



Gefördert durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung
im Rahmen des Programms INTERREG IV A Großregion.



Interreg IV-A Projekt „ELEC'TRA“

Endbericht

Stand: 19.06.2015

Federführend Begünstigter und Leitung:
Dipl.-Ing. Francois Tanguy (CG 57)

Bearbeitung

Dr. Hedi Ayed (LIST)
Dipl.-Ing. Sascha Baron (imove)
Dipl.-Ing. Felix Berkel (LRS)
Dipl.-Geogr. Gilles Caspar (MDDI)
M.A. Barbara Dröschel (IZES)
Dipl.-Geogr. Göran Glauer (imove)
Jun.-Prof. Dr.-Ing. Daniel Görges (LRS)
Dr. Djamel Khadraoui (LIST)
M.Eng., Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Guillem Tänzer (IZES)

Anschrift

Conseil Départemental de la Moselle
Direction des Dynamiques Economiques, de la Compétitivité et de l'Attractivité
Hôtel du Département
BP 11096
57036 METZ Cedex 1

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	V
Zusammenfassung	VI
1. Rahmenbedingungen des Projekts	1
1.1. Informationen zum Kontext.....	1
1.2. Entstehung des Projekts ELEC'TRA.....	4
1.3. Ziele des Projekts ELEC'TRA	5
1.4. Finanzierung, Partner und Arbeitsgruppen	6
1.5. Logo des Projekts.....	7
1.6. Definitionen	8
2. Aktion 1 – Datenanalyse und grenzüberschreitendes Konzept.....	9
2.1. Zieldefinitionen	9
2.2. Methodik und Datengrundlagen	10
2.2.1. Fokus-Korridore und Sekundäranalyse	10
2.2.2. Ermittlung der Grundgesamtheit.....	11
2.2.4. Korridor 4	14
2.2.5. Ausschreibung	15
2.2.6. Abstimmung mit Infas.....	18
2.2.7. Umfrage.....	19
2.3. Ergebnisse	20
2.3.1. Ergebnisse der Sekundärdaten-Analyse.....	20
2.3.2. Ergebnisse Korridore 1-3.....	21
2.3.3.3. <i>Alternative Mobilitätsansätze für den Korridor 4</i>	50
3. Aktion 2 und 3 – Grenzüberschreitende Interoperabilität und eHub	59
3.1. eHub-Design.....	59
3.2. Vorbereitung der Eingabedaten für die Simulation	61
3.3. Simulationsumgebung oder Platzierung von eHubs	61
3.3.1. Verkehrssimulation.....	61
3.3.2. Abschätzung des Energiebedarfs.....	65
3.4. Konzept für das eHub-Management	70

3.4.1.	Motivation.....	70
3.4.2.	Methodik.....	72
3.4.3.	eFleet-Management	74
3.4.3.1.	eFleet-Verwaltung-Framework (eFVF).....	75
3.4.3.2.	Zurückbehaltene Konfigurationen und Simulationsergebnisse.....	82
3.4.3.3.	Auswirkungen von ELEC'TRA auf den Verkehr	86
3.4.4.	eEnergy- und eParking-Management	88
3.5.	Derzeitige Rahmenbedingungen für Elektromobilität.....	95
3.5.1.	Deutschland.....	95
3.5.2.	Frankreich.....	97
3.5.3.	Luxemburg.....	99
4.	Handlungsempfehlungen	101
4.1.	Schlussfolgerungen aus dem Projekt.....	101
4.1.1.	Wesentliche Erkenntnisse	101
4.1.2.	Empfehlungen	103
4.1.3.	Grenzen des Projekts	104
4.1.4.	Möglichkeiten der Weiterverfolgung: ein Projekt ELEC'TRA 2 im Rahmen von Interreg V-A Großregion?	106
4.2.	Lessons learnt.....	106
	Quellen.....	108
	Anhang.....	a
	Forschungsfragen:	a
	g

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grenzgängerströme innerhalb der Großregion 2014.....	2
Abbildung 2: Konzept-Skizze ELEC'TRA	5
Abbildung 3: Arbeitsaufteilung Operative Partner	7
Abbildung 4: Logo des Projekts	8
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Korridore.....	10
Abbildung 6: Übersicht Korridore	10
Abbildung 7: Erreichbarkeitsmodell	12
Abbildung 8: Ablauf der eingeschränkten Verfahrensweise.....	16
Abbildung 9: Bewertung der Angebote	18
Abbildung 10: Auswahl der repräsentativen Stichprobe	22
Abbildung 11: Modal Split der Korridore	22
Abbildung 12: Gründe für die Autonutzung.....	24
Abbildung 13: Gründe zur Nutzung von Fahrgemeinschaften	25
Abbildung 14: Abfahrzeiten Wohnort/Arbeitsplatz.....	26
Abbildung 15: Distanzen	27
Abbildung 16: Standort Parkplatz	28
Abbildung 17: Parkplatzkosten.....	28
Abbildung 18: Zwischenziele	29
Abbildung 19: Gründe für Zwischenziele	30
Abbildung 20: Gründe des Pendelns.....	31
Abbildung 21: Belastung des Pendelns.....	31
Abbildung 22: Notwendige Änderungen zur Nutzung von Elektroautos	32
Abbildung 23: Notwendige Änderungen zur Nutzung des ÖPNV.....	33
Abbildung 24: Notwendige Änderungen zur Nutzung von Fahrgemeinschaften.....	34
Abbildung 25: Favorisierte Nutzung in der Zukunft.....	35
Abbildung 26: Prozentuale Verteilung der Grenzpendler aus Lothringen	37
Abbildung 27: Top 7 - Wohnorte der Pendler mit Wohnort in Lothringen und Arbeitsplatz in Saarbrücken.....	38
Abbildung 28: Karte mit den Kommunen der Pendler mit Wohnsitz in Lothringen und Arbeitsplatz in Saarbrücken.....	39
Abbildung 29: Modal Split der Pendler mit Wohnort in Lothringen und Arbeitsplatz in Saarbrücken ..	39
Abbildung 30: Modal Split der Pendler mit Wohnort in Forbach (57.227) und Arbeitsplatz in Saarbrücken.....	40
Abbildung 31: Modal Split der Pendler mit Wohnort in Saargemünd (57.631) und Arbeitsplatz in Saarbrücken.....	40
Abbildung 32: Beispiel für Pendler Wohnort / Arbeitsplatz mit ÖPNV / Pkw bei kurzen Fahrwegen ..	41
Abbildung 33: Autobesitz der Pendler Lothringen-Saarbrücken.....	43
Abbildung 34: Beschäftigungsbereiche der Grenzpendler aus Lothringen (Wohnort in Lothringen und Arbeitsplatz im Ausland)	43
Abbildung 35: Wohnsituation Pendler Lothringen-Saarbrücken	44
Abbildung 36: Studiensteckbriefe.....	46
Abbildung 37: Aussagen der Experten zum Thema Verkehr.....	48
Abbildung 38: Einschätzung zu zukünftigen Entwicklungen im Unternehmen.....	49
Abbildung 39: Erläuterung ÖPNV-Mobilitätskonzept inkl. eHubs – Korridor 4.....	51

Abbildung 40: Erläuterung Individual-ÖPNV-Mobilitätskonzept inkl. eHub – Korridor 4.....	52
Abbildung 41: Erläuterung Individual-Mobilitätskonzept inkl. eHubs – Korridor 4 (IZES)	53
Abbildung 42: Verteilung der Beschäftigten	54
Abbildung 43: Erreichbarkeit der Unternehmen	55
Abbildung 44: Derzeitige Angebote für Beschäftigte in den Unternehmen	57
Abbildung 45: Zukünftige Angebote für Beschäftigte in den Unternehmen	58
Abbildung 46: eHub-Schema	59
Abbildung 47: eHub-Entwurf.....	60
Abbildung 48: eHub im ELEC'TRA-Konzept	60
Abbildung 49: Beispielhafte Abschätzung des Energiebedarfs an den eHubs (basierend auf Verkehrssimulationsdaten)	69
Abbildung 50: Struktur des eHub-Managementsystems	74
Abbildung 51. eFleet –Verwaltung-Frameworkdiagramm.....	76
Abbildung 52: Fallstudien von Szenarien	77
Abbildung 53: Optimieren der eHub-Platzierung durch DSS	77
Abbildung 54. Szenariogestalter-Werkzeug (Das GUI aus der DSS)	78
Abbildung 55: Komponentendiagramm des Verkehrssimulators	79
Abbildung 56: Beispiel einer Fahrgemeinschafts-Etappe	80
Abbildung 57: Beispiele für Standard- und freies Carsharing	81
Abbildung 58: Platzierung von P&R und eHubs.....	83
Abbildung 59: Verteilung der Wohnorte zufriedener Nutzer	84
Abbildung 60. Verkehrsfluss von Elektrofahrzeugen am eHub in Metz	85
Abbildung 61: Verkehrsfluss von Elektrofahrzeugen am P&R Cloche d'Or.....	85
Abbildung 62: Vergleich der Fahrzeiten (mit und ohne ELEC'TRA)	86
Abbildung 63: Verringerung der Fahrzeugzahl im gesamten Netzwerk	87
Abbildung 64: Durchschnittsvergleich der Fahrgeschwindigkeit (Strecke Trier - Luxemburg)	87
Abbildung 65: Beispielhafte Darstellung von Methode 1	88
Abbildung 66: Leistungsbedarf der Verbraucher und Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen.	92
Abbildung 67. Veranschaulichung der „Valley-Filling“-Idee.....	92
Abbildung 68: Beispielhafter Leistungsbedarf an einem eHub (basierend auf Verkehrssimulationsdaten)	95
Abbildung 69: Erreichbarkeitsmodell	d
Abbildung 70: Sekundärdaten: P+R-Anlagen	e
Abbildung 71: Sekundärdaten: Ladesäulen.....	f
Abbildung 72: Sekundärdaten: Wohnorte der Pendler nach IGSS	g
Abbildung 73: Verteilung der befragten Pendler nach Wohnort	h

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektpartner	6
Tabelle 2: Bestandsanalyse - harmonisierte Erfassung.....	11
Tabelle 3: Erreichbarkeitsmodell - hinterlegte Geschwindigkeiten.....	12
Tabelle 4: Ergebnis Erreichbarkeitsmodell.....	13
Tabelle 5: Top 12 - Kommunen der PendlerInnen mit Wohnort in Lothringen und Arbeitsplatz in Saarbrücken.....	38
Tabelle 5: Generelle Resultate	83

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
CNPD	Commission nationale pour la protection des données (dt.: luxemburgische Datenschutzkommission)
EE	Erneuerbare Energiequelle
EF	Elektrofahrzeug
GGLP	Gemischtes Ganzzahliges lineares Programm,
GGQP	Gemischtes Ganzzahliges Quadratisches Programm
GIS	Geoinformationssystem
ID	Identifikator
IGSS	Inspection générale de la sécurité sociale (dt.: Generalinspektion der Sozialversicherung des Großherzogtums Luxemburg)
imove	Institut für Mobilität und Verkehr an der TU Kaiserslautern
IVM	Interner Verbrennungsmotor
IZES	Institut für ZukunftsEnergieSysteme Saarbrücken
LRS	Lehrstuhl für Regelungssysteme an der TU Kaiserslautern
LS	Ladeszenario
MDDI	Minsitère du Développement Durable et des Infrastructures (dt.: Ministerium für nachhaltige Entwicklung und Infrastrukturen)
ÖPNV	Öffentlicher Personen-Nahverkehr
P+R	Park + Ride
PKW	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik
QP	Quadratisches Programm
TU	Technische Universität

Zusammenfassung

Das interdisziplinär angelegte EU-Interreg-Projekt „ELEC’TRA“ beschäftigt sich mit der Mobilität der 210.000 grenzüberschreitenden Pendler innerhalb der Großregion SaarLorLux. Diese ist durch einen hohen Anteil an motorisierten Individualverkehr gekennzeichnet. Das Großherzogtum Luxemburg als attraktiver Arbeitsplatz stellt dabei eines der Hauptziele dar. Luftverschmutzung, Lärmbelästigung sowie ein knappes Flächenangebot für den ruhenden Verkehr sind die wichtigsten Probleme Luxemburgs. Ziel des Projektes ist es, eine Potenzialstudie für einen energieeffizienteren motorisierten Individualverkehr, basierend auf Elektromobilität durch die Bündelung von Fahrten mittels Carsharing oder Fahrgemeinschaften, zu ermöglichen. Auf der ersten/letzten Meile soll dieser mit einer inter- oder multimodalen Ergänzung unterstützt werden. Als multimodale Umsteigepunkte sollen innovative, zentral gelegene „eHubs“ dienen. Dabei sind die Pendler, deren tageszeitliche Verteilung, Wohn- und Arbeitsorte sowie Wegeketten unbekannt, nicht zuletzt um die eHubs zu verorten. Eine repräsentative Umfrage unter 7.500 Pendlern und ca. 50 Unternehmen, die erste ihrer Art in der Großregion, soll das Verhalten und Umsteigepotential analysieren. Ergänzend wird das notwendige Flotten- und Energiemanagement simuliert, um die Auswirkungen auf das Energienetz einschätzen zu können. Der Fokus liegt dabei auf den Hauptkorridoren zwischen den vier Großstädten der Großregion: Trier, Luxemburg, Metz und Saarbrücken.

1. Rahmenbedingungen des Projekts

1.1. Informationen zum Kontext

„Großregion“ ist ein Begriff, der in den vergangenen Jahrzehnten verwendet wurde, um ein geografisches Gebiet zu bezeichnen, das bis dato unter dem Namen „SaarLorLux“ bekannt gewesen war. Heute fallen unter den Begriff „Großregion“ die um das Großherzogtum Luxemburg herum gelegenen Nachbarregionen. Die Großregion umfasst das Großherzogtum selbst, die Region Lothringen in Frankreich, die Wallonische Region in Belgien (einschließlich der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens) sowie die deutschen Bundesländer Saarland und Rheinland-Pfalz. Die wichtigsten urbanen Zentren in der Großregion haben sich zum Städtenez QuattroPole zusammengeschlossen, dem die Städte Luxemburg, Metz, Trier und Saarbrücken angehören. Nach tiefgreifenden strukturellen Veränderungen entwickelte sich im Großherzogtum in den vergangenen 30 Jahren ein starker Dienstleistungssektor¹. Diese Entwicklung hat sich auf die Mobilitätsmuster der Grenzpendler und den Wohnimmobilienmarkt niedergeschlagen. In der Großregion waren 2014 im täglichen grenzüberschreitenden Verkehr 210 000 Pendler unterwegs, Tendenz steigend². Allein 160.000 Arbeitnehmer pendeln nach Luxemburg ein. Die grenzüberschreitend zurückgelegten Strecken in der Großregion entsprechen einem Viertel des Gesamtwerts für das Europa der 28³.

¹ Wille, C. (2012): Grenzgänger und Räume der Grenze. Raumkonstruktionen in der Großregion SaarLorLux. Pp. 114 ff. – in: Gilles et al.: Luxemburg-Studien. Published by Peter Lang Verlag, Frankfurt.

² Statistics working group (2013): Statistische Kurzinformationen 2013, p. 33 – in: Key figures on the Greater Region 2013, published by the statistical offices of the Greater Region

³ Wille, C. (2012): Grenzgänger und Räume der Grenze. Raumkonstruktionen in der Großregion SaarLorLux. P. 33 – in: Gilles et al.: Luxemburg-Studien. Published by Peter Lang Verlag, Frankfurt.

Die Großregion wird folglich ganz wesentlich durch die Rolle von Luxemburg als „Beschäftigungsmagnet“ geprägt. Rund die Hälfte der Grenzgänger, die nach Luxemburg einpendeln, lebt in der Region Lothringen (ca. 75.600), während sich die andere Hälfte auf Deutschland (ca. 34.500) und Belgien (ca. 32.700) aufteilt. Der andere große Anziehungspunkt ist das Saarland und hier insbesondere seine Hauptstadt Saarbrücken. Abbildung 1 zeigt die Verteilung der Grenzgängerströme im Jahr 2014 gemäß den Daten des Statistischen Landesamts Rheinland-Pfalz. Diese Ströme erzeugen ein beträchtliches Verkehrsaufkommen, was aufgrund der zunehmenden Individualmobilität dauerhafte Auswirkungen auf die wichtigsten Verkehrsachsen hat und zum Erreichen der Kapazitätsgrenzen im Straßennetz führt – genauer gesagt auf den Hauptverkehrsadern Richtung Luxemburg.

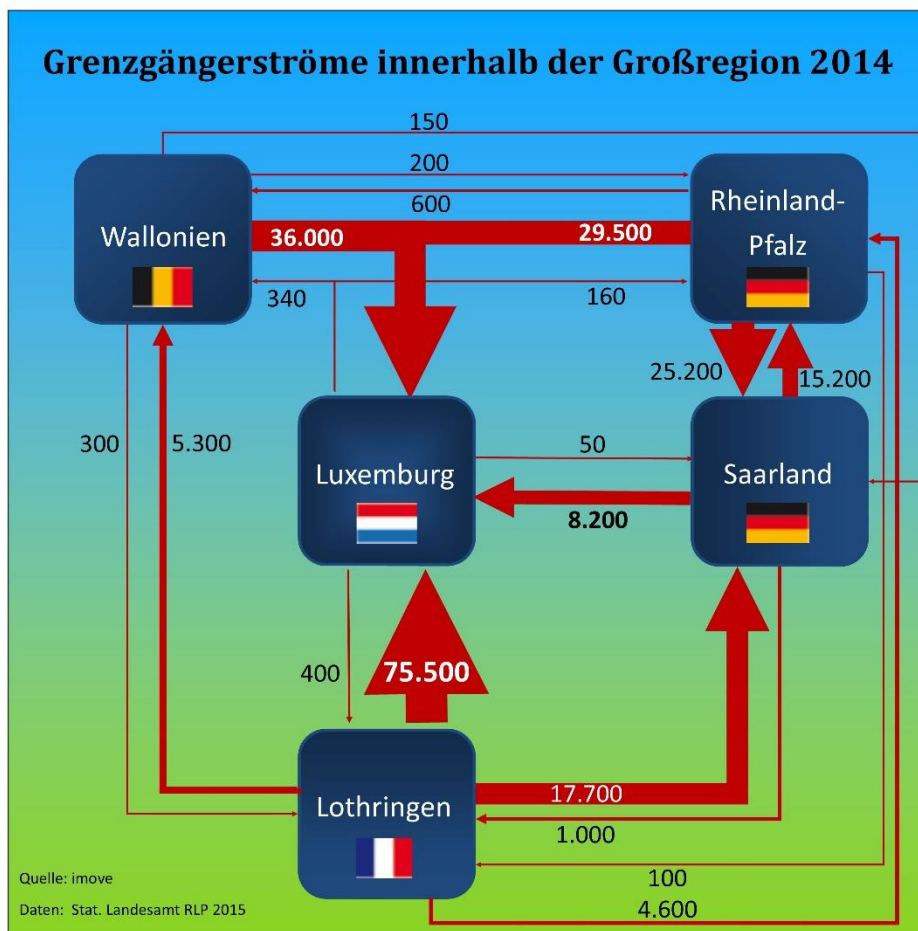


Abbildung 1: Grenzgängerströme innerhalb der Großregion 2014

Eine weitere Folge der besagten Grenzgängerströme ist der Mangel an Parkplätzen, mit dem sich die Stadt Luxemburg konfrontiert sieht. Insgesamt haben sich die Luftverschmutzung und die Lärmbelastung im gesamten Großherzogtum erheblich

verstärkt⁴. Der Schienenverkehr ist trotz gut entwickelter Infrastrukturen auf den Hauptkorridoren an seine Grenzen gelangt. Um das Schienennetz zu entlasten, wurden grenzüberschreitende Busverbindungen eingerichtet; auf einigen dieser Strecken lassen sich dabei Buszüge (Busse mit Anhängern) beobachten, mit denen auf die schwankende Zahl von Fahrgästen reagiert wird. Der motorisierte Individualverkehr wird jedoch mit Sicherheit weiterhin eine wesentliche Rolle spielen, da die Topografie des betreffenden Gebiets den Zugang zu öffentlichen Verkehrsmitteln schwierig oder gar unmöglich macht. Das Projekt nimmt diesen Befund zum Ausgangspunkt, mit dem Ziel, einen weniger energieintensiven und umweltfreundlicheren Individualverkehr im Rahmen eines intermodalen und multimodalen Angebots zu ermöglichen.

Ein Unsicherheitsfaktor betrifft die Nutzungsgewohnheiten und das Verhalten der Grenzgänger. Obwohl Auskünfte zur Zahl der Pendler und zu ihrem Wohnort bei der für die Sozialversicherung zuständigen luxemburgischen Aufsichtsbehörde „Inspection Générale de la Sécurité Sociale“ (I.G.S.S.)⁵ eingeholt werden können, gibt es keinerlei Informationen zu ihrem Arbeitsort in Luxemburg. Ebenso wenig gibt es Informationen zu den von den Pendlern genutzten Verkehrsmitteln oder zur Dauer ihrer Fahrten aus beruflichen Gründen. Eine genauere Analyse der Nutzungsgewohnheiten und des Verhaltens der Pendler war also unbedingt erforderlich. Die im Rahmen des Projekts „ELEC'TRA“ durchgeführte Umfrage ermöglichte es zum ersten Mal, sich ein genaueres Bild vom Verhalten der Pendler und von ihren Nutzungsgewohnheiten zu machen.

⁴ Quelle: MDDI (2012): Globale Strategie für eine nachhaltige Mobilität. Für Einwohner und Grenzgänger. Information brochure for residents and cross-border commuters, published in connection with Luxembourg's global strategy for sustainable passenger transport. Pp. 5 ff. http://www.mt.public.lu/planification_mobilite/1strategie_modu/Informationsbroschuere_MoDu.pdf (accessed on 23 July 2013)

⁵ IGSS (2013): "Evolution du nombre de frontaliers (salariés et non-salariés) par commune de résidence" www.isog.public.lu (accessed 23 July 2013)

1.2. Entstehung des Projekts ELEC'TRA

2011 rief das Departement Moselle unter dem Namen „Moselle Electromobile“ ein ehrgeiziges Konzept zur Förderung der Elektromobilität ins Leben. Dieses für ein so großes Gebiet besonders innovative Konzept basierte auf der Mitwirkung des Departements an dem deutsch-französischen Projekt „CROME“ (CROss-border Mobility for Electric Vehicles), bei dem es sich um die erste Erprobung eines grenzüberschreitenden Verkehrs mit Elektrofahrzeugen zwischen Frankreich und Deutschland handelte. In diesem Rahmen baute das Departement eine Fahrzeugflotte mit 30 in Hambach im Departement Moselle produzierten E-Smarts sowie ein Netz von Ladesäulen nach deutsch-französischem Standard auf.

Die Existenz von Elektromobilitätsnetzwerken in allen Partnergebieten – Moselle Electromobile, Netzwerk Elektromobilität Rheinland-Pfalz, Elektromobilität im Saarland und Elektromobilität.lu – ermöglichte die Zusammenführung von Ressourcen, um ein Projekt zu erarbeiten und einen Antrag auf Fördermittel für ein großes grenzüberschreitendes Elektromobilitätsprojekt im Rahmen des Programms Interreg IV-A Großregion einzureichen.

Schon zu Beginn der Diskussionen im Jahr 2012 schien es den Partnern sinnvoll zu sein, als Ergänzung der öffentlichen Verkehrsmittel die Möglichkeiten einer Vernetzung multimodaler Fahrgemeinschafts-Plattformen zu prüfen, die über Flotten von Elektrofahrzeugen verfügen. Ein solches Projekt wurde parallel zu dem Projekt „Moselle Nouvelles Mobilités“ – das einen Carsharing-Dienst für Elektrofahrzeuge vorsieht, der zugleich zu Fahrgemeinschaften zwischen Metz, Thionville und Luxemburg anspornen soll – sowie zu der Strategie MoDu (mobilité durable: nachhaltige Mobilität) des Großherzogtums Luxemburg entwickelt. In letzterem Fall ging es insbesondere um die Einrichtung von Park-and-Ride-Anlagen (P+R) am Stadtrand von Luxemburg.

1.3. Ziele des Projekts ELEC'TRA

Das von den Partnern angestrebte Projektziel, auf der Grundlage des Austausches und der gemeinsamen Nutzung ihrer Erfahrungen, ist die Konzeption einer intelligenten, grenzüberschreitenden Mobilitätskette für die Pendler in der Großregion, die die individuelle Mobilität, unterstützt durch Elektromobilität, mit öffentlichen Verkehrsmitteln kombinieren soll. Dabei sollen zeitlich und räumlich ähnliche Verkehrsströme zur Erhöhung des Auslastungsgrades gebündelt werden. Wo möglich, soll dies durch öffentliche Verkehrsmittel abgewickelt werden. Die erste und letzte Meile in der Wegekette, bei der ein Angebot an öffentlichem Verkehr nicht leistbar ist, soll über individuelle Fortbewegung abgedeckt werden. Dazu dient der Einsatz elektrisch angetriebener Verkehrsmittel, wie Elektroautos oder Pedelecs und E-Bikes. Betrachtet werden nur Pendlerverflechtungen in der Großregion. Freizeitverkehre bleiben unberücksichtigt, es sei denn, sie finden in der täglichen Wegekette statt.

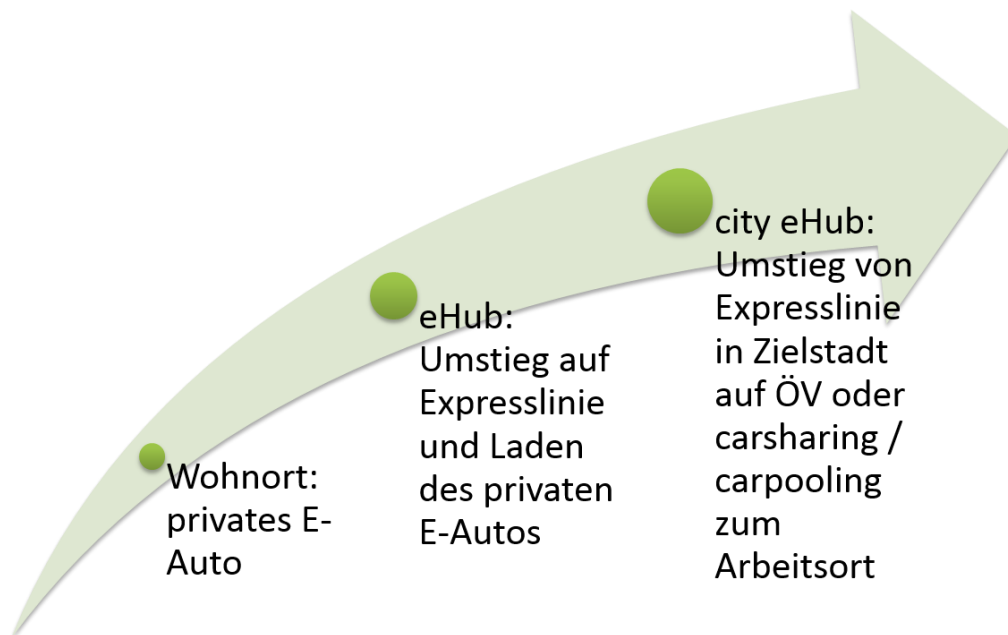


Abbildung 2: Konzept-Skizze ELEC'TRA

1.4. Finanzierung, Partner und Arbeitsgruppen

Das Projekt findet im Rahmen des EU-Interreg-IVa-Programms „Großregion“ statt. Dieses Programm hat das Ziel, die grenzüberschreitende Zusammenarbeit zwischen EU-Mitgliedsstaaten zu fördern. Finanziert werden die Projekte zur Hälfte mit Mitteln aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung „EFRE“ und mit Mitteln der jeweiligen Ko-Finanzierer (siehe Tabelle 1, Strategische Partner). Die Akteure innerhalb des Projektes teilen sich zunächst in operative und strategische Partner auf.

Tabelle 1: Projektpartner

Strategische Partner	Operative Partner
Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Energie und Verkehr des Saarlandes	Conseil Général de Département Moselle in Metz
Ministerium des Innern, für Sport und Infrastruktur des Landes Rheinland-Pfalz	TU Kaiserslautern, Lehrstühle LRS und imove
Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung des Landes Rheinland-Pfalz	Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES) Saarbrücken
Verkéirsverbond Luxemburg	Public Research Centre „Henri Tudor“ in Luxemburg
	Ministère du Développement durable et des infrastructures du Grand-Duché de Luxembourg

Auf der Arbeitsebene haben sich die operativen Partner in zwei Arbeitsgruppen aufgeteilt.

1. Die Arbeitsgruppe 1 (AG1), unter der Leitung des Ministeriums für nachhaltige Entwicklung und Infrastruktur des Großherzogtums Luxemburg, befasst sich mit der Analyse der Pendlerströme und der Typologie der Pendler auf den ausgewählten Verkehrskorridoren sowie mit den potentiellen Standorten der multimodalen Plattformen, genannt „eHubs“;
2. Die Arbeitsgruppe 2 (AG2), unter der Leitung der Technischen Universität Kaiserslautern, befasst sich mit der Weiterentwicklung des „eHubs“-Konzepts und der Instrumente eNergy, eParking und eFleet-Management.

Um die vorgenannten Ziele zu erreichen, wurde das Projekt in drei Aktionen unterteilt:

- Aktion 1: Planung einer intelligenten grenzüberschreitenden Mobilitätskette, die für Verbindungen zwischen den öffentlichen Verkehrsmitteln sorgt und die Elektromobilität einbindet;
- Aktion 2: Erarbeitung eines grenzüberschreitenden Plans für die Entwicklung von Plattformen für den Wechsel des Verkehrsträgers auf der Grundlage einer gemeinsamen Methodik und für die einzelnen ausgewählten Korridore (Lokalisierung und Bemessung der eHubs, Geschäftsmodelle)

- Aktion 3: Entwicklung einer Strategie zur Verwaltung der Elektromobilitäts-Plattformen: Festlegung des für eine Interoperabilität der Plattformen erforderlichen Umfelds.

Als Ergänzung auf administrativer und beratender Ebene agiert ein Begleitausschuss, in dem je ein Mitglied jedes Partners und der zuständigen EU-Behörden vertreten ist. Abbildung 3 zeigt zusammengefasst die Aufteilung der operativen Partner. Das Projekt startete am 01. Juni 2013 und endete am 30. Juni 2015.



Abbildung 3: Arbeitsaufteilung Operative Partner

1.5. Logo des Projekts

Die Partner des Projekts haben sich darauf verständigt, ein für das Projekt repräsentatives Logo zu entwerfen. Hinter dem abstrakt wirkenden Erscheinungsbild verbirgt sich eine vielfältige Symbolik.

Zunächst einmal stellt das Logo zwei miteinander verbundene Steckdosen dar, die die grenzüberschreitende Elektromobilität symbolisieren, wobei der weiße Streifen zwischen den beiden Steckdosen für die spiegelbildliche Zusammenarbeit zwischen den Partnern steht.



Abbildung 4: Logo des Projekts

Der zweite symbolische Aspekt hat eine geografische Dimension, da es sich um eine abstrakte Darstellung der Partnergebiete handelt: Luxemburg und das Departement Moselle in Grün und das Saarland und Rheinland-Pfalz in Blau.

Beim Namen des Projekts schließlich handelt es sich um eine zusammengesetzte Kurzform von „Electromobilité Transfrontalière“ (grenzüberschreitende Elektromobilität), wobei die Buchstaben ELEC fett gedruckt sind, um den innovativen Charakter des Projekts rund um die Elektromobilität hervorzuheben.

1.6. Definitionen

Im Rahmen des Projekts sind mehrere Fachwörter in Gebrauch, die vorher einer Erklärung bedürfen:

- **Atypischer Grenzgänger:** Arbeitnehmer und Selbstständige, die ihren ständigen Wohnsitz aus dem Heimatland in ein anderes Land verlagert haben, aber weiterhin nahezu täglich in ihr Heimatland an ihren Arbeitsplatz pendeln.⁶
- **Intermodal:** Nutzung von mind. zwei unterschiedlichen Verkehrsmitteln auf einem Weg von A nach B → Wegebezogen; Sonderform der Multimodalität.⁷
- **Multimodal:** Beschreibt die grundsätzliche Option für den Nutzer, verschiedene Verkehrsmittel zu verwenden.⁸
- **eHub:** Multimodaler Umsteigepunkt mit Ladesäulen für Elektroautos, der verschiedene Verkehrsmittel miteinander verknüpft, bspw. ein Bahnhof mit Parkplätzen oder ein Mitfahrerparkplatz mit Busanschluss (siehe hierzu mehr im Kapitel 3.1.)

⁶ Wille, C. (2012): Grenzgänger und Räume der Grenze. Raumkonstruktionen in der Großregion SaarLorLux. S. 17 – In: Gilles et al(Hrsg.): Luxemburg-Studien. Peter Lang Verlag. Frankfurt.

⁷ Von der Ruhren, S. u.a. (2003); <http://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/353986/> (Zugriff 01.02.15)

⁸ ebenda

2. Aktion 1 – Datenanalyse und grenzüberschreitendes Konzept

2.1. Zieldefinitionen

Zum Auftakt des Projekts wurden zunächst die Ziele und Erwartungen jedes Partners festgehalten. In der fachlichen Arbeitsgruppe wurde sich auf die folgenden Punkte verständigt:

- Gemeinsames Verständnis der Aufgaben der Arbeitsgruppe
- Methodische Vorgehensweise
- Übersicht über bereits existierende Studien
- Definition relevanter „Meilensteine“/Zielvorgaben
- Zeitplan

In einem weiteren Schritt wurden die gemeinsam gesteckten Ziele aus dem Projektantrag konkretisiert. Dabei ging es vor allem um die Festlegung der Begriffe „Pendler“, „tägliche Berufspendler“, „Grenzüberschreitend“ in Verbindung mit „intelligent“ und welche Zielgruppe, gemessen an der Wahl des Verkehrsmittels, im Fokus stehen soll.

Weiterhin wurden die für das weitere Vorgehen relevanten zentralen Forschungsfragen gemeinsam abgestimmt. Im Folgenden sind die fünf übergeordneten Forschungsfragen aufgelistet (In der Übersicht im Anhang a und b sind die detaillierten Forschungsfragen zu finden):

1. Wo ergibt ein eHub Sinn? (Standortkonzept / Entscheidungskriterien)
2. Welche Eigenschaften und welchen Service sollten diese anbieten? (Ausstattungsmerkmale)
3. Was ist ein angemessenes Design? (Dimensionierung)
4. Was sind die Erwartungen der Pendler bezüglich der Mobilität? Was sind deren „Sensibilitäten“? (Nachfrage / Marktanalyse)
5. Welche sind die nationalen Rahmenbedingungen (Politisch, Ökonomisch, Organisatorisch, Gesetzlich)
6. Welche sind die Hauptakteure und welche Interessen vertreten diese? (Akteursanalyse)

2.2. Methodik und Datengrundlagen

2.2.1. Fokus-Korridore und Sekundäranalyse

Die Forschungsfragen wurden zur Operationalisierung genutzt und finden sich im Sinne von Meilensteinen und Arbeitspaketen in der Arbeitsplanung wieder. Der räumliche Fokus wurde auf die vier folgenden Korridore gelegt, welche in Abbildung 5 aufgezeigt werden:

- Metz – Thionville – Luxemburg
- Trier – Luxemburg
- Merzig – Luxemburg
- Saarbrücken – Forbach – Saargemünd

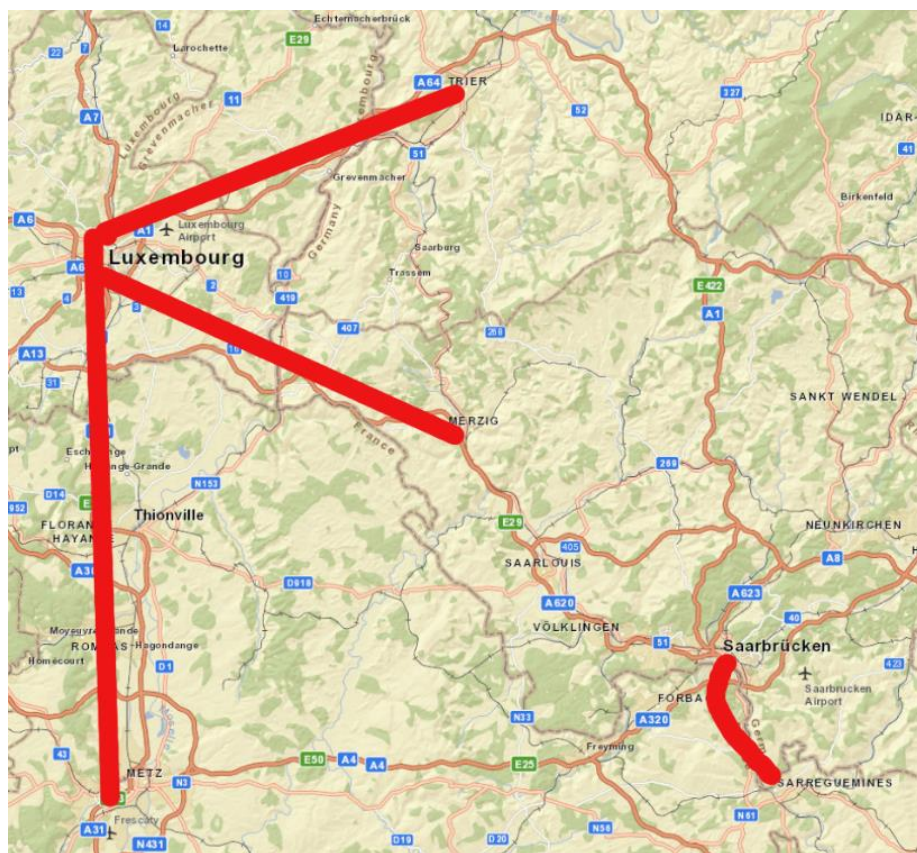


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Korridore

Nun wurden für jede Partnerregion dem Projekt thematisch relevante Studien, Statistiken und weitere Veröffentlichungen gesammelt und auf verwertbare Inhalte analysiert. Die Inhalte wurden in einer zusammen erarbeiteten Struktur verschiedenen Indikatoren (z.B. Autor, Auftraggeber, Erscheinungsdatum, abgedeckte Region, Inhalt) zugeordnet. Als Ergebnis konnte so eine harmonisierte Gesamtübersicht erstellt werden, in der aufgezeigt wird, welche Themen- bzw. Forschungsbereiche bisher ausreichend und fundiert abgedeckt sind und in welchen

noch Forschungslücken vorhanden sind, die hinsichtlich des Projektziels im weiteren Verlauf des Projekts noch zu beantworten sind. Die im Anhang c befindliche Tabelle gibt einen Überblick über diese Studien, die folgende Tabelle 2 eine Übersicht über die im Detail analysierten Inhalte.

Tabelle 2: Bestandsanalyse - harmonisierte Erfassung

A Strategisch Analyse möglicher Standorte				B Strateg. Bedarfsanalyse			C Analyse der Interessenten					D Rahmenbedingungen			
1 Infrastruktur	2 Soziodemogra- phische Daten	3 Arbeitgeber	4 Verkehrsdaten	1 Motivation der Pendler	2 Sensibilitäten	3 Erwartungen	1 Pendler	2 Arbeitgeber	3 Operators Investoren	4 Entscheidungs- träger	5 Weitere	1 Politisch	2 Ökonomisch	3 Organisa- torisch	4 Juristisch

Basierend auf den Ergebnissen dieser Analyse (siehe Kapitel 2.3.1.) und in Verbindung mit der Projekt-Idee war eine Umfrage notwendig. Diese sollte die erste, direkt die Grenzpendler betreffende Vollerhebung in der Großregion darstellen, welche es in diesem Umfang und Inhalt bisher noch nicht gegeben hat.

2.2.2. Ermittlung der Grundgesamtheit

Aufgrund der IGSS-Datenbank, in der sämtliche Daten der in Luxemburg arbeitenden Menschen erfasst sind, war die Basis zur Ermittlung der Grundgesamtheit bereits vorhanden.

Zur Ermittlung einer daraus resultierenden Stichprobe entlang der drei ersten Korridore wurde ein mehrstufiges Erreichbarkeitsmodell erarbeitet. Dieses beinhaltet als ersten Schritt der Eingrenzung die Wohnorte der Pendler mit Stichtag 31. Dezember 2013. Als Nächstes wurde, die Autobahnen in Frankreich und Deutschland als Referenz zugrunde legend, sowohl ein Luftlinienkorridor von 15 km rechts und links der Autobahnen als auch eine routenbasierte Erreichbarkeit von maximal 15 Minuten zur weiteren Eingrenzung herangezogen. Dies geschah anhand der auf den dorthin ermittelten Straßen und den hierfür hinterlegten Geschwindigkeiten. Dieses Modell kennt allerdings keine Beschleunigungs- und

Bremsvorgänge und geht stets davon aus, dass die Geschwindigkeiten eingehalten werden. Um eine realitätsnahe Konkretisierung vorzunehmen, wurden die Straßentypen mit Durchschnittsgeschwindigkeiten versehen, welche in Tabelle 3 einsehbar sind.

Tabelle 3: Erreichbarkeitsmodell - hinterlegte Geschwindigkeiten

Straßentyp	Angenommene Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h
Bundesstraße	75
Landesstraße	67
Kreisstraße	65

Ebenso werden Baustellen und stauanfällige Straßen nicht berücksichtigt. Der ausschließliche Bezug auf die Autobahnen erfolgte, da hier das größte Potenzial im Rahmen der Projektidee gesehen wird. Als letzte Ebene wurden die Gemeindegrößen berücksichtigt, wobei hier eine annähernde Gleichverteilung der Bevölkerung innerhalb der Gemeinden berücksichtigt wurde. Die einzelnen Schritte sind in Abbildung 6 zusammengefasst abgebildet.

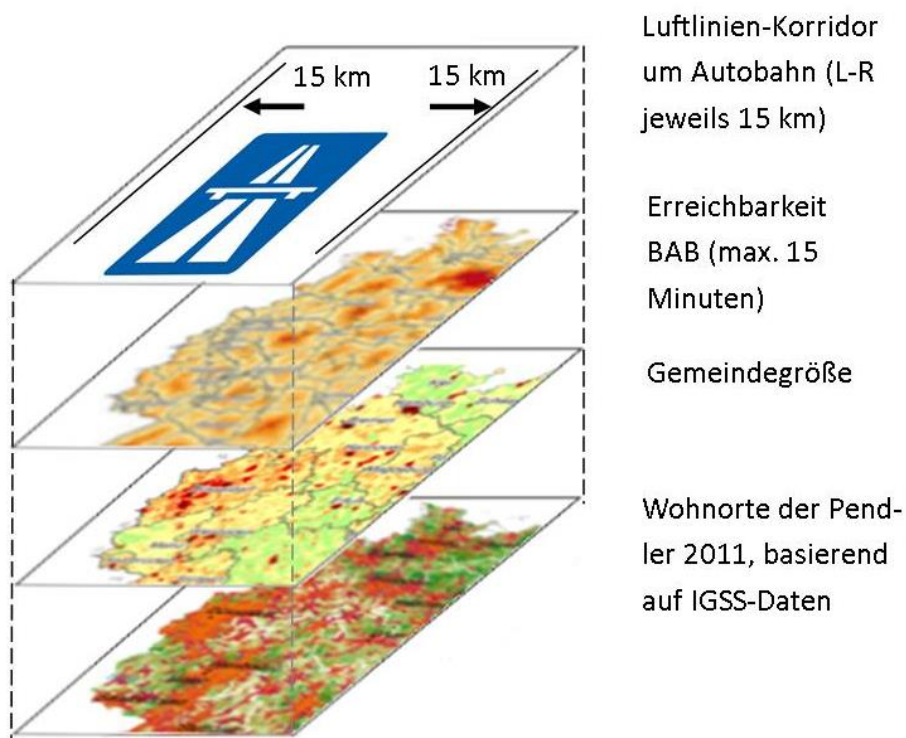


Abbildung 7: Erreichbarkeitsmodell

Dadurch entstand eine Wege-Zeit-Darstellungsmöglichkeit für jeden einzelnen Ort. Die ermittelten Zeiten wurden in 5-Minuten-Intervallen gruppiert, so dass eine Vereinfachung bezüglich der visuellen Darstellung vorgenommen werden konnte.

Die absoluten Pendlerzahlen für jeden Wohnort waren durch die IGSS-Datenbank bereits vorhanden, sodass in einem weiteren Schritt nur noch die Zahlen den Orten zugeteilt werden mussten. Als Ergebnis konnte eine repräsentative Basisstichprobe von 55.300 Pendlern, wohnhaft in 247 Gemeinden, ermittelt werden, die für weitere Schritte Verwendung fand. Die Karte im Anhang d zeigt die Gemeinden und absoluten Zahlen dieser Pendler. Die Namen der Gemeinden wurden der IGSS übermittelt. Tabelle 4 zeigt die Aufteilung dieser Basisstichprobe.

Tabelle 4: Ergebnis Erreichbarkeitsmodell

Größe der Kommunen	Anzahl der Kommunen	Pendler abs.	Pendler RLP	Pendler SR	Pendler Mos	Anteil RLP	Anteil SR	Anteil Mos	Total Verteilung
100.000 - 500.000 hab.	3	10.127	6.474	347	3.306	11,90 %	0,60 %	6,10 %	18,60%
20.000 - 50.000 hab.	11	8.254	0	1.834	6.420	0,00 %	3,40 %	11,80 %	15,20%
10.000 - 20.000 hab.	66	14.510	340	2.333	11.837	0,60 %	4,30 %	21,80 %	26,70%
5.000 - 10.000 hab.	101	18.252	1.629	1.797	14.826	3,00 %	3,30 %	27,30 %	33,60%
< 5.000 hab.	66	3.212	1.715	0	1.497	3,20 %	0,00 %	2,80 %	5,90%
Total	247	54.355	10.158	6.311	37.886	18,70%	11,60%	69,70%	100,00%

Zur Wahrung des Datenschutzes wurde zuvor eingehend mit den beteiligten Datenschutzbeauftragten gesprochen, ebenso musste in einem Gespräch mit dem IGSS genauestens dargelegt werden, wozu, wann und in welchem Rahmen die Datenbank genutzt werden soll.

2.2.3. Indikatoren

In einem weiteren Schritt wurden die Forschungsfragen detailliert und für jede Aktion zugeschnitten, in Form von Indikatoren ausformuliert und abgestimmt. Dabei wurde bereits in zwei Richtungen gedacht: Ein erster Fragebogen sollte auf die Pendler zugeschnitten sein, ein Zweiter auf die 120 größten Unternehmen, gemessen am Pendleranteil der Angestellten, der sich ebenfalls aus der IGSS-Datenbank gewinnen ließ.

Indikatoren der Pendler: Zunächst wurden in einem kooperativen Verfahren die Indikatoren erstellt und thematisch in zwei Blöcke – räumliche Analyse und nachfrageorientierte Analyse – eingeordnet. Nachdem diese Übersicht sortiert war, wurden die 42 Indikatoren mittels dreier Prioritätsstufen („must have“ – „good to have“ – „nice to have“) von jedem Projektpartner individuell abgestimmt.

