



Gernot HÜTTER, BSc

Geschäftsmodelle
für
e-basierte Logistikservices

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Dipl.-Ing. Wolfgang TRUMMER

Institut für Technische Logistik

Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle recht herzlich bei Herrn DI Wolfgang Trummer für die Themenstellung sowie die wertvollen Diskussionen und Hilfestellungen während der Masterarbeit bedanken. Ebenso konnte ich stets auf die Unterstützung von Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Norbert Hafner zählen. Ein weiterer Dank gilt dem gesamten Team des Instituts für technische Logistik an der TU Graz, das mich bei der Erstellung meiner Masterarbeit in sämtlichen Angelegenheiten unterstützt hat.

Ein großer Dank gilt meinen Eltern, die es mir ermöglicht haben eine Ausbildung entsprechend meinen Vorstellungen zu absolvieren und mir dabei auch jederzeit mit Rat und Tat zur Seite standen. Ebenso bedanken möchte ich mich bei meinen Brüdern mit deren Familien, die mich während meiner gesamten Ausbildungszeit unterstützten und mir oft von großer Hilfe waren. Zu guter Letzt gebührt meiner Freundin Eva ein großer Dank. Sie hatte stets ein offenes Ohr für meine Anliegen und brachte vor allem in den arbeitsintensiven Studienabschnitten immer wieder Verständnis für meine zeitlichen Einschränkungen auf.

Kurzfassung

Elektrofahrzeuge sind aufgrund ihrer umweltschonenden Eigenschaften ein wesentlicher Bestandteil zukünftiger Mobilitätskonzepte. Insbesondere bei sensiblen Einsatzgebieten, wie der Abwicklung der innerstädtischen Logistik, kommt einer geringen Umweltbelastung besondere Bedeutung zu. Ziel dieser Arbeit ist es, anhand von realen Geschäftsmodellen das Erfolgspotential e-basierter Logistikservices zum heutigen Zeitpunkt (Sommer 2015) festzustellen.

Im Vorfeld der Geschäftsmodell-Analysen wurden modular aufgebaute Berechnungsprogramme zur Beurteilung der Situation bei Einzelfahrzeugen, Fahrzeugflotten und urbanen Räumen entwickelt. Mit dem Fahrzeugflotten-Rechner wurden die ökonomischen und ökologischen Eigenschaften von E-Fahrzeugenflotten sowie deren technische Eignung für definierte Anwendungsfälle überprüft. Die Auswirkungen einer flächendeckenden Elektrifizierung wurden mit dem Tool für urbane Räume kalkuliert.

Auf Basis dieser Auswertungen wurden die Geschäftsmodelle dann hinsichtlich Wirtschaftlichkeit (TCO), Nachhaltigkeit (CO₂) und Machbarkeit (Reichweite) bewertet. Dabei wurde speziell auf eine objektive und realistische Darstellung der Gegebenheiten Wert gelegt. Vervollständigt wurden die Betrachtungen mit Erkenntnissen aus einschlägiger Literatur sowie mit Informationen aus Erfahrungsberichten.

Im Resümee erfolgte auf Basis der zentralen Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit eine Einschätzung zukünftiger Entwicklungen im Bereich e-basierter Logistikservices.

Diese Masterarbeit ist ein Beitrag des Instituts für technische Logistik zum Projekt „Urbane e-Lieferservices“ in der Modellregion Graz.

Abstract

Electric cars – due to their environment-friendly characteristics - are an essential part of future mobility concepts. Especially in demanding operation areas, such as logistical processes in city centers, such an eco-friendly approach is required. Therefore, the main target of this master thesis is to analyze three real-life business cases in order to assess the current (Summer 2015) potential of success of e-based logistic concepts.

In order to conduct the analysis of these three scenarios, a specific calculation tool was created. It consists of several modular programs for the evaluation of single cars, vehicle fleets, and urban centers. The basic tool is the single car calculator, which provides technical and financial information for electric cars in real application. On the next level, a vehicle fleet calculator investigates the use of a plurality of e-cars. The city tool, then, simulates the (partial-) electrification of metropolitan areas.

The business cases under scrutiny are subsequently evaluated in terms of cost-effectiveness (TCO), sustainability (CO₂), and feasibility (range). In this regard, a crucial principle of the master thesis at hand is an objective and realistic point of view. The results are, moreover, rounded off by relevant references and firsthand reports.

The thesis concludes with a summary and an outlook on possible future developments in the field of e-based logistics.

This master thesis is a part of the project “urbane e-Lieferservices” in the model region Graz, conducted at the Institute of Logistics Engineering.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	„Last Mile“ Transport	1
1.2	Elektrofahrzeuge	4
1.3	Aufgabenstellung.....	6
2	Grundlagen.....	7
2.1	City Logistik	7
2.1.1	Definition	7
2.1.2	Ziele	9
2.1.3	Ausführungsvarianten	10
2.1.4	City Hub	13
2.1.4.1	Funktions-Prinzip.....	13
2.1.4.2	Potentiale	15
2.1.4.3	Risiken.....	16
2.1.4.4	Einflüsse.....	17
2.1.4.5	Multimodale Netzwerke	20
2.1.4.6	Kundensegmente	21
2.1.5	IKT Systeme	24
2.1.6	Umweltaspekte	26
2.2	Elektromobilität.....	26
2.2.1	Fahrzeugausführungen.....	28
2.2.2	Eigenschaften / Eignung	29
2.2.3	Infrastruktur.....	32
2.2.4	Modellübersicht.....	40
2.2.5	Vergleich	48
2.2.6	Resümee.....	50
2.3	Total Cost of Ownership	51
3	Entwicklung eines Geschäftsmodells	53
3.1	Einzelfahrzeug.....	54
3.1.1	Aufbau.....	54
3.1.1.1	Input	55
3.1.1.2	Berechnung	56

3.1.1.3	Output.....	57
3.2	Fahrzeugflotte	59
3.2.1	Tourenplaner.....	60
3.2.2	Flottenvergleich.....	61
3.2.3	Übergang zum Geschäftsmodell.....	61
3.3	Urbaner Raum.....	62
4	Geschäftsmodelle.....	63
4.1	Segmentierung / Auswahl.....	63
4.2	Geschäftsmodell - Lieferservice	68
4.2.1	Erläuterung des Analyse Szenario.....	68
4.2.2	Annahmen.....	68
4.2.3	Kurzfassung der Ergebnisse	70
4.2.4	Ergebnisse im Detail	71
4.2.4.1	Reichweite	71
4.2.4.2	Wirtschaftliche Aspekte	72
4.2.4.3	Ökologische Aspekte.....	74
4.2.4.4	Weitere Ergebnisauswertung	74
4.2.5	Resümee zum Anwendungsfall.....	78
4.3	Geschäftsmodell - Bring-Händler	79
4.3.1	Erläuterung des Analyse Szenario.....	79
4.3.2	Annahmen.....	79
4.3.3	Kurzfassung der Ergebnisse	80
4.3.4	Ergebnisse im Detail	81
4.3.4.1	Reichweite	81
4.3.4.2	Wirtschaftliche Aspekte	82
4.3.4.3	Ökologische Aspekte.....	84
4.3.4.4	Weitere Ergebnisauswertung	84
4.3.5	Resümee zum Anwendungsfall.....	87
4.4	Geschäftsmodell – KEP-Unternehmen.....	88
4.4.1	Erläuterung des Analyse Szenario.....	88
4.4.2	Annahmen.....	88
4.4.3	Kurzfassung der Ergebnisse	90
4.4.4	Ergebnisse im Detail	91
4.4.4.1	Reichweite	91

4.4.4.2	Wirtschaftliche Aspekte	92
4.4.4.3	Ökologische Aspekte.....	94
4.4.4.4	Weitere Ergebnisauswertung	94
4.4.5	Resümee zum Anwendungsfall.....	99
5	Untersuchungen - Urbaner Raum.....	100
5.1	Rechenmodell zur Stadt Graz	100
5.1.1	Basisdaten - Stadt Graz	100
5.1.2	Näherungsmodell.....	101
5.1.3	Zusammenfassung	103
5.2	Fallbeispiel – Ökologischer Fuhrpark	104
5.2.1	Weitere Annahmen	104
5.2.1.1	Zusammensetzung des Fuhrparks	104
5.2.1.2	Wirtschaftliche Faktoren	105
5.2.2	Ergebnisse	105
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	111
6.1	Reichweite.....	111
6.2	Kostensituation.....	113
6.3	Ökologische Vorteile	116
7	Verzeichnisse	119
7.1	Literaturverzeichnis	119
7.2	Abbildungsverzeichnis.....	124
7.3	Tabellenverzeichnis.....	127
7.4	Abkürzungsverzeichnis	128
8	Anhang	130
8.1	Bedienungsanleitung Einzelfahrzeug-Rechner.....	130
8.2	Bedienungsanleitung Fahrzeugflotten-Rechner	136

1 Einleitung

Das erste Kapitel beschreibt verschiedene Varianten von Transportprozessen um in weiterer Folge das Anwendungsgebiet des Last-Mile Transport abzugrenzen. Weiters werden einige wichtige Themen bei der Nutzung von Elektrofahrzeugen angesprochen. Im Anschluss erfolgt die Definition der Aufgabenstellung welche im Zusammenhang mit den bisher beschriebenen Begriffen steht.

1.1 „Last Mile“ Transport

Der Wohlstand unserer Gesellschaft basiert auf der Versorgung mit Gütern aus der gesamten Welt. Ebenso wichtig wie der globale ist auch der lokale Austausch von Waren. Der Kombination aus unterschiedlichen Transportwegen, Ladungseinheiten, Transportmittel, Lieferzeiten usw. entspringt ein hochkomplexes Logistiknetzwerk.

„Um ein Gut von seinem Herstellungsort zu seinem Verwendungsort zu bewegen, sind meist mehrere Vorgänge notwendig - der Transport, der Umschlag, das Lagern und dann wieder der Transport. Diese Vorgänge lassen sich unter dem Begriff Transportkette zusammenfassen. Anders ausgedrückt ist eine Transportkette die Folge von technisch und organisatorisch verknüpften Vorgängen, bei denen Güter oder Personen von einer Quelle zu einer Senke bewegt werden. (vgl. [Pfo04]; [VCB98])“ [DHL15]

Abbildung 1 zeigt eine Klassifizierung unterschiedlicher Transportketten. Primär wird zwischen Ein- und Mehrgliedrigkeit unterschieden. Eingliedrig bedeutet einen direkten Transport vom Liefer- zum Empfangspunkt, ohne dass das Transportmittel gewechselt wird. Diese Variante wird auch Direktverkehr genannt. Im Gegensatz dazu kommt es bei mehrgliedrigeren Transportketten zu zumindest einen Wechsel des Transportmittels. Innerhalb dieser Kategorie wird weiter zwischen gebrochenem und ungebrochenem Verkehr unterschieden. Beim letzterem handelt es sich um einen Transport ohne einen Wechsel des Transportgefäßes, wie Behälter- oder Huckepackverkehr.

