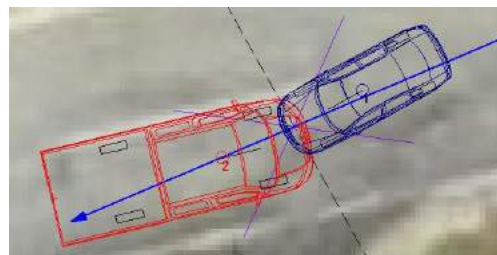


SynArea

Synergetische Flächenerschließung mit Öffentlichem Verkehr und niederschwelligem Kurzstrecken-Individualverkehr

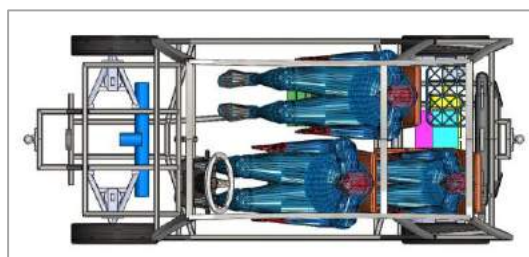
Inhaltlicher Abschlussbericht



ÖBB
SCOTTY
SCOTTY – der Routenplaner für Öffis.

➔ Wasenbruck Ortsmitte
Bruck/Leitha 

➔ Wasenbruck Ortsmitte
Bruck/Leitha 



Ein Projekt finanziert vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen der 2. Ausschreibung des Programms **Mobilität der Zukunft** / Personenmobilität



Projektteam:

- Harald Buschbacher (ÖBB-PV AG)
harald.buschbacher@pv.oebb.at
+43 664 6179725
- Gerald Kelz (AMSD KG)
kelz@amsd.at
+43 699 12734679
- Edith Hartmann (Spirit Design)
edith.hartmann@spiritdesign.com
+43 1 367 79 79-35
- Stefan Kirschbichler (TU Graz)
stefan.kirschbichler@tugraz.at
+43 664 884 188 62
- Christian Obermayer (komobile w7 GmbH)
christian.obermayer@komobile.at
+43 1 89 00 681 31



1. EINLEITUNG	6
1.1. ZIELSETZUNG UND AUFGABENSTELLUNG	6
1.2. WICHTIGSTE ARBEITSSCHRITTE	6
1.3. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	7
2. ERHOBENE RAHMENBEDINGUNGEN	8
2.1. BEISPIELREGIONEN	8
2.1.1. <i>Nördliches Wiener Becken</i>	8
2.1.2. <i>Mittelburgenland</i>	10
2.1.3. <i>Erläuterungen zur Regionsauswahl und -abgrenzung</i>	12
2.2. STAND DER FAHRZEUGTECHNIK	13
2.2.1. <i>Einleitung</i>	13
2.2.2. <i>Stand-der-Technik-Recherche: Ausgangspunkt Pkw</i>	13
2.2.2.1. Technischer Vergleich der Fahrzeuge	13
2.2.2.2. Eigenschaften der Fahrzeugklassen	15
2.2.2.3. Zusammenfassung	16
2.2.3. <i>Stand-der-Technik-Recherche: Ausgangspunkt Fahrrad</i>	16
2.3. FAHRZEUGKLASSEN UND GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN	17
2.3.1. <i>Einleitung</i>	17
2.3.2. <i>Gesetzliche Rahmenbedingungen</i>	17
2.3.2.1. Überblick der Fahrzeugklassen	17
2.3.2.2. Führerscheinklassen	19
2.3.2.3. Technische Eigenschaften der Fahrzeugklassen	21
2.3.2.4. Anhängerklassen	23
2.3.3. <i>Neuerungen durch die VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013</i>	25
2.3.3.1. Fahrzeugeinstufung	25
2.3.3.2. Anforderung für die Typgenehmigung	28
2.3.3.3. Stückzahlen der Kleinserien	30
2.3.3.4. Zeitplan für die Anwendung dieser Verordnung auf die Typgenehmigung	31
2.3.3.5. Umweltprüfungen und -anforderungen	31
2.3.3.6. Geräuschgrenzwerte — Euro 4 und Euro 5	32
2.3.3.7. Funktionale Sicherheit	33
2.3.3.8. Erläuterungen zu den Abschnitten 3.1 bis 3.7	34
2.3.4. <i>Geeignete Fahrzeugklassen</i>	36
2.3.5. <i>Technische Anforderungen an das Fahrzeug</i>	38
2.3.5.1. Umweltverträglichkeit und Antriebsleistung	38
2.3.5.2. Funktionale Sicherheit des Fahrzeugs	38
2.3.5.3. Fahrzeugauslegung und Typgenehmigung	39
2.3.6. <i>Bremsen</i>	40
2.3.7. <i>Koppeln von Fahrzeugen</i>	42
2.3.8. <i>Zusammenfassung</i>	42
2.4. ERREICHBARE MARKTSEGMENTE UND ANWENDUNGSFÄLLE	43
2.5. UNFALLGESCHEHEN IN DEN BEISPIELREGIONEN	46
2.5.1. <i>Unfallhaupttypen Nördliches Wiener Becken</i>	47
2.5.2. <i>Unfallhaupttypen Mittelburgenland</i>	49
2.5.3. <i>Relevante Unfalltypen</i>	50
2.5.3.1. Relevante Unfalltypen Nördliches Wiener Becken	51
2.5.3.2. Relevante Unfalltypen Mittelburgenland	52
3. ENTWORFENES VERKEHRSANGEBOT	54
3.1. PLANMÄßIGER ÖFFENTLICHER VERKEHR UND LEIHSTELLENNETZ	54
3.1.1. <i>Einleitung und methodische Vorgehensweise</i>	54
3.1.2. <i>Nördliches Wiener Becken</i>	59
3.1.3. <i>Mittelburgenland</i>	64

3.2.	FAHRZEUGLEIHSYSTEM.....	69
3.2.1.	<i>Fahrzeuge</i>	69
3.2.1.1.	Einleitung.....	69
3.2.1.2.	Fahrzeuglastenheft.....	69
3.2.1.3.	Ideenentwicklung Fahrzeugkonzeption.....	72
3.2.1.4.	Fahrzeugentwicklung.....	99
3.2.1.6.	Sparvarianten	114
3.2.1.1.	Zusammenfassung.....	118
3.2.2.	<i>Leihstellen</i>	118
3.2.2.1.	Variante 1 – gerade Anordnung der Fahrzeuge.....	118
3.2.2.2.	Variante 2 – kreisförmige Anordnung der Fahrzeuge.....	119
3.2.2.3.	Variante 3 – Doppelpack	121
3.2.2.4.	Variante 4 – klassisches Parken.....	122
3.2.2.5.	Zusammenfassung.....	123
3.2.3.	<i>Service- und Usabilitykonzept</i>	123
3.2.3.1.	Information	123
3.2.3.2.	Unterschiedliche Verwendungsmodi gemäß Fahrtüchtigkeit	124
3.2.3.3.	Registrierung	124
3.2.3.4.	Reservierungen.....	126
3.2.3.5.	Fahrzeugentnahme und -rückgabe.....	126
3.2.3.6.	Navigationssystem.....	127
3.2.3.7.	Abrechnung und Bezahlung.....	127
3.2.3.8.	Störungsmanagement	128
3.2.4.	<i>Preismodell</i>	129
3.2.4.1.	Einzelfahrten (selbst gelenkt)	129
3.2.4.2.	Zeitkartenabonnements	132
3.2.4.3.	Fair-Use-Regelungen und Effizienzreize	135
3.2.4.4.	Zusammenfassung.....	137
3.3.	BEDARFSGESTEUERTER MIKRO-ÖV	138
3.3.1.	<i>Funktionsweise</i>	138
3.3.2.	<i>Preismodell</i>	138
3.4.	BUSINESS-MODEL UND ARBEITSTEILUNG BEI DER BEREITSTELLUNG VON LEIHSYSTEM & MIKRO-ÖV	139
3.4.1.	<i>Erforderliche Teilleistungen und verwandte Aktivitäten</i>	139
3.4.2.	<i>Koordination und gemeinsame Finanzierung von SynArea und öffentlichem Verkehr</i>	139
3.4.3.	<i>Mögliche Synergien bei der Bereitstellung des SynArea-Angebots</i>	140
3.4.3.1.	Exkurs: Wettbewerb um die Systemintegratorrolle im öffentlichen Verkehr	141
3.4.4.	<i>Vorgeschlagenes Anbietermodell</i>	143
4.	MACHBARKEIT UND BEITRAG ZUR ERREICHUNG GESELLSCHAFTLICHER ZIELE	144
4.1.	AKZEPTANZ DURCH POTENZIELLE NUTZERINNEN	144
4.2.	AUSWIRKUNGEN AUF DAS VERKEHRSGESCHEHEN	147
4.2.1.	<i>Methodenauswahl, Modellaufbau und -kalibrierung</i>	147
4.2.1.1.	Ausganglage und Methodenwahl.....	147
4.2.1.2.	Modellaufbau und -kalibrierung.....	150
4.2.1.3.	Abschätzung einer theoretischen Car-Sharing-Nachfrage.....	157
4.2.1.4.	Modellerweiterungen und Vorbereitungen für die Modellierung der Planfälle	158
4.2.2.	<i>Ergebnisse des Werktagsmodells</i>	162
4.2.2.1.	Verkehrsmittelwahl und Weglängenverteilungen.....	162
4.2.2.2.	Verkehrsumlegung, Netzbelastungen und abgeleitete Ergebnisse	165
4.2.3.	<i>Räumlich-zeitliche Verteilung der Leihfahrzeuginanspruchnahme</i>	170
4.2.4.	<i>Jahreshochrechnung und räumliche Abgrenzung</i>	174
4.3.	AUSWIRKUNGEN AUF EMISSIONEN VON CO ₂ UND LOKALEN LUFTSCHADSTOFFEN	175
4.4.	AUSWIRKUNGEN AUF DIE ERREICHBARKEITVERHÄLTNISSE.....	176
4.5.	VERKEHRSSICHERHEIT	180

4.5.1.	<i>Konformität mit bestehender oder zu erwartender Legislative</i>	180
4.5.2.	<i>Zu erwartende Auswirkungen auf das Unfallgeschehen</i>	181
4.5.2.1.	Methode.....	181
4.5.2.2.	Bewertungsmethodik	192
4.5.2.3.	Bewertung der Verletzungswahrscheinlichkeit bei Unfällen mit Leichtfahrzeugen	193
4.5.3.	<i>Vereinfachte Unfallkostenrechnung</i>	195
4.5.3.1.	Vorgehensweise	195
4.5.3.2.	Randbedingungen / Annahmen.....	195
4.5.3.3.	Ergebnisse Unfallkostenrechnung	196
4.5.3.4.	Potential / Verschlechterung der Unfallkosten durch SynArea Fahrzeug	201
4.6.	WIRTSCHAFTLICHE MACHBARKEIT.....	202
4.6.1.	<i>Einnahmen oder Einsparungen</i>	202
4.6.1.1.	Direkte Erlöse von NutzerInnen	202
4.6.1.2.	Einsparungen im planmäßigen Öffentlichen Verkehr.....	205
4.6.1.3.	Zusätzliche Steuereinnahmen durch Entfall des großen Pendlerpauschale	206
4.6.1.4.	Entfall von Kosten bisheriger Mikro-ÖV-Angebote	207
4.6.1.5.	Sonstige Einnahmen oder Einsparungen	207
4.6.2.	<i>Kosten</i>	207
4.6.2.1.	Produktions- und Betriebskostensätze für Leihfahrzeuge und Leihstationen	207
4.6.2.2.	Regionsweise Kostenberechnungen.....	221
4.6.3.	<i>Gesamtbewertung</i>	225
5.	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK AUF MÖGLICHE FOLGEPROJEKTE	228
5.1.	ERREICHUNG DER PROJEKTZIELE	228
5.2.	ERWARTBARE GENAUIGKEIT DER ERGEBNISSE	229
5.3.	ÜBERTRAGBARKEIT DER ERGEBNISSE AUF ANDERE REGIONEN	229
5.4.	AUSBLICK AUF MÖGLICHE FOLGEPROJEKTE.....	230
6.	VERZEICHNIS DER ANHÄNGE	230

1. Einleitung

1.1. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Zielsetzung des Projekts war die Erarbeitung eines Modells zur multimodalen verkehrlichen Erschließung ländlicher und suburbaner Regionen, das bei gleichen Kosten für die öffentliche Hand weniger Menschen von Mobilität und sozialer Teilhabe ausschließt, weniger Umweltbelastung und Energieverbrauch verursacht und nicht mehr Verkehrsunfälle bzw. –unfallfolgen bewirkt, als das derzeitige Verkehrsgeschehen.

Schlüsselemente dieses neuartigen Erschließungsmodells sind:

- Ein für die Anforderungen ländlicher und suburbaner Regionen optimiertes Car-Sharing-System mit folgenden Eigenschaften:
 - Stationsbasiert, aber mit Möglichkeit der One-Way-Ausleihe
 - Höchstgeschwindigkeit wahlweise 45 km/h oder 25 km/h, dadurch verringerte Anforderungen an die Fahrzeugtechnik sowie an die Fahrtüchtigkeit der NutzerInnen und nebenbei verringerter Energieverbrauch
 - 2-3 Sitzplätze pro Fahrzeug
 - Kuppelbarkeit mehrerer Fahrzeuge, um die Wiederverteilung zu erleichtern und universelle Verwendbarkeit für größere Familien oder mit mehr Gepäck zu ermöglichen
- Ein flächendeckendes Bedarfs-/Mikro-ÖV-Angebot für Bevölkerungsgruppen mit auch für den langsameren Leihfahrzeug-Modus unzureichender Fahrtüchtigkeit unter Nutzung der gleichen Fahrzeuge bzw. Fahrzeug-Gespanne
- Ein neu gestaltetes und in Summe moderat redimensioniertes Angebot im öffentlichen Verkehr: Tagesdurchgängig optimal vertaktete und auf Anschlüsse optimierte Rückgratlinien sowie zur Hauptverkehrszeit Zusatzlinien zur Abdeckung stark gebündelter und gerichteter Verkehrsströme

Aufgabenstellung des Projekts war die technische Konzeption der erforderlichen neuartigen Fahrzeuge sowie der Leihstationen, der Entwurf eines entsprechend der Projektidee umgestalteten Verkehrsangebots für zwei Beispielregionen und die Überprüfung, ob die Zielsetzung damit tatsächlich erreicht werden können.

1.2. Wichtigste Arbeitsschritte

Die Erarbeitung der Projektergebnisse erfolgte in zehn einander zeitlich überlappenden Schritten:

1. Auswahl geeigneter Beispielregionen (siehe 2.1)
2. Datenerhebung, Aufbau und Kalibrierung eines Verkehrsnachfragemodells für diese Beispielregionen (siehe 4.2.1)
3. Befragungen potenzieller NutzerInnen zur Erhebung von Anforderungen und Akzeptanz (siehe auch 4.1)
4. Recherche zum Stand der Fahrzeugtechnik (siehe 2.2) und der gesetzlichen Rahmenbedingungen (siehe 2.3)
5. Technische Konzeption der Leihfahrzeuge und der Leihstationen (siehe 3.2) inklusive Kostenschätzung (siehe 4.6.2.1 bis 4.6.2.2.5)
6. Erhebung zum Unfallgeschehen in den Beispielregionen und Anlegen der Kleinfahrzeuge im Simulationsprogramm für Realunfälle (siehe 2.5)

7. Simulation der Unfallfolgen bei Beteiligung der projektgegenständlichen Kleinfahrzeuge (bei Unfällen mit mehr als einem Beteiligten auch wahlweise) und Hochrechnungen zur Unfallhäufigkeit bei verändertem Verkehrsgeschehen (siehe 4.5.2.1.7)
8. Entwurf eines Leihstellennetzes und des Liniennetzes und Fahrplans des planmäßigen Öffentlichen Verkehrs (siehe 3.1)
9. Simulation der Verkehrsmittelwahl und zeitlich-räumlichen Verteilung des Verkehrsgeschehens mittels Verkehrsnachfragemodell (siehe 4.2)
10. Abschließende Berechnung der wirtschaftlichen Machbarkeit (siehe 4.6.3) und der Erreichung sozialer und ökologischer Nachhaltigkeitsziele (siehe 4.3 bis 4.5)

Als Referenzjahr für Vergleiche mit dem bestehenden Verkehrsgeschehen wurde das Jahr 2013 herangezogen, da dieses zu Projektbeginn der aktuellste, im Verkehrsmodell der ÖBB-PV AG eingepflegte Fahrplanstand war.

1.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Das am besten erreichte Projektziel ist jenes einer umfassenden „Mobilitätsanierung“ ländlicher und suburbaner Regionen im Sinne einer verbesserten Erreichbarkeit abseits des konventionellen motorisierten Individualverkehrs mit eigenem Pkw und voller Fahrtüchtigkeit: Gemessen am Anteil an gewichteten Quell-Ziel-Relationen, die im öffentlichen Verkehr (inkl. Mikro-ÖV-Formen) gegenüber dem motorisierten Individualverkehr eine Mehrfahrzeit von mehr als einer Stunde aufweisen, geht die Autoabhängigkeit nach Umsetzung des Konzepts je nach Tageszeit von 27-85% auf 2-7% zurück. Für Menschen, die zum Lenken eines Leichtfahrzeugs bis 45 km/h berechtigt sind, steigt der Anteil an Relationen, auf denen sie höchstens eine Viertelstunde langsamer sind als mit dem Pkw, von 12-30% auf 53-80%. Die Entfernung zur nächsten Leihstation (zugleich Haltestelle des Bedarfs-ÖV) beträgt für 72% der RegionsbewohnerInnen weniger als 200m, für 90% weniger als 300m Luftlinie.

Die durch eine Umsetzung des Konzepts bewirkte Änderung des Verkehrsgeschehens würde in der Beispielregion Mittelburgenland eine Reduktion der personenverkehrsbedingten Treibhausgas-Emissionen um 7,8%, der Stickoxid-Emissionen um 8,4% und der Feinstaub-Emissionen um 8,3% bedeuten. In der Beispielregion nördliches Wiener Becken, die stark von nicht projektrelevantem Transitverkehr geprägt ist, machen die Rückgänge der Emissionen 0,3% (Treibhausgase), 1,4% (NO_x) und 0,6% (Feinstaub) aus.

Hinsichtlich der zu erwartenden Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit ist keine eindeutige Tendenz im Sinne eines Gesamteffekts aus dem geringeren Gefährdungspotenzial und der höheren Verletzlichkeit der gegenüber dem Pkw kleineren und langsameren Fahrzeuge erkennbar: Unter pessimistischen Annahmen käme es zu einer geringfügigen Verschlechterung des Unfallgeschehens, unter optimistischen Annahmen in der Beispielregion Mittelburgenland zu einer sehr geringfügigen Verbesserung, in der Beispielregion Wiener Becken Nord hingegen immer noch zu einer ähnlich geringfügigen Verschlechterung.

Die Gegenüberstellung der Kosten des neuartigen Angebots mit Finanzierungspotenzialen aus Erlösen von den NutzerInnen, Einsparungen im planmäßigen Verkehr sowie bestehenden Mikro-ÖV-Systemen und möglichen zusätzlichen Steuereinnahmen durch den Entfall von Anspruchsberechtigungen für die große Pendlerpauschale zeigt, dass in beiden Regionen eine Umsetzung ohne zusätzliche Budgetbelastung möglich wäre: Geht man von einer Produktion der Kleinfahrzeuge in geringerer Stückzahl aus, beträgt der Überschuss im

nördlichen Wiener Becken 24% und im Mittelburgenland 6% der Gesamtkosten, ausgehend von einer Produktion in einer größeren Serie macht der Überschuss 31% bzw. 15% aus.

Das Konzept ist nach dem abgeschlossenen, einjährigen Sondierungsprojekt zwar keineswegs umsetzungsreif, die vielversprechenden Ergebnisse legen aber trotz aller unvermeidlicher Unschärfen nahe, in einem Folgeprojekt das Kleinfahrzeug weiterzuentwickeln, anhand weiterer Beispielregionen optimierte Angebotsvarianten zu erarbeiten und auf Basis einer qualitativ verfeinerten Verkehrsmodellierung zu einer weiter abgesicherten Prognose der verkehrlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Wirkungen zu gelangen.

Als möglicher Umsetzungszeitraum erscheinen ab Beginn eines Folgeprojekts etwa zwei Jahre bis zum Prototyp und fünf Jahre für erste Anwendungsregionen realistisch.

2. Erhobene Rahmenbedingungen

2.1. Beispielregionen

Zur beispielhaften Konzeption des neuartigen Verkehrsangebots und Abschätzung seiner Wirkungen wurden folgende zwei Beispielregionen ausgewählt:

2.1.1. Nördliches Wiener Becken

Abgrenzung

Das nördliche Wiener Becken wurde als klar suburban geprägte Region ausgewählt. Als Beispielregion für das vorliegende Forschungsprojekt wurde es wie folgt abgegrenzt:

- Im Norden durch die Donau
- Im Osten durch die Linie Regelsbrunn – Bruck an der Leitha (jeweils exklusive)
- Im Südosten durch das Leithagebirge
- Im Süden durch die Linie Eisenstadt – Weigelsdorf (jeweils exklusive)
- Im Westen durch die Pottendorfer Bahnlinie (exklusive)
- Im Nordwesten durch die Wiener Stadtgrenze



Abbildung 1: Beispielregion nördliches Wiener Becken. Kartengrundlage: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen / Austrian Map. Mit roten Kreuzen wurden die im Personenverkehr bereits im Bestand eingestellten Bahnstrecken kenntlich gemacht.

Bevölkerung und Topographie

Die Fläche der Beispielregion macht etwa 700 km² aus, die Bevölkerung im Jahr 2013 etwa 84.000 EinwohnerInnen, die Bevölkerungsdichte liegt somit über dem Durchschnitt Gesamtösterreichs. Die Region ist zum weitaus überwiegenden Teil eben, die maximale Höhendifferenz im Straßennetz beträgt 250 m. Donau und Leithagebirge stellen wirksame natürliche Grenzen an den peripheren Rändern der Region dar, während am anderen Ende unmittelbar die Großstadt anschließt.

Siedlungs- und Regionalstruktur

Die Siedlungsstruktur ist von kompakten Ortsgebieten geprägt, Streusiedlungen kommen nicht vor, sehr wohl hingegen größere zusammenhängende Gebiete mit Einfamilienhausbebauung am Stadtrand zu Wien. Die wichtigsten zentralen Orte in und für die Region sind:

- Wien (außerhalb)
- Schwechat mit dem Flughafen als großer Arbeitgeber
- Bruck an der Leitha (außerhalb)
- Eisenstadt (außerhalb)
- Himberg
- Fischamend
- Schwadorf
- Mannersdorf

Bestehendes Verkehrsangebot

Das Rückgrat des öffentlichen Verkehrs in der Beispielregion bildet die Ostbahn mit stündlich 2-3 REX-Zügen (Halt in Bruck/L., Gramatneusiedl/Götzendorf und Wien Hauptbahnhof) sowie 1-2 S-Bahn-Zügen (halten in allen Stationen) je Richtung. Entlang des Nordrandes der Region verkehrt die Pressburgerbahn mit S-Bahn (halbstündlich zwischen Wien und Flughafen, östlich davon stündlich) und vereinzelt schnelleren R-Zügen zur Hauptverkehrszeit. An der westlichen Grenze ist das Gebiet durch die Pottendorfer Linie (stündlich je Richtung ein S-Bahn-Zug sowie ein REX-Zug mit Halt in Ebreichsdorf) und an der südöstlichen Grenze durch die Pannoniabahn Neusiedl am See – Wulkaprodersdorf (Stunden- bis Halbstundentakt) an den höherrangigen öffentlichen Verkehr angebunden.

Erhebliche Bedeutung hat weiters der Flughafenzubringerverkehr mit stündlich zwei CAT-Zügen und unterschiedlichsten Flughafenbussen.

Die abseits der Bahn gelegenen Ortschaften werden mit Buslinien erschlossen. Diese sind insbesondere in den weiter von Wien entfernten Teilen der Region eher als Zubringer zur Bahn konzipiert, näher an Wien und Schwechat hingegen als direkte, teils parallel zum Bahnangebot geführte Busverbindungen.

2.1.2. Mittelburgenland

Abgrenzung

Die zweite Beispielregion liegt im Mittelburgenland mit folgenden Grenzen:

- Von Nordost bis Südost durch die Staatsgrenze zu Ungarn
- Im Südwesten durch die Linie Kőszeg / Güns – Piringsdorf – Kirchschatz (jeweils exklusive)
- Im Nordwesten durch die Landesgrenze Burgenland – Niederösterreich
- Im Norden durch die schmalste Stelle des Burgenlandes nördlich von Siegraben



Abbildung 2: Beispielregion Mittelburgenland. Kartengrundlage: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen / Austrian Map. Mit roten Kreuzen wurden die im Personenverkehr bereits im Bestand eingestellten Bahnstrecken kenntlich gemacht.

Bevölkerung und Topographie

Die zweite Beispielregion ist rund 650 km² groß, die EinwohnerInnenzahl betrug 2013 etwa 33.000, die Bevölkerungsdichte entspricht somit nur dem halben Österreich-Durchschnitt. Die Region ist überwiegend eben bis hügelig, die maximale Höhendifferenz im Straßennetz beträgt 250 m.

Siedlungs- und Regionalstruktur

Die Siedlungsstruktur ist pannonisch geprägt mit relativ großen, zusammenhängenden Siedlungen, Streusiedlungen kommen nicht vor. Zentralörtliche Funktionen erfüllen innerhalb

der Region die Gemeinden Deutschkreutz sowie Oberpullendorf / Felsőpulya. Auffällig sind die zwei Siedlungsachsen Deutschkreutz – Horitschon – Lackenbach – Markt St. Martin sowie Mitterpullendorf – Oberpullendorf / Felsőpulya – Stoob – Neutal – Markt St. Martin. Relevante Zentralorte außerhalb der Region sind Mattersburg, Sopron / Ödenburg und Eisenstadt, sowie das Fernpendelziel Wien.

Bestehendes Verkehrsangebot

Der einzige im Personenverkehr bediente Bahnhof der Region ist Deutschkreutz, von wo aus stündlich Züge über Sopron / Ödenburg und Ebenfurth ins etwa eineinhalb Stunden entfernte Wien fahren, zur Hauptverkehrszeit zusätzlich einige um etwa 10 Minuten schnellere Züge über Wiener Neustadt. Für die zentralen und nordwestlichen Teile der Region ist weiters der etwa 10 km außerhalb gelegene Bahnhof Mattersburg von Bedeutung, von dem aus stündlich bis halbstündlich Regionalzüge nach Wiener Neustadt und Sopron / Ödenburg, zu den Hauptverkehrszeiten auch einige Direktzüge nach Wien (Fahrzeit: 45 Minuten) verkehren.

Der öffentliche Verkehr innerhalb der Region wird ausschließlich mit Linienbussen abgedeckt. Neben der flächigen Versorgung mit zahlreichen Halten und manchen Umwegfahrten gibt es auch Schnellbusse, die ab Stoob oder Weppersdorf direkt oder mit nur einzelnen Halten (z.B. in Mattersburg) nach Wien oder Eisenstadt fahren, dazu gibt es zu den Hauptverkehrszeiten auch Bus-Bus-Umsteigeknoten, etwa am Park-&-Ride-Busbahnhof Weppersdorf.

2.1.3. Erläuterungen zur Regionsauswahl und -abgrenzung

Zum besseren Verständnis der Regionsauswahl und -abgrenzung ist zu erwähnen:

- Die Regionen unterscheiden sich gezielt in Siedlungsdichte und Entfernung zum Ballungsraum erheblich voneinander, um die Chancen des Konzepts in suburbaneren und periphereren Regionen vergleichen zu können.
- Ebenso beabsichtigt ist, dass in beiden Regionen für öffentlichen Verkehr und Leihsystem eher günstige, kompakte Siedlungsstrukturen vorliegen: Erstens sollte bei zwei Beispielregionen einer Machbarkeitsstudie (mehr waren vom Arbeitsaufwand her nicht machbar) keine dabei sein, die von vornherein die ungünstigste Kombination von Ausgangsbedingungen aufweist, da man in der Realität mit der Verwirklichung eines solchen Angebots naturgemäß auch bei den geeigneteren Regionen beginnen und sich je nach Erfolg zu den ungünstigeren Regionen vortasten würde. Zweitens wäre dem ursprünglichen Konzept nach für Streusiedlungen auch eine Mischform von Leihsystem und Individualverkehr (Dauermiete oder baugleiche Individualfahrzeuge mit zu Leihfahrzeugen kompatibler Kupplung) vorgesehen gewesen, die jedoch im Verkehrsmodell kaum abbildbar gewesen wäre. Ein Nebeneffekt dieser Regionsauswahl ist, dass der Schülertransport mit Kleinbussen im Gelegenheitsverkehr kaum eine Rolle spielt, da Volksschulen fast überall noch fußläufig erreichbar sind und für den Verkehr zu höheren Schulen ausreichend gebündelte Verkehrsströme für klassische Linienbusse zustande kommen.
- Im Gegensatz zu manchen noch periphereren Regionen ist auch in der dünner besiedelten Beispielregion eine relevante Betriebsleistung (Bus-km/a) vorhanden, die eine Redimensionierung auf ein optimiertes Netz zulässt. Anders als in inneralpinen Talschaften wiederum liegen kreuz und quer verwobene Verkehrsströme vor, die es

ermöglichen, die Wirkung optimierter Anschlüsse bzw. des Ersatzes fehlender Anschlüsse durch die Fahrtmöglichkeit mit dem Leihfahrzeug, zu beurteilen.

- Die vorliegenden Beispielregionen erleichtern die Bearbeitung im Verkehrsmodell, da sie nahe genug aneinander liegen, um im Rahmen des selben Modell-Ausschnitts (Teilnetz) bearbeitet zu werden und aufgrund vorhandener Postbus-Linien im Gebiet eine höhere Datenqualität und räumliche Auflösung vorliegt, als in anderen Teilen Österreichs.

2.2. Stand der Fahrzeugtechnik

2.2.1. Einleitung

Dieses Kapitel befasst sich mit aktuell am Markt verfügbaren Fahrzeugtechnologien, welche in weiterer Folge für das SynArea-Fahrzeug Relevanz aufweisen könnten. Hierfür wurde mittels Recherche der aktuelle Stand der Technik von vorhandenen Fahrzeugen und Fahrzeugkonzepten erfasst. Es erfolgt eine Einordnung nach relevanten Kategorien wie technische Ausstattung, Einsatzzweck, Fahrzeugklasse etc. Dabei erfolgt der Zugang von zwei Seiten, d. h. einerseits werden einspurige Kleinfahrzeuge wie Fahrrad oder Moped herangezogen und andererseits werden von bestehenden Klein-Pkw ausgehende Entwicklungen betrachtet. Die erhobenen Daten werden einer statistischen Betrachtung zugeführt und wichtige Trends abgelesen. Aus dem Benchmark werden Schlussfolgerungen für die Entwicklung des SynArea-Fahrzeuges abgeleitet und die Basis für die Definition eines Kostenrahmens gelegt.

2.2.2. Stand-der-Technik-Recherche: Ausgangspunkt Pkw

Es wurden in diesem Arbeitspaket zunächst im Jahre 2014 erhältliche Elektrofahrzeuge recherchiert und analysiert, d. h. auf Design- und Konzeptstudien bzw. auf Prototypen und Mock-Ups wurde bewusst nicht eingegangen.

Im Zuge der Antragsstellung hat sich bereits der Trend abgezeichnet, dass ein SynArea-Fahrzeug mit konventioneller Verbrennungskraftmaschine aufgrund von CO₂-, Schadstoff- und Lärmemissionen sowie aufgrund der zulassungstechnisch aufwändigen Ladestationen (Tankstellen mit konventionellen oder gasförmigen Kraftstoffen) weder betriebswirtschaftlich-technisch zielführend ist, noch den geforderten Innovationscharakter aufweist. Folglich wurde im Rahmen dieser Recherche der Fokus auf Fahrzeuge mit Elektroantrieb gelegt, welche als Energiespeicher ausschließlich eine Traktionsbatterie verwenden^a.

Die Beschreibung der einzelnen Fahrzeuge sowie eine Zusammenfassung der technischen Daten ist in Anhang (1) beigefügt.

2.2.2.1. Technischer Vergleich der Fahrzeuge

Im nachfolgenden Abschnitt werden die in Anhang (1) recherchierten Daten einer statistischen Analyse unterzogen. Dabei werden verschiedene Parameter für die recherchierten Fahrzeuge gegenübergestellt und jeweils eine Aussage über ablesbare Trends getätigt.

^a Aufgrund des aktuellen technologischen Aufwärtstrends der Brennstofftechnologie ist ein Fahrzeugkonzept mit Wasserstoffantrieb im betrachteten Segment zukünftig nicht auszuschließen. Aufgrund der geringen Reichweitenanforderung weist der Batterie-Elektroantrieb derzeit allerdings bzgl. Verfügbarkeit, Standfestigkeit und Kosten noch klare Vorteile gegenüber der Brennstoffzellentechnologie auf.

Die Minimal- und Maximalwerte für die recherchierten Fahrzeuge sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Sämtliche erhobene Daten sind in Anhang (1) dargestellt.

	Höchstgeschw. [km/h]	Leistung [kW]	Reichweite [km]	Leermasse [kg]	Leermasse mit Batterie [kg]	Leermasse ohne Batterie [kg]	Batteriemasse [kg]	Nutzlast [kg]	Zul. Gesamtmasse [kg]	Sitzplätze [-]	Anzahl der Räder [-]	Preis [€]
Minimalwert	10	0,7	40	210	210	68	95	310	1	3	5800	
Maximalwert	130	40	160	1214	984	395	700	1500	4	4	29640	

Tabelle 1: Minimal- und Maximalwerte für die recherchierten Daten der Vergleichsfahrzeuge

2.2.2.1.1. Zusammenhang zwischen Reichweite (Personenkilometer) und Anschaffungspreis

Ein guter Indikator für die Gesamtkosten eines Elektrofahrzeuges ist der Anschaffungspreis. Dieser bewegt sich bei den in Anhang (1) dargestellten Fahrzeugen zwischen € 5.800 (e2 von GEM) und € 29.640 (iOn von Peugeot). In der Folge wurden die Anschaffungskosten der recherchierten Fahrzeuge auf die Anzahl der Sitzplätze und die verfügbare Reichweite bezogen (Abbildung 3). Die Bandbreite der Sitzplätze reicht dabei von 1 bis 4 und die verfügbare Reichweite streut zwischen 40 und 160 km.

Naturgemäß schneiden hier Fahrzeuge mit wenigen Sitzplätzen schlechter ab (z. B. die Einsitzer Charly eMobil Luxe, DXS oder Tremola). Vor allem bei Fahrzeugen für Menschen mit eingeschränkter Mobilität wird die Priorität seitens der Hersteller nicht auf die Reichweite gelegt. Darüber hinaus folgen aus der speziell geforderten Ergonomie höhere Fahrzeugkosten.

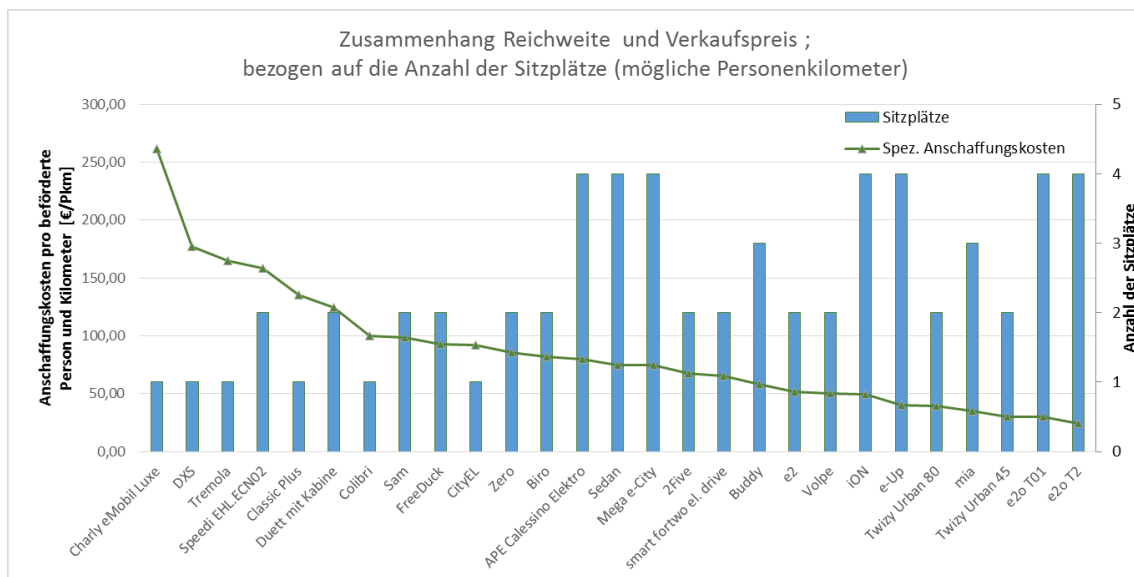


Abbildung 3: Spezifische Anschaffungskosten und Anzahl der Sitzplätze für die verschiedenen Fahrzeuge

Niedrige spezifische Preise weisen erwartungsgemäß die indischen Fabrikate auf. Auch der Twizy von Renault schneidet bei diesem Vergleich aufgrund seines niedrigen Marktpreises sehr gut ab, gefolgt von den M-Klasse-Fahrzeugen VW e-Up und Peugeot iOn.

2.2.2.1.2. Zusammenhang zwischen Reichweite, Höchstgeschwindigkeit, Anschaffungspreis und Antriebsleistung

In Abbildung 4 ist der Zusammenhang zwischen Reichweite, Höchstgeschwindigkeit, Anschaffungspreis und der Antriebsleistung dargestellt. Es zeigt sich, dass die Reichweite und auch der Anschaffungspreis keine erkennbare Funktion der Antriebsleistung sind bzw. hierbei kein klarer Trend ersichtlich ist. Die Ursachen hierfür sind vielfältig. Zum einen sind die Fahrzeugaufbauten der recherchierten Fahrzeuge sehr unterschiedlich. Die Art des Fahrzeugaufbaus beeinflusst naturgemäß neben der Antriebsleistung und der Radanzahl die Herstellungskosten entscheidend. Zum anderen ist davon auszugehen, dass derzeit Fahrzeuge unterhalb der Selbstkosten des Herstellers ausgepreist werden, um die Fahrzeuge in höherer Stückzahl in den Markt zu bringen und folglich überhaupt erst einen nennenswerten Markt zu schaffen.

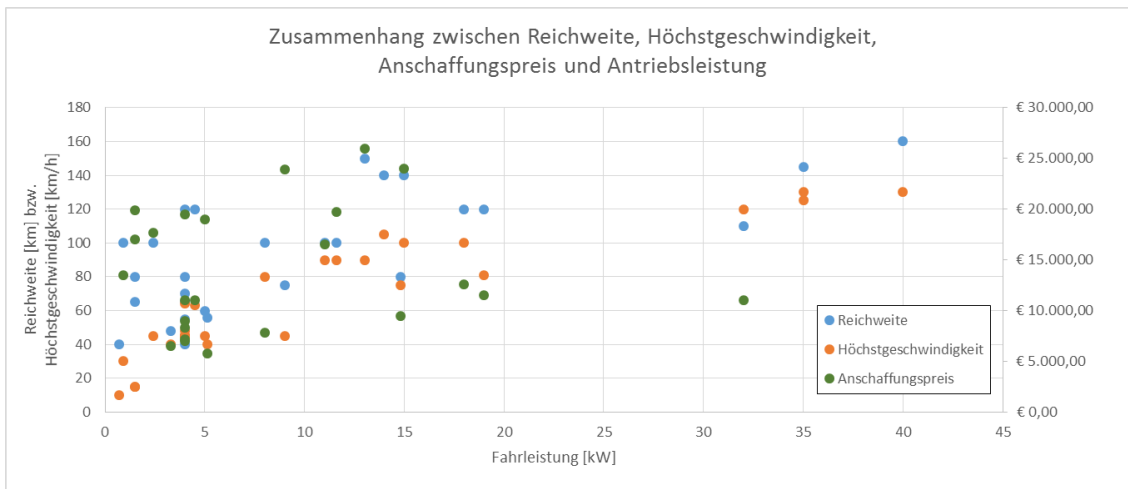


Abbildung 4: Abhängigkeit der Reichweite, der Höchstgeschwindigkeit und des Anschaffungspreises von der Antriebsleistung

Ein klarer Trend ergibt sich zwischen den Parametern Höchstgeschwindigkeit und Antriebsleistung, welcher durch längsdynamische Zusammenhänge begründbar ist. Für hohe Endgeschwindigkeiten sind naturgemäß hohe Leistungen erforderlich, welche vor allem in den Fahrzeugen der Klasse M installiert sind.

2.2.2.2. *Eigenschaften der Fahrzeugklassen*

Die technischen Eigenschaften der einzelnen Fahrzeugklassen soll plakativ mit einem Spinnendiagramm dargestellt werden (Abbildung 5). Hierbei wurden die Daten nach Fahrzeugklassen sortiert und je Klasse der Mittelwert gebildet. In der Folge wurde dieser Mittelwert auf den jeweils auf den höchsten Mittelwert bezogen. Erwartungsgemäß sind die Bezugsdaten folglich jeweils die Mittelwerte der Fahrzeuge der Klasse M.

Das Spinnendiagramm zeigt, dass sich die Klasse M vor allem im Bereich der Antriebsleistung und der Massen klar von den anderen Klassen absetzt. Ausnahme ist die Nutzlast, hier erreicht die Klasse L7e nahezu den Mittelwert der Klasse M. Klar ersichtlich ist der Umstand, dass sich im Bereich des Preises nur die L6e-Fahrzeuge klar von den anderen Fahrzeugen absetzen. Sie weisen aber gemeinsam mit den L2e-Fahrzeugen auch wesentlich geringere Reichweiten auf.

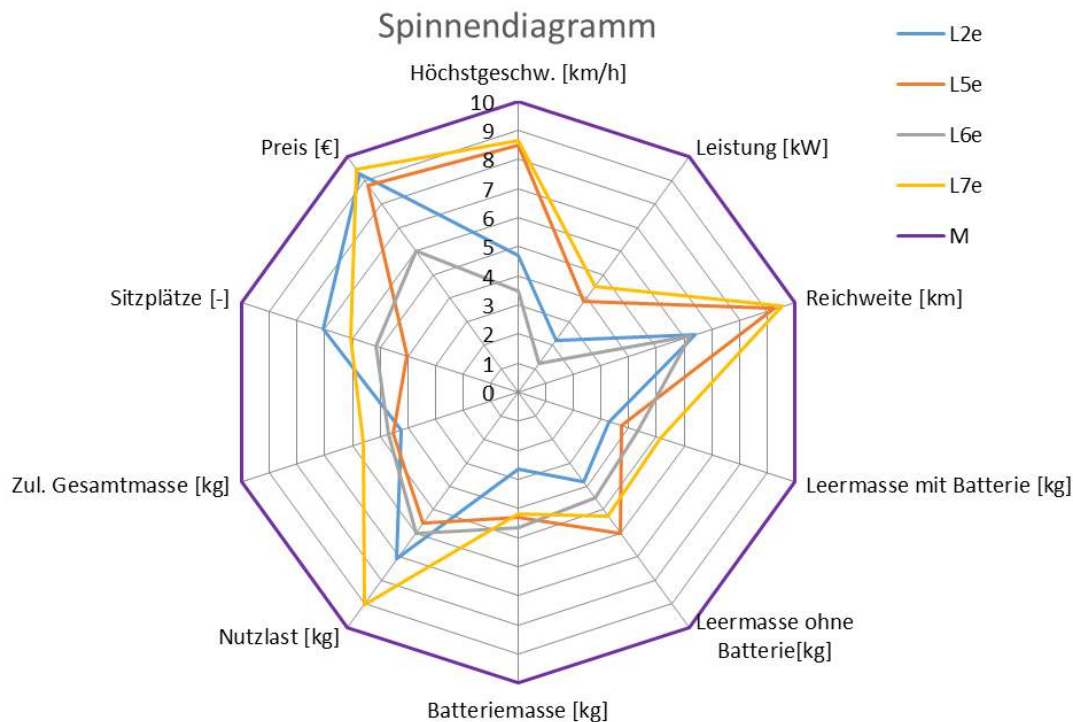


Abbildung 5, Spinnendiagramm: Durchschnittswerte der einzelnen Fahrzeugklassen bezogen auf den jeweiligen höchsten Mittelwert.

2.2.2.3. Zusammenfassung

Die State-of-the-art Recherche hat aufgezeigt, dass im Bereich der elektrischen Pkw die Bandbreite bzgl. Ausstattung, Sitzplätze, Reichweite usw. eine sehr breite ist. Die spezifischen Anschaffungskosten (bezogen auf Personenkilometer Reichweite) sind erwartungsgemäß bei jenen Fahrzeugen mit vielen Sitzplätzen am geringsten. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass das SynArea-Konzept mit möglichst vielen Plätzen ausgestattet sein sollte.

Klare Zusammenhänge zwischen Antriebsleistung, Reichweite und Anschaffungspreis konnten aus den erhobenen Daten nicht abgelesen werden. Als Ursache hierfür kann die derzeit noch sehr stark von Marketingaspekten beeinflusste Preisstrategie der Hersteller genannt werden. Klar abzulesen und einfach technisch begründbar ist der Zusammenhang zwischen Höchstgeschwindigkeit und Antriebsleistung.

Der Vergleich der Fahrzeugklassen zeigt eine sehr starke Abweichung der Klasse M von den übrigen Klassen in Bezug auf die Antriebsleistung und die Leer- bzw. Gesamtmasse, während sich die Nutzlast nur geringfügig unterscheidet. Preislich am attraktivsten sind derzeit L6e-Fahrzeuge, was allerdings mit einer geringen Reichweite einhergeht.

2.2.3. Stand-der-Technik-Recherche: Ausgangspunkt Fahrrad

Siehe Anhang (2)

Die Stand der Technik Recherche mit dem Ausgangspunkt Fahrrad zeigt, dass sich viele neue Fahrzeugkonzepte in den Klassen L3-L7 entwickeln (Electric Urban Light vehicles). Die Fahrzeuge sind weitestgehend wettergeschützt und weisen bei Kapazitäten von einer, oder max. zwei Personen Höchstgeschwindigkeiten bis zu 135km/h auf. Der minimale Platzbedarf beträgt max 2,5 m x 0,8 m. Die Entwicklung von möglichst effizienten Fahrzeugen mit

möglichst geringen Emissionen (CO₂, Lärm, Feinstaub, etc.) ist dabei vorwiegend gesetzlich getrieben.

Darüber hinaus entwickeln sich neue Fahrzeugarchitekturen mit 4, 3 und 2 Rädern. Diese weisen auch teilweise Neigemechanismen auf. Modulare Fahrzeugkonzepte, wie z. B. der Twizy, Scooter (Zulassung für < 45 km/h ODER > 45 km/h), werden entwickelt, dabei darf jedoch keines der recherchierten Fahrzeuge ohne Führerschein gefahren werden. In ca. 5 Jahren sind ferner neuartige Serienfahrzeuge am Markt zu erwarten.

Hinsichtlich Koppeln von Fahrzeugen sind Studien und Konzepte vorhanden, welche die technische Machbarkeit beweisen. Die elektronische Koppelbarkeit scheitert derzeit an gesetzlichen Rahmenbedingungen. Für mechanische Fahrzeugkupplung sind jedoch die gesetzlichen Vorschriften überaltert (Zugmaschine + Anhänger, Personentransport am Anhänger derzeit nicht zugelassen).

Basierend auf den Ergebnissen der Recherche wurde ein Anforderungskatalog definiert.

2.3. Fahrzeugklassen und gesetzliche Rahmenbedingungen

2.3.1. Einleitung

Dieses Kapitel befasst sich mit rechtlichen Hintergründen von Fahrzeugklassen und deren Anforderungen bezogen auf das SynArea-Projekt. Es werden die gesetzlichen Rahmenbedingungen der unterschiedlichen Fahrzeugklassen analysiert und übersichtsmäßig dargestellt, um in weiterer Folge die Fahrzeugkonzepte den Fahrzeugklassen zuordnen zu können. Die genauen technischen Anforderungen werden im Anschluss dargelegt.

Neben den Fahrzeugen der Klasse M1 (Pkw) sind Kleinfahrzeuge der Klassen L2e, L5e, L6e und L7e für dieses Projekt von Interesse. Kleinfahrzeuge werden nach den Eigenschaften Leermasse, Maximalgeschwindigkeit, Antriebsleistung und Anzahl der Räder eingeteilt.

2.3.2. Gesetzliche Rahmenbedingungen

In diesem Abschnitt werden die gesetzlichen Rahmenbedingungen der verschiedenen Fahrzeugklassen analysiert. Diese Analyse soll die Grundlage für die spätere Auswahl der Fahrzeugklasse für das neue Fahrzeugkonzept bilden.

2.3.2.1. Überblick der Fahrzeugklassen

In Österreich sind Kraftfahrzeuge mit einer Bauartgeschwindigkeit von nicht mehr als 10 km/h weitgehend vom Kraftfahrzeuggesetz (KFG) ausgenommen¹. Das bedeutet, dass solche Fahrzeuge ohne Führerschein, ohne Verkehrszulassung und ohne Kennzeichen betrieben werden dürfen. Folgende Vorschriften müssen dennoch beachtet werden:

- Anbringung der Fahrgestell- und Motornummer
- Technische Anforderungen an die Fahrzeuge (z. B. Abmessungen, Beleuchtung, Bremsanlage, 10 km/h-Tafel)
- Höchstzulässige Lärmemission
- Bescheinigung über die Feststellung der Bauartgeschwindigkeit von nicht mehr als 10 km/h
- Mindestalter der FahrzeuglenkerInnen von 16 Jahren

Durch die EG-Richtlinie 70/156/EWG wurde 1970 EU-weit eine einheitliche Definition der Fahrzeugklassen erstellt. Diese wurde 2009 durch die Richtlinie 2007/46/EG ersetzt. Tabelle

2 zeigt die Einteilung der Kraftfahrzeuge und Anhänger durch die Europäische Gemeinschaft.

Klasse	Beschreibung
Klasse L	Zweirädrige oder dreirädrige Kraftfahrzeuge sowie leichte vierrädrige Kraftfahrzeuge
Klasse M	Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung mit mindestens vier Rädern (umgangssprachlich Pkw) sowie Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung mit drei Rädern und einer zulässigen Gesamtmasse über 1 t
Klasse N	Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit mindestens vier Rädern (umgangssprachlich Lkw) sowie Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit drei Rädern und einer zulässigen Gesamtmasse über 1 t
Klasse O	Anhänger (einschließlich Sattelanhänger)
Klasse R	Land- oder forstwirtschaftliche Anhänger
Klasse S	Gezogene auswechselbare land- oder forstwirtschaftliche Maschinen
Klasse T	Zugmaschinen für land- oder forstwirtschaftliche Zwecke
Klasse C	Land- oder forstwirtschaftliche Zugmaschinen auf Gleisketten

Tabelle 2: Fahrzeugklassen nach EG-Richtlinie 2007/46/EG²

In den einzelnen Fahrzeugklassen sind zum Teil weitere Unterklassen definiert. Die Fahrzeugklassen bzw. -unterklassen unterscheiden sich hinsichtlich der geforderten technischen Merkmale und der benötigten Führerscheinklasse. Aufgrund geringer technischer Anforderungen an das Fahrzeug und einiger Erleichterungen bei der Typengenehmigung kommt für dieses Projekt nur die Klasse L in Betracht. Die Beschränkung der maximalen Leistung bzw. des maximalen Gewichts der Fahrzeuge in dieser Klasse stellen für die hier zu konzipierenden Fahrzeuge keine maßgebliche Einschränkung dar. In Tabelle 3 sind die einzelnen Unterklassen der Klasse L nach Richtlinie 2002/24/EG angeführt.

Gruppe	Klasse	Beschreibung	Benötigter Führerschein
Kleinkrafträder	Klasse L1e	<ul style="list-style-type: none"> zweirädrige Kraftfahrzeuge mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von bis zu 45 km/h Hubraum von bis zu 50 cm³ im Fall von Verbrennungsmotoren oder maximale Nenndauerleistung von bis zu 4 kW im Fall von Elektromotoren 	AM (Code 79.01) A1 A2 A B (Code 111)
	Klasse L2e	<ul style="list-style-type: none"> dreirädrige Kraftfahrzeuge mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von bis zu 45 km/h Hubraum von bis zu 50 cm³ im Fall von Fremdzündungsmotoren oder maximale Nutzleistung von bis zu 4 kW im Fall anderer Verbrennungsmotoren oder maximale Nenndauerleistung von bis zu 4 kW im Fall von Elektromotoren 	AM (Code 79.01) A1 A2 A B (Code 111)
Krafträder	Klasse L3e	<ul style="list-style-type: none"> zweirädrige Kraftfahrzeuge ohne Beiwagen mit einem Hubraum von mehr als 50 cm³ im Fall von Verbrennungs- 	A1 A2

		<p>motoren und/oder</p> <ul style="list-style-type: none"> einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von mehr als 45 km/h 	<p>A B (Code 111)</p>
	Klasse L4e	<ul style="list-style-type: none"> zweirädrige Kraftfahrzeuge mit Beiwagen mit einem Hubraum von mehr als 50 cm³ im Fall von Verbrennungsmotoren und/oder einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von mehr als 45 km/h 	<p>A1 A2 A B (Code 111)</p>
	Klasse L5e	<ul style="list-style-type: none"> dreirädrige Kraftfahrzeuge, d. h. mit drei symmetrisch angeordneten Rädern ausgestattete Kraftfahrzeuge, mit einem Hubraum von mehr als 50 cm³ im Fall von Verbrennungsmotoren und/oder einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von mehr als 45 km/h 	<p>A1 A2 A B</p>
Vierrädrige Kraftfahrzeuge	Klasse L6e	<ul style="list-style-type: none"> vierrädrige Leichtkraftfahrzeuge mit einer Leermasse von bis zu 350 kg, ohne Masse der Batterien im Fall von Elektrofahrzeugen, mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von bis zu 45 km/h und einem Hubraum von bis zu 50 cm³ im Fall von Fremdzündungsmotoren oder einer maximalen Nutzleistung von bis zu 4 kW im Fall anderer Verbrennungsmotoren oder einer maximalen Nenndauerleistung von bis zu 4 kW im Fall von Elektromotoren. <p>(Diese Fahrzeuge müssen den technischen Anforderungen für dreirädrige Kleinkrafträder der Klasse L2e genügen, sofern in den Einzelrichtlinien nichts anderes vorgesehen ist.)</p>	<p>AM (Code 79.02) A1 A2 A B</p>
	Klasse L7e	<ul style="list-style-type: none"> vierrädrige Kraftfahrzeuge, die nicht in Klasse L6e fallen, mit einer Leermasse von bis zu 400 kg (550 kg im Fall von Fahrzeugen zur Güterbeförderung), ohne Masse der Batterien im Fall von Elektrofahrzeugen, und mit einer maximalen Nutzleistung von bis zu 15 kW. <p>(Diese Fahrzeuge gelten als dreirädrige Kraftfahrzeuge und müssen den technischen Anforderungen für dreirädrige Kraftfahrzeuge der Klasse L5e genügen, sofern in den Einzelrichtlinien nichts anderes vorgesehen ist.)</p>	<p>B</p>

Tabelle 3: Fahrzeugklasse L nach EG-Richtlinie 2002/24/EG³

2.3.2.2. Führerscheinklassen

In Österreich wurden 2013 neue Führerscheinklassen eingeführt⁴. Der Zusammenhang zwischen Fahrzeugklasse und der zugehörigen Lenkberechtigung ist in Tabelle 4 dargestellt.

Es sind hierbei die einzelnen Fahrzeugklassen mit den lenkbaren Fahrzeugtypen und dem zugeordneten Mindestalter angeführt.

Zu beachten ist, dass für die Führerscheinklassen A1 und A2 zusätzliche, über die Fahrzeugklassendefinition hinausgehende, Leistungsbeschränkungen gelten und daher unter Umständen nicht alle Fahrzeuge der jeweiligen Klasse gelenkt werden dürfen.

Für dieses Projekt sind Kleinfahrzeuge mit drei bzw. vier Rädern der Klassen L2e, L5e, L6e und L7e von Interesse.

<i>Klasse</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Mindestalter</i>
<i>Klasse AM</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Motorfahrräder • Vierrädrige Leichtkraftfahrzeuge • Code 117: nur für einspurige und dreirädrige Mopeds mit max. 50 cm³ Hubraum und max. 45 km/h Bauartgeschwindigkeit • Code 118: Vierrädrige Leichtkraftfahrzeuge (max. 50 cm³ Hubraum und Bauartgeschwindigkeit max. 45 km/h) 	16 Jahre 15 Jahre bei Einverständniserklärung der Eltern
<i>Klasse A1</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Motorräder mit oder ohne Beiwagen mit einem Hubraum bis zu 125 cm³ und einer Motorleistung von max. 11 kW (15 PS) • Verhältnis von Leistung/Eigengewicht max. 0,1 kW/kg • Dreirädrige Kraftfahrzeuge mit nicht mehr als 15 kW (20 PS) Motorleistung 	16 Jahre
<i>Klasse A2</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Motorräder mit oder ohne Beiwagen mit einer Motorleistung von bis zu 35 kW (48 PS) und einem Verhältnis von Leistung/Eigengewicht von nicht mehr als 0,2 kW/kg, die nicht von einem Fahrzeug mit mehr als der doppelten Motorleistung abgeleitet sind; (48 PS entspricht mind. 175 kg Fahrzeuggewicht) 	18 Jahre
<i>Klasse A</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Motorräder mit oder ohne Beiwagen, dreirädrige Kraftfahrzeuge • Leichte Einachsanhänger die nicht breiter sind als das Zugfahrzeug • (Die Klasse A umfasst außerdem auch die Lenkberechtigung für die Klassen AM, A1 und A2) 	24 Jahre 20 Jahre bei mindestens 2 Jahren Besitz der Klasse A2
<i>Klasse B</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Kraftwagen mit nicht mehr als acht Plätzen für beförderte Personen außer dem Lenkerplatz und mit einer höchsten zulässigen Gesamtmasse von nicht mehr als 3500 kg, • 3-rädrige Kraftfahrzeuge (ab 21 Jahre), • Krafträder der Klasse A1, wenn der Besitzer der Lenkberechtigung für die Klasse B seit mindestens fünf Jahren ununterbrochen im Besitz einer gültigen Lenkberechtigung für die Klasse B ist, sich nicht mehr in der Probezeit gemäß 	17 Jahre

	§ 4 befindet, nachweist, eine praktische Ausbildung im Lenken von derartigen Krafträdern absolviert zu haben und der Code 111 in den Führerschein eingetragen ist.	
Ziehen von Anhängern mit „B“	<ul style="list-style-type: none"> • Mit dem Führerschein der Klasse B darf ein leichter Anhänger (höchstes zulässiges Gesamtgewicht max. 750 kg) gezogen werden. • Ein schwerer Anhänger (höchstes zulässiges Gesamtgewicht über 750 kg) darf mit der Klasse B gezogen werden, wenn die höchste zulässige Gesamtmasse der Fahrzeugkombination 3.500 kg nicht übersteigt. • Das Ziehen von Anhängern, die als einzige Bremsanlage eine Auflaufbremsanlage haben, ist nur zulässig, wenn die momentane Gesamtmasse des Anhängers weder die höchste zulässige Gesamtmasse des Zugfahrzeuges bzw. den bei der Genehmigung festgesetzten Wert (Anhängelast) übersteigt. • Bei geländegängigen Kraftwagen ist das 1,5-fache der höchsten zulässigen Gesamtmasse maßgebend, wenn in der Zulassungsbescheinigung keine geringere Anhängelast angegeben ist. (§61 Abs. 1 KDV) 	
Klasse BE	<ul style="list-style-type: none"> • Falls bei der Genehmigung der Fahrzeuge nichts anderes festgelegt worden ist, ein Zugfahrzeug der Klasse B und einen Anhänger oder Sattelanhänger mit einer höchsten zulässigen Gesamtmasse von nicht mehr als 3500 kg. 	18 Jahre

Tabelle 4: Führerscheinklassen in Österreich⁵

2.3.2.3. Technische Eigenschaften der Fahrzeugklassen

Die Definition der technischen Voraussetzungen für die einzelnen Fahrzeugklassen ist sehr umfangreich und in verschiedenen Richtlinien geregelt. Für die Typengenehmigung von zwei-, drei- und vierrädrigen Kraftfahrzeugen sind in der Richtlinie 2002/24/EG 47 verbindliche technische Merkmale definiert. In Einzelrichtlinien sind diese weiter spezifiziert. In Tabelle 5 sind jene Merkmale aufgelistet, die für den Aufbau eines Versuchsfahrzeugs relevant sind.

Die Angabe „Ü“ bedeutet, dass die Übereinstimmung mit den Herstellerangaben geprüft wird, „ER“ bedeutet, dass die Übereinstimmung mit den Gemeinschaftsvorschriften überprüft werden muss.

Nr.	Beschreibung	Art	Einzelrichtlinie
1	Marke	Ü	
2	Typ/Variante/Version	Ü	
3	Name und Anschrift des Fahrzeugherstellers	Ü	
4	Gegebenenfalls Name und Beauftragten des Fahrzeugherstellers	Ü	

5	Fahrzeugklasse (*)	Ü	2002/25/EG
6	Anzahl der Räder und ihre Anordnung im Falle von dreirädrigen Kraftfahrzeugen	Ü	
7	Schemazeichnung des Rahmens	Ü	
8	Name und Anschrift des Motorherstellers (falls nicht mit dem Fahrzeughersteller identisch)	Ü	
9	Fabrikmarke und Bezeichnung des Motors	Ü	
10	Art der Zündung	Ü	
11	Arbeitsverfahren des Motors (**)	Ü	
12	Art der Motorkühlung	Ü	
13	Art der Motorschmierung (**)	Ü	
14	Anzahl und Anordnung der Zylinder (oder der Kammern bei Kreiskolbenmotoren) (**)	Ü	
15	Bohrung, Hub und Hubvolumen (oder Brennkammerinhalt bei Kreiskolbenmotoren) (**)	Ü	
16	Vollständiges Steuerungsdiagramm des Motors (**)	Ü	
17	Volumetrisches Verdichtungsverhältnis (**)	Ü	
18	Maximales Drehmoment und maximale Nutzleistung des Motors <ul style="list-style-type: none"> • bei Fremdzündungs- oder Selbstzündungsmotoren • bei Elektromotoren 	ER Ü	95/1/EG
19	Maßnahmen gegen unbefugte Eingriffe an Kleinkrafträdern und Kraftträdern	ER	97/24/EG Kapitel 7
20	Kraftstoffbehälter (**)	ER	97/24/EG Kapitel 6
21	Antriebsbatterie(n)	Ü	
22	Vergaser oder anderes Kraftstoffzuführsystem (Typ und Fabrikmarke) (**)	Ü	
23	Elektrische Anlage (Nennspannung)	Ü	
24	Lichtmaschine (Art und Nennleistung) (**)	Ü	
25	Bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit	ER	95/1/EG
26	Massen und Abmessungen	ER	93/93/EWG
27	Anhängevorrichtungen und ihre Befestigung	ER	97/24/EG Kapitel 10
28	Maßnahmen gegen Verunreinigung der Luft (**)	ER	97/24/EG Kapitel 5
29	Reifen	ER	97/24/EG Kapitel 1
30	Kraftübertragung	Ü	
31	Bremsanlage	ER	93/14/EWG
32	Anbau der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen am Fahrzeug	ER	93/92/EWG
33	Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen, deren zwingend vorgeschriebenes oder wahlweises Vorhandensein in den Anbauvorschriften nach Abschnitt 32 festgelegt ist	ER	97/24/EG Kapitel 2
34	Einrichtungen für Schallzeichen	ER	93/30/EWG
35	Anbringungsstelle des amtlichen Kennzeichens an der Rückseite	ER	93/94/EWG

36	Elektromagnetische Verträglichkeit	ER	97/24/EG Kapitel 8
37	Zulässiger Geräuschpegel und Auspuffanlage (**)	ER	97/24/EG Kapitel 9
38	Rückspiegel	ER	97/24/EG Kapitel 4
39	Vorstehende Außenkanten	ER	97/24/EG Kapitel 3
40	Ständer (ausgenommen Fahrzeuge mit mindestens drei Rädern)	ER	93/31/EWG
41	Sicherungsreinrichtungen gegen unbefugte Benutzung des Fahrzeugs	ER	93/33/EWG
42	Scheiben, Scheibenwischer, Scheibenwascher und Entfrosts- und Trocknungsanlagen für dreirädrige Kleinkrafträder, dreirädrige Kraftfahrzeuge und vierrädrige Kraftfahrzeuge mit Aufbau	ER	97/24/EG Kapitel 12
43	Halteeinrichtung für Beifahrer von zweirädrigen Kraftfahrzeugen	ER	93/32/EWG
44	Verankerung der Sicherheitsgurte und Sicherheitsgurte für dreirädrige Kleinkrafträder, dreirädrige Kraftfahrzeuge und vierrädrige Kraftfahrzeuge mit Aufbau	ER	97/24/EG Kapitel 11
45	Geschwindigkeitsmesser	ER	2000/7/EG
46	Kennzeichnung der Betätigungseinrichtung, Kontrollleuchten und Anzeiger	ER	93/29/EWG
47	Vorgeschriebene Angaben am Fahrzeug (Inhalt, Lage und Art der Anbringung)	ER	93/34/EWG

Tabelle 5: Aufstellung der für die Typengenehmigung von Fahrzeugen anzuwendenden Vorschriften nach EG-Richtlinie 2002/24/EG

(*) Bei Fahrzeugen mit Hybridantrieb, die aufgrund der Auslegung der beiden Antriebssysteme sowohl von der Definition eines Kleinkraftrads als auch von der eines Kraftrads bzw. eines dreirädrigen oder vierrädrigen Kraftfahrzeugs erfasst werden, gelten die letztgenannten Begriffsbestimmungen.

(**) Elektrisch angetriebene Fahrzeuge unterliegen nicht den Bestimmungen dieser Rubrik. Dies gilt nicht für Fahrzeuge mit Hybridantrieb, bei denen der Antrieb zum einen elektrisch und zum anderen mittels Verbrennungsmotor erfolgt.

Je nach Ausführung des Fahrzeugs sind nicht alle 47 Merkmale relevant. Außerdem gibt es weitere Erleichterungen für die Typengenehmigung von Kleinserienfahrzeugen.

2.3.2.4. Anhängerklassen

Ein Anhänger ist ein Fahrzeug auf Rädern ohne eigenen Antrieb, das dafür konstruiert und gebaut ist, von einem Kraftfahrzeug gezogen zu werden. Sollen also zwei oder mehrere Fahrzeuge gekoppelt und dabei alle Antriebsquellen genutzt werden, kann das hintere Fahrzeug nicht als Anhänger eingestuft werden.

Die Unterteilung der Anhängerklassen ist in Tabelle 6 dargestellt.

Mit Krafträdern dürfen nur Einachsanhänger gezogen werden, die nicht breiter als das Zugfahrzeug sind, wobei für einspurige Krafträder die größte zulässige Breite 80 cm beträgt. Bei einspurigen Motorfahrrädern beträgt das maximale Gesamtgewicht 50 kg, bei mehrspurigen 100 kg. Für darüber hinausgehende Abmessungen und Gewichte ist bei der örtlich zuständigen Behörde eine Bewilligung einzuholen⁶.

Klasse	Beschreibung
Klasse O1	Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von nicht mehr als 750 kg
Klasse O2	Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 750 kg und nicht mehr als 3.500 kg
Klasse O3	Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3.500 kg und nicht mehr als 10.000 kg
Klasse O4	Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 10.000 kg

Tabelle 6: Unterteilung der Fahrzeugklasse O - Anhänger⁷

Im Hinblick auf eine erhöhte Sicherheit im Straßenverkehr und bessere Austauschbarkeit von Kraftfahrzeugen und Anhängern im internationalen Verkehr ist es wichtig, dass alle Fahrzeuge, die einen Zug oder ein Sattelkraftfahrzeug bilden, mit genormten und harmonisierten mechanischen Verbindungseinrichtungen ausgerüstet sind. Die in Abbildung 6 dargestellte Skizze zeigt die geometrischen Anforderungen an Kupplungskörpern nach RICHTLINIE 94/20/EG.

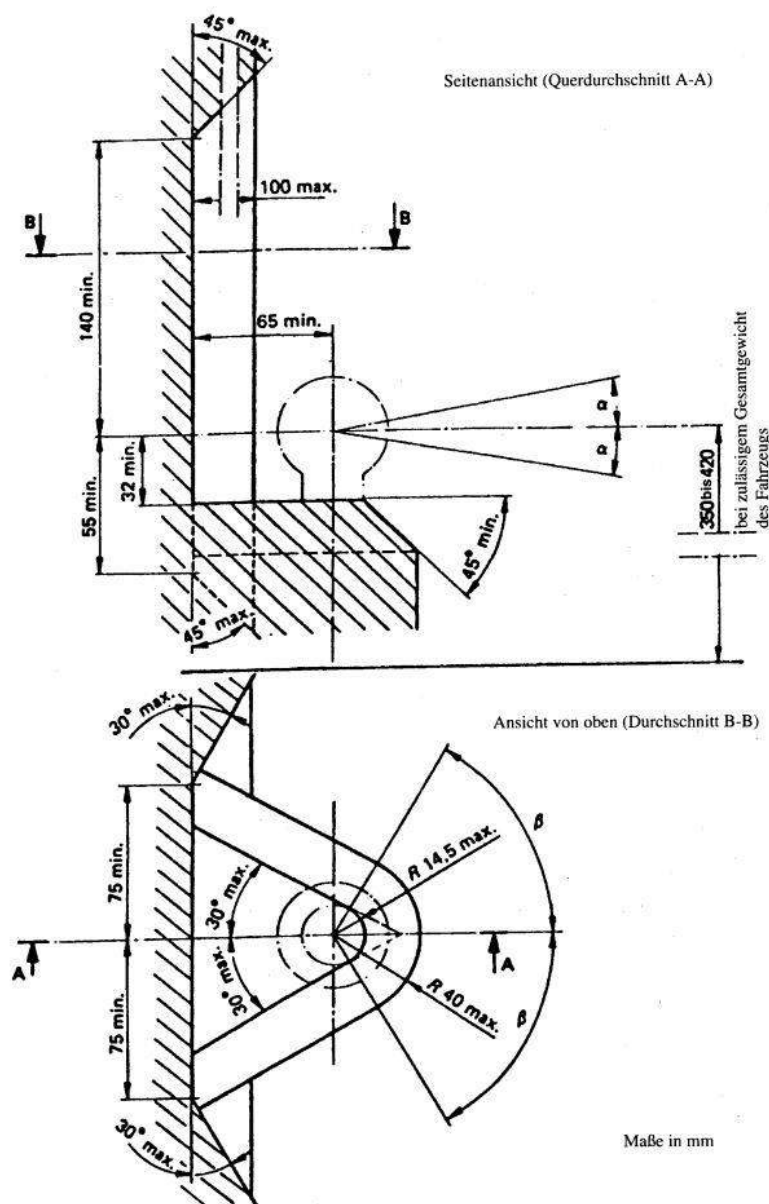


Abbildung 6: Freiraum für Kupplungskugel⁸

2.3.3. Neuerungen durch die VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013

Seit 15.01.2013 gilt eine neue VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013- bezüglich der Fahrzeugklassen. Die wesentliche Neuerung besteht darin, dass in der neuen Verordnung weitere Unterklassen und zusätzliche technische Auflagen definiert werden. Die Fahrzeugklasse L wurde in neue Unter-Unterklassen aufgeteilt, die in den folgenden Absätzen dargestellt sind. Dabei wird der Inhalt über die Genehmigung und Marktüberwachung von zwei- oder dreirädrigen und vierrädrigen Fahrzeugen aus dem Amtsblatt der Europäischen Union dargestellt.⁹ Es werden nur die relevanten Fahrzeugklassen L6e und L7e angeführt, da andere Fahrzeugunterklassen der Klasse „L“ zwei- oder dreirädrige Fahrzeuge beschreiben, welche nicht auf das SynArea-Fahrzeug zutreffen.

2.3.3.1. Fahrzeugeinstufung

In Tabelle 7 ist ein Auszug aus der Verordnung Nr. 168/2013 Anhang I bzgl. Fahrzeugeinstufung gelistet.

Klasse	Bezeichnung der Klasse	Gemeinsame Einstufungskriterien
L1e-L7e	Alle Fahrzeuge der Klasse L	(1) Länge $\leq 4\ 000$ mm oder $\leq 3\ 000$ mm für ein L6e-B-Fahrzeug oder $\leq 3\ 700$ mm für ein L7e-C-Fahrzeug, und (2) Breite: $\leq 2\ 000$ mm, oder $\leq 1\ 000$ mm für ein L1e-Fahrzeug, oder $\leq 1\ 500$ mm für ein L6e-B- oder ein L7e-C-Fahrzeug und (3) Höhe $\leq 2\ 500$ mm und
L6e	Leichtes vierrädriges Kraftfahrzeug	(4) vier Räder und eine der unter Artikel 4 Absatz 3 genannten Antriebsformen und (5) bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs ≤ 45 km/h und (6) Masse in fahrbereitem Zustand < 425 kg und (7) ein Hubvolumen von ≤ 50 cm ³ , falls ein PI-Motor Teil der Antriebskonfiguration des Fahrzeugs ist, oder ein Hubvolumen von ≤ 500 cm ³ , falls ein CI-Motor Teil der Antriebskonfiguration des Fahrzeugs ist, und (8) ausgerüstet mit höchstens zwei Sitzplätzen, einschließlich des Fahrersitzes und
Unterklassen	Bezeichnung der Unterklasse	Zusätzliche Kriterien für die Einstufung hinsichtlich der Unterklasse
L6e-A	Leichtes Straßen-Quad	(9) Fahrzeug der Klasse L6e, das nicht mit den spezifischen Einstufungskriterien für ein Fahrzeug der Unterklasse L6e-B übereinstimmt, und (10) maximale Nenndauerleistung oder Nutzleistung (1) $\leq 4\ 000$ W und
L6e-B	Leichtes Vierradmobil	(9) geschlossener, höchstens von drei Seiten zugänglicher Fahrer- und Fahrgastraum und (10) maximale Nenndauerleistung oder Nutzleistung (1) $\leq 6\ 000$ W und
Unter-Unterklassen	Bezeichnung der Unter-Unterklasse	Kriterien für die Einstufung in Unter-Unterklassen zusätzlich zu den Kriterien für die Einstufung eines L6e-B-Fahrzeugs
L6e-BP	Leichtes Vierradmobil für	(11) hauptsächlich für die Beförderung von Personen

	Personenbeförderung	ausgelegtes L6e-B-Fahrzeug und (12) L6e-B-Fahrzeug, das nicht dem spezifischen Einstufungskriterium für ein L6e-BU-Fahrzeug entspricht.
L6e-BU	Leichtes Vierradmobil für Güterbeförderung	11) ausschließlich für die Beförderung von Gütern ausgelegtes Fahrzeug mit offener oder geschlossener, nahezu ebener und horizontaler Ladefläche, das die folgenden Kriterien erfüllt: a) Länge Ladefläche x Breite Ladefläche > 0,3 x Länge Fahrzeug x Breite Fahrzeug oder b) eine gleichwertige Ladefläche gemäß voranstehender Definition, die zur Montage von Maschinen und/oder Geräten bestimmt ist, und c) ausgelegt mit einer Ladefläche, die durch eine feste Trennwand eindeutig von dem den Fahrzeuginsassen vorbehaltenen Raum abgetrennt ist, und d) die Ladefläche ist in der Lage, ein Mindestvolumen aufzunehmen, das einem Würfel mit einer Kantenlänge von 600 mm entspricht.
L7e	Schweres vierrädriges Kraftfahrzeug	(4) vier Räder und eine der unter Artikel 4 Absatz 3 genannten Antriebsformen und (5) Masse in fahrbereitem Zustand: (a) ≤ 450 kg für die Beförderung von Personen (b) ≤ 600 kg für die Beförderung von Gütern und (6) L7e-Fahrzeug, das nicht als L6e-Fahrzeuge eingestuft werden kann und
Unterklassen	Bezeichnung der Unterklasse	Zusätzliche Kriterien für die Einstufung hinsichtlich der Unterklasse
L7e-A	Schweres Straßen-Quad	(7) L7e-Fahrzeug, das nicht mit den spezifischen Einstufungskriterien für ein L7e-B- oder ein L7e-C-Fahrzeug übereinstimmt und (8) ausschließlich für die Beförderung von Personen ausgelegtes Fahrzeug und (9) maximale Nenndauerleistung oder Nutzleistung (1) ≤ 15 kW und
Unter-Unterklassen	Bezeichnung der Unter-Unterklasse	Zusätzliche Kriterien für die Einstufung hinsichtlich der Unterklasse
L7e-A1	A1 schweres Straßen-Quad	10) höchstens zwei Sattelsitzplätze, einschließlich des Fahrersitzes, und (11) Lenkung mittels Lenkstange.
L7e-A2	A2 schweres Straßen-Quad	10) L7e-A-Fahrzeug, das nicht mit den spezifischen Einstufungskriterien für ein L7e-A1-Fahrzeug übereinstimmt, und (11) höchstens zwei nicht sattelförmige Sitzplätze, einschließlich des Fahrersitzes.
Unterklasse	Bezeichnung der Unterklasse	Zusätzliche Kriterien für die Einstufung hinsichtlich der Unterklasse
L7e-B	Schweres Gelände-Quad	(7) L7e-Fahrzeug, das nicht mit den spezifischen

		Einstufungskriterien für ein L7e-C-Fahrzeuge übereinstimmt, und (8) Bodenfreiheit ≥ 180 mm und
Unter-Unterklassen	Bezeichnung der Unter-Unterklasse	Zusätzliche Kriterien für die Einstufung hinsichtlich der Unterklasse
L7e-B1	Gelände-Quad	9) höchstens zwei Sattelsitzplätze, einschließlich des Fahrersitzes, und (10) für die Lenkung mit einer Lenkstange ausgerüstet und (11) bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs ≤ 90 km/h und (12) Verhältnis Radstand zu Bodenfreiheit ≤ 6 .
L7e-B2	Side-by-Side-Buggy	(9) anderes L7e-B-Fahrzeug als ein L7e-B1-Fahrzeug und (10) höchstens drei nicht sattelförmige Sitzplätze, von denen zwei nebeneinander angeordnet sind, einschließlich des Fahrersitzes und (11) maximale Nenndauerleistung oder Nutzleistung (1) ≤ 15 kW und (12) Verhältnis Radstand zu Bodenfreiheit ≤ 8 .
Unter-Unterklassen	Bezeichnung der Unter-Unterklasse	Zusätzliche Kriterien für die Einstufung hinsichtlich der Unterklasse
L7e-C	Schweres Vierradmobil	7) L7e-Fahrzeug, das nicht mit den spezifischen Einstufungskriterien für ein L7e-B-Fahrzeug übereinstimmt, und (8) maximale Nenndauerleistung oder Nutzleistung (1) ≤ 15 kW und (9) bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs ≤ 90 km/h und (10) geschlossener, höchstens von drei Seiten zugänglicher Fahrer- und Fahrgastraum und
Unter-Unterklassen	Bezeichnung der Unter-Unterklasse	Kriterien für die Einstufung in Unter-Unterklassen zusätzlich zu den Kriterien für die Einstufung in die Unterklasse L7e-C schwere Vierradmobile
L7e-CP	Schweres Vierradmobil für Personenbeförderung	(11) L7e-C-Fahrzeug, das nicht mit den spezifischen Einstufungskriterien für ein L7e-CU-Fahrzeug übereinstimmt, und (12) höchstens vier nicht sattelförmige Sitze, einschließlich des Fahrersitzes.
L7e-CU	Schweres Vierradmobil für Güterbeförderung	11) ausschließlich für die Beförderung von Gütern ausgelegtes Fahrzeug mit offener oder geschlossener, nahezu ebener und horizontaler Ladefläche, das die folgenden Kriterien erfüllt: a) Länge Ladefläche \times Breite Ladefläche $> 0,3 \times$ Länge Fahrzeug \times Breite Fahrzeug oder b) eine gleichwertige Ladefläche gemäß voranstehender Definition, die zur Montage von Maschinen und/oder Geräten bestimmt ist, und c) ausgelegt mit einer Ladefläche, die durch eine feste Trennwand eindeutig von dem den Fahrzeuginsassen vorbehaltenen Raum abgetrennt ist, und d) die Ladefläche ist in der Lage, ein Mindestvolumen aufzunehmen, das einem Würfel mit einer Kantenlänge von 600 mm entspricht, und (12) höchstens zwei nicht sattelförmige Sitze, einschließlich des Fahrersitzes.

Tabelle 7: Auszug aus VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013 ANHANG I Fahrzeugeinstufung¹⁰

2.3.3.2. Anforderung für die Typengenehmigung

In Tabelle 8 sind die Anforderungen zur Typengenehmigung dargestellt. Die Abkürzung IF bedeutet „falls installiert“. Somit gilt die Anforderung nur falls der beschriebene Gegenstand im Fahrzeug verbaut ist. Die freien Felder bedeuten, dass diese Anforderung für das Fahrzeug nicht gilt.

Nr.	Artikel	Gegenstand	L6e-A	L6e-B	L7e-A1	L7e-A2	L7e-B1	L7e-B2	L7e-C
A	LEISTUNGSANFORDERUNGEN AN UMWELTVERTRÄGLICHKEIT UND ANTRIEBSLEISTUNG								
1	23 & 24	umweltbezogene Prüfverfahren für Abgasemissionen, Verdunstungsemissionen, Treibhausgasemissionen, Kraftstoffverbrauch und Bezugskraftstoffe	X	X	X	X	X	X	X
2		bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs, maximales Drehmoment und maximale Dauergesamtleistung des Antriebs	X	X	X	X	X	X	X
3		Verfahren für die Geräuschprüfung	X	X	X	X	X	X	X
B	ANFORDERUNGEN FÜR DIE FUNKTIONALE SICHERHEIT DES FAHRZEUGS								
1	22	akustische Warneinrichtungen	X	X	X	X	X	X	X
2		Bremsen, einschließlich Antiblockier- und kombinierte Bremssysteme	X	X	X	X	X	X	X
3		elektrische Sicherheit	X	X	X	X	X	X	X
4		Anforderungen an die Erklärung des Herstellers zur Dauerprüfung funktionaler Sicherheitssysteme, Teile und Ausrüstungen	X	X	X	X	X	X	X
5		vordere und hintere Schutzvorrichtungen	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF
6		Scheiben, Scheibenwischer und Scheibenwascher sowie Entfrostungs- und Trocknungsanlagen,	IF	X	IF	IF	IF	IF	X

7		vom Fahrer bediente Betätigungseinrichtungen, einschließlich Kennzeichnung der Betätigungseinrichtungen, Kontrollleuchten und Anzeiger	X	X	X	X	X	X	X
8		Anbau der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen einschließlich des automatischen Einschaltens der Beleuchtungseinrichtung	X	X	X	X	X	X	X
9		Sicht nach hinten	X	X	X	X	X	X	X
10		Überrollschutzstruktur (ROPS)						X	
11		Sicherheitsgurtverankerungen und Sicherheitsgurte	IF	IF	IF	X		X	X
12		Sitzplatz (Sättel und Sitze)	X	X	X	X	X	X	X
13		Steuerfähigkeit, Kurvenfahreigenschaften und Wendefähigkeit	X	X	X	X	X	X	X
14		Montage der Reifen	X	X	X	X	X	X	X
15		Geschwindigkeitsbegrenzungsschild und Anbringungsstelle am Fahrzeug	IF	IF	IF	IF	X	X	IF
16		Insassenschutz einschließlich Innenausstattung, Kopfstützen und Fahrzeugtüren	IF	IF		IF		IF	IF
17		bauartbezogene Begrenzung der maximalen Nenndauerleistung oder Nutzleistung und/oder Geschwindigkeitsbegrenzung des Fahrzeugs	X	X	X	X	X	X	X
18		Festigkeit der Fahrzeugstruktur	X	X	X	X	X	X	X
C	ANFORDERUNGEN FÜR DIE FAHRZEUGAUSLEGUNG UND ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN FÜR DIE TYPGENEHMIGUNG								
1	20	Maßnahmen betreffend unbefugte Eingriffe	X	X	X	X	X	X	X
2	25	Maßnahmen für Typgenehmigungsverfahren	X	X	X	X	X	X	X
3	33	Anforderungen für die Übereinstimmung der Produktion	X	X	X	X	X	X	X
4	18	Verbindungseinrichtungen und	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF

		Befestigungen							
5	18	Sicherungen gegen unbefugte Benutzung	X	X	X	X	X	X	X
6	18	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	X	X	X	X	X	X	X
7	18	vorstehende Außenkanten	X	X	X	X	X	X	X
8	18	Kraftstoffspeicher	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF
9	18	Ladeflächen		IF			IF	IF	IF
10	18	Massen und Abmessungen	X	X	X	X	X	X	X
11	21	On-Board-Diagnosesysteme	X	X	X	X	X	X	X
12	18	Halteeinrichtungen und Fußstützen für Beifahrer	X		IF	IF	IF	IF	
13	18	Anbringungsstelle Kennzeichen	X	X	X	X	X	X	X
14	18	Reparatur- und Wartungsinformationen	X	X	X	X	X	X	X
15	18	Ständer							
C2	ANFORDERUNGEN FÜR TECHNISCHE DIENSTE								
16	65	Leistungsnormen und Bewertung Technischer Dienste							

Tabelle 8: Auszug aus VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013 ANHANG II Vollständige Aufstellung der für die EU-Typgenehmigung von Fahrzeugen geltenden Anforderungen¹¹

2.3.3.3. Stückzahlen der Kleinserien

Für die Produktion von Kleinserien wird in dieser Verordnung eine Stückzahlbegrenzung angegeben, welche je nach Fahrzeugunterklasse unterschiedlich ist (Tabelle 9). Zur Verhinderung von Missbrauch wird die Anzahl der Kleinserienfahrzeuge auf eine sehr geringe Stückzahl beschränkt. Es ist daher notwendig, den Begriff der Kleinserie anhand der Zahl der hergestellten Fahrzeuge genauer zu fassen.

Fahrzeug(unter)klasse	Bezeichnung der Fahrzeug(unter)klasse	Kleinserien (Jährliche Stückzahlen für jeden auf dem Markt bereitgestellten, zugelassenen und in Betrieb genommenen Typ)
L6e-A	Leichte Straßen-Quads	30
L6e-B	Leichte Vierradmobile	150
L7e-A	Schwere Straßen-Quads	30
L7e-B	Schwere Gelände-Quads	50
L7e-C	Schwere Vierradmobile	150

Tabelle 9: Auszug aus VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013 ANHANG III Höchstzulässige Stückzahlen für Kleinserien¹²

2.3.3.4. Zeitplan für die Anwendung dieser Verordnung auf die Typgenehmigung

Der Anhang IV der Verordnung befasst sich mit dem Zeitplan für die Anwendung dieser Verordnung auf die Typgenehmigung. Hier wird festgelegt, ab welchem Datum die Anforderungen zu den jeweiligen Anhängen gültig werden. Für neue Fahrzeugtypen sind ab 2020 alle in diesem Dokument beschriebenen Verordnungen bestehende Anforderungen zur Typgenehmigung.

2.3.3.5. Umweltprüfungen und -anforderungen

Fahrzeuge der Klasse L dürfen nur typgenehmigt werden, wenn sie die Anforderungen bezogen auf die Umweltbelastung nach Tabelle 10 und Tabelle 11 erfüllen.

Art der Prüfung	Bezeichnung	Anforderungen: Grenzwerte	Kriterien für die Einstufung in Unterklassen, zusätzlich zu Artikel 2 und Anhang I	Anforderungen: Prüfverfahren
VII	CO ₂ -Emissionen, Kraftstoffverbrauch und/oder Verbrauch an elektrischer Energie und elektrische Reichweite	Erfassung und Übermittlung von Daten, keine Grenzwerte für Zwecke der Typgenehmigung	Globale technische Regelung der UN-ECE Nr. 2, Kapitel 6.3. Fahrzeuge der Klasse L mit einem Hubraum < 50 cm ³ und v _{max} < 50 km/h werden als Fahrzeuge der Klasse I eingestuft.	
VIII	On-Board-Diagnosesystem (OBD-System): Umweltverträglichkeitsprüfungen	Anhang VI (B)	Globale technische Regelung der UN-ECE Nr. 2, Kapitel 6.3. Fahrzeuge der Klasse L mit einem Hubraum < 50 cm ³ und v _{max} < 50 km/h werden als Fahrzeuge der Klasse I eingestuft.	
IX	Geräuschpegel	Anhang VI (D)	Wenn die in dem delegierten Rechtsakt in Bezug auf Leistungsanforderungen an Umweltverträglichkeit und Antriebsleistung festgelegten eigenen Anforderungen der EU durch die UN-ECE- Regelungen Nr. 9, 41, 63 oder 92 ersetzt werden, sind in Bezug auf die Prüfung Typ IX (Geräuschpegelprüfung) die Kriterien für die Einstufung in (Unter-)Klassen in Anhang 6 dieser UN-ECE- Regelungen zu wählen.	

Tabelle 10: Auszug aus VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013 Anhang V (A) Umweltprüfungen und -anforderungen¹³

Art der Prüfung	Fahrzeuge mit reinem Elektroantrieb
Prüfung Typ VII (19)	ja (nur Energieverbrauch)

Tabelle 11 Auszug aus VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013 Anhang V (B) Anwendung der Anforderungen für die Umweltverträglichkeitsprüfung für die Genehmigung und für Erweiterungen¹⁴

2.3.3.6. Geräuschgrenzwerte — Euro 4 und Euro 5

Tabelle 12 zeigt die Anforderungen bezüglich Geräuschemissionen. Aufgrund des geplanten elektrischen Antriebs des SynArea-Fahrzeugs sollten diese Anforderungen jedoch ohne zusätzlichen Aufwand erfüllt werden können.

Fahrzeugklasse	Bezeichnung der Fahrzeugklasse	Euro 4 Geräuschpegel (14) (dB(A))	Euro 4 Prüfverfahren (16)	Euro 5 Geräuschpegel (15) (dB(A))	Euro 5 Prüfverfahren
L6e-A	Leichte Straßen-Quads	80	Delegierter Rechtsakt/UN-ECE-Regelung Nr. 63		UN-ECE-Regelung Nr. 63
L6e-B	Leichte Vierradmobile	80	Delegierter Rechtsakt/UN-ECE-Regelung Nr. 9		UN-ECE-Regelung Nr. 9
L7e-A	Schwere Straßen-Quads	80			
L7e-B	Schwere Gelände-Quads	80			
L7e-C	Schwere Vierradmobile	80			

Tabelle 12: Auszug aus VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013 ANHANG VI (D) Schadstoff-Emissionsgrenzwerte, OBD-Schwellenwerte und Grenzwerte für den Geräuschpegel hinsichtlich der Typgenehmigung und der Übereinstimmung der Produktion¹²

2.3.3.7. Funktionale Sicherheit

Zur funktionalen Sicherheit wurden erstmals Anforderungen für Fahrzeuge der Klasse „L“ vorgeschrieben. Dies betrifft aktive und passive Sicherheitssysteme, wie in Tabelle 13 ersichtlich ist.

Gegenstand	Anforderungen
Verbindlicher Einbau verbesserter Bremssysteme	a) Neue Krafräder (22) der Unterklasse L3e-A1, die auf dem Markt bereitgestellt, zugelassen oder in Betrieb genommen werden, sind nach Wahl des Herstellers entweder mit einem Anti-Blockier-System oder einem kombinierten Bremssystem oder beiden Typen verbesserter Bremssysteme auszurüsten. b) Neue Krafräder der Unterklassen L3e-A2 und L3e-A3, die auf dem Markt bereitgestellt, zugelassen oder in Betrieb genommen werden, sind mit einem Anti-Blockier-System auszurüsten. Ausnahme: L3e-AxE (x = 1, 2 oder 3, zweirädrige Enduro-Krafräder) und L3e-AxT (x = 1, 2 oder 3, zweirädrige Trial-Krafräder) sind vom verbindlichen Einbau verbesserter Bremssysteme ausgenommen.
Sichere Kurvenfahrt auf befestigten Straßen	Fahrzeuge der Klasse L sind so zu konstruieren, dass sich jedes Rad zu jedem Zeitpunkt mit verschiedenen Geschwindigkeiten drehen kann, um eine sichere Kurvenfahrt auf befestigten Straßen zu gewährleisten. Ist ein Fahrzeug mit einer Differenzialsperre ausgerüstet, muss es so ausgelegt sein, dass sie normalerweise nicht gesperrt ist.
Verbesserung der Sichtbarkeit des Fahrzeugs und des Fahrers durch automatisches Einschalten der Beleuchtungseinrichtung	Zur Verbesserung der Sichtbarkeit von Fahrzeugen der Klasse L sind diese wie folgt auszurüsten: a) Fahrzeuge der Klasse L1e: Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen im Einklang mit UN-ECE-Regelung Nr. 74 Rev. 2, die eine automatische Aktivierung der Lichtsignalanlage erfordert; b) Fahrzeuge der Klasse L3e: Nach Wahl des Herstellers entweder Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen im Einklang mit UN-ECE-Regelung Nr. 53 Rev. 2 und ihren Änderungen 1 und 2 oder eigene Tagfahrleuchten im Einklang mit UN-ECE-Regelung Nr. 87 Rev. 2 und ihren Änderungen 1 und 2. c) Alle anderen Unterklassen von Fahrzeugen der Klasse L: Eine Beleuchtungsanlage, die sich automatisch einschaltet, oder, nach Wahl des Herstellers, eigene Tagfahrleuchten, die sich automatisch einschalten (23) .