Indikatoren der Unternehmen: Auch hier wurden zusammen die relevanten Fragen operationalisiert, und in Form von ebenfalls 42 Indikatoren in vier Themenblöcke strukturiert sowie den Projektpartnern zur Wahl gestellt.

Die jeweiligen Mittelwerte der Abstimmungen flossen in die Entwicklung der Fragebögen, und zugleich als Orientierung für das Befragungsunternehmen Infas, ein.

2.2.4. Korridor 4

Für die Achse 4 wurden Daten des „Institut national de la statistique et des études économiques“ (INSEE) aus dem Jahr 2010 herangezogen, welche im Fünfjahresrhythmus im Rahmen einer landesweiten, sozialwissenschaftlichen Erhebung aktualisiert werden. In dieser Statistik werden auch Grenzpendler aus Lothringen mit Arbeitsort im Ausland erfasst. Die Daten konnten für die Achse 4 ausgewertet werden.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit⁹ wurde eine Auswertung der Daten des INSEE auch für die anderen drei Korridore durchgeführt, was insgesamt einen zusätzlichen Mehrwert für das Projekt erbrachte.

Für den Korridor 4 hat sich zudem herausgestellt, dass eine eigene Umfrage, wie sie für die Korridore 1 bis 3 des Projekts durchgeführt wurde, nicht möglich war. Eine

⁹ Verfasserin: Valerie Koch (01.07.-30.09.2015 Praxisphase IZES gGmbH); Bachelor-Studentin am DFHI der HTW des Saarlandes

vergleichbare Datenbasis existiert zwar in Frankreich, hier waren jedoch die Adressdaten von Grenzpendlern nicht verfügbar oder konnten wegen strenger Datenschutzrichtlinien nicht zur Verfügung gestellt werden. Eine repräsentative Befragung aller Bewohnern im Bereich des Korridors 4 (basierend auf Sozialversicherungsdaten), die ein Herausfiltern der Grenzpendler ermöglicht hätte, war im Rahmen des Projektbudgets nicht durchführbar.

Das Forschungskonsortium¹⁰ ist daher gemeinsam zu dem Schluss gekommen, für den Korridor 4 einen starken Fokus auf ein qualitatives Erhebungsdesign zu legen. So sollte versucht werden, die Ergebnisse der Korridore 1-3 mit dem Korridor 4 und umgekehrt, die qualitativen Ergebnisse dem Korridor 4 auf die Korridore 1-3 zu spiegeln. Die qualitative Befragung wurde von Seiten des „Instituts für angewandte Sozialwissenschaft GmbH (infas)“ durchgeführt, welches zugleich Auftragnehmer auf den ersten drei Korridoren war.

2.2.5. Ausschreibung

Für die Befragung der Pendler wurde ein externer Auftragnehmer per Ausschreibung gesucht. Der Auftraggeber hierfür war das Ministerium für nachhaltige Entwicklung und Infrastrukturen (MDDI) aus Luxemburg unter der Federführung der Direktion für Mobilitätsplanung. Bei der Auswahl der Bewerber wurde das Ministerium von den Instituten imove und IZES unterstützt.

¹⁰ Projektpartnertreffen in Luxemburg am 29.04.2014

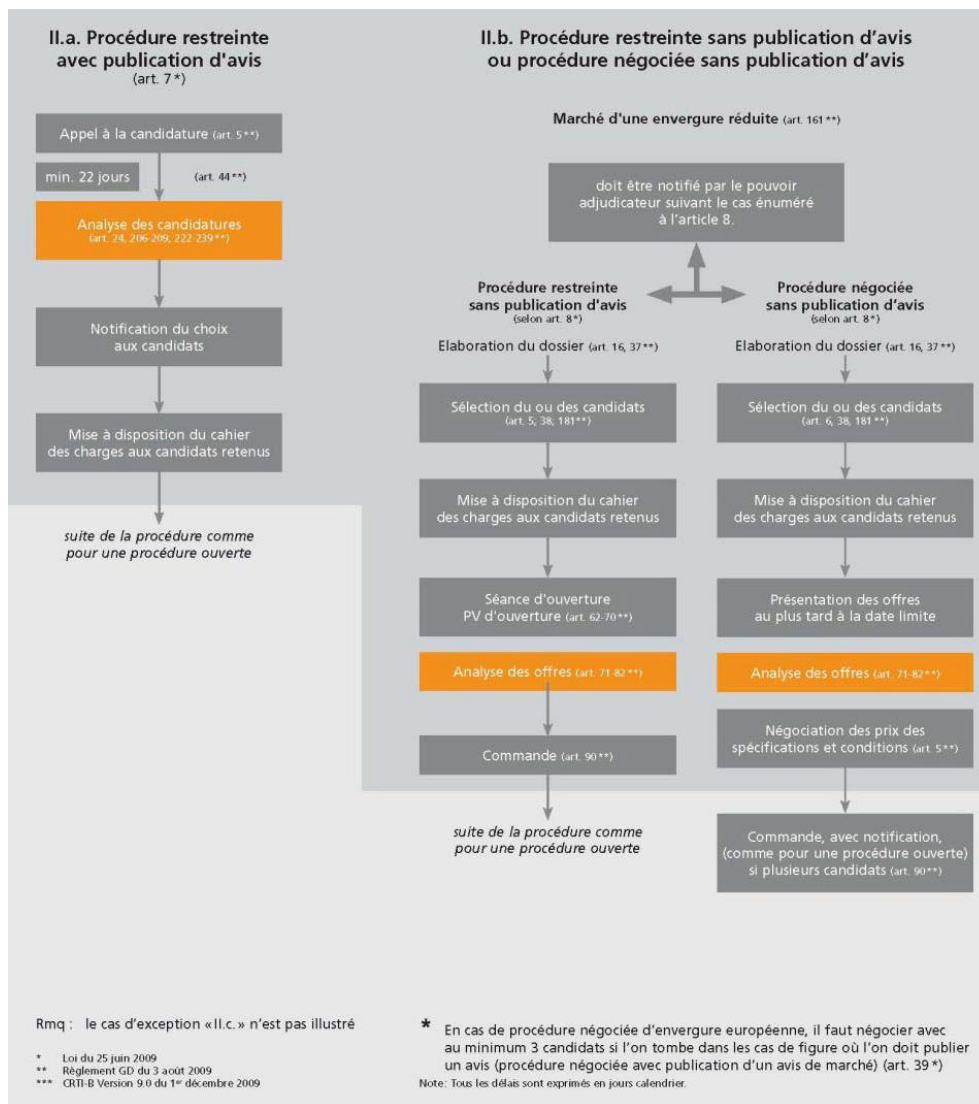


Abbildung 8: Ablauf der eingeschränkten Verfahrensweise

Da die Ausschreibung in Luxemburg stattfand, unterlag der Ablauf dieser der Luxemburger Gesetzgebung, welche die einzuhaltenden Prozeduren festlegt.¹¹ Um den Vorgang zur Findung eines Auftragnehmers zu beschleunigen und da das vorgesehene Budget für die Befragung nicht überschritten werden sollte, wurde für die Ausschreibung eine sogenannte eingeschränkte Verfahrensweise ohne öffentliche Bekanntmachung („procédure restreinte sans publication d’avis“)¹² gewählt.

¹¹ loi du 25 juin 2009 sur les marchés publics
http://www.legilux.public.lu/leg/textescoordonnes/compilation/code_administratif/VOL_5/MARCHES_PUBLICS.pdf

¹² Article 8 de la loi du 25 juin 2009 sur les marchés publics
http://www.legilux.public.lu/leg/textescoordonnes/compilation/code_administratif/VOL_5/MARCHES_PUBLICS.pdf

In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurde ein Lastenheft erstellt, in welchem zum einen die generellen Ausschreibungsmodalitäten (z.B. Projektsprache, Vertraulichkeitsregelungen, Nutzungsrechte) festgelegt und zum anderen die projektspezifischen Anforderungen aufgelistet wurden. Bezüglich der Erhebungsmethodik war für die Korridore 1-3 sowohl eine Haushaltsbefragung bei den Grenzpendlern als auch eine Unternehmensbefragung und für den Korridor 4 eine Betriebsbefragung bei den Firmenverantwortlichen vorgesehen. Die Erhebung für die Korridore 1-3 sollte als Methodenmix zwischen telefonischen (CATI) und internetbasierten (CAWI) Befragungen erfolgen. Die Kontaktschreiben sowie die Befragungen wurden auf Französisch und Deutsch erstellt. Um einen preislichen Vergleich der verschiedenen Angebote zu ermöglichen, wurden Angaben von Soll-Stichprobengrößen verlangt. Diese Vorgehensweise ermöglichte des Weiteren nach der Auftragsvergabe die Festlegung der endgültigen Soll-Stichprobengrößen, ohne die festgelegten Staffelgrößen des Budgets zu überschreiten.

Das fertige Lastenheft wurde daraufhin an acht deutsch- und/oder französischsprachige Unternehmen verschickt. Nach einer Bewerbungsfrist von einigen Wochen sind drei Angebote für die Ausschreibung eingereicht worden.

Die abgegebenen Angebote wurden anschließend von den verschiedenen Partnern bewertet, um laut Gesetzgebung das wirtschaftlich günstigste Angebot („offre économiquement la plus avantageuse“) zu ermitteln. Als Wertungskriterien wurden die Qualität des Angebots und die Beschreibung der Vorgehensweise/Methodik mit 40% gewichtet, der fachliche und technische Wert des Angebots sowie der Angebotspreis mit jeweils 30%. Nach Auszählung der Bewertungen durch die fünf Projektpartner schnitt das Angebot von Infas mit der höchsten Anzahl an Punkten ab und wurde darauf per Erlass des zuständigen Ministers zum Gewinner der Ausschreibung erklärt.

Offre 1	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Résultat final
Qualité - 40 points	39,00	32,50	30,00	36,60	33,90	34,40
Références du prestataire - 30 points	20,00	15,00	20,00	26,00	24,00	21,00
Prix - 30 points	30,00					30,00
TOTAL - 100 points						85,40
Offre 2	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Résultat final
Qualité - 40 points	31,30	28,20	33,40	34,50	31,30	31,74
Références du prestataire - 30 points	20,00	12,00	24,00	21,00	20,00	19,40
Prix - 30 points	15,97					15,97
TOTAL - 100 points						67,11

Abbildung 9: Bewertung der Angebote

Da in Luxemburg die Verwendung personenbezogener Datenbanken, wie jene der IGSS, genehmigungspflichtig ist, benötigte die Übermittlung der Datenbank zur Ziehung der Stichprobe, sowie die Verwendung der Daten zum Kontaktieren der Zielgruppe und Durchführung einer Befragung, die Zustimmung der luxemburgischen Datenschutzkommission (CNPD, „Commission nationale pour la protection des données“).

Für die Nutzung der IGSS-Daten gelten laut CNPD die Grundsätze, dass so wenig wie möglich sensible Datenkategorien aus der Datenbank verwendet werden sowie, dass die Verhältnismäßigkeit der Größe des Datensatzes nachgewiesen werden muss. Alle Daten, welche nachher für die Analyse verwendet werden, dürfen nicht aus den IGSS-Daten stammen, sondern müssen bei der Befragung erhoben werden. Bei der CNPD wurde daraufhin ein Genehmigungsantrag für das Projekt gestellt, welcher allen erforderlichen Themen in Bezug auf die Einhaltung des Datenschutzes Rechnung trägt. Am 21. Juli 2014 hatten alle Projektpartner die benötigten Vertraulichkeitsklauseln unterschrieben, so dass die Stichprobe an Infas übermittelt werden konnte.

2.2.6. Abstimmung mit Infas

Die erarbeiteten und abgestimmten Indikatoren dienen als Leitfaden zur Erstellung der Fragebögen. In Abstimmung mit und basierend auf den Erfahrungen von Infas

wurde aus der errechneten Basisstichprobe von 55.000 Pendlern eine repräsentative Stichprobe von 22.500 Pendlern mit drei Filtern gezogen:

- Nationalität
- Arbeitsfähiges Alter (16 – 65 Jahre)
- Gleichverteilung der Einwohner in den 247 Gemeinden

Abgestimmt wurden ebenso die Methoden der Befragung. Den Pendlern sollte freigestellt werden, ob sie telefonisch (CATI = Computer-assisted telephone interviewing) oder per Internet (CAWI = Computer-assisted web interviewing) an der Umfrage teilnehmen wollen.

Nach einem erfolgreichen Pretest der CATI-Variante über 2 Stunden, bei dem imove als Projektpartner vertreten war, wurden noch letzte Details in den Formulierungen/Wording der Fragen vorgenommen, welche im Pretest Missverständnisse hervorriefen. Darauf aufbauend wurde die CAWI-Variante erstellt und getestet.

2.2.7. Umfrage

Der Pendlerbefragung voraus gingen ein einseitiges Anschreiben und ein ebenfalls einseitiges Datenschutzblatt in der jeweiligen Landessprache des angeschriebenen Pendlers. Um der Befragung den tatsächlichen offiziellen Charakter zu verleihen, wurden die beiden Dokumente mit dem Hoheitszeichen der luxemburgischen Regierung, des EU-EFRE-Logos und der Anschrift von Infas versehen. Das Datenschutzblatt wurde zusätzlich mit den Logos der Projektpartner versehen. Parallel wurde durch Infas eine Homepage zur CAWI-Variante erstellt, bei der sich die Pendler mittels personalisierten Zugangscodes einloggen konnten. Die Pendlerbefragung fand vom 18.09.2014 bis zum 01.11.2014 statt.

Die 120 Unternehmen wurden vor der Befragung nicht informiert, sondern direkt über die CATI-Methode befragt. Der Erhebungszeitraum lag zwischen dem 02.10.2014 und dem 14.10.2014. Gewünschte Ansprechpartner waren hierbei entweder Betriebsräte oder aber leitende Angestellte, die etwas zur Mobilität der Pendler und den Aktivitäten des Unternehmens im Bereich Mobilitätsmanagement sagen konnten.

2.3. Ergebnisse

2.3.1. Ergebnisse der Sekundärdaten-Analyse

Als Ergebnis zeigte sich bei der Analyse der Sekundärdaten, dass vor allem das Land Luxemburg zur Elektromobilität bereits Forschungen betreibt und für die Zukunft seinen ÖPNV massiv ausbauen möchte. Auch das Département Moselle gab eine Evaluation möglicher Modelle zur Elektromobilität in Auftrag. Genauso wurde untersucht, wo zukünftige P+R-Parkplätze entlang der Autobahn Metz-Luxemburg entstehen könnten. Als Ergebnis dieser Zusammenstellung kann festgehalten werden, dass es bereits grundlegende Informationen zu den Bereichen „Strategische Analyse möglicher Standorte“, „Analyse der Beteiligten“, hier vor allem einiger Sensibilitäten bei den Berufspendlern und den „Rahmenbedingungen“ gibt, hier wiederum im Vordergrund die politischen und organisatorischen Aspekte betreffend. Es fehlten aber für das Projekt notwendige, detaillierte Informationen über die tageszeitliche und verkehrsmittelspezifische Menge und Aufteilung der Pendlerströme auf den Korridoren bzw. in der Großregion.

Mit Hilfe von Sekundärdaten konnten bereits erste Bestandsanalysen und Verortungen bestehender Infrastrukturen durchgeführt werden. Darunter sind sämtliche Infrastruktur-Daten, so dass sich für das Eisenbahn-, Bus- und das Straßennetz inklusive der Bahnhöfe, Haltestellen und P+R-Plätze mittels eines Geoinformationssystems (GIS) eine erste Übersicht ergab (Siehe Anhang e und f).

Hierzu wurden ebenfalls die Daten der Tagesganglinien verschiedener Autobahn-Messstationen (KFZ/24h), die absoluten Fahrgastzahlen der relevanten Bahnlinien sowie die Fahrgastzahlen der grenzüberschreitenden Regionalbuslinien ermittelt. Weitere Daten wurden zum bestehenden Netz der Elektro-Ladesäulen, der Bevölkerungsdichte, dem Fahrzeugbestand sowie der Mitfahrerparkplätze im Untersuchungsgebiet gesammelt. Jedoch konnten nicht alle Daten für alle Länder gleichermaßen erhoben oder miteinander verglichen werden. Entweder waren Daten nur für ein Land vorhanden, oder aber die Methoden der Datenerhebung unterschieden sich derart, dass ein direkter Vergleich unmöglich war.

Eine weitere Datenquelle erschloss sich in Form des Sozialversicherungsregisters des Großherzogtums Luxemburgs (IGSS). In einer Datenbank aller in Luxemburg arbeitenden Menschen sind gesondert die grenzüberschreitenden Berufspendler nach deren Wohnort festgehalten. Hieraus konnte eine erste Karte erstellt werden,

die gemeindescharf die absolute Anzahl der Pendler mit mindestens drei Pendlern darstellt (siehe Karte im Anhang g). Die gesammelten Daten, vor allem vorhandene Ladesäulen und Mitfahrerparkplätze, werden bei der späteren Standortanalyse möglicher eHubs in Aktion 2, im Zusammenspiel mit den Ergebnissen der Pendler- und Unternehmensbefragung, eine Rolle spielen (siehe hierzu Bericht Aktion 2).

2.3.2. Ergebnisse Korridore 1-3

Die Ergebnisse werden, analog zur Methodik der Befragung, anhand der Korridore 1-3 und 4 voneinander getrennt vorgestellt. Die Unternehmen erhalten ein separates Kapitel.

Bei der Umfrage auf den Korridoren Metz-Luxemburg, Trier-Luxemburg und Merzig-Luxemburg wurden insgesamt 7.045 vollständige Interviews durch Infas realisiert. Im Vergleich zur bereinigten Netto-Stichprobe von 21.104 angeschriebenen Pendlern in Frankreich und Deutschland ergibt sich eine Rücklaufquote von 33,38%. Das Verhältnis der Antworten aus Deutschland und Frankreich beträgt 33,6% zu 66,4%. Über das Internet nahmen 5.535 Personen teil (entspricht 78,6% Anteil). Die jeweilige durchschnittliche Interview-Dauer lag bei beiden Interviewmethoden mit 15,5 Minuten (CAWI) und 16 Minuten (CATI) auf einem ähnlichen Niveau.

Ferner wird nach den einzelnen Korridoren unterschieden. Die räumliche Trennung der Korridore und der Wohngemeinden dieser Zielgruppe zeigt die Abbildung im Anhang h. Im Folgenden wird nur auf die für diese Aktion 1 relevantesten Ergebnisse eingegangen. Weitere, auf der Umfrage basierende Erkenntnisse, finden sich in der Aktion 3 wieder.

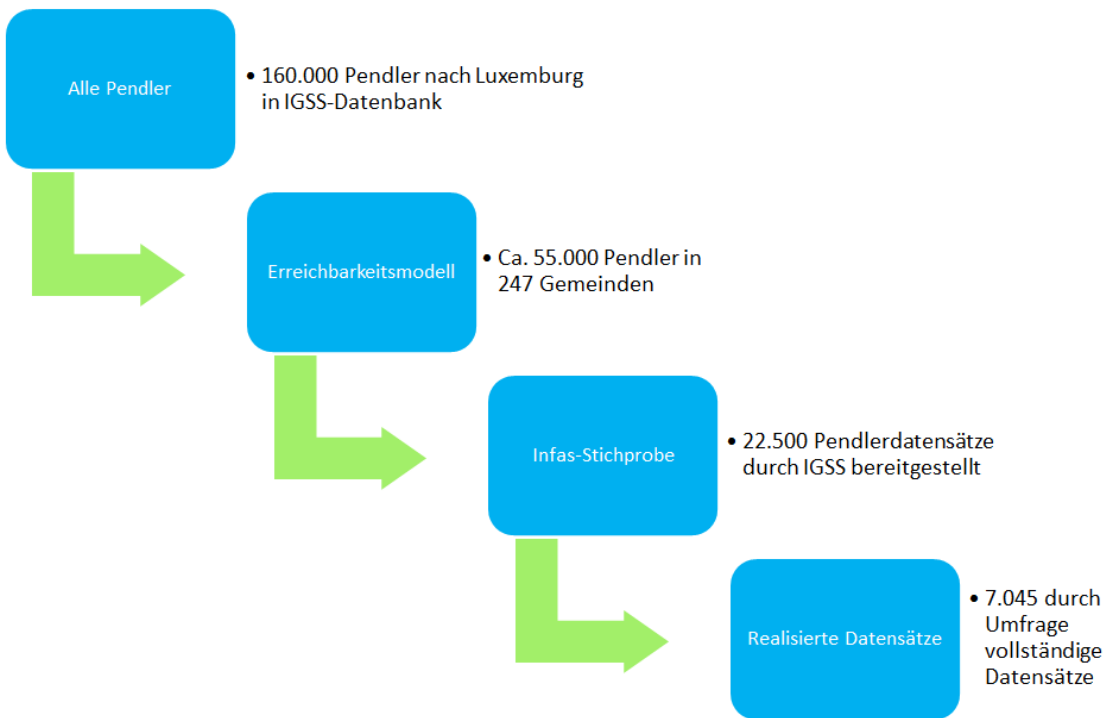


Abbildung 10: Auswahl der repräsentativen Stichprobe

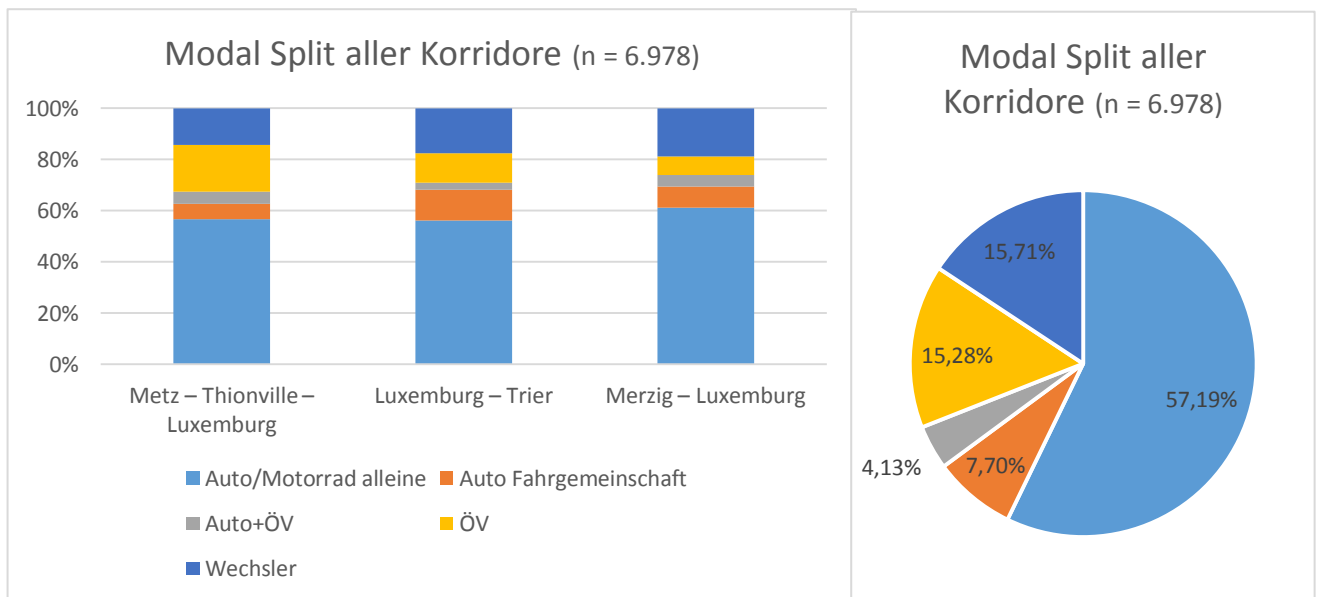


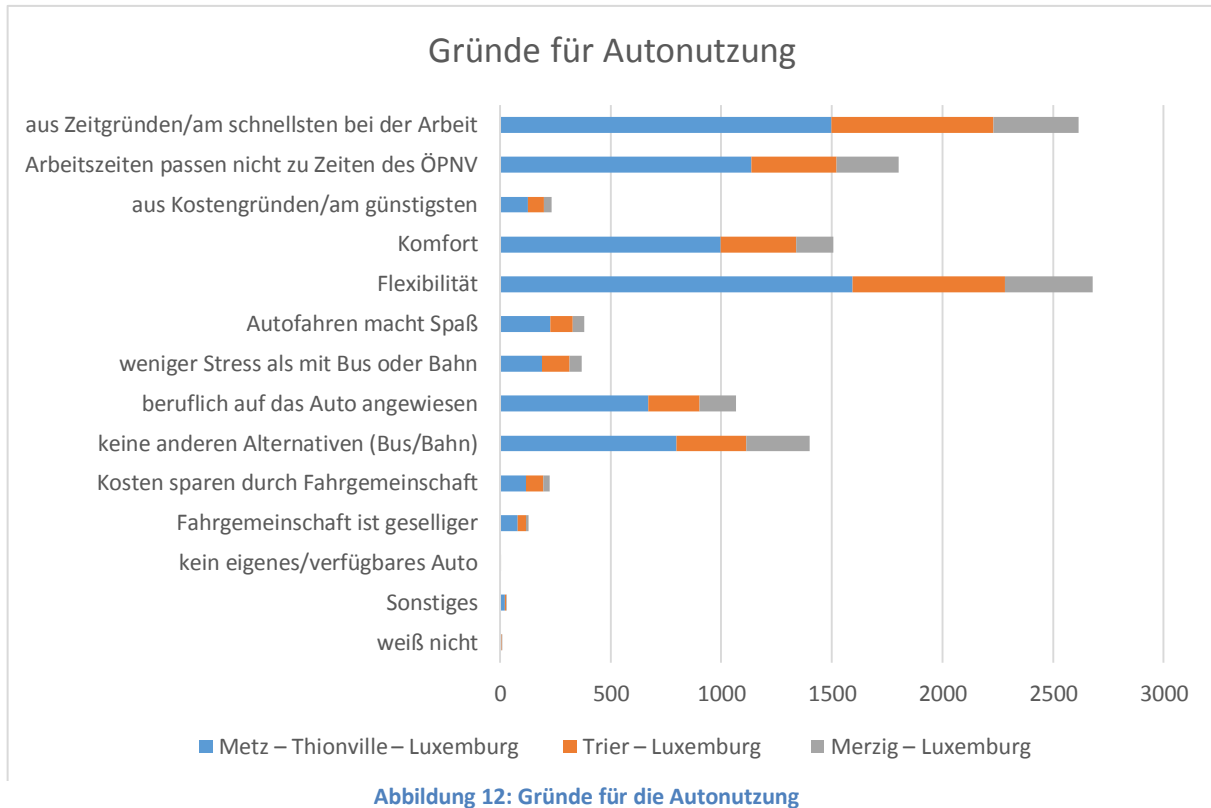
Abbildung 11: Modal Split der Korridore

Werden die alleinige Nutzung des PKWs/Motorrads und die Fahrgemeinschaften zusammengefasst, ergibt sich über alle drei Korridore, dass 65% der Befragten das Auto als Hauptverkehrsmittel nutzen. Die zweitgrößte Gruppe stellen die sogenannten „multimodalen Wechsler“ dar. Das sind Pendler, die je nach Situation und Bedürfnis sich für das eine oder andere Verkehrsmittel entscheiden können. Das kann beispielsweise an einem Tag der ÖPNV sein, an einem anderen aufgrund von größerer Gepäckmitnahme das Auto. Weitere 15% der Befragten nutzen

ausschließlich den ÖPNV, also Bus oder Bahn. Die kleinste Gruppe, 4% aller befragten Pendler, ist intermodal mit Auto und ÖPNV unterwegs, nutzt also auf dem Weg vom Wohn- zum Arbeitsort mehrere Verkehrsmittel. Werden die einzelnen Korridore untereinander verglichen, fällt auf, dass auf dem Korridor Metz-Luxemburg die Nutzung von Fahrgemeinschaften am geringsten ausfällt, jedoch die Nutzung des ÖPNV am stärksten. Auf den aus Deutschland kommenden Gebieten ist die Nutzung der Fahrgemeinschaften deutlich ausgeprägter. Die schwache Nutzung des ÖPNV auf dem saarländischen Korridor erklärt sich durch das Fehlen einer direkten Eisenbahnbahnverbindung. Hier sind oft Expressbusse zwischen Saarbrücken-Merzig-Luxemburg unterwegs. Im Vergleich zu den CEPS-Daten¹³ fällt auf, dass für alle drei Korridore die Werte des MIV-Anteils nochmals deutlich sanken, sich an den grundsätzlichen Verhältnissen im Modal Split je Korridor jedoch keine nennenswerten Veränderungen ergaben.

¹³ Vgl. Schmitz, F. / Gerber, P. (2012): Öffentlicher Verkehr oder Individualverkehr: Wie begeben sich die Grenzgänger 2010 an ihren Arbeitsplatz? – In: CEPS (2012) : Die Mobilität der in Luxemburg. S. 14f.

Die nun folgenden Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Pendler, die als Hauptverkehrsmittel das Auto oder das Motorrad angaben. Diese gesonderte Betrachtung erfolgt, da die Projektpartner in dieser Gruppe das größte Potenzial schätzen, zukünftig mittels Carsharing oder Fahrgemeinschaften zu pendeln.



Auf die Frage nach dem Grund der Autonutzung, antworteten die Pendler sehr unterschiedlich. Hierbei war es möglich, mehrfach zu antworten. Allen voran wird die Flexibilität genannt, womit gemeint ist, dass man sich selbst entscheiden kann, wann der Arbeits- oder Heimreiseweg angetreten wird. Knapp dahinter folgt der Zeitaspekt, was die Dauer der Fahrt zwischen Wohn- und Arbeitsort betrifft. Daran anschließend wurde an dritter Stelle genannt, dass die Fahrzeiten des ÖPNV nicht zu den Arbeitszeiten passen würden. Hierbei ist allerdings unklar, ob die befragte Person sich mit den Fahrplänen beschäftigt hat oder von vornherein davon ausgeht, dass das Auto die bessere Variante ist. Ein weiterer, wichtiger Grund ist der Komfort, wobei auch hier eine genauere Nachfrage nach dessen Eigenschaften richtig wäre oder ob damit z.B. nur die Sitzplatzbeschaffenheit und der zur Verfügung stehende Platz gemeint ist. Korrespondierend zu der eingangs erwähnten Infrastruktur-Analyse gaben auch einige Befragte an, dass sich in deren Wohnortnähe kein ÖPNV-Anschluss befindet. Ebenfalls sind einige befragte Pendler, deren Angabe nach,

beruflich auf das Auto angewiesen, was die Nutzung anderer Verkehrsmittel somit prinzipiell ausschließt.

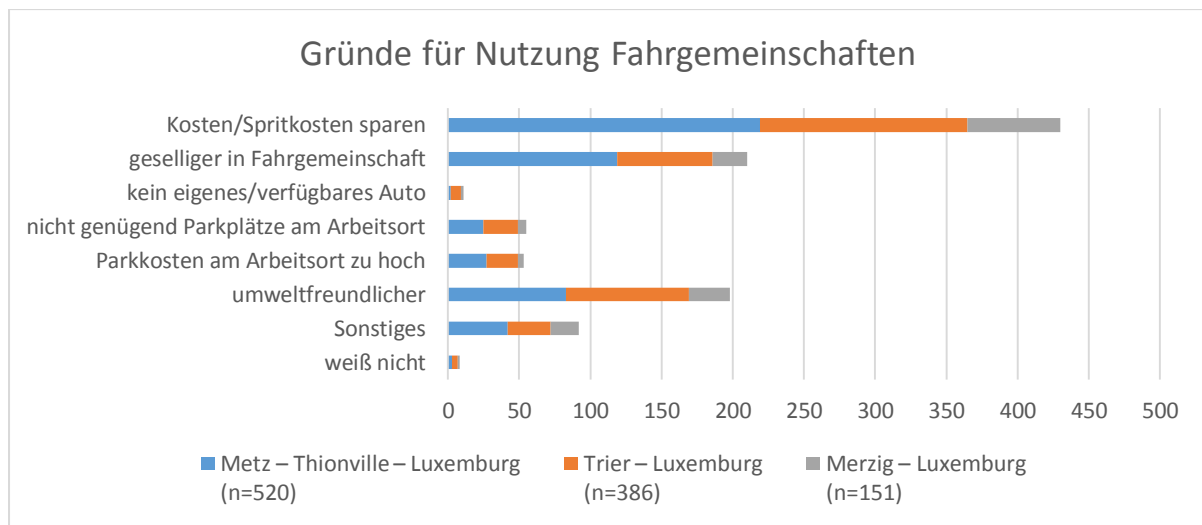


Abbildung 13: Gründe zur Nutzung von Fahrgemeinschaften

Werden speziell die Pendler genauer nach den Gründen für ihre Verkehrsmittelwahl gefragt, welche in Fahrgemeinschaften organisiert sind, stellt man fest, dass nicht nur die vorrangigen ökonomischen („Kosten sparen“, „Parkplatz-Situation“) oder ökologischen („umweltfreundlicher“) Aspekte zählen. Ebenfalls relativ oft wurde die Geselligkeit in einer Fahrgemeinschaft angegeben.

Insgesamt sind die Ergebnisse zu den Gründen der jeweiligen Verkehrsmittelnutzung mit der CEPS-Studie¹⁴ von 2012 vergleichbar, auch hinsichtlich der Methodik. Jedoch geht die ELEC'TRA-Befragung tiefer ins Detail und lässt mehr Rückschlüsse zu.

¹⁴ Vgl. ebenda

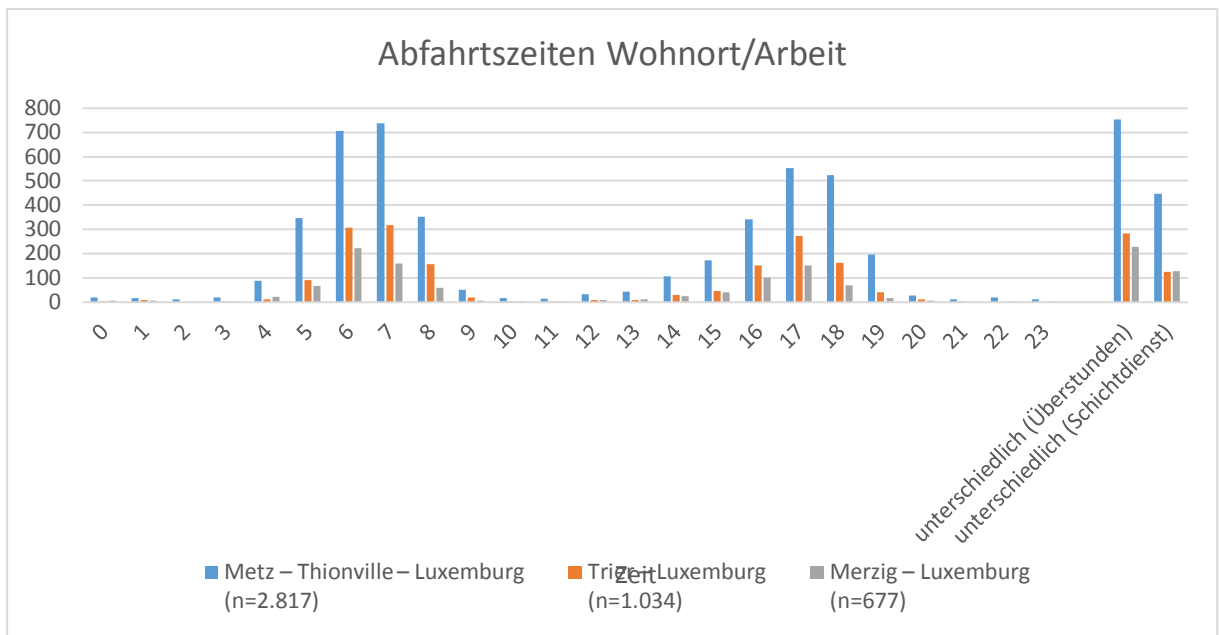


Abbildung 14: Abfahrtszeiten Wohnort/Arbeitsplatz

Die hauptsächlichen Abfahrten zur Arbeit bewegen sich in einem Zeitraum von 5 Uhr bis 8 Uhr in der Früh, wohingegen die Heimreise zwischen 14 Uhr und 19 Uhr angetreten wird. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund von Überstunden sich dieses Zeitfenster entweder erweitern kann oder aber die Anzahl der Heimfahrten innerhalb dessen sich noch erhöht. Ebenso erwähnenswert ist die Tatsache, dass es eine nennenswert große Gruppe an Pendlern gibt (15% aller hier Befragten), welche in Schichtarbeiten beschäftigt sind, welche nicht dem Dienstleistungssektor angehören. Auffällig ist, dass die Bandbreite der beiden Zeitfenster sich erheblich unterscheidet, was im weiteren Verlauf der Projektforschung erheblichen Einfluss haben sollte (siehe hierzu Bericht Aktion 3, Kapitel 3).

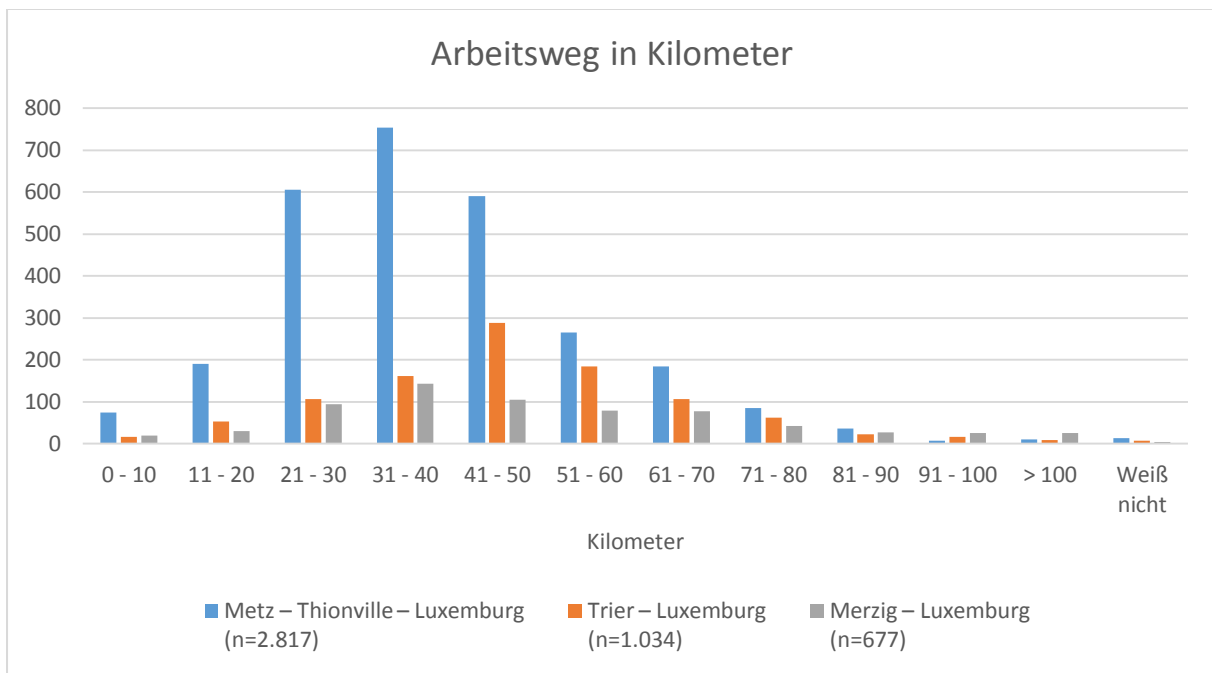


Abbildung 15: Distanzen

In Anlehnung an die im Anhang g befindlichen Wohnorte der Pendler ergeben die zwischen Arbeits- und Wohnort befindlichen Distanzen ein logisches Bild. Aufgrund der räumlichen Nähe zur luxemburgischen Grenze fallen die Distanzen der französischen Pendler geringer aus als die der deutschen Befragten. Letztere wohnen mitunter weit im Inland, womit sich Distanzen von über 50 km erklären lassen. Festzuhalten ist, dass der Hauptteil (71,5%) der befragten Pendler eine Distanz von bis zu 50 km zwischen Arbeits- und Wohnort zu überwinden hat. In Hinsicht auf das ELEC'TRA-Konzept bedeutet es, dass diese Distanzen von Expressbussen oder Zügen in einer überschaubaren Zeit bewältigt werden können, was wiederum die Attraktivität dieser Verkehrsmittel erhöht.

Sowohl die Fahrzeiten als auch die Distanzen bestätigen die o.g. CEPS-Daten. Dies ist nach heutigen Maßstäben ein Wert, den moderne Elektroautos mit einer Ladung hin und zurück absolvieren können, ohne zwischendurch aufgeladen werden zu müssen.

Die luxemburgischen Gemeinden, in denen die Pendler arbeiten, lassen sich weitestgehend den betrachteten Korridore zuordnen. Ein gemeinsamer Schwerpunkt ist die Stadt Luxemburg sowie die direkt angrenzenden Gemeinden. Für die aus dem Raum Trier kommenden Pendler bilden die Gemeinden entlang der Autobahn nach Luxemburg einen räumlichen Arbeitsschwerpunkt, wohingegen für die aus Frankreich stammenden Pendler der gesamte Südwesten des luxemburgischen Staatsgebiets

eine räumliche Konzentration der Arbeitsstätten darstellt. Aufgrund des hohen Anteils an atypischen Grenzpendlern lässt sich für die aus dem Saarland befragten Pendler keine genaue räumliche Konzentration ausmachen. Die Verteilung erfolgt über das gesamte südliche luxemburgische Staatsgebiet.

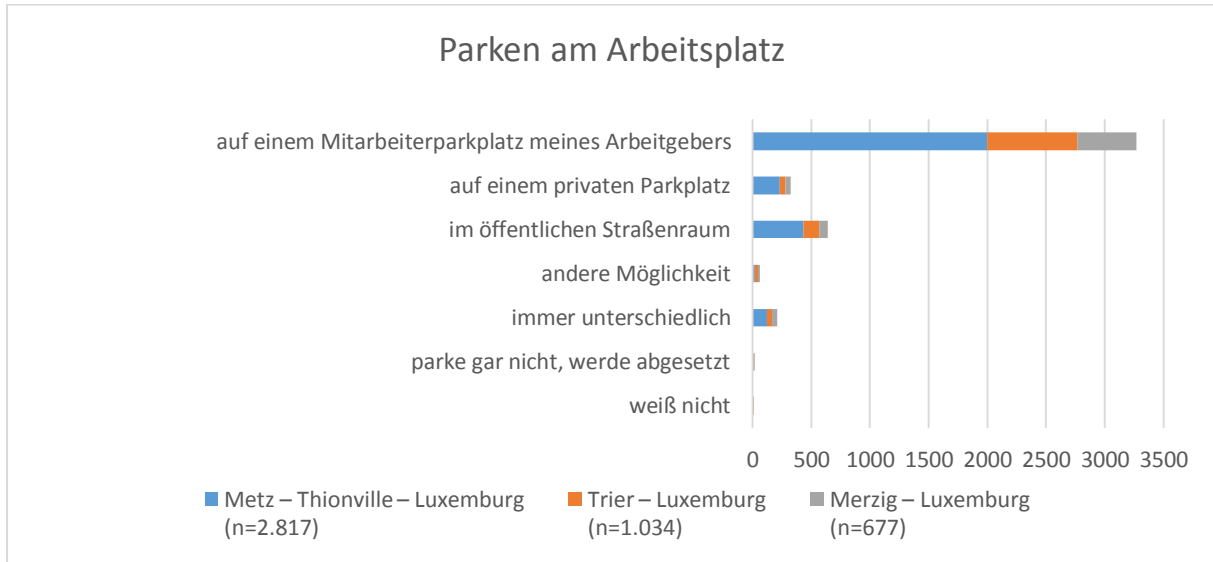


Abbildung 16: Standort Parkplatz

Eine wichtige Grundlage, basierend auf den Gründen des Zustandekommens des Projekts „ELEC’TRA“, war die Frage nach der Parkplatzsituation am Arbeitsplatz und die damit verbundenen Kosten.

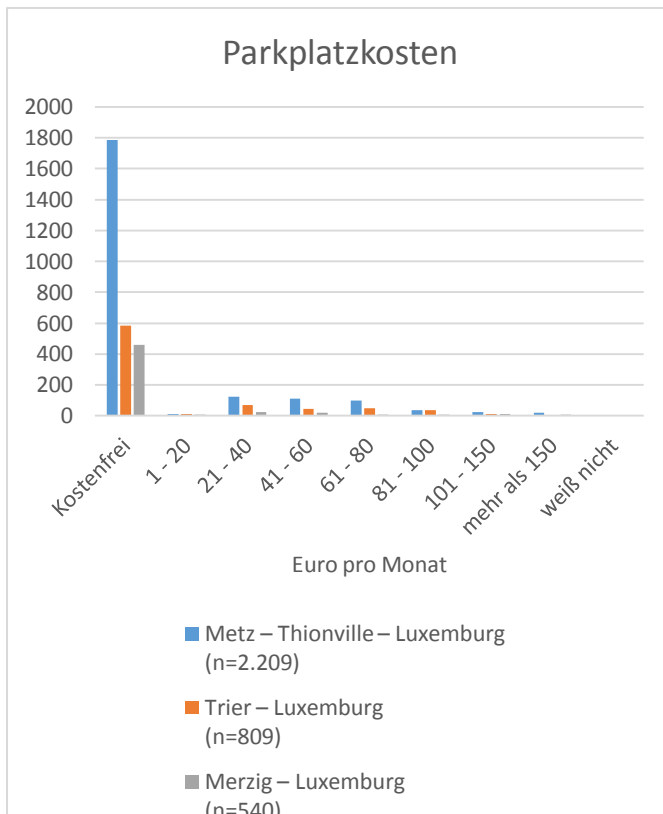


Abbildung 17: Parkplatzkosten

Dabei gaben 72% der mit dem Auto hauptsächlich pendelnden Befragten an, dass der Arbeitgeber einen Parkplatz zur Verfügung stellt. Weitere 22% müssen das Auto entweder im öffentlichen Straßenraum oder aber auf privaten Parkplätzen abstellen.

Mehr als drei Viertel (79%) der hierbei Befragten erhalten den Parkplatz kostenfrei. Von den restlichen 21%, die für einen Parkplatz etwas bezahlen, müssen 60% maximal 60€ monatlich

entrichten. Teilweise decken sich diese Ergebnisse mit denen aus der Unternehmensbefragung (siehe Kapitel 2.3.4.). Von denen nannten 63%, dass sie den Arbeitnehmern einen kostenlosen Parkplatz zur Verfügung stellen. Somit werden von den Arbeitgebern durch das Vernachlässigen der Parkkosten auf Seiten der Arbeitnehmer deutliche Anreize geschaffen, das Auto zu nutzen.