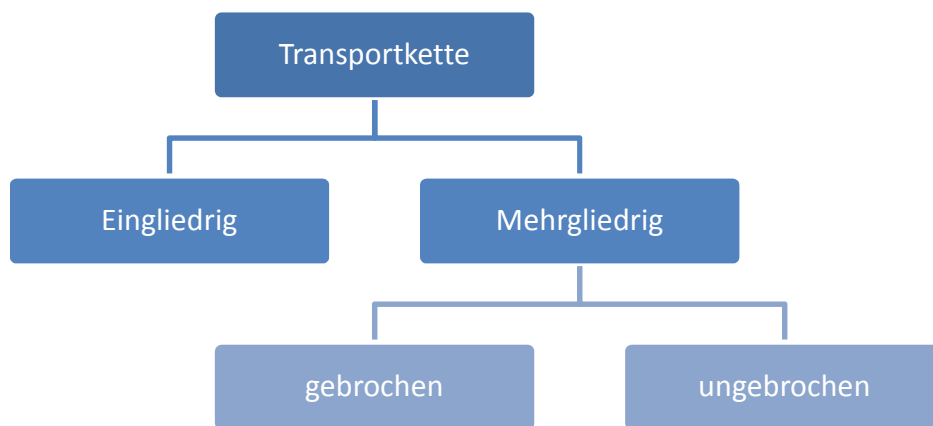


Abbildung 1: Klassifizierung Transportkette (nach [Pfo04])

„In Abhängigkeit von Umfang und Art der zu transportierenden Sendung, sowie deren Gewicht, Größe und Eilbedürftigkeit können unterschiedliche Transportketten und –netze zum Einsatz kommen.“ ([CIG13], S.145) Eingliedrige Transportketten sind meist bei großen Gütermengen und bei speziellen Ladeeinheiten zu finden. Da die Fracht vom Versender auf direktem Weg zum Empfänger gelangt, entfallen sämtliche Aufwände für Umschlag und Lagerung. Die gesamten Transportkosten entfallen jedoch auf diese eine Ladung. Für geringe Transportkosten je Einheit ist ein hoher Ladefüllungsgrad anzustreben.

Bei kleinen Ladungsmengen oder wenn ein durchgehender Transport nicht möglich (z.B. über Seeweg), kommt eine mehrgliedrige Transportkette zur Anwendung. Abbildung 2 zeigt eine dreigliedrige Kette. Im ersten Schritt erfolgt hier ein Transport von der versendenden Stelle zu einem Sammelpunkt in dessen Nähe (Sammelgutverkehr). Die Ware wird von dort zu einem Verteilpunkt in Zielnähe überstellt. Der letzte Vorgang beinhaltet die Auslieferung an den Empfänger (Sammelgutverkehr). Sammel- und Verteilpunkte sind in der Regel dieselben räumlichen Einrichtungen, werden aber je nach Funktion unterschiedlich benannt.

„Die Transportleistungen lassen sich allgemein in Ladungsverkehr und Sammelgutverkehr unterscheiden. Beim Ladungsverkehr werden Güter in größerer Menge versendet. Dabei füllt die aufgegebenen Gütermenge das Transportmittel entweder als Komplettladung vollständig oder als Teilladung zu großen Teilen aus. Beim Sam-

melgutverkehr dagegen werden mehrere kleinere Sendungen zu einer Sammella-
dung zusammengefasst und transportiert. (vgl. [Pfo04]; [VCB98]; [PGH03])“
[DHL15]

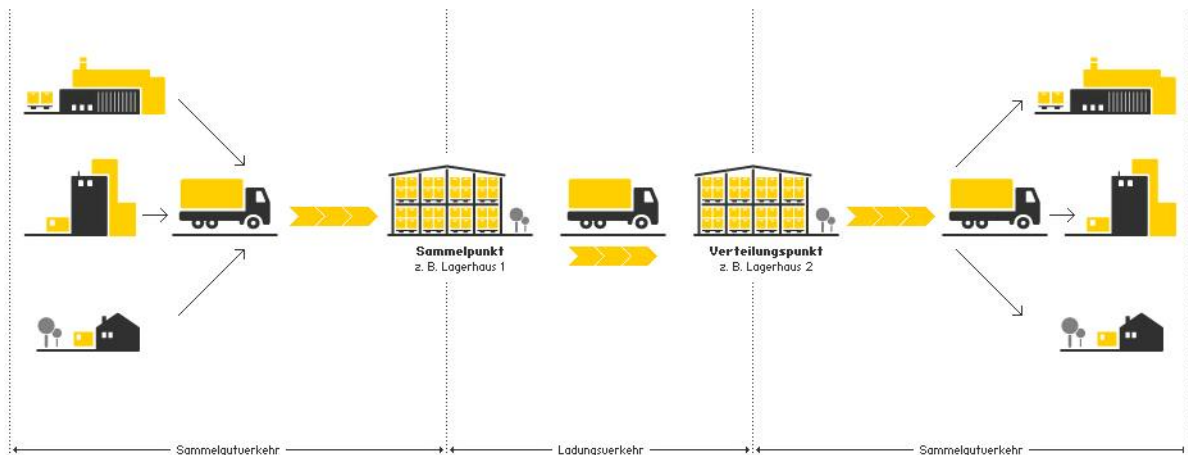


Abbildung 2: Transportkette der Logistik [DHL15]

Mit der sogenannten „Last Mile“ ist der letzte Abschnitt in der Transportkette gemeint. Hier erfolgt die Auslieferung der Waren vom Verteilungspunkt an den Kunden. Der Vorgang, der meist von Kurier- Express- und Paketdiensten (KEP) durchgeführt wird, ist mit einigen Problemen behaftet.

Die Auslieferung der Güter wird im Sammelgutverkehr bewerkstelligt. Jede einzelne Empfangsadresse erfordert eine separate Anfahrt samt Auslieferungsvorgang. Speziell im B2C-Sektor ist die Warenübergabe an den Kunden teilweise erst nach mehreren Zustellversuchen erfolgreich. Im urbanen Raum erschweren weitere Rahmenbedingungen wie Verkehrsüberlastung und gesetzliche Zufahrtsbeschränkungen einen effizienten Auslieferungsvorgang. Des Weiteren ist im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung mit zusätzlichen Einschränkungen zur Reduktion der Umweltbelastung zu rechnen. Gleichzeitig werden die versandten Warenmengen aufgrund des wachsenden Anteils an E-Commerce zunehmen.

Die Vielzahl dieser erschwerenden Einflüsse führt dazu, dass der Anteil des letzten Wegabschnittes bis zu 50% der Gesamtkosten verursacht. Verbesserungen auf diesem Gebiet haben deshalb ein großes Einsparungspotential.

1.2 Elektrofahrzeuge

Fahrzeuge mit konventionell betriebenen Verbrennungskraftmaschinen bestimmen das heutige Straßenbild. Aus Gründen des Umweltschutzes sowie der limitierten Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe findet eine Suche nach Alternativen zu diesen statt.

Reine Elektrofahrzeuge (Battery Electric Vehicle – BEV) bieten den Vorteil eines lokal emissionsfreien Antriebs. Die für den Betrieb notwendige Energie wird aus dem Stromnetz bezogen und vorübergehend im Fahrzeug gespeichert, bis sie durch einen hocheffizienten Elektromotor in Vortrieb umgesetzt wird. Idealerweise soll ein Großteil der für die Elektromobilität benötigten Energie aus umweltfreundlichen Energiequellen wie Sonne, Wind oder Wasser gewonnen werden. Bei flächendeckender Verwendung dieser Fahrzeuge besteht die Möglichkeit, große Energiemengen gezielt zu Zeiten niedriger Netzlasten aufzunehmen und dann in den Fahrzeugen je nach Bedarf abzurufen. Überschüssiger Strom würde somit Verwendung finden und die Netzauslastung sich vergleichmäßigen. Aufgrund von hohen Wirkungsgraden bei Akkumulator und Antriebsstrang wird die elektrische Energie fast vollständig in Vortrieb umgewandelt. Dies, zusammen mit derzeit moderaten Stromkosten, führt zu sehr geringen Energiekosten.

Neben den angesprochenen Potentialen gilt es bei Elektrofahrzeugen auch einige negative Aspekte zu beachten. So sind zur Energiespeicherung Akkumulatoren notwendig, welche derzeit mit verhältnismäßig hohen Herstellkosten verbunden sind. Unabhängig des finanziellen Aspektes sind Reichweiten, die der Bandbreite eines konventionellen Fahrzeuges entsprechen (500-1000km je Tank-Stop), mit derzeit verfügbaren Elektrofahrzeugmodellen nicht erreichbar. Auch die Lebensdauer der Akkus ist beschränkt. Je nach Einsatzbedingungen gelten Nutzungsdauern von fünf bis zehn Jahren als realistisch.

Zusammengefasst ist der Start in eine umweltfreundlichere Fortbewegung durch die Nutzung von Elektrofahrzeugen möglich. Mit dem derzeitigen technischen Entwicklungsstand ist dies häufig nur unter Änderung des bisher gewohnten Nutzungsver-

haltens möglich. Finanzielle Rahmenbedingungen sind für den jeweiligen Anwendungsfall abzuklären.

Der Nutzung von Elektrofahrzeuge im Last-Mile Transport bietet ein besonders großes Anwendungs- und Verbesserungs-Potential. Kurze Gesamtwegstrecken von Liefertouren im urbanen Umfeld lassen eine weitgehende Verwendung von Elektrofahrzeugen zu. Dabei ist im dicht besiedelten Raum eine möglichst umweltschonende Belieferung (hinsichtlich Schadstoffe und Lärm) besonderes erstrebenswert. Möglicherweise ist in naher Zukunft die Belieferung der Stadtzentren nur unter Verwendung umweltschonender Elektrofahrzeuge erlaubt. Solange das nicht der Fall ist verwenden Unternehmen ein umweltfreundliches Fahrzeug nur unter der Bedingung, dass es zum finanziellen Erfolg beiträgt. Dies kann direkt oder indirekt (Umwegrentabilität) bewerkstelligt werden.

Eine Analyse unterschiedlicher Geschäftsmodelle ermöglicht es Aussagen zu treffen, inwieweit und unter welchen Bedingungen eine erfolgreiche Anwendung von e-basierten Logistikservices möglich ist.

1.3 Aufgabenstellung

Das Projekt „Urbane e-Lieferservices - Modellregion Graz“ wird von der TU Graz in Zusammenarbeit mit mehreren Unternehmen durchgeführt. Teil des Projektes ist die Verifizierung von Geschäftsmodellen im Bereich e-basierter Logistikservices. Dies soll im Zuge der Abarbeitung folgender Arbeitspakete bewerkstelligt werden:

1. Einarbeitung in die Themenstellung (Elektrobasierte Logistikkonzepte, Urbane Logistik, wirtschaftliche Beurteilung von Logistikkonzepten, etc.)
2. Schaffung einer standardisierten Vorgangsweise zur Bewertung der technischen Eignung und wirtschaftlichen Erfolgsmöglichkeit von Logistikkonzepten (Kosten-Nutzen Modell). Darstellung der ökologischen Auswirkungen auf den urbanen Raum.
3. Erstellen von drei Geschäftsmodellen auf Basis von Daten, die im Zuge der Testaktion des Projektes „Urbane e-Lieferservices - Modellregion Graz“ erhoben wurden. Anschließendes Verifizieren der Szenarien anhand der im vorangegangenen Arbeitsschritt erstellen Bewertungsmethodik.
4. Anstellung einer grundsätzlichen Betrachtung hinsichtlich der Einflüsse auf lokale Sammel- und Verteil-Zentren.
5. Dokumentation der Ergebnisse für die Beispielszenarien und Verallgemeinerung.