<p>(Anhang II (B) 3) Elektrische Sicherheit</p>	<p>Fahrzeuge der Klasse L müssen, wenn sie mit einem oder mehreren Antriebsmotoren ausgestattet sind, die mit elektrischer Energie betrieben werden und nicht dauerhaft an das Netz angeschlossen sind, im Hinblick auf den elektrischen Antriebsstrang sowie ihre Hochspannungskomponenten und Systeme, die mit der Hochspannungssammelschiene des elektrischen Antriebsstrangs galvanisch verbunden sind, so ausgelegt werden, dass jede Gefährdung der elektrischen Sicherheit verhindert wird, indem die einschlägigen Anforderungen der UN-ECE-Regelung Nr. 100 und der Norm ISO 13063 angewendet werden.</p>
<p>(Anhang II (B) 4) Anforderungen an die Erklärung des Herstellers zur Dauerprüfung kritischer funktionaler Sicherheitssysteme, Teile und Ausrüstungen</p>	<p>Der Fahrzeughersteller erklärt, dass Fahrzeuge, die in Übereinstimmung mit Artikel 22 Absatz 2 hergestellt wurden, in der Lage sind, eine bestimmungsgemäße normale Nutzung zumindest über die unten angegebene zurückgelegte Entfernung innerhalb von 5 Jahren nach ihrer Erstzulassung zu überstehen. Die Entfernung beträgt das Anderthalbfache der in Anhang VII mit direktem Bezug zu der betreffenden Fahrzeugklasse und der Emissionsphase (d. h. der Euro-Norm), nach der das Fahrzeug typgenehmigt werden soll, angegebenen Entfernung, überschreitet jedoch für keine Fahrzeugklasse 60 000 km.</p>
<p>(Anhang II (B) 10) Sicherheitsgurtverankerungen und Sicherheitsgurte</p>	<p>Die verbindlichen Anforderungen für Sicherheitsgurtverankerungen und die Installation von Sicherheitsgurten in Fahrzeugen der Klassen L2e, L5e, L6e und L7e, die mit Aufbauten versehen sind.</p>
<p>(Anhang II (B) 15) Anforderungen an Insassenschutzsysteme einschließlich Innenausstattung und Fahrzeugtüren</p>	<p>Fahrzeuge der Klassen L2e, L5e, L6e und L7e, die mit Aufbauten versehen sind, müssen so ausgelegt werden, dass sie keine spitzen oder scharfen oder vorstehenden Teile aufweisen, bei denen davon auszugehen ist, dass durch sie die Schwere von Verletzungen und Wunden beim Fahrer und bei den Beifahrern wesentlich erhöht wird. Fahrzeuge mit Türen müssen so ausgelegt werden, dass sichergestellt ist, dass diese Türen unter Verwendung der entsprechenden Schlösser und Scharniere gebaut werden.</p>
<p>(Anhang II (B) 17) Anforderungen an die Festigkeit der Fahrzeugstruktur</p>	<p>Der Fahrzeughersteller erklärt, dass im Falle eines Rückrufs aufgrund eines erheblichen Sicherheitsrisikos der Genehmigungsbehörde und der Kommission auf Anfrage unverzüglich eine mittels ingenieurtechnischer Berechnungen, virtueller Prüfmethode und/oder struktureller Prüfungen vorgenommene spezifische Untersuchung der Strukturen, Bauteile und/oder Teile zur Verfügung gestellt wird. Die Typgenehmigung für Fahrzeuge darf nicht erteilt werden, wenn begründete Zweifel daran bestehen, dass der Fahrzeughersteller in der Lage ist, für eine solche Untersuchung Sorge zu tragen.</p>

Tabelle 13: Auszug aus VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013 ANHANG VII Funktionale Sicherheit¹⁵

2.3.3.8. Erläuterungen zu den Abschnitten 3.1 bis 3.7

1. Grundlage der in Abschnitt 2.3.3.1 genannten Leistungsgrenzen ist die maximale Nenndauerleistung bei Fahrzeugen mit Elektroantrieb und die maximale Nutzleistung bei Fahrzeugen, die von einem Verbrennungsmotor angetrieben werden. Das Gewicht eines Fahrzeugs wird als identisch mit seiner Masse in fahrbereitem Zustand betrachtet.

2. Die Einstufung eines L3e-Fahrzeugs als Unterklasse je nachdem, ob seine bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit weniger, gleich oder mehr als 130 km/h beträgt, ist unabhängig von seiner Einstufung in die Antriebsleistungsklassen L3e-A1 (obwohl 130 km/h wahrscheinlich nicht erreicht werden), L3e-A2 oder L3e-A3.

3. „X“ bedeutet, dass durch diese Verordnung verbindliche Anforderungen für den betreffenden Gegenstand und die betreffende Klasse festgelegt werden. Die ausführlichen Anforderungen sind in den Bezugsartikeln und den Bezugsdokumenten in dieser Tabelle festgelegt.

Wenn das System, das Bauteil oder die selbstständige technische Einheit, auf die in der Tabelle Bezug genommen wird, in dem Fahrzeug installiert ist, weil dies nur für einige der in die betreffende Klasse eingestuften Fahrzeuge vorgeschrieben ist, muss es bzw. sie die in den delegierten Rechtsakten und den Durchführungsrechtsakten festgelegten Anforderungen erfüllen. Wenn der Fahrzeughersteller entscheidet, das Fahrzeug freiwillig mit dem System, dem Bauteil oder der selbstständigen technischen Einheit auszurüsten, muss es bzw. sie ebenfalls die in den delegierten Rechtsakten und den Durchführungsrechtsakten festgelegten Anforderungen erfüllen.

Wenn ein Tabellenfeld leer ist, bedeutet dies, dass durch diese Verordnung für den betreffenden Gegenstand und die betreffende Klasse keine Anforderungen festgelegt werden.

4. Siehe Artikel 23 Absätze 4 und 5.

5. Ist/sind der/die (Hybrid-) Motor(en) mit einer Stop-/Start-Funktion ausgerüstet, muss der Hersteller sicherstellen, dass der Verbrennungsmotor im Leerlauf und mit erhöhter Leerlaufdrehzahl läuft. Das Fahrzeug muss der Prüfung bei freier Beschleunigung unterzogen werden können, wenn das Antriebssystem einen Selbstzündungsmotor (CI-Motor) aufweist.

6. Richtlinie 2009/40/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Mai 2009 über die technische Überwachung der Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger (ABl. L 141 vom 6.6.2009, S. 12).

7. Nur das zweirädrige Kraftrad (Basisfahrzeug), an das der Beiwagen montiert ist, muss die entsprechenden Emissionsgrenzwerte einhalten.

8. Nur Selbstzündungsmotoren (CI), auch wenn z. B. ein Selbstzündungsmotor (CI) Teil eines Hybridantriebs ist.

9. Gilt nur für Benzinmotoren mit Direkteinspritzung (DI).

10. In der in Artikel 23 Absätze 4 und 5 genannten Umweltverträglichkeitsstudie wird auch darüber berichtet, ob neben Fahrzeugen der Klasse L3e, L5e-A und L7e-A auch andere Fahrzeuge der Klasse L im Rahmen eines überarbeiteten WMTC einer Emissionsprüfung unterzogen werden könnten.

11. Fremdzündungsmotoren (PI), die mit Benzin, Benzinkraftstoffgemischen oder Ethanol-Kraftstoff betrieben werden.

12. Die Kostenwirksamkeit der Einrichtung zur Verdunstungsemissionsminderung wird in der Umweltverträglichkeitsstudie, die gemäß Artikel 23 Absätze 4 und 5 für die Kommission erstellt wird, bewertet. In dieser Studie werden für die Unterklassen von Fahrzeugen, die noch keiner Prüfung auf Verdunstungsemissionen gemäß Artikel 23 Absätze 4 und 5 unterzogen worden sind, als Alternative zur SHED-Prüfung weitere kostenwirksame

Prüfungen in Bezug auf Verdunstungsemissionen, z. B. Durchlässigkeitsprüfungen für Kraftstoffbehälter und Kraftstoffzufuhrleitungen, bewertet.

13. $v_{\max} \geq 130$ km/h

14. Bis die Union den UN-ECE-Regelungen Nr. 9, 41, 63 und 92 beiträgt und diese im Rahmen der UN-ECE WP29 und innerhalb der Union umsetzt — einschließlich der damit zusammenhängenden gleichwertigen Geräuschgrenzwerte der Stufe Euro 4 (wie sie zum Beispiel in Anhang 6 der UN-ECE-Regelung Nr. 41 für Krafträder der Klassen L3e und L4e festgelegt werden) — müssen Fahrzeuge der Klasse L den Grenzwerten gemäß Anhang VI Teil D entsprechen. Sobald die Union die UN-ECE-Regelungen Nr. 9, 41, 63 und 92 übernommen hat, werden diese — einschließlich der Geräuschgrenzwerte, die den in Anhang VI (D) aufgeführten gleichwertig sind — verbindlich und ersetzen die Prüfverfahren im delegierten Rechtsakt zu Leistungsanforderungen an Umweltverträglichkeit und Antriebsleistung.

15. Die noch festzulegenden Geräuschgrenzwerte der Euro-5-Norm sind in einem eigenständigen Rechtsakt, der nach dem ordentlichen Gesetzgebungsverfahren gemäß Artikel 294 des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union erlassen wird, zu ändern.

16. Die Verfahren für die Geräuschprüfung sind in einem gemäß dieser Verordnung erlassenen delegierten Rechtsakt enthalten, der durch die UN-ECE-Regelungen Nr. 9, 41, 63 und 92 ersetzt werden wird.

17. Nur bei PI-, DI- und CI-Motoren.

18. Gilt auch für Hybridfahrzeuge.

19. Hinsichtlich der Beschreibung der Prüfungstypen, der Verweise auf die Grenzwerte und der Prüfverfahren für die Prüfungen Typ I bis IX wird auf Anhang V verwiesen. DE 2.3.2013 Amtsblatt der Europäischen Union L 60/125.

20. Für Fahrzeuge mit Elektroantrieb und Hybrid-Elektrofahrzeuge werden lediglich Geräuschanforderungen für geräuscharme Fahrzeuge festgelegt.

21. Hinsichtlich der Anwendungsfristen für die erhöhten Anforderungen für die funktionale Sicherheit wird auf Anhang IV verwiesen.

22. Fahrzeuge der Klasse L4e (Krafträder mit Beiwagen) sind von den Anforderungen a und b in Bezug auf den verbindlichen Einbau verbesserter Bremssysteme ausgenommen.

23. Um den Start eines Verbrennungsmotors zu gewährleisten, kann die Beleuchtungsanlage während der Anlassphase des Motors für höchstens 10 Sekunden ausgeschaltet werden.

2.3.4. Geeignete Fahrzeugklassen

Die in Tabelle 14 angeführten Fahrzeugklassen L6e-BP und L7e-CP sind für das SynArea-Projekt geeignet. Beide Fahrzeugvarianten beschreiben ein Leichtfahrzeug mit geschlossenem Aufbau für die Personenbeförderung. Wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Varianten ist die Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h der L6e-BP-Klasse und eine Höchstgeschwindigkeit von ≤ 90 km/h der L7e-CP-Klasse.

Fahrzeugklassen	L6e: Leichtes vierrädriges Kraftfahrzeug	L7e: Schweres vierrädriges Kraftfahrzeug
Unterklasse	L6e-B Leichtes Vierradmobil	L7e-C Schweres Vierradmobil
Unter-Unterklasse	L6e-BP Leichtes Vierradmobil für Personenbeförderung	L7e-CP Schweres Vierradmobil für Personenbeförderung
Höchstgeschwindigkeit	45 km/h	≤ 90 km/h
Masse im fahrbereitem Zustand	< 425 kg	≤ 450 kg
Sitzplätze	2 inkl. Fahrersitz	≤ 4 nicht sattelförmige Sitze inkl. Fahrersitz
Maximale Nenndauerleistung oder Nutzleistung	≤ 6 kW	≤ 15 kW
Fahrgastraum	Geschlossen, höchstens von drei Seiten zugänglich	Geschlossen, höchstens von drei Seiten zugänglich
Jährliche höchstzulässige Stückzahl für Kleinserie	150	150
Nicht gesperrtes Differential	X	X

Tabelle 14: Geeignete Fahrzeugklassen

2.3.5. Technische Anforderungen an das Fahrzeug

2.3.5.1. Umweltverträglichkeit und Antriebsleistung

Bezüglich Umweltverträglichkeit und Antriebsleistung müssen die in Tabelle 15 angeführten Punkte umgesetzt werden.

Artikel	Gegenstand	L6e-B	L7e-C
Leistungsanforderungen an Umweltverträglichkeit und Antriebsleistung			
23 & 24	umweltbezogene Prüfverfahren für Abgasemissionen, Verdunstungsemissionen, Treibhausgasemissionen, Kraftstoffverbrauch und Bezugskraftstoffe	X	X
	bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs, maximales Drehmoment und maximale Dauergesamtleistung des Antriebs	X	X
	Verfahren für die Geräuschprüfung	X	X

Tabelle 15: Umweltverträglichkeit und Antriebsleistung

2.3.5.2. Funktionale Sicherheit des Fahrzeugs

In Tabelle 16 sind die notwendigen Sicherheitssysteme der beiden Fahrzeugklassen angeführt.

Artikel	Gegenstand	L6e-B	L7e-C
Anforderungen an die funktionale Sicherheit des Fahrzeugs			
22	akustische Warneinrichtungen	X	X
	Bremsen, einschließlich Antiblockier- und kombinierte Bremssysteme	X	X
	elektrische Sicherheit	X	X
	Anforderungen an die Erklärung des Herstellers zur Dauerprüfung funktionaler Sicherheitssysteme, Teile und Ausrüstungen	X	X
	vordere und hintere Schutzvorrichtungen	IF	IF
	Scheiben, Scheibenwischer und Scheibenwascher sowie Entfrostsung-	X	X

und Trocknungsanlagen,		
vom Fahrer bediente Betätigungseinrichtungen, einschließlich Kennzeichnung der Betätigungseinrichtungen, Kontrollleuchten und Anzeiger	X	X
Anbau der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen einschließlich des automatischen Einschaltens der Beleuchtungseinrichtung	X	X
Sicht nach hinten	X	X
Überrollschutzstruktur (ROPS)	-	-
Sicherheitsgurtverankerungen und Sicherheitsgurte	IF	X
Sitzplatz (Sättel und Sitze)	X	X
Steuerefähigkeit, Kurvenfahr-Eigenschaften und Wendefähigkeit	X	X
Montage der Reifen	X	X
Geschwindigkeitsbegrenzungsschild und Anbringungsstelle am Fahrzeug	IF	IF
Insassenschutz einschließlich Innenausstattung, Kopfstützen und Fahrzeugtüren	IF	IF
bauartbezogene Begrenzung der maximalen Nenndauerleistung oder Nutzleistung und/oder Geschwindigkeitsbegrenzung des Fahrzeugs	X	X
Festigkeit der Fahrzeugstruktur	X	X

Tabelle 16: Funktionale Sicherheit

2.3.5.3. Fahrzeugauslegung und Typengenehmigung

Für die Typengenehmigung müssen einige zusätzliche Anforderungen laut Tabelle 17 erfüllt werden.

Artikel	Gegenstand	L6e-B	L7e-C
Anforderungen für die Fahrzeugauslegung und allgemeine Anforderungen für die Typengenehmigung			
20	Maßnahmen betreffend unbefugte Eingriffe	X	X
25	Maßnahmen für Typgenehmigungsverfahren	X	X
33	Anforderungen für die Übereinstimmung der Produktion	X	X

18	Verbindungseinrichtungen und Befestigungen	IF	IF
18	Sicherungen gegen unbefugte Benutzung	X	X
18	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	X	X
18	vorstehende Außenkanten	X	X
18	Kraftstoffspeicher	IF	IF
18	Ladeflächen	IF	IF
18	Massen und Abmessungen	X	X
21	On-Board-Diagnosesysteme	X	X
18	Anbringungsstelle Kennzeichen	X	X
18	Reparatur- und Wartungsinformationen	X	X

Tabelle 17: Fahrzeugauslegung und Typengenehmigung

2.3.6. Bremsen

Die Bremsen eines Fahrzeugs müssen in Stande sein, das Fahrzeug bis zum Stillstand zu verzögern und ein Verharren im Stillstand zu ermöglichen. Eine Bremsanlage muss vom Lenkerplatz aus so feststellbar sein, dass mit ihr das Abrollen des Fahrzeuges auch bei Abwesenheit des Lenkers durch eine ausschließlich mechanische Vorrichtung dauernd verhindert werden kann. Diese Bremsanlage gilt als Feststellbremsanlage.

Für Fahrzeuge zur Personenbeförderung sind die folgenden Regelungen verpflichtend:

- 3 Bremssysteme notwendig
 - Betriebs-Bremsanlage (auf alle Räder und symmetrisch zur Fahrzeuglängsmittlebene wirkend)
 - Hilfs-Bremsanlage (als Redundanz, falls Betriebsbremse ausfällt)
 - Feststellbremsanlage
- Betriebs- und Hilfsbremsanlage dürfen gemeinsame Komponenten aufweisen, müssen jedoch
- zwei voneinander unabhängige Betätigungseinrichtungen besitzen
- bei Fremdkraftbremsanlagen (=Bremskraft durch Steuerung eines Energievorrats)
 - sind zwei unabhängige Energiespeicher notwendig mit je einer unabhängigen Übertragungseinrichtung
 - es genügt ein Energiespeicher, wenn diese so sicher wie möglich ausgeführt ist
- Verteilung der Achsbremsmomente ist vorgeschrieben
 - L-Fahrzeuge: auch 3 Bremssysteme notwendig

Das Bremssystem muss je nach Fahrzeugklasse eine bzw. mehrere der folgenden Vorschriften entsprechen:

- §41 StVZO mit §72 StVZO und den zugehörigen Richtlinien
- EU-Direktive: 71/320/EWG
- ECE-Regelungen: R13, R13H, R78 (Krafträder)

Für Bremssysteme von Personenkraftwagen der Fahrzeugklasse M ist das Regelwerk der ECE 13-H maßgeblich. Diese Regelung gilt seit dem Jahr 1998 und wurde seither mehrmals überarbeitet und abgeändert, wobei das Regelwerk derzeit nicht für Fahrzeuge der Kategorie L gilt. Für das SynArea-Fahrzeug ist die Regelung aber insofern relevant, da diese das rekuperative Bremsen bei elektrischen Antriebssträngen betreffen und davon ausgegangen werden kann, dass mit der steigenden Anzahl von L-Fahrzeugen auch diese Fahrzeugklasse ins Regelwerk einbezogen wird. Ferner gibt die Regelung auch Richtlinien zur Auslegung des Bremssystems vor. Daher wird nachfolgend die Regelung ECE R 13H detaillierter dargestellt.

Diese Regelung spezifiziert die allgemeine Struktur der Bremssysteme hinsichtlich Betrieb, Erfüllung der Anforderungen und Zuverlässigkeit. Allgemein gibt es keine Vorgaben, wie die technische Ausführung und Funktion umzusetzen ist, um die Vorgaben zur Funktion und Effektivität zu erfüllen. Deshalb gilt die ECE-Regelung R13H für alle Bremssysteme.

Mechanische, chemische und elektromagnetische Effekte werden in der Richtlinie explizit angeführt, wobei diese keine negativen Effekte auf das Bremssystem haben dürfen. Die Regulierung beinhaltet elementare Richtlinien bezüglich der Auslegung des Bremssystems während der gesamten Fahrzeugentwicklung. Mithilfe dieses Prozesses können die umfangreichen Anforderungen zur Realisierung des Bremssystems umgesetzt und gewährleistet werden.

Die verwendete Technologie hat keinen Einfluss auf die allgemeinen Anforderungen an das Bremssystem. Die Unterteilung des Bremssystems in ein Betriebsbremssystem, ein Hilfsbremssystem und in ein Feststellbremssystem wird durch die Ausführung der jeweiligen Komponenten nicht beeinflusst. Allgemeine Vorschriften zur Konstruktion und Ausführung der Bremsanlage sind in Abschnitt 5 der Regelung definiert. Jedes Bremssystem muss speziellen Anforderungen hinsichtlich Funktion, Sicherheit und Betrieb genügen. Die Vorgaben für die notwendigen Tests befinden sich in den Anhängen der Regelung. Spezielle Anforderungen an Brake-by-Wire-Systeme und regenerative Bremssysteme sind in mehreren Abschnitten der Regulierung definiert. Die wichtigsten Anforderungen sind in den folgenden Absätzen zusammengefasst.

Da die Bremskraft nicht ausschließlich von der Muskelkraft des Fahrers abhängt, werden umfangreiche Anforderungen an die Energiespeicherung, speziell im Fall einer Fehlfunktion der Energiequelle, gestellt. Bei gewöhnlichen Bremsanlagen erfolgt dies über die Dimensionierung des Vakuumreservoirs. Im Fall eines elektrischen Bremssystems beziehen sich die Anforderungen bzw. Regelungen auf das Batteriesystem und die Energiequelle der Bremsanlage. Nach Paragraph 5.2.2.7 wird ein redundantes Batteriesystem zur Energieversorgung benötigt. Paragraph 5.2.15 definiert die benötigte Energiemenge, die gespeichert werden muss. Im Paragraph 5.2.4 wird erwähnt, dass eine einzelne Energieversorgung ausreicht, falls diese mit maximal erreichbarer Zuverlässigkeit ausgelegt wurde.

Die Integration einer regenerativen Bremse in ein konventionelles System ist in Paragraph 5.2.18 reguliert. Es wird zwischen Bremssystemen unterschieden, welche keine Betätigung der Betriebsbremse und welche eine Verbindung zur Betriebsbremse aufweisen.

Die erste Kategorie betrifft Bremssysteme, die im Motorleerlauf bzw. Schlepptrieb oder in der Neutralstellung der Getriebschalteneinrichtung wirken. Dabei wird die Betriebsbremse nicht verwendet.

Der zweite Bremsentyp wird mit der Betriebsbremse in einer Art und Weise verbunden, dass sich die charakteristischen Fahreigenschaften in keiner Form ändern. Eine Änderung des Bremsmomentes, welches durch das regenerative Bremssystem hervorgerufen wird, darf keine Effekte und Einflüsse auf die Fahrdynamik oder den Fahrer haben. Die Pedalkraft, der Pedalweg und das gesamte Bremsmoment dürfen sich nicht ändern. Die Verwendung eines Systems mit beiden Mechanismen wird explizit zugelassen. Die Integration des Reglers für das regenerative Bremssystem in das Anti-Blockier-System (ABS) wird auch beschrieben. Bei der Verwendung eines ABS muss dessen Steuergerät in das regenerative Bremssystem eingebunden werden. Eine Deaktivierung der regenerativen Bremse durch ein automatisiertes System benötigt eine separate Zulassung. Hierbei kann ein elektronisches Stabilitätssystem die Deaktivierung bei Bedarf vornehmen. Für Systeme, die mit ABS verbunden sind, gibt es unter Anhang 6 der Regelung weitere Anforderungen.

Bestimmungen zur Signal- und Kraftübertragung der Bremsanlage sind unter Paragraph 5.2.20 definiert. Beispielsweise wird die notwendige Energiemenge zur Aktuierung des Bremssystems festgelegt. Dadurch soll sichergestellt werden, dass eine Verzögerung des Fahrzeugs bei einem Ausfall des Energiesystems erfolgen kann. Tolerierte Effekte, die durch verschiedene Störeinflüsse hervorgerufen werden können, sind ebenfalls definiert.

Anhang 3 der Regulierung ECE R 13-H spezifiziert mehrere Testabläufe für Bremssysteme, deren Bremsleistung und die Fahrstabilität während des Bremsvorgangs. Hier wird zusätzlich auf spezielle Tests und Anforderungen für regenerative Bremssysteme verwiesen. Jedem Test sind eigene Antriebsstrangkonfigurationen, Batteriezustände und Testzustände zugewiesen. Prinzipiell darf das regenerative Bremssystem unter keinen Umständen Auswirkungen auf die Fahrstabilität haben oder Einfluss auf die thermische Belastbarkeit des Betriebsbremssystems haben. Für regenerative Bremssysteme, die nicht durch das Betriebsbremssystem aktiviert werden, sind zusätzliche Tests definiert, um handhabbare Fahrzeugcharakteristiken zu gewährleisten.

2.3.7. Koppeln von Fahrzeugen

Für die Kopplung mehrerer Fahrzeuge zu einem Gespann gibt es derzeit keine rechtlichen Grundlagen. In diesem Bereich müsste der Gesetzgeber entsprechende Gesetze oder Verordnungen erlassen, um Rechtssicherheit herzustellen. Die Regelungen für Anhänger sind in Richtlinie 97/24/EG - Kapitel 10 beschrieben. Für die in diesem Projekt angedachte Kuppelbarkeit besteht weder auf nationaler noch auf europäischer Ebene eine entsprechende Rechtsgrundlage. Diese müsste auf Basis eines realisierbaren Konzepts erarbeitet werden.

2.3.8. Zusammenfassung

Die beiden Fahrzeugklassen L6e-BP (Leichtes Vierradmobil für Personenbeförderung) und L7e-CP (Schweres Vierradmobil für Personenbeförderung) sind die geeigneten Klassen für das SynArea-Fahrzeug. Die Klasse L6e darf von Personen mit einem AM (Code 79.02), A1, A2, A und B-Führerschein gelenkt werden. Für L7e-Fahrzeuge wird ein B-Führerschein

benötigt. Die Fahrzeugklasse L6e-BP hat eine Höchstgeschwindigkeit von < 45 km/h, eine Nenndauerleistung von ≤ 6 kW und eine Masse von < 425 kg, wobei die Klasse L7e-CP eine Höchstgeschwindigkeit von ≤ 90 km/h, eine Nenndauerleistung von ≤ 15 kW und eine Masse von ≤ 450 kg aufweisen darf.

Ab 2020 sind für Neufahrzeuge alle Anforderungen nach VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013 einzuhalten. Dadurch muss beispielsweise ein ABS-System sowie ein Bremssystem mit Betriebsbremse, Hilfsbremse und Feststellbremse verbaut werden.

2.4. Erreichbare Marktsegmente und Anwendungsfälle

Als Grundlage für die Befragungen potenzieller NutzerInnen (siehe 4.1), aber auch im Sinne der Produktentwicklung wurden realistisch ansprechbare Zielgruppen sowie Anwendungsfälle definiert.

Zur Einteilung in mehr oder weniger realistisch erreichbare Marktsegmente wurde die Gesamtbevölkerung bzw. Verkehrsnachfrage nach folgenden vier Kriterien unterteilt:

- Wohnsitz in Bezug auf die Beispielregion:
 - Wohnsitz in der Region: Häufigster Fall, weist aber infolge eingeübter Mobilitätsmuster ein relativ geringes Potenzial auf
 - Städtischer Wohnsitz mit häufigen Dienst-/Geschäftswegen in ländlich-suburbane Region: Bei längeren Wegen wäre aufgrund der Nutzbarkeit der Fahrzeit im Öffentlichen Verkehr ein Potenzial zu erwarten
 - Städtischer Wohnsitz mit Zweitwohnsitz oder Freizeitwegen in ländlich-suburbane Region: Hier wäre aufgrund der städtischen Autobesitz-Erschwernisse (v.a. Parkkosten) ein Potenzial zu erwarten
 - „Unfreiwillig“ Städtischer Wohnsitz: Ein hohes Potenzial ist bei Menschen zu erwarten, die grundsätzlich gerne im ländlichen oder suburbanen Raum wohnen würden, dies aber gerade aufgrund des mangelhaften öffentlichen und intermodalen Verkehrsangebots nicht verwirklichen.
- Hauptaktivität (stark korreliert mit dem Alter bzw. der Lebensphase):
 - Schule
 - Bundesheer, Zivildienst, Lehre mit geblocktem Berufsschulbesuch
 - wegen zeitlich/räumlich spezifischen Mobilitätsmustern als eigene Gruppe dargestellt
 - Berufstätigkeit ohne oder mit wenig Haushalts- & Familienaufgaben
 - Berufstätigkeit mit viel Haushalts- & Familienaufgaben
 - Unterscheidung aufgrund stark unterschiedlicher Wege- und Erledigungsketten
 - Hausmann / -frau bzw. Elternteil ohne Erwerbstätigkeit
 - PensionistIn mit viel sozialer und familiärer Teilhabe
 - PensionistIn mit weniger sozialer und familiärer Teilhabe
 - Unterscheidung wegen unterschiedlichem Mobilitätsausmaß und -möglichkeiten
- Autoverfügbarkeit:
 - Auto jederzeit verfügbar
 - Auto nach Absprache verfügbar
 - Kein Auto verfügbar

- **Fahrtüchtigkeit:**
 - Person voll fahrtüchtig → potenzielleR SynArea-SelbstlenkerIn mit schnellerem Konkurrenzverkehrsmittel
 - Person eingeschränkt fahrtüchtig (Fahrrad bis Moped) → potenzielleR SynArea-SelbstlenkerIn ohne schnelleres Konkurrenzverkehrsmittel
 - Person nicht fahrtüchtig → könnte SynArea nur als Mikro-ÖV nutzen
- **Soziologischer Mobilitätstyp¹⁶:**
 - Prestigeorientierte: Statusdarstellung und Freude am (schnellen) Autofahren stehen über dem Fortbewegungszweck.
 - Komfort-Kostenorientierte: Verkehrsmittel werden weitgehend rational gewählt, allerdings wird gerne ein gewohntes Hauptverkehrsmittel für fast alle Wege gewählt. Das ist meistens der eigene Pkw.
 - PragmatikerInnen: Entscheiden gezielt nach Situation, welches Verkehrsmittel für sie den größten Nutzen hat
 - Umweltorientierte: Benützen grundsätzlich öffentliche und nicht motorisierte Verkehrsmittel, soweit in ihrem Alltag praktikabel machbar.

Aus diesen Kriterien ergeben sich insgesamt über 1000 theoretische Merkmalskombinationen. Daraus wurden zunächst Kombinationen eliminiert, die an sich unwahrscheinlich sind (z.B. nicht fahrtüchtige Personen mit jederzeitiger Autoverfügbarkeit) oder von denen nicht realistisch anzunehmen ist, dass das SynArea-Angebot für sie attraktiv wäre (z.B. alle fahrtüchtige Personen mit prestigeorientierten Mobilitätsvorstellungen). Die verbleibenden Merkmalskombinationen wurden nach ihren Ähnlichkeiten zu folgenden 12 Marktsegmenten zusammengefasst und für jede Zielgruppe die wahrscheinlichsten Anwendungsfälle definiert sowie das Marktpotenzial im Sinne von Zielgruppengröße und Konkurrenzfähigkeit des SynArea-Angebots innerhalb der Zielgruppe abgeschätzt:

Marktsegment	Wohnsitz	Alter	Hauptaktivität	Autoverfügbarkeit	Fahrtüchtigkeit	Mobilitätstyp	Anwendungsfälle	Gruppengröße	Konkurrenzfähigkeit
1	Ländlich / suburban	< 12	Schule	Ja (Eltern)	Keine	Alle	Schulweg und/oder Freizeitwege im Mikro-ÖV	Mittel	Hoch
2		12-18					Eingeschränkt		
3		16-20	Bundesheer, Zivildienst, Berufsschule (geblockt)	Nach Absprache	Voll oder eingeschränkt	Komfort-, Kostenorientierter, PragmatikerIn,	Untypische Arbeitswege, Freizeitwege, Besorgungen selbst lenkend, Abend-Heimfahrt auch im Mikro-ÖV	Gering	Eher hoch
4		~18-65	Berufstätig ohne oder mit wenig Haushalts- & Familienaufgaben	Jederzeit	Voll	Kostenorientierter, PragmatikerIn,	Arbeitswege (alle Zeiten / Relationen), Freizeit- und Besorgungswege selbst lenkend	Sehr groß	Gering

Marktsegment	Wohnsitz	Alter	Hauptaktivität	Autoverfügbarkeit	Fahrtüchtigkeit	Mobilitätstyp	Anwendungsfälle	Gruppengröße	Konkurrenzfähigkeit
5		~18-65	Berufstätig mit viel Haushalts- & Familienaufgaben	Nach Absprache	Voll oder eingeschränkt		Arbeitswege, Holen/Bringen, Besorgungen, oft in Wegeketten, selbst lenkend	Groß	Gering
6		~18-75	Hausmann/-frau und/oder Elternteil ohne Erwerbstätigkeit oder PensionistIn mit viel sozialer und familiärer Teilhabe				Besorgungen, Holen/Bringen, Freizeitwege selbst lenkend; Abend-Heimfahrt auch im Mikro-ÖV	Mittel	Mittel
7		~60-80	PensionistIn mit mäßiger familiärer und sozialer Teilhabe	Jederzeit oder nach Absprache			Holen/Bringen selbst lenkend, Freizeit- und Besorgungswege sowie Abend-Heimfahrt auch im Mikro-ÖV	Groß	Mittel
8		>75	PensionistIn mit weniger sozialer und familiärer Teilhabe	Kein Auto			Keine	Alle	Besorgungen und Freizeitwege im Mikro-ÖV
9	Städtisch mit ländlichen / suburbanen Dienstwegen	~18-65	Berufstätig ohne oder mit wenig Haushalts- & Familienaufgaben	Jederzeit verfügbar	Voll	PragmatikerIn oder UmweltorientierteR	Dienstlich-geschäftliche Wege, selbstlenkend in Kombination mit Plan-ÖV	Gering	Mittel
10	Städtisch mit ländlichen / suburbanen Freizeitzielen oder Zweitwohnsitz	~18-65	Berufstätig mit oder ohne Haushalts- & Familienaufgaben				Zweitwohnsitz, Wanderungen, Veranstaltungen u.dgl., selbst lenkend in Kombination mit Plan-ÖV	Gering	Mittel
11	Städtisch mit ländlichem / suburbanem Zweitwohnsitz	~60-80	PensionistIn mit viel sozialer und familiärer Teilhabe				Jederzeit oder nach Absprache	Komfort-KostenorientierteR oder PragmatikerIn	Zweitwohnsitz, selbst lenkend in Kombination mit Plan-ÖV
12	Städtisch mit Umzugsinteresse	~18-65	Berufstätig mit viel Haushalts- & Familienaufgaben	Kein Auto	Offen	UmweltorientierteR	Arbeitsweg, Wegeketten Arbeit / Besorgungen / Holen-Bringen, Abend-Heimfahrt, selbst gelenkt	Gering	Sehr hoch

Tabelle 18: Marktsegmente und Anwendungsfälle für das Leihfahrzeug- bzw. Mikro-ÖV-Angebot.

Die Mobilität von Kindern, die gebracht und geholt werden, weil sie ungeachtet des Verkehrsangebots und der Verkehrstüchtigkeit noch nicht alt genug sind, um diese Wege selbst zurückzulegen wurde hier bei der Mobilität der Eltern mitberücksichtigt.

Für die Befragungen potenzieller NutzerInnen wurde nach VertreterInnen der Marktsegmente 1-8 (also mit ländlich-suburbanem Hauptwohnsitz) tatsächlich in den jeweiligen Beispielregionen gesucht. Bei den InterviewpartnerInnen für die Zielgruppen mit städtischem Hauptwohnsitz wurde lediglich auf das Vorhandensein von ländlich-suburbanen Fahrtzielen oder Umzugswunsch geachtet, diese mussten sich aber nicht konkret auf eine der beiden Beispielregionen beziehen.

Nach der Recherche zum Stand der Fahrzeugtechnik und der rechtlichen Rahmenbedingungen zeichnete sich ab, dass der schnellste angedachte Modus (>45 km/h) nicht mit dem langsamsten (max. 25 km/h) vereinbar sein würde. Im Zuge der Präzisierung der Fahrzeuganforderungen wurde daraufhin entschieden, dass für die Funktionsweise des Konzepts der synergetischen Flächenerschließung der langsamere Modus wichtiger wäre und dass es als unrealistisch eingestuft wird, dass voll fahrtüchtige Personen trotz einem in der jeweiligen Situation uneingeschränkt zur Verfügung stehenden Pkw das Leihfahrzeug wählen. Ebenso wurde beim Preismodell nicht angestrebt, die rein variablen Kosten des Pkw zu unterbieten. Das bedeutet jedoch nicht, dass die Marktsegmente 4,7,9,10 und 11 auszuschneiden oder einzuschränken wären, da zumindest mittelfristig nach Systemeinführung damit zu rechnen ist, dass manche Haushalte die Anzahl bereitgehaltener Pkw reduzieren, nachdem das Leihsystem eine ausreichend flexible und flächendeckende Alternative darstellt.

2.5. Unfallgeschehen in den Beispielregionen

In Österreich wurden bis 2011 Verkehrsunfälle mit Personenschaden von der Exekutive gesammelt und in das Unfallzählblatt eingetragen. Seit 1. Jänner 2012 werden diese Daten durch das Unfalldatenmanagement (UDM) durch die Bundespolizei elektronisch erfasst und an die Statistik Austria weitergeleitet. Die dadurch gesammelten Daten werden von Statistik Austria aufbereitet und stehen in weiterer Folge für unterschiedliche Analysen zur Verfügung. Unfälle mit Personenschaden (UPS) werden lt. RVS 02.02.21 nach Unfallart in insgesamt 105 Unfalltypen zusammengefasst und nach unterschiedlichen Unfalltypenobergruppen (OG) eingeteilt (siehe Tabelle 19).

Unfalloberguppen	
0	Unfälle mit einem Beteiligten (Alleinunfälle)
1	Unfälle im Richtungsverkehr (zwei oder mehr Beteiligte)
2	Unfälle im Begegnungsverkehr (zwei oder mehr Beteiligte)
3	Unfälle beim Abbiegen oder Umkehren - Richtungsgleich
4	Unfälle beim Abbiegen oder Umkehren – entgegen gesetzte Richtung
5	Rechtwinkelige Kollision auf Kreuzungen beim Queren
6	Rechtwinkelige Kollision auf Kreuzungen beim Einbiegen
7	Unfälle mit haltenden oder parkenden Fahrzeugen mit zwei oder mehr Beteiligten
8	Fußgängerunfälle
9	Sonstige Unfälle mit zwei oder mehr Beteiligten

Tabelle 19: Unfalloberguppen

Für die statistische Auswertung werden in weiterer Folge nur jene Verkehrsunfälle herangezogen, bei denen mindestens ein Personenkraftwagen beteiligt war. Die Unfallgruppen 3, 4, 5, 6 werden zu „Unfällen im Kreuzungsbereich“ und die Unfallgruppen 7 und 9 zu „Sonstige Unfälle“ zusammengefasst.

Für das Projekt wurden zwei unterschiedliche Beispielregionen herangezogen um die Konzepte und Planungen an konkreten Regionen beurteilen zu können (siehe 2.1). Folgende Gemeinden wurden den Beispielregionen zugeordnet:

Nördliches Wiener Becken	Mittelburgenland
Au am Leithaberge	Deutschkreutz
Bruck an der Leitha	Draßmarkt
Ebergassing	Frankenava-Unterpullendorf / Dolnja Pulja
Enzersdorf an der Fischa	Großwarasdorf / Velki Borištof
Fischamend	Horitschon
Göttlesbrunn-Arbesthal	Kaisersdorf
Götzendorf an der Leitha	Kobersdorf
Gramatneusiedl	Lackenbach
Haslau-Maria Ellend	Lackendorf
Himberg	Lutzmannsburg
Hof am Leithaberge	Mannersdorf an der Rabnitz
Klein-Neusiedl	Markt St. Martin
Lanzendorf	Neckenmarkt
Leithaprodersdorf	Neutal
Leopoldsdorf bei Wien	Nikitsch / Filež
Loretto	Oberloisdorf
Mannersdorf am Leithagebirge	Oberpullendorf / Felsőpulya
Maria Lanzendorf	Raiding
Mittendorf an der Fischa	Ritzing
Moosbrunn	Sieggraben
Rauchenwarth	Steinberg-Dörfl
Reisenberg	Stoob
Schwadorf	Unterfrauenhaid
Schwechat	Weingraben / Bajngrob
Seibersdorf	Weppersdorf
Sommerein	
Stotzing	
Trautmannsdorf an der Leitha	
Zwölfaxing	

Tabelle 20: Gemeinden in den Beispielregionen

Für beide Beispielregionen wurden die Daten der Statistik Austria (2002-2011) herangezogen. Da das SynArea-Konzeptfahrzeug auf L6e ausgelegt wird und somit nur eine Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h haben darf, wurde bei Unfallanalyse darauf Rücksicht genommen und nur Ortsgebiet und Freiland ohne Autobahn und Schnellstraße (A&S) analysiert.

2.5.1. Unfallhaupttypen Nördliches Wiener Becken

Im Nördlichen Wiener Becken treten im Freiland (ohne A&S) mit 41% am häufigsten Unfälle mit nur einem Beteiligten auf. Unfälle auf Kreuzungen kommen mit 25,2% am Zweithäufigsten vor und Unfälle im Richtungsverkehr passierten mit 16,4%.

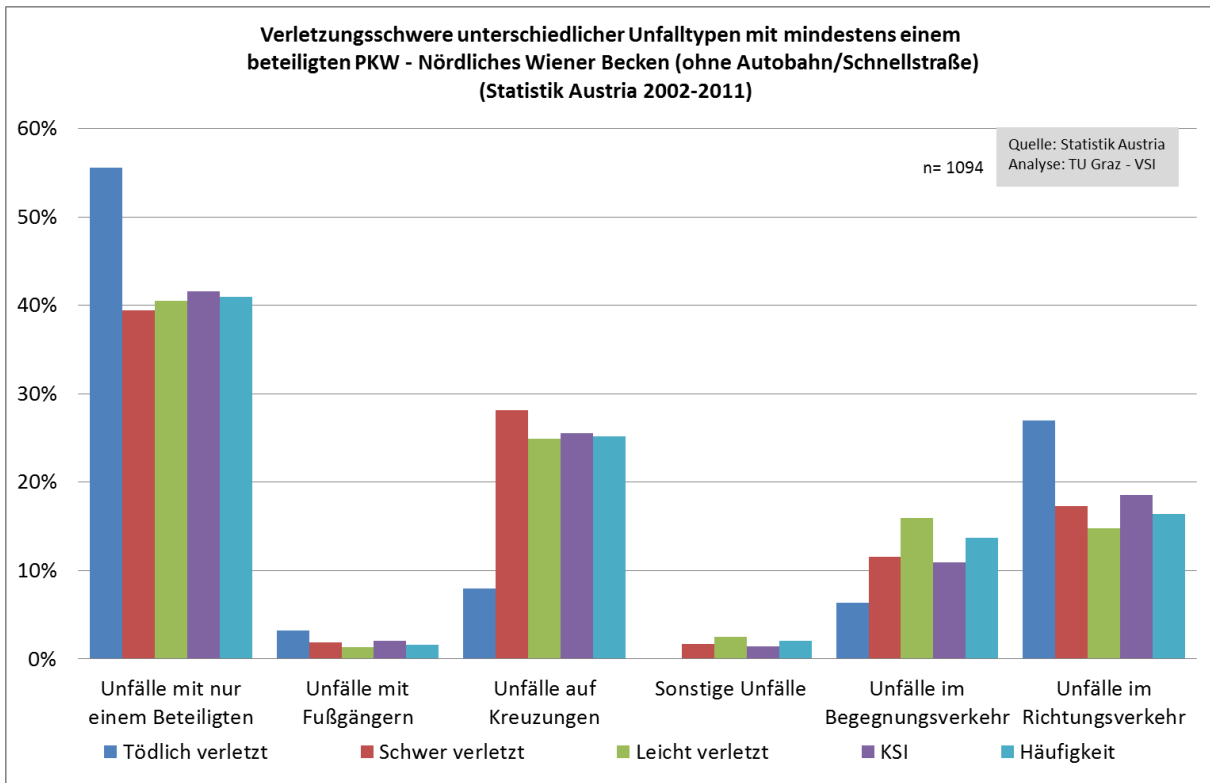


Abbildung 7: Verletzungsschwere der Unfallhaupttypen mit mindestens einem beteiligten PKW im Freiland ohne A&S (Statistik Austria 2002-2011) im Nördlichen Wiener Becken.

Im Ortsgebiet passieren die häufigsten Unfälle mit 64,7% bei Unfällen auf Kreuzungen und 18% bei Unfällen im Begegnungsverkehr. Am Dritthäufigsten treten im Ortsgebiet mit 13,2% Fußgängerunfälle auf.

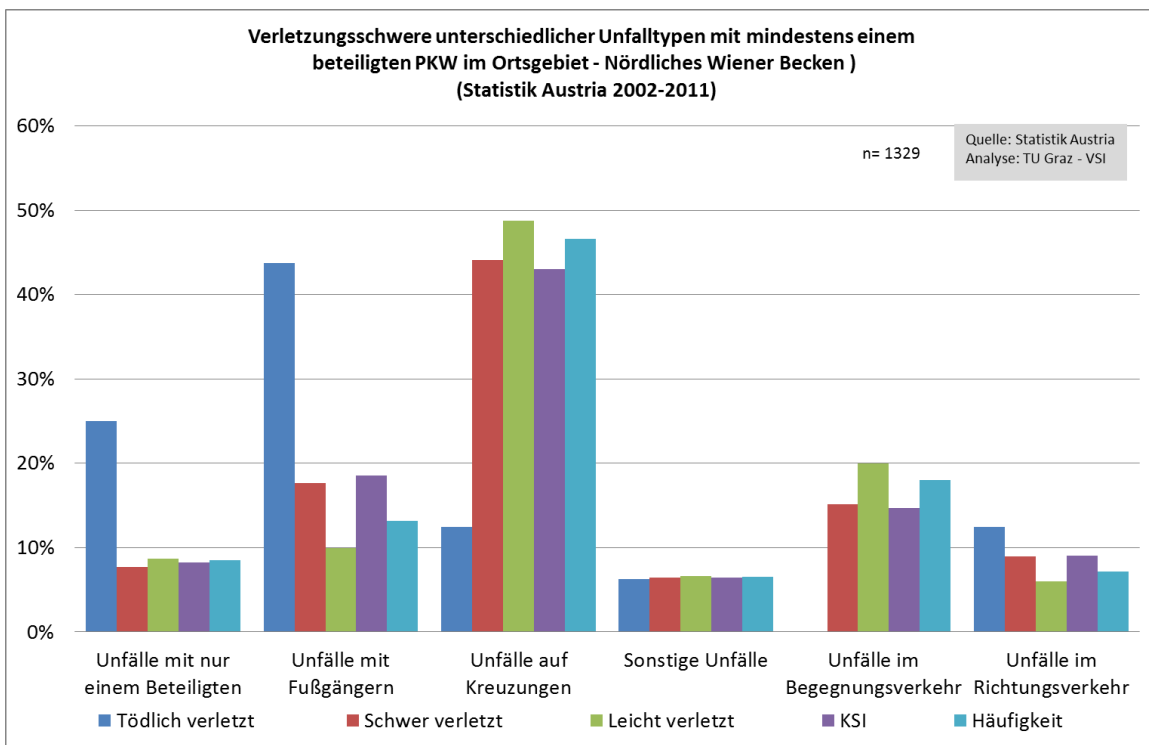


Abbildung 8: Verletzungsschwere der Unfallhaupttypen mit mindestens einem beteiligten PKW im Ortsgebiet (Statistik Austria 2002-2011) im Nördlichen Wiener Becke

2.5.2. Unfallhaupttypen Mittelburgenland

Im Mittelburgenland treten im Freiland (ohne A&S) mit 56,1% am häufigsten Unfälle mit nur einem Beteiligten auf. Unfälle auf Kreuzungen kommen mit 18,2% am Zweithäufigsten vor und Unfälle im Begegnungsverkehr hatten einen Anteil von 10,2%.

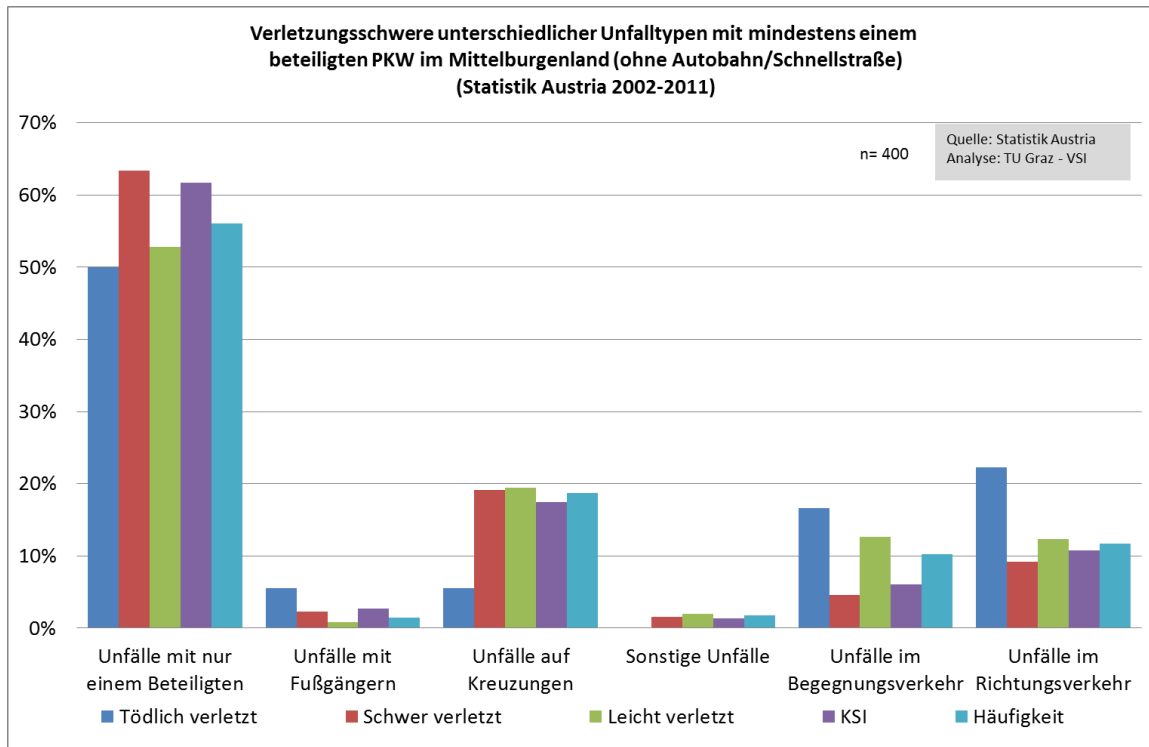


Abbildung 9: Verletzungsschwere der Unfallhaupttypen mit mindestens einem beteiligten PKW im Freiland ohne A&S (Statistik Austria 2002-2011) im Mittelburgenland

Im Mittelburgenland treten im Ortsgebiet (ohne A&S) 40,1% am häufigsten Unfälle auf Kreuzungen auf. Am Zweithäufigsten passierten Unfälle im Begegnungsverkehr und diese hatten einen Anteil von 19,5%.

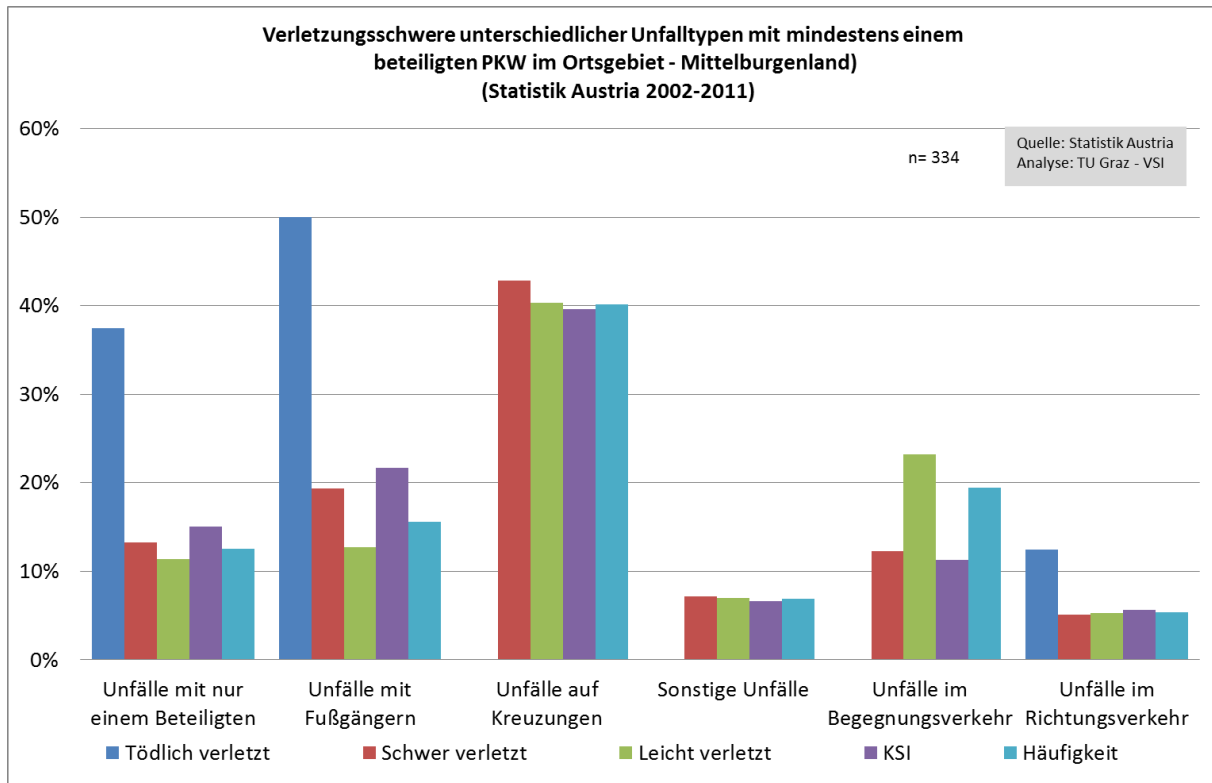


Abbildung 10: Verletzungsschwere der Unfallhaupttypen mit mindestens einem beteiligten PKW im Ortsgebiet (Statistik Austria 2002-2011) im Mittelburgenland

2.5.3. Relevante Unfalltypen

Im nächsten Schritt wurden Unfallhaupttypen, welche am häufigsten auftraten genauer analysiert um für die Rekonstruktion der Realunfälle relevante Unfalltypen der Beispielregionen auswählen zu können. Dazu wurden die Unfallhaupttypen „Unfälle auf Kreuzungen“ und „Unfälle im Begegnungsverkehr“ herangezogen. Obwohl Unfälle mit nur einem Beteiligten häufig auftraten, wurde auf diese verzichtet, da die Auswirkungen bei Unfällen mit Leichtfahrzeugen mit konventionellen PKW ermittelt werden sollten. In nachfolgender Tabelle sind die relevanten Unfalltypen, welche sich bei der genaueren Analyse herauskristallisiert haben.

TYP	Beschreibung	
200	UNFÄLLE IM BEGEGNUNGSVERKEHR	
231	UNFÄLLE IM BEGEGNUNGSVERKEHR - STREIFKOLLISION - auf der Geraden	
232	UNFÄLLE IM BEGEGNUNGSVERKEHR - STREIFKOLLISION - in einer Kurve	
241	UNFÄLLE IM BEGEGNUNGSVERKEHR - FRONTALKOLLISION - auf der Geraden	
242	UNFÄLLE IM BEGEGNUNGSVERKEHR - FRONTALKOLLISION - in einer Kurve	

TYP	Beschreibung	
264	UNFÄLLE IM BEGEGNUNGSVERKEHR - FRONTAL-, ODER STREIFKOLLISION BEIM ÜBERHOLEN - auf der Geraden	
300	UNFÄLLE BEIM ABBIEGEN ODER UMKEHREN - RICHTUNGSGLEICH	
321	UNFÄLLE BEIM ABBIEGEN ODER UMKEHREN - RICHTUNGSGLEICH - KOLLISION BEIM LINKSABBIEGEN - Auffahren auf Linksabbieger	
322	UNFÄLLE BEIM ABBIEGEN ODER UMKEHREN - RICHTUNGSGLEICH - KOLLISION BEIM LINKSABBIEGEN - Linksabbieger mit Geradeausfahrendem	
400	UNFÄLLE BEIM ABBIEGEN ODER UMKEHREN - ENTGEGENGESETZTE RICHTUNG	
411	UNFÄLLE BEIM ABBIEGEN ODER UMKEHREN - ENTGEGENGESETZTE RICHTUNG - KOLLISION BEIM LINKSABBIEGEN - Kollision beim Linksabbiegen	
500	RECHTWINKELIGE KOLLISIONEN AUF KREUZUNGEN BEIM QUEREN	
511	RECHTWINKELIGE KOLLISIONEN AUF KREUZUNGEN BEIM QUEREN - KOLLISION AUF DER KREUZUNG - Kollision auf der Kreuzung	
600	RECHTWINKELIGE KOLLISIONEN AUF KREUZUNGEN BEIM EINBIEGEN	
622	RECHTWINKELIGE KOLLISIONEN AUF KREUZUNGEN BEIM EINBIEGEN - KOLLISION BEIM ENTGEGENKOMMEN - Linksabbieger mit entgegenkommendem Fahrzeug	

Tabelle 21: Relevante Unfalltypen für die Rekonstruktion von Realunfällen

In nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 11 - Abbildung 14) sind die Unfalltypen der Detailanalyse angeführt. Die Unfalltypen welche einen großen Anteil am Unfallgeschehen hatten, wurden einzeln angeführt und Unfälle welche sehr selten bzw. einen sehr geringen Anteil hatten, wurden zu Sonstige zusammengefasst. Diese Vorgehensweise war für Unfälle im Kreuzungsbereich und Unfälle im Begegnungsverkehr gleich.

2.5.3.1. Relevante Unfalltypen Nördliches Wiener Becken

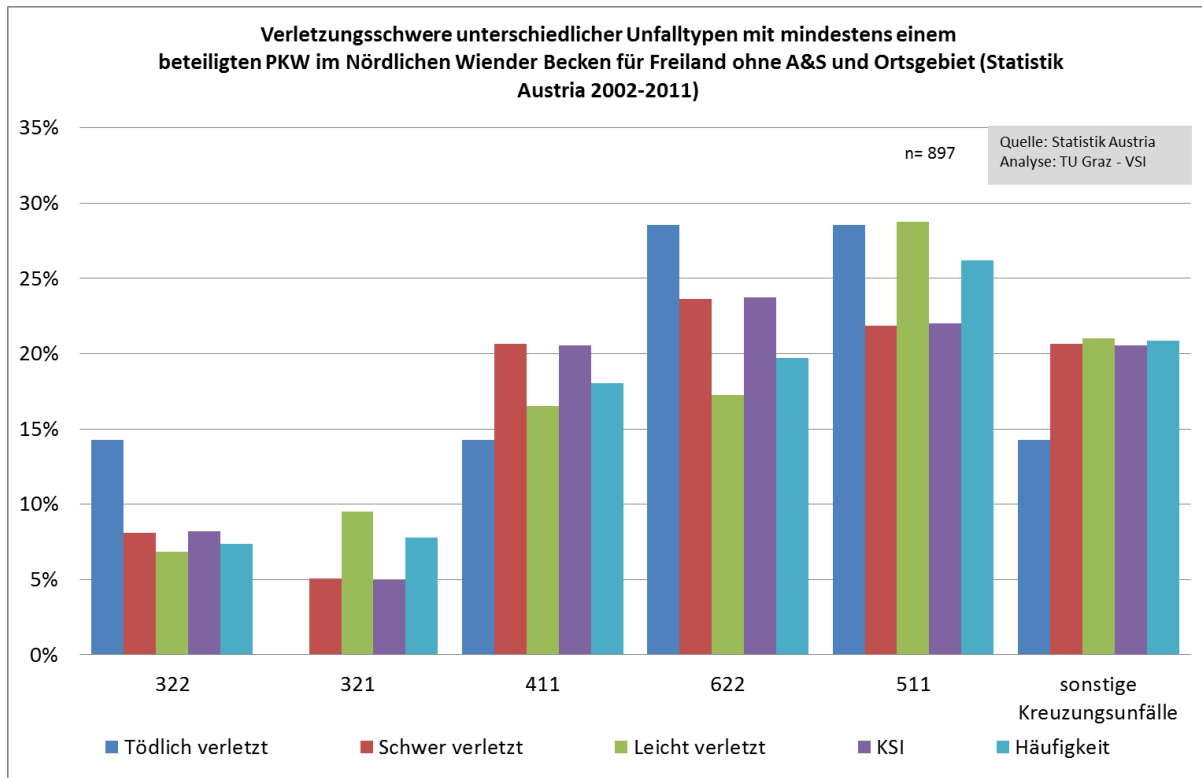


Abbildung 11: Verletzungsschwere für Unfälle im Kreuzungsbereich für Freiland ohne A&S und Ortsgebiet (Statistik Austria 2002-2011) im Nördlichen Wiener Becken

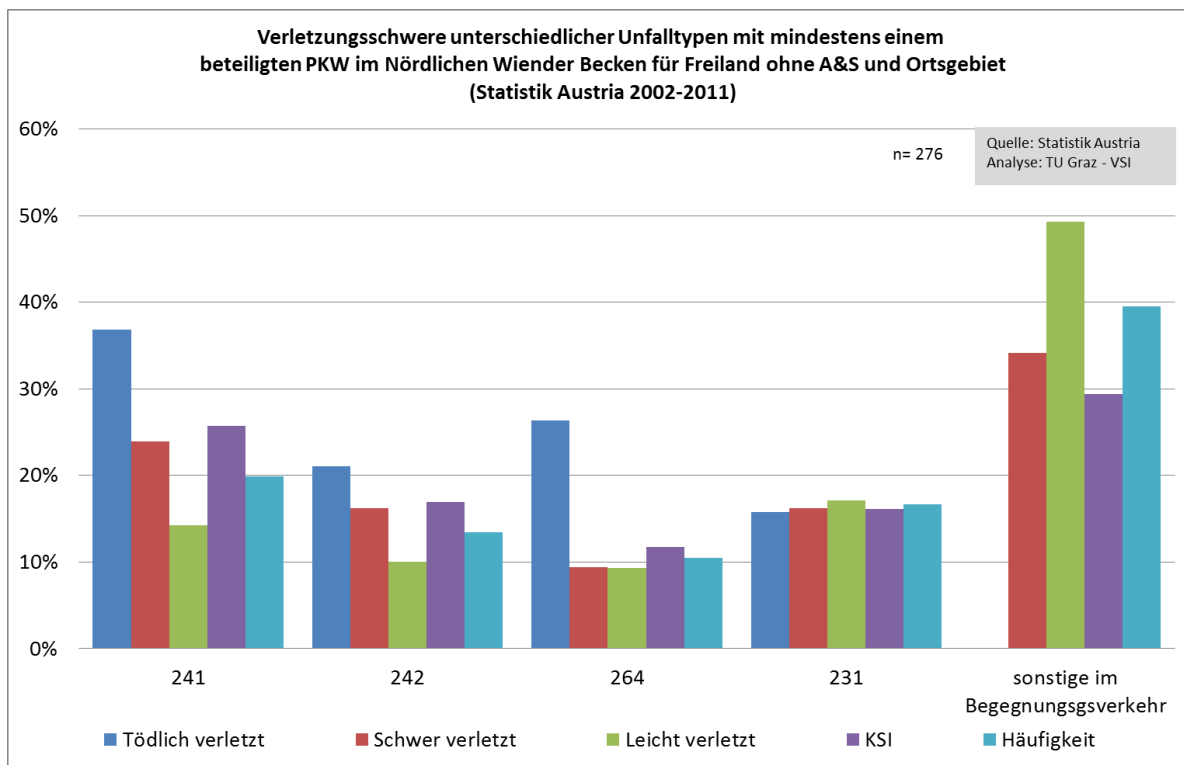


Abbildung 12: Verletzungsschwere für Unfälle im Begegnungsverkehr für Freiland ohne A&S und Ortsgebiet (Statistik Austria 2002-2011) im Nördlichen Wiener Becken

2.5.3.2. Relevante Unfalltypen Mittelburgenland

In Abbildung 13 ist für den Unfalltyp 411 für Tödlich verletzt 100% angegeben. Grund dafür ist, dass es in dieser Beispielregion bei Unfällen auf Kreuzungen nur einen tödlichen Unfall gegeben hat und dieser ist bei der Kollision beim Linksabbiegen – TYP 411 passiert.

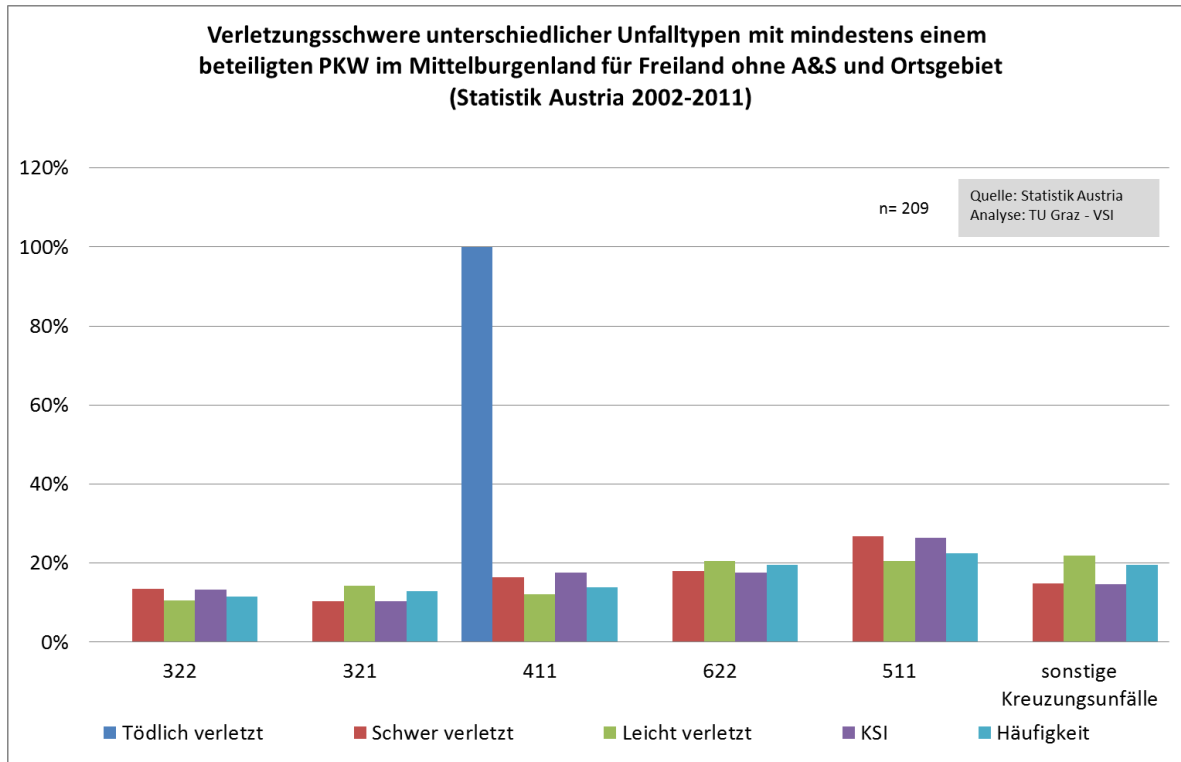


Abbildung 13: Verletzungsschwere für Unfälle im Kreuzungsbereich für Freiland ohne A&S und Ortsgebiet (Statistik Austria 2002-2011) im Mittelburgenland

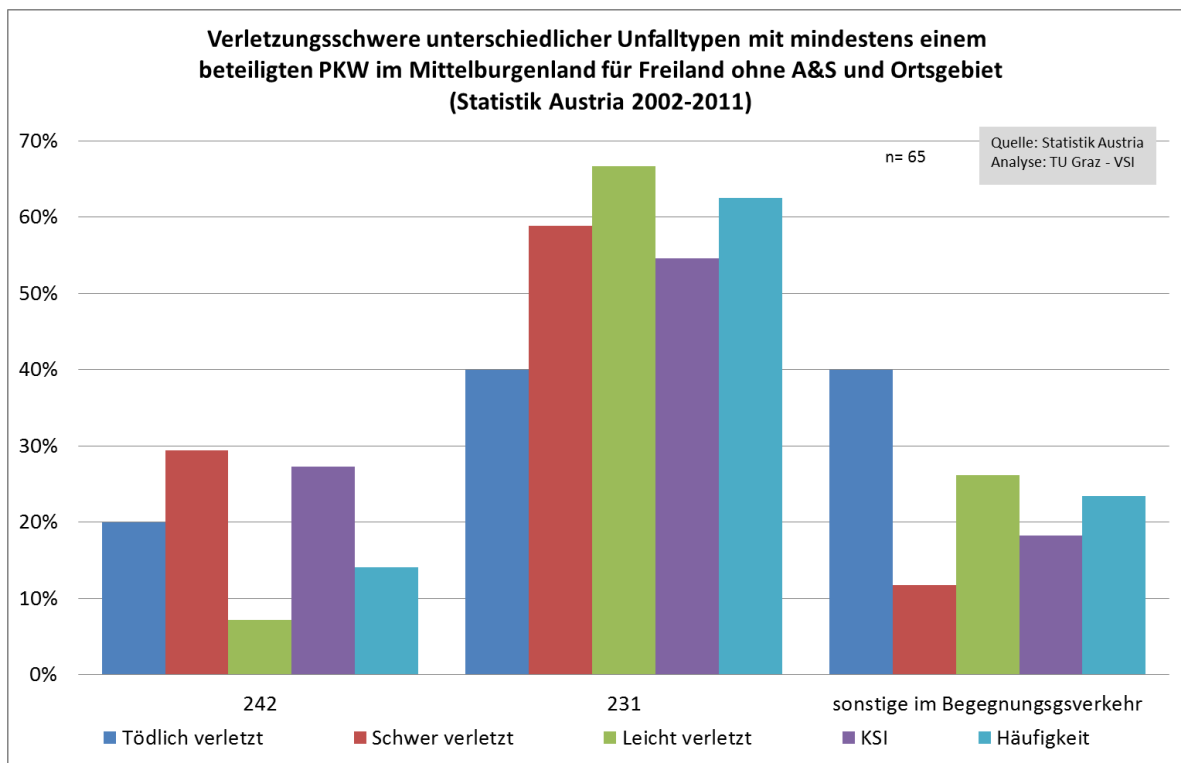


Abbildung 14: Verletzungsschwere für Unfälle im Begegnungsverkehr für Freiland ohne A&S und Ortsgebiet (Statistik Austria 2002-2011) im Mittelburgenland

In obigen Abbildungen (Abbildung 11 - Abbildung 14) sind jene Unfalltypen die häufiger in den Beispielregionen aufgetreten sind einzeln aufgetragen, die restlichen wurden zu Sonstige zusammengefasst. Diese Unfalltypen wurden anschließend für die Simulationen in Kapitel 4.5 herangezogen.

3. Entworfenes Verkehrsangebot

3.1. Planmäßiger Öffentlicher Verkehr und Leihstellennetz

3.1.1. Einleitung und methodische Vorgehensweise

Für beide Beispielregionen wurde ein vollkommen neues Busliniennetz entworfen, die Fahrpläne der Bahn wurden hingegen gänzlich unverändert belassen. Hintergrund dieser Vorgehensweise ist, dass der Eisenbahn-Regionalverkehr gegenüber dem Busverkehr etwa drei bis vier Mal höhere Kosten je Fahrplankilometer, aber neben der höheren Kapazität auch diverse Qualitätsmerkmale wie z.B. höhere Pünktlichkeit, geräumigere Inneneinrichtung, angenehmere Fahrdynamik und dergleichen aufweist. Inwieweit diese Vorteile die zusätzlichen Kosten rechtfertigen oder weniger stark nachgefragte Bahnverkehre eher durch billigere Busverkehre ersetzt werden sollten, wird bisweilen heftig diskutiert. Um sowohl die Kostenbetrachtung, als auch die verkehrliche Wirkungsanalyse durch die jeweiligen Unterschiede zwischen Bus und Bahn nicht noch weiter zu verkomplizieren, wurde nur die Substitution planmäßiger Busverkehre durch Leihsystem und Mikro-ÖV betrachtet und eine Überlagerung durch Angebotsverschiebungen zwischen Bahn und Bus vermieden.

Ein weiterer Vorteil der unveränderten Beibehaltung des Eisenbahn-Bestandsfahrplans ist die wesentlich praktikablere Bearbeitung: Nachdem die mittlere Fahrtweite der Züge wesentlich länger ist als jene der Busse, und die Fahrplangestaltung bei der Eisenbahn viel größeren infrastrukturellen Zwängen unterworfen ist (z.B. Zugkreuzungen auf eingleisigen Strecken), wäre es kaum möglich gewesen, den Bahnverkehr für ein isoliertes Projektgebiet zu optimieren, ohne entweder technisch unmögliche Fahrpläne einzuplanen und/oder die Verbindungen zu den benachbarten Gebieten und innerhalb dieser massiv zu verschlechtern.

Die unveränderte Beibehaltung des Bahnverkehrs wurde bereits bei der Auswahl der Beispielregionen (siehe 2.1.3) berücksichtigt: Nachdem es kaum ländliche Regionen mit für den Regions-Binnenverkehr hoch attraktivem Eisenbahnangebot gibt, wurde als ländliche Beispielregion eine Region gewählt, bei der die Eisenbahn nur der Anbindung nach außen dient. Als suburbane Beispielregion wurde hingegen eine Region gewählt, die bereits im Bestand ein sehr gutes Eisenbahn-Fahrplanangebot aufweist.

Insbesondere bei der südlichen Beispielregion sind keine staatsgrenzüberschreitenden Busverkehre eingeplant und auf ungarischem Territorium sind auch weniger Leihstellen eingeplant, als einer zweckmäßigen Verbindung über eine Grenze entspricht, die reiserechtlich kein verkehrliches Hindernis mehr darstellt und im Sinne eines zusammenwachsenden Europas auch nachfrageseitig an Bedeutung verlieren sollte. Grund dafür ist keine veraltete, nationalstaatliche Denkweise, sondern die Tatsache, dass in den Ausgangsdaten des verwendeten Verkehrsmodells keine ungarischen Regionalbusverkehre und keine kleinräumigen Verkehrsnachfragedaten des Auslands enthalten sind. Eine im Falle einer realen Umsetzung selbstverständlich zweckmäßige grenzüberschreitende Verknüpfung des Regionalbusverkehrs wäre daher bei der Simulation nicht mit entsprechender

Inanspruchnahme honoriert, sondern fälschlich als „unnötiges“ Verkehrsangebot eingestuft worden. Im Sinne eines aussagekräftigen Planfall-Nullfall-Vergleichs wurde daher das Verkehrsangebot den Restriktionen des Modells angepasst und sowohl für den Entwurf des Verkehrsangebots, als auch für die Wirkungsabschätzung von einem verkehrlich von Ungarn weitestgehend getrennten Gebiet ausgegangen.

Beim Entwurf des Busnetzes und –fahrplans wurde nach den Prinzipien des integralen Taktfahrplans vorgegangen: Alle Linien verkehren im Stundentakt, wobei sich teilweise zwei Linien zu einem (exakten oder näherungsweise) Halbstundentakt überlagern. Es wurde das Prinzip der Fahrplansymmetrie beachtet, um auf jeder Relation gleiche Reise- und Umsteigezeiten in beiden Richtungen zu erzielen und es wurde danach getrachtet, möglichst viele bzw. möglichst vollständige Taktknoten mit Anschlüssen auf allen Relationen zu schaffen. Eine gewisse Herausforderung bestand darin, die Prinzipien des integralen Taktfahrplans einzuhalten, gleichzeitig aber möglichst gute Verknüpfungen zu den benachbarten Gebieten zu bieten, ohne endlos immer mehr Verkehre auch außerhalb der jeweiligen Beispielregion anpassen zu müssen. An Einschränkungen und Ergebnissen ist diesbezüglich zu erwähnen:

- Üblicherweise sind am Prinzip des integralen Taktfahrplans orientierte Taktfahrpläne 00-symmetrisch. Das bedeutet, dass sich Züge unterschiedlicher Richtungen der gleichen Linie zu den Minuten xx:00 oder xx:30, bei Halbstundentakten auch xx:15 oder xx:45 begegnen und dass eine Abfahrt um x Minuten nach der vollen Stunde in der einen Richtung eine Ankunft um x Minuten vor der vollen Stunde in der Gegenrichtung verlangt. In der Umgebung beider Beispielregionen entsprachen die Fahrpläne im Jahr 2013 hingegen einer Symmetrieminute von etwa xx:45 statt xx:00, daher sind auch sämtliche neu entworfene Busfahrpläne nicht 00-symmetrisch, sondern 45-symmetrisch^b.
- Die Bahn-Fahrpläne folgen auch der 45-Symmetrie nicht hundertprozentig, es gibt Asymmetrien um bis zu 5 Minuten, beispielsweise die Kreuzung der S-Bahn-Züge in Ebreichsdorf zur Minute 40. Dies bedingt teilweise verlängerte Umsteigezeiten, teilweise wurden auch die Busfahrpläne geringfügig asymmetrisch angelegt, um zusätzliche Wartezeiten an weniger schädliche Stellen zu verlagern oder knappe Kantenzeiten zwischen zwei Knoten überhaupt zu ermöglichen.
- Insbesondere zur morgendlichen Hauptverkehrszeit weichen manche Züge von den während des restlichen Tages eingehaltenen Takt-Ankunfts- bzw. Takt-Abfahrts-Zeiten ab bzw. entfallen Taktzüge und werden durch mehrere Züge zu anderen Zeiten ersetzt. Auch die letzten Züge abends fahren öfters vom Takt abweichend bzw. entfallen beispielsweise in den letzten Betriebsstunden die REX-Züge, sodass auch an Knoten, an denen tagsüber Anschlüsse zu den REX-Zügen hergestellt werden, die Busse an die S-Bahn-Züge anzubinden sind. Bei solchen Taktabweichungen musste zwischen folgenden Vorgehensweisen gewählt werden:

^b Aus Gründen der Fahrplansymmetrie wurde auch eine Anbindung an den Bahnhof Köszeg verworfen, da die dort endende Bahnlinie zwar im Verkehrsmodell enthalten wäre, aber 00-symmetrisch verkehrt, sodass es in jeweils einer Richtung zu einer 30-minütigen Umsteigewartezeit gekommen wäre.

- Keine Anpassung ist erforderlich, wenn sich die Übergangszeit zwischen Zug und Bus entweder geringfügig verlängert, oder um eine so kurze Zeitspanne verkürzt, dass weiterhin ein Umstieg möglich ist.
- Bei einer etwas größeren Anschlussverlängerung kann der Bus zeitlich etwas verschoben werden, um die Wartezeiten an einen anderen Punkt zu verschieben, an dem weniger Fahrgäste davon betroffen sind.
- Busse ohne andere Anschlüsse, das sind entweder Stichlinien oder je nach Richtung die ersten oder letzten Busse am Tag, können zeitlich beliebig verschoben werden, um den jeweiligen Anschluss wieder optimal herzustellen
- In den übrigen Fällen muss entweder ein zusätzlicher Bus außerhalb des Takts eingefügt, oder ein nachfrageseitig möglichst nachrangiger Anschluss gebrochen werden.
- Bei den Busfahrplänen waren bis auf die Anbindung der Buslinie Mattersburg-Eisenstadt an den Bahn-Taktknoten Mattersburg kaum Taktfahrpläne zu erkennen, und wenn, folgten diese keiner einheitlichen und systematischen Symmetrieminute. Die diesbezügliche Vorgehensweise und Auswirkungen sind wie folgt:
 - Regionsgrenzüberschreitende Busse, die entweder in der Beispielregion, oder außerhalb davon keine relevanten Anschlüsse haben, wurden am ganzen Fahrtweg entweder unverändert belassen (z.B. der alle 10 Minuten verkehrende 71A zwischen Wien und Schwechat oder die nur an die unveränderte S-Bahn angebundene Ringbuslinie am Flughafengelände), oder an den regionsinternen Neuentwurf angepasst (z.B. die aus dem Mittelburgenland ohne weiteren Halt bis Wien durchfahrenden Schnellbusse oder die Weiterführung der Regionalbusse aus dem nördlichen Wiener Becken bis zu den U-Bahn-Stationen Simmering und Reumannplatz). Bei Grenzfällen, wie einigen Bussen der Linie Mattersburg-Eisenstadt mit einigen wenigen Zwischenhalten wurde eine Verschiebung um einige Minuten riskiert, um den Anschluss zum Verkehr innerhalb der Region herzustellen.
 - Am schwierigsten erschien die Anpassung an die Nachbarregionen an der Südwestseite der Beispielregion Mittelburgenland: Hier konnte tatsächlich keine bessere Vorgehensweise gefunden werden, als die von außerhalb der Region kommenden bzw. aus dieser hinausfahrenden Busse nur bis/ab der ersten/letzten von den neu entworfenen Buslinien bedienten Station zu führen. Dies war zumeist Lockenhaus, Steinberg-Dörfel, Weingraben / Bajngrob oder Oberpullendorf / Felsőpulya. Diese Linien- bzw. Anschlussbrüche verstärken den Effekt, dass die Inanspruchnahme des SynArea-Angebots bei einem isolierten Pilotgebiet grundsätzlich geringer ist, als bei einer flächendeckenden Anwendung. Der Mangel der vorliegenden Modelldaten, die Staatsgrenze zu Ungarn verkehrlich überzubewerten und die Region isolierter darzustellen, als sie tatsächlich ist, war für die reine Vorher-Nachher-Bewertung der unterschiedlichen grundsätzlichen Verkehrserschließungsmodelle somit sogar hilfreich: Tatsächlich ergaben die Modellierungsergebnisse für das Mittelburgenland eine unerwartet gute Inanspruchnahme des öffentlichen Verkehrs (siehe 4.2.2.2).

- Umgekehrt war es hingegen im nördlichen Wiener Becken: Hier wurden die Auswirkungen der Auftrennung von Busverbindungen an den Regionsgrenzen als weitgehend unproblematisch eingeschätzt, da angenommen wurde, dass alle wesentlichen regionsgrenzüberschreitenden Verkehrsbeziehungen entweder über die Bahn als Rückgratverkehrsmittel laufen sollten, oder über den Wiener Stadtverkehr, welcher in so kurzen Intervallen verkehrt, dass die exakten Ankunfts- und Abfahrtszeiten der anschließenden Regionalbusse unerheblich sind. Auch die verbleibenden Busverkehrsrelationen über die Regionsgrenzen, beispielsweise von Maria Lanzendorf über Achau Richtung Laxenburg oder von Stixneusiedl über Bruck / Leitha nach Neusiedl am See, verlaufen über einen Bahn-Haltepunkt. Wenn es an diesen Punkten zu einem Bruch einer durchgehenden Busverbindung oder eines Bus-Bus-Anschlusses kommt, dann deshalb, weil es im Gegenzug zu einem neuen bzw. verbesserten Bus-Bahn-Anschluss kommt. Tatsächlich zeigte das Verkehrsmodell jedoch beispielsweise auf der Verbindung von Neusiedl am See zum Flughafen Wien über Bruck an der Leitha Verluste im Öffentlichen Verkehr, weil die verbesserte Anschlusssituation die Verschlechterung nicht wettmachen konnte, die durch eine langsamere Umsteigeverbindung anstelle des Direktbusses aufgetreten ist (siehe auch 4.2.2.2.1)

Unerwartet schwierig gestaltete sich die Einschätzung der Fahrzeiten auf den jeweiligen Buslinien, da keine Programme zur Verfügung stehen, welche die Bus-Fahrzeit auf einer bestimmten Linie je nach Anzahl der bedienten Haltestellen berechnen könnten. Die geläufige Praxis in der Buslinienplanung, die Routen probeweise tatsächlich mit Bussen abzufahren, schied wegen des hohen Aufwands aus. Somit mussten folgende Näherungsverfahren angewandt werden:

- a) Bestandsfahrzeiten: Auf den meisten Linienabschnitten verkehren bereits im Status Quo Linienbusse, deren Fahrzeiten übernommen wurden.
- b) Reisebus-Routenplaner: Für neue Fahrtrationen wurde der Reisebus-Routenplaner der Firma Setra¹⁷ verwendet.
- c) Pkw-Routenplaner mit Wohnanhänger: Als weiterer Vergleichswert wurde im Michelin-Routenplaner¹⁸ die Fahrzeit mit einem Wohnanhänger ermittelt, für den die gleichen Geschwindigkeitsbeschränkungen, wie für Busse gelten.

Überraschenderweise ergaben der Reisebus- und der Wohnanhänger-Routenplaner häufig gleiche oder sogar längere Fahrzeiten, als die Bestandsfahrpläne, obwohl die Routenplaner keine Zwischenhalte berücksichtigten. Nachdem es auf dieser dünnen und tendenziell widersprüchlichen Datenbasis nicht möglich war, bei durch das Anschlussgefüge vorgegebenen Kantenfahrzeiten zu errechnen, wie viele Halte möglich sind und abzuwägen, welche Haltestellen prioritär bedient werden sollten, wurde in erster Linie von Bestandsfahrzeiten ausgegangen. In einigen Fällen, in denen etwas kürzere Fahrzeiten erforderlich waren, wurden nach Augenmaß einige Haltestellen mit offensichtlich geringerem Potenzial gestrichen.

Das von der ÖBB-PV AG verwendete Verkehrsnachfragemodell und somit auch das davon für das vorliegende Projekt abgeleitete Teilmodell betrachtet stets nur Werktage, ganz konkret für den Referenzfall das Fahrplanangebot am 17.4.2013. Um möglichst konsistente Hochrechnungen auf das gesamte Jahr unter Berücksichtigung von Wochenenden und Feiertagen zu ermöglichen, wurde zunächst aus den im Modell

dennoch zugänglichen Fahrplan-Rohdaten mit ihren Verkehrstagen die durchschnittliche Anzahl an Verkehrstagen im gesamten Jahr als Durchschnitt der Anzahlen an Ankünften und Abfahrten in den jeweiligen Untersuchungsgebieten ermittelt. Dieser Hochrechnungsfaktor, mit dem das Betriebsleistungsangebot des Stichtags zu multiplizieren ist, um auf die Jahresbetriebsleistung zu kommen, beträgt im nördlichen Wiener Becken 298 und im Mittelburgenland 254. Davon ausgehend wurde beim Fahrplanentwurf versucht, die Wochenendintervalle so zu wählen, dass im Planfall ein möglichst ähnlicher Hochrechnungsfaktor erzielt wird. Dies ist im nördlichen Wiener Becken gelungen, nicht jedoch im Mittelburgenland, da dort der Faktor nahezu gleich ist, wie die Anzahl an Werktagen ohne Samstag im Jahr (247 Tage im Jahr 2013), sodass praktisch kein Wochenendangebot übrig geblieben wäre. Grund dafür ist vermutlich nicht, dass die Busse im Bestand nur Montags bis Freitags verkehren, sondern dass viele Busse nicht auf Werktagen, sondern auf Schultage beschränkt sind. Mit einem einigermaßen akzeptablen Wochenend-Fahrplanangebot wurde ein Hochrechnungsfaktor von 276 erreicht.

Das Leihstellennetz wurde auf Grundlage der in einem 100x100m-Raster visualisierten Bevölkerungsverteilung und Orthofotos der Beispielregionen entworfen und dabei nach einem bestmöglichen Kompromiss zwischen einer überschaubaren Anzahl an Leihstellen, begrenzten Zugangswegen für die am ungünstigsten gelegenen Wohnstandorte und kurzen Entfernungen bei den dichtesten Siedlungsgebieten getrachtet. Der Medianwert der Entfernung von einer Leihstation zur nächsten beträgt für beide Regionen zusammen 319 Meter. Die Verteilung der Wohnbevölkerung der Beispielregionen (beide zusammen) nach Luftlinienentfernung zur nächsten Leihstation ist in Abbildung 15 dargestellt: Für etwa drei Viertel der Bevölkerung ist die nächste Leihstation weniger als 200 m entfernt, für rund 90% näher als 300m Luftlinie.

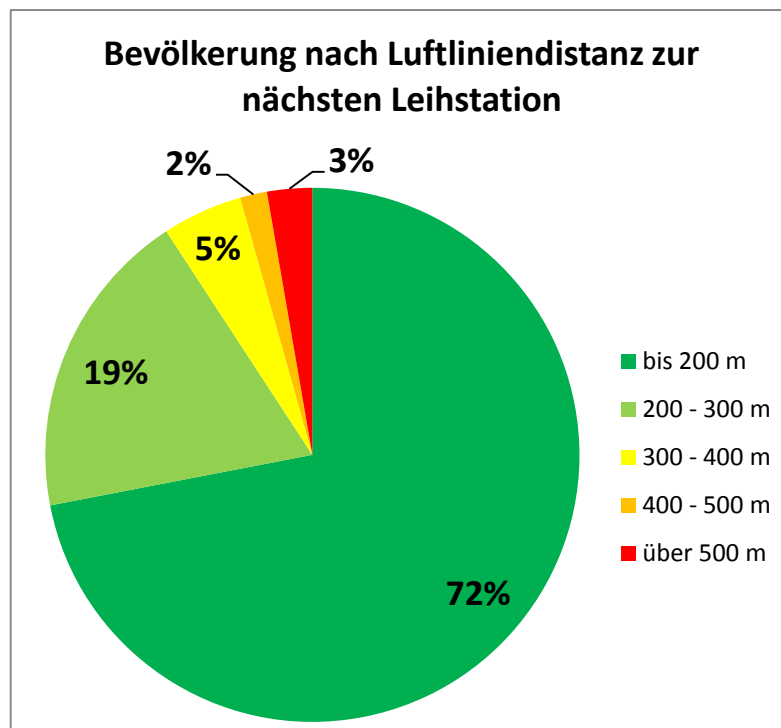


Abbildung 15: Bevölkerungsanteile nach Luftlinienentfernung zur nächsten Leihstation^c.

^c Die Berechnung ist insofern einer gewissen Unsicherheit unterworfen, als Leihstationen sowohl innerhalb des Gebiets, als auch zwecks Verknüpfung mit dem öffentlichen Verkehr außerhalb des

Die überraschend kurzen Zugangswege sind zu einem gewissen Grad zweifellos den günstigen, kompakten Siedlungsstrukturen in den Beispielregionen geschuldet, deren Einfluss aber auch nicht überschätzt werden sollte: Im Durchschnitt kommen auf eine Leihstation im nördlichen Wiener Becken 228 und im Mittelburgenland 149 EinwohnerInnen, die „kritische Masse“ für eine Leihstation würde somit schon von wesentlich kleineren Siedlungskernen erreicht, als der mittleren Ortschaft in den Beispielregionen Wiener Becken (Median: 912 EinwohnerInnen) und Mittelburgenland (Median: 592 EinwohnerInnen) entspricht.

3.1.2. Nördliches Wiener Becken

Für das nördliche Wiener Becken sind inklusive der der Außenanbindung dienenden Stationen außerhalb des Projektgebiets 368 Leihstationen vorgesehen. Abgesehen von vereinzelt sehr kleinen Ortschaften mit nur einer Leihstation haben die meisten kleineren Ortschaften drei bis fünf Leihstationen, während die großflächigen Siedlungsgebiete am Wiener Stadtrand insgesamt mit über hundert Leihstationen versorgt sind.

Das Angebot im planmäßigen Öffentlichen Verkehr ist in drei Zeitsegmente gegliedert:

- Das tagesdurchgängige Grundangebot, das auch die Nebenverkehrszeiten hindurch angeboten wird, ist in Abbildung 16 dargestellt. Diese Linien werden werktags außer Samstags 19 mal pro Richtung befahren (beispielsweise von 5 bis 23 Uhr), an Wochenenden und Feiertagen 13 mal pro Richtung. Dieses Grundangebot sichert eine solche Maschenweite, dass stets in maximal 5 km Entfernung eine Fahrtmöglichkeit im öffentlichen Verkehr besteht. Das Grundangebot baut auf zwei Rückgratlinien mit einem zentralen Taktknoten in Gramatneusiedl auf, wo Anschlüsse von allen Buslinien zu REX-Zügen Richtung Wien und Bruck an der Leitha bestehen. In Ebreichsdorf und Eisenstadt haben die Busse ebenso Anschlüsse zu den Zügen in beiden Richtungen. In Fischamend konnte nur ein Anschluss auf der Relation Wolfsthal – Gramatneusiedl (-Ebreichsdorf) verwirklicht werden, der fehlende Anschluss Richtung Schwechat und Wien wird durch die Verlängerung der Buslinie parallel zur Pressburgerbahn bis zum Flughafen Wien abgedeckt.
- Das über eine eher länger gefasste Hauptverkehrszeit angebotene Liniennetz ist in Abbildung 17 dargestellt. Diese Linien verkehren montags bis freitags acht Mal pro Tag und Richtung, beispielsweise drei Mal morgens, einmal zu Mittag und vier Mal nachmittags. Nachfrageorientiert können jeweils in Lastrichtung mehr Fahrten angeboten werden als gegen die Lastrichtung, beispielsweise morgens drei Kurse Richtung Wien und nur zwei Kurse Richtung Region, nachmittags hingegen fünf Kurse stadtauswärts und nur vier Kurse stadteinwärts. An Wochenenden und Feiertagen werden auf den Linien Flughafen – Schwadorf – Bruck an der Leitha sowie Kaiserebersdorf – Himberg – Wien Reumannplatz drei Fahrten je Richtung angeboten, auf den restlichen Zusatzlinien dieser Kategorie zwei Fahrten je Richtung. Verglichen

Gebiets liegen. Für die Summierung der Bevölkerungszahlen im jeweiligen Umkreis wurden nur die Leihstationen innerhalb des Gebiets herangezogen, allerdings wird dennoch Bevölkerung außerhalb des Untersuchungsgebiets mitgezählt, die im Einzugsbereich von Stationen innerhalb des liegt und umgekehrt bleibt Bevölkerung unberücksichtigt, die innerhalb des Untersuchungsgebiets liegt, deren nächste Leihstation aber außerhalb. Eine relevante Größenordnung kann diese Unschärfe für die Kategorie mit mehr als 500 m Distanz ausmachen.

zum Grundangebot werden Lücken zwischen dem Wiener Stadtrand und Gramatneusiedl bzw. dem Flughafen, am Südrand der Region zwischen Ebreichsdorf und Stotzing sowie Richtung Bruck an der Leitha geschlossen. Im Abschnitt Schwadorf – Flughafen ergibt sich annähernd ein Halbstundentakt, wobei die zusätzliche Linie in Wien Flughafen einen Anschluss Richtung Wien hat. In Himberg entsteht ein zusätzlicher Taktknoten mit Anschlüssen zu den dort kreuzenden S-Bahn-Zügen beider Richtungen, einzelne zusätzliche Anschlüsse entstehen in Stotzing, Mannersdorf, Schwadorf, Götzendorf, Gramatneusiedl, Bruck an der Leitha, Ebreichsdorf, Schwechat (Stadt), sowie Wien Kaiserebersdorf.

- Über eine kürzer gefasste Hauptverkehrszeit wird das in Abbildung 18 gezeigte Liniennetz angeboten: Diese Busse verkehren an Werktagen außer Samstag je fünf Mal pro Richtung, also beispielsweise morgens und nachmittags jeweils drei Mal in Lastrichtung und zwei Mal gegen die Lastrichtung. Mit diesen Linien werden sämtliche Ortschaften außer dem unmittelbar an Götzendorf angrenzenden Pischelsdorf erschlossen. Annähernd im Halbstundentakt werden die Streckenabschnitte Ebreichsdorf – Gramatneusiedl – Wienerherberg, Mannersdorf – Gramatneusiedl, Flughafen – Mannswörth – Schwechat – Wien Simmersing sowie Maria Lanzendorf – Wien Reumannplatz bedient. Zusätzliche Anschlüsse ergeben sich in Unterwaltersdorf, Moosbrunn, Wienerherberg, Schwadorf und Schwechat (Bahnhof und Stadt).