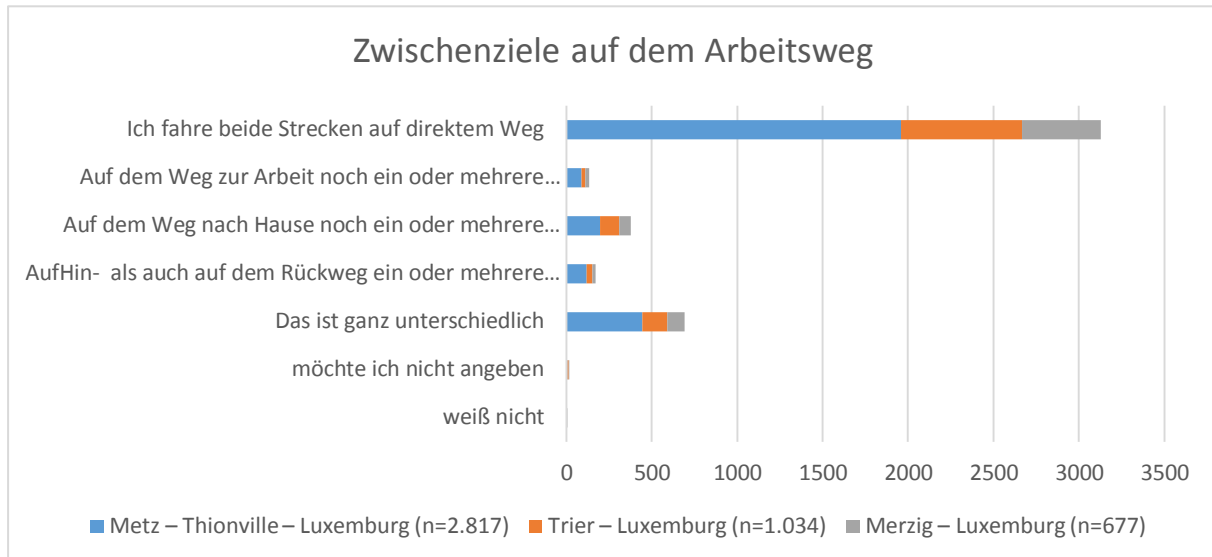


Abbildung 18: Zwischenziele

Unbekannt waren bisher auch die genauen Reiseketten der Pendler und damit auch deren mögliche Zwischenziele. Die Pendler wurden befragt, ob, wie viele und warum sie Zwischenziele, mindestens einmal die Woche, sowohl auf dem Weg zum Arbeitsplatz als auch auf dem Heimweg anfahren würden. Die Frage zielte auf mögliche Ausstattungseigenschaften der eHubs ab, da konzeptionell überlegt wurde, diese an Gewerbezentren anzusiedeln oder mit eigenen kleinen Service-Angeboten auszustatten.

Als Ergebnis zeigte sich, dass zwei Drittel der Befragten auf keinem der beiden Wege ein Zwischenziel hat und die Strecke direkt fährt. Weitere 15% gaben an, dass das immer ganz unterschiedlich sei, je nach Situation und Tagesablauf. Deutlich mehr Zwischenziele werden auf dem Rückweg, im Vergleich zum Hinweg, angefahren. Die Gründe bei beiden sind das „Holen & Bringen von Kindern oder Erwachsenen“. Auf dem Weg zum Wohnort wird vor allem noch eingekauft, was der Hauptgrund für ein oder mehrere Zwischenziele ist. Jedoch wurde dieser Grund nicht näher abgefragt, weswegen unklar ist, ob es sich hierbei um den Kauf von

Lebensmitteln oder anderen Waren handelt.

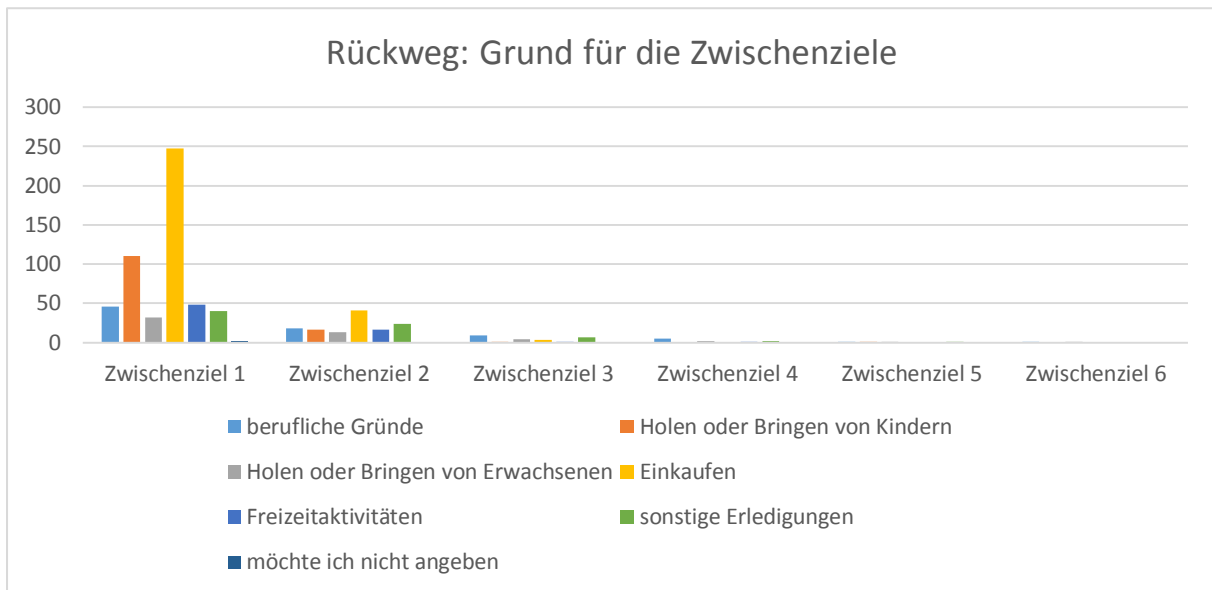


Abbildung 19: Gründe für Zwischenziele

Gänzlich unbekannt und nur über Sekundärdaten ableitbar waren bisher die Gründe des Pendelns. Diese wurden in der ELEC'TRA-Befragung erstmals direkt abgefragt. Zur Beantwortung dieser Frage konnten die Pendler Mehrfachantworten geben. Insgesamt sind die Gründe sehr vielfältig. Hauptausschlaggebend sind dabei die besseren Verdienstmöglichkeiten in Luxemburg. An zweiter Stelle, und teils schon in der Sekundärliteratur-Analyse¹⁵ erkennbar, ist der in Luxemburg teure Wohnraum, weswegen einige luxemburgische Staatsangehörige in die grenznahen Gemeinden in Deutschland und Frankreich umziehen (atypische Grenzpendler). Ebenso ist dies ein Grund des Ansteigens der Miet- und Grundstückspreise in diesen Gemeinden.

¹⁵ Vgl. CEPS (2012) : Die Mobilität der in Luxemburg beschäftigten Grenzgänger : Dynamik und Perspektiven - In : Schmitz et al : Les Cahier du CEPS/INSTEAD. Geographie und Entwicklung. Luxemburg . S. 12f

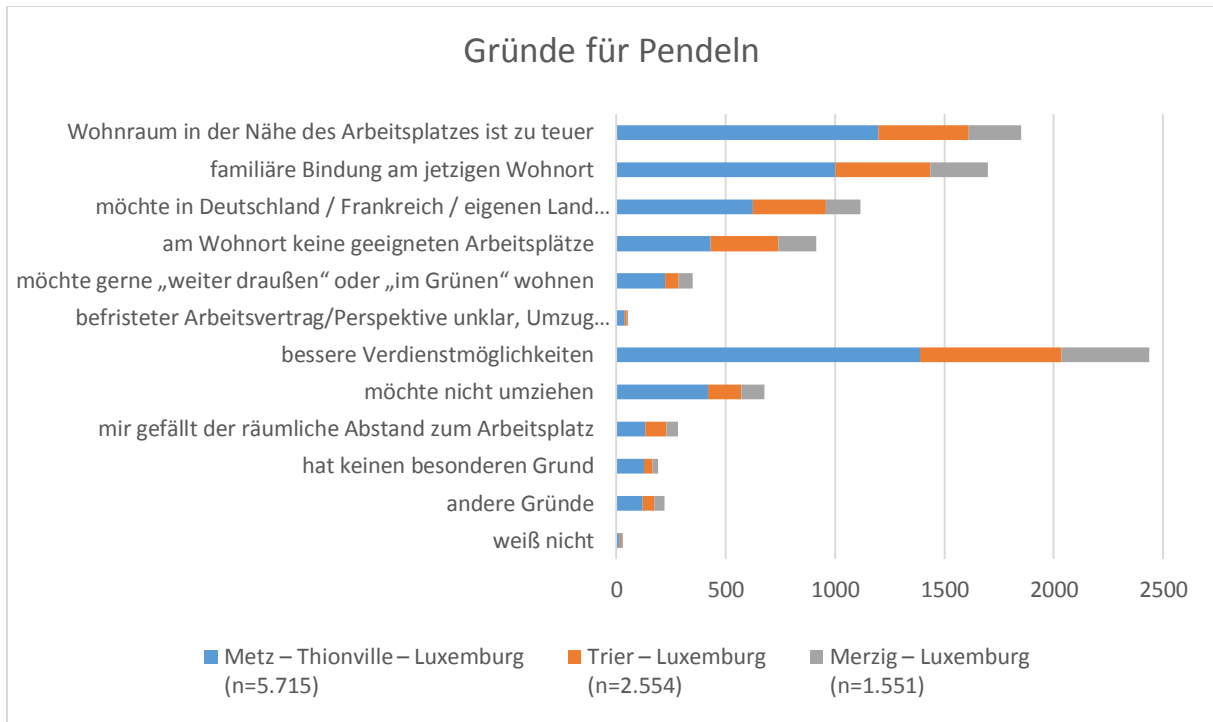


Abbildung 20: Gründe des Pendelns

Gleichermaßen oft genannt wurden familiäre Bindungen am bestehenden Wohnort, gefolgt vom Wunsch, im eigenen Land leben zu wollen und daher das Pendeln auf sich zu nehmen.

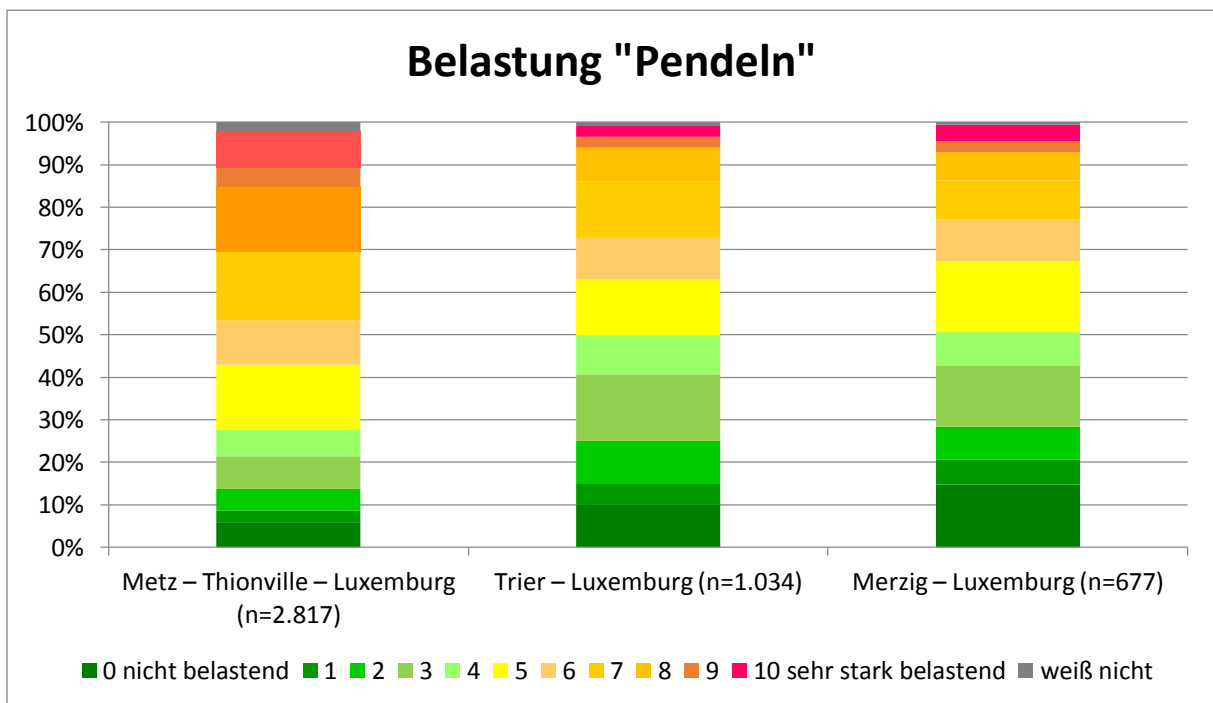


Abbildung 21: Belastung des Pendelns

Ergänzend wurden die Pendler nach der persönlichen Belastung befragt, die sie beim Pendeln verspüren. Dabei konnte diese Belastung auf einer Skala von eins (=

gar nicht belastend) bis zehn (= extrem belastend) bewertet werden. Wie anhand der obigen Grafik zu sehen ist, gibt es zwischen den aus Frankreich und Deutschland kommenden Pendlern starke Unterschiede: Mehr als die Hälfte der auf dem Korridor Metz-Luxemburg pendelnden Befragten empfinden das Pendeln mindestens als belastend, oder darüber hinaus (Grenzwert bei 42%). Auf den anderen beiden Korridoren liegen diese Werte bei 62% für die Achse Trier-Luxemburg bzw. 65% auf der mit dem Saarland verbundenen Achse. Wiederum gibt es kaum Unterschiede zwischen den mit Deutschland verbundenen Korridoren. Vergleicht man das mit den Ergebnissen zum „Modal Split“ der jeweiligen Korridore, fällt auf, dass trotz des höheren ÖPNV-Anteils auf der Achse Metz-Luxemburg das Pendeln als belastender empfunden wird. Ebenso fallen die durchschnittlichen Distanzen zwischen Wohn- und Arbeitsort auf dieser Achse am geringsten aus. Die Gründe zu dieser von den Pendlern sehr subjektiven Einschätzung wurden nicht nachgefragt.

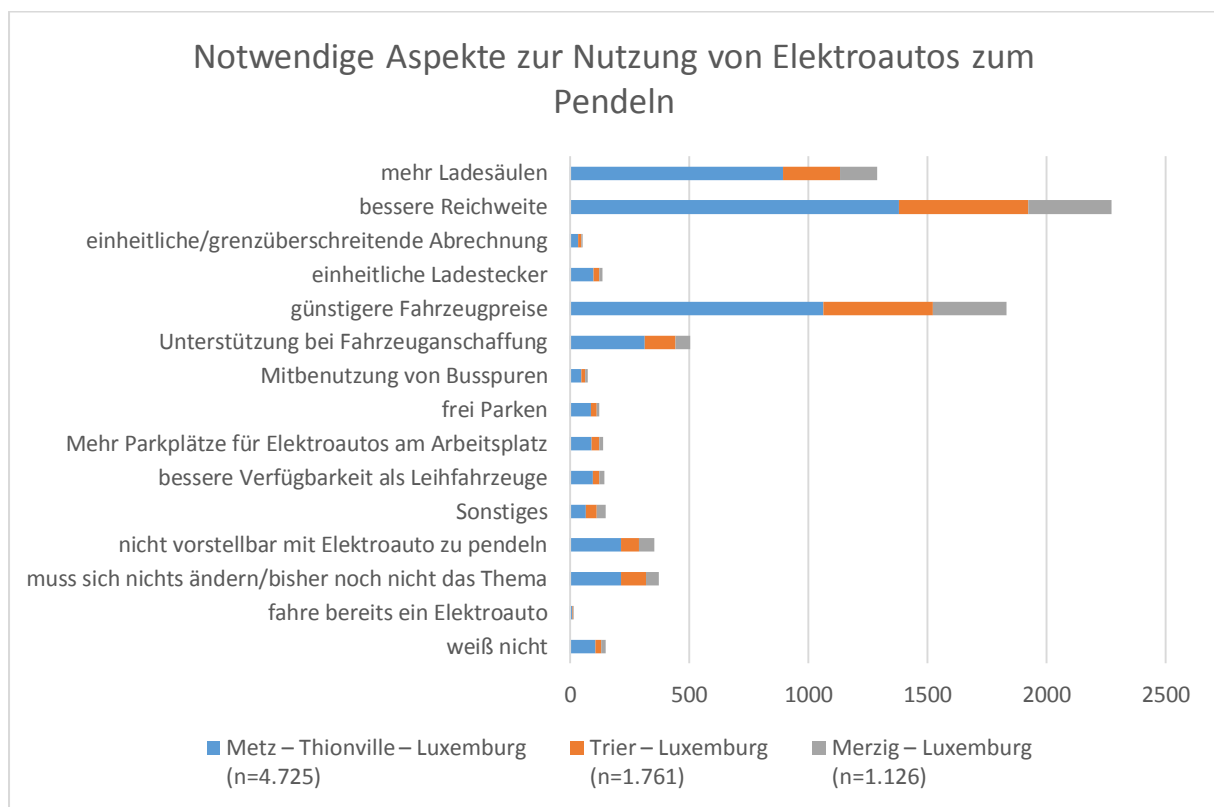


Abbildung 22: Notwendige Änderungen zur Nutzung von Elektroautos

Dem ELEC'TRA-Konzept entsprechend wurden die Pendler nach ihrer Einstellung zur Elektromobilität befragt. Dabei wurde gezielt danach gefragt, was sich ändern müsste, damit Elektroautos als äquivalentes Verkehrsmittel das bisher konventionell betriebene Auto ersetzen können. Dabei erhielten sie die Möglichkeit, maximal zwei Aspekte zu nennen. Die Ergebnisse zeigen deutlich drei hervorstechende Gründe:

Eine bessere Reichweite, günstigere Fahrzeugpreise und mehr Ladesäulen. Hierbei ist leider nicht bekannt, ob sich dieses Bild medial unterstützt bei den Pendlern eingepreßt hat oder ob es hierzu vertieftes Wissen gibt. Wie bereits anhand der Auswertung der Distanzen ersichtlich, ist es bereits heute möglich, mittels Elektroauto die täglichen Distanzen der Pendler abzudecken. Weiterhin wünschen sich die Pendler, ähnlich der 2009 in Deutschland kurzzeitig vorhandenen „Umweltprämie“, eine finanzielle Unterstützung beim Kauf von Elektroautos. Insgesamt alle Gründe, die der persönlichen Zufriedenheit der Pendler entsprechen würden. Weniger Erwähnung fanden Punkte, die die Infrastruktur generell ansprechen, wie einheitliche Ladestecker und ein einheitliches Abrechnungssystem.

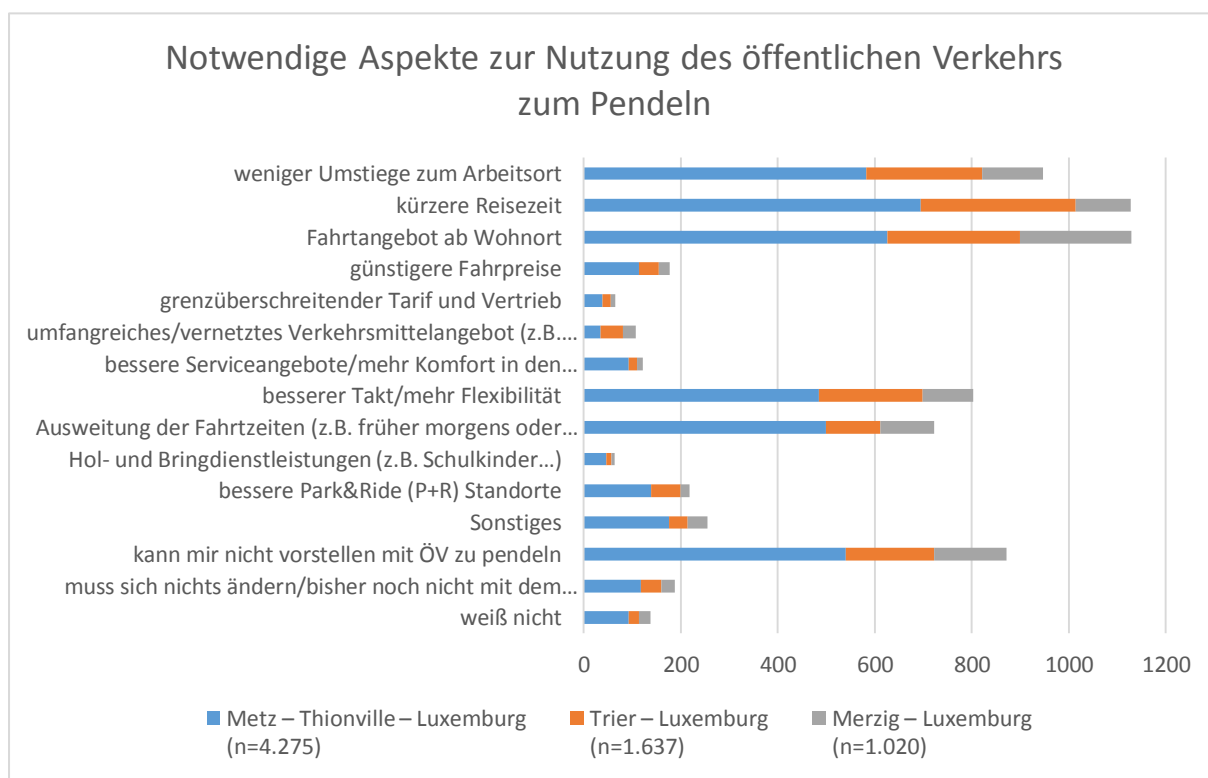


Abbildung 23: Notwendige Änderungen zur Nutzung des ÖPNV

Grundgedanke im Projekt-Konzept ist es, den öffentlichen Personennahverkehr zu stärken. Entsprechend wurden die bisher das Auto nutzenden Pendler gefragt, was sich ändern müsste, dass sie den ÖPNV nutzen. Auch hier konnten maximal zwei Aspekte genannt werden. Teilweise korrespondieren die Ergebnisse zu den Gründen der Autonutzung, teilweise sind sie so nicht zu erwarten gewesen. So wurden das Fahrangebot ab dem Wohnort und auch die kürzere Reisezeit am häufigsten genannt. Auch die Verbesserung der Flexibilität / bessere Taktung des ÖPNV scheint verständlich im Hinblick auf die vorgenannten Ergebnisse. Überraschend war die

häufige Nennung, dass weniger Umstiege zum Arbeitsort gewünscht seien. Hierbei ist anzumerken, dass das Großherzogtum in Kooperation mit seinen direkt angrenzenden Départements und Bundesländern bereits Maßnahmen ergriffen hat, die in den kommenden Jahren realisiert werden und damit genau diesem Wunsch nachkommen (z.B. Ausbau & Reaktivierung „Westtrasse Trier“; neuer Haltepunkt „Pont Rouge“ in Luxemburg). Auch wurde das mangelnde Angebot des ÖPNV in den Tagesrandlagen öfter genannt, welches optimiert werden sollte. Ebenso unerwartet häufig wurde auch erwähnt, dass man sich nicht vorstellen könne, den ÖPNV zum Pendeln zu nutzen. Die Gründe wurden hierfür nicht abgefragt. Weitaus weniger relevant, auch entgegen dem allgemeinen gesellschaftlichen Stimmungsbild, waren die Fahrpreise, der Komfort und ein grenzüberschreitender Tarif. Gerade Letzteres fehlt aber derzeit in der Großregion, um das Pendeln zu erleichtern.

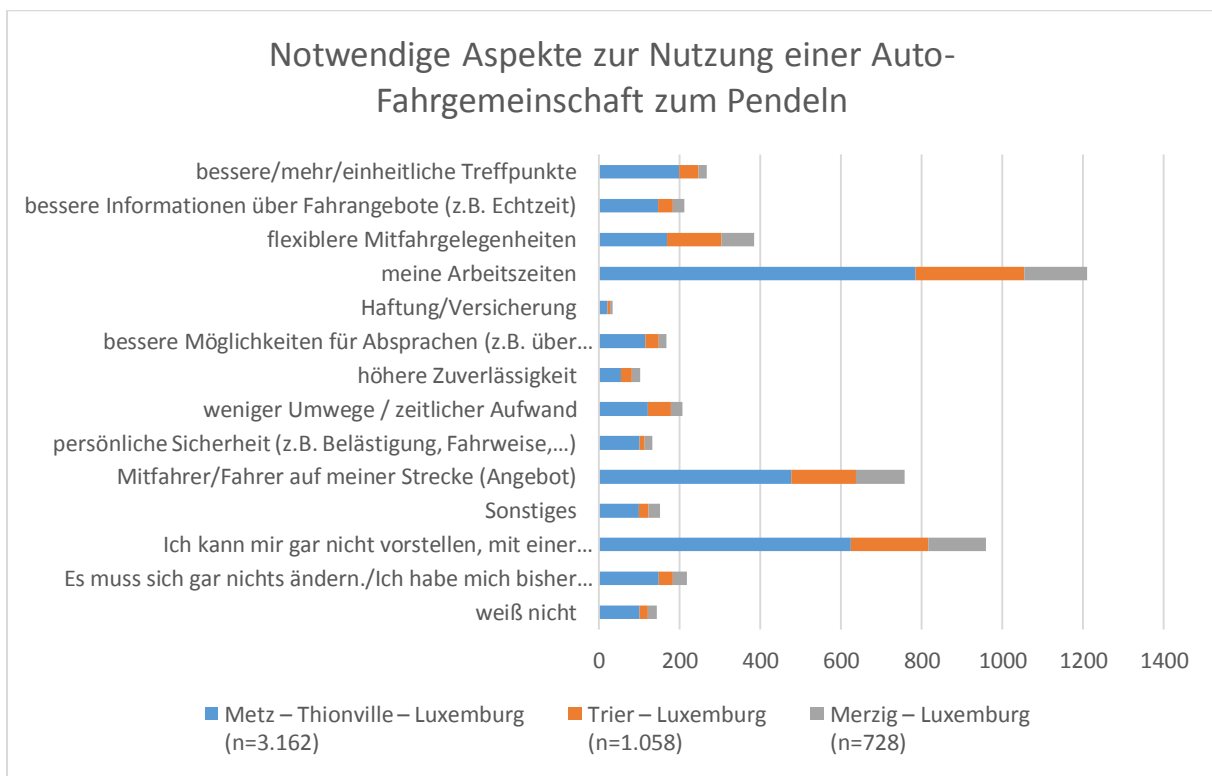


Abbildung 24: Notwendige Änderungen zur Nutzung von Fahrgemeinschaften

Gleichermaßen wurde gefragt, was sich ändern müsste, damit Fahrgemeinschaften genutzt werden würden, auch hier mit maximal zwei Nennungen je Pendler. Als am häufigsten genannt sticht die Antwortoption „Meine Arbeitszeiten“ gegenüber den anderen entscheidend hervor. Zu hinterfragen wäre für eine nähere Analyse, ob die Pendler sich bereits mit dem Thema „Fahrgemeinschaften“ beschäftigt haben (gefragt wurden hier nur jene Pendler, die nicht bereits die Fahrgemeinschaft nutzen)

und dementsprechend auch wissen, ob es zum Beispiel in der eigenen Firma Interessierte an Fahrgemeinschaften gibt oder ob die Mitfahrerparkplätze bekannt sind. Bereits an zweiter Stelle und etwas überraschend wurde genannt, dass man „sich nicht vorstellen könne, mit einer Fahrgemeinschaft zu pendeln“. Das kann damit begründet sein, dass es kein Wissen über die Möglichkeit der Fahrgemeinschaft gibt oder beispielsweise die Befragten nicht gewillt sind, sich die Strecke mit andern Pendlern im Auto zu teilen. Dritthäufigste Antwort war der Wunsch nach „Fahrer oder Mitfahrer entlang der eigenen Strecke“. Andere Antwortoptionen, welche beispielsweise direkt persönliche Punkte wie Sicherheit, Zuverlässigkeit oder Haftung zum Inhalt haben, wurden kaum genannt.

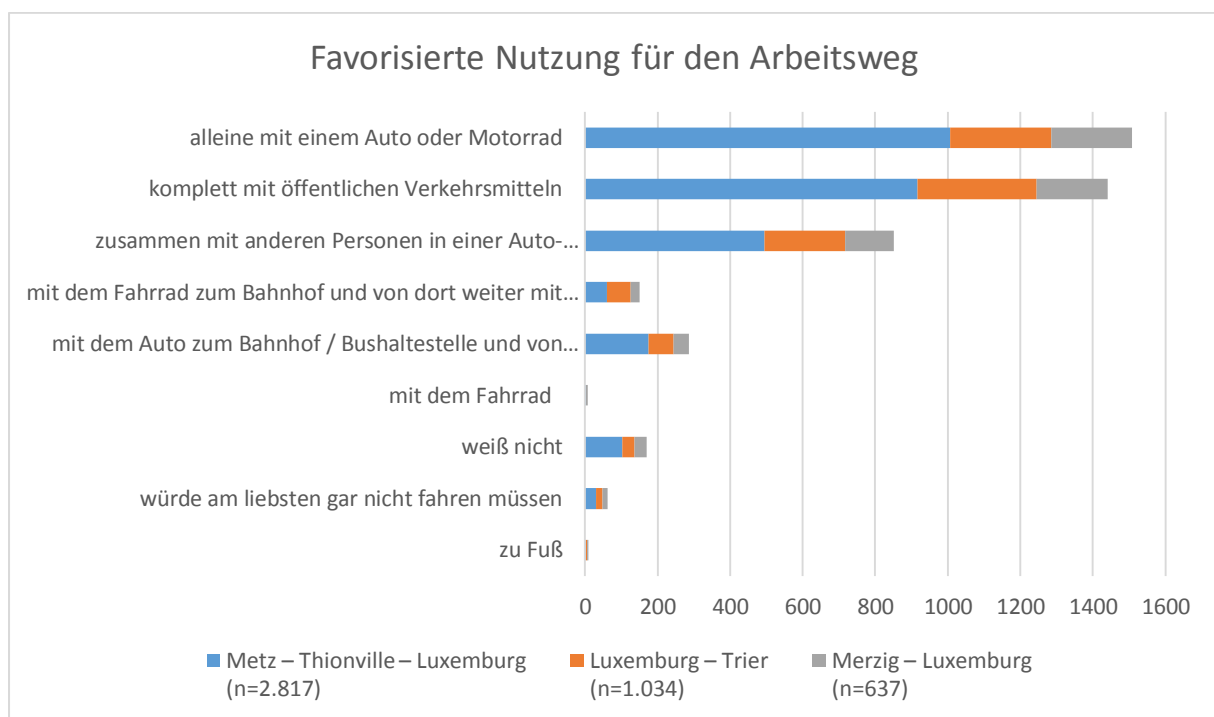


Abbildung 25: Favorisierte Nutzung in der Zukunft

Werden die in der Befragung aktuell das Auto nutzenden Pendler gefragt, welches zukünftig ihr favorisiertes Verkehrsmittel sei (bei nur einer Nennung als Antwortoption), wenn alle vorher erwähnten Missstände beseitigt bzw. deren Wünsche umgesetzt wären, antwortet die Mehrheit (1.500 Befragte), dass weiterhin das Auto genutzt werden würde. Etwas weniger, aber immer noch ein großer Teil (1.450 Befragte), würde komplett auf den ÖPNV wechseln. 840 Pendler würden gerne in einer Fahrgemeinschaft zum Arbeitsort pendeln wollen, was einer Steigerung von mehr als 50% der hier Befragten nach sich zöge. Somit lässt sich ein erhebliches Verlagerungspotenzial zugunsten des Umweltverbunds unter den hier befragten Pendlern ausmachen.

Gaben die Pendler an, dass das Auto oder die Fahrgemeinschaft ihr favorisiertes Verkehrsmittel in der Zukunft sei, wurden sie zusätzlich befragt, ob sie sich vorstellen könnten, dass dieses ein Elektroauto sei. Dieser Frage stimmten auf der:

- Korridor Metz-Luxemburg 75,3%
- Korridor Trier-Luxemburg: 84,7%
- Korridor Merzig-Luxemburg: 75,6% zu.

Weitere abgefragte Daten wurden für die Aktion 3 benötigt und werden mangels Relevanz hier nicht näher erläutert.

Zwischenfazit Pendler Korridore 1-3

Mehr als die Hälfte der Pendler, je nach Korridor sogar deutlich mehr, sind hauptsächlich mit dem Auto zwischen Wohn- und Arbeitsort unterwegs. Nicht nur die Tatsache, dass ihnen oftmals ein kostenloser Parkplatz seitens des Arbeitgebers angeboten wird, sondern auch der im Vergleich zu den Nachbarstaaten günstigere Kraftstoff in Luxemburg begünstigt dieses Verhalten. Mit „Komfort“ und „Flexibilität“ wurden zwei weitere Gründe genannt, die eher der persönlichen Zufriedenheit dienen. Dabei sind die Distanzen zwischen Wohn- und Arbeitsort für mehr als zwei Drittel der Befragten nicht größer als 50km. Eine Entfernung, für die der ÖPNV kaum nennenswert mehr Zeit benötigt, als der MIV. So ist es auch oft die Diskrepanz zwischen eigener Arbeitszeit und Fahrplan-Angebot des ÖPNV, der die Pendler von dessen Nutzung zurückhält. Wiederum sind das jene Aspekte, die sich zur stärkeren Nutzung des ÖPNV oder auch Fahrgemeinschaften durch die Pendler zukünftig ändern müssten. Das Auto wird auch zukünftig eine große Rolle bei den Pendlern einnehmen. Dieses kann dann auch elektrisch betrieben sein. Ferner ist ein erhebliches Potenzial erkennbar, dass Fahrgemeinschaften intensiver genutzt werden würden, wenn die Rahmenbedingungen erfüllt sind.

2.3.3. Ergebnisse Korridor 4

2.3.3.1. Auswertung der INSEE-Daten

Das „Institut national de la statistique et des études économiques“ (INSEE) ist vergleichbar mit dem Statistischen Bundesamt in Deutschland und erhebt regelmäßig im Fünfjahresabstand in einer sehr detaillierten, breiten und landesweiten

Untersuchung sozioökonomische Daten. Diese können als repräsentative Stichprobe verstanden werden. Im Rahmen dieser Erhebungen werden auch Mobilitätsaspekte zu Grenzpendlern erhoben. Dies macht die Daten vor dem Hintergrund des Projekts ELEC'TRA interessant. Die Rohdaten¹⁶ können der Internetseite des INSEE entnommen werden. Mit ihrer Hilfe konnten u.a. folgende interessante Aspekte zur Achse 4 ausgewertet werden:

In der Erhebung von 2010 wurden insgesamt 26.824 Grenzpendler (mit Wohnsitz Lothringen und Arbeitsort im Ausland) erfasst. Dies entspricht rund 22 % der gesamten Pendler mit Wohnsitz in Frankreich und Arbeitsort im Ausland (Gesamtanzahl: 121.928).

Die Verteilung der Grenzpendler aus Lothringen in Bezug auf ihren Arbeitsort macht deutlich, dass knapp dreiviertel der Personen in Luxemburg tätig sind, gefolgt von einem Fünftel der Pendler, welches in Deutschland und einem Zwanzigstel, welches in Belgien arbeitet.

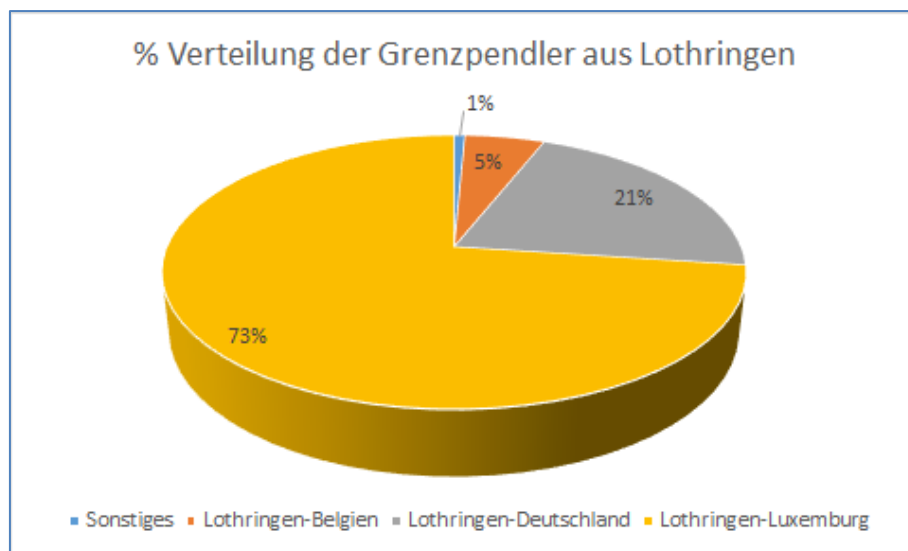


Abbildung 26: Prozentuale Verteilung der Grenzpendler aus Lothringen

(Wohnort in Lothringen und Arbeitsplatz im Ausland)¹⁷

Etwa 10 % aller Grenzpendler haben einen Wohnsitz in Lothringen und arbeiten in Saarbrücken. Dies zeigt, dass der Korridor 4 für das Verkehrsaufkommen der Grenzpendler von Relevanz ist.

¹⁶ Internet: http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?reg_id=0&ref_id=fd-rp2010&page=fichiers_detail/rp2010/telechargement.htm#RP2010_MOBPRO ; Juni 2014

¹⁷ Quelle: Eigene Darstellung IZES (Auswertung INSEE)

Die nachfolgende Tabelle und Grafik stellt die Orte in Lothringen mit den meisten Pendlern dar, welche in Saarbrücken ihren Arbeitsplatz aufsuchen.

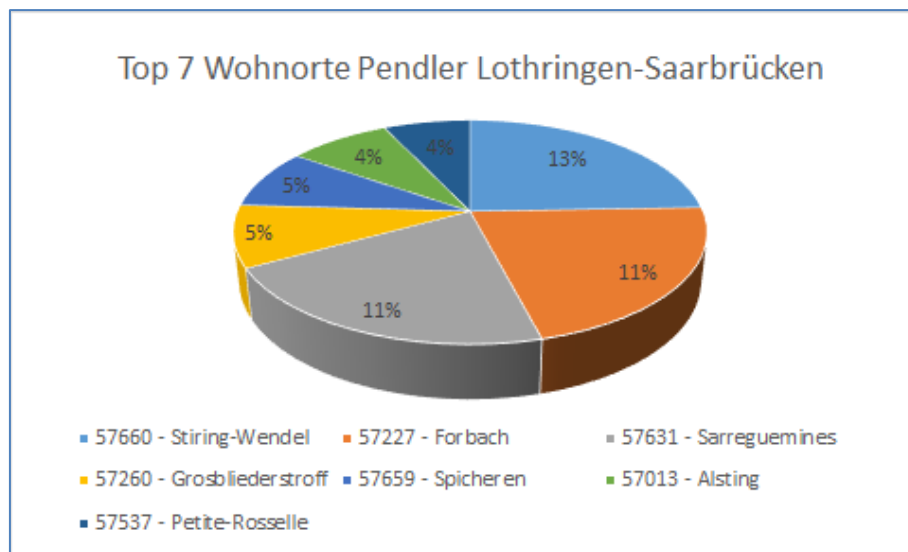


Abbildung 27: Top 7 - Wohnorte der Pendler mit Wohnort in Lothringen und Arbeitsplatz in Saarbrücken¹⁸

Tatsächlich haben 13 % der Grenzpendler, die in Saarbrücken arbeiten, ihren Wohnsitz in Stiring-Wendel, 11 % in Forbach und 11 % in Saargemünd (Saarguemines). Die nachfolgende Tabelle zeigt die Top 12 der Kommunen, die am häufigsten von den befragten Pendlern als Heimatort angegeben wurden. Hier leben insgesamt 64 % aller Grenzpendler auf der Achse Lothringen-Saarbrücken.

Kommune	%	Ø Km (Wohnort-Arbeit)
57660 - Stiring-Wendel	13 %	7,8
57227 - Forbach	11 %	13,5
57631 - Sarreguemines	11 %	20,4
57260 - Grosbliederstroff	5 %	11,7
57659 - Spicheren	5 %	8,7
57013 - Alsting	4 %	12,1
57537 - Petite-Rosselle	4 %	17,8
57638 - Schœneck	3 %	8,2
57240 - Freyming-Merlebach	3 %	20,7
57521 - Œting	2 %	12
57484 - Morsbach	2 %	15,6
57058 - Behren-lès-Forbach	2 %	15,4
Summe Top 12	64 %	13,7

Tabelle 5: Top 12 - Kommunen der PendlerInnen mit Wohnort in Lothringen und Arbeitsplatz in Saarbrücken¹⁹

¹⁸ Quelle: Eigene Darstellung IZES (Auswertung INSEE)

¹⁹ Quelle: Eigene Darstellung IZES (Auswertung INSEE)

Insbesondere die ersten drei Kommunen sind von Relevanz, da sie auf dem Korridor 4 liegen und die höchste Dichte an Grenzpendlern aufweisen. Außerdem liegen die weiteren Kommunen in unmittelbarer Umgebung, d.h. die meisten Pendler bewegen sich auf einer ähnlichen oder der gleichen Verkehrsachse.

Die nachfolgende Karte verdeutlicht dies nochmals.

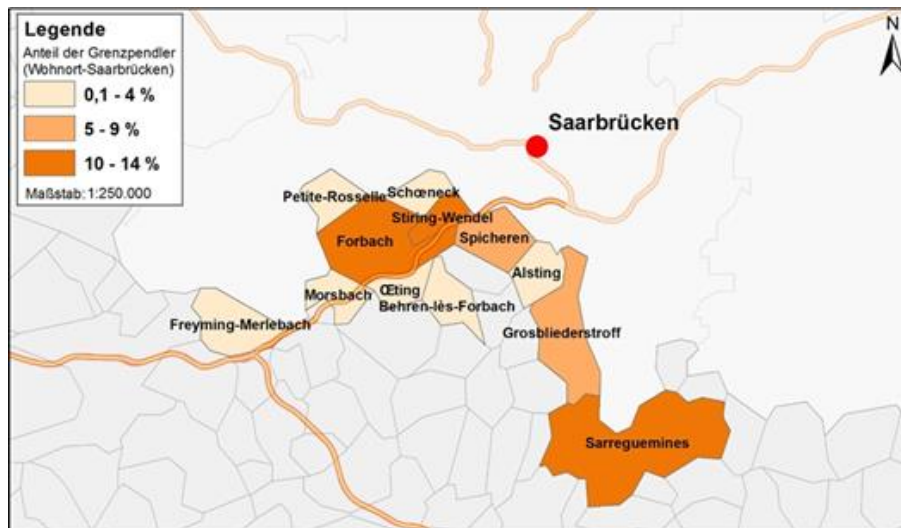


Abbildung 28: Karte mit den Kommunen der Pendler mit Wohnsitz in Lothringen und Arbeitsplatz in Saarbrücken²⁰

Ein wichtiger Aspekt im Rahmen des Projekts ist die Verkehrsmittelwahl der Grenzpendler. Die nachfolgenden Grafiken zeigen, dass der ÖPNV oder der Einsatz von Fahrrädern praktisch vernachlässigbar sind. Dominierender Verkehrsträger ist der motorisierte Individualverkehr.

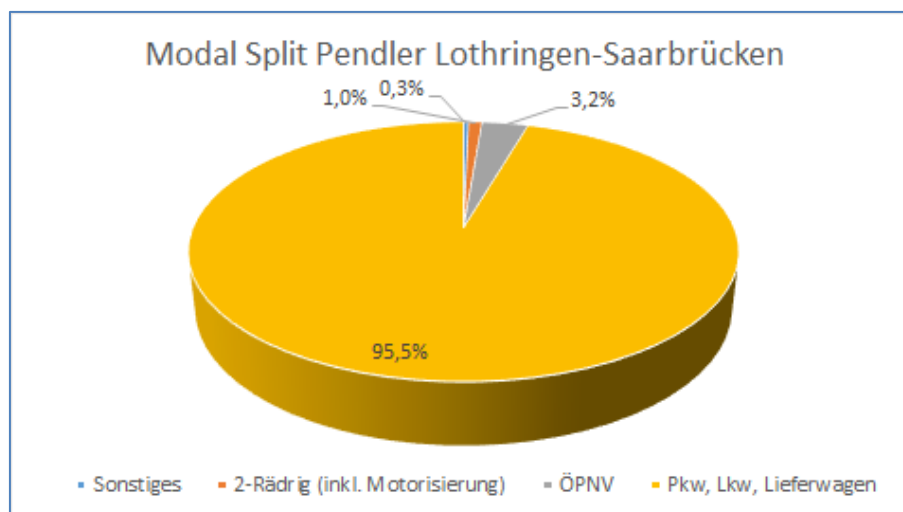


Abbildung 29: Modal Split der Pendler mit Wohnort in Lothringen und Arbeitsplatz in Saarbrücken²¹

²⁰ Quelle: imove / IZES (Auswertung INSEE)

²¹ Quelle: Eigene Darstellung IZES (Auswertung INSEE)

In den beiden nachfolgenden Grafiken wird eine Unterscheidung des „Modal Split“ zwischen den Pendlern aus Forbach und jenen aus Saargemünd durchgeführt.

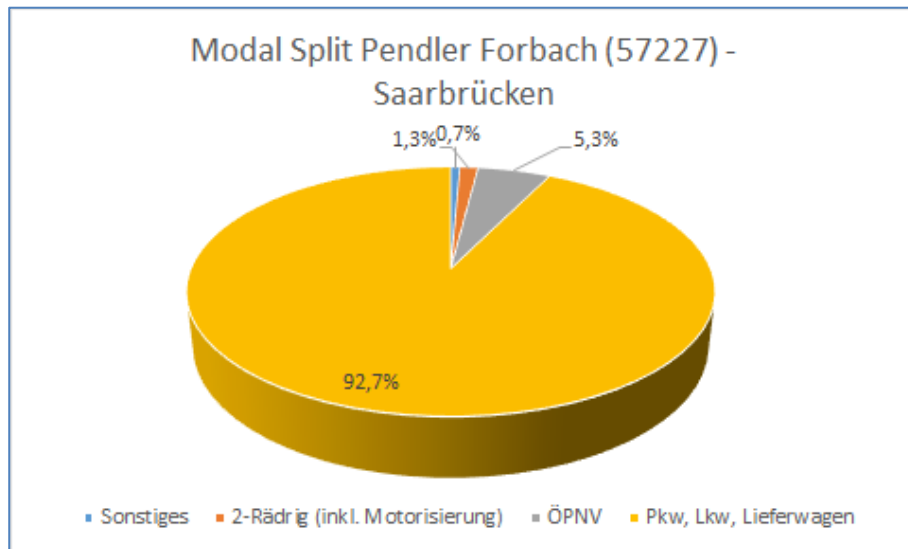


Abbildung 30: Modal Split der Pendler mit Wohnort in Forbach (57.227) und Arbeitsplatz in Saarbrücken²²

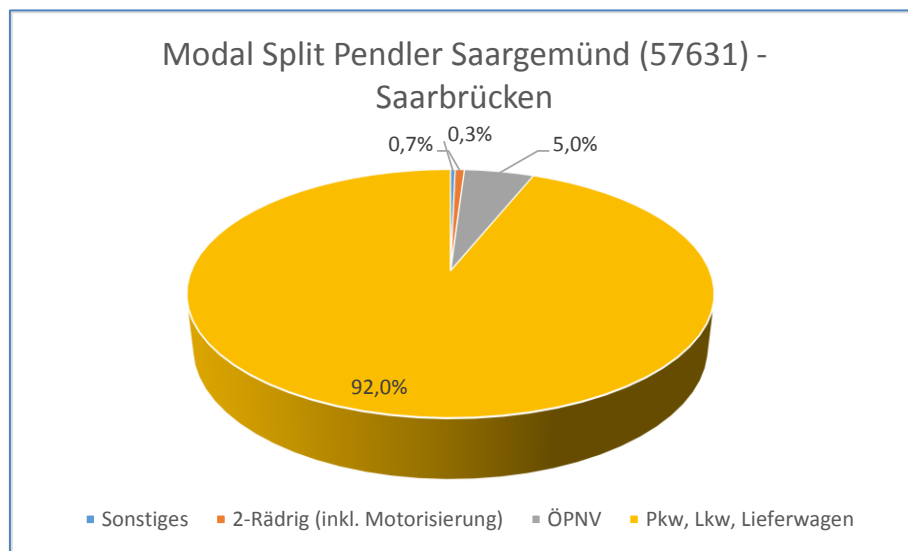


Abbildung 31: Modal Split der Pendler mit Wohnort in Saargemünd (57.631) und Arbeitsplatz in Saarbrücken²³

Beide Kommunen sind bezüglich des Modal Split ähnlich geprägt. Positiv anzumerken ist, dass die ÖPNV-Quote im Vergleich zum Durchschnitt leicht erhöht ist, rund 5 % statt 3,2 %. Mit 92 % dominiert jedoch deutlich der MIV. Gerade für die Kommune Saargemünd, welche durch die Saarbahn angebunden ist, ist dies vorerst ein unerwartetes Ergebnis. U.a. ist der Zugang zur Saarbahn aus westlicher Richtung (z.B. von Seiten Grosbliederstroff) für die Grenzpendler als erschwerend zu sehen, bildet die Saar doch eine natürliche Barriere.

