Tank (Vorkette) | 20 | 9 | 0,21 | -- | -- | -- | -- | 1,8 | -- | |
| | Tank-to-Wheel (vor Ort) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 62 | |
| EB | Well-to-Tank (Vorkette) | 121 | 287 | 97 | -- | -- | -- | -- | 16 | -- | |
| | Tank-to-Wheel (vor Ort) | 629 | 1,3 | 286 | 21 | 1.415 | 267 | 61 | 26 | 57 | |
| Anmerkungen: Siehe Tabelle 27 | | | | | | | | | | | |
| Annahmen Szenario BASIS: | | | | | | | | | | | |
| - PKW und sonstige Verkehrsmittel (z.B. Taxi): | | | | | | | | | | | |
| Diesel-PKW (Euro-4), Energiebedarf: 6,195 Liter/100 Fahrzeug-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| - Krafträder (Benzin): | | | | | | | | | | | |
| 50% Kleinkrafträder, Energiebedarf: 2,477 l/100 Fahrzeug-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| 50% Motorräder 4-Takter, Energiebedarf: 4,741 l/100 Fahrzeug-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| - Omnibus: Diesel-Solobus, Energiebedarf: 2,507 Liter/100 Personen-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| - Bahn (Elektrotraktion): | | | | | | | | | | | |
| 50% S- und Regionalbahn, Energiebedarf: 8,33 kWh/100 Personen-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| 50% Intercity, Energiebedarf: 6,47 kWh/100 Personen-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| Annahmen Szenario 100% ELEKTRO: | | | | | | | | | | | |
| - PKW und sonstige Verkehrsmittel (z.B. Taxi): | | | | | | | | | | | |
| Batterie-PKW (Mittelklasse), Energiebedarf: 21,5 kWh/100 Fahrzeug-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| - Krafträder: | | | | | | | | | | | |
| 50 % Batterie-Kleinkrafträder, Energiebedarf: 4 kWh/100 Fahrzeugkilometer | | | | | | | | | | | |
| 50% Batterie-Krafträder, Energiebedarf: durchschnittlich 6 kWh/100 Fahrzeugkilometer | | | | | | | | | | | |
| - Omnibus: Batterie-Solobus, Energiebedarf: 9,524 kWh/100 Personen-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| - Bahn (Elektrotraktion): | | | | | | | | | | | |
| 50% S- und Regionalbahn, Energiebedarf: 8,33 kWh/100 Personen-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| 50% Intercity, Energiebedarf: 6,47 kWh/100 Personen-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| Annahmen Szenario E-EINSATZBEREICHE: | | | | | | | | | | | |
| - Pedelecs: Energiebedarf: 1,25 kWh/100 Fahrzeugkilometer | | | | | | | | | | | |
| - PKW: | | | | | | | | | | | |
| 80 % Diesel-PKW (Euro-4) | | | | | | | | | | | |
| 10 % Batterie-PKW (Mittelklasse) | | | | | | | | | | | |
| 10 % Full-Hybrid-PKW (Mittelklasse), Energiebedarf: 5,15 l /100 Fahrzeug-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| - sonstige Verkehrsmittel: | | | | | | | | | | | |
| 58 % Diesel-PKW (Euro-4) | | | | | | | | | | | |
| 42 % Taxis und Mietwagen, davon: 50% Batterie-PKW und 50% Full-Hybrid-PKW | | | | | | | | | | | |
| - Krafträder: | | | | | | | | | | | |
| 50 % Batterie-Kleinkrafträder | | | | | | | | | | | |
| 50 % Motorräder Benzin-4-Takter | | | | | | | | | | | |
| - Omnibusse: | | | | | | | | | | | |
| 50 % Batterie-Solobus | | | | | | | | | | | |
| 50 % Hybrid-Solobus, Energiebedarf: 1,5 Liter Diesel/100 Personen-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| - Bahn (Elektrotraktion): | | | | | | | | | | | |
| 50% S- und Regionalbahn, Energiebedarf: 8,33 kWh/100 Personen-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| 50% Intercity, Energiebedarf: 6,47 kWh/100 Personen-Kilometer | | | | | | | | | | | |
| Annahmen Stromversorgung: | | | | | | | | | | | |
| - Für die Stromversorgung wurden der Bahnstrommix 2009 bzw. die Kennzahlen des Verbund angenommen, da hierfür detailliertere Angaben zum Schadstoff-Ausstoß verfügbar waren als für den Strommix der Vorarlberger Kraftwerke AG. (Bezüglich der THG-Emissionen verzeichnen beide Unternehmen ähnliche Werte.) siehe Anhang 3 | | | | | | | | | | | |

7.3 Wirkungsanalyse von Elektromobilität in Bezug auf politische Zielsetzungen

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse dieses Kapitels, sollen diese nun den – am Eingang der Arbeit – formulierten Zielen für die Wirkungsbereiche Energie, Mobilität und Lebensraum gegenübergestellt werden. Aufgrund der Komplexität der Thematik können manche Sachverhalte nur verbal erläutert oder eingeschätzt werden.

7.3.1 Analyse – Wirkungsbereich Energie

Aufgrund der starken Abhängigkeit des Verkehrs von fossilen Brennstoffen, liegt eines der Ziele darin, den Anteil erneuerbarer Energiequellen an der im Verkehr eingesetzten Energie auf 10 Prozent zu erhöhen. Im Vergleich der Szenarien BASIS und E-EINSATZBEREICHE liegt der Anteil in ersterem bei 2,8 Prozent, in zweiterem bei acht Prozent.³³⁷ Um das Ziel für den beobachteten Bereich zu erreichen, sind folglich zusätzliche Maßnahmen notwendig. Die Steigerung der Diversität der Energieversorgung im Verkehrssektor trägt wesentlich zu einer erhöhten Versorgungssicherheit bei.

Ein weiteres Ziel ist die Reduktion der Emission der Treibhausgase um mindestens 16 Prozent (Basisjahr 2005). Da für die beobachtete Gruppe keine genauen Daten für das genannte Basisjahr vorliegen, werden wiederum die zwei genannten Szenarien verglichen. Eine Reduktion von 16 Prozent zum Basisjahr bedeutet eine Reduktion auf 257.124 t. Im Szenario E-EINSATZBEREICHE wird eine Reduktion um 20 Prozent erreicht. Das Ziel würde für den beobachteten Bereich somit erreicht.

Bezüglich des Endenergiebedarfs lauten die Ziele je nach Quelle „Stabilisierung bis 2020“ (Basisjahr 2005) oder „Reduktion um 9 Prozent bis 2016“ (Basiszeitraum 2000-2005). Gegenüber dem Szenario BASIS wurde im Szenario E-EINSATZBEREICHE eine Reduktion des Endenergiebedarfs um 17 Prozent errechnet – Batterieherstellung nicht einberechnet. Das Ziel würde damit erreicht werden.³³⁸

Zur Nachfrage elektrischer Energie im zeitlichen Verlauf: Im Szenario E-EINSATZBEREICHE entsteht an Werktagen ein zusätzlicher Strombedarf von jährlich 43 GWh. Das entspricht 1,6 Prozent des Bedarfs elektrischer Endenergie Vorarlbergs im Jahr 2010³³⁹. Selbst bei ungesteuerter Ladung würden Lastspitzen der Stromnachfrage voraussichtlich nicht wesentlich erhöht werden. Eine genaue Prüfung des Ladeverhaltens ist jedoch vorzunehmen.

Ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von elektrischen Fahrzeugen wird die Batterieherstellung sowie die Beschaffung der nötigen Rohstoffe darstellen. Diesbezügliche Szenarien sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Die Kosteneffizienz elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel wird wesentlich von der Preisentwicklung für Fahrzeuge und Energie abhängen. Auch dies ist nicht Gegenstand dieser Arbeit.

³³⁷ Bahnstrom: 93 % des Bahnstrombedarf ist aus erneuerbarer Primärenergie, Strom des Verbund: 91 % aus erneuerbarer Energie

³³⁸ Allerdings ist hierbei kein zeitlicher Ablauf berücksichtigt. Bei der zu erwartenden steigenden Bevölkerungszahl, muss für eine Stabilisierung des Endenergiebedarfs Österreichs, der Energiebedarf pro Person sinken.

³³⁹ vgl. V-LRG, 2011, S.8

7.3.2 Analyse – Wirkungsbereich Mobilität

Das Beispiel des Pendlermodells zeigt das hohe Energiesparpotential bei Verwendung jeweils geeigneter Verkehrsmittel für einzelne Abschnitte eines Weges. Die Reisezeit von Gaschurn nach Bregenz beträgt alleine mit dem PKW 55 Minuten. Bei Verwendung von PKW und Bahn ab Schruns beträgt die Reisezeit 66 Minuten Bahnfahrt zuzüglich 14 Minuten PKW-Fahrt – insgesamt also 80 Minuten. Ein wichtiger Ansatz kann es sein, für lange Distanzen die Benutzung des Schienenverkehrs zu fördern. In Gebieten, in denen schwierige Bedingungen für den ÖV herrschen, können Elektrofahrzeuge eine sinnvolle Ergänzung darstellen. Für Städte wurde bereits erläutert, dass ÖV und nicht-motorisierte Verkehrsarten die Grundlage der persönlichen Mobilität weitgehend sicherstellen. Das Pedelec erweitert zudem den Einsatzbereich von Fahrrädern und kann so die Verkehrsmittelaufteilung zu Gunsten von nicht- bzw. leicht motorisierten Fahrzeugen verschieben. Bei hoher Bevölkerungsdichte ist auch die Einrichtung von Modellen der geteilten Fahrzeugnutzung geeignet. Im betrachteten Bundesland Vorarlberg wäre dies für den Zentralraum Rheintal denkbar.

7.3.3 Analyse – Wirkungsbereich Lebensraum

Die Einsparungen des Szenario E-EINSATZBEREICHE gegenüber dem Szenario BASIS beträgt für NO_x und NO₂-Emissionen – sowohl in der Vorkette als auch am Betriebsort des Fahrzeuges – zwischen 20 und 25 Prozent. Ähnliche Reduktionen zwischen 19 und 24 Prozent sind auch für die Schadstoffe Schwefeldioxid, NMVOC/NMHC, Benzol, NO₂ und Partikel zu verzeichnen. Bei Kohlenwasserstoffen beträgt die errechnete Reduktion 10 Prozent.

Einfluss auf den Flächenbedarf ist durch Elektromobilität in den behandelten Szenarien durch den verstärkten Einsatz von Pedelecs möglich, der gegebenenfalls die Notwendigkeit eines PKWs verringern kann. Durch Park & Ride außerhalb der Städte kann der ruhende Verkehr in den Städten vermindert werden. Wie bereits erwähnt, besteht jedoch das Risiko, dass die geringen Betriebskosten von Elektrofahrzeugen für Energie, eine verstärkte Verwendung dieser im Alltag auch bei kurzen Wegen bewirken. Elektrofahrzeuge können den Lebensraum für Mensch und Natur bei Einsatz von erneuerbaren Primärenergieträgern bzw. am Betriebsort der Fahrzeuge hinsichtlich Luftqualität und Lärmimmissionen verbessern. Positive Auswirkungen auf Flächenbedarf, Trennwirkung, Stadt- und Landschaftsbild sind durch Verwendung dieser Antriebstechnologie jedoch nicht zu erreichen.

8 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Wie eingangs der Arbeit erläutert, ist es Aufgabe der Raum- sowie der Verkehrsplanung, sich laufend mit ändernden sozialen, ökologischen und ökonomischen Rahmenbedingungen auseinanderzusetzen. Dabei sind zu berücksichtigen:

- Wirkungen des bestehenden Systems
- Zukünftige Anforderungen und Rahmenbedingungen
- Zukünftige Möglichkeiten

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde – hinsichtlich des österreichischen Personenverkehrs – auf alle drei Punkte eingegangen, insbesondere jedoch auf zukünftige Möglichkeiten, die u.A. durch elektrisch unterstützt angetriebene Verkehrsmittel erweitert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse dazu stellen sich wie folgt dar:

8.1 Wirkungen des bestehenden Systems

Der Personenverkehr in seiner derzeitigen Organisation führt zu einer Reihe von Wirkungen auf die Bereiche Energie, Mobilität und Lebensraum. Es folgt eine Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse (Details siehe Kapitel 4.4)

Wirkungsbereich Energie

Im Jahr 2008 wurden in Österreich 105 TWh für Mobilität aufgewandt. (Ziel: 102 TWh bis zum Jahr 2020³⁴⁰) Das sind rund 35 Prozent des energetischen Endverbrauches Österreichs.³⁴¹ Davon wurden knapp 90 Prozent durch Öl, knapp 3 Prozent durch Gas, 4,5 Prozent durch erneuerbare Energien und 3,1 Prozent durch elektrische Energie abgedeckt.³⁴² (Ziel: 10 Prozent Erneuerbare im Jahr 2020³⁴³) Daraus folgt eine hohe Relevanz der Energieversorgung des Verkehrs für die Energiewirtschaft insgesamt. Die Tatsache, dass die energetische Versorgung des Verbrauchszwecks Mobilität zu knapp 90 Prozent von Erdölprodukten – und damit von einigen wenigen Lieferländern und Transitrouten – abhängig ist, bedingt eine Reihe von Problemen:

- Erstens: Österreichs Wirtschaft aber auch soziale Aktivitäten sind stark von der Möglichkeit sowie den Kosten der Raumüberwindung von Menschen und Gütern abhängig. Diese basiert mit Erdöl größtenteils auf einem einzelnen nicht-erneuerbaren Rohstoff.
- Zweitens: Insbesondere unter den Lieferländern Österreichs – z.B. Russland, Kasachstan, Nigeria, Saudi Arabien, Iran und Libyen³⁴⁴ – ist die politische Situation bezüglich wirtschaftlicher und politischer Stabilität sowie der Umgang der Regierenden mit Menschenrechten zum Teil problematisch. Der hohe Grad der wirtschaftlichen Abhängigkeit von Öllieferungen erschwert ein kritisches Auftreten Österreichs gegenüber Menschenrechtsverletzungen in diesen Ländern.
- Drittens: Fossile Brennstoffe werden direkt im Fahrzeug in Otto- oder Dieselmotoren verbrannt – einhergehend mit Schadstoffemissionen am Einsatzort der Fahrzeuge. Der Well-to-Wheel-Wirkungsgrad liegt lediglich bei 16,5 bis 19 Prozent (Details siehe Kapitel 3.3.1.3).

³⁴⁰ vgl. BM WFJ, E-STR, 2010, S. 38

³⁴¹ vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.47

³⁴² vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.47

³⁴³ vgl. Richtlinie 2009/28/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009

³⁴⁴ vgl. HP: OMV, 2011

Wirkungsbereich Mobilität

Durch zunehmenden Wohlstand, wachsenden Wohnraumverbrauch pro Person, Trennung verschiedener Lebensbereiche und PKW-orientierte Siedlungsentwicklung, stieg der Mobilitätsbedarf in Österreich in den vergangenen Jahrzehnten an. Dies spiegelt sich im Besitz von Fahrzeugen, Lenkberechtigungen und ÖV-Zeitkarten wieder (siehe Kapitel 4.2 sowie 4.3). Die zurückzulegenden Distanzen, sowie die zu deren Überwindung verfügbaren Verkehrsmittel, hängen jedoch stark von siedlungsstrukturellen Verhältnissen und den persönlichen Rahmenbedingungen der Nutzerinnen ab. So ist bspw. der Zusammenhang zwischen Motorisierungsgrad und Siedlungsstruktur (vergleiche: Niederösterreich und Vorarlberg) oder Altersgruppe und Verkehrsmittelwahl belegbar.

In den Kernstädten sowie großteils in Ballungsgebieten ist eine steigende Vielfalt an Mobilitätsangeboten durch ÖV, Taxiverkehr sowie zum Teil durch Carsharing- und Radverleihsysteme zu verzeichnen. Auch der Mobilitätsbedarf von mobilitätseingeschränkten Personen sowie Kindern und Jugendlichen wird dort großteils gedeckt. Es kann angenommen werden, dass in diesen Gebieten ein hohes Reduktionspotential für Besitz und Nutzung von PKW besteht, das auszuschöpfen bei den prognostizierten steigenden Bevölkerungszahlen zunehmend an Bedeutung gewinnen wird. In diesem Zusammenhang ist insbesondere der hohe Flächenbedarf (v.a. an öffentlichem Raum) dieser Verkehrsart zu erwähnen. Flächen für Fuß- und Radverkehr sind aufgrund dessen zum Teil stark beengt. Ein infolge mindernder Einfluss auf deren Nutzung kann vermutet werden. An den Rändern von Ballungsräumen sowie in peripheren Gebieten ist die Versorgung mit Mobilitätsangeboten teils lückenhaft. In diesen Gebieten schließen hohe zu überwindende Entfernungen zwischen verschiedenen Nutzungen sowie große Distanzen zu (hochrangigen) ÖV-Stationen, die Deckung des Mobilitätsbedarfs durch öffentliche Linienverkehre, Fuß und Radverkehr vielfach aus. Hier ist eine starke Abhängigkeit von Verkehrsmitteln des MIV (zumindest als Zubringer zu ÖV-Stationen) zu beobachten. Mobilitätseingeschränkte Personen sowie Kinder und Jugendliche unter 15 Jahren sind in diesen Gebieten in ihrer Selbstständigkeit beeinträchtigt.

Sowohl im fließenden (Straße und Schiene) als auch im ruhenden Verkehr sind die (räumlichen) Kapazitäten begrenzt. So kommt es zu Spitzenverkehrszeiten auf einzelnen Streckenabschnitten immer wieder zu Überschreitungen der Leistungsfähigkeit von Verkehrsanlagen. Dies betrifft insbesondere den Straßenverkehr (z.B. an hochrangigen Einfallsstraßen in die Kernstädte) sowie den ruhenden Verkehr in Stadtgebieten. Als Reaktion darauf erfolgt der Ausbau von Park & Ride-Kapazitäten an hochrangigen ÖV-Stationen im Stadtumland bzw. an den Grenzen der Kernstädte.

Die realisierbaren Geschwindigkeiten von Verkehrsmitteln hängen von einer Reihe einschränkender Faktoren ab, welche die zeitliche Konkurrenzfähigkeit der Verkehrsmittel untereinander erheblich verschieben. So ist die Reisezeit mit PKW durch Staus und Parkplatzsuchverkehr zum Teil stark erhöht. Aus diesem Grund können z.B. im Stadtverkehr Verkehrsmittel zeitlich konkurrenzfähig sein, deren technisch mögliche Höchstgeschwindigkeiten unter jenen konventioneller PKW liegen (z.B. Fahrräder, Kleinkrafträder, Leichtkraftfahrzeuge). Im ÖV können insbesondere U-Bahn, S-Bahn sowie der Schienenfernverkehr zeitliche Vorteile bieten.

Wirkungsbereich Lebensraum

Zu den wichtigsten Wirkungen des Verkehrssektors zählen lokal Immissionen von Lärm- und Schadstoffen sowie auf globaler Ebene negative Umweltwirkungen durch die Erderwärmung infolge steigender Treibhausgasemissionen. Während Bemühungen zur Reduktion von THG-Emissionen in anderen Wirtschaftssektoren Wirkung zeigen, steigt der Ausstoß des Sektors Verkehr weiter – von 1990 bis 2007 um 24 Prozent auf europäischer Ebene. In Österreich nahmen

die THG-Emissionen in diesem Zeitraum im Personenverkehr sogar um 35 Prozent zu. Dies wird zurückgeführt auf die gestiegene Verkehrsleistung (siehe Kapitel 4.3.1) und den Export von Kraftstoffen.^{345 346} Andere Schadstoffemissionen sind dank verbesserter Technologien in den Fahrzeugen in den letzten Jahrzehnten stark gesunken. Bei einzelnen Schadstoffen kommt es dennoch zu Überschreitungen der gesetzlich festgelegten Grenzwerte, insbesondere bei Stickoxiden (NO_x bzw. NO₂) und Partikeln. Bezüglich Lärms steigt der Anteil jener, die sich in ihrer Wohnung durch Lärm belästigt fühlen. Im Jahr 2007 waren 39 Prozent der österreichischen Bevölkerung davon betroffen. Hauptverursacher war dabei der Verkehrslärm, von dem sich 25 Prozent der Bevölkerung gestört fühlten.³⁴⁷ Als Einflussfaktoren dieser Entwicklung seien genannt: steigende Verkehrsleistungen, der steigende Anteil des Schwerverkehrs³⁴⁸ sowie die Bevölkerungszunahme in Ballungsräumen.