2 Grundlagen

2.1 City Logistik

2.1.1 Definition

Die City-Logistik befasst sich im Allgemeinen mit der Optimierung der Güter- und Personenströme, die dem städtischen Bereich entspringen oder dort enden. Der Zusammenhang mit dem in Kapitel 1.1 beschriebenen Last-Mile Transport besteht darin, dass in beiden Fällen der kostenintensive letzte (bzw. erste) Teil der Transportkette behandelt wird.

„Mit dem Begriff City-Logistik wurde ... ein Begriff geprägt, der die Anwendung logistischen Denkens nicht auf die Aufgaben einzelner Unternehmen, sondern auf das Feld der miteinander konkurrierenden Nutzungsansprüche an die knappe Ressource „Innenstadtfläche“ zum Ziel hat. Der Schwerpunkt liegt in fast allen bekannten City-Logistikprojekten im Bereich Güterverkehr, während die klassische Verkehrsplanung vor allem den Personenverkehr ... berücksichtigt.“ ([VCB98], S.311) Es gibt noch viele weitere Definitionen zum Begriff. Sie unterscheiden sich im Inhalt hinsichtlich:

- Abgrenzung des Systems
Innenstadt, Stadtgebiet, gesamter Ballungsraum
- Berücksichtigten Faktoren
ökonomische Faktoren, ökologische Faktoren, Lebensqualität
- Maßnahmenpakete
verbesserte Logistikprozesse, Infrastrukturplanung, Verstärkter Einsatz von Informationstechnologie, Unternehmenskooperationen
- Einbezogene Akteure
Öffentlichkeit, Logistikdienstleister, Handel, Endverbraucher

„Es wird an dieser Stelle nicht gelingen, eine abschließende Definition der Begrifflichkeit City-Logistik zu finden. Wesentliche Merkmale der City-Logistik bzw. City-Logistik Konzeptionen sollen jedoch folgend in Thesenform genannt werden.“ ([Erd15] S.45)

- City-Logistik ist ein systemorientierter und integrativer Ansatz
- City-Logistik Konzeptionen beinhalten innovative Lösungen, um die Gesamtkosten des städtischen Güterverkehrs in ökonomischer, ökologischer und sozialer Hinsicht zu reduzieren
- City-Logistik Konzeptionen berücksichtigen die Interessen der Beteiligten und Betroffenen und sind nachhaltig
- City-Logistik Konzepte gehen oft mit dem Aufbau von Partnerschaften zwischen dem privaten und öffentlichen Sektor einher
- Die City-Logistik beinhaltet Maßnahmen aus den Bereichen:
 - fortschrittlicher Informationssysteme
 - kooperativer Nutzung von Gütertransportsystemen (auch in Verbindung mit alternativen Antrieben und multimodalen Transportsystemen z.B. durch die Verbindung von ÖPNV und reinem Gütertransport)
 - Förderung logistischer Terminals (GVZ, Umschlagszentren,...)
 - Förderung der kooperativen Nutzung von Gütertransportmitteln
 - unterirdische Transportsysteme
 - Regelungen für eine effizientere Nutzung der städtischen Infrastruktur (z.B. Straßennutzungsgebühren, Umweltzonen, Zugangsregelungen, Lieferzonen, etc.)

Differenzierte Begriffsdefinitionen lassen schon erahnen, dass die Ausgestaltung von City-Logistik Konzepten höchst unterschiedlich ausfallen kann. Um bei der Erläuterung des Themengebiets bei einem Punkt zu beginnen den alle gemein haben, werden im ersten Schritt die Ziele des Bestrebens näher betrachtet.

2.1.2 Ziele

Die Umsetzung eines solchen Vorhabens bedarf der Unterstützung einer Vielzahl an unterschiedlichen Akteuren. All diese Teilnehmer treten mit dem Bestreben an, aus der Unternehmung einen größtmöglichen Vorteil zu gewinnen. Abbildung 3 stellt eine Segmentierung mit zugehörigen Zielen dar. Die Paarung mancher Ziele unterschiedlicher Akteure zeigt, dass diese in Konflikt zu einander stehen. Beispielhaft hierfür ist das Bestreben des Einzelhändlers seine Lager- bzw. Ladenfläche zu reduzieren. Gleichzeitig ist der Transporteur bemüht die Kosten seiner Dienstleistung durch eine Senkung der Lieferfrequenz zu verringern. Da seltene Anlieferungen mit geringen Lagerständen nicht vereinbar sind, ist im Zuge der Projektierung die Entscheidung zu treffen welcher Forderung nachzukommen ist. Die Ziele der Akteure müssen insoweit erfüllt sein, als dass deren Aufwände mit entsprechenden Gegenleistungen abgedeckt werden. Die Komplexität der Situation wird dahingehend erweitert, dass Teilnehmer der gleichen Kategorie den Zielen unterschiedliche Prioritäten zuweisen. Für eine funktionierende City-Logistik ist daher ein fairer Interessensausgleich unter Einbezug aller Beteiligten von essentieller Bedeutung. Zu Beginn müssen die Ziele aller Teilnehmer erfasst und priorisiert werden. Danach gilt es einen für alle Teilnehmer tragbaren Kompromiss zu finden. (vgl. [Erd15])

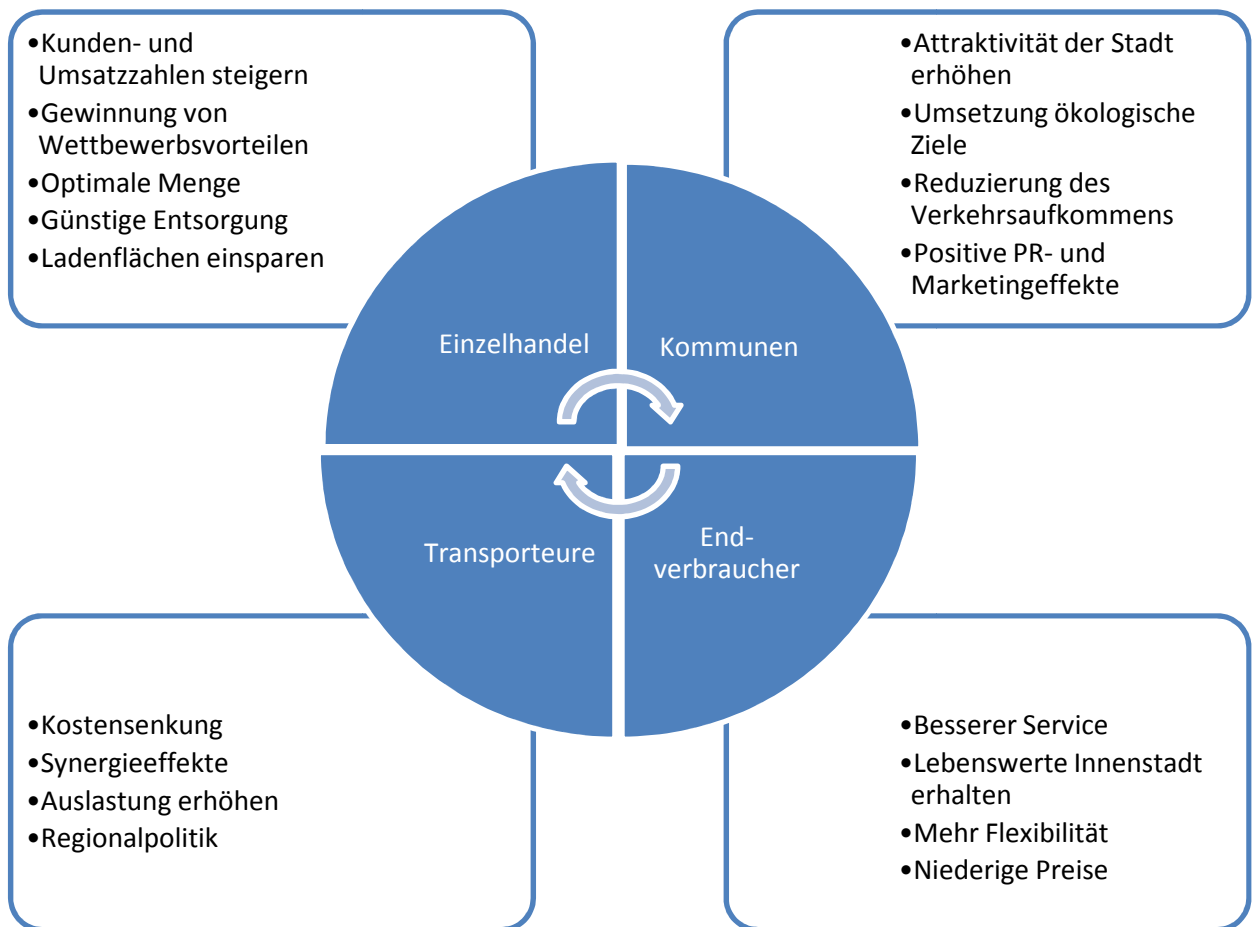


Abbildung 3: Zielsysteme der City-Logistik (nach [Erd15], Abb. 9)

2.1.3 Ausführungsvarianten

In Kapitel 2.1.1 wurde bereits erwähnt, „...dass wirksame und wissenschaftlich fundierte Methoden zur generellen Gestaltung, Planung und den Betrieb von City-Logistik Systemen nicht vorhanden sind. (vgl. [CRS09])“ ([Erd15], S.48) Abhängig von den Eigenschaften des zu versorgenden urbanen Raums können sich unterschiedliche Vorgangsweisen und Ausführungsvarianten als zweckmäßig erweisen.

Folgende lokale Gegebenheiten haben Einfluss darauf: [ATB07]

- Art und Lage der lokalen Industrieunternehmen
- Art und Lage von Supply Chain Strukturen der Industrie- und Handelsunternehmen

- vorhandene Transportinfrastruktur, insbesondere Häfen, Flughäfen oder Bahnterminals
- Größe und Lage der Warenlager
- Größen- und Gewichtsbeschränkungen für die Fahrzeuge im Innenstadtverkehr
- Zugangsbestimmungen sowie Be- und Entladeregelungen in der Innenstadt
- Verkehrssituation
- Kundenpräferenzen (z.B. Online-Shopping)

City-Logistik Modelle sind dem ständigen Wandel der Zeit ausgesetzt. Anforderungen und technologischer Fortschritt sind bis dato Taktgeber für neue Ausprägungen. Eine Kategorisierung der bisherigen Entwicklungen ist in Abbildung 5 zu finden.

Erste Schritte hinsichtlich der Entwicklung einer City-Logistik wurden in den 1970er Jahre gesetzt. Zum damaligen Zeitpunkt wurde versucht mit Hilfe von Restriktionen die schweren LKW's von den Stadtzentren fern zu halten. Zur tatsächlichen Entwicklung von umfassenden Modellen kam es aber erst in den 1990er Jahren. Eine große Anzahl an Projekten die sich mit verschiedenen Aspekten des Themengebiets beschäftigten wurde ins Leben gerufen. Die dort entstandenen Modelle der ersten Generation oder auch „transportlogistischen City-Logistik Modelle“ genannt, befassen sich vor allem mit der Belieferung von Problemkunden und Problemzonen. Bei ersterem erfolgt eine Zusammenarbeit und somit bessere Koordinierung bei der Belieferung von Großkunden. Im zweiten Fall werden mehrere Einzellieferungen für Problemzonen (Fußgängerzonen, Viertel mit hohem Verkehrsaufkommen,...) gesammelt und durch einen einzigen Zustellvorgang abgewickelt. Grundlegend für den Einsatz dieser Varianten ist die Zusammenarbeit mehrerer Logistikdienstleister. Die Belieferung erfolgt von einem gemeinsamen, zentralen, unimodalen Umschlagpunkt aus. Es wurde somit ausschließlich die Leistung eines Lieferservice erbracht. Der Großteil der Projekte aus der ersten Generation scheiterte nach kurzer Zeit. Fehlender wirtschaftlicher Erfolg sowie der unterlassene Einbezug der lokalen Verwaltung gelten als Hauptgründe für den negativen Ausgang.