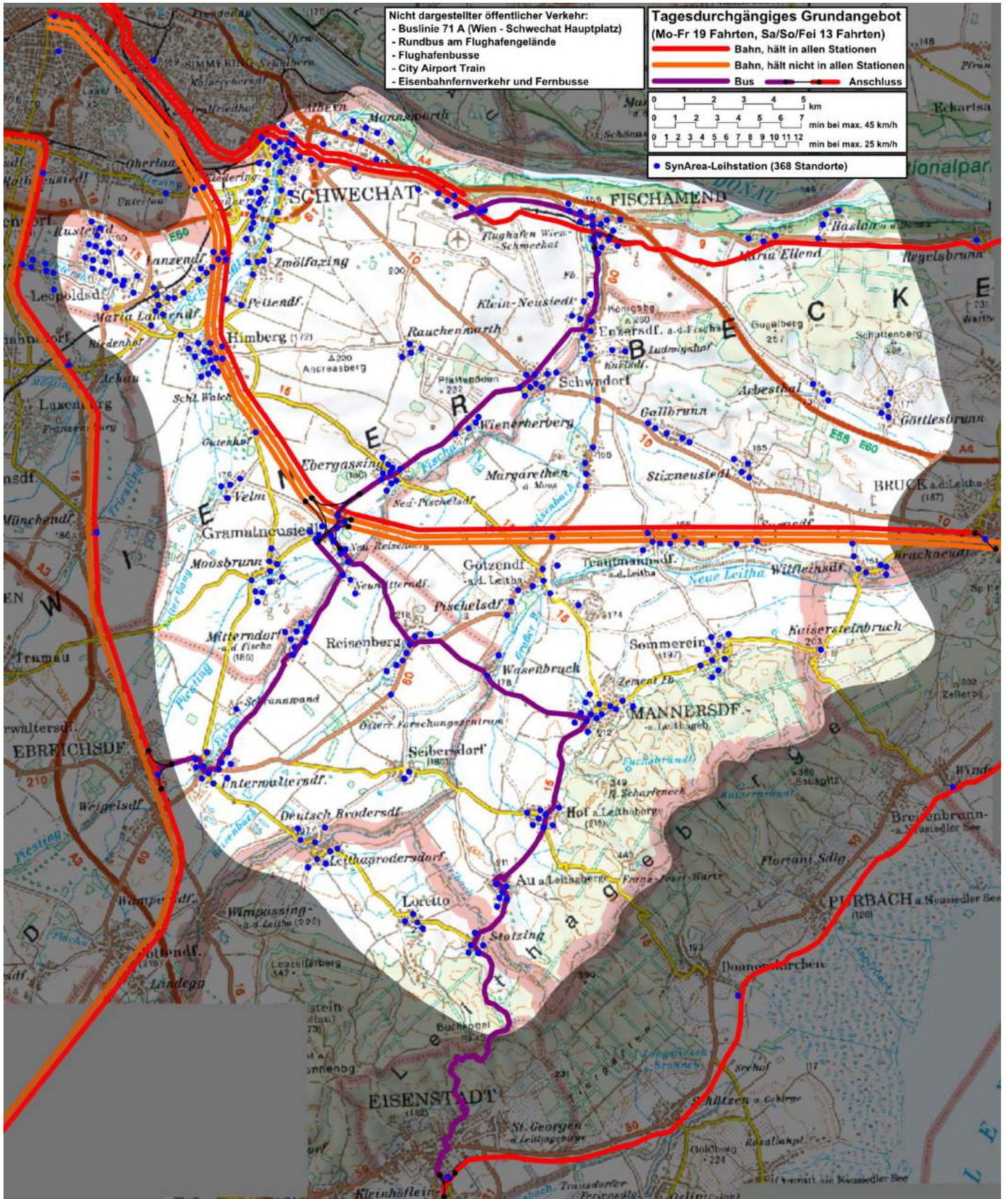


Abbildung 16: Verkehrsangebot im Planfall in der Beispielregion Nördliches Wiener Becken zur Nebenverkehrszeit. Kartengrundlage: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen / Austrian Map.

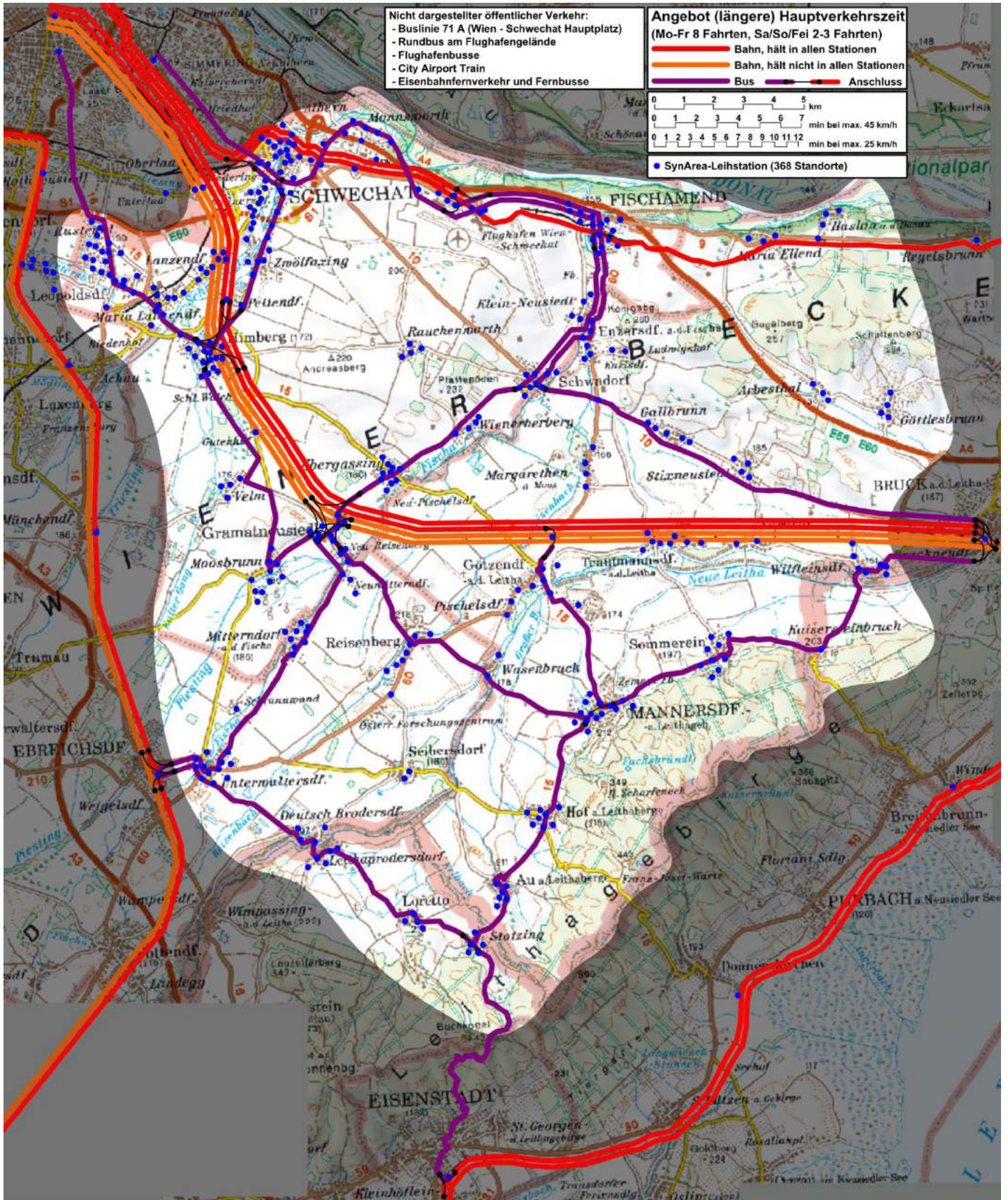


Abbildung 17: Verkehrsangebot im Planfall in der Beispielregion Nördliches Wiener Becken zur erweiterten Hauptverkehrszeit. Kartengrundlage: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen / Austrian Map.

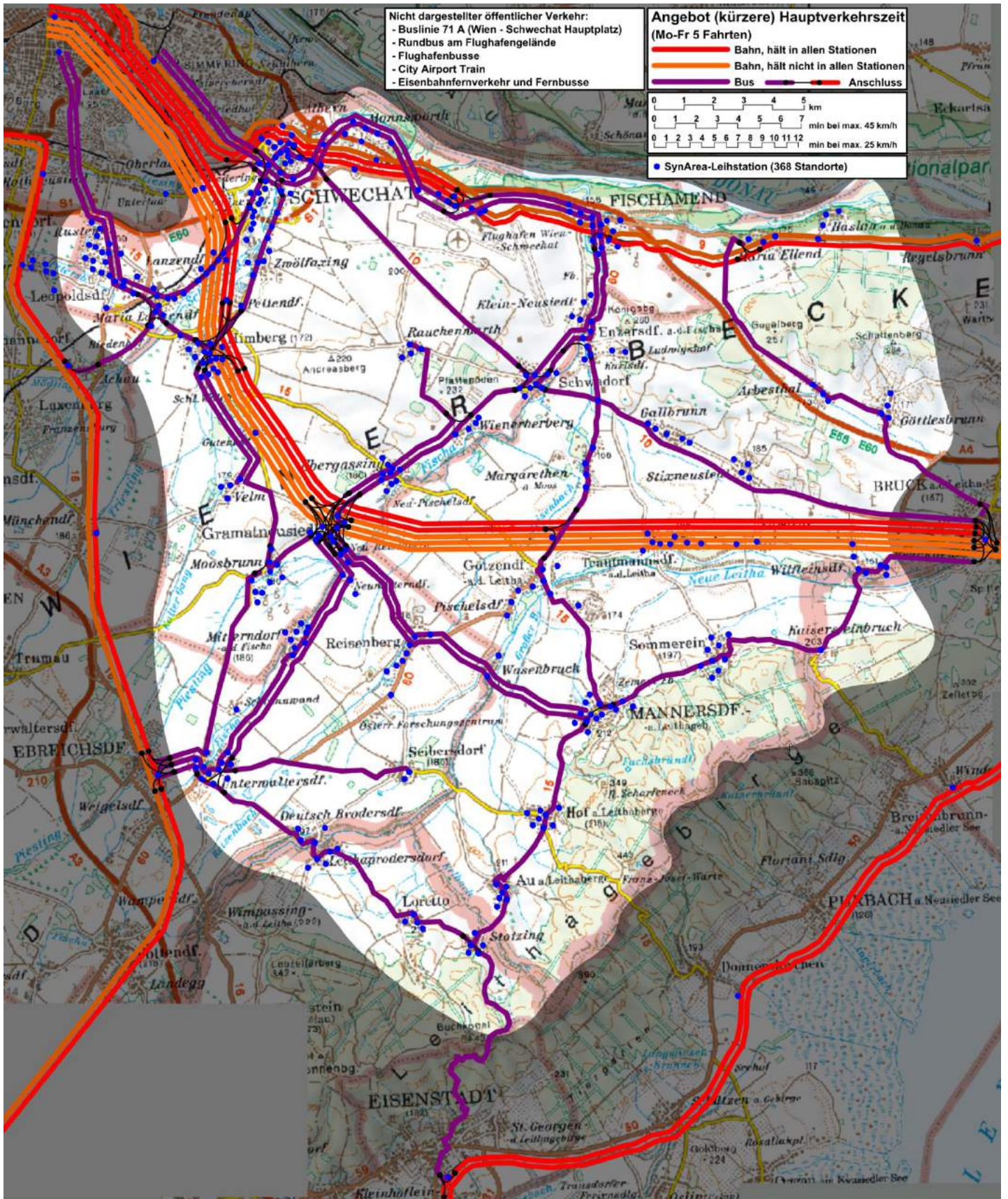


Abbildung 18: Verkehrsangebot im Planfall in der Beispielregion Nördliches Wiener Becken zur Hauptverkehrszeit im engeren Sinn. Kartengrundlage: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen / Austrian Map.

3.1.3. Mittelburgenland

Auch im Mittelburgenland haben kleinere Ortschaften meist drei bis fünf Leihstationen, die zwei größten Orte Deutschkreutz und Oberpullendorf / Felsőpulya kommen auf jeweils etwa 15 Leihstationen im Ort. Insgesamt liegen in und um die Beispielregion (Außenanbindungen) 220 Standorte, an denen Fahrzeuge ausgeliehen und zurückgegeben werden können, vier davon liegen außerhalb des Kartenausschnitts von Abbildung 19 bis Abbildung 21 (Wiesmath, Kőszeg / Güns, Bük / Wichs und Lővő / Schützen / Livir).

Das Angebot im planmäßigen öffentlichen Verkehr ist ähnlich wie im nördlichen Wiener Becken in drei Zeitsegmente eingeteilt, die jedoch etwas kürzer gehalten sind.

- Die in Abbildung 19 dargestellten Grundtakt-Linien werden an Werktagen außer Samstag 16-18 mal pro Tag und Richtung (z.B. von 5 bis 21 Uhr) befahren, Unterschiede nach Linie und Fahrtrichtung ergeben sich unter anderem aus den Zeitlagen der ersten und letzten Anschlusszüge. An Wochenenden und Feiertagen verkehren jeweils 7 Fahrten. Ausgehend von diesem Netz bleiben Reststrecken von bzw. zur nächsten bedienten Haltestelle von bis zu 10km. Das Rückgrat bilden zwei Linien entlang der wichtigsten Siedlungsachsen der Region: Deutschkreutz – Markt St. Martin sowie Mattersburg – Oberpullendorf / Felsőpulya. Aufgrund der prioritären Anpassung an die Bahn-Anschlüsse in Deutschkreutz und Mattersburg ergibt sich in Markt St.Martin kein vollständiger Taktknoten, sondern lediglich ein Anschluss auf der Relation Deutschkreutz – Mattersburg, nicht jedoch auf der Relation Deutschkreutz – Oberpullendorf / Felsőpulya. Ein Vorteil dieser minimalen Anschlussbeziehungen ist, dass das Wochenendangebot als Zweistundentakt realisiert werden kann, wobei jeweils nur an einem Punkt Linienverknüpfungen bestehen und somit die Anschlüsse gewahrt werden können. Zur Anknüpfung der Orte von Deutschkreutz bis Lackenbach an die Bezirkshauptstadt Oberpullendorf / Felsőpulya ist daher eine Buslinie Lackendorf – Oberpullendorf / Felsőpulya über Großwarasdorf / Velki Borištof vorgesehen, sodass Lackendorf zu einem kleinen Taktknoten wird. Ergänzt wird das Angebot durch eine Buslinie Deutschkreutz – Kroatisch Minihof / Mjenovo, um die am Weg ins bzw. aus dem Südteil der Region verbleibende, per Leihfahrzeug zurückzulegende Strecke zu reduzieren.
- Das Angebot zu einer längeren Hauptverkehrszeit ist in Abbildung 20 dargestellt. Diese Linien verkehren nur von Montag bis Freitag, insgesamt jeweils etwa 7-8 mal täglich, wobei sich die Verteilung nach Richtungen und Tageszeiten an der räumlich gerichteten Nachfrage orientiert: Beispielsweise verkehren morgens 4 Kurse in Richtung der Zentralorte und 3 Kurse in der Gegenrichtung und am Nachmittag umgekehrt. Gegenüber dem Grundangebot wird die Linie aus Mattersburg acht Mal pro Tag und Richtung von Oberpullendorf / Felsőpulya über Unterpullendorf / Dolnja Pulja und Unterloisdorf nach Lockenhaus verlängert. Die Stichlinie Deutschkreutz-Kroatisch Minihof / Mjenovo wird ebenso acht Mal täglich um ein Vielfaches verlängert, und zwar über Lutzmannsburg und Oberpullendorf / Felsőpulya nach Markt St.Martin, sodass sich zu manchen Stunden über eine

Durchbindung von Kursen sogar eine Ringlinie von Deutschkreutz nach Deutschkreutz ergibt. Sieben Mal täglich wird die Linie Lackendorf – Oberpullendorf / Felsőpulya über Steinberg-Dörfel nach Unterloisdorf und retour verlängert. Neben diesen Linienverlängerungen kommt sieben Mal pro Tag und Richtung eine weitere Linie hinzu, diese führt von Neutal nach Kirchsschlag. Die Ergänzungen in diesem Zeitsegment bewirken einen annähernden Halbstundentakt entlang der Siedlungsachse Unterpullendorf / Dolnja Pulja – Oberpullendorf / Felsőpulya – Stoob – Neutal – Markt St. Martin, sodass Markt St. Martin zu einem vollwertigen Taktknoten mit Anschlüssen auch in der Relation Neutal – Lackenbach aufgewertet wird. Zu einem echten Taktknoten wird auch Neutal, während es in Oberpullendorf / Felsőpulya zu zahlreichen Anschlüssen, jedoch zu zwei unterschiedlichen Knotenzeiten kommt. Ein weiterer Anschluss ergibt sich in Unterloisdorf.

- Die in Abbildung 21 dargestellten Linien zur Hauptverkehrszeit im engsten Sinn verkehren nur vier bis fünf Mal täglich je Richtung an Werktagen außer Samstag. Auch diese Betriebszeiten sind deutlich nachfrageorientiert gerichtet, insbesondere direkte Schnellbuslinie mit vier Kursen je Tag und Richtung verkehrt morgens nur nach Wien und nachmittags nur aus Wien. Die weiteren Verdichtungen erfolgen fünf Mal pro Tag und Richtung, und zwar zwischen Markt St. Martin und Siegraben (Parallellinie über Tschurndorf), von Markt St. Martin über Landsee nach Wiesmath sowie die Querverknüpfung von Kroatisch Minihof / Mjenovo nach Großwarasdorf / Velki Borištof. Ohne Anbindung an den planmäßigen öffentlichen Verkehr verbleiben in dieser dünner besiedelten Region mehr Orte, als im suburbanen Wiener Becken, beispielsweise Ritzing, Neckenmarkt und Unterfrauenhaid im Norden, Kaisersdorf im Westen oder Klostermarienberg im Süden. Neue Anschlüsse ergeben sich in Kroatisch Minihof / Mjenovo und Siegraben (neue Taktknoten), Großwarasdorf / Velki Borištof (Kroatisch Minihof / Mjenovo – Oberpullendorf / Felsőpulya) und durch die weitere Aufwertung des Taktknotens Markt St. Martin.

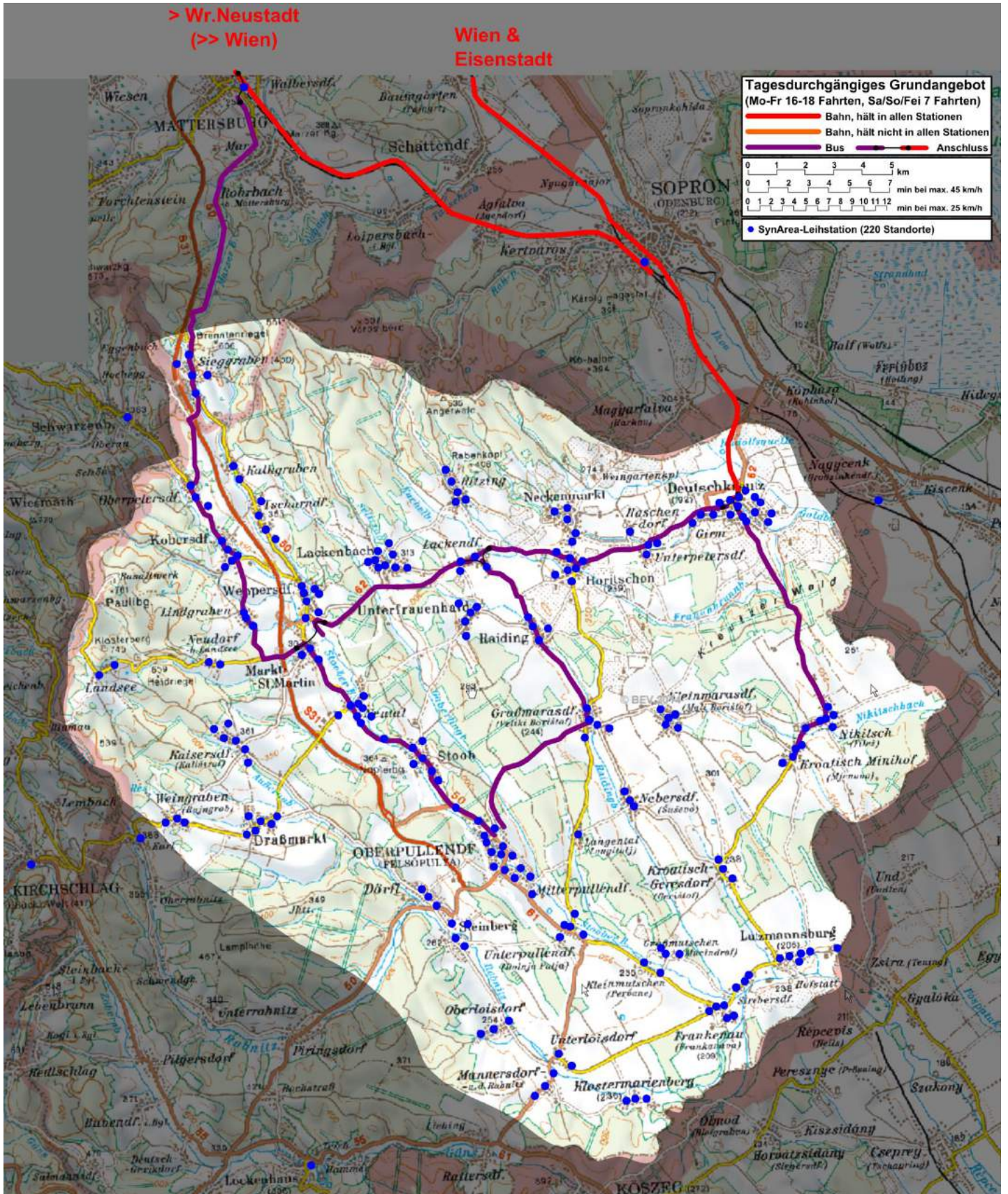


Abbildung 19: Verkehrsangebot im Planfall in der Beispielregion Mittelburgenland zur Nebenverkehrszeit. Kartengrundlage: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen / Austrian Map.

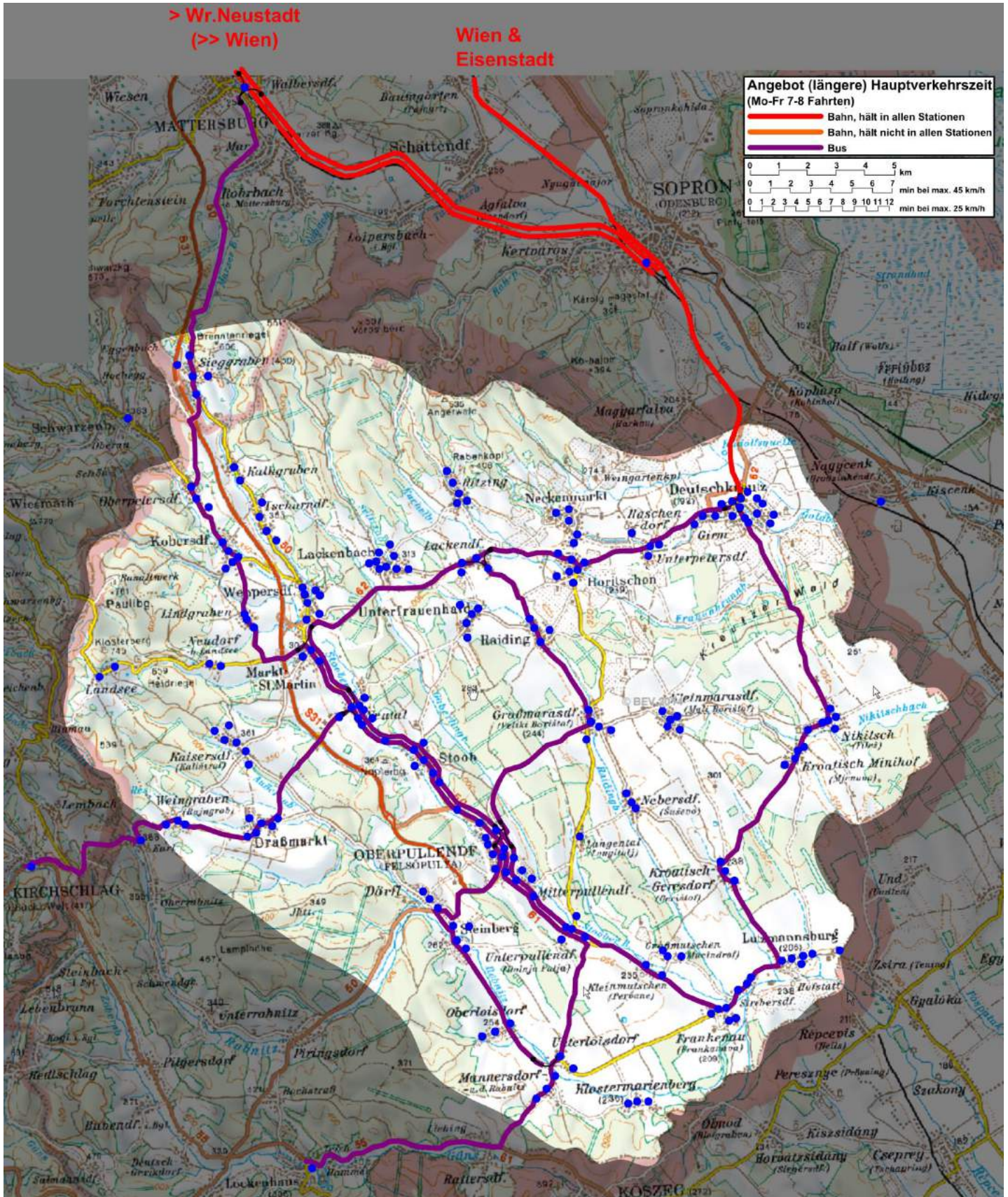


Abbildung 20: Verkehrsangebot im Planfall in der Beispielregion Mittelburgenland zur erweiterten Hauptverkehrszeit. Kartengrundlage: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen / Austrian Map.

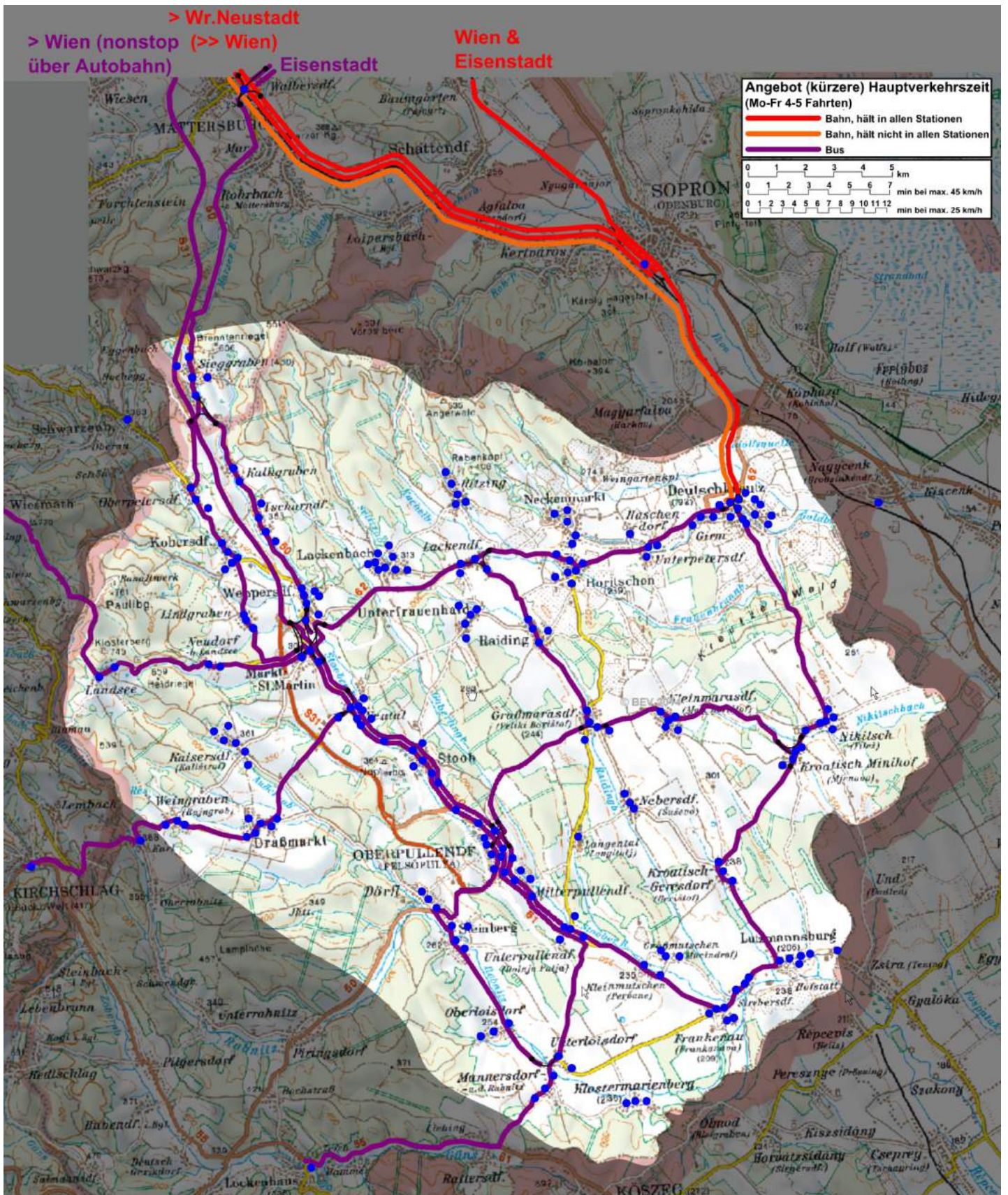


Abbildung 21: Verkehrsangebot im Planfall in der Beispielregion Mittelburgenland zur Hauptverkehrszeit im engeren Sinn. Kartengrundlage: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen / Austrian Map.

Detailliertere Informationen zum entworfenen Fahrplanangebot sind in Anhang (3) als Linientaktkarten mit konkreten Abfahrts- und Ankunftsminuten dargestellt.

3.2. Fahrzeugleihsystem

3.2.1. Fahrzeuge

3.2.1.1. Einleitung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Fahrzeugkonzeption und der Entwicklung der Fahrzeugvarianten zusammengefasst. Darüber hinaus werden die Konzepte für die zugehörigen Verleihstationen dargestellt.

Im Rahmen der Fahrzeugentwicklung wird ausgehend von der Erstellung des Lastenhefts auf die Ideenentwicklung der Konzepte und in weiterer Folge auf die Erarbeitung von konkreten Fahrzeugvarianten eingegangen.

Abgeschlossen wird dieses Dokument durch einen Überblick über mögliche Umsetzungsvarianten der Verleihstationen sowie durch eine Zusammenfassung.

3.2.1.2. Fahrzeuglastenheft

In diesem Arbeitsschritt wurden auf Basis der Kundenanforderungen und den Use-Cases relevante Daten für das Lastenheft extrahiert und die Fahrzeugklasse, Ausstattung, minimale Reichweite etc. definiert. Die Daten des Lastenhefts dienen in weiterer Folge als Grundlage für die Ideenentwicklung zur Fahrzeugkonzeption.

Das Lastenheft beinhaltet konkrete technische Anforderungen an das SynArea-Fahrzeug (Tabelle 22). Diese Eigenschaften wirken sich auf die Fahrzeugklasse aus, wobei unterschiedliche gesetzliche Vorschriften zur jeweiligen Fahrzeugklasse zu tragen kommen (siehe AP2 Deliverable – „Gesetzliche Rahmenbedingungen und Fahrzeugklassen“). Das Lastenheft bezieht sich auf die Richtlinie 2002/24/EG und die Fahrzeugklasse L6e. Wesentlich ist, dass diese Richtlinie erneuert wird, wodurch zusätzliche Anforderungen an das Fahrzeug entstehen. Diese Neuerung wird durch die Verordnung (EU) Nr. 168/2013 beschrieben.

Gesamtfahrzeug		
Eigenschaft	Beschreibung/Wert	Kommentar
Typ	L6e "Mopedklasse"	L2e, L5e, L6e oder L7e
Antrieb	elektrisch	3 oder 4 Räder
Personen- und Gepäckkapazität	2 Erw. oder 1 Erw. & 2 Kinder oder 1 Erw. & 2 Kisten Bier	2 oder 3 Personen
Hauptabmessungen	2400 x 1200 x 1600 mm	
Leergewicht ohne Batterie und Fahrer	< 350 kg	
Konstruktionsgewicht	533 kg	
Batteriegewicht	40 kg	
Ladedauer	2 h	
Batteriekapazität	3 kWh	
Fahrleistungen		
Höchstgeschwindigkeit	45 km/h	Mitschwimmen im Stadtverkehr
Beschleunigung 0 – 45 km/h	< 10 s (Konstruktionsgewicht)	
Reichweite	40 km (SynArea-Fahrzyklus)	
Steigfähigkeit	5 % bei 45 km/h, 35 % für 15 s	
Nennleistung	4 kW	
Spitzenleistung	7 kW	
Koppelung		
Kopplungsart	mechanisch mit Koppelstange	Mechanisch oder elektrisch
Anhängerart	Gleichartige Fahrzeuge	Möglichkeiten: Gleichartige Fahrzeuge, Leichtanhänger
Alternativen	Externe Gepäckträger	Verschiebe- und Klappmechanismen
Eigenschaft	Beschreibung/Wert	Kommentar
Fahrodynamik		

Wendekreis	7000 mm	Wenden auf Fahrstreifen ohne Reversieren
Fahrverhalten	fehlerverzeihend	
Traktion	2 E-Motoren	Befahren von Güterwegen und Schotterstraßen
Kabine und Aufbau		
Bedienkonzept der Fahrfunktionen	Auto-/Mopedbedienung	
Komfortniveau	Heizung, Schnittstelle Smartphone, Navi/Touchpad	
Layout der Personenbeförderung	stehend wird ausgeschlossen	nebeneinander, hintereinander, sitzend
Kabinentyp	Starrer Aufbau	
Fahrzeugsicherheit		
Aktive Sicherheit	-	
Passive Sicherheit	Gurt, stabile Fahrgastzelle, Crashbox vorne und hinten	
Kosten		
Relevanz	50 % / 50 %	Kosten oder Funktion stehen im Vordergrund
Verleihstation		
Abgrenzung der Betrachtung	systemkompatibel	Komplettes Betriebsmodell, nur Ladeinfrastruktur mit Fahrzeuganordnung

Tabelle 22: Lastenheft SynArea-Fahrzeug

3.2.1.3. Ideenentwicklung Fahrzeugkonzeption

Im weiteren wurden konventionelle aber auch unkonventionelle Fahrzeugkonzepte entwickelt. Ausgangspunkt für die Ideenfindung war der Anspruch, bedarfsgerechten Personenverkehr mit einem einzelnen aber auch mit gekoppelten Fahrzeugen zu bewerkstelligen. Folglich ist keine Überdimensionierung der Einzelfahrzeuge notwendig, um einen größeren Einsatzbereich zu ermöglichen.

Der Fokus lag daher im Rahmen der Ideenstudie im ersten Schritt im Bereich der Koppelbarkeit bzw. Art der Kopplung. Dabei wurde Augenmerk auf die pure Zweckmäßigkeit der Fahrzeuge gelegt. Erst in einer zweiten Phase wurden die erstellten Konzepte auf die im Lastenheft definierten Fragestellungen hinsichtlich Packaging, funktionales Konzept, Technologien und Umsetzbarkeit überprüft und bewertet. Diese Bewertung war die Grundlage für die Auswahl eines Konzepts als Basis für die Entwicklung mehrerer Fahrzeugvarianten.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Ideenstudie zur Fahrzeugkonzeption im Detail dargelegt. Hauptaugenmerk wurde dabei auf das Koppeln von mehreren Fahrzeugen und auf das Fahrzeuggrundkonzept gelegt.

3.2.1.3.1. Koppeln der Einzelfahrzeuge

In Abbildung 22 sind überblicksmäßig die Koppelvarianten dargestellt. Die Einteilung erfolgt nach der Art der Verbindung der Fahrzeuge miteinander, je nachdem, ob die Verbindung mechanisch oder „elektrisch“ durchgeführt wird. Bei den mechanischen Lösungen werden alle Zug- und Bremskräfte über die Koppel übertragen, während bei den elektrischen Lösungen, lediglich Informationen zwischen den Fahrzeugen ausgetauscht werden. Auf konkrete technische Lösungen bzw. auf Beispiele für die einzelnen Koppelmöglichkeiten wird nachfolgend eingegangen.

Es sollte betont werden, dass beim Koppeln von zwei oder mehreren Fahrzeugen einige technische Schwierigkeiten überwunden werden müssen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit können hier folgende Punkte genannt werden:

- Erfüllung der Ackermannbedingung
- Die Fahrstabilität darf sich durch das Koppeln nicht verschlechtern.
- Die Fahrleistung darf sich durch das Koppeln nicht wesentlich ändern.
- Das Koppeln zweier oder mehrerer Fahrzeuge muss einfach zu handhaben sein.
- Bei nicht spurtreuem Nachlauf muss der Fahrzeugführer die Spur der nachfolgenden, gekoppelten Fahrzeuge berücksichtigen und seinen Fahrstil (insbesondere die Trajektorienplanung) anpassen.
- bewusste und unbewusste Bedieneingaben z. B. durch Passagiere bei Fahrzeugen ohne Fahrzeugführer („Anhänger“) müssen verhindert werden.

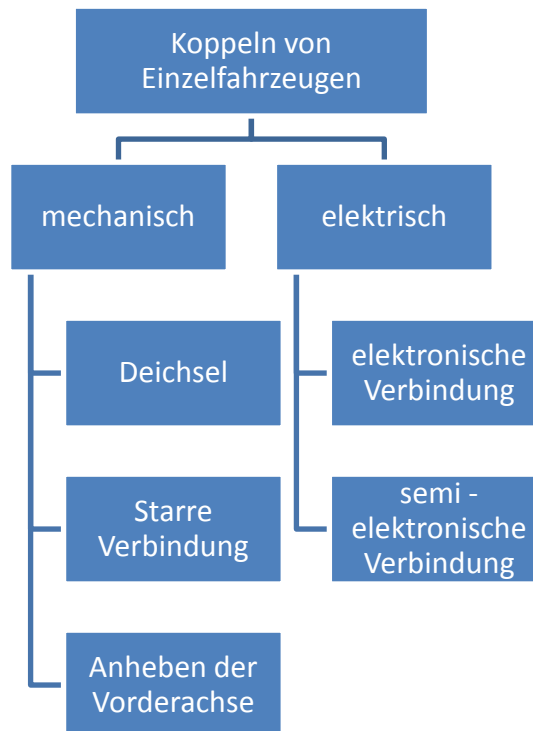


Abbildung 22, Einteilung der Koppelmöglichkeiten

Abseits der technischen Herausforderungen kann das Koppeln mehrerer Fahrzeuge Beeinträchtigungen der Verkehrssicherheit oder des Verkehrsflusses mit sich bringen, wie die folgenden Punkte zeigen:

- Es entsteht eine Verkehrsbehinderung durch eine lange Fahrzeugkette mit niedriger Geschwindigkeit, wodurch das Überholen erschwert wird (Effekt: Straßen-Bummelzug).
- Das Reversieren mit Anhänger ist für ungeübte Fahrer äußerst schwierig. Mit mehreren Anhängern praktisch nicht machbar.

Als Parameter bzw. Einflussfaktoren für Gespanne bzw. gekoppelte Fahrzeuge können folgende Punkte angegeben werden:

- Dauer für den Koppelvorgang pro Fahrzeug
- Sicherheit des Koppelvorgangs
- Massenverteilung im Gespann (beladungsabhängig)
- Zugkraft- und Bremskraftverteilung im Gespann
- Bremsverhalten des Gespanns (z. B. Einknicken)
- kritische Geschwindigkeit (Aufschwingen des Gespanns)
- Höhe des Koppelpunkts (über oder unter der Achse)
- Sicherung der Ladung in gekoppelten Fahrzeugen
- Kommunikation mit Personen in gekoppelten Fahrzeugen bzw. Signalkommunikation (z. B. alle Gurtsysteme aktiv, Passagiere angeschnallt?)
- Nachlaufverhalten der gekoppelten Fahrzeuge
- Alleinfahren von Kindern bzw. Personen mit mentalen Einschränkungen in gekoppelten Fahrzeugen
- Notbremse und Notsignaltaste in gekoppelten Fahrzeugen

- Versagen der Kopplung

und falls eine Deichsel zum Koppeln vorhanden ist:

- Überhang und Deichsellänge
- Deichselkräfte

Unter diesen Gesichtspunkten wurde eine Ideenstudie durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden dargelegt werden.

3.2.1.3.1.1 Zweiachser – Vorderachslenkung

Technische Eigenschaften:

- Hinteres Fahrzeug wird mittels Deichsel gelenkt
- Kurveninneres Rad in etwa parallel zur Deichsel
- Deichsel könnte zweiteilig im Frontbereich verstaut werden
- Als Drei- und Vierradausführung möglich (Abbildung 23 - Abbildung 25, als Vorwärtsfahrt wurde in den Skizzen die Bewegungsrichtung von unten nach oben definiert.)

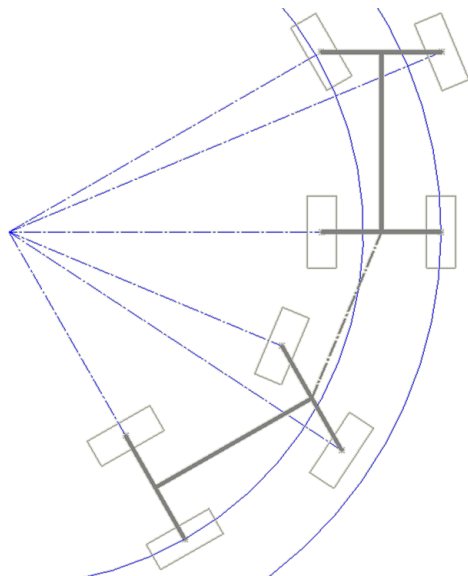


Abbildung 23, vierrädriges Fahrzeugkonzept mit Vorderachslenkung und zwei Achsen, mechanische Kopplung durch eine Deichsel

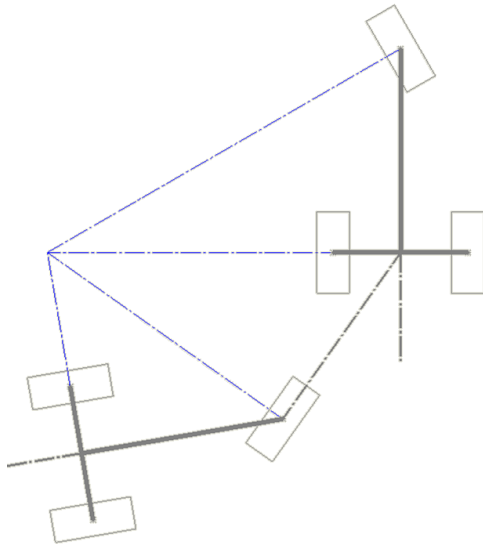


Abbildung 24, dreirädriges Fahrzeugkonzept mit Vorderachslenkung und zwei Achsen, zwei Räder auf der Hinterachse und mechanische Kopplung durch eine Deichsel

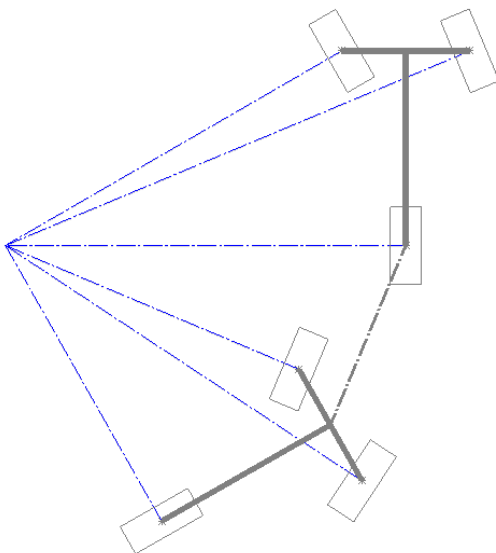


Abbildung 25, dreirädriges Fahrzeugkonzept mit Vorderachslenkung und zwei Achsen

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Rein mechanische Verbindung der Lenkung • Einfaches, bekanntes und bewährtes Konzept 	<ul style="list-style-type: none"> • kein spurtreuer Nachlauf • seitliche Kräfte bei Dreiradausführung auf einzelnes Hinterrad problematisch • Kippgefahr bei Dreiradausführung

3.2.1.3.1.2 Zweiachser - Allradlenkung

Technische Eigenschaften:

- Hinteres Fahrzeug wird mittels Deichsel gelenkt
- Kurveninneres Vorderrad in etwa parallel zur Deichsel
- Lenkeinschlag der Hinterachse kann in einem anderen Verhältnis stehen
- Drei- und Vierradausführung möglich (Abbildung 26 - Abbildung 28, als Vorwärtsfahrt wurde in den Skizzen die Bewegungsrichtung von unten nach oben definiert)

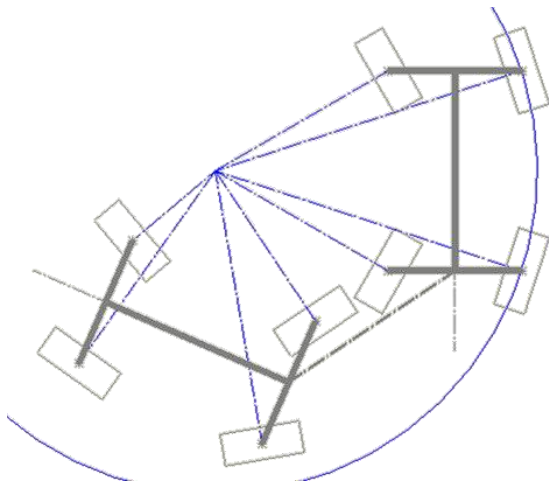


Abbildung 26, vierrädriges Fahrzeugkonzept mit Allradlenkung und zwei Achsen

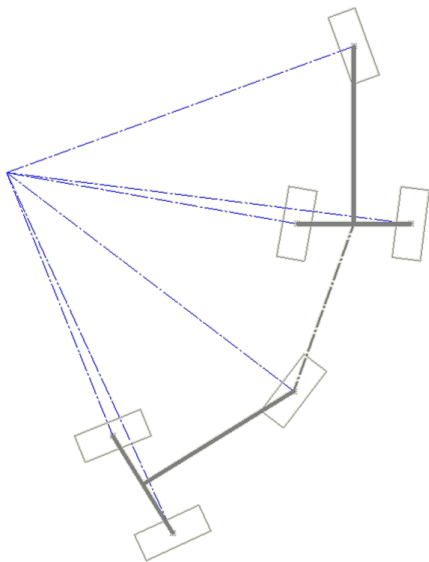


Abbildung 27, dreirädriges Fahrzeugkonzept mit Allradlenkung und zwei Achsen

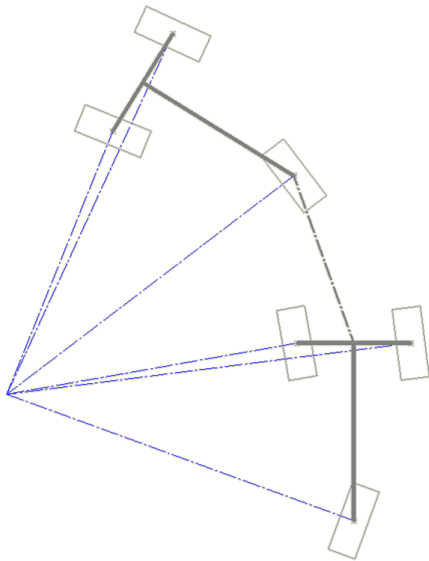


Abbildung 28, dreirädriges Fahrzeugkonzept mit Allradlenkung und zwei Achsen

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Vergrößern und Verkleinern des Kurvenradius sofort ohne Einlaufverhalten möglich • kleiner Wendekreis bei vergleichsweise geringem Lenkeinschlag • (Fast) beliebiger Nachlauf des nachfolgenden, gekoppelten Fahrzeuges möglich • Darstellung des Krebsganges für Einzelfahrzeug möglich (Einparken) • positive Beeinflussung der Fahrdynamik bei Einzelfahrzeug (z. B. Erzwingen von Untersteuern über Hinterachse um Kippen zu vermeiden) 	<ul style="list-style-type: none"> • technische Umsetzung aufwändig • ungewohntes Fahrverhalten im Vergleich zu Standard-Pkw • seitliche Kräfte bei Dreiradausführung auf einzelnes Hinterrad problematisch • Kippgefahr bei Dreiradausführung

3.2.1.3.1.3 Starre Verbindung – Allradlenkung

Technische Eigenschaften:

- Starre Verbindung „Heck an Heck“
- Allradlenkung: Lenkeinschlag der Hinterachse steht in einem anderen Verhältnis
- Drei- und Vierradausführung möglich (Abbildung 29 - Abbildung 30)

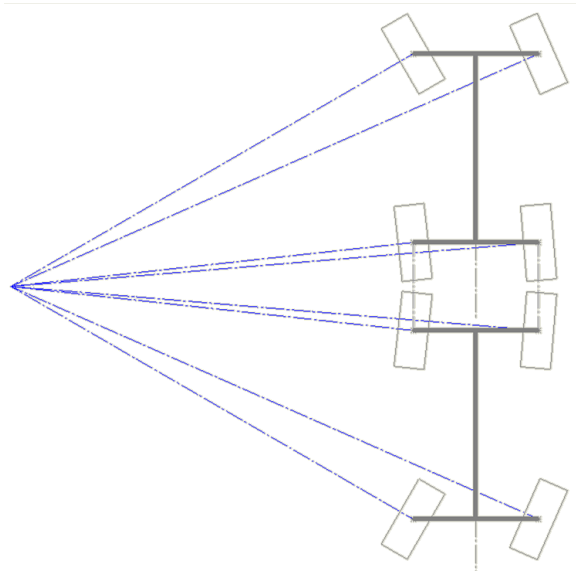


Abbildung 29, vierrädriges Fahrzeugkonzept mit Allradlenkung und zwei Achsen, fixe mechanische Verbindung „Heck an Heck“

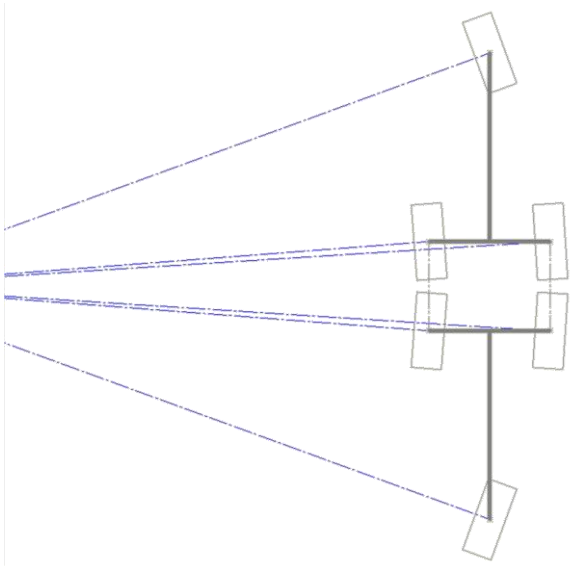


Abbildung 30, dreirädriges Fahrzeugkonzept mit Allradlenkung und zwei Achsen,

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Bei zwei gekoppelten Fahrzeugen Vermeidung der Nachlauf- und Anhängerproblematik • Bei nur zwei gekoppelten Fahrzeugen sehr einfache Koppeltechnik 	<ul style="list-style-type: none"> • langes resultierendes Fahrzeug (Bus-Feeling) • Aktive Allrad-Lenkung erforderlich (Lenkverhalten einzeln/gekoppelt unterschiedlich) > technisch aufwändig • Kopplung von mehr als zwei Fahrzeugen erfordert zusätzliche Koppeltechnik • seitliche Kräfte bei Dreiradausführung auf einzelnes Hinterrad problematisch • Kippgefahr bei Dreiradausführung

3.2.1.3.1.4 Starre Verbindung - Torque Vectoring

Technische Eigenschaften:

- Räder der Hinterachse sind unabhängig voneinander angetrieben (Torque Vectoring)
- Vorderachse ist mit frei drehbaren Bockrollen ausgestattet
- starre Verbindung „Heck an Heck“
- Drei- und Vierradausführung möglich (Abbildung 31 - Abbildung 32)

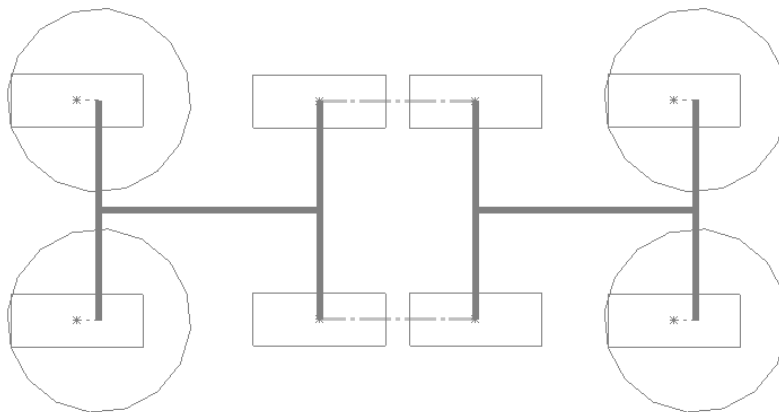


Abbildung 31, vierrädriges Fahrzeugkonzept mit Bockrollen-Vorderachslenkung und zwei Achsen, fixe mechanische Verbindung „Heck an Heck“

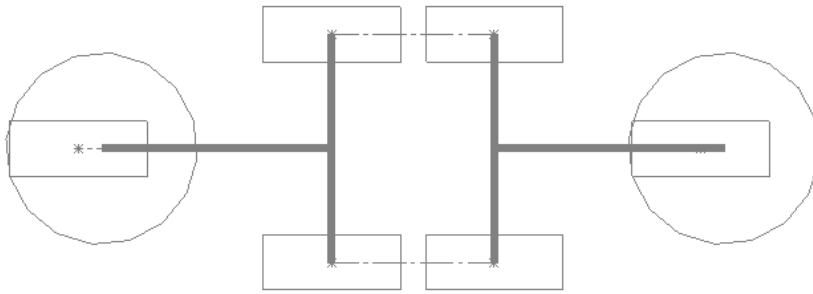


Abbildung 32, dreirädriges Fahrzeugkonzept mit Bockrollen-Vorderachslenkung und zwei Achsen, fixe mechanische Verbindung „Heck an Heck“

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Bei zwei gekoppelten Fahrzeugen Vermeidung der Nachlauf- und Anhängerproblematik • Bei nur zwei gekoppelten Fahrzeugen einfache Koppeltechnik 	<ul style="list-style-type: none"> • langes resultierendes Fahrzeug (Bus-Feeling) • schlechte Fahrstabilität • große, kinematisch resultierende Schräglaufwinkel an der Hinterachse (keine „saubere“ Lenkung der Hinterräder) • Kopplung von mehr als zwei Fahrzeugen erfordert zusätzliche Koppeltechnik • seitliche Kräfte bei Dreiradausführung auf einzelnes Hinterrad problematisch • Kippgefahr bei Dreiradausführung

3.2.1.3.1.5 Starre Verbindung – nebeneinander

Technische Eigenschaften:

- mit allen Lenk- und Fahrzeugkonzepten kombinierbar (Abbildung 33- Abbildung 37)
- fixe mechanische Verbindung der beiden Fahrzeuge „Seite an Seite“
- bei Allradlenkung auch gegengleiche Anordnung der Fahrzeuge möglich

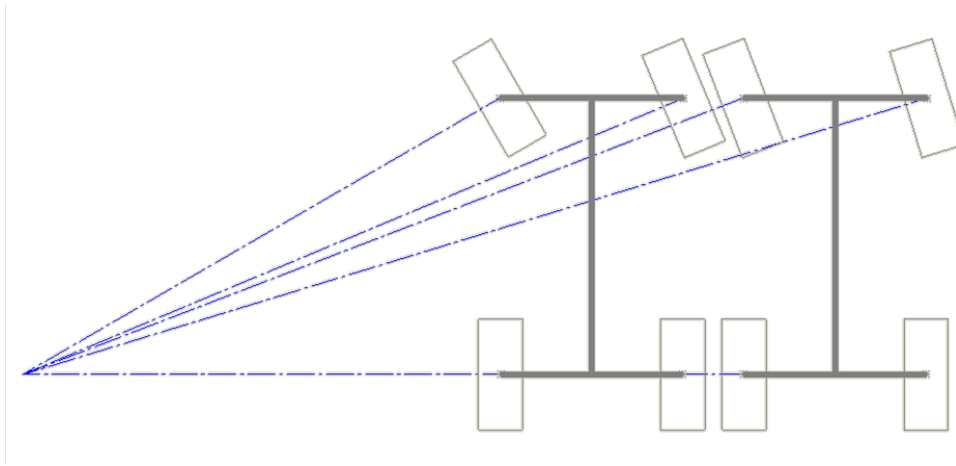


Abbildung 33, vierrädriges Fahrzeugkonzept mit Vorderradlenkung und zwei Achsen, fixe mechanische Verbindung „Seite an Seite“

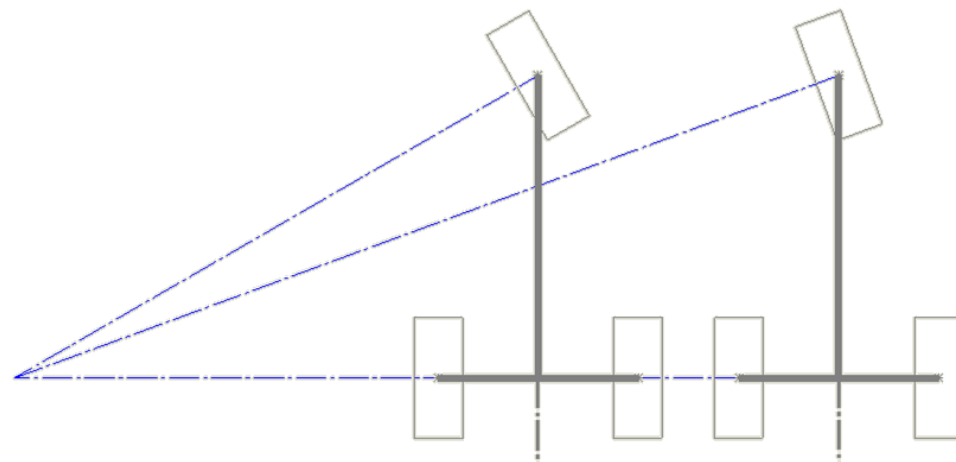


Abbildung 34, dreirädriges Fahrzeugkonzept mit Vorderradlenkung und zwei Achsen, zwei Räder auf der Hinterachse und fixe mechanische Verbindung „Seite an Seite“

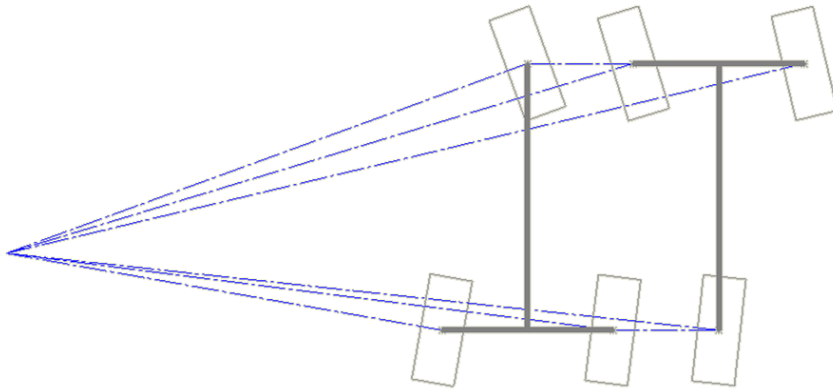


Abbildung 35, dreirädriges Fahrzeugkonzept mit Allradlenkung und zwei Achsen, zwei Räder auf der Hinterachse und fixe mechanische Verbindung „Seite an Seite“

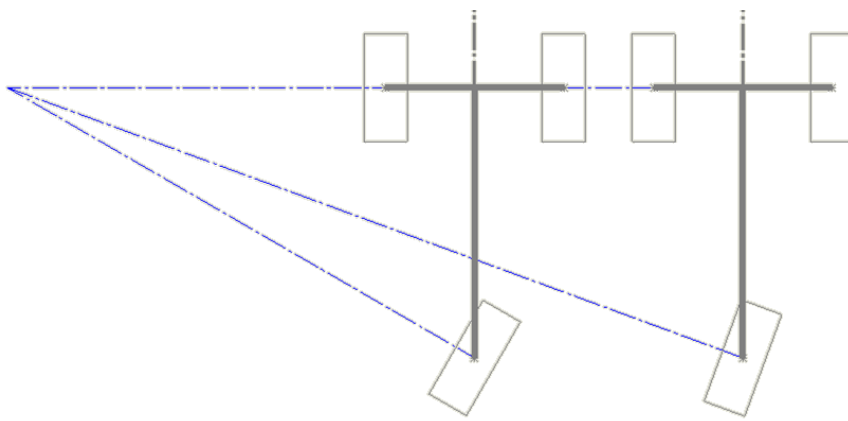


Abbildung 36, dreirädriges Fahrzeugkonzept mit Hinterachslenkung und zwei Achsen, zwei Räder auf der Vorderachse und fixe mechanische Verbindung „Seite an Seite“

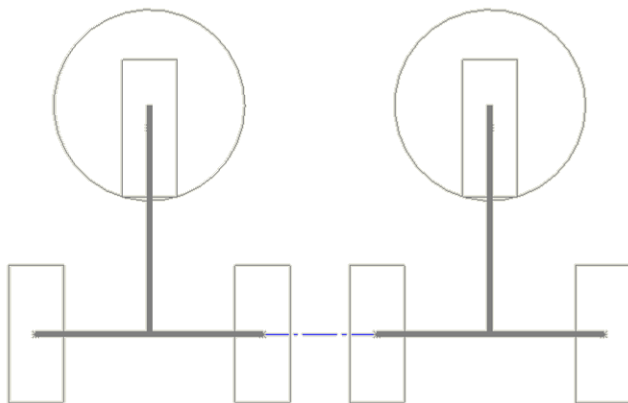


Abbildung 37, dreirädriges Fahrzeugkonzept mit Bockrollen-Vorderachslenkung und zwei Achsen, zwei Räder auf der Hinterachse und fixe mechanische Verbindung „Seite an Seite“

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Bei zwei gekoppelten Fahrzeugen Vermeidung der Nachlauf- und Anhängerproblematik • Kippproblematik bei Dreirädern wird entschärft 	<ul style="list-style-type: none"> • breites resultierendes Fahrzeug • mechanische Kopplung der Lenkung aufwändig bzw. aktive Lenkung notwendig

- bekanntes Fahrgefühl vom PKW

- Für einen gleichmäßigen Vortrieb muss der Antrieb gekoppelt werden

3.2.1.3.1.6 Einachser - Dreirad

Technische Eigenschaften:

- Gelenktes Vorderrad wird am Heck des Zugfahrzeugs befestigt (Abbildung 38 - Abbildung 39)
- keine separate Deichsel notwendig

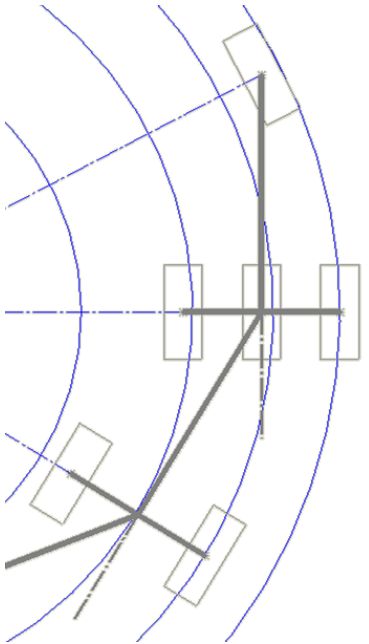


Abbildung 38, dreirädriges Fahrzeugkonzept mit Vorderachslenkung und zwei Achsen, zwei Räder auf der Hinterachse und mechanische Kopplung des Vorderrades an die Hinterachse des vorlaufenden Fahrzeuges

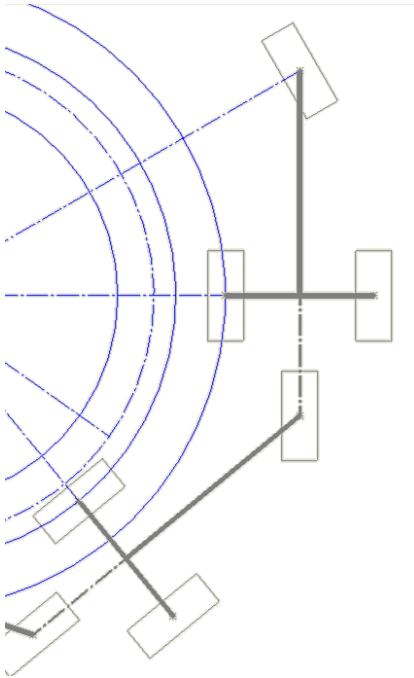


Abbildung 39, dreirädriges Fahrzeugkonzept mit Vorderachslenkung und zwei Achsen, zwei Räder auf der Hinterachse und mechanische Kopplung des Vorderrades an die Hinterachse des vorlaufenden Fahrzeuges mittels starrem Lenkhebel

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Einfaches Koppelsystem 	<ul style="list-style-type: none"> • schwieriger Kompromiss zwischen Packaging und Koppelsystem • Veränderung der Achslasten • Kippgefahr

3.2.1.3.1.7 Elektrisch gekoppelt

Technische Eigenschaften:

- Variante mit mechanischer Verbindung, Zug- Druckstange wird zur Kraftmessung der Fahrzeuge zueinander verwendet (Abbildung 40)
- Variante ohne mechanische Verbindung, drahtlose Positions- bzw. Lagemessung der Fahrzeuge erforderlich (Abbildung 41)
- Lenkung der Vorderachse über Steer-by-Wire

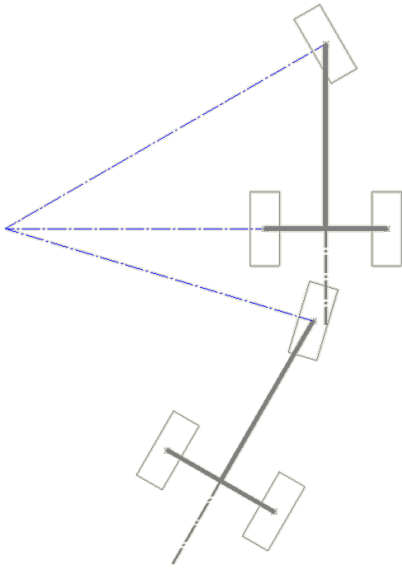


Abbildung 40, dreirädriges Fahrzeugkonzept mit Vorderachslenkung und zwei Achsen, zwei Räder auf der Hinterachse und mechanische Lagemessung der Fahrzeuge zueinander

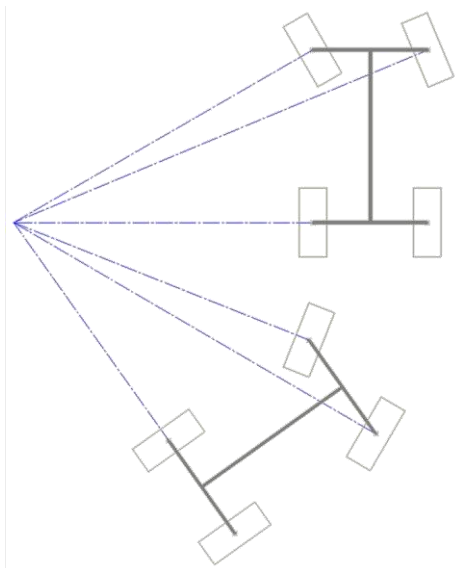


Abbildung 41, vierrädriges Fahrzeugkonzept mit Vorderachslenkung und zwei Achsen, und elektrische Lagemessung der Fahrzeuge zueinander

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Beliebige Anordnung der Fahrzeuge zueinander möglich • Beliebiger Nachlauf der Folgefahrzeuge möglich • Keine Zusatzbelastung für den Fahrer durch nachlaufende Fahrzeuge • hohe Flexibilität in Bezug auf Kopplung (z. B. mechanisch 	<ul style="list-style-type: none"> • sehr hoher technischer Aufwand • rechtliche Unsicherheit (z. B. Wiener Abkommen)

unterschiedliche Fahrzeuge)	
-----------------------------	--

3.2.1.3.1.8 Weitere Möglichkeiten zur Erweiterung der Transportkapazität

Leichtanhänger

Der Leichtanhänger ist ein Kompromissvorschlag bei Nicht-Realisierung der Kuppelbarkeit.

Technische Eigenschaften:

- Einachs-Leichtanhänger als Lösung für zusätzliche Ladekapazität (Abbildung 42)
- Minimalvariante im Stil von Fahrrad-/Motorradanhängern
- Rudimentärer Regenschutz in Form von Planen



Abbildung 42: Leichtanhänger¹⁹

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • technisch und rechtlich sehr einfache Möglichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Koppelung gleichartiger Fahrzeuge bzw. eigene Anhänger notwendig

Klapp-Verschiebevarianten

Dies ist ein weiterer Kompromissvorschlag bei Nicht-Realisierung der Kuppelbarkeit.

Technische Eigenschaften:

- Möglichkeit der Erweiterung des Fahrgastzellenvolumens durch Öffnen von Klappen bzw. durch Betätigung von Verschiebevorrichtungen (Abbildung 43 - Abbildung 44)
- Vergrößerung der Fahrzeugabmessungen
- Erweiterung von Ladekapazität und/oder Sitzplätzen



Abbildung 43: Klappvariante 1²⁰



Abbildung 44: Klappvariante 2²¹

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • technisch einfache Möglichkeit • keine zusätzlichen Komponenten notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Koppelung gleichartiger Fahrzeuge



Abbildung 45: Verschiebevariante



Abbildung 46: Verschiebevariante

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Technisch einfache Möglichkeit • keine zusätzlichen Komponenten notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Koppelung gleichartiger Fahrzeuge • Veränderung des Radstands und damit verbundene fahrdynamische Eigenschaften

Außenbefestigung

Die Außenbefestigung ist ein weiterer Kompromissvorschlag bei Nicht-Realisierung der Kuppelbarkeit (Abbildung 47).

Technische Eigenschaften:

- Möglichkeit der Erweiterung der Ladekapazität durch Anbringung von Transportbehältern am Fahrzeug
- Vergrößerung der Fahrzeugabmessungen



Abbildung 47: Außenbefestigung²²

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • technisch und rechtlich sehr einfache Möglichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Koppelung gleichartiger Fahrzeuge • Keine zusätzlichen Sitzplätze

3.2.1.3.1.9 Zusammenfassung

Der Konzeptvergleich und die Abstimmung im Projektkonsortium ergaben schließlich, dass ein zweiachsiges Konzept mit Vorderachslenkung und semi-elektrischer Kopplung durch eine Zugstange zu favorisieren ist (Abschnitt 3.2.1.3.1.7). Ausschlaggebend für dieses Konzept waren folgende Gründe:

- Geforderter spurtreuer Nachlauf ist mit diesem Konzept möglich (Durch Steer-by-Wire kann der spurtreue Nachlauf des Folgefahrzeugs erzwungen werden)
- Rein elektrische Kopplung ist sehr komplex bzw. legistisch unklar
- Einzelfahrzeug verhält sich in Bezug auf Querdynamik, Reversieren und Einparken wie konventionelles Fahrzeug – Führen des Fahrzeuges erfolgt intuitiv und bedarf keiner Eingewöhnungsphase
- Kopplung von mehr als zwei Fahrzeugen ist einfach möglich
- Gespann besteht aus identischen Fahrzeugen
- Potential von guter Innenraumausnutzung bei gegebenen kleinen Außenabmessungen ist gegeben

Die Bevorzugung eines vierrädrigen Konzepts gegenüber eines Dreirads ergibt sich in erster Linie aus dem Packaging-Konzept (siehe Abschnitt 3.2.1.3.2), wenngleich natürlich auch die verbesserte Kippstabilität eine Rolle spielt.

3.2.1.3.2. Packaging-Konzepte

Dieser Abschnitt befasst sich mit den Fahrzeugentwürfen und Packaging-Konzepten. Die Planung sah vor, eine Vielzahl von Ideen zu generieren und Vor- und Nachteile zu jeder entstandenen Variante zu erheben. Dieses Brainstorming hatte zum Ziel, einen Favoriten hinsichtlich Packaging zu ermitteln. Abbildung 48 zeigt einen Auszug aus den Varianten, die bei diesem Prozess entstanden sind. Die Herausforderung hierbei ist, ein Fahrzeug mit hoher Personenkapazität und möglichst geringen Außenabmessungen zu konzipieren (siehe Lastenheft). Folglich wurden einige Varianten mit unüblichen Sitzpositionen untersucht, um

eine optimale Bauraumausnutzung zu erzielen. Die im Anschluss beschriebenen Konzepte sind die favorisierten Varianten aus dieser Ideensammlung.



Abbildung 48: Packaging-Konzepte

Variante A

Dieses Konzept beabsichtigt eine optimale Bauraumausnutzung der Fahrgastzelle. Das heißt, es wird ein Maximum an Insassen bei geringsten Fahrzeugabmessungen gesucht. Dafür sind unübliche Sitzpositionen notwendig, wie in Abbildung 49 und Abbildung 50 zu sehen ist. Dieses Fahrzeugkonzept bringt jedoch einige kollaterale Aspekte mit sich, welche sich auf unterschiedlichste Fahrzeugeigenschaften auswirken. Wesentlich sind dabei: Passive Sicherheit und Komfort.

Technische Daten

- 2000 x 1350 x 1600 mm
- Wendekreisdurchmesser 6000 mm
- Drei Erwachsene (95 %-Mann)

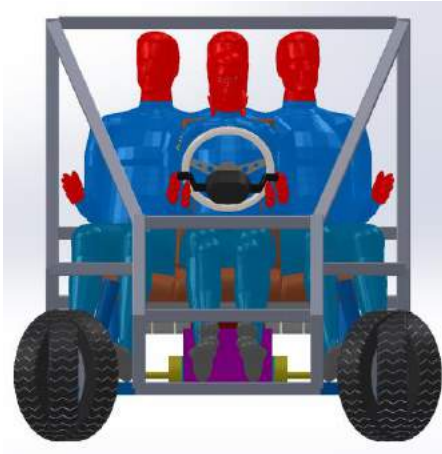


Abbildung 49: Variante A, Frontansicht

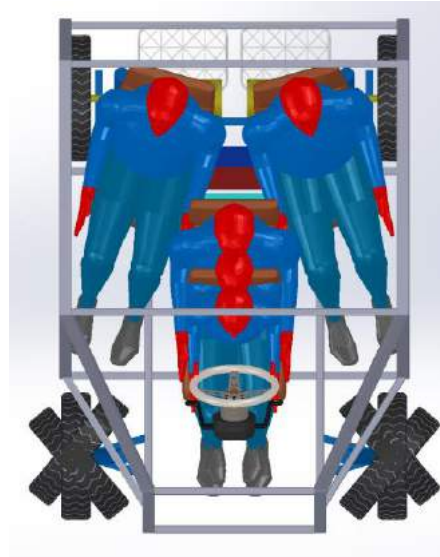


Abbildung 50: Variante A, Draufsicht

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Innovative Sitzplatz-Aufteilung • Kurze Bauweise • Sehr gute Nutzung der „Grundfläche“ • Platz für drei Erwachsene 	<ul style="list-style-type: none"> • Erschwerter Einstieg für den Fahrer • Kaum Platz für Deformationsbereiche (Crashbox) • Keine Mitnahmemöglichkeit für sperrige Güter

3.2.1.3.2.1 Variante E

Dieses Konzept zeigt eine Anordnung, welche ein Kompromiss aus optimaler Bauraumausnutzung der Fahrgastzelle, guter passiver Sicherheit, hohem Fahrkomfort und niedrigem Energieverbrauch durch Verringerung der Querspanntfläche ist (Abbildung 51 und Abbildung 52). Hauptaugenmerk ist die Sitzposition, die einerseits eine gute Ausnutzung der Fahrgastzelle gewährleistet, jedoch auch die Fahrzeugbreite reduziert, womit ein geringerer Luftwiderstand erzielt werden kann. Der Komfort wird durch diese Anordnung kaum beeinflusst, da diese von gewohnten Sitzanordnungen kaum abweicht und eine gute Zugänglichkeit beim Ein- und Ausstieg gewährt.

Technische Daten

- 2400 x 1200 x 1600 mm
- Wendekreisdurchmesser 6750 mm
- Drei Erwachsene (zwei Plätze für 95 %-Mann, ein Platz für 5% Frau)

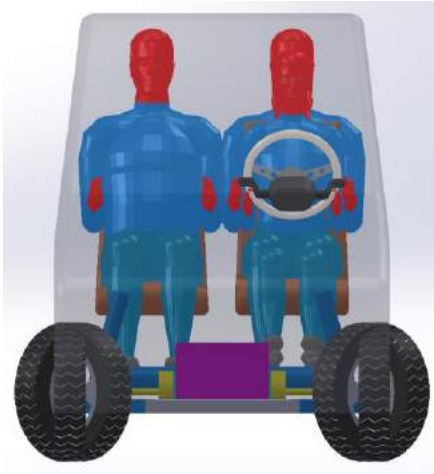


Abbildung 51: Variante E, Frontansicht

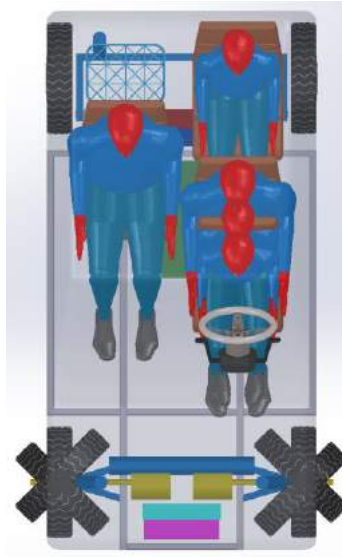


Abbildung 52: Variante E, Draufsicht

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Leichter Einstieg für die vorderen Plätze • Platz für Gepäck trotz Vollbesetzung • Durch geeignetes Umklappen des Beifahrersitzes entsteht großer Stauraum 	<ul style="list-style-type: none"> • Lange Bauform • Konservative Bauform • Schmale Bauform beeinträchtigt Fahrverhalten

3.2.1.3.2.2 Finales Fahrzeugkonzept

Das Fahrzeugkonzept Variante E kann sich aufgrund der überwiegenden Vorteile durchsetzen und wird für weitere Detailierung als Basis herangezogen, welche in den folgenden Absätzen beschrieben wird.

In Abbildung 53 ist das Packaging der Hauptkomponenten dargestellt. Die Batterie sowie Antriebskomponenten befinden sich im Unterboden des Fahrzeugs, wodurch ein niedriger Schwerpunkt erreicht wird. Der Fahrzeugrahmen ist als Gitterrohrrahmen ausgeführt, welcher hinsichtlich Leichtbau sehr gut geeignet ist. Der im Gitterrohrrahmen integrierte Überrollschutz steigert die passive Fahrzeugsicherheit. Das Koppelsystem zum Bilden von Fahrzeuggespannen ist im vorderen und hinteren Fahrzeugbereich direkt am Gitterrohrrahmen montiert.

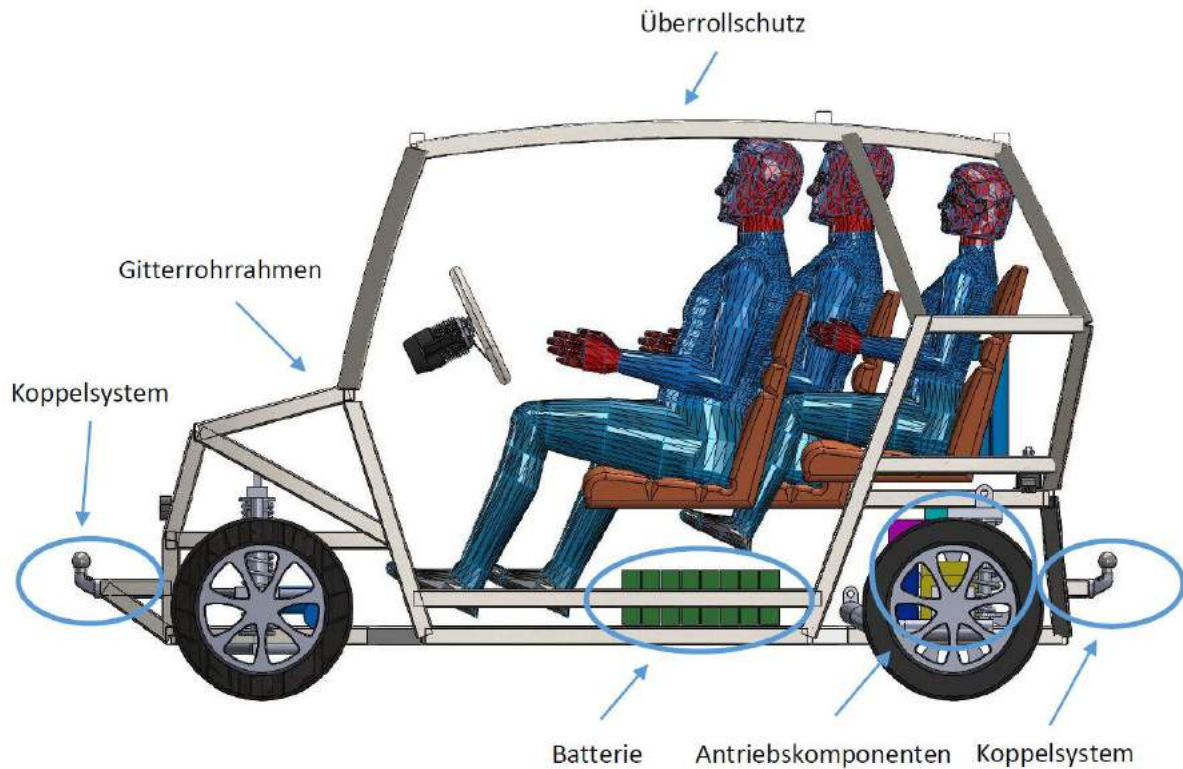


Abbildung 53: Finales Fahrzeugkonzept, Seitenansicht links

Die Hauptabmessungen des Fahrzeugkonzepts sind in Tabelle 23 angegeben.

Hauptabmessungen	
Länge	2875 mm
Breite	1290 mm
Höhe	1640 mm

Tabelle 23: Hauptabmessungen des finalen Fahrzeugkonzepts

In Tabelle 24 ist das Gewicht des Fahrzeugs in verschiedenen Beladungszuständen ersichtlich.

Fahrzeuggewicht	
Leergewicht – max. 350 kg L6e – ohne Fahrer (75 kg) und Batterie (35 kg)	339,5 kg
Leergewicht (95/48/EC) – mit Fahrer (75 kg) und Batterie (35 kg)	449,7 kg
Konstruktionsgewicht – mit Batterie (35 kg), Fahrer (75 kg) und Beifahrer (75 kg)	524,7 kg
Maximalgewicht	616,7 kg
Maximale Beladung – Insassen und Beladung	242 kg

Tabelle 24: Fahrzeuggewicht des finalen Konzeptes

Die Sitzpositionen sind in Abbildung 54 dargestellt. Zu erkennen ist, dass der Sitz des Beifahrers nach hinten versetzt ist. Dadurch kann die Fahrzeugbreite reduziert werden, da Fahrer- und Beifahrersitz relativ nahe zur Fahrzeuglängsachse positioniert werden können, ohne dabei Kollisionen der Schultern zu verursachen. Durch die Versetzung des Beifahrersitzes wird jedoch der Bauraum hinter diesem eingeschränkt, weshalb dieses Volumen als Kofferraum genutzt wird. Hinter dem Fahrersitz befindet sich ein weiterer Sitz, welcher aufgrund der geringen Fahrzeuglänge und somit eingeschränkten Beinfreiheit von kleinen Personen und Kindern oder optional als Stauraum genutzt werden kann.

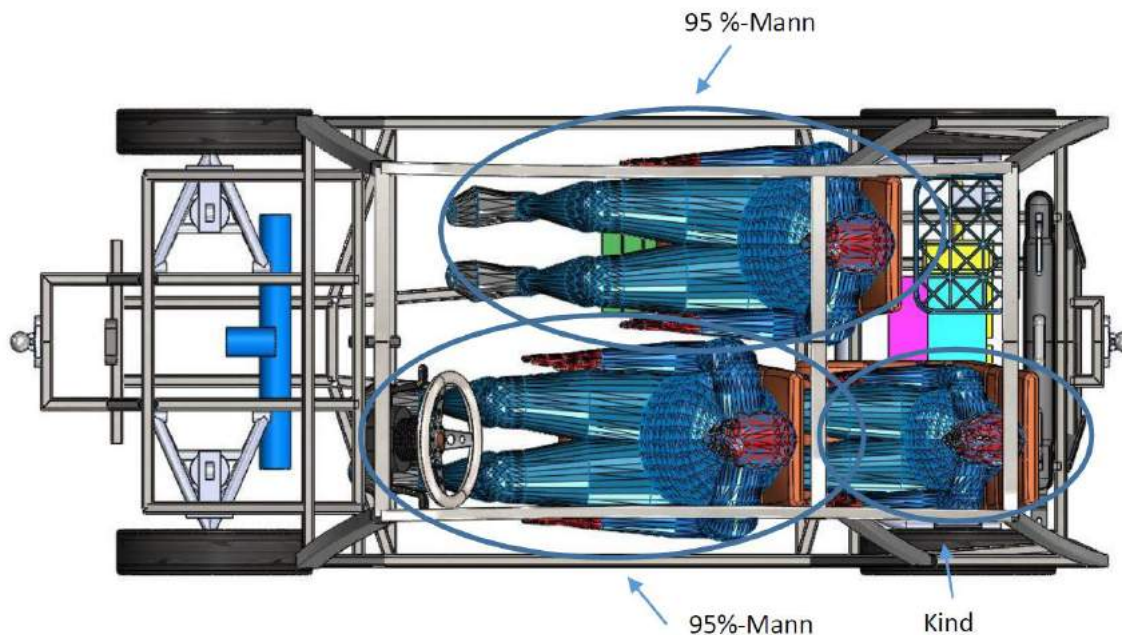


Abbildung 54: Finales Fahrzeugkonzept, Draufsicht

Der Großteil der Antriebsstrangkomponenten befindet sich im Heck des Fahrzeugs (Abbildung 55) Die beiden Elektromotoren sind mechanisch entkoppelt. Ein Differentialgetriebe ist nicht erforderlich. Zusätzlich kann mit diesem System Torque-Vectoring^d realisiert werden. Über den Invertern, die für die Regelung der E-Maschinen erforderlich sind, befinden sich das On-Board-Ladegerät und der Gleichstromwandler. Die Koppelstange wird im Fahrzeugheck verstaut.

^d Als „Torque Vectoring“ wird die aktive Beeinflussung bzw, freie Wahl des Raddrehmoments für jedes einzelne angetriebene Rad verstanden.

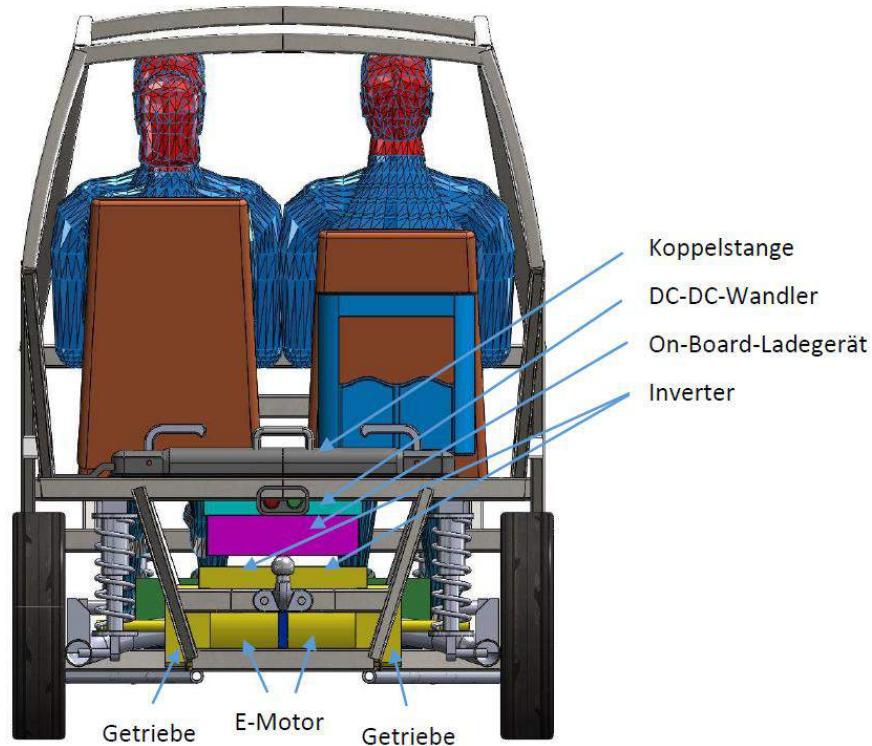


Abbildung 55, Finales Fahrzeugkonzept, Heckansicht

Da die beiden Motoren nebeneinander angeordnet sind und das Fahrzeug eine geringe Breite aufweisen soll, kommt an der Hinterachse eine Verbundlenkerachse zum Einsatz. Dadurch wird ein sehr kompaktes Packaging im Heckbereich des Fahrzeugs erzielt.

An der Vorderachse gibt es keine relevanten Bauraumeinschränkungen für das Fahrwerk, weshalb hier eine kostengünstige, leichte und unkomplizierte Doppelquerlenkerkonstruktion zum Einsatz kommt (Abbildung 54 und Abbildung 56).

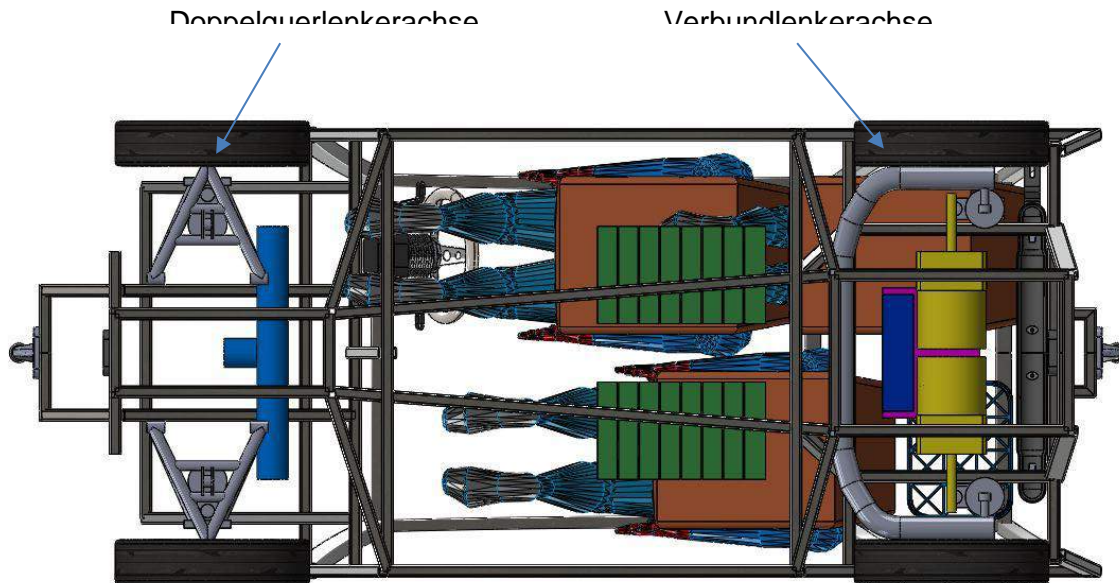


Abbildung 56: Finales Fahrzeugkonzept, Unteransicht

3.2.1.3.2.3 Vergleichsabmessungen und Koppelsystem

In Abbildung 57 und Abbildung 58 ist der Größenunterschied des SynArea-Fahrzeuges und des Smart-fortwo dargestellt. Das SynArea-Fahrzeug ist etwas höher und länger, jedoch schmaler als der Smart (Tabelle 25).

	SynArea	Smart fortwo
Länge	2875 mm	2695 mm
Breite	1290 mm	1752 mm
Höhe	1640 mm	1552 mm

Tabelle 25, Größenvergleich des SynArea-Fahrzeuges und des Smart fortwo

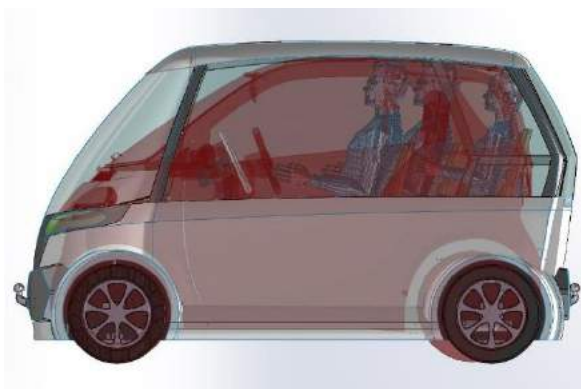


Abbildung 57: Größenunterschied Smart-SynArea

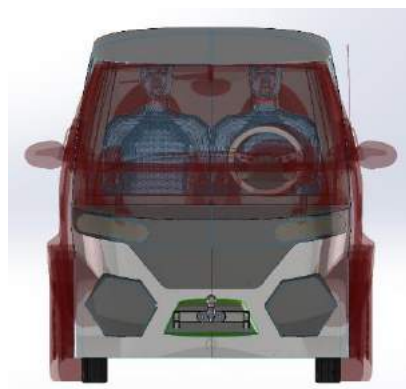


Abbildung 58: Größenunterschied Smart-SynArea

In Abbildung 59 ist das Konzept des Koppelsystems dargestellt. An den Fahrzeugen sind im Front- und Heckbereich gewöhnliche Anhängerkupplungen montiert, die als Schnittstelle für das Koppelsystem dienen. Durch Einhängen der Koppelstange wird eine mechanische Verbindung der beiden Fahrzeuge hergestellt. Die Sensorik in der Koppelstange ist jedoch in Normalbetrieb ausschließlich für die Aktuierung der Steuereinheiten im angehängten Fahrzeug zuständig. Die mechanische Verbindung dient einerseits zur Ermittlung der Eingabewerte für die Aktuierung und andererseits zur Absicherung im Fall eines Systemausfalls.

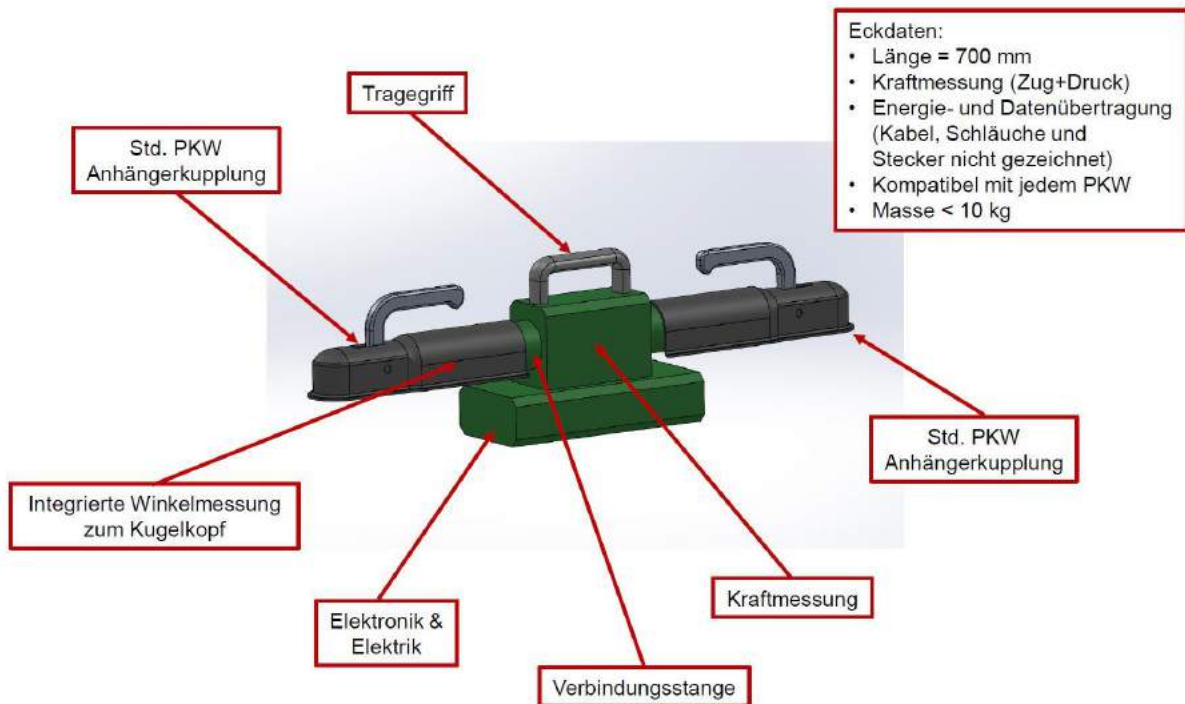


Abbildung 59: Koppelstange

In Abbildung 60 sind zwei Fahrzeuge im gekoppelten Zustand dargestellt, wobei man die Ähnlichkeit zu gewöhnlichen Anhängerkupplungen und die einfache Handhabung des Systems erkennen kann.