In den letzten Jahrzehnten orientierte sich Siedlungsentwicklung stark an den Möglichkeiten und Bedürfnissen des MIV. Daraus resultierte verstärkt Flächenverbrauch in Form disperser Siedlungsstrukturen (Geschäftsflächen am Ortsrand, Wohnbauten fernab von Arbeitsort und Einrichtungen des täglichen Bedarfs) und der daraus resultierenden Notwendigkeit weiterer Verkehrsanlagen. Die Entwicklung des Flächenverbrauchs durch Bau- und Verkehrsflächen in Österreich zeigt verglichen mit der Bevölkerungsentwicklung – mit 6 Prozent zu 2,6 Prozent von 2004 bis 2011 – überproportional hohe Zuwächse.^{349 350} Neben dem primären Verbrauch von Flächen für verkehrliche Anlagen, sind weitere Flächen qualitativ von Auswirkungen durch Verkehrsanlagen und deren Betrieb betroffen (siehe auch Kapitel 4.1).

Bezüglich ihres Flächenbedarfs im ruhenden Verkehr unterscheiden sich die verschiedenen Verkehrsmittel stark voneinander (Details siehe Kapitel 4.2). Dies ist umso mehr von Bedeutung, als private Fahrzeuge den Großteil des Tages nicht bewegt werden (siehe Kapitel 4.3.3).

8.2 Zukünftige Anforderungen und Rahmenbedingungen

Bis zum Jahr 2020 (Basis 2008) wird mit einer Zunahme der österreichischen Einwohnerzahl um etwa 4,6 Prozent gerechnet. Infolge dessen wird sich die Nachfrage nach Mobilitätsangeboten erhöhen. Aufgrund der Entwicklung der räumlichen Verteilung der Wohnbevölkerung in der Vergangenheit und den prognostizierten Veränderungen für die nächsten Jahrzehnte, ist ein weiterer Bevölkerungsrückgang in Gebieten mit geringer Bevölkerungsdichte – und damit ungünstigen Bedingungen für öffentlichen Verkehr – zu erwarten. Hier sind Mobilitätsangebote gefragt, die auch bei geringer Nachfrage energie- und kosteneffizient eingesetzt werden können. In peripheren Gebieten wird zudem mit einem steigenden Anteil älterer Personen gerechnet, eine Gruppe welche besonders häufig aufgrund körperlicher Einschränkungen auf öffentliche Verkehrsmittel angewiesen ist.

Umgekehrt verhält es sich mit der Bevölkerungsentwicklung in und um größere Städte. In diesen Gebieten sind hohe Zuwächse zu verzeichnen (siehe Kapitel 4.1). Grundsätzlich herrschen in Kernstädten gute Bedingungen für die Verkehrsmittel des Umweltverbundes (Fuß, Rad, ÖV). In Stadtrand- und Stadtumlandgebieten sind verstärkt schnelle und ressourcenschonende Verkehrsverbindungen in die bzw. zwischen Zentren gefragt sowie Verkehrslösungen, die Zubringerfunktion zu diesen hochrangigen öffentlichen Verkehrsmitteln erfüllen.

³⁴⁵ vgl. Entscheidung 2002/358/EG des Rates vom 25. April 2002

³⁴⁶ vgl. UBA, KSB, 2010, S.164ff

³⁴⁷ vgl. HP: UBA, Lärm, 2011

³⁴⁸ vgl. ÖIR, 2004, S.13

³⁴⁹ vgl. UBA, UKB, 2010, S.188

³⁵⁰ vgl. HP: UBA, Flächen, 2012

Unser tägliches Leben ist hochgradig davon abhängig, dass zur Raumüberwindung körperfremde Energie zur Verfügung steht. Durch den weltweiten Bevölkerungsanstieg und den wirtschaftlichen Aufschwung in Schwellenländern wie China, Indien oder Brasilien steigt auch der weltweite Energiebedarf. Verknappung bzw. Preisanstieg werden sich infolge dessen verschärfen. Steigende Energiekosten machen Energieeffizienz in der Verkehrsorganisation zunehmend auch zu einem sozialen Thema.

8.3 Zukünftige Möglichkeiten

Wissenschaftlicher Fortschritt ermöglicht es, die bestehenden und künftigen Aufgaben im Verkehrswesen bzw. in der Raumplanung mit neuen „Werkzeugen“ effizienter zu erfüllen. Betrachtet wurden wie in Kapitel 1.1 dargelegt, folgende Ebenen:

- Potentiale und Möglichkeiten energieeffizienten Mobilitätsverhaltens
- Technologische Entwicklungen auf Systemebene
- Technologische Entwicklungen auf Fahrzeugebene

Bereits in Kapitel 3.3.4 wurde festgestellt, dass die Auswirkungen des Verkehrssystems nicht allein auf die Art der eingesetzten Antriebstechnologien bzw. die Art der Energieversorgung der Verkehrsmittel zurückgeführt werden können. Ohne grundlegend neue Mobilitätskonzepte können allein durch Umstieg auf Elektrofahrzeuge die negativen Wirkungen des Verkehrssystems – auf Flächenverbrauch, Stadt- und Landschaftsbild, Kleinklima, Trennwirkung durch Verkehrsinfrastrukturen und optische Reize – nicht vermindert werden. Vorteile von Elektromobilität gegenüber Verbrennungskraftmaschinen sind ausschließlich in den Bereichen Lärm und Erschütterungen, Energiebedarf und Schadstoffemissionen zu erreichen.

Um die künftigen Anforderungen im Personenverkehr erfüllen zu können, sind bei der Gestaltung des Verkehrssystems neben dem Einsatz alternativer Antriebstechnologien, Kenntnisse und Entwicklungen in anderen Bereichen zu berücksichtigen.

Potentiale und Möglichkeiten zur Förderung von energieeffizientem Mobilitätsverhalten

In Kapitel 4 wurden Mobilitätsbedürfnisse und -verhalten der Bevölkerung der Bundesländer Niederösterreich und Vorarlberg analysiert. Daraus lässt sich ablesen, dass auch ohne den Einsatz elektrisch unterstützter Verkehrsmittel, Potentiale zur Steigerung der Energieeffizienz im Personenverkehr vorhanden sind. Es wird nun dargelegt in welchen Bereichen derartige Potentiale vorhanden sind und wie sie künftig genutzt werden können.

Verkehr vermeiden: Mobilitätsbedürfnisse sind maßgeblich von den siedlungsstrukturellen Gegebenheiten abhängig. Das effektivste Mittel um den Energiebedarf und negative Wirkungen des Verkehrssystems langfristig zu senken, ist der Aufbau und Erhalt von Strukturen die verkehrsvermindernd wirken bzw. eine energieeffiziente Organisation des Verkehrs begünstigen. Entsprechende Rahmenbedingungen werden maßgeblich durch Raumplanungsgesetze, Flächenwidmung, Bauvorschriften, Parkraumorganisation etc. vorgegeben.

Verkehr verlagern: Einen weiteren Baustein zur Steigerung der Energieeffizienz im Personenverkehr stellt die Verkehrsverlagerung dar. Wege, die nicht vermieden werden können, sollen jeweils durch die Verkehrsart mit der geringsten Umweltwirkung realisiert werden. Die Mobilitätsbedürfnisse in einer bestimmten Situation werden von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Diesen steht eine Palette an Möglichkeiten zur Raumüberwindung gegenüber. Wir wissen aus Kapitel 4.3.1 (Abbildung 14), dass ein hoher Prozentsatz der Wege eines Werktages in Niederösterreich und Vorarlberg die derzeit mit dem PKW zurückgelegt werden – bezüglich ihrer

Distanz – grundsätzlich auch durch Fuß- und Radverkehr oder auch Pedelecs und Kleinkrafträder realisiert werden könnten. Bei Betrachtung der tatsächlichen Verkehrsmittelwahl wird ein hohes Verlagerungspotential zu nicht-motorisierten Verkehrsarten offenbar.³⁵¹ Nur bei einem geringen Prozentsatz der Wege übersteigt die Weglänge die Reichweite von elektrisch unterstützt angetriebenen Fahrzeugen (siehe Kapitel 4.3.2, Abbildung 21).³⁵² Erhebungen zur komodalen Mobilität der österreichischen Bevölkerung legen nahe, dass Fahrrad und ÖV von vielen Menschen bei der persönlichen Verkehrsmittelwahl überhaupt nicht berücksichtigt werden (siehe Kapitel 4.3.2). Bei reiner Betrachtung der Weglängen und Tageswegdistanzen besteht also Verlagerungspotential zu energieeffizienteren Verkehrsarten.

Nun sind aber Besitz und Nutzung von Fahrzeugen im MIV eng aneinandergekoppelt und es kann nur genutzt werden was auch besessen wird. Beim Fahrzeugkauf werden daher häufig hohe Anforderungen an Reichweite, Geschwindigkeit oder Beförderungskapazität von Fahrzeugen gestellt; Kapazitäten die im Alltag nur selten ausgeschöpft werden, jedoch den Energiebedarf und den Flächenverbrauch der Fahrzeuge permanent, über das notwendige Maß hinaus, auf hohem Niveau halten. Privatfahrzeuge sind folglich für einen Großteil ihrer Einsätze überdimensioniert und werden damit ineffizient eingesetzt. Dies gilt auch für die zeitliche Auslastung über den Tag, da private Fahrzeuge den Großteil des Tages nicht bewegt werden (siehe Kapitel 4.3.3).

- Entkopplung von Besitz und Nutzung von Verkehrsmitteln: Ein Teil des Potentials zur Verkehrsverlagerung auf energieeffizientere Mobilitätsarten kann durch Mobilitätsangebote erreicht werden, in deren Rahmen Besitz und Nutzung voneinander entkoppelt werden. Vielfalt und Angebotsdichte von Organisationsformen zur Mobilitätsbewältigung wie Carsharing, Radverleihsysteme, Carpooling, Taxis, (flexibler) ÖV etc. sind in den letzten Jahren bereits gestiegen und sollen weiter forciert werden. Begünstigt wird diese Entwicklung durch steigende Bevölkerungszahlen in Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte³⁵³ sowie durch den technologischen Fortschritt im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien. Insbesondere in Ballungsgebieten werden derartige Mobilitätsangebote zunehmende Bedeutung erlangen. Aber auch in locker besiedelten Gebieten kann ein Angebot an Leihfahrzeugen (z.B. an hochrangigen ÖV-Stationen) oder Projekte wie eMORAIL (siehe Kapitel 6.2.1) dazu führen, dass die Notwendigkeit des Besitzes von privaten PKW bzw. von Zweit- oder Drittfahrzeugen sinkt bzw. dass als Privatfahrzeuge für den Alltag geringere Anforderungen an diese bezüglich Geschwindigkeit, Reichweite, Beförderungskapazität etc. gestellt werden und damit sparsamere Verkehrsmittel wie Pedelecs, Krafträder, Leichtkraftfahrzeuge oder Klein-PKW (eventuell als Batteriefahrzeug) eingesetzt werden.

Durch die vom Fahrzeugbesitz entkoppelte Nutzung, ergeben sich positiver Effekte auf Mobilitätsverhalten der Nutzerinnen und Art der eingesetzten Fahrzeuge. Bei der Verkehrsmittelwahl liegt der Fokus nicht mehr auf dem Privatfahrzeug sondern richtet sich auf eine größere Bandbreite von Mobilitätsangeboten, aus denen je nach den konkreten Erfordernissen des Weges flexibel ausgewählt wird.³⁵⁴ Das eröffnet Raum für spezialisierte

³⁵¹ Auf die Höhe des Verlagerungspotentials von MIV zu ÖV können keine Schlüsse gezogen werden.

³⁵² An Sonntagen stellt sich die Verteilung der Weglängen anders dar. Es werden weniger Wege realisiert. Diese dafür bei höherem Besetzungsgrad im MIV und höheren Weglängen. Entsprechend höhere Anforderungen stellen sich an Reichweite und Beförderungskapazität der eingesetzten Fahrzeuge.

³⁵³ Bei steigender Bevölkerungsdichte sinkt die Notwendigkeit bzw. die Attraktivität eines privaten PKW, da alternative Verkehrsmittel zur Verfügung stehen bzw. Verkehrsinfrastrukturen für fließenden und ruhenden Verkehr häufig überlastet sind und deren Nutzung z.T. mit Kosten verbunden ist. Für Modelle geteilter Nutzung hingegen ist eine hohe Nutzerdichte von Vorteil.

³⁵⁴ Bei privaten PKW stellt der Kaufpreis der Fahrzeuge den größten Kostenfaktor dar. Bei der Nutzung des privaten PKW für eine einzelne Fahrt, werden diese Kosten nicht mehr unmittelbar wahrgenommen, sodass die Nutzung des PKW im Vergleich zu anderen Mobilitätsangeboten besonders günstig erscheint. Umgekehrt

Fahrzeuge und führt, entsprechend der tatsächlichen Einsatzzwecke, zum verstärkten Einsatz von Kleinfahrzeugen. Je nach Anforderung können aber auch andere Fahrzeugarten z.B. für Ausflüge oder Urlaubsfahrten genutzt werden. Die Nutzungskosten sind üblicherweise nach Fahrzeuggröße gestaffelt und fördern damit wiederum eine effiziente Verkehrsmittelwahl. PKW werden insgesamt sparsamer eingesetzt, sind besser ausgelastet und verzeichnen hohe Kilometerleistungen über ihre Lebensdauer. Schon aus Kostengründen legen Betreiber daher Wert auf einen niedrigen Treibstoff- bzw. Energieverbrauch ihrer Fahrzeuge. Die genannten positiven Effekte der vom Fahrzeugbesitz entkoppelten Nutzung auf das Mobilitätsverhalten von Nutzerinnen und die Art der eingesetzten Fahrzeuge haben hohes Potential sich mindernd auf Flächenverbrauch, sowie Lärm- und Schadstoffemissionen auszuwirken.

Für Elektromobilität ergeben sich daraus mehrere Ansatzpunkte. Erstens: Das Risiko, das mit dem Kauf eines Elektrofahrzeuges einhergeht (z.B. Lebensdauer der Batterie) wird nicht von der Nutzerin getragen. Infolge steigt die Bereitschaft Elektrofahrzeuge einzusetzen. Zweitens: Bei flexibler Verkehrsmittelwahl werden verstärkt auch öffentliche Verkehrsmittel genutzt. Schienenverkehre und O-Busse sind bereits größtenteils elektrifiziert. Auch bei Linienbussen steigt die Bandbreite der eingesetzten Technologien. In Folge werden auch hier Elektroantriebe zunehmend an Bedeutung gewinnen. Drittens: Durch die gezielte Auswahl von Fahrzeugen nach den jeweiligen Erfordernissen werden v.a. Kleinfahrzeuge eingesetzt. Diese eignen sich gut für die Auslegung als Batteriefahrzeuge. Insbesondere die Anforderungen des Stadtverkehrs (kurze Distanzen, zahlreiche Brems- und Beschleunigungsvorgänge, niedrige Geschwindigkeiten, Sensibilität gegenüber Lärm- und Schadstoffemissionen) kommen den Eigenschaften von Elektrofahrzeugen entgegen.

Nicht in allen Gebieten und für alle Nutzerinnen können Modelle geteilter Nutzung eingesetzt werden, um die individuellen Mobilitätsbedürfnisse zu befriedigen. Gerade in peripheren Gebieten sind (motorisierte) Individualverkehrsmittel notwendig. Allerdings sind bei längeren Wegen häufig einzelne Teilstrecken sehr wohl dazu geeignet durch andere Verkehrsmittel realisiert zu werden.

- Einen weiteren Baustein zur Verlagerung von MIV auf energieeffizientere Verkehrsmittel, stellt daher die Schaffung attraktiver Übergangsmöglichkeiten zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln dar, insbesondere der Zugang zu öffentlichen Verkehrsmitteln. Da in peripheren Regionen öffentliche Linienverkehre allein nicht ausreichen um die Mobilitätsbedürfnisse der Bevölkerung zu befriedigen, werden zumindest für Teilstrecken eines Weges Verkehrsmittel des Individualverkehrs eingesetzt. Um die Nutzung von ÖV auf jenen Teilstrecken von Wegen attraktiver zu machen, die durch öffentliche Linienverkehre effizient abgedeckt werden können, sind an den Übergängen ausreichende Abstellflächen für Kfz und Fahrräder vorzusehen. Wird an den Knotenpunkten zusätzlicher Nutzen durch weitere Mobilitätsangebote, Geschäfte, Gastronomie, Information, Fahrzeugservice etc. gestiftet, steigert das die Attraktivität des ÖV weiter bzw. können in Folge auch Wege vermieden werden.

Für Elektromobilität ergeben sich daraus mehrere Ansatzpunkte. Erstens: Lange Standzeiten in P & R bzw. B & R-Anlagen bieten gute Voraussetzungen für die

ist es bei der Nutzung von Mobilitätsangeboten, bei denen Nutzung und Besitz der Fahrzeuge entkoppelt sind. Die Hauptkomponente der Nutzungskosten sind jene, die für die konkreten Fahrten berechnet werden. Dadurch werden die Kosten der Raumüberwindung durch die verschiedenen Verkehrsmittel, und damit auch jene des PKW, unmittelbar bei Nutzung des Verkehrsmittels spürbar. Das mindert die Attraktivität des PKW gegenüber anderen Mobilitätsangeboten. Untersuchungen zeigen, dass PKW-Fahrten von Carsharing-Nutzerinnen gezielter und damit sparsamer eingesetzt werden (vgl. HP: EC, 2012).

Langsamladung von Batteriefahrzeugen. Die Einrichtung von Abrechnungssystem, zeitlicher Steuerung der Ladung sowie die Realisierung des Konzeptes Vehicle-to-Grid werden dadurch begünstigt, dass eine größere Anzahl von Batteriefahrzeugen konzentriert an einem Ort abgestellt und geladen wird. Zweitens: Auch Service und Reparaturen an Elektrofahrzeugen können konzentriert in der Station erfolgen. Da gerade in der Anfangszeit die Anzahl von spezialisierten Fachwerkstätten gering sein wird, können Nutzerinnen auf diese Weise mitunter lange Fahrten zur nächsten Fachwerkstatt erspart werden.

Ein weiterer Ansatzpunkt zur Förderung einer energieeffizienten Verkehrsmittelwahl stellen die individuellen Mobilitätsbedürfnisse einzelner Nutzergruppen (charakterisiert durch Alter, Beschäftigung etc.) dar. Ihnen stehen jeweils unterschiedliche Ressourcen, wie Zeit, Geld, körperliche Fähigkeiten und dergleichen zur Verfügung. Auch dominieren unterschiedliche Mobilitätszwecke. Dies spiegelt sich in der Verkehrsmittelwahl wieder und kann genutzt werden um gezielt Mobilitätsangebote für die Bedürfnisse der unterschiedlichen Gruppen zu entwickeln.

- Die Nutzung von Verkehrsmitteln des Umweltverbundes ist in den Altersgruppen der 6 bis 17-jährigen sowie den über 64-jährigen am höchsten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die finanziellen Mittel geringer, die zur Verfügung stehende Zeit jedoch höher ist. Der Zugang zu Kraftfahrzeugen ist aus rechtlichen oder körperlichen Gründen eingeschränkt.

Dieses aus umweltpolitischer Sicht günstige Mobilitätsverhalten von Jugendlichen wird oft beim Erreichen des Erwachsenenalters – hin zu verstärkter PKW-Nutzung – geändert. In welchem Ausmaß dies auf objektiv geänderte Mobilitätsbedürfnisse zurückzuführen ist muss geprüft werden. Eine Rolle spielen jedoch auch geänderte Möglichkeiten, wie zunehmende finanzielle Mittel und in Folge der Erwerb von Führerschein und PKW. Wie stark subjektive Beweggründe (bspw. das eigene Auto als Symbol der Selbstständigkeit) für den sprunghaft steigenden Anstieg von PKW-Besitz und -Nutzung verantwortlich sind, ist nicht bekannt. Es kann jedoch lohnend sein, sich damit zu beschäftigen um diese Gruppe gezielt mit alternativen Mobilitätsangeboten zu erreichen.

Die höchsten Mobilitätsbedürfnisse zeigen sich in der Altersgruppe der 35 bis 49-jährigen. Der Anteil der Erwerbstätigen in dieser Gruppe ist hoch, wodurch vermehrt Arbeits- und Dienstwege anfallen, welche die höchsten durchschnittlichen Weglängen aufweisen. Auch Bring- und Holwege (z.B. von Kindern und älteren Verwandten) sind in dieser Gruppe besonders relevant. Das alles geht einher mit hohen Mobilitätsansprüchen an Transportkapazitäten, Geschwindigkeit und Flexibilität (auch: Reichweite). Für die Erfüllung dieser Ansprüche wird häufig (mindestens) ein privater PKW herangezogen. Jedoch bietet gerade die Regelmäßigkeit von Arbeitswegen ein hohes Verlagerungspotential (zumindest in Teilstrecken) zum klassischen ÖV oder auch Carpooling.