Die zweite Generation wird „dienstleistungs-orientierte City-Logistik Systeme“ genannt und kam erstmals 1996 zur Anwendung. Hauptmerkmal im Vergleich zur ersten Generation ist ein erweiterter Leistungsumfang. Gewerbebetriebe können zusätzliche Umfänge wie Lagerung und Entsorgung in Anspruch nehmen. Endkunden

haben die Möglichkeit sich Waren via Heimbring-Service zustellen zu lassen. Der Begriff System wird hier verwendet, weil für alle Teilnehmer der Lieferkette ein angepasstes Serviceangebot zur Verfügung steht. Auch diese Entwicklungsstufe hatte in so gut wie allen Fällen keinen wirtschaftlichen Erfolg. Trotz staatlicher Förderungen waren aufgrund einer äußerst geringen Kundenakzeptanz die meisten Projekte nach kurzer Zeit gescheitert. Um diese Aussage zu verdeutlichen gibt Abbildung 4 einen Überblick geplanter, aktiver und abgebrochener City Logistikprojekte in Deutschland von 1994 bis 2007. Das Angebot stimmte nicht ausreichend mit den Bedürfnissen der Kunden überein. Benötigte Partner konnten auch nicht im entsprechenden Umfang eingebunden werden.

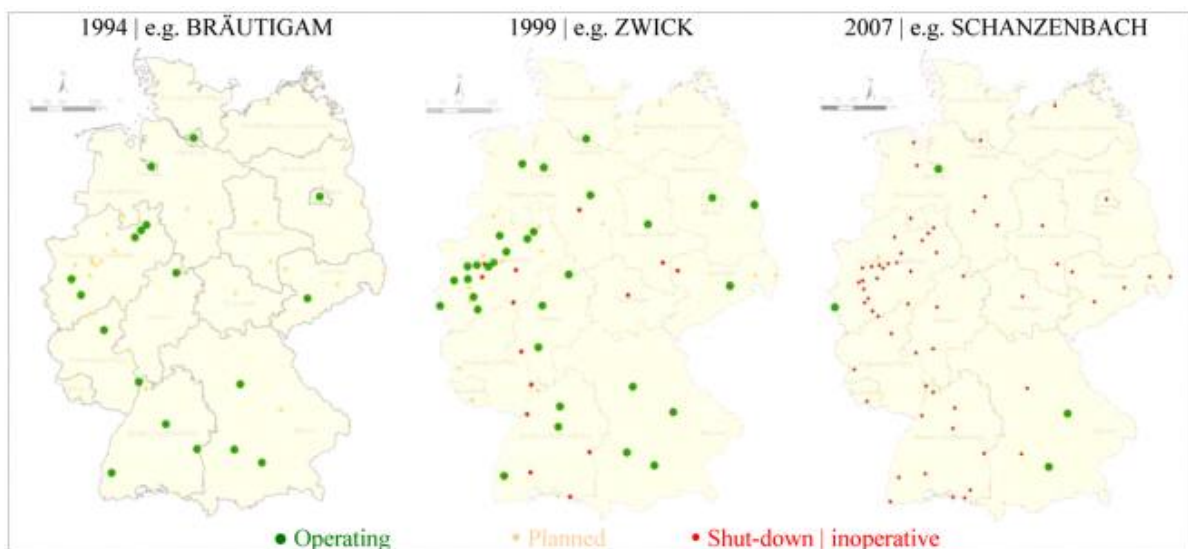


Abbildung 4: Entwicklung von City Logistik Projekten in Deutschland [Sch09]

Neuere Entwicklungen beschäftigen sich mit einer Kombination aus verschiedenen Maßnahmen. Die markanteste Neuerung ist die Verwendung lokaler Umschlagknoten (städtische Sammel- und Verteil-Zentren). Die auch City-Hub genannten Einrichtungen können in unterschiedlichen Varianten (uni- oder multimodal sowie ein- oder mehrstufig) ausgeführt sein. Multimodale Netzwerke werden in Kapitel 2.1.4.5 näher erläutert. Kapitel 2.1.4 beschäftigt sich mit City-Hub's. Weitere Neuerungen in der letzten Generation sind Partnerschaften zwischen dem privaten und öffentlichen Sektor (PPP). Ebenso kommen Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) verstärkt zum Einsatz. Kapitel 2.1.5 gibt einen Überblick über verwendete Systeme.

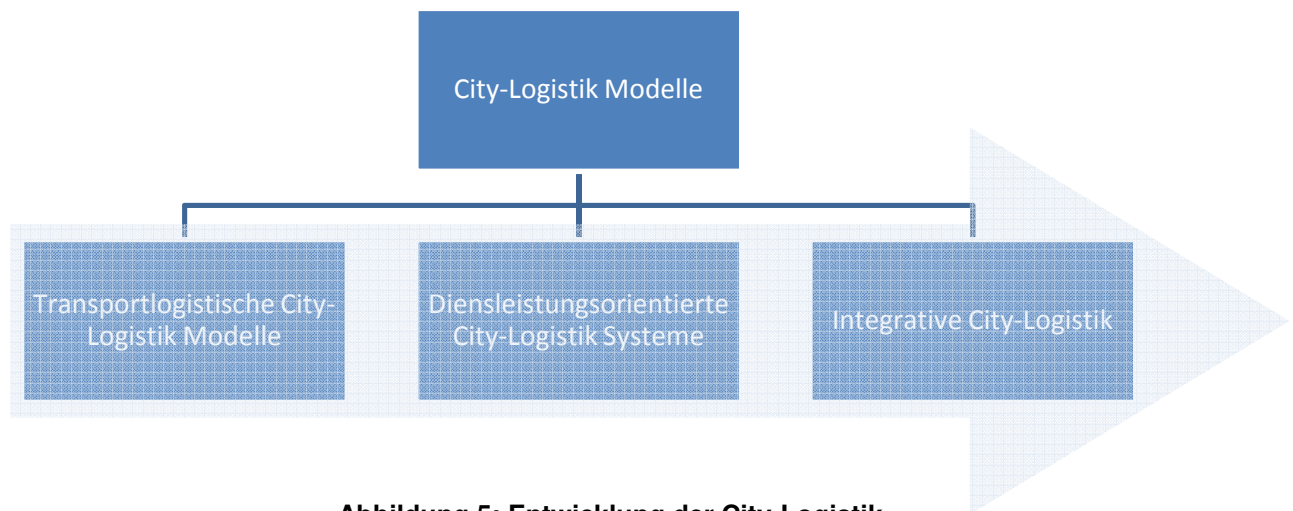


Abbildung 5: Entwicklung der City-Logistik

2.1.4 City Hub

Die Verwendung von innerstädtischen Sammel- und Verteil-Zentren ist eine mehrerer Maßnahmen auf dem Gebiet der modernen City-Logistik. Sowie in einschlägiger Literatur werden hierfür auch im Weiteren die Begriffe City-Hub und Urban Consolidation Center (UCC) verwendet.

2.1.4.1 Funktions-Prinzip

Das Funktionsprinzip ist die Bündelung der Warenströme eines bestimmten Raumbereiches mit Hilfe eines lokalen Sammel- und Verteil-Zentrums. Wie in Kapitel 2.1.3 erwähnt, wurde in der ersten Generation der City-Logistik Modelle zwischen der Behandlung von Problemkunden und Problemzonen unterschieden. In dieser Kategorisierung zählen City-Hubs zweifelsohne zu letzterem. Die Bündelung der Warenströme bestimmter Kundengruppen ist nicht angedacht. Im Vergleich zu einem konventionellen Güterverteilzentrum (GVZ) bestehen wesentliche Einschränkungen hinsichtlich der verfügbaren Gebäudefläche und der Lieferstrategie. Aufgrund der Lage im Stadtzentrum ist eine Belieferung mittels Schiff, Bahn oder Fernverkehrs-LKW nicht möglich. (vgl. [Erd15])

Abbildung 6 zeigt den Aufbau eines konventionellen City-Versorgungskonzeptes. Hier erfolgt die Warenanlieferung von einem außerstädtischen Güterverteilzentrum (GVZ) direkt zum Empfänger in der Stadt. Aufgrund der typischen Routenlösungen in konventionellen Logistikmodellen sind die erforderlichen Kilometerleistungen sowie die Transportvolumen hoch, weshalb Elektrofahrzeuge nur eingeschränkt einsetzbar sind.

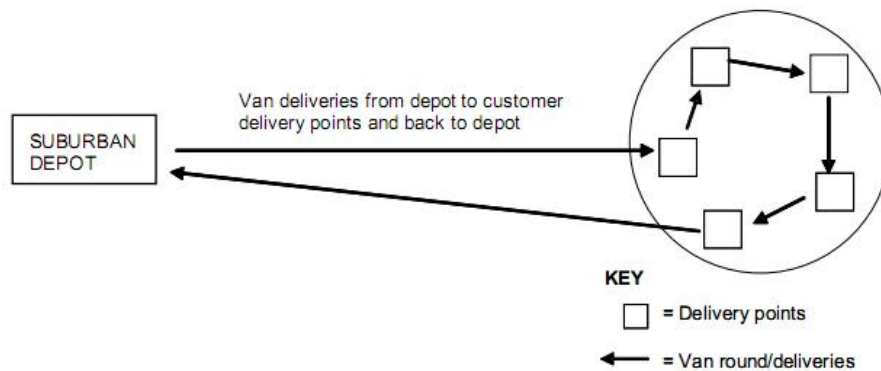


Abbildung 6: konventionelles Logistikmodell [gne10]

Im Vergleich dazu ist in Abbildung 7 der Aufbau eines innovativen Versorgungskonzeptes unter Verwendung eines Urban Consolidation Center (UCC), E-Fahrzeugen und Informations- und Kommunikationstechnik (IKT, siehe auch Kapitel 2.1.5) dargestellt. Bei diesem Modell werden die Waren per LKW vom GVZ zum UCC transportiert und von dort mit umweltfreundlichen Fahrzeugen den Empfängern zugestellt.