²² Quelle: Eigene Darstellung IZES (Auswertung INSEE)

²³ Quelle: Eigene Darstellung IZES (Auswertung INSEE)

Beim Vergleich dieses Modal Splits, z.B. mit der Achse 1 (Metz-Thionville-Luxemburg), zeigt sich, dass dort die ÖPNV-Quote mit 24 % deutlich höher ist.

Damit lautet eine Kernfrage: Warum ist die MIV-Quote auf der Achse 4 im Vergleich zu den anderen Korridore derart stark ausgeprägt?

Ein Grund für die hohe Pkw-Nutzung im vierten Korridor liegt sicher in der unmittelbaren Nähe zum Arbeitsplatz: Saargemünd ist 20 km von Saarbrücken entfernt, Forbach rund 13 km, Stiring-Wendel rund 8 km. Im Durchschnitt müssen die Grenzpendler der Top 12 Kommunen in Lothringen 13,7 km bis zu ihrem Arbeitsplatz zurücklegen. Auch steht offensichtlich ausreichend und attraktiver Parkraum bei den Arbeitgebern in Saarbrücken zur Verfügung (Vgl. Ergebnisse infas S. 12).

Eine rege ÖPNV-Nutzung gründet auf einem Zugang in der Nähe des Wohnorts und einer möglichst guten (Direkt)-Verbindung zum Arbeitsplatz. Dies ist nicht selbstverständlich und kann auch nicht in jedem Fall garantiert werden. In der Regel werden Mittel- und Oberzentren zentral miteinander verbunden. Dies bedeutet, dass der Arbeitsplatz, sofern dieser sich nicht zentral im Oberzentrum befindet, nur durch Umstiege in die Peripherie erreicht werden kann. Dies geht auf Kosten der Bequemlichkeit und der Zeit, vor allem bei kurzen Fahrwegen zur Arbeit.

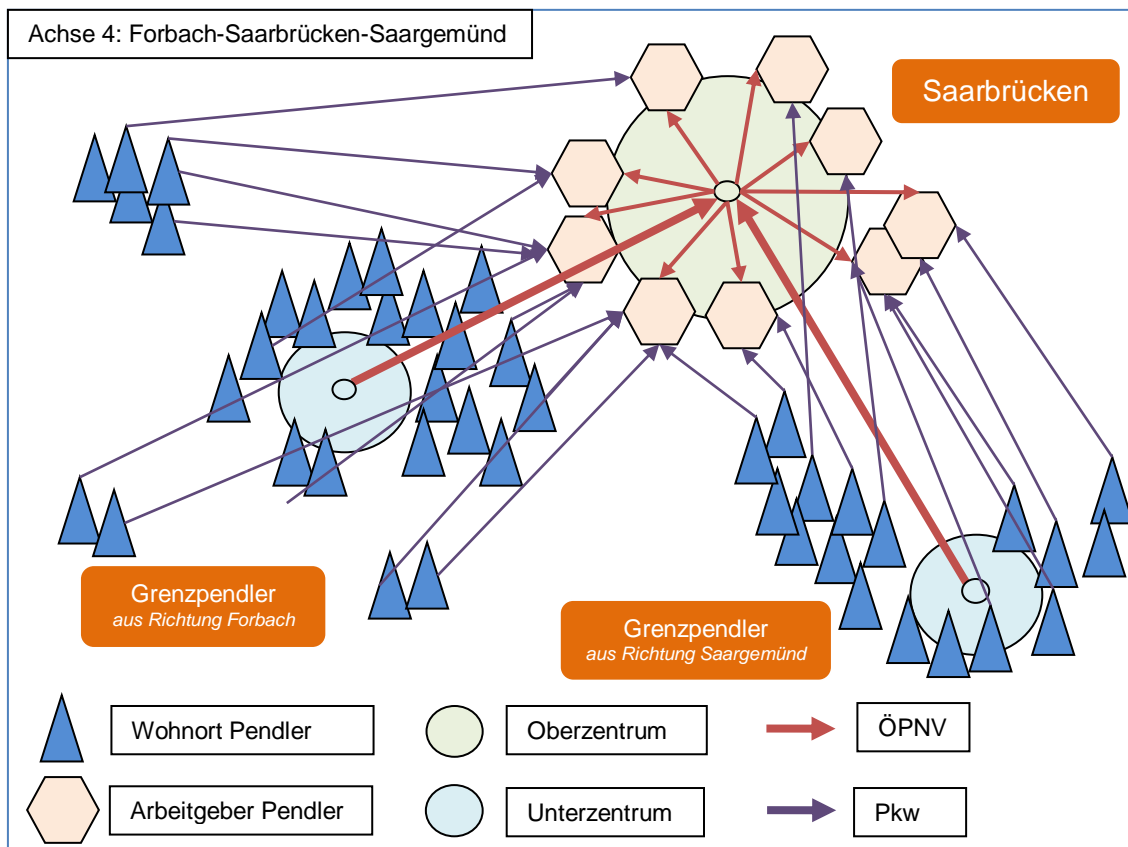


Abbildung 32: Beispiel für Pendler Wohnort / Arbeitsplatz mit ÖPNV / Pkw bei kurzen Fahrwegen

Ist der Weg zur Arbeit dagegen durch lange Fahrwege und -zeiten gekennzeichnet, kehrt sich die Attraktivität um. Der ÖPNV kann in diesem Fall anteilig Zugewinne verzeichnen. Dies spiegelt sich auch zum Teil auf der Achse 1 (Metz-Thionville-Luxemburg) wider. Zwischen Metz und Luxemburg liegen rund 68 km, von Thionville sind es 41 km bis Luxemburg. Die enge Zugtaktung auf der Strecke Metz-Thionville-Luxemburg, ein gutes ÖPNV-Angebot in der Stadt Luxemburg, gepaart mit einer angespannten Parkplatzsituation, spiegeln sich in der hohen ÖPNV-Quote von etwa 24 % wider.

Hier zeigt sich, dass eine größere Entfernung zum Arbeitsplatz sowie die Verkehrssituation nach und in Luxemburg, die Attraktivität des Pkw schmälern.

Zwischenergebnis:

Die Situationen und Rahmenbedingungen der Untersuchungsachsen sind unterschiedlich. Die Achse 4 (Forbach-Saarbrücken-Saargemünd) ist geprägt von kurzen Fahrwegen mit einer durchschnittlichen Entfernung von 13,7 km zwischen den Wohnorten der PendlerInnen und Saarbrücken. Über 95 % der GrenzpendlerInnen mit Wohnort in Frankreich und Arbeitsplatz in Deutschland nutzen ihren privaten Pkw als Verkehrsmittel. Nur 5 % nutzen dagegen den ÖPNV. Die Argumente sind Bequemlichkeit, Flexibilität und vor allem Zeitersparnis dank eines gut ausgebauten Straßennetzes. Damit ist der Pkw gegenüber dem ÖPNV klar im Vorteil.

Zu betonen ist dabei allerdings, dass die Nutzung von konventionellen Pkw zwar private Vorteile generiert, für die Allgemeinheit aber eher negative Auswirkungen hat:

- Verkehrliche Probleme mit Stau, Unfällen und Parkplatzproblemen im Innenstadtbereich der Stadt Saarbrücken
- Abhängigkeit und Verbrauch von fossilen Energieträgern
- Emissionen (CO₂, Kohlenwasserstoff, Stickoxide, Rußpartikel, Lärm)

Sollen die Mobilitätsgewohnheiten geändert werden, bedarf es neuer attraktiver Mobilitätskonzepte. Die Elektromobilität kann darin ein Baustein sein.

Für die Achse 4 können zwei Herausforderungen formuliert werden:

- Verlagerung des MIV auf den ÖPNV
- Minderung der innerstädtischen Emissionsbelastung

Mit Hilfe der Daten des INSEE konnten weitere Auswertungen generiert werden:

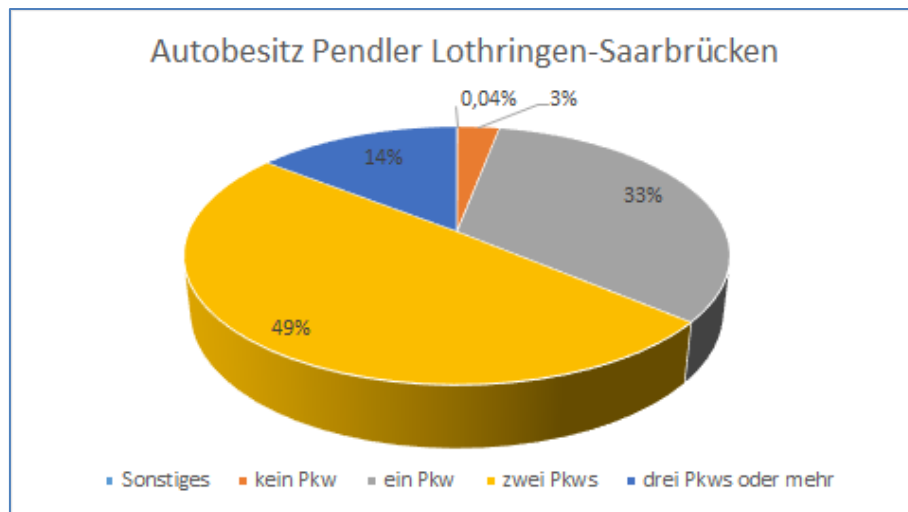


Abbildung 33: Autobesitz der Pendler Lothringen-Saarbrücken²⁴

Die obige Abbildung zeigt, dass 96 % der befragten Haushalte über mindestens ein bis drei Autos verfügen.

Die nachfolgende Grafik stellt die Beschäftigungsbereiche der Grenzpendler dar. Dominierend sind die Bereiche Handel, Transport und Dienstleistung sowie die verarbeitende Industrie.

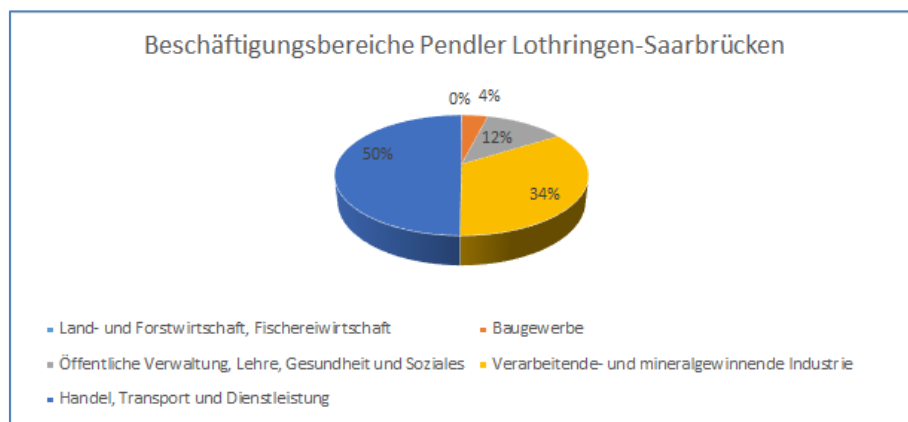


Abbildung 34: Beschäftigungsbereiche der Grenzpendler aus Lothringen (Wohnort in Lothringen und Arbeitsplatz im Ausland)²⁵

Bezüglich der Wohnsituation kann festgestellt werden, dass 66,1 % der Grenzpendler an ihrem Wohnort in einem Eigenheim leben, 33,6 % wohnen in einer Wohnung.

²⁴ Quelle: Eigene Darstellung IZES (Auswertung INSEE)

²⁵ Quelle: Eigene Darstellung IZES (Auswertung INSEE)

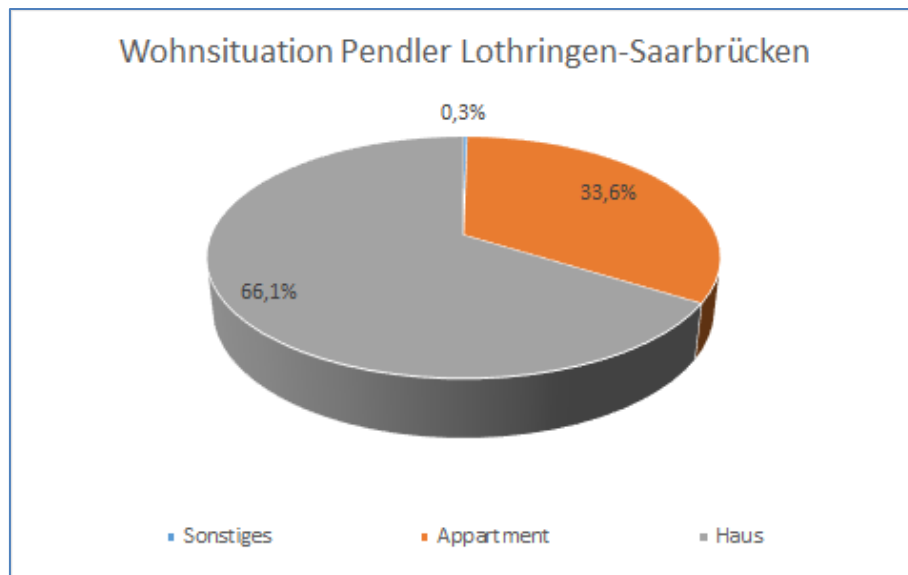


Abbildung 35: Wohnsituation Pendler Lothringen-Saarbrücken²⁶

Damit kann angenommen werden, dass die meisten Eigenheimbesitzer über einen eigenen Stellplatz für ihre(n) Pkw verfügen. Dies bedeutet auch, dass die Mehrzahl der Pendler die Möglichkeit der Installation einer Ladevorrichtung an ihrem Wohnort hat, um ein Elektrofahrzeug für den Weg zu Arbeit aufzuladen. Die Reichweiten gängiger Elektrofahrzeuge reichen für die aufgezeigten Entfernungen (Hin- und Rückfahrt mit durchschnittlich 27 km) aus. Weitere Aspekte zur Auswertung der Daten des INSEE, auch für die anderen Untersuchungsachsen, sowie dazugehörige Schlussfolgerungen, können der o.g. Bachelor-Thesis entnommen werden.

Erkenntnisse und Maßnahmen:

Mit Hilfe der Daten des INSEE konnten für den Korridor 4 wichtige Erkenntnisse gewonnen werden:

1. Die Substitution konventioneller Fahrzeuge durch Elektrofahrzeuge liegt bei entsprechenden Rahmenbedingungen²⁷ durchaus im Bereich des Möglichen. Emissionsprobleme²⁸ können hierbei gelöst werden, Verkehrsprobleme nicht.
2. Eine Möglichkeit, den Individualverkehr zu vermindern, ist die Bildung von Fahrgemeinschaften. Es kann davon ausgegangen werden, dass auf der Achse 4 noch erhebliche Potentiale vorhanden sind, da Wohnorte und Arbeitsplätze²⁹ der meisten Pendler in räumlicher Nähe zueinander liegen. Hier kann auch die Einrichtung von Mitfahrerparkplätzen unterstützend wirken. Gerade im produzierenden Gewerbe wird außerdem oft im Schichtbetrieb gearbeitet, so dass Fahrgemeinschaften auch aufgrund gemeinsamer Anfangs- und Endzeiten von Schichtarbeitern einfach zu etablieren wären.

²⁶ Quelle: Eigene Darstellung IZES (Auswertung INSEE)

²⁷ In Verbindung mit akzeptablen Anschaffungskosten für Elektrofahrzeuge, Batteriehaltbarkeit etc.

²⁸ In Verbindung mit erneuerbaren Energien

²⁹ Idealerweise in Zusammenarbeit mit großen Arbeitgebern wie bspw. ZF Friedrichshafen AG in Saarbrücken

3. Eine Schwäche des ÖPNV in Saarbrücken ist seine sternförmige Ausprägung. So ist das Zentrum der Stadt zwar von außerhalb sehr schnell zu erreichen. Um von dort aber zu Arbeitsplätzen in Randlagen zu gelangen, bedarf es eines größeren Zeitaufwands mit teils auch mehreren Umstiegen. Idealerweise sollten daher Ringverbindungen mit Verknüpfung zu den sternenförmig angeordneten Haltepunkten eingerichtet werden. Diese Schnittpunkte wären dann entsprechende Umsteigepunkte, damit Arbeitgeber in der Peripherie schnell erreicht werden können.
4. Eine weitere Maßnahme ist der Einsatz von Werkbussen³⁰. Sofern hier ein attraktives und günstiges Angebot für die Pendler entsteht, ist eine deutliche Wechselrate erreichbar. Der Werksbus kann gezielt an gesondert ausgewiesenen Haltepunkten³¹ eine größere Anzahl von Mitfahrern aufnehmen.
5. Alternative Verkehrsträger wie Fahrräder und Pedelecs können zusätzlich Abhilfe schaffen.

Zusammengefasst liegt die Problematik bei den meisten nachhaltigen Mobilitätskonzepten für den täglichen Weg zur Arbeit in der „ersten und der letzten Meile“:

- Wie sind die gut ausgebauten Verkehrsachsen zu erreichen?
- Welche Optionen sparen Wegzeit ein?

Das Forschungsprojekt ELEC'TRA hat hierfür den Begriff des „eHub“ entwickelt. Mit dem Begriff des eHub ist ein Umsteigepunkt mit unterschiedlichsten Ausprägungen für die Überbrückung von Mobilitätshemmnissen gemeint. Dabei sollte der eHub auf die lokalen Bedürfnisse adaptiert sein, einhergehend mit einer grenzüberschreitenden Interoperabilität.

Das eHub-Konzept hat die Ambitionen, den Umstieg der „ersten“ Meile und der „letzten“ Meile zu beschleunigen und zu erleichtern!

2.3.3.2. Qualitatives Befragungskonzept

Im Rahmen des Forschungsprojekts ELEC'TRA war vorgesehen, dass für alle vier Korridore eine Mobilitätsbefragung der Grenzpendler stattfindet.

Aus den bereits weiter oben dargestellten Gründen konnte das infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, das die Mobilitätsbefragung für die Korridore 1 bis 3 durchgeführt hat, keine Befragungen auf dem Korridor 4 realisieren. Hier wurde deshalb ein abgewandeltes qualitatives Erhebungskonzept umgesetzt.

Ausgehend von der Analyse der INSEE-Daten und den hieraus gewonnenen Erkenntnissen, dass der MIV mit mehr als 90-prozentigem Anteil das am häufigsten genutzte Verkehrsmittel ist, wurde zur Erfragung der Gründe hierfür in

³⁰ Bspw. besonders wirkungsvoll bei Schichtarbeitsmodellen

³¹ Bspw. Mitfahrerparkplätze, Marktplätze, Bahnhöfe und Haltestellen

Zusammenarbeit mit Infas eine qualitative Befragung erarbeitet. Die zentralen Fragen lassen sich dabei wie folgt zusammenfassen: Was sind die Gründe, dass der Pkw derart bevorzugt wird und wie werden alternative Mobilitätsmodelle beurteilt? Im Rahmen der Befragung wurden daher Experteninterviews mit Unternehmen durchgeführt, die ihren Sitz in Saarbrücken und einen hohen Anteil Grenzpendlern haben. Zudem waren Gruppendiskussionen (Fokusgruppen) mit Grenzpendlern aus Unternehmen geplant. Auf Grund mangelnder Teilnahmebereitschaft jener konnte keine Fokusgruppe realisiert werden. Stattdessen wurden Interviews mit Verkehrsexperten aus dem Saarland geführt.

Die insgesamt 14 Interviews wurden von Oktober bis Dezember 2014 realisiert. Neun dieser Interviews wurden mit Ansprechpartnern in Unternehmen durchgeführt, weitere fünf mit Verkehrsexperten aus unterschiedlichen Organisationen.

Experten in Unternehmen in Saarbrücken	Verkehrsexperten
Feldzeit: 21.10.2014 – 03.12.2014	Feldzeit: 04.12.2014 – 15.12.2014
Zielgruppe: Ansprechpartner in Unternehmen mit Pendlern aus Frankreich, die etwas zur Mitarbeiterstruktur und den Rahmenbedingungen vor Ort sagen können	Zielgruppe: Verkehrsexperten für den Raum Saarbrücken
Fallzahl: 9 Interviews	Fallzahl: 5 Interviews
Branchen: Industrie (Kfz-)Handel Logistik/Spedition Forschungseinrichtung Unterhaltungsbranche/Gastronomie	Unternehmen/Institutionen, in denen die Ansprechpartner tätig sind: Arbeitskammer des Saarlandes Industrie- und Handelskammer Saarland (IHK) Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (InnoZ) Saarländischer Verkehrsverbund (saarVV) Verkehrsclub (VCD) Landesverband Saarland
Unternehmensgrößen (Standort Saarbrücken): > 1.000 Mitarbeiter: 2 Unternehmen ~ 300 Mitarbeiter: 1 ~ 200 Mitarbeiter: 4 < 200 Mitarbeiter: 2	

Abbildung 36: Studiensteckbriefe³²

Ergebnisse aus der qualitativen Befragung:

Zusammengefasst kommt infas zu den folgenden Ergebnissen³³:

1. Der grenzübergreifende Verkehr ist stark vom motorisierten Individualverkehr geprägt. Die Erreichbarkeit der Unternehmen im Raum Saarbücken wird aufgrund des dichten Straßennetzes als sehr gut wahrgenommen.
2. Da sich sowohl die Parkraumsituation als auch die Verkehrslage im Raum Saarbrücken als unproblematisch darstellt, gibt es auf Seiten der Grenzpendler wenig Bedarf für Veränderung.

³² Quelle: infas, Bericht ELEC'TRA, Achse 4; Abb. S. 7

³³ Quelle: Infas Bericht ELEC'TRA, Achse 4; Ergebnisse S. 9

3. Der öffentliche Verkehr in der Stadt Saarbrücken wird positiv bewertet, während das Angebot im ländlichen Raum sowohl auf deutscher als auch auf französischer Seite als unzureichend für den täglichen Arbeitsweg beurteilt wird. Die disperse Siedlungsstruktur in der Grenzregion wird als zusätzliche Erschwernis für den öffentlichen Verkehr dargestellt.
4. Die Verbindung zwischen Saarbrücken und Saargemünd durch die Saarbahn wird sehr positiv wahrgenommen. Der ÖPNV auf der Achse Forbach-Saarbrücken wird aufgrund der fehlenden Saarbahnbindung und der geringen Taktung im Schienenverkehr weniger gut bewertet. Insgesamt fehlen direkte Verbindungen, zum Beispiel zwischen Metz und Saarbrücken, ohne Umsteigepunkte in Forbach oder Saarbrücken Hauptbahnhof. Der Zeitverlust durch gebrochene Verkehre³⁴ und die fehlenden Direktverbindungen zu großen Arbeitgebern im Raum Saarbrücken werden als größtes Hindernis für die Nutzung des ÖPNV bezeichnet.
5. Als große Probleme im öffentlichen Grenzverkehr stellen sich vor allem die mangelnde Kommunikation zwischen deutschen und französischen Verkehrsunternehmen und Behörden, die fehlende gemeinsame strategische Ausrichtung, das komplizierte Tarifsysteem und zu hohe Kosten für die Nutzer dar.
6. Unternehmen lehnen das Thema Elektromobilität im Zusammenhang mit eigenen Betriebs- oder Dienstfahrzeugen nicht grundsätzlich ab, sehen konventionelle Fahrzeuge aber momentan im Vorteil. Die Hürden sind die geringe Reichweite, das fehlende Angebot und die lange Ladedauer der Elektrofahrzeuge.
7. Verkehrsexperten schätzen das Potenzial für private Elektrofahrzeuge als gering ein. Elektrofahrräder oder Elektrofahrzeuge im Zusammenhang mit Car-Sharing könnten jedoch in Zukunft verstärkt eine Rolle spielen.
8. Das eHub-Konzept wird insbesondere als Ergänzung zu bereits bestehender Infrastruktur verstanden. Für Pendler zwischen Frankreich und Saarbrücken wird das Konzept wegen der kurzen Anfahrtswege als wenig praktikabel bewertet. In Gewerbegebieten könnten allerdings eHubs das Mobilitätsangebot für Unternehmen sinnvoll ergänzen.

Weiterhin interessant sind folgende Zitate von Seiten der Unternehmen und der Verkehrsexperten:

³⁴ Darunter wird die Beförderung von Personen und/oder Gütern mit Wechsel der Transportmittel durch Umsteigen und/oder Umladen zwischen Abgangs- und Ankunftsort verstanden.

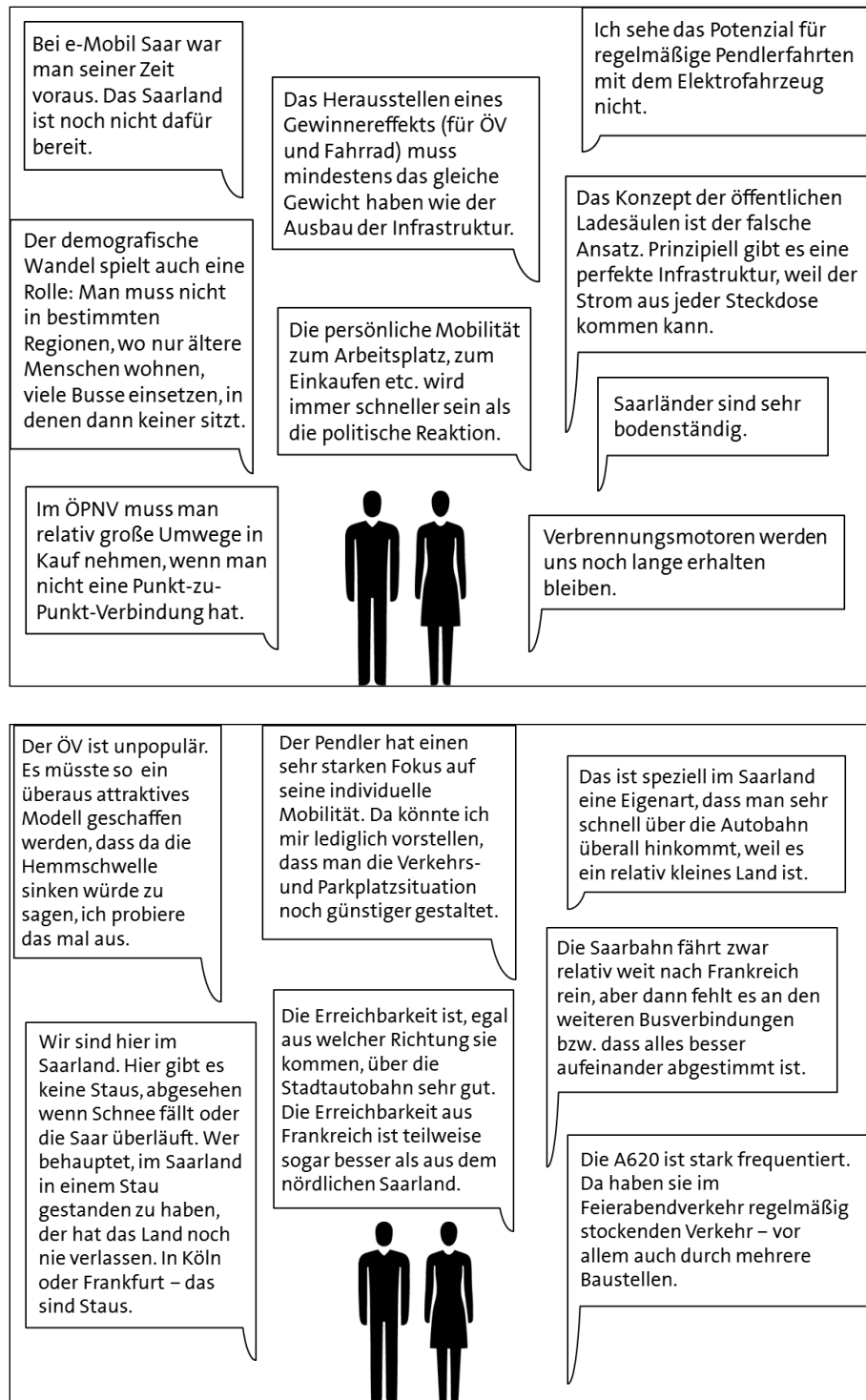


Abbildung 37: Aussagen der Experten zum Thema Verkehr³⁵

Diese qualitativen Aussagen mögen nicht direkt repräsentativ sein, zeigen aber, dass davon ausgegangen werden kann, dass das Straßennetz mit der Anbindung nach Saarbrücken für den Pkw sehr gut ist. Auch die Parkplatzsituation bei den Arbeitgebern scheint unproblematisch zu sein. Dagegen gibt es auch andere Meinungen bzgl. der Verkehrssituation: Befragte geben an, aufgrund der täglichen

³⁵ Quelle: Infas Bericht ELEC'TRA, Achse 4; Abb. S. 17 und Abb. S. 17

Staus auf dem Weg zur Arbeit unzufrieden zu sein. Weitere Befragte sehen diesen als unkritisch im Vergleich zu anderen Ballungsräumen. Der ÖPNV wird als umständlich und unpopulär beschrieben, insbesondere bei der Verknüpfung im Rahmen von grenzüberschreitenden Verbindungen.

Das Thema alternativer Mobilitätsansätze, gepaart mit Elektromobilität, schätzen die Experten eher kritisch ein:

	Sehr wahrscheinlich	Eher wahrscheinlich	Eher nicht wahrscheinlich	Überhaupt nicht wahrscheinlich	Angebot bereits da	Trifft nicht zu
Finanzielle Beteiligung am ÖV						
Finanzielle Beteiligung an Pkw						
Vermittlung von Fahrgemeinschaften						
Fahrradstellplätze						
Ladestationen auf Betriebsgelände						
Elektroautos auf Betriebsgelände						
Elektroautos als Dienstfahrzeuge						
Parkplätze für Fahrgemeinschaften						
Dienstfahrzeuge teilen						
Vermittlung von Carsharing						

■ 1 bis 2
 ■ 3 bis 4
 ■ 5 bis 6
 ■ 7 bis 8 Nennungen

Abbildung 38: Einschätzung zu zukünftigen Entwicklungen im Unternehmen³⁶

Interessanterweise wurden die Themen „Vermittlung von Fahrgemeinschaften“, „Fahrradstellplätze“ und „Ladestationen auf dem Betriebsgelände“ als „eher wahrscheinlich“ gesehen. Das Angebot von Fahrradabstellstationen ist bereits vorhanden, das Angebot von Ladestationen auf dem Betriebsgelände teilweise auch. Diese letzte Aussage zeigt, dass es ggf. ein Potential für Grenzpendler gibt, mit dem eigenen privaten Elektrofahrzeug³⁷ die tägliche Fahrt zur Arbeit zu bewältigen. Als überhaupt nicht wahrscheinlich wurden „Parkplätze für Fahrgemeinschaften“, das „Teilen von Dienstfahrzeugen“ und die „Vermittlung von Car-Sharing“ eingeschätzt. Diese Aussagen lassen darauf schließen, dass neuartige Mobilitätsgedanken und -systeme eher schwierig zu etablieren sind.

³⁶ Quelle: Infas Bericht ELEC' TRA, Achse 4; Abb. S. 13

³⁷ In Verbindung mit akzeptablen Anschaffungskosten für Elektrofahrzeuge, Batteriehaltbarkeit, etc.

Kurzfasit:

Die qualitativen Aussagen, gepaart mit der hohen Pkw-Nutzung für den täglichen Weg zur Arbeit, begrenzen die Möglichkeiten für alternative Mobilitätssysteme und deren Akzeptanz.

Dennoch sollen mit dem eHub-Konzept auch für die Achse 4 sinnvolle Vorschläge erarbeitet werden.

Kurze Zusammenfassung:

Aufgrund der unzureichenden Datengrundlage³⁸ des INSEE und der lediglich qualitativen Aussagen zum Korridor 4, können keine Simulationen zum Verkehrsaufkommen und -verhalten generiert werden. Daher fehlen insbesondere genaue Quell-Ziel-Beziehungen für jenen. Dies bedeutet, dass es zwar Kenntnisse über die Wohnorte der Grenzpendler und deren Arbeitsort Saarbrücken gibt. Detaillierte Daten wie z.B. über die Wegewahl, Fahrzeiten, Arbeitszeiten und Anderes fehlen hingegen. Dies erschwert die Untersuchung der Achse 4.

Deutlich ist, dass die Achse 4 sehr stark vom Individualverkehr geprägt ist und von Seiten der Grenzpendler über diese Art der Mobilität durchaus Zufriedenheit herrscht. Damit ist eine Etablierung bzw. eine Akzeptanz alternativer Mobilitätskonzepte, beispielsweise zur Verlagerung des MIV auf den ÖPNV, kaum durchführbar, sofern nicht ein Mehrwert aus Sicht der Pendler geschaffen werden kann.

2.3.3.3. Alternative Mobilitätsansätze für den Korridor 4

Für die Verbesserung der Mobilitätsaspekte auf dem Korridor 4 werden im Nachfolgenden drei anschauliche Grafiken mit unterschiedlichen Ansätzen vorgestellt: Die nachfolgenden Abbildungen können als systemische Vorbilder verstanden werden. Hierbei gilt es, die Möglichkeit intermodale Wegeketten³⁹ zu schaffen sowie diese zu attraktiveren. Dabei kann jede bereits vorhandene Haltestelle oder fast jeder Mitfahrerparkplatz zu einem eHub aufgewertet werden.

³⁸ Im Rahmen der Mobilitätsenerhebung auf den Achsen 1-3 konnten hingegen eine Vielzahl an Daten zu Weg-Ziel-Konstellationen erhoben werden, die in eine Mobilitätssimulation Eingang fanden.

³⁹ Beispiel 1: Erste Meile per Pkw, Umstieg auf Bahn oder Bus, letzte Meile per Ringbus
 Beispiel 2: Erste Meile per Fahrrad, Umstieg auf Bus oder Bahn, letzte Meile per Verleih-Fahrrad/Pedelec
 Beispiel 3: Erste Meile per Fahrgemeinschaft, Umstieg auf Bus oder Bahn, letzte Meile per E-Car-Sharing-Fahrzeug (e-Mobil Saar www.e-mobil-saar.de)

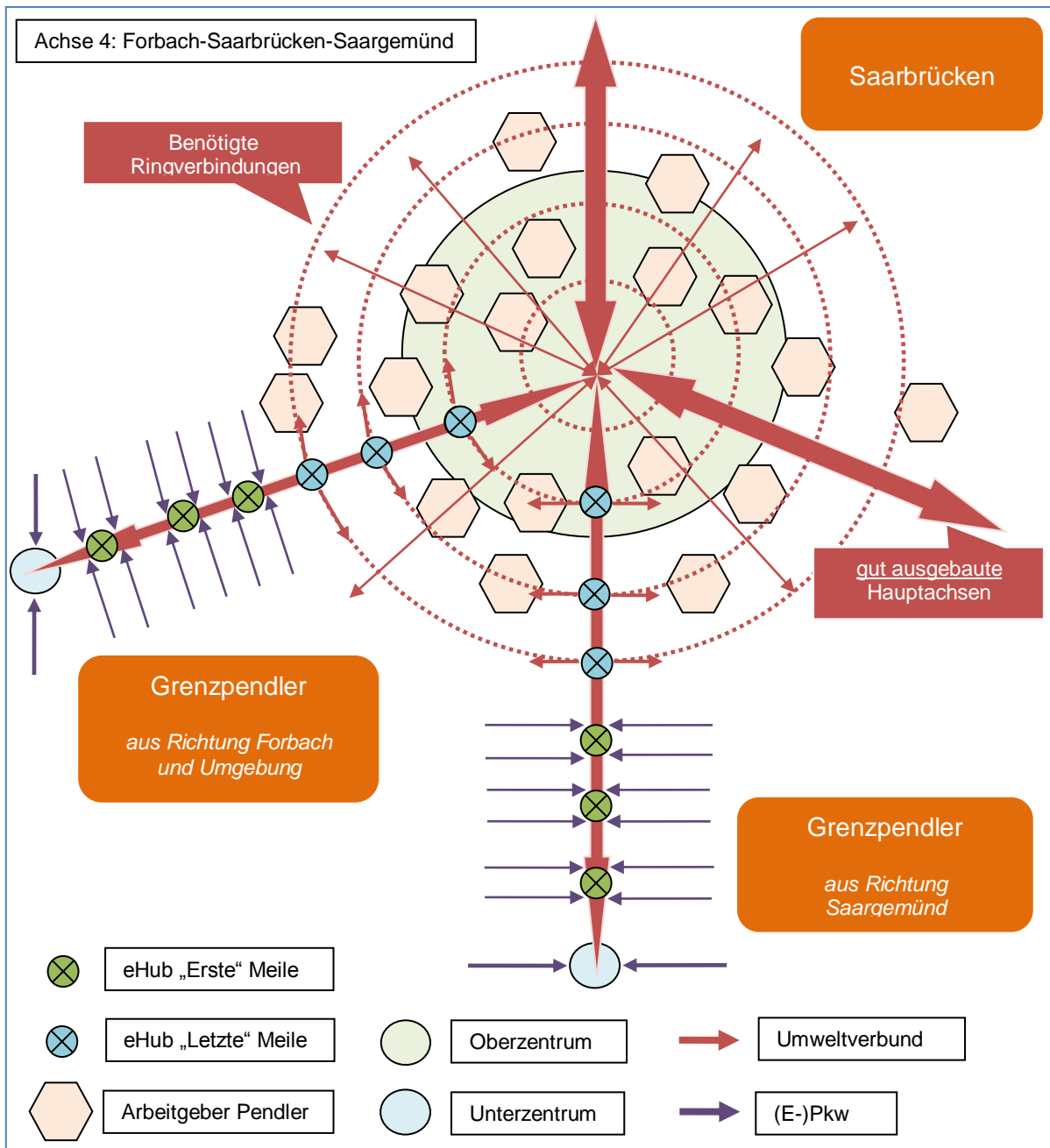


Abbildung 39: Erläuterung ÖPNV-Mobilitätskonzept inkl. eHubs – Korridor 4⁴⁰

Die nächste Abbildung kombiniert den Individualverkehr mit dem Umweltverbund⁴¹. Wird ein gut ausgebaute Verbund im Oberzentrum Saarbrücken unterstellt, können die Pkws an Randlagen der Stadt abgestellt werden, an denen ein Umstieg auf den Umweltverbund erfolgt. Vorteile sind insbesondere die Verkehrsentlastung in den innerstädtischen Bereichen und auf den Hauptverkehrsachsen zu den Hauptverkehrszeiten am Morgen und am Abend.

⁴⁰ Quelle: Eigene Darstellung IZES

⁴¹ Der Umweltverbund ist definiert als eine Gruppe umweltverträglicher Verkehrsmittel. Hierzu gehören nicht motorisierte Verkehrsträger (wie Fußgänger und Fahrräder), öffentliche Verkehrsmittel (Bahn, Bus und Taxis), sowie Carsharing und Mitfahrzentralen.

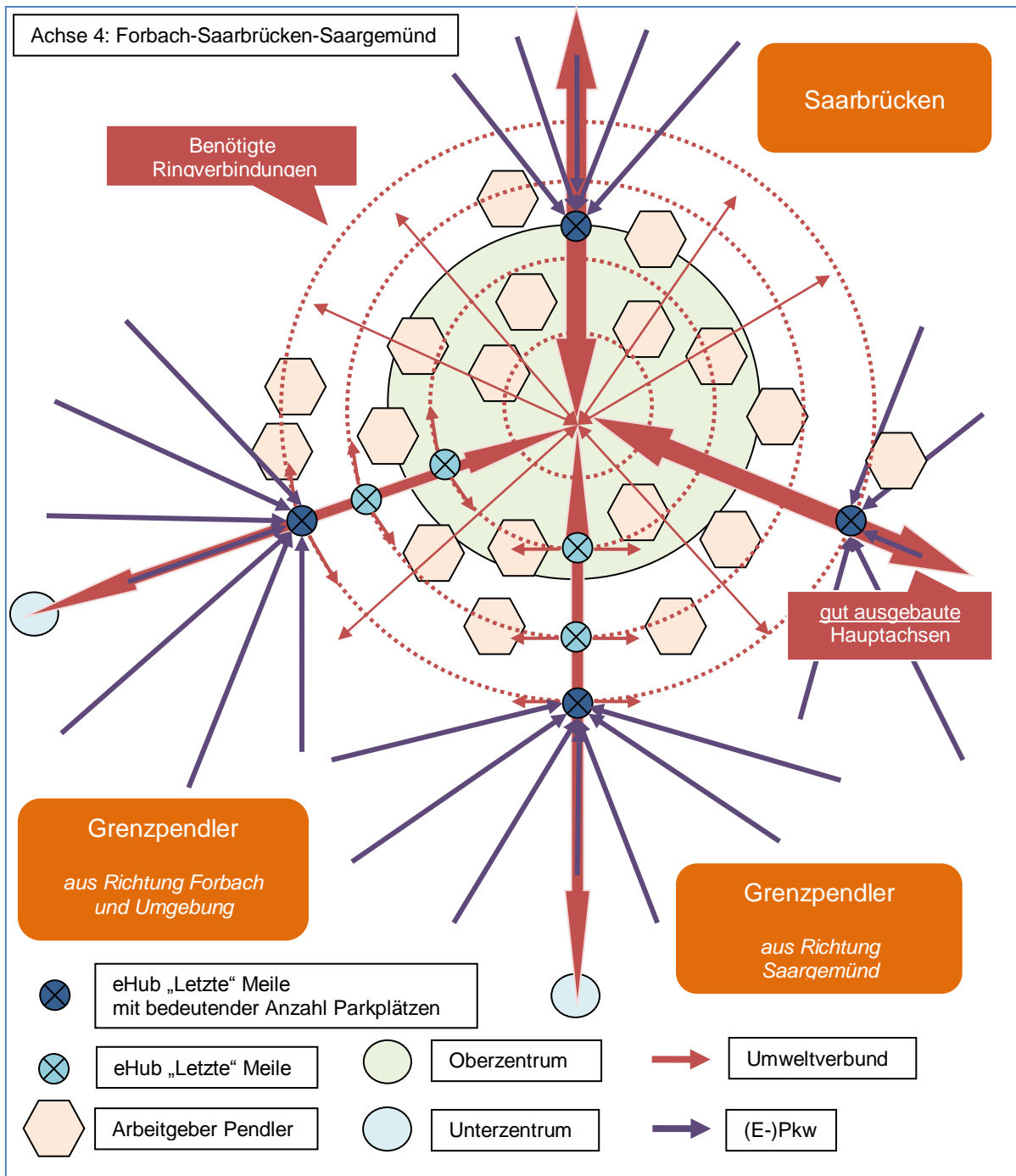


Abbildung 40: Erläuterung Individual-ÖPNV-Mobilitätskonzept inkl. eHub – Korridor 4⁴²

Zusätzlich bzw. alternativ sollte das Instrument der Fahrgemeinschaften zur Bündelung von Verkehrsflüssen genutzt werden. Insbesondere auf der Achse 4 ist die Anzahl an Mitfahrerparkplätzen gering. Mit einer Erhöhung der Anzahl an derartigen Parkplätzen wird eine hohe Ausnutzung dieser Option erwartet. Darüber hinaus können insbesondere die lokalen Emissionen weiter gesenkt werden, wenn Pendler, die sonst ihren eigenen konventionellen Pkw nutzen würden, innerhalb der

⁴² Quelle: Eigene Darstellung IZES

Fahrgemeinschaften auf emissionsarme E-Fahrzeuge (E-Car-Sharing oder privat) umsteigen.

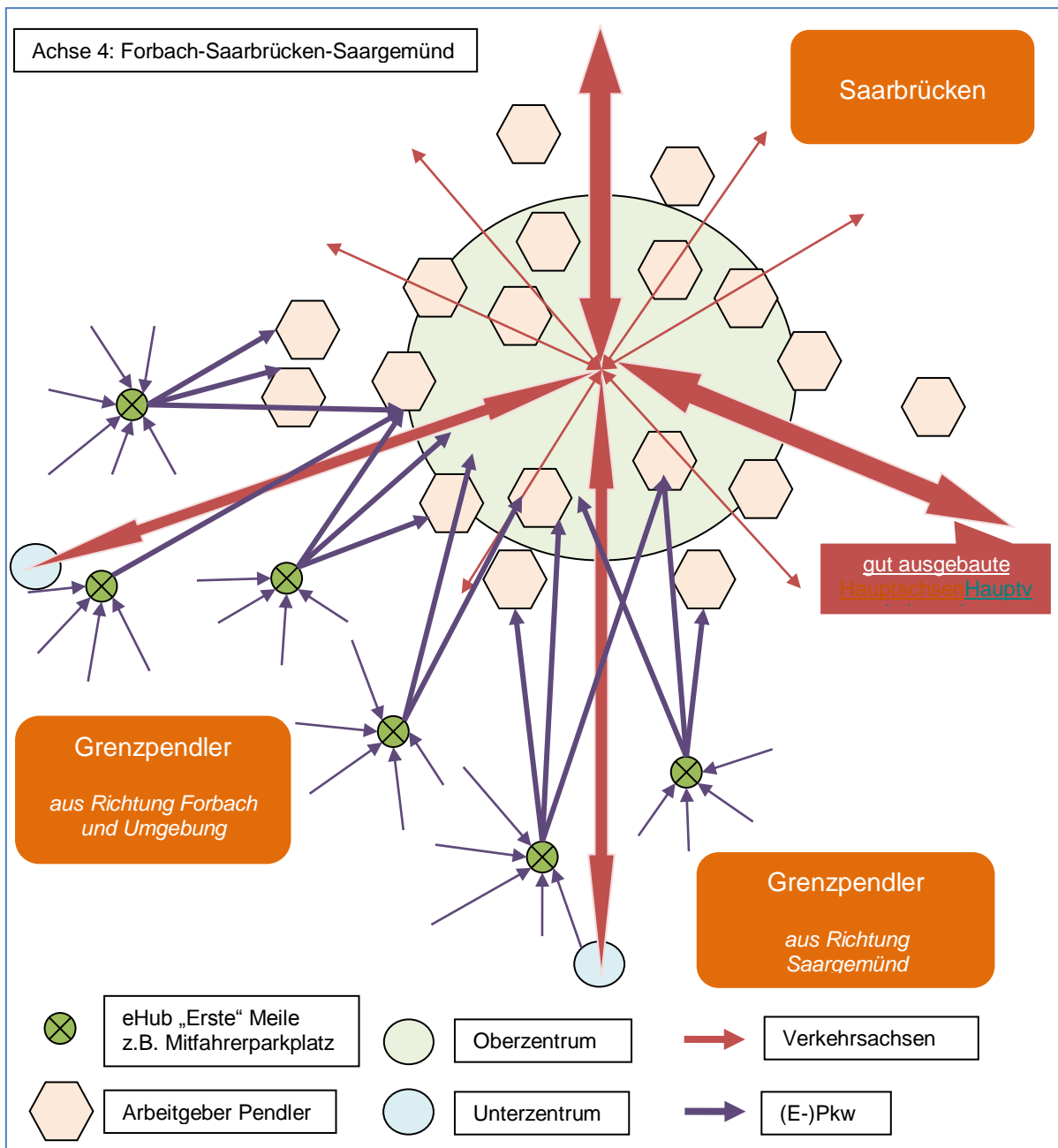


Abbildung 41: Erläuterung Individual-Mobilitätskonzept inkl. eHubs – Korridor 4 (IZES)

Eine Kombination der drei in den Schaubildern dargestellten Modelle in Form eines abgestimmten Mobilitätssystems kann als Optimum bezeichnet werden, um vielen Mobilitätsbedürfnissen gerecht zu werden.