Für Elektromobilität ergeben sich daraus mehrere Aspekte. Erstens: Besonders bei (männlichen) Jugendlichen sind Kleinkraftträder beliebte Verkehrsmittel. Pedelects könnten fallweise Kleinkraftträder ersetzen. Weiters können durch Batterie-Kleinkraftträder, Lärm- und Schadstoffemissionen dieser Verkehrsart erheblich reduziert werden. Ein früher Kontakt mit dieser Antriebsart kann im Erwachsenenalter helfen, Vorbehalte abzubauen. Zweitens: Im Alter lassen die körperlichen Fähigkeiten häufig nach. Durch leichte Motorisierung, z.B. in Form von (Elektro-)Leichtkraftfahrzeugen oder Pedelects kann die selbstständige Mobilität mitunter länger erhalten bleiben. Drittens: Insbesondere bei Vorhandensein von mehreren PKW in einem Haushalt kann eine Spezialisierung der

Fahrzeuge hinsichtlich Art, Größe oder auch Antriebstechnologie sinnvoll sein. Aufgrund der hohen Distanzen, die für Arbeitswege zurückgelegt werden, ist bei diesen das Einsparungspotential durch Verwendung energieeffizienter Mobilitätsarten besonders hoch.

Der öffentliche Verkehr stellt das Rückgrat unserer Mobilitätsversorgung dar. Zahlreiche Personengruppen sind aus unterschiedlichen Gründen auf öffentliche Verkehrsmittel angewiesen. Dazu gehören bspw. Kinder und Jugendliche, Personen, die aus körperlichen Gründen in ihrer Mobilität eingeschränkt sind, Personen, die nicht über ein eigenes Kraftfahrzeug verfügen, Touristen etc. Besonders in Ballungsräumen ist öffentlicher Raum ein knappes Gut. Der geringen Flächenverbrauch öffentlicher Verkehrsmittel – bezogen auf die Anzahl der beförderten Personen – ermöglicht ausreichende Kapazitäten für Fahrten, die nur im MIV realisierbar sind. Dazu gehören beispielsweise Wirtschaftsverkehre, Krankentransporte sowie Fahrten von Polizei, Feuerwehr und dergleichen.

- Die Verlagerung von MIV zu öffentlichen Verkehrsmitteln ist daher zu forcieren. Dazu ist eine enge Zusammenarbeit der unterschiedlichen Verkehrsverbände und Mobilitätsanbieter nötig, um potentiellen Kundinnen den Überblick über die breite Palette der unterschiedlichen Mobilitätsangebote zu ermöglichen. Anzustreben ist auch ein gemeinsames Abrechnungssystem, sodass (z.B. mit einer Karte) der Zugang zu allen Mobilitätsalternativen schnell und einfach möglich ist. Begünstigt wird die Entwicklung solcher Lösungen durch den Fortschritt der IKT.

Für Elektromobilität ergeben sich im ÖV mehrere Ansatzpunkte. Erstens: Durch die regelmäßigen Fahrtmuster öffentlicher Verkehrsmittel, sind Infrastrukturen zu deren energetischer Versorgung gut an deren Bedürfnisse anzupassen. Zweitens: Die höhere Effizienz von Elektromotoren, insbesondere im Teillastbereich sowie die Möglichkeit bei Batterie- und stromleitungsgebundenen Fahrzeugen zur Rekuperation von Bremsenergie, können bei typischen Fahrtmustern im Linienbetrieb zu erheblichen Einsparungen führen. Dies gilt umso mehr, als öffentliche Verkehrsmittel über ihre Lebensdauer hohe Kilometerleistungen erbringen.

Entwicklungen auf Systemebene

Technologische Entwicklungen, die auf Systemebene ansetzen, betreffen insbesondere Informations- und Kommunikationstechnologien sowie die Energiewirtschaft.

Die Entwicklungen der letzten Jahre im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien bieten völlig neue Möglichkeiten der Verkehrsorganisation.

IKT ermöglichen potentiellen Nutzerinnen bspw. mittels (mobilem) Internet den Zugang zu Informationen bezüglich vor Ort verfügbarer Mobilitätsangebote sowie deren Eigenschaften hinsichtlich Kosten, Zeit, Barrierefreiheit, Ressourceninanspruchnahme etc. Dies dient Nutzerinnen dazu, flexibel und situationsangepasst Entscheidungen zu treffen, einerseits bezüglich der jeweiligen Verkehrsmittelwahl vor Ort, andererseits bereits im Vorfeld bei der Wahl des Wohn- oder Arbeitsortes.

IKT ermöglichen den Informationsaustausch zwischen Anbieterinnen und Nutzerinnen von Mobilitätsdienstleistungen und Verkehrsinfrastrukturen. Dies dient dazu, die Auslastung von Verkehrsinfrastrukturen und Verkehrsmitteln zu optimieren. Auch bei der angestrebten Entkopplung von Fahrzeugbesitz und -nutzung entsteht hoher Koordinationsbedarf. Zudem werden durch IKT gemeinsame Abrechnungs- und Zugangssysteme mehrerer Mobilitätsdienstleister möglich, sodass Kundinnen bspw. mit einer Karte unterschiedliche Mobilitätsangebote nutzen können.

IKT ermöglichen den Informationsaustausch zwischen Elektrizitätsversorgern und Endverbrauchern bezüglich Umfang und Zeitpunkt von Stromangebot und -nachfrage. Dies kann dazu dienen, Lastspitzen des Strombedarfs zu verringern und so den Bedarf an Back-up Kapazitäten in Kraftwerken zu mindern. Bei künftiger Versorgung einer hohen Anzahl von Fahrzeugen durch elektrische Energie, ist eine zeitliche Steuerung der Ladung der Fahrzeuge sinnvoll. Auch die Realisierung des Konzepts Vehicle-to-Grid kann zu einer gleichmäßigeren Lastverteilung im Stromnetz beitragen (siehe Kapitel 3.3.2.1). Verzichtet man auf derartige Steuerungsmechanismen, können sich durch die ungesteuerte Ladung von Elektrofahrzeugen Nachfragespitzen elektrischer Energie erhöhen und weitere Back-up Kapazitäten nötig machen. Eng damit verbunden sind der Ausbau und die intelligente Weiterentwicklung der Netze sowie der Ausbau der Speicherkapazitäten (z.B. Pumpspeicherkraftwerke in den Alpen), da manche erneuerbare Energien wie Wind- oder Sonnenenergie im Tages- und Jahresverlauf variieren sowie eine wachsende Anzahl kleiner, dezentraler Stromerzeugungsanlagen (wie bspw. Photovoltaikanlagen auf Privathäusern) Anpassungen des Stromnetzes erfordern.

Beim Einsatz von IKT müssen immer auch Datenschutzaspekte berücksichtigt werden. Außerdem ist zu bedenken, dass die Bereitstellung und Verwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien z.B. im Rahmen der Einführung von Smart Meters, ebenfalls Energie benötigt.

In der Energiewirtschaft gewinnen erneuerbare Energien an Bedeutung, einerseits aufgrund des technologischen Fortschritts und damit zunehmender Wirtschaftlichkeit der Nutzung erneuerbarer Energieträger zur Erzeugung von Strom, Wärme und Kälte; andererseits aufgrund der zunehmenden Verknappung und damit Verteuerung endlicher Ressourcen wie Kohle, Erdöl und Erdgas bzw. negativer Umweltwirkungen, die mit deren Verwendung einhergehen. Dennoch soll bis zum Jahr 2020 der Anteil erneuerbarer Energie an der Stromaufbringung lediglich auf derzeitigem Stand gehalten werden (siehe Kapitel 3.3.1.1). Man geht bis dahin von einer Erhöhung des Stromverbrauches von durchschnittlich 1,2 Prozent pro Jahr aus.³⁵⁵ Nimmt man an, dass der Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energiequellen unabhängig von der Verbreitung von Elektrofahrzeugen erfolgt, steigt die Menge der nachgefragten elektrischen Endenergie bei gleich bleibender Strommenge aus erneuerbaren Quellen. Der Anteil der Erneuerbaren am elektrischen Endenergiebedarf würde damit sinken. Allerdings würde die in den Fahrzeugen eingesetzte elektrische Energie – bzw. bei Brennstoffzellen-Fahrzeugen, die Energie, die für die Herstellung des Treibstoffes benötigt wird – durch Kraftwerke verschiedener Art gewonnen, wodurch die starke Abhängigkeit des Verkehrs von einem einzigen Rohstoff reduziert und der Anteil erneuerbarer Energieträger an der im Verkehr eingesetzten Energie erhöht werden kann. Die Versorgungssicherheit für Energie im Verkehrssektor würde dadurch gesteigert.

Entwicklungen auf Fahrzeugebene

In dieser Arbeit wurden Fahrzeuge näher betrachtet, deren Antrieb wesentlich auf Elektromotoren basiert. Diese erreichen im Betrieb höhere Wirkungsgrade als Otto- oder Dieselmotoren, bieten die Möglichkeit zur Rekuperation von Bremsenergie, emittieren vor Ort keine Schadstoffe und sind wesentlich leiser (siehe Kapitel 3.1.2.2).³⁵⁶ Die Technologie ist ausgereift und wird seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt, z.B. in Schienenfahrzeugen. Der technologische Fortschritt auf dem Gebiet der Energiespeicher lässt zunehmend die Anwendung von Elektromotoren im Individualverkehr zu.

³⁵⁵ vgl. BM WFJ, E-STR, 2010, S.114

³⁵⁶ Die ist v.a. bei geringen Geschwindigkeiten bis etwa 40 km/h bedeutend, bei denen die Geräusche des Antriebs ausschlaggebend sind. Bei höheren Geschwindigkeiten dominieren Abroll- und Windgeräusche.

Der Tank-to-Wheel Wirkungsgrad im Fahrzeug liegt durch den Einsatz von Elektromotoren bei Brennstoffzellen-Fahrzeugen mit 40 Prozent etwa doppelt so hoch, jener von Batteriefahrzeugen mit 77 Prozent knapp viermal höher als typische Wirkungsgrade konventioneller PKW, welche bei 19 bis 22 Prozent liegen. Ähnliches gilt für Hybridfahrzeuge, bei denen aufgrund des Elektromotors, insbesondere im Teillastbereich eine Steigerung ihres Wirkungsgrades erreicht wird.

Allerdings muss auch der Well-to-Tank Wirkungsgrad der Energiebereitstellung berücksichtigt werden. Bei diesem steigen fossile Brennstoffe mit 87 Prozent verhältnismäßig gut aus. In der Bereitstellungskette von Wasserstoff, sind in Summe hohe Verluste bei Stromerzeugung, Wasserstoffherzeugung und Verdichtung bzw. Verflüssigung von Wasserstoff zu beobachten. Im besten Fall (unter Verwendung von Wasserkraft) kann ein WTT-Wirkungsgrad von 52 Prozent erreicht werden. Im ungünstigsten Fall (bei Energie aus Braunkohle) beträgt der WTT-Wirkungsgrad der Wasserstoffbereitstellung lediglich 23 Prozent. Der Wirkungsgrad der Stromerzeugung hängt wesentlich von der Art der eingesetzten Kraftwerke ab. Hinzu kommen Verluste in der Bereitstellungskette von der Erzeugung des Stroms bis zur Stromübertragung an der Steckdose. Der WTT-Wirkungsgrad der Strombereitstellung liegt in Folge zwischen 36 Prozent (bei Braunkohle) und 81 Prozent (bei Wasserkraft). In Summe werden folgende Well-to-Wheel Wirkungsgrade von Energiegewinnung bis zum Antriebsstrang erreicht:

- Verbrennungskraftmaschine: 17 Prozent (Benzinfahrzeug) bis 19 Prozent (Dieselfahrzeug)
- Batteriefahrzeug: 28 Prozent (Braunkohle) bis 62 Prozent (Wasserkraft)
- Brennstoffzellenfahrzeug: 9 Prozent (Braunkohle) bis 21 Prozent (Wasserkraft)

Mit der Bereitstellung von Energie und der Verwendung im Fahrzeug, gehen Emissionen von Treibhausgasen einher. In Summe werden folgende Well-to-Wheel Emissionen von Energiegewinnung bis zum Antriebsstrang pro kWh Nutzenergie verursacht:

- Verbrennungskraftmaschine: 1405 g (Dieselfahrzeug) bis 1668 g (Benzinfahrzeug)
- Batteriefahrzeug: 22 g (Wasserkraft) bis 1530 g (Braunkohle)
- Brennstoffzellenfahrzeug: 73 g (Wasserkraft) bis 4500 g (Braunkohle)

Folgende Schlussfolgerungen lassen sich daraus ziehen: Die hohen Verluste bei der Bereitstellung von Wasserstoff führen dazu, dass der WTW-Wirkungsgrad bei Brennstoffzellenfahrzeugen bestenfalls jenen von Verbrennungskraftmaschinen erreicht. Eine Reduktion des Energiebedarfs ist mit ihnen daher kaum zu erreichen. Mit Ausnahme von Einzelfällen, wenn bspw. Wasserstoff als Abfallprodukt der Chemieindustrie anfällt oder erneuerbare Energie in Zeiten hoher Verfügbarkeit und geringer Nachfrage zur Erzeugung von Wasserstoff herangezogen und so zwischengespeichert werden kann. Bei Herstellung von Wasserstoff unter Verwendung von Strom aus Braunkohle, liegen die THG-Emissionen dreimal so hoch wie jene von Verbrennungskraftmaschinen, im Falle der Verwendung von Wasserkraft allerdings zwanzigmal niedriger. Als Argument für eine Verwendung von Brennstoffzellenfahrzeugen kann ins Treffen geführt werden, dass vor Ort keine Schadstoffemissionen und kaum Lärm emittiert werden. Insgesamt fällt die Bilanz von Brennstoffzellenfahrzeugen jedoch eher ernüchternd aus. Im Vergleich dazu steigen Batteriefahrzeuge bei Gegenüberstellung zu Verbrennungskraftmaschinen sehr gut aus.³⁵⁷ Auch im ungünstigen Fall der Stromerzeugung aus Braunkohle liegt der WTW-Wirkungsgrad noch um 10 Prozentpunkte über jenem von Verbrennungskraftmaschinen; im günstigsten Fall dreimal so hoch. THG-Emissionen erreichen maximal das Niveau von Verbrennungskraftmaschinen. Bei Stromerzeugung aus Wasserkraft sind sie verschwindend gering.

³⁵⁷ Die Herstellung der Akkumulatoren ist in dieser Aufstellung nicht berücksichtigt.

Weder bei der Speicherung von Energie in Form von Wasserstoff noch bei der Speicherung elektro-chemischer Energie in Akkumulatoren, kann die hohe spezifische Energiedichte von fossilen Kraftstoffen erreicht werden. Das erhöht Gewicht und Größe der Energiespeicher im Fahrzeug und damit dessen Nutzenergiebedarf bzw. mindert es die Reichweite der Fahrzeuge.

Grundsätzlich ist der Einsatz von elektrisch unterstützten Antrieben für alle Arten von Fahrzeugen möglich. Je nach Verwendungsart und -ort sind unterschiedliche Antriebe zweckgemäß.

- **Pedelecs und Elektrofahrräder:** Der Einsatz von Batterie und Elektromotor zu Tretkraftunterstützung in Fahrrädern erweitert die Einsatzmöglichkeiten des Verkehrsmittels Fahrrad sowohl in räumlicher Hinsicht als auch hinsichtlich seiner Eignung für unterschiedliche Zielgruppen. Zusätzliche Infrastrukturen sind nicht zwingend notwendig, da der Akku aus dem Fahrzeug herausgenommen und an normalen 230V-Haushaltssteckdosen aus dem Niederspannungsnetz geladen werden kann. Einen Nachteil kann das zusätzliche Gewicht durch Elektromotor und Batterie darstellen, wenn das Rad ohne Tretkraftunterstützung bewegt werden soll. Insgesamt kann ein steigender Einfluss auf den Radverkehrsanteil erwartet werden. Details siehe Kapitel 3.2.1.
- **Krafträder:** Derzeit werden vor allem Kleinkrafträder als Batteriefahrzeuge angeboten. Gegenüber Benzinfahrzeugen sind mit ihnen deutlich geringere Verbrauchswerte sowie Lärmemissionen zu erreichen. Bei einer vergleichenden Berechnung des Energiebedarfs von Benzin- und Batterie-Kleinkraftrad bezogen auf die Kilometerleistung (siehe Abbildung 29) wurde der hohe Energieverbrauch durch die Herstellung des Akkumulators durch geringe Verbrauchswerte des Batteriefahrzeuges bereits nach gut 6.000 Kilometern kompensiert. Problematisch kann die Energieversorgung der Fahrzeuge sein, da die Batterie – mit Ausnahme weniger Modelle – nicht ohne weiteres aus dem Fahrzeug entnommen werden kann und daher ein Stellplatz mit Lademöglichkeit nötig ist. Die Anforderungen von NutzerInnen leistungsstärkerer Krafträder an diese v.a. bezüglich ihrer Reichweite, können von Batteriefahrzeugen derzeit noch nicht erfüllt werden. Bisher sind am Markt nur vereinzelt Brennstoffzellen-Krafträder zu finden. Der Vorteil von diesen sind eine höhere Reichweite und die Energiezufuhr durch Betankung mit Wasserstoff, sodass die Fahrzeuge nicht auf Ladeinfrastrukturen am Stellplatz angewiesen sind. Innovative Entwicklungen z.B. von selbst ausbalancierenden Batterie-Kabinenmotorrädern oder Elektromotordreirädern könnten künftig neue Einsatzbereiche und Nutzergruppen erschließen. Details siehe Kapitel 3.2.2.
- **Batterie-PKW:** Diese verursachen vor Ort keine Schadstoff- und nur geringe Lärmemissionen. Bei Vorhandensein eines Stellplatzes mit Stromanschluss, können sie bereits jetzt privat eingesetzt werden. Als Nachteil kann die begrenzte Reichweite von Batteriefahrzeugen gesehen werden, die durch Betrieb zusätzlicher Verbraucher wie einer Klimaanlage oder bei tiefen Temperaturen weiter reduziert werden kann. Je nach Art der Ladung kann diese von einer Minute (bei Batterietausch) bis zu mehreren Stunden (bei Langsamladung) in Anspruch nehmen. Vorwiegend werden kleine PKW mit geringem Nutzenergiebedarf als Batteriefahrzeuge angeboten. Bei einer vergleichenden Berechnung des Energiebedarfs von Diesel- und Batterie-Kleinwagen bezogen auf die Kilometerleistung (siehe Abbildung 29) wurde der hohe Energieverbrauch durch die Herstellung des Akkumulators durch geringe Verbrauchswerte des Batteriefahrzeuges nach etwa 22.500 Kilometern kompensiert.

- **Brennstoffzellen-PKW:** Diese verursachen vor Ort keine Schadstoff- und nur geringe Lärmemissionen. Die Reichweite von Brennstoffzellenfahrzeugen ist mit jener von konventionellen PKW vergleichbar. Die Energieversorgung erfolgt per Betankung mit Wasserstoff in einem normalen Tankvorgang. Erheblicher Nachteil ist, wie oben dargelegt, die niedrige Energieeffizienz der Energiebereitstellung und damit der gesamten WTW-Kette.
- **Hybrid-PKW:** Je nach Ausmaß der Elektrifizierung sind unterschiedliche Energieeinsparungspotentiale zu erreichen. Durch den Einsatz eines Elektromotors kann die Energieeffizienz insbesondere im Teillastbereich und bei Fahrten mit zahlreichen Brems- und Beschleunigungsvorgängen erhöht werden. Hybridfahrzeuge können auf die bestehende Tankstelleninfrastruktur zurückgreifen und sind damit sehr flexibel einzusetzen. Plug-in Hybride können zusätzlich an der Steckdose geladen werden und längere Strecken rein elektrisch und damit ohne nennenswerte Lärm- und Schadstoffemissionen zurücklegen. Nachteil ist das hohe Gewicht bzw. Volumen des Antriebssystems durch die doppelte Ausstattung. Infolge wird der Nutzenergiebedarf der Fahrzeuge erhöht sowie die Transportkapazität eingeschränkt. Die geringen Umweltwirkungen von Batteriefahrzeugen können von Hybridfahrzeugen nicht erreicht werden. Details siehe Kapitel 3.2.3.
- **Omnibusse:** Wie bei PKW, gibt es auch hier Batterie-, Brennstoffzellen und Hybridfahrzeuge mit analogen Eigenschaften. Der Vorteil von Omnibussen gegenüber Schienenfahrzeugen liegt im ÖV vor allem darin die Kursführung flexibel an die Gegebenheiten anpassen zu können (verkürzte Kursführung in Randzeiten, Ausweichen von Hindernissen). Eine weitere Fahrzeugart stellen Oberleitungsbusse dar, die in ihren Eigenschaften zwischen jenen von Omnibus und Straßenbahn liegen. Siehe Kapitel 3.2.4.
- **Schieneverkehr:** Die energetische Versorgung von Schienenfahrzeugen mittels Strom, üblicherweise per Oberleitung ist schon lange erprobt. Vorteil von Schienenverkehren allgemein ist die geringe Rollreibung, wodurch große Massen mit geringem Energieaufwand und teils hoher Geschwindigkeit bewegt werden können. Durch den Anschluss an die Oberleitung kann – bei Verwendung entsprechender Technologien – durch Rekuperation, Bremsenergie zurück in die Oberleitung gespeist werden. Details siehe Kapitel 3.2.5.