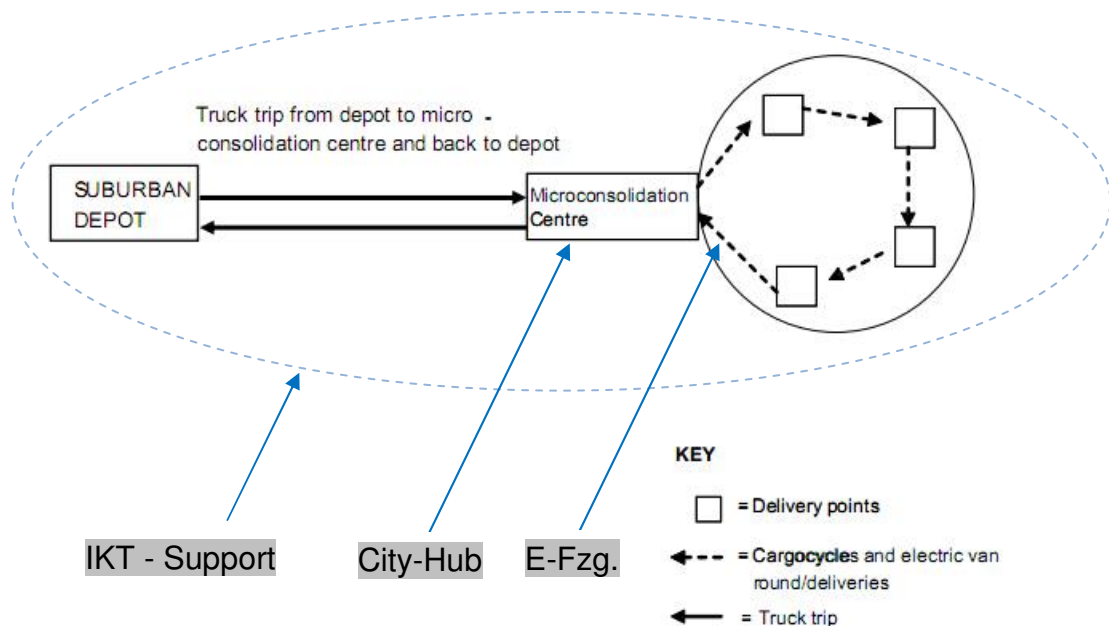


Abbildung 7: City-Hub Logistikmodell [gne10]

2.1.4.2 Potentiale

Das innovative Logistikmodell ermöglicht anhand mehrerer Ansätze die Generierung von Vorteilen. Abbildung 8 gibt eine Übersicht darüber. Die Verbindung aller Ansätze mit einem Kreis soll verdeutlichen, dass diese nicht getrennt von einander zur Anwendung kommen können, sondern nur als gemeinsames Ganzes funktionieren.



Abbildung 8: Ansätze zur Vorteilsgewinnung - City Hub

Nähe zum Kunden

Kurze Wege zwischen Verteilzentrum und Abgabestelle bedeuten kurze Liefertouren. Dies erlaubt den Einsatz umweltfreundlicher Fahrzeuge deren Reichweite begrenzt ist. Des Weiteren können Liefertouren gestaltet werden, bei denen die in der Stadt zurückgelegte Gesamtwegstrecke unter jener von konventionellen Touren liegt. Der für die Versorgung der Stadt notwendige Verkehr verringert sich somit.

Ungenutzte Lagerfläche kann gegebenenfalls an Kunden vermietet werden. Aufgrund der räumlichen Nähe haben sie schnellen Zugriff darauf.

Alternative Verkehrsmittel

Beispielhaft hierfür ist die Verwendung von Elektro-Lieferwägen, Lastenfahrrädern und Pedelecs. Sie ermöglichen eine Ware Zustellung mit großen Einsparungen an CO₂, Schadstoffen und Lärm. Hinsichtlich Flexibilität und innovativen Zustellstrategien ergeben sich neue Möglichkeiten. Weitere Informationen zum Thema Elektromobilität sind in Kapitel 2.2 enthalten.

Innovative Zustellstrategien

Lastenfahrräder und Pedelecs können auch Gebiete mit häufigen Verkehrsstaus effizient beliefern. In engen Gassen können sie mit der Fracht bis direkt zur Haustür vordringen. Durch die Nähe zur Verteilstelle können auch zusätzliche Dienste angeboten werden.

Flexibilität

Expressdienste können aufgrund der kurzen Wege flexibler arbeiten. Je nach Verkehrslage kann der zum Zeitpunkt effizienteste Fahrzeugtyp eingesetzt werden. Das erhöht die Chancen einer schnellen und pünktlichen Belieferung. Geringe Fahrzeuggrößen erhöhen die Anzahl möglicher Halteplätze. Zufahrtsbeschränkungen in den Stadtzentren können umgangen und das Zeitfenster für die Belieferung erweitert werden.

2.1.4.3 Risiken

Die grundsätzliche Herausforderung besteht darin einen dauerhaft rentablen Betrieb zu gewährleisten. Erfahrungsberichte von bisher umgesetzten Projekten zeigen, dass dies oftmals nicht möglich war. „Gründe dafür sind vielfältig und bestehen z.B. darin, dass sich die Einrichtungen nicht adäquat in bestehende Logistikketten integrieren lassen oder die mit der Stadtgröße zusammenhängenden Marktpotentiale zu klein sind.“ [Erd15] Weiters haben die Kosten für den zusätzlichen Umschlagvorgang einen negativen Einfluss auf den wirtschaftlichen Erfolg.

Um trotz einiger negativer Aspekte ein City-Hub-Projekt in Angriff zu nehmen, müssen alle Projektteilnehmer (öffentliche und gewerbliche) von deren Notwendigkeit überzeugt sein. Speziell in Zeiten von Budgetknappheit ist es nicht einfach öffentliche Institutionen davon zu überzeugen, die dafür notwendigen Fördergelder zur Verfügung zu stellen. Es ist auch problematisch größere Logistik- und Handelsunternehmen für den Aufbau eines UCC zu gewinnen. Diese verfügen oft über eigene Logistiknetzwerke bei denen die Implementierung eines innerstädtischen Umschlagpunktes keinen zusätzlichen Nutzen mit sich bringt. (vgl. [Erd15]) Neben dem Engagement der Projektpartner muss auch eine ausreichende Kundenakzeptanz vorhanden sein.

In diesem Unterkapitel sind eine Menge von Risiken oder negativen Einflüssen aufgelistet die in einem Anwendungs-Szenario eintreten können, aber nicht müssen. Ein erfolgreicher Einsatz eines City-Hubs ist selbst unter schlechten Grundbedingungen möglich, wenn der Problemdruck in Umweltbelangen groß genug ist. (vgl. [BrB12], S. 353)

2.1.4.4 Einflüsse

Das Verhältnis zwischen dem möglichen Verbesserungspotential und dem zu tragendem Risiko hängt vom Umfeld ab, in dem der City Hub zur Anwendung kommt. Zur Beurteilung dessen müssen alle Einflüsse erkannt und analysiert werden. Aus diesem Grund ist eine Aufgabe dieser Arbeit, sämtliche Akteure und Einflüsse des Spannungsfeldes City Hub aufzuzeigen. Dies geschieht in Form eines ERM (Entity Relationship Modell), siehe Abbildung 9. Eine Erläuterung der Darstellung erfolgt im Anschluss.

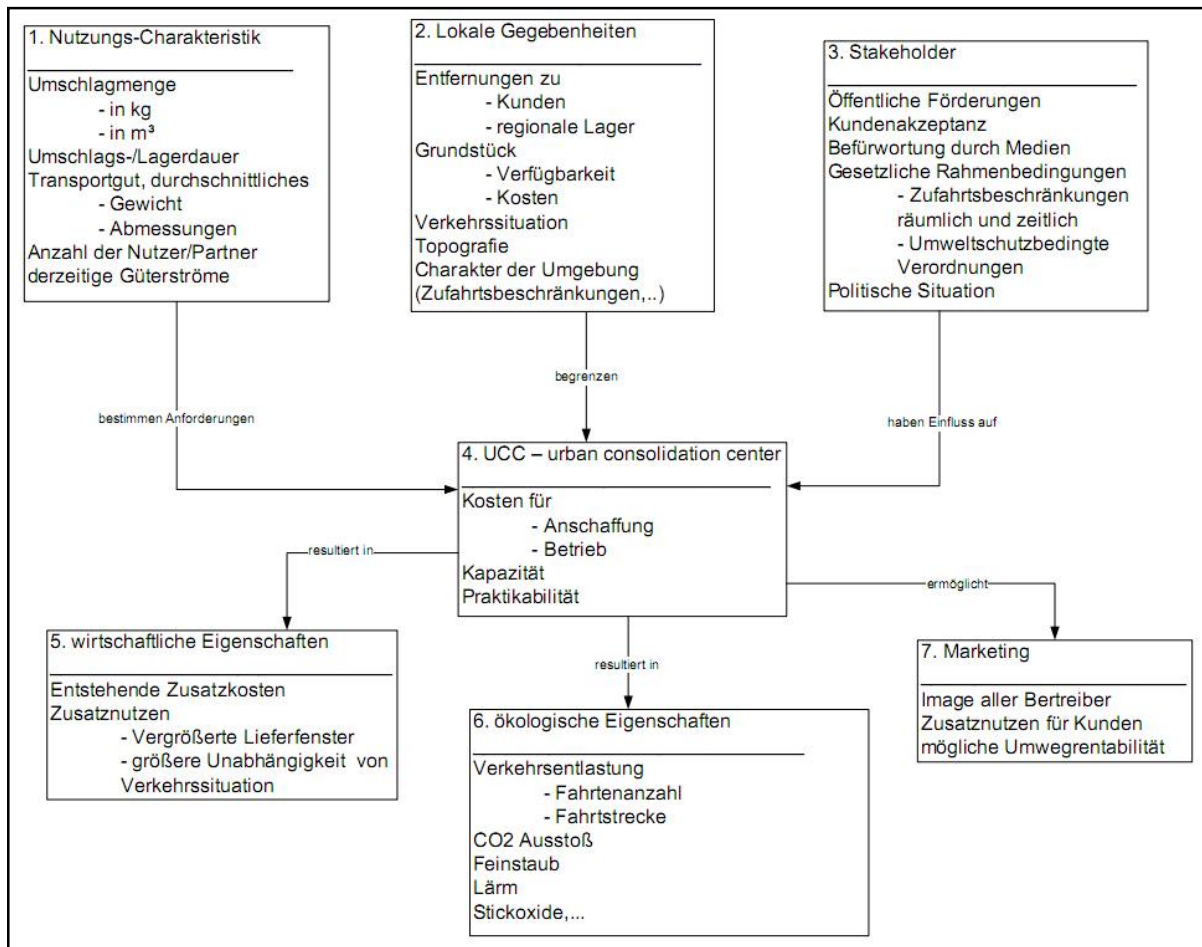


Abbildung 9: ERM City-Hub

Erläuterung der ERM-Objekte.

1. Nutzungscharakteristik

Für die Gestalt eines UCC sind die Anzahl der involvierten Unternehmen, Umschlagsmengen, Art der Güter usw. von essentieller Bedeutung. Ein wesentlicher Faktor in der Phase der Implementierung ist der bisherige Verlauf der Güterströme. Nur wenn die Möglichkeit besteht einen wesentlichen Anteil des vorhandenen Güterstromes über das UCC abzuwickeln ist ein kostendeckender Betrieb möglich.

2. Lokale Gegebenheiten

Die Beschaffung von geeigneten Grundstücken für UCC im Stadtgebiet ist hinsichtlich der Verfügbarkeit und der Kosten eine schwierige Angelegenheit. Entfernungen zu den Auslieferstellen, Verkehrsanbindungen als auch die Verkehrssituation müssen den Anforderungen entsprechen. Ebenso können die klimatischen Bedingungen einen wesentlichen Einfluss haben. So kommt es bei extremer Hitze oder Kälte zu einer wesentlichen Reduktion der Fahrzeugreichweiten.