Eine Verortung der eHubs (analog zu den Korridoren 1-3) kann für die Achse 4 nicht vorgenommen werden. Dies ist ohne die nötigen Datengrundlagen (genaue Quell-Ziel-Beziehungen) nicht möglich. Hierzu müssen Folgeuntersuchungen mit

Pendlerbefragungen durchgeführt werden. Für die Achse können daher nur allgemeine Empfehlungen ausgesprochen werden.

Dennoch bietet der grenzüberschreitende Verkehr auf dem vierten Korridor die Möglichkeit, in einem Demonstrationsprojekt neue und nachhaltige Mobilitätssysteme zu testen und diese bei erfolgreichen Tests später zu etablieren. Eine Herausforderung dabei wird die Finanzierung und Implementierung in bereits vorhandene Mobilitätsstrukturen sein.

2.3.4. Ergebnisse Unternehmen

Auch bei den Unternehmen wurde durch eine Nachqualifizierung eine neue Netto-Stichprobe generiert. Von den nunmehr 116 Unternehmen im Großherzogtum Luxemburg nahmen 47 an der Befragung teil, was einer Rücklaufquote von 40,5% entspricht. Die telefonische Gesprächsdauer betrug im Durchschnitt 16,5 Minuten.

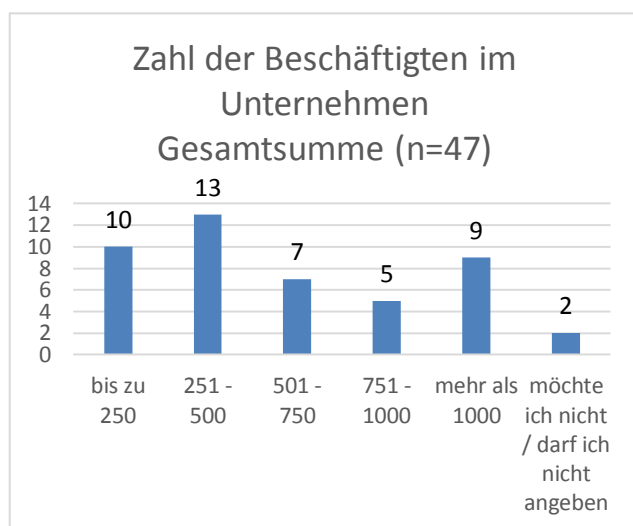


Abbildung 42: Verteilung der Beschäftigten

Die Spannweite der im Unternehmen angestellten Personen in Luxemburg ist mit 130 – 4.000 Personen sehr groß. Zehn der Unternehmen haben dabei 1.000 oder mehr Mitarbeiter in Luxemburg. Die Branche der Unternehmen ist nicht erfasst worden.

Auf Seiten der Unternehmen stellt sich das Bild der Erreichbarkeiten mittels verschiedener Verkehrsmittel sehr differenziert dar. So gaben nur acht Unternehmen an, dass sie mit dem Auto schwierig zu erreichen seien, im Gegensatz zu 29 Unternehmen, die die Erreichbarkeit per Auto mit gut oder sehr gut einschätzen. Beachtenswert ist, dass vier der Unternehmen, welche mehr als 1.000 Angestellte aufweisen, selbst sagen, dass die Erreichbarkeit mittels Auto eher schlecht oder schlecht sei. Kleinere Unternehmen bewerten die Erreichbarkeit durchweg positiv. Ein Drittel der Unternehmen, alle weniger als 1.000 Angestellte, meinten, mit dem ÖPNV sei der Arbeitsplatz schwierig bis gar nicht erreichbar. Generell wurde die Erreichbarkeit mittels Auto von 75% mit gut bis sehr gut bewertet, die Erreichbarkeit

mittels ÖPNV in beiden Antwortkategorien nur zur Hälfte. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Erreichbarkeit mittels Fahrrad oder zu Fuß: Fast die Hälfte der Betriebe gab an, weder mit dem Fahrrad, noch zu Fuß kaum bis gar nicht erreichbar zu sein, unabhängig vom Umfang der Angestellten. Ergänzend hierzu gaben 90% der befragten Unternehmen an, dass mindestens die Hälfte der Mitarbeiter mit dem Auto zum Arbeitsplatz kommen würde und gar 25% gaben an, dass mindestens 95% aller Arbeitnehmer mit dem Auto zur Arbeit fahren würden.

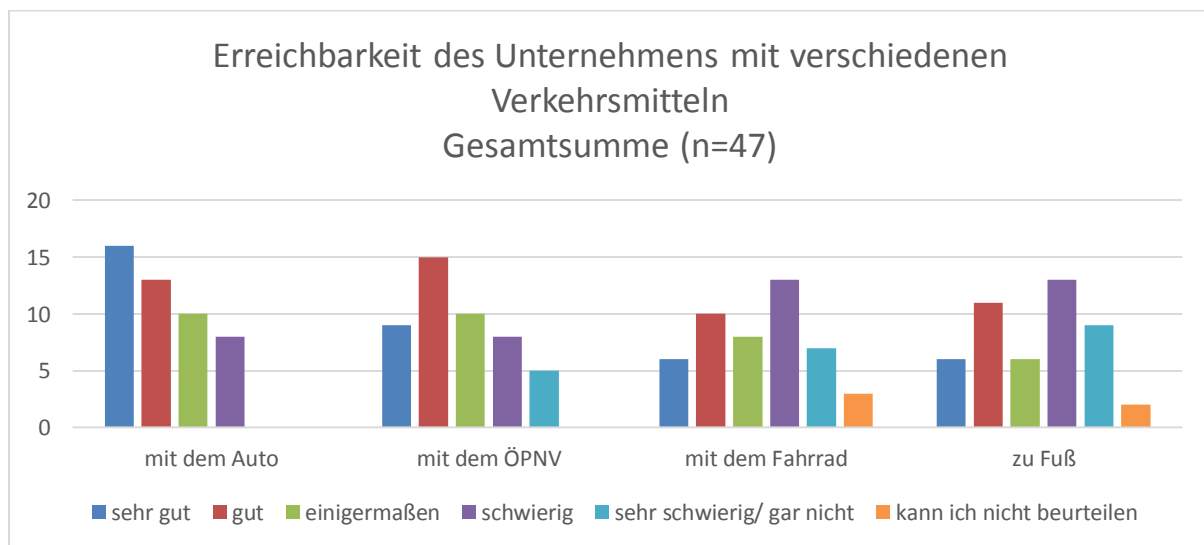


Abbildung 43: Erreichbarkeit der Unternehmen

Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, dass die Unternehmen es nur vereinzelt den Angestellten ermöglichen, von zu Hause aus zu arbeiten. Es hängt auch von der Branche ab, in der das jeweils befragte Unternehmen tätig ist, also ob Dienstleistungssektor oder zum Beispiel im produzierenden Gewerbe. Hier könnte ein betriebliches Mobilitätsmanagement ansetzen und so die Bildung von Fahrgemeinschaften erleichtern. Oder die Erreichbarkeit mittels ÖPNV müsste optimiert werden, zum Beispiel durch ein in der Nähe befindlicher eHub. Die Standorte der Arbeitsorte sind ebenfalls von Relevanz. Nach *Schmitz/Gerber* nutzen Arbeitnehmer in der Hauptstadt Luxemburg häufiger den ÖPNV (33%) als jene, die im Großraum Luxemburg arbeiten (65) oder im restlichen Land (2%)⁴³.

⁴³ Vgl. Schmitz, F. / Gerber, P. (2012): Öffentlicher Verkehr oder Individualverkehr: Wie begeben sich die Grenzgänger 2010 an ihren Arbeitsplatz? – In: CEPS (2012): Die Mobilität der in Luxemburg beschäftigten Grenzgänger: Dynamik und Perspektiven. Les Cahier du CEPS/INSTEAD. Geographie und Entwicklung, Luxemburg. S. 14f

Auf der anderen Seite stellt eine gute Erreichbarkeit einen attraktiven Grund dar, das Auto zu nutzen. Einhergehend damit, etwas abweichend von der Pendlerbefragung, fiel das Ergebnis hinsichtlich der Frage nach den Mitarbeiterparkplätzen aus. Hier antworteten ca. 60% der Unternehmen, dass sie diese kostenfrei zur Verfügung stellen (im Vgl.: ca. 78% bei den Pendlern). Wenn diese den Arbeitnehmer etwas kosten, dann wird finanzielle Unterstützung in Form von pauschalen oder prozentualen Zuschüssen für Parkplätze gewährt, jedoch sind diese insgesamt nicht höher als 100€. Gleichmaßen wurde die Frage zur Nutzung der Dienstfahrzeuge zu privaten Zwecken beantwortet. Auch hier bieten 65% der Unternehmen ihren Arbeitnehmern die private Nutzung mit allen Vor- und Nachteilen an.

Im Gegensatz dazu beteiligen sich die Unternehmen weniger an nachhaltigen und ökologischen, finanziellen Hilfen für ihre Arbeitnehmer. So antworteten nur 40% der Unternehmen, dass sie finanzielle Hilfe zum Erwerb des „M-Pass“ leisten oder generell Zuschüsse zur Nutzung des ÖPNV gewähren. Wenn, dann unterstützen sie die eigenen Arbeitnehmer aber mindestens mit einem Anteil von 50% an den Kosten. Weit weniger ausgeprägt ist die Hilfe zur Bildung von Fahrgemeinschaften, was nur 20% der befragten Unternehmen bejahten. Zusätzlich sollte erwähnt werden, dass 30 der 47 (64%) befragten Unternehmen Fahrradstellplätze zur Verfügung stellen, was unter Hinzuziehen der Ergebnisse zur Erreichbarkeit mittels Fahrrad bedeutet, dass zumindest das Angebot höher ist als die eigene Einschätzung, dieses auch sicher und bequem zu nutzen. Über einen Mobilitätsmanager bzw. einen Beauftragten für Mobilität verfügen 20% der befragten Unternehmen.

Hinsichtlich des ELEC'TRA-Konzepts wurde die Frage gestellt, ob zum Zeitpunkt der Befragung bereits Ladesäulen auf dem Betriebsgelände seien vorhanden seien und ob sich gleichermaßen Elektrofahrzeuge in der Dienstwagenflotte befänden. Auf die Frage nach den Ladesäulen konnten bereits acht Unternehmen positiv antworten, wohingegen sich bisher kein einziges Elektrofahrzeug in den jeweiligen Dienstwagenflotten befindet. Dem Projektkonzept sehr nahe kommen drei Unternehmen, welche die Bildung von Fahrgemeinschaften und zugleich das Angebot von Ladesäulen auf dem Betriebsgelände anbieten.

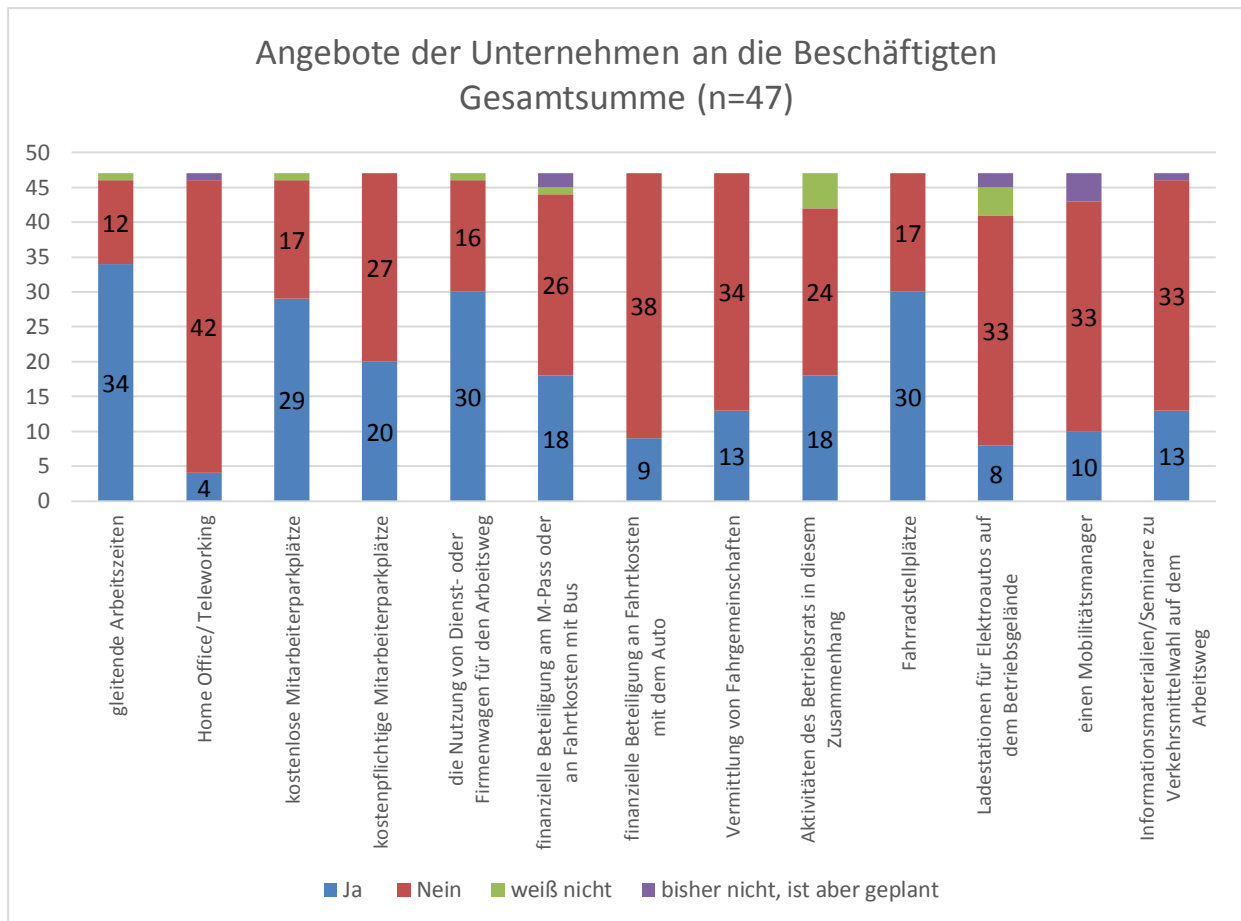


Abbildung 44: Derzeitige Angebote für Beschäftigte in den Unternehmen

Für die Zukunft planen nur fünf Unternehmen, nebst den bisher ausführenden, sich an den Fahrtkosten der Arbeitnehmer für den Gebrauch des öffentlichen Verkehrs zu beteiligen. Dennoch stimmten drei Viertel der Unternehmen der Aussage zu, dass sie ein Interesse daran hätten, das die Angestellten mehr den ÖPNV statt des Autos nutzen, um zum Arbeitsplatz zu gelangen. Zu den bisherigen 12 Unternehmen denken weitere 15 darüber nach, die Bildung von Fahrgemeinschaften zu unterstützen. Die Förderung der Autonutzung wird nicht erwogen. Der Ausbau der Fahrradstellplätze wird von sechs Unternehmen angestrebt, womit letztlich 36 der 47 Unternehmen diese anbieten würden.

Skeptisch wird dagegen die Elektromobilität betrachtet. Die Bereitstellung von Ladesäulen auf dem Betriebsgelände wird nur von weiteren 11 Unternehmen in Erwägung gezogen und ist nicht direkt zur Umsetzung geplant. Ebenfalls gilt dies für die Anschaffung von Elektrofahrzeugen als Dienstfahrzeuge. Für weitere Maßnahmen müssten die genauen Gründe erfragt werden. Liegt es an der fehlenden Popularität der Elektromobilität, oder deren Kosten und Anschaffungspreise? Spielt

eine Art der Unsicherheit eine Rolle oder liegt es an einer schlechten Informationslage?

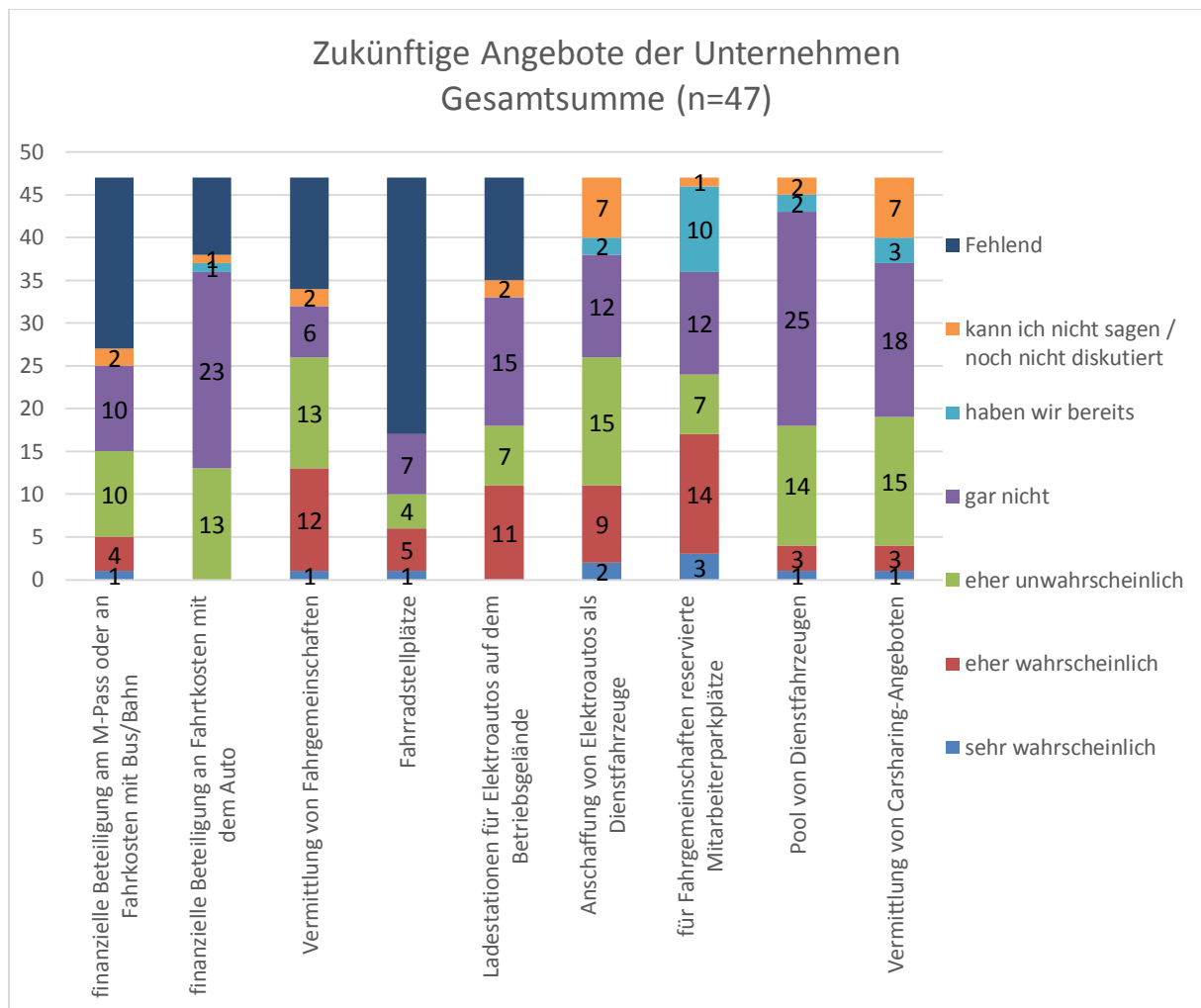


Abbildung 45: Zukünftige Angebote für Beschäftigte in den Unternehmen

Zwischenfazit: Unternehmen

Unabhängig von der Größe der Unternehmen, sind diese eigenen Angaben zufolge mit dem Auto und dem ÖPNV deutlich besser erreichbar, als mit dem Fahrrad oder zu Fuß. Dennoch kommt mindestens die Hälfte der Arbeitnehmer mit dem Auto zur Arbeitsplatz. Das kann mit der Lage und Branche des Arbeitgebers zusammenhängen. Anreize werden aber bereits geschaffen, indem zwei Drittel der befragten Unternehmen kostenlose Mitarbeiterparkplätze zur Verfügung stellen oder Dienstwagen zur privaten Nutzung bereitstellen. Die Elektromobilität, aktuell und zukünftig, spielt eine untergeordnete Rolle. Stattdessen planen die Unternehmen, in das betriebliche Mobilitätsmanagement zu investieren, indem sie beispielsweise die Bildung von Fahrgemeinschaften fördern.

3. Aktion 2 und 3 – Grenzüberschreitende Interoperabilität und eHub-Design

3.1. eHub-Design

Ein eHub sollte sich idealerweise entlang der zentralen Autobahnen oder aber an einer Zufahrt befinden. Das ermöglicht es, eine kritische Masse an diesen Punkten jederzeit schnellstmöglich zu erreichen, um dann mittels Carsharing oder Mitfahrgelegenheiten sich den gemeinsamen Weg zu teilen.

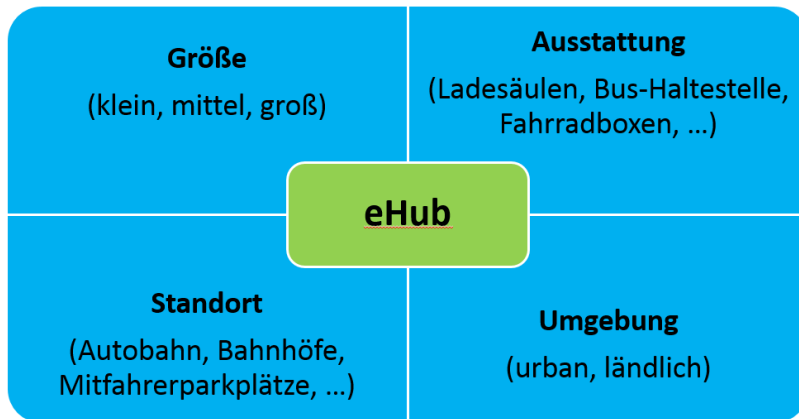


Abbildung 46: eHub-Schema

Ebenso sollte es möglich sein, eHubs an einen Bahn-Haltepunkt zu setzen. Vor allem an den in den peripher gelegenen Bahnhöfen und Haltepunkten können somit zentrale Sammelpunkte entstehen, an denen in Abwesenheit

der Eigentümer die Elektrofahrzeuge oder E-Bikes geladen werden können. Doch auch in den Innenstädten können eHubs eingerichtet werden.

Je nach Lage, städtisch oder ländlich, benötigter Ausstattung und spezifischer Vor-Ort-Eigenschaften lässt sich ein eHub drei Größen zuordnen: klein, mittel und groß. Um möglichst geringe Kosten bei Bau und Unterhalt zu haben, sollten sie modular aufgebaut sein. So lassen sich nicht nur einzelne Module nach dem Baukastenprinzip hinzufügen, sondern bei veränderten Verkehrsströmen auch wieder entfernen. Teile des benötigten Stroms zum Wiederaufladen der E-Bikes oder Elektrofahrzeuge können aus Photovoltaik-Anlagen auf den Dächern der eHubs erzeugt werden. Die folgende Abbildung zeigt eine mögliche Konfiguration in Verbindung mit einer Bushaltestelle.



Abbildung 47: eHub-Entwurf

Ein weiteres Ziel des Projektes ist die Integration von Elektrofahrzeugen um langfristig den CO₂-Wert zu verringern. Konsequenterweise sollten eHubs über eine Infrastruktur zum Aufladen von Elektrofahrzeugen verfügen. Ein Überblick über die mögliche Einrichtung wird im folgenden Bild dargestellt.

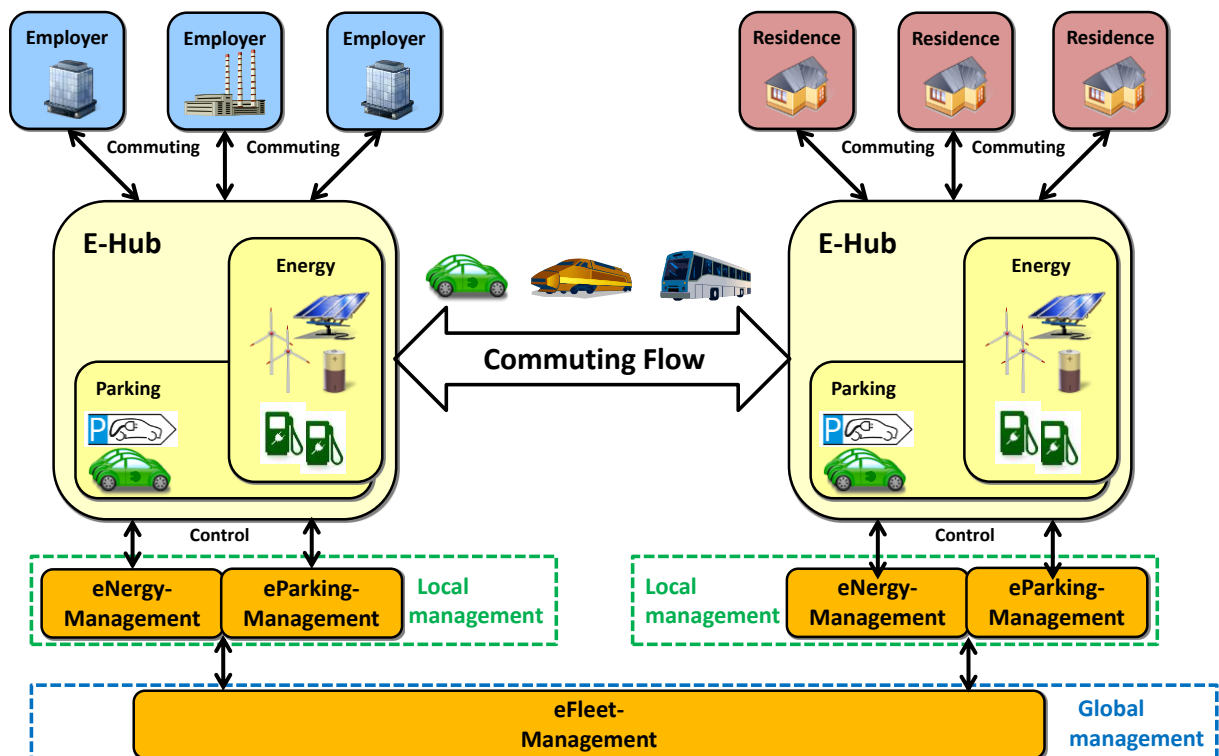


Abbildung 48: eHub im ELEC'TRA-Konzept

Die Ergebnisse der Analyse ließen eine zeitlich-räumliche Kumulation der Pendler zu, so dass ein für die Simulation hinterlegtes Auslastungsszenario der Straßen innerhalb der Großregion abgebildet werden konnte.

3.2. Vorbereitung der Eingabedaten für die Simulation

In Vorbereitung der Simulation und der Abschätzung möglicher Nutzerpotenziale wurde, basierend auf den Umfrage-Ergebnissen, ein Potenzial-Verhältnis in Form eines gewichteten Mittels für jeden Korridor errechnet. Dieses ist zweistufig gegliedert. Die erste Stufe ist das mögliche Potenzial zur Nutzung von Fahrgemeinschaften, basierend auf den Fragen 1; 5.2; 6.1; 6.4, 17; 34 abzüglich 35.2; 36. Untereinander wurden die Antwortitems dieser Fragen miteinander gewichtet, übergeordnet einmal die Fragen miteinander einem Verhältnis gegenübergestellt. Die zweite Stufe umfasst die mögliche Bereitschaft, zukünftig ein Elektroauto für die Fahrgemeinschaft zu nutzen. Hierfür wurden die Antwortitems der Fragen 23 und 26 genutzt, untereinander gewichtet und wiederum die Fragen untereinander noch einmal in Beziehung zueinander gesetzt. Die Ergebnisse flossen in die Potenzial-Abschätzung möglicher Nutzer von Fahrgemeinschaften, im besten Fall diese mittels Elektroautos, ein.

3.3. Simulationsumgebung oder Platzierung von eHubs

3.3.1. Verkehrssimulation

3.3.1.1. Agentenbasierte Simulation

Zum heutigen Zeitpunkt werden Simulationen auf Basis eines Multi-Agenten-Systems (MAS) in einer wachsenden Zahl von Sektoren genutzt, wo sie langsam die verschiedenen Techniken der Mikrosimulation oder der objektorientierten Simulation ersetzen. Dies ergibt sich zu einem Teil aus der Fähigkeit, sehr verschiedene Individualparameter zu erfassen, von sehr simplen bis hin zu eher komplexen Gebilden (als kognitive Agenten). Die Leichtigkeit, mit der verschiedene Repräsentationsgrade durch den Modellierer gehandhabt werden können, ist ebenfalls eine ihrer Qualitäten, verglichen mit zellularen Automaten. Diese offensichtliche Vielseitigkeit macht MAS zum Mittel der Wahl für die Simulation komplexer Systeme. MAS verbreitet sich daher in den verschiedensten Bereichen wie Soziologie, Biologie, Physik, Chemie, Ökologie, Wirtschaft, etc.

Laut Fishwick⁴⁴ kann eine Computersimulation angeglichen werden an eine Kombination der folgenden drei Aktivitäten:

⁴⁴ Fishwick, P.A. (1995): Model Design and Execution: Building Digital Worlds (1st ed.). Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA.

- Modellentwürfe eines realen oder theoretischen Systems,
- Einrichtung und Ausführung dieses Modells auf einem Computer,
- Analyse der Ausführungsergebnisse.

Die Konzeption eines Modelles (Entwurfs) assoziiert eine Wirklichkeit mit einer Darstellung derselben, unter Nutzung von vorwiegend formalisierten Daten. Diese können aus tatsächlichen Beobachtungen stammen (numerische Werte) oder aus theoretischem Wissen über das Thema. Die Datensätze werden in Algorithmen umgewandelt, um ausgeführt zu werden, damit Daten produziert werden können, die kompatibel zu den Beobachtungen sind, wenn wir Resultate aus tatsächlichen/existierenden/bekanntem Ereignissen/Daten oder Verhaltensweisen erhalten werden sollen.

Typischerweise beginnt die agentenbasierte Simulation mit einem Top-Down-Ansatz. Dieser Ansatz besteht einerseits in der Identifikation der Einheiten, die die tatsächlichen Faktoren beinhalten, zu reproduzieren und andererseits in der Identifikation der Beziehung zwischen diesen Einheiten. Jede dieser Einheiten wird daraufhin als Agent modelliert, typischerweise durch das Ausführen einiger simplifizierender Annahmen. Wie alle Ansätze sind auch modellierte „Agenten“ darum lediglich eine Annäherung. In manchen Fällen kann diese Annäherung zu großen Abweichungen zwischen der wahren und der simulierten Welt führen und dadurch Interpretationen, Analysen und Fehlresultate auslösen. Aus diesem Grund ist das tatsächliche Problem hinsichtlich der Identifizierung von kritischen Einheiten die Modellierung und Bestimmung des Detailgrades der Modellierung selbst.

3.3.1.2. Transportsimulation

Traditionelle Verkehrsflussmodelle werden immer komplexer und die Nutzung von mathematischen Formeln ist dann nicht mehr möglich, insbesondere wenn die Zeitabhängigkeit in Betracht gezogen wird (das Modell wird in der Nutzung äußerst komplex). In solchen Situationen finden sich Alternativen in der Simulation, und insbesondere in der Nutzung von aktivitätsbasierten Modellen innerhalb der agentenbasierten Simulationen. Vovsha und Bradley⁴⁵ führen mehrere Gründe für diese Wahl an.

⁴⁵ Bradley, M.; Bowman, J.L.; Griesenbeck, B. (2010): SACSIM: An applied activity-based model system with fine-level spatial and temporal resolution, Journal of Choice Modelling, Volume 3, Issue 1, Pages 5-31.

In der Transportsimulation muss eine Anzahl erweiterbarer Fragen in Betracht gezogen werden: die Fahrzeugbewegung, Verzögerungen an Fußgängerquerungen, Zeitabhängigkeiten, die Fahrtroute, die der Agent nutzen wird, etc. In der Gedankenwelt planen Agenten ihren Tag. Sie müssen Entscheidungen treffen, z.B. wann sie das Haus verlassen und zur Arbeit fahren, ob sie den Wagen oder das Rad nehmen, welche Route sie nehmen, wo sie zu Mittag essen, ob sie auf dem Heimweg Einkäufe machen sollten usw. Balmer⁴⁶ klassifiziert die Entscheidungen, die ein Agent treffen muss, wie folgt:

- Modus: “Sollte ich zu Fuß gehen oder den Bus nehmen?”
- Route: “Welche Route sollte ich nehmen, um zur Arbeit zu kommen?”
- Ort: “Sollte ich vor Ort einkaufen, oder im Supermarkt außerhalb?”
- Aktivitätsart: “Sollte ich Freunde besuchen?”
- Aktivitätsreihenfolge: “Soll ich vor oder nach der Arbeit schwimmen gehen?”
- Aktivitätsbeginn: “Wann soll ich heute Sport treiben?”
- Aktivitätsdauer: “Soll ich auf dem Heimweg noch ein Bier trinken gehen?”
- Gruppenzusammenstellung: “Wen sollte ich mitnehmen?”

3.3.1.3. MATSim

MATSim ist eine multi-agenten-basierte Open-Source-Software, die ursprünglich im Rahmen des TRANSIMS-Projektes⁴⁷ entwickelt wurde. MATSim bietet einen Rahmen zur anforderungsmodellierten, agenten-basierten Mobilitätssimulation (Verkehrsflusssimulation), zur (Nach-)Planung, sowie einen Controller, um iterativ Simulationen durchzuführen oder auch Methoden zur Analyse der von den Modulen ausgegebenen Daten. Die Software repräsentiert alle Einheiten aus der physikalischen Welt (Fahrzeug, Person, etc.) durch individuelle Agenten. Der Ansatz lässt sich vorrangig durch die folgenden drei Konzepte beschreiben:

- Der Aktivitätstag eines Agenten wird durch einen sogenannten Plan beschrieben. Der Agent versucht, iterativ seinen Plan zu optimieren, indem er Absichten verändert (Abfahrtszeiten, Wegstrecken, etc.)
- Die Mobilitätssimulation (auch Verkehrsflusssimulation genannt), welche in der zeitgleichen Ausführung des Agentenplans und der Auslotung der durch die Physik der Realität gesetzten Grenzen besteht (Geschwindigkeits-

⁴⁶ Balmer, M. (2007): Travel demand modeling for multi-agent transport simulations: Algorithms and systems (Doctoral dissertation, ETH Zurich).

⁴⁷ Smith, L., et al. (1995): TRANSIMS: Transportation Analysis and Simulation System. United States. doi:10.2172/88648. <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/88648>.

begrenzungen, Flusskapazität von Straßenwegen, Position anderer Straßen, Straßenrichtungen, Fahrzeugkapazität, usw.)

- Ein Lernkonzept, welches Verbesserungen der Auswahl des Agenten ausführt. Das System iteriert zwischen der Generierung von Plänen und Mobilitätssimulationen. Ein Summenwerter wird zur Bewertung der Planleistung genutzt. Agenten wählen typischerweise den Plan mit der höchsten Wertung aus, aber dennoch werden verschiedene Heuristiken genutzt, um eine gewisse Diversifikation zu fördern (Auswahl eines Plans mit schlechter Wertung, lokale Suche durch Kopie eines bestehenden Plans, usw.).

3.3.1.3.1. Die MATSim Eingabedaten

MATSim benötigt einige Anfangsdaten zur Erzeugung einer Simulation; typischerweise das Transportnetzwerk und die „Ausgangsfrage“. Die Ausgangsanfrage stellt den Rahmen für den Tagesplan der Hauptperson.

Plan: Jede Person wird durch einen Plan repräsentiert, welcher Ihre Tagesaktivitäten und „Etappen“ (Teilstrecken) beinhaltet. Eine Aktivität wird dargestellt durch Art (zu Hause, Arbeit, Laden, usw.), geographische Koordinaten, und durch eine Endzeit, die angibt, zu welcher Zeit der Agent eine Aktivität beenden sollte (und den Ort verlässt, um der nächsten Aktivität nachzugehen). Die Etappe zwischen zwei Aktivitäten begründet die Art und Weise, mit welcher der Agent von einer Aktivität zur nächsten wechselt.

Transportnetzwerk: Das Transportnetzwerk besteht aus einem Infrastruktursatz, der die Verbindungen zwischen den geographischen Elementen (Routen, Bahnhöfe, Städte und anderes) beschreibt. Die Information ist normalerweise abhängig von einer konkreten Bewegungsart (Gehen, per Fahrzeug, ÖPNV, etc.). In MATSim werden Netzwerke durch XML-Dateien repräsentiert, welche Verknüpfungen und Knotenpunkte enthalten. Ein Knotenpunkt stellt einen ganz bestimmten geographischen Punkt dar durch die Spezifikation dessen kartesischer Koordinaten (WGS84, ED50, NAVD88). Eine Verknüpfung stellt die mögliche Verbindung zwischen zwei Knotenpunkten dar. Weitere wichtige Verknüpfungsattribute sind Länge, Kapazität (Fahrzeuge pro Stunde), Freiflussgeschwindigkeit in Metern/Sekunde und die Anzahl der Fahrspuren. Kürzlich wurde ein weiteres Attribut

hinzugefügt, welches angibt, mit welchen Transportarten Verknüpfungen bereist werden können (Modes).

Einrichtungen: Einrichtungen sind optionale Eingabeelemente, die jede Art von realem oder künstlichem Ort darstellen, an welchem Agenten eine Aktivität ausüben können. Es ist hier möglich, Konfigurationsoptionen hinzuzufügen, die Öffnungszeiten aller Einrichtungen für alle dort möglichen Aktivitäten angeben.

3.3.1.3.2. Die MATSim-Ausgabe

Die Hauptausgabe an Daten von MATSim ist ein Satz von Ereignissen. Ein Ereignis ist eine kurze Zeitinformation, die die Veränderung einer Agentensituation beschreibt. Informationen, die direkt aus einem Ereignis verfügbar sind, sind insbesondere der Agent selbst, die Zeit, die Art der Aktion, und – sofern verfügbar – der Ort, an dem die Aktion stattfindet. Das MATSim-Simulationsmodul erstellt eine Ereignisdatei für jede „n“-Iteration (wobei „n“ konfigurierbar ist, als Standard gilt der Wert 10), welche alle Informationen enthält, die in der Nachverarbeitung der Simulationsergebnisse genutzt werden könnten.

MATSim bietet noch eine andere Art, Simulationsergebnisse zu betrachten, insbesondere die integrierte Analyse, die automatisch durchgeführt wird, wenn der Controller gestartet wird. Die hauptsächlich verfügbaren Analysemöglichkeiten sind:

- Der Verknüpfungs-Reisezeit-Rechner: je nach Verkehrssituation einer Verknüpfung wird die Reisezeit über den ganzen Tag berechnet.
- Mengenanalyse: dies ist eine Art Zähler, der das Verkehrsaufkommen per Knotenpunkt und Stunde bemisst.
- Wertestatistik: Statistiken werden auf Basis der Werte jedes Agenten generiert, insbesondere der beste, der schlechteste und der ausgeführte Plan. Dies kann dazu beitragen, den Fortschritt bei Optimierungen zu erkennen.
- Stoppuhr: Hilft beim Erhalten von Informationen zur Dauer von Simulationsberechnungsschritten (Neuplanung, Schreiben von Dateien, den Verkehrsfluss durchlaufen etc.)

3.3.2. Abschätzung des Energiebedarfs

Wie bereits in der Einleitung erläutert, haben Elektrofahrzeuge, verglichen mit Fahrzeugen, die mit Verbrennungsmotoren angetrieben werden, üblicherweise eine geringere Reichweite und benötigen mehr Zeit zum Wiederherstellen ihrer Reichweite. Beim Einsatz von Elektrofahrzeugen für Car-Sharing-Zwecke, wie im Projekt geplant, ist es daher unter Umständen nicht ausreichend, die

Fahrzeugakkumulatoren nur zu Hause oder am Arbeitsplatz aufzuladen. Die Elektrofahrzeuge müssen zusätzlich auch an eHubs aufgeladen werden, so dass eHubs mit einer Ladeinfrastruktur, z.B. Ladestationen und einer Verbindung zum Stromnetz, ausgestattet sein müssen. Anhand einer Abschätzung des Energiebedarfs soll somit festgestellt werden, an welchen eHubs Elektrofahrzeuge aufgeladen werden müssen. Zudem soll eine grobe Orientierung bezüglich der Auslegung der eHubs vermittelt werden.

Wie in der Einführung erläutert, werden die Ergebnisse der Verkehrssimulation für die Schätzung des Energiebedarfs jedes eHubs verwendet. Die mittels Verkehrssimulation generierten Daten repräsentieren jede einzelne Fahrt, die ein Elektrofahrzeug zwischen einzelnen eHubs oder zwischen eHubs und den jeweiligen Arbeitsstellen unternimmt. Für jede Fahrt werden die EF-ID, d.h. die Kennung (ID) des verwendeten Elektrofahrzeugs, die zurückgelegte Fahrtstrecke, der Ausgangsort, der Zielort sowie die Abfahrts- und Ankunftszeit angegeben. In einem ersten Schritt müssen diese Daten vorverarbeitet werden. Mit den Informationen zu Ausgangs- und Zielorten lassen sich die Fahrzeuge bestimmten eHubs zuordnen. Die Ankunfts- und Abfahrtszeiten an einem eHub können direkt von den Ankunfts- und Abfahrtszeiten der Fahrten übernommen werden. Anhand der IDs der Elektrofahrzeuge (EFs) können technische Parameter, z.B. die Akkukapazität oder der Durchschnittsverbrauch jedes EF, zugewiesen werden. In Verbindung mit dem Energieniveau zum Zeitpunkt der Abfahrt und der zurückgelegten Fahrtstrecke kann das Energieniveau eines Akkus zur Ankunftszeit am eHub berechnet werden. Die Bestimmung des Energieniveaus eines Akkus zum Zeitpunkt der Abfahrt vom ersten eHub ist schwieriger, da dies nicht nur von technischen Aspekten, sondern auch von den Anforderungen der Nutzer abhängt. Die Nutzer könnten darauf bestehen, dass ein voll aufgeladenes Elektrofahrzeug zu Beginn ihrer Fahrt bereitstehen muss. Im Rahmen der Erarbeitung des Fragebogens hat die Arbeitsgruppe beschlossen, dass es aufgrund der derzeit noch geringen Verbreitung von Elektrofahrzeugen nicht sinnvoll ist, eine Frage zum gewünschten Energieniveau des Akkus zum Abfahrtszeitpunkt eines EF in Aktion 1 mit aufzunehmen. Daher sind keine diesbezüglichen Informationen verfügbar. Stattdessen wurden zwei Szenarien diskutiert. Im ersten Szenario (in der Folge als Ladeszenario 1 (LS1) bezeichnet) werden die Fahrzeuge an jedem eHub nur so weit aufgeladen, dass sie den nächsten Zielpunkt erreichen können. Diese Informationen können direkt von der Länge der nächsten Fahrtstrecke

und dem durchschnittlichen Leistungsbedarf eines Elektrofahrzeugs abgeleitet werden. Im zweiten Szenario (im Folgenden als Ladeszenario 2 (LS2) bezeichnet) werden die Elektrofahrzeuge stets so weit aufgeladen, wie dies während der Dauer ihrer Standzeit am eHub möglich ist. Der Ladezustand hängt von der Verweildauer des Elektrofahrzeugs am eHub, der maximalen Kapazität (des Akkus) und der verwendeten Ladetechnik (z.B. Typ-1-Stecker, Typ-2-Stecker usw.) ab. Darüber hinaus wird zu Beginn jedes Tages von einem vollen Ladezustand der Akkus ausgegangen, da die Fahrzeuge am Vortag aufgeladen wurden. Aus diesem Grund müssen die Akkus der Fahrzeuge auch am Ende jedes Tages aufgeladen werden⁴⁸.

Für alle Fahrzeuge in der Simulation wird angenommen, dass an jedem eHub eine ausreichende Anzahl von Parkplätzen und Ladestationen zur Verfügung steht, da mittels der Simulation festgestellt werden soll, wie hoch der Bedarf ist, wenn alle Nutzeranforderungen erfüllt werden sollen. So könnte man beispielsweise aus der Zahl der Elektrofahrzeuge, die an einem eHub geladen werden, auf die erforderliche Anzahl der Ladestationen schließen.

Zur Vereinfachung wird für alle Elektrofahrzeuge angenommen, dass nur ein einziger Fahrzeugtyp eingesetzt wird, obwohl das Simulationstool auch mit verschiedenen Typen von Elektrofahrzeugen gleichzeitig arbeiten kann. Die Kapazität, die Ladeleistung (22 kW, Typ-2-Stecker) und der Ladewirkungsgrad werden aus den technischen Daten des Herstellers eines typischen Kleinwagens übernommen.

Der Energieverbrauch an jedem eHub ist für die Ladeszenarios LS1 und LS2 in Abbildung 49 dargestellt. Offensichtlich ist unter den Bedingungen des Szenarios LS1 der Energiebedarf in den eHubs in Luxemburg sehr gering, während in Frankreich und Deutschland der Energiebedarf bei Annahme von LS1 hoch ist. Hierbei wird unterstellt, dass die Elektrofahrzeuge über Nacht geladen werden und die dabei gespeicherte Energie für die meisten Fahrzeuge ausreicht, um die tagsüber gefahrenen Strecken zurückzulegen. Bei Ankunft der Fahrzeuge an den eHubs in Deutschland und Frankreich werden ihre Akkus am Abend für den nächsten Tag voll aufgeladen. Der Energiebedarf an eHubs, die sich in der Nähe der Arbeitsorte

⁴⁸ Ausführliche Informationen zur Datenextraktion in: Kumar, K. (o.D.): Development and Analysis of an Integrated Parking and Energy Management for Parking areas with Electric Vehicles, Masterarbeit, FB Elektro-und Informationstechnik, TU Kaiserslautern

befinden (d.h. in Luxemburg) ist somit deutlich geringer als bei eHubs, die sich in der Nähe der jeweiligen Wohnorte befinden (d.h. in Deutschland und Frankreich).