Je nach eingesetzter Technologie und Anwendungsgebiet sind unterschiedliche Arten und Orte von Infrastrukturen zur Energieversorgung notwendig.

- **Ladung von Batteriefahrzeugen:** Langsamladung wird an jenen Orten dominieren an denen lange Standzeiten von Fahrzeugen zu verzeichnen sind. Dies ist am Wohnort, am Arbeitsort sowie bei intermodalen Wegekettensystemen: an Übergängen zu anderen Verkehrsmitteln (z.B. in P & R-Anlagen) der Fall. Mit Ausnahme des Wohnortes sind entsprechende Zugangs- und Abrechnungssysteme notwendig. Grundsätzlich ist eine zeitliche Steuerung der Ladung anzustreben. Infrastrukturen für Schnellladung, Batterietausch oder Induktion sind für Nutzerinnen notwendig, denen kein privater Stellplatz mit Lademöglichkeit zur Verfügung steht oder für Fahrzeuge, deren Tageskilometerleistung ihre Reichweite übersteigt. Potentielle Standorte solcher Infrastrukturen finden sich entlang wichtiger Verkehrskorridore oder an öffentlichen Verwaltungs-, Konsum- und Freizeiteinrichtungen, in denen die Dauer einer Schnellladung anderweitig genutzt werden kann. Notwendig sind jedenfalls einheitliche Zugangs- und Abrechnungssysteme. Für den öffentlichen Verkehr bieten sich Batteriewechselstationen an Haltestellen, Betriebsgarage oder Taxistandplätzen an. Theoretisch möglich ist bei weiterem technologischen Fortschritt auch die Ladung per

Induktion während der Fahrt oder in Stationsbereichen. Gegen im öffentlichen Raum verteilte Langsamladestationen spricht, dass eine hohe Dichte an Batteriefahrzeuge notwendig ist, damit diese sinnvoll ausgelastet sind. Es wäre zu erwarten, dass solche Stellplätze nur in geringem Maße genutzt würden und in Folge wertvoller öffentlicher Raum ungenutzt bliebe. Details siehe Kapitel 3.3.2.1.

- **Betankung von Brennstoffzellenfahrzeugen:** Eine flächendeckende Versorgung mit Wasserstofftankstellen erscheint weder sinnvoll noch realistisch. Der niedrige Wirkungsgrad bei der Bereitstellung dieses Kraftstoffes, spricht gegen eine breite Verwendung. Denkbar ist die zentrale Bereitstellung von Wasserstoff für Fahrzeuge, die in begrenzten Radius eingesetzt werden (wie Linienbusse, Taxis, betriebliche Flotten); insbesondere sollte dies auf Orte konzentriert sein an denen Wasserstoff z.B. als Abfallprodukt günstig zur Verfügung steht. Sollte Nachfrage bestehen, ist auch eine Grundversorgung entlang wichtiger Verkehrsachsen möglich. Details siehe Kapitel 3.3.2.2.

Auf Fahrzeugebene können neben alternativen Antriebskonzepten künftig auch innovative Arten von Fahrzeugen dazu beitragen, den Ressourceneinsatz der Raumüberwindung zu mindern. Dazu zählen etwa Fahrzeugmodelle, deren geringe Größe, Gewicht oder erreichbare Höchstgeschwindigkeit besser auf die tatsächlichen Erfordernisse häufiger Verkehrssituationen (z.B. im Stadtverkehr) abgestimmt sind und die infolge einen geringeren Nutzenergiebedarf (siehe Kapitel 3.3.3.2) und Flächenverbrauch aufweisen. Siehe dazu Erläuterungen zu Innovationen in den Fahrzeugklassen Leichtkraftfahrzeuge und Krafträder (Kapitel 3.2.2 und 3.2.3). Der geringe Energiebedarf wiederum begünstigt die Energieversorgung der Fahrzeuge mittels Batterie.

In Kapitel 7.2 wurde am Beispiel des werktäglichen Mobilitätsverhaltens der vorarlberger Bevölkerung der Einsatz von elektrisch unterstützt angetriebenen Verkehrsmitteln in drei Szenarien³⁵⁸ simuliert. Auf Basis der Mobilitätsverhaltensbefragung 2008³⁵⁹ sowie der in Anhang 1 bis 3 dargestellten Energiebedarfs- und Emissionswerte, wurden für jedes Szenario jährlicher Endenergiebedarf und Schadstoffemissionen berechnet.

Szenario 100%ELEKTRO dient primär dazu das theoretisch mögliche Einsparungspotential durch Elektromobilität aufzuzeigen. Seine praktische Umsetzung in absehbarer Zeit ist nicht realistisch. Im Gegensatz dazu konzentriert sich bei Szenario E-EINSATZBEREICHE die Einführung von Elektromobilität auf jene Bereiche, welche durch die Eigenschaften elektrisch unterstützt angetriebener Verkehrsmittel den größten Nutzen ziehen können bzw. in welchen Elektromobilität mit dem geringsten Aufwand eingesetzt werden kann. Als prioritäre Anwendungsbereiche wurden in die Berechnung Pedelecs, Kleinkrafträder, Fahrzeugflotten in Form von ÖV und Taxis sowie private Zweit- und Drittfahrzeuge einbezogen. Selbst bei Einführung von Elektromobilität ausschließlich in diesen Bereichen, kann im werktäglichen Personenverkehr etwa ein Fünftel des Endenergiebedarfs und der Schadstoffemissionen eingespart werden.³⁶⁰ Der jährliche Bedarf an elektrischer Endenergie aus dem werktäglichen Personenverkehr in Vorarlberg würde in diesem Szenario um 43 GWh steigen. Das entspricht 1,6 Prozent des elektrischen Endenergiebedarfs in Vorarlberg im Jahr 2010 (Details siehe Kapitel 7.2). Die politischen Zielsetzungen bezüglich Reduktion von Endenergie, Anteil erneuerbarer Quellen am Endenergiebedarf des Verkehrs sowie Schadstoffemissionen können damit weitgehend erreicht werden.

³⁵⁸ Szenario BASIS: Verkehrsmittelwahl 2008

Szenario 100%ELEKTRO: Verkehrsmittelwahl 2008, Ersatz fossil betriebener Verkehrsmittel durch Batteriefahrzeuge

Szenario E-EINSATZBEREICHE: durch Pedelecs veränderte Verkehrsmittelwahl, Einsatz von Batterie- und Hybridfahrzeugen in prioritären Anwendungsbereichen

³⁵⁹ vgl. Herry, Vbg, 2009

³⁶⁰ Energiebedarf und Emissionen durch die Batterieherstellung sind darin nicht berücksichtigt.

9 EMPFEHLUNGEN

Oberstes Gebot der Raumplanung zur langfristigen Reduktion negativer Wirkungen des Verkehrssystems, ist und bleibt der Aufbau bzw. Erhalt verkehrsvermeidender bzw. Strukturen, die eine energieeffiziente Organisation des Verkehrs begünstigen. Dazu gehören Nutzungsdurchmischung, Siedlungsentwicklung in der Nähe hochrangiger ÖV-Anschlüsse, hohe Bevölkerungsdichte, fußläufig erreichbare Infrastrukturen des täglichen Bedarfs, ausreichende Dimensionierung von Flächen für Fuß- und Radverkehr etc.

Die derzeitige Organisation des Verkehrssystems bedingt eine Reihe bereits bestehender Probleme, sowie Risiken, die aus der einseitigen Energieversorgung unserer Mobilität resultieren. Gerade für die Grundversorgung der Bevölkerung mit Mobilität, die durch ÖV und nicht-motorisierten Verkehr sichergestellt werden sollte, ist es wichtig, ein hohes Maß an Planungssicherheit zu erreichen. Bei elektrischem Strom ist gegenüber Erdölprodukten, ein höheres Maß an Versorgungssicherheit gegeben. Erstens, weil Strom aus einer breiten Palette an Quellen (Ländern sowie Energieträgern) bezogen werden kann und zweitens, weil Österreich selbst Strom erzeugen kann. Da gerade öffentliche Verkehrsmittel hohe Kilometerleistungen über ihre Lebensdauer erbringen, gewinnen Energiekosten gegenüber Anschaffungskosten bzw. der Energiebedarf im Betrieb gegenüber dem Energieverbrauch der Fahrzeugherstellung, an Bedeutung. Dass ein hoher Prozentsatz der Kilometerleistungen des ÖV in dicht verbautem Gebiet erbracht wird, begründet die starke Relevanz von Lärm- und Schadstoffemissionen. Weiters operieren öffentliche Verkehrsmittel über bekannte Distanzen. Die Errichtung der Infrastrukturen kann daher gut auf den Bedarf abgestimmt werden. Insofern ist die Elektrifizierung des ÖV als vorrangiges Einsatzgebiet zu behandeln. Damit geht ein erhöhter Stromverbrauch einher, der durch Ausbau erneuerbarer Energien – über das geplante Maß hinaus – gedeckt werden soll.

Zur Verlagerung von MIV zu Fuß- und Radverkehr ist ein hohes Potential gegeben. Pedelecs steigern das Potential des Radverkehrs weiter. Maßgeblich sind jedoch bessere Rahmenbedingungen für diese Verkehrsarten. Hier sind umfassende verkehrsorganisatorische Anpassungen nötig, die sich von der Parkraumorganisation, über die Straßenverkehrsordnung bis zu Flächenwidmungsplanung und Bauordnung erstrecken.

Die Entkopplung der Fahrzeugnutzung von deren Besitz, ist in mehrerlei Hinsicht förderlich für einen effizienteren Ressourceneinsatz im Personenverkehr. Sowohl bezüglich des Mobilitätsverhaltens als auch der Art der eingesetzten Fahrzeuge, sind positive Effekte zu erreichen. Elektrisch unterstützte angetriebene Fahrzeuge können als Teil einer spezialisierten Fahrzeugpalette einen wichtigen Beitrag leisten. Zur weiteren Stärkung derartiger Angebote ist der ausgedehnte Einsatz von IKT für Nutzerinnen und Betreiber zu forcieren. Ziel muss es sein, dass Nutzerinnen möglichst einfach Informationen zu allen Mobilitätsangeboten vor Ort erhalten und diese auch anbieterübergreifend schnell und einfach nutzen und abrechnen können. Sinnvoll wäre eine Tarifgestaltung, welche die Wirkung des Verkehrsmittels auf Energie- und Flächenbedarf sowie auf Schadstoff- und Lärmemissionen mit einbezieht. Eine konzertierte Organisation von öffentlichen Verkehrsunternehmen und privaten Mobilitätsanbietern ist anzustreben.

Bezüglich der betrachteten Technologien, sind Batterie- und Stromleitungsgebundene Fahrzeuge zu präferieren. Brennstoffzellenfahrzeuge eignen sich nur unter bestimmten Umständen dazu den Ressourcenverzehr des Personenverkehrs zu mindern. Mit Hybridfahrzeugen können Schadstoff- und Lärmemissionen speziell im Stadtverkehr erheblich verringert werden. Unabhängig von der eingesetzten Technologie, können bereits hohe Einsparungen durch Dimensionierung der Fahrzeuge entsprechend der tatsächlichen Notwendigkeiten im Alltag erreicht werden.

10 ZUSAMMENFASSUNG

Ohne grundlegend neue Mobilitätskonzepte können allein durch Umstieg auf Elektrofahrzeuge die negativen Wirkungen des Verkehrssystems – auf Flächenverbrauch, Stadt- und Landschaftsbild, Kleinklima, Trennwirkung durch Verkehrsinfrastrukturen und optische Reize – nicht vermindert werden. Vorteile von Elektromobilität gegenüber Verbrennungskraftmaschinen sind ausschließlich in den Bereichen Lärm und Erschütterungen, Energiebedarf und Schadstoffemissionen zu erreichen. Daher bleibt zur langfristigen Reduktion negativer Wirkungen des Verkehrssystems der Aufbau bzw. Erhalt verkehrsvermeidender bzw. Strukturen, die eine energieeffiziente Organisation des Verkehrs begünstigen, der entscheidende Ansatzpunkt.

In dieser Arbeit wurden Fahrzeuge näher betrachtet, deren Antrieb wesentlich auf Elektromotoren basiert. Diese erreichen im Betrieb hohe Wirkungsgrade, bieten die Möglichkeit zur Rekuperation von Bremsenergie, emittieren vor Ort keine Schadstoffe und sind wesentlich leiser als Otto- oder Dieselmotoren. Die Technologie ist ausgereift und wird seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt z.B. in Schienenfahrzeugen. Der technologische Fortschritt auf dem Gebiet der Energiespeicher lässt zunehmend die Anwendung von Elektromotoren im Individualverkehr zu.

Insbesondere Batteriefahrzeuge erreichen gegenüber Verbrennungskraftmaschinen hohe Verbrauchs- und Emissionsreduktionen von Lärm und Schadstoffen. Brennstoffzellenfahrzeuge eignen sich nur unter bestimmten Umständen dazu, den Ressourcenverzehr des Personenverkehrs zu mindern. Entscheidend ist immer die Art der Stromerzeugung. Nimmt man an, dass der Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energiequellen unabhängig von der Verbreitung von Elektrofahrzeugen erfolgt, steigt die Menge der nachgefragten elektrischen Endenergie bei gleich bleibender Strommenge aus erneuerbaren Quellen. Der Anteil der Erneuerbaren am elektrischen Endenergiebedarf würde damit sinken. Der Ausbau erneuerbarer Energien soll daher – über das bereits geplante Maß hinaus – verstärkt werden.

Bei Betrachtung des Mobilitätsverhaltens fällt auf, dass ein hoher Anteil der Wege grundsätzlich dazu geeignet ist mit nicht-motorisierten Verkehrsmitteln bewältigt zu werden. Pedelecs, als sehr schwach motorisierte Verkehrsmittel erhöhen zudem das Potential des Radverkehrs. Weiters zeigt sich, dass sich trotz der beschränkten Reichweite von Batteriefahrzeuge, ein hoher Prozentsatz, der an Werktagen zurückgelegten Wege, mit diesen realisieren lässt.

Als allgemein sinnvoll wird die zunehmende Entkoppelung von Fahrzeugbesitz und -nutzung erachtet, wodurch eine flexible Wahl der Verkehrsmittel nach den individuellen Anforderungen einzelner Wege gefördert wird. Der technologische Fortschritt im Bereich der IKT und die zunehmende Verstädterung begünstigen diese Entwicklung wesentlich. Positive Wirkungen sind u.A. eine zunehmende Spezialisierung der Fahrzeuge, wovon wiederum Elektrofahrzeuge profitieren können, sowie ein bewussteres Mobilitätsverhalten, welches eine verstärkte Nutzung von Fuß, Rad und ÖV bewirkt. Dieser wiederum ist im Form von Schienenverkehr und O-Bussen bereits großteils elektrifiziert. Auch der Einsatz von elektrisch unterstützten Antrieben in Omnibussen und Taxis kann forciert werden. Ein weiterer Einsatzbereich sind Pendler, deren regelmäßige Wegemuster gut dazu geeignet sind, mit Batteriefahrzeugen realisiert zu werden.

Durch Simulation des Einsatzes elektrisch unterstützt angetriebener Fahrzeuge in prioritären Einsatzbereichen im werktäglichen Personenverkehr Vorarlbergs, wurden Reduktionen von etwa 20 Prozent an Endenergiebedarf, Bedarf fossiler Treibstoffe sowie Treibhausgas- und anderen Schadstoffemissionen errechnet.

Die Grundversorgung der Bevölkerung mit Mobilität, soll durch ÖV und nicht-motorisierten Verkehr sichergestellt werden. Daher ist es wichtig, dass deren Energieversorgung auf sicheren Beinen steht. Durch eine Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern kann dies gefördert werden. Viele Personengruppen sind in ihrer Mobilität von öffentlichen Verkehrsmitteln abhängig. Dass diese auch weiterhin zu leistbaren Tarifen bereitgestellt werden können, ist nicht zuletzt eine soziale Frage.

11 VERZEICHNISSE

11.1 Abkürzungsverzeichnis und Begriffsdefinitionen

Zum besseren Verständnis der vorliegenden Arbeit, folgt an dieser Stelle eine Erläuterung der wichtigsten verwendeten Fachbegriffe und Abkürzungen.

Fachvokabular Energie

Primärenergie „bezeichnet die Energieart und -menge, die den genutzten natürlichen Quellen entnommen wird.“ [HP: Paschotta, PE, 2011] „Als Primärenergieträger bezeichnet man die in der Natur vorkommenden Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas.“ [HP: M UKE-BW, 2011] Weiters, erneuerbare Energieträger wie Sonne, Wind, Wasser etc.

Endenergie: Ist jene Energie, „die beim Verbraucher ankommt, etwa in Form von Brenn- und Treibstoffen oder elektrischer Energie.“ [HP: Paschotta, EE, 2011] Sie bezeichnet jene Energie, die abzüglich Umwandlungs- und Transportverlusten sowie des Verbrauchs des Sektors Energie und nichtenergetischen Verbrauch von der Primärenergie übrig bleibt.

Angaben zur verbrauchten Endenergie erfolgen in den üblichen Einheiten der jeweiligen Kraftstoffart (Liter, Kilowattstunden und Kilogramm). Tabelle 33 sind die dazugehörigen Umrechnungsfaktoren zu entnehmen.

Tabelle 33: Umrechnungsfaktoren verschiedener Kraftstoffe in kWh Endenergie

| | kWh/kg | Ø kg/l (bei 15°C) | kWh/ l |
|--|--------|-------------------|--------|
| Diesel | 11,89 | 0,832 | 9,89 |
| Benzin | 12,13 | 0,742 | 9,00 |
| Wasserstoff | 33,33 | | |
| Quellen: vgl. HP: BLAU, 2012 vgl. HP: LBS, 2011 eigene Berechnung | | | |

Nutzenergie: „Als Nutzenergie bezeichnet man meistens Energie, wie sie vom Endbenutzer direkt benötigt wird. Beispielsweise kann es sich um Wärme zur Beheizung oder Kälte zur Klimatisierung eines Gebäudes handeln, um mechanische Antriebsenergie oder um Licht zur Beleuchtung.“ [HP: Paschotta, NE, 2011]

Akkumulator: „Elektrochemischer Energiespeicher, der aus mehreren wieder aufladbaren galvanischen Elementen (Sekundärzellen) besteht.“ [Hannig et al., 2009, S.111] In vorliegender Arbeit wird der Begriff Akkumulator gleichwertig mit dem Begriff Batterie verwendet. Anmerkung: Im ursprünglichen Sinne bezeichnet Batterie „eine Verschaltung mehrerer (nicht wieder aufladbarer) Primärzellen als Gleichstromquelle.“ [Hannig et al., 2009, S.111]

Fachvokabular Mobilität

Mobilität: In dieser Arbeit sind mit Mobilität „jene Ortsveränderung gemeint, die außerhalb der eigenen Wohnung stattfindet und mit den dem Alltagsleben zugeordneten Aktivitäten von Personen in Zusammenhang steht.“ [Herry, Vbg, 2009, S.37]

Komodale Mobilität „ist gemäß der Europäischen Kommission die effiziente Nutzung einzelner Verkehrsmittel oder ihrer Kombination.“ [VCÖ, 3/2009, S.11] Darunter fallen intermodale sowie multimodale Mobilität.

Intermodale Mobilität: für einen Weg werden mehrere Verkehrsmittel kombiniert (z.B. Fahrrad und Bahn)

Multimodale Mobilität: eine Person benutzt über einen bestimmten Zeitraum hinweg wechselnde Verkehrsmittel (z.B. ÖV für Arbeitswege und MIV für Freizeitwege)³⁶¹

Personenkilometer (Pkm/Pers.-km): Personenkilometer sind eine Kennzahl der Verkehrsleistung. Sie errechnen sich aus der Anzahl der beförderten Personen multipliziert mit deren jeweils zurückgelegter Entfernung.

Fahrzeugkilometer (Fz.-km): Fahrzeugkilometer bezeichnet die zurückgelegte Entfernung eines oder mehrerer Fahrzeuge.