3. Stakeholder

City-Hub-Lösungen haben die Interessen einer Reihe von Stakeholder zu berücksichtigen. An erster Stelle stehen die Initiatoren. Es gilt zu klären, welche Unternehmen sich daran beteiligen wollen und unter welcher organisatorischen Leitung die Einrichtung steht. Auch der öffentlichen Hand kommt große Bedeutung zu. So ist beispielsweise die Stadtverwaltung ein wesentlicher Faktor um an geeignete Liegenschaften für die Errichtung des Umschlagzentrums zu gelangen bzw. die notwendigen gesetzlichen Bestimmungen zum Betrieb nachhaltiger urbaner Logistiksysteme zu schaffen. Durch entsprechende Gesetzgebung (z.B. Zufahrtsbeschränkungen für Diesel-/Benzin-Fahrzeuge) können die Rahmenbedingungen für ein UCC optimiert werden. Des Weiteren sind Förderungen aus öffentlicher Hand essentiell um mögliche Verluste in der Anlaufphase zu kompensieren. (vgl. [VQM10])

Die Kunden müssen dem Projekt gegenüber positiv eingestellt sein und oftmals alternative Lieferstrategien akzeptieren. Die Realisierung einer gesamtheitlichen City-Logistik stellt somit eine herausfordernde Aufgabenstellung dar. (vgl. [Qua13])

4. Urban Consolidation Center

Die drei bisher erwähnten Rubriken stellen die Input-Parameter für einen City-Hub dar. Die organisatorische und räumliche Gestalt orientiert sich an deren Anforderungen. Folgende drei Kategorien sind Resultat des Zusammenspiels der oben angeführten Input-Parameter.

5. Wirtschaftliche Eigenschaften

Ziel ist es, einen dauerhaft kostendeckenden Betrieb des Logistikzentrums zu erreichen. Gleichzeitig müssen die teilnehmenden Logistikdienstleister durch die Einrichtung Kostenvorteile oder eine akzeptable Umwegrentabilität lukrieren.

6. Ökologische Eigenschaften

Eine der ökologischen Zielgrößen innerhalb des Gesamtsystems einer Citylogistik-Lösung sind die im Stadtgebiet zurückgelegten Fahrzeugkilometer. Eine Verringerung derer führt zu einer Entlastung des Verkehrs, was auch positive Effekte hinsichtlich der Vermeidung von CO₂, Lärm, Feinstaub und anderen Schadstoffen hat.

7. Marketing

Das Umweltbewusstsein der Kunden wächst seit Jahren. Hier bietet sich die Möglichkeit die ökologischen Vorteile von UCC werbewirksam zu vermarkten.

2.1.4.5 Multimodale Netzwerke

Wie in Kapitel 2.1.4.1 erläutert, werden die Waren im UCC auf umweltfreundliche Verkehrsmittel umgeschlagen. Entsprechend der Kategorisierung aus Abbildung 1 handelt es sich bei einem Zustellvorgang via City-Hub somit um eine mehrgliedrige, gebrochene Transportkette. Innerhalb der Kategorie „mehrgliedrige Kette“ ist neben der Differenzierungsmöglichkeit „gebrochen und ungebrochen“ auch noch eine Unterscheidung hinsichtlich „uni- und multimodalem Verkehr“ möglich. Multimodal bedeutet dass mehr als ein Verkehrsträger (z.B. Bahn, LKW, E-Mobil, Fahrrad, Flugzeug, Schiff,...) involviert sind. City-Hubs sind somit als Multimodale Umschlagpunkte zu bezeichnen.

Im Gegensatz zu unimodalen Einrichtungen müssen multimodale Knotenpunkte über eine entsprechende Infrastruktur für verschiedene Verkehrsmittel verfügen. LKWs benötigen eine Laderampe, PKWs und Lieferwägen entsprechende Ladezonen und Lastenfahrräder einen barrierefreien Zugang zum Lagerbereich. Die Auswahl an geeigneten Objekten im innerstädtischen Bereich, die diesen Anforderungen gerecht werden, wird damit sehr eingeschränkt.

Speziell bei City-Hubs ist, aufgrund der unterschiedlichen Nutzlast und Laderaumgröße der verwendeten Verkehrsmittel, eine durchgehende Verwendung standardisierter Transporteinheit nicht möglich. So erfolgt z.B. die Belieferung eines City-Hubs mit Lieferwägen und LKWs in denen die Waren auf Paletten geladen oder in Containern enthalten sind. Für Lastenfahrräder oder E-Autos sind diese Einheiten aber zu groß. Daher treffen die Waren ungebündelt im lokalen Sammel- und Verteilzentrum ein und werden dort auf die jeweiligen Zustelltouren/-fahrzeuge aufgeteilt. Aufgrund der geringen Umschlagsmengen muss auf automatische Sortiermaschinen verzichtet werden. Die manuelle Bearbeitung verursacht vergleichsweise hohe Kosten. Eine Möglichkeit dies zu umgehen wäre die Einführung eines einheitlichen Transportbehälters der für alle Fahrzeugkategorien (E-Lieferwägen, Pedelecs usw.) geeignet ist. Damit könnte die endgültige Aufteilung der Waren bereits zuvor im Güterverteilzentrum, automatisiert und somit zu wesentlich geringeren Kosten stattfinden. Überlegungen hierzu wurden schon mehrmals angestellt. Eine Umsetzung scheiterte aber stets an den für einzelne Projekte zu hohen Entwicklungskosten. Gelingt es mehrere City-Hub Projekte für die Nutzung eines solchen Behälterkonzeptes zu gewinnen, wäre eine Realisierung möglich. Damit könnte ein negativer Aspekt von City-Hubs, die Mehrkosten für den zusätzlichen Umschlagvorgang, behoben werden. (vgl. [Pet08]; [Möl12])

2.1.4.6 Kundensegmente

Der Kreis potentieller Kunden von City Logistik Systemen/City-Hubs beinhaltet alle Einrichtungen und Bewohner des städtischen Raumes. Anhand folgender Kategorisierung (Abbildung 10) erfolgt eine grundlegende Unterscheidung dieser.

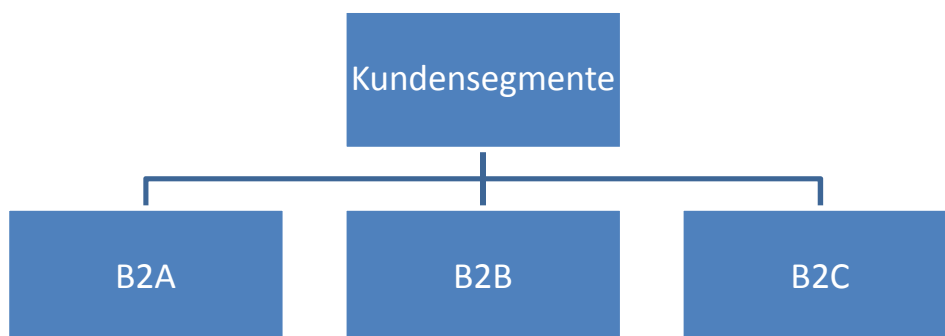


Abbildung 10: Kundensegmente

B2A – Business to Administration

Wird die Einführung einer City-Logistik von öffentlicher Hand unterstützt, ist es naheliegend die Versorgung deren Einrichtungen zumindest teilweise über den City-Hub abzuwickeln. Besonders förderlich ist, dass sich eine Vielzahl dieser Einrichtungen in den Stadtzentren befindet. Als Beispiel hierfür kann die Stadt Graz herangezogen werden. Folgende Einrichtungen befinden sich im Stadtzentrum von Graz und sind mit konventionellen PKWs umständlich zu erreichen (Fußgängerzone, Parkplatzmangel,...):

- Rathaus
- Sämtliche Magistratsabteilungen
- Standorte der Stadtwerke
- Landesregierung
- Polizeiinspektionen
- Feuerwehrröchen
- Museen und Sehenswürdigkeiten
- Kindergärten, Schulen und Universitäten
- ...

B2B – Business to Business

Die Anforderungen der Unternehmen (Transportvolumen, bestehende Logistikprozesse, Leistungsumfang, usw.) an ihre Logistikpartner sind je nach Tätigkeitsbereich sehr unterschiedlich. Es gilt zu ermitteln in welchem Umfang das Leistungsspektrum eines innerstädtischen Umschlagpunktes mit den Anforderungen der Betriebe im Einzugsgebiet übereinstimmt. Danach kann eine Aussage bzgl. potentieller Kunden getroffen werden.

Tendenziell haben City-Hub Lösungen haben meist Nachteile hinsichtlich des maximalen Transportvolumens. Dafür kann eine raschere Zustellung sowie ein erweiterter Leistungsumfang angeboten werden.

B2C – Business to Customer

Zum Kundenkreis zählen alle Bewohner im Einzugsraum des City Hubs. Tabelle 1 zeigt eine Aufstellung der grundlegenden Unterschiede zwischen privaten und gewerblichen Kunden.

Gewerbekunden	Privatkunden
größere Mengen	Einzelstücke
standardisierte Transportbehälter	Pakete, Päckchen
homogene Ladung	sehr unterschiedliche Waren
wenige Lieferstops	viele Lieferstops
Lieferung eher zu Tagesbeginn	Lieferungen eher am Ende des Tages
oft zeitliche Zufahrtsbeschränkungen	ganztägiger Zugang
wenige Lieferabweichungen	viele Lieferabweichungen und Retouren

Tabelle 1: Eigenschaft von Kundengruppen (nach [Erd15], Abb.6)

2.1.5 IKT Systeme

Die Aufgabe der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) ist es die Logistikprozesse zu unterstützen. Dies kann auf verschiedensten Wegen erfolgen. Abbildung 11 veranschaulicht vier unterschiedliche Kategorien von IKT-Systemen.

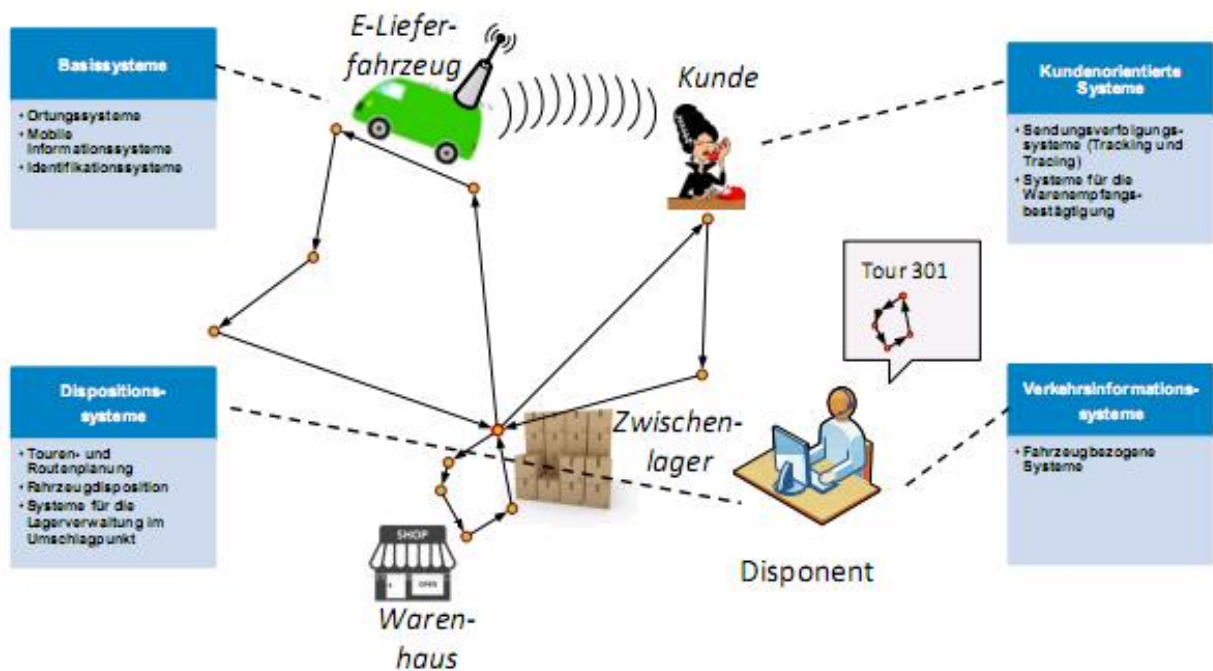


Abbildung 11: IKT-Systeme im Überblick (in Anlehnung an [VCB98])

1. Basissysteme

Als Basissysteme werden Informationssysteme bezeichnet welche Daten zum aktuellen Zustand des Gesamtsystems erfassen, diese weiterverarbeiten und gezielt innerhalb des Logistikprozess zur Verfügung stellen. Dies ermöglicht eine laufende Optimierung des Prozessablaufes.