Im Szenario LS2 ist der Energiebedarf in Luxemburg höher als unter den Bedingungen von LS1, da viele Elektrofahrzeuge tagsüber lange ungenutzt an den eHubs verbleiben und während dieser Stillstandszeiten geladen werden können. Zudem ist der Energiebedarf an den eHubs in Deutschland und Frankreich in diesem Szenario geringer, da die Akkus der Elektrofahrzeuge zu Beginn ihrer Rückfahrt ein höheres Energieniveau als in LS1 aufweisen.

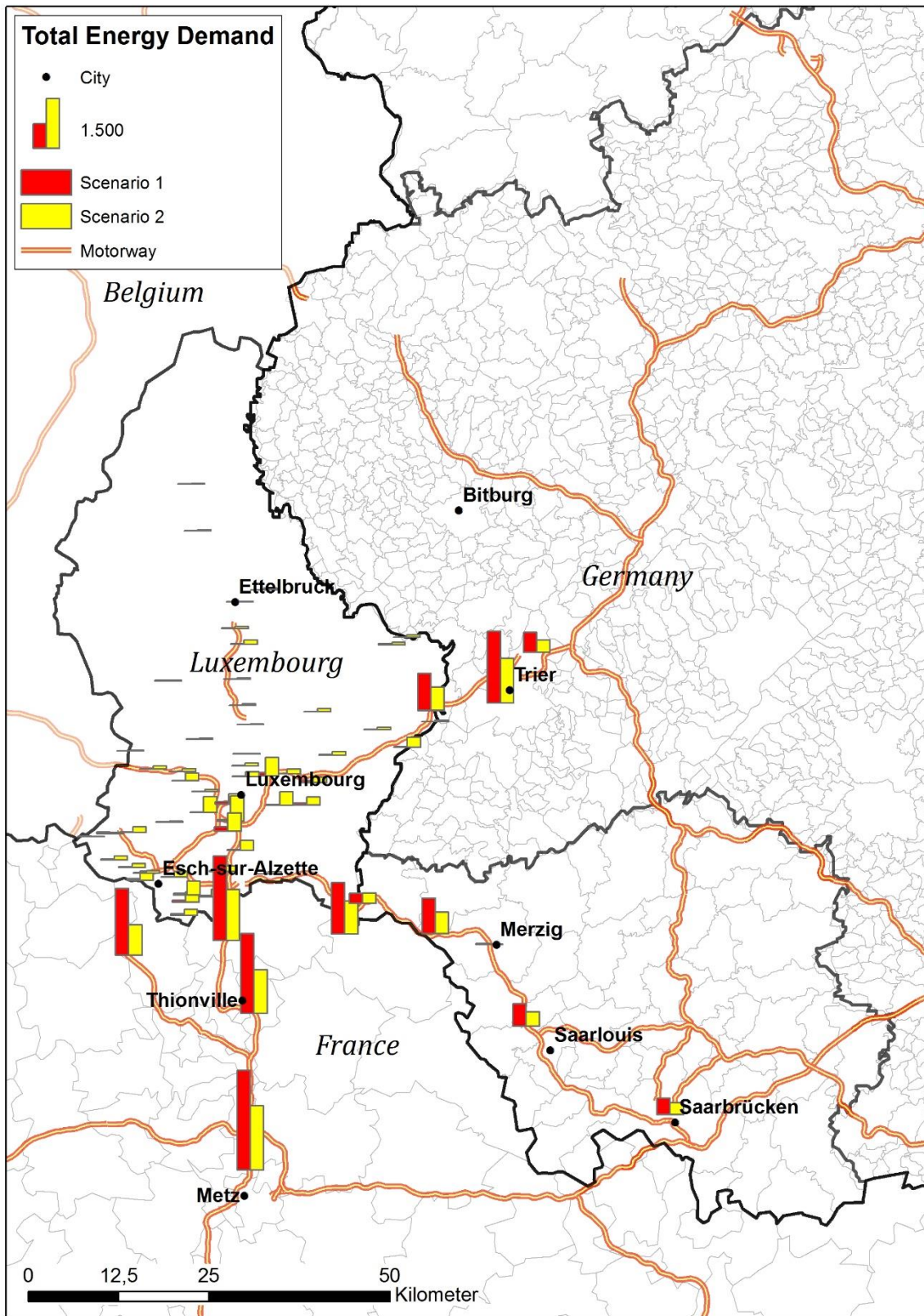


Abbildung 49: Beispielhafte Abschätzung des Energiebedarfs an den eHubs (basierend auf Verkehrssimulationsdaten)

3.4. Konzept für das eHub-Management

3.4.1. Motivation

In den meisten Elektrofahrzeugen wird die für den Antrieb benötigte Energie in den Akkus der Fahrzeuge gespeichert. Diese Energie wird in den meisten Fällen aus dem Stromnetz bezogen. Aus der Perspektive des elektrischen Energieversorgungssystems stellen Elektrofahrzeuge somit eine zusätzliche Last dar. Da Elektrofahrzeuge jedoch mobil sind, ist ihr Energiebedarf schwer zu prognostizieren, denn Elektrofahrzeuge können an verschiedenen Standorten ans Netz angeschlossen werden. Überdies ist der Energiebedarf von Elektrofahrzeugen aufgrund unvorhersehbarer Umstände wie Umleitungen, Verkehrsstaus oder Straßensperrungen schwierig zu bestimmen. Es besteht daher eine direkte untrennbare Verbindung zwischen der Verkehrslage und dem Netzbetrieb.

Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt besteht darin, dass in den im Rahmen dieses Projekts untersuchten Berufspendler-Szenarios, bei denen eHubs als Umsteigeplattform zum Wechsel des Transportmittels dienen, zahlreiche Fahrzeuge morgens zur gleichen Zeit am eHub eintreffen können. Der Ladevorgang dieser Fahrzeuge beginnt somit auch gleichzeitig. Dies kann zu hohen Leistungsanforderungen seitens der Elektrofahrzeuge führen, die von den Kraftwerken erfüllt werden müssen und aus verschiedenen Gründen unerwünscht sind. Ein großer Nachteil besteht darin, dass Kraftwerke bei hohen Ladeleistungen unter Umständen in einen transienten Betriebsmodus wechseln müssen, der ineffizient ist und hohe Kosten verursachen kann. Üblicherweise wird ein gleichmäßiger Betrieb angestrebt. Überdies könnten einige größere Investitionen in das Netz erforderlich sein, da das Stromnetz für derart hohe Lasten noch nicht ausgelegt ist.⁴⁹ Darüber hinaus kann der hohe Strombedarf von Elektrofahrzeugen starke Auswirkungen auf die Netzqualität haben, so dass z.B. Spannungsschwankungen, Oberschwingungen und andere nachteilige Effekte auftreten können.

Elektrische Mobilität bietet jedoch auch die Möglichkeit, durch Nutzung erneuerbarer Energien eine klimafreundliche Mobilität zu schaffen. Die Kombination erneuerbarer Energiequellen mit elektrischer Mobilität ist in mehrfacher Hinsicht vorteilhaft. Die Einspeiseleistung aus erneuerbaren Energiequellen ist üblicherweise äußerst unbeständig und eine genaue Vorhersage ist schwierig. Elektrofahrzeuge können

⁴⁹ Clement-Nyns, K.; Haesen, E.; Driesen, J. (2010): The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid, IEEE Transactions on Power Systems, Band 25, Nr. 1, S. 371–380.

jedoch überschüssig erzeugte Energie in ihren Akkus speichern, da sie über Konverter, mit denen sich die Leistungsaufnahme anpassen lässt, an das Stromnetz angeschlossen werden. Der Selbstverbrauch eines eHub kann somit erhöht werden; Übertragungsverluste im Netz können vermieden werden. Überdies stammt der für die Elektrofahrzeuge erzeugte Betriebsstrom aus erneuerbaren Energiequellen, die kein Kohlendioxid freisetzen, so dass Elektrofahrzeuge eine bessere Ökobilanz als andere Fahrzeugtypen aufweisen. Im Rahmen dieses Projekts sollte unter anderem bestimmt werden, wie erneuerbare Energiequellen in das eHub-Konzept integriert werden können.

Ein anderer zu berücksichtigender Aspekt ist, dass Elektrofahrzeuge aufgrund ihrer begrenzten Reichweite nicht nur am Wohnort, sondern auch auf öffentlichen Parkplätzen aufgeladen werden müssen, d.h. dass Parkflächen mit einer komplexen und kostspieligen elektrischen Infrastruktur ausgerüstet werden müssen. Üblicherweise werden die Elektrofahrzeuge an eine Ladestation angeschlossen, sobald sie an ihrem Zielort eintreffen und für längere Zeit ungenutzt bleiben, woraus gefolgert werden kann, dass die Ladeinfrastruktur ebenfalls für lange Zeit ungenutzt bleibt⁵⁰.

Zur Lösung der Herausforderungen der Elektromobilität, die sich im vorgenannten eHub-Konzept von ELEC'TRA ergeben, wird der Einsatz eines Steuerungs- bzw. Managementsystems vorgeschlagen. Die Struktur des eHub-Managementkonzepts sollte folgende Elemente beinhalten:

- eNergy-Management,
- eParking-Management und
- eFleet-Management.

Mit Hilfe eines eNergy-Managementsystems können hohe Ladeleistungen an den eHubs vermieden und die Kosten für Infrastruktur sowie Betrieb des Stromnetzes verringert werden. Hierfür ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Elektrofahrzeuge systematisch aufgeladen werden, d.h. die Ladevorgänge müssen über einen gewissen Zeitraum verteilt werden, so dass nicht alle Fahrzeuge sofort und gleichzeitig geladen werden. Die Energieanforderungen der Fahrzeuge können somit

⁵⁰ VDE (2010): Elektrofahrzeuge: Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf, Studie, <http://www.vde.com/de/InfoCenter/Seiten/Details.aspx?eslShopItemID=21f73d14-ad26-4188-a62e-0793af440806>.

erfüllt werden, obwohl der Leistungsbedarf gering gehalten wird. Die in der Regel langen Stillstandszeiten von Elektrofahrzeugen an eHubs können sinnvoll genutzt werden, während sich zugleich durch ein selektives Laden der Fahrzeuge Überlastungen des Stromnetzes vermeiden lassen. Auf diese Weise wird auch eine effektive Einbeziehung der unbeständigen erneuerbaren Energiequellen ermöglicht.

Zur Steigerung des Auslastungsgrades der Ladeinfrastruktur könnte eine Erweiterung des eNergy-Managementsystems mit einer Parkflächensteuerungsfunktion (eParking Management) sinnvoll sein, die dafür sorgt, dass Elektrofahrzeuge je nach Ladezustand bei Ankunft und entsprechend den technischen Anforderungen auf die jeweiligen Parkplätze verteilt werden. Da die Verteilung der Elektrofahrzeuge auf die Parkplätze mit den Energie- und Leistungsanforderungen dieser Fahrzeuge in Verbindung steht, müssen das eNergy- und eParking-Managementsystem ebenfalls miteinander verbunden werden. Aus dieser Verbindung ergeben sich mehr Freiheitsgrade beim Betrieb dieser Managementsysteme.

Die Ziele des eFleet-Managements sind in Kapitel 3.4.3 ausführlicher beschrieben.

3.4.2. Methodik

Das im vorherigen Abschnitt vorgestellte gesamte Steuerungs- bzw. Managementsystem ist in folgende Module unterteilt:

- lokales Management, bestehend aus eNergy- und eParking-Management,
- globales Management, bestehend aus eFleet-Management.

eNergy- und eParking-Management agieren auf lokaler Ebene, d.h. in jedem einzelnen eHub gibt es ein lokales Managementsystem, das für Park- und Energieaspekte an diesem eHub zuständig ist. Die Hauptziele bestehen in der Steuerung des Ladevorgangs der Elektrofahrzeuge und ihrer kontrollierten Verteilung auf Parkplätze entsprechend den technischen Anforderungen.

eFleet-Management ist auf globaler Ebene tätig und analysiert die Verkehrsflüsse zwischen den eHubs. Das Hauptziel besteht in der Entwicklung eines Services für den kombinierten, d.h. intermodalen Verkehr.

Ein sehr wichtiger Aspekt ist natürlich die Integration des lokalen und globalen Managements. Es besteht eine Notwendigkeit für diese Verbindung, da sich die

Managementsysteme gegenseitig beeinflussen. Im Rahmen des Projekts wurden das lokale und das globale Managementsystem unabhängig voneinander entwickelt; das lokale Managementsystem (von LRS) und das globale eFleet-Managementsystem (von LIST) verwenden unterschiedliche Simulationstools. Dennoch wurde gleich zu Beginn der Tätigkeit der Arbeitsgruppe ein plattformübergreifendes Datenaustauschprotokoll entwickelt. Eine entsprechende Übersicht der auszutauschenden Daten finden Sie in Kapitel 3.4.4. Zur Onlinesteuerung des integrierten Managementsystems besteht eine Abhängigkeit zwischen den Managementsystemen, d.h. die Ergebnisse des eFleet-Managementsystems wirken sich direkt auf die Ergebnisse des eEnergy- und eParking-Managements aus. Aufgrund der begrenzten Zeit des Projekts konnte dies jedoch nicht realisiert werden. In der im Anschluss durchgeführten Untersuchung wurde festgelegt, dass das lokale Managementsystem Daten vom globalen Managementsystem empfängt, jedoch nicht umgekehrt. Eine detaillierte Untersuchung könnte Teil eines Folgeprojekts sein.

Ein weiteres wichtiges Ziel bei der Entwicklung des Managementsystems ist die Interoperabilität und Modularität des Konzepts, d.h. das Konzept sollte modular, skalierbar und unabhängig von Standort und Größe eines eHubs anwendbar sein. Das Managementkonzept muss für den Einsatz in jedem eHub und in einer beliebigen Kombination von eHubs leicht anpassbar sein. Folglich ist es möglich, verschiedene Szenarios zu untersuchen und die Auswirkungen der eHubs auf die Verkehrssimulation zu analysieren. Dies kann ebenfalls für die Lokalisierung der eHubs in Aktion 2 verwendet werden. Die Interoperabilität und Modularität des Konzepts ermöglichen sogar die Übertragung der Konzepte auf andere Regionen, die nicht zu der Großregion gehören, die Gegenstand dieses Projekts ist. Ein vollständiger Überblick über das Konzept für das eHub-Management ist in Abbildung 50 schematisch dargestellt. Erwähnenswert ist, dass Interoperabilität und Modularität durch die Unterteilung der Managementsysteme in lokale und globale Managementmodule sowie die Einführung des Datenaustauschs erreicht werden.

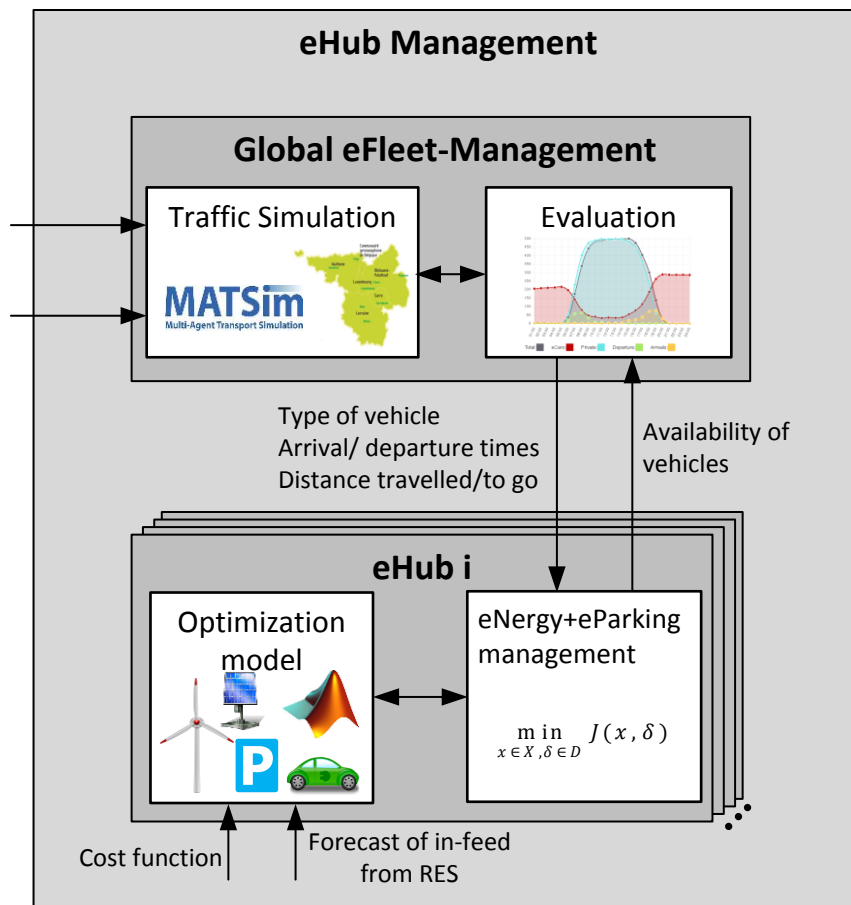


Abbildung 50: Struktur des eHub-Managementsystems

3.4.3. eFleet-Management

Um besonders effektiv zu sein sollte die Verwaltung einer Flotte von Elektrofahrzeugen die verschiedenen Faktoren hinsichtlich der Fahrzeuge selbst (Batterie, Ladezeit, etc.), ihrer Konstruktion (vorhandene Energie, Elektrik, etc.) und der Dienstleistung selbst (Fahrzeugverfügbarkeit, Betriebskosten der Fahrzeuge, Infrastruktur, etc.) in Betracht ziehen.

Um die Fahrzeugverfügbarkeit zu gewährleisten, hat der Flottenmanager folgende Aufgaben:

- Verwaltung der Nutzerprioritäten
- Verwaltung der Auslastungsquote der Ladeinfrastruktur
- Optimierung der Energiekosten.

Um dies zu gewährleisten, muss der Flottenmanager eine Anzahl an Parametern nutzen, wie zum Beispiel:

- Ladeinfrastruktur (Maximalleistung, jeweiliger Vertrag mit dem Stromversorger, etc.)
- Fahrzeuge (Fahrzeugtyp und -klasse, Registrierung, Wartungsdaten, Lebensdauer des Akkus etc.)
- Ladestationen (Anzahl der Stationen, ausgegebene Maximalleistung, laufende Ladungen, nicht angeschlossene Fahrzeuge, etc.)
- Benutzer (Profil, Benutzernamen, etc.)
- Buchungssystem (Datum und Uhrzeit der Ab- und Anfahrt von Fahrzeugen, getätigte Entfernung etc.)

In den meisten Fällen liegt die Zahl der täglichen Etappen von Firmenangestellten bei unter 100, diese unterliegen aber sehr spezifischen Benutzungsaufgaben:

- Fahrzeuge können zu spezifischen Zeiten genutzt werden (Strecke Wohnsitz-Arbeitsort, Lieferungen, etc.) oder auch zufällig sein (Dienst auf Abruf, Notfälle, etc.)
- Die mit dem Fahrzeug gefahrene Distanz kann sehr kurz sein (geplante Eingriffe, Pannenhilfe) oder sehr lang (Fahrzeuge, die von Ein- und Verkaufspersonal genutzt werden)
- Abfahrten von Ein- oder Verkaufspersonal können entweder im Voraus oder mit sehr kurzer Vorbenachrichtigung stattfinden.

3.4.3.1. eFleet-Verwaltung-Framework (eFVF)

In diesem Abschnitt konzentrieren wir uns auf das eFleet-Verwaltungs-Framework (eFVF), ein Werkzeug, welches entwickelt wurde um Aufgaben der eFleet-Verwaltung abzuwickeln. Zusätzlich ist eine der Hauptaufgaben dieses Framework, die Auswirkungen des Gebrauchs von eHub-Konzepten aufzuzeigen. Wie in Abb. 51 dargestellt, besteht das eFVF aus drei Komponenten: dem Szenariogestalter (Kap. 3.4.3.1.1.), dem Verkehrssimulator (Kap. 3.4.3.1.2.) und der Datenanalyse (Kap. 3.4.3.1.3.). In den nächsten Kapiteln wird die Rolle jeder Komponente im Detail erörtert.

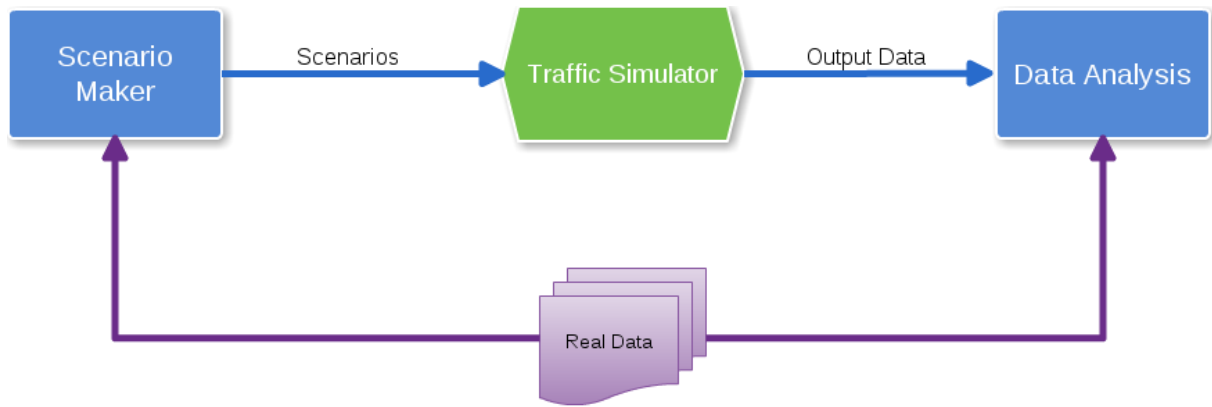


Abbildung 51. eFleet –Verwaltung-Frameworkdiagramm

3.4.3.1.1. Szenariogestalter

In diesem Kapitel stellen wir das Werkzeug vor, welches entwickelt wurde um uns beim Erstellen von Szenarien behilflich zu sein, welche als Eingabedaten für den Verkehrssimulator dienen werden. Bevor wir jedoch weitere Details zu diesem Werkzeug erklären, definieren wir zuallererst das Electra-Szenario.

A. Electra-Szenario

In Electra wird ein Szenario definiert als eine Reihe von eHub-Aufstellungen (durch GPS-Koordinaten) und eine Reihe Parameter, welche zu einer Simulation gehören. Im Folgenden finden sich die wichtigsten Parameter:

- Ein Prozentsatz von maximal möglichen Nutzern jedes Korridors (siehe hierzu Kapitel 3.4.3.2.)
- Beginn/Ende der Simulationszeit: die Standardzeit für den Beginn der Simulation ist 5:00 Uhr, das Ende 20:00 Uhr.
- Maximale Fußgängerdistanz: diese gleicht die maximale Entfernung aus, die eine Person innerhalb der Etappe zu Fuß gehen könnte. Die Standardeinstellung sind 500 m.
- Maximale Distanz zwischen Wohnsitz und eHub: dies gibt die maximale Distanz an, die eine Person gehen/fahren könnte, um von ihrem Wohnort ein eHub zu erreichen. Die Standardeinstellung sind 15 km.
- Maximale Distanz zwischen eHub und Arbeitsort: dies gibt die maximale Distanz an, die eine Person gehen könnte (oder ÖPNV nutzen könnte), um den Arbeitsort von einem eHub aus zu erreichen. Die Standardeinstellung sind 5 km.
- Maximale Abweichung: die maximale Abweichungen von einer typischen Route, die eine Person akzeptieren würde. Die Standardeinstellung sind 20%.

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. 52 beschreibt die im Projekt untersuchten Fälle:

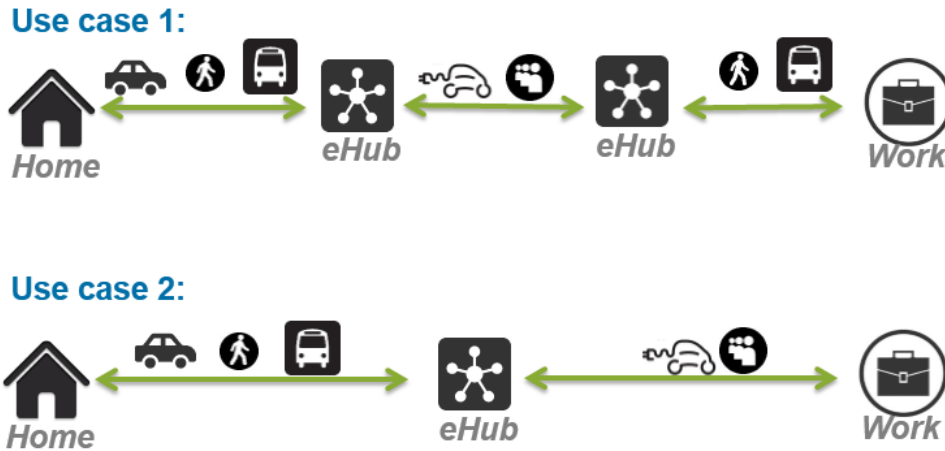


Abbildung 52: Fallstudien von Szenarien

B. Konfiguration eines Szenarios

Ein wichtiges Ziel von Electra ist die Definition der optimalen Platzierung der eHubs als auch deren Konfiguration (Größe, Energieverbrauch, etc.). Um dies durchzuführen haben wir ein Entscheidungsunterstützungssystem entwickelt (DSS5); ein Kooperationswerkzeug, welches die Ausgabedaten der Simulation zur iterativen Optimierung der eHub-Platzierung nutzt.

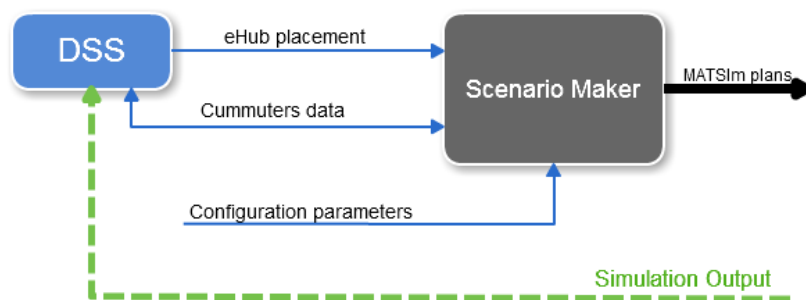


Abbildung 53: Optimieren der eHub-Platzierung durch DSS

Wie in Abb. 54 dargestellt, nutzt das DSS (welches über ein GUI verfügt) sowohl die Pendlerdaten als auch die Ausgabedaten der Simulation, um eHub-Platzierungen auszuwählen oder auf den neuesten Stand zu bringen. Diese Iteration wird wiederholt, bis die optimale eHub-Platzierung erreicht ist. Die Szenariogestalter-

Komponente ist ein Satz anspruchsvoller Algorithmen, die zur Erstellung der MATSim-Plandateien genutzt wird (siehe Kap. 3.4.3.2.). Die Herausforderung besteht darin, Nutzergruppen durch die Optimierung der genutzten Elektrofahrzeuge zum Carsharing und zu Fahrgemeinschaften zu erstellen.

Wir haben die folgenden Einschränkungen bei der Erstellung der Nutzergruppen erwogen:

- Maximierung der Anzahl zufriedener Nutzer ohne die Anzahl der maximal möglichen Nutzer zu überschreiten
- Minimierung der benötigten Elektrofahrzeuge
- „Rückkehrgarantie“: eine Person, die Electra nutzt, sollte zum gleichen Ausgangshub zurückkehren können.
- Eine Person muss pünktlich am Arbeitsort sein, kann aber das Haus nicht früher als erwartet verlassen (früheste Abreisezeit im Fragebogen)
- Eine Person nutzt sowohl das sich am nächsten zum Wohnort befindliche eHub als auch das nächste zum Arbeitsplatz, um die maximalen Distanzparameter einzuhalten (siehe vorherigen Abschnitt)

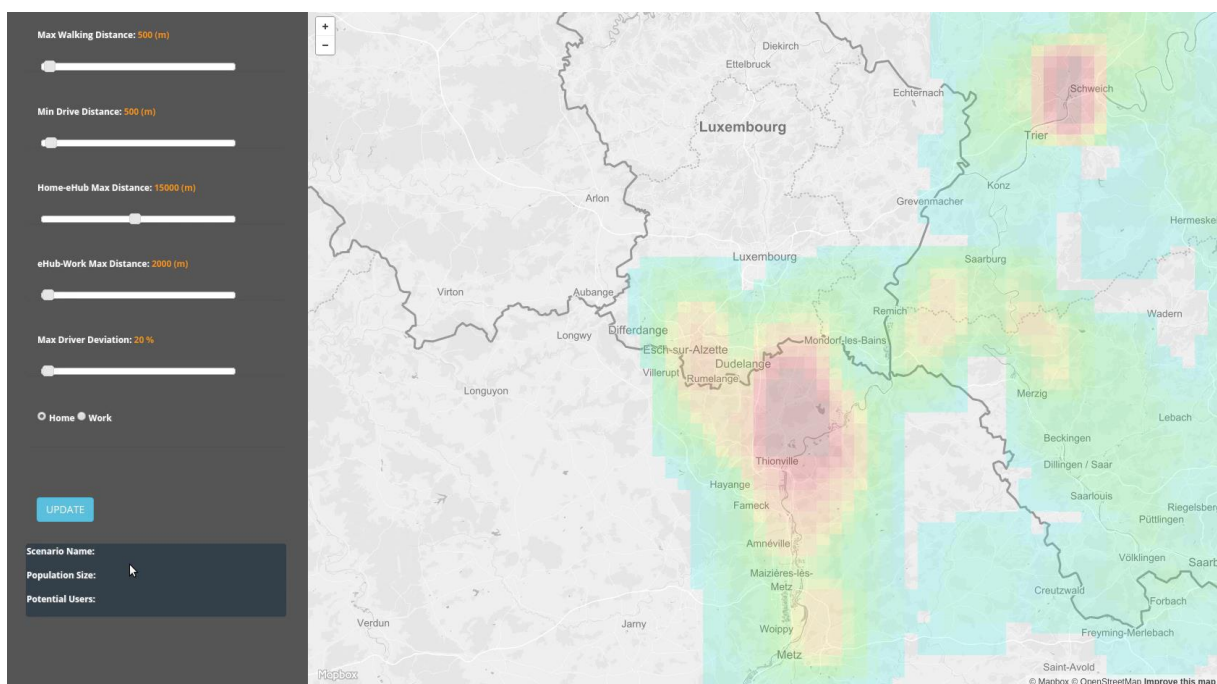


Abbildung 54. Szenariogestalter-Werkzeug (Das GUI aus der DSS)

3.4.3.1.2. Verkehrssimulator

Das Ziel der “Verkehrssimulator”-Komponente ist die Simulation eines Szenarios, welches im vorherigen Schritt erstellt wurde (siehe Kapitel Szenariogestalter

Um dies durchzuführen, wurde der MATSim-Multiagenten-Verkehrssimulator genutzt, welcher adaptiert wurde, um Fahrgemeinschafts- und Car-Sharing-Modi zu unterstützen. Weiterhin muss das simulierte Modell in der Lage sein, ein reales

Netzwerk und Bevölkerungsstrukturen einzuschließen, um ein Szenario innerhalb tatsächlicher Bedingungen simulieren zu können.

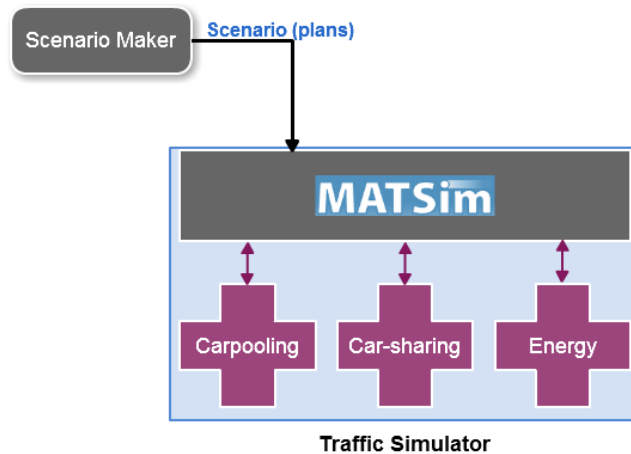


Abbildung 55: Komponentendiagramm des Verkehrssimulators

Wie aus Abb. 55 ersichtlich, sind neue Module zu MATSim hinzugefügt worden, um neue Gegebenheiten zu unterstützen:

- Das Fahrgemeinschaftsmodul: dieses Modul erlaubt MATSim die Berechnung Fahrgemeinschaftswagens mit mehreren Passagieren, als auch die Absicherung der ersten und letzten Meile.
- Das Carsharing-Modul: dieses Modul hilft MATSim bei der Bereitstellung von Fahrzeugen an einigen Treffpunkten (eHubs), damit sie von Pendlern gemeinsam genutzt werden können.
- Energiemodul: da wir uns mit Elektrofahrzeugen beschäftigen hilft dieses Modul MATSim bei der Berücksichtigung von Einschränkungen hinsichtlich Energie (Autonomie, Ladestationen, Ladezeiten etc.)

A. Fahrgemeinschafts-Modul

Dieses Kapitel stellt das neue Fahrgemeinschafts-Modul vor, welches MATSim hinzugefügt wurde, um Fahrgemeinschaften zu unterstützen. Wir beginnen mit der Vorstellung eines neuen Konzeptes, der Fahrgemeinschafts-Etappe.

Eine Fahrgemeinschafts-Etappe ist eine Reise, die von einem Agenten zwischen zwei Orten ausgeführt wird (Start- und Zielpunkt der Person werden durch den Agenten repräsentiert – Wohn- und Arbeitsort), an welchen er andere Fahrgäste einsammelt oder absetzt. Ein oder mehrere Passagiere (begrenzt durch die Fahrzeugkapazität) könnten an Sammelpunkten abgeholt oder abgesetzt werden. Eine Fahrgemeinschafts-Etappe wird von ausschließlich einem Fahrer und mindestens einem Passagier ausgeführt. Das Fahrgemeinschaftsmodul erlaubt die

Erstellung von Plänen mit unterschiedlichen Transportmodi, welche die Fahrgemeinschaft einschließen. Zwei Arten von Agenten wurden diesem Modul zugefügt, (i) der Fahrgemeinschaftsfahrer und (ii) der Fahrgemeinschaftspassagier. Der Fahrer beginnt eine Fahrgemeinschaftsetappe an einem Abfahrtsort (das dem Wohnort am nächsten gelegene eHub) und fährt nacheinander die Sammelpunkte ab, um dort Fahrgemeinschaftspassagiere einzusammeln oder abzusetzen (Wohn- und Arbeitsorte der Passagiere). Ein Beispiel für eine solche Fahrgemeinschaftsetappe ist in Abb. 56 dargestellt, in der wir einen Fahrer sehen, der einen Passagier von einem ersten Sammelpunkt abholt und ihn an einem zweiten Punkt wieder absetzt. Der Fahrer beendet seine Reise mit der Nutzung der U-Bahn. Aufgrund des neuen Moduls ist MATSim nun in der Lage, diese Art Reise durchzuführen.

Eingangs- und Ausgangsdaten: Die Fahrgemeinschaftsetappen werden in einer neuen Eingangsdatei beschreiben, die die gleiche Struktur wie die MATSim Plandatei nutzt.

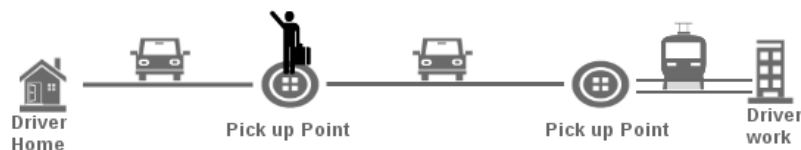


Abbildung 56: Beispiel einer Fahrgemeinschafts-Etappe

B. Carsharing-Modul

Dieses Kapitel stellt das neue Carsharing-Modul vor, welches MATSim hinzugefügt wurde. Zwei Arten des Carsharing werden von diesem Modul unterstützt: (i) das Standard-Carsharing (S-LS), welches entworfen wurde für Menschen, die nur kurzfristig ein Fahrzeug anmieten (einige Stunden) und diesen Wagen an einem bestimmten Ort am gleichen Tag abgeben möchten, und (ii) das freie Carsharing (F-LS), welches für Menschen gedacht ist, die einen Wagen anmieten möchten und ihn zu jeder Zeit an einem beliebigen Ort wieder abgeben möchten.

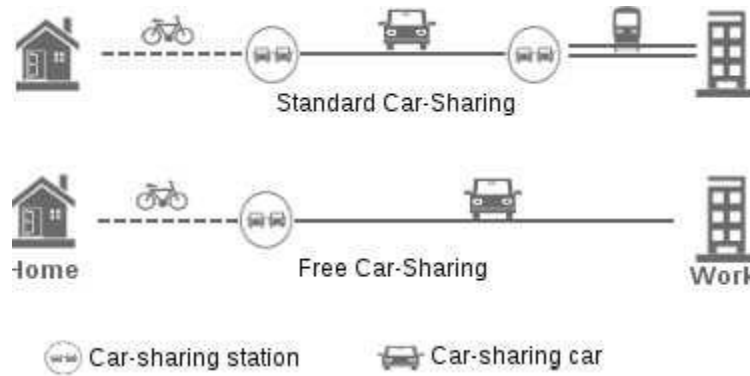


Abbildung 57: Beispiele für Standard- und freies Carsharing

Mit diesem Modul kann der Agent an vorher definierten Carsharing-Stationen Wagen anmieten und sie nach Arbeitsende wieder abgeben; eventuell kann er noch andere Aktivitäten innerhalb der Mietfrist durchführen.

C. Energiemodul

Das Energiemodul erlaubt der eFleet-Verwaltung, im Fahrgemeinschafts- oder Carsharing-Modus Energieauflagen zu berücksichtigen. Dieses Modul wird insbesondere die Machbarkeit von Reisen unter Berücksichtigung der Fahrzeugautonomie absichern. Auch handelt es den Ladezyklus von Wagen ab.

3.4.3.1.3. Datenanalysen und Formatierung

Die Ausgabedaten des Verkehrssimulatormoduls sind vorrangig ein Satz an Ereignissen, die sowohl den Standort aller Agenten beschreiben als auch die Aktion, die in jeder Zeiteinheit durchgeführt wird (Millisekunde). Mit diesem Ereignisdatensatz kann das Analysemodul die folgende Information generieren:

- Fahrzeugtagesplan (VDP): enthält einen Plan von jedem Fahrzeug. Der Plan stellt die verschiedenen geplanten Aktivitäten jedes bestimmten Fahrzeugs dar (fahren, laden oder gehen).
- eHub-Verkehrsfluss: zeigt die Bewegung der Elektrofahrzeuge zwischen jedem Paar von eHub an, und dies für jede Zeiteinheit (Millisekunde).
- Wohn-/Arbeitsort einer Person: Information über die Nutzer von ELEC'TRA.
- Generelle Statistik: Information zur gesamten Anzahl zufriedener Nutzer, die Anzahl der Fahrgemeinschaften und Carsharing-Gruppen, die potentiellen Nutzer für jeden Korridor, die Anzahl der benötigten Fahrzeuge etc.

3.4.3.2. Zurückbehaltene Konfigurationen und Simulationsergebnisse

Nach mehreren Iterationen gemeinsamer Anpassungen, bei denen der Szenariogestalter verwendet wurde, wurden die folgenden Konfigurationen beibehalten:

- Wir sind interessiert an 3 Korridoren, die Personen einschließen, welche in Frankreich und Deutschland leben, in Luxemburg arbeiten, und deren Wohnsitz nahe genug an einer Autobahn liegt (weniger als 15 km und 15 Minuten). Dies sind die gleichen Einschränkungen, die im Fragebogen verwendet wurden, und aus denen sich eine Zahl von 55,000 ausgewählten Personen ergibt. Die potentiellen Nutzer verteilen sich auf den Korridoren wie folgt:
 - Korridor 1 (Metz-Luxemburg): 9,1% potentielle Nutzer
 - Korridor 2 (Trier-Luxemburg): 11,4% potentielle Nutzer
 - Korridor 3 (Merzig-Luxemburg): 10,4 potentielle Nutzer
- 58 bestehende P&R in Luxemburg wurden genutzt und 10 neue eHubs geschaffen (vier auf der Achse Metz-Luxemburg, einen auf der Achse Trier-Luxemburg und fünf auf der Achse Merzig-Luxemburg). (siehe die folgende Abbildung 58)

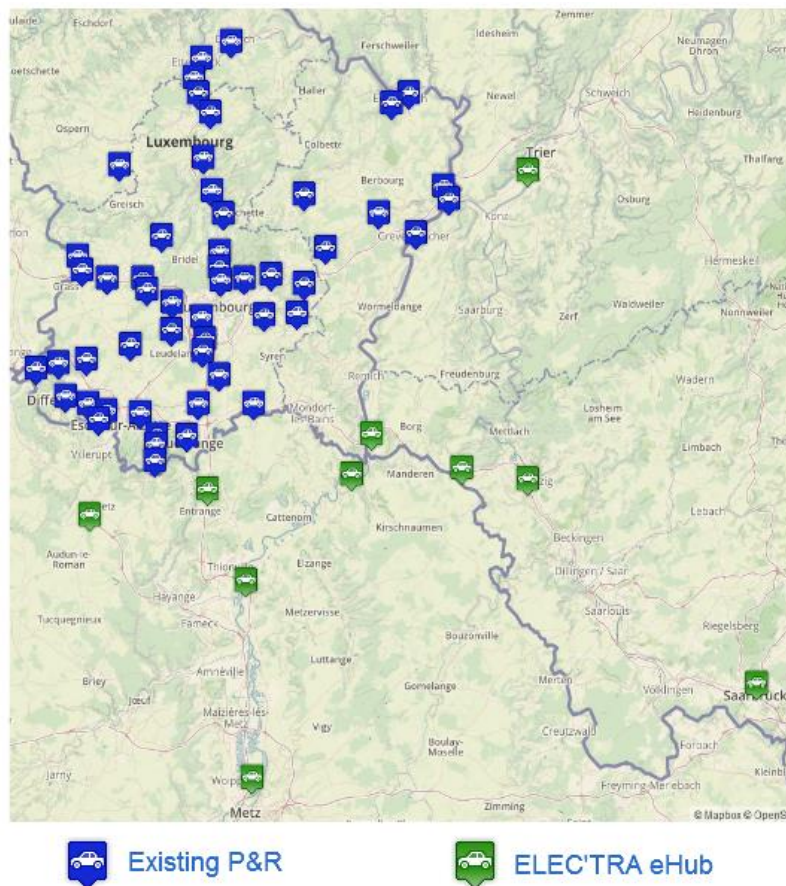


Abbildung 58: Platzierung von P&R und eHubs

Wie dargestellt, sind 4.531 Personen zufrieden (8,23% der Bevölkerung). Eine Person wird als zufrieden eingeschätzt, wenn es für sie möglich ist, ein Elektrofahrzeuge in die Hin- und Rückrichtung (Wohnort-Arbeit und zurück) zu nutzen, und dabei Auflagen der Arbeitsstelle einzuhalten.

Tabelle 6: Generelle Resultate

Gesamte zufriedene Nutzer	4531
Carsharing-Gruppen (Hinweg)	1935
Carsharing-Gruppen (Rückweg)	2660
Nutzer Metz-Luxemburg	2747
Nutzer Trier-Luxemburg	1035
Nutzer Merzig-Luxemburg	749
Benötigte Elektrofahrzeuge	2225

Die Möglichkeit der Zufriedenheit einer Person ist höher, desto näher die Person an der Grenze zu Luxemburg lebt. Dies ergibt sich vorrangig aus zwei Gründen: erstens ist die Verteilung an Pendlern typischerweise in Grenznähe höher und damit auch die Nachfrage; zweitens pendeln Personen aus der Grenznähe kürzere Strecken als die,

die weiter entfernt leben, und haben darum auch eher die Möglichkeit, ihren Arbeitsort pünktlich zu erreichen, und sie akzeptieren dadurch auch eher diese Lösung.

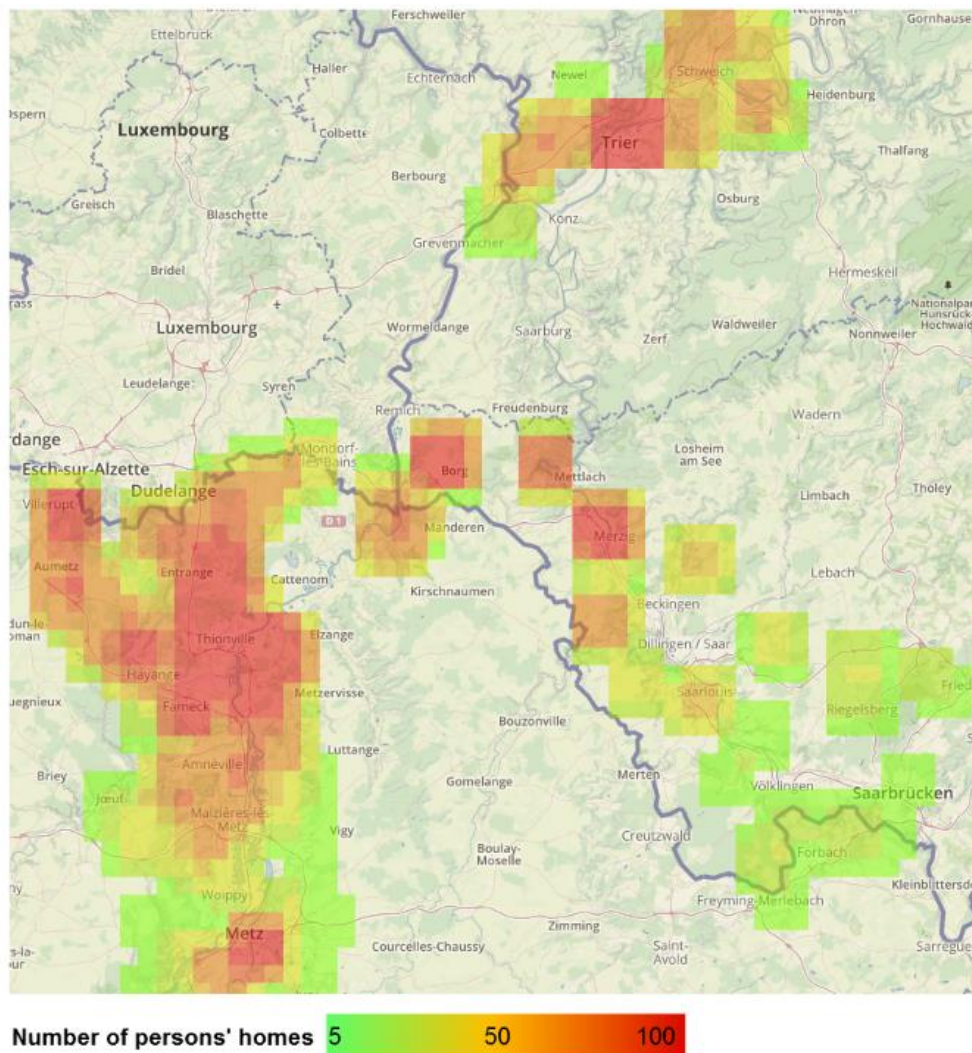


Abbildung 59: Verteilung der Wohnorte zufriedener Nutzer

Die Anzahl der entstandenen Gruppen in die Hinrichtung (Wohnort-Arbeit) ist signifikant kleiner als die in Rückrichtung (Arbeit-Wohnort). Dies kann erklärt werden durch die Tatsache, dass die Zeitspanne für die Abreise kürzer ist als die für die Rückreise, also ist es einfacher, Gruppen für die Hin- als für die Rückrichtung zusammenzustellen. In der Konsequenz werden mehr Elektrofahrzeuge für die Hinreise benötigt als für die Rückreise. Dies wird bestätigt in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, die ein Beispiel zeigt für den Verkehrsfluss am eHub in Metz. Diese Abbildung zeigt die Anzahl der abfahrenden und eintreffenden Fahrzeuge am eHub als auch die gesamte Zahl der geparkten Elektrofahrzeuge. Anzumerken ist, dass dieser eHub zu Beginn des Tages 210 Fahrzeuge benötigt, um

den Tagesbedarf abzudecken, aber am Tagesende dort 283 Fahrzeuge geparkt sind, welches sich durch die vorher genannten Gründe erklären lässt.