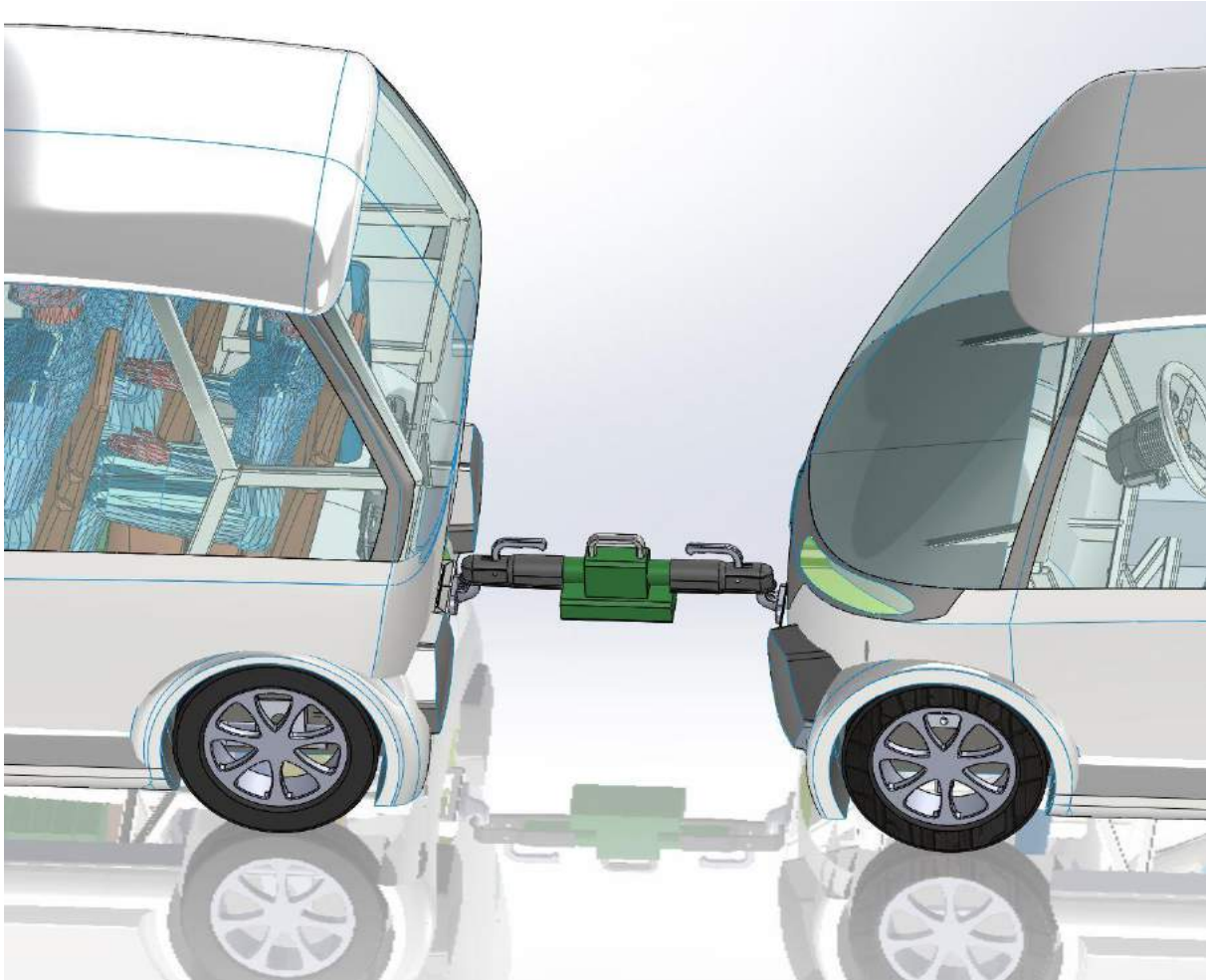


Abbildung 60: Gekoppelte Fahrzeuge

Die Länge des Fahrzeuggespanns ergibt sich durch die Fahrzeuglänge und die Länge der Koppelstange im eingehängten Zustand. Jedes weitere Fahrzeug würde das Gespann um 3525 mm verlängern (Abbildung 61).

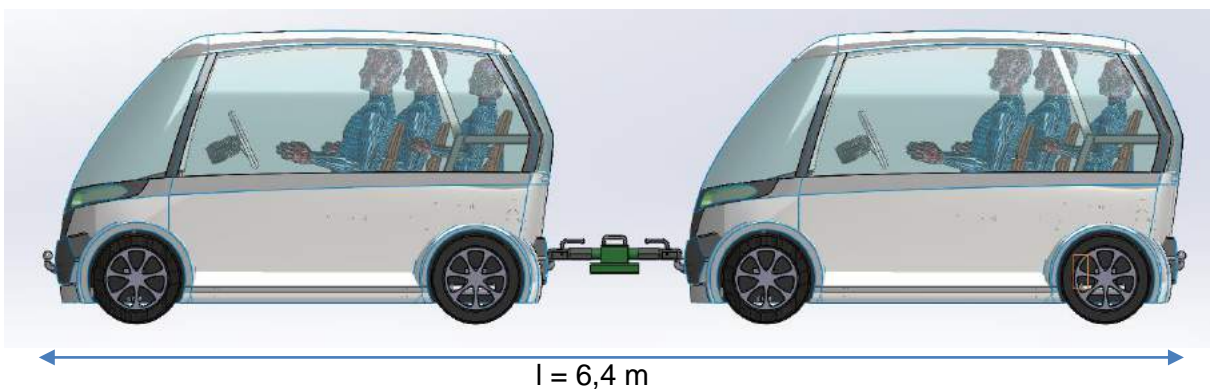


Abbildung 61: Länge des Fahrzeuggespanns

PKW

- Kompaktwagen: 4 m
- SUV: 5 m



LKW

- Einzelfahrzeug: 12 m
- Sattelzug: 16,5 m
- Gliederzug: 18,75 m



SynArea Fahrzeug

- 1 Fahrzeug: 2,875 m
- 2 Fahrzeuge: 6,4 m
- 3 Fahrzeuge: 9,9 m
- 4 Fahrzeuge: 13,5 m
- 5 Fahrzeuge: 17m



Abbildung 62, Längenvergleich von Pkw- und Lkw und gekoppelten SynArea-Fahrzeugen

In Abbildung 62 ist der Längenvergleich von Pkw, Lkw und gekoppelten SynArea-Fahrzeugen dargestellt.

3.2.1.3.2.4 Bedienelemente

Die Funktion der Bedienelemente muss auf das Koppeln von mehreren Fahrzeugen abgestimmt werden. Risiko birgt hier die Bedieneingabe in gekoppelten Fahrzeugen („Anhängerverfahren“), wodurch kritische Fahrzustände aber auch Unfälle hervorgerufen werden können. Diese Gefahr könnte auch von schlecht oder nicht gesicherter Ladung ausgehen. Ein weiterer Aspekt ist die Verletzungsgefahr durch selbstständige Bewegungen der Bedienelemente.

Zu den Bedieneinrichtungen zählen u. a. (Abbildung 63):

- Lenkrad
- Pedale
- Schalter und Hebel für Signaleinrichtungen
- Handbremse



Abbildung 63: Bedienelemente²³

Die folgende Aufzählung beschreibt die Möglichkeiten, welche ungewollte Bedieneingaben und die Verletzungsgefahr durch selbstständig bewegte Teile verhindern:

- Mechanisches Trennen/Freistellen der Verbindung
- Elektronisches Trennen/Freistellen der Verbindung (nur bei Drive-by-Wire)
- Abdecken der Bedienelemente
- Demontage der Bedienelemente
- Wegklappen der Bedienelemente
- Kombinate der Möglichkeiten für verschiedene Elemente oder Erhöhung der Sicherheit

3.2.1.4. Fahrzeugentwicklung

Die Ideenstudie in Bezug auf das Fahrzeugkonzept ergab, dass ein zweiachsiges, vierrädriges Fahrzeugkonzept mit Vorderachslenkung und drei Sitzplätzen in der weiteren Entwicklungsarbeit verfolgt wird. Die Gespannbildung erfolgt dabei über eine mechanische Deichsel.

Im Zuge der konkreten Fahrzeugentwicklung wurde das elektrische System definiert, die Simulation der Längsdynamik durchgeführt, die Kippstabilität des Fahrzeuges analysiert sowie ein Konzept eines mechanischen Koppelsystems erstellt. Auf diese Themen wird in den folgenden Abschnitten eingegangen. Abgeschlossen wird dieses Kapitel durch eine Aufstellung über die Hauptkomponenten des Fahrzeuges (Bill-of-Materials (BOM), Stückliste).

3.2.1.4.1. Elektrisches System

Um die notwendigen elektrischen Antriebsleistungen bzw. Bremsleistungen darstellen zu können, wurde das Spannungsniveau des „Hochvoltnetzes“ auf 48 Volt festgelegt. Aufgrund dieser Nennspannungslage können Spannungen über 60 Volt ausgeschlossen werden, wodurch geringere Anforderungen an die elektrische Sicherheit des Fahrzeuges bestehen, weil dieser Spannungsbereich noch keine unmittelbare Lebensgefahr bedingt. Ferner können Komponenten, welche höhere Verbraucherleistungen aufweisen (z. B. elektrische Lenkung, PTC-Heizer zur Konditionierung des Fahrgastinnenraums), mit niedrigeren Leitungsquerschnitten angebonden werden, da aufgrund der höheren Spannung geringere Stromstärken erforderlich sind.

Ein konventionelles 12 V-Bordnetz soll die Versorgung von Nebenverbrauchern wie Scheibenwischer, Beleuchtung, Blinker, Hupe, Kennzeichenleuchte, etc. sicherstellen. Dies ist insofern sinnvoll, weil diese Komponenten als Serienteile aufgrund der hohen Stückzahl zu niedrigen Kosten zur Verfügung stehen. Ein Übersichtsschema des elektrischen Bordnetzes ist in Abbildung 64 dargestellt.

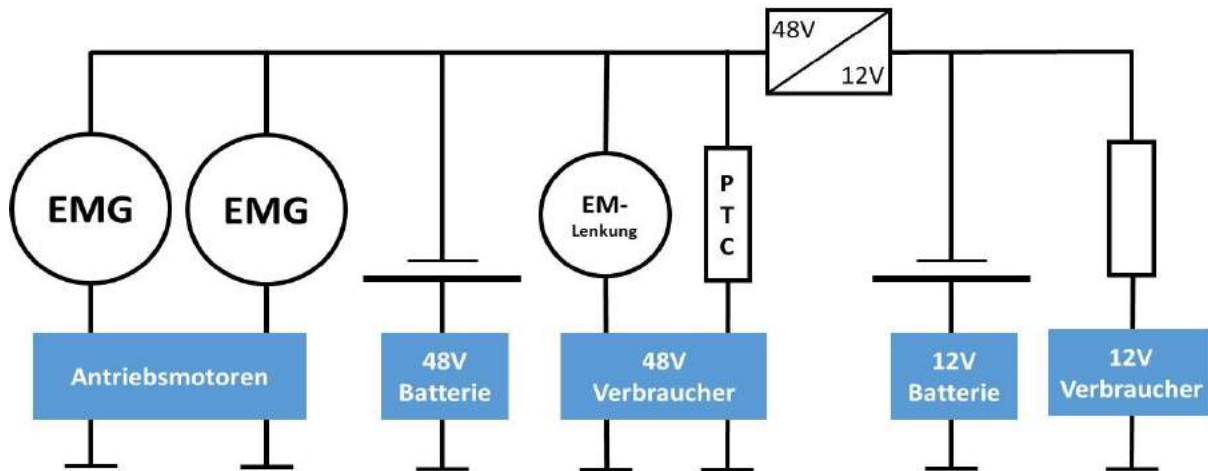


Abbildung 64, Übersichtsschema des elektrischen Bordnetzes des SynArea-Fahrzeuges

Das System ist wie in Abbildung 64 dargestellt mit einem bidirektionalen Bordnetzwanler ausgestattet (48 V/12 V). Diese Kopplung des Hochvolt- und Niedervoltnetzes ergibt folgende technische Vorteile:

- Laden der 12 V-Batterie über das Hochvoltnetz ist möglich.
- Das 12 V-Netz kann zur Deckung von Lastspitzen im 48 V-Netz herangezogen werden.
- Bei Ausfall der 48 V-Versorgung kann das 12 V-Netz in Kombination mit dem bidirektionalen Bordnetzwanler die Funktionsfähigkeit der Lenkung sicherstellen (Redundanz); dies ermöglicht ein sicheres Abstellen des Fahrzeuges am Fahrbahnrand.

Die Control-Area-Network -(CAN)-Struktur ist in Abbildung 65 dargestellt. Die CAN-Struktur wurde generisch konzipiert, sodass es einerseits die Anforderungen des Fahrzeuges erfüllen kann und andererseits Erweiterung oder auch Reduktion von ECUs bzw. Fahrzeugfunktionen einfach möglich ist. Das Kommunikationsnetzwerk besteht aus einem Antriebsstrang-CAN, einem CAN-Bus für Komfortaufgaben und einem MOST-Bus die über ein Gateway miteinander gekoppelt sind. Ferner sind mit dem Gateway die Anzeigeeinheit des Fahrzeuges und ein Diagnoseanschluss (OBD) für Wartungsarbeiten verbunden. Die Koppelung der Fahrzeuge untereinander erfolgt über einen Koppelungs-CAN der zwischen den Fahrzeugen aufgebaut und betrieben wird. Das zugehörige Koppelungssteuergerät ist direkt mit dem Antriebsstrang-CAN verbunden und arbeitet als Gateway zwischen dem Antriebsstrang-CAN und dem Koppelungs-CAN. Durch die direkte Anordnung am Antriebsstrang-CAN können Signale des führenden Fahrzeuges (Master) sehr rasch verarbeitet werden, wobei zeitkritische Nachrichten z.B. in fahrsicherheitsrelevanten Situationen rascher und homogener, d.h. mit geringer Latenz innerhalb des Gespanns, übertragen und verarbeitet werden. Eine weitere sicherheitskritische Komponente ist die Drive-by-wire Lenkung. Daher wurde zwischen dem Lenkradsteuergerät und dem Lenkstangensteuergerät ein eigener „privater,“ CAN eingerichtet. Über das zentrale Lenkungssteuergerät werden diese Daten dem Antriebsstrang-CAN zur Verfügung gestellt.

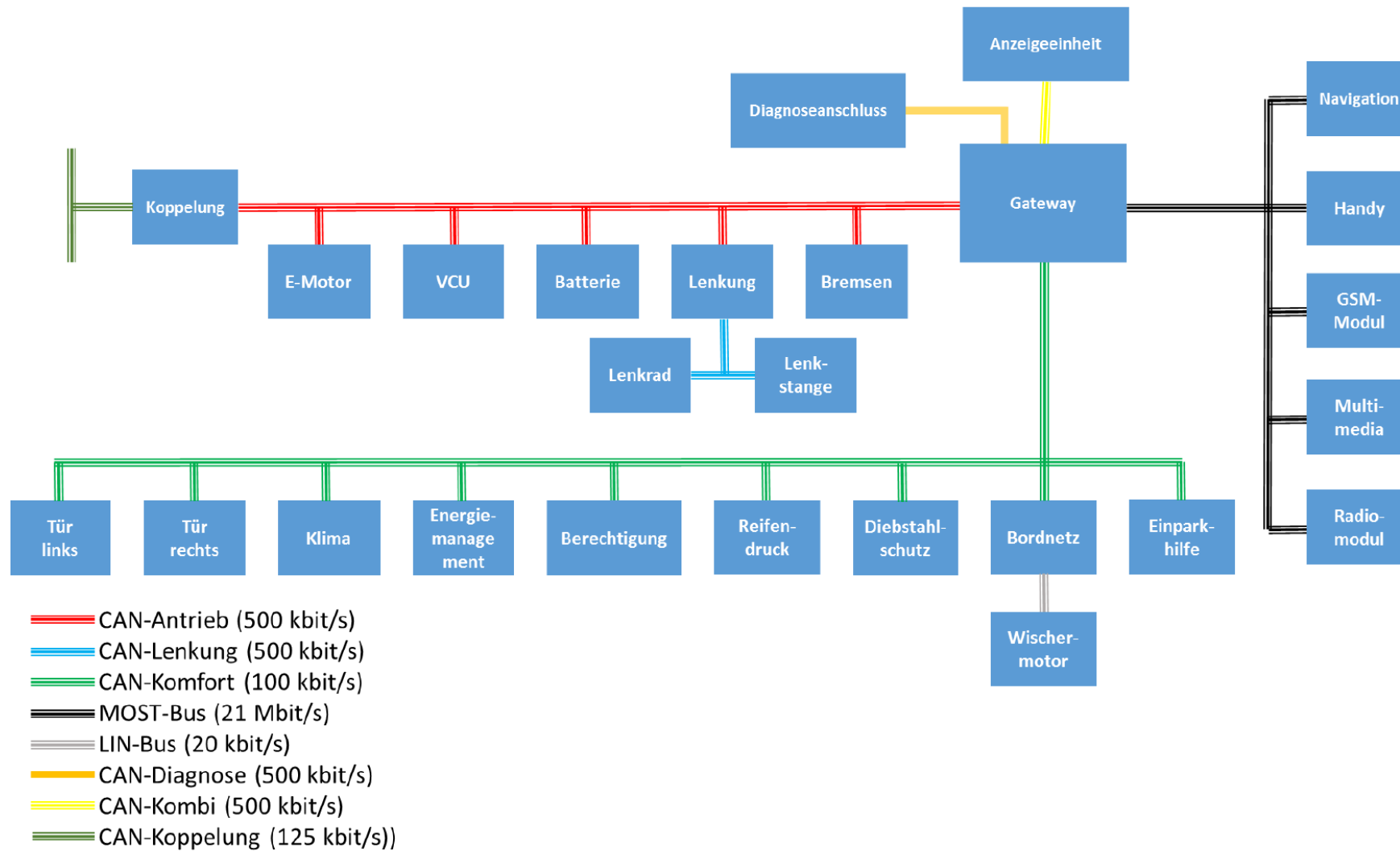


Abbildung 65, CAN-Struktur des SynArea-Fahrzeuges

3.2.1.4.2. Simulation der Längsdynamik

Die Simulation der Längsdynamik sollte unter anderem Aussagen über die Leistungsfähigkeit des Fahrzeuges in Bezug auf die Fahrgeschwindigkeit bzw. die Batterie-Ladefähigkeit bei Steigungsfahrt sowie auf die erzielbare Reichweite ermöglichen. In den folgenden Abschnitten wird zunächst auf das Simulationsmodell eingegangen und anschließend die Ergebnisse der Berechnung diskutiert.

3.2.1.4.2.1 Simulationsmodell

Fahrzeugmodell

Als Fahrzeugmodell für die längsdynamischen Betrachtungen wurde ein Massenpunktmodell herangezogen. In diesem Modell werden die Trägheiten, der Steigungswiderstand, der Luftwiderstand und dissipative Effekte wie beispielsweise die Roll- oder Antriebsstrangreibung berücksichtigt. Mit diesem einfachen mechanischen Modell ist ein elektrisches Modell gekoppelt, welches die Elektromotoren und die Batterie auf einer einfachen Ebene abbildet.

Die Wahl der Elektromotoren wurde vom Ziel der Serienverfügbarkeit stark beeinflusst. Es sind aktuell allerdings noch wenige 48 V-Elektromaschinen als Traktionsantriebe in Serie. Folglich wurde eine Starter-Generator-Maschine (Belt-Starter-Generator) als Elektromotor gewählt. Die Vorteile dieser Maschine sind, dass dieser Typ zeitnah in großer Stückzahl und somit zu niedrigen Kosten in Serie geht und dass entsprechende Umrichter und DC-DC-Wandler von 12 auf 48 V verfügbar sind. Des Weiteren verfügt dieser Maschinentyp über eine hohe Schutzklasse, was klare Vorteile in der rauen Umgebung eines automotiven Antriebs mit sich bringt.

Als Nachteil dieser Maschinenwahl muss erwähnt werden, dass sowohl der Elektromotor selbst als auch der zugehörige Umrichter nicht die ASIL-D-Sicherheitsanforderungen erfüllen.

Die Daten des gewählten Elektromotors für das SynArea-Fahrzeug sind in Tabelle 26 zusammengefasst. Es werden pro Fahrzeug zwei Stück dieser Maschine verbaut.

Eigenschaft	Wert
Nennspannung	48 V
Antriebsleistung	2 kW (S2: 4.2 kW)
Nennmoment	18,3 Nm
Nenndrehzahl	2200 rpm
Bremsleistung	3,5 kW (S2: 14 kW)
Maximalmoment	60 Nm
Maximaldrehzahl	6000 rpm

Tabelle 26, Leistungsdaten des Elektromotors für das SynArea-Fahrzeug; die Leistungsdaten in Klammer betreffen den Überlastbetrieb

In Abbildung 66 ist das in der Simulation hinterlegte Motorkennfeld der Elektromaschine für das SynArea-Fahrzeug dargestellt. Es ist klar ersichtlich, dass das Kennfeld eine Asymmetrie zwischen Antreiben und Bremsen aufweist. Beim Antreiben erfolgt eine elektronische Leistungsbeschränkung, während beim Bremsen die volle Leistungsfähigkeit des Motors genutzt wird, um möglichst ein Maximum der kinetischen Energie zurück zu gewinnen.

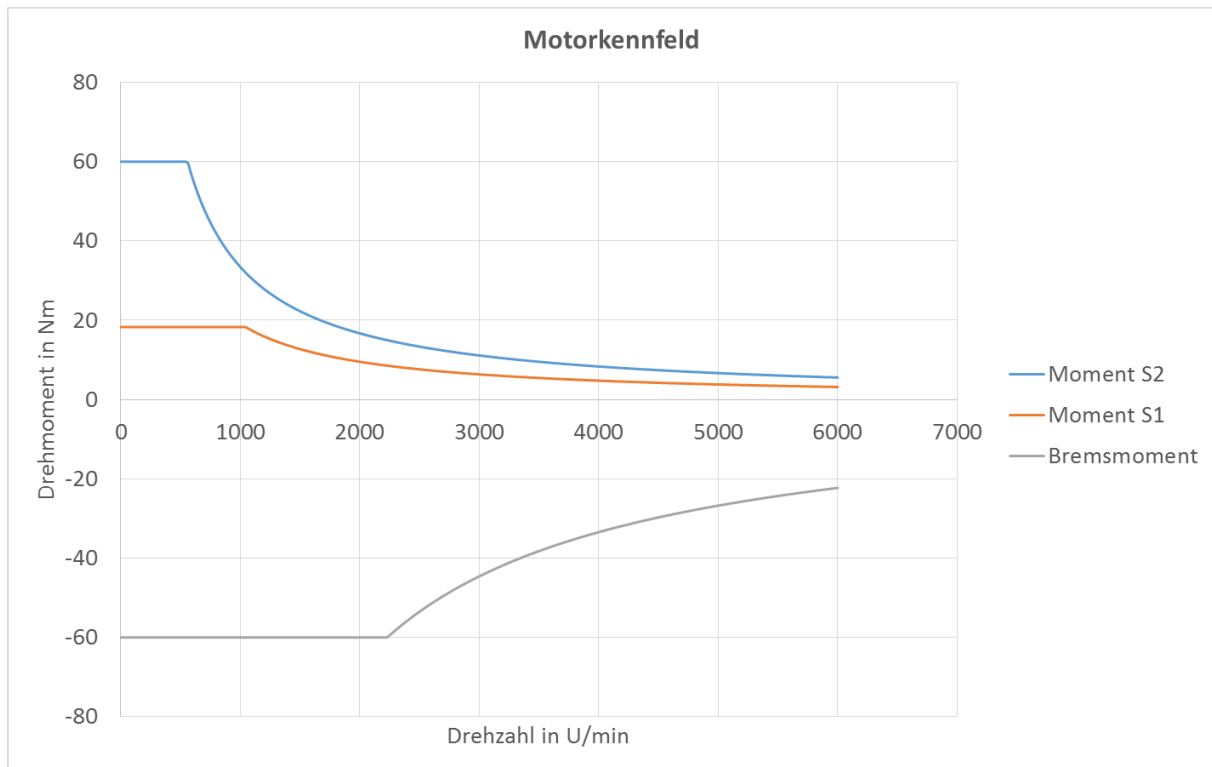


Abbildung 66, Motorkennfeld der Elektromaschine für das SynArea-Fahrzeug

In Bezug auf die Traktionsbatterien stellt sich aktuell eine andere Ausgangslage als bei den E-Maschinen dar. Die derzeitigen 48V-Batterien sind für Traktionsantriebe nicht ausgelegt. Folglich wurde aus den technischen Anforderungen eine Batterie speziell für das SynArea-Fahrzeug konzipiert (Tabelle 27). Die dabei zum Einsatz kommenden Komponenten sind aktuell am Markt verfügbar und dem Projektteam sind Marktpreise hierfür bekannt.

Zelle		
Eigenschaft	Wert	Kommentar
Typ	LG 18650 HE2	
Kapazität	2,5 Ah	
Spannungsbereich	2,7 – 4,2 V	
Energieinhalt	9 Wh	
Modul		
Eigenschaft	Wert	Kommentar
Anzahl der Zellen	24	Anordnung parallel
Modulkapazität	60 Ah	
Spannungsbereich	1,7 – 4,2 V	
Energieinhalt	216 Wh	
Batteriesystem		
Eigenschaft	Wert	Kommentar
Anzahl der Module	14	Anordnung in Serie; entspricht 336 Zellen
Kapazität	60 Ah	
Spannungsbereich	37,8 – 58,8 V (50,4 V nominal)	
Energieinhalt	3 kWh	
max. kont. Entladestrom	480 A	
max. kont. Entladeleistung	~ 24 kW	
max. kont. Ladestrom	96 A	
max. kont. Ladeleistung	~ 4,8 kW	
max. Ladestrom (10 s)	180 A	
max. Ladeleistung (10 s)	~ 9 kW	
Masse	40 kg	

Tabelle 27, Leistungsdaten des Energiespeichers für das SynArea-Fahrzeug auf Zell-, Modul- und Batteriesystemebene

Abbildung 67 zeigt die Abschätzung der Ladezeiten bei verschiedenen Lademodi. Es ist mit einer Ladedauer von ca. 35 min beim Schnellladen (6,3 kW Ladeleistung) zu rechnen, wenn zu Beginn des Ladens von einem State-of-Charge (SOC) von 15 % ausgegangen wird. Beim Standardladen ist diese Zeitdauer voraussichtlich dreimal so lang (1,8 kW Ladeleistung). Beim Laden an der Steckdose und einer Ladeleistung von 3,7 kW ist eine Ladedauer von 56 Minuten zu erwarten.

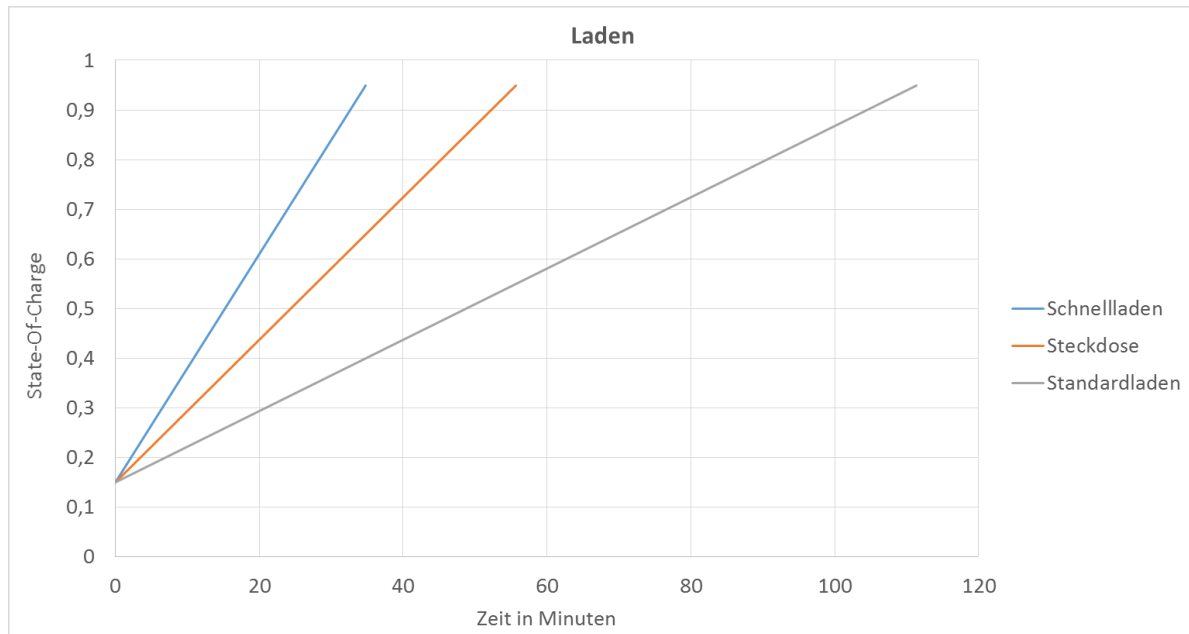


Abbildung 67, Ladeverlauf des elektrischen Energiespeichers für verschiedene Lademodi

Fahrzyklus

Die Berechnung des Energiebedarfs des Fahrzyklus wird mit sogenannten Fahrzyklen durchgeführt. Fahrzyklen sind Geschwindigkeits- und Steigungsprofile in Abhängigkeit der Zeit oder des Weges und dienen zur realistischen Nachstellung des typischen Einsatzes des Fahrzeugs. Für das SynArea-Fahrzeug wurde ein eigener Fahrzyklus mit Geschwindigkeits- und Höhenprofil entworfen. Die Daten wurden auf Basis eines Use-Cases im Raum Mattersburg generiert (Abbildung 68), wobei diese Fahrt von Sieggraben nach Mattersburg führt.

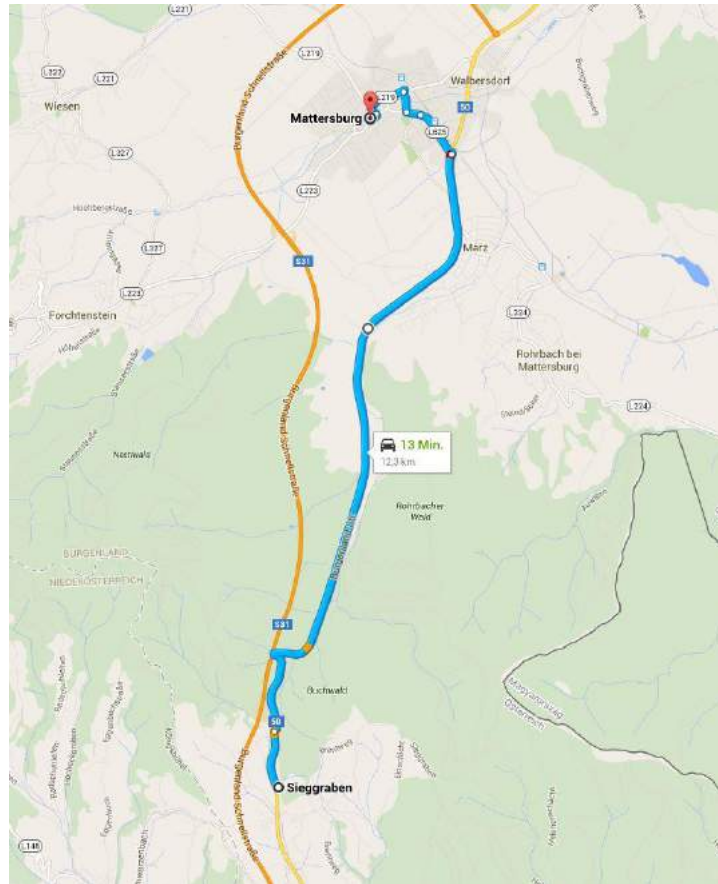


Abbildung 68, Route des Use-Cases, der als Basis für die Erstellung eines synthetischen Fahrzyklus dient

Das daraus generierte synthetische Geschwindigkeitsprofil ist in Abbildung 69 dargestellt, welches als modal und spezifisch klassifiziert werden kann. Das Profil beinhaltet 39 verkehrsbedingte Halte mit einer Dauer von jeweils 19 Sekunden. Dazwischen erfolgt jeweils eine Beschleunigung auf die Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h innerhalb von 9 Sekunden. Dabei legt das Fahrzeug insgesamt eine Strecke von 40,5 km zurück. Die Fahrtdauer beträgt 72 min, woraus eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 33,7 km/h resultiert.

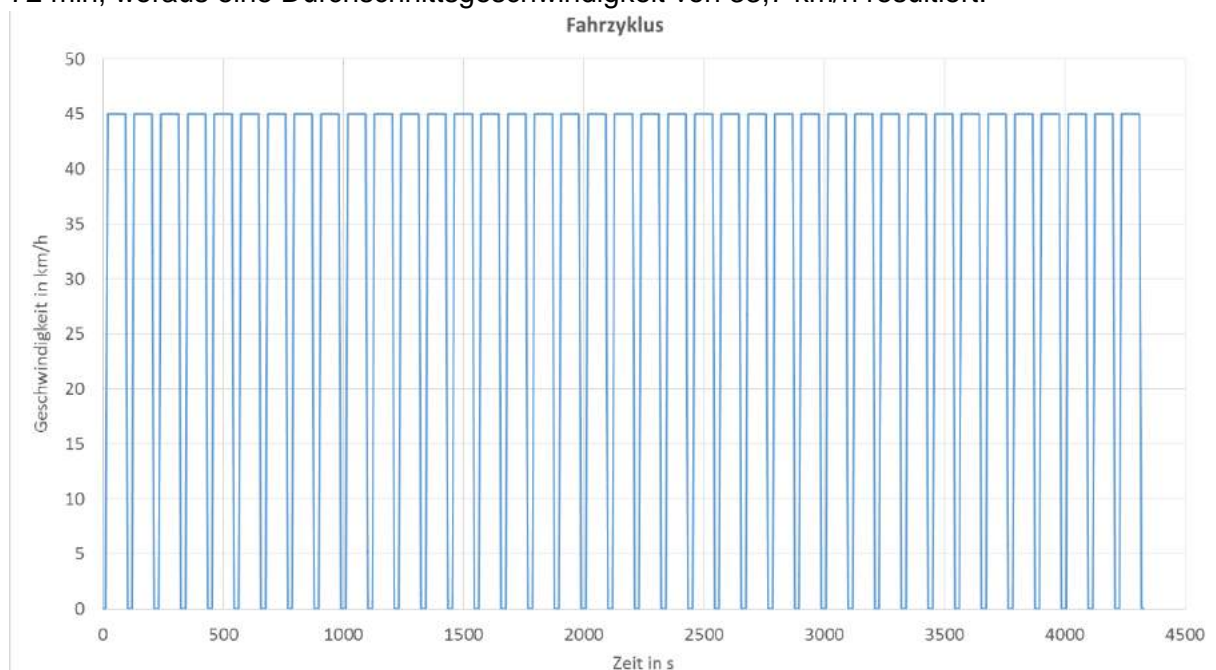


Abbildung 69, synthetisches Geschwindigkeitsprofil als Eingabe für die Längsdynamiksimulation

Neben dem Geschwindigkeitsprofil ist in der Simulation auch ein Höhenprofil hinterlegt, welches eine Höhendifferenz von 260 m und eine maximale Steigung von 28 % aufweist. Wie aus Abbildung 70 ersichtlich ist, wurde viermal dasselbe Höhenprofil verwendet, d. h. Bergauf- und Bergabfahrt sind bezüglich des Gradienten identisch, wobei die Höhendifferenz insgesamt zweimal überwunden wird.

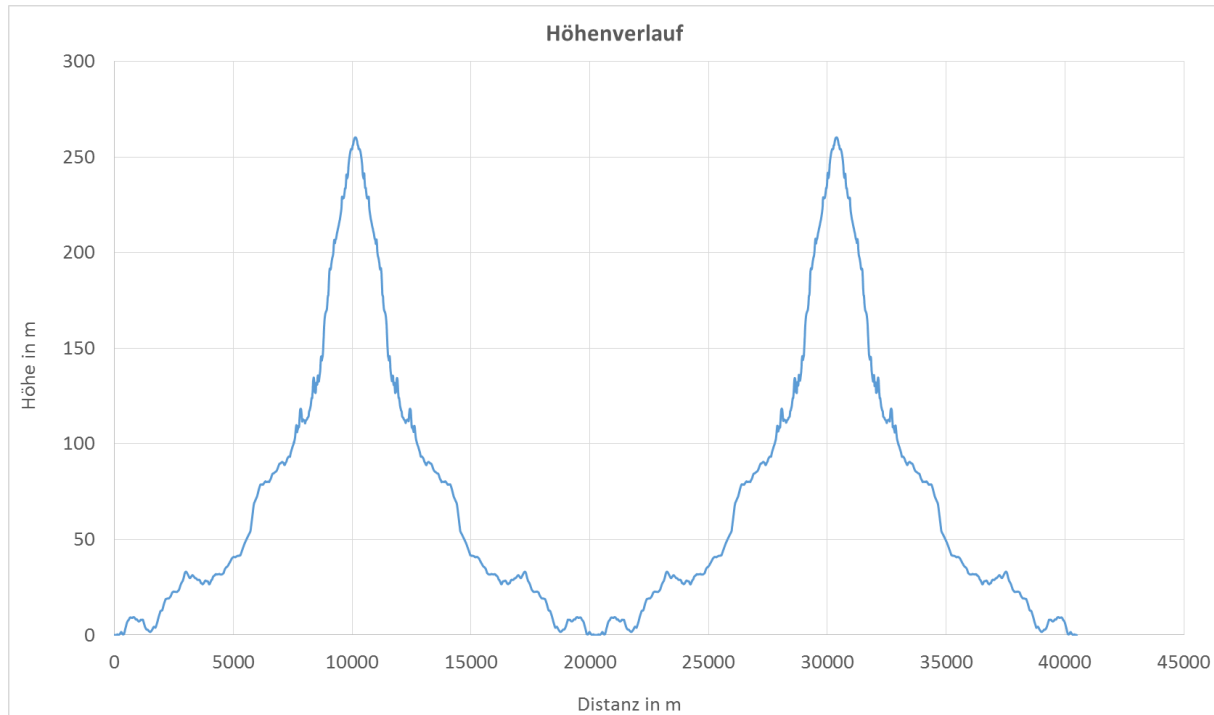


Abbildung 70, synthetisches Höhenprofil als Eingabe für die Längsdynamiksimulation

3.2.1.4.2.2 Simulationsergebnisse

Es wird zunächst auf allgemeine Ergebnisse im Hinblick auf Beschleunigung, Steigleistung und Energieverbrauch des SynArea-Fahrzeuges eingegangen bevor die Simulationsergebnisse gemäß des vorgestellten Fahrzyklus diskutiert werden.

Beschleunigung

In Abbildung 71 ist der Geschwindigkeitsverlauf des SynArea-Fahrzeuges bei Vollastbeschleunigung als Funktion der Zeit dargestellt. Es ist ersichtlich, dass nach ca. 9 Sekunden die Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h erreicht wird. Höhere Beschleunigungswerte wären mit einer höheren E-Motor-Leistung, d. h. beispielsweise durch Überlasten der E-Maschinen oder einem anderen Übersetzungsverhältnis des Planetengetriebes darstellbar.

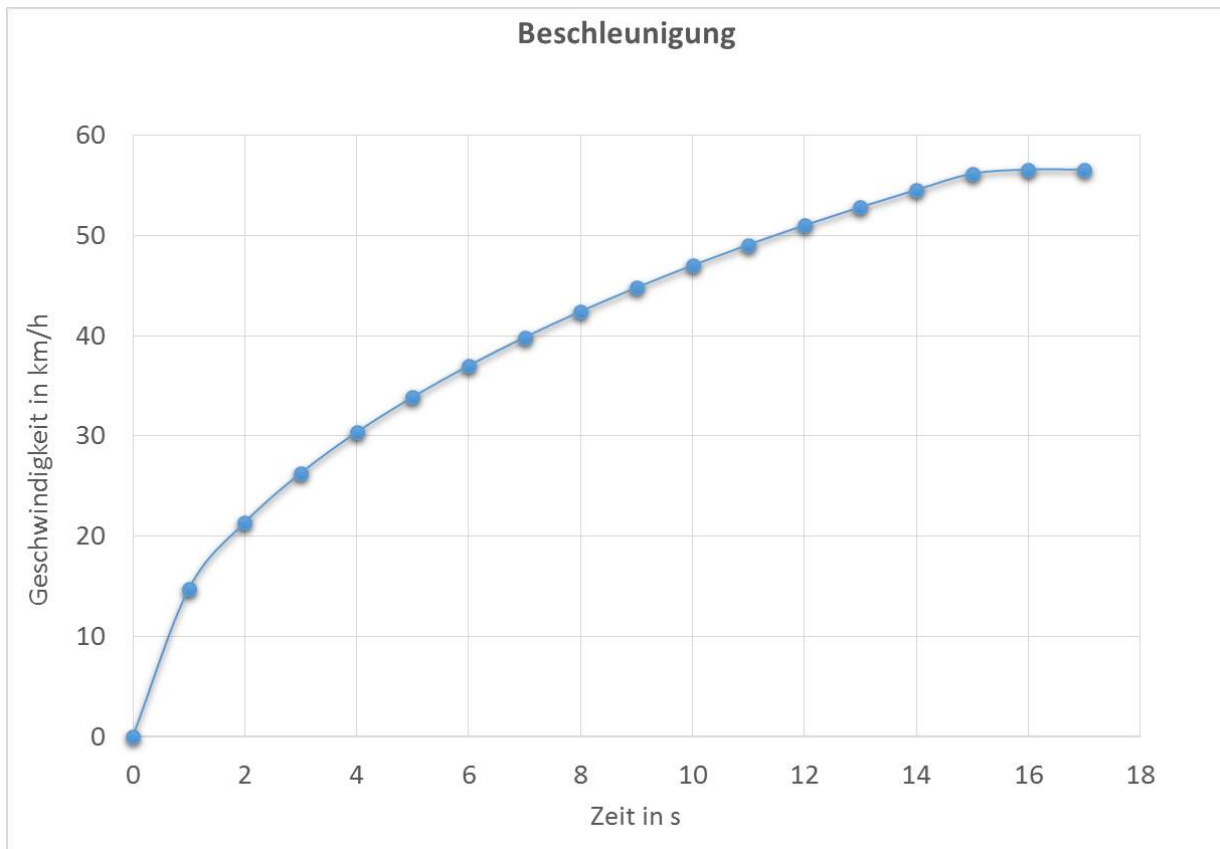


Abbildung 71, Geschwindigkeit als Funktion der Zeit beim Beschleunigen des SynArea-Fahrzeuges

Steigleistung

In Bezug auf die Steigleistung ist beim SynArea-Fahrzeug mit der vorgestellten Konfiguration im S1-Betrieb (Dauerleistung) mit 10 km/h auf einer 25 %-Steigung und im S2-Betrieb (Überlastbetrieb mit einer Dauer von 15 s) mit 18 km/h auf einer 25 %-Steigung und 13 km/h auf einer 35 %-Steigung zu rechnen.

Energieverbrauch

Die Berechnung des Energieverbrauchs mit dem vorgestellten Fahrzeugmodell ergibt einen Wert von 53 Wh/km. Als Vergleich seien der VW Lupo 3L mit 293 Wh/km und gängige Elektro-Pkws mit 150 Wh/km im Normzyklus NEDC genannt.

Realer Betrieb

In Abbildung 72 ist der berechnete Ist-Geschwindigkeitsverlauf des Fahrzeuges dem Soll-Geschwindigkeitsverlauf gegenübergestellt. Als Eingabe für das Modell wurde der Fahrzyklus herangezogen, welcher in Abschnitt 3.2.1.4.2.1 dargestellt wurde.

Hier zeigt sich, dass die Abweichungen zur Soll-Kurve in Summe gering sind. Größere Unterschiede treten dort auf, wo das Höhenprofil große Gradienten aufweist (Abbildung 73). Hier reicht das S2-Motormoment nicht mehr aus, um auf der aktuellen Steigung die

geforderte Geschwindigkeit zu erreichen. Dies könnte durch Erhöhung der Antriebsleistung bzw. des resultierenden Radmomentes bewerkstelligt werden.

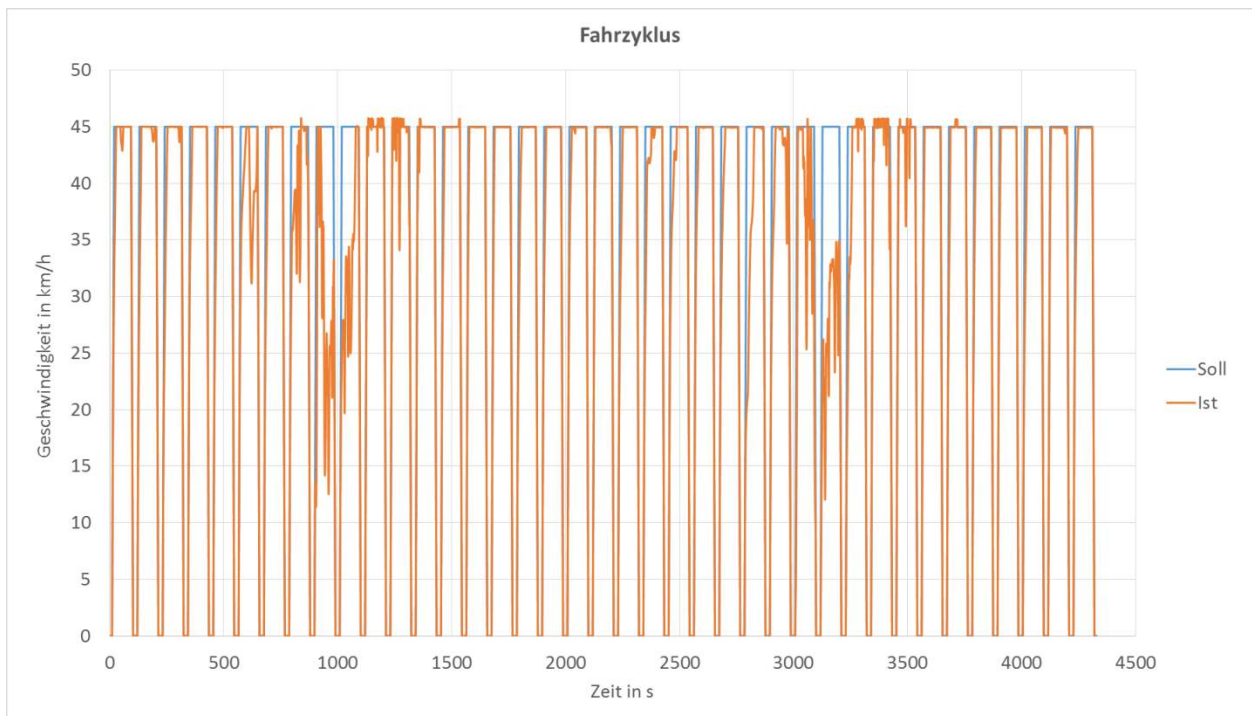


Abbildung 72, Simulation des Fahrzyklus, Soll- und Ist-Verlauf der Fahrgeschwindigkeit.

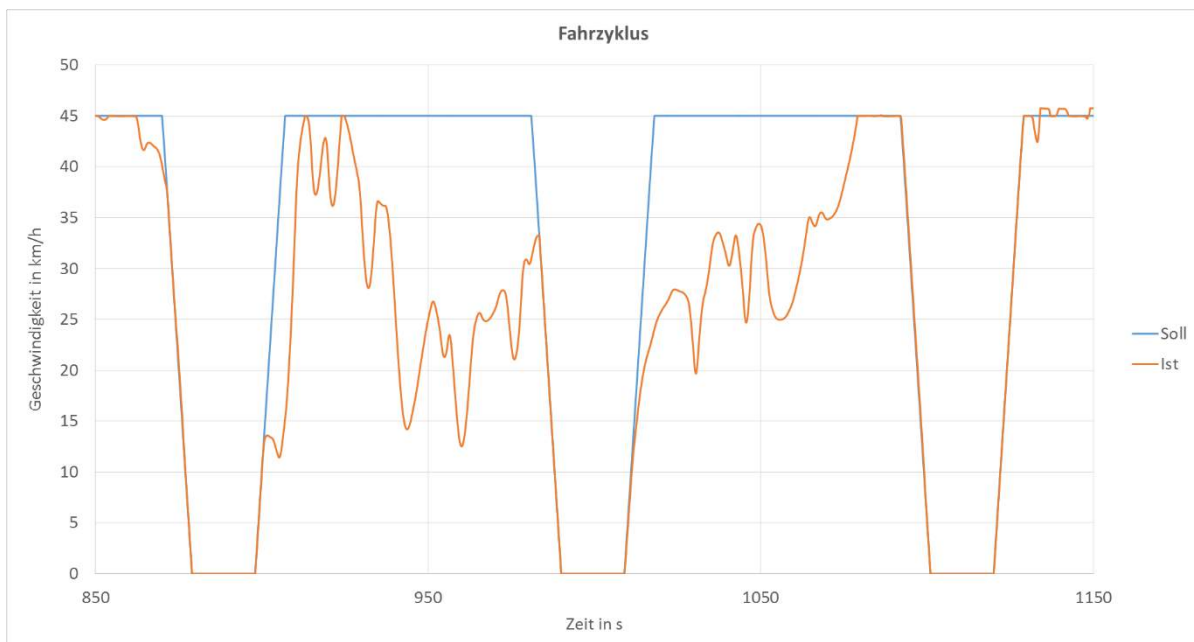


Abbildung 73: Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Verlauf der Fahrgeschwindigkeit bei großer Fahrbahnsteigung.

In Bezug auf die Leistungsfähigkeit des SynArea-Fahrzeuges ist vor allem der SOC am Ende des Zyklus von Interesse. Die Simulation zeigt hier, dass der Ladezustand nach der 40,5 km-Fahrt ca. 35 % beträgt (Abbildung 74). Folglich weist das Fahrzeug mit der gewählten Batteriekonfiguration eine höhere Reichweite auf bzw. könnten noch zusätzliche

Nebenverbraucher wie Klimaanlage oder Heizung auch während dieser langen Fahrt versorgt werden.

Der relativ hohe Ladezustand am Zyklusende führt dazu, dass nach einer kurzen Ladezeit wieder eine ähnlich lange Strecke zurückgelegt werden kann. Generell ist zu sagen, dass die Vermeidung von tiefen Batterieentladungen, wie in diesem Fall, zu einer erhöhten Batterielebensdauer führt.

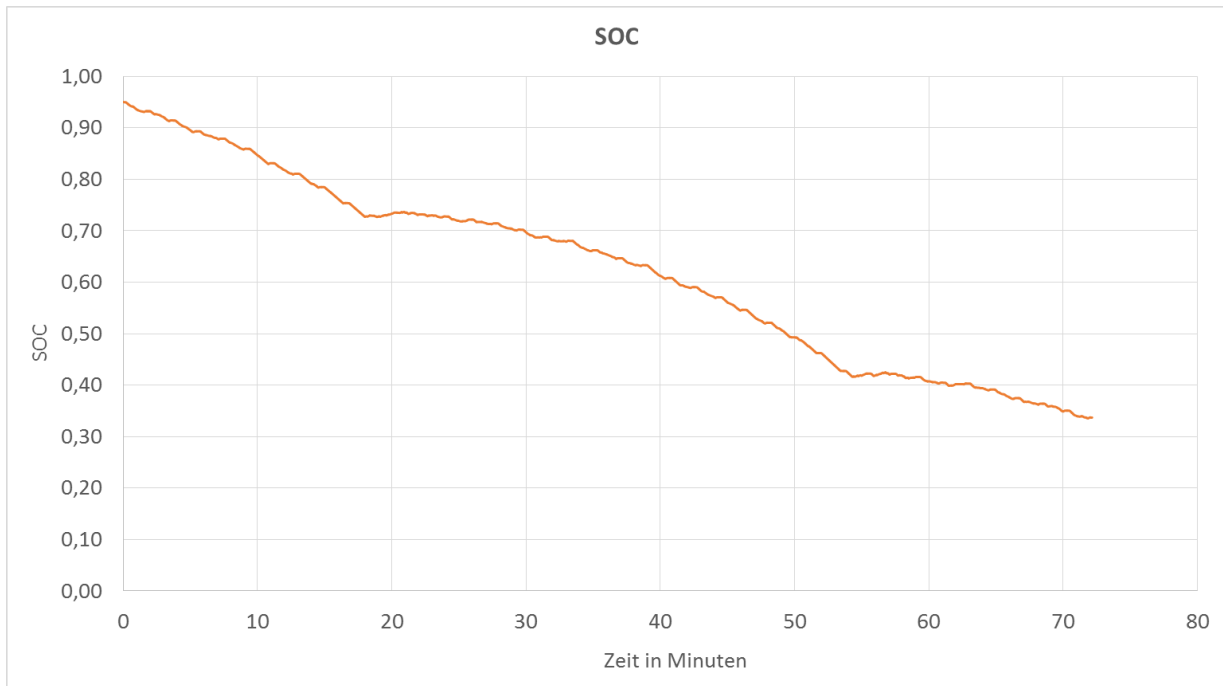


Abbildung 74, Ladezustand der Batterie als Funktion der Zeit bei Simulation des Fahrzyklus

3.2.1.4.3. Kippstabilität

Beim Kippen gibt es drei bestimmende Faktoren. Diese sind die Schwerpunkthöhe, die Spurbreite und das Kraftschlusspotenzial des Reifens in lateraler Richtung. Für die Berechnung des Kippverhaltens wird das Fahrzeugmodell nach Abbildung 75 herangezogen.

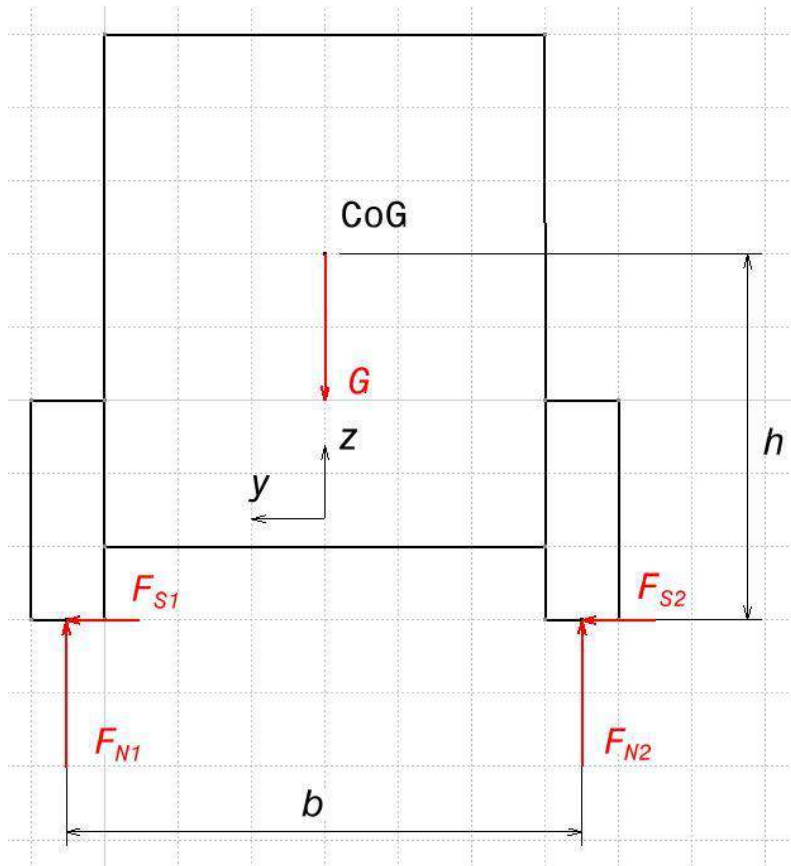


Abbildung 75: auf eine Achse reduziertes Fahrzeugmodell

In der folgenden Formel beschreibt μ das Kraftschlusspotenzial, b die Spurbreite und h die Höhe des Schwerpunkts über der Fahrbahn. Das errechnete Kraftschlusspotenzial wird auch SSF (Statischer Stabilitätsfaktor) genannt.

$$SSF = \mu = \frac{b}{2h}$$

Man kann diese Formel wie folgt interpretieren: Bei gegebener Spurbreite und Schwerpunkthöhe erhält man das benötigte Kraftschlusspotenzial, um das Fahrzeug bei stationärer Kreisfahrt zum Kippen zu bringen. Das heißt ein errechnetes Kraftschlusspotenzial kleiner 0,9 wäre ein kritischer Wert, da zwischen Fahrbahn und Reifen bei guten Bedingungen ein Kraftschlussbeiwert von 0,9 erreicht werden kann. Für das SynArea-Fahrzeug errechnet sich mit $h = 400 \text{ mm}$, $b = 1015 \text{ mm}$ ein Kraftschlussbeiwert von $\mu = 1,27$.

Um die Bezeichnung SSF zu erläutern, ist in Tabelle 28 ein Ausschnitt aus der Bewertung des statischen Stabilitätsfaktors nach der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) angeführt. Hier wird der Zusammenhang zwischen SSF-Werten und der Bewertungsergebnisse zur Kippstabilität dargestellt. Der SSF von 1,27 des SynArea Fahrzeugs ist hiernach mit 4 von 5 Sternen einzustufen, was ein gutes Ergebnis und für Personenkraftwagen üblich ist.

TABLE 1-1 Relationship Between NHTSA's Rollover Resistance Star Ratings and SSF Values		
Star	SSF	Comments
1	1.03 or less	
2	1.04–1.12	Typical SSF values for SUVs
3	1.13–1.24	
4	1.25–1.44	Typical SSF values for passenger cars
5	1.45 or more	

Tabelle 28, Bewertung des SSF

Abbildung 76 zeigt den Verlauf der Radaufstandskräfte über die Fahrgeschwindigkeit bei einer quasistationären Kreisfahrt. Für diese Darstellung wurde das Fahrzeugmodell aus Abbildung 75 und ein Kurvenradius von $R = 20$ m, sowie ein Kraftschlussbeiwert von $\mu = 0,9$ herangezogen. F_{N1} beschreibt hierbei die Radaufstandskraft des kurveninneren und F_{N2} die Radaufstandskraft des kurvenäußeren Rades. F_S zeigt den Verlauf der Seitenführungskraft und $F_{S\max}$ gibt das Maximum hinsichtlich F_S an.

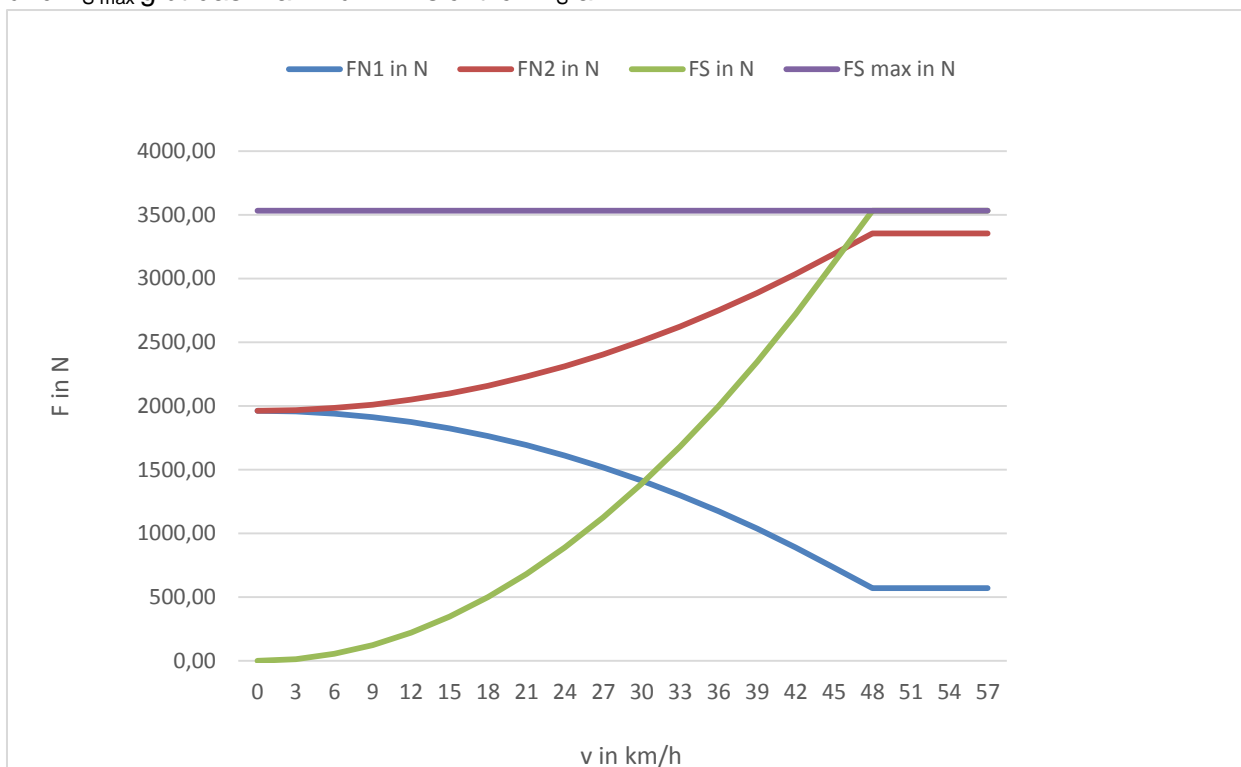


Abbildung 76: Radaufstandskräfte bei quasistationärer Kreisfahrt

Zu erkennen ist, dass die Radaufstandskraft F_{N1} deutlich abnimmt, jedoch nicht ≤ 0 wird. Somit kann, bezogen auf das verwendete Fahrzeugmodell, ein Kippen bei quasistationärer Kurvenfahrt ausgeschlossen werden.

3.2.1.4.4. Stückliste der Hauptkomponenten

In Tabelle 29 sind die voraussichtlichen Massen des SynArea-Fahrzeugs zusammengefasst. Es ist ersichtlich, dass die maximal zulässige Leermasse von 350 kg für die L6e-Klasse klar unterschritten wird. Das höchst zulässige Gesamtmasse liegt bei ca. 620 kg. Die Stückliste enthält aktuell in etwa 240 Positionen, wobei die erste Ebene in Tabelle 29 dargestellt ist.

Baugruppe	Unterbaugruppe	Masse [kg]
Passagiere und Gepäck		242
Karosserie		58
	Grundstruktur	25,00
	Türen und Klappen	15,00
	Exterieur	1,00
	Verglasung	10,00
	Fahrzeug-Akustik	5,00
	Anbauteile/Stoßstangen	2,00
Antriebsstrang und Bremsen		86,2
	Motoren	25,00
	Getriebe	15,00
	Energiespeicher	35,20
	Kühlsysteme	5,00
	Bremse	6,00
Fahrgestell		177
	Gitterrahmen	90,00
	Vorderachse	22,50
	Hinterachse	15,00
	Felgen und Reifen	25,00
	Bremssystem Fahrgestell	17,00
Elektronik		7,5
Interieur		36
	Sitze	25,00
	Abdeckungen	5,00
	Bedienelemente	3,50
	Sonstiges	2,50
Verbindungen und Anschlüsse		10

Tabelle 29, Stückliste (1. Ebene) für das SynArea-Fahrzeug

3.2.1.6. Sparvarianten

Während der Projektbearbeitung wurde zwischenzeitlich vermutet, dass die Kopplung von Fahrzeugen sehr hohe spezifische Fahrzeugkosten generieren. Daher wurden zusätzlich zwei Fahrzeugvarianten mit eingeschränkter und völlig fehlender Kuppelbarkeit untersucht und diese als „Sparvarianten“ bezeichnet.

Die erste Sparvariante des SynArea-Fahrzeuges (im weiteren auch „Variante mit eingeschränkter Kuppelbarkeit“ genannt) weist folgende Eigenschaften auf:

- es sind nur zwei Fahrzeuge koppelbar (Abbildung 77)
- das Folgefahrzeug weist keinen spurtreuen Nachlauf auf
- die Fahrzeuge besitzen keine Steer-by-Wire-Funktionalität

Die konstruktiven Auswirkungen in Bezug auf die Kopplung sind in Abbildung 77 bis Abbildung 79 dargestellt. D. h. das elektronische Messsystem in der Koppelstange, welches in der ursprünglichen Fahrzeugausführung die erforderlichen Daten für das Steer-by-Wire-System erfasst, fällt vollständig weg.



Abbildung 77, Sparvariante 1 – Koppeln von maximal 2 Fahrzeugen

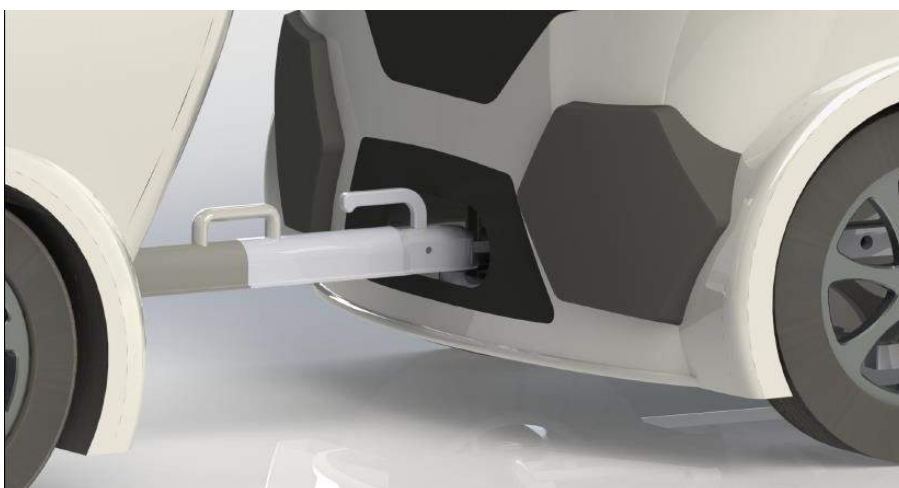


Abbildung 78, Sparvariante 1 – Koppelmechanismus



Abbildung 79, Sparvariante 1 - Koppelmechanismus

Durch diese konzeptionelle Änderung ergeben sich folgende Aspekte für das Fahrzeug:

- Es ist eine neue Lösung für die Deaktivierung der Lenkung für das gekoppelte Folgefahrzeug notwendig.
- Es ist eine lösbare mechanische Verbindung zwischen Lenkrad und Spurstange erforderlich.
- Mit dem neuen Konzept ist keine Zusatzfunktion der Lenkung möglich.
- Es ist eine Lenkung der Vorderräder über eine Kinematik („Deichsel“) notwendig (Abbildung 80).
- Im Folgefahrzeug ist eine Deaktivierung der restlichen Bedienelemente notwendig.
- Das Rückwärtsfahren mit dem Gespann ist für ungeübte Fahrer nicht möglich

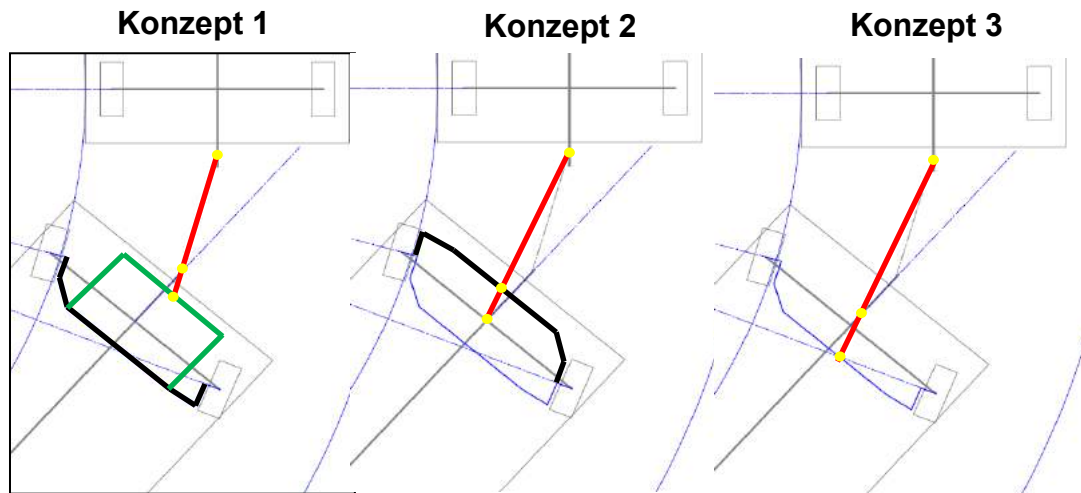


Abbildung 80, verschiedene kinematische Konzepte zur Lenkung der Vorderachse des Folgefahrzeugs über die Deichsel.

Die zweite Sparvariante (im weiteren auch „Variante ohne Kuppelbarkeit“ genannt) des SynArea-Fahrzeuges weist folgende Eigenschaften auf:

- kein Koppeln der Fahrzeuge zueinander möglich
- es wird ein Fahrzeug mittels konventioneller Pkw-Anhängevorrichtung an ein Serienfahrzeug gekoppelt (Abbildung 81)
- die Maximalgeschwindigkeit beträgt 45 km/h
- wenn das SynArea-Fahrzeug gekoppelt ist, befinden sich keine Passagiere im Fahrzeug



Abbildung 81, Sparvariante 2 – Koppeln des SynArea-Fahrzeuges an einen konventionellen Pkw

Durch diese konzeptionelle Änderung ergeben sich folgende Aspekte für das Fahrzeug:

- Eine Deaktivierung anderer Bedienelemente ist nicht notwendig.
- Das Lenkrad muss sich im Koppelmodus frei drehen können.
- Es ist eine Lenkung der Vorderräder über eine Kinematik („Deichsel“) notwendig.
- Die Deaktivierung der Wegfahrsperrung muss von außerhalb des Fahrzeuges erfolgen.
- Das Fahrzeug weist eine konventionelle Bremse auf. Es ist keine Bremskraftunterstützung und keine Auflaufbremse vorhanden.
- Das Rückwärtsfahren mit dem Gespann ist für ungeübte Fahrer nicht möglich.

Nach Vorliegen der Einschätzung der Kostendifferenz zwischen Basis- und Sparvarianten (siehe 4.6.2.1.2) wurde beschlossen, die Sparvariante 1 (Variante mit voller Kuppelbarkeit) als zur Basisvariante gleichwertige Variante weiter zu verfolgen, die Sparvariante 2 (ohne Kuppelbarkeit) hingegen zu verwerfen, da die Kostenersparnis pro Fahrzeug unerwartet gering war, der Mehraufwand für zusätzliche Fahrzeuge und zusätzliche Umverteilung hingegen ersten Überschlagsrechnungen zufolge sehr hoch und vor allem auch schwer einschätzbar war.

3.2.1.1. Zusammenfassung

Ziel der Fahrzeugkonzeption war die Ausarbeitung von Fahrzeug- und Koppelkonzepten, woraus in weiterer Folge konkrete Fahrzeugvarianten abgeleitet werden konnten. Basis hierfür war die Erstellung eines Lastenhefts, in welchem die groben technischen Eckdaten des Fahrzeuges definiert wurden. Darüber hinaus wurden Konzepte der zugehörigen Verleihstationen entwickelt und dargestellt.

Im Fahrzeuglastenheft sind physikalische Parameter und Eigenschaften in den Bereichen „Gesamtfahrzeug“, „Fahrleistungen“, „Koppelung“, „Kabine und Aufbau“, „Fahrzeugsicherheit“, „Kosten“ und „Verleihstation“ definiert. Essentiell ist hierbei die Klassifizierung des SynArea-Fahrzeugs als L6e-Fahrzeug, wodurch sich zahlreiche Grenzparameter des Lastenhefts ergeben.

Im Zuge der Ideenentwicklung für die Fahrzeugkonzepte wurden zunächst sehr umfassend und kreativ verschiedene Koppelmöglichkeiten der Fahrzeuge analysiert. Variiert wurde hierbei die Art der Kopplung (mechanisch, elektrisch, semi-elektrisch) sowie die Art der Lenkung, die Anzahl der Räder und das Lenkprinzip. In Summe wurden sieben unterschiedliche Koppelvarianten sowie weitere Möglichkeiten zur Erweiterung der Transportkapazität in diesem Bericht dargestellt.

Das favorisierte Konzept, nämlich ein zweiachsiges Fahrzeug mit vier Rädern und Vorderachslenkung, wurde hinsichtlich Packaging untersucht und in der Folge wurde auch ein entsprechendes Koppelsystem hierfür entworfen.

Im Zuge der Fahrzeugentwicklung wurde schließlich das elektrische System genauer definiert und eine längsdynamische Analyse des Fahrzeuges durchgeführt. Des Weiteren wurde die zu erwartende Kippstabilität des Fahrzeuges ausgearbeitet und eine übergeordnete Stückliste der Hauptkomponenten dargestellt.

3.2.2. Leihstellen

Die nun folgenden Unterabschnitte beschreiben die Verleihstations-Konzepte für das SynArea-Fahrzeug. Grundidee war dabei, eine Station mit niedrigem technischem und logistischem Aufwand aber hoher Funktionsintegrität zu entwickeln.

3.2.2.1. Variante 1 – gerade Anordnung der Fahrzeuge

3.2.2.1.1. Anordnung und Entnahme

Die Fahrzeuge werden am Ende der Schlange abgestellt und am Anfang der Kolonne entnommen (Abbildung 82). Die Entnahme kann dabei einzeln oder in Gespannform erfolgen. Gespanne können vorab gekuppelt werden und danach erfolgt das Wegfahren.

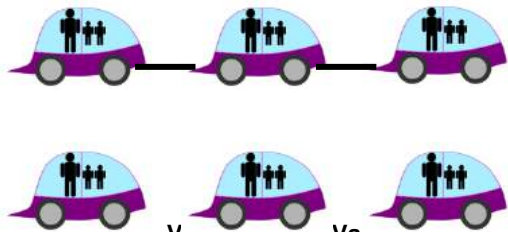


Abbildung 82, Verleihstation Variante 1 – gerade Anordnung der Fahrzeuge

3.2.2.1.2. Steuerung und Positionierung

Im Zuge des Abstellens signalisiert eine Anzeige im Fahrzeug grob den korrekten Abstand zum Vorderfahrzeug. Dabei soll die Lage (Querversatz, Winkel) durch entsprechend schmale Fahrbahnen (evtl. mechanische Führung am Boden wie bei Waschanlagen) eingeschränkt werden. Zur Sicherstellung des korrekten Abstandes zueinander müssen die Fahrzeuge entweder automatisch durch die Verleihstation geführt werden, oder es werden alternativ die Fahrzeuge mit Rangiertasten ausgestattet, welche es den NutzerInnen beim Kuppeln ermöglicht, die Position und Lage der Fahrzeuge zueinander zu verändern.

Bei Entnahme an der Front muss die Kolonne automatisch nach vorne geführt werden.

3.2.2.1.3. Laden

Das Laden erfolgt automatisiert über eine Ladeinfrastruktur im Fahrstreifen. Dies kann induktiv oder mit mechanischen Kontakten erfolgen.

3.2.2.1.4. Sicherheit

Im Bereich der Verleihstation erfolgt automatisiertes Fahren, d. h. es erfolgt eine vollständige Überwachung und Steuerung der Fahrzeuge in diesem abgeschlossenen Bereich. Das System muss das Verlassen eines Gespanns mit Überlänge oder nicht richtig gekuppelten Fahrzeuge (Deichselüberwachung) unterbinden.

Bei Ausstattung der Fahrzeuge mit Rangiertasten, muss der Schutz vor Einklemmen zwischen Fahrzeugen gewährleistet sein (z. B. Abstandsüberwachung über Infrarotsensoren).

3.2.2.1.5. Platzbedarf

Bei 10 Fahrzeugen und 10 Abständen kann mit einer Gesamtlänge von 37,25 m gerechnet werden.

3.2.2.2. Variante 2 – kreisförmige Anordnung der Fahrzeuge

3.2.2.2.1. Anordnung und Entnahme

Die Fahrzeuge werden in einem nicht voll besetzten Kreis angeordnet (Abbildung 83) Die Entnahme kann dabei einzeln oder in Gespannform am ersten Fahrzeug vor der Lücke erfolgen. Gespanne werden vorab gekuppelt und danach erfolgt das Wegfahren. Das Abstellen erfolgt am letzten Platz.

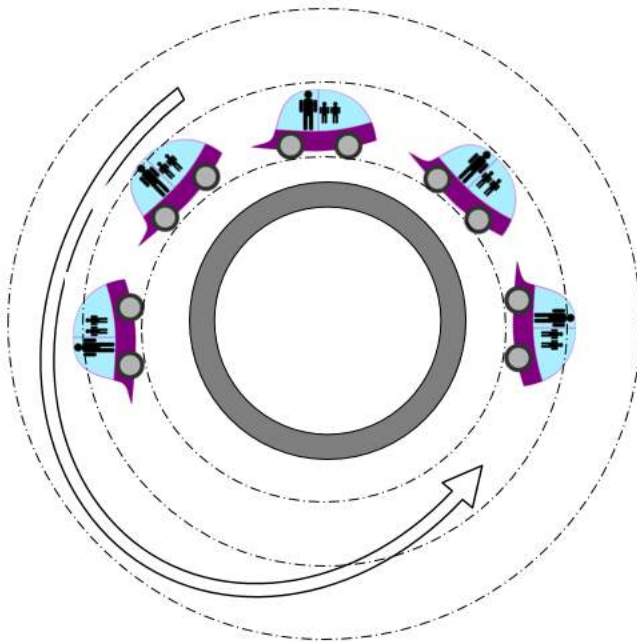


Abbildung 83, Verleihstation Variante 2 – kreisförmige Anordnung der Fahrzeuge

3.2.2.2. Steuerung

Im Zuge des Abstellens signalisiert eine Anzeige im Fahrzeug grob den korrekten Abstand zum Vorderfahrzeug. Dabei soll die Lage (Querversatz, Winkel) durch entsprechend schmale Fahrbahnen (evtl. mechanische Führung am Boden wie bei Waschanlagen) eingeschränkt werden. Zur Sicherstellung des korrekten Abstandes zueinander müssen die Fahrzeuge entweder automatisch durch die Verleihstation geführt werden, oder es werden alternativ die Fahrzeuge mit Rangiertasten ausgestattet, welche es den NutzerInnen beim Kuppeln ermöglicht, die Position und Lage der Fahrzeuge zueinander zu verändern.

3.2.2.3. Laden

Das Laden kann hier technisch wenig aufwändig mit Ladesäulen und Kabel erfolgen, weil ein Nachrücken der Fahrzeuge nicht notwendig ist und die Fahrzeuge bis zur Entnahme angesteckt bleiben können.

3.2.2.4. Sicherheit

Das System muss das Verlassen eines Gespanns mit Überlänge oder nicht richtig gekuppelten Fahrzeuge (Deichselüberwachung) unterbinden.

Bei Ausstattung der Fahrzeuge mit Rangiertasten muss der Schutz vor Einklemmen zwischen Fahrzeugen gewährleistet sein (z. B. Abstandsüberwachung über Ultraschall).

3.2.2.5. Platzbedarf

Bei einem Kreisdurchmesser von 10 m (Entspricht ca. 1.5-fachen Wendekreisdurchmesser) und einer Ausnutzung von 50 % finden ca. 5 Fahrzeuge pro Kreis Platz. Aufgrund des linearen Zusammenhangs finden dementsprechend bei einem Durchmesser von 20 m und einer Ausnutzung von 50 % 10 Fahrzeuge Platz.

3.2.2.3. Variante 3 – Doppelpack

3.2.2.3.1. Anordnung und Entnahme

Die Fahrzeuge werden parallel angeordnet (Abbildung 84), wobei immer zwei Fahrzeuge hintereinander in einer Bucht zu stehen kommen. Die Zu- und Abfahrt ist von beiden Seiten möglich bzw. es ist auch eine Durchfahrt möglich.

Die Entnahme kann dabei einzeln oder in 2er-Gespansform sowie auch parallel erfolgen. Gespanne werden vorab gekuppelt und danach erfolgt das Wegfahren.

3.2.2.3.2. Steuerung

Im Zuge des Abstellens signalisiert eine Anzeige im Fahrzeug grob den korrekten Abstand zum Vorder- bzw. Folgefahrzeug. Dabei soll die Lage (Querversatz, Winkel) durch entsprechend schmale Fahrbahnen (evtl. mechanische Führung am Boden wie bei Waschanlagen) eingeschränkt werden. Zur Sicherstellung des korrekten Abstandes zueinander werden die Fahrzeuge mit Rangiertasten ausgestattet, welche es den NutzerInnen beim Kuppeln ermöglicht, den Fahrzeugabstand zu verändern.

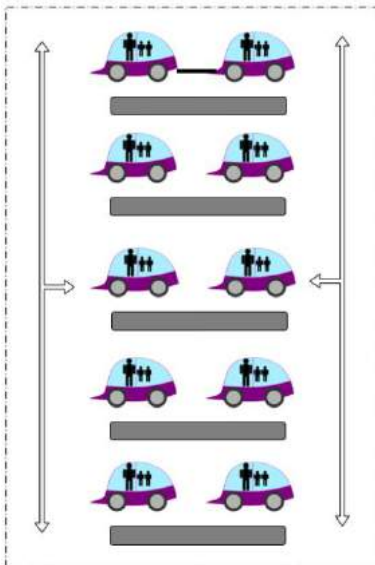


Abbildung 84, Verleihstation Variante 3 – Anordnung der Fahrzeuge in Buchten

3.2.2.3.3. Laden

Das Laden erfolgt vorzugsweise über manuelle Steckverbindungen. Aus Komfortgründen kann auch automatisiertes Laden vorgesehen werden.

3.2.2.3.4. Sicherheit

Bei Ausstattung der Fahrzeuge mit Rangiertasten, muss der Schutz vor Einklemmen zwischen Fahrzeugen gewährleistet sein (z. B. Abstandsüberwachung über Infrarotsensoren).

3.2.2.3.5. Platzbedarf

Für zwei Fahrzeuge ist eine Fläche von 5,7 x 2,5 m erforderlich. Für 20 Fahrzeuge beträgt der Flächenbedarf 5,7 x 25 m.

3.2.2.4. Variante 4 – klassisches Parken

3.2.2.4.1. Anordnung und Entnahme

Die Fahrzeuge werden gemäß der Skizzen in Abbildung 85 angeordnet, wobei hier ein minimaler Platzbedarf für Einzelfahrzeuge entsteht. Gespanne werden auf einem eigenen Platz ge- und entkuppelt

3.2.2.4.2. Steuerung

Hier ist keine Steuerung erforderlich.

3.2.2.4.3. Laden

Das Laden erfolgt vorzugsweise über manuelle Steckverbindungen und Ladesäulen. Aus Komfortgründen kann auch automatisiertes Laden vorgesehen werden.

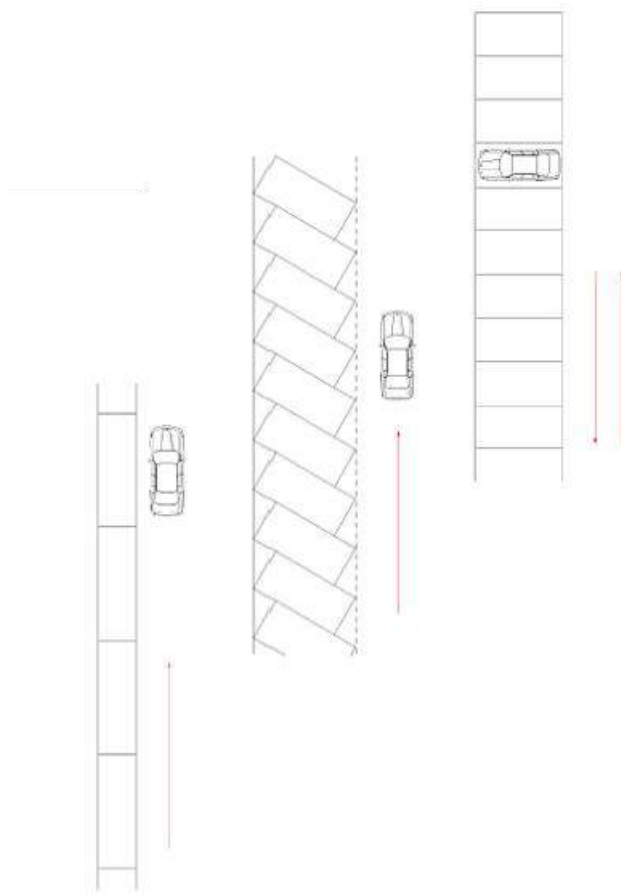


Abbildung 85, Verleihstation Variante 4 – klassische Parksysteme

3.2.2.4.4. Sicherheit

Hier sind keine besonderen Sicherheitsvorkehrungen zu treffen.

3.2.2.4.5. Platzbedarf

Der Platzbedarf ergibt sich aus den Hauptabmessungen des Fahrzeuges, dem notwendigen Platz zum Ein- und Aussteigen sowie der erforderlichen Fläche für die Ladesäule. In Summe wird der Platzbedarf im Vergleich zu den anderen Varianten der Verleihstationen eher gering ausfallen.

3.2.2.5. Zusammenfassung

Die oben angeführten Konzepte stellen eine Auswahl einer größeren Anzahl von Konzepten dar. Eine definitive Wahl, welches Konzept als Verleihstation verwendet wird kann an dieser Stelle nicht getroffen werden, weil die Entscheidung sehr stark von den örtlichen Gegebenheiten vor Ort abhängen. Jedoch stellte sich bei der Analyse von möglichen Verleihstandorten im Zielgebiet heraus, dass tendenziell längliche und schmale Verleihstationsvarianten für eine Integration in eine gegebene Infrastruktur am geeignetsten erscheinen.

3.2.3. Service- und Usabilitykonzept

3.2.3.1. Information

Stetige Hauptinformationsquelle über das SynArea-Angebot ist die Internetseite. Weiters wäre schwerpunktmäßig zu Start bzw. Erweiterungen des Systems zu informieren, beispielsweise über klassische regionale Werbemöglichkeiten (Außenwerbung, Werbung oder redaktionelle Beiträge in Regionalmedien). Insbesondere in jenen Orten in denen der planmäßige öffentliche Verkehr gänzlich oder teilweise durch SynArea ersetzt wird, wären aber auch noch intensivere Formen angebracht, beispielsweise Postwurfsendungen oder Informationsveranstaltungen in Schulen und Gemeinden. Darüber hinaus wird das System über kurz oder lang durch die auffälligen Fahrzeuge und Leihstationen von selbst bekannt.

Für konkrete, im Vorhinein erwogene Fahrtwünsche eignen sich in erster Linie die bestehenden Fahrplanauskunftssysteme wie z.B. „Scotty“ der ÖBB-PV AG oder intermodale Auskunftssysteme wie z.B. anachb.at. Auf diesem Weg würden auch potenzielle NutzerInnen erstmals vom SynArea-Angebot erfahren, wenn es in einer der jeweils günstigsten Verbindungen vorkommt. Auch in die Internetseite des SynArea-Angebots selbst sollte gleich eine dieser Fahrplanauskünfte eingebunden sein.

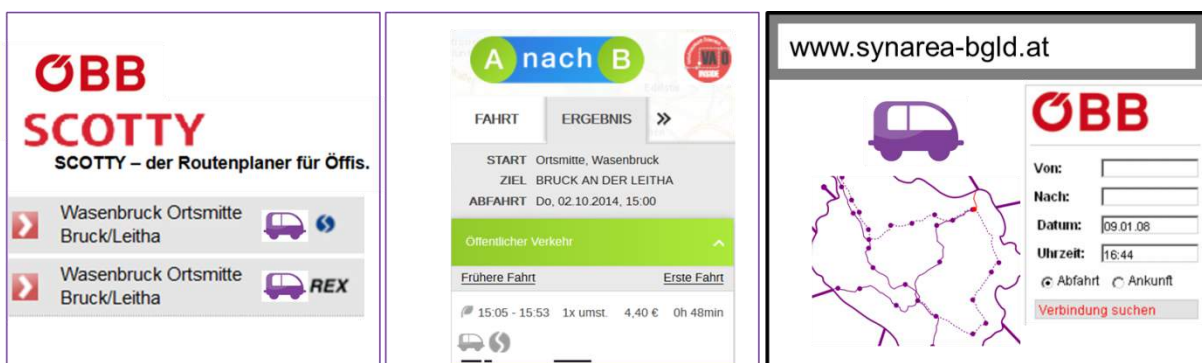


Abbildung 86: Visualisierung einer möglichen Einbindung des SynArea-Leihfahrzeugangebots in bestehende Fahrplanauskunftssysteme (links, Mitte) bzw. der Einbindung eines externen Fahrplanauskunftssystems in einen eigenen Webauftritt des Leihsystems (rechts). Hintergrund-Screenshots: <http://www.oebb.at>, www.anachb.at

Ein reiner SynArea-Routenplaner ohne Einbindung des öffentlichen Verkehrs ist nicht vorgesehen, da im Sinne auszuschöpfender Synergien, der Batteriereichweite und der Fuhrpark- und Wartungskosten allzu lange Fahrten eher durch Umsteigeverbindungen mit öffentlichem Verkehr vermieden werden sollten und als positiver Nebeneffekt auch eine bessere Information über das Angebot im öffentlichen Verkehr angestrebt wird.

3.2.3.2. Unterschiedliche Verwendungsmodi gemäß Fahrtüchtigkeit

Für die Verwendung der Leihfahrzeuge sind grundsätzlich drei verschiedene Verwendungsmodi je nach Fahrtüchtigkeit des/der Nutzers/in vorgesehen:

- Personen, die eine Lenkberechtigung der Klasse AM (oder einen höherwertigen Führerschein, der diese enthält) besitzen, können das Fahrzeug im 45-km/h-Modus benutzen.
- Personen ohne solche Lenkberechtigung können das Fahrzeug analog zu einem Elektrofahrrad im 25-km/h-Modus benutzen. Zusätzlich dürfen manche Hauptverkehrsstraßen nicht verwendet werden, sehr wohl hingegen Radwege ausreichender Breite sowie für den Pkw-Verkehr gesperrte Güterwege und dergleichen.
- Zusätzlich ist ein Einstiegsmodus für Kinder vorgesehen: Hier ist nicht nur die Geschwindigkeit mit 25 km/h begrenzt, sondern es darf zusätzlich nur eine bestimmte Route befahren werden, die zuvor eingeübt und mit Eltern und/oder Behörde vereinbart wurde.

Die Einschränkung der befahrbaren Straßenabschnitte im 25-km/h-Modus und im Einstiegsmodus erfolgt nicht auf konventionell amtlichem Weg über Verkehrszeiten bzw. Sonderausweise, sondern wird durch das Navigationssystem (siehe 3.2.3.6) überwacht. Wird der erlaubte Weg verlassen, bleibt das Fahrzeug nicht abrupt stehen, sondern es erfolgt eine akustische Warnung und die Geschwindigkeit wird auf 10 km/h gedrosselt, um eine geordnete Rückkehr auf die erlaubte Route zu ermöglichen.

Das Mindestalter für den 45-km/h-Modus ist insofern klar festgelegt, als die Lenkberechtigung der Klasse AM erst ab 15 Jahren erworben werden kann.

Für den 25-km/h-Modus und den Einstiegsmodus wurden im Projekt keine exakten Altersgrenzen festgelegt, dies müsste in einem Folgeprojekt in einem partizipativen Prozess mit einer größeren Anzahl potenzieller NutzerInnen sowie mit ExpertInnen aus dem Bereich Verkehrserziehung und –psychologie erfolgen. Die gesetzlichen Altersgrenzen für die Benutzung von (Elektro-)Fahrrädern mit 12 Jahren (bzw. 10 Jahren mit Radfahrausweis) erscheinen für den 25-km/h-Modus jedenfalls zu niedrig, andererseits sollte gegenüber dem 45-km/h-Modus noch eine nennenswerte Abstufung verbleiben. Denkbar wären 12 Jahre für den Einstiegsmodus und für den 25-km/h-Modus 14 Jahre oder mindestens ein Jahr Fahrpraxis im Einstiegsmodus, gemäß dieser Werte wurde auch die Größe der potenziellen NutzerInnengruppen im Verkehrsmodell abgeschätzt (siehe 4.2.1.2).

3.2.3.3. Registrierung

Hinsichtlich der erstmaligen Registrierung von NutzerInnen sind folgende Situationen zu unterscheiden:

- Möchte jemand spontan erstmalig ein Leihfahrzeug benutzen, kann er/sie sich zu jeder beliebigen Tageszeit am Fahrzeug mit einer jener Chipkarten anmelden, die praktisch alle potenziellen NutzerInnen besitzen: Einer Bankomat- oder

Kreditkarte (auch bei den meisten ausländischen TouristInnen vorhanden) oder eine E-card (bei allen Personen mit Wohnsitz in Österreich unabhängig von Alter oder Bonität vorhanden). Nach dem Einführen der Karte in den Kartenleser am Fahrzeug wird überprüft, ob mit dieser Karte bereits mehrere Fahrten durchgeführt und noch nicht bezahlt wurden. Mit der entsprechenden Kooperation der die Karten verwaltenden Stellen (Banken, Hauptverband der Sozialversicherung) kann auch ein Abgleich mit Sperrlisten erfolgen, um die Verwendung der Leihfahrzeuge mit gestohlenen Karten auszuschließen. Liegt kein Ausschlussgrund vor, wird die Fahrzeugtüre entriegelt und der/die NutzerIn kann einsteigen, weitere Anweisungen über das bordseitige Terminal empfangen und die erste Fahrt (sowie eine eventuelle Rückfahrt) durchführen und im Nachhinein bezahlen. Wesentliche Erlösentgänge aufgrund nicht bezahlter Fahrten sind insofern unwahrscheinlich, als es mit erheblichem Zeit- und Geldaufwand verbunden wäre, die entsprechenden Chipkarten ständig neu zu beschaffen. Über die zum Sperrlistenabgleich erforderliche Kartenummer hinaus werden keine verschlüsselten oder vertraulichen Daten von der Karte benötigt, lediglich im Falle von Vandalismus, dem gänzlichen Verschwinden des Fahrzeugs und dergleichen würde im Zuge strafrechtlicher Ermittlungen der/die InhaberIn der Karte ausgeforscht^e.