Beispiele: (vgl. [Tru13])

- Ortungssysteme
- Mobile Informationssysteme
- Identifikationssysteme

2. Dispositionssysteme

Dispositionssysteme ermöglichen eine raschere, bessere Planung und Überwachung der Abläufe im Unternehmen. Komplexe Abläufe können unter Einsatz geringer Ressourcen optimiert werden.

Beispiele: (vgl. [Tru13])

- Touren- und Routenplanung
- Fahrzeugdisposition
- Systeme für die Lagerverwaltung im Umschlagpunkt

3. Kundenorientierte Systeme

Mit Hilfe kundenorientierter Informations-Systeme ist es dem Kunden möglich, jederzeit den Status seines Lieferauftrages abzufragen. Der Vorteil liegt darin dass er sich besser auf den Zeitpunkt der Warenübergabe einstellen kann. Aber auch der Lieferant hat den Vorteil, dass die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Auslieferung steigt. Nebenbei lässt sich im Falle einer nicht angekommenen Sendung die Ursache für den Verlust leichter ermitteln.

Beispiele: (vgl. [Tru13])

- Sendungsverfolgungssysteme (Tracking and Tracing)
- Warenempfangsbestätigungs-Systeme

4. Verkehrsinformationssysteme

Verkehrsinformationssysteme ermöglichen dem Fahrer eine einfachere Navigation unter Berücksichtigung aller Informationen zur aktuellen Situation. Der Lenker wird entlastet und die Effizienz des Transportvorgangs steigt.

2.1.6 Umweltaspekte

Zu folgenden Umweltbelastungen in Ballungszentren tragen Logistikdienstleistungen bei:

- CO₂
- Luftschadstoffe (CO, NO_x, Feinstaub, SO_x)
- Lärm
- Verkehrsaufkommen

Die hohe Bevölkerungs- und Gewerbedichte in urbanen Lebensräumen erfordert eine Abwicklung von großen Güterströme auf sehr engem Raum. Die mit dem Güterverkehr verbundene Steigerung der Verkehrsdichte verursacht einen wesentlichen Teil der Umweltbelastungen im städtischen Raum. „Zum Beispiel sind in London 42% und in Marseille 32% der SO_x-Emissionen auf diesen zurückzuführen. Betrachtet man die Belastung durch Feinstaub, steigt der durch den städtischen Güterverkehr verursachten Anteil auf 61% in London und 47% in Marseille. Bei den NO_x-Verbindungen sind es 28% in London, 42% in Marseille, 50% in Prag und 77% in Tokyo. (vgl. [OEC03])“ [Erd15] Dies birgt ein großes Verbesserungspotential, welches durch eine Optimierung der Logistikprozesse bestmöglich genutzt werden soll.

2.2 Elektromobilität

Es befindet sich eine breite Auswahl von Fahrzeugen mit Elektroantrieben am Markt. Bei den angebotenen Modellen kommen unterschiedliche Antriebskonzepte zur Anwendung.

Antriebskonzepte:

- Hybridantrieb
- Brennstoffzellenantrieb
- Reine Elektrofahrzeuge (BEV)

Hybridfahrzeuge sind genau betrachtet nur teil-elektrifizierte Fahrzeuge, da deren Antriebssystem neben dem Elektromotor auch über einen konventionellen Verbren-

nungsmotor verfügt. Das Projekt, im Zuge dessen die Masterarbeit durchgeführt wird, beschäftigt sich mit der Nutzung rein elektrisch betriebener Fahrzeuge im urbanen Raum. Aus diesem Grund werden Hybridfahrzeuge in den weiteren Ausführungen nicht in Betracht gezogen.

Erste Kleinserien von **Brennstoffzellenfahrzeugen** sind am Markt bereits erhältlich. Diesem System wird ein großes Zukunftspotential zugesprochen, da es die Möglichkeit bietet chemische Energie unter einem hohen Wirkungsgrad direkt in elektrische Energie umzuwandeln. Vorläufig ungelöst ist dabei aber noch das Primärenergie-Problem (Wasserstoff, Erdgas, Alkohol,...). Sehr hohe Anschaffungskosten und das Fehlen einer entsprechenden Karosserievariante verhindern derzeit die Nutzung im Zuge von e-basierten Lieferservices.

BEV werden in unterschiedlichsten Fahrzeugvarianten angeboten und kommen hinsichtlich der Anschaffungskosten konventionell betriebenen Ausführungen noch am Nächsten. Aus diesen Gründen werden im Weiteren und für die Analyse der Geschäftsfälle ausschließlich BEV in Betracht gezogen.

2.2.1 Fahrzeugausführungen

Tabelle 2 zeigt eine Aufstellung derzeit verfügbarer BEV-Fahrzeugvarianten.

E-Bike / Pedelec ₁	E-Lastenrad ₂
	
Moped / Motorrad ₃	Quad / Microcar ₄
	
PKW ₅	Lieferwagen ₆
	
LKW ₇	Sonderbauformen ₈
	

Tabelle 2: Fahrzeugvarianten BEV

Abb.-Quellen:

1 <https://de.wikipedia.org/wiki/Pedelec>

2 <http://www.auto-nachrichten.net/alternative-antriebe/e-lastenrad-ibullitt-die-zukunft-der-kurierdienste/>

3 <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/elektroller-joey-s-pizza-testet-stromer-a-851376.html>

4 <http://objectifterre.over-blog.org/2014/11/la-twizy-cargo-un-sacre-potentiel.html>

5 <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Weniger-als-ein-Prozent-der-Neuzulassungen-in-Deutschland-sind-Elektroautos-2752337.html>

6 <http://ecomento.tv/2015/05/12/nissan-e-nv200-fridge-elektro-kuehltransporter/>

7 <http://www.lidl.de/de/lidl-faehrt-gruen-elektro-lkw-geht-in-deutschland-an-den-start/s7372477>

8 <http://ecomento.tv/2015/01/22/elektrotransporter-renault-twizy-concept/>

Je nach Fahrzeugvariante gibt es ein unterschiedlich breites Angebot an verfügbaren Modellen. Innerhalb derselben Bauform ähneln sich die Fahrzeuge hinsichtlich verfügbarem Laderaum und maximaler Zuladung. Anschaffungskosten, Reichweite, Antriebsleistung und sonstige Eigenschaften können aber höchst unterschiedlich ausfallen.

2.2.2 Eigenschaften / Eignung

Die Auswahl des für den jeweiligen Anwendungsfall bestgeeigneten Fahrzeuges bedarf der Berücksichtigung sämtlicher für den Einsatz relevanten Faktoren. Da es Anforderungen unterschiedlicher Art gibt und die Modelle verschiedene Einschränkungen aufweisen, sind unvollständige Eignungsüberprüfungen die oftmalige Folge. Zur besseren Handhabung der Thematik erfolgt an dieser Stelle eine Strukturierung der Fahrzeugeigenschaften nach Abbildung 12.

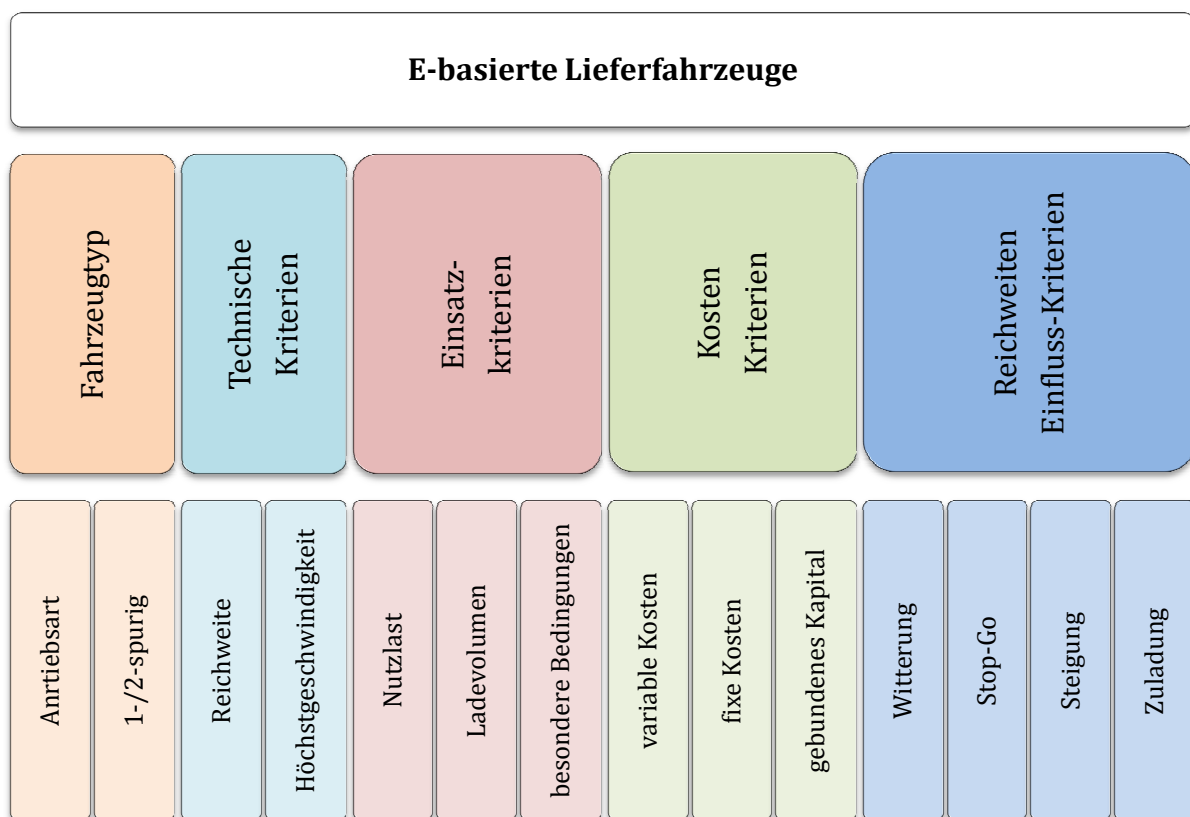


Abbildung 12: Bewertungskategorien für E-Fahrzeuge

Es folgt eine kurze Erläuterung der Unterkategorien.

Fahrzeugtyp

- **Antriebsart**

In Kapitel 2.2 wurde bereits erwähnt, dass im Zuge dieser Masterarbeit nur der Einsatz von BEV untersucht wird. Die Erläuterung der folgenden Kategorien bezieht sich auf diesen Fahrzeugtyp. Grundsätzlich gibt es aber auch die Möglichkeit der Verwendung von Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeugen.