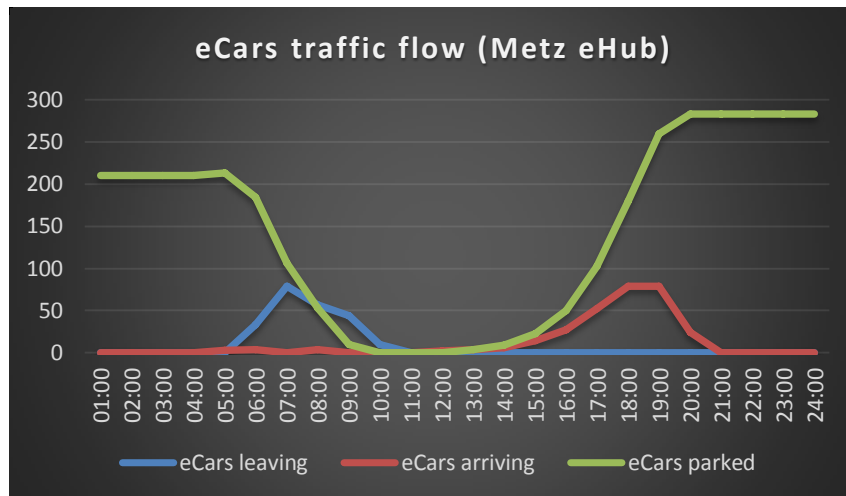


Abbildung 60. Verkehrsfluss von Elektrofahrzeugen am eHub in Metz

In Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. 61 ist zu sehen, dass der Verkehrsfluss sich an den P&R in Luxemburg komplett andersherum gestaltet. Dies ist begründet dadurch, dass die Ankunftszeit der Elektrofahrzeuge in Luxemburg am Morgen ist und die Abreisezeit am Abend. Wie auch im vorherigen Beispiel benötigt dieser P&R mehr Fahrzeuge, um eine Rückfahrt zu garantieren, da die Rückreisezeitspanne größer als die Ankunftszeitspanne ist.

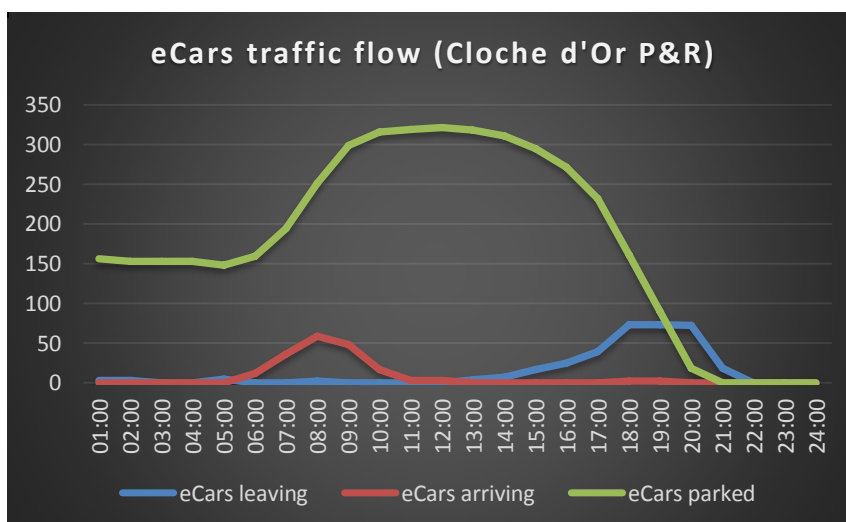


Abbildung 61: Verkehrsfluss von Elektrofahrzeugen am P&R Cloche d'Or

Dieses Problem ist bekannt als das Fahrzeugrückgabeproblem und bezieht sich auf die Verteilung von Fahrzeugen, welche ungleich ist aufgrund von Nutzeranfragen und der Verfügbarkeit von Fahrzeugen oder freien Stellplätzen an den Stationen. Ein

solches Problem ist noch komplizierter im Fall eines Carsharing mit Elektrofahrzeugen, bei dem die Reichweite vom Ladezustand der Fahrzeuge abhängt.⁵¹.

3.4.3.3. Auswirkungen von ELEC'TRA auf den Verkehr

Um die Auswirkungen von ELEC'TRA zu zeigen haben wir zuallererst die Fahrzeiten der Pendler verglichen. Die Ergebnisse dieses Vergleichs finden sich in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Es ist augenscheinlich, dass wir innerhalb ELEC'TRA wesentlich mehr kurze (weniger als 20 Minuten) als lange Fahrten (mehr als 30 Minuten) haben, und dies in beide Richtungen (Wohnort-Arbeitsort und Arbeitsort-Wohnort). Dies zeigt deutlich, dass Pendler einen geringeren Zeitaufwand mit ELEC'TRA haben, Ihren Arbeitsort zu erreichen.

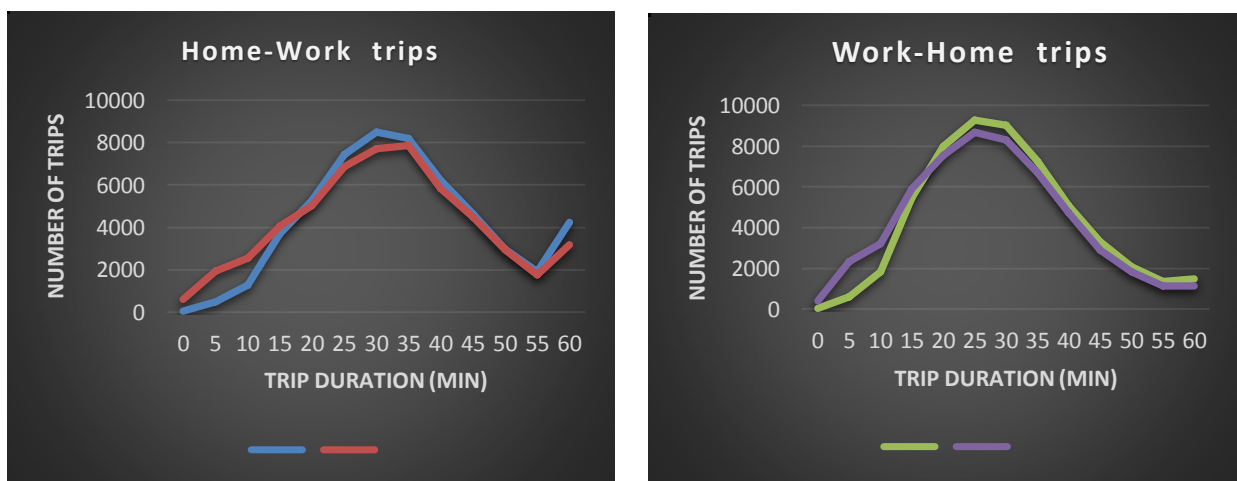


Abbildung 62: Vergleich der Fahrzeiten (mit und ohne ELEC'TRA)

Eine weitere positive Auswirkung von ELEC'TRA ist die verringerte Anzahl der Fahrzeuge. 4.531 Personen waren zufrieden, also findet eine Verringerung der Fahrzeugzahl um genau diesen Zähler statt, wenn wir davon ausgehen, dass Personen alleine in ihrem Fahrzeug unterwegs sind. Andererseits wurden innerhalb ELEC'TRA neue Fahrzeuge dem Netzwerk hinzugefügt (genau 2.225 EF), was eine tatsächliche Verringerung um 2.306 Fahrzeuge bedeutet. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Verteilung dieser Verringerung über einen Zeitraum.

⁵¹ Für mehr Details: Bruglieri, M.; Colorni, A.; Luè, A. (2014): The Vehicle Relocation Problem for the One-way Electric Vehicle Sharing: An Application to the Milan Case, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 111, Pages 18-27, ISSN 1877-0428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.034>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042814000354>)

Die Auswirkung einer solchen Verringerung ist sicherlich aus verschiedener Sicht positiv: wirtschaftlich, ökologisch, etc. In dieser Studie interessieren wir uns für die Auswirkungen auf den Straßenverkehr, also haben wir die Durchschnittsgeschwindigkeit vor und nach der Reduzierung verglichen. Die Resultate zeigen deutlich, dass die Durchschnittsgeschwindigkeit in Stoßzeiten wesentlich verbessert wurde. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 64 zeigt als Beispiel für diesen Vergleich die Strecke Trier-Luxemburg.

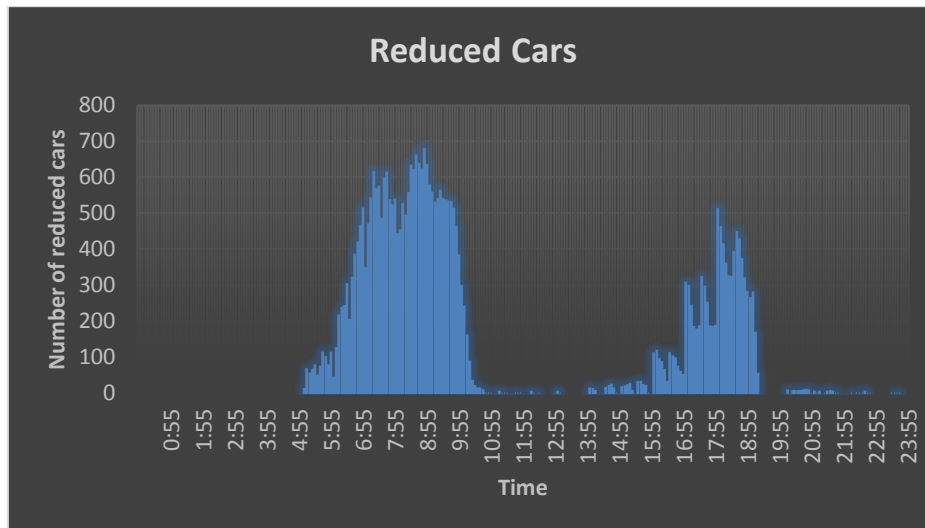


Abbildung 63: Verringerung der Fahrzeugzahl im gesamten Netzwerk

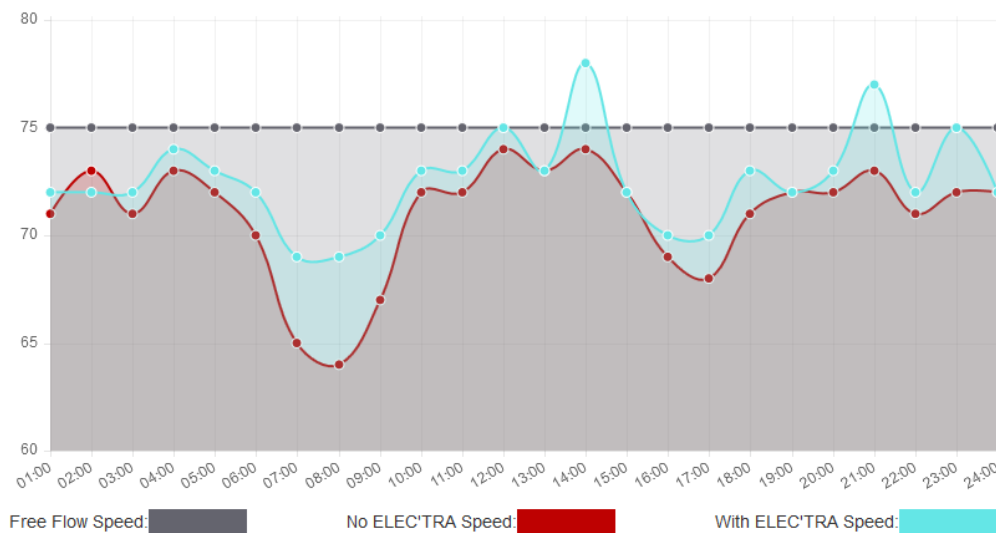


Abbildung 64: Durchschnittvergleich der Fahrgeschwindigkeit (Strecke Trier - Luxemburg)

3.4.4. eNergy- und eParking-Management

Wie bereits in der Einführung beschrieben, bilden eNergy- und eParking-Management den lokalen Teil der kompletten Steuerung der eHubs. Für die Untersuchung des entwickelten lokalen Steuerungs- bzw. Managementmoduls wurde eine Simulationsumgebung in MATLAB/SIMULINK geschaffen.

Insgesamt wurden zwei verschiedene Methoden entwickelt:

1. Integriertes Park- und Lademanagement, basierend auf Veränderungen der Parkflächen: Im ersten Szenario wird angenommen, dass an einem eHub einige Parkplätze zur Verfügung stehen, von denen einige mit einer Ladestation ausgestattet sind. Das Ziel dieses Ansatzes besteht darin, die Elektrofahrzeuge entsprechend dem Energieniveau, d.h. dem Ladezustand ihrer Akkus auf bestimmte Parkplätze zu leiten. Nach einiger Zeit können die Elektrofahrzeuge ihre Parkplätze wechseln, so dass anschließend die anderen Elektrofahrzeuge aufgeladen werden können. Diese Verfahrensweise ist in Abbildung 65 verdeutlicht.

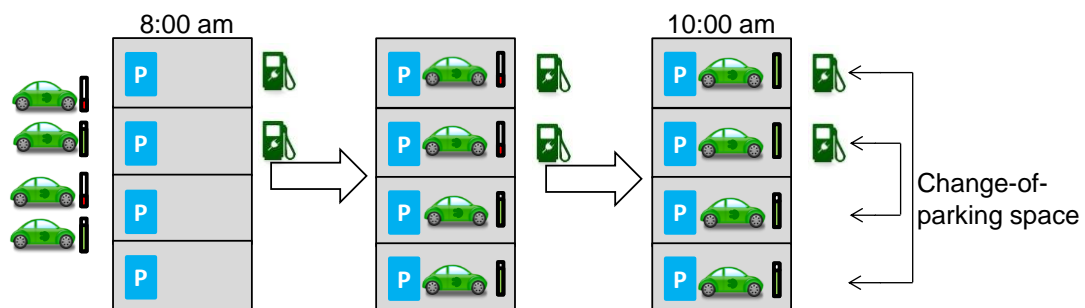


Abbildung 65: Beispielhafte Darstellung von Methode 1

Nur zwei der vier vorhandenen Parkplätze sind mit einer Ladestation ausgestattet. Die schmalen rechteckigen Symbole neben den Elektrofahrzeugen zeigen das Energieniveau bzw. den Ladezustand der Fahrzeugakkus an. Ein fast vollständig mit einem grünen Streifen ausgefülltes Symbol steht für ein hohes Energieniveau, während ein roter Strich bzw. ein nicht vollständig ausgefüllter Streifen ein niedriges Energieniveau der Akkus symbolisieren soll. Bei Ankunft werden die beiden Elektrofahrzeuge mit weitgehend entladenen Akkus, d.h. geringem Energieniveau zuerst auf die Parkplätze geleitet, die über eine Ladestation verfügen. Die Elektrofahrzeuge mit höherem Energieniveau werden hingegen auf den Parkplätzen ohne Ladestation abgestellt. Nachdem die auf den Parkflächen mit Ladestation

abgestellten Elektrofahrzeuge aufgeladen wurden und somit das jeweils gewünschte Energieniveau dieser Fahrzeuge erreicht ist, können sie umgeparkt und auf die Parkflächen ohne Ladestation versetzt werden; stattdessen können jetzt die noch zu ladenden Elektrofahrzeuge vor den Ladestationen geparkt werden. Dieses Problem kann auch als Zuweisungsproblem charakterisiert werden, das aus dem Bereich der Wirtschaftswissenschaften bekannt ist.⁵² Aus dieser Perspektive werden die Fahrzeuge einem Parkplatz zugewiesen⁵³. Anzumerken ist ebenfalls, dass für das Umparken der Fahrzeuge Personal erforderlich ist, wodurch Kosten entstehen. Diese Verfahrensweise könnte daher unwirtschaftlich sein. Dennoch erscheint dieses Konzept aus theoretischer Sicht attraktiv.

2. Integriertes Park- und Lademanagement mit zeitlich geplanten Ladevorgängen: Die Park- und Ladevorgänge werden der Reihe nach ausgeführt. In einem ersten Schritt werden die Elektrofahrzeuge entsprechend ihrer technischen Ausstattung und ihres Energieniveaus bei Ankunfts- oder Abfahrtszeit auf die einzelnen Parkplätze und Ladestationen aufgeteilt. Das Elektrofahrzeug bleibt hierbei auf dem zugewiesenen Parkplatz stehen. In einem zweiten Schritt wird der Ladevorgang optimiert. Für das Lademanagement wurden unterschiedliche Szenarien in Betracht gezogen. In einem Szenario kann eine Ladestation mehrere Parkplätze bedienen, wobei der Ladevorgang geplant, d.h. zeitgesteuert abläuft. In einem anderen Szenario ist für jedes Elektrofahrzeug eine separate Ladestation vorhanden. Die gesamten Leistungsbeschränkungen an den eHubs und die Leistungsbeschränkungen an verschiedenen Punkten in den eHubs (z.B. an den Transformatoren) können im Rahmen der Energiemanagementstrategie berücksichtigt werden. Da dieses Ausgangsszenario dem aktuellen Stand der Technik entspricht, wird es im Folgenden untersucht.

⁵² Williams, H.P. (1999): Model Building in Mathematical Programming. Chichester, Großbritannien: John Wiley & Sons Ltd.

⁵³ Weitere Informationen zu diesem Ansatz in:

- Kumar, K. (o.D.): Development and Analysis of an Integrated Parking and Energy Management for Parking areas with Electric Vehicles, Masterarbeit, FB Elektro-und Informationstechnik, TU Kaiserslautern
- J. Lu (o.D.): Entwicklung eines Energiemanagementsystems für Parkplätze mit Elektrofahrzeugen, Bachelorarbeit, FB Elektro-und Informationstechnik, TU Kaiserslautern

Alle entwickelten Ansätze können als mathematische Optimierungsprobleme formuliert werden, z.B. gemischt-ganzzahlige quadratische Optimierungsprogramme (GGQP), gemischt-ganzzahlige lineare Optimierungsprogramme (GGLP) oder quadratische Programme (QPs), die mit standardmäßiger Optimierungssoftware leicht gelöst werden können. Eine ausführlichere Beschreibung der im Optimierungssystem verwendeten Modelle und der Integration von Daten aus dem eFleet-Management werden im folgenden Teil beschrieben.

Aus Sicht des Energie- und Parkmanagements sind die in den Akkus gespeicherte Energie und die Ladeleistung der Elektrofahrzeuge von Interesse. Die Beziehung zwischen diesen Elementen kann durch ein Halteglied-Äquivalent nullter Ordnung eines Integrators modelliert werden. Die durch den Ladevorgang bedingten Verluste können im Modell durch Einbeziehung eines Ladewirkungsgrades im Fahrzeug berücksichtigt werden. Zu beachten ist, dass die untere Grenze der Ladeleistung gleich null ist, da nur der Vorgang des Ladens der Elektrofahrzeuge im Rahmen dieses Projekts diskutiert wird. Eine negative Ladeleistung kann als Entladen des Akkus in einer Vehicle-to-Grid-Anwendung (V2G) interpretiert werden⁵⁴. Obwohl das Tool diesen Einflussfaktor verarbeiten kann, wird er im Folgenden nicht weiter untersucht, da die derzeit verfügbaren Ladestationen nicht für den V2G-Modus ausgerüstet sind.

Selbstverständlich kann jedes Elektrofahrzeug nur in dem zwischen Ankunftszeit und Abfahrtszeit liegenden Zeitintervall geladen werden. Die maximal zulässige Ladeleistung ist daher außerhalb dieses Zeitintervalls auf null gesetzt. Innerhalb des Zeitintervalls kann das Elektrofahrzeug mit einer Leistung aufgeladen werden, die sich von null bis zur maximal möglichen Leistung erstrecken kann. Die maximal zulässige Ladeleistung ist nach oben begrenzt und vom Stecker des Fahrzeugs und von der für den Akku verwendeten Ladetechnik abhängig. In diesem Projekt wird eine kabelgebundene Ladetechnik angenommen, bei der alle Elektrofahrzeuge mit einer maximalen Ladeleistung von 22kW geladen werden; dies entspricht dem Stecker vom Typ-2, der in der EU als Standard gilt. Die Verwendung anderer Ladetechniken oder Steckertypen und somit anderer maximaler Ladeleistungen ist mit dieser Simulationsumgebung zwar möglich, wird jedoch im Folgenden aus Gründen der Vereinfachung nicht realisiert. Simulationen haben ergeben, dass die

⁵⁴ L. Gan, U. Topcu und S. Low (2011): Optimal decentralized protocol for electric vehicle charging. – In: Proceedings of the 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference (CDC/ECCE).

maximale Ladeleistung einen großen Einfluss auf die Energieverteilung zwischen den eHubs und Leistungsprofilen in einem eHub ausüben kann. Im Allgemeinen lässt sich feststellen, dass höhere Ladeleistungen zu mehr Freiheitsgraden und somit besseren Ergebnissen führen⁵⁵. Andererseits sind jedoch dadurch auch höhere Kosten für die Infrastruktur zu erwarten. Ein potenzieller Betreiber sollte eine detaillierte Untersuchung der Wirtschaftlichkeit durchführen, die im Rahmen dieses Projekts nicht geleistet werden kann.

Des Weiteren muss durch das Energiemanagementsystem gewährleistet werden, dass der Mobilitätsbedarf befriedigt wird, d.h. dass die Elektrofahrzeuge zum Zeitpunkt der Abfahrt voll aufgeladen sind. Bei Kenntnis des Energieniveaus zum Ankunftszeitpunkt und des gewünschten Energieniveaus zum Abfahrtszeitpunkt kann dies sichergestellt werden, indem die Einschränkungen des Optimierungsproblems erfüllt werden, d.h. die Summe der von den Elektrofahrzeugen zwischen Ankunfts- und Abfahrtszeit geladenen Energie muss gleich der Energie sein, die zum Erreichen des gewünschten Energieniveaus erforderlich ist.

In der entwickelten Simulationsumgebung können Szenarien untersucht werden, bei denen angenommen wird, dass sich im Parkbereich auch andere Verbraucher und erneuerbare Energiequellen (EE), insbesondere ein Solarmodul, befinden. Der Leistungsbedarf der Verbraucher und die eingespeiste Leistung der erneuerbaren Energiequellen können vom Optimierungsprogramm nicht beeinflusst werden. Die Leistungsaufnahme P_C der Verbraucher ist in Abbildung 66 blau dargestellt und wird vom standardmäßigen Lastprofil G0 übernommen, das von deutschen Energieversorgungsunternehmen verwendet wird⁵⁶. Die Einspeisung vom Solarmodul P_{PV} ist in Abbildung 66 mit einer violetten Kurve dargestellt.⁵⁷ Da die Einspeisung von Solarmodulen stark vom Wetter abhängig ist, kann die eingespeiste Leistung nicht als gleichmäßige Kurve abgebildet werden. Beide Leistungskurven müssen skaliert werden, um geeignete Daten für die Simulation zu erhalten. Da die eingespeiste Leistung und der Verbrauch nicht beeinflussbar sind, können diese Größen vom Standpunkt des Energiemanagements aus zu einer unkontrollierbaren Leistung hinzugefügt werden: $P_D = P_{PV} + P_C$.

⁵⁵ Siehe: Kumar, K. (o.D.): Development and Analysis of an Integrated Parking and Energy Management for Parking areas with Electric Vehicles, Masterarbeit, FB Elektro-und Informationstechnik, TU Kaiserslautern

⁵⁶ BDEW (2012);, Standardlastprofile, <http://www.eon-mitte.com/de/netz/veroeffentlichungen/strom/standardlastprofil-verfahren/standardlastprofile> (zuletzt abgerufen am 4. April 2014).

⁵⁷ SMA (2012): Sunnyportal, <http://www.sunnyportal.de/> (zuletzt abgerufen am 4. April 2014).

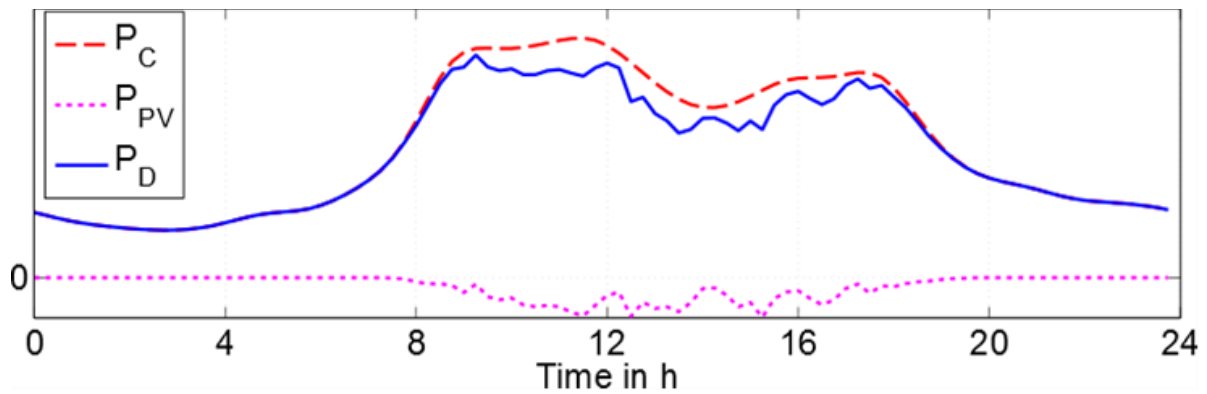


Abbildung 66: Leistungsbedarf der Verbraucher und Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen

Als Nächstes wird die Kostenfunktion des Energiemanagements thematisiert. Das allgemeine Ziel des Energiemanagements besteht darin, ein Ladeprofil so zu formen, dass der gesamte Leistungsverbrauch möglichst gering ist. Dies lässt sich durch Minimierung einer Kostenfunktion erreichen. Das Ziel der Optimierung kann ebenfalls als Glättung bzw. „Valley-Filling“ (engl. für „Füllen der Täler“) beschrieben werden, da die Elektrofahrzeuge in dem Zeitraum geladen werden sollen, in dem der nicht steuerbare Leistungsbedarf gering ist, d.h. „Füllen der Täler“ bezieht sich auf das Leistungsprofil der nicht steuerbaren Lasten P_D .⁵⁸ Das Konzept des „Füllens von Tälern“ ist in Abbildung 67 dargestellt.

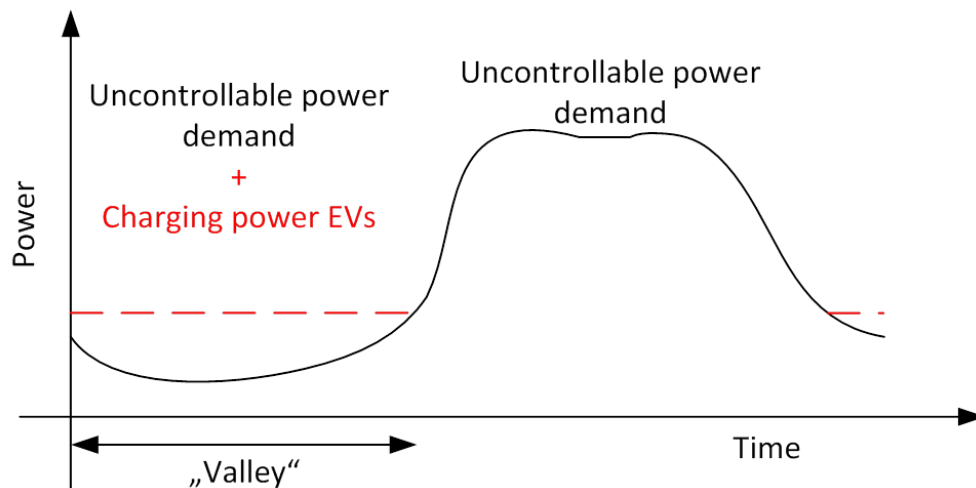


Abbildung 67. Veranschaulichung der „Valley-Filling“-Idee

⁵⁸ Gan, L.; Topcu, U.; Low, S. (2011): Optimal decentralized protocol for electric vehicle charging, in Proceedings of the 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference (CDC/ECCE).

Das Managementsystem benötigt weitere Daten, die im Folgenden aufgeführt sind:

Fahrzeugbezogene Informationen:

- Fahrzeugtypen (Elektrofahrzeug, Hybridfahrzeug, Fahrzeug mit Verbrennungsmotor)
- Fahrzeugklasse
- Kapazität des Akkus
- Maximale Ladeleistung
- Ladewirkungsgrad

Informationen in Bezug auf Berufspendler:

- Ankunfts-/Abfahrtszeit der Fahrzeuge am eHub
- Ladezustand bei Ankunft
- Gewünschter Ladezustand bei Abfahrt

Leistungs-/Energiebezogene Informationen:

- Leistungsbedarf der Verbraucher, die sich am eHub befinden
- Einspeiseleistung aus erneuerbaren Energiequellen
- Anzahl der Ladestationen
- Anzahl der Parkplätze

Die meisten Daten können vom eFleet-Managementmodul bezogen werden. Die Vorverarbeitung für das eEnergy- und eFleet-Management kann gemäß der Beschreibung in den Kapiteln 3.4.3. und 3.4.4 für die Schätzung des Energiebedarfs an einem eHub durchgeführt werden.

Im Ergebnis des Optimierungsproblems kann das Leistungsprofil bestimmt werden. Mithilfe dieses Leistungsprofils lassen sich die maximale Ladeleistung und der Gesamtenergiebedarf bestimmen. Das eEnergy- und eParking-Management wird hier in einem Day-Ahead-Verfahren verwendet, kann jedoch ebenfalls für RHC-Zwecke (Receding Horizon Control) eingesetzt werden. Bei RHC wird das Optimierungsproblem bei jedem Abfragepunkt während des gesamten Tages gelöst, jedoch wird nur die erste Eingabe (Ladeprofil) angewendet. Auf diese Weise lässt sich Stabilität

erreichen. Implementierungen zur Steuerung von Leistungssystemen bei Anwendung auf Elektrofahrzeuge finden sich z.B. bei Berkel⁵⁹.

Ein Beispiel für diese Simulationsergebnisse ist in Abbildung 68 enthalten. Negative Leistung bedeutet, dass elektrische Leistung in das Stromversorgungsnetz eingespeist wird, während positive Leistung für eine Entnahme von Energie aus dem Netz steht. Die eingespeiste Energie aus erneuerbaren Energiequellen, die am untersuchten eHub installiert sind, ist blau dargestellt. Die vom Steuerungssystem festgelegte Ladeleistung der Elektrofahrzeuge plus der Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen ist rot dargestellt. Die grüne Linie verdeutlicht die nicht optimierte Ladeleistung plus der Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen. Die Ergebnisse für das nicht optimierte Leistungsprofil werden erstellt, indem der Ladevorgang jedes Elektrofahrzeugs nach Ankunft am eHub gestartet und nach voller Aufladung des Akkus beendet wird. Die Ladeleistung jedes einzelnen Elektrofahrzeugs ist in diesem Fall auf die maximale Ladeleistung eingestellt. Aus der Summe dieser einzelnen Ladeprofile ergibt sich das grün dargestellte Profil. Man kann beobachten, dass dies zu einem erhöhten Leistungsbedarf führt, da die meisten Elektrofahrzeuge gleichzeitig eintreffen. In der Nacht ist die Leistungsaufnahme gleich null.

Bei Anwendung des gesteuerten Ladeverfahrens, das vom Managementsystem kontrolliert wird, ist das resultierende Leistungsprofil gleichmäßiger und die Spitzenleistung niedriger als beim nicht optimierten Ladeleistungsprofil. In dem untersuchten Szenario wird eine Reduzierung der Spitzenleistung um ca. 70 % erreicht. Wie bei der Formulierung der Kostenfunktion beabsichtigt, „füllt“ das Optimierungssystem „die Täler“, die in den Kurven durch die Einspeiseleistung aus erneuerbaren Energiequellen entstehen. Anzumerken bleibt, dass der Mobilitätsbedarf der Nutzer jederzeit befriedigt wird.

⁵⁹ Berkel, F. (o.D.) Hierarchische modellprädiktive Regelung von Smart Microgrids mit Elektrofahrzeugen, Diplomarbeit, FB Elektro-und Informationstechnik, TU Kaiserslautern

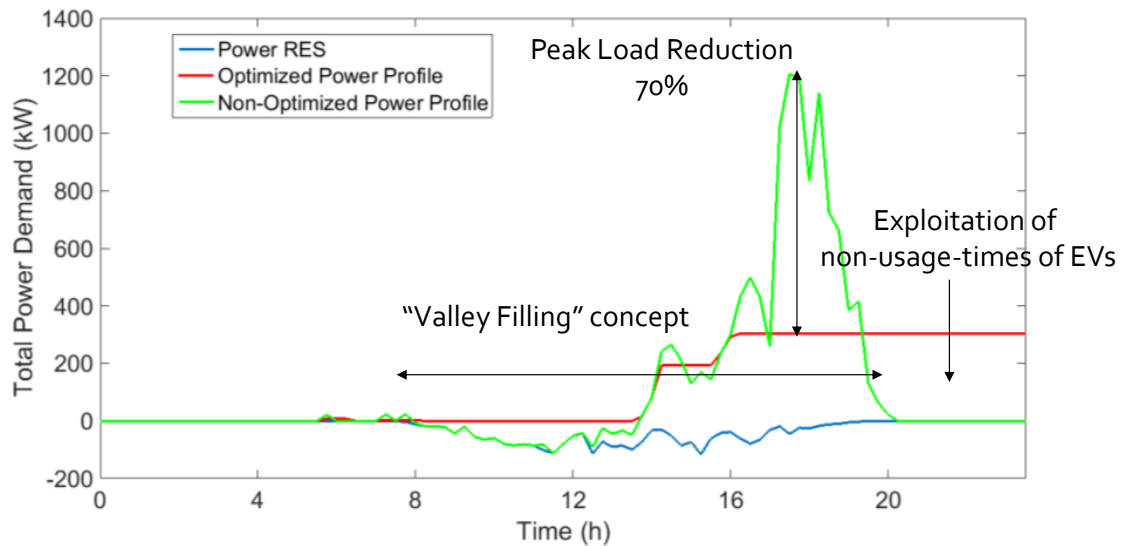


Abbildung 68: Beispielhafter Leistungsbedarf an einem eHub (basierend auf Verkehrssimulationsdaten)

Man kann überdies erkennen, dass die aus dem Stromnetz bezogene maximale Leistung geringer ausfällt als bei lokaler Energieerzeugung. Die Verluste im Netz lassen sich ebenfalls reduzieren, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit verbessert. Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen für das Aufladen der Akkus lässt sich noch intensivieren, wenn sich die Elektrofahrzeuge tagsüber an den eHubs befinden, z.B. bei den eHubs, die sich in der Nähe der Arbeitsorte befinden. Die Einrichtung erneuerbarer Energiequellen neben den eHubs kann sich unter verschiedenen Gesichtspunkten als vorteilhaft erweisen. Eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ist jedoch nicht Bestandteil des Projekts.

3.5. Derzeitige Rahmenbedingungen für Elektromobilität

3.5.1. Deutschland

Die Rahmenbedingungen für die Elektromobilität in Deutschland lassen sich den Bereichen Organisation, Recht, Wirtschaftlichkeit, Ökologie und Politik zuordnen.

Ziel der deutschen Bundesregierung ist es, Leitanbieter und Leitmarkt für die Elektromobilität zu sein und hierbei bis zum Jahr 2020 eine Million elektrisch betriebene Autos zugelassen zu haben. Selbst strebt sie an, bis dato 10% der in den Bundesressorts angeschafften oder angemieteten Autos als Elektroautos zu nutzen, welche weniger als 50g/km an CO₂ emittieren. Allgemein versteht die Bundesregierung unter dem Begriff des Elektroautos nicht rein elektrisch betriebene Fahrzeuge, sondern auch teil-elektrisch betriebene, zum Beispiel in Form von

Hybridautos mit einer geringen Batteriekapazität, die aber mindestens 40 Kilometer rein durch Batteriebetrieb zulassen.⁶⁰ Derzeit (Stand 01.06.2015) werden durch die Politik keine Kaufanreize, beispielsweise monetär in Form von zinsgünstigen Krediten, geschaffen, die dieses Ziel befördern. Jedoch ist das sogenannte „Elektromobilitätsgesetz (EmoG)“ in der Vorbereitung. Dessen Inhalte sollen es Kommunen erlauben, elektrische betriebene Autos zu privilegieren. So ist angedacht, die vorhandenen Busspuren für diese Fahrzeuge zu öffnen oder gesonderte Parkflächen auszuweisen, auf denen nur die speziell als Elektroauto gekennzeichneten PKW parken dürfen. Ebendiese Fahrzeuge erhalten zudem einen Erlass der PKW-Steuer auf zehn Jahre, wenn sie bis zum 31.12.2015 erstmalig zugelassen wurden. Für danach zugelassene Fahrzeuge wird die Steuer auf fünf Jahre nicht erhoben. Bezüglich der Ladeinfrastruktur gibt es eine EU-weite Einigung, welche sich in der im Aufbau befindlichen „Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“ widerfindet.⁶¹ Hierin ist, neben einem einheitlichen Ladesystem, auch die Sicherstellung von diskriminierungsfreien Zugängen zur Ladeinfrastruktur gewährleistet, welche gleichermaßen für Smart Grids⁶² verwendet werden können. Zur Durchsetzung der Ziele hat die Bundesregierung im Jahr 2010 die sogenannte „Nationale Plattform Elektromobilität (NPE)“ mit einem eigenen Entwicklungsplan eingesetzt.⁶³

Zur Errichtung von Ladesäulen gelten bisher in Deutschland noch das „Stromsteuergesetz“ und ergänzend die jeweiligen Landesstraßengesetze. In Rheinland-Pfalz greift Paragraph 41 des Landesstraßengesetzes, Thema Sondernutzung, zur Errichtung von Ladeinfrastruktur.⁶⁴ Auch die Kommunen können mittels Konzessionen oder Satzungen den Ausbau und die Gestaltung von Ladeinfrastruktur regulieren und festschreiben. Genaueres zur Errichtung von Ladesäulen auf Stellplätzen regeln ferner die Landesbauordnungen der jeweiligen

⁶⁰ Vgl. <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/Industrie-und-Umwelt/elektromobilitaet,did=575152.html> (Zugriff am 11.03.2015)

⁶¹ Vgl. ebenda

⁶² Der Begriff „Smart Grid“ bezeichnet ein intelligentes Stromnetz, welches alle in ihm agierenden Akteure/Einheiten dezentral miteinander verknüpft

⁶³ Vgl. und siehe mehr: <http://www.bmub.bund.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/nationale-plattform-elektromobilitaet/> (Zugriff am 11.03.2015)

⁶⁴ Vgl. <http://landesrecht.rlp.de/jportal/?quelle=jlink&query=StrG+RP+%C2%A7+41&psml=bsrlpprod.psml> (Zugriff am 11.03.2015)

Bundesländer, die auch hier eine Sondernutzung entgegen eines Gemeingebrauchs erkennen.⁶⁵

3.5.2. Frankreich

Mobilität gehört zu den wesentlichen Elementen der Energiewende und der Umsetzung des Konzepts der nachhaltigen Stadt. Mit ihr ist ein ganzes Bündel von Herausforderungen verbunden. Da sind zuallererst die ökologischen Herausforderungen, da der Verkehrssektor in Frankreich der Hauptverursacher von CO₂-Emissionen ist; auf ihn entfallen 36 % der Gesamtemissionen des Landes. Im Hinblick auf die Luftqualität stellen die Luftschadstoffe ein großes gesundheitliches Problem dar. In Europa insgesamt ist der Verkehrssektor für einen großen Teil der Emissionen von NO_x, SO_x, CO, VOC (flüchtige organische Verbindungen) und Partikeln verantwortlich. Des Weiteren zu nennen sind die wirtschaftlichen Herausforderungen. Da Frankreich seinen Erdölverbrauch zu 98,6 % mit Importen abdecken muss, belief sich seine Energierechnung 2012 auf 68,7 Milliarden Euro, von denen 55 Milliarden auf Erdöl entfielen (laut den Energiekennzahlen 2013, die im Februar 2014 von dem für die nachhaltige Entwicklung zuständigen „Commissariat général au développement durable“ veröffentlicht wurden).

Die Elektromobilität hat in Frankreich bereits eine lange Geschichte, da die französische Post seit Anfang des 20. Jahrhunderts Elektrofahrzeuge einsetzt und heute nach wie vor das fortschrittlichste französische Unternehmen auf diesem Gebiet ist. Ziel von „La Poste“ ist es, 2015 die Zahl von 10.000 Elektrofahrzeugen zu erreichen.

1999 führte die Stadt La Rochelle den ersten städtischen Carsharing-Dienst („Lisélec“) mit Elektrofahrzeugen in Frankreich ein, für den die Elektroversionen des Peugeot 106 und des Citroën Saxo eingesetzt werden. Dieser noch heute bestehende Dienst ist vollständig in das System des öffentlichen Verkehrs im Ballungsraum von La Rochelle integriert.

2009 wurde im Rahmen des zur landesweiten Etablierung der Elektromobilität aufgestellten „Plan National de Déploiement de la Mobilité Electrique“ eine

⁶⁵ Vgl. http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/DOWNLOAD/Fachkonferenz_Elektromobilitaet_vor_Ort_2014/Rechtliche_Rahmbedingungen_fuer_Elektromobilitaet_in_Kommunen_-_Christian_Mayer.pdf (Zugriff am 11.03.2015)

Umweltprämie in Höhe von 5.000 € für den Kauf eines Elektrofahrzeugs eingeführt (die 2012 auf 7.000 € erhöht wurde).

2012 startete die „Agentur für Umwelt und Energiewirtschaft ADEME“ (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) einen Aufruf zur Interessenbekundung, der sich an die Gebietskörperschaften richtete und auf die Förderung des Ausbaus von Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge und aufladbare Hybridfahrzeuge abzielte. Diese Maßnahmen wurde im Rahmen der Projekte für Zukunftsinvestitionen (Projets d'Investissement d'Avenir) mit 50 Millionen Euro ausgestattet. Ende 2014 konnten mit diesem Instrument bereits 18 Projekte auf der Ebene von Ballungsräumen, Departements und Regionen finanziert werden, was bis 2016 die Einrichtung von mehr als 7.000 Ladestationen im gesamten Land ermöglicht.

Im Juli 2012 erhielten die französischen Behörden im Rahmen des „Plan de Relance de l'Industrie Automobile“ (Plan zur Wiederbelebung der Automobilindustrie) die Zielvorgabe, ihren Fuhrpark bis 2020 zu 25 % mit umweltfreundlichen Fahrzeugen zu bestücken.

Das französische Gesetz vom 4. August 2014 zur Förderung des Aufbaus eines landesweiten Netzes von Ladeinfrastrukturen, das eine durchgängige Abdeckung des gesamten Gebiets ermöglicht, ergänzte den Aufruf zur Interessenbekundung der ADEME und ermöglichte es der Bolloré-Gruppe, die bereits in Paris den auf Elektrofahrzeugen basierenden Carsharing-Dienst „Autolib“ betreibt, die Einrichtung von 16.000 Ladestationen bis 2019 anzukündigen.

Das 2015 in Frankreich verabschiedete Energiewendegesetz bedeutet eine Stärkung aller bestehenden Instrumente. Zu nennen sind hier insbesondere die Einführung einer aufgestockten Umweltprämie in Höhe von 10.000 Euro für den Kauf eines Elektrofahrzeugs (bei gleichzeitiger Verschrottung eines Dieselfahrzeugs, das älter als 13 Jahre ist) und die Festlegung des Anteils an Elektrofahrzeugen, Plug-in-Hybriden oder Hybriden mit sehr geringen Schadstoffemissionen im staatlichen Fuhrpark auf 50 %.

Allein im April 2015 wurden mehr als 2.000 Elektrofahrzeuge angemeldet; auf den Renault Zoé und den Renault Kangoo entfielen dabei knapp 75 % der Verkäufe.

Frankreich ist in Europa führend beim Verkauf von Elektrofahrzeugen und verfügt über einen Fuhrpark mit insgesamt 61.000 Fahrzeugen.

3.5.3. Luxemburg

Der luxemburgische Verkehrssektor verursacht mit seinen Treibhausgasemissionen und Emissionen anderer Luftschadstoffe, seinem Energieverbrauch, seinen Lärmemissionen sowie mit seinen Auswirkungen auf die Lebensqualität, die sich durch das Erreichen der Kapazitätsgrenzen der Straßennetze ergeben, mehr als jeder andere Sektor negative Auswirkungen auf die Gesellschaft.

Um die Beseitigung dieser Probleme anzugehen, müssen unter anderem alternative Mobilitätsformen des motorisierten Individualverkehrs gefunden werden, wie zum Beispiel die Elektromobilität. Mit der Förderung der Elektromobilität durch die Regierung werden drei konkrete Ziele verfolgt:

- die Verringerung der Treibhausgasemissionen,
- die Verringerung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe im Verkehrssektor
- die Verringerung des motorisierten Individualverkehrs durch eine intelligente Kombination von Fahrgemeinschaften und Carsharing.

Um das letztgenannte Ziel zu erreichen, beteiligt sich das „Ministerium für nachhaltige Entwicklung und Infrastruktur MDDI“ an „ELEC'TRA“. In der Vergangenheit hatte das Ministerium im Übrigen bereits an ähnlichen Projekten mitgewirkt:

- Im Rahmen des Projekts „Nordstad eMovin“ haben die Gemeinden des urbanen Zentrums Nordstad ein Carsharing-System mit Elektroautos eingerichtet. Neben den Elektroautos gehören auch elektrisch unterstützte Fahrräder zum Angebot des Projekts.
- Das Projekt „ZAC eMovin“ verfolgt das Ziel, ein Carsharing-System mit Elektroautos in den Gewerbegebieten rund um die Stadt Luxemburg einzurichten. Da die Zahl der Arbeitsplätze in diesen Gebieten stark gestiegen ist und Letztere nicht immer über eine Anbindung an den öffentlichen Personenverkehr verfügen, soll mit dem Projekt das hier entstehende Verkehrsaufkommen verringert werden.