Platzkilometer (Platz-km): Platzkilometer können als Kennzahl des Verkehrsangebotes betrachtet werden. Sie errechnen sich aus den Fahrzeugkilometern multipliziert mit der jeweiligen Personenbeförderungskapazität pro Fahrzeug. Zudem kann zwischen Sitz- und Stehplatzkilometern differenziert werden, worauf in dieser Arbeit jedoch verzichtet wurde.

motorisierter Individualverkehr (MIV): bestehend aus: Personenkraftwagen (PKW), Leichtkraftfahrzeugen und Krafträdern

nicht motorisierter Individualverkehr (nMIV): bestehend aus: Fußgängerverkehr und Radverkehr

öffentlicher Verkehr (ÖV): bestehend aus: Omnibussen, O-Bussen und Schienenverkehren

³⁶¹ vgl. VCÖ, 3/2009, S. 11

Maßeinheiten

Die Zahlenwerte der Diplomarbeit werden in Verbindung mit den folgenden Maßeinheiten (siehe Tabelle 34) und Vorsätzen (siehe Tabelle 35) verwendet:

Tabelle 34: Maßeinheiten

| | | | | | |
|-----|-----------------|----------------|--------------|----|--------------|
| A | Ampere | l | Liter | W | Watt |
| ccm | Kubikzentimeter | m | Meter | Wh | Wattstunden |
| g | Gramm | m ² | Quadratmeter | °C | Grad Celsius |
| h | Stunden | t | Tonne | | |
| J | Joule | V | Volt | | |

Tabelle 35: Vorsätze für Maßeinheiten

| Abkürzung | Bezeichnung | Wert | Faktor |
|-----------|-------------|-------------|-----------------------|
| μ | Mikro | Millionstel | 0,000.001 |
| m | Milli | Tausendstel | 0,001 |
| c | Zenti | Hundertstel | 0,01 |
| k | Kilo | Tausend | 1.000 |
| M | Mega | Million | 1.000.000 |
| G | Giga | Milliarde | 1.000.000.000 |
| T | Tera | Billion | 1.000.000.000.000 |
| P | Peta | Billiarde | 1.000.000.000.000.000 |

Abkürzungen

| | |
|-----------------|---|
| CO | Kohlenstoffmonoxid |
| Fz.-km | Fahrzeugkilometer |
| HC | Kohlenwasserstoffe |
| IKT | Informations- und Kommunikationstechnologien, z.B. Handy, Internet etc. |
| MIV | motorisierter Individualverkehr |
| NMHC | non methane hydrocarbons (Nicht-Methan Kohlenwasserstoffe) |
| nMIV | nicht-motorisierter Individualverkehr |
| NMVOC | non methane volatile organic compounds (flüchtige organische Verbindungen ohne Methan) |
| NO ₂ | Stickstoffdioxid |
| NO _x | Stickoxide |
| ÖV | öffentlicher Verkehr |
| Pkm | Personenkilometer |
| PM 10 | particulate matters (Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 10μm) |
| SO ₂ | Schwefeldioxid |
| THG | Treibhausgasemissionen (angegeben in g CO ₂ -Äquivalente) |
| TTW | Tank-to-Wheel |
| WTT | Well-to-Tank |
| WTT | Well-to-Wheel |
| P & R, B & R | Park and Ride bzw. Bike and Ride – Anlagen bezeichnen Abstellplätze für PKW oder Fahrräder an Übergängen zum ÖV, z.B. an Bahnhöfen. |

11.2 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Abbildung 1: österreichische Bruttostromerzeugung 2008..... | 38 |
| Abbildung 2: UCTE-Mix der Primärenergieträger 2009..... | 39 |
| Abbildung 3: Belastungsablauf eines Sommer- und Wintertages | 41 |
| Abbildung 4: Ladung von Elektrofahrzeugen – Ladezeit und elektrische Spannung | 46 |
| Abbildung 5: Elektromobilität aus Sicht des Energieversorgungssystems | 49 |
| Abbildung 6: Einfluss von elektrisch unterstützt angetriebenen Antriebstechnologien auf Wirkungsfelder des Verkehrs..... | 53 |
| Abbildung 7: österreichische Bevölkerung nach Altersgruppen 2008 und 2020 (Hauptszenario)..... | 60 |
| Abbildung 8: Veränderung der Wohnbevölkerung 1991 bis 2001 | 63 |
| Abbildung 9: Bevölkerungsdichte je Quadratmeter Dauersiedlungsraum 2001..... | 63 |
| Abbildung 10: Kraftfahrzeuge des MIV (Personenverkehr) pro 1000 Einwohner im Jahr 2011 | 68 |
| Abbildung 11: Ausstattung privater Haushalte 2009/2010 | 68 |
| Abbildung 12: Vergleich: Fahrräder und Kfz des MIV pro 1000 Einwohner im Jahr 2010 | 71 |
| Abbildung 13: Werktägliche durchschnittliche Tagesweglänge je Person nach Berufs- bzw. Erwerbstätigkeit – Österreich 1995 und 2008 (Annahme)..... | 75 |
| Abbildung 14: Werktägliche Weglängenverteilung nach Weglängenklassen der Wohnbevölkerung in NÖ und Vbg. 2008 ... | 76 |
| Abbildung 15: Werktägliche Wegzweckverteilung nach Wegzweckanteilen, Werktägliche durchschnittliche Weglänge nach Wegzwecken der Wohnbevölkerung in NÖ und Vbg 2008 | 77 |
| Abbildung 16: 24-Stunden-Fahrtprofile von PKW für die einzelnen Fahrtzwecke | 78 |
| Abbildung 17: Werktäglicher Anteil mobiler Personen und Wege pro mobiler Person nach Altersgruppen in Niederösterreich 2008 | 78 |
| Abbildung 18: Werktäglicher Anteil mobiler Personen und Wege pro mobiler Person nach Raumstrukturen in Vorarlberg 2008 | 79 |
| Abbildung 19: Werktägliche Verkehrsmittelwahl nach Wegen und Bundesländern (Ö 1995)..... | 80 |
| Abbildung 20: Werktägliche Verkehrsmittelwahl nach Wegen und Verkehrsleistung – Niederösterreich und Vorarlberg 2008 | 81 |
| Abbildung 21: Werktäglich hauptsächlich benutztes Verkehrsmittel nach Weglängenklassen –Vorarlberg 2008 | 81 |
| Abbildung 22: Werktägliche Verkehrsmittelwahl in Prozent der Wege nach Raumstrukturen – Vorarlberg 2008 | 82 |
| Abbildung 23: Werktägliche Verkehrsmittelwahl in Prozent der Wege nach Altersklassen – Niederösterreich und Vorarlberg 2008 | 83 |
| Abbildung 24: Anteil der Personen, die mindestens einmal wöchentlich das jeweilige Verkehrsmittel nutzen – Österreich 2009..... | 84 |
| Abbildung 25: Überblick Anwendungsbereiche – Kernstadt | 95 |
| Abbildung 26: Überblick Anwendungsbereiche – Stadtumland..... | 98 |
| Abbildung 27: Überblick Anwendungsbereiche – Verkehrskorridor | 100 |
| Abbildung 28: Überblick Anwendungsbereiche – Periphere Gebiete..... | 102 |
| Abbildung 29: Vergleich des Endenergiebedarfs ausgewählter Fahrzeuge in kWh unter Berücksichtigung der Batterieherstellung | 116 |
| Abbildung 30: Treibhausgasemissionen in Gramm CO ₂ -Äquivalent pro 100 Personenkilometer für ausgewählte Verkehrsmittel (Schwerpunkt Nahverkehr), Annahmen: Stromerzeugung im Mix der österreichischen Endenergie 2008 und ÖBB-Bahnstrom 2009 oder Windenergie | 117 |
| Abbildung 31: Treibhausgasemissionen in Gramm CO ₂ pro 100 Personenkilometer für ausgewählte Verkehrsmittel (Schwerpunkt Nahverkehr), Annahme: Stromerzeugung mittels Braunkohle | 118 |
| Abbildung 32: Lärmbeitrag einzelner Fahrzeuge - Anwohnerstraße | 121 |
| Abbildung 33: Pedelec-Szenario: Verkehrsmittelaufteilung nach Weglängenklassen | 127 |
| Abbildung 34: Klassifizierung der Vorarlberger Gemeinden | 128 |
| Abbildung 35: Vorarlberg an Werktagen– jährliche Auswirkungen des Personenverkehrs auf Endenergiebedarf, THG-Emissionen und Luftschadstoffemissionen. Vergleich: Basis-Szenario (BS), Szenario 100%ELEKTRO (ES) und Szenario E-Einsatzbereiche (EB) | 132 |

11.3 Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabelle 1: | Immissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe (in µg/m ³ ausgenommen CO: in mg/m ³) | 14 |
| Tabelle 2: | Grenzwerte für PKW nach den Schadstoffklassen Euro 4, Euro 5 und Euro 6..... | 14 |
| Tabelle 3: | Schwellenwerte für Lärmimmissionen nach Verursacher und Tageszeit..... | 15 |
| Tabelle 4: | Eigenschaften von Pedelecs im Überblick..... | 24 |
| Tabelle 5: | Pedelecs auf dem Markt..... | 25 |
| Tabelle 6: | Elektro-Kleinkrafträder..... | 27 |
| Tabelle 7: | Elektromotorräder..... | 28 |
| Tabelle 8: | neuartige Elektro-Krafträder | 28 |
| Tabelle 9: | Unterscheidungsmerkmale verschiedener Hybridantriebe für Personenkraftwagen..... | 31 |
| Tabelle 10: | reine Elektrofahrzeuge | 32 |
| Tabelle 11: | Mild-Hybrid und Brennstoffzellen-Fahrzeug..... | 32 |
| Tabelle 12: | Full- und Plug-In Hybridfahrzeuge | 33 |
| Tabelle 13: | durchschnittliches Fassungsvermögen von Bussen unterschiedlicher Länge | 33 |
| Tabelle 14: | Energiebedarf von Hybrid-Bussen | 36 |
| Tabelle 15: | Energieverbrauch von Schienenfahrzeugen mit Elektrotraktion | 37 |
| Tabelle 16: | Energetischer Endverbrauch elektrischer Energie 2008 und CO ₂ -Emissionen | 39 |
| Tabelle 17: | Wirkungsgrad und THG-Emissionen verschiedener Techniken der Stromerzeugung | 41 |
| Tabelle 18: | Wirkungsgrade und Treibhausgasemissionen von Energiebereitstellung und Umsatz bei unterschiedlichen Antriebskonzepten | 52 |
| Tabelle 19: | Bestand und Eigenschaften von Kraftwagen | 69 |
| Tabelle 20: | Bestand und Eigenschaften von Krafträdern..... | 70 |
| Tabelle 21: | Eigenschaften von Fahrrädern | 71 |
| Tabelle 22: | Zwiebelmodell der Verkehrsmittelwahl..... | 96 |
| Tabelle 23: | prioritäre Anwendungsbereiche elektrisch unterstützter Antriebstechnologien | 103 |
| Tabelle 24: | Endenergiebedarf in kWh pro 100 Fahrzeugkilometer, Platzkilometer und Personenkilometer für ausgewählte Verkehrsmittel (Schwerpunkt Nahverkehr)..... | 115 |
| Tabelle 25: | Luftschadstoffemissionen ausgewählter Verkehrsmittel in Gramm pro 100 Personenkilometer | 119 |
| Tabelle 26: | Personenkilometer eines Jahres– nach Verkehrsmitteln pro Person und für die gesamte Vorarlberger Bevölkerung 2010 | 122 |
| Tabelle 27: | Vergleich: Basis-Szenario Fahrzeugflotten - Elektro-Szenario Fahrzeugflotten (Taxi und ÖV): Endenergiebedarf, eingesetzte Energieträger, THG- und Luftschadstoffemissionen Well-to-Tank und Tank-to-Wheel..... | 124 |
| Tabelle 28: | Vergleich: Kraftrad-Basis-Szenario und Szenario Elektro-Kleinkrafträder: Endenergiebedarf, eingesetzte Energieträger, THG- und Luftschadstoffemissionen Well-to-Tank und Tank-to-Wheel..... | 125 |
| Tabelle 29: | Vergleich: Basis-Szenario Zweitwagen und Elektro-Szenario Zweitwagen | 126 |
| Tabelle 30: | Pedelec-Szenario: Endenergiebedarf, eingesetzte Energieträger, THG- und Luftschadstoffemissionen Well-to-Tank und Tank-to-Wheel..... | 128 |
| Tabelle 31: | Vergleich „Pendlermodell“, „Basis-Szenario“ und „Szenario Basis+Modal Split“ für periphere Gemeinden .. | 130 |
| Tabelle 32: | Vergleich der Szenarien bezüglich Endenergiebedarf, eingesetzte Energieträger, THG- und Luftschadstoffemissionen Well-to-Tank und Tank-to-Wheel, | 133 |
| Tabelle 33: | Umrechnungsfaktoren verschiedener Kraftstoffe in kWh Endenergie | 152 |
| Tabelle 34: | Maßeinheiten | 154 |
| Tabelle 35: | Vorsätze für Maßeinheiten | 154 |

11.4 Quellenverzeichnis

Literatur

| | |
|-------------------------------------|--|
| [ADAC, 2009] | ADAC e.V., Ressorts Verkehr: Zukunftstechnologien-Was uns morgen antreiben wird. München, 2009 |
| [V-LRG, 2011] | Amt der Vorarlberger Landesregierung: Energiebericht 2011. Bregenz, 2011 |
| [AEA, 2009] | Austrian Energy Agency: Pre-Feasibility-Studie zu „Markteinführung Elektromobilität in Österreich“ (im Auftrag des BM für Verkehr, Innovation und Technik). Wien, 2009 |
| [AEA, 2009] | Austrian Energy Agency: Pre-Feasibility-Studie zu „Markteinführung Elektromobilität in Österreich“ (im Auftrag des BM für Verkehr, Innovation und Technik). Wien, 2009 |
| [Beermann et al., 2010] | Beermann M., Jungmeier G., Wenzel A., Spitzer J., Canella L., Engel A., Schmuck M., Koller S.: Quo vadis Elektroauto? - Grundlagen einer Road Map für die Einführung von Elektro-Fahrzeugen in Österreich. TU Graz - Institut für Energieforschung. Graz, 2010 |
| [Björklund et al., 1999] | Björklund S., Soop C., Rosenquist K., Ydstedt A.: New Concepts for Trolley Buses in Sweden. Malmö, 1999 |
| [BM ASK, 2009] | BM für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz: Behindertenbericht 2008. Wien, 2009 |
| [BM LFUW, 2009] | BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Erneuerbare Energie 2020 - Potenziale und Verwendung in Österreich. Wien, 2009 |
| [BM VIT, 2002] | BM für Verkehr, Innovation und Technologie: Generalverkehrsplan Österreich 2002. Wien, 2002 |
| [BM VIT, 2010] | BM für Verkehr, Innovation und Technologie: Strategie und Instrumente sowie prioritäre Anwender- und Einsatzbereiche für den Nationalen Einführungsplan Elektromobilität. Wien, 2010 |
| [BM VIT, 2011] | BM für Verkehr, Innovation und Technologie: Der Radverkehr in Zahlen. Wien, 2011 |
| [BM WFJ, E-STR, 2010] | BM für Wirtschaft, Familie und Jugend, BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Energiestrategie Österreich. Wien, 2010 |
| [BM WFJ, E-STA, 2010] | BM für Wirtschaft, Familie und Jugend: Energiestatus Österreich 2010. Wien, 2010 |
| [E & I, 2008] | Brauner G.: Infrastrukturen der Elektromobilität. In: Fachzeitschrift e&i, Heft 11/2008. Wien, 2008 |
| [BAFU, 2010] | Bundesamt für Umwelt - Schweiz (BAFU): Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990–2035. Aktualisierung 2010. Bern, 2010 |
| [Cecil L., o.J] | Cecil L. (Programmanager Klima/CO2/Energie ÖBB-Holding AG): Möglichkeiten des Biodieseleinsatzes im Schienenverkehr (Präsentation). Wien, o.J. |
| [Cerwenka et al., Grundlagen, 2003] | Cerwenka P., Hauger G., Hörl B., Klamer M.: Grundlagen der Verkehrsplanung. Wien, 2003 |
| [Cerwenka et al., VSP, 2007] | Cerwenka P., Hauger G., Hörl B., Klamer M.: Handbuch der Verkehrssystemplanung. Wien, 2007 |
| [IFEU, 2004] | Dünnebeil F., Höpfner U., Lambrecht U., Reuter C.: Motorrad-Umwelt-Liste. Analyse der umweltrelevanten Eigenschaften von Motorrädern. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU), Heidelberg, 2004 |
| [EI-Vbg, 2011] | Energieinstitut Vorarlberg: Schlussbericht VLOTTE-Monitoring (erstellt von Reis M.). Dornbirn, 2011 |
| [FdA, 2009] | Fachverband der Autobusunternehmen: Mit dem Hybrid nach Wien. In: Österreichischer Personenverkehr Heft 5/2009, S.11 |
| [FdB, 2011] | Fachverband der Beförderungsgewerbe mit PKW - Bundessparte Transport und Verkehr der Wirtschaftskammer Österreich: Statistik für das Jahr 2010. Wien, 2011 |
| [Federle, 2011] | Federle C.: Diplomarbeit - Vergleich von E-Mobilitäts-Modellregionen in Österreich und Deutschland. Pinkafeld, 2011 |

| | |
|--------------------------|--|
| [Gut et al., 2007] | Gut A., Luzzi A., Spirig M.: Energieforschungsprogramme Wasserstoff und Brennstoffzellen für die Jahre 2008-2011. Bundesamt für Energie (Schweiz), Bern, 2007 |
| [Hannig et al., 2009] | Hannig F., Smolinka T., Bretschneider P., Nicolai S., Krüger S., Meißner F., Voigt M.: BM für Wirtschaft und Technologie-Auftragsstudie: Stand und Entwicklungspotenzial der Speichertechniken für Elektroenergie – Ableitung von Anforderungen an und Auswirkungen auf die Investitionsgüterindustrie. o.O., 2009 |
| [Helms et al., 2011] | Helms H., Jöhrens J., Hanusch J., Höpfner U., Lambrecht U., Penth M.: UMBReLA-Umweltbilanzen Elektromobilität-Ergebnisbericht. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU), Heidelberg, 2010 |
| [Helms et al.-GLB, 2011] | Helms H., Jöhrens J., Hanusch J., Höpfner U., Lambrecht U., Penth M.: UMBReLA-Umweltbilanzen Elektromobilität-Grundlagenbericht. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU), Heidelberg, 2010 |
| [Herry, NÖ, 2008] | HERRY Consult GmbH: Mobilität in Niederösterreich - Ergebnisse der landesweiten Mobilitätsbefragung 2008. Schriftenreihe: Niederösterreichisches Landesverkehrskonzept Heft 26 |
| [Herry, Vbg, 2009] | HERRY Consult GmbH: Mobilität in Vorarlberg - Ergebnisse der Verkehrsverhaltensbefragung 2008 (im Auftrag des Amtes der Vorarlberger Landesregierung). Wien, 2009 |
| [Herry, ViZ, 2007] | HERRY Consult GmbH: Verkehr in Zahlen - 2007 (im Auftrag des BMs für Verkehr, Innovation und Technologie). Wien, 2007 |
| [Infras, 2008] | Infras: Verkehrsbetriebe Schaffhausen - Zukünftige Zusammensetzung der VBSH-Busflotte - Vertiefte Analyse verschiedener Antriebsarten. Zürich, 2008 |
| [IFEU, 2011] | Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU): UmweltMobilCheck - Wissenschaftlicher Grundlagenbericht (im Auftrag der Deutschen Bahn AG). Heidelberg, 2011 |
| [Karner et al., 2011] | Karner A., Schabauer D., Rabacher F., Wittmoser S., Kupzog F., Vielguth S., Hauger G., Klamer M., Ernst M., Alkhatib, A., Strubegger M.: Vehicle Grid – Integration of low emission vehicles into the electric distribution grid (im Auftrag des Klima- und Energiefonds). Wien, 2011 |
| [Klell et al., 2009] | Klell M., Cona P.: Wirkungsgrade und CO2-Emissionen verschiedener Energieketten. Graz, 2009 |
| [K&EF, 2010] | Klima- und Energiefonds: e-connected Abschlussbericht 2010. Wien, 2010 |
| [E & I, 2008] | Kloess M., Rechberger J., Haas R., Ajanovic A.: Infrastrukturen der Elektromobilität. In: Fachzeitschrift e&i, Heft 11/2008. Wien, 2008 |
| [EU, 2001] | Kommission der europäischen Gemeinschaften: Weissbuch – die europäische Verkehrspolitik bis 2010 KOM (2001) 370. Brüssel, 2001 |
| [KBA, 2011] | Krafftahrt-Bundesamt: Jahresbericht 2010. Flensburg 2011 |
| [L & K, 2006] | Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt - Freie und Hansestadt Hamburg: Gutachten über die wirtschaftliche Lage des Hamburger Taxigewerbes. Hamburg, 2006 |
| [Leuthardt et al., 2009] | Leuthardt H., Rahm V.: Effizienter Einsatz von Bustypen. In: Der Nahverkehr 3/2009. S.9ff |
| [Link et al., 2010] | Link C., Stark J., Sammer G.: Smart Electric Mobility - Speichereinsatz für regenerative elektrische Mobilität und Netzstabilität - AP1: Nutzerbedürfnisse und Nutzerverhalten, Rahmenbedingungen, Analyse vorhandener Mobilitätshebungen. Wien, 2010 |
| [Linz, 2011] | Linz Linien GmbH: Hybridbus. Linz, 2011 |
| [Möller et al., 2005] | Möller K.-C., Winter M.: Primäre und wiederaufladbare Lithium-Batterien - Script zum Praktikum Anorganisch-Chemische Technologie (TU Graz). Graz, 2005 |
| [NEWIG, 2011] | New Energy World Industry Grouping: Fuel Cell and Hydrogen technologies in Europe. Brüssel, 2011 |
| [ÖBB, GB, 2011] | ÖBB-Holding AG: Geschäftsbericht ÖBB-Infrastruktur AG, Wien, 2011 |
| [ÖBB, NB, 2011] | ÖBB-Holding AG: ÖBB Nachhaltigkeitsbericht 2010. Wien, 2011 |
| [ÖBB, ZDF, 2011] | ÖBB-Infrastruktur AG: Zahlen-Daten-Fakten ÖBB-Infrastruktur Ausgabe 2011. Wien, 2011 |