- Über das bordseitige Terminal erhält der/die NutzerIn eine TeilnehmerInnennummer und Kennwort oder Pin-Code. Damit kann er/sie auch via Website, Call-Center und ggf. einer eigenen Smartphone-App auf sein/ihr BenutzerInnenkonto zugreifen, Kontaktmöglichkeiten wie Telefonnummer oder E-Mail-Adresse hinterlassen oder das BenutzerInnenkonto auf eine andere Chipkarte (z.B. neue E-Card) übertragen. Dies ist jedoch nicht zwingend notwendig, für datenschutzsensiblere oder technikfernere Zielgruppen ist auch eine praktikable Benutzung nur auf Basis von Chipkarte und bordseitigem Terminal möglich.
- Eine persönliche Registrierung ist nicht nur für eine Post-Paid-Abrechnung (siehe 3.2.3.7) erforderlich, sondern auch für die Benutzung im 45-km/h-Modus, da hier gemäß Krafftfahrgesetz²⁴ erstens die Lenkberechtigung und zweitens die Identität des/der Nutzers/in geprüft werden müssen. Die Registrierung ist im Rahmen des Partnernetzwerks z.B. bei Bank- oder Postfilialen (bzw. Post-Partner-Betrieben) oder bei ÖBB-Personenkassen möglich. Weiters können SystembetreuerInnen, die ohnehin in der Region unterwegs sind um beispielsweise Fahrzeuge wiederzuverteilen oder Anrufsammeltaxifahrten durchzuführen, nach Vereinbarung Hausbesuche vornehmen oder sich an der Leihstation oder im örtlichen Gasthaus mit InteressentInnen oder NeukundInnen zu treffen. Weitere mögliche AnsprechpartnerInnen wären die LenkerInnen der Linienbusse, freilich nur an Endstationen mit entsprechend langer Wendezeit. Zum Zwecke der Anmeldung am Fahrzeug für die einzelnen Fahrten sind auch persönlich registrierte BenutzerInnenkonten mit einer Chipkarte verknüpft. Diese Verknüpfung erfolgt, indem entweder der/die NutzerIn bei der persönlichen Registrierung eine bereits bestehende TeilnehmerInnennummer bekannt gibt, oder umgekehrt einen Code erhält, den er bei der Registrierung mit der Chipkarte am bordseitigen Terminal eingibt. Wahlweise können persönlich registrierte

^e Beispiel für die Verwendung von Bankomat- oder Kreditkarte oder e-Card als Zutrittsvoraussetzung ist das Museum Marienthal: http://agso.uni-graz.at/museum_marienthal/index.htm

NutzerInnen auch eine eigene Chipkarte bekommen, die nur dem Zugang zum Leihsystem dient und entsprechend gebrandet ist.

- Für die Anwendung des Einstiegsmodus erfolgt ebenso eine persönliche Registrierung, wobei der/die NutzerIn mit einem Elternteil erscheint und ggf. eine Bestätigung der Schule oder Behörde vorweist.

3.2.3.4. Reservierungen

Reservierungen sind grundsätzlich vorgesehen, um trotz begrenzten Fuhrparks die angestrebte Zuverlässigkeit des Angebots sicherzustellen. Reservierungen können entweder einmalig, oder dauerhaft für beispielsweise jeden Arbeitstag, jeden Mittwoch, jeden ersten Freitag im Monat u.dgl. vorgenommen werden. Sind am Startort Fahrzeuge vorhanden, so wird im Zweifelsfall das letzte Fahrzeug z.B. eine Stunde vor Reservierungsbeginn blockiert. Ist kein Fahrzeug vorhanden und trifft bis eine Stunde vor der gewünschten Abfahrt auch keines ein, so wird im Rahmen der Fahrzeugwiederverteilung eines zum Startort gebracht. Kürzer als eine Stunde vor Abfahrt kann also nur reserviert werden, wenn bereits ein Fahrzeug am Startort ist. Zu Regelungen bezüglich nicht in Anspruch genommener Reservierungen siehe 3.2.4.3.

3.2.3.5. Fahrzeugentnahme und -rückgabe

Auch die weiteren Leihvorgänge erfolgen durch das Einführen der jeweiligen Chipkarte in den Kartenleser außen am Fahrzeug. Nicht nur die Fahrzeugtüren, auch der Ladestecker entriegelt erst nach Anmeldung mit der Chipkarte, sodass ein böswilliges Unterbrechen der Ladung durch Dritte verhindert wird. Zur Rückgabe des Fahrzeugs müssen lediglich der Ladestecker angesteckt und die Fahrzeugtüren verschlossen werden, die dann automatisch verriegeln.

Soll das Fahrzeug bei Pausen unterwegs – z.B. während eines kurzen Einkaufs – abgesperrt werden, ist dies einfach durch neuerliches Stecken der Chipkarte möglich. Das Leihsystem bzw. der Bordrechner erkennen dann dadurch automatisch, dass es sich um keine Rückgabe handelt, dass das Fahrzeug an kein Ladekabel angesteckt ist.

Damit für die NutzerInnen zweifelsfrei erkennbar ist, ob die Ausleihe beendet wurde oder nicht, und um zu verhindern, dass es z.B. infolge unvollständigen Einsteckens zu überlanger Ausleihe mit entsprechenden Kosten für den/die NutzerIn kommt ist eine einfache Anzeige am Fahrzeug vorgesehen, die mit verschiedenfarbigen Leuchtsymbolen folgende fünf Zustände anzeigen kann:

- Grün: Verfügbar
- Gelb: Reserviert
- Rot: Entliehen – geöffnet
- Blau: Entliehen – geschlossen
- Kein Licht: Störung

Um mehrere zu kuppelnde Fahrzeuge auszuleihen, meldet sich der/die NutzerIn bei allen Fahrzeugen an und steckt die Ladekabel ab. Die einzelnen Fahrzeuge erkennen den Ankuppelvorgang und deaktivieren automatisch die Bedienelemente inkl. des fahrzeugseitigen Terminals, ein Kuppeln und Entkuppeln ist daher auch abseits der Leihstationen möglich.

3.2.3.6. *Navigationssystem*

Die Fahrzeuge sind mit einem Navigationssystem ausgestattet, das nicht nur wie in einem Privat-Pkw dem/der LenkerIn die Orientierung und das Auffinden der Leihstation zur Rückgabe erleichtert, sondern ohnehin für Flottenmanagement, Diebstahlschutz und Überwachung von Routenrestriktionen (Modus für eingeschränkt fahrtüchtige NutzerInnen) nötig ist. Zur Verbesserung der Usability und der intermodalen Verknüpfung sind weiters folgende Funktionalitäten vorgesehen:

- Bei Eingabe eines Umsteigepunkts zum öffentlichen Verkehr als Zielort: Echtzeitinformationen über Abfahrten, Ankünfte und Verspätungen ab dem prognostizierten Ankunftszeitpunkt
- Hat der/die NutzerIn zuvor in der Fahrplanauskunft eine Verbindung gesucht und ggf. ein Fahrzeug reserviert, stellt sich das Navigationssystem bei der Entnahme des Fahrzeugs automatisch auf die entsprechende Fahrtstrecke ein
- Bei spontaner Benützung ohne vorheriger Abfrage bzw. Reservierung schlägt das Navigationssystem wahrscheinliche Fahrtziele vor: entweder die letzten bzw. häufigsten Fahrtziele des/der jeweiligen Nutzers/in ab dem jeweiligen Ausleihstandort, die Rückfahrt zum letzten Ausleihstandort, oder bei erstmaliger Benützung die häufigsten Ziele in der Umgebung.
- Das Navigationssystem ist unmittelbar mit einem Fahrplanauskunftssystem verknüpft, sodass auch intermodale Fahrten spontan nach Fahrzeugentnahme geplant werden können. Ebenso können NutzerInnen, die eine längere Fahrt mit dem Leihfahrzeug planen, gegebenenfalls auf Alternativen mit Benutzung öffentlicher Verkehrsmittel hingewiesen werden.
- Allgemeine Verkehrsinformationen

Die Verwendung des Leihfahrzeugs ohne Verwendung des Navigationssystems (d.h. ohne Zieleingabe) ist im Sinne einer niederschweligen Benutzbarkeit für technikferne Zielgruppen zwar möglich, es gibt jedoch einen finanziellen Anreiz, das Fahrtziel einzugeben (siehe 3.2.4.3). Eine möglichst konsequente Eingabe der Fahrtziele durch die NutzerInnen (meistens ohnehin nur die bloße Bestätigung eines vorgeschlagenen Ziels) macht die Fahrzeugverteilung besser vorhersehbar und erleichtert dadurch Flottenmanagement und Wiederverteilung, außerdem kann rechtzeitig vor zu geringem Ladestand gewarnt werden.

Das fahrzeugseitige Terminalgerät ist neben dem für die akustischen Navigationshinweise nötigen Lautsprecher auch mit einem Mikrofon und Bluetooth ausgestattet. Dadurch kann es auch als Freisprecheinrichtung für das Mobiltelefon der/des Nutzers/in verwendet werden. Außerdem wird über die Mobilfunkverbindung zwischen Leihsystem und Fahrzeug unabhängig vom Mobiltelefon des/der Nutzers/in auch eine bidirektionale Sprechverbindung zwischen NutzerIn und SystembetreuerInnen ermöglicht. Diese könnte einerseits in Störungsfällen genutzt werden, aber auch zur Klärung eventuell nötiger Wiederverteidfahrten, beispielsweise wenn ein Fahrzeug unerwartet lange nicht an der Zielstation ankommt, dort aber bald benötigt würde.

3.2.3.7. *Abrechnung und Bezahlung*

Die Nutzung des Leihsystems kann wie folgt bezahlt werden:

- Post-Paid: Mit ihrer Identität und Konto- oder Kreditkartendaten registrierte NutzerInnen können eine monatliche Rechnung über ihre Fahrten und die darauf

angefallenen Entgelte erhalten. (ggf. mit Berücksichtigung von Zeitkartenabos oder Ermäßigungen).

- Pre-Paid: Der/die NutzerIn lädt vor den jeweiligen Fahrten ein Guthaben auf sein/ihr BenutzerInnenkonto. Die Entgelte werden davon abgebucht und vor Aufbrauchen des Guthabens wird der/die NutzerIn informiert, um es wieder aufladen zu können. Verglichen mit dem Vorbild der Pre-Paid-Handywertkarten wären folgende zwei Besonderheiten zu beachten:
 1. Im Gegensatz zum Handy, das nach Aufbrauchen des Guthabens die Verbindung unterbricht, bleibt das SynArea-Fahrzeug nicht irgendwo mitten am Weg stehen. Stattdessen wird es sukzessive immer langsamer, sodass man es zwar noch zurückbringen kann, eine unbezahlte Weiterverwendung aber zunehmend zwecklos wird.
 2. Wie bereits unter 3.2.3.3 erläutert, kann die spontane Erstfahrt (inkl. Rückfahrt) auch ohne persönliche Registrierung im Nachhinein bezahlt werden.

Zum Wiederaufladen des Pre-Paid-Guthabens kommen folgende Zahlungswege in Frage:

- Überweisung
- Online-Kreditkartentransaktion (auch von Dritten, z.B. den Eltern)
- Einweg-Kreditkarten, paysafecard, Ukash u.dgl.
- Kauf von Ladebons über Vertriebswege des öffentlichen Verkehrs (Fahrscheinautomaten, BuslenkerInnen, Personenkassen)
- Kauf von Ladebons über Partnernetzwerk (Trafiken, Post-Partner, Einzelhandel)
- Evtl. Bankomat analog zur Aufladung von Pre-Paid-Handys

Die grundsätzlich als Kombiangebot mit dem öffentlichen Verkehr gestalteten Pauschal- oder Paketangebote (siehe 3.2.4.2) werden über die Vertriebskanäle des öffentlichen Verkehrs (Fahrscheinautomaten, Personenkassen, BuslenkerInnen) verkauft. Die Verknüpfung einer Zeitkarte oder eines Minutenpakets mit einem BenutzerInnen-Konto des Leihsystems erfolgt durch Eingabe eines Zahlencodes via bordseitigem Terminal, Webseite, App oder Call-Center.

3.2.3.8. Störungsmanagement

Folgendes trägt dazu bei, die Unannehmlichkeiten etwaiger Störungen für die NutzerInnen gering zu halten:

- Mit einer ausreichenden Anzahl an auch technisch ausreichend geschulten SystembetreuerInnen in der Region wird im Bedarfsfall ein rasches Eintreffen am Ort der Störung garantiert und auch die Reparaturzeiten gering gehalten.
- Im Störfall kann die Ausleihe nach Rücksprache mit einem/r SystembetreuerIn auch außerhalb einer Leihstation beendet werden, wenn beispielsweise das Fahrtziel oder eine andere Leihstation in fußläufiger Reichweite sind. Abgesehen von technischen Störungen dient diese Funktion auch der Fahrzeugrückgabe, wenn sowohl die primär angestrebte Ziel-Station, als auch mögliche nahe gelegene Ausweichstationen überfüllt sind.
- Alternativ zur Abholung störungsbedingt „gestrandeter“ NutzerInnen durch SystembetreuerInnen können auch ohnehin an der jeweiligen Stelle vorbeikommende andere NutzerInnen entweder die betroffeneN NutzerInnen

direkt mit sich mitnehmen, oder ein leeres Fahrzeug mitbringen. Dies wird organisiert, in dem die SystembetreuerInnen aktiv NutzerInnen anrufen, aus deren bei Fahrtantritt eingegebenen Fahrtzielen ersichtlich ist, dass sie zeitnah an der Störungsstelle vorbeikommen werden.

- Fahrzeuge, die störungsbedingt nicht entliehen werden können, sind sofort daran erkennbar, dass keine Leuchte zur Anzeige des Entleihstatus leuchtet.
-

3.2.4. Preismodell

An das Preismodell für die Benutzung des Leihsystems und des Mikro-ÖV-Angebots werden folgende Anforderungen gestellt:

- Zur Optimierung von Erlös und verkehrlicher Wirkung ist die Anwendung des Prinzips des Ramsey-Pricings zweckmäßig: Höhere Zahlungsbereitschaften bestimmter Nachfragesegmente, also solcher mit geringer Preiselastizität, sollen möglichst vollständig abgeschöpft werden. Umgekehrt sollen möglichst wenige NutzerInnen mit geringer Zahlungsbereitschaft bzw. hoher Preiselastizität von zu hohen Preisen abgeschreckt werden.
- Um die politische Akzeptanz des Systems, insbesondere auch der Redimensionierung des planmäßigen Öffentlichen Verkehrs, sicherzustellen, sollten die Mobilitätskosten für die einzelnen NutzerInnengruppen in einer angemessenen Relation zum Status Quo liegen. Das gilt vor allem für Ausbildungs- und ErwerbpendlerInnen, denen aktuell stark geförderte Zeitkarten zu Gute kommen.
- Im Sinne eines einheitlichen und integrierten Verkehrsangebots ist das SynArea-Angebot möglichst nahtlos in das Tarifsysteem des öffentlichen Verkehrs einzugliedern.
- Um die Investitions- und Betriebskosten geringer zu halten, sind Effizianzanreize im Tarifsysteem vorzusehen, die insbesondere zu einem geringeren Fahrzeugbedarf führen.

3.2.4.1. *Einzelfahrten (selbst gelenkt)*

Zur Annäherung an ein angemessenes Preisniveau für Einzelfahrten im Leihsystem wurden folgende Vergleichsgrößen erhoben:

- Die reinen Treibstoffkosten des motorisierten Individualverkehrs (Pkw) liegen je nach Treibstoffverbrauch in einer Größenordnung von 5-10 Cent pro gefahrenem Kilometer
- Die gesamten variablen Kosten inklusive Wartungskosten, fahrleistungsabhängiger Abnutzung und dergleichen machen für Kleinwagen 11-14 Cent/km aus^{f,25}.

^f Die variablen (fahrleistungsabhängigen) und fixen Kosten des Autobesitzes wurden durch systematische Abfragen des Kostenvergleichstools „Auto-Info“ des ÖAMTC ermittelt. Dabei wurde stets das gleiche Modell mit gleichem Baujahr und Wiederverkaufsjahr ausgewählt, jedoch wahlweise 5.000, 10.000, 15.000 und 20.000 km Jahresfahrleistung. Aus diesen Jahresfahrleistungen und den erhaltenen Gesamtkosten über die Betriebsdauer wurde eine lineare Regression ermittelt, die den jährlichen Fixkosten (Ordinatenabschnitt) und den Kosten pro gefahrenem Kilometer (Steigung) entspricht. Aufgrund der Annahme, dass das SynArea-Angebot nur für NutzerInnen mit pragmatischen, nicht ausgeprägt Status- oder Fahrkomfort-orientierten Konsumpräferenzen konkurrenzfähig ist, wurden nur Kleinwagen als Beispiel-Pkw ausgewählt, konkret folgende Typen:

- Einzelfahrten im ländlichen öffentlichen Verkehr kommen bei Anwendung des Verkehrsverbund-Vollpreises^{26,27,28} je nach Entfernung auf 15 bis 30 Cent / km, Kurzstrecken kosten aufgrund der jeweiligen Mindestpreise auf teils über einen Euro pro Kilometer. Reine Bahnfahrten kosten bei üblichen Fahrtweiten des Regionalverkehrs für InhaberInnen einer ÖBB-Vorteilscard ca. 11 Cent / km, Kurzstrecken bis zu 25 Cent / km²⁹.
- Als Maß für die auf eine durchschnittliche Fahrleistung umgelegten Vollkosten eines zweckorientierten Pkw kann das aktuelle amtliche Kilomergeld von 42 Cent/km³⁰ herangezogen werden
- Die Minutentariife bestehender städtischer Free-Flow-Car-Sharing-Angebote entsprechen umgerechnet auf gefahrene Kilometer je nach Ausgabungsbedingungen folgenden Werten:

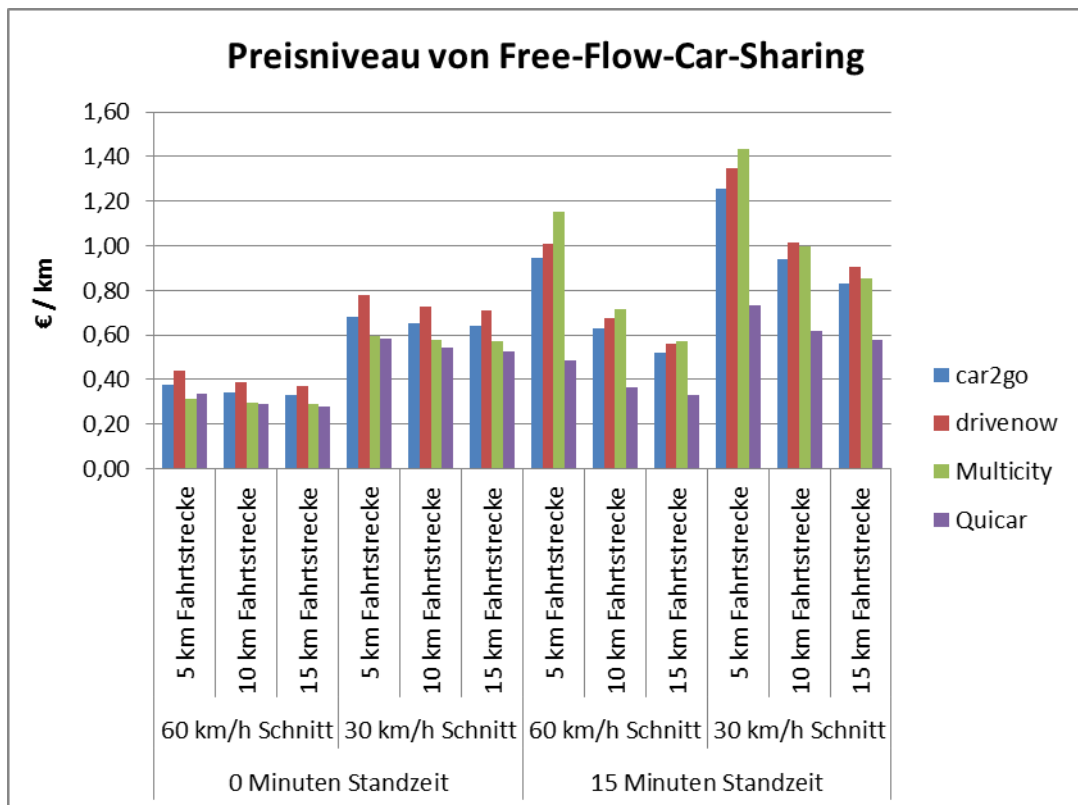


Abbildung 87: Kilometerkosten⁹ von Free-Flow-Car-Sharing. Quellen: car2go (Wien)³¹, drivenow³², Multicity³³, Quicar³⁴

- Weitere Werte für Kilometerkosten ergeben sich aus verkehrsmittelwahlabhängigen Zeitverlusten und einer entsprechenden Zeitbewertung. Dabei sind folgende Vergleiche möglich:
 - Die Verwendung des SynArea-Angebots kann Zeit sparen, wenn eingeschränkt fahrtüchtige Personen (z.B. Jugendliche) selbst fahren, anstatt von Familienmitgliedern gebracht und geholt zu werden. In diesem Fall ergeben sich bei doppelter Fahrtweite der holenden/bringenden Personen (zusätzliche Hin- und Rückfahrt zwischendurch) je nach

Opel Corsa 1,2; VW Golf Trendline 1,4; Dacia Sandero 1,2 16V; Fiat 500 0,9 TwinAir; Smart fortwo pure micro hybrid.

⁹ Allgemeine Annahmen: 20 Nutzungen jährlich, Verteilung der Anmeldegebühr auf 3 Jahre.

Durchschnittsgeschwindigkeit und persönlicher Zeitbewertung folgende Werte:

Zeitbewertung für Fahrzeit statt anderweitig nutzbarer Zeit	Entfallende Kosten für Holen & Bringen (doppelter Weg) bei Durchschnittsgeschwindigkeit		
	20 km/h	40 km/h	60 km/h
2 € /h	0,20	0,10	0,07
5 € /h	0,50	0,25	0,17
10 € /h	1,00	0,50	0,33
20 € /h	2,00	1,00	0,67

Tabelle 30: Entfallende, monetär bewertete Zeitaufwände für Holen und Bringen von Personen in Euro pro Kilometer

- Die Kosten für die Benutzung der SynArea-Leihfahrzeuge sind im Vergleich zu den Kosten einer Fahrt mit dem konventionellen Pkw um den monetär bewerteten, zusätzlichen Zeitaufwand zu korrigieren, der sich wie folgt darstellt:

Zeitbewertung für Fahrzeit statt anderweitig nutzbarer Zeit	Kosten wegen geringerer Geschwindigkeit ^h	
	45-km/h-Modus statt Pkw (100 km/h)	25-km/h-Modus statt Pkw (100 km/h)
2 € /h	0,02	0,05
5 € /h	0,05	0,13
10 € /h	0,09	0,27
20 € /h	0,18	0,54

Tabelle 31: Zusätzliche Kosten der Leihfahrzeugverwendung aus monetär bewertetem zusätzlichem Zeitaufwand gegenüber der Fahrt mit dem konventionellen Pkw in Euro pro Kilometer

- Zuletzt wurde versucht zu errechnen, wie viel die Einzelfahrt kosten darf, sodass ein Ausflug mit öffentlichem Verkehr und Leihfahrzeug noch günstiger ist, als ein Mietauto. Die Ergebnisse waren jedoch insofern nicht aussagekräftig, als sich je nach Rahmenbedingungen (Fahrtweite ÖV / Leihfahrzeug, Anzahl gemeinsam fahrender Personen) extrem unterschiedliche Werte ergaben.

Die Vergleichswerte der bestehenden ÖV-Einzelfahrt-Tarife sowie der variablen Autokosten müssen keineswegs als Richtschnur für den SynArea-Einzelfahrt-Tarif dienen: Erstens wurde die Konkurrenz mit dem ohnehin bereit stehenden Pkw von vornherein als unrealistisch angenommen (siehe 2.4), zweitens sollte unbedingt vermieden werden, dass

^h Berechnungsannahmen für die Ermittlung der Durchschnittsgeschwindigkeit: 75% Freiland mit 100 km/h zulässiger Höchstgeschwindigkeit, 25% Ortsgebiet mit durchschnittlich 45 km/h Höchstgeschwindigkeit, 5 Sekunden Ampelwartezeiten und verkehrsbedingte Verzögerungen pro Kilometer. Dies ergibt Durchschnittsgeschwindigkeiten von 69 km/h für konventionelle Pkw, 42 km/h im Moped-Modus und 24 km/h im Elektrofahrrad-Modus.

der öffentliche Verkehr teurer wäre, als das Leihfahrzeug und dadurch parallel zu unterausgelastetem öffentlichem Verkehr zusätzliche Leihfahrzeuge benötigt werden. Zur Festlegung des Einzelfahrt-Tarifs wird daher umgekehrt vom amtlichen Kilometergeld oder den bestehenden städtischen Car-Sharing-Tarifen bei günstigen Bedingungen ausgegangen, also etwa 40 Cent pro Kilometer. Nach Abzug von 10 Cent pro Kilometer entsprechend einer mittleren Zeitbewertung für die geringere Geschwindigkeit ergibt sich ein Einzelfahrt-Vollpreis von **30 Cent pro Kilometer**. Um komplizierte Sonderregelungen betreffend Zwischenabstellungen ohne Rückgabe zu vermeiden, wird jedoch ein äquivalenter, zeitabhängiger Tarif vorgeschlagen: Im **45-km/h-Modus** kostet die Nutzung **21 Cent pro Minute**. Entscheidet sich der/die NutzerIn hingegen für den **25-km/h-Modus**, kostet die Nutzung lediglich **6 Cent pro Minute**, wobei nicht für jede einzelne Fahrt oder sogar auf Teilabschnitten ein unterschiedlicher Geschwindigkeitsmodus gewählt werden kann, sondern für den/die NutzerIn insgesamt eine Geschwindigkeitsberechtigung gilt, die höchstens einmal monatlich geändert werden kann. Für **Abstellungen von mehr als 2 Minuten** kommt ebenfalls der Tarif von **6 Cent pro Minute** zur Anwendung. Im langsameren Modus entspricht der Minutentarif Kilometerkosten von etwa **15 Cent pro Kilometer**, also einem Halbpreis. Diese Struktur hat gegenüber einem von personenbezogenen Merkmalen wie z.B. Alter oder sozialer Bedürftigkeit abhängigen Halbpreis den Vorteil, dass keine personalintensiven Kontrollen der Ermäßigungsberechtigung notwendig sind. Zwecks Reduktion des Nutzungsentgelts grundsätzlich nur im langsamen Modus zu fahren lohnt nur für Menschen mit einer Zeitbewertung von weniger als 8,5 Euro pro Stunde, was beispielsweise einem Nettomonatslohn von 1520 Euro bei 40 Wochenstunden entspricht. Rechnet man fahrleistungsbezogene Vollkosten des Autoverkehrs (amtliches Kilometergeld) mit dieser Zeitbewertung um, so entspricht alleine der Zeitbedarf zum Verdienen der Fahrtkosten einer hypothetischen Geschwindigkeit von nur 20 km/h.

3.2.4.2. *Zeitkartenabonnements*

Folgende Vergleichsgrößen dienen der Herleitung adäquater Preise pauschalierter bzw. rabattierter Angebote für VielfahrerInnen:

- Das Pendant zu den rein variablen Kosten der Autonutzung (siehe Vergleichsgrößen für Einzelfahrttarife) sind die benutzungsunabhängigen, monatlichen Fixkosten des Autobesitzes, die sich für die gleichen Fahrzeugtypen auf 180 – 300 Euro pro Monat belaufen. Damit sind zwar einerseits auch Langstreckenfahrten möglich, andererseits fallen aber im Gegensatz zu einem pauschalen Angebot analog einer Zeitkarte des Öffentlichen Verkehrs zusätzlich die variablen Kosten an.
- Die aktuellen Jahreskartenpreise des Verkehrsverbunds Ost-Region³⁵ in den für die Beispielregionen maßgeblichen Entfernungskategorien betragen monatlich inklusive Kernzone Wien für eine Außenzone 63 Euro, für drei Außenzonen 101 Euro und für fünf Außenzonen 127 Euro. Für VielfahrerInnen auf routinemäßig gleichen Wegen entspricht dies gegenüber Einzelfahrten einer starken Ermäßigung, aufgrund der erheblichen Preisdegression mit der Entfernung insbesondere für LangstreckenpendlerInnen. Beispielsweise lohnt sich für die Kernzone und sechs Außenzonen die Jahreskarte verglichen mit dem Vollpreis bereits ab einer Hin- & Rückfahrt pro Woche.

Die starke Unterscheidung zwischen den Mobilitätskosten für gelegentliche und/oder räumlich vielfältige Freizeit-, Besorgungs- und Dienstwege einerseits und tägliche gleichen Arbeitswegen entspricht auch dem Gewicht der Gruppe der „PendlerInnen“ in

politischer Vertretung und öffentlicher Wahrnehmung. Um Erlöspotenzial und politische Akzeptanz möglichst gut miteinander zu vereinbaren, ist eine ähnliche Struktur auch für das SynArea-Leihfahrzeugangebot vorgesehen: Zur Gewährleistung geringer Kosten für den täglichen Arbeitsweg wird ein „**Letzte-Meile-Paket**“ angeboten, das nur für Fahrten zwischen dem Wohnort und der nächsten Haltestelle des planmäßigen Öffentlichen Verkehr gilt. Der Preis dafür beträgt im 45-km/h-Modus **12 Euro monatlich**, im 25-km/h-Modus **6 Euro monatlich**. Für BewohnerInnen von Ortschaften, die im Status Quo eine (nennenswerte) Anbindung im Öffentlichen Verkehr aufweisen und diese nach Umsetzung des SynArea-Konzepts verlieren, kann dieses Letzte-Meile-Paket auch gratis ausgegeben werden. In jedem Fall ist es aber nur zusammen mit einer Zeitkarte für den Öffentlichen Verkehr gültig. Für eine umfassende und vielfältige Mobilität mit unterschiedlichsten Fahrtzielen in der Region kann hingegen eine wesentlich höhere Zahlungsbereitschaft abgeschöpft werden, die sich der Differenz zwischen dem unteren Rand der Bandbreite monatlicher Autofixkosten und den Kosten für eine ÖV-Netzkarte für die gesamte Region annähert. Für eine Region der Größe der Projekt-Beispielregionen entspräche dies einem Preis von **72 Euro pro Monat** im schnelleren Modus, für Teile der Region entsprechend geringer, wie in Tabelle 32 dargestellt:

Anzahl Zonen	45-km/h-Modus	25-km/h-Modus
1 Zone	25	13
2 Zonen	35	21
3 Zonen	45	31
4 Zonen	54	40
5 Zonen	63	49
6 Zonen	72	58
Maximale Ausleihzeit pro Ausleihvorgang und Zone	00:30	00:45
Maximale Ausleihzeit pro Monat	2700 Minuten	

Tabelle 32: Vorgeschlagene Zeitkartenpreise für das SynArea-Leihsystem in Euro pro Monat bei einer Zonengröße wie im Verkehrsverbund Ost-Region üblich.

Der Preisunterschied zwischen langsamerem und schnellerem Modus wird geringer, je größer die abgedeckte Fläche ist, da grundlegende, sozialpolitisch förderwürdige Mobilitätsbedürfnisse eher den näheren Bereich um den Wohnort betreffen. Die Deckelung der Ausleihzeit pro Ausleihvorgang und Zone ist notwendig, damit die Fahrzeuge zwischen den Fahrten auch wieder im Leihsystem zur Verfügung stehen und nicht etwa stundenlang zuhause oder beim Arbeitsplatz abgestellt werden. Die maximale Ausleihzeit pro Monat hat wiederum den Zweck, exzessive Verwendung beispielsweise durch Zustelldienste zu verhindern.

Um zu vermeiden, dass aus finanziellen Motiven anstelle vorhandenen öffentlichen Verkehrs das Leihsystem verwendet wird, werden Zeitkarten für das Leihsystem grundsätzlich nur zusammen mit Zeitkarten für den öffentlichen Verkehr ausgegeben, die in Tabelle 32 angeführten Preise verstehen sich somit als Aufpreis zur Zeitkarte des öffentlichen Verkehrs.

Wien in Abbildung 88 gezeigt, kann jedoch für den öffentlichen Verkehr ein größeres Gültigkeitsgebiet gewählt werden, als für das Leihsystem:

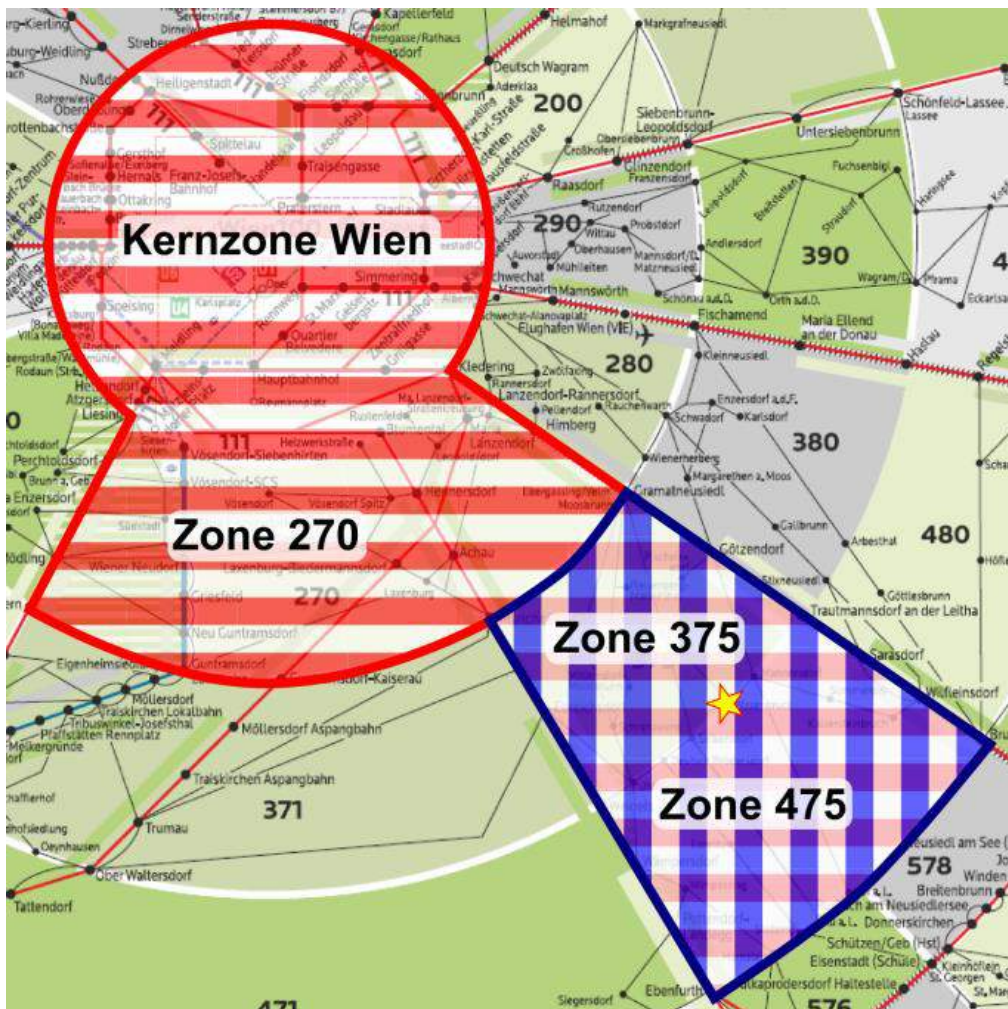


Abbildung 88: Zulässig unterschiedliche Abdeckung von ÖV-Zeitkarte (rote, horizontale Schraffur) und Leihfahrzeug-Zeitkarte (blaue, vertikale Schraffur). Kartengrundlage: Verkehrsverbund Ost-Region.

Der für ein umfassendes Mobilitätsangebot rund um den Wohnstandort zum Pauschalpreis sehr praktikable Zonen-Tarif wird in Österreich nur in den Verkehrsverbänden Ost-Region und Steiermark angeboten. In den übrigen Verkehrsverbänden werden teils streckenbasierte Tarife angeboten, teils wird auf Basis von sehr kleinen Wabenzonen gearbeitet. Zeitkarten gibt es in diesen Verbänden als de-facto-Streckenkarten (Wabenzonen, die praktisch nur eine Strecke abdecken), für Stadtverkehre und jeweils das gesamte Bundesland, in Tirol auch für definierte Teilregionen. Möchte man hingegen ein mittelgroßes Gebiet flächig abdecken, entspricht dies dem kaum degressierten Preis für die entsprechende Anzahl an Waben, d.h. es kommt nur unwesentlich billiger, als die Summe der Streckenkarten für alle in Frage kommenden Relationen. Um in solchen Tarifstrukturen ein preislich attraktives Angebot für umfassende Mobilität mit öffentlichem Verkehr und Leihfahrzeugen zu ermöglichen, müsste ein Paketmodell geschaffen werden, ähnlich wie es im Mobilfunk oder mittlerweile auch schon bei städtischen Car-Sharing-Anbietern^{36,37} üblich ist:

Pakete mit 1 Monat Gültigkeit (max. 1 Paket pro BenutzerInnenkonto und Monat)				
Paketpreis (Euro)	12	24	40	67
Minuten im 45-km/h-Modus <i>oder</i>	100	250	500	1000
Minuten im 25-km/h-Modus <i>oder</i>	500	1000	1500	2500
Kilometer im Plan-ÖV	100	250	500	1000

Tabelle 33: Vorgeschlagene Preise für integrierte Paketangebote mit öffentlichem Verkehr und Leihsystem

SchülerInnen, denen für den Weg zur Schule und zurück kein planmäßiger öffentlicher Verkehr zur Verfügung steht, können das Leihsystem im Rahmen der Schülerfreifahrt kostenlos (d.h. ohne zusätzliches Entgelt zum Selbstbehalt) benutzen, allerdings nur am direkten Weg zwischen Schul- und Wohnstandort.

Jahreskarten des öffentlichen Verkehrs sind anders als Wochen- und Monatskarten in der Regel nicht übertragbar. Wird ein Zeitkartenabo oder Minutenpaket für das Leihsystem dazugekauft, kann dieses nur mit einem BenutzerInnenkonto verknüpft werden (siehe 3.2.3.3), sodass die Benutzung durch mehrere Personen zumindest gleich unflexibel wird, wie die laufende Übergabe übertragbarer Wochen- oder Monatskarten zwischen verschiedenen Personen. Zusätzlich kann in den Benutzungsbedingungen vermerkt werden, dass nur der/die jeweilige ZeitkarteninhaberIn mit dem Zeitkarten- oder Paketangebot fahren darf. Missbrauch würde bei Störungen, Unfällen und dergleichen auffallen, systematische Kontrollen sind aber nicht vorgesehen.

3.2.4.3. Fair-Use-Regelungen und Effizienzanreize

Zur Gewährleistung einer hohen Effizienz des Leihsystems sind weiters folgende Fair-Use-Regelungen vorgesehen:

- Regelung zur Benutzung vorhandenen ÖVs: Es soll vermieden werden, dass zu viele NutzerInnen parallel zu einer vorhandenen Bus- oder Bahnlinie mit dem SynArea-Leihfahrzeug fahren und dadurch den Fahrzeugbedarf erhöhen. Dennoch ist bezüglich der unerwünschten Verwendung von SynArea-Leihfahrzeugen parallel zu vorhandenen Bus- oder Bahnlinien behutsam vorzugehen. Es sollte jedenfalls vermieden werden, dass NutzerInnen überraschend mit erhöhten Entgelten konfrontiert werden, weil sie nicht penibel genug überprüft haben, ob auf der jeweiligen Etappe nicht doch ein öffentliches Verkehrsmittel zur Verfügung steht. Noch weniger zumutbar wäre es für den/die NutzerIn, sich im Detail damit auseinanderzusetzen, in welcher Richtung die Leihfahrzeugnutzung aus Auslastungsgründen erwünscht oder unerwünscht ist. Es sind daher folgende Maßnahmen vorgesehen:
 - Bei Einzelfahrten ist kein Aufpreis für die unerwünschte SynArea-Leihnutzung vorgesehen.
 - Handelt es sich um eine Relation, auf der die Verwendung des SynArea-Leihsystems zu einer stärkeren Ungleichverteilung der Fahrzeuge führen

würde, wird in der Fahrplanauskunft bzw. dem Navigationssystem ausdrücklich auf den parallel führenden Öffentlichen Verkehr hingewiesen. In solchen Fällen werden vom System keine Fahrzeugreservierungen entgegen genommen.

- Handelt es sich hingegen umgekehrt um eine Relation, wo zwar (in der Regel umlaufbedingt) ein öffentliches Verkehrsmittel verkehrt, die parallele Verwendung eines SynArea-Leihfahrzeugs aber zur Wiederverteilung beitragen würde, wird umgekehrt nahe gelegt, mit dem Leihfahrzeug zu fahren. Eine Reservierung ist dann möglich und es wird auf mögliche Prämien zur Wiederverteilung hingewiesen.
- Bei der Anwendung von Zeitkartenabos oder Pauschalpaketen dürfen pro Monat maximal vier Leihfahrzeug-Fahrten durchgeführt werden, bei denen eine ÖV-Verbindung bestanden hätte und im Sinne des Leihsystems verwendet werden sollte. Wird dieses Kontingent überschritten, wird für alle diese Fahrten – auch die ersten vier – der Einzelfahrt-Tarif angewandt. Um auch hier Überraschungen zu vermeiden, wird der/die NutzerIn erstens bei Abschluss des Zeitkartenabos oder Pauschalpakets nach seiner/ihrer Stammrelation und Uhrzeit der meisten Fahrten gefragt. Zweitens erhält er/sie nach jeder Fahrt, für die die Verwendung eines öffentlichen Verkehrsmittels vorgesehen gewesen wäre, eine Warnung per SMS oder automatisiertem Anruf.
- Aufpreis für Nicht-Nutzung des Navigationssystems: Wird bei Fahrtantritt kein Ziel (und etwaige Zwischenaufenthalte) eingegeben, erschwert dies das Flottenmanagement im Sinne von Fahrzeugwiederverteilung und garantierter Bereitstellung reservierter Fahrzeuge. Wer ohne Zieleingabe losfährt oder das Fahrzeug aufgrund unangekündigter Zwischenaufenthalte wesentlich später zurückgibt, als aufgrund der Fahrtstrecke und dem Geschwindigkeitsmodus anzunehmen gewesen wäre, muss eine zusätzliche Ausleihzeit von 10 Minuten bezahlen (entspricht gemäß Minutensatz für Zwischenabstellung 60 Cent).
- Gebühr für nicht in Anspruch genommene Reservierungen: Um zu vermeiden, dass Fahrzeuge „für alle Fälle“ reserviert werden und damit anderen NutzerInnen nicht mehr zur Verfügung stehen, wird für nicht in Anspruch genommene Reservierungen eine Gebühr von 2 Euro verrechnet. Als nicht in Anspruch genommen gilt die Reservierung auch ab 15 Minuten verspätetem Eintreffen des/der Nutzers/in an der Leihstation, ab diesem Zeitpunkt steht das Fahrzeug auch wieder für andere NutzerInnen bereit. Auch hier wird bei Verwendung von Zeitkarten oder Minutenpaketen erst beim 5. Fall im Monat pönalisiert.
- Wiederverteil-Anreiz: Wird vom System erkannt, dass es bei der beabsichtigten Fahrt zweckmäßig wäre, zwecks Wiederverteilung Leerfahrzeuge mitzuführen, wird dies dem/der NutzerIn vorgeschlagen und mit einem entfernungsunabhängigen Pauschalbetrag von einem Euro pro überstelltem Fahrzeug honoriert. Diese Prämie wird zunächst mit den Entgelten des/der Nutzers/in gegenverrechnet. Übersteigen die Prämien für das Wiederverteilen der Fahrzeuge die Nutzungsentgelte, so wäre als Nächstes ein Anrechnen auf Zeitkarten oder sonstige Fahrkarten des öffentlichen Verkehrs denkbar. Aus Systembetreibersicht spricht auch nichts gegen eine Auszahlung oder die Ausgabe von übertragbaren Gutscheinen für öffentlichen Verkehr oder andere Leistungen, dies könnte jedoch steuer- oder gewerberechtliche Schwierigkeiten verursachen.

3.2.4.4. Zusammenfassung

Einen gesamthaften Überblick über das angebotene Preismodell gibt Tabelle 34:

Leistung		Entgeltsatz in Euro			
		45-km/h-Modus	25-km/h-Modus		
Selbst gelenktes Leihfahrzeug	Einzelfahrt pro Minute	Fahrt	0,21	0,06	
		Zwischenabstellung (mehr als 5 Minuten Stillstand oder Fahrzeug abgesperrt)	0,06		
	Zeitkarten-Abos	Letzte-Meile-Minipaket: Hin-&-Rückfahrt zum/vom ÖV, erhältlich nur zusammen mit ÖV-Zeitkarte, Monatsrate für Jahreskarte (Monatskarten pro Zeitraum +20%, Wochenkarten +50%)	Standardpreis	12	6
			Für Orte mit erheblicher Rücknahme der ÖV-Anbindung	In ÖV-Zeitkarte ohne Aufpreis inkludiert	
		In Verkehrsverbänden mit Zeitkarten für Flächenzonen: Tarife analog VOR-Außenzonen (ca. 12-16 km Seitenlänge), zusätzlich zum Zeitkartentarif für die jeweiligen ÖV-Zonen; Monatsrate für Jahreskarte (Monatskarten pro Zeitraum +20%, Wochenkarten +50%).	1 Zone	25	13
			2 Zonen	35	21
			3 Zonen	45	31
			4 Zonen	54	40
			5 Zonen	63	49
			6 Zonen	72	58
			Gesamtnetz	80	66
		Maximale Ausleihzeit pro Ausleihvorgang und Zone	00:30	00:45	
		Maximale Ausleihzeit in Minuten pro Monat	2700		
		In Verkehrsverbänden mit Zeitkarten als Streckenkarten: Pauschalpakete mit einem Monat Gültigkeitsdauer, gültig sowohl für SynArea-Leihsystem als auch öffentlichen Verkehr. Pro Person und Monat nicht mehr als ein Paket erhältlich, mit Streckenkarte und Letzte-Meile-Minipaket kombinierbar.	100 Min 45 km/h / 500 Min 25 km/h / 100 km ÖV	12	
	250 Min 45 km/h / 1000 Min 25 km/h / 250 km ÖV		24		
	500 Min 45 km/h / 1500 Min 25 km/h / 500 km ÖV		40		
	1000 Min 45 km/h / 2500 Min 25 km/h / 1000 km ÖV		67		
	Verwendung von SynArea-Leihfahrzeugen trotz vorhandener paralleler ÖV-Verbindung, sobald mehr als vier Mal pro Monat aufgetreten	Einzelfahrt-Tarif			
	Schulweg auf im Rahmen der Schülerfreifahrt definierter Relation	In Schülerfreifahrt inkludiert			
	Gebühren und Prämien	Nichtangabe des Zielorts oder unangekündigt verspätete Rückgabe	0,6		
Nicht oder mit mehr als 15 Minuten Verspätung in Anspruch genommene Reservierung (bei Dauer-Reservierungen sobald mehr als vier Mal pro Monat aufgetreten)		2			
Gutschrift (Prämie) für vom Leihsystem empfohlene Fahrzeugumstationierung pro zusätzlich mitgeführtem Fahrzeug		1			

Tabelle 34: Zusammenfassung des Preismodells

3.3. Bedarfsgesteuerter Mikro-ÖV

3.3.1. Funktionsweise

Als Quell- und Zielhaltestellen des Mikro-ÖV werden alle Leihstationen angeboten. Fahrtwünsche werden innerhalb von 60 Minuten ab Anmeldung realisiert, wobei weder Routen, noch mögliche Abfahrts- oder Ankunftszeiten fix festgelegt sind, sondern die Fahrten laufend nach eingegangenen Fahrtwünschen optimiert werden. Dabei kann es auch zu erheblichen Umwegfahrten oder Umstiegen zwischen Fahrzeugen kommen, jedoch kaum zu längeren Umsteigewartezeiten. Im Zuge der Verkehrsmodellierung wurde von einer mittleren Startwartezeit von 60 Minuten ausgegangen. Das bedeutet, dass wie bei einem Zweistundentakt des Öffentlichen Verkehrs die tatsächliche Ankunfts- bzw. Abfahrtszeit im Durchschnitt eine Stunde früher bzw. später liegt, als der zufällige Idealzeitpunkt aus NutzerInnen-sicht. Ausnahmen sind regelmäßig bestellte Fahrten, etwa von Kindern zur Schule, die an jedem Tag zur gleichen Uhrzeit abgeholt werden.

Die Anmeldung erfolgt wie bei konventionellen Bedarfs- und Mikro-ÖV-Systemen per Telefon, App oder Internet. Auch Bezahlung bzw. Fahrkartenkontrolle funktionieren gleichartig wie im planmäßigen Öffentlichen Verkehr. Ein Bezug zum sonstigen SynArea-Registrierungssystem ist nicht nötig, ein gemeinsamer Auftritt bezüglich Internetseite, App und Hotline aber möglich.

3.3.2. Preismodell

Die Benutzung von SynArea im Anrufsammeltaxi-Modus, also mit einer/m hauptberuflichen FahrerIn, verursacht aufgrund des Fahrpersonalaufwands naturgemäß höhere Kosten, als von den NutzerInnen selbst gelenkte Fahrten im Rahmen des Leihsystems. Abgesehen von sozialpolitisch bedingten Ausnahmen sollte daher zwecks Finanzierung und Lenkungswirkung auch ein höherer Fahrpreis eingehoben werden. Auch hier gibt es Orientierungshilfen aus dem bestehenden Verkehrswesen:

- Die Benutzung von Anrufsammeltaxis ist in der Regel in den allgemeinen ÖV-Tarif des jeweiligen Verkehrsverbundes integriert, allerdings wird zumeist ein sogenannter „Komfort-Zuschlag“ von 2-3 Euro (vereinzelt auch 1 oder 4 Euro) verlangt. Andere Mikro-ÖV-Formen wie teils ehrenamtlich gefahrene Dorfmobile oder Bürgerbusse haben entfernungsunabhängige Fahrpreise von 1-2,5 Euro abseits des Verkehrsverbundes. Dabei ist zu bedenken, dass diese Dienste meist ein Bedienebiet von wenigen Kilometern Durchmesser haben, sodass für die durchschnittliche Fahrt Fahrpreise von 0,5-1 Euro pro Kilometer zustande kommen.
- Taxitarife: Als einziges österreichisches Bundesland außer dem Ausnahmefall Wien hat Vorarlberg einen flächendeckenden amtlichen Taxitarif. Dieser sieht bei einem Grundtarif von 2,4 € (nachts 2,85 €) bei bis zu 7,5 km Fahrtstrecke einen Kilometertarif von 1,75 € vor, wobei die An- oder Rückfahrt nicht extra zu verrechnen ist.

Ausgehend von diesen Vergleichswerten wird für die Nutzung als Anrufsammeltaxi ein Aufschlag zum jeweiligen Verkehrsverbundtarif (oder der SchülerInnenfreifahrt) von **50 Cent pro Kilometer** vorgeschlagen. Folgenden NutzerInnengruppen wird ein **zuschlagsfreies Kontingent von 100 km monatlich** gewährt (z.B. werktäglich 2,5 km oder zwei Mal wöchentlich 12 km jeweils hin & retour):

- SeniorInnen über 70 Jahre
- Kinder unter 14 Jahren (Der Schulweg im Rahmen der Schülerfreifahrt wird bei fehlendem planmäßigem Öffentlichen Verkehr nicht eingerechnet)
- Aus gesundheitlichen Gründen nicht fahrtüchtige Personen

3.4. Business-Model und Arbeitsteilung bei der Bereitstellung von Leihsystem & Mikro-ÖV

3.4.1. Erforderliche Teilleistungen und verwandte Aktivitäten

Die Bereitstellung des SynArea-Leihsystems sowie der mit SynArea-Fahrzeugen durchzuführenden Mikro-ÖV-Dienste erfordert eine ganze Reihe unterschiedlicher Aktivitäten, die in Abbildung 89 mit schwarzen Kästchen dargestellt sind. Mit grauen Kästchen sind auch ohne SynArea stattfindende Aktivitäten dargestellt, welche jedoch eine im Weiteren noch zu erläuternde direkte oder mittelbare Wechselwirkung zu SynArea aufweisen:

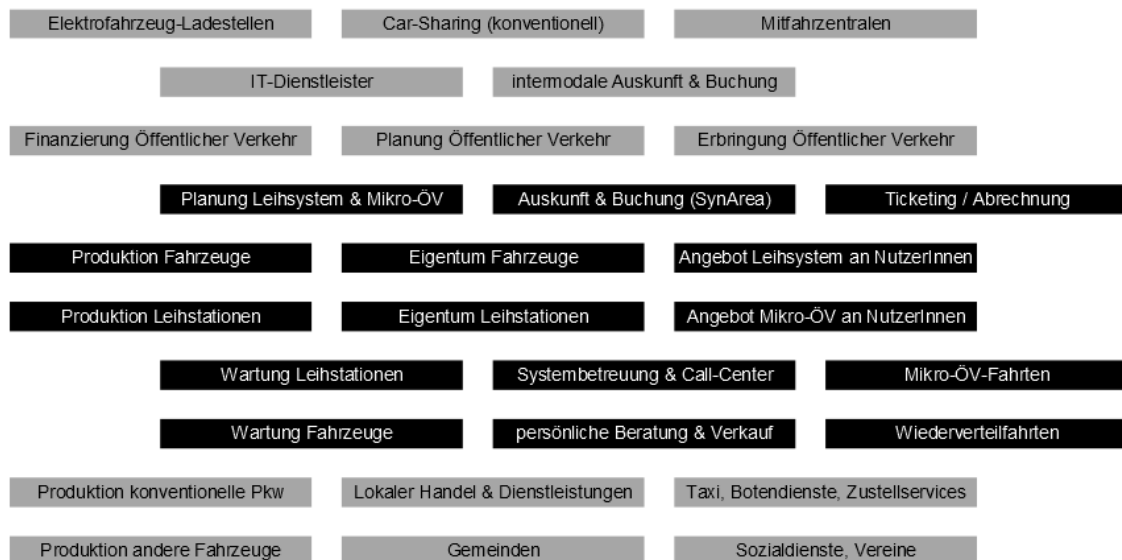


Abbildung 89: Zur Bereitstellung von Leihsystem und Mikro-ÖV erforderliche Teilleistungen und verwandte Aktivitäten

3.4.2. Koordination und gemeinsame Finanzierung von SynArea und öffentlichem Verkehr

Größere Car-Sharing-Systeme werden ebenso wie konventionelle Autoverleihangebote rein kommerziell betrieben und in einigen Städten, so auch in Wien, gibt es bereits mehrere konkurrierende Anbieter. Fahrradleihsysteme sowie lokale Car-Sharing-Angebote erhalten häufig kommunale Förderungen oder Förderungen aus Umweltprogrammen, werden aber entweder von BürgerInnen, Vereinen etc. initiiert oder von einem Systembetreiber den Kommunen angeboten. Für das SynArea-Angebot wären finanziell und organisatorisch noch wesentlich engere Beziehungen zur öffentlichen Hand, konkret zu den Aufgabenträgern des Öffentlichen Verkehrs erforderlich: Zur Finanzierung des Leihsystems ist eine Umgestaltung des regionalen Fahrplanangebots erforderlich, d.h. die Angebote des Leihsystems (inkl.

Anrufsammeltaximodus) und des öffentlichen Verkehrs müssen erstens aufeinander abgestimmt sein und können zweitens auch nicht laufend abgeändert werden, wenn beispielsweise einzelne Gemeinden zusätzlich teilnehmen oder aus dem System ausscheiden.

Ebenso wichtig ist es, dass die bestehenden Fahrplanauskunftssysteme des öffentlichen Verkehrs und die derzeit aufkommenden intermodalen Auskunft-, Buchungs- und Abrechnungssysteme für Verkehrsdienste, so sie sich mit entsprechender Verbreitung am Markt durchsetzen, die SynArea-Angebote enthalten, da diese sonst als „Insider-Optionen“ dem Großteil der potenziellen Nachfrage verborgen bleiben.

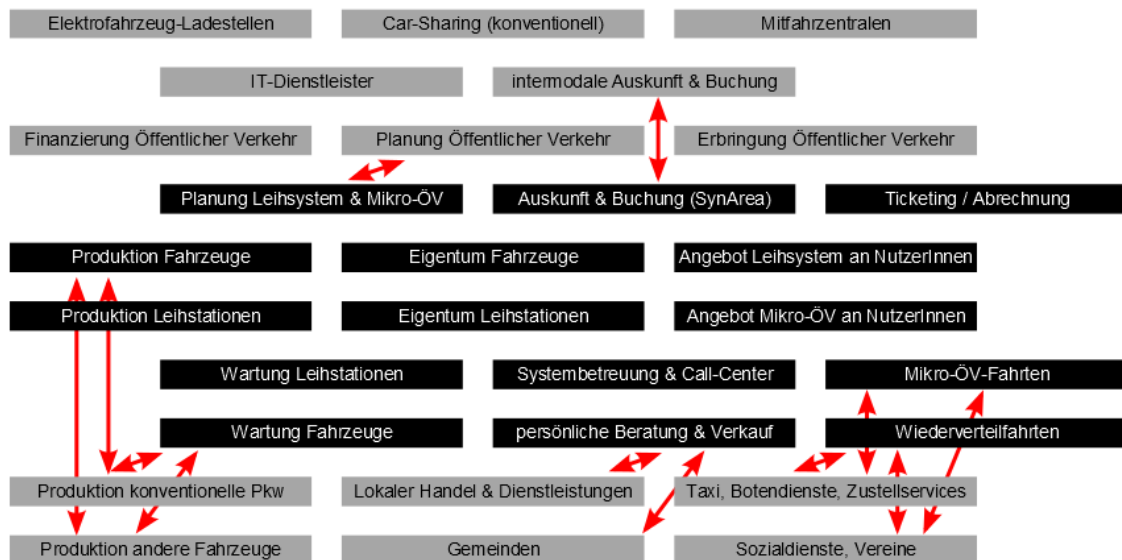


Abbildung 90: Synergien und Koordinationserfordernisse bei der Bereitstellung von Leihsystem und Mikro-ÖV

3.4.3. Mögliche Synergien bei der Bereitstellung des SynArea-Angebots

Als Hersteller der Leihfahrzeuge wäre ein etablierter Hersteller konventioneller Pkw mit entsprechender finanzieller Leistungsfähigkeit nahe liegend, denkbar wären hingegen auch Produzenten anderer Fahrzeuge, beispielsweise Leichtfahrzeugen oder kleinen elektrischen Kommunal- und Lieferfahrzeugen. Aufgrund der vielen Besonderheiten, in denen das Leihfahrzeug von anderen Fahrzeugen am Markt abweicht, erscheint es zweckmäßig, auch die Wartung durch den Hersteller oder von diesem beauftragte und geschulte Vertragswerkstätten durchführen zu lassen.

Zwecks effizienterer Dienstleistungserbringung gerade in dünner besiedelten Regionen wäre es auch denkbar, dass lokale personalintensive Tätigkeiten wie das Lenken von Anrufsammeltaxi- oder Wiederverteilmfahrten oder die persönliche KundInnenbetreuung von Gemeinden, Taxiunternehmen oder lokalen Organisationen wie Vereinen oder Sozialdiensten durchgeführt werden. Wenn diese Organisationen ohnehin geeignetes Personal beschäftigen und/oder ähnliche Tätigkeiten ausführen, könnte dies in Synergie kostengünstiger durchgeführt werden, Gemeinden könnten das SynArea-Angebot in dieser Form auch als Naturalzuschuss unterstützen. Umgekehrt wäre es auch denkbar, dass der SynArea-Betreiber selbst nebenbei derartige Tätigkeiten ausführt, um unter Nutzung von Synergien Zusatzeinnahmen zu lukrieren.

3.4.3.1. Exkurs: Wettbewerb um die Systemintegratorrolle im öffentlichen Verkehr

Aufgrund der engen Wechselwirkungen zwischen SynArea und dem Öffentlichen und intermodalen Verkehr im Bereich Auskunft / Buchung / Abrechnung ist auch eine Betrachtung der Akteurs- und Interessenslage in diesem Bereich angebracht:

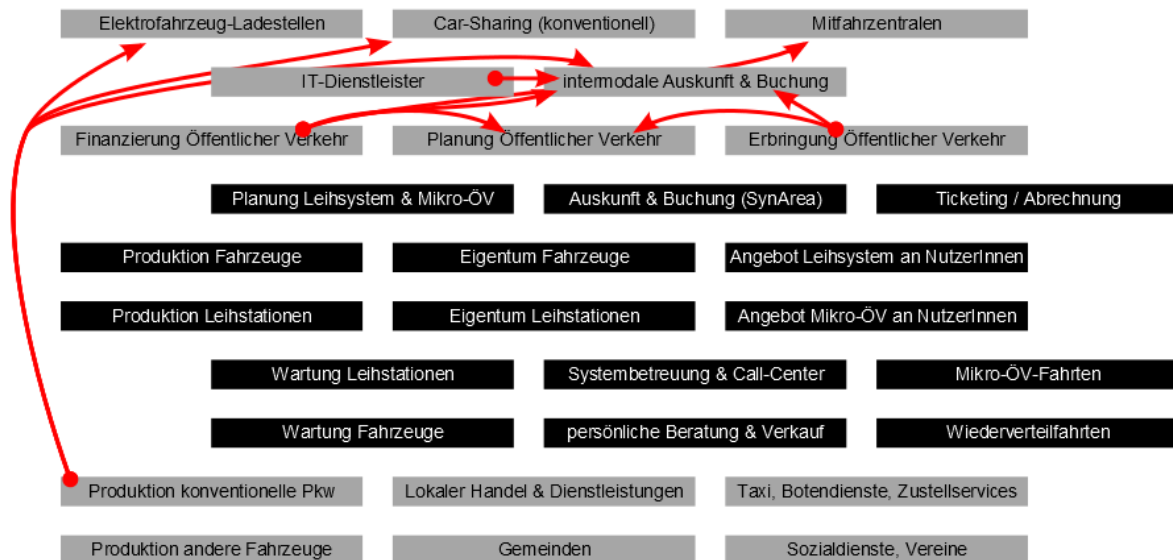


Abbildung 91: Bestrebungen unterschiedlicher Akteure, als verkehrsmittelübergreifender Mobilitätsanbieter aufzutreten.

Derzeit ist zu beobachten, dass vier Arten von Akteuren darum wetteifern, die Position eines „Systemintegrators“ einzunehmen, der in der Art eines „umfassenden Mobilitätsanbieters“ möglichst umfassende Informationen und nahtlose Buchungs- und Bezahlmöglichkeiten für eine Vielzahl alternativ oder nacheinander zu benutzender Verkehrsmittel oder -dienstleistungen anbietet, darunter auch Innovationen wie beispielsweise Internet-Mitfahrzentralen oder E-Car-Sharing:

- Die teils aus öffentlichen Dienststellen und teils aus vertraglichen Kooperationen von Verkehrsunternehmen (Verkehrsverbände) entstandenen Aufgabenträger als den Verkehrsunternehmen übergeordnete, quasi neutrale Stellen, die als Auftraggeber des öffentlichen Verkehrs auch zunehmend die Hoheit über die Angebotsplanung (Fahrplangestaltung) beanspruchen
- Die Verkehrsunternehmen, insbesondere große Verkehrsunternehmen wie ÖBB-PV AG und größere Stadtverkehrsbetriebe, welche wiederum unmittelbare Nachfrageexpertise für sich geltend machen und sowohl die Eigenständigkeit bei der Angebotsplanung, als auch ihre Rolle als KundInnenansprechpartner bekräftigen wollen. Dadurch soll auch die Ersetzbarkeit als reines Transportunternehmen verringert werden.
- Pkw-Hersteller, die ebenso „mehr als nur Autos verkaufen“ möchten, obwohl sie sich damit auf den ersten Blick selbst Konkurrenz machen. Hintergrund könnte einerseits sein, dass bei bestimmten städtischen Zielgruppen der Markt für Pkw im Individualbesitz bereits erkennbar gesättigt und rückläufig und somit mit anderen Angeboten tatsächlich schon mehr zu holen ist oder dass es sich ohnehin um Zusatzangebote wie Park & Ride handelt, die den eigenen Autobesitz nicht in Frage stellen. Andererseits kann freilich auch das Kalkül dahinter stehen,

mit Nischenanwendungen ein umweltfreundlicheres und moderneres Image aufzubauen, ohne für den Absatz im Kerngeschäft problematische Volumina zu erreichen.

- IT-Dienstleister wie Suchmaschinen oder Telekommunikationskonzerne, die hier wie auch in anderen Lebens- und Wirtschaftsbereichen nach Geschäftsgelegenheiten suchen.

Der Wettbewerb um die Rolle des Systemintegrators kann insofern positiv für die EndkundInnen wirken, als für das gleiche physische Verkehrsmittelangebot eine Auswahl unterschiedlicher Auskunft-, Buchungs- und Abrechnungsplattformen entsteht, aus denen man jene wählen kann, die einem am besten zusagt. Auch könnte aus dem Bestreben nach Alleinstellungsmerkmalen die Bereitschaft mancher Akteure steigen, Investitionen in innovative Systeme wie SynArea zu riskieren. Diese Chancen sind jedoch in zweierlei Hinsicht zu relativieren: Erstens besteht das Risiko, dass sich konkurrierende Anbieter in ihren Systemen gegenseitig boykottieren und ähnlich der Luftfahrt-Allianzen eine überschaubare Anzahl an Gruppierungen übrig bleibt, die in sich, aber nicht miteinander kompatibel sind. Ebenso ist es nicht unplausibel, dass „branchenfremde“ Aktivitäten, etwa ein Engagement von Pkw-Herstellern im intermodalen Bereich, von den bisherigen Akteuren boykottiert werden, um von Anfang an keine neue Konkurrenz aufkommen zu lassen. Zweitens ist zu bedenken, dass zwar viele Player in die Rolle drängen, als Systemintegrator den KundInnen gegenüber möglichst alle Mobilitätsformen anbieten zu können, aber nur ein Teil davon auch bereit ist, sich in einer größeren Wertschöpfungstiefe an der Erbringung von Mobilitätsdiensten außerhalb des bisherigen Kerngeschäfts zu beteiligen: Während die Automobilkonzerne BMW und Daimler selbst in Car-Sharing-Flotten investieren und auch der DB-Konzern selbst Fahrrad- und Pkw-Leihsysteme und Fuhrparkdienste anbietet, sieht beispielsweise die Konzernstrategie der ÖBB vor, Mobilitätsdienstleistungen außerhalb des Kerngeschäfts des Bahn- und Busverkehrs nur zu vermitteln und in eigene Auskunft-, Buchungs- und Abrechnungssysteme zu integrieren, aber nicht selbst bereitzustellen. Auch von den mit Steuergeldern agierenden Aufgabenträgern ist weniger zu erwarten, dass sie mit größeren Investitionsmitteln in die Bereitstellung neuer Mobilitätsdienstleistungen einsteigen, wohl aber die laufende und risikoarme Bezuschussung solcher Dienstleistungen im Rahmen eines umfassenden Mobilitätskonzepts.

3.4.4. Vorgeschlagenes Anbietermodell

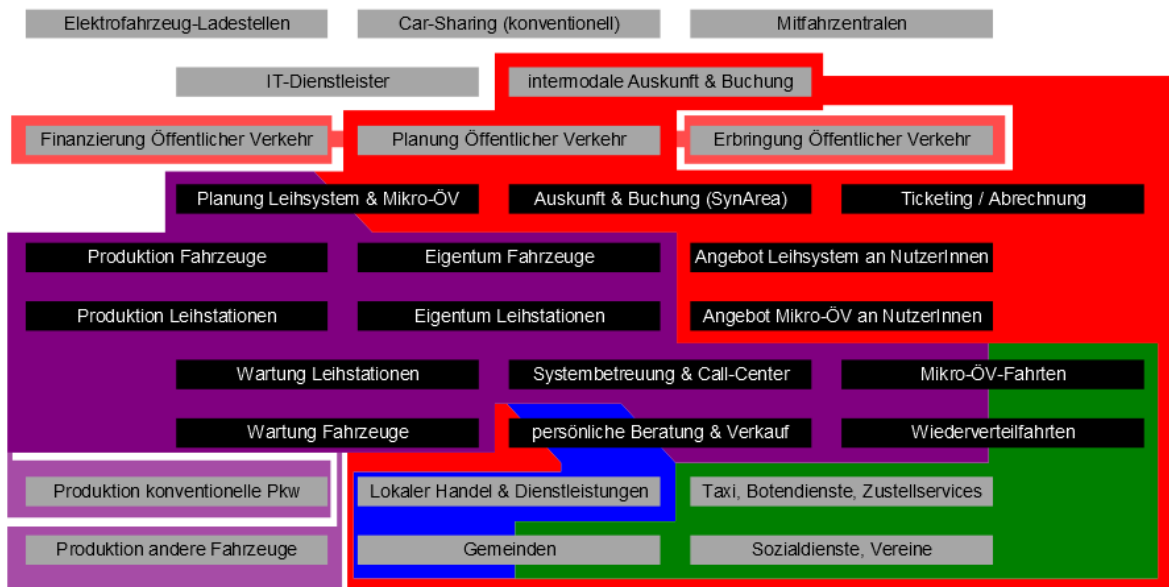


Abbildung 92: Vorgeschlagene Arbeitsteilung zur Bereitstellung des Leihfahrzeug- und Mikro-ÖV-Angebots:

- **Technisch-Betrieblicher Hintergrundanbieter**
- **Aufgabenträger des öffentlichen Verkehrs und/oder regional dominierendes Verkehrsunternehmen**
- **Partnernetzwerk für Registrierung und Vertrieb**
- **Lokal vorhandenes Fahrpersonal**

Nachdem die traditionellen Akteure des öffentlichen Verkehrs zwar über Kanäle der KundInnenkommunikation verfügen und häufig nach einer herausragenden Stellung als intermodaler Anbieter streben, zugleich aber oft vor größeren Investitionen abseits ihrer bisherigen Aufgabengebiete zurückschrecken, wird ein dazu komplementäres Angebot vorgeschlagen: Ein neues SynArea-Unternehmen bietet dem Aufgabenträger (ggf. auch dem dominierenden Verkehrsunternehmen) Einrichtung und technischen Betrieb des SynArea-Systems und die Angebotsplanung in Abstimmung mit dem öffentlichen Verkehr an. Den KundInnen gegenüber ist SynArea jedoch ein Angebot des Aufgabenträgers (oder des Verkehrsunternehmens) und es werden auch deren bestehende Strukturen bezüglich KundInnenkommunikation und –betreuung genutzt. Bei einer solchen Konzentration der investitionsintensiven Wertschöpfungsstufen wäre es auch gut denkbar, Produktion und Wartung von Fahrzeugen und Leihstationen in dieses Unternehmen zu integrieren, ähnlich wie manche Schienennahverkehrssysteme von großen Herstellern komplett mit Fahrzeugen und Infrastruktur sowie langfristigen Wartungsverträgen als „Turnkey Systems“ angeboten werden.

Die NutzerInnen-Entgelte werden in diesem Modell zusammen mit den Fahrgelderlösen des öffentlichen Verkehrs unmittelbar vom Anbieter bzw. Aufgabenträger des öffentlichen Verkehrs eingehoben, der wiederum den technisch-betrieblichen SynArea-Hintergrundanbieter für seine Leistungen bezahlt. Dabei wären folgende Entgeltregelungen zweckmäßig:

- Nachfrageunabhängiges Entgelt pro Jahr und Leihstation
- Entgelt pro Ausleihvorgang
- Entgelt pro Fahrzeug-km, ggf. unterschieden nach Haupt-/Nebenverkehrszeiten und Lastrichtung / Gegenlastrichtung
- Pönalen für fehlende Fahrzeugverfügbarkeit oder Störungen

Mit einer solchen Entgeltstruktur können die Risiken von Über- und Unterauslastung gleichmäßig zwischen den zwei Vertragspartnern aufgeteilt werden und beim Hintergrundanbieter verbleibt ein wesentlicher Anreiz, zuverlässige und für die EndkundInnen attraktive Leistungen zu erbringen. Durch Bemessung der Entgelte nach Kenngrößen von Angebot, Nachfrage und Zuverlässigkeit anstelle von Kenngrößen eingesetzter Ressourcen (z.B. Anzahl Fahrzeuge) soll der Hintergrundanbieter Wahlmöglichkeiten haben, wie er seine Kosteneffizienz steigern kann. Dennoch bedürfen beispielsweise Anpassungen am Leihstellennetz der Zustimmung des Auftraggebers um sicherzustellen, dass Leihstellennetz und ÖV-Angebot einander optimal ergänzen und auch die nachfrageschwächeren Teile der Region adäquat versorgt sind.

4. Machbarkeit und Beitrag zur Erreichung gesellschaftlicher Ziele

4.1. Akzeptanz durch potenzielle NutzerInnen

Basierend auf den definierten Beispielregionen (siehe 2.1), der Marktsegmentierung und den Use Cases (2.4) sowie des im Antrag beschriebenen Konzeptes wurden die qualitativen Interviews vorbereitet.

Im ersten Schritt wurde dazu der Fragebogenleitfaden mit Hinblick auf den relevanten Fragestellungen erarbeitet, mit den Projektpartnern abgestimmt und auf Verständlichkeit und voraussichtlich benötigter Zeitrahmen getestet (siehe Anhang (4)). Zur klaren und eindeutigen Kommunikation an die zu befragenden Personen sowie zur Konkretisierung der qualitativen Befragung wurde das Konzept visualisiert und optionale als auch bereits fixierte Fahrzeugeigenschaften mit den Projektpartnern definiert (siehe Anhang (5)).

Anschließend wurden Interviewteilnehmer entsprechend den Beispielregionen, der Marktsegmentierung und den Use Cases rekrutiert sowie entsprechende Interviewtermine vereinbart (siehe Anhang (6)). Die Rekrutierung erfolgte über die Kontaktierung von Gemeinden, Jugend- und Seniorenverbänden in den ausgewählten Beispielregionen und über persönliche Kontakte der Projektteammitglieder. Die Rekrutierung der SeniorInnen stellte dabei die größte Herausforderung und somit den höchsten Aufwand dar, da sehr viele unterschiedliche Seniorenobmänner und –frauen die Offenheit der SeniorInnen gegenüber neuen Fahrzeugkonzepten als sehr gering einschätzten und daher nicht für Tiefeninterviews bereit waren.

Nach erfolgter Vorbereitung wurden die Tiefeninterviews direkt im Mittelburgenland, im nördlichen Wiener Becken sowie in Wien durchgeführt, aufgezeichnet und mittels qualitativer Inhaltsanalyse ausgewertet. Anhand eines Plakates wurden die Aussagen der verschiedenen Interviewteilnehmer zu den unterschiedlichen Themenbereichen zugeordnet sowie die Kernaussagen hervorgehoben. Aus den Themengebieten sowie den Zielgruppen wurden Fazits abgeleitet (siehe Anhang (7) sowie Anhang (8)).

Die Kundenanforderungen an das Fahrzeug wurden mittels des KANO-Modells in Basis-, Leistungs- und Begeisterungsfunktionen gegliedert (siehe Abbildung 93).



Abbildung 93: KANO-Modell

Aufgrund der unterschiedlichen und teilweise schwer zu vereinbarenden Anforderung der sehr heterogenen Marktsegmente (siehe Anhang (7) sowie Anhang (8)) wurde für den weiteren Projektverlauf eine Zielgruppenschärfung als notwendig erachtet. Die Gestaltung des Fahrzeugkonzeptes sollte jene Zielgruppen in den Fokus stellen, welche den höchsten Nutzen aus dem Fahrzeugangebot ziehen würden. Weitere mögliche Zielgruppen sollen jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Es war möglich, bei der Dimensionierung des Fahrzeuges entweder auf eine erzielbare Geschwindigkeiten $> 45 \text{ km/h}$ zu verzichten, oder auf den völlig führerscheinfreien Modus mit $\leq 25 \text{ km/h}$. Nachdem die schnellere Variante alleine kaum einen Mehrwert gegenüber dem Stand der Technik darstellt (ländliches institutionelles Car-Sharing mit konventionellen Fahrzeugen wäre technisch längst machbar, ist aber offenbar nicht finanzierbar) und die Umgestaltung des planmäßigen öffentlichen Verkehrs nicht im erforderlichen Ausmaß ermöglichen würde (großer Anteil weiterhin nicht selbstlenkend mobiler Gruppen und daher hoher Fahrpersonalaufwand im Anrufsammeltaxibereich), wurde die Fokussierung auf Zielgruppen für die langsameren Fahrzeugvarianten beschlossen.

Nicht primär adressiert werden daher Menschen mit voller Fahrtüchtigkeit und jederzeit verfügbarem Auto, denen ein Fahrzeug mit 45 km/h Höchstgeschwindigkeit zu langsam ist. Hauptzielgruppen des Leihsystems sind dagegen Menschen mit eingeschränkter Fahrtüchtigkeit und/oder Pkw-Verfügbarkeit mit Wegen, die sie bisher im öffentlichen Verkehr oder als MitfahrerInnen unternommen oder gänzlich unterlassen haben: Kinder und Jugendliche (Zielgruppe mit vermutlich größter Affinität), Erwachsene und SeniorInnen mit nur teilweiser Autoverfügbarkeit oder eingeschränkter Fahrtüchtigkeit (auch StädterInnen mit Wegen in die Region). Dies bedeutet jedoch nicht, dass alle Menschen, die derzeit über ein Auto verfügen, von der Zielgruppe ausgenommen sind, weil es möglich ist, dass sich

manche Menschen aufgrund des neuen intermodalen Angebots dazu entscheiden, kein eigenes Auto mehr zu besitzen.

Um eine über das Fahrzeug hinausgehende durchgängige Produkt-, Service-, Markenexperience zu schaffen (Abbildung 94) wurden auch die Anforderungen an Services und Marke aufgenommen und analysiert (siehe Abbildung 95 und Abbildung 96).

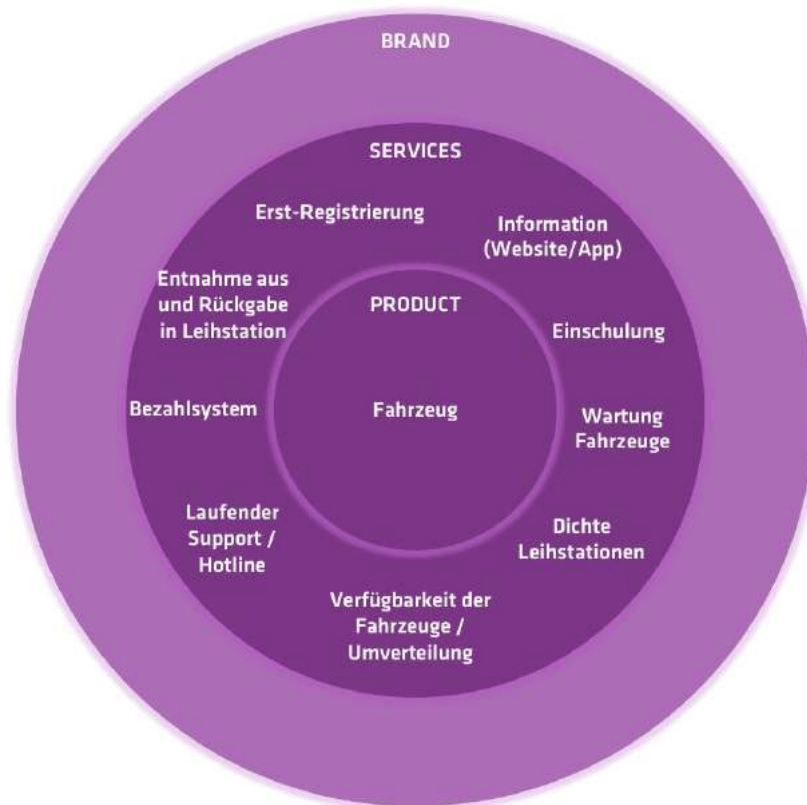


Abbildung 94: Zusammenspiel Produkte, Services und Marke

- Anmelde- und Bezahlungssystem
 - so einfach wie möglich (z. B. Prepaid-Ladekarte-System, Kreditkarte + Code, Mitgliedskarte, App, SMS)
 - örtlicher Ansprechpartner
- Website / App
 - Information über generelles Angebot
 - Überblick über und Navigation zu Leihstationen
 - Echtzeitinformation über Anzahl der Fahrzeuge und Ladestatus an einer Leihstation
 - Reservierung bei Bedarf
 - Überblick über derzeitiger Kostenstatus
- Support
 - Hotline für Notfälle
 - ev. „Hilfe-Button“
- Sonstige Ideen
 - Lademöglichkeit für Handy
 - Forum, über Mitfahrgelegenheiten
 - Preisvergünstigungen bei Akquise neuer Kunden

Abbildung 95: Anforderungen Services



Abbildung 96: Anforderungen Markenwerte

Da sich im Zuge der NutzerInnen Befragungen das Serviceangebot als wesentliches Kriterium für die Nutzungswahrscheinlichkeit der Fahrzeuge herausstellte, dieses wiederum stark vom Business Model beeinflusst wird, wurde beschlossen, Business Modell und Service Design im weiteren Projektverlauf näher zu betrachten (siehe 3.2.3 und 3.4).

4.2. Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen

Die Untersuchungen zu den Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen werden in mehreren Ebenen durchgeführt, um die verkehrlichen Effekte abzuschätzen, aber auch um eine Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu schaffen. Zusätzlich können daraus Größenordnungen zum geänderten Energieeinsatz und den Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen ermittelt werden.

Als Zielgrößen der verkehrlichen Wirkungsabschätzung werden definiert:

- Räumliche Verflechtung der relevanten Verkehrsmittel auf Wegebasis nach Wegezwecken (für Abschätzungen der Tarifwahl);
- Streckenbelastungen und Fahrleistungen (Fzg-km) je relevantem Verkehrsmittel und Straßenkategorie;
- Verkehrsleistungen (Personenkilometer) je relevantem Verkehrsmittel;
- Richtungsbezogene Nutzung der SynArea-Fahrzeuge nach Tagesgang als Grundlage für die Dimensionierung der Leihstellen;
- Kenngrößen für die Erreichbarkeit wie Reisezeiten und Umsteigehäufigkeiten zwischen den Zonen der Untersuchungsgebiete, sowie zu funktionalen Zentren.

4.2.1. Methodenauswahl, Modellaufbau und -kalibrierung

4.2.1.1. Ausganglage und Methodenwahl

Aus dem von der ÖBB PV-AG verwendeten Verkehrsnachfragemodells steht für die verkehrliche Wirkungsabschätzung ein Teilausschnitt des Netzmodells samt Wegematrizen zur Verfügung. Der Ausschnitt des Netzmodells wird so gewählt, dass ein Großteil (92 % der motorisierten Wege) der werktäglichen Verflechtungen darin abgebildet ist und wird mit einem „Teilnetzgenerator“ aus dem Gesamtmodell ausgeschnitten. Das Teilnetz wird im Norden durch Wien und den Verlauf der Donau bis inklusive Bratislava, im Osten mit dem im angrenzenden Ausland ausgedünnten Graphen von Bratislava über Győr bis Szombathely,

im Südosten entlang der Staatsgrenze bis südlich von Graz und im Westen durch den Grazer Raum sowie dem Verlauf der Südbahn bis Wien begrenzt. Für über das Teilnetz hinaus gehende Verkehrsbeziehungen werden aus dem umgelegten Streckennetz „Kordonzonen“ gesetzt und die Nachfrage wird aus dem belasteten Netz (Streckenspinne) in die Matrix je Verkehrsmittel geschrieben. Dadurch geht für das Teilnetz keine Nachfrage (Wege) verloren und die Streckenbelastungen im umgelegten Teilnetz sind praktisch ident mit jenen des Gesamtnetzes.



Abbildung 97: Straßen- und Bahnnetz sowie Abgrenzung der beiden Testgebiete des verwendeten Teilnetzes

Der für SynArea verfügbare Netzgraph enthält das Straßennetz auf NavTeq-Basis, ausgedünnt vor allem um nicht öffentliche Straßen und Wege. Grundsätzlich sind darin die für das Pkw-Routing relevanten Parameter definiert und bedatet; der Graph wird von der ÖBB PV-AG jedoch nicht für das Pkw-Routing verwendet und ist somit dahingehend nicht geprüft. Der Busfahrplan liegt inklusive der Lage der Haltestellen vollständig im HAFAS-Datenstand von 2013 vor, das eingearbeitete Bahnangebot hat den Datenstand aus dem Jahr 2014. Die Zonierung basiert grundsätzlich auf der Gemeindestruktur, ist jedoch nach den Anforderungen der PV-AG soweit verfeinert worden, dass eine plausible Modellierung der Verkehrsnachfrage je Bahnhaltestelle möglich ist.

Die Zonen sind über ihren Schwerpunkt verortet, haben jedoch keine Polygone, die eine räumliche Abgrenzung ermöglichen; Strukturdaten – wie Einwohner, Arbeits-, oder Schulplätze, Einkaufs- und Freizeiteinrichtungen, etc. – liegen für die Zonen nicht vor. Die Zonen sind jeweils mehrmals für den Individualverkehr an das Streckennetz angebinden, an das ÖV-Netz jeweils nur an den wichtigsten Haltestellen je Zone.

Die Verkehrsnachfrage liegt in Form von Pkw- und ÖV-Wegematrizen getrennt nach den Wegezwecken Arbeit, Ausbildung, Einkauf, Freizeit und Geschäftsverkehr vor wobei bei den ausbildungs- und arbeitsbezogenen Wegen nach Hin- und Rückrichtung getrennt wird; für den nicht-motorisierten Verkehr sind keine Wegedaten verfügbar.

In der derzeitigen Modellarchitektur berechnet die PV-AG die planfallabhängige Verkehrsnachfrage nicht mit einem vollständigen Vierstufenmodell der Verkehrserzeugung,

Verkehrsverteilung, Verkehrsmittelwahl und Routenwahl, sondern ausgehend von Pkw- und ÖV-Matrizen des Plan-Nullfalls mit einem Elastizitätenmodell, wo ausschließlich geänderte Angebotsqualitäten des öffentlichen Verkehrs berücksichtigt werden. Die Matrizen des Plan-Nullfalls wurden als „Startlösung“ aus den Ergebnissen des Verkehrsmodell Österreich 2025+³⁸ abgeleitet und entsprechend der geforderten räumlichen Auflösung der PV-AG verfeinert. In der derzeitigen Form besteht somit kein mathematisch formulierter Zusammenhang mehr zwischen Raumstrukturdaten, multimodalem Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage.

Für den Straßengüterverkehr liegen keine geeigneten Matrizen hinsichtlich Aktualität und Matrixstruktur vor.

Für die Modellkalibrierung sind für den öffentlichen Verkehr an 70 Querschnitten aggregierte Zählraten (aus Nah- und Fernverkehr) am Bahnnetz und für 32 ausgewählte Haltestellen aggregierte Summen aus Ein- und Aussteigern verfügbar. Für den Busverkehr liegen keine Zählraten vor; auch von Linien, die von der Postbus-GmbH als Teil der ÖBB PV-AG betrieben werden, können keine Zählraten zur Verfügung gestellt werden. Für den Straßenverkehr kann im Landesstraßennetz auf die Daten der ECE-Zählung aus dem Jahr 2010 und im Autobahn- und Schnellstraßennetz auf die von der ASFINAG publizierten Zählraten aus dem Jahr 2013 zurückgegriffen werden.

Aus der Zusammenschau der angestrebten Zielgrößen und den verfügbaren Instrumenten und Daten wird entschieden, die Nachfragewirkung mit dem bereitgestellten Modell zu berechnen, die Wirkungsabschätzung durch die Implementierung des SynArea-Systems jedoch auf die Änderung der Verkehrsmittelwahl der motorisierten Verkehrsmittel und die Routenwahl zu beschränken.

Dazu wird anhand des bereitgestellten Modells ein Verkehrsmittelwahlmodell unter Berücksichtigung der relevanten bzw. mit dem Modell abbildbaren Parameter geschätzt. Da für die SynArea-Modi sowie für die Park+Ride-Nutzung keine Wahlparameter zur Verfügung stehen und im Rahmen des Projekts keine repräsentative NutzerInnenbefragung möglich ist, müssen diesbezüglich Abschätzungen getroffen und gewisse Vereinfachungen in Kauf genommen werden.

Für SynArea-Fahrzeuge werden in das Modell folgende Einsatzmöglichkeiten implementiert, wobei im Leihfahrzeug-Modus je nach Zweck/Personengruppe zwischen zwei Geschwindigkeiten (25 km/h und 45 km/h) unterschieden wird. Die Leihstationen werden von den Zonen aus jeweils zu Fuß erreicht.

- Leihfahrzeug (von Leihstation zu Leihstation)
- Leihfahrzeug (von Leihstation zu Haltestelle) und ÖV-Etappe
- Bedarfsverkehr (von Zone zu Zone)
- Bedarfsverkehr als ÖV-Zubringer (von Zone zu ÖV-Haltestelle)

Ein intermodaler Weg aus Leihfahrzeug und ÖV setzt sich dabei aus einem IV-Ast (Leihfahrzeug zur Haltestelle) und einem ÖV-Ast (Starthaltestelle über die Haltestelle der Zielzone zur Zielzone) zusammen. Als Eingangsgrößen für das Wahlmodell werden die Kenngrößen und die Bewertung der vorkommenden Elemente beider Äste je Verkehrsmittel berücksichtigt und in der Nutzenfunktion abgebildet.

Die Bewertungen der Kenngrößen werden pragmatisch aus jenen der beiden Verkehrsmittel Pkw und ÖV übertragen. Diese Vorgehensweise ist streng methodisch nicht geeignet, um Nutzungspotentiale zu modellieren da die Bewertungsparameter eines nicht bekannten/schwer vorstellbaren neuen Verkehrsmittels grundsätzlich nicht von anderen übertragen werden können und gesondert ermittelt werden müssten. Aufgrund der

gegebenen Datenlage und des vorhandenen Budgets wird dieser Ansatz jedoch gewählt, um die räumliche und verkehrszweckbezogene Verteilung eines angestrebten bzw. als „realistisch“ eingeschätzten SynArea-Modal Split-Anteils unter Berücksichtigung der konkurrierenden Angebotsqualitäten von Pkw, SynArea und ÖV (Netzgeschwindigkeiten, Zu-/Abgangswiderstände, ÖV-Fahrplanqualitäten) abzubilden.

4.2.1.2. *Modellaufbau und -kalibrierung*

Die Verkehrsmittelwahl wird ausgehend von den bestehenden Matrizen der motorisierten Wege (Pkw plus ÖV) mit einem diskreten Wahlmodell (Logit- Modell) berechnet. Dazu wird die Verbindungsqualität je Verkehrsmittel und Relation (Quell-Ziel-Beziehung) über eine Nutzenfunktion beschrieben, die die Kenngrößen Startwartezeit, Zu- und Abgangszeit zum/vom Fahrzeug (der Haltestelle), Fahrzeit im Fahrzeug und Fahrtweite berücksichtigt. Die unterschiedliche Bewertung der Elemente der Nutzenfunktion in Abhängigkeit des Wegezwecks und des Verkehrsmittels wird über die bei der Modellkalibrierung zu bestimmenden Bewertungsparameter $\beta_{s,m,z}$ sowie den konstanten Nutzen $K_{m,z}$ beschrieben.

$$P_{m,z,ij} = \frac{e^{-U_{m,z,ij}}}{\sum e^{-U_{m,z,ij}}}$$

$$U_{m,z,ij} = \beta_{SWZ,m,z} * SWZ_{m,ij} + \beta_{ZAZ,m,z} * ZAZ_{m,ij} + \beta_{FZ,m,z} * FZ_{m,ij} + \beta_{FW,m,z} * FW_{m,ij} + \beta_{UWZ,m,z} * UWZ_{m,ij} + K_{m,z}$$

Wobei:

$P_{m,z,ij}$	Wahlwahrscheinlichkeit oder Modal Split-Anteil des Verkehrsmittels m für den Zweck z der Relation von i nach j
$U_{m,z,ij}$	Nutzen des Verkehrsmittels m für den Zweck z der Relation von i nach j
$SWZ_{m,ij}$	Startwartezeit in Minuten für das Verkehrsmittel m der Relation von i nach j
$ZAZ_{m,ij}$	Zu- und Abgangszeit in Minuten für das Verkehrsmittel m der Relation von i nach j
$FZ_{m,ij}$	Fahrzeit in Minuten für das Verkehrsmittel m der Relation von i nach j
$FW_{m,ij}$	Fahrtweite in Kilometer für das Verkehrsmittel m der Relation von i nach j
$UWZ_{m,ij}$	Umsteigewartezeit in Minuten für das Verkehrsmittel m der Relation von i nach j
$K_{m,z}$	Konstanter Nutzen des Verkehrsmittel m für den Wegezweck z
$\beta_{KG,m,z}$	Bewertungsparameter der Kenngröße KG, Verkehrsmittel m für den Wegezweck z

Die Kenngrößen je Verkehrsmittel werden soweit mit dem gegebenen Netzmodell möglich und sinnvoll aus dem Netzmodells berechnet, die Startwartezeit, die Zu- und Abgangszeit sowie die Umsteigewartezeit für den Pkw werden hingegen gesetzt.

		Einheit	Pkw	ÖV
Startwartezeit	SWZ	min	0	Netzmodell
Zu- und Abgangszeit	ZAZ	min	1	Netzmodell
Fahrzeit im Fahrzeug	FZ	min	Netzmodell	Netzmodell
Fahrtweite	FW	km	Netzmodell	Netzmodell
Umsteigewartezeit	UWZ	min	0	Netzmodell

Tabelle 35: Kenngrößenermittlung je Verkehrsmittel für die Kalibrierung

Beim Ausschneiden des Teilnetzes aus dem Gesamtnetz werden (wie oben beschrieben) an den Grenzen des Teilnetzes für alle über das Teilnetz hinaus gehenden Streckenbelastungen Kordonzonen gesetzt und die Matrizen je Verkehrsmittel ergänzt. Da die Verbindungsqualitäten dieser Relationen nicht über den gesamten Weg beschrieben werden können, werden alle Kordonzonen-Relationen aus dem Wahlmodell herausgenommen. Das betrifft 35.552 oder 7,9 % der 455.526 gebietsbezogenen Wege.