- **1-/2-spurig**

Einspurige Fahrzeuge haben den Vorteil einer höheren Wendigkeit. Dafür kann es bei schlechter Witterung zu Einschränkungen im Betrieb kommen. Selbst wenn der Fahrer vor Wettereinflüssen ausreichend geschützt ist, kann die geringe Fahrstabilität bei Schnee- und Eisfahrbahn zu einem Betriebsausfall führen.

Technische Kriterien

- **Reichweite**

Der prinzipielle Nachteil von BEV gegenüber konventionellen Fahrzeugen besteht in der geringeren Reichweite. Konventionelle Fahrzeuge verfügen über Reichweiten von ca. 500 – 1000km und können auch in wenigen Minuten wieder aufgetankt werden. Der Großteil der derzeit verfügbaren BEV verfügt über eine realistische Reichweiten von 60 – 150km und benötigt für eine vollständige Ladung mehrere Stunden.

Der Vielzahl an Faktoren, die die Reichweite beeinflussen, ist eine eigene Kategorie gewidmet.

- **Höchstgeschwindigkeit**

Vor allem sehr kleine und sehr große Fahrzeuge verfügen über eine geringe Höchstgeschwindigkeit. Wichtig in diesem Zusammenhang ist nicht nur der Maximalwert, sondern der Bereich welcher im praktischen Einsatz von Bedeutung ist. In Zusammenhang mit der Reichweite ist zu berücksichtigen

sichtigen, dass manche E-Fahrzeuge bei höheren Geschwindigkeiten (Autobahntempo) einen sehr hohen Energieverbrauch aufweisen.

Einsatzkriterien

- Nutzlast
- Ladevolumen
- Besondere Bedingungen
Sämtliche Anforderungen die über den einfachen Stückguttransport hinausgehen, müssen bzgl. einer Beeinflussung des elektrischen Systems untersucht werden. So muss beispielsweise der Energiebedarf für den Betrieb von diversen Zusatzaggregaten (Kühlaggregat,...) berücksichtigt werden.

Das Vorhandensein einer entsprechenden Ladeinfrastruktur ist grundlegend für den Einsatz von BEV. Eine genauere Erläuterung des Themas ist in Kapitel 2.2.3 zu finden.

Kosten

- Variable Kosten
Die Variabilität bezieht sich auf die zurückgelegte Wegstrecke. Maßgebender Faktor sind hier die Energiekosten. Diese sind bei BEV niedriger als bei konventionellen Fahrzeugen. Viele öffentliche Ladestationen bieten die Möglichkeit kostenfrei Strom „zu tanken“. Es gilt zu berücksichtigen in welchem Umfang dies möglich ist. Servicekosten können als teilweise fix und teilweise variabel angesehen werden, da kein direkter Zusammenhang zu einem einzelnen zurückgelegten Kilometer besteht.
- Fixe Kosten
Den größten Anteil haben hier die Anschaffungskosten bzw. die Abschreibung derer. Bei E-Fahrzeugen sind diese aufgrund der zusätzlichen Kosten für die Beschaffung des Akkus durchwegs höher. Ob dieser nun zu Beginn gekauft oder über die Nutzungsdauer geleast wird macht bei den

derzeit angebotenen Varianten keinen großen Unterschied. Grundsätzlich sind autonom entwickelte Elektrofahrzeuge eher teurer als elektrifizierte Modelle konventioneller Fahrzeuge.

Für Gewerbetreibende sind vor allem vorsteuerabzugsberechtigte Fahrzeuge von Interesse. Fiskal-LKWs ermöglichen zusätzlich noch den Abzug der NoVa. Unabhängig davon ob es sich um einen Fiskal-LKW handelt, sind E-Fahrzeuge grundsätzlich von der NoVa befreit. Sofern einem Mitarbeiter die Privatnutzung eines Firmenfahrzeuges eingeräumt wird ist zu berücksichtigen, dass (ab 1.1.2016) der Sachbezug für BEV (bis € 40.000,- Neupreis) entfällt. Bei konventionellen Fahrzeugen muss der Arbeitnehmer monatlich 1,5% bzw. 2% (>120g CO₂/km) des tatsächlichen Fahrzeugpreises versteuern. Damit verringern sich aus Sicht des Arbeitgebers die Kosten für einen entsprechenden Netto-Lohn. Infrastrukturkosten treten bei der Einführung von E-Fahrzeugen meist einmalig auf. Näheres dazu in Kapitel 2.2.3. Förderungen reduzieren die Kosten von BEV. Es wird eine Vielzahl an Förderprogrammen angeboten, welche sich jedoch hinsichtlich ihrer räumlichen (Bund, Land, Gemeinden, Projektregionen,...) und zeitlichen Verfügbarkeit unterscheiden. Ebenso sind Anforderungen und Förderumfang höchst unterschiedlich.

- Gebundenes Kapital
Höhere Anschaffungskosten und ein günstigerer Betrieb sind charakteristisch für E-Fahrzeuge. Die Menge an gebundenem Kapital ist daher im Durchschnitt höher.

2.2.3 Infrastruktur

Die wesentliche zusätzliche Anforderung von BEV an die Infrastruktur ist der Zugang zu einer geeigneten Lademöglichkeit. Es besteht zwar für eine Vielzahl an Modellen die Möglichkeit, mit Hilfe von mobilen Ladeeinrichtungen an herkömmlichen 230V Steckdosen zu laden. Ein solches System ist jedoch ab der Fahrzeuggröße eines Kleinwagens nur im Zuge einer gelegentlichen Nutzung praktikabel. Alltägliche Ladevorgänge sollten an einer Wallbox oder Ladesäule stattfinden. Diese beschleunigen

aufgrund der Kommunikationsfähigkeit den Ladevorgang und verhindern durch eine entsprechende Netzanbindung eine Überlastungen der lokalen Elektroinstallation. Außerdem ermöglichen sie einen sicheren Ladevorgang im Außenbereich, bieten Schutz gegen unbefugtes Abziehen des Ladekabels und verfügen über einen Freischaltmechanismus. Eine Ladesäule verfügt neben der Funktionalität einer Wallbox auch über eine Bezahlmöglichkeit und wird an öffentlich zugänglichen Orten eingesetzt. In Abbildung 13 sind ein Schuko-Ladekabel, eine Wallbox und eine Ladesäule (v.l.n.r) abgebildet.



Abbildung 13: Ladeinfrastruktur Varianten [Kel15] [ele15]

In Hinsicht auf eine gewerbliche Nutzung von E-Fahrzeugen ist die Installation einer Wallbox am Fahrzeugstellplatz notwendig. Eine Ladesäule kommt nur dann in Frage, wenn die Lademöglichkeit für Dritte zugänglich gemacht werden soll. Das Schuko-Ladekabel ist ggf. für den Einsatz bei Baustellenfahrzeugen von Bedeutung. So kann das Fahrzeug während der Standzeit auf der Baustelle geladen werden.

Zur Übersicht folgen in Tabelle 3 Leistungsangaben zu unterschiedlicher Ladestationsausführungen.

Variante	Schuko-Ladekabel	Wallbox		Ladesäule	
Typ	230V	230V	400V	230V	400V
Ladeleistung [kW]	2,3	3,7	11	3,7	11
Anzahl an Steckdosen	1	1	1	2	2
Preis (inkl. USt.) [€]	400	1050	1650	>3000	>3000

Tabelle 3: Vergleich Ladeinfrastruktur [Kel15]

Für die überschlägige Kalkulation einer gesamten Ladedauer (0% auf 100%) wird die Akkukapazität in Verhältnis zur Ladeleistung gesetzt. In der Realität wird die Ladeleistung vom Akkuladezustand beeinflusst und ist nicht über den gesamten Bereich konstant.

Es gilt zu beachten dass je nach Elektrofahrzeug unterschiedliche Ladeinfrastrukturen, Leistungsstufen und Stecker-Typen unterstützt werden. Öffentlich zugängliche Ladesysteme sind zum Teil noch nicht ausgereift. Trotz gegebener Kompatibilität kommt es häufig vor, dass Ladevorgänge nicht durchgeführt bzw. unterbrochen werden. Ist ein Einsatz von E-Fahrzeugen angedacht, so gilt es die Funktion potentieller Ladestellen mit einem Testfahrzeug gleichen Typs zu überprüfen.

Supercharger

„Tesla Supercharger“ sind spezielle Ladestationen die nur von Fahrzeugen der Marke Tesla benutzt werden können. Deren Besonderheit ist die sehr hohe Ladeleistung von 120kW (Gleichstrom). Damit kann bei optimalen Bedingungen innerhalb einer halben Stunde Energie für die nächsten 270 km getankt werden. Mit gelegentlichen Halten an Superchargern ist es möglich, lange Wegstrecken ohne längere Unterbrechungen zurückzulegen. Ein weiterer Vorteil dieser Ladestellen ist, dass der Strom kostenlos zur Verfügung gestellt wird. Grundsätzlich kann man diesem Konzept ein großes Potential zusprechen. Zum jetzigen Zeitpunkt (Sommer 2015) sind in Österreich aber nur acht derartiger Ladestellen in Betrieb. Eine umfassende Nutzung dieser seltenen Einrichtungen ist daher meist mit Umwegen und daraus folgend mit einem

zeitlichem Mehraufwand verbunden. Abbildung 14 zeigt eine Supercharger-Ladestation.



Abbildung 14: Tesla Supercharger [Tes15]

Steckertypen

Es gibt für E-Fahrzeuge derzeit keinen einheitlichen Steckertyp. Je nach Ladeverfahren, Leistungsklasse, Herstellerland usw. kommen verschiedene Ausführungen zum Einsatz.

Einheitlich ist bei allen Ladeverfahren, dass Akkumulatoren selbst nur mit Gleichstrom geladen werden können. Da aus Steckdosen nur Wechselspannung bezogen werden kann, muss der Strom vor dem Ladevorgang erst via Gleichrichter gleichgerichtet werden. Wo dies nun geschieht hängt vom Ladeverfahren ab. Die meisten derzeit verfügbaren Fahrzeuge haben einen Gleichrichter an Bord. Dieser ermöglicht einen Ladevorgang mittels einphasigen Wechselstrom (230V). Verfügt ein E-Fahrzeug über drei Gleichrichter, so kann es mit 3-phasigem Wechselstrom (400V Drehstrom) geladen werden. Dies ermöglicht höhere Ladeleistungen. Neuartige Systeme setzen auf stationäre Gleichrichter die in Ladestellen integriert sind. Elektrofahrzeuge können somit direkt von der Ladestelle Gleichstrom beziehen. Damit sind noch höhere Ladeleistungen erreichbar ohne die Fahrzeugkosten zu erhöhen. Dafür erhöhen sich aber die Kosten für die Ladestation.

Neben der Energieeinspeisung muss das Stecksystem auch die Übertragung des Kommunikationssignals (zwischen Fahrzeug und Ladestation) gewährleisten. Aktuell-

le Ausführungen verfügen auch über eine Sicherung gegen unbefugtes unterbrechen des Ladevorganges.

Abhängig von der verwendeten Ladetechnologie und den Hersteller- bzw. Herstellerland spezifischen Neigungen kommen unterschiedliche Steckertypen zur Anwendung. Ziel der Entwicklungen ist es, das jeweilige Modell als genormten Standard für einen möglichst großen Absatzmarkt zu etablieren.

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der meist verbreiteten/diskutierten Stecker-Typen. Danach folgen nähere Informationen zu den einzelnen Varianten.



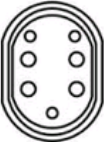


Bezeichnung	Steckgesicht	Spannung
Typ 1		AC oder DC