| | |
|-----------------------|---|
| [ÖIR, 2004] | Deußner R., Amon B., Novak S., Zodtl E. (Österreichisches Institut für Raumplanung): Entwicklung der Verkehrsmengen und der Emissionen im Schwerverkehr auf wichtigen Straßen Österreichs - Aktualisierung 2004 (Studie im Auftrag der AK Wien). Wien, 2004 |
| [ÖROK, 2007] | Österreichische Raumordnungskonferenz: Erreichbarkeitsverhältnisse in Österreich 1997/2005. Wien, 2007 |
| [ÖROK, 2011] | Österreichische Raumordnungskonferenz: Österreichisches Raumentwicklungskonzept-ÖREK 2011. Wien, 2011 |
| [Penth, 2002] | Penth M.: Energierevolution Brennstoffzelle. Weinheim, 2002 |
| [PWC, 2009] | PricewaterhouseCoopers: Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf die Stromwirtschaft (Studie im Auftrag des Klima- und Energiefonds). o.O., 2009 |
| [Schopf, 2010] | Schopf J.M.: Elektromobilität und Verkehrssysteme - Was kann Elektromobilität leisten und was nicht?, Präsentation im Rahmen der Konferenz "Elektromobilität in Städten und Regionen". Wels, 2010 |
| [Slupetzky, 2009] | Slupetzky W. (Quintessenz Organisationsberatung GmbH): e-connected Abschlussbericht der Arbeitsgruppe "systemintegrierte Elektromobilität" - interne erweiterte Fassung. o.O., 2009 |
| [STA, AKE, 2009] | Statistik Austria: Arbeitskräfteerhebung 2008. Wien, 2009 |
| [STA, BVS, 2011] | Statistik Austria: Bevölkerungsvorausschätzung 2011-2050. Wien, 2011 |
| [STA, DI, 2011] | Statistik Austria: Demographische Indikatoren 1961-2010 für Österreich. Wien, 2011 |
| [STA, SJ, 2010] | Statistik Austria: Statistisches Jahrbuch 2009. Wien, 2010 |
| [Summhammer, 2008] | Summhammer J.: Vorlesung 141.217 Nachhaltige Energie. TU Wien, 2008 |
| [UBA, ET, 2011] | Umweltbundesamt: Emissionstrends 1990-2009 - Ein Überblick über die österreichischen Verursacher von Luftschadstoffen. Wien, 2011 |
| [UBA, LGM, 2011] | Umweltbundesamt: Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2010. Wien, 2011 |
| [UBA, KSB, 2010] | Umweltbundesamt: Klimaschutzbericht 2010. Wien, 2010 |
| [UBA, UKB, 2010] | Umweltbundesamt: Neunter Umweltkontrollbericht - Umweltsituation in Österreich. Wien, 2010 |
| [VCÖ, 3/2009] | VCÖ-Forschungsinstitut: Multimodale Mobilität als Chance. VCÖ-Schriftenreihe: „Mobilität mit Zukunft“, Heft 3/2009, Wien, 2009 |
| [VCÖ, 2/2009] | VCÖ-Forschungsinstitut: Potenziale von Elektro-Mobilität. VCÖ-Schriftenreihe: „Mobilität mit Zukunft“, Heft 2/2009, Wien, 2009 |
| [VDV, 2000] | Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV): Stadtbahnen in Deutschland, innovativ – flexibel – attraktiv. Düsseldorf, 2000 |
| [VDV, 2009] | Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV): VDV Statistik 2008. Köln, 2009 |
| [Verbund, 2010] | Verbundgesellschaft: Verbund Nachhaltigkeitsbericht 2009. Wien, 2010 |
| [VKI, 6/2010] | Verein für Konsumenteninformation (VKI): Test: Elektrofahrräder - eingebauter Rückenwind. In: Konsument Heft 6/2010, Wien, 2010 |
| [VKI, 8/2011] | Verein für Konsumenteninformation (VKI): Test: Elektroräder - bekannte Marken ausgebremst. In: Konsument Heft 8/2011, Wien, 2011 |
| [VKI, 2007/2009] | Verein für Konsumenteninformation (VKI): Test: Trekkingräder - fest im Sattel, Test: Trekkingräder im Test. In: Konsument Heft 5/2009 und 5/2007, Wien, 2007 und 2009 |
| [Wagner et al., 2007] | Wagner H.-J., Koch M.K., Burkhardt J., Böckmann T.G., Feck N., Kruse P.: CO2-Emissionen der Stromerzeugung. In: BWK- Das Energie-Fachmagazin, Bd.59 (2007), Heft 10, S.44f |
| [Wittink, 2003] | Wittink R.: Planning for cycling supports road safety. In: Sustainable Transport, Planning for walking and cycling in urban environments (Hrsg: Tolley R.). Cambridge, 2003, S.172f |
| [ZIV, 2011] | Zweirad-Industrie-Verband E.V.: Zahlen-Daten-Fakten zum Fahrradmarkt Deutschland; Wirtschaftspressekonferenz im Rahmen des Kongresses „Metromobile“; März 2011, Berlin |

Gesetze

| | |
|---|---|
| [HP: BM WFJ, 2011] | BM für Wirtschaft, Familie und Jugend. Homepage: www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/Energieeffizienz/Seiten/Endenergieeffizienz-Richtlinie.aspx , abgerufen am 1.12.2011 |
| [§ 8 Abs.1 Bundes-LärmG] | Bundes-Umgebungslärmschutzgesetz (Bundes-LärmG) 2005, BGBl. Nr. 60/2005, idF BGBl. Nr. 60/2005 |
| [Entscheidung 2002/358/EG des Rates vom 25. April 2002] | Entscheidung 2002/358/EG des Rates vom 25. April 2002 über die Genehmigung des Protokolls von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen im Namen der Europäischen Gemeinschaft sowie die gemeinsame Erfüllung der daraus erwachsenden Verpflichtungen. |
| [§ 1-2, § 6, § 18, § 31 FSG] | Führerscheingesetz (FSG) 1997, BGBl. Nr. 120/1997 idF BGBl. Nr. 117/2010. |
| [IG-L] | Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) 1997, BGBl. Nr. 115/1997, idF BGBl. Nr. 77/2010 |
| [HP: Klimabündnis, 2011] | Klimabündnis. Homepage: www.klimabuendnis.at/start.asp?ID=101098&b=355&b2=&am= , abgerufen am 1.12.2011 |
| [§ 1 Abs. 2a KFG] | Kraftfahrzeuggesetz (KFG) 1967, BGBl. Nr. 267/1967 idF BGBl. Nr. 116/2010. |
| [§ 2 Abs. 1 Z. 3-4 KFG] | Kraftfahrzeuggesetz (KFG) 1967, BGBl. Nr. 267/1967 idF BGBl. Nr. 116/2010. |
| [§ 2 Abs.1 Z. 7 KFG] | Kraftfahrzeuggesetz (KFG) 1967, BGBl. Nr. 267/1967 idF BGBl. Nr. 116/2010. |
| [§ 2-3 KFG] | Kraftfahrzeuggesetz (KFG) 1967, BGBl. Nr. 267/1967 idF BGBl. Nr. 116/2010. |
| [§ 2-3 und § 106 KFG] | Kraftfahrzeuggesetz (KFG) 1967, BGBl. Nr. 267/1967 idF BGBl. Nr. 116/2010. |
| [KfllG] | Kraftfahriniengesetz (KfllG), BGBl. Nr. 203/1999, idF BGBl. Nr. 153/2006 |
| [Anhang VII Kraftstoffverordnung] | Kraftstoffverordnung 1999, BGBl. Nr. 418/1999, idF BGBl. Nr. 168/2009 |
| [§ 10 Abs. 6 ÖSG] | Ökostromgesetz (ÖSG) 2002, BGBl. Nr. 149/2002, idF BGBl. Nr. 75/2011. |
| [§ 4 Abs. 3 ÖSG] | Ökostromgesetz (ÖSG) 2002, BGBl. Nr. 149/2002, idF BGBl. Nr. 75/2011. |
| [Ozongesetz] | Ozongesetz 1992, BGBl. Nr. 210/1992, idF BGBl. Nr. 34/2003 |
| [Richtlinie 2001/81/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001] | Richtlinie 2001/81/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe |
| [Richtlinie 2002/49/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002] | Richtlinie 2002/49/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm |
| [Kap. 2 Art. 4 Abs. 1, Richtlinie 2006/32/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006] | Richtlinie 2006/32/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen |
| [Richtlinie 2009/28/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009] | Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG |
| [Richtlinie 2009/29/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009] | Richtlinie 2009/29/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG zwecks Verbesserung und Ausweitung des Gemeinschaftssystems für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten. |
| [Richtlinie 2009/31/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009] | Richtlinie 2009/31/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 über die geologische Speicherung von Kohlendioxid und zur Änderung der Richtlinie 85/337/EWG des Rates sowie der Richtlinien 2000/60/EG, 2001/80/EG, 2004/35/EG, 2006/12/EG und 2008/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Verordnung (EG) Nr. 1013/2006. |
| [Verordnung 443/2009/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009] | Verordnung 443/2009 EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO ₂ -Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen |

| | |
|--------------------------|--|
| [WK-UE, 1987] | Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (1987): Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future "Brundtland Report" - Anhang zu A/42/427 der Vereinten Nationen |
| [§ 6 Abs. 3 bis 4 WGarG] | Wiener Garagengesetz (WGarG) 2008, LGBl. Nr. 2009/34, idF LGBl. 2010/46 |

Internet

| | |
|--------------------------|---|
| [HP: ADAC, 2011] | ADAC e.V. Homepage: www.adac.de/infotestrat/tests/motorrad-roller/e_roller/ , abgerufen am 26.10.2011 |
| [HP: Aixam, 2012] | Aixam Mega: Homepage: www.aixam.com/en/licence-free-car-crossline/technical-specifications/gt-premium , abgerufen am 14.1.2012 |
| [HP: A-NÖ-LReg, 2011] | Amt der Niederösterreichischen Landesregierung. Homepage: www.noee.gv.at/Umwelt/Energie/Energiefoerderungen-Privat/scooterfoerderung.wai.html , abgerufen am 1.11.2011 |
| [HP: Willer-B, 2011] | Anton Willer Mineralölhandel GmbH. Homepage: www.antonwiller.de/intern/portal01/htdocs/ftp_documents/29_spezifikation_benzin.doc , abgerufen am 20.12.2011 |
| [HP: Willer-D, 2011] | Anton Willer Mineralölhandel GmbH. Homepage: www.antonwiller.de/intern/portal01/htdocs/ftp_documents/30_spezifikation_diesel.doc , abgerufen am 20.12.2011 |
| [HP: Auto Ludwig, 2011] | Auto Ludwig. Homepage: www.auto-ludwig-gbr.de , abgerufen am 8.11.2011 |
| [HP: Autolib, 2012] | AUTOLIB: Homepage: www.autolib.eu/an-urban-revolution/ , abgerufen am 16.4.2012 |
| [HP: BLAU, 2012] | Bayerisches Landesamt für Umwelt: Berechnung CO2-Emissionen. Homepage: www.izu.bayern.de/download/xls/berechnung_co2_emissionen.xls , abgerufen am 30.1.2012 |
| [HP: Better Place, 2012] | Better Place: Homepage: www.betterplace.com/the-solution-switch-stations , abgerufen am 3.1.2012 |
| [HP: BM LFUW, 2012] | BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Lärminfo. Homepage: www.laerminfo.at , abgerufen am 28.2.2012 |
| [HP: Bombardier, 2012] | Bombardier Inc. Homepage: primovecity.bombardier.com , abgerufen am 10.1.2012 |
| [HP: Buddy, 2011] | Buddy Electric AS. Homepage: www.puremobility.com , abgerufen am 8.11.2011 |
| [HP: BAE, 2011] | Bundesamt für Energie (Schweiz): Homepage: www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=38854 , abgerufen am 28.11.2011 |
| [HP: BYD, 2011] | BYD AUTO CO., LTD.: Homepage: www.byd.com/eBUS.html , abgerufen am 4.11.2011 |
| [HP: Car2Go, 2012] | car2go Österreich GmbH: Homepage: www.car2go.com/wien/de/ , abgerufen am 24.1.2012 |
| [HP: Daimler, 2011] | Daimler AG: Homepage: www.daimler.com/dcmmedia/0-921-614820-49-1079111-1-0-0-1079279-0-1-11702-614318-0-1-0-0-0-0.html?TS=1253741255467 , abgerufen am 22.11.2011 |
| [HP: Denzel, 2012] | DENZEL Mobility CarSharing GmbH: Homepage: www.carsharing.at/index.cfm?srv=cms&rub=1123&id=3907 , abgerufen am 24.1.2012 |
| [HP: DVSR, 2011] | Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V.: Homepage: www.dvr.de/themen/aeltere_verkehrsteilnehmer.htm , abgerufen am 9.11.2011 |
| [HP: Dohr, 2011] | Dohr. M.: Toyota Prius Detroit Motor Show 2009. In: Motor Presse Stuttgart GmbH & Co. KG. Homepage: www.auto-motor-und-sport.de/eco/toyota-prius-detroit-motor-show-2009-938724.html , abgerufen am 8.11.2011 |
| [HP: E4You, 2011] | E4You GmbH. Homepage: www.e4you.co.at , abgerufen am 26. Oktober 2011 |

| | |
|-----------------------------------|---|
| [HP: ECON, 2012] | e-connected. Homepage: www.e-connected.at/content/ueber-e-connected , abgerufen am 4.4.2012 |
| [HP: Ekomobil, 2011] | ekomobil. Homepage: www.ekomobil.at , abgerufen am 26.10.2011 |
| [HP: ElectroDrive, 2012] | ElectroDrive Salzburg GmbH: Homepage: http://www.electrodrive-salzburg.at , abgerufen am 9.1.2012 |
| [HP: E&L-Kfz, 2011] | Elektro- & Leicht- KFZ Schippers. Homepage: www.leicht-kfz-schippers.de/e-city.htm , abgerufen am 8.11.2011 |
| [HP: Elektrobiker, 2011] | Elektrobiker LTD & Co. KG: Homepage: www.elektrobiker.com/?page_id=3&category=4 , abgerufen am 10.12.2011 |
| [HP: Elweb-cw, 2012] | Elweb - Wiki für elektrische Mobilität: Homepage: www.elweb.info/dokuwiki/doku.php?id=cw-wert , abgerufen am 10.1.2012 |
| [HP: Elweb-roll, 2012] | Elweb - Wiki für elektrische Mobilität: Homepage: www.elweb.info/dokuwiki/doku.php?id=rollwiderstand , abgerufen am 10.1.2012 |
| [HP: Energie Control, ÖS, 2011] | Energie Control GmbH: Öffentliche Stromversorgung Österreichs - Belastungsablauf 2010, Homepage: http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/statistik/dokumente/xls/strom/2010/Belastungsablauf_Oeff_2010_CL1.xls , abgerufen am 10.12.2011 |
| [HP: Energie Control, UCTE, 2011] | Energie Control GmbH: UCTE-Stromix 2009. Homepage: www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/stromnachweisdatenbank/HOMEPAGE_20060101/CT/C_UCTE_2009.HTML , abgerufen am 5.12.2011 |
| [HP: EC, 2012] | European Commission - Intelligent Energy Europe: momo Car-Sharing. Homepage: www.momo-cs.eu/index.php?obj=file&aid=22&id=244&unid=02e138d4710eaf663028c77661d39bb5 , abgerufen am 24.1.2012 |
| [HP: Stalleicher, 2012] | Fahrzeuge Stalleicher. Homepage: www.elfar.de/elfar/editorupload/file/Startlab_elfar.pdf , abgerufen am 19.3.2012 |
| [HP: FH-ISI, 2012] | Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) : Homepage: http://www.fraunhofer-isi-cms.de/elektromobilitaet/Media/forschungsergebnisse/13062438320068-10.92.21.153-Forschungsergebnisse_Klima_Umwelt_Sicherheit_Laerm.pdf , abgerufen am 10.4.2012 |
| [HP: GOVECS, 2011] | GOVECS Generalimporteur Deutschland. Homepage: www.govecs.de , abgerufen am 26.10.2011 |
| [HP: Habermehl, 2011] | Hebermehl G.: Wir testen den VW Passat BlueMotion gegen den Honda Civic Hybrid. In: AutoNEWS. Homepage: www.auto-news.de/auto/tests/anzeige.jsp?id=19866&view=data.world.honda.com/FCXClarity/ , abgerufen am 8.11.2011 |
| [HP: Honda, 2011] | Honda Motor Co., Ltd. Homepage: world.honda.com/FCXClarity/ , abgerufen am 8.11.2011 |
| [HP: Huppertz, 2012] | Huppertz H.: Luftwiderstand. Homepage: www.kfz-tech.de/Formelsammlung/Luftwiderstand.htm , abgerufen am 11.1.2012 |
| [HP: Integral, 2012] | INTEGRAL Markt- und Meinungsforschungsges.m.b.H. Homepage: www.integral.co.at/de/downloads/?f=AIM , abgerufen am 13.2.2012 |
| [HP: Jürgensmeyer, 2011] | Jürgensmeyer W.: Homepage: www.bobtec.de , abgerufen am 26.10.2011 |
| [HP: Kiebler, 2011] | Kiebler R.: Oberleitungsbusse - Duo-Busse - Dieselbusse. Homepage: www.obus-es.de/Der_Oberleitungsbus.htm , abgerufen am 3.11.2011 |
| [HP: KBA, 2012] | Kraftfahrt-Bundesamt (Deutschland): Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2012. Homepage: www.kba.de/nn_124584/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand__node.html?__nnn=true , abgerufen am 24.1.2012 |
| [HP: Leicht-Kfz, 2012] | Leichtkraftfahrzeuge - Vergleich und Informationen. Homepage: www.leichtkraftfahrzeuge.net/ , abgerufen am 24.1.2012 |
| [HP: LEMnet, 2012] | LEMnet - Stromtankstellen für Elektrofahrzeuge. Homepage: www.lemnet.org/index.htm , abgerufen am 9.1.2012 |
| [HP: LBS, 2011] | Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH. Homepage: www.h2data.de/ , abgerufen am 8.1.2011 |