Zur Subventionierung des Kaufs von Autos mit geringen CO₂-Emissionen begann die Regierung 2007 mit der Einführung einer entsprechenden Prämie („CAR-e“), die dann in den vergangenen Jahren parallel zur Absenkung der Höchstwerte für CO₂-Emissionen erhöht wurde. 2012 wurde eine Prämie von 5.000 € für 100%ige Elektroautos und für Plug-in-Hybride eingeführt, deren CO₂-Emissionen 60 g/km nicht übersteigen. Allerdings muss erwähnt werden, dass der Erhalt dieser Prämie an die Verpflichtung geknüpft war, einen Vertrag über die Lieferung von Ökostrom abzuschließen, der zu 100 % aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt wird. Ende 2013 schaffte die Regierung die „CAR-e“-Prämien für Elektroautos ab, mit der Begründung, dass die Regierung die Förderung der Elektromobilität durch den Aufbau einer öffentlichen Infrastruktur mit Ladestationen statt durch die Subventionierung des Kaufs von Elektroautos fördern wolle.

So ist vorgesehen, bis 2020 insgesamt 800 Ladesäulen aufzustellen. Da jede dieser Anlagen über mehrere Ladeanschlüsse verfügt, werden insgesamt 1.600 Stellplätze für Elektroautos geschaffen. Um den Umstieg auf die öffentlichen Verkehrsmittel zu erleichtern und zu fördern, sind für die verschiedenen Park-and-Ride-Anlagen (P+R) 400 Säulen vorgesehen. Die restlichen 400 Säulen werden auf Stellplätzen in der Nähe (< 300 m) wichtiger Anlaufstellen der Gemeinden installiert, wie zum Beispiel Gewerbegebiete, Touristenziele, kulturelle Standorte, Sportstätten, Krankenhäuser, Geschäfte, Rathäuser und Behörden.

Bei der Installation dieser 800 Säulen bis 2020 soll darauf geachtet werden, eine gute Aufteilung auf das Gebiet des Großherzogtums sicherzustellen, damit in allen Regionen eine Infrastruktur für das Nachladen zur Verfügung steht. Um zu gewährleisten, dass die für das Laden von Elektrofahrzeugen bestimmten Stellplätze auch wirklich für diese Fahrzeuge reserviert sind, musste die Straßenverkehrsordnung angepasst werden.

4. Handlungsempfehlungen

4.1. Schlussfolgerungen aus dem Projekt

4.1.1. Wesentliche Erkenntnisse

Die durchgeführten Umfragen zum Nutzerverhalten haben es ermöglicht, für 7.045 Personen, die repräsentativ aus den 55.000 Pendlern auf den drei nach Luxemburg verlaufenden Verkehrskorridoren ausgewählt wurden, Informationen zu den von ihnen genutzten Verkehrsarten und zu ihren Erwartungen zu sammeln.

Im Anschluss an die Analyse der Ergebnisse dieser Umfragen konnten unter Verwendung der mit den Instrumenten „eFleet Management“, „eParking Management“ und „eNergy Management“ durchgeführten Simulationen die folgenden wesentlichen Erkenntnisse aus dem Projekt gewonnen werden:

1. Es gibt ein großes Potenzial für die Verlagerung auf die öffentlichen Verkehrsmittel

Nicht wirklich überraschend ist, dass sich eine Mehrheit der Pendler, die keine öffentlichen Verkehrsmittel nutzen, wünschen würde, dass ihnen ein entsprechendes Angebot zur Verfügung gestellt wird, um auf diese Verkehrsart zurückgreifen zu können.

2. Es gibt ein großes Potenzial für Fahrgemeinschaften mit Elektromobilitätslösungen

Auf die Fragen nach dem potenziellen Interesse der Pendler an Fahrgemeinschaft-Lösungen mit Elektroautos antwortete eine große Zahl von ihnen, an einem solchen Angebot als Alternative zur privaten Nutzung des Autos und zum Rückgriff auf die öffentlichen Verkehrsmittel interessiert zu sein. Dieses Ergebnis ermöglichte es, einzuschätzen, wie viele potenzielle Nutzer eines Fahrgemeinschaft-Dienstes mit Elektrofahrzeugen es auf den drei nach Luxemburg verlaufenden Verkehrskorridoren unter 4.531 Personen gibt, und auf dieser Grundlage die Dimensionierung der „eHubs“ nach geografischen Gebieten vorzunehmen.

- Metz – Thionville – Luxemburg: 9,1 % der Pendler, das entspricht 2.747 Personen
- Merzig – Luxemburg: 10,4 % der Pendler, das entspricht 749 Personen
- Trier – Luxemburg: 11,4% der Pendler, das entspricht 1.035 Personen

Bei einer Besetzung mit 2,34 Personen pro Fahrzeug beliefe sich die Gesamtzahl der für die drei Verkehrskorridore benötigten Elektrofahrzeuge auf 2.225.

3. Die Zahl der auf einer Park-and-Ride-Anlage benötigten Elektrofahrzeuge ist morgens und abends aufgrund der stark variierenden Abfahrt- und Rückkehrzeiten unterschiedlich

Es zeigt sich, dass die Zeiten, zu denen die Pendler von zu Hause abfahren, um zu ihrem Arbeitsplatz zu gelangen, relativ konstant sind, wohingegen die Zeiten, zu denen sie nach Hause zurückfahren, aufgrund der im Laufe des Arbeitstages auftretenden Zwänge stärker schwanken. Hieraus ergibt sich eine starke Differenz bei der Zahl der Elektrofahrzeuge, die für ein und denselben eHub morgens und abends benötigt werden.

Vor diesem Hintergrund kann das Instrument „eFleet Management“ als Entscheidungshilfe dienen. Zum einen gibt es die Zahl der morgens und abends für die einzelnen eHubs benötigten Fahrzeuge an und zum anderen ermöglicht es auf diese Weise, einem Betreiber von Mobilitätsdiensten, die notwendigen Anpassungen der Fahrzeugflotte vorzunehmen.

4. Die unmittelbare Nähe der eHubs zu Autobahnzubringern und anderen Knotenpunkten wirkt sich positiv auf den Verkehrsfluss aus

Angesichts dessen, dass die Fahrtdauer ein wichtiges Kriterium für die Pendler ist, wurde mit den Simulationen von Verkehrsflüssen gezeigt, dass die Ansiedlung der eHubs in unmittelbarer Nähe der großen Verkehrsachsen zu einem besseren Verkehrsfluss und damit zu einer Verringerung der Fahrtdauer führt. Allerdings ist in diesem Zusammenhang anzumerken, dass der erwartete Erfolg der eHubs durch Rückstauungen an den Autobahnausfahrten, die zu den eHubs führen, auch Staus

verursachen könnte, wenn die Dimensionierung der Zubringer und Kreisel nicht angepasst wird.

5. Die Umsetzung des „ELEC'TRA“-Angebots mit dem gesamten Potenzial an Nutzern würde es ermöglichen, die Zahl der Autos zu verringern und damit den Verkehrsfluss zu verbessern

Laut den Ergebnissen der Simulation würde die Nutzung der auf Elektroautos beruhenden Fahrgemeinschaften durch alle 9% bis 11 % der betroffenen Pendler dazu beitragen, die Zahl der Autos auf den nach Luxemburg verlaufenden Verkehrskorridoren in den Stoßzeiten um rund 3.000 zu senken und die durchschnittliche Geschwindigkeit des Verkehrs je nach Verkehrskorridor um 7 bis 15 km/h zu erhöhen.

4.1.2. Empfehlungen

Auf der Grundlage der Ergebnisse, die sich aus der Auswertung der bislang größten Umfrage unter den Pendlern in der Großregion ergeben, und dank eines wissenschaftlichen und konzertierten Ansatzes, ermöglichen es die im Rahmen des Projekts durchgeführten Analysen und entwickelten Simulationsinstrumente, zu folgenden Punkten Empfehlungen abzugeben:

1. Ansiedlung der eHubs in den einzelnen geografischen Gebieten entsprechend den untersuchten Verkehrskorridore

Auf der Grundlage der Auswertung der Umfragen zum Nutzerverhalten ermöglicht es das Instrument zur Flottensimulation „eFleet Management“, nach geografischen Gebieten das Potenzial der Pendler zu ermitteln, für die Fahrgemeinschaften mit Elektrofahrzeugen von Relevanz sind, und somit auch die Zahl der in dem jeweiligen Gebiet benötigten Elektrofahrzeuge festzulegen. Bei diesen Fahrzeugen kann es sich um Autos mit 4-5 Plätzen oder auch um größere Elektrostraßenfahrzeuge handeln, falls dies die Zahl der Pendler, die auf ein und derselben Strecke zu einer bestimmten Uhrzeit unterwegs sind, rechtfertigt. Das Flottensimulationsinstrument „eFleet Management“ ermöglicht es des Weiteren, mehrere eHubs mit geringerer

Kapazität an verschiedenen Orten in ein und demselben Gebiet anzusiedeln, um die Elektrofahrzeuge entsprechend den verfügbaren Parkplätzen zu verteilen.

2. Dimensionierung der eHubs entsprechend der Zahl von Plätzen für Elektrofahrzeuge

Das Instrument zum Parkplatzmanagement „eParking Management“ ermöglicht es, die Pkw der Pendler und die Elektrofahrzeuge des Fahrgemeinschaft-Dienstes entsprechend den verfügbaren Stellplätzen und dem Ladebedarf der Elektrofahrzeuge im Hinblick auf ihre nächste Fahrt zu verteilen.

3. Menge und Management der pro eHub benötigten Energie

Die Nutzung zahlenmäßig umfangreicher Flotten von Elektrofahrzeugen ist mit einem potenziell großen Bedarf an Energie verbunden, die für das Laden aller Fahrzeuge benötigt wird. Um diese Energiemenge an einem eHub zu optimieren, lässt sich mit dem Simulationsinstrument „eNergy Management“ im Sinne einer intelligenten Steuerung der Ladevorgänge die Energiemenge abschätzen, die für die jeweils nächste Strecke der einzelnen Fahrzeuge sinnvoll ist. Da die Fahrzeuge hauptsächlich nachts aufgeladen werden, verhält es sich so, dass die eHubs auf französischer und deutscher Seite umfangreichere Ressourcen für das Aufladen benötigen als die luxemburgischen eHubs.

Mit dem Instrument „eNergy Management“ ist es darüber hinaus problemlos möglich, die erneuerbaren Energiequellen zu integrieren und zu steuern.

4.1.3. Grenzen des Projekts

1. Verbindung mit den öffentlichen Verkehrsmitteln

Es war nicht möglich, die Verbindung mit den öffentlichen Verkehrsmitteln zu simulieren. Grund hierfür war insbesondere die Tatsache, dass in dem Modell weder die Flexibilität der Pendler noch die Fahrpläne der öffentlichen Verkehrsmittel berücksichtigt werden konnten. Dementsprechend war es auch nicht möglich, die Art und Weise zu simulieren, wie sich die Nutzer zwischen den eHubs, an denen sie

ankommen, und den verschiedenen Arbeitsorten fortbewegen könnten. Dieser Aspekt könnte Gegenstand einer ergänzenden Studie bei einer Weiterführung des Projekts sein und Anpassungen der Dimensionierung der eHubs zur Folge haben.

2. Kein betriebswirtschaftlicher Ansatz für die Elektromobilitätsdienste

Die Art der Umfrage zum Nutzerverhalten und die Entscheidung für eine technische Herangehensweise an die Problematik der Mobilität der Grenzgänger haben es nicht ermöglicht, ein betriebswirtschaftliches Modell für den Aufbau eines Netzes von eHubs festzulegen. Die Ergebnisse der Umfragen zum Nutzerverhalten und der Simulationen bedürften einer Abstimmung mit Anbietern in den Bereichen Mobilität und Energiemanagement auf dem gesamten betroffenen Gebiet.

3. Verkehrsflüsse auf der Ebene der Großregion

Die Umfragen zum Nutzerverhalten bezogen sich ausschließlich auf die Verkehrskorridore zwischen den Gebieten der Partner des Projekts. Um sich ein umfassendes Bild von den Verkehrsflüssen und den Parkmöglichkeiten zu machen (vor allem in Luxemburg), müsste die Untersuchung auf die Gebiete der Großregion ausgeweitet werden, die nicht von dem Projekt ELEC'TRA abgedeckt werden.

4.1.4. Möglichkeiten der Weiterverfolgung: ein Projekt ELEC'TRA 2 im Rahmen von Interreg V-A Großregion?

Das Forschungsprojekt „ELEC'TRA“ hat es ermöglicht, mehr über die Nutzungsgewohnheiten der Grenzgänger in den Partnergebieten sowie über ihre Erwartungen hinsichtlich eines möglichen Fahrgemeinschaft-Dienstes mit Elektrofahrzeugen als Ergänzung zu den öffentlichen Verkehrsmitteln zu erfahren. Die entwickelten Simulationsinstrumente „eFleet Management“, „eParking Management“ und „eEnergy Management“ haben einen pragmatischen Ansatz für die Planung und Dimensionierung eines Netzes von „eHubs“ ermöglicht, mit dem eine Antwort auf die Forschungsfragen des Projekts gegeben werden kann.

Eine Weiterführung des Projekts ELEC'TRA könnte im Rahmen des Programms INTERREG V-A Großregion erfolgen, und zwar mit einer Ausweitung auf die bislang nicht in das Projekt einbezogenen Gebiete.

Ein neues Projekt könnte anhand folgender Etappen ausgerichtet werden:

- Die Umfragen zum Nutzerverhalten ergänzen und die Simulationsinstrumente „eFleet Management“, „eParking Management“ und „eEnergy Management“ optimieren
- Den rechtlichen Rahmen eines internationalen Projekts zum Aufbau von eHubs festlegen
- Die möglichen Finanzierungsquellen, ausgehend von einem aufzustellenden Geschäftsmodell, ermitteln
- Die Möglichkeiten für einen Anschluss an die öffentlichen Verkehrsmittel bestätigen

4.2. Lessons learnt

Hinsichtlich der eingangs untersuchten Analysen und Studien ließ sich feststellen, dass sich die Erhebungsmethoden in Luxemburg, Frankreich und Deutschland sehr deutlich voneinander unterscheiden. Ebenso waren einige Datengrundlagen, zum Beispiel bei der Erfassung der sozialversicherungspflichtig Angestellten, in Deutschland vorhanden, wiederum in Frankreich aber nicht oder mit einer anderen Methodik erhoben.

Im Verlauf des Projekts gab es mehrfach ungeplante, teils externe, Verzögerungen. Während der systematischen Erfassung der bereits existierenden Studien war es nicht immer sofort möglich, diese zu erhalten. Teils formelle Verfahren mussten eingehalten werden und bedurften einer Bearbeitungszeit.

Weitere Verzögerungen traten im Zusammenhang mit der Umfrage bzw. deren Vorbereitung ein. So hat das Ausschreibungsverfahren mehr Zeit in Anspruch genommen als geplant, vor allem aufgrund von administrativen und rechtlichen Fragen (Eigentum an den Daten und grenzüberschreitende Auswertung). Zudem fand zu dieser Zeit ein Regierungswechsel in Luxemburg statt. Auch der Zugriff auf die IGSS-Daten war nur durch einen langwierigen Prozess möglich. Die Zusicherung sämtlicher Datenschutzauflagen war von hoher Wichtigkeit für alle beteiligten Partner, was jedoch die Übersetzung sämtlicher Anträge und Formulare in die jeweiligen Landessprachen nach sich zog. Der Transfer der Daten durch die IGSS an das Befragungsunternehmen Infas benötigte weitere sechs Wochen. Einen hohen Zeitaufwand benötigte der Abstimmungsprozess bei der Erstellung der Fragebögen, Anschreiben, Datenschutzblätter und der Homepage. Insbesondere der genaue Wortlaut und die Übersetzung (sämtliche Unterlagen mussten zweisprachig ausgeführt werden) nahmen mehrere Wochen in Anspruch. Nicht vorhersehbare Ereignisse wie die um eine Woche verzögerte Zustellung der Anschreiben an die französischen Pendler, bedingt durch Zustellungsmodalitäten der Post, verursachten zusätzliche Probleme.

Zuletzt gab es Verzögerungen durch die Bereitstellung der Befragungs-Datensätze. Hier waren Nacharbeiten vonnöten, um sowohl den Verträgen gerecht zu werden als auch den Projektpartnern ihre weitere Arbeit zu ermöglichen. Diese Verzögerung war vor allem für die Aktion 3 hinderlich, da deren Simulation auf den dann durch imove voranalysierten Umfrageergebnissen basiert.

Die vielfachen Gründe für Zeitverzögerungen im Projektverlauf lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Datenschutz
- Mehrsprachige Unterlagen inkl. Übersetzungen
- Unvorhersehbare externe und nicht beeinflussbare Ereignisse

Quellen

1. Arbeitsgruppe „Statistik“ (2013) : Statistische Kurzinformationen 2013, S. 33 – In : Die statistischen Ämter der Großregion (Hrsg.) : Statistik Großregion
2. Balmer, M. (2007). Travel demand modeling for multi-agent transport simulations: Algorithms and systems (Doctoral dissertation, ETH Zurich).
3. BDEW (2012): Standardlastprofile, <http://www.eon-mitte.com/de/netz/veroeffentlichungen/strom/standardlastprofil-verfahren/standardlastprofile> (zuletzt abgerufen am 4. April 2014).
4. Berkel, F. (2012): Hierarchische modellprädiktive Regelung von Smart Microgrids mit Elektrofahrzeugen, Diplomarbeit, FB Elektro-und Informationstechnik, TU Kaiserslautern.
5. BMVBS (2012): Elektrofahrzeuge als Ergänzung zu Bus, Bahn und Rad – Für wen ist integrierte Mobilität attraktiv?
6. BMWI (2015): <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/Industrie-und-Umwelt/elektromobilitaet,did=575152.html> (Zugriff am 11.03.2015)
7. Bradley, M.; Bowman, J.; Griesenbeck, B. (2010): SACSIM: An applied activity-based model system with fine-level spatial and temporal resolution, *Journal of Choice Modelling*, Volume 3, Issue 1, Pages 5-31, ISSN 1755-5345
8. Bruglieri, M.; Coloni, A.; Luè, A: (2014) The Vehicle Relocation Problem for the One-way Electric Vehicle Sharing: An Application to the Milan Case, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 111, Pages 18-27, ISSN 1877-0428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.034>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042814000354>)
9. Clement-Nyns, K.; Haesen E.; Driesen J.: „The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid, *IEEE Transactions on Power Systems*“, Band 25, Nr. 1, S. 371–380.
10. CEPS (2012) : Die Mobilität der in Luxemburg beschäftigten Grenzgänger : Dynamik und Perspektiven - In : Schmitz et al : Les Cahier du CEPS/INSTEAD. Geographie und Entwicklung. Luxemburg
11. Fishwick, P. (1995): *Model Design and Execution: Building Digital Worlds* (1st ed.). Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA.
12. Gan, L.; Topcu, U.; Low, S. (2011): Optimal decentralized protocol for electric vehicle charging, in *Proceedings of the 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference (CDC/EECC)*.
13. IGSS (2013): "Evolution du nombre de frontaliers (salariés et non-salariés) par commune de résidence", www.isog.public.lu (accessed 23 July 2013)

14. Kriszan, A; Nienaber, B. (2013): Entgrenzte Lebenswelten. Wohn- und Arbeitsmigration als Ausdruck transnationaler Lebensentwürfe im deutsch-luxemburgischen und deutsch-polnischen Grenzraum. – In: Raumforschung und Raumordnung, Jg. 71, H. 3, S. 221-232
15. Kumar, K. (2014): Development and Analysis of an Integrated Parking and Energy Management for Parking areas with Electric Vehicles, Masterarbeit, FB Elektro-und Informationstechnik, TU Kaiserslautern.
16. Lu, J. (2013): Entwicklung eines Energiemanagementsystems für Parkplätze mit Elektrofahrzeugen, Bachelorarbeit, FB Elektro-und Informationstechnik, TU Kaiserslautern.
17. MDDI (2012): Globale Strategie für eine nachhaltige Mobilität. Für Einwohner und Grenzgänger. Informationsbroschüre. S. 5 ff
http://www.mt.public.lu/planification_mobilite/1strategie_modu/Informationsbroschuere_MoDu.pdf (Zugriff am 23.07.2013)
18. MiD - Mobilität in Deutschland (2008): Alltagsverkehr in Deutschland
19. SMA (2012), Sunnyportal, <http://www.sunnyportal.de/> (zuletzt abgerufen am 4. April 2014).
20. Smith, L., Beckman, R. Baggerly, K.; [and others] (1995): TRANSIMS: Transportation Analysis and Simulation System. United States. doi:10.2172/88648.
<http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/88648>.
21. Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) (2010): "Elektrofahrzeuge: Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf", Studie, April 2010, <http://www.vde.com/de/InfoCenter/Seiten/Details.aspx?eslShopItemID=21f73d14-ad26-4188-a62e-0793af440806>.
22. Von der Ruhren, S. et al.. (2003): <http://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/353986/> (accessed on 1 February 2015)
23. Wille, C. (2012): Grenzgänger und Räume der Grenze. Raumkonstruktionen in der Großregion SaarLorLux. S. 114 ff. – In: Gilles et al: Luxemburg-Studien. Peter Lang Verlag. Frankfurt.
24. Williams, H.P. (1999): Model Building in Mathematical Programming. Chichester, Großbritannien: John Wiley & Sons Ltd.

Anhang

Forschungsfragen:

1. Wo ergibt ein eHub Sinn?

- Dichte der Arbeits- und Wohnorte
- Was ist die "kritische Masse" hinsichtlich der Anzahl der Nutzer?
- Wo ist die derzeitige Infrastruktur und was sind deren Merkmale?
 - *Elektrizität, Transport, Landbesitz*
- Was sind die Minimal-Kriterien, um einen eHub zu platzieren?
- Welche Verkehrsbeziehungen gibt es?
 - Anzahl
 - Beziehungen
 - Verteilung der Fahrtzeiten
- Welche (Sekundär-)Daten sind verfügbar?
 - Mikrozensus?
 - Sozialversicherte Pendler

2. Welche Eigenschaften und welchen Service sollten diese anbieten? Was ist ein angemessenes Design? (Technisch, Größe, ...)

- Welche Arten von "Pendler-Profilen" gibt es? (Verhalten)
- Warum pendeln Menschen in der Region?
 - Was ist deren Motivation, was deren Probleme?

3. Was sind die Erwartungen der Pendler bezüglich der Mobilität? Was sind deren Sensibilitäten? (z.B. Preis, Zeit, ...)

- Was sind die Vorteile eines eHubs?
- Push und Pull-Faktoren?
- Wie erhält man Zugriff auf "Das System"?
 - Tarife → Kombination
 - Qualität der Services
- Wie kann Interoperabilität zugesichert werden?
 - *Technisch Action Nr. 3*
 - *Design, Betrieb, ... → Action Nr. (1), 2*
 - *Was sind die Minimum-Kriterien, der Interoperabilität? (Stecker, Parken, ..)*
 - *Wie werden die Nutzer koordiniert?*
 - *Was ist angemessen?*
 - *Was ist notwendig?*
- How to make the eHub-network user-friendly?

4. Was sind nationale Rahmenbedingungen? (Politisch, Ökonomisch, Organisatorisch, Juristisch)

- Wo sind Restriktionen? (Landnutzung, Umwelt, ...)
- Welche Regelungen gibt es? (Infrastruktur, Energie, Märkte, Betreiber, Sicherheit, Finanziell)
- Was sind die Standards? → Action Nr. 3
- Was sind die nationalen Strategien/Projekte hinsichtlich der Elektromobilität?

5. Welche sind die Hauptakteure und welche Interessen vertreten diese?

- Was ist die Wertkette? (eines eHubs)
- Wer könnte ein Investor sein, wer ein Betreiber?
- Wer wird Nutzer sein?
- Wer wird die Zielgruppe für Befragungen sein (Ziel-/Fokusgruppe)
- Welche „best practise“-Beispiele gibt es?
 - National
 - EU

Table 1: Übersicht untersuchter Literatur

Agence d'urbanisme et de développement durable Lorraine Nord (ohne Datum): Etude mobilité sur l'agglomération transfrontalière Alzette-Belval – Cahier 02 et 03
Agentur für Arbeit des Saarlandes (2010): Personalmanagement und Demografie. Was erwartet den Saar-Lor-Lux Raum?
Arbeitsgruppe Verkehr der Großregion (2008): Multimodale Verkehrsstudie im Raum der Großregion - 1. Phase
Bläser, R. & Wille, C. (2009): Grenzgänger im Großherzogtum Luxemburg. - in: Geographische Rundschau 2009, Heft 61, S. 36-42
Carpentier, S., [Hrsg.]; Bousch, P. (2010): Die grenzüberschreitende Wohnmobilität zwischen Luxemburg und seinen Nachbarregionen. – in: CEPS Luxemburg, Schriftenreihe „Forum Europa“, No.6
CEPS (2008): Cartographie de l'expansion de l'aire métropolitaine transfrontalière de Luxembourg
CEPS (2012): La mobilité des frontaliers du Luxembourg: dynamiques et perspectives
Conseil Général de la Moselle (2012): Moselle Nouvelles Mobilités : Assistance à maîtrise d'ouvrage pour la mise en oeuvre d'un projet de fluidification de la circulation sur l'autoroute A31 entre Metz et la frontière luxembourgeoise reposant sur les nouvelles mobilités et les véhicules électriques
CRP Henri Tudor / CEPS (2013): ZAC e-movin
Del Fabro, M. (2008): Berufsverkehr Trier-Luxemburg: Status Quo und mögliche Effekte diskutierter Maßnahmen auf die räumlichen Strukturen der Konkurrenzfähigkeit öffentlicher Verkehrsmittel im Bereich Kosten und Erreichbarkeit (Diploma Thesis)
EURES Transfrontalier Saarland-Lothringen-Luxemburg-Rheinland-Pfalz (SLLR) (2005): Mobilitätsreport Saar-Lor-Lux, Rheinland-Pfalz
Eurodistrict SaarMoselle (2010): ÖPNV in der Metropole Saarbrücken-Moselle Est - Analyse des heutigen Verkehrsangebotes und der Verkehrsnachfrage
Eurodistrict SaarMoselle (2011): ÖPNV in der Metropole Saarbrücken-Moselle Est. Verkehrsplan
IEE - Intelligent Energy Europe (2011): Project MoMo (More options for energy efficient mobility through Car-Sharing)
Institut für angewandte Sozialwissenschaft (INFAS), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) (2010): Mobilität in Deutschland 2008 (MiD 2008) - Ergebnisbericht
juwi, GIP AG, Frosys GmbH, IWES, imove (2011): „Stromparkplätze für Elektrofahrzeuge – Konzepte, Prüfstand und Pilotanlage“
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (2012): Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – wissenschaftliche Begleitung und erste Auswertungen. Alltagsmobilität und Tankbuch
Kompetenzzentrum Ländliche Mobilität (2013): Project InMod - Elektromobil auf dem Land
Koordinierungsausschuss (KARE) der Großregion (2013): Vorrangige Verkehrsprojekte im Hinblick auf die metropolitane Entwicklung der Großregion
Löh, C. (2011): Wer sind die Grenzgänger der Grossregion?
MDDI (2008): SMOT – DIAGNOSTIC SOCIOECONOMIQUE ET ANALYSE DE LA MOBILITE TRANSFRONTALIERE
MDDI (2011): Etude technico-économique pour la mise en oeuvre nationale de l'électro-mobilité au Luxembourg
MDDI (2012): La centralité urbaine au Luxembourg: analyse et perspectives
MDDI (2012): Regionales und grenzübergreifendes P+R-Konzept
MDDI (2012): Stratégie de mobilité « MoDu »
Verkéiersverbond / MDDI (2012): Optimierung des Regionalbusnetzes im Großherzogtum Luxemburg
Verkéiersverbond (Cdt) (2013): Plan de mobilité Kirchberg et Plan de mobilité Belval
Wille, C. & Ohnesorg, S. (2005): Grenzgänger und grenzüberschreitender Arbeitsmarkt in der Großregion

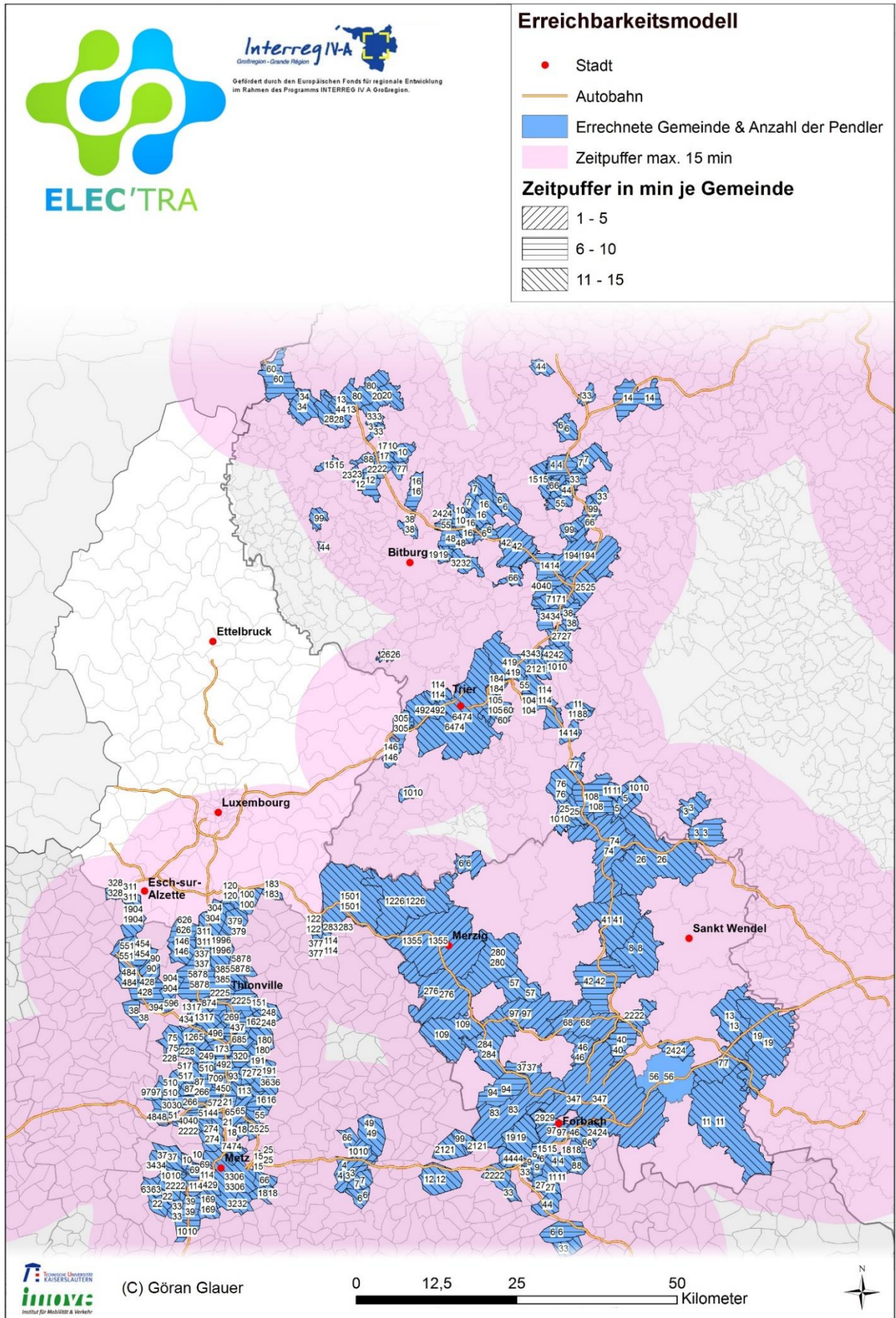


Abbildung 69: Erreichbarkeitsmodell

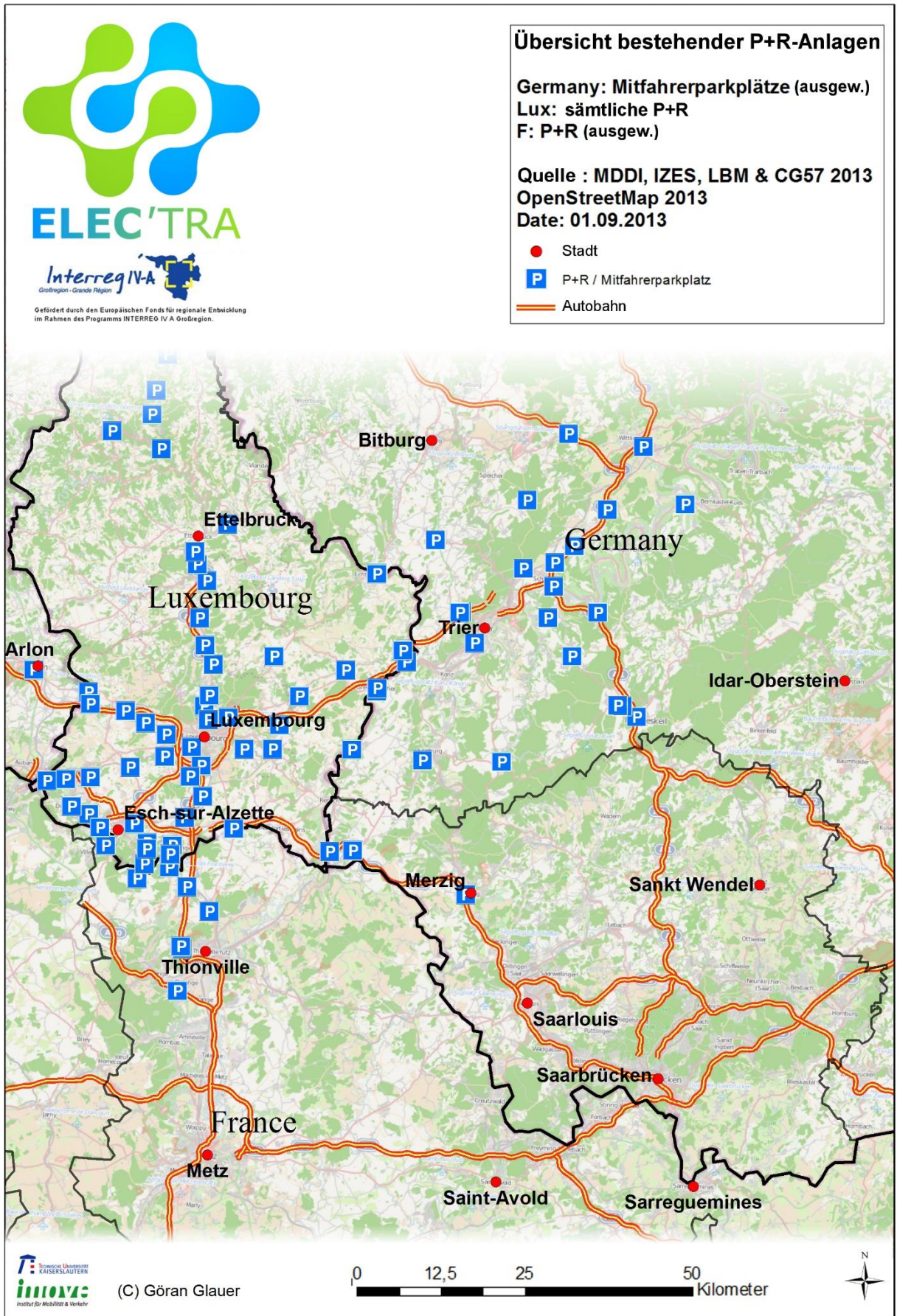


Abbildung 70: Sekundärdaten: P+R-Anlagen

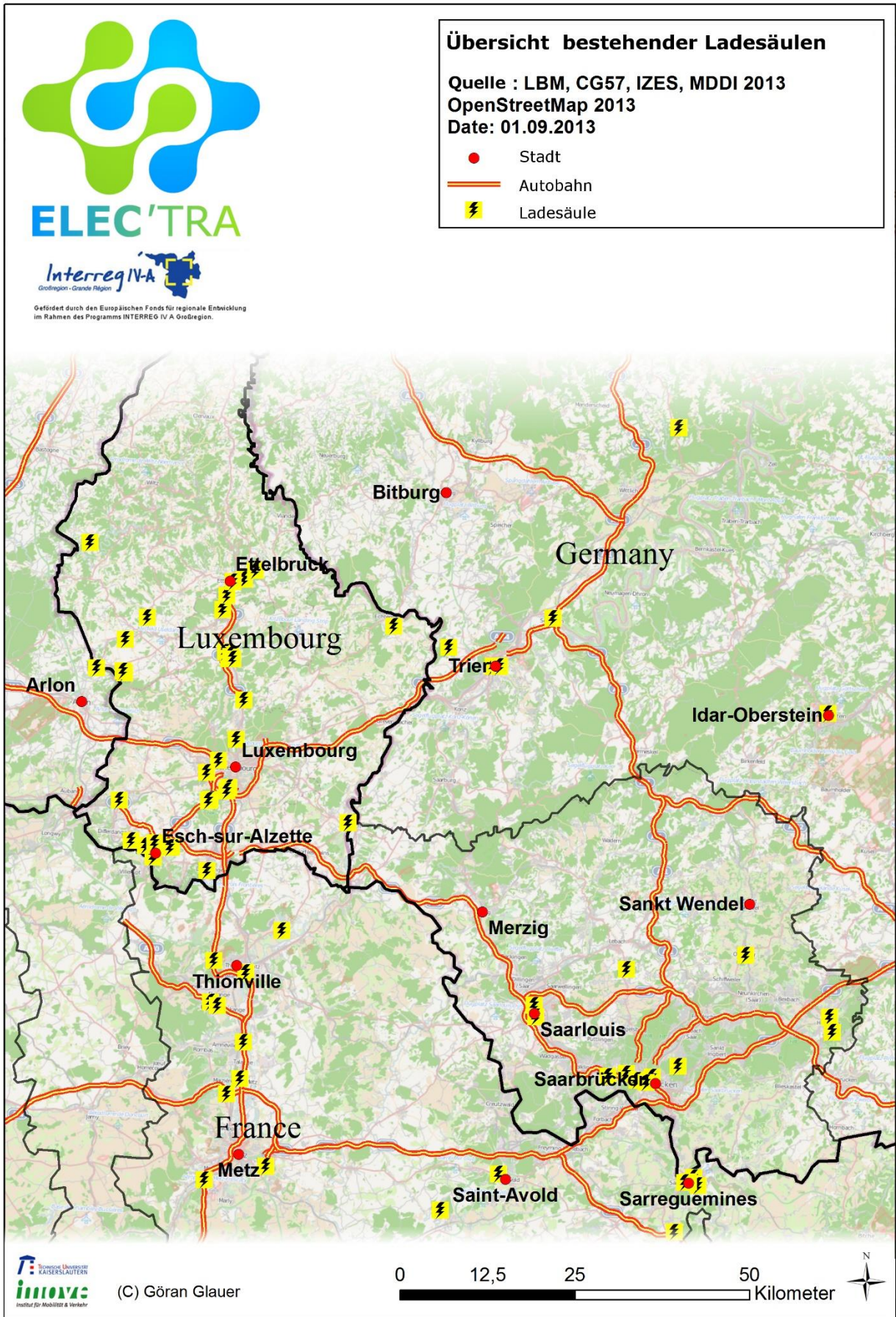


Abbildung 71: Sekundärdaten: Ladesäulen

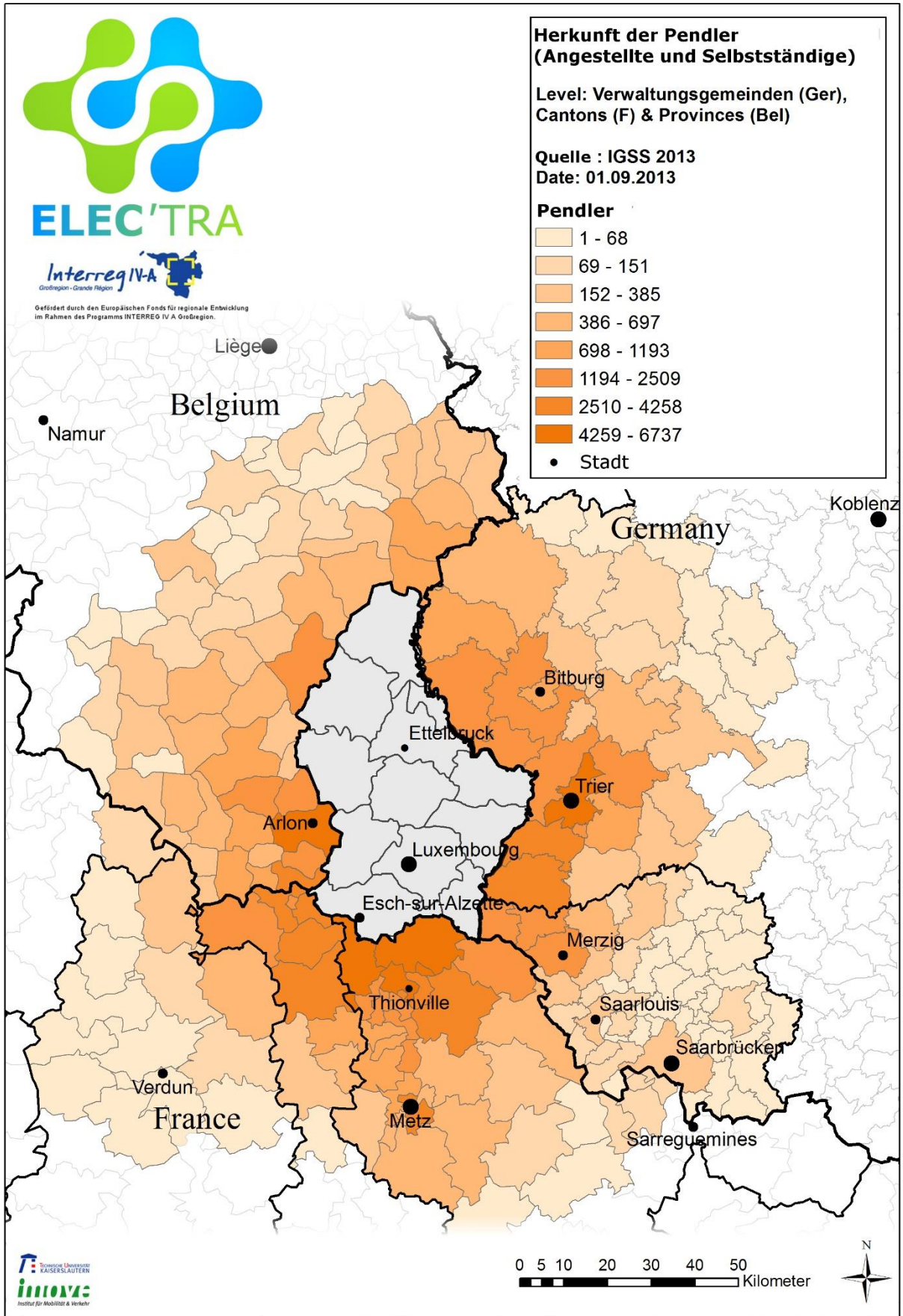


Abbildung 72: Sekundärdaten: Wohnorte der Pendler nach IGSS

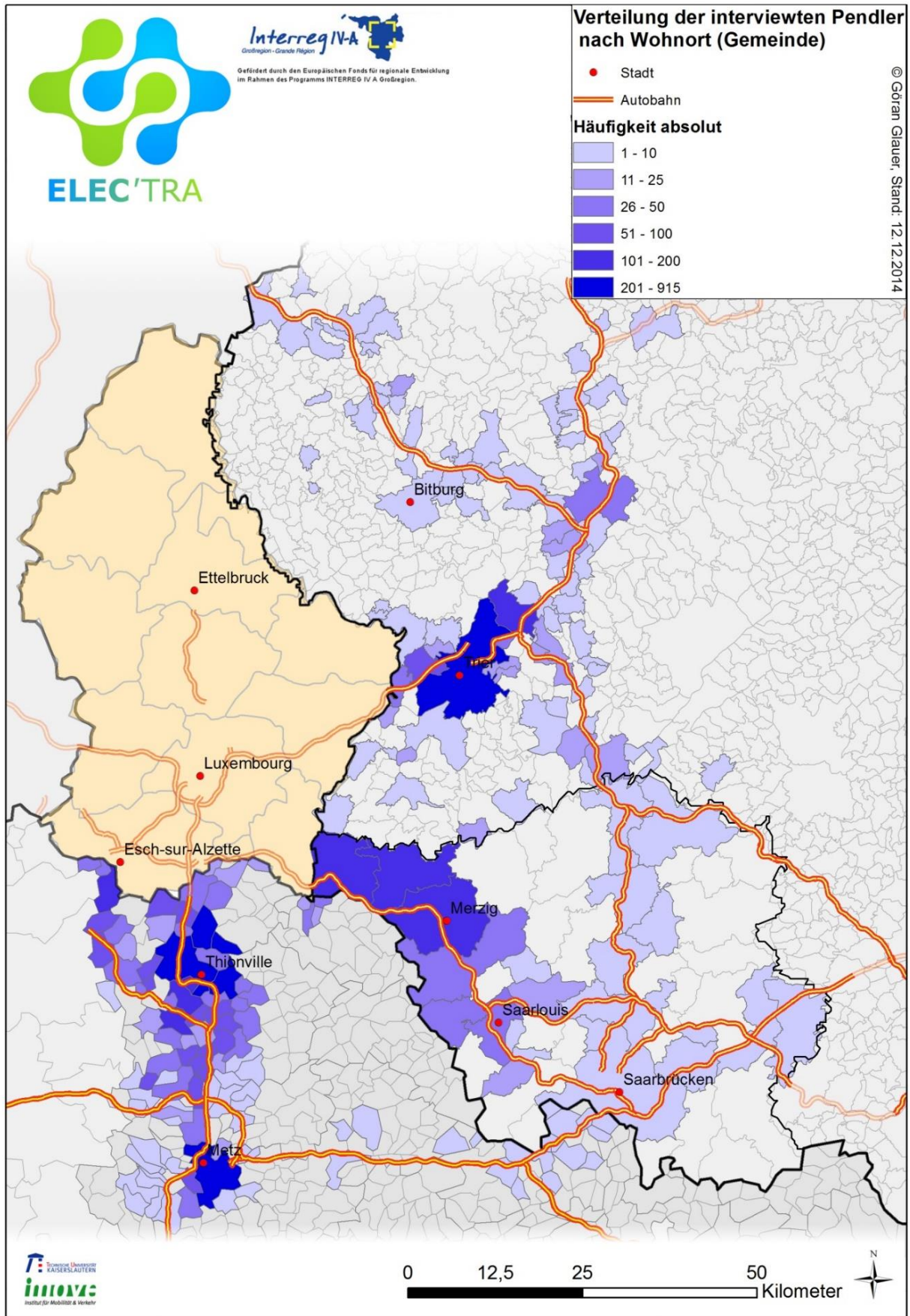


Abbildung 73: Verteilung der befragten Pendler nach Wohnort