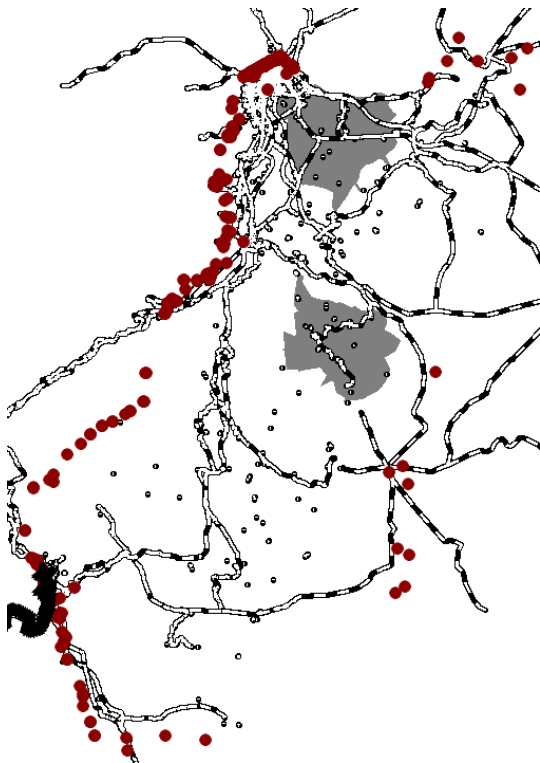


Abbildung 98: Testgebiete (grau) und Lage der Kordonzonen (rot)

Wege	Gesamt	Pkw	ÖV
Gesamtes Teilnetz	7.337.898	5.612.597	1.725.301
Testgebietsbezogene Relationen	455.526	376.142	79.384

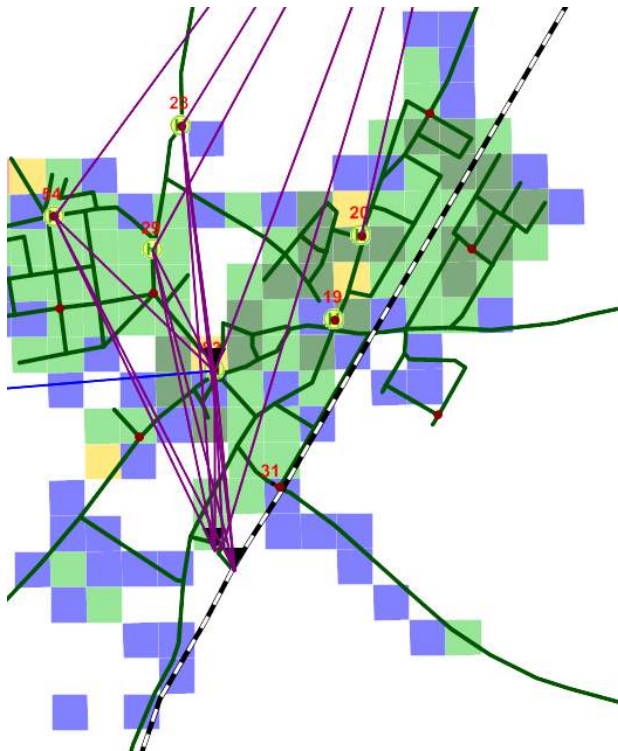
Wege	Gesamt	Pkw	ÖV
Testgebietsbezogene Relationen ohne Kordonzonen	419.574	346.772	72.802
Anteil der Wege der testgebietsbezogenen Relationen mit Kordonzonen an den Wegen aller testgebietsbezogenen Relationen	7,9 %	7,8 %	8,3 %

Tabelle 36: Anzahl der Wege im Teilnetz und der berücksichtigte Relationen ohne kordonzonenbezogene Wege

Im Ausgangszustand des Netzmodells sind die Zonen entsprechend der Anforderungen der PV-AG (plausible Modellierung der ÖV-Nachfrage je Bahnhofstabelle) an das Netzmodell angebunden, wodurch von allen, laut HAFAS-Daten, bedienten Bushaltestellen nur die jeweils wichtigsten (mit der größten Nachfrage bzw. Bedienungshäufigkeit) mit den Zonenschwerpunkten verbunden sind. Andererseits sind auch sehr lange Anbindungen implementiert, wo in Wirklichkeit die Haltestellenerreichbarkeit zu Fuß oder per Rad nicht realistisch ist. Zudem sind die stark vereinfachten Haltestellenzugangszeiten entsprechend der Kategorisierung aus dem VMÖ 2025+ implementiert. (Violette Linien von den Zonenschwerpunkten (schwarze Dreiecke) zu den ÖV-Haltestellen (in rot die Anzahl der Abfahrten pro Werktag) in Abbildung 99; die rotbraunen Punkte repräsentieren SynArea-Leihstellen, die färbigen Quadrate die Einwohnerdichte.)

Als ein Erfolgsfaktor für das SynArea-System wird die starke flächige Verfügbarkeit der Leihfahrzeuge mit kurzen Zugangswegen zu den Leihstellen gesehen. Um das modellmäßig berücksichtigen zu können muss die Konkurrenzsituation der Zugangszeiten zwischen Pkw, öffentlichem Verkehr und SynArea-System in das Netzmodell eingearbeitet werden. Zu diesem Zweck wird die Haltestellenerreichbarkeit mit einem geographischen Informationssystem wie folgt analysiert. Für jede Haltestelle in den beiden Testgemeinden wird die Anzahl der Einwohner in den Entfernungsklassen von 200, 400, 600, 800 und 1.000 Meter berechnet und daraus die mittlere Zugangsdistanz je Haltestelle im Bereich zwischen 200 Metern (= 1) bis 1000 Metern (= 0) linear gewichtet. Die so gewichtet gemittelte Zugangsdistanz je Haltestelle wird jeder ÖV-Anbindung dieser Haltestelle zugewiesen und über verkehrsmittelspezifische Zugangsgeschwindigkeiten wird im Modell die Zugangszeit je Verkehrsmittel berechnet.

Anbindungen im Ausgangszustand



Überarbeitete Anbindungen an ÖV-Haltestellen und SynArea-Leihstellen

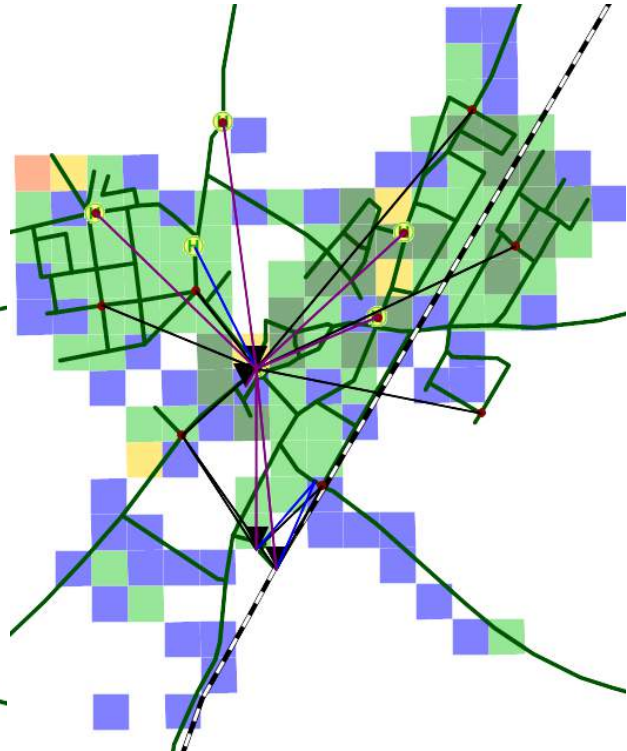


Abbildung 99: Anbindung der Zonen an das Netzmodell im Ausgangszustand und nach Überarbeitung der Anbindungen

Derzeit sind nur GIS-Daten zu den Einwohnern in der notwendigen Auflösung flächendeckend verfügbar; Daten zu anderen Aktivitäten wie Arbeits- oder Schulplätze, sonstiger Attraktivitäten (Einkauf, Freizeit, etc.) liegen nicht vor. Somit kann für die Berechnung der Zugangsdistancen nur die Einwohnerverteilung methodisch einheitlich berücksichtigt werden. In augenscheinlichen Fällen mit großen Arbeitgebern/Attraktoren im Einzugsbereich der Haltestellen werden die Zugangsdistancen ergänzend abgeschätzt.

Park+Ride-Nutzung ist eine direkte Konkurrenz zum SynArea-Konzept, weshalb das P+R-Angebot im Einflussbereich der beiden Testgebiete erhoben und in das Modell eingearbeitet wird. Das betrifft nach Angaben der ÖBB PV-AG und ergänzender Recherchen anhand von Luftbildern 27 offizielle P+R-Plätze bzw. als solche verwendete Parkplätze entlang der ÖV-Hauptachsen der beiden Testgebiete (22 im nördlichen Wiener Becken und 5 im Mittelburgenland). Diese wurden samt Kapazität als P+R-Zonen in das Modell eingearbeitet und mit einer aus dem Luftbild geschätzten mittleren Distanz zwischen Parkplatz und Haltestelle parametrisiert.

Im Verlauf der weiteren Arbeiten am Modell hat sich herausgestellt, dass die P+R-Nachfrage bereits in den Matrizen des Ausgangsmodells enthalten ist und sich die verfügbaren Ausgangsdaten somit nicht für die Kalibrierung der Bewertungsparameter für intermodale Wegen eignen.

Während der Arbeiten am Modell erkannte Fehler bzw. Ungenauigkeiten im Netzmodell werden korrigiert, sofern sie einen Einfluss auf die Zielgrößen der Modellierung haben.

Für die Routensuche und -wahl werden die Parameter aus dem VMÖ 2025+ verwendet, für den ÖV die aus dem Modell der ÖBB PV-AG.

Nachdem beim SynArea-Konzept das ÖV-Angebot aus der Fläche weitgehend zurückgenommen wird muss unter anderem die Erreichbarkeit der Schulen für die Schüler sichergestellt werden. Ergänzend zu den Schülerbussen und -bedarfsverkehren sollen Kinder ab dem Altern von etwa 12 Jahren und absolvierter „Radprüfung“ selbstständig SynArea-Fahrzeuge im langsamen Modus ($v_{\max} = 25 \text{ km/h}$) und ab 16 Jahren im schnelleren Modus ($v_{\max} = 45 \text{ km/h}$) lenken dürfen (siehe 3.2.3.2). Bei der Modellierung der Verkehrsnachfrage wird die langsamere Option bei den Zwecken Ausbildung und Freizeit berücksichtigt.

Die vorliegenden Hin- und Rück-Matrizen zum Zweck Ausbildung beinhalten die Wege der Ausbildungsstufen Volksschule, Unterstufe, Oberstufe und Hochschule/Erwachsenenbildung und wurden aus den nach Schulstufe getrennten Matrizen des VMÖ 2025+ abgeleitet. Da die Zonenstruktur des zur Verfügung gestellten Modells nicht (mehr) mit der des VMÖ 2025+ kompatibel ist müssen die Wegeanteile und die Verteilung der Wege im Raum abgeschätzt werden. Die Analyse der Einwohner- und Schulstatistiken hat eine sehr schlechte Korrelation mit den Ausbildungsmatrizen ergeben. Deshalb werden aufbauend auf eine Analyse der Wegematrizen aus dem VMÖ 2025+ die Ausbildungsmatrizen in zwei Klassen geteilt und dazu folgender pragmatischer Ansatz gewählt:

- Der Wegezweck „Ausbildung-I“ umfasst die Wege der Schulstufen Volksschule, Unterstufe und die Hälfte der Oberstufenwege (25 km/h-Modus), der Zweck „Ausbildung-II“ alle anderen Ausbildungswege (45 km/h-Modus).
- 95 % der Volksschul- und Unterstufenwege sowie 80 % der Oberstufenwege werden innerhalb der jeweiligen Testgebiete abgewickelt.

Mit diesen Annahmen werden die Ausbildungsmatrizen (ÖV und Pkw) des PV-Modells synthetisch in Ausbildung-I und Ausbildung-II getrennt und als Randbedingung werden die Modal Split-Anteile der beiden Ausbildungsklassen aus dem VMÖ festgelegt. Die resultierenden Gesamtmatrizen der motorisierten Wege (Pkw und ÖV) werden dem Wahlmodell für die Kalibrierung sowie den Planfallberechnungen zu Grunde gelegt. Ziel der Kalibrierung des Verkehrsmittelwahlmodells ist es, die Bewertungsparameter der einzelnen Kenngrößen und die konstanten Nutzen je Wegezweck zu bestimmen (siehe oben). Die Startwerte der Parameterschätzung werden aus jenen des VMÖ 2025+ abgeleitet, die darin jedoch wesentlich detaillierter (Verkehrsmittel x Wegezweck x Raumtyp) vorliegen. Anpassungen erfolgen iterativ, wobei das Verhältnis der Bewertungen der Kenngrößen zu einander und zum konstanten Nutzen erhalten bleibt. Gemessen wird die Qualität der Kalibrierung am Vergleich der Modal Split-Anteile je Wegezweck sowie der Weglängenverteilungen je Verkehrsmittel und Wegezweck.

Tabelle 37 zeigt das Kalibrierungsergebnis für den Modal Split Anteil nach Wegezweck. Sowohl für das Gesamtmodell als auch getrennt nach den Wegezwecken ist die Abweichung jeweils kleiner als ein Zehntel Prozentpunkt; das Kalibrierungsergebnis auf den Modal Split kann also als sehr gut bezeichnet werden.

Modal Split-Anteile in Prozent	Bestand		Kalibrierung		Delta	
	Pkw	ÖV	Pkw	ÖV	Pkw	ÖV
Zweck						
Arbeit	83,5	16,5	83,5	16,5	0,0	0,0
Ausbildung-I	11,8	88,2	11,8	88,2	0,0	0,0
Ausbildung-II	39,9	60,1	39,9	60,1	0,0	0,0
Einkauf	91,0	9,0	91,0	9,0	0,0	0,0

Freizeit	87,6	12,4	87,6	12,4	0,0	0,0
Geschäftsverkehr	84,3	15,7	84,3	15,7	0,0	0,0
Gesamt	84,8	15,2	84,8	15,2	0,0	0,0

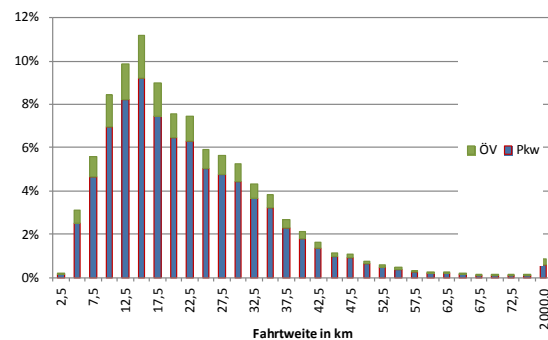
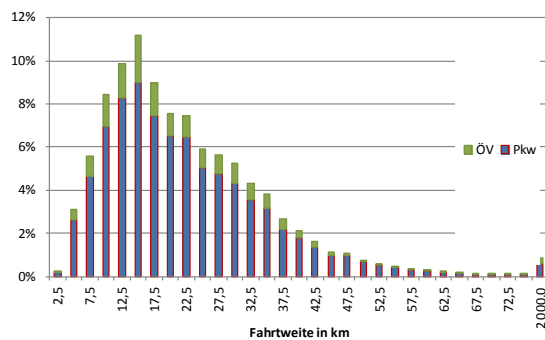
Tabelle 37: Vergleich der Modal Split-Anteile des Ausgangsmodells und der Kalibrierung

Zur Beschreibung und Kalibrierung der Weglängenverteilung sowie der Modal Split-Anteile über die Weglängen wurden für den Bereich von 0 bis 75 Kilometern Weglänge 30 Klassen mit einer Breite von 2,5 Kilometern gebildet. Somit kann die Weglängenverteilung je Verkehrsmittel präzise beschrieben werden. Folgende Abbildung 100 zeigt die Fahrtweitenverteilungen sowie die Modal Split-Anteile je Weglängenklasse aus dem Ausgangsmodell und dem Kalibrierungsergebnis beispielhaft für den Wegezweck Arbeit. Die Verteilung der Wege über die Distanzen können sehr gut reproduziert werden und auch die Modal Split-Anteile der Weglängenklassen mit den häufigsten Wegen können gut re-modelliert werden. Leichte Abweichungen ergeben sich bei den Modal Split-Anteilen ab ca. 45 Kilometer Weglänge, was insgesamt jedoch nur ca. 5 % der Arbeitswege betrifft und somit auf das Gesamtergebnis bezogen vernachlässigbar ist.

Ausgangsmodell

Kalibrierung

Fahrtweitenverteilung



Modal Split-Anteile je Weglängenklasse

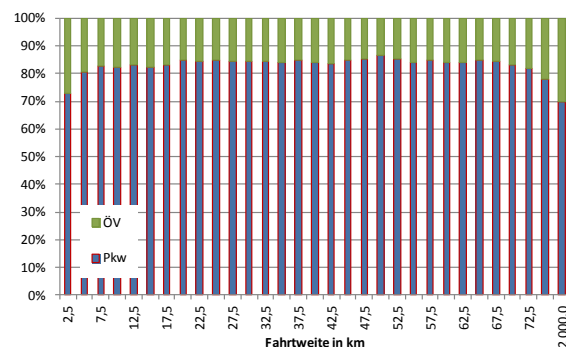
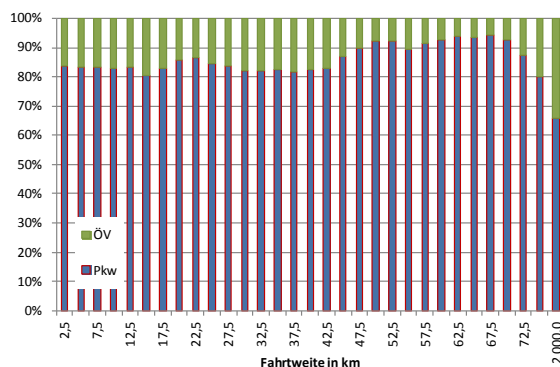


Abbildung 100: Vergleich der relativen Fahrtweitenverteilung nach Verkehrsmittel und Modal Split-Anteile je Weglängenklasse des Ausgangsmodells sowie der Kalibrierung für den Wegezweck Arbeit

Für statistische Beschreibung des Kalibrierungsergebnisses über die Weglängenverteilung eignet sich das Koinzidenz-Verhältnis (KV). Es bietet die Möglichkeit, zwei Verteilungen mit einander zu vergleichen und wird im Ergebnisbericht des Forschungsprojekts QUALIVERMO³⁹ für die Beschreibung der Kalibrierungsqualität von Weglängenverteilungen empfohlen. Dabei werden die Dichtefunktionen der zu vergleichenden Variablen mit der unten angeführten Formel verknüpft. Die Spannweite des KVs bewegt sich zwischen 0 und 1, wobei 0 keine Übereinstimmung und 1 vollständige Übereinstimmung bedeutet. Für die Re-Modellierung der Pkw-Wege ergibt sich über alle Wegzwecke ein über die Anzahl der Wege gewichtetes KV von 0,99; am wenigsten exakt kann die Verteilung der Pkw-Ausbildungswege nach modelliert werden, das KV beträgt dennoch 0,96. Für den Öffentlichen Verkehr beträgt das KV über alle Wegzwecke 0,93; am schwierigsten sind die Weglängenverteilungen der Freizeit- und Geschäftsverkehre nach zu modellieren, für die ein KV von 0,89 und 0,88 ermittelt wird. Der Grund dafür liegt einerseits in der Verfeinerung des Netzmodells – präzisere Abbildung der Zu-/Abgangswiderstände zu/von den Haltestellen, die in im Ausgangsmodell nicht in dieser Qualität abgebildet sind, andererseits darin begründet, dass die über die Verteilung der maßgebenden Strukturdaten dieser Zwecke keine genauen Daten vorliegen.

Ein höheres KV war bei der Kalibrierung nur auf Kosten der Modellsensitivität zu erreichen, d.h., dass das Modell auf Änderungen der maßgebenden Kenngrößen nicht mehr adäquat reagiert. Somit wurde die Kalibrierung mit den unten dargestellten Ergebnissen abgeschlossen. Das KV liegt für beide Verkehrsmittel über 0,90, womit die Kalibrierungsqualität der Weglängenverteilung als gut bezeichnet werden kann.

Mit dem kalibrierten Wahlmodell wurden Sensitivitätstests auf die maßgebenden Kenngrößen Fahrzeit im Zu-/Abgangszeit, Bedienungshäufigkeit, Fahrzeug und Umsteigewartezeit gerechnet und die Ergebnisse mit Elastizitäten aus der Literatur verglichen.

$$KV = \sum_k RH_{min,k} [-]$$

Wobei:

KV	Koinzidenz-Verhältnis
$RH_{min,k}$	kleinerer Wert der relativen Häufigkeit beider Entfernungsklassen k
k	Anzahl der Entfernungsklassen

Tabelle 38: Koinzidenz-Verhältnisse der Kalibrierung nach Wegezweck und Gesamt

Wegezweck	Pkw	ÖV	Gesamt
Arbeit	0,99	0,96	1,00
Ausbildung-I	0,96	0,99	1,00
Ausbildung-II	0,96	0,98	1,00
Einkauf	1,00	0,96	1,00
Freizeit	0,98	0,89	1,00
Geschäftsverkehr	0,98	0,88	1,00
Gesamt	0,99	0,93	1,00

4.2.1.3. *Abschätzung einer theoretischen Car-Sharing-Nachfrage*

Für die Kalibrierung des Verkehrsmittelwahlmodells stehen keine Bewertungsparameter für die SynArea-Fahrzeuge sowie für Park+Ride- oder Car Sharing-Nutzung aus Österreich zur Verfügung. Somit wurde eine Recherche zur tatsächlichen Nutzung von Car Sharing-Angeboten und deren Modellierung im deutsch- und englischsprachigen Raum durchgeführt. Zur Verkehrsnachfragemodellierung von Car Sharing-Angeboten konnten keine Publikationen mit hilfreichen Angaben gefunden werden. Veröffentlichungen zum Thema Car Sharing beschränken sich in den meisten Fällen auf die Angebotsbeschreibung, die Angabe der Fahrzeugflotte, einer undifferenzierten und breiten Angabe einer „Auslastung“ bzw. einer erforderlichen regelmäßigen NutzerInnenanzahl für einen wirtschaftlich darstellbaren Betrieb. In den allermeisten Fällen kann darauf keine Abschätzung von Nutzerpotentialen gestützt werden. Eine Ausnahme bildet das AIM-Car Sharing-Barometer⁴⁰ des Automotive Institute for Management, wo im Jahr 2013 mehr als 1.200 Car Sharing-NutzerInnen Deutschlands zu ihrem tatsächlichen Nutzungsverhalten befragt wurden. Unter anderem wurden darin die Struktur der NutzerInnen und die Häufigkeit der Car Sharing-Nutzung getrennt nach Free-Floating- und stationsgebundenen Angeboten erfragt.

Unterstellt man, dass die abgefragte Car Sharing-Nutzung der Car Sharing-Kunden aus Deutschland auf die SynArea-Nutzung der Gesamtbevölkerung der Testgebiete übertragen

werden kann, wird darauf aufbauend unter Annahme verschiedener Modal Split-Anteile (MOP 2008⁴¹, NÖ 2008⁴², Vbg 2013⁴³) das Verlagerungspotential von Pkw-Wegen auf SynArea-Wege auf ca. 9 % (stationsgebundene Systeme) bis ca. 15 % (Free Floating-Systeme) geschätzt. Das entspricht einem Modal-Split-Anteil von ca. 4 % bis 8 %. Im Vergleich dazu wurde für gesamt Niederösterreich bei der Erhebung 2008 ein Radverkehrsanteil von 8 % ermittelt⁴⁴.

4.2.1.4. *Modellerweiterungen und Vorbereitungen für die Modellierung der Planfälle*

Bei der Verkehrsmittelwahlmodellierung der Angebots-Varianten werden folgende Verkehrsmittel berücksichtigt:

- Pkw
- ÖV
- SynArea-Nutzung
 - Bedarfsverkehr (Tür zu Tür)
 - Bedarfsverkehr als Zubringer zum ÖV
 - Leihfahrzeug (von Leihstation am Startort zur Leihstation am Zielort)
 - Leihfahrzeug als Zubringer zum ÖV (von Leihstation zur ÖV-Haltestelle)

Die Leihfahrzeuge werden in zwei Geschwindigkeitsklassen (25 km/h für Schüler zwischen 12 und 16 Jahren und 45 km/h) implementiert; kombinierte Wege aus SynArea-Fahrzeug und ÖV werden als intermodale Wege unter Berücksichtigung der Elemente der IV- und ÖV-Etappe berücksichtigt.

Die Leihstationen wurden vorab aufgrund der Raumdichte und -nutzung verortet (siehe 3.1) und als Zonen in das Modell implementiert. Mittels GIS-Analyse wurde die Zahl der Einwohner im Umkreis von 200 bis 500 Metern der Leihstationen in 4 Distanzklassen ermittelt und daraus eine gewichtet Zugangsdistanz je Leihstation berechnet. Jeder Zone sind mehr als eine Leihstation zugeordnet. Um den Einzugsbereich der Leihstationen bei der Routensuche und Umlegung zu berücksichtigen, wird die Verkehrsnachfrage über die Zahl der Einwohner je Distanzklasse und Leihstation gewichtet in das Netz eingefüllt (fixe Anbindungsanteile im IVⁱ). Dieser Vorgehensweise liegt die Annahme zu Grunde, dass jeder Nutzer die nächst gelegene Leihstation aufsucht und davon ausgehen kann, dort ein einsatzbereites SynArea-Fahrzeug vorzufinden. (Siehe Abbildung 99 auf Seite 153). Abbildung 101 zeigt die Verteilung der gewichtet gemittelten Zugangsdistanzen je Leihstation als Resultat der GIS-Analyse. Zugangsdistanzen von null und 450 Metern ergeben sich aus der GIS-Analyse für Standorte, wo keine oder nur sehr wenige Einwohner im Einzugsbereich wohnen. Diese Stationen sind als Umsteigestationen zwischen SynArea und ÖV implementiert und deren Zugangsdistanzen wurden in einem Post-Prozess pauschal auf 150 Meter gesetzt.

ⁱ Im ÖV wird die Nachfrage nicht nach vorgegebenen Anteilen, sondern nach der Verbindungsqualität je Relation in das Netzmodell eingefüllt.

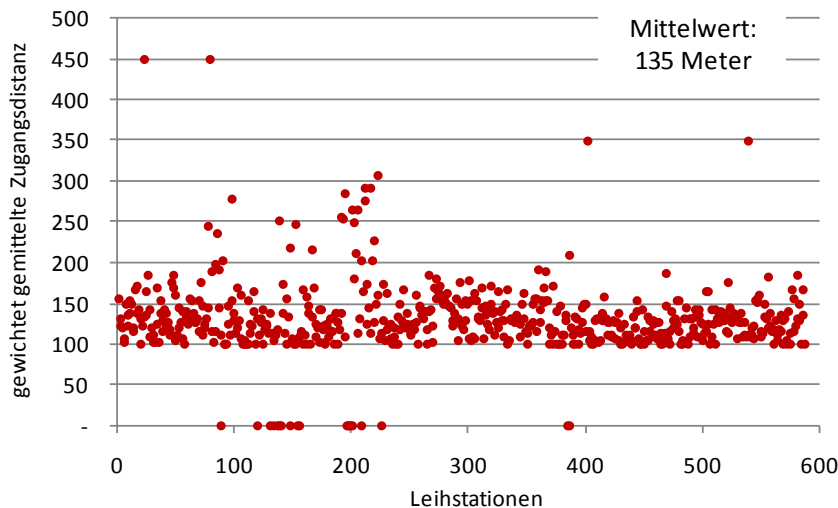


Abbildung 101: Gewichtet gemittelte Zugangsdistanz je Leihstelle

Im Netzmodell werden SynArea-Fahrzeuge im Bedarfsverkehr sowie als Leihfahrzeug im 45 km/h-Modus auf allen Straßen außer auf Autobahnen und Schnellstraßen zugelassen; Leihfahrzeuge im 25 km/h-Modus werden nur auf Gemeinde- und Landesstraßen zugelassen, deren v_0 im Netzmodell (Geschwindigkeit im unbelasteten Netz) max. 95 km/h^j beträgt, sie sind jedoch auch auf Fuß- und Radwegen sowie in Fußgängerzonen erlaubt.

Die Kenngrößen je Modus werden wie in Tabelle 39 zusammengestellt festgelegt bzw. aus dem Netz ermittelt und bei der Verkehrsmittelwahlmodellierung verwendet. Für das Ausleihen und Retournieren eines SynArea-Fahrzeugs wird in Summe ein Zeitbedarf von 3 Minuten angesetzt und der Fahrzeit zugeschlagen. Die Zu- und Abgangszeit sowie die Fahrzeit und

-weite werden mit dem Netzmodell ermittelt.

Mittels Bedarfsverkehr soll die Erreichbarkeit im gesamten Gebiet sichergestellt werden und es werden Verbindungen von/zu Zone (also Tür zu Tür) als auch zwischen Zone und ÖV-Haltestelle abgebildet; gleichzeitig soll jedoch auch der Personal- und Nutzungsaufwand im Bedarfsverkehr so gering wie möglich gehalten werden. Deshalb wird für Bedarfsverkehre eine Startwartezeit von 60 Minuten angesetzt, was einer Voranmeldezeit von einer Stunde entspricht. Ausgenommen sind routinierte Wege wie Schulwege, wo die Voranmeldezeit mit null angesetzt wird. Bei den Bedarfsverkehren sollen Fahrten auch gebündelt werden, wodurch es gegenüber einer Direktfahrt zu Umwegen und längeren Fahrzeiten kommt. Aus der Analyse bisheriger Arbeiten zu Bedarfsverkehren in unterschiedlichen Regionen werden für die Fahrzeiten und -distanzen im Bedarfsverkehr die aus dem Netz ermittelten Größen um 50 % erhöht.

Bei intermodalen Wegen (sowohl Leihfahrzeug als auch Bedarfsverkehr kombiniert mit ÖV) werden die Kenngrößen des IV- und ÖV-Asts berücksichtigt. Als Umsteigewartezeit und als Manipulationszeit für die Fahrzeugausleihe/-rückgabe werden je 3 Minuten angesetzt.

Kenngröße		Pkw	ÖV	SynArea Leihfahrzeug	SynArea Bedarfsverkehr	SynArea + Ride
Startwartezeit	min	0	Netz	0	60 ¹	0

^j Am Beginn wurden 25-km/h-Leihfahrzeuge auf Straßen mit einer v_0 von max. 75 km/h eingeschränkt (verordnete Geschwindigkeit max. 70 km/h). Dabei ergaben sich bei der Routensuche innerhalb der beiden Testgebiete Relationen ohne Verbindung, die auf Lücken des untergeordneten Netzes im Netzmodell zurückzuführen waren.

Zu-/Abgangszeit	min	1	Netz	Netz	1	Netz
Fahrzeit	min	Netz	Netz	Netz + 3	Netz * 1,5	Netz (SynArea+ÖV) + 3
Fahrtweite	km	Netz	Netz	Netz	Netz * 1,5	Netz (SynArea+ÖV)
Umsteigewartezeit	min	0	Netz	0	0	3

¹ Ausgenommen Ausbildungsverkehre

Tabelle 39: Berücksichtigte Kenngrößen je Modus und deren Ermittlung

Entsprechend dem Konzept sollen die SynArea-Fahrzeuge im Leih-Modus hauptsächlich für die lokale/kleinräumige Erschließung in der Region und als Zubringer zum ÖV genutzt werden und die maximale Fahrtweite mit SynArea-Fahrzeugen soll 40 Kilometer nicht wesentlich übersteigen. Um eine harte (normativ festgesetzte) Grenze zu vermeiden und leichte Überschreitungen im Modell zuzulassen, lange SynArea-Fahrtweiten jedoch unattraktiv zu machen wird die Fahrtweite aus dem Netzmodell für die Verkehrsmittelwahlmodellierung umgerechnet: Fahrtweiten bis 35 km werden unverändert übernommen, längere Distanzen werden progressiv mittels Exponentialfunktion gestreckt. Dabei wird auch eine gewisse erwartbare Tendenz der Nutzerinnen, Distanzen nahe der theoretisch maximalen Reichweite zu meiden, berücksichtigt. (vgl. Abbildung 102)

Die Fahrzeit wird aus der (angepassten) Distanz und der jeweiligen Verkehrsmittelgeschwindigkeit ermittelt.

$$FW_{VMW} = \frac{FW_{NM}}{35 * e^{\frac{FW_{NM}}{35}} - 1,7182} \quad \begin{array}{l} \text{für } FW_{NM} \leq 35 \text{ km} \\ \text{für } FW_{NM} > 35 \text{ km} \end{array}$$

Wobei:

FW_{NM} Fahrtweite aus dem Netzmodell in km
 FW_{VMW} Fahrtweite für die Verkehrsmittelwahlmodellierung in km

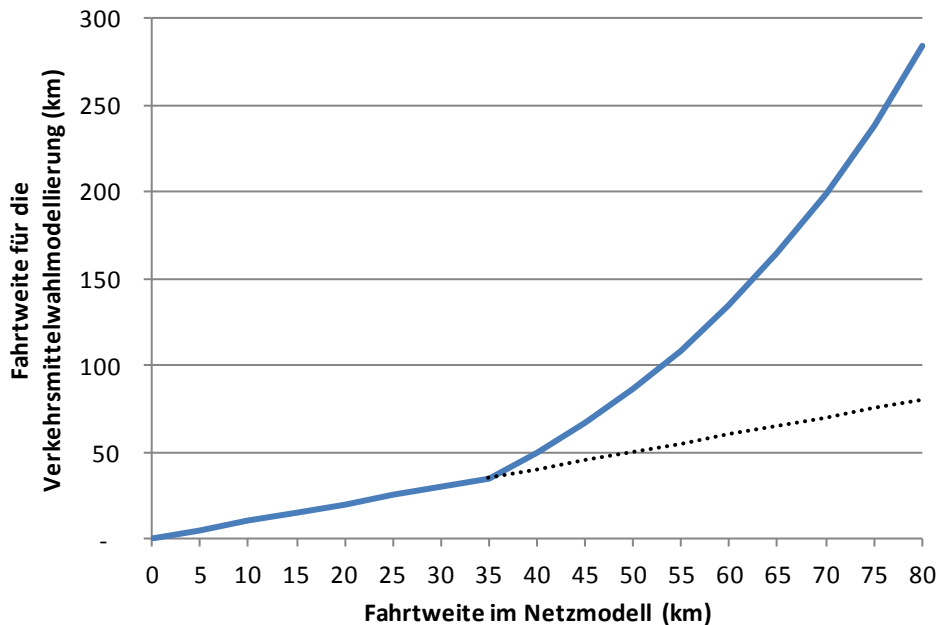


Abbildung 102: Berücksichtigung der Fahrzeugreichweite, Distanz im Netzmodell und für die Verwendung im Verkehrsmittelwahlmodell

Bei den ersten Modellrechnungen hat sich gezeigt, dass alle SynArea-Modi im Wahlmodell relativ attraktiv abgebildet sind und über alle Wegezwecke hat sich ein Modal Split-Anteil aller SynArea-Modi von ca. 12 % ergeben, was in etwa doppelt so hoch ist, als über die Car-Sharing-Nutzung abgeschätzt (siehe oben). Ein Grund dafür ist jedenfalls in der Übernahme der Bewertungsparameter von den, den NutzerInnen bekannten Verkehrsmitteln Pkw und ÖV (je Wegezweck) begründet. Ein zweiter Grund ergibt sich aus der Art, wie das Verkehrsmittelwahlmodell (Logit Modell) in diesem Projekt angewendet wurde und der zu Grunde liegenden Theorie der diskreten Wahlmodelle.

Bei der Modellierung der Planfälle wird in Hinblick auf die Abschätzung aus den Car Sharing-Nutzungszahlen (siehe oben) ein als wahrscheinlich eingeschätzter SynArea-Anteil (an den Wegen) in der Größenordnung zwischen 5 und 8 % angestrebt. Um das zu erreichen, wird wie folgt vorgegangen: Die Grundidee des SynArea-Konzepts ist es, die kostenintensive Flächenerschließung im Plan-ÖV durch SynArea-Fahrzeuge zu ersetzen. Vor diesem Hintergrund werden bei der Modellierung der Planfälle die Wahlparameter der SynArea-Modi (je Wegezweck) so „verschlechtert“, dass der Wegeanteil von ÖV plus alle SynArea-Modi (je Wegezweck) nicht kleiner ist, als der ÖV-Anteil im Ausgangsmodell. Als zweite Randbedingung wird definiert, dass durch die Inbetriebnahme des SynArea-Systems der Pkw-Anteil (in Prozentpunkten) nicht stärker zurück geht, als der ÖV-Anteil. Diese Vorgehensweise – aufwändige Netzerweiterung mit Neu-Anbindung der Zonen, Kalibrierung des Wahlmodells, Planfallmodellierung mit anschließender Manipulation der Bewertungsparameter – scheint umständlich, wurde aber bewusst gewählt: damit ist sichergestellt, dass die maßgebenden Kenngrößen der Verkehrsmittelwahl im richtigen Verhältnis zu einander bewertet werden (insbesondere hinsichtlich der Wahlentscheidung zwischen Pkw und ÖV) und dass das Modell auf Änderungen dieser Kenngrößen adäquat reagiert. Die Unsicherheit liegt in der Kenngrößenbewertung der SynArea-Modi. Bei der Planfallberechnung werden gegenüber der Kalibrierung nur die Bewertungsparameter der SynArea-Modi verändert. Damit werden bei der Verteilung der als „wahrscheinlich“ oder „realistisch“ eingeschätzten SynArea-Nachfrage im Raum die Raumstruktur und die Charakteristika der konkurrierenden Verkehrsmittel berücksichtigt; eine absolute

Größenordnung der SynArea-Nachfrage kann mit dieser Methode jedoch nicht belastbar modelliert werden.

Analysen der ersten Planfallberechnungen haben gezeigt, dass entlang gut bedienter ÖV-Achsen und für Relationen mit verhältnismäßig guter ÖV-Verbindungsqualität der Anteil der SynArea-Leihfahrzeug-Nutzung „relativ hoch“ war. Dieser Effekt ist aus „Modellsicht“ und den Verbindungsdaten gut erklärbar (kurze Zugangszeiten zu den Leihstationen, Wahl der kürzesten Route und eine Streckengeschwindigkeit von 45 km/h beim Leihfahrzeug im Gegensatz zu etwas längeren Zugangsdistanzen zu den Haltestellen, geringeren Bedienungshäufigkeiten und eine mittlere Reisegeschwindigkeit, die aufgrund der Haltestellenbedienungen und -aufenthaltszeiten weit unter 45 km/h liegt, sowie ev. notwendigem Umsteigen beim ÖV), bildet jedoch eine Konkurrenz zum Plan-ÖV und entspricht nicht den intendierten Zielen des Konzepts. Im Falle der Umsetzung können solche Effekte über die Preisbildung (Aufschläge) gering gehalten werden. Modellmäßig werden sie durch Fahrzeitaufschläge von 10 % der ÖV-Fahrzeit (abgeschätzt über eine mittlere Zeitbewertung) entlang definierter Achsen deutlich reduziert.

4.2.2. Ergebnisse des Werktagsmodells

Mit dem Werktagsmodell werden zwei Planfälle gerechnet. In Planfall 1 werden das im ersten Wurf ausgearbeitete ÖV-Konzept sowie die SynArea-Leihstellen implementiert und die Verkehrsnachfrage modelliert. Auf Analysen der Ergebnisse aufbauend werden im Planfall 1-1 Anpassungen im ÖV-Angebot sowie bei den gesetzten Kenngrößen der SynArea-Modi und deren Bewertungen gemacht. In der Folge werden nur die wichtigsten Ergebnisse aus Planfall 1-1 dargestellt und beschrieben.

Das ÖV-Angebot ist bereits in Kapitel 3.1 ausführlich beschrieben; die Implementierung in das Netzmodell und die Änderung der Angebotsqualität – ausgedrückt als Fahrplanfahrten pro Werktag – sind im Anhang (9) dargestellt. Ebenso die Verteilung der SynArea-Leihstellen.

4.2.2.1. Verkehrsmittelwahl und Weglängenverteilungen

Abbildung 103 zeigt die Modal Split-Anteile aus dem Bestand und des Planfalls 1-1 getrennt nach Wegezweck; die 6 SynArea-Modi sind in reine SynArea-Wege und intermodale SynArea-Wege in Kombination mit ÖV (SynArea+Ride) zusammengefasst. Ohne auf Details einzugehen kann zusammengefasst werden, dass durch die Inbetriebnahme des SynArea-Konzepts der Pkw-Anteil mit Ausnahme der Freizeitwege bei allen Wegezwecken reduziert werden kann; bei Arbeit, Ausbildung und Einkauf in der Größenordnung von ca. 4 %, beim Geschäftsverkehr um ca. 1 %. Beim Freizeitverkehr kann der Rückgang des ÖV-Anteils in Folge der Angebotsreduktion praktisch durch SynArea aufgefangen werden, eine Reduktion des Pkw-Anteils kann nicht erreicht werden.

Die Effekte wirken sich in den beiden Testgebieten sehr unterschiedlich aus. So ist die der Reduktionspotential bei den Pkw-Wege im nördlichen Wiener Becken – je nach Wegezweck in der Größenordnung von 1% bis 2 % - deutlich geringer als im Mittelburgenland, wo beim Pkw-Anteil Reduktionen um bis zu 10 % modelliert werden. Gleichzeitig treten im Mittelburgenland auch keine großen Rückgänge beim ÖV-Anteil auf. Der Grund dafür liegt in der unterschiedlichen Raumstruktur und der bestehenden sowie der konzipierten Angebotsqualität im ÖV in den beiden Testgebieten.

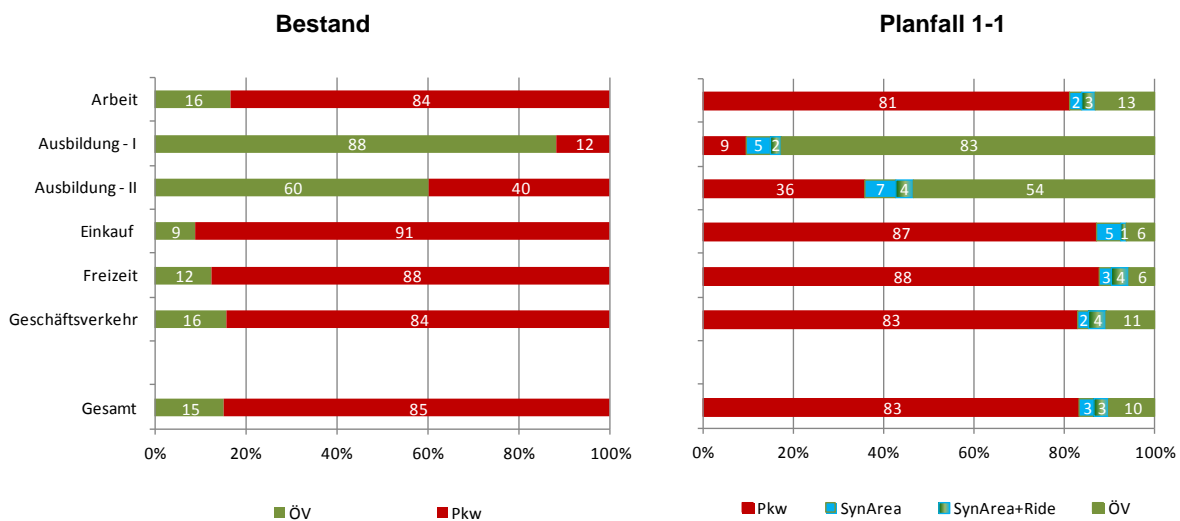


Abbildung 103: Vergleich der Modal Split-Anteile von Bestand und Planfall 1-1 getrennt nach Wegezweck

SynArea im Leihfahrzeugmodus mit 45 km/h (LF45) erreicht über aller Zwecke einen Modal Split-Anteil von 2,7 %; der größte Anteil ergibt sich für den Zweck Ausbildung-II mit 3,7 %, der geringste für den Freizeit mit 1,9 %. Die kombinierte Nutzung des Leihfahrzeuges mit dem ÖV erreicht über alle Zwecke einen Anteil von knapp 3,2 % und wird am stärksten für Wegezwecke mit längeren Wegen wie Arbeit (3,2 %), Ausbildung-II (3,9 %) und den Geschäftsverkehr (3,9 %) genutzt.

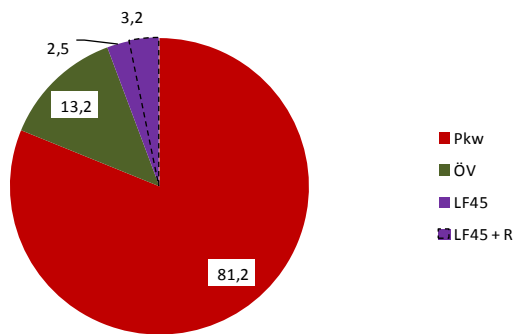
Im langsamen 25 km/h-Modus (LF25) wird das Leihfahrzeug nur für die Wegezwecke Ausbildung-I (1,5 %) und den Freizeitverkehr (0,5 %) modelliert; über alle Zwecke ist der Anteil mit 0,2 % sehr gering und sicher unter der Abbildungsgenauigkeit des Modells. Der Anteil der intermodalen Wege mit LF25 ist null, da Kinder einerseits nur sehr wenig lange Wege unternehmen und andererseits das SynArea-Fahrzeug mit 25 km/h für lange Wege wenig attraktiv ist.

Der Bedarfsverkehr mit SynArea ist als Ergänzungsangebot konzipiert, um der gesamten Bevölkerung eine Alternative zum Pkw zur Verfügung zu stellen und damit die Erreichbarkeit aller Bevölkerungsschichten sicher zu stellen. Dementsprechend beträgt der Anteil des Bedarfsverkehrs über alle Wegezwecke 0,3 % und erreicht nur für Ausbildungswege nennenswerte Anteile von 1,8 % bis 3,0 %.

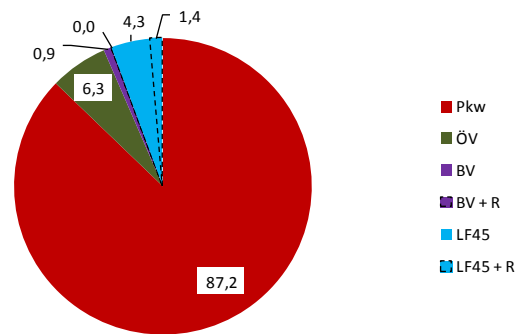
Abbildung 104 zeigt exemplarisch die Modal Split-Anteile, die Weglängenverteilungen, die Summenlinien der relativen Weglängenverteilungen und die Modal Split-Anteile nach Weglängenklasse für die Wegezwecke Arbeit und Freizeit im Planfall 1-1. Darin ist sehr gut zu erkennen, in welchen Weglängenbereichen die verschiedenen Modi konkurrenzfähig sind. Die SynArea-Modi werden aufgrund ihrer Geschwindigkeiten v_a für kurze Distanzen eingesetzt. Wegen der hinterlegten Mindestvoranmeldezeit von einer Stunde sind die Bedarfsverkehre generell erst für „längere“ Distanzen attraktiv; Ausnahme bilden die Freizeitwege, wo dieses Element der Nutzenfunktion weniger stark bewertet wird.

Zweck Arbeit

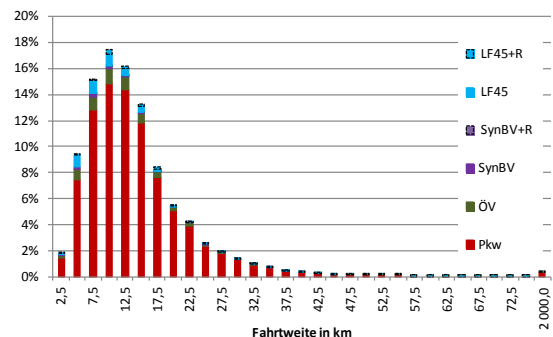
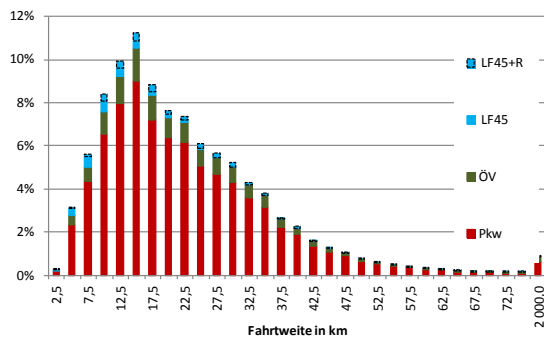
Modal Split-Anteile (nach Wegen)



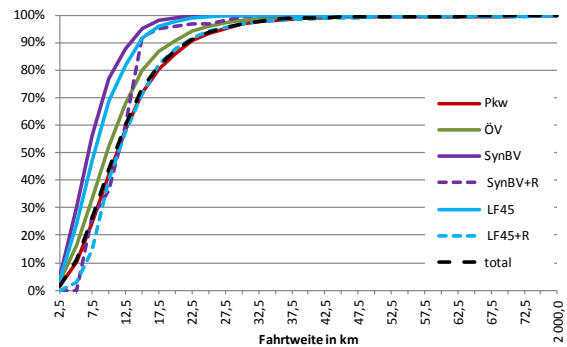
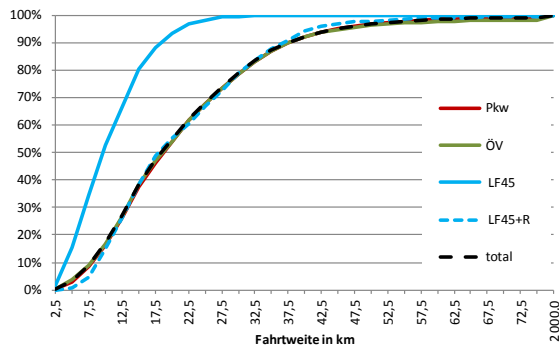
Zweck Freizeit



Weglängenverteilung nach Verkehrsmittel



Summenlinien der relativen Weglängenverteilungen



Modal Split-Anteile nach Weglängenklasse

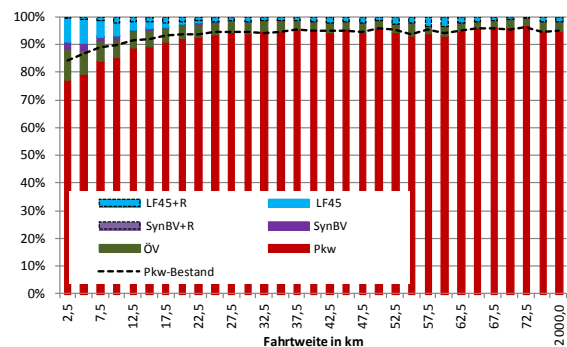
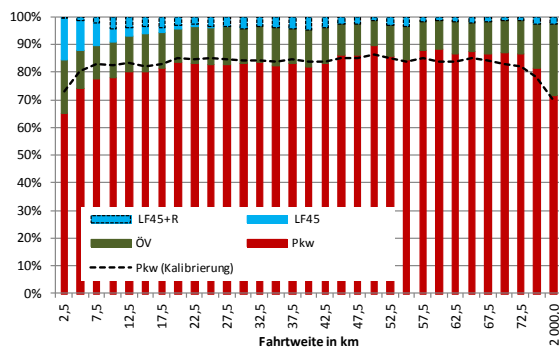


Abbildung 104: Exemplarische Darstellung der detaillierten Modal Split-Anteile, Weglängenverteilungen, Summenlinien der Weglängenverteilungen und Modal Split-Anteile nach Weglängenklasse für die Zwecke Arbeit und Freizeit des Planfalls 1-1

4.2.2.2. *Verkehrsumlegung, Netzbelastungen und abgeleitete Ergebnisse*

Bei der Verkehrsumlegung werden die berechnete Wegematrizen je Verkehrsmittel auf das Verkehrsangebot umgelegt; dh, mögliche Routen je Relation gesucht und entsprechend ihrer Attraktivität zu einander belastet. Die Parameter der Routensuche und -wahl werden für den ÖV vom Modell der ÖBB PV-AG und für den IV aus dem VMÖ 2025+ verwendet. Als Ergebnis der Umlegung erhält man Streckenbelastungen je Verkehrsmittel, die Zahl der Ein-, Aus- und Umsteiger je Haltestelle im ÖV sowie die Zahl der SynArea-Ausleihvorgänge je Station getrennt nach SynArea-Leihfahrzeug- und SynArea+Ride-Modus.

Für die Umlegung der IV-Wege (Pkw und SynArea) müssen Fahrzeugbesetzungsgrade angenommen werden. Da die gesamte Modellierung in diesem Projekt im Wesentlichen auf Ergebnissen des VMÖ 2025+ aufbaut, wird auch bei den Pkw-Besetzungsgraden darauf zurück gegriffen. Dazu wurden die Matrizen nach Wegezweck für Niederösterreich und Burgenland ausgewertet und die Ergebnisse gewichtet gemittelt. Die Besetzungsgrade der SynArea-Leihfahrzeuge wurden über die Sitzplatzanzahl je Wegezweck skaliert ermittelt; für den Bedarfsverkehr wurde für den Zweck Ausbildung ein – über die Fahrleistung gewichteter – Besetzungsgrad von 1,50 angenommen und für die anderen Zwecke entsprechend der Pkw-Besetzungsgrade skaliert. (Vgl. Tabelle 40)

Vom Konzept her soll bei den Bedarfsverkehren ein Punkt-Punkt-Verkehr vermieden und Fahrten möglichst gebündelt werden. In Anlehnung an die Abschätzung der Distanzen und Fahrzeiten für das Wahlmodell wird dieser Effekt bei der Umlegung durch einen Umwegfaktor von 1,5 berücksichtigt.

Zweck	Pkw	SynArea Leihfahrzeug	SynArea Bedarfsverkehr
Arbeit	1,04	1,02	1,27
Ausbildung	1,23	1,11	1,50
Einkauf	1,20	1,10	1,47
Freizeit	1,23	1,12	1,50
Geschäftsverkehr	1,03	1,02	1,26

Tabelle 40: Annahmen für die Besetzungsgrade (Personenkilometer pro Fahrzeugkilometer) getrennt nach Wegezweck und IV-Modus

In Tabelle 41 sind die Anzahl der Stationen sowie die Ausleihvorgänge je Station getrennt nach Testgebiet zusammengestellt. Obwohl die SynArea-Nutzungsintensität in den beiden Testgebieten verschieden ist, ist die durchschnittliche Zahl der Ausleihvorgänge je SynArea+Ride- sowie SynArea-Leihstation in beiden Testgebieten in etwa in der gleichen Größenordnung.

	Nördliches Wiener Becken	Mittelburgenland	Gesamt
Anzahl Stationen	371	221	592
SynArea+Ride	44	22	66
SynArea	327	199	526

	Nördliches Wiener Becken	Mittelburgenland	Gesamt
Ausleihvorgänge pro Werktag	18.805	10.400	29.205
SynArea+Ride	7.322	3.542	10.864
SynArea	11.483	6.858	18.341
Ausleihvorgänge pro Station und Werktag	51	47	49
SynArea+Ride	166	161	165
SynArea	35	34	35
SynArea-km pro Werktag	92.500	70.000	162.500

Tabelle 41: Anzahl der Leihstationen und Ausleihvorgänge pro Werktag, getrennt nach Testgebiet

Die gesamte durchschnittliche werktägliche Fahrleistung mit SynArea-Fahrzeugen wird mit 162.500 Fahrzeugkilometern modelliert, wobei ca. 57 % auf das Nördliche Wiener Becken und 43 % auf das Mittelburgenland entfallen. Wie bei den Wegeanteilen dominiert auch bei der Fahrleistung die LF45-Nutzung, SynArea-LF45-km machen mehr als 93 % der gesamten SynArea-Fahrleistung aus. Die größte Fahrleistung mit SynArea-Fahrzeugen wird für den Freizeitweck (33 %), gefolgt von Geschäftsverkehr (23 %), Arbeit (20 %) und Einkauf (17 %) ermittelt. Vergleicht man dahingehend die Testgebiete zeigt sich, dass die Größenordnungen annähernd gleich sind, die Anteile im Mittelburgenland bei den Zwecken Freizeit, Geschäftsverkehr etwas geringer und Ausbildung etwas höher sind. Dieser Effekt kann durch die derzeitige Raumstruktur samt Verkehrsangebot und den damit in den Bestandsmatrizen abgebildeten Relationen erklärt werden. (vgl.

Tabelle 42)

Durch die Inbetriebnahme des SynArea-Konzepts wird bei der Pkw-Fahrleistung über beide Testgebiete eine Einsparung von 2 % modelliert, wobei für das nördliche Wiener Becken praktisch keine Einsparung und im Mittelburgenland ca. 8 % Reduktion modelliert wird. Begründet wird das dadurch, dass im nördlichen Wiener Becken der Fahrleistungsanteil des gebietsfremden Verkehrs (Durchgangsverkehrs) relativ hoch ist und der gebietsbezogene Verkehr der ausgewerteten Strecken einen kleinen Anteil einnimmt. Hingegen ist der Anteil des Transitverkehrs im Mittelburgenland gering, wodurch die Effekte des lokal modellierten SynArea-Konzepts stärker durchschlagen.

Beim Bus reduziert sich durch Einsparung des Angebots die Busfahrleistung um 23 %. Die Personenverkehrsleistung (Pkm) steigt im Mittelburgenland um 57 %, im nördlichen Wiener Becken sinkt sie um 21 %. Dieser Rückgang im nördlichen Wiener Becken kann durch weitere Angebotsoptimierung reduziert werden. Gesamt ergibt sich beim Busverkehr eine deutlich stärkere Auslastung der Fahrzeuge.

Für die Bahn ergibt sich bei unverändertem Angebot eine Zunahme der Verkehrsleistung um ca. 17 %. (vgl. Tabelle 44)

Im Anhang (9) sind die Plots zu den Änderungen des Angebots und der Nachfrage für Pkw, ÖV und SynArea zusammengestellt.

Als Eingangsgröße für die Verkehrssicherheitsberechnungen werden die Fahrleistungen je Modus und Streckenkategorie für den Bestand und den Planfall ausgewertet und aufbereitet.

SynArea-km/Tag	Mittelburgenland				Nördliches Wiener Becken			
	Summe	BV	LF25	LF45	Summe	BV	LF25	LF45
Arbeit	14 766	0	0	14 766	17 156	0	0	17 156
Ausbildung I	3 610	811	903	1 895	2 054	366	418	1 269
Ausbildung II	3 527	1 123	0	2 404	2 424	542	0	1 881
Einkauf	12 299	1 180	0	11 119	15 937	1 571	0	14 366
Freizeit	21 688	231	1 307	20 150	31 422	326	1 862	29 234
Geschäftsverkehr	14 113	0	0	14 113	23 522	0	0	23 522
Summe	70 003	3 346	2 210	64 447	92 513	2 806	2 280	87 427

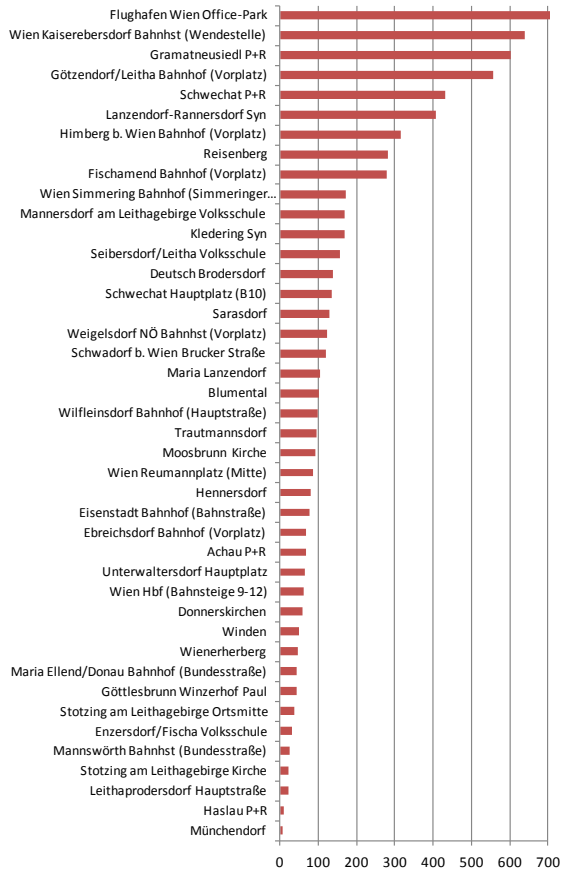
Tabelle 42: Fahrleistung der SynArea-Modi getrennt nach Wegezweck und Testgebiet

	Nördliches Wiener Becken	Mittelburgenland	Gesamt
Pkw-km	+/- 0 %	- 8 %	- 2 %
Bus-Pkm	- 29 %	- 30 %	- 29 %
Bahn-Pkm	+17 %	-	+ 17 %

Tabelle 43: Änderung der Fahr- und Verkehrsleistung für Pkw, Bus und Bahn je Testgebiet

Ogleich die mittlere Nutzungshäufigkeit der SynArea-Leihstellen in beiden Testgebieten praktisch gleich groß ist, ist die Nutzungsintensität je nach Station doch sehr unterschiedlich. Abbildung 105 zeigt die Anzahl der Ausleihvorgänge an den einzelnen SynArea+Ride-Stationen, die sehr von der Raumstruktur und -nutzung um die Stationen und dem ÖV-Angebot abhängen. Die stärkste Nutzung ergibt sich im nördlichen Wiener Becken für die Station am Office-Park des Flughafens Schwechat sowie für die Stationen Kaiserebersdorf, Gramtneusiedl, Götzendorf/Leitha, Lanzendorf, etc. entlang der Bahnlinie; im Mittelburgenland für Oberpullendorf / Felsöpulya, Neutal und Deutschkreuz, sowie weitere entlang der starken ÖV-Achsen. Diese Ergebnisse für den Werktag bilden erste Orientierungen für die Dimensionierung der Leihstationen.

Nördliches Wiener Becken



Mittelburgenland

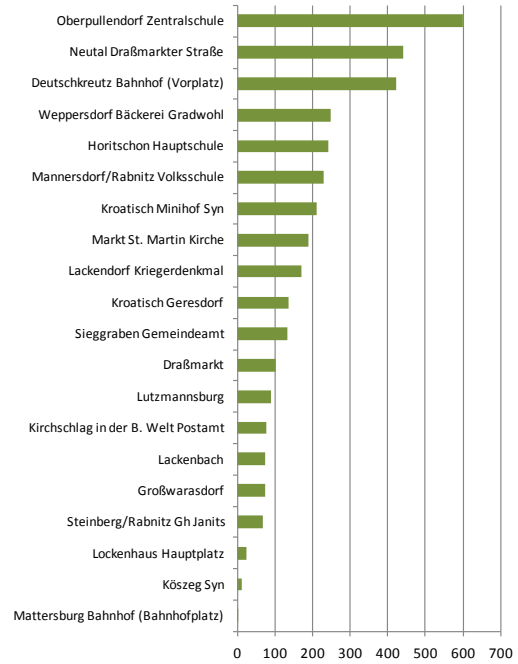
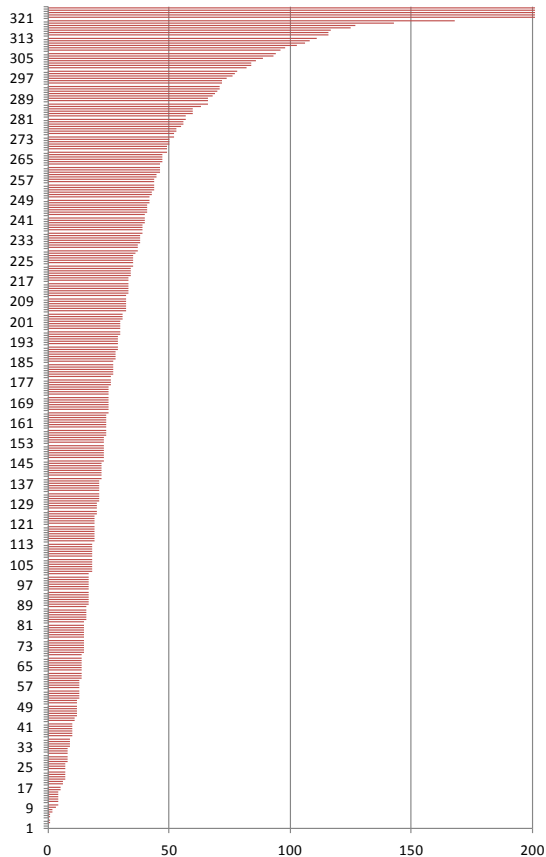


Abbildung 105: Anzahl der Abfahrten pro Werktag an SynArea+Ride-Stationen mit Umstieg auf den/vom ÖV getrennt nach den beiden Testgebieten

Wie bei den SynArea+Ride-Stationen gehen auch die Nutzungsintensitäten bei den Stationen in der Fläche sehr stark auseinander, der Mittelwert liegt in beiden Gebieten bei ca. 35 Ausleihen pro Station und Werktag (vgl. Abbildung 106).

Nördliches Wiener Becken



Mittelburgenland

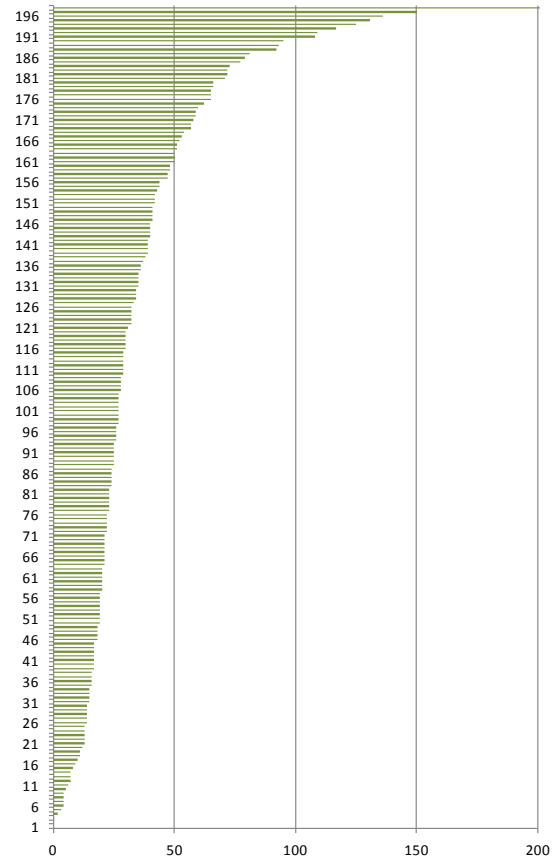


Abbildung 106: Anzahl der Abfahrten pro Werktag je Leihstation

4.2.2.2.1. Exkurs: Mögliche Ursachen für vergleichsweise geringe Verlagerungswirkung im nördlichen Wiener Becken

Die für das Projektteam überraschend geringe Pkw-Verkehr vermeidende Wirkung im nördlichen Wiener Becken (minus 2% gegenüber minus 8% im Mittelburgenland) konnte anhand der Verortung von Angebots- und Nachfrageverschiebungen wie folgt erklärt werden:

- Das nördliche Wiener Becken ist viel stärker als das Mittelburgenland von die Region querendem Transitverkehr (Von Wien nach Ungarn, der Slowakei, ins Nordburgenland und retour) sowie vom durch das neue Angebot kaum beeinflussten Verkehr zwischen Wien und dem Flughafen gekennzeichnet, sodass die gleiche absolute Veränderung des Binnen-, Ziel- und Quellverkehrs eine viel geringere relative Verlagerungswirkung bedeutet.
- Das entworfene Angebot im planmäßigen Busverkehr dürfte insofern suboptimal räumlich verteilt sein, als im Gebiet Leopoldsdorf / Maria Lanzendorf / Himberg / Zwölfaxing / Rannersdorf in Bezug auf seine relativ hohe Siedlungsdichte zu viel an Angebotsreduktion vorgenommen wurde.
- Ein erheblicher Rückgang der ÖV-Nachfrage zeigt sich auch zwischen Bruck an der Leitha und dem Flughafen Wien. Hier war vermutlich ausschlaggebend, dass die bestehenden Direktbusse zwischen Neusiedl am See und dem Flughafen Wien durch Verbindungen ersetzt wurden, die zwar mit dem sonstigen Bahn- und Busverkehr vertaktet sind, aber eine längere Reisezeit und zusätzliche Umstiege

aufweisen. Diesbezüglich war die unter 3.1.1 beschriebene Annahme, dass es genügen würde, an die Bahn-Taktknoten an der Regionsgrenze anzubinden, offenbar zu optimistisch.

Die Fahrplanentwürfe nach den Modellergebnissen zu überarbeiten, um dank einer nachfragegerechteren Gestaltung bei gleichem Aufwand eine höhere Inanspruchnahme zu erzielen wäre zwar zweifellos zweckmäßig gewesen, war jedoch im Rahmen der Projektlaufzeit nicht mehr möglich.

4.2.3. Räumlich-zeitliche Verteilung der Leihfahrzeuginanspruchnahme

Um Größenordnungen für die Dimensionierung der Leihstationen abzuschätzen, wird die Verkehrsnachfrage zur Morgenspitze und am Nachmittag modelliert. Damit soll der Einfluss der räumlich stark gerichteten und zeitlich konzentrierten Wege abgebildet werden.

Aus der Analyse von wegezweckspezifischen Ganglinien wird für die Morgenspitze der Zeitraum bis 9 Uhr Früh und für den Nachmittag das Zeitfenster zwischen 16 und 19 Uhr definiert. Die Anteile je Wegezweck und Zeitfenster werden aus der Zusammenschau der Annahmen im VMÖ 2025+, im Verkehrsmodell der ÖBB PV-AG und der EAR05⁴⁵, wie in Abbildung 107 zusammengestellt, verwendet.

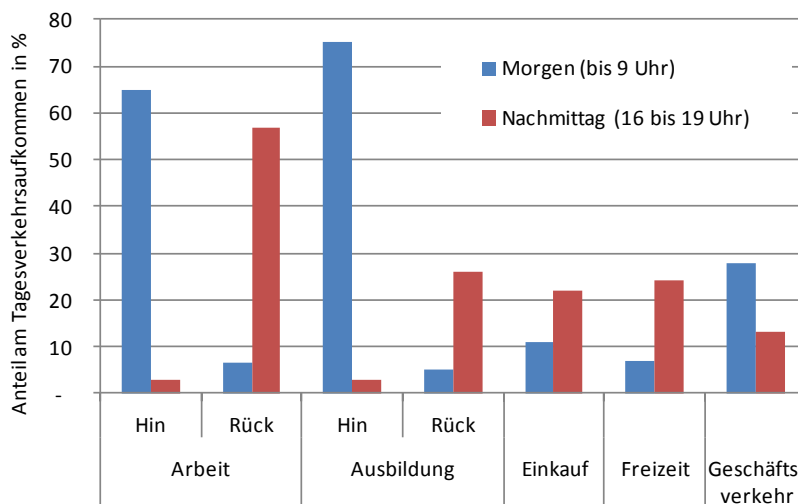


Abbildung 107: Anteile der Wege am Tagesaufkommen je Zeitfenster getrennt nach Wegezweck (Quelle: Eigene Annahmen auf Basis VMÖ 2025+, VM ÖBB PV-AG und EAR 05)

Die ermittelten Werktagmatrizen nach Wegezweck werden mit den Anteilen der Hauptverkehrszeiten multipliziert und unter Berücksichtigung der Besetzungsgrade auf das Verkehrsangebot (der beiden Zeitfenster) umgelegt. Aus den umgelegten Ergebnissen kann die Anzahl der Ankünfte und Abfahrten je Zeitfenster und Station und damit eine Größenordnung für die Dimensionierung der Stationen ermittelt werden. Abbildung 108 und Abbildung 109 zeigen die Zahl der Ankünfte, Abfahrten, Differenzen und den theoretisch erforderlichen Anteil der Fahrzeugmitnahme der SynArea+Ride-Stationen für das Mittelburgenland, Abbildung 110 und Abbildung 111 für das nördliche Wiener Becken. Der theoretisch erforderliche Anteil der Mitnahme zeigt, wie viel Prozent der NutzerInnen im Betrachtungszeitraum ein SynArea-Fahrzeug gegen Lastrichtung mitnehmen müssen, damit keine Verteilfahrten notwendig sind. Im Mittelburgenland schwankt er von sehr kleinen Anteilen bis über 80 % bei stärker genutzten Stationen wie Neutal oder Weppersdorf. Im

nördlichen Wiener Becken steigt dieser theoretische Anteil bei manchen Stationen bis über 100 %.

Zur Vormittagspitze ist das Ungleichgewicht zwischen ankommenden und abfahrenden Fahrzeugen aufgrund der konzentrierten zeitlichen Überlagerung der gerichteten Verkehre in beiden Testgebieten größer als am Nachmittag.

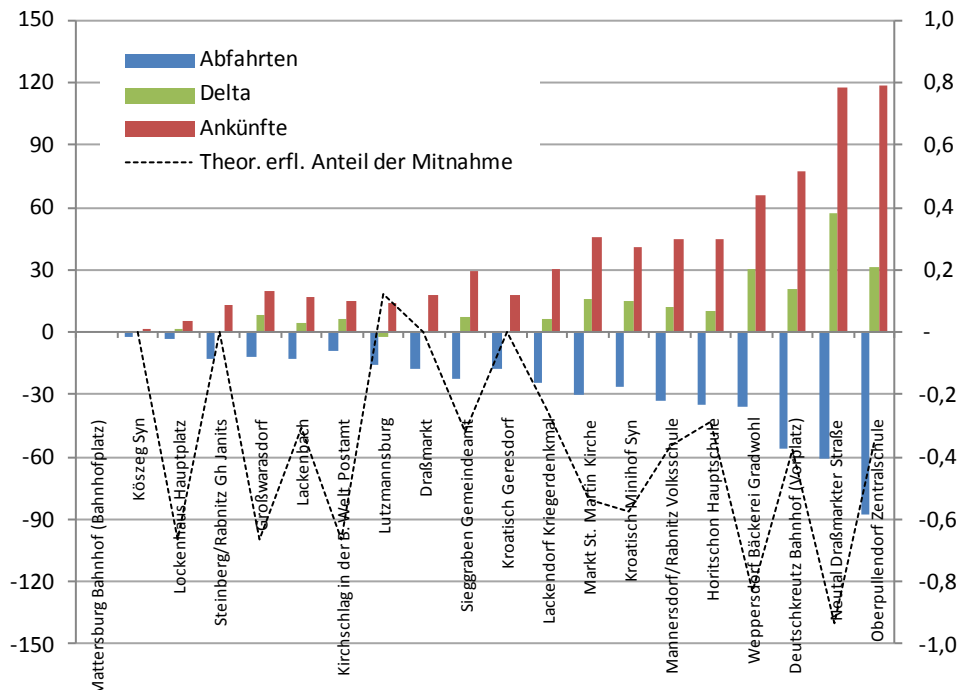


Abbildung 108: Ankünfte und Abfahrten der SynArea-Ride-Stationen im Mittelburgenland zur Morgenspitze (bis 9 Uhr)

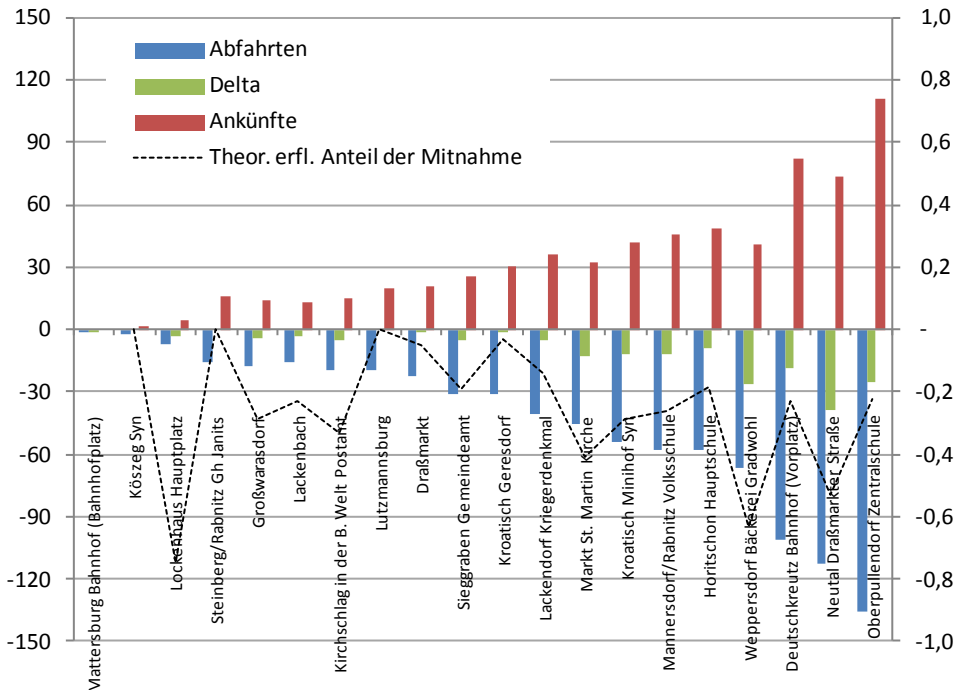


Abbildung 109: Ankünfte und Abfahrten der SynArea-Ride-Stationen im Mittelburgenland zur Nachmittagspitze (16 bis 19 Uhr)

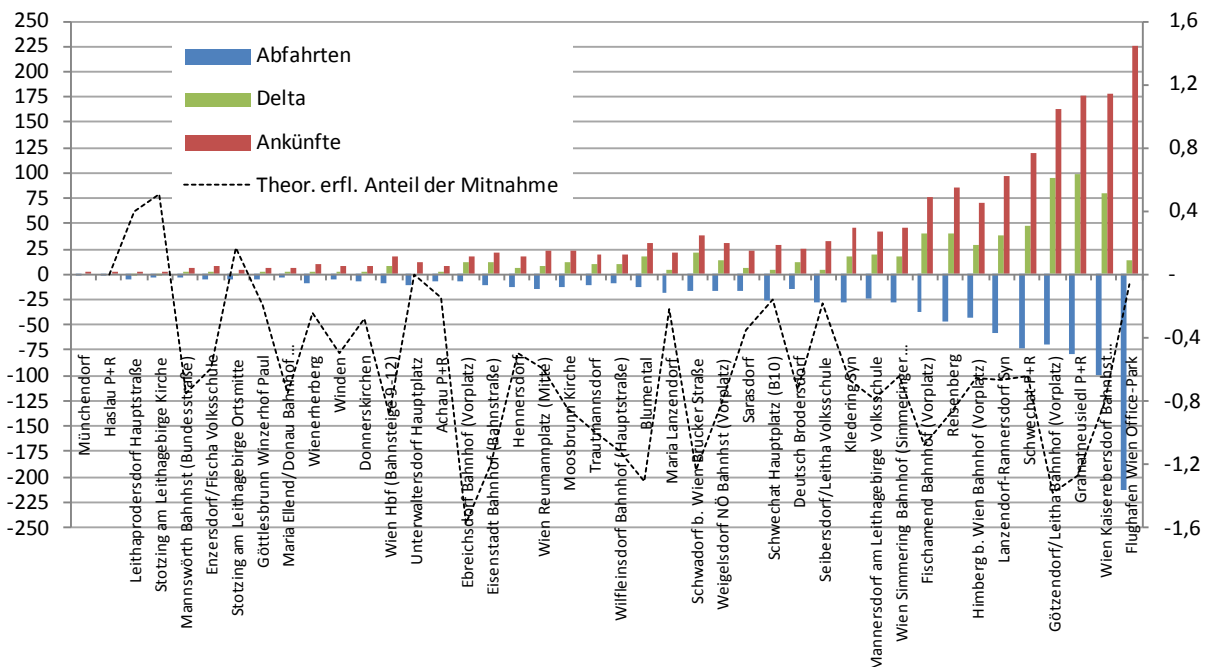


Abbildung 110: Ankünfte und Abfahrten der SynArea-Ride-Stationen im Nördlichen Wiener Becken zur Morgenspitze (bis 9 Uhr)

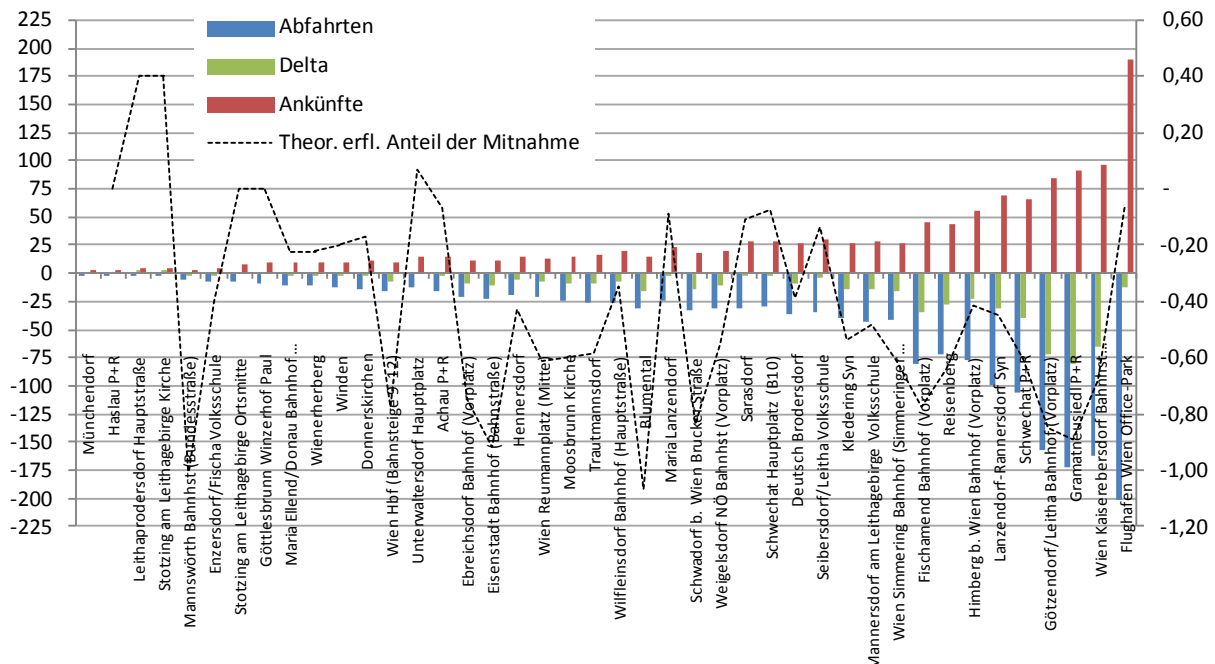
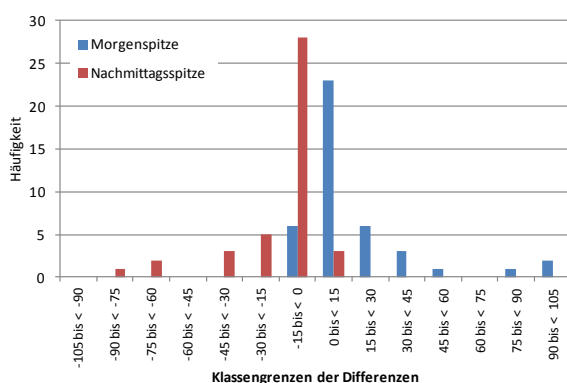


Abbildung 111: Ankünfte und Abfahrten der SynArea-Ride-Stationen im Nördlichen Wiener Becken zur Nachmittagsspitze (16 bis 19 Uhr)

Folgende Abbildung 112 zeigt die Häufigkeit der Differenzen zwischen ankommenden und abfahrenden Fahrzeugen an den SynArea+Ride-Stationen getrennt nach Hauptverkehrszeit und Testgebiet; Abbildung 113 für die SynArea-Leihstationen in der Fläche. Bei den SynArea+Ride-Stationen im Mittelburgenland sind zur Morgenspitze 75 % der Differenzen kleiner als 30 Fahrzeuge (pro Hauptverkehrszeit), zur Nachmittagsspitze sind es 100 %; im nördlichen Wiener Becken sind es zur Morgenspitze ca. 70 % und zur Nachmittagsspitze über 90 %.

Bei den Leihstationen in der Fläche ist die Differenz zur Morgenspitze im nördlichen Wiener Becken bei fast allen Stationen (99 %) kleiner als 10 Fahrzeuge (pro Hauptverkehrszeit), im Mittelburgenland etwas über 90 %; zur Nachmittagsspitze in beiden Testgebieten bei ca. 95 % der Stationen.

Nördliches Wiener Becken



Mittelburgenland

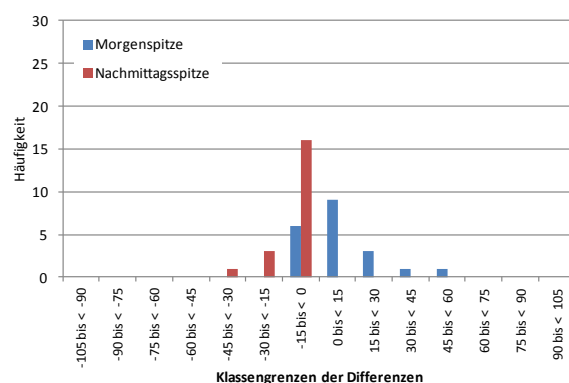


Abbildung 112: Häufigkeiten der Differenzen aus Ankünften und Abfahrten an den SynArea+Ride-Stationen zur Morgen- und Abendspitze in den beiden Testgebieten

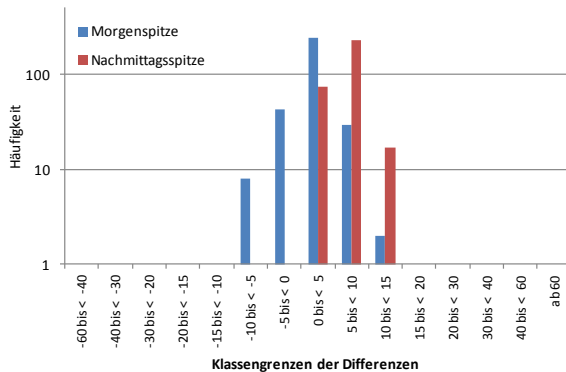
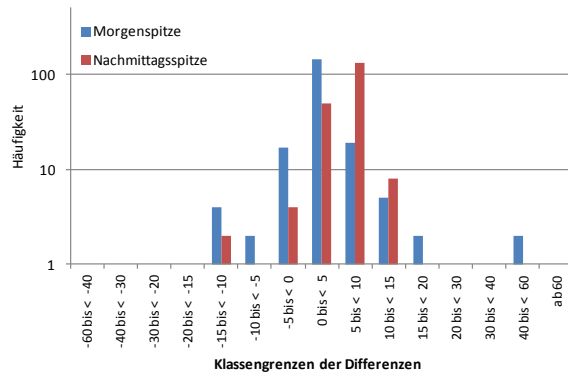
Nördliches Wiener Becken

Mittelburgenland


Abbildung 113: Häufigkeiten der Differenzen aus Ankünften und Abfahrten pro an den SynArea-Leihstationen in der Fläche zur Morgen- und Abendspitze in den beiden Testgebieten

4.2.4. Jahreshochrechnung und räumliche Abgrenzung

Die Prognose der projektinduzierten Veränderungen des Verkehrsgeschehens mittels Verkehrsnachfragemodell erfolgte zunächst nur für den Stichtag 17.4.2013, stellvertretend für einen Werk- und Schultag zwischen Montag und Freitag. Zur Ermittlung von Jahreswerten, die für zahlreiche Kosten- und Erlösbestandteile sowie Treibhausgas- und Schadstoffemissionen von Bedeutung sind, wurde wie folgt vorgegangen:

- Für die Betriebsleistung des Busverkehrs wurde mit der unter 3.1.1 beschriebenen mittleren Verkehrstageanzahl für den Bestand (298 Tage im nördlichen Wiener Becken und 254 Tage im Mittelburgenland) und den Planfall (296 Tage im nördlichen Wiener Becken und 273 Tage im Mittelburgenland) gerechnet.
- Sowohl für die Personenverkehrsleistungen (Personenkilometer pro Jahr), als auch alle übrigen Fahrzeug-Verkehrsleistungen (Pkw, Kleinfahrzeug, ggf. Kleinbus für Bedarfsverkehr) wurde ein allgemeiner Jahreshochrechnungsfaktor nach den Ergebnissen der Mobilitätserhebung Niederösterreich⁴⁶ ermittelt: Unter der Annahme, dass die Personenmobilität am Samstag zur Hälfte jener der Montage bis Freitage und zur Hälfte jener des Sonntags gleicht, ergibt sich aus der unterschiedlichen Anzahl Wege pro Person und Tag und der unterschiedlichen mittleren Wegelänge ein Jahreshochrechnungsfaktor von 338: Die Verkehrsleistungswerte für einen Stichtag zwischen Montag und Freitag, multipliziert mit 338 ergibt den Jahresverkehrsleistungswert.

Für alle betriebs- und verkehrsleistungsbezogenen Auswertungen wurden stets nur die innerhalb der jeweiligen Beispielregion zurückgelegten Strecken berücksichtigt. Für projektinduziert mit anderen Verkehrsmitteln zurückgelegte Teilstrecken außerhalb der Untersuchungsgebiete wurden daher vernachlässigt:

- Kosten für zusätzliche bzw. Einsparungen für entfallene Busverkehrsleistungen
- Variable Kosten der Kleinfahrzeug-Laufleistungen, Fahrpersonal- und ggf. Fahrzeugkosten des Bedarfsverkehrs
- Erlöse für die Nutzung von Leihfahrzeugen und Bedarfsverkehr

4.3. Auswirkungen auf Emissionen von CO₂ und lokalen Luftschadstoffen

Um vom veränderten Verkehrsgeschehen in den Beispielregionen auf die Veränderungen bezüglich der Emissionen von Kohlendioxid und lokal wirksamen Luftschadstoffen zu kommen, wurden die direkten Emissionen der Fahrzeuge sowie die indirekten Emissionen der Energiebereitstellung berücksichtigt. Unberücksichtigt blieben hingegen die Emissionen der Herstellung der Fahrzeuge, für deren Berechnung eine Abschätzung der Veränderung des Pkw- und Bus-Bestands erforderlich gewesen wäre.

Für Benzin- und Diesel-Pkw lagen direkte und indirekte Emissionsfaktoren für Treibhausgase, NO_x und Feinstaub sowie indirekte Emissionen für Strom aus österreichischem Strommix vor⁴⁷. Gemittelte Emissionsfaktoren für die österreichische Pkw-Flotte wurden aus dem Verhältnis des Diesel-/Benzin-Pkw-Bestands errechnet, die Emissionsfaktoren für das SynArea-Kleinfahrzeug entsprechend seinem Stromverbrauch. Für Linienbusse und Kleinbusse lagen lediglich direkte Emissionsfaktoren für CO₂, NO_x und Feinstaub vor⁴⁸, die indirekten (energiebezogenen) wurden proportional zum direkten CO₂-Ausstoß vom Pkw hochgerechnet.

Die Multiplikation mit der Veränderung der Verkehrsleistungen der einzelnen Fahrzeugtypen ergibt für die zwei Beispielregionen folgende absolute und relative Veränderungen der Emissionen:

Veränderung der Emissionen gegenüber Status Quo je nach SynArea-Variante		Wiener Becken Nord	Mittelburgenland
Änderung THG-Emission in 1000 t CO ₂	volle Kuppelbarkeit	-0,80 (-0,3%)	-6,24 (-7,8%)
	eingeschränkte Kuppelbarkeit	-0,23 (-0,1%)	-5,59 (-7%)
Änderung NO _x -Emission in t	volle Kuppelbarkeit	-7,83 (-1,4%)	-15,44 (-8,4%)
	eingeschränkte Kuppelbarkeit	-6,91 (-1,2%)	-14,39 (-7,8%)
Änderung Feinstaub-Emission in t	volle Kuppelbarkeit	-0,48 (-0,6%)	-1,96 (-8,3%)
	eingeschränkte Kuppelbarkeit	-0,29 (-0,4%)	-1,75 (-7,4%)

Tabelle 44: Auswirkungen des konzeptinduziert veränderten Verkehrsgeschehens auf CO₂- und Luftschadstoffemissionen

Entsprechend der stark unterschiedlichen Nettowirkung auf die Veränderung des motorisierten Individualverkehrs bleiben die Emissionen in der nördlichen Beispielregion nahezu gleich, während in der südlichen Beispielregion eine erhebliche Reduktion erzielt wird. Aufgrund unterschiedlicher Emissionsverhältnisse zwischen Pkw, Bus und Kleinbus fällt die Reduktion der – in den Beispielregionen verglichen mit Ballungszentren aber insgesamt weniger relevanten – Stickoxide und des Feinstaubes relativ stets höher aus, als die CO₂-Einsparung. Die Reduktionen sind bei Anwendung der Variante mit eingeschränkter Kuppelbarkeit (Sparvariante 1 gemäß 3.2.1.6) geringer aus, da hier ein Teil des Bedarfsverkehrs mit konventionellen Kleinbussen durchgeführt wird.

Bei den zugrunde gelegten Emissionsfaktoren schneidet das SynArea-Fahrzeug pro Personenkilometer besser ab, als der Linienbus, selbst wenn dieser voll besetzt wäre. Der Linienbus hat daher in der synergetisch-multimodalen Arbeitsteilung weniger einen ökologischen Zweck, als er der Entlastung des Leihsystems von gebündelt-gerichteten Verkehrsströmen und der Bereitstellung relativ schneller Verbindungen ohne Voranmeldezeit für nicht voll fahrtüchtige NutzerInnen dient.

4.4. Auswirkungen auf die Erreichbarkeitsverhältnisse

Eines der Hauptziele des Konzepts besteht darin, die Erreichbarkeiten bzw. die Mobilitätschancen und damit die Möglichkeiten sozialer Teilhabe für Menschen ohne verfügbarem Pkw und/oder mit eingeschränkter oder fehlender Fahrtüchtigkeit zu verbessern. Zur Quantifizierung der Zielerreichung wurde aus den im Verkehrsnachfragemodell enthaltenen Fahrplan- und Leihangebotsdaten die Fahrzeit^k zwischen allen Verkehrsbezirken der jeweiligen Beispielregionen (90 im nördlichen Wiener Becken und 50 im Mittelburgenland) für folgende Modi ermittelt:

- Pkw (Bestand und Planfall gleich)
- ÖV (Bestand / Planfall)
- Leihfahrzeug 25 km/h
- Leihfahrzeug 25 km/h + ÖV
- Leihfahrzeug 45 km/h
- Leihfahrzeug 45 km/h + ÖV
- Bedarfsverkehr
- Bedarfsverkehr + ÖV
- Gehzeit zu Fuß (errechnet aus Fußweg-Entfernung mit 4 km/h)

Diese insgesamt zehn verschiedenen Fahrzeitwerte wurden wie folgt zusammengefasst und jeweils die Differenz (Mehrfahrzeit) gegenüber der Pkw-Fahrzeit errechnet:

- ÖV Bestand: Minimum aus ÖV-Fahrzeit im Bestand und Gehzeit zu Fuß
- Nur ÖV / BV: Minimum der Fahrzeiten im Planfall aus:
 - Öffentlicher Verkehr
 - Bedarfsverkehr
 - Kombination Öffentlicher Verkehr + Bedarfsverkehr
 - Zu Fuß
- Intermodal ≤ 25 km/h: Minimum der Fahrzeiten im Planfall aus:
 - Öffentlicher Verkehr
 - Bedarfsverkehr
 - Kombination Öffentlicher Verkehr + Bedarfsverkehr
 - Leihfahrzeug 25 km/h
 - Kombination Leifahrzeug 25 km/h + Öffentlicher Verkehr
 - Zu Fuß
- Intermodal ≤ 45 km/h: Minimum der Fahrzeiten im Planfall aus:
 - Öffentlicher Verkehr
 - Leihfahrzeug 45 km/h
 - Kombination Leifahrzeug 45 km/h + Öffentlicher Verkehr
 - Zu Fuß

Zusätzlich zu den Zellen innerhalb der Region wurden als Anbindungsziele außerhalb für die Beispielregion Wiener Becken Nord Wien Reumannplatz, Bruck an der Leitha und Eisenstadt berücksichtigt, für das Mittelburgenland hingegen Mattersburg.