| | |
|--------------------------------|--|
| [HP: LBS, 2012] | Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH: Homepage: www.brennstoffzellenbus.de/bus2004/bsz04-2d.htm , abgerufen am 10.4.2012 |
| [HP: Menn, 2011] | Menn A.: Motorrad mit Stehvermögen. In: WirtschaftsWoche Online, 30.9.2011. Homepage: http://www.wiwo.de/technologie/auto/innovationen-motorrad-mit-stehvermoegen/5225772.html , abgerufen am 1.11.2011 |
| [HP: M UKE-BW, 2011] | Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Deutschland). Homepage: www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/44203/ , abgerufen am 30.11.2011 |
| [HP: MSA, 2011] | MSA Motor Sport Accessoires GmbH. Homepage: www.e-max-roller.de , abgerufen am 26. Oktober.2011 |
| [HP: o.V, FNP, 2011] | o.V.: Erster E-Bus nimmt Fahrt auf. In: Frankfurter Neue Presse vom 7.11.2011. Homepage: www.fnp.de/fnp/region/lokales/frankfurt/erster-ebus-nimmt-fahrt-auf_fm01.c.9308195.de.html , am 10.11.2011 |
| [HP: ÖBB-IS, 2011] | ÖBB-Infrastruktur AG. Homepage: www.oebb.at/infrastruktur/de/2_0_Das_Unternehmen/Daten_und_Fakten/Daten_zur_Energieversorgung/index.jsp , abgerufen am 11.12.2011 |
| [HP: ÖBB-PV, 2012] | ÖBB-Personenverkehr AG: Homepage: http://railjet.oebb.at/ , abgerufen am 10.1.2012 |
| [HP: OeMAG, 2011] | OeMAG Abwicklungsstelle für Ökostrom AG. Homepage: www.oem-ag.at/service/news/4874437218/ , abgerufen am 6.12.2011 |
| [HP: OMV, 2011] | OMV AG. Homepage: www.omv.at , abgerufen am 15.11.2011 |
| [HP: ÖROK, ÖREK, 2011] | Österreichische Raumordnungskonferenz. Homepage: www.oerok.gv.at/raum-region/oesterreichisches-raumentwicklungskonzept.html , abgerufen am 1.12.2011 |
| [HP: ÖROK, Atlas, 2012] | Österreichische Raumordnungskonferenz. Homepage: www.oerok-atlas.at , abgerufen am 17.1.2012 |
| [HP: Ö-EW, 2012] | Österreichs E-Wirtschaft. Homepage: http://oesterreichsenergie.at/energie-und-klimapaket.html , abgerufen am 13.3.2012 |
| [HP: Paschotta, BZ, 2011] | Paschotta R.: Brennstoffzelle. In: RP-Energie-Lexikon. Homepage: www.energie-lexikon.info/brennstoffzelle.html , abgerufen am 12.12.2011 |
| [HP: Paschotta, EE, 2011] | Paschotta R.: Endenergie. In: RP-Energie-Lexikon. Homepage: www.energie-lexikon.info/endenergie.html , abgerufen am 30.11.2011 |
| [HP: Paschotta, NE, 2011] | Paschotta R.: Nutzenergie. In: RP-Energie-Lexikon. Homepage: www.energie-lexikon.info/nutzenergie.html , abgerufen am 12.12.2011 |
| [HP: Paschotta, PE, 2011] | Paschotta R.: Primärenergie. In: RP-Energie-Lexikon. Homepage: www.energie-lexikon.info/primaerenergie.html , abgerufen am 30.11.2011 |
| [HP: Peraves, 2011] | Peraves AG. Homepage: www.monotracer.ch , abgerufen am 2.11.2011 |
| [HP: eMORAIL, 2012] | Projekt eMORAIL. Homepage: www.emorail.at , abgerufen am 29.3.2012 |
| [HP: Ruzicka, 2012] | Ruzicka J.: Lithium-Vorkommen wird australisch. In: derStandard.at GmbH, 9.2.2011. Homepage: http://derstandard.at/1297215954683/Lithium-Vorkommen-wird-australisch , abgerufen am 19.1.2012 |
| [HP: Schliffke, 2011] | Schliffke F.: Wasserstoff-Hybrid rollt. In: Der Rote Renner - Wirtschaftsnachrichten für Busunternehmer: Homepage: http://roterrenner.de/nc/detail/datum/2011/09/16/wasserstoff-hybrid-rollt.html , abgerufen am 14.12.2011 |
| [HP: Sewart, 2012] | Sewart J.: SEL Getriebe. Technische Universität Chemnitz - Fakultät für Maschinenbau. Homepage: www.tu-chemnitz.de/mb/MaschElem/SEL.php , abgerufen am 10.1.2012 |
| [HP: Smiles, 2011] | Smiles AG. Homepage: www.smiles-world.de , abgerufen am 8. 11. 2011 |
| [HP: Solarmobil Austria, 2012] | Solarmobil Austria. Homepage: www.solarmobil.at/downloads/PerchtoldsdorferRundschau.pdf , abgerufen am 10.1.2012 |
| [HP: Spiegel Online, 2011] | Spiegel Online GmbH. Homepage: www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,322004,00.html , abgerufen am 21.11.2011 |
| [HP: STA, BEV, 2012] | Statistik Austria: Homepage: http://sdb.statistik.at/superwebguest/login.do?guest=guest&db=debevjahresanf , abgerufen am 20.1.2012 |

| | |
|---------------------------|---|
| [HP: STA, PEN, 2012] | Statistik Austria: Homepage: http://sdb.statistik.at/superwebguest/login.do?guest=guest&db=deregz_aest_gem_ab_09 , abgerufen am 13.4.2012 |
| [HP: STA, KRA, 2012] | Statistik Austria: Homepage: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand/krankenstandstage/index.html , abgerufen am 15.4.2012 |
| [HP: STA, KFZ, 2012] | Statistik Austria: Homepage: www.statistik.at/web_de/static/kfz-bestand_2011_062744.pdf am 20.1.2012 |
| [HP: STA, KFZ-Neu, 2011] | Statistik Austria: Homepage: www.statistik.at/web_de/static/kfz-neuzulassungen_jaenner_bis_dezember_2011_055222.pdf , abgerufen am 23.1.2012 |
| [HP: STA, BEV, 2011] | Statistik Austria: Homepage: www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/bevoelkerungsstand_und_veraenderung/index.html , abgerufen am 4. Oktober 2011 |
| [HP: STA, IKT, 2011] | Statistik Austria: Homepage: www.statistik.at/web_de/statistiken/informationsgesellschaft/ikt-einsatz_in_haushalten/022206.html , abgerufen am 23.1.2012 |
| [HP: STA, KFZ-Aus, 2011] | Statistik Austria: Homepage: www.statistik.at/web_de/statistiken/soziales/ausstattung_privater_haushalte , abgerufen am 14.3.2012 |
| [HP: STA, KFZ-Best, 2011] | Statistik Austria: Homepage: www.statistik.at/web_de/statistiken/verkehr/strasse/kraefffahrzeuge_-_bestand/index.html , abgerufen am 25.1.2012 |
| [HP: STA, KFZ-Neu, 2012] | Statistik Austria: Homepage: www.statistik.at/web_de/statistiken/verkehr/strasse/kraefffahrzeuge_-_neuzulassungen/index.html , abgerufen am 23.1.2012 |
| [HP: Süß, 2009] | Süß R.(E.ON Westfalen Weser AG): Autofahren mit Strom - Perspektiven für Technik und Umwelt. Präsentation im Rahmen der Veranstaltung EnergieArena, Bad Salzuflen, 2009, S.9 Homepage: http://p31726.typo3server.info/fileadmin/redakteure/energie_arena/Vortraege/Vortrag_Suess_4.11.pdf , abgerufen am 19.12.2011 |
| [HP: TMH, 2012] | The Mobility House AG: Homepage: mobilityhouse.com , abgerufen am 17.4.2012 |
| [HP: Toyota-A, 2011] | Toyota Frey Austria Ges.m.b.H. Homepage: www.toyota.at/index.aspx , abgerufen am 8.11.2011 |
| [HP: Toyota-US, 2011] | Toyota Motor Sales, U.S.A., Inc. Homepage: www.toyota.com/prius-hybrid/ , abgerufen am 8.11.2011 |
| [HP: US-CB, 2011] | U.S. Census Bureau - International Programs. Homepage: www.census.gov/population/international/data/idb/worldpoptotal.php , abgerufen am 4. Oktober 2011 |
| [HP: UBA, Flächen, 2012] | Umweltbundesamt: Homepage: www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/raumplanung/2_flaechenverbrauch/Downloads/Flaechen_2011.pdf , abgerufen am 18.1.2012 |
| [HP: UBA, Lärm, 2011] | Umweltbundesamt: Homepage: www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/laerm/verursacher/mikrozensus07/ , abgerufen am 20. Oktober 2011 |
| [HP: UBA, Luft-akt, 2011] | Umweltbundesamt: Homepage: www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftguete_aktuell/ , abgerufen am 20. Oktober 2011 |
| [HP: UBA, Luft, 2011] | Umweltbundesamt: Homepage: www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/ , abgerufen am 20. Oktober 2011 |
| [HP: UBA, Verkehr, 2012] | Umweltbundesamt: Homepage: www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/verkehr/fahrzeugtechnik/pkw/ , abgerufen am 30.1.2012 |
| [HP: UN-SD, 2011] | United Nations Statistics Division. Homepage: http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/vitstats/default.htm , abgerufen am 4. Oktober 2011 |
| [HP: VDI, 2011] | Verein Deutscher Ingenieure e.V. Homepage: www.vdi.de/2201.0.html , am 4.11.2011 |

| | |
|--------------------------------|---|
| [HP: Volvo, 2011] | Volvo Car Austria GmbH. Homepage: www.volvocars.com/at/top/about/news-events/pages/default.aspx?itemid=40 , abgerufen am 8.11.2011 |
| [HP: Vlotte, 2011] | Vorarlberger Elektroautomobil Planungs- und Beratungs GmbH. Homepage: www.vlotte.at/inhalt/at/85.htm , abgerufen am 8.11.2011 |
| [HP: Vlotte, 2012] | Vorarlberger Elektroautomobil Planungs- und Beratungs GmbH. Homepage: www.vlotte.at/inhalt/at/94.htm , abgerufen am 9.1.2012 |
| [HP: VK, 2011] | Vossloh Kiepe GmbH. Homepage: www.vossloh-kiepe.com/Hybridbusse/vkproduktordner.2008-06-15.5305035969/der-obus-heute , abgerufen am 3.11.2011 |
| [HP: Wachter, 2011] | Wachter Digital GmbH. Homepage: www.pedelec-portal.net/akkuleistung-und-energieverbrauch-von-pedelects/0048 , abgerufen am 19.9.2011 |
| [HP: Wiki, BZ-Str., 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle#Stra.C3.9Fenverkehr , abgerufen am 12.12.2011 |
| [HP: Wiki, BZ-Fz., 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzellenfahrzeug , abgerufen am 12.12.2011 |
| [HP: Wiki, EA, 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Elektroauto , abgerufen am 8.7.2011 |
| [HP: Wiki, EMotor, 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Elektromotor , abgerufen am 8. Juli 2011 |
| [HP: Wiki, EMotorrad, 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Elektromotorrad , abgerufen am 1.11.2011 |
| [HP: Wiki, EMotorroller, 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Elektromotorroller , abgerufen am 2.11.2011 |
| [HP: Wiki, EVS, 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Europ%C3%A4isches_Verbundsystem , abgerufen am 5.12.2011 |
| [HP: Wiki, SOFC, 2012] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Festoxidbrennstoffzelle , abgerufen am 31.3.2012 |
| [HP: Wiki, HB, 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Hybridbus , abgerufen am 2.11.2011 |
| [HP: Wiki, MiEV, 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Mitsubishi_i_MiEV , abgerufen am 8.11.2011 |
| [HP: Wiki, Mitsubishi, 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Mitsubishi_i_MiEV , abgerufen am 8.11.2011 |
| [HP: Wiki, Obus, 2012] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Oberleitungsbus_Salzburg , abgerufen am 10.1.2012 |
| [HP: Wiki, ÖEW, 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/%C3%9Csterreichische_Energiewirtschaft , abgerufen am 20.10.2011 |
| [HP: Wiki, Pedelec, 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Pedelec , abgerufen am 20.9.2011 |
| [HP: Wiki, SSS, 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Start-Stopp-System , abgerufen am 8.11.2011 |
| [HP: Wiki, Toyota, 2011] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/Toyota_FCHV , abgerufen am 21.11.2011 |
| [HP: Wiki, UBahn, 2012] | Wikimedia Foundation Inc: Homepage: de.wikipedia.org/wiki/U-Bahn_N%C3%BCrnberg , abgerufen am 3.1.2012 |
| [HP: Wilhelm, 2011] | Wilhelm Motor Int. GmbH & Co. KG. Homepage: www.e-sprit.net , abgerufen am 26.10.2011 |
| [HP: WKÖ, 2012] | Wirtschaftskammer Österreich. Homepage: http://portal.wko.at/wk/dok_detail_file.wk?angid=1&docid=364799&conid=141068&stid=187444&cbtyp=1&titel=Tankstellenstatistik%2c2010 , abgerufen am 9.1.2012 |
| [HP: Zelechowski, 2012] | Zelechowski E.: Peer-to-Peer Carsharing als profitables Gemeinschaftskonzept. In: derStandard.at GmbH, 20.2.2012. Homepage: http://derstandard.at/1329703091933/Peer-to-Peer-Carsharing-als-profitables-Gemeinschaftskonzept , abgerufen am 20.2.2012 |

Persönliche Auskünfte

| | |
|----------------------|---|
| [Diskussion, 2011] | Dr. Gabriele Payr, im Rahmen der Diskussionsveranstaltung: Technikdialog: Pro & Contra, TU-Wien, am 5. Oktober 2011 |
| [Holzer, 2012] | Holzer R. (Holzer Motorradhandel GmbH): telefonische Auskunft vom 19.3.2012 |
| [Huber, 2012] | Huber A. (bikeshop-scooters.at): telefonische Auskunft vom 19.3.2012 |
| [Pospisil, 2012] | Pospisil R. (Bike & Quad Center Roman Pospisil GmbH): telefonische Auskunft vom 19.3.2013 |
| [Steinacher, 2012] | Steinacher I. (Herry Consult): telefonische Auskunft vom 22.5.2012 |
| [Wegschneider, 2012] | Wegscheider M. (Citybike Wien): Auskunft per e-mail, am 25.1.2012 |

ANHANG 1

| FAHRZEUGTYPEN | | Kraftstoff pro 100 km | Endenergiebedarf in kWh pro 100 km **** | Personen-Beförderungskapazität | Quellen |
|---|---|---|---|--------------------------------|----------------|
| elektrisch unterstützt angetriebene Fahrzeuge | | | | | |
| Pedelecs und Elektrofahrräder bis 25 km/h: | | 0,5 bis 2 kWh | 0,5 bis 2 | 1 (+ Kinder) | [1] |
| Krafträder: | Batterie-Kleinkraft- und -Motordreiräder <45km/h | 4 kWh | 4 | 2 | [2] |
| | Batterie-Krafträder >45 km/h | 4 bis 8 kWh | 4 bis 8 | 2 | [3] |
| | Brennstoffzellen-Krafträder | bisher keine Werte verfügbar | | | |
| Kraftwagen: | mehrspuriges Batterie-Leichtkraftfahrzeuge | 7 kWh | 7 | 2 | [28] |
| | Batteriefahrzeug-Kleinwagen | 9 bis 15 kWh | 9 bis 15 | 2 bis 4 | [4] |
| | Batteriefahrzeug-Mittelklasse | 15 bis 28 kWh | 15 bis 28 | 5 | [4] |
| | Brennstoffzellenfahrzeug - Mittelklasse | 0,8 bis 1,2 kg (Wasserstoff) | 27 bis 40 | 5 | [5] [6] |
| | Micro-Hybrid (3 bis 8% Energieersparnis***) - Kleinwagen** | 3,6 bis 4,8 l (Diesel) | 36 bis 48 | 4 | [7] [8] |
| | Micro-Hybrid (3 bis 8% Energieersparnis***) - Mittelklasse** | 5,2 bis 6,9 l (Diesel) | 51 bis 68 | 5 | [7] [8] |
| | Mild -Hybrid (bis 15% Energieersparnis) - Kleinwagen** | 3,1 bis 4,4 l (Diesel) | 31 bis 44 | 4 | [7] [8] |
| | Mild -Hybrid (bis 15% Energieersparnis) - Mittelklasse** | 4,5 bis 6,4 l (Diesel) | 45 bis 63 | 5 | [7] [8] |
| | Full-Hybrid (bis 20% Energieersparnis) - Kleinwagen** | 3,0 bis 4,2 l (Diesel) | 30 bis 42 | 4 | [7] [8] |
| | Full-Hybrid (bis 20% Energieersparnis) - Mittelklasse** | 4,3 bis 6,0 l (Diesel) | 43 bis 59 | 5 | [7] [8] |
| | Plug In-Hybrid***** (bis 20% Energieersparnis) - Kleinwagen | bis 100 km: elektrisch (9 - 15kWh), über 100km: 3,0 bis 4,2 l (Diesel)** | bis 100 km: 9 bis 15, über 100 km: 30 bis 42 | 4 | [7] [8] |
| | Plug In-Hybrid***** (bis 20% Energieersparnis) - Mittelklasse | bis 100 km: elektrisch (15 - 28kWh), über 100km: 4,3 bis 6,0 l (Diesel)** | bis 100 km: 15 bis 28, über 100 km: 43 bis 59 | 5 | [7] [8] |
| Omnibusse: | Batterie-Midibus "Solarbus Perchtoldsdorf" | 60 | 60 | 35 | [10] |
| | Batterie-Solobus | 100 | 100 | 50 | [9] |
| | Brennstoffzellenomnibus | 13 bis 18 kg (Wasserstoff) | 433 bis 600 | 60 | [11] [29] |
| | Solo-Oberleitungsbus | 195 | 195 | 135 | [12] |
| | Gelenk-Oberleitungsbus | 270 bis 320 | 270 bis 320 | 150 | [13] |
| | Hybridbus (Diesel Minibus mit 27,5% Ersparnis) | 14,4 l (Diesel) | 142 | 40 | [14] [17] [18] |
| | Hybridbus (Diesel Midibus mit 27,5% Ersparnis) | 18,4 l (Diesel) | 182 | 60 | [14] [17] [18] |
| | Hybridbus (Diesel Solobus mit 27,5% Ersparnis) | 24,0 l (Diesel) | 237 | 77 | [14] [17] [18] |
| | Hybridbus (Diesel Gelenkbus mit 27,5% Ersparnis) | 38,4 l (Diesel) | 380 | 110 | [14] [17] [18] |
| | Schienenfahrzeuge: | Straßenbahn * | 270 bis 360 | 270 bis 360 | 180 |
| U-Bahn * | | 470 bis 1000 | 470 bis 1000 | 592 | [19] [20] |
| Regional/S-Bahn | | 750 | 750 | 300 | [21] [26] |
| Fernverkehr (Intercity) | | 1530 | 1530 | 563 | [21] [26] |
| Verbrennungskraftfahrzeuge | | | | | |
| Krafträder: | Kleinkrafträder <45km/h | 3,5 l (Benzin) ***** | 32 | 2 | [16] [22] [24] |
| | Krafträder >45 km/h | 2,8 bis 8,6 l (Benzin) | 25 bis 77 | 2 | [23] |
| | 2-Takt Ottomotor (Euro-3, 2010) | 2,8 l (Benzin) | 25 | 2 | [30] |
| | 4-Takt Ottomotor (Euro-3, 2010) | 4,7 l (Benzin) | 43 | 2 | [30] |
| Kraftwagen: | mehrspurige Leichtkraftfahrzeuge | 2,8 l (Benzin) | 25 | 2 | [27] |
| | Kleinwagen (Euro 4) ** | 3,7 bis 5,2 l (Diesel) | 37 bis 51 | 4 | [7] |
| | Mittelklasse (Euro 4) ** | 5,35 bis 7,5 l (Diesel) | 53 bis 74 | 5 | [7] |
| | Oberklasse (Euro 4) ** | 7,35 bis 10,1 l (Diesel) | 73 bis 100 | 5 | [7] |
| Omnibusse: | Mini-Bus | 20 l (Diesel) | 198 | 40 | [14] |
| | Midi-Bus (9 Meter) | 26 l (Diesel) | 257 | 60 | [14] |
| | Solobus (12 Meter) | 33 l (Diesel) | 326 | 77 | [14] |
| | Linienbus (Euro IV) | 40,5 l (Diesel) | 401 | Annahme: 77 | [14] [30] |
| | Gelenkbus (18 Meter) | 53 l (Diesel) | 524 | 110 | [14] |
| Schienenfahrzeuge: | Regional/S-Bahn | 217 l (Diesel) | 2146 | Annahme: 300 | [21] [26] |
| | Fernverkehr (Intercity) | 508 l (Diesel) | 5024 | Annahme: 563 | [21] [26] |
| Anmerkungen: | | | | | |
| * die unteren Werte gelten für die künftig vorwiegend eingesetzte Drehstromwechselrichter-Technik | | | | | |
| ** die unteren Werte geben den durchschnittlichen Verbrauch Außerorts an, die oberen den durchschnittlichen Verbrauch Innerorts | | | | | |
| *** unter der Annahme, dass Innerorts 8 % und Außerorts 3% Kraftstoff eingespart werden können | | | | | |
| **** bei folgenden Umrechnungsfaktoren: Diesel: 9,89 kWh pro Liter, Benzin: 9 kWh pro Liter, Wasserstoff: 33,33 kWh/kg (Quellen:[15] [25]) | | | | | |
| ***** 100 km können rein elektrisch zurückgelegt werden. Für diese wird derselbe Verbrauch wie von Batteriefahrzeugen angenommen, darüber hinaus werden 20% | | | | | |
| ***** Aus drei verschiedenen Quellen gebildeter Durchschnittswert: 3 Liter: Quelle:[24], 3-4 Liter: Quelle:[22], 3-5 Liter: Quelle: [16] | | | | | |
| Quellen: | | | | | |
| [1] vgl. HP: Wachter, 2011 | [16] vgl. Holzer, 2012 | | | | |
| [2] vgl. HP: A-NO-LReg, 2011 | [17] vgl. FdA, 2009, S.11 | | | | |
| [3] vgl. HP: Wiki, EMotorrad, 2011 | [18] vgl. Linz, 2011, S.5 | | | | |
| [4] vgl. E & I, 2008, S.382 | [19] vgl. VDV, 2009, S.9 | | | | |
| [5] vgl. HP: Wiki, Toyota, 2011 | [20] vgl. HP: Wiki, UBahn, 2012 | | | | |
| [6] vgl. HP: Spiegel Online, 2011 | [21] vgl. Cerwenka et al., VSP, 2007, S.14 | | | | |
| [7] vgl. IFEU, 2011, S.11 | [22] vgl. Huber, 2012 | | | | |
| [8] vgl. Hannig et al., 2009, S.10 | [23] vgl. IFEU, 2004, S.23 | | | | |
| [9] vgl. HP: BYD, 2011 | [24] vgl. Pospisil, 2012 | | | | |
| [10] vgl. HP: Solarmobil Austria, 2012 | [25] vgl. HP: LBS, 2011 | | | | |
| [11] vgl. HP: VDI, 2011 | [26] vgl. IFEU, 2011, S.15 | | | | |
| [12] vgl. Björklund et al., 1999, S.30 | [27] vgl. HP: Leicht-Kfz, 2012 | | | | |
| [13] vgl. Infrac, 2008, S.36 | [28] vgl. HP: Stalleicher, 2012 | | | | |
| [14] vgl. Leuthardt et al., 2009, S.9ff | [29] vgl. HP: LBS, 2012 | | | | |
| [15] vgl. HP: BLAU, 2012 | [30] vgl. BAFU, 2010, S.108ff | | | | |

ANHANG 2

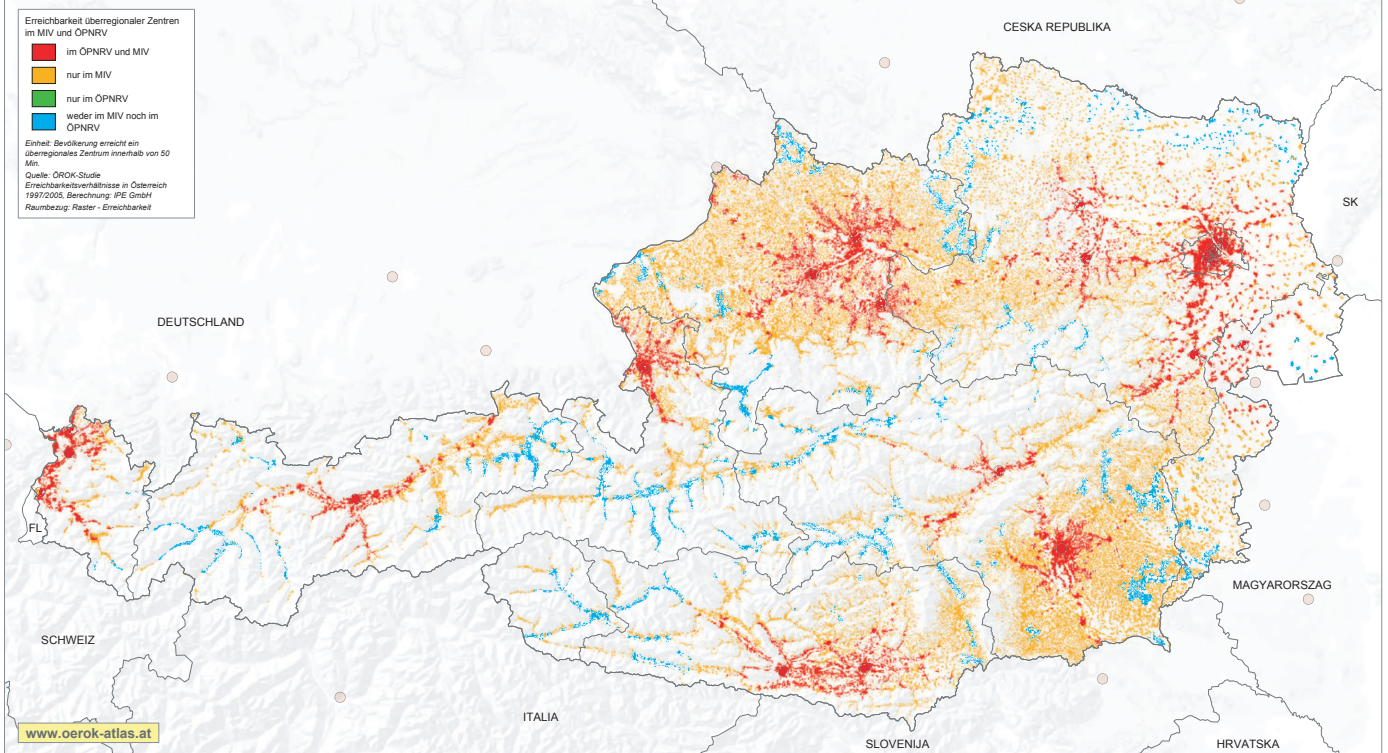
| TREIBHAUSGASEMISSIONEN | Treibhausgasemissionen in kg CO ₂ -Äquivalente pro 100 Fahrzeugkilometer * | |
|--|---|-----------------|
| | Well-to-Tank | Tank-to-Wheel |
| elektrisch unterstützt angetriebene Fahrzeuge | | |
| Pedelecs und Elektrofahräder bis 25 km/h: | | |
| | 0,14 bis 0,55 | 0 |
| Krafträder: | | |
| Batterie-Kleinkraft- und -Motordreiräder <45km/h | 1,1 | 0 |
| Batterie-Krafträder >45 km/h | 1,10 bis 2,21 | 0 |
| Brennstoffzellen-Krafträder | bisher keine Werte verfügbar | |
| Kraftwagen: | | |
| Batterie-Leicht-KFZ | 1,93 | 0 |
| Batteriefahrzeug-Kleinwagen | 2,5 bis 4,14 | 0 |
| Batteriefahrzeug-Mittelklasse | 4,14 bis 7,73 | 0 |
| Brennstoffzellen - Mittelklassewagen | 11,47 bis 17,2 | 0 |
| Micro-Hybrid - Kleinwagen | 1,54 bis 2,05 | 9,47 bis 12,62 |
| Micro-Hybrid - Mittelklasse | 2,23 bis 2,95 | 13,68 bis 18,15 |
| Mild -Hybrid - Kleinwagen | 1,33 bis 1,88 | 8,15 bis 11,57 |
| Mild -Hybrid - Mittelklasse | 1,93 bis 2,74 | 11,84 bis 16,83 |
| Full-Hybrid - Kleinwagen | 1,28 bis 1,8 | 7,89 bis 11,05 |
| Full-Hybrid - Mittelklasse | 1,84 bis 2,57 | 11,31 bis 15,78 |
| Plug In-Hybrid - Kleinwagen | THG-Emissionen: innerhalb der elektr. Reichweite des Fahrzeuges: wie bei Batterie-Fahrzeug, darüber hinaus wie bei Full-Hybrid-Fahrzeug | |
| Plug In-Hybrid - Mittelklasse | | |
| Omnibusse: | | |
| Batterie-Midibus | 16,56 | 0 |
| Batterie-Solobus | 27,6 | 0 |
| Brennstoffzellenomnibus | 186,31 bis 257,97 | 0 |
| Solo-Oberleitungsbus | 21,84 | 0 |
| Gelenk-Oberleitungsbus | 30,24 bis 35,84 | 0 |
| Mini-Hybridbus | 6,16 | 37,87 |
| Midi-Hybridbus | 7,88 | 48,39 |
| SoloHybridbus | 10,27 | 63,12 |
| Gelenk-Hybridbus | 16,44 | 100,99 |
| Schienenfahrzeuge: | | |
| Straßenbahn | 30,24 bis 40,32 | 0 |
| U-Bahn | 52,64 bis 112 | 0 |
| Regional/S-Bahn | 84 | 0 |
| Fernverkehr (Intercity) | 171,36 | 0 |
| Verbrennungskraftfahrzeuge | | |
| Krafträder: | | |
| Kleinkrafträder <45km/h | 1,83 | 8,16 |
| Krafträder >45 km/h | 1,47 bis 4,51 | 6,52 bis 20,04 |
| Kraftwagen: | | |
| mehrspurige Leichtkraftfahrzeuge | 1,47 | 6,52 |
| Kleinwagen (Euro 4) | 1,58 bis 2,23 | 9,73 bis 13,68 |
| Mittelklasse (Euro 4) | 2,29 bis 3,21 | 14,07 bis 19,73 |
| Oberklasse (Euro 4) | 3,15 bis 4,32 | 19,33 bis 26,56 |
| Omnibusse: | | |
| Mini-Bus | 8,56 | 52,60 |
| Midi-Bus | 11,13 | 68,38 |
| Solobus | 14,12 | 86,79 |
| Gelenkbus | 22,68 | 139,39 |
| Schienenfahrzeuge: | | |
| Regional/S-Bahn | 92,88 | 570,71 |
| Fernverkehr (Intercity) | 217,42 | 1336,04 |
| Anmerkungen und Quellen: | | |
| Berechnungen auf Basis der Energieverbräuche wie in Anhang 1 beschrieben | | |
| * Strom für Batterieladung und Wasserstoffherstellung: entsprechend des Mix des österr. Endverbrauchs 2008 | | |
| * Strom für Schienen- und Oberleitungsfahrzeuge: entsprechend des österr. Bahnstrom-Mix 2009 | | |
| vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.36 | vgl. HP: Energie Control, UCTE, 2011 | |
| vgl. HP: OeMAG, 2011 | vgl. HP: BLAU, 2012 | |
| vgl. HP: Energie Control, UCTE, 2011 | vgl. HP: LBS, 2011 | |

| TREIBHAUSGAS-EMISSIONEN | Diesel [in g/l] | Benzin [in g/l] | Wasserstoff** [in g/kg] | Strom*** [in g/kWh]* | Bahnstrom**** [in g/kWh]* |
|--|-----------------|-----------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|
| Well-to-Tank (WTT) | 428 | 524 | 14332 | 276 | 112 |
| Tank-to-Wheel (TTW) | 2630 | 2330 | 0 | 0 | 0 |
| Well-to-Wheel (WTW) | 3058 | 2854 | 14332 | 276 | 112 |
| Quellen: | [6] | [6] | [7] [8] [9] [10] | [8] [9] [10] | [11] |
| Anmerkungen: | | | | | |
| * Die Angabe der Schadstoffemissionen in g/kWh bezieht sich auf g CO ₂ je kWh Endenergie | | | | | |
| ** Bei der Wasserstoffherzeugung wurde die Verwendung von Strom entsprechende des Mix des österreichischen Endverbrauchs 2008 angenommen | | | | | |
| *** Beim Strom wurde der österreichische Endverbrauchmix 2008 angenommen | | | | | |
| **** Bahnstrom bezeichnet den österreichischen Bahnstrommix 2009 | | | | | |
| Quellen: | | | | | |
| [6] vgl. HP: BLAU, 2012 | | | | | |
| [7] vgl. Klell et al., 2009, S.4 | | | | | |
| [8] vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.36 | | | | | |
| [9] vgl. HP: OeMAG, 2011 | | | | | |
| [10] vgl. HP: Energie Control, UCTE, 2011 | | | | | |
| [11] vgl. IFEU, 2011, S.25 | | | | | |

ANHANG 3

| EMISSIONSFAKTOREN | Ö-Bahnstrom [g/kWh]* | Vorkette Diesel [in g/l] | Vorkette Benzin [in g/l] | Dieseltraktion S-Bahn (DB) [in g/l] | Dieseltraktion Intercity (DB) [in g/l] | Kraftwagen** [in g/Fz-km] | Linienbus** [in g/Fz-km] | Kleinmotorrad, Kleinkraftrad ** [in g/Fz-km] | Motorrad 2-T akter** [in g/Fz-km] | Motorrad 4-Takter** [in g/Fz-km] | Verbund *** [g/kWh]* | modernes Steinkohle-KW*** [g/kWh]* |
|--|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|--|------------------------------|-----------------------------|--|---|--|-------------------------|--|
| Stickoxide (NOx) | 0,094 | 1,498 | 1,558 | 38,854 | 46,093 | 0,492 | 7,19 | 0,056 | 0,047 | 0,173 | 0,049 | 0,520 |
| Schwefeldioxid (SO2) | 0,079 | 3,661 | 4,304 | 0,017 | 0,017 | 0,001 | 0,007 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,018 | 0,196 |
| NM VOC und NMHC ***** | 0,007 | 1,248 | 1,558 | 1,997 | 1,830 | 0,213 | 0,265 | 1,063 | 1,063 | 1,063 | k.A. | k.A. |
| Benzol | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | 0,016 | 0,005 | 0,058 | 0,058 | 0,058 | k.A. | k.A. |
| Kohlenstoffmonoxid (CO) | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | 1,12 | 0,674 | 2,761 | 7,279 | 2,121 | k.A. | k.A. |
| Stickstoffdioxid (NO2) | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | 0,215 | 1,798 | 0,003 | 0,002 | 0,009 | k.A. | k.A. |
| Kohlenwasserstoffe (HC) | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | 0,022 | 0,019 | 2,26 | 1,409 | 0,301 | k.A. | k.A. |
| PM exhaust/Partikel/ PM10/Staub**** | 0,024 | 0,191 | 0,215 | 0,749 | 0,416 | 0,022 | 0,003 | k.A. | k.A. | k.A. | 0,003 | 0,058 |
| PM non-exhaust | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | 0,038 | 0,246 | 0,009 | 0,009 | 0,009 | k.A. | k.A. |
| | [1] | [1] | [1] | [2] | [2] | [3] | [3] | [3] | [3] | [3] | [4] [5] | [4] [5] |
| Anmerkungen: | | | | | | | | | | | | |
| * Die Angabe der Schadstoffemissionen in g/kWh bezieht sich auf eine kWh Endenergie | | | | | | | | | | | | |
| ** Annahmen: - Kraftwagen und Linienbus: Diesel, 2010, klassifiziert als Euro-4 bzw IV - Kleinmotorrad, Kleinkraftrad: Benzin, 2010, klassifiziert als Euro-2 - Motorrad: Benzin, 2010, klassifiziert als Euro-3 | | | | | | | | | | | | |
| *** Die Angaben im Nachhaltigkeitsbericht des Verbund wurden als Nettostromerzeugung interpretiert. Folglich wurden von Nettostromerzeugung bis Endenergie Verluste in der Höhe von 13,4 Prozent entsprechend Quelle [5] eingerechnet. | | | | | | | | | | | | |
| **** In dieser Schadstoffkategorie wurden folgende Werte zusammengefasst: PM-exhaust [Quelle: 3], PM10 [Quelle: 1], Partikel-verbrennungsbedingt [Quelle: 2] und Staub [Quelle: 4] | | | | | | | | | | | | |
| ***** In dieser Schadstoffkategorie wurden folgende Werte zusammengefasst: NMVOCs [Quelle: 1 und NMHC [Quelle: 2 und 3] | | | | | | | | | | | | |
| Abkürzungen: NMVOC...non methane volatile organic compounds NMHC...non methane hydrocarbons PM exhaust...Partikel im Abgas PM non-exhaust...Partikel infolge Abrieb und Aufwirbelung DB...Deutsche Bahn | | | | | | | | | | | | |
| Quellen: | | | | | | | | | | | | |
| [1] vgl. IFEU, 2011, S. 23ff | | | | | | | | | | | | |
| [2] vgl. IFEU, 2011, S.15f | | | | | | | | | | | | |
| [3] vgl. BAFU, 2010, S.88ff, 108ff | | | | | | | | | | | | |
| [4] vgl. Verbund, 2010, S.60f | | | | | | | | | | | | |
| [5] vgl. BM WFJ, E-STA, 2010, S.36 | | | | | | | | | | | | |

ÖROKATLAS Erreichbarkeiten im MIV und ÖPNRV
ÖSTERREICHISCHE RAUMORDNUNGSKONFERENZ

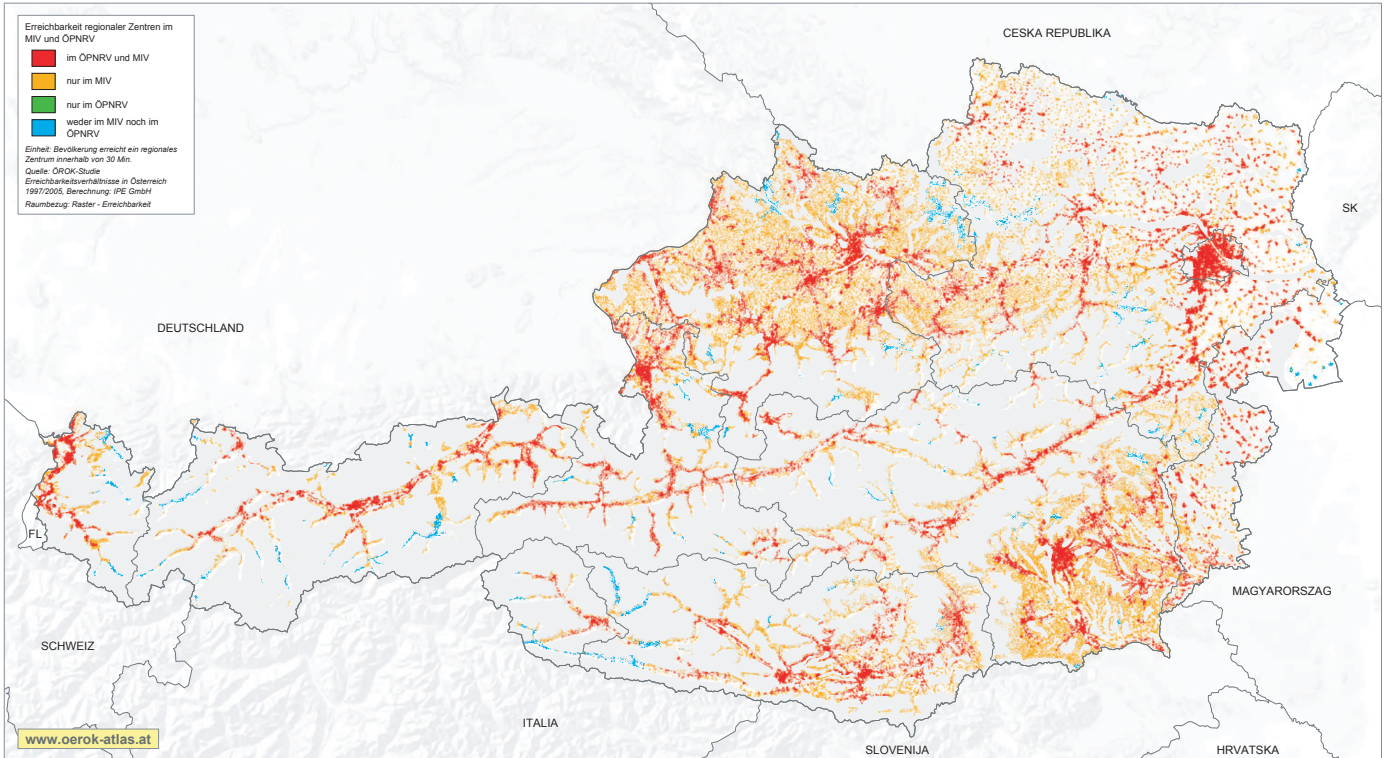


| | |
|-------------------------------|---|
| Administrative Grenzen | Geodatengrundlagen |
| — Landesgrenze | Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Bearbeitung Uni Wien, IGR, 2007 |
| — Staatsgrenze | |
| | Domäne |
| | AT > Verkehr > Erreichbarkeit |

0 20 40 60 80 100 km

Genehmigte ÖROK-Atlas Karte Karte erstellt am: 01.02.2012 12:04 Benutzerin: barbara_manhart_gmx_at

ÖROKATLAS Erreichbarkeiten im MIV und ÖPNRV
ÖSTERREICHISCHE RAUMORDNUNGSKONFERENZ



| | |
|-------------------------------|---|
| Administrative Grenzen | Geodatengrundlagen |
| — Landesgrenze | Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Bearbeitung Uni Wien, IGR, 2007 |
| — Staatsgrenze | |
| | Domäne |
| | AT > Verkehr > Erreichbarkeit |

0 20 40 60 80 100 km

Genehmigte ÖROK-Atlas Karte Karte erstellt am: 08.02.2012 14:20 Benutzerin: barbara_manhart_gmx_at