^k Die Fahrzeit enthält: Zu- und Abgangszeit bei allen Modi außer Bedarfsverkehr (bei Bedarfsverkehr + ÖV nur am ÖV-Ast), Umsteigewartezeit bei ÖV und Kombination Leihfahrzeug/ÖV, Manipulationszeit bei Leihfahrzeug und Kombination Leihfahrzeug/ÖV, keine Startwartezeit bei Bedarfsverkehr.

Für alle Quell-Ziel-Relationen wurde für den Öffentlichen Verkehr und die Kombinationen desselben mit Leihfahrzeug oder Bedarfsverkehr die Anzahl an Verbindungen pro Tag ermittelt.

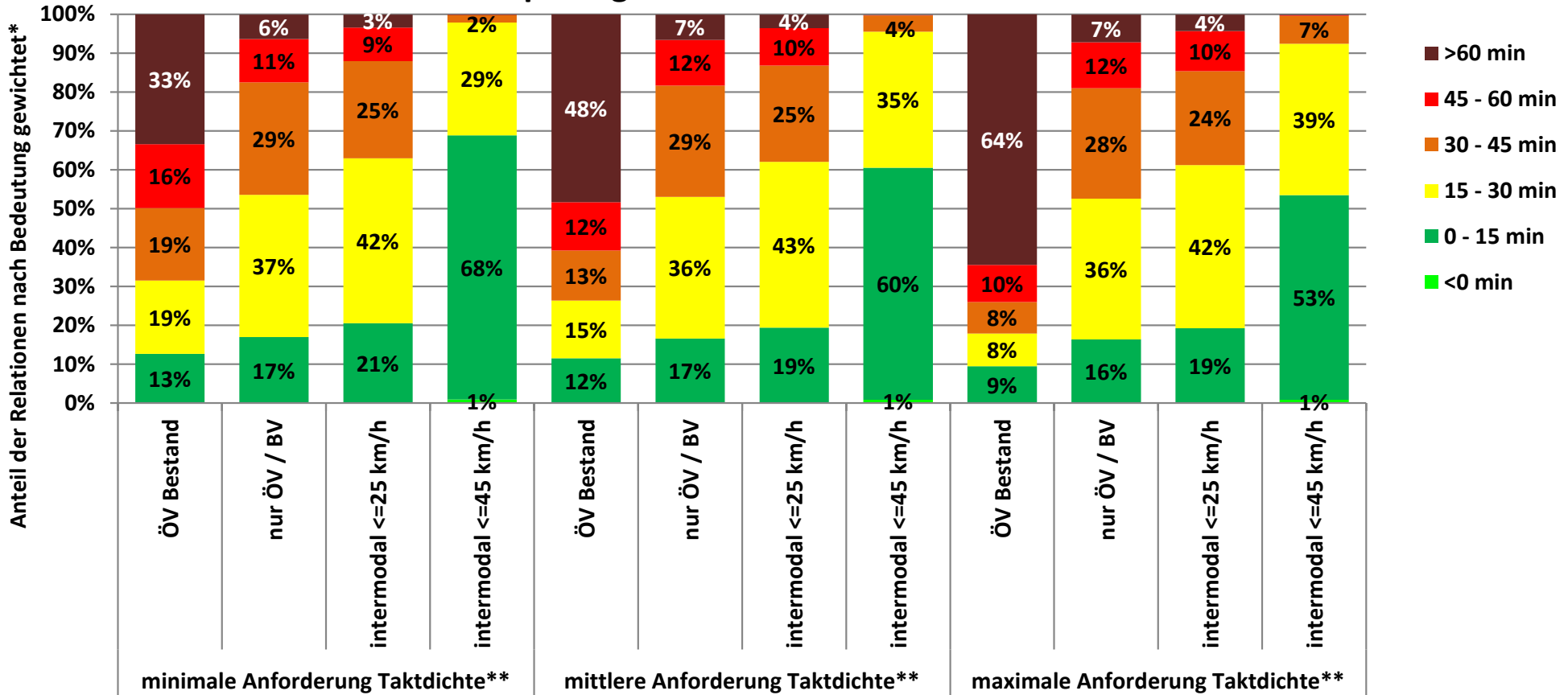
Als Maßzahl für das Gewicht der einzelnen Zellen diente die Anzahl motorisierter Quellwege (MIV + ÖV), das Gewicht der Relationen wurde als Produkt von Quell- und Zielgewicht berechnet.

Aus den oben beschriebenen Fahrzeitdifferenzen und den Relationsgewichten wurde errechnet, für welchen Anteil der gewichteten Relationen je nach Bestand/Planfall und Fahrtüchtigkeit wie viel zusätzliche Fahrzeit gegenüber dem Pkw anfällt.

Um nicht nur die Fahrzeit mit der günstigsten Verbindung zu berücksichtigen, sondern auch die Anzahl an Verbindungen, wurde die beschriebene Rechnung mit drei verschiedenen Anforderungsniveaus an die Verbindungshäufigkeit durchgeführt:

- minimale Anforderung Taktichte: mindestens 3 Verbindungen täglich
- mittlere Anforderung Taktichte: mindestens 7 Verbindungen täglich
- maximale Anforderung Taktichte: mindestens 14 Verbindungen täglich

Fahrzeitdifferenz zwischen schnellster öffentlich-intermodaler Option und Pkw Beispielregion Wiener Becken Nord

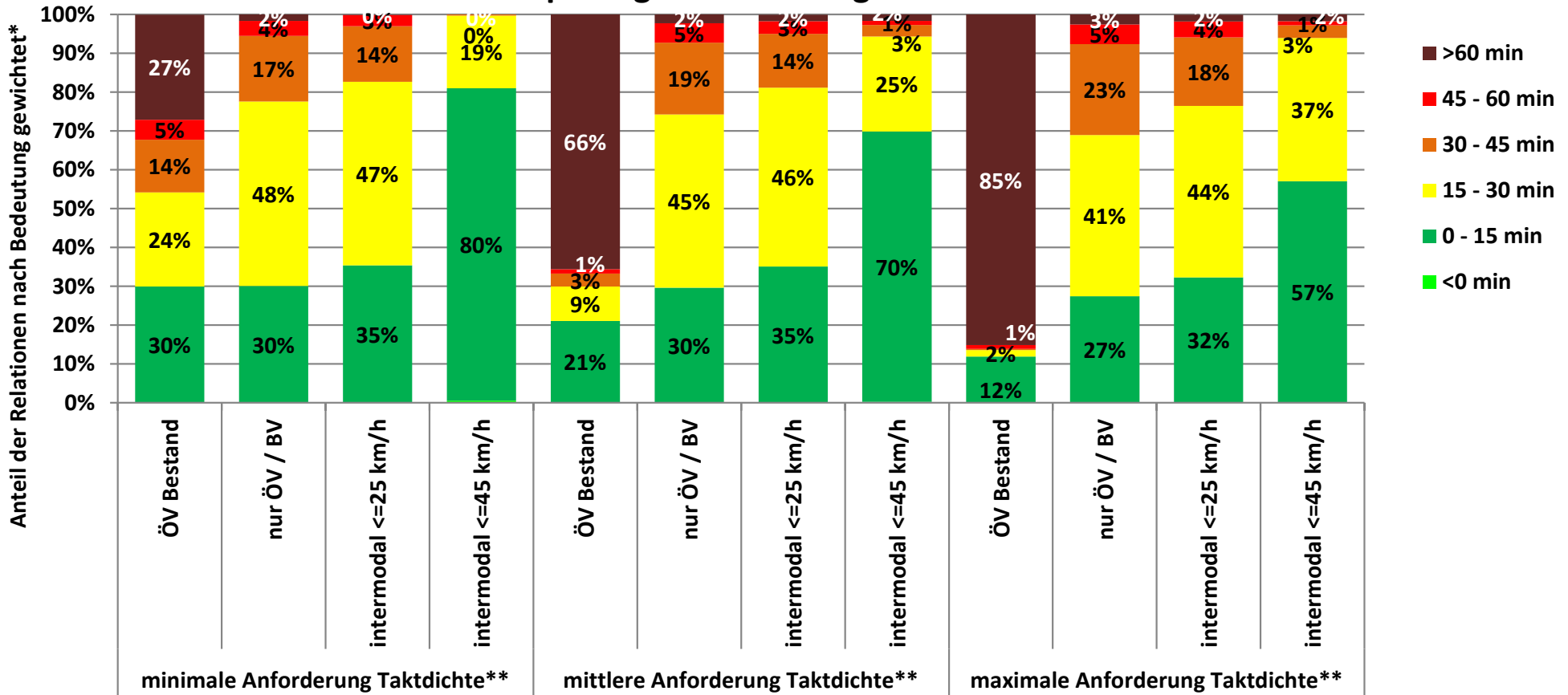


ÖV- Bestand: Plan-ÖV Referenzfall (Fahrplan 2013) oder zu Fuß
 nur ÖV / BV: Plan-ÖV oder SynArea-Bedarfsverkehr oder zu Fuß
 intermodal <= 25 km/h: Leihfahrzeug (25 km/h), Bedarfsverkehr oder Plan-ÖV
 intermodal <= 45 km/h: Leihfahrzeug (45 km/h), Bedarfsverkehr oder Plan-ÖV

*: Gewichtung nach dem Produkt der motorisierten Quellwege von Quell- und Zielzone
 **: Takt-Anforderungen: ÖV-Fahrzeit nur ab folgender Anzahl Verbindungen pro Tag berücksichtigt: 3 (min) / 7 (mittel) / 14 (max)

Abbildung 114: Konzeptinduzierte Verbesserung der Erreichbarkeitsverhältnisse in der Beispielregion Wiener Becken Nord: Fahrzeitunterschiede zum Pkw für Bestand (nur ÖV) und Konzept (je nach Fahrtüchtigkeit nur Öffentlicher und Bedarfsverkehr, Leihfahrzeuge bis 25 km/h oder Leihfahrzeuge bis 45 km/h), dargestellt nach Anforderungen an die Taktichte.

Fahrzeitdifferenz zwischen schnellster öffentlich-intermodaler Option und Pkw Beispielregion Mittelburgenland



ÖV- Bestand: Plan-ÖV Referenzfall (Fahrplan 2013) oder zu Fuß
 nur ÖV / BV: Plan-ÖV oder SynArea-Bedarfsverkehr oder zu Fuß
 intermodal <= 25 km/h: Leihfahrzeug (25 km/h), Bedarfsverkehr oder Plan-ÖV
 intermodal <= 45 km/h: Leihfahrzeug (45 km/h), Bedarfsverkehr oder Plan-ÖV

*: Gewichtung nach dem Produkt der motorisierten Quellwege von Quell- und Zielzone
 **: Takt-Anforderungen: ÖV-Fahrzeit nur ab folgender Anzahl Verbindungen pro Tag berücksichtigt: 3 (min) / 7 (mittel) / 14 (max)

Abbildung 115: Konzeptinduzierte Verbesserung der Erreichbarkeitsverhältnisse in der Beispielregion Wiener Becken Nord: Fahrzeitunterschiede zum Pkw für Bestand (nur ÖV) und Konzept (je nach Fahrtüchtigkeit nur Öffentlicher und Bedarfsverkehr, Leihfahrzeuge bis 25 km/h oder Leihfahrzeuge bis 45 km/h), dargestellt nach Anforderungen an die Taktichte.

Jene Fälle, in denen die Fahrzeit mit dem öffentlichen Verkehr oder den anderen Alternativen zum eigenen Auto mehr als eine Stunde beträgt, sind in Abbildung 114 und Abbildung 115 braun dargestellt: Diese Relationen, für die man praktisch auf das Auto angewiesen ist, machen im Bestand im nördlichen Wiener Becken 33% bis 64% und im Mittelburgenland 27% bis 85% aus, je nachdem ob die betroffenen Personen eine hohe Anpassungsfähigkeit an das Fahrplanangebot aufweisen (minimale Anforderung an die Taktdichte) oder mehr Flexibilität erwarten (maximale Anforderung an die Taktdichte). Umgekehrt machen die Fälle, in denen die Fahrzeit ohne eigenes Auto höchstens um eine Viertelstunde länger ist als mit eigenem Auto, je nach angewandter Mindesttaktdichte im nördlichen Wiener Becken 9% bis 13% aus, im Mittelburgenland hingegen 12% bis 30%. Für Menschen, die berechtigt sind, das Leihfahrzeug im schnelleren Modus (max. 45 km/h) zu lenken, würden sich diese Verhältnisse in etwa umkehren: Für 53% bis 80% nähern sich die Fahrzeiten auf einen Unterschied von weniger als 15 Minuten an, sodass man von weitgehend gleichberechtigten Möglichkeiten der sozialen und Mobilitätsteilhabe sprechen kann, nur noch in 0-7% der gewichteten Fälle macht der Unterschied mehr als eine Stunde aus. Aber auch für die nicht fahrtüchtigen RegionsbewohnerInnen (Säulen „nur ÖV / BV“ in den Diagrammen) verbessern sich die Erreichbarkeitsverhältnisse erheblich, die Rücknahmen im planmäßigen Busverkehr werden mit der Einrichtung des Bedarfsverkehrsangebots also mehr als kompensiert.

4.5. Verkehrssicherheit

4.5.1. Konformität mit bestehender oder zu erwartender Legislative

Die Anforderungen an die Fahrzeugsicherheit sind abhängig von den derzeit bestehenden Fahrzeugklassen recht unterschiedlich. Für herkömmliche PKW, welche der Fahrzeugklasse M1 zugeordnet sind, gibt es eine Vielzahl von gesetzlich vorgeschriebenen Crashtests, welche positiv erfüllt werden müssen um eine Zulassung für das Fahrzeug zu bekommen. Die Anforderungen dieser Crashtest sind nicht in allen Ländern gleich, dennoch sehr ähnlich. Das Konzeptfahrzeug soll der Fahrzeugklasse L6e entsprechen. L6e Fahrzeuge müssen folgenden Randbedingungen entsprechen:

- Vierrädriges Leichtkraftfahrzeug mit einer Leermasse bis zu 350 kg (ohne Batterien bei Elektrofahrzeugen) mit bauartbedingter Höchstgeschwindigkeit von bis zu 45 km/h und Hubraum bis zu 50 cm³ oder 4 kW bei anderen Verbrennungsmotoren oder Elektromotoren.

Für diese Klasse gibt es derzeit keine gesetzlich vorgeschriebenen Crashtest, es müssen lediglich für die Typengenehmigung Mindeststandards der aktiven Sicherheit eingehalten werden (siehe Kapitel 2.3.3.7). Darunter fallen z.B. das Vorsehen von Licht, ein Mindeststandard beim Bremssystem bzw. muss die Struktur so ausgeführt sein, dass bei einem Unfall keine spitzen Teile in den Fahrzeuginnenraum eindringen und so die Verletzungsschwere des Insassen erhöhen. Da die Anforderungen bezüglich Verkehrssicherheit von Leichtfahrzeugen derzeit sehr gering sind, beschäftigen sich einige internationale Projekte damit, eine Verbesserung und eine Vorgehensweise bzw. Anforderungen für Crashtests für Leichtfahrzeuge zu definieren. Zum Beispiel arbeitet das EU Projekt Safe EV (<http://www.project-safeev.eu>) an einem Leitfaden, mit welchen Testszenarien solche Kleinfahrzeuge getestet werden sollen und welche Anforderungen dafür nötig wären.

4.5.2. Zu erwartende Auswirkungen auf das Unfallgeschehen

Dieses Kapitel beinhaltet die grundlegende Vorgangsweise, mit welcher im Zuge dieser Arbeit eine Abschätzung zur erwartenden Auswirkungen auf das Unfallgeschehen durch Unfälle mit Leichtfahrzeugen erarbeitet wurde. Zu Beginn wird die Vorgangsweise einer Realunfallrekonstruktion, unter der Verwendung der Simulationssoftware PC-Crash™, erklärt. Nachfolgend wird die simulationstechnische Umsetzung der Unfallsituationen mit Leichtfahrzeugen beschrieben. Zum Abschluss dieses Kapitels wird die Vorgangsweise zur Ergebnisauswertung nach gewählten Bewertungskriterien erläutert.

4.5.2.1. Methode

Die Grundlage für die Rekonstruktion von Straßenverkehrsunfällen bilden Polizei- und Gerichtsakten, in welchen der Sachverhalt über einen Realunfall, in Form von Bildern, Zeugenaussagen, Spurenzeichnungen, Verkehrsunfallanzeigen, Fotogrammetrie, etc., beschrieben wird. Für die in den Beispielregionen erhobenen Unfallsituationen wurden ca. 60 relevante Verkehrsunfälle rekonstruiert und für die weiteren Simulationen herangezogen. Um das Verletzungsrisiko bei Unfällen mit Leichtfahrzeugen aufzuzeigen, wurden relevante Unfallszenarien durch einen Vorher (Baseline Simulation) – Nachher (System Simulation) Vergleich durchgeführt. Die Baseline für die gegenständliche Studie bilden Realunfälle der Unfalldatenbank ZEDATU (Zentrale Datenbank für Tiefenanalyse von Verkehrsunfällen). Für die Systemsimulation werden die Fahrzeuge der Baseline Unfälle mit Leichtfahrzeugen ersetzt und anschließend das Szenario erneut simuliert.

Dabei wurden für jeden rekonstruierten Unfall folgende Szenarien simuliert:

- Konventionelles Fahrzeug kollidiert mit konventionellem Fahrzeug (Realunfall bzw. Baseline Simulation)
- Konventionelles Fahrzeug kollidiert mit Leichtfahrzeug (System Simulation M1 – L6e)
- Leichtfahrzeug kollidiert mit konventionellem Fahrzeug (System Simulation L6e –M1)
- Leichtfahrzeug kollidiert mit Leichtfahrzeug (System Simulation L6e – L6e)

Der Vergleich der Baseline Simulation mit der System Simulationen lässt eine Abschätzung der Unfallschwere zu. Diese Methodik kann grundsätzlich auf alle Unfallszenarien angewendet werden.

Nachfolgend wird eine Unfallrekonstruktion anhand eines Realunfalles demonstriert und die Methode zur Simulation der Leichtfahrzeuge wird näher erklärt.

4.5.2.1.1. Rekonstruktionsprogramm PC-Crash™

Als Simulationssoftware für die Unfallrekonstruktion wurde PC-Crash™ verwendet. Diese ist ein im Bereich der Sachverständigentätigkeit und Unfallforschung weit verbreitetes Simulationsprogramm. Durch umfassende Fahrzeug Datenbanken können die Fahrzeuge detailgenau dargestellt werden. Durch individuelle Anpassungsmöglichkeiten der Fahrzeuge wie zum Beispiel Fahrzeughöhe, Schwerpunkthöhe, usw. können Unfälle möglichst realitätsnah simuliert werden. Ebenfalls ist es möglich, die Vor- und Nachkollisionsphasen zu simulieren. Dadurch können Fahrmanöver bzw. Reaktionsmanöver dargestellt werden. Durch Verwendung der Vorwärtssimulation können die Endlagen genauestens errechnet werden.

Das Programm PC-Crash™ unterscheidet grundsätzlich zwischen zwei Berechnungsvarianten. Zum einen gibt es hier die kinematische Berechnungs-Methode. Sie berücksichtigt nur die beim Unfall auftretenden Geschwindigkeiten und Beschleunigungen. Zum anderen kommt auch das kinetische Berechnungs-Modell zum Einsatz. Dieses berücksichtigt neben den Bewegungsabläufen auch jene Kräfte, welche diese Bewegungen verursachen⁴⁹

Zur Stoßberechnung gibt es drei verschiedene Modelle. Das klassische Stoßmodell ermittelt die Geschwindigkeiten am Ende eines Stoßes unter Berücksichtigung der Geschwindigkeiten vor dem Stoß. Das steifigkeitsbasierte Stoßmodell arbeitet mit den bei dem Stoß entstehenden Kräften. Es werden dann ausgehend von Steifigkeitsfunktionen und Verformungen die Kräfte auf die Fahrzeuge ermittelt. Das dritte und letzte Stoßmodell ist das Mesh Kontaktmodell. Bei diesem Modell wird das Fahrzeug aus Netzen und Knotenpunkten aufgebaut. Der Stoß verursacht Verformungen in den Knotenpunkten wodurch die Kontaktkräfte berechnet werden können. Zuerst wurden die ausgewählten Unfälle (Unfälle im Kreuzungsbereich und Unfälle im Begegnungsverkehr) mit dem Software Programm PC Crash rekonstruiert.

4.5.2.1.2. Vorgehensweise einer Realunfallrekonstruktion

Im folgenden Unterkapitel wird die Rekonstruktion eines Realunfalls (Beispielfall) mit der Rekonstruktionssoftware PC-Crash™ erklärt.

Entsprechend der Verkehrsunfallanzeige kam es zu einer Frontalkollision zwischen einem bevorrangten VW Doka-Pritsche und einem VW Passat-Limousine beim Linksabbiegen. Anhand der Plausibilisierung der Zeugenaussagen des Fahrers des VW Doka-Pritsche und des Beifahrers des VW Passat-Limousine konnte der Unfallhergang wie folgt rekonstruiert werden. Der Unfall ereignete sich bei Nacht und schlechten Sichtverhältnissen. Die VW Passat-Limousine näherte sich einer Kreuzung, mit der Absicht links in eine Häuserzufahrt einzubiegen. Aufgrund der schlechten Sichtverhältnisse verpasste der Fahrer diese und musste somit sein Fahrzeug zurückzusetzen, um den Abbiegevorgang einleiten zu können. Der Lenker der VW Passat-Limousine setzte daraufhin sein Fahrzeug zurück und bog in die Kreuzung ein. Dabei übersah er den sich im Gegenverkehr nähernden VW Doka-Pritsche und kollidierte mit diesem. Aufgrund der schlechten Sichtverhältnisse und dem kurvigen Straßenverlauf herrschten erschwerte Bedingungen zur Erkennung anderer Verkehrsteilnehmer. Als Folge der Kollision wurden beide Fahrzeuge von der Fahrbahn geschleudert und erreichten ihre Endlagen am Fuße der straßenanliegenden Böschung (siehe Abbildung 116). Durch diesen Unfall wurde der nicht angegurte Fahrer der VW Passat-Limousine tödlich, sein Beifahrer schwer und der Fahrer des VW Doka-Pritsche leicht verletzt.



Abbildung 116: Orthofoto und Realunfallaufnahmen

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die im nachfolgenden, erläuterte Vorgehensweise keinesfalls in der vorgezeigten Reihenfolge erfolgen muss.

4.5.2.1.3. Einfügen einer Bitmap

PC-Crash™ ermöglicht das Einfügen von Bitmaps im JPEG-Format. Diese Funktion kann genutzt werden, um ein maßstäbliches Orthofoto (siehe Abbildung 117) als Hintergrund zu hinterlegen. Anschließend erfolgt eine maßstäbliche Skalierung dieser, womit der Grundstein für die folgende Rekonstruktion gelegt wäre.



Abbildung 117: Bitmap in PC-Crash™

Der in Abbildung 117 gezeigte Straßenverlauf entspricht aber hinsichtlich seiner Topographie noch nicht dem des Realunfalls. Unter der Zuhilfenahme von Neigungspolygonen wird der Böschung eine Höhe gegeben (siehe Abbildung 118).



Abbildung 118: Bitmap mit Neigungspolygon

4.5.2.1.4. Fahrzeugdatenbank und Fahrzeugdaten

Anhand der im vorhergehenden Unterkapitel beschriebenen Vorgangsweise zur Erstellung der simulierten Umgebung können nun die beteiligten Fahrzeuge geladen werden. Hierfür verfügt PC-Crash™ über eine detaillierte Datenbank, welche von Programmversion zu Programmversion mit neuen und alten Fahrzeugen ergänzt wird. Ausgehend von der Verkehrsunfallanzeige sind Marke, Fabrikat, Baujahr und sonstige Ausstattungsmerkmale der am Unfall beteiligten Fahrzeuge mehr oder weniger bekannt. Abbildung 119 zeigt die Auswahl der VW Passat-Limousine aus der DSD 2011 Fahrzeugdatenbank. Mittels detaillierter Daten, hinsichtlich Baujahr und Motorisierung, konnte die Suche auf ein Fahrzeug eingegrenzt werden. Das linke Fenster in Abbildung 119 zeigt die Fahrzeugdaten (Abmessungen, Motorisierung, Getriebeübersetzung etc.) laut Datenbank. Wichtig hierbei ist die Kennnummer des Fahrzeuges, mit welcher jenes eindeutig in der Datenbank zugeordnet werden kann. Diese Kennnummer stellt unter anderem ein Datenfeld der ZEDATU dar.

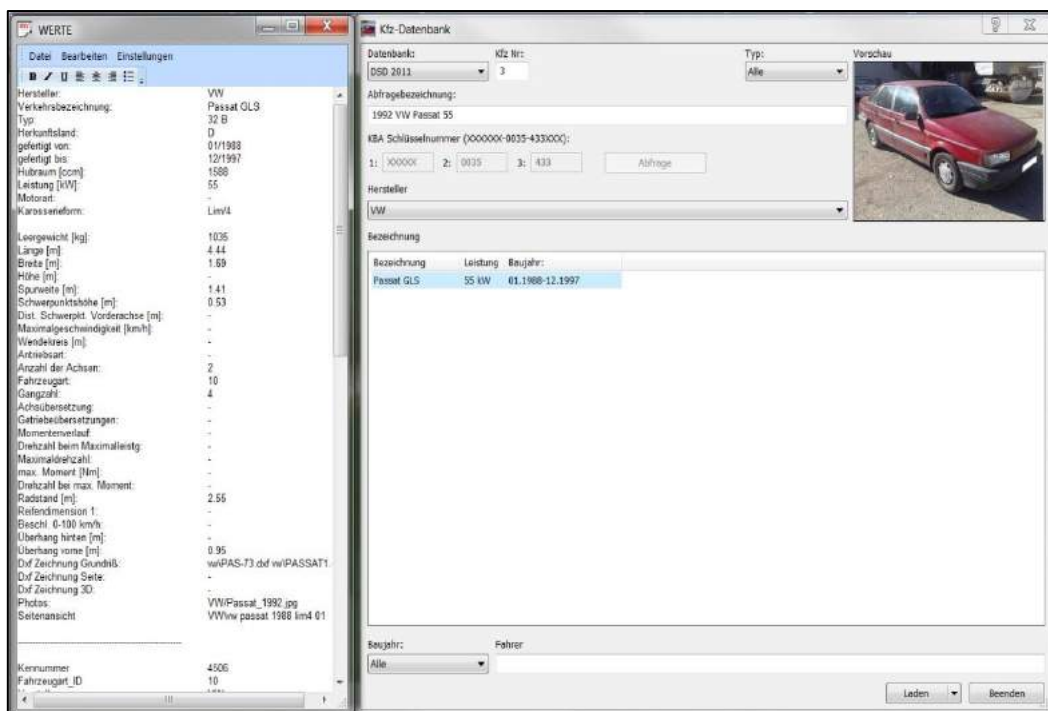


Abbildung 119: Fahrzeugdatenbank

Über die Menüauswahl Fahrzeugdaten können fahrzeugspezifische Daten und Eigenschaften, wie Abmessungen, Beladung, Federung, Bremskraft, ABS, ESP, etc. angepasst und eingestellt werden (siehe Abbildung 120). Anhand des Beispiels VW Passat Limousine ist bekannt, dass sich zum Zeitpunkt des Unfalls zwei Personen im Fahrzeug befunden haben (Fahrer und Beifahrer). Das durch die Insassen verursachte Gewicht kann zum Leergewicht des Fahrzeugs als Beladung hinzugefügt werden. Zusätzlich kann die Schwerpunkthöhe des Fahrzeuges mit ca. 0,5m Höhe für einen PKW dieser Größe mit gutem Gewissen angenommen und eingetragen werden. Im Register Karosserieform kann die Geometrie des Fahrzeugs angepasst werden. Dies ist vor allem bei Fußgängerunfällen von großer Bedeutung. Unter dem Punkt Stoßparameter kann die Steifigkeit der Karosserie sowie deren Reibbeiwert festgelegt werden, was unter anderem bei Unfällen mit Überschlägen essentiell für das Erreichen der Endlagen ist.

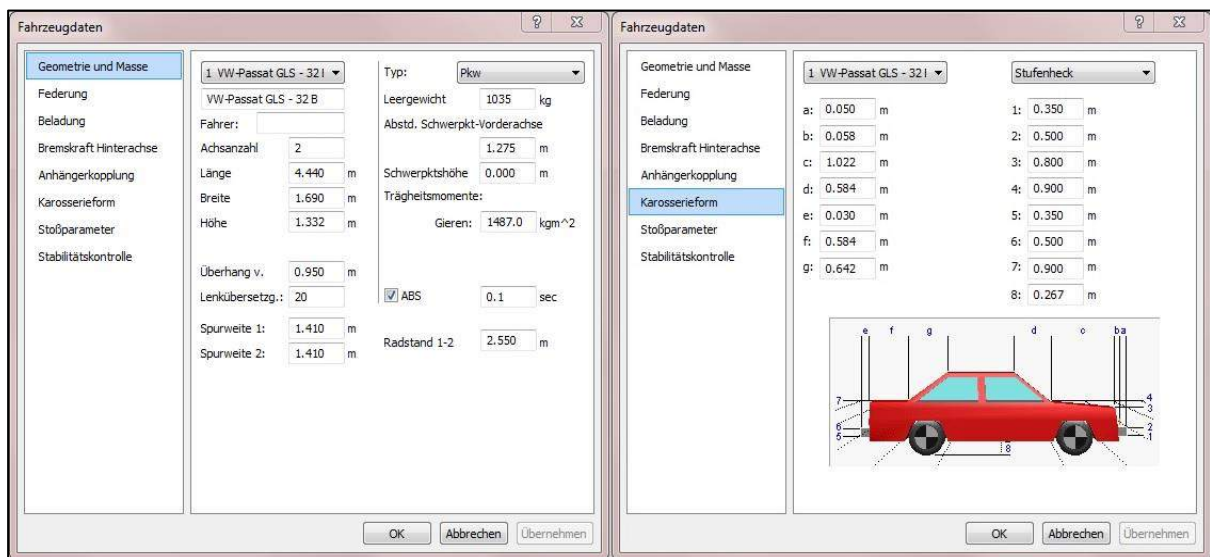


Abbildung 120: Fahrzeugdaten

4.5.2.1.5. Simulation der Vor- und Nachkollisionsphase

Wie bereits erwähnt, empfiehlt es sich bei der Rekonstruktion den Kollisionspunkt als Ausgangspunkt der Simulation zu wählen. Dieser kann in erster Näherung aus den Lichtbildern sowie der Fotogrammetrie entnommen werden. Falls vorhanden, ist häufig ein Knick in der Spurenzeichnung eines vor der Kollision bremsenden Fahrzeuges erkennbar. Dieser deutet auf den Kollisionspunkt hin, in welchen die Fahrzeuge nach ihren vermeintlichen Einlaufrichtungen positioniert werden. Ausgehend von Niederschriften und Verkehrsunfallanzeigen kann eine erste Abschätzung der Kollisionsgeschwindigkeiten erfolgen, welche zusammen mit verschiedenen Fahrmanövern die Simulationssequenzen (siehe Abbildung 121) bilden. Zusätzlich von großer Wichtigkeit ist die Wahl des globalen Reibungskoeffizienten μ , dieser kann abhängig von dem beim Realunfall herrschenden Fahrbahnzustand gewählt werden. Einen Überblick der Reibungskoeffizienten und der dazugehörigen erreichbaren Verzögerungswerte, in Abhängigkeit der Fahrbahnbeschaffenheit, ist in Tabelle 45 gegeben.

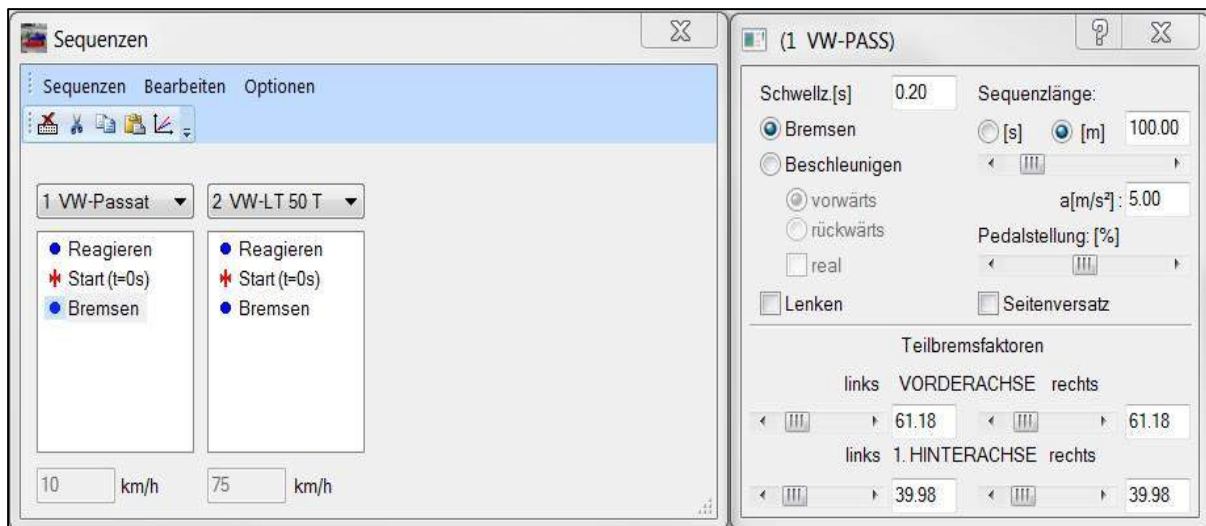


Abbildung 121: Sequenzen

Tabelle 45: Reibungskoeffizienten in Abhängigkeit des Fahrbahnzustanden⁵⁰

Fahrbahnzustand	Reibungskoeffizient	erreichbare Verzögerung
trocken	0,7 bis 0,9	7,85m/s ²
nass	0,5	4,9m/s ²
sehr nass	0,4	3,92m/s ²
Schnee	0,1 bis 0,5	2,94m/s ²
Eis	0,1	0,98m/s ²

Über die Vorgabe verschiedener Sequenzen (Reagieren, Bremsen, Lenken und Beschleunigen) können die Fahrmanöver der an der Kollision beteiligten Fahrzeuge in der Simulation nachgestellt werden. Sequenzen, welche vor dem Startpunkt (Start (t=0s)) liegen, betreffen die Vorkollisionsphase und Sequenzen, welche dahinter liegen, die Nachkollisionsphase.

Vorwärtssimulation

Der Ablauf der Sequenzen in der Simulation erfolgt von oben nach unten, d.h. am Beispiel der VW Passat-Limousine erfolgt unmittelbar nach Erkennen der Konfliktsituation (Sequenz: Start (t=0s)) eine Bremsung mit einer Verzögerung von beispielweise 5m/s² für eine Strecke von 100m (siehe Abbildung 121). Die Schwellzeit, d.h. die Zeit, welche benötigt wird, um den vollen Bremsdruck aufzubauen, wird mit 0,2s angenommen. Anhand der Teilbremsfaktoren lässt sich die Bremswirkung der einzelnen Räder variieren. Zu Beginn empfiehlt es sich für die Bremssequenzen nach der Kollision einen Wert für die Verzögerung anzunehmen, da sonst die Simulationsabbruchbedingung (Erreichen des Energiezustandes Null) unter Umständen nicht erreicht werden kann. Bei der Simulation des Stoßes erfolgt anschließend ein wiederholtes Ändern dieser Parameter für das erfolgreiche Erreichen der Fahrzeugendlagen.

In Abbildung 122 ist die Stoßkonstellation zwischen der VW Passat-Limousine (blau) und dem VW Doka-Pritsche (rot) in maximaler Eindringung dargestellt. Über die Wahl des Stoßpunktes und der Stoß-Eindringtiefe, der Berührebene, der Einlaufgeschwindigkeiten und der Größe des Reibungskegels, erfolgt die Stoßberechnung. Abhängig von den gewählten Einstellungen können vermeintlich auftretende Sekundärkollisionen automatisch von der Software berechnet werden. Die soeben genannten Parameter werden anschließend solange variiert, bis die Fahrzeugendlagen des Realunfalls erreicht werden.

Ergänzend sei erwähnt, dass über das Eingabefenster Reibung (siehe Abbildung 122) der Öffnungswinkel des Reibungskegels (violett) geändert werden kann. Anhand der Positionierung des Impulsvektors bzw. Stoßantriebsvektors kann zwischen einem Stoß mit verhakter Kollision und einer Abgleitkollision unterschieden werden. Befindet sich der Impulsvektor bzw. Stoßantriebsvektor innerhalb des Reibungskegels, so resultiert dies in einer verhakten Kollision und anders in einer Abgleitkollision.

Die Größe Delta-v (Δv) bzw. Geschwindigkeitsänderung stellt die betragsmäßige Differenz zwischen dem Einlaufgeschwindigkeitsvektor und dem Auslaufgeschwindigkeitsvektor eines Verkehrsteilnehmers dar. Diese Größe wird in der Unfallmechanik häufig als Indikator für die Insassenbelastung herangezogen.

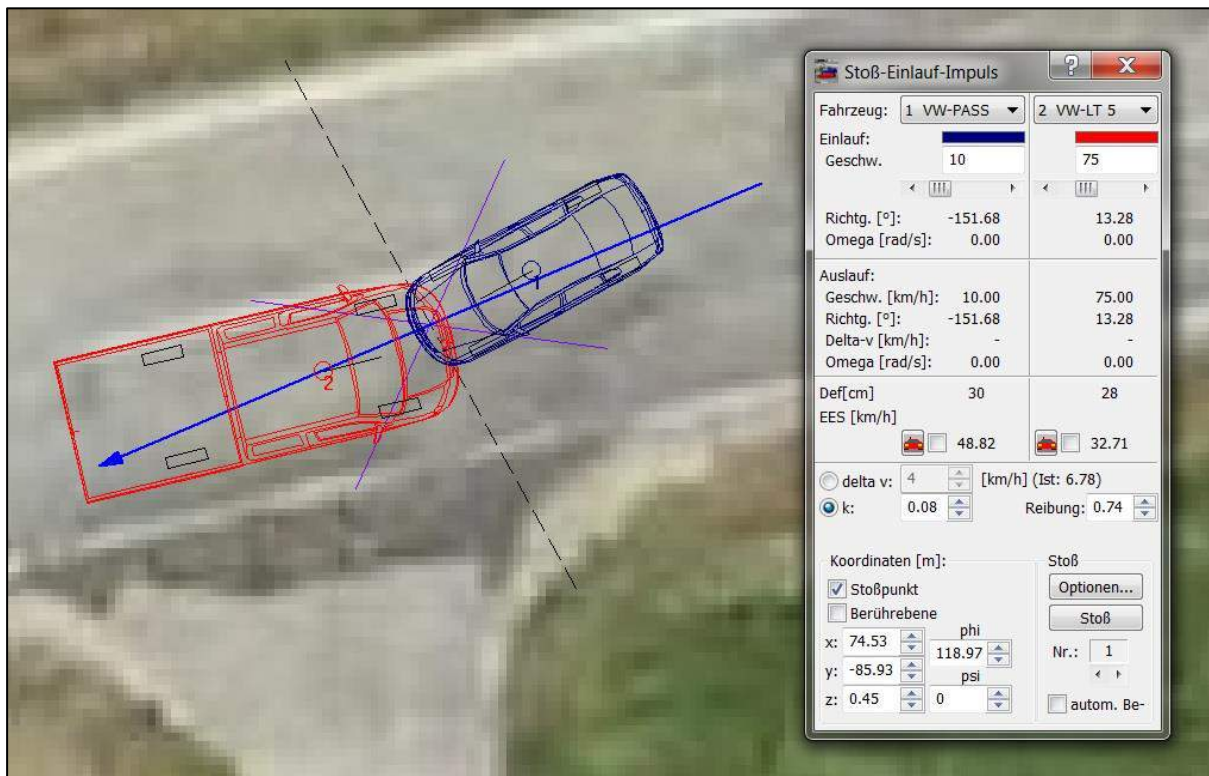


Abbildung 122: Stoß-Einlauf-Impuls

Rückwärtssimulation

Nach der erfolgreichen Rekonstruktion der Nachkollisionsphase samt Erreichen der laut Realunfall dokumentierten Endlagen, erfolgt die Berechnung der Vorkollisionsphase in Form einer Rückwärtssimulation, ausgehend vom Kollisionspunkt bzw. Startpunkt (Start $t=0$). Wie bereits erwähnt, gibt die eventuell vorhandene Spurenzeichnung Aufschluss über ein vor der Kollision eingeleitetes Bremsmanöver. Ist dies der Fall, wird eine Bremssequenz vor dem Kollisionspunkt bzw. Startpunkt eingefügt, welche eines der realen Spurenzeichnung ähnliches Ergebnis liefert. Mittels der Vorgabe von Spurpunkten (siehe Abbildung 123) kann die genaue Einlaufrichtung der Fahrzeuge in der Vorkollisionsphase definiert werden.

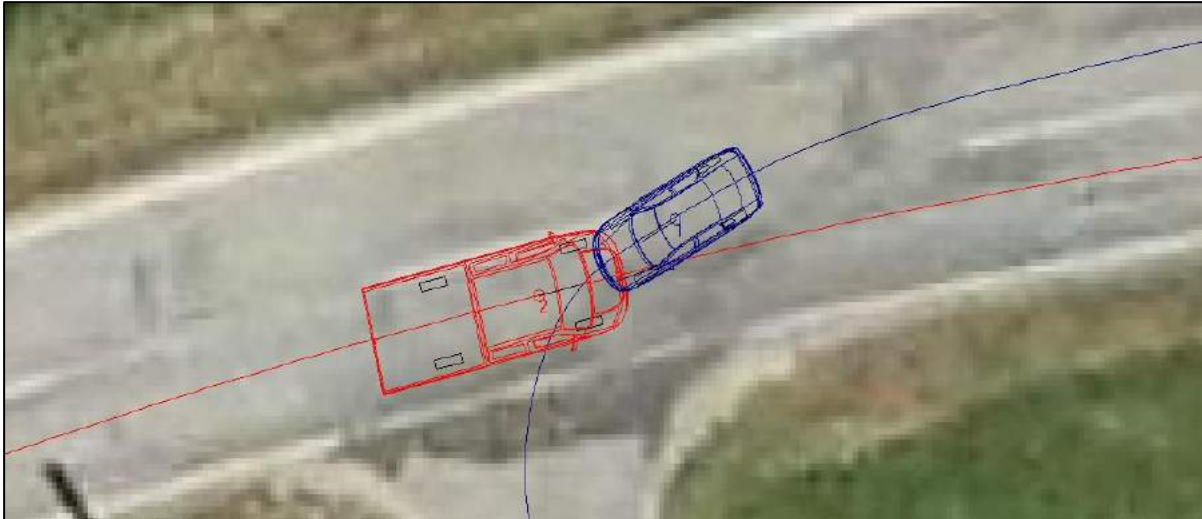


Abbildung 123: Vorgabe von Spurpunkten

In diesem hier gezeigten Beispiel konnte keine Spurenzeichnung in der Vorkollisionsphase festgestellt werden. Aufgrund der trockenen Fahrbahn und des Fehlens einer Spurenzeichnung sowie der Tatsache, dass sich der Unfall bei Nacht und schlechten Sichtverhältnissen zugetragen hat, kann davon ausgegangen werden, dass dem Fahrer des VW Doka-Pritsche das Einleiten einer Notbremsung nicht möglich war. Somit kann die Geschwindigkeit des VW Doka-Pritsche vor der Kollision mit der Kollisionsgeschwindigkeit gleichgesetzt werden.

4.5.2.1.6. Simulationsergebnis der Realunfallrekonstruktion

Zusammenfassend liefert die Rekonstruktion die beiden Kollisionsgeschwindigkeiten von 10km/h (VW Passat-Limousine) und 75km/h (VW Doka-Pritsche), die daraus resultierenden Werte für Delta-v (Δv) 60,40km/h (VW Passat-Limousine) und 28,85km/h (VW Doka-Pritsche). In Abbildung 124 ist der Ablauf des Straßenverkehrsunfalls dargestellt.



Abbildung 124: Ergebnis der Rekonstruktion

Mit dieser Methode wurden 60 relevante Realunfälle rekonstruiert und simuliert.

4.5.2.1.7. Simulationen der Realunfälle mit Leichtfahrzeugen

Für die Analyse der Unfallschwere wurden nun diese Realunfälle wie oben beschrieben nochmals simuliert, wobei einige Randbedingungen getroffen werden mussten und so wurden lediglich das Gewicht und die Fahrzeuggeschwindigkeit angepasst, die Abmessungen und andere fahrzeugspezifischen Eigenschaften wie z.B die Federsteifigkeit der Fahrzeuge konnten nicht berücksichtigt werden. Für die konventionellen Fahrzeuge wurden das tatsächliche Gewicht und die in der Rekonstruktion analysierten Geschwindigkeiten verwendet. Für die Leichtfahrzeuge wurden 430 kg als Gewicht definiert. und als maximale Geschwindigkeit wurden 45km/h (Höchstgeschwindigkeit L6e) verwendet. Hatte das Fahrzeug beim Realunfall eine höhere Geschwindigkeit als 45 km/h wurde die Geschwindigkeit für die Simulation mit Leichtfahrzeug auf 45km/h herabgesetzt, war die Geschwindigkeit kleiner 45 km/h wurde die tatsächliche Geschwindigkeit beibehalten. Allerdings wurde die Reaktion bzw. ein Bremsen berücksichtigt, wenn es im Realunfall aufgetreten war. Zusätzlich wurden die Fälle für Leichtfahrzeuge nochmals simuliert, wobei angenommen wurde, dass keine Reaktion bzw. Bremsen stattgefunden hat, um die obere Grenze für Verletzungen auswerten zu können. Dabei wurden für jeden rekonstruierten Unfall folgende Szenarien simuliert:

- Konventionelles Fahrzeug kollidiert mit konventionellem Fahrzeug (Realunfall bzw. Baseline Simulation)
- Konventionelles Fahrzeug kollidiert mit Leichtfahrzeug (System Simulation M1 – L6e)
- Leichtfahrzeuge kollidiert mit konventionellem Fahrzeug (System Simulation L6e –M1)
- Leichtfahrzeug kollidiert mit Leichtfahrzeug (System Simulation L6e – L6e)

Durch diese Varianten konnten somit ca. 400 Unfälle mit Leichtfahrzeugen simuliert werden. Aus den durchgeführten Simulationen wurde anschließend die charakteristische Größe Geschwindigkeitsänderung Δv ausgewertet und analysiert. Dazu wurden hier die Mittelwerte für Δv für die einzelnen System Simulationen herangezogen.

In Abbildung 125 sind die Werte Δv in km/h der einzelnen Unfallsimulationen dargestellt. Für die Realunfallsimulation - Konventionelles Fahrzeug kollidiert mit konventionellem Fahrzeug (Realunfall bzw. Baseline Simulation) – wurde hier ein Δv von 38km/h ermittelt. Bei der Simulation von Konventionelles Fahrzeug kollidiert mit Leichtfahrzeug (System Simulation M1 – L6e) wurde ein Δv von 5 km/h für das konventionelle Fahrzeug und ein Δv von 14km/h ermittelt. Bei der Simulation Leichtfahrzeug kollidiert mit konventionellem Fahrzeug (System Simulation L6e –M1) wurde ein Δv von 7 km/h für das konventionelle Fahrzeug und ein Δv von 18 km/h ermittelt. Abschließend wurde ein Δv von 3 km/h bei der Simulation von Leichtfahrzeug kollidiert mit Leichtfahrzeug (System Simulation L6e –L6e) ermittelt.

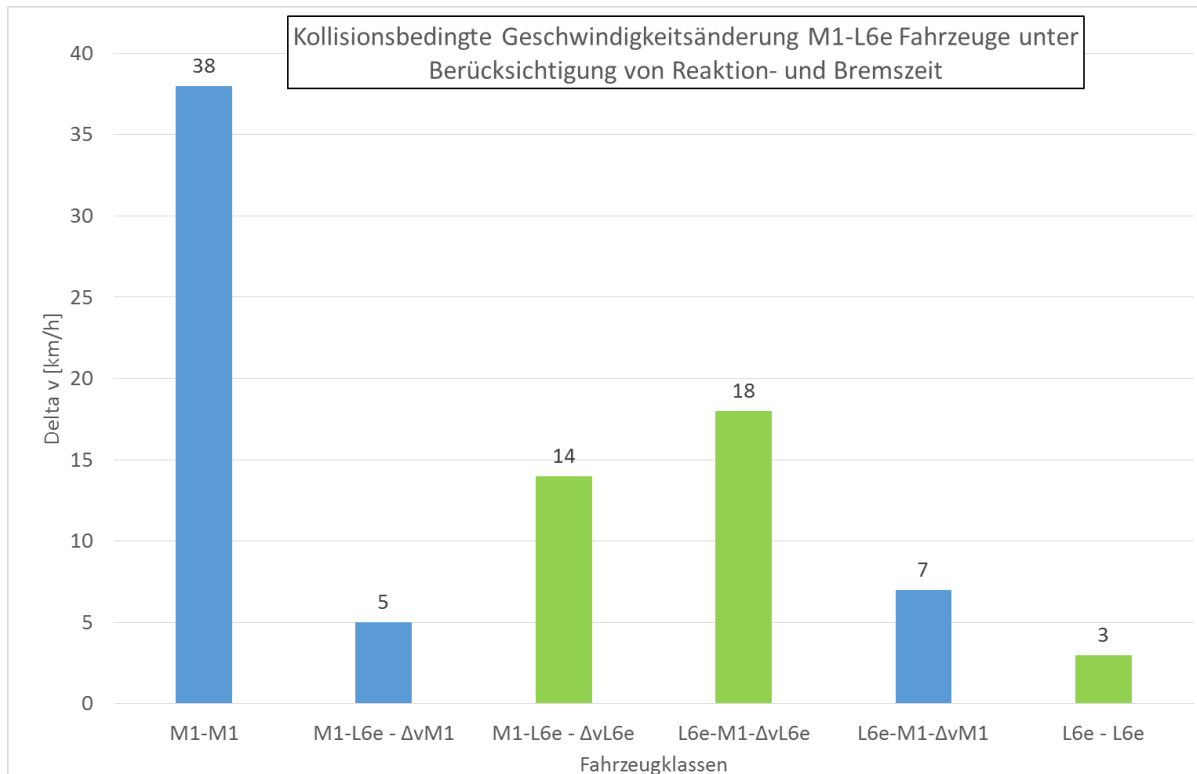


Abbildung 125: Kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung M1-L6e Fahrzeuge unter Berücksichtigung von Reaktions- und Bremszeit.

Da hier die Reaktions- und Bremszeit berücksichtigt wurde kommt es auch zu so unterschiedlichen Werten, da einerseits bei den Unfällen mit Leichtfahrzeugen die Geschwindigkeit geringer ist und auf der anderen Seite kam es bei ca. 30% der Unfallsimulationen mit Leichtfahrzeugen sogar zu einer Unfallvermeidung.

Wenn man dazu den Extremfall betrachtet, wo die Reaktions- und Bremszeit nicht berücksichtigt und es zum Crash mit der tatsächlichen Geschwindigkeit (bei den Leichtfahrzeugen auf max. 45 km/h begrenzt) kommt, sind die Werte für Δv bei den Leichtfahrzeugen wesentlich höher (siehe Abbildung 126).

Für die Realunfallsimulation - Konventionelles Fahrzeug kollidiert mit konventionellem Fahrzeug (Realunfall bzw. Baseline Simulation) – bleibt hier das Δv von 38 km/h gleich, da bei der Baseline Simulation nichts verändert wurde. Bei der Simulation von Konventionelles Fahrzeug kollidiert mit Leichtfahrzeug (System Simulation M1 – L6e) wurde ein Δv von 19 km/h für das konventionelle Fahrzeug und ein Δv von 47 km/h ermittelt. Bei der Simulation Leichtfahrzeug kollidiert mit konventionellem Fahrzeug (System Simulation L6e –M1) wurde ein Δv von 20 km/h für das konventionelle Fahrzeug und ein Δv von 49 km/h ermittelt. Abschließend wurde ein Δv von 28 km/h bei der Simulation von Leichtfahrzeug kollidiert mit Leichtfahrzeug (System Simulation L6e –L6e) ermittelt.

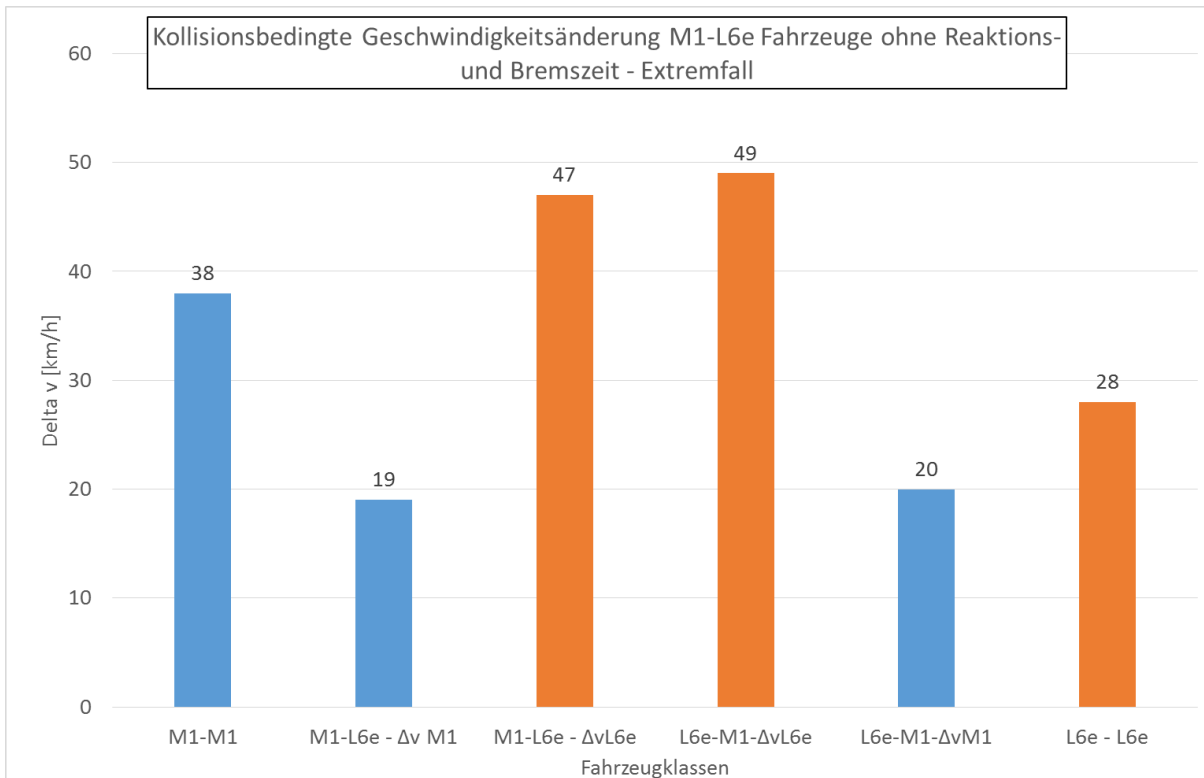


Abbildung 126: Kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung M1-L6e Fahrzeuge ohne Reaktion- und Bremszeit – Extremfall

In Tabelle 46 sind die Werte für Δv der durchgeführten Simulationen noch einmal zusammengefasst.

Simulation	Beschreibung	mit Reaktions- und Bremszeit		ohne Reaktions- und Bremszeit	
		Δv M1 [km/h]	Δv L6e [km/h]	Δv M1 [km/h]	Δv L6e [km/h]
Baseline simulation (M1-M1)	Konventionelles Fahrzeug kollidiert mit konventionellem Fahrzeug	38		38	
Systemsimulation M1 - 6Le	Konventionelles Fahrzeug kollidiert mit Leichtfahrzeug	5	14	19	47
Systemsimulation 6Le - M1	Leichtfahrzeuge kollidiert mit konventionellem Fahrzeug	7	18	20	49
Systemsimulation L6e - 6Le	Leichtfahrzeug kollidiert mit Leichtfahrzeug		3		28

Tabelle 46: Geschwindigkeitsänderung Δv der durchgeführten Simulationen

Mit dieser Größe lassen sich Rückschlüsse auf die Verletzungsschwere der Insassen ableiten, wobei hier versucht wird die Verletzungswahrscheinlichkeit von einer schweren Verletzung in Prozent aufzuzeigen. Im nachfolgenden Unterkapitel wird die Bewertungsmethode erklärt und in Kapitel 4.5.2.3 werden die berechneten Werte von Δv auf die Verletzungswahrscheinlichkeit umgelegt.

4.5.2.2. Bewertungsmethodik

Hinsichtlich der Notwendigkeit, Verletzungen nach ihrer Verletzungsschwere objektiv klassifizieren zu können, wurde gegen Ende der 1960er Jahre die *Abbreviated Injury Scale* (AIS) entwickelt. Die AIS teilt den menschlichen Körper in neun Körperregionen (siehe Tabelle 47) ein. Mit dieser Skala kann jede individuelle Verletzung klassifiziert werden, auch wenn der betreffenden Körperregion schon eine Verletzungsschwere zugeordnet ist (siehe Tabelle 48). Die Verletzungsschwere wird auf einer Skala von eins bis sechs bewertet. Große Revisionsänderungen der AIS wurden in den Jahren 1995 und 2008 angefertigt. Mit dem AIS Code Update 2008 können 1999 Verletzungen klassifiziert werden⁵¹

Tabelle 47: AIS Körperregionen

AIS Code	AIS Körperregion	Körperregionen im Detail
1	Kopf	Kopf (ohne Gesicht und Gesichtsschädel)
2	Gesicht	Gesichtsschädel, Gesicht (einschließlich Augen und Ohren)
3	Hals	Hals bzw. Nacken (ohne Rückenmark)
4	Thorax	Brustkorb
5	Abdomen	Bauchraum
6	Wirbelsäule	Rückenmark
7	Obere Extremitäten	Arme (einschließlich Schulter)
8	Untere Extremitäten	Beine (einschließlich Hüfte und Beckenknochen)
9	Unbekannt	Äußere und andere Verletzungen

Zusätzlich zu den in Tabelle 48 angeführten AIS Verletzungsklassifizierungen sind die Anzahlen der nach AIS 1998 und 2008 erfassten Verletzungskodierungen der einzelnen Körperregionen eingetragen.

Tabelle 48: AIS Verletzungsschwere

AIS Code	AIS Verletzungsschwere	Anzahl der AIS98-Codes	Anzahl der AIS2008-Codes
0	unverletzt		
1	leicht	258	447
2	mäßig	404	729
3	schwer	339	419
4	sehr schwer	154	172
5	lebensbedrohlich	141	155
6	tödlich	24	33
9	unbekannt	21	44

Durch den sogenannten MAIS (Maximum Abbreviated Injury Scale) kann eine maximale Verletzungsschwere bewertet werden, welche sich beispielsweise auf den Unfall, ein Fahrzeug, einen Beteiligten oder eine Körperregion beziehen lässt. Wird eine Einzelverletzung mit AIS 9 codiert, kann der MAIS nicht berechnet werden und muss ebenfalls mit MAIS 9 codiert werden.

4.5.2.2.1. Vorgangsweise der Bewertung

Im Prinzip erfolgt die Bewertung auf Basis der Vorher (Baseline Simulation) - Nachher (System Simulation) Auswertung von Verkehrsunfällen. Hinsichtlich der Ermittlung der Verletzungsschwere existieren in der Literatur verschiedene Ansätze. Einer der gebräuchlichsten ist der Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit einer MAIS3+ Verletzung (bedeutet MAIS3 oder höher) und Δv . Hierzu wurden begrenzte Stichproben an Realunfällen untersucht und in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern, wie zum Beispiel Anstoßstelle (frontal oder seitlich - siehe Abbildung 127), ausgewertet. Das Ergebnis dieser Arbeiten sind Risikofunktionen, welche zur Abschätzung der Insassenverletzungswahrscheinlichkeit bei einem Verkehrsunfall verwendet werden können. Ergänzend sei darauf verwiesen, dass die in Abbildung 127 dargestellten Risikokurven anhand der Verletzungsdaten von Fahrzeuglenker erstellt wurden.

In Abbildung 127 sind Risikokurven für die unterschiedlichen Kollisionsstellen Frontalbereich, Fahrerseite und Beifahrerseite dargestellt. Aufgrund der Tatsache, dass die Risikokurven unter der Auswertung der Verletzungen von Fahrzeuglenkern entstanden sind, ist die Wahrscheinlichkeit einer MAIS3+ Verletzung durch eine Kollision in die Fahrerseite am Größten. Zum Beispiel besteht bei einer Kollision in die Fahrerseite (Near Side) mit einem Δv von 35km/h eine MAIS3+ Verletzungswahrscheinlichkeit für den Fahrzeuglenker von 50%.

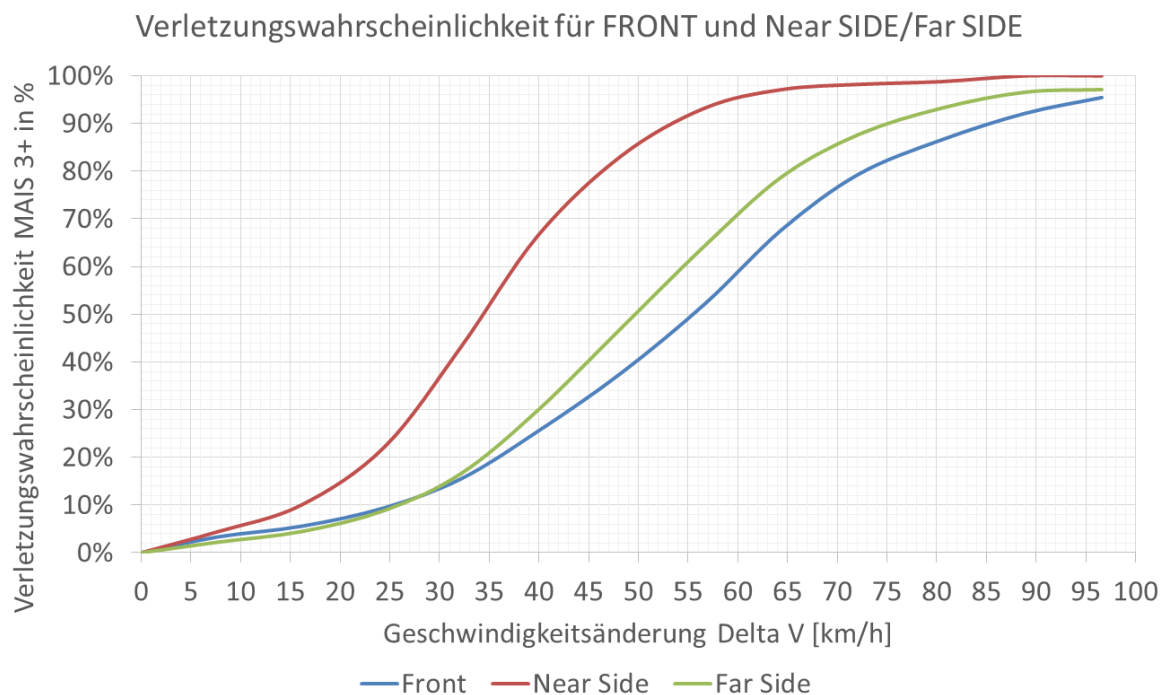


Abbildung 127: MAIS3+ Verletzungswahrscheinlichkeit für unterschiedliche Kollisions-konstellationen⁵²

4.5.2.3. Bewertung der Verletzungswahrscheinlichkeit bei Unfällen mit Leichtfahrzeugen

Ausgehend von den in Abbildung 127 dargestellten Risikokurven erfolgt für die untersuchten Fälle eine Bestimmung der Wahrscheinlichkeit einer MAIS3+ Verletzung der Fahrzeuglenker, sowohl für die Baseline Simulation, als auch für die System Simulationen. Bei den durchgeführten Simulationen handelte es sich um Frontalkollisionen und auch verschiedenste Seitenkollisionen, wobei Fahrer und/oder Beifahrer involviert und verletzt

wurden. Da durch die Simulationen mit Leichtfahrzeugen in den verschiedensten Varianten auch die Unfallkonstellation aufgrund von Geschwindigkeitsänderungen und der Berücksichtigung oder nicht Berücksichtigung von Reaktion und Bremsen auch die Unfallkonstellationen nicht immer gleich geblieben sind wurde hier Kurve für die Verletzungsschwere (Abbildung 127) und auf eine Mittelwertkurve aus Front und Near Side/Far Side als Referenz adaptiert. In Abbildung 128 ist die adaptierte Kurve (rote Kurve) dargestellt. In der Kurve sind die ermittelten Δv Werte für die verschiedenen Simulationen eingetragen. Bei den Simulationen mit Leichtfahrzeugen wurde ein maximales Δv von 49 Km/h ermittelt (obere Grenze). Wie in der Abbildung ersichtlich ist, besteht eine Verletzungswahrscheinlichkeit für eine MAIS3+ Verletzung von 60% für die Insassen des Leichtfahrzeuges bei einer Kollision mit einem konventionellen Fahrzeug. Eine Verletzungswahrscheinlichkeit für eine MAIS3+ Verletzung von 40% besteht für die Insassen eines konventionellen PKW bei einem Unfall mit einem konventionellen PKW und stellt auch die Obergrenze für die konventionellen PKW der Klasse M1 dar. Die untere Grenze mit einer Verletzungswahrscheinlichkeit für eine MAIS3+ Verletzung von 4% stellt eine Kollision zwischen einem Leichtfahrzeug und einem konventionellen Fahrzeug dar, wobei diese Verletzungswahrscheinlichkeit nur für die Insassen des PKW gilt. Die untere Grenze bei Leichtfahrzeugen stellt eine Kollision zwischen zwei Leichtfahrzeugen dar und weist eine Verletzungswahrscheinlichkeit für eine MAIS3+ Verletzung von 10% auf. Verletzungswahrscheinlichkeit für eine MAIS3+ Verletzung bei Insassen von Leichtfahrzeugen beträgt somit zwischen 10% und 60%, je nach Unfallkonstellation.

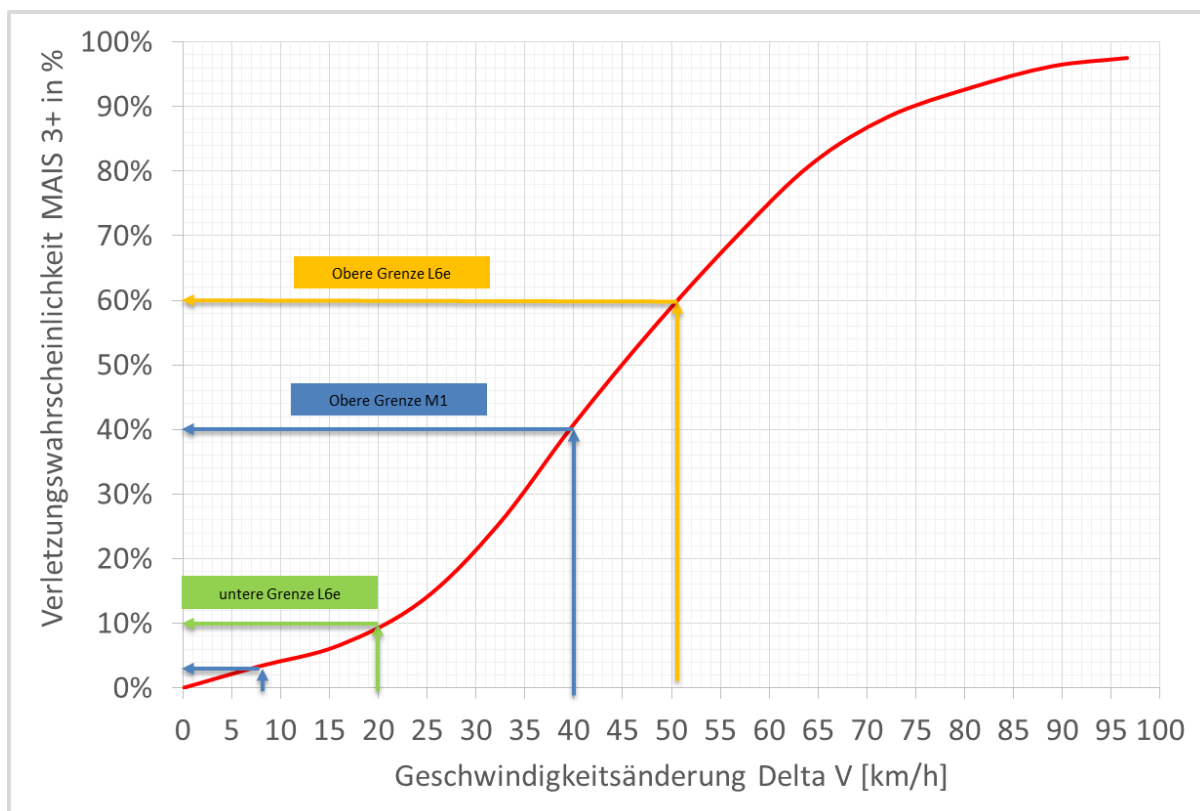


Abbildung 128: Verletzungswahrscheinlichkeit für simulierte Unfallsituationen

Da die Simulationen mit Reaktionen (Bremsen) und ohne Reaktionen und Bremsen durchgeführt wurden, konnte hier ein möglicher Bereich für die Verletzungswahrscheinlichkeit dargestellt werden. Es mussten allerdings einige Annahmen

getroffen werden um die Simulationen (Randbedingungen bei den Simulationen) zu ermöglichen bzw. wurden auch einige Vereinfachungen (Kurve der Verletzungsschwere) durchgeführt um eine Bewertung durchführen zu können. Durch das geringe Gewicht und die minimalen passiven Sicherheitssysteme der Leichtfahrzeuge steigt das Verletzungsrisiko der Insassen von Leichtfahrzeugen gegenüber herkömmlichen PKW.

4.5.3. Vereinfachte Unfallkostenrechnung

In diesem Kapitel wird die Durchführung einer vereinfachten Kostenrechnung beschrieben. Für die Unfallkosten werden die Kosten, welche vom bmvit⁵³ veröffentlicht wurden herangezogen.

	Preisstand 2011 (exklusive menschlichen Leids)	Preisstand 2011 (inklusive menschlichen Leids)
Getötete	1.401.085	3.016.194
Schwerverletzte	80.166	381.480
Leichtverletzte	3.716	26.894
Sachschaden (pro Unfall)	5.245	5.245

Tabelle 49: Durchschnittliche Unfallkosten eines Kostenträgers bzw. einer Schadensart 2011 – Angaben in Euro

4.5.3.1. Vorgehensweise

Im ersten Schritt wurden die Anzahl an Getöteten, Schwerverletzten und Leichtverletzten pro Jahr in den Beispielregionen ermittelt. Dabei wurden die Zahlen für die 5 Tage Woche (Mo-Fr) und 7 Tage Woche (Mo-SO) analysiert. Es wurden wie bei der Unfallanalyse in den Beispielregionen nur Straßen betrachtet, wo das SynArea Fahrzeug fahren darf. Es wurde nur das Freiland ohne A&S und das Ortsgebiet betrachtet.

Aus Kapitel 4.2 wurden die Informationen für die tatsächliche Fahrleistung in den Regionen herangezogen. Hier wurde nur die Fahrleistung von PKW für die Berechnungen verwendet, da ja die PKW Fahrleistung durch das SynArea Fahrzeug verringert werden soll. Zusätzlich wurden die abgeänderten Fahrleistungsdaten aufgrund von SynAREA Fahrzeugen (Planfall) in diesem Kapitel ermittelt.

4.5.3.2. Randbedingungen / Annahmen

Die Unfallkostenrechnung wurde nur für die zwei gewählten Beispielregionen durchgeführt. Die Verletzungsschwere wurde mit Hilfe der Simulationen nur für die 2 Unfallhaupttypen Unfälle im Kreuzungsbereich und Unfälle im Begegnungsverkehr, welche in den Beispielregionen sehr häufig auftraten berechnet, die Unfallkosten wurden aber für die gesamte Region auf alle Unfalltypen hochgerechnet. Eine weitere Einschränkung war, dass die Unfallkosten nur für Freiland ohne A&S und das Ortsgebiet ermittelt wurden. Für die obere Grenze der Unfallkosten wurde die berechnete Verletzungsschwere bei Leichtfahrzeugen (ohne Reaktion und Bremsen) und konventionellen Fahrzeugen bei den relevanten Unfalltypen ermittelt und auch für alle Unfalltypen herangezogen. Bei der unteren Grenze unter Berücksichtigung von Reaktion und Bremsen für Leichtfahrzeuge trat eine Unfallvermeidung von ca.30% bei den durchgeführten Simulationen auf, diese wurde berücksichtigt und auch wieder auf alle Unfalltypen angewendet. Für die Berechnung der

Jahresleistung an gefahrenen Kilometer wurden für die 5 Tage Woche 247 Tage angenommen und für die 7 Tage Woche 338.

4.5.3.3. Ergebnisse Unfallkostenrechnung

In nachfolgenden Tabellen (Tabelle 50 - Tabelle 54) sind die Unfallkosten pro Jahr für die beiden Beispielregionen dargestellt. Die Kosten sind jeweils für die 5 und 7 Tage Woche getrennt dargestellt. Zusätzlich wurde Freiland ohne A&S und Ortsgebiet getrennt betrachtet und die Unfallkosten inklusive und exklusive menschlichen Leids dargestellt. In Tabelle 52 - Tabelle 54 sind zusätzlich die Unfallkosten für den Planfall unter Berücksichtigung des SynArea Fahrzeuges dargestellt. Für die Region Mittelburgenland wird durch die Verkehrsplanung mit dem SynArea Fahrzeug die Ist PKW Fahrleistung um 8% reduziert und die SynArea Fahrleistung macht ca. 10% der Ist PKW Fahrleistung aus. Beim Nördlichen Wiener Becken bleibt die PKW Fahrleistung für den Planfall annähernd gleich und zusätzlich kommen ca. 3% an SynArea Fahrleistung von der Ist PKW Fahrleistung dazu. Dadurch steigen bei dem Nördlichen Wiener Becken die Unfallkosten für den Planfall bei der unteren und der oberen Grenze. Beim Mittelburgenland können die Unfallkosten für die untere Grenze reduziert werden.

In Tabelle 50 sind die tatsächlich auftretenden Unfallkosten pro Jahr für die Beispielregionen angeführt.

Region Mittelburgenland				
5 Tage Woche	Preisstand 2011 (exklusive menschlichen Leids)		Preisstand 2011 (inklusive menschlichen Leids)	
	ohne A&S	Ortsgebiet	ohne A&S	Ortsgebiet
Getötete	2 802 170 €	1 401 085 €	6 032 388 €	3 016 194 €
Schwerverletzte	1 202 490 €	561 162 €	5 722 200 €	2 670 360 €
Leichtverletzte	122 628 €	63 172 €	887 502 €	457 198 €
Summe	4 127 288 €	2 025 419 €	12 642 090 €	6 143 752 €

Region Mittelburgenland				
7 Tage Woche	Preisstand 2011 (exklusive menschlichen Leids)		Preisstand 2011 (inklusive menschlichen Leids)	
	ohne A&S	Ortsgebiet	ohne A&S	Ortsgebiet
Getötete	4 203 255 €	1 401 085 €	9 048 582 €	3 016 194 €
Schwerverletzte	1 843 818 €	801 660 €	8 774 040 €	3 814 800 €
Leichtverletzte	178 368 €	85 468 €	1 290 912 €	618 562 €
Summe	6 225 441 €	2 288 213 €	19 113 534 €	7 449 556 €

Region Nördliches Wiener Becken				
5 Tage Woche	Preisstand 2011 (exklusive menschlichen Leids)		Preisstand 2011 (inklusive menschlichen Leids)	
	ohne A&S	Ortsgebiet	ohne A&S	Ortsgebiet
Getötete	7 005 425 €	1 401 085 €	15 080 970 €	3 016 194 €
Schwerverletzte	5 531 454 €	3 046 308 €	26 322 120 €	14 496 240 €
Leichtverletzte	419 908 €	248 972 €	3 039 022 €	457 198 €
Summe	12 956 787 €	4 696 365 €	44 442 112 €	17 969 632 €

Region Nördliches Wiener Becken				
7 Tage Woche	Preisstand 2011 (exklusive menschlichen Leids)		Preisstand 2011 (inklusive menschlichen Leids)	
	ohne A&S	Ortsgebiet	ohne A&S	Ortsgebiet
Getötete	11 208 680 €	2 802 170 €	24 129 552 €	6 032 388 €
Schwerverletzte	7 214 940 €	3 847 968 €	34 333 200 €	18 311 040 €
Leichtverletzte	535 104 €	308 428 €	3 872 736 €	2 232 202 €
Summe	18 958 724 €	6 958 566 €	62 335 488 €	26 575 630 €

Tabelle 50: Unfallkosten pro Jahr für die Beispielregionen

Nachfolgende Tabelle 51 zeigt die Unfallkosten für das Mittelburgenland, berechnet für die obere Grenze. Im Vergleich des SynArea Planfall zu den Ist Kosten steigen die gesamten Unfallkosten, durch den reduzierten PKW Verkehr sinken zwar die Unfallkosten für PKW aber durch die Unfallkosten mit dem Leichtfahrzeug erhöhen sich die Kosten für den Planfall für die obere Grenze.

Region Mittelburgenland						
5 Tage Woche	Preisstand 2011 (exklusive menschlichen Leids)					
	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	2 802 170 €	2 577 996 €	336 260 €	1 401 085 €	1 260 977 €	168 130 €
Schwerverletzte	1 202 490 €	1 106 291 €	144 299 €	561 162 €	505 046 €	67 339 €
Leichtverletzte	122 628 €	112 818 €	14 715 €	63 172 €	56 855 €	7 581 €
Summe	4 127 288 €	4 292 380 €		2 025 419 €	2 065 927 €	

Region Mittelburgenland						
5 Tage Woche	Preisstand 2011 (inklusive menschlichen Leids)					
	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	6 032 388 €	5 549 797 €	723 887 €	3 016 194 €	2 714 575 €	361 943 €
Schwerverletzte	5 722 200 €	5 264 424 €	686 664 €	2 670 360 €	2 403 324 €	320 443 €
Leichtverletzte	887 502 €	816 502 €	106 500 €	457 198 €	411 478 €	54 864 €
Summe	12 642 090 €	13 147 774 €		6 143 752 €	6 266 627 €	

Region Mittelburgenland						
7 Tage Woche	Preisstand 2011 (exklusive menschlichen Leids)					
	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	4 203 255 €	3 866 994,60 €	453 952 €	1 401 085 €	1 260 976,50 €	151 317 €
Schwerverletzte	1 843 818 €	1 696 312,56 €	199 132 €	801 660 €	721 494,00 €	86 579 €
Leichtverletzte	178 368 €	164 098,56 €	19 264 €	85 468 €	76 921,20 €	9 231 €
Summe	6 225 441 €	6 399 753 €		2 288 213 €	2 306 519 €	

Region Mittelburgenland						
7 Tage Woche	Preisstand 2011 (inklusive menschlichen Leids)					
	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	9 048 582 €	8 324 695 €	1 085 830 €	3 016 194 €	2 714 575 €	361 943 €
Schwerverletzte	8 774 040 €	8 072 117 €	1 052 885 €	3 814 800 €	3 433 320 €	457 776 €
Leichtverletzte	1 290 912 €	1 187 639 €	154 909 €	618 562 €	556 706 €	74 227 €
Summe	19 113 534 €	19 878 075 €		7 449 556 €	7 598 547 €	

Tabelle 51: Unfallkosten Mittelburgenland obere Grenze

Nachfolgende Tabelle 52 zeigt die Unfallkosten für das Mittelburgenland, berechnet für die untere Grenze. Bei der Berechnung der unteren Grenze sinken die Unfallkosten im Vergleich Planfall SynArea zur Ist Situation.

Region Mittelburgenland						
5 Tage Woche	Preisstand 2011 (exklusive menschlichen Leids)					
	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	2 802 170 €	2 577 996 €	196 152 €	1 401 085 €	1 260 977 €	68 653 €
Schwerverletzte	1 202 490 €	1 106 291 €	84 174 €	561 162 €	505 046 €	27 497 €
Leichtverletzte	122 628 €	112 818 €	8 584 €	63 172 €	56 855 €	3 095 €
Summe	4 127 288 €	4 086 015 €		2 025 419 €	1 922 123 €	

Region Mittelburgenland						
5 Tage Woche	Preisstand 2011 (inklusive menschlichen Leids)					
	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	6 032 388 €	5 549 797 €	422 267 €	3 016 194 €	2 714 575 €	147 794 €
Schwerverletzte	5 722 200 €	5 264 424 €	400 554 €	2 670 360 €	2 403 324 €	130 848 €
Leichtverletzte	887 502 €	816 502 €	62 125 €	457 198 €	411 478 €	22 403 €
Summe	12 642 090 €	12 515 669 €		6 143 752 €	5 830 421 €	

Region Mittelburgenland						
7 Tage Woche	Preisstand 2011 (exklusive menschlichen Leids)					
	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	4 203 255 €	3 866 994,60 €	264 805 €	1 401 085 €	1 260 976,50 €	68 653 €
Schwerverletzte	1 843 818 €	1 696 312,56 €	116 161 €	801 660 €	721 494,00 €	39 281 €
Leichtverletzte	178 368 €	164 098,56 €	11 237 €	85 468 €	76 921,20 €	4 188 €
Summe	6 225 441 €	6 119 609 €		2 288 213 €	2 171 514 €	

Region Mittelburgenland						
7 Tage Woche	Preisstand 2011 (inklusive menschlichen Leids)					
	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	9 048 582 €	8 324 695 €	633 401 €	3 016 194 €	2 714 575 €	147 794 €
Schwerverletzte	8 774 040 €	8 072 117 €	614 183 €	3 814 800 €	3 433 320 €	186 925 €
Leichtverletzte	1 290 912 €	1 187 639 €	90 364 €	618 562 €	556 706 €	30 310 €
Summe	19 113 534 €	18 922 399 €		7 449 556 €	7 069 629 €	

Tabelle 52: Unfallkosten Mittelburgenland untere Grenze

Nachfolgende Tabelle 53 zeigt die Unfallkosten für das Nördliche Wiener Becken, berechnet für die obere Grenze.

Region Nördliches Wiener Becken						
Preisstand 2011 (exklusive menschlichen Leids)						
5 Tage Woche	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	7 005 425 €	7 005 425 €	168 130 €	1 401 085 €	1 401 085 €	50 439 €
Schwerverletzte	5 531 454 €	5 531 454 €	132 755 €	3 046 308 €	3 046 308 €	109 667 €
Leichtverletzte	419 908 €	419 908 €	10 078 €	248 972 €	248 972 €	8 963 €
Summe	12 956 787 €	13 267 750 €		4 696 365 €	4 865 434 €	

Region Nördliches Wiener Becken						
Preisstand 2011 (inklusive menschlichen Leids)						
5 Tage Woche	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	15 080 970 €	15 080 970 €	361 943 €	3 016 194 €	3 016 194 €	108 583 €
Schwerverletzte	26 322 120 €	26 322 120 €	631 731 €	14 496 240 €	14 496 240 €	521 865 €
Leichtverletzte	3 039 022 €	3 039 022 €	72 937 €	457 198 €	457 198 €	16 459 €
Summe	44 442 112 €	45 508 723 €		17 969 632 €	18 616 539 €	

Region Nördliches Wiener Becken						
Preisstand 2011 (exklusive menschlichen Leids)						
7 Tage Woche	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	11 208 680 €	11 208 680 €	269 008 €	2 802 170 €	2 802 170 €	100 878 €
Schwerverletzte	7 214 940 €	7 214 940 €	173 159 €	3 847 968 €	3 847 968 €	138 527 €
Leichtverletzte	535 104 €	535 104 €	12 842 €	308 428 €	308 428 €	11 103 €
Summe	18 958 724 €	19 413 733 €		6 958 566 €	7 209 074 €	

Region Nördliches Wiener Becken						
Preisstand 2011 (inklusive menschlichen Leids)						
7 Tage Woche	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	24 129 552 €	24 129 552 €	579 109 €	6 032 388 €	6 032 388 €	217 166 €
Schwerverletzte	34 333 200 €	34 333 200 €	823 997 €	18 311 040 €	18 311 040 €	659 197 €
Leichtverletzte	3 872 736 €	3 872 736 €	92 946 €	2 232 202 €	2 232 202 €	80 359 €
Summe	62 335 488 €	63 831 540 €		26 575 630 €	27 532 353 €	

Tabelle 53: Unfallkosten Nördliche Wiener Becken obere Grenze

Nachfolgende Tabelle 54 zeigt die Unfallkosten für das Nördliche Wiener Becken, berechnet für die untere Grenze.

Region Nördliches Wiener Becken						
5 Tage Woche	Preisstand 2011 (exklusive menschlichen Leids)					
	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	7 005 425 €	7 005 425 €	98 076 €	1 401 085 €	1 401 085 €	20 596 €
Schwerverletzte	5 531 454 €	5 531 454 €	77 440 €	3 046 308 €	3 046 308 €	44 781 €
Leichtverletzte	419 908 €	419 908 €	5 879 €	248 972 €	248 972 €	3 660 €
Summe	12 956 787 €	13 138 182 €		4 696 365 €	4 765 402 €	

Region Nördliches Wiener Becken						
5 Tage Woche	Preisstand 2011 (inklusive menschlichen Leids)					
	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	15 080 970 €	15 080 970 €	211 134 €	3 016 194 €	3 016 194 €	44 338 €
Schwerverletzte	26 322 120 €	26 322 120 €	368 510 €	14 496 240 €	14 496 240 €	213 095 €
Leichtverletzte	3 039 022 €	3 039 022 €	42 546 €	457 198 €	457 198 €	6 721 €
Summe	44 442 112 €	45 064 302 €		17 969 632 €	18 233 786 €	

Region Nördliches Wiener Becken						
7 Tage Woche	Preisstand 2011 (exklusive menschlichen Leids)					
	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	11 208 680 €	11 208 680 €	156 922 €	2 802 170 €	2 802 170 €	41 192 €
Schwerverletzte	7 214 940 €	7 214 940 €	101 009 €	3 847 968 €	3 847 968 €	56 565 €
Leichtverletzte	535 104 €	535 104 €	7 491 €	308 428 €	308 428 €	4 534 €
Summe	18 958 724 €	19 224 146 €		6 958 566 €	7 060 857 €	

Region Nördliches Wiener Becken						
7 Tage Woche	Preisstand 2011 (inklusive menschlichen Leids)					
	ohne A&S			Ortsgebiet		
	IST-Situation	SynAREA		IST-Situation	SynAREA	
	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA	PKW	PKW	L-Fzg SynAREA
Getötete	24 129 552 €	24 129 552 €	337 814 €	6 032 388 €	6 032 388 €	88 676 €
Schwerverletzte	34 333 200 €	34 333 200 €	480 665 €	18 311 040 €	18 311 040 €	269 172 €
Leichtverletzte	3 872 736 €	3 872 736 €	54 218 €	2 232 202 €	2 232 202 €	32 813 €
Summe	62 335 488 €	63 208 185 €		26 575 630 €	26 966 292 €	

Tabelle 54: Unfallkosten Nördliche Wiener Becken untere Grenze

Da durch die Verkehrsplanung im Planfall die PKW Fahrleistung annähernd konstant bleibt und zusätzlich die Fahrleistung für das SynArea Fahrzeug dazukommt, steigen die Unfallkosten geringfügig für obere und untere Grenze der Berechnungen.

4.5.3.4. Potential / Verschlechterung der Unfallkosten durch SynArea Fahrzeug

In Tabelle 55 sind die Ergebnisse der Unfallkosten dargestellt und sie zeigen das Potential bzw. Verschlechterung der Unfallkosten durch den Planfall mit dem SynArea Fahrzeug. Für die obere Grenze entstehen für das Mittelburgenland und für das Nördliche Wiener Becken höhere Unfallkosten. Für das Mittelburgenland erhöhen sich die Unfallkosten im Freiland ohne A&S zwischen 3% und 4% und im Ortsgebiet zwischen 1% und 2%. Für das Nördliche Wiener Becken erhöhen sich die Unfallkosten im Freiland ohne A&S zwischen 3% und 4% und im Ortsgebiet um 4%. Für die untere Grenze der Berechnungen erhöhen sich die Unfallkosten für das Nördliche Wiener Becken im Freiland ohne A&S und im Ortsgebiet um 1%. Bei der unteren Grenze für das Mittelburgenland reduzieren sich die Unfallkosten im Freiland ohne A&S zwischen 1% und 2% und im Ortsgebiet um 5%.

Region Mittelburgenland							
Wochentage	Kosten	ohne A&S		Ortsgebiet		Potential / Verschlechterung	
		IST-Sitation	SynAREA	IST-Sitation	SynAREA	ohne A&S	Ortsgebiet
5	obere Grenze	4 127 288 €	4 292 380 €	2 025 419 €	2 065 927 €	104%	102%
	untere Grenze	4 127 288 €	4 086 015 €	2 025 419 €	1 922 123 €	99%	95%
7	obere Grenze	6 225 441 €	6 399 753 €	2 288 213 €	2 306 519 €	103%	101%
	untere Grenze	6 225 441 €	6 119 609 €	2 288 213 €	2 171 514 €	98%	95%
Region Nördliches Wienerbecken							
Wochentage	Kosten	ohne A&S		Ortsgebiet		Potential / Verschlechterung	
		IST-Sitation	SynAREA	IST-Sitation	SynAREA	ohne A&S	Ortsgebiet
5	obere Grenze	12 956 787	13 267 750	4 696 365	4 865 434	102%	104%
	untere Grenze	12 956 787	13 138 182	4 696 365	4 765 402	101%	101%
7	obere Grenze	18 958 724	19 413 733	6 958 566	7 209 074	101%	104%
	untere Grenze	18 958 724	19 224 146	6 958 566	7 060 857	101%	101%

Tabelle 55: Potential / Verschlechterung durch SynArea Fahrzeug

Bei den Ergebnissen muss festgehalten werden, dass es sich hier nur um eine vereinfachte Unfallkostenrechnung handelt, da für die Berechnungen einige Annahmen bzw. Randbedingungen getroffen werden mussten.

4.6. Wirtschaftliche Machbarkeit

4.6.1. Einnahmen oder Einsparungen

4.6.1.1. Direkte Erlöse von NutzerInnen

Um eine möglichst realistische Einschätzung der erzielbaren Erlöse für die Benutzung von Leihsystem bzw. Bedarfsverkehr zu ermöglichen, wurden zunächst die Verkehrsleistungen (Fahrzeug-km pro Jahr) nach Modi (Leihfahrzeug 25/45 km/h sowie Bedarfsverkehr) und Verkehrszweck getrennt ausgewertet. Weiters wurde für jede Art von Preisangebot (siehe 3.2.4) der Erlös pro Fahrzeugkilometer errechnet, indem für die Zeitkartenangebote eine monatliche Nutzungshäufigkeit und mittlere Fahrtweite abgeschätzt wurde. Dabei wurde das Spektrum an Zeitkarten für mehr oder weniger Zonen auf das Minipaket (Anschluss zum nächsten planmäßigen öffentlichen Verkehr), sowie zwei oder fünf Zonen der im Verkehrsverbund-Ost-Region üblichen Größe eingeeignet.

Preisangebot	SynArea-Aufpreis	Grundpreis der zugehörigen ÖV-Zeitkarte	Anteil, zu dem die ÖV-Zeitkarte für die SynArea-Zonen neu gekauft wird (nicht im Bestand bereits vorhanden)	Anzahl Fahrten pro Monat (eine Richtung)	mittlere Fahrtweite	Preis pro km netto
Zeitkarte Vollpreis Minipaket	12	33	20%	55	4,5	0,068
Zeitkarte Halbppreis Minipaket	6	10	20%	45	4,5	0,036
Zeitkarte weniger Zonen (z.B. 2) Vollpreis	35	54	40%	60	10	0,086
Zeitkarte weniger Zonen (z.B. 2) Halbppreis	21	15	40%	50	10	0,049
Zeitkarte mehr Zonen (z.B. 5) Vollpreis	63	97	60%	65	40	0,042
Zeitkarte mehr Zonen (z.B. 5) Halbppreis	49	20	60%	55	40	0,025

Halbpreis						
-----------	--	--	--	--	--	--

Tabelle 56: Schätzung der kilometerbezogenen Nutzungserlöse für SynArea-Zeitkarten

Zusätzlich zum jeweiligen Aufpreis für die Nutzung des Leihsystems wurde angenommen, dass zu einem bestimmten Anteil auch die zwingend erforderliche Zeitkarte für den Öffentlichen Verkehr erst anlässlich der SynArea-Einführung gekauft wurde, und nicht auch schon bei unverändertem Bestands-ÖV-Angebot vorhanden war. Dieser Anteil wurde für großflächige Zeitkarten mit mehr Zonen höher angenommen, als für wenige Zonen oder das reine Anschluss-Minipaket, da die wesentliche Angebotsverbesserung den Bereich der umfassenden Flächenbedienung betrifft und somit hier wesentlich wahrscheinlicher NeukundInnen für den öffentlich-intermodalen Verkehr gewonnen werden können. Entsprechend des Pricing-Konzepts wurde bei den selbst gefahrenen Modi das Entgelt pro Fahrzeugkilometer berechnet, beim Bedarfsverkehr hingegen pro Personenkilometer. Beim Bedarfsverkehr wird nur die tatsächlich für den Fahrgast relevante Distanz verrechnet, nicht die entsprechend Umwegfaktor im Mittel tatsächlich gefahrene Strecke zur Erreichung eines höheren Besetzungsgrades. Analog zum Öffentlichen Verkehr wurde mit einem Mehrwertsteuersatz von 10% gerechnet.

Als nächster Schritt wurde für jede einzelne Kombination von Fahrtzweck und Modus abgeschätzt, zu welchem Anteil die NutzerInnen welches Preismodell anwenden bzw. welche Zeitkarte besitzen¹:

¹ Hier wurde nicht die für die jeweilige Fahrt notwendige, sondern die tatsächlich vorhandene Fahrkarte geschätzt: Beispielsweise werden beim Fahrtzweck „Ausbildung I“ in erheblichem Ausmaß auch andere Zeitkarten als die SchülerInnenfreifahrt unterstellt, weil manche SchülerInnen diese für Fahrten in der Freizeit besitzen. Diese Art der Berechnung ist insofern korrekt, als bei der Abschätzung von Fahrtweiten und Fahrthäufigkeiten nach Preisangeboten (Tabelle 56) ebenso von der gesamten von den jeweiligen ZeitkarteninhaberInnen im Rahmen des Gültigkeitsbereichs zurückgelegten Verkehrsleistung ausgegangen wurde und nicht nur von der, die z.B. außerhalb des Geltungsbereichs der SchülerInnenfreifahrt stattfindet.

Fahrtzweck	Modus	Einzelfahrt Vollpreis	Einzelfahrt Halbp reis	Zeitkarte Vollpreis Minipaket	Zeitkarte Halbp reis Minipaket	Zeitkarte gratis Minipaket	Zeitkarte weniger Zonen (z.B. 2) Vollpreis	Zeitkarte weniger Zonen (z.B. 2) Halbp reis	Zeitkarte mehr Zonen (z.B. 5) Vollpreis	Zeitkarte mehr Zonen (z.B. 5) Halbp reis	SchülerInnen-freifahrt	Mikro-ÖV zuschlagsfrei	Mikro-ÖV mit Zuschlag
Arbeit	LF45	7%	0%	15%	0%	20%	43%	0%	15%	0%	0%	0%	0%
Ausbildung I	BV	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
Ausbildung I	LF25	0%	3%	0%	7%	6%	0%	7%	0%	2%	75%	0%	0%
Ausbildung I	LF45	3%	0%	12%	0%	8%	21%	0%	6%	0%	50%	0%	0%
Ausbildung II	BV	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	90%	10%
Ausbildung II	LF45	5%	0%	12%	0%	10%	33%	0%	10%	0%	30%	0%	0%
Einkauf	BV	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	70%	30%
Einkauf	LF45	12%	0%	20%	0%	5%	48%	0%	15%	0%	0%	0%	0%
Freizeit	BV	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	70%	30%
Freizeit	LF25	0%	20%	0%	20%	5%	0%	20%	0%	35%	0%	0%	0%
Freizeit	LF45	20%	0%	20%	0%	5%	15%	0%	40%	0%	0%	0%	0%
Geschäftsverkehr	LF45	30%	0%	7%	0%	2%	16%	0%	45%	0%	0%	0%	0%

Tabelle 57: Geschätzte Anteile der angewandten Preisangebote je nach Modus und Verkehrszweck (Zeilensummen ergeben jeweils 100%).

Im gewichteten Durchschnitt über alle Zwecke und Modi ergibt sich ein mittlerer Erlössatz von 9,7 Cent pro Fahrzeugkilometer. Die sich aus den modellgemäßen Verkehrsleistungen und den beschriebenen Annahmen ergebenden Erlöse für die zwei Beispielregionen sind in Abbildung 129 dargestellt: Der Löwenanteil entfällt infolge hoher Verkehrsleistungsanteile und höherer Entgeltsätze auf den schnelleren Leihfahrzeugmodus. Als Verkehrszwecke dominieren Freizeit und Einkauf, erst danach folgen Einkauf und Arbeit. Dies ist insofern plausibel, als die Arbeitswege in höherem Maße vom öffentlichen Verkehr aufgenommen werden und die übrigen Wege aufgrund disperser verteilter Ziele eher mit den teureren Einzelfahrtpreisen oder erst infolge des SynArea-Angebots gekauften, großflächigen Zeitkarten zurückgelegt werden.

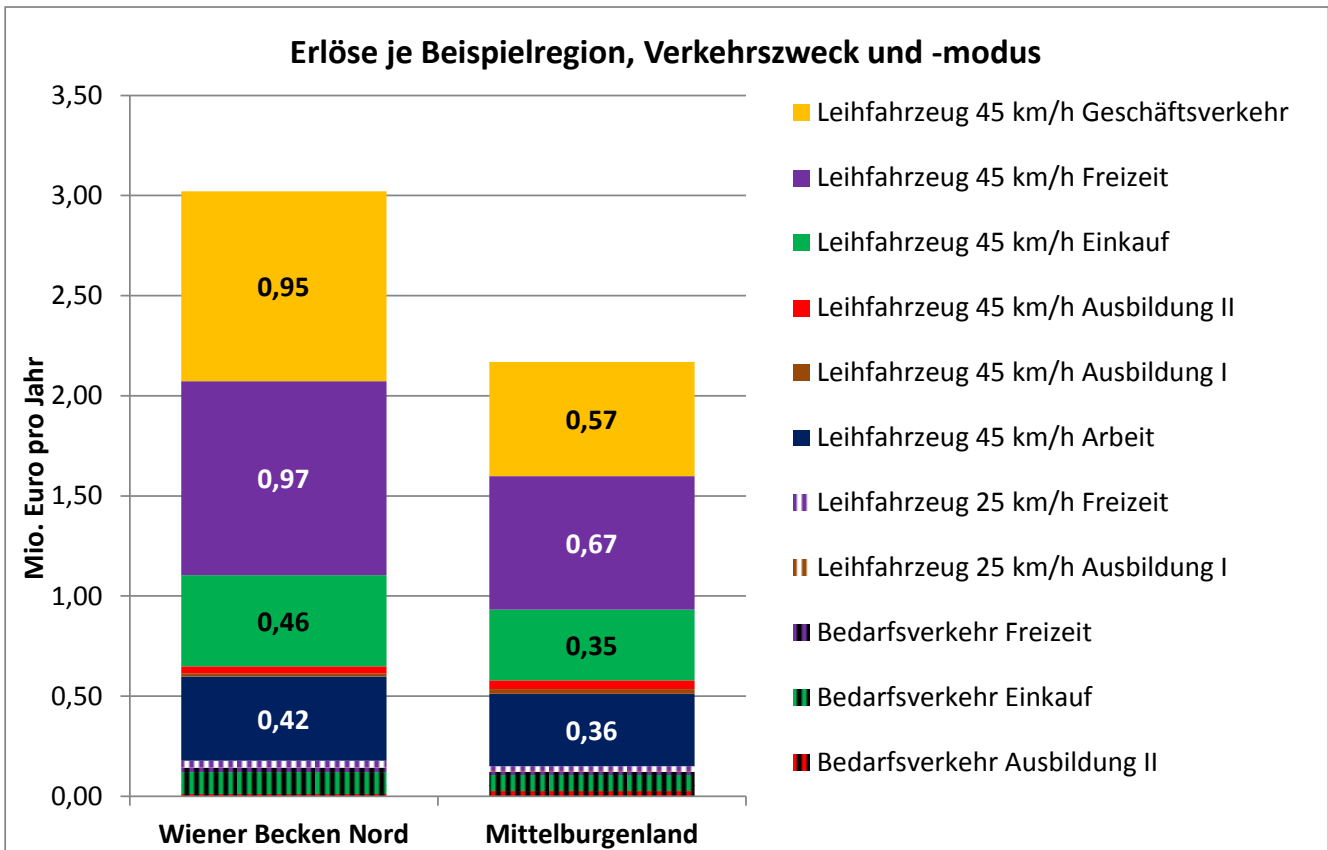


Abbildung 129: Jährliche Erlöse in den zwei Beispielregionen nach Verkehrszweck und –modus gemäß Modellergebnis und geschätzter Erlössätze je Fahrzeug-km.

4.6.1.2. *Einsparungen im planmäßigen Öffentlichen Verkehr*

4.6.1.2.1. *Abschätzung der Kosten je Betriebsleistung (Kilometersatz)*

Die Kosten je im Fahrplan angebotenem Bus-Kilometer wurden mit 2,98 Euro angesetzt. Dies entspricht den durchschnittlichen Brutto-Bestellerentgelten (Fahrscheinerlöse bleiben beim Aufgabenträger) der in den letzten drei Jahren in Österreich per Ausschreibung vergebenen Busverkehre⁵⁴. Zwar sind die tatsächlich anfallenden Kosten, und somit auch die Preise, zu denen die Busunternehmen bei einer Ausschreibung anbieten können, nicht alleine vom Angebotsumfang in Bus-Kilometern pro Jahr abhängig, doch hätte eine spezifischere Kostenrechnung den Umfang des Projekts gesprengt. Es ist allerdings insofern mit keiner großen Verzerrung zu rechnen, als die Entwurfsfahrpläne ähnlich wie die Bestandsfahrpläne eine deutliche Konzentration der Betriebsleistung auf die Hauptverkehrszeiten aufweisen und beispielsweise ein ähnliches Verhältnis von Werktags- zu Wochenendverkehr wie im Status Quo angestrebt wurde (siehe auch 3.1.1).

4.6.1.2.2. *Vergleich der Betriebsleistungen im Bestand und im Planfall*

Bezogen auf den Stichtag des Verkehrsmodells (entspricht Montag bis Freitag) reduziert sich der planmäßige Busverkehr im nördlichen Wiener Becken von 13.498 auf 10.462 und im Mittelburgenland von 6.895 auf 5.293 Bus-km, dies entspricht einer Reduktion um 22% bzw. 23%. Aufgrund der abweichenden Jahreshochrechnungsfaktoren im Bestand (siehe 4.2.4) ergibt sich für die Jahresbetriebsleistung im nördlichen Wiener Becken ebenso eine Reduktion um 22%, im Mittelburgenland hingegen nur um 18%. In absoluten Zahlen beträgt die Reduktion im nördlichen Wiener Becken 919.028 Bus-km/a und im Mittelburgenland

308.019 Bus-km/a, dies entspricht einer Kostenersparnis von 2.738.704 bzw. 917.896 Euro pro Jahr.

4.6.1.3. *Zusätzliche Steuereinnahmen durch Entfall des großen Pendlerpauschale*

Zur Quantifizierung des Potenzials an zusätzlichen Steuereinnahmen durch den Entfall des großen Pendlerpauschales wurde eine Spezialauswertung der Einkommenssteuerstatistik der Statistik Austria in Auftrag gegeben. Dabei musste insofern eine gewisse Unschärfe in Kauf genommen werden, als in der Einkommensstatistik nicht zwischen großem und kleinem Pendlerpauschale unterschieden wird, wohl aber der geltend gemachte Betrag erfasst wird. Entsprechend der geltenden Sätze für großes und kleines Pendlerpauschale je Entfernungsstufe⁵⁵ wurden daher solche Klassen für den geltend gemachten Betrag gewählt, dass ArbeitnehmerInnen, die das ganze Jahr hindurch den selben Arbeitsweg hatten, genau in die Mitte einer solchen Klasse fallen.

Kleines/großes Pendlerpauschale	Entfernungsstufe in km	Betrag pro Monat	Betrag für ganzes Jahr	Klasse um Betrag bei ganzem Jahr
groß	2-20	31	372	0 - 534 Euro im Jahr
klein	20-40	58	696	534 - 1026 Euro im Jahr
klein	40-60	113	1356	1026 - 1416 Euro im Jahr
groß	20-40	123	1476	1416 - 1746 Euro im Jahr
klein	über 60	168	2016	1746 - 2292 Euro im Jahr
groß	40-60	214	2568	2292 - 3120 Euro im Jahr
groß	über 60	306	3672	3120 - 4000 Euro im Jahr

Tabelle 58: Näherungsweise Einteilung geltend gemachter Pendlerpauschalen in großes und kleines Pendlerpauschale und Entfernungsstufen nach Annahme eines ganzjährig unveränderten Arbeitsweges.

Gemäß der gültigen Sätze des großen und des kleinen Pendlerpauschales wurde für jede der abgefragten Entfernungsklassen errechnet, welcher Anteil der Steuerminderung entfällt, wenn statt des großen nur das kleine Pendlerpauschale (bzw. unter 20 km gar keines) geltend gemacht wird. Etwaige Wirkungen des Überschreitens einer Steuerprogressionsstufe wurden dabei vernachlässigt. Weiters wurde angenommen, dass folgende Anteile der bisher Pendlerpauschale geltend machenden ArbeitnehmerInnen dies auch nach der Einführung des SynArea-Angebots tun könnten:

	Mittelburgenland	Wiener Becken Nord
0-20 km	20%	20%
20-40 km	25%	24%
40-60 km	30%	28%
über 60 km	40%	30%

Tabelle 59: Angenommene Anteile verbleibender BezieherInnen des großen Pendlerpauschale

Hintergrund dieser Annahmen ist, dass bei Entfernung bis 20 km zwar in keinem Fall mehr unzumutbare Reisezeiten⁵⁶ (mehr als 60 Minuten plus eine Minute pro Kilometer) oder kein Betrieb zu den Arbeitsbeginn- und -endzeiten (z.B. Nachtarbeit) vorliegen, sehr wohl aber 20% der ArbeitnehmerInnen aufgrund von Körperbehinderungen Anspruch auf das Pendlerpauschale haben. Bei den weiteren Entfernungsstufen wurde angenommen, dass aufgrund von aus der Beispielregion hinausführenden Arbeitswegen sehr wohl zum

jeweiligen Anteil weiterhin die zumutbaren Reisezeiten überschritten werden bzw. nachts keine Alternative zum eigenen Pkw vorliegt.

Die Multiplikation der auf BewohnerInnen der jeweiligen Relation entfallenden Steuerminderungssummen mit dem prozentuellen Unterschied zwischen großem und kleinem Pendlerpauschale und den angenommenen Anteilen entfallender Anspruchsberechtigungen je nach Entfernungsklasse ergibt potenzielle zusätzliche Einkommenssteuereinnahmen in der Höhe von 963.182 Euro pro Jahr im Mittelburgenland und 1.321.144 Euro pro Jahr im nördlichen Wiener Becken.

4.6.1.4. Entfall von Kosten bisheriger Mikro-ÖV-Angebote

Die Kosten für bestehende, von den Gemeinden finanzierte Mikro-ÖV-Angebote wie (nicht im Verkehrsmodell berücksichtigte) Anrufsammeltaxis, Discobusse und Schul-/Kindergartenkleinbusse wurden mangels anderer Datengrundlagen direkt bei den einzelnen Gemeinden abgefragt. Die - unvollständigen - Rückmeldungen ergaben für das nördliche Wiener Becken 207.000 (davon 194.000 nur Schwechat), für das Mittelburgenland 48.000 Euro pro Jahr.

4.6.1.5. Sonstige Einnahmen oder Einsparungen

Nicht berücksichtigt wurden die Effekte von zusätzlicher Nachfrage im Bahn- und sonstigen öffentlichen Verkehr, ausgenommen der Aufpreis für die Inanspruchnahme des Bedarfsverkehrs und die für die SynArea-Nutzung zusätzlich gekauften Zeitkarten des öffentlichen Verkehrs. Dahinter steht der Umstand, dass zusätzliche Nachfrage unter österreichischen Rahmenbedingungen nicht zwingend den Kostendeckungsgrad des Öffentlichen Verkehrs verbessert: Im Bahnverkehr verursachen zusätzliche Fahrgäste im Arbeitspendelverkehr zu den Hauptverkehrszeiten in Lastrichtung wesentlich höhere Kosten, als den pro Personenkilometer sehr geringen Einnahmen aus den überwiegend verwendeten Zeitkarten entspricht. Umgekehrt bewirken zusätzliche Fahrgäste zu den Nebenverkehrszeiten oder gegen die Lastrichtung bei vorhandenen Kapazitäten keinerlei zusätzliche Kosten. In Summe wurde daher vereinfacht davon ausgegangen, dass sich bei gesteigerter Nachfrage pro ÖV-Angebot die zusätzlichen Einnahmen mit Kosten für die Bereitstellung zusätzlicher Kapazitäten ausgleichen.

Bei den Leihfahrzeug-Entgelten wurden weder diverse Pönalen (Nichtbenutzung Navigationssystem, nicht in Anspruch genommene Reservierungen, Benutzung mit Zeitkarte parallel zu vorhandenem ÖV) berücksichtigt, noch umgekehrt die Rabatte für die Überstellung von Fahrzeugen gegen die Lastrichtung.

4.6.2. Kosten

4.6.2.1. Produktions- und Betriebskostensätze für Leihfahrzeuge und Leihstationen

4.6.2.1.1. Szenarien betreffend Produktionsstückzahlen

Nachdem die Stückkosten der Fahrzeugproduktion aufgrund der einmaligen Kosten für die Fahrzeugentwicklung und die Einrichtung der Fertigung stark mit der produzierten Stückzahl degressieren, wurden folgende Szenarien hinsichtlich der erzielbaren Stückzahlen entworfen:

- Suburbane Pilotanwendung: Das SynArea-Konzept wird im Rahmen eines Pilotprojekts erstmalig in einer Region von der Größe des nördlichen Wiener Beckens umgesetzt, der damit erzielte Absatz beträgt somit etwa 2200 Fahrzeuge.
- Ausgewählte suburbane Regionen: Es werden 20 Regionen ähnlicher Größe wie das nördliche Wiener Becken mit einem Leihfahrzeug- und Bedarfsverkehrsangebot versorgt, dies entspricht in etwa einer vollständigen Abdeckung des Umlands der größeren österreichischen Landeshauptstädte oder von 2-3 größeren europäischen Hauptstädten. Die damit versorgte Bevölkerung entspricht 20% der Bevölkerungszahl Österreichs oder 0,3% der EU-Bevölkerung. Dafür müssten etwa 44.000 Fahrzeuge hergestellt werden.
- Mittelfristige Ausbreitung: Es werden 40 dem nördlichen Wiener Becken und 40 dem Mittelburgenland ähnliche Regionen abgedeckt. Hinsichtlich der suburbanen Regionen würde dies jedenfalls eine Ausbreitung über Österreich hinaus erfordern, im ländlichen Bereich entspräche dies einem erheblichen Anteil des österreichischen Dauersiedlungsraums. Von der Bevölkerungszahl her entspricht dies 55% Österreichs oder 1% der EU. In diesem Szenario beträgt die Stückzahl 140.000 Fahrzeuge.
- Langfristige Abdeckung: Sollte sich eines Tages das Konzept großflächig durchgesetzt haben, allerdings auch bereits mehrere konkurrierende Hersteller am Leihfahrzeugmarkt operieren, könnte man mit 200 suburbanen und 2000 ländlichen Regionen nach Vorbild der zwei Beispielregionen rechnen. Damit wäre bereits etwa die zehnfache Bevölkerung Österreichs und 16% der EU-Bevölkerung versorgt. In diesem Fall müssten 3,04 Millionen Fahrzeuge bereit gestellt werden.

Für die weiteren Kostenberechnungen wurde das Szenario der Pilotanwendung nicht weiter berücksichtigt, da von der ersten Anwendung generell kaum Kostendeckung erwartet werden kann. Umgekehrt wurde auch das Szenario der langfristigen Abdeckung nicht weiterverfolgt, weil es nicht realistisch erscheint, dass bis das Konzept zur vollständigen Marktdurchdringung mit zusätzlichen Staatsausgaben subventioniert wird. Im Folgenden wird daher beim Szenario „geringere Stückzahl“ mit 40.000 Stück gerechnet und im Szenario „höhere Stückzahl“ mit 150.000 Stück^m.

4.6.2.1.2. Produktionskosten je Leihfahrzeug

4.6.2.1.2.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Kostenschätzung für das SynArea-Fahrzeug und für die zugehörigen Verleihstationen zusammengefasst und in weiterer Folge die voraussichtlichen kilometerbezogenen Gesamtkosten dargestellt.

Basis für die Kostenschätzung des Fahrzeugs waren die Ergebnisse der Fahrzeugkonstruktion sowie die daraus resultierende Bill-of-Materials (BOM). Wichtiger Parameter für die Fahrzeugkosten ist naturgemäß die produzierte Stückzahl. Folglich wurde im Rahmen der Kostenschätzung zwischen Prototypkosten (1-5 Stück), Kleinserie (3400 Stück), Mittelserie (40.000 Stück) und Großserie (150.000 Stück) unterschieden.

^m Die Stückzahlen, mit denen die Produktionskosten errechnet wurden, weichen von den oben beschriebenen Szenarien geringfügig ab, weil sie bereits in einem früheren Projektstadium, noch vor Vorliegen der Modellergebnisse auf Basis von Überschlagsrechnungen abgeschätzt wurden.

Das Aufstellen von Kostenplänen stellt sich oftmals schwierig dar, weil häufig keine ausreichende Informationslage für die Stück- und Montagekosten vorliegen. Als Methodik zur Kostenanalyse wurden im Rahmen dieses Projekts folgende Tätigkeiten durchgeführt:

- Recherche (Internet, Händler, Zulieferer)
- Interviews (Experten, Einkäufer von Zulieferbetrieben, etc.)
- Einholen von Angeboten
- Analyse der Kosten von Referenzfahrzeugen
- Kostenschätzung auf Basis der Erfahrung von AMSD

Dieser Abschnitt ist in Übereinstimmung mit den beiden Haupttätigkeiten in diesem Arbeitspaket gegliedert. Folglich wird zunächst auf die Schätzung der Fahrzeugkosten eingegangen und in einem zweiten Schritt wird die Kostenstruktur einer beispielhaften Verleihstation analysiert. Auf Basis dieser Ergebnisse werden schlussendlich in 4.6.2.1.4 die kilometerbezogenen Gesamtkosten für die ursprüngliche Fahrzeugvariante und zwei weiteren Sparvarianten dargestellt.

4.6.2.1.2.2 Schätzung der Fahrzeugkosten

Im Zuge der Schätzung der Fahrzeugkosten wurde zunächst vom unter 3.2.1 beschriebenen Konstruktionsstand ausgegangen.. Es handelt sich dabei um ein zweiachsiges, vierrädriges Fahrzeug mit Vorderachslenkung. Die Kopplung und der spurtreue Nachlauf wurden mit einer semi-elektronischen Verbindung zwischen den Fahrzeugen und einem Steer-by-Wire-System bewerkstelligt.

Wie eingangs beschrieben wurden für die Ausgangsvariante für vier verschiedene Stückzahlbereiche die Kosten geschätzt. In der Folge wird auf die Prototypkosten und auf die Großserienkosten im Detail eingegangen. Abschließend werden die Kosten für alle vier Stückzahlbereiche angegeben.

Prototypkosten

Der Prototyp dient als Konzeptnachweis und Entwicklungsplattform. Es ist hier angedacht „components of the shelf (COTS)“ zu verwenden. Für den Prototypen wird definiert, dass die diversen Homologierungen – beispielsweise ASIL – nicht erfüllt werden. Die Grundfunktionen, welche im Lastenheft definiert wurden, werden jedoch durch den Prototypen erfüllt. Es ist allerdings geschultes Personal für den Betrieb des Fahrzeugs erforderlich.

Der Prototyp weist folgende Eigenschaften auf:

- die Front- und Heckscheibe sind nicht beheizt
- die Fensterscheiben sind nicht bewegbar
- die Verkleidungsteile sind aus Polyester gefertigt
- die Scheiben sind aus Acrylglas gefertigt
- im Antriebsstrang kommen hauptsächlich COTS zum Einsatz – u. U. ist eine Homologierung dadurch nicht möglich bzw. sind gewisse Sicherheitsvorgaben (beispielsweise ISO 26262) nicht erfüllbar
- das Fahrwerk ist speziell für diesen Einsatzfall entwickelt

- Lenkungskomponenten (z. B. Triebstock) sind COTS
- es sind keine Funktionen bzw. Komponenten des Komfort-CAN und des Info-MOST vorhanden
- es gibt keine Redundanz von sicherheitskritischen Komponenten bei Lenkung und Bremse
- es erfolgt eine indirekte Überwachung der Sicherheit durch eine Prototypen-ESP-ECU
- der Aktuator für die Spurstange wird von einem Serienfahrzeug übertragen
- es sind keine Ablagefächer und sonstige Komfortbauteile vorhanden

Auf Basis dieser Definitionen ergibt sich ein Prototypenpreis gemäß Tabelle 60.

Kostenkomponente	Kosten
Karosserie	€ 39.200
Antriebsstrang	€ 73.075
Fahrgestell	€ 27.990
Elektronik	€ 65.900
Interieur	€ 2.140
Verbindungen/Anschlüsse	€ 18.300
Engineering	€ 1.575.000
Summe	€ 1.801.606

Tabelle 60, Kostenstruktur für den Prototyp

Es ist ersichtlich, dass die Engineering-Kosten in dieser Aufstellung überproportional zu Buche schlagen. Dementsprechend ergibt sich beim Bau von einer Kleinstserie mit 5 Stück eine starke Degression der Stückkosten (Abbildung 130).

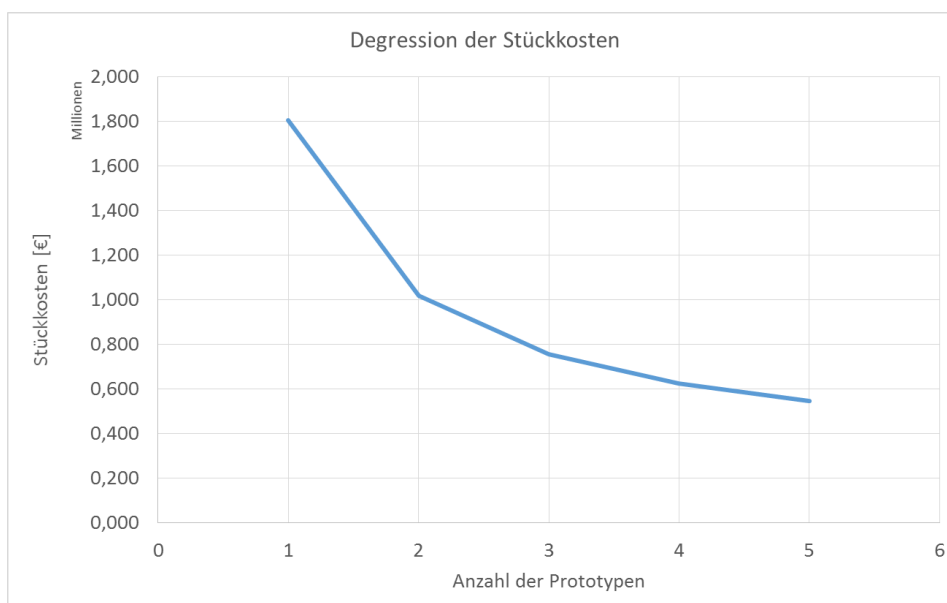


Abbildung 130, Stückkosten als Funktion der Anzahl an gebauten Prototypen

Die Prototypkosten können vor allem durch Reduktion der Engineering-Kosten reduziert werden. Ein möglicher Ansatz wäre hier, Entwicklungs- und Bauteilkosten zu sparen, indem noch konsequenter auf COTS oder auf Baugruppen von Serienfahrzeugen zurückgegriffen wird (z. B. Renault Twizy, Fiat Panda etc.). Dabei könnten beispielsweise Module oder Komponenten wie Fahrwerk, Chassis oder Türen und Verkleidungen übernommen werden.

Kostenstruktur in der Großserie

Im Gegensatz zu den Prototypen fallen in der Großserie proportional nur mehr geringe Kosten für das Engineering an. Hier ist mit Kosten durch die Serienüberführung, das Patentwesen, die Lizenzkosten und die Serienbegleitung zu rechnen. Naturgemäß fallen bei einer kalkulierten Stückzahl von 150.000 Stück die Engineering-Kosten pro Fahrzeug dementsprechend niedrig aus (Tabelle 61).

Kostenkomponente	Kosten
Karosserie	€ 864
Antriebsstrang	€ 4.327
Fahrgestell	€ 936
Elektronik	€ 2.850
Interieur	€ 691
Verbindungen/Anschlüsse	€ 270
Engineering	€ 410
Produktion	€ 1.305
Summe	€ 11.653

Tabelle 61, Kostenstruktur in der Großserie – Kosten je produziertes Fahrzeug

Als drittgrößter Kostenfaktor nach dem Antriebsstrang und der Elektronik schlagen die Produktionskosten zu buche. Kosten für Infrastruktur, Personal, Instandhaltung, Qualitätssicherung, Energie, Hilfsmaterialien, Qualitätssicherung, IT, Logistik, Versicherungen, etc. führen zu einem entsprechend hohen Anteil an den Gesamtkosten des Fahrzeuges.

In Abbildung 131 sind die Stückkosten als Funktion der Anzahl an gebauten Fahrzeugen aufgetragen. Es ist ersichtlich, dass die Stückkosten insbesondere bis ca. 20.000 Stück an produzierten Fahrzeugen sehr stark abnehmen. Der nichtlineare Zusammenhang zeigt, dass insbesondere bei einer Stückzahl von über 120.000 kaum mehr Einsparungspotentiale vorhanden sind.

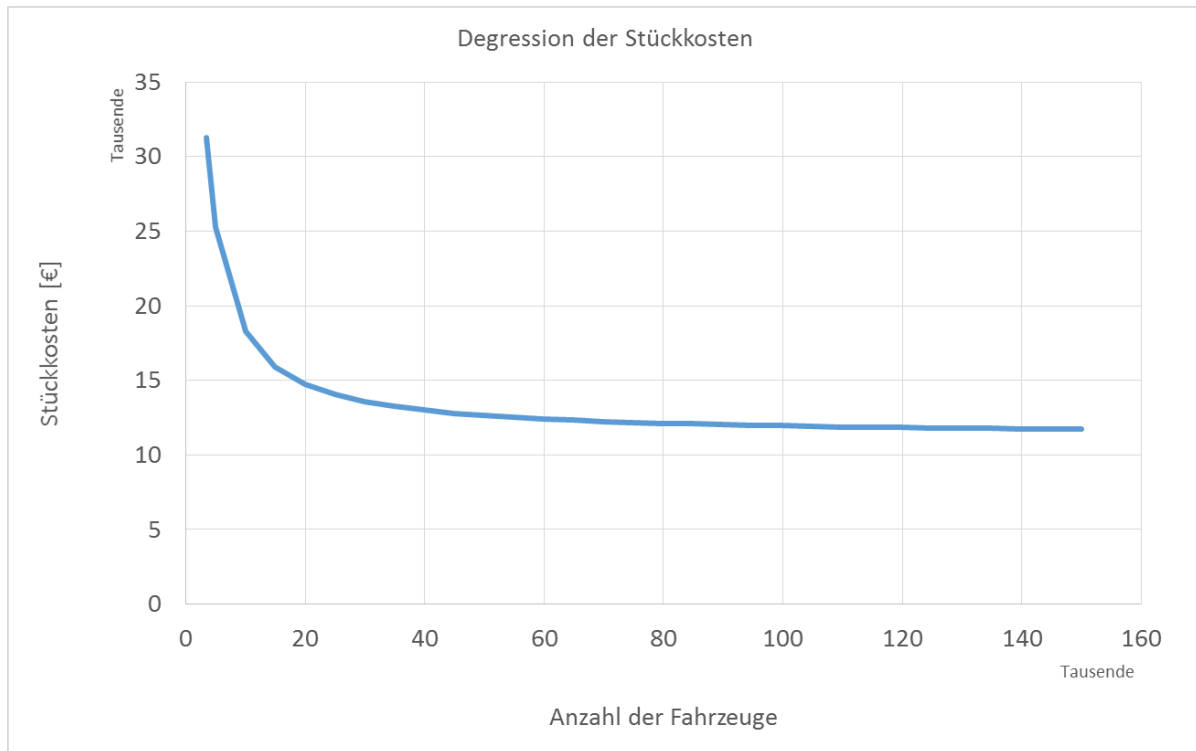


Abbildung 131, Stückkosten als Funktion der Anzahl der gebauten Fahrzeuge

Kostenstruktur für definierte Stückzahlen

Tabelle 62 zeigt die Kostenstruktur für die in der Einleitung definierten Stückzahlen. Es ist die starke Degression der Kosten mit der Stückzahl zu erkennen. Folglich wirken sich die als hoch zu erwartenden Entwicklungskosten für Bremse, Lenkung und Kopplung bei hohen Stückzahlen nur mehr geringfügig aus.

Stückzahlbereich	Stückkosten
Prototyp (5 Stück)	€ 545.456
Kleinserie (3.400 Stück)	€ 31.279
Mittelserie (40.000 Stück)	€ 13.002
Großserie (150.000 Stück)	€ 11.716

Tabelle 62, Kostenstruktur für definierte Stückzahlen

In Anbetracht der relativ hohen Kosten für ein Serienfahrzeug in diesem Segment stellt sich die Frage, wie die Kosten noch weiter reduziert werden können. Dies kann zum einen durch die Reduktion von Komponenten erfolgen:

- nur ein Scheibenwischer
- keine Felgen-Zierkappen
- keine Abdeckung für den Ladeanschluss
- keine Zierleisten
- kein Handschuhfach und keine Ablagefächer

- kein Teppich im Innenraum
- Reduktion von Schaltern und Knöpfen auf ein Minimum
- nur ein Lautsprecher
- nur ein Lenkstockhebel
- etc.

Zum anderen können Fahrzeugfunktionen reduziert werden:

- die Heckscheibe wird nicht beheizt
- nur eine Tür für das Fahrzeug
- einfaches Armaturenbrett
- nur Geschwindigkeitsanzeige, ansonsten keine Instrumente
- etc.

Ein weiterer Punkt umfasst wie bereits mehrfach angeführt die Nutzung von COTS und Serienteilen von anderen Fahrzeugen.

4.6.2.1.3. Produktionskosten je Leihstations-Stellplatz

Für die Kostenschätzung der Verleihstationen wurde ein Musterbeispiel herangezogen. Die Eckdaten für dieses Beispiel sind wie folgt:

- Ladekapazität für 10 Fahrzeuge, Variante „Doppelpack“ (Abbildung 132)
- Reserveabstellfläche für 10 Fahrzeuge ohne Ladeanschluss
- einfache, ebene Asphaltfläche mit Bodenmarkierungen (< 150 m²)
- Servicestation in minimalistischer Ausführung
- Carport bzw. einfache Überdachung der Stellplätze

In Tabelle 63 sind die geschätzten Kosten für diese Verleihstation dargestellt. Lässt man die Kosten für den Grundstückskauf bzw. für die Grundstücksrente außer Acht, so ist mit einem Invest von ca. 40.000 € zu rechnen.

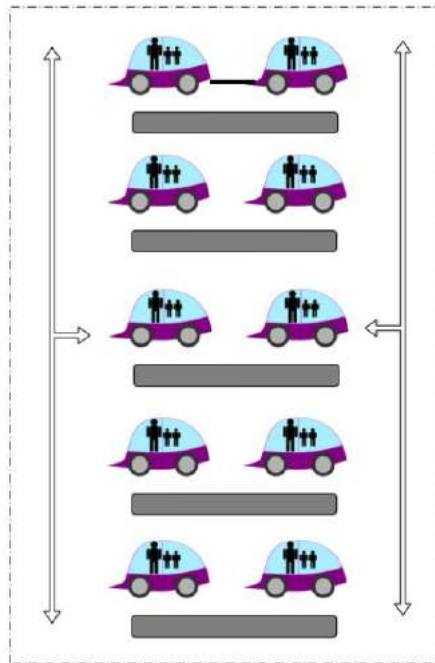


Abbildung 132, Anordnung der Fahrzeuge in der Verleihstation, welche als Beispiel für die Kostenschätzung herangezogen wurde

Bestandteile	Anzahl	Preis pro Stk	Gesamtpreis
Stromanschluss	1	2.500	2.500
Ladesäule	10	1.200	12.000
Ladekabel	10	0	0
Ladestecker	10	0	0
Abstellflächen mit Ladeanschluss (Asphaltfläche)	10	350	3.500
Reserverabstellflächen ohne Ladeanschluss (Asphaltfläche)	10	350	3.500
Carport (Weiterverwendung bei bestehenden Haltestellen denkbar)	1	7.500	7.500
Servicestation (Infos, Scheibenwischwasser, ...)	1	1.000	1.000
Fundament / Unterbau / Vorbereitung	1	10.000	10.000
		Summe:	40.000

Tabelle 63, Kostenschätzung für die Verleihstation

4.6.2.1.4. Variable Kosten und kilometerbezogene Gesamtkostenⁿ

Die Schätzung der variablen Kosten für das Fahrzeug in Abhängigkeit der Stückzahl und für eine beispielhafte Verleihstation ermöglicht die Berechnung der kilometerbezogenen Gesamtkosten. Als Referenzwerte werden zunächst die Kosten von zwei Kleinfahrzeugen angegeben. In der Folge wird auf die kilometerbezogenen Kosten des SynArea-Fahrzeuges und von zwei Sparvarianten (siehe auch 3.2.1.6) eingegangen.

ⁿ Die in diesem Kapitel erläuterten kilometerbezogenen Gesamtkosten wurden zwecks Plausibilisierung und teilweise Optimierung (Sparvarianten) ermittelt. In die Berechnungen der generellen wirtschaftlichen Machbarkeit gingen Fixkosten je Fahrzeug bzw. Leihstation und variable Kosten separat ein.

Smart smart fortwo - Limousine



Modell: 2014, Fließheck, 2-türig, Weiss

Fotos: EurotaxGlass's

2014



52 kW (71 PS)
4.1 l Benzin
CO ₂ 83 g/km CO ₂

Richtpreis	EUR
NEU	10.429,92

Technische Daten Ausstattung Kosten ÖAMTC Tests ADAC Tests Rückrufe Video Versicherung

Baujahr 2014	Fahrleistung pro Jahr [km] 16.000	geplante Behaltdauer [Jahre] 6
-----------------	--------------------------------------	-----------------------------------

▼ Anschaffungskosten

Grundwert	10.429,92	EUR	?
NOVA	1	%	?
Vorsteuerabzug möglich	nein		
möglicher Wiederverkaufswert	2.430,33	EUR	?



Abbildung 133, Kostenstruktur für Smart fortwo

In Abbildung 133 und Abbildung 134 ist die Kostenaufteilung für den Smart fortwo und den Fiat Panda dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass mit ca. 660 € Wartungskosten pro Jahr für diese konventionell angetriebenen Fahrzeugen zu rechnen ist. Die durchschnittlichen Gesamtkosten pro Kilometer betragen in etwa 0,30 €.

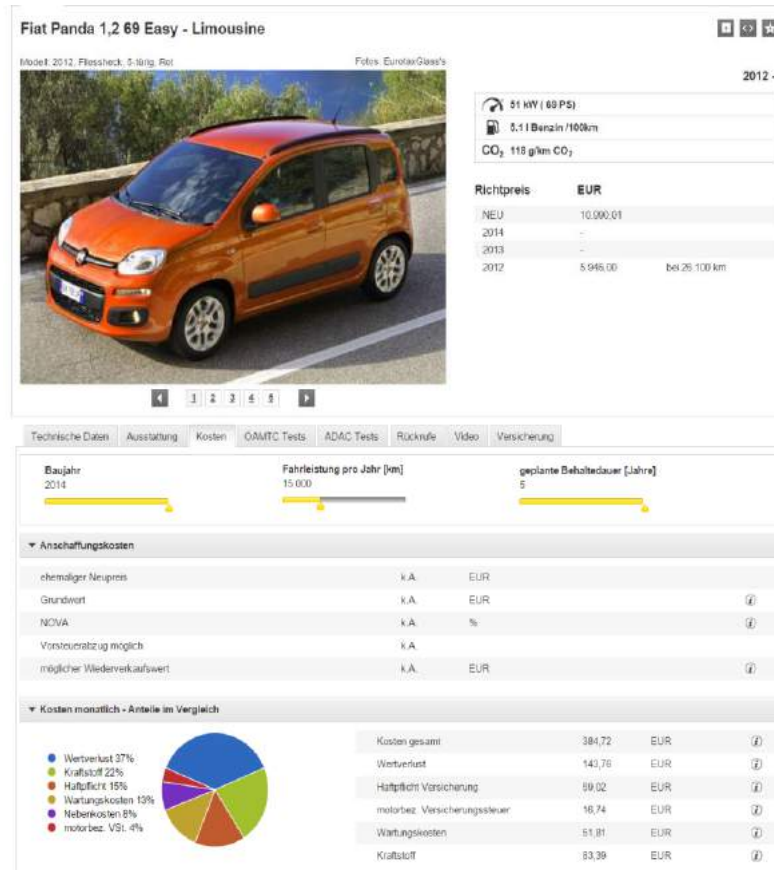


Abbildung 134, Kostenstruktur für Fiat Panda

Für das SynArea-Fahrzeug müssen naturgemäß neben den Fahrzeugkosten auch die Kosten der Verleihstationen berücksichtigt werden. Aus dieser Betrachtung resultiert bei Annahme der Mittelserienproduktion ein Gesamtpreis von 0,150 €/km (Tabelle 64). Geht man von der Großserienproduktion aus, so kann man mit 0,141 €/km rechnen (Tabelle 65).

Bezeichnung	Menge	Einheit	Bemerkung
Nutzungsdauer Fahrzeug	10	[Jahre]	
Nutzungsdauer Verleihstation	20	[Jahre]	
Nutzer-Preis pro km	0,3	[€/km]	ÖBB, SynArea Pricing
Fahrzeuge in den Bsp-Regionen	40.000	[Stk.]	ÖBB, Stückzahl Szenarien
Verleihstationen in der Bsp-Regionen	5.700	[Stk.]	AMSD, Hochskalierung aus Wiener-Becken und Mittelburgenland
Anzahl der Fahrzeuge pro Station	10	[Stk.]	AMSD, First guess
Laufleistung pro Fahrzeug	15.000	[km/Jahr]	ÖBB
Anschaffungskosten pro Fahrzeug	13.002	[€]	AMSD, nach Kalkulation f. 40000 Stk.
Anschaffungskosten pro Fahrzeug und Jahr	1.300	[€/Jahr]	---
Energiekosten pro Fahrzeug und km	0,008	[€/km]	AMSD Simulation: 53 Wh/km Annahme: 0,15 €/kWh
Wartungskosten pro Fahrzeug	400	[€/Jahreslaufleistung]	AMSD, First guess (Reinigung, Überprüfung, Verschleißteile, etc.)
Kosten pro Fahrzeug und Jahr	1.819	[€/Jahr]	---
Anschaffungskosten pro Verleihstation	40.000	[€]	AMSD, First guess
Anschaffungskosten pro Verleihstation und Jahr	2.000	[€/Jahr]	---
Wartungskosten pro Verleihstation und Jahr	1.000	[€/Jahr]	AMSD, First guess
Kosten pro Verleihstation und Jahr	3.000	[€/Jahr]	---
Gesamtkosten pro Jahr	89.878.000	[€]	---
Gesamt-km pro Jahr	600.000.000	[km]	---
Kosten Fahrzeug pro km	0,121	[€/km]	---
Anschaffungskosten Fahrzeug pro km	0,087	[€/km]	---
Energiekosten pro Fahrzeug und km	0,008	[€/km]	---
Wartungskosten Fahrzeug pro km	0,027	[€/km]	---
Kosten Verleihstation pro km	0,029	[€/km]	---
Kosten pro km	0,150	[€/km]	---

Tabelle 64, kilometerbezogene Gesamtkosten bei Annahme einer Mittelserienproduktion

Bezeichnung	Menge	Einheit	Bemerkung
Nutzungsdauer Fahrzeug	10	[Jahre]	
Nutzungsdauer Verleihstation	20	[Jahre]	
Nutzer-Preis pro km	0,3	[€/km]	ÖBB, SynArea-Pricing
Fahrzeuge in den Bsp-Regionen	150.000	[Stk.]	ÖBB, Stückzahl Szenarien
Verleihstationen in der Bsp-Regionen	21.400	[Stk.]	AMSD, Hochskalierung aus Wiener-Becken und Mittelburgenland
Anzahl der Fahrzeuge pro Station	10	[Stk.]	AMSD, First guess
Laufleistung pro Fahrzeug	15.000	[km/Jahr]	ÖBB
Anschaffungskosten pro Fahrzeug	11.655	[€]	AMSD, nach Kalkulation f. 40000 Stk.
Anschaffungskosten pro Fahrzeug und Jahr	1.166	[€/Jahr]	---
Energiekosten pro Fahrzeug und km	0,008	[€/km]	AMSD Simulation: 53 Wh/km Annahme: 0,15€/kWh
Wartungskosten pro Fahrzeug	400	[€/Jahreslaufleistung]	AMSD, First guess (Reinigung, Überprüfung, Verschleißteile, etc.)
Kosten pro Fahrzeug und Jahr	1.685	[€/Jahr]	---
Anschaffungskosten pro Verleihstation	40.000	[€]	AMSD, First guess
Anschaffungskosten pro Verleihstation und Jahr	2.000	[€/Jahr]	---
Wartungskosten pro Verleihstation und Jahr	1.000	[€/Jahr]	AMSD, First guess
Kosten pro Verleihstation und Jahr	3.000	[€/Jahr]	---
Gesamtkosten pro Jahr	316.913.893	[€]	---
Gesamt-km pro Jahr	2.250.000.000	[km]	---
Kosten Fahrzeug pro km	0,112	[€/km]	---
Anschaffungskosten Fahrzeug pro km	0,078	[€/km]	---
Energiekosten pro Fahrzeug und km	0,008	[€/km]	---
Wartungskosten Fahrzeug pro km	0,027	[€/km]	---
Kosten Verleihstation pro km	0,029	[€/km]	---
Kosten pro km	0,141	[€/km]	---

Tabelle 65, kilometerbezogene Gesamtkosten bei Annahme einer Großserienproduktion

Folglich sind die kilometerbezogenen Kosten des SynArea-Fahrzeuges im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen ähnlicher Größe um den Faktor 2 geringer. Dennoch wurde im Rahmen des Projektes versucht, noch weitere Kostenpotentiale zu identifizieren.

Angangspunkt für die Kostenoptimierung war eine Sensitivitätsanalyse, welche die maßgeblichen Parameter ausweisen sollte.

Abbildung 135 zeigt das Ergebnis dieser Sensitivitätsanalyse. Es zeigt sich, dass die Parameter „Laufleistung“, „Anschaffungskosten Fahrzeug“ und „Nutzungsdauer Fahrzeug“

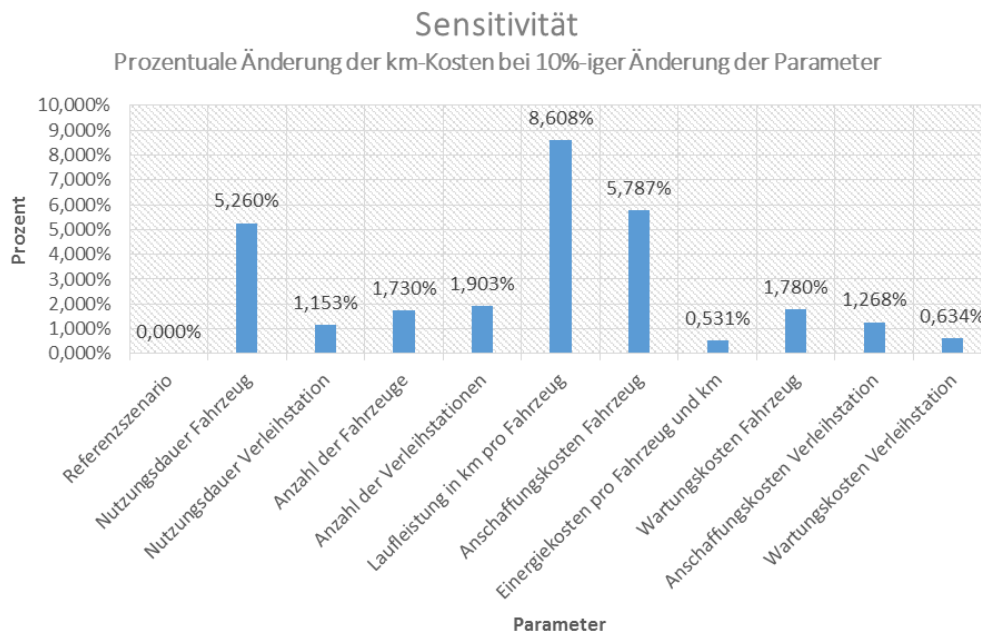


Abbildung 135, Sensitivitätsanalyse in Bezug auf die kilometerbezogenen Gesamtkosten des SynArea-Fahrzeuges

am sensitivsten sind. Eine Einflussnahme auf die Laufleistung bzw. auf die Nutzungsdauer ist bei Verwendung von COTS schwierig. Folglich wurde analysiert, durch welche Maßnahmen und bis zu welchem Grad die Anschaffungskosten der Fahrzeuge reduziert werden können und auf dieser Basis die Sparvarianten mit eingeschränkter bzw. ohne Kuppelbarkeit (siehe 3.2.1.6) erarbeitet.

In Tabelle 66 und Tabelle 67 sind die möglichen Kostenreduktionen durch die Sparvarianten jeweils für Mittelserien- und Großserienproduktion ausgewiesen. Es können im Rahmen der Mittelserienproduktion durch die Sparvariante 1 ca. 7.5 % und durch die Sparvariante 2 ca. 10.5 % der kilometerbezogenen Kosten eingespart werden. Bei Großserienproduktion ergeben sich Einsparungen im Ausmaß von 7.5 % bzw. 9 %. Es kann hierbei der Schluss gezogen werden, dass trotz drastischer funktioneller Einschränkungen die Kostenersparnis nicht eklatant ist, weswegen nur die Basisvariante sowie Sparvariante 1 (eingeschränkte Kuppelbarkeit) weiterverfolgt wurde.

Bezeichnung	SynArea	Sparvariante 1	Sparvariante 2	Einheit
Nutzungsdauer Fahrzeug	10	10	10	[Jahre]
Nutzungsdauer Verleihstation	20	20	20	[Jahre]
Nutzer-Preis pro km	0,3	0,3	0,3	[€/km]
Fahrzeuge in den Bsp-Regionen	40.000	40.000	40.000	[Stk.]
Verleihstationen in der Bsp-Regionen	5.700	5.700	5.700	[Stk.]
Anzahl der Fahrzeuge pro Station	10	10	10	[Stk.]
Laufleistung pro Fahrzeug	15.000	15.000	15.000	[km/Jahr]
Anschaffungskosten pro Fahrzeug	13.002	11.353	10.595	[€]
Anschaffungskosten pro Fahrzeug und Jahr	1.300	1.135	1.060	[€/Jahr]
Energiekosten pro Fahrzeug und km	0,008	0,008	0,008	[€/km]
Wartungskosten pro Fahrzeug	400	400	400	[€/Jahreslaufleistung]
Kosten pro Fahrzeug und Jahr	1.819	1.655	1.579	[€/Jahr]
Anschaffungskosten pro Verleihstation	40.000	40.000	40.000	[€]
Anschaffungskosten pro Verleihstation und Jahr	2.000	2.000	2.000	[€/Jahr]
Wartungskosten pro Verleihstation und Jahr	1.000	1.000	1.000	[€/Jahr]
Kosten pro Verleihstation und Jahr	3.000	3.000	3.000	[€/Jahr]
Gesamtkosten pro Jahr	89.878.000	83.281.000	80.250.000	[€]
Gesamt-km pro Jahr	600.000.000	600.000.000	600.000.000	[km]
Kosten Fahrzeug pro km	0,121	0,110	0,105	[€/km]
Anschaffungskosten Fahrzeug pro km	0,087	0,076	0,071	[€/km]
Energiekosten pro Fahrzeug und km	0,008	0,008	0,008	[€/km]
Wartungskosten Fahrzeug pro km	0,027	0,027	0,027	[€/km]
Kosten Verleihstaion pro km	0,029	0,029	0,029	[€/km]
Kosten pro km	0,150	0,139	0,134	[€/km]

Tabelle 66, kilometerbezogene Gesamtkosten für die Ausgangsvariante, die Sparvariante 1 und Sparvariante 2 des SynArea-Fahrzeuges bei Annahme einer Mittelserienproduktion

Bezeichnung	SynArea	Sparvariante 1	Sparvariante 2	Einheit
Nutzungsdauer Fahrzeug	10	10	10	[Jahre]
Nutzungsdauer Verleihstation	20	20	20	[Jahre]
Nutzer-Preis pro km	0,3	0,3	0,3	[€/km]
Fahrzeuge in den Bsp-Regionen	150.000	150.000	150.000	[Stk.]
Verleihstationen in der Bsp-Regionen	21.400	21.400	21.400	[Stk.]
Anzahl der Fahrzeuge pro Station	10	10	10	[Stk.]
Laufleistung pro Fahrzeug	15.000	15.000	15.000	[km/Jahr]
Anschaffungskosten pro Fahrzeug	11.655	10.183	9.719	[€]
Anschaffungskosten pro Fahrzeug und Jahr	1.166	1.018	972	[€/Jahr]
Energiekosten pro Fahrzeug und km	0,008	0,008	0,008	[€/km]
Wartungskosten pro Fahrzeug	400	400	400	[€/Jahreslaufleistung]
Kosten pro Fahrzeug und Jahr	1.685	1.538	1.491	[€/Jahr]
Anschaffungskosten pro Verleihstation	40.000	40.000	40.000	[€]
Anschaffungskosten pro Verleihstation und Jahr	2.000	2.000	2.000	[€/Jahr]
Wartungskosten pro Verleihstation und Jahr	1.000	1.000	1.000	[€/Jahr]
Kosten pro Verleihstation und Jahr	3.000	3.000	3.000	[€/Jahr]
Gesamtkosten pro Jahr	316.913.893	294.828.714	287.869.786	[€]
Gesamt-km pro Jahr	2.250.000.000	2.250.000.000	2.250.000.000	[km]
Kosten Fahrzeug pro km	0,112	0,103	0,099	[€/km]
Anschaffungskosten Fahrzeug pro km	0,078	0,068	0,065	[€/km]
Energiekosten pro Fahrzeug und km	0,008	0,008	0,008	[€/km]
Wartungskosten Fahrzeug pro km	0,027	0,027	0,027	[€/km]
Kosten Verleihstation pro km	0,029	0,029	0,029	[€/km]
Kosten pro km	0,141	0,131	0,128	[€/km]

Tabelle 67, kilometerbezogene Gesamtkosten für die Ausgangsvariante, die Sparvariante 1 und Sparvariante 2 des SynArea-Fahrzeuges bei Annahme einer Großserienproduktion

4.6.2.1.5. Zusammenfassung

Im vorliegenden Kapitel wurde die Kostenschätzung für das SynArea-Fahrzeug dargelegt. Dies gliederte sich in drei Schritte. Zunächst wurde auf Basis des Konstruktionsstands gemäß 3.2.1 und der zugehörigen Stückliste die Kostenstruktur für das Fahrzeug selbst abgeleitet. In einem zweiten Schritt wurden anhand eines Musterbeispiels die Kosten für eine repräsentative Verleihstation bestimmt. Dies ermöglichte im dritten Schritt die Berechnung von kilometerbezogenen Gesamtkosten. Diese Gesamtkosten wurden gängigen Kleinfahrzeugen gegenübergestellt, wobei sich hier zeigte, dass das SynArea-Fahrzeug signifikant geringere Kosten aufweist.

In weiteren Schritten wurden durch eine Sensitivitätsanalyse die wichtigsten Kostenparameter identifiziert. Als einer der drei wichtigsten Faktoren wurde der Parameter „Anschaffungskosten“ dadurch adressiert, dass ausgehend von der Basisvariante des SynArea-Fahrzeuges mit Steer-by-Wire-Funktion und spurtreuem Nachlauf zwei funktionell reduzierte Fahrzeugvarianten kostentechnisch analysiert wurden. Hierbei zeigte sich ein Einsparungspotential zwischen 7,5 und 10,5 % je nach produzierter Stückzahl und Ausmaß der Funktionsreduktion.

4.6.2.2. *Regionsweise Kostenberechnungen*

4.6.2.2.1. *Anzahl erforderlicher Fahrzeuge*

Die Anzahl für den Betrieb des Leihsystems erforderlicher Fahrzeuge leitet sich aus der stationsbezogenen Inanspruchnahme zu den Hauptverkehrszeiten (Morgenspitze bis 9 Uhr und Nachmittagsspitze 16-19 Uhr) gemäß Verkehrsmodell ab, wobei zwischen den Varianten mit voller Kuppelbarkeit und mit eingeschränkter Kuppelbarkeit zu unterscheiden ist:

- In der Variante mit voller Kuppelbarkeit wird davon ausgegangen, dass 25% der gegen die Lastrichtung fahrenden NutzerInnen bereit sind, zusätzliche Fahrzeuge zu überstellen und diese NutzerInnen im Durchschnitt 4 Leerfahrzeuge mitführen.
- In der Variante mit eingeschränkter Kuppelbarkeit wurde mit keiner systematischen Umverteilung durch NutzerInnen mit Wirksamkeit innerhalb der jeweiligen Hauptverkehrszeit gerechnet, die Möglichkeit ein zusätzliches Leerfahrzeug mitzuführen wird nur für den Ausgleich längerfristiger, stochastischer Ungleichverteilungen genutzt.

Weiters wurde angenommen, dass bei Leihstationen mit mehr Abfahrten als Ankünften nur 40% der innerhalb der jeweiligen Hauptverkehrszeit ankommenden Fahrzeuge (Gegen die Lastrichtung fahrende NutzerInnen inklusive mitgebrachte Leerfahrzeuge) noch für weitere Abfahrten während der Hauptverkehrszeit zur Verfügung stehen. Bei Stationen mit mehr Ankünften als Abfahrten trifft der selbe Wert sinngemäß umgekehrt zu. Dahinter steht die Überlegung, dass PendlerInnen in Lastrichtung nach der Leihfahrzeug-Etappe häufig noch eine weitere Wegetappe im öffentlichen Verkehr zurücklegen, während PendlerInnen, die gegen die Lastrichtung von zentraleren in periphere Gebiete pendeln, zumeist mit dem Leihfahrzeug direkt an ihrem Arbeits- oder Ausbildungsplatz ankommen und daher später unterwegs sind. An den peripher gelegenen Stationen (jene mit Fahrzeugmangel in der Morgenspitze und Fahrzeugüberschuss in der Nachmittagsspitze) kommen daher die ausgleichenden Fahrzeuge in der Morgenspitze tendenziell zu spät an bzw. fahren in der Nachmittagsspitze zu früh ab, um zum Ausgleich der Fahrten in Lastrichtung beitragen zu können.

Für die Variante mit eingeschränkter Kuppelbarkeit wurden die um den Bedarfsverkehr bereinigten Zahlen ankommender und abfahrender Fahrzeuge je Station herangezogen, da der Bedarfsverkehr in diesem Fall unabhängig vom Leihsystem mit Kleinbussen durchgeführt würde.

Gemäß der getroffenen Annahmen wurde für jede Leihstation jeweils für die Morgen- und die Nachmittagsspitze ein Fahrzeugmangel oder ein Fahrzeugüberschuss quantifiziert. Um zu berücksichtigen, dass auch bei Stationen mit ausgeglichener bzw. durch Umverteilung innerhalb der Hauptverkehrszeit ausgleichbarer Bilanz Fahrzeuge erforderlich sind, wurde als ungeachtet des zuvor errechneten Fahrzeugbedarfs aus Mangel oder Überschuss ein Mindestbedarf von 35% von Ankünften oder Abfahrten (der jeweils höhere Wert zählt) an der jeweiligen Station angesetzt. Danach wurden jeweils die Summen des Fahrzeugbedarfs der Mangel- bzw. der Überschussstationen für Morgen- bzw. Nachmittagsspitze gebildet und das Maximum dieser vier Summenwerte als gültiger Fahrzeugbedarf für die jeweilige Region und Variante herangezogen:

Variante	Wiener Becken Nord	Mittelburgenland
volle Kuppelbarkeit	1237	670
eingeschränkte Kuppelbarkeit	1679	897

Tabelle 68: Fahrzeugbedarf gemäß Inanspruchnahme (stationsweise Ankünfte und Abfahrten) zu den Hauptverkehrszeiten

Würde exakt die so errechnete Anzahl an Fahrzeugen zur Verfügung gestellt, würde bei Eintreten der getroffenen Annahmen zum Ende der Hauptverkehrszeit an den Fahrzeug-Mangelstationen jeweils exakt das letzte Fahrzeug entliehen. Zur Gewährleistung einer akzeptablen Verfügbarkeit sind naturgemäß weitere Fahrzeuge notwendig, daher wurde für die Variante mit voller Kuppelbarkeit mit zusätzlich 2,5 Reservefahrzeugen je Leihstation gerechnet, für die Variante mit eingeschränkter Kuppelbarkeit aufgrund der langsameren Umverteilung mit zusätzlich 3 Reservefahrzeugen je Leihstation. Der gesamte Fahrzeugbedarf stellt sich daher wie folgt dar:

Variante	Wiener Becken Nord	Mittelburgenland
volle Kuppelbarkeit	2157	1220
eingeschränkte Kuppelbarkeit	2783	1557

Tabelle 69: Fahrzeugbedarf inklusive Reservefahrzeugen

Pro Leihstation werden somit im nördlichen Wiener Becken bei voller Kuppelbarkeit 5,9 und bei eingeschränkter Kuppelbarkeit 7,6 Fahrzeuge benötigt, im Mittelburgenland 5,5 bzw. 7,1 Fahrzeuge. Von diesem Fahrzeugbedarf entfallen 39-45% auf Reservefahrzeuge. Jedes Fahrzeug wird bei der Variante mit voller Kuppelbarkeit etwa 8,5 mal täglich ausgeliehen, bei der Variante mit eingeschränkter Kuppelbarkeit etwa 6,5 mal täglich.

4.6.2.2.2. Annuitätenberechnung Leihfahrzeuge

Für die Berechnung der Annuitäten wurde von einem Zinssatz von 2% und einer Nutzungsdauer von 10 Jahren ausgegangen. Nachdem viele Komponenten des Elektrofahrzeugs einem im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor wesentlich geringerem Verschleiß unterworfen sind, wurde ein Restwert von 2.000 Euro nach Ablauf der Nutzungsdauer angesetzt. Diese Annahmen und die gemäß 4.6.2.1.2 ermittelten Stückkosten ergeben folgende Annuitäten:

Szenario	volle Kuppelbarkeit	eingeschränkte Kuppelbarkeit
geringere Stückzahl	1.265	1.081
größere Stückzahl	1.115	951

Tabelle 70: Annuitäten der Fahrzeug-Anschaffungskosten nach Varianten der Kuppelbarkeit und Stückzahl-Szenarien

Die Multiplikation der Annuitäten pro Stück mit den erforderlichen Stückzahlen ergibt folgende jährliche absolute Kosten:

- Geringere Stückzahl:
 - Volle Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: 2.728.331
 - Mittelburgenland: 1.543.327
 - Eingeschränkte Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: 3.009.515

- Mittelburgenland: 1.683.540

- Höhere Stückzahl:
 - Volle Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: 2.404.859
 - Mittelburgenland: 1.360.349
 - Eingeschränkte Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: 2.646.972
 - Mittelburgenland: 1.480.731

Ungeachtet der Unterschiede bei den Kosten für den Bedarfsverkehr (siehe 4.6.2.2.6) werden die geringeren Stückkosten der Variante mit eingeschränkter Kuppelbarkeit durch den höheren Fahrzeugbedarf überkompensiert.

4.6.2.2.3. Anzahl erforderlicher Leihstations-Stellplätze

Um sicherzustellen, dass die NutzerInnen mit größtmöglicher Wahrscheinlichkeit an ihrer Ziel-Leihstation einen freien Stellplatz finden, sind mehr Leihstations-Stellplätze als Fahrzeuge erforderlich: Für die Berechnung wurde angenommen, dass für jedes gemäß der Berechnung über die Inanspruchnahme zur Hauptverkehrszeit erforderliche Fahrzeug zwei Stellplätze erforderlich sind: Einer an der Leihstation, an der das Fahrzeug übernachtet und einer an jener, an der es tagsüber abgestellt wird. Für die Reservefahrzeuge hingegen wurde mit einem Bedarf von 1,5 Stellplätzen pro Fahrzeug gerechnet. Daraus ergibt sich der in Tabelle 71 dargestellte Gesamtbedarf an Stellplätzen:

Variante	Wiener Becken Nord	Mittelburgenland
volle Kuppelbarkeit	3854	2165
eingeschränkte Kuppelbarkeit	5015	2784

Tabelle 71: Leihstations-Stellplatzbedarf nach Beispielregionen und Varianten

In beiden Beispielregionen umfasst die durchschnittliche Leihstation in der Variante mit voller Kuppelbarkeit etwa 10 Stellplätze und in der Variante mit eingeschränkter Kuppelbarkeit etwa 13 Stellplätze.

4.6.2.2.4. Annuitätenberechnung Leihstationen

Für die Annuitätenberechnung wurden die gemäß 4.6.2.1.3 ermittelten Errichtungskosten je Leihstations-Stellplatz herangezogen. Es wurde mit keinen Kosten für den Grunderwerb gerechnet, da in den Beispielregionen sowohl gewöhnliche Parkplätze im Straßenraum, als auch Park-&-Ride-Plätze in aller Regel kostenlos benützlich sind und somit den Gemeinden (bzw. ÖBB-Infra bei der Nutzung von Bahngrund) keine Opportunitätskosten entstehen, wenn sie den Grund kostenlos dem Leihsystem zur Verfügung stellen. Bei 2% Zinssatz und 20 Jahren Nutzungsdauer betragen die Annuitäten 245 Euro pro Stellplatz und Jahr.

4.6.2.2.5. Laufende Kosten Leihfahrzeuge & -stationen

Die von den Leihfahrzeugen (inklusive Bedarfsverkehr in der Variante mit voller Kuppelbarkeit) zurückgelegten Fahrleistungen wurden für den Stichtag dem Verkehrsmodell entnommen, mit dem Jahreshochrechnungsfaktor gemäß 4.2.4 multipliziert und in der Variante mit voller Kuppelbarkeit um die Wiederverteil-Fahrleistung ergänzt: Im Zuge der Berechnungen zum Fahrzeugbedarf (siehe 4.6.2.2.1) wurden zusätzliche Leer-Mitführungen

von 8,9% im nördlichen Wiener Becken und 9,3% Mittelburgenland, jeweils bezogen auf die sonstigen Abfahrten, errechnet. Unter der Annahme gleicher mittlerer Fahrtweiten für Leer-Überstellungen wie für Besetzt-Fahrten wurden die Laufleistungen proportional dazu hochgerechnet.

Variante	Wiener Becken Nord	Mittelburgenland
volle Kuppelbarkeit	15.785	21.186
eingeschränkte Kuppelbarkeit	10.889	14.464

Tabelle 72: Jahresfahrleistungen pro Fahrzeug nach Beispielregionen und Varianten

Die auf die Laufleistung umgerechneten Wartungskosten gemäß 4.6.2.1.4 machen 2,7 Cent pro Kilometer aus, die Energiekosten kommen bei einem Strompreis von 15 Cent je kWh auf 0,8 Cent pro Kilometer. Insgesamt ergibt dies 3,5 Cent rein variable Kosten pro Kilometer und folgende jährliche Absolutwerte für die einzelnen Regionen und Varianten:

- Volle Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: 1.180.393
 - Mittelburgenland: 896.168
- Eingeschränkte Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: 1.083.556
 - Mittelburgenland: 819.902

Die Wartungskosten je Leihstation gemäß 4.6.2.1.4 ergeben auf den einzelnen Stellplatz umgerechnet 100 Euro pro Jahr, damit ergeben sich folgende absolute jährliche Kosten für die Leihstations-Wartung:

- Volle Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: 385.420
 - Mittelburgenland: 216.540
- Eingeschränkte Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: 501.480
 - Mittelburgenland: 278.410

4.6.2.2.6. Fahrpersonalkosten und ggf. Fahrzeugkosten Mikro-ÖV

Zur Ermittlung der Fahrpersonalkosten für den je nach Variante mit gekuppelten Leihfahrzeugen oder mit eigenen Kleinbussen durchzuführenden Bedarfsverkehr wurden folgende Annahmen getroffen:

- Stundensatz der Fahrpersonalkosten inklusive aller Steuern und Lohnnebenkosten: 25 Euro / Stunde
- Nebenzeitenfaktor: Aufgrund von Wartezeiten zwischen den einzelnen Fahrten entspricht die Arbeitszeit des/der Fahrers/In dem 1,5-fachen der Fahrzeiten
- Besetzungsgrade: Pro gemäß Verkehrsmodell zurückgelegtem Bedarfsverkehrs-Kleinfahrzeug-Kilometer werden 1,5 Personenkilometer zurückgelegt. Pro Fahrer/in-Kilometer werden 3 Personenkilometer zurückgelegt, d.h. im Durchschnitt sind zwei Fahrzeuge gekuppelt und inklusive Fahrer/In mit je zwei Personen besetzt; in der Variante mit eingeschränkter Kuppelbarkeit ist der 9-sitzige Kleinbus mit drei Fahrgästen plus Fahrer/In besetzt.

- Die Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt 42 km/h für gekuppelte Kleinfahrzeuge bzw. 69 km/h für den Kleinbus (siehe 3.2.4.1), zusätzlich fallen pro gefahrenem Kilometer 5 Sekunden Halt an.
- Die Vollkosten je Kleinbus-Kilometer exklusive Fahrpersonalkosten wurden mit 50 Cent / km angesetzt⁵⁷.
- Für den Kleinbus wurde analog zum Nebenzeitenfaktor auch ein Nebenwegfaktor von 1,5 angesetzt, während dieser in der Variante mit voller Kuppelbarkeit aufgrund der Synergie mit dem Leihsystem entfällt.

Bezogen auf die gemäß Verkehrsmodell und Jahreshochrechnungsfaktor (4.2.4) ermittelten Bedarfsverkehrs-Kleinfahrzeugkilometer ergeben diese Annahmen Fahrpersonalkosten von 47 Cent pro Kilometer bei voller Kuppelbarkeit und 30 Cent pro Kilometer bei eingeschränkter Kuppelbarkeit. Die Fahrzeugkosten wurden bei der Variante mit voller Kuppelbarkeit bereits zusammen mit den Kosten für das Leihsystem erfasst, bei der Variante mit eingeschränkter Kuppelbarkeit machen sie 37,5 Cent pro Kilometer aus (wieder bezogen auf die zur Realisierung der gleichen Fahrgastfahrten des Bedarfsverkehrs in der Variante mit voller Kuppelbarkeit anfallenden Kleinfahrzeug-Kilometer).

In absoluten Zahlen ergibt dies folgende Kosten für den Bedarfsverkehr:

- Volle Kuppelbarkeit:
 - Fahrpersonalkosten:
 - Wiener Becken Nord: 444.337
 - Mittelburgenland: 529.841
 - Fahrzeugkosten bereits in 4.6.2.1 und 4.6.2.2.5 enthalten
- Eingeschränkte Kuppelbarkeit:
 - Fahrpersonalkosten:
 - Wiener Becken Nord: 281.413
 - Mittelburgenland: 335.566
 - Fahrzeugkosten:
 - Wiener Becken Nord: 355.470
 - Mittelburgenland: 423.873

4.6.2.2.7. Sonstige Kosten

Sonstige Kosten, wie beispielsweise für KundInnenbetreuung, Störungsbehebung, Marketing und dergleichen wurden mit 10% der laufenden Kosten (jährliche Kosten ohne Amortisationskosten) angesetzt. Dies ergibt folgende Absolutzahlen:

- Volle Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: 201.015
 - Mittelburgenland: 164.255
- Eingeschränkte Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: 222.192
 - Mittelburgenland: 185.775

4.6.3. Gesamtbewertung

Die in Abbildung 136 und Abbildung 137 dargestellte Gegenüberstellung von Kosten und Finanzierungspotenzialen für alle Kombinationen von Beispielregionen, Szenarien und Varianten zeigt, dass allen Fällen die Variante mit voller Kuppelbarkeit zweckmäßiger ist und es in beiden Regionen realistisch ist, das verbesserte Verkehrsangebot ohne zusätzliche Staatsausgaben umzusetzen:

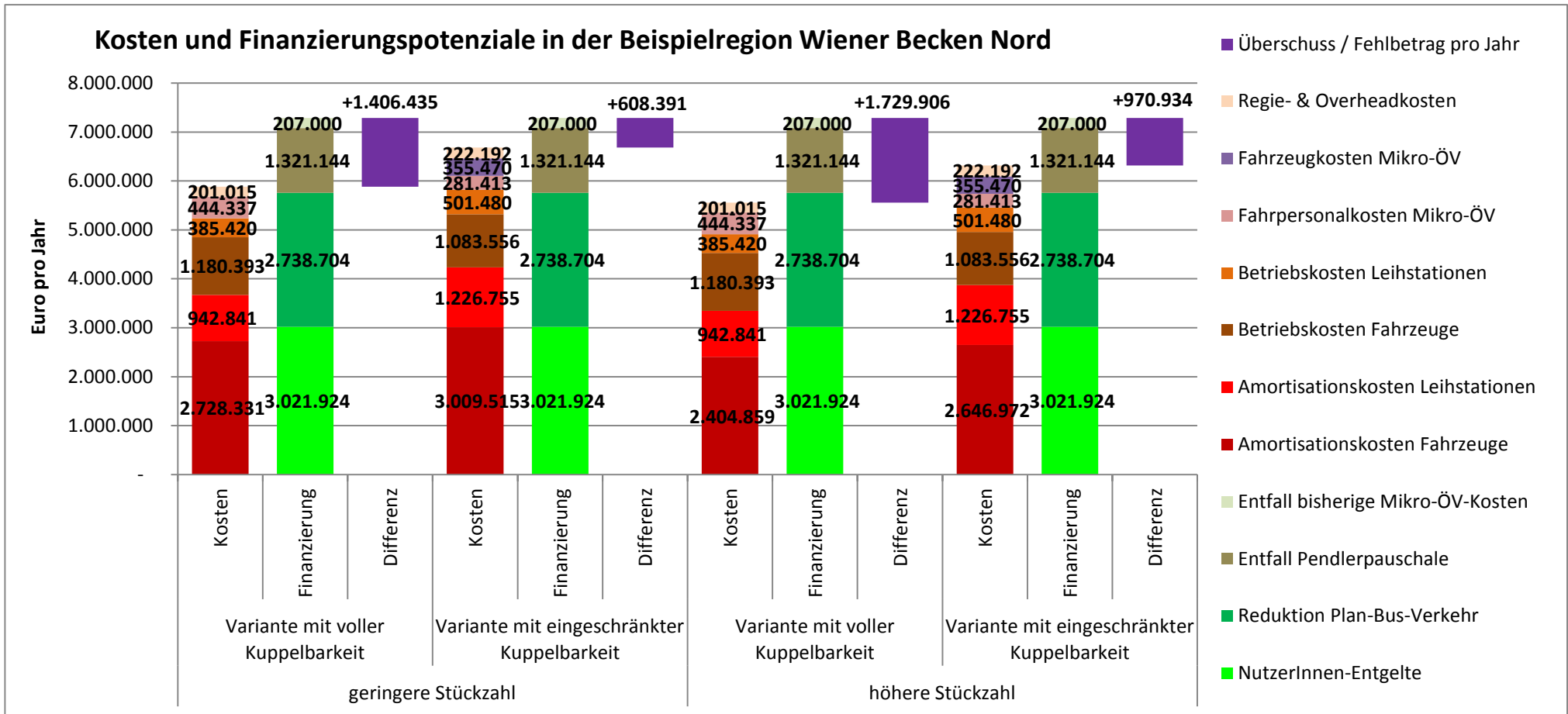


Abbildung 136: Übersicht über die einzelnen Komponenten von Kosten und Finanzierungspotenzialen des SynArea-Verkehrsangebots in der Beispielregion Wiener Becken Nord

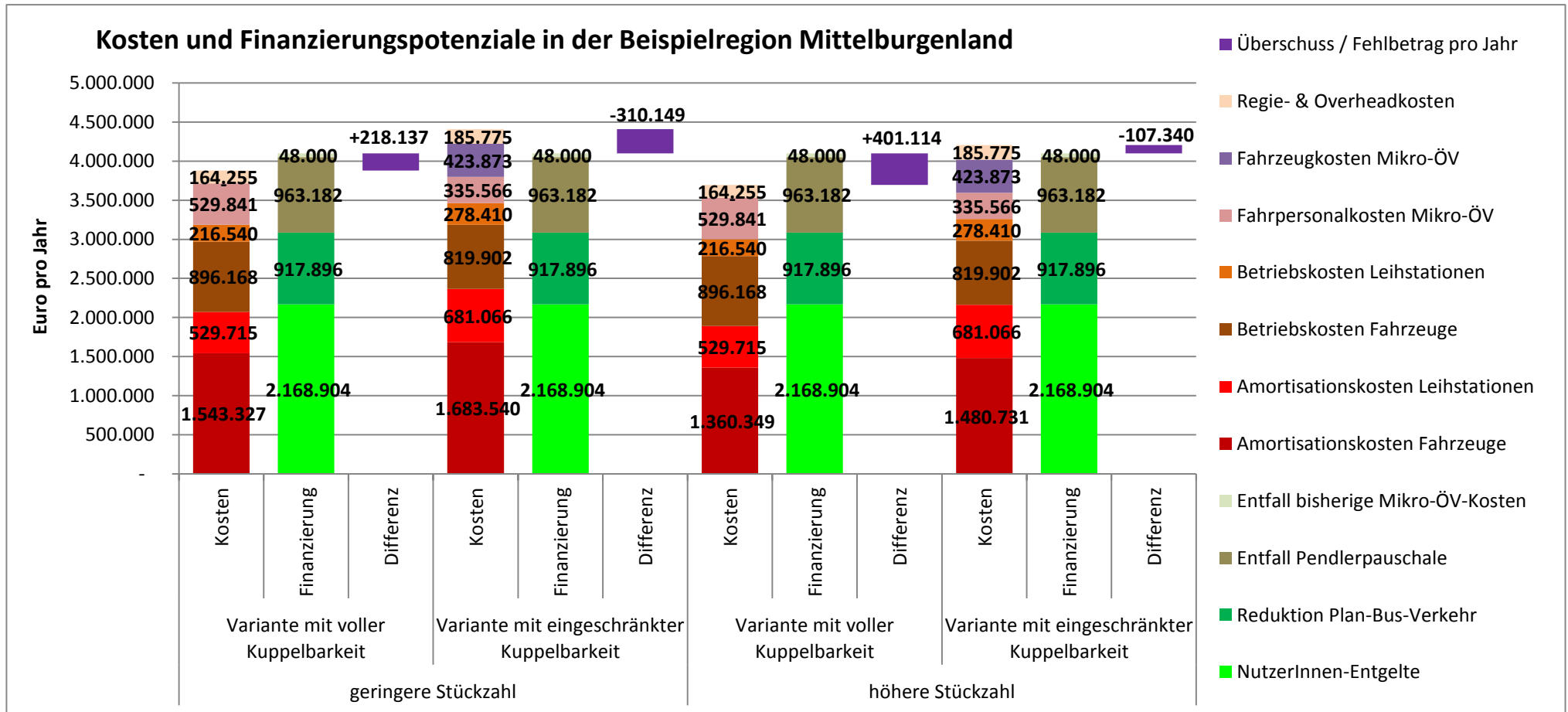


Abbildung 137: Übersicht über die einzelnen Komponenten von Kosten und Finanzierungspotenzialen des SynArea-Verkehrsangebots in der Beispielregion Mittelburgenland

Relativ im Sinne eines Anteils an den gesamten Kosten machen die Überschüsse bzw. Fehlbeträge nach Szenarien, Varianten und Beispielregionen folgende Prozentsätze aus:

- Geringere Stückzahl:
 - Volle Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: +24%
 - Mittelburgenland: +6%
 - Eingeschränkte Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: +9%
 - Mittelburgenland: -7%
- Höhere Stückzahl:
 - Volle Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: 31%
 - Mittelburgenland: 11%
 - Eingeschränkte Kuppelbarkeit:
 - Wiener Becken Nord: 15%
 - Mittelburgenland: -3%

5. Schlussfolgerungen und Ausblick auf mögliche Folgeprojekte

5.1. Erreichung der Projektziele

Im vorliegenden Sondierungsprojekt wurde für zwei Beispielregionen ein neuartiges Verkehrsangebot aus umgestaltetem planmäßigem Öffentlichem Verkehr, einem unkonventionellen Fahrzeugleihsystem und einem Bedarfsverkehrsangebot entworfen. Im Bereich der Leihfahrzeuge und –stationen war auch die Konzeption technischer Komponenten des Angebots Projektgegenstand. Die nachfolgende Untersuchung auf Machbarkeit und Wirkungen im Falle einer Realisierung ergab folgende Resultate in Bezug auf die Erreichung der Projektziele:

- Die Erreichbarkeitsverhältnisse für Menschen ohne eigenen Pkw und/oder ohne ausreichende Fahrtüchtigkeit verbessern sich drastisch
- Die Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen werden im Mittelburgenland deutlich reduziert, im nördlichen Wiener Becken hingegen in vergleichsweise geringem Ausmaß
- Bezüglich des Unfallgeschehens und der Unfallfolgekosten ergibt sich im Mittelburgenland bei optimistischen Berechnungsannahmen eine sehr geringfügige Verbesserung, bei pessimistischen Annahmen eine geringfügige Verschlechterung. Im nördlichen Wiener Becken käme es in jedem Berechnungsszenario zu einer geringfügigen Verschlechterung.
- In beiden Beispielregionen übersteigen die Finanzierungspotenziale die Kosten, das Konzept wäre somit ohne zusätzliche Staatsausgaben realisierbar.
- Die Variante mit voller Kuppelbarkeit ist wirtschaftlich und ökologisch effizienter, der technologische Mehraufwand gegenüber der Variante mit eingeschränkter Kuppelbarkeit macht sich durch geringeren Fahrzeugbedarf und effizientere Bedarfsverkehr bezahlt.

5.2. Erwartbare Genauigkeit der Ergebnisse

Aufgrund des hohen Innovationsgrades des Konzepts lagen für zahlreiche Einflussgrößen wenig empirische Grundlagen vor, sodass über weite Strecken mit qualifizierten Annahmen und Schätzungen gearbeitet werden musste und daher auch die Endergebnisse mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet sind: Sicher erscheint die Verbesserung der Erreichbarkeitsverhältnisse, weitgehend sicher die positive Tendenz bei der Emissionswirkung sowie die finanzielle Machbarkeit in der Beispielregion nördliches Wiener Becken. Die Finanzierbarkeit in der Beispielregion Mittelburgenland sowie die Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit sind hingegen in Anbetracht der Unschärfen in den Berechnungen eher als in der Größenordnung neutral zu beurteilen. Wenngleich Sondierungsprojekten zur Evaluierung neuer Konzepte gemeinhin eine optimistische Tendenz unterstellt werden kann, sind folgende Punkte hervorzuheben, die es wahrscheinlich erscheinen lassen, dass in Wirklichkeit günstigere Wirkungen erzielt werden könnten:

- Innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit konnte nur ein Entwurf des Verkehrsangebots im Verkehrsmodell simuliert werden, eine iterative Optimierung auf Basis von Modellierungsergebnissen und Angebotsänderungen war fast nicht möglich. Insbesondere lässt der Vergleich des ÖV-Angebots und der Verkehrsmittelwahl und –verteilung im Bereich Himberg-Schwechat-Wien Simmering (nördliches Wiener Becken) vermuten, dass hier noch ein wesentliches Optimierungspotenzial hinsichtlich der Busfahrpläne vorliegt (siehe 4.2.2.2.1)
- Abgesehen von der Annahme höherer Produktionsstückzahlen bei den Kleinfahrzeugen wurde im gesamten Projekt davon ausgegangen, dass das Konzept lediglich isoliert in den zwei Beispielregionen realisiert wird. Dadurch kommt die Verbesserung auf vielen Fahrtrelationen nicht zum Tragen, weil das Verkehrsangebot auf einer außerhalb der Beispielregionen liegenden Wegetappe weiterhin unzureichend ist.
- Mit dem auf Erfahrungswerten des aktuellen Verkehrswesens basierenden Verkehrsmodell ist es nur schwer möglich, mittelbare Effekte zu beurteilen, beispielsweise wenn sich Menschen aufgrund der stark verbesserten Erreichbarkeitsverhältnisse im öffentlich-intermodalen Verkehr entscheiden, nach Ablauf der Nutzungsdauer des (Zweit-)Autos keines mehr nachzubeschaffen und dadurch häufiger auch in solchen Situation den öffentlichen bzw. intermodalen Verkehr nutzen, in denen die Fahrzeit im Pkw wesentlich kürzer wäre.

5.3. Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Regionen

Der Vergleich zwischen den zwei Regionen zeigt hinsichtlich der wirtschaftlichen Machbarkeit geringere Unterschiede, als aufgrund der unterschiedlichen Bevölkerungsdichten (Faktor 2,4) zu erwarten gewesen wäre: Pro EinwohnerIn sind in der dünner besiedelten Region zwar die Gesamtkosten um 68% höher, die Finanzierungspotenziale aber immerhin auch um 44%. Während aufgrund des schlechteren ÖV-Angebots im Bestand die diesbezüglichen Einsparungsmöglichkeiten im Mittelburgenland pro Kopf um etwa 15% geringer sind, als im Wiener Becken, machen sowohl die NutzerInnen-Erlöse, als auch die entfallenden Pendlerpauschalen um etwa 80% mehr aus. Bei den Kosten fällt insbesondere der Bedarfs-ÖV ins Gewicht, der im Mittelburgenland pro EinwohnerIn drei Mal so viel an Fahrpersonalkosten verursacht, wie im nördlichen Wiener Becken. Auch die Betriebskosten der Leihfahrzeuge sind infolge höherer Inanspruchnahme etwa doppelt so hoch wie in der dichter besiedelten Region, die restlichen Kosten sind um 40-50% höher.

Beide Beispielregionen weisen hinsichtlich der Siedlungsstrukturen für den Öffentlichen Verkehr günstigere Rahmenbedingungen auf, als Streusiedlungsgebiete, aber weniger günstige Voraussetzungen als alpine Talschaften, bei denen jedoch die Batteriekapazität des Leihfahrzeugs zum Problem werden könnte. Bei der Anwendung in Streusiedlungsgebieten wäre mit wesentlich höheren Kosten für den Bedarfsverkehr zu rechnen, die nur teilweise durch Synergien mit bereits bestehenden Schulbus-Gelegenheitsverkehren abgedeckt wären. Das Leihsystem hingegen würde auch bei einer Verteilung der Bevölkerung auf wesentlich mehr Ortschaften mit geringerer EinwohnerInnenzahl funktionieren: Für eine einzelne Leihstation genügen 150-200 EinwohnerInnen und bezüglich der Zugangsentfernungen zu den Leihstationen wäre ausgehend von den sehr guten Werten für die zwei Beispielregionen eine gewisse Verschlechterung noch gut tolerierbar.

5.4. Ausblick auf mögliche Folgeprojekte

Ungeachtet der bestehenden Unsicherheiten und Unschärfen zeigen die Ergebnisse des Sondierungsprojekts, dass jedenfalls eine bei weitem ausreichende Wahrscheinlichkeit von wirtschaftlicher Umsetzungsperspektive und positiven gesellschaftlichen Wirkungen besteht, dass ein Folgeprojekt zur detaillierteren Weiterentwicklung von Fahrzeug- und Verkehrsangebotskonzept und zur präziseren Wirkungsabschätzung zweckmäßig ist. Schwerpunkte eines solchen Folgeprojekts sollten sein:

- Detailliertere Ausarbeitung des Kleinfahrzeugs bis hin zum Prototyp
- Quantitative Befragung potenzieller NutzerInnen, darauf aufbauend:
 - Treffsicherere Parametrisierung des Verkehrsnachfragemodells
 - Zeitlich-räumlich höhere auflösende Modellierung des Verkehrsgeschehens zwecks exakterer Abschätzung von Fahrzeugbedarf und Kosten des Bedarfsverkehrs
- Iterative Optimierung des Fahrplan- und Leihstellenangebots für eine größere Zahl an Beispielregionen mit zwischenzeitlicher Simulation im Verkehrsnachfragemodell.

6. Verzeichnis der Anhänge

- (1) Stand der Technik - Ausgangspunkt Pkw
- (2) Stand der Technik - Ausgangspunkt Fahrrad
- (3) Fahrplanangebot – Linientaktkarten
- (4) Fragebogenleitfaden
- (5) Angebotsdarstellung für Befragung
- (6) Liste der InterviewteilnehmerInnen
- (7) Plakat Analyse Interviews
- (8) NutzerInnen-Anforderungen
- (9) Kartendarstellungen Verkehrsmodell

¹ https://www.wko.at/Content.Node/Service/Verkehr-und-Betriebsstandort/Verkehr-allgemein/Verkehrsrecht/Fahrzeuge_mit_einer_Bauartgeschwindigkeit_von_10_km_h.html

² <http://de.wikipedia.org/wiki/EG-Fahrzeugklasse>

³ Rasmus Blefgen, Kfz-Zulassungsklassen im Rahmen der EU-Neuregelung, Diplomarbeit, Fachhochschule Dortmund, 2006

⁴ Führerscheingesetz-Durchführungsverordnung (FSG-DV)

⁵ www.fahrschule-pewny.at/uploads/media/fuhrerscheinklassen.pdf

⁶ KFG Kraftfahrgesetz idF BGBl I 2010/116

- ⁷ <https://www.help.gv.at/Portal.Node/hlpd/public/content/6/Seite.061800.html#KlasseO>
- ⁸ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1994L0020:20070101:de:PDF>
- ⁹ VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 15. Januar 2013
- ¹⁰ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2013:060:FULL&from=DE>
- ¹¹ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2013:060:FULL&from=DE>
- ¹² <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2013:060:FULL&from=DE>
- ¹³ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2013:060:FULL&from=DE>
- ¹⁴ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2013:060:FULL&from=DE>
- ¹⁵ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2013:060:FULL&from=DE>
- ¹⁶ Einteilung analog zu: Peter de Haan et.al. / Basler & Partner im Auftrag des Autogewerbeverbands der Schweiz AGVS: Garage und Umwelt: Fokusgruppen zum künftigen Rollenbild des Garagisten, S.14ff: http://www.agvs-upsa.ch/sites/default/files/global_files/20110117_vb_bericht_fokusgruppen_rollebilder_garagist_d.pdf.pdf; 9.3.2015
- ¹⁷ Setra: Routenplaner: <http://www.setra.de/service/routenplaner.html>; 10.3.2015
- ¹⁸ ViaMichelin Karten und Routenplaner: <http://www.viamichelin.at/web/Routenplaner>; 10.3.2015
- ¹⁹ <http://www.fahrrad.de/fahrradzubehoer/anhaenger/roland-big-boy-anhaenger-16-zoll/6532.html>
- ²⁰ <http://www.zeit.de/mobilitaet/2014-01/fs-auto-der-zukunft-entwuerfe/seite-16>
- ²¹ <https://www.youtube.com/watch?v=3mEke7TMNZw>
- ²² http://www.carsablanca.de/files/medias/filename/model-a-koffer_1799_big.jpg
- ²³ <http://www.probefahrtblog.net/probefahrt-mit-einem-renault-twizy-100-elektro/renault-twizy-innenraum/>
- ²⁴ Kraftfahrgesetz 1967, Fassung vom 19.3.2015:
<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011384>; 19.3.2015
- ²⁵ ÖAMTC Auto-Info: <http://www.oeamtc.at/ai-webapp/>; 11.3.2015
- ²⁶ Verkehrsverbund Ost-Region: Einzeltickets: <http://www.vor.at/tickets-preise/einzeltickets/>; 11.3.2015
- ²⁷ Verkehrsverbund Ost-Region: Tarifzonenplan:
http://www.vor.at/fileadmin/user_upload/downloads/Plaene/Tarifzonenplan.pdf; 11.3.2015
- ²⁸ Entfernungsmessung auf www.mapy.cz
- ²⁹ Fahrpreisabfrage auf www.oebb.at
- ³⁰ Bundesministerium für Finanzen: Kilometergeld: <https://www.bmf.gv.at/steuern/fahrzeuge/kilometergeld.html>; 11.3.2015
- ³¹ Car2go: Tarifordnung Wien:
https://www.car2go.com/common/data/locations/europe/oesterreich/car2go_Wien_Tarifordnung_Oktober_2014.pdf; 11.3.2015
- ³² DriveNow Tarife und Pakete: <https://at.drive-now.com/#!/tarife>; 11.3.2015
- ³³ Multicity: Tarife: <https://www.multicity-carsharing.de/tarife/>; 11.3.2015
- ³⁴ Quicar: Das Quicar Preismodell: https://web.quicar.de/navigation_links/das_kostets/pages/auf_einen_blick/; 11.3.2015
- ³⁵ Verkehrsverbund Ost-Region: Jahreskarten: <http://www.vor.at/tickets-preise/jahreskarten/>; 11.3.2015
- ³⁶ Car2go: Minutenpakete: https://www.car2go.com/de/wien/was-kostet-car2go/#tab_17805; 11.3.2015
- ³⁷ DriveNow Tarife und Pakete: <https://at.drive-now.com/#!/tarife>; 11.3.2015
- ³⁸ BMVIT (Hrg.) (2009): Verkehrsprognose Österreich 2025+ (VMÖ 2025+)
- ³⁹ G. Sammer, G. Röschel, C. Gruber (2010): Qualitätssicherung für die Anwendung von Verkehrsnachfragemodellen und Verkehrsprognosen – QUALIVERMO, Wien
- ⁴⁰ Automotive Institute for Management (AIM), EBS Business School (2013): AIM Carsharing-Barometer, Vol. III, Schwerpunkt: Carsharing-Kunden, Oestrich-Winkel
- ⁴¹ Universität Karlsruhe, Institut für Verkehrswesen: Deutsches Mobilitätspanel (MOP), 2008, Karlsruhe
- ⁴² Amt der NÖ Landesregierung (Hrg.) (2009): Mobilität in NÖ – Ergebnisse der landesweiten Mobilitätsbefragung, St. Pölten
- ⁴³ Herry (2014): Mobilitätsbefragung Vorarlberg 2013, Eckdaten der Befragung, Einstellungen und Meinungen, Mobilitätsverhalten der Vorarlberger Bevölkerung, Wien

-
- ⁴⁴ Amt der NÖ Landesregierung (Hrg.) (2009): Mobilität in NÖ – Ergebnisse der landesweiten Mobilitätsbefragung, St. Pölten
- ⁴⁵ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2005): Empfehlung für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR), Köln
- ⁴⁶ NÖ Landesregierung / Herry Consult: Mobilität in NÖ - Ergebnisse der landesweiten Mobilitätsbefragung 2008: http://www.noel.gv.at/bilder/d42/LVK_Mobilitaet.091.pdf; 13.9.2013
- ⁴⁷ Umweltbundesamt: ÖKOBILANZ ALTERNATIVER ANTRIEBE – ELEKTROFAHRZEUGE IM VERGLEICH: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0440.pdf>; 31.3.2015
- ⁴⁸ Umweltbundesamt Wien, Mai 2014
- ⁴⁹ Burg H., Moser A. Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion; 1.Auflage. Edition; Publisher: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag; GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2007; 2007b
- ⁵⁰ DSD: PC Crash Bedienungshandbuch; (9.1).
- ⁵¹ Association for the Advancement of Automotive Medicine: AIS; <http://www.aaam.org/about-ais.html>; 15.4.2015
- ⁵² NASS/CDS: MAIS3+ and delta v; 2005e, (Report);
- ⁵³ <https://www.bmvit.gv.at/verkehr/strasse/sicherheit/strassenverkehrsunaefaelle/volkswirtschaft.html>; 20.01.2015
- ⁵⁴ Auskunft ÖBB-Postbus GmbH
- ⁵⁵ Bundesministerium für Finanzen: Allgemeines zum Pendlerpauschale: <https://www.bmf.gv.at/steuern/arbeitnehmer-pensionisten/pendlerpauschale/pendlerpauschale-allgemein.html>; 12.3.2015
- ⁵⁶ Bundesministerium für Finanzen: Unzumutbarkeit der Benützung von Massenverkehrsmitteln: <https://www.bmf.gv.at/steuern/arbeitnehmer-pensionisten/pendlerpauschale/unzumutbarkeit-der-benuetzung-von-massenverkehrsmitteln.html>; 12.3.2015
- ⁵⁷ Abfrage für diverse 9-sitzige Modelle auf www.autoplenum.at, z.B. Citroen Jumpy: <http://www.autoplenum.at/Auto/Kriteriensuche/77c5dce93f11fd24/141/1>; 23.3.2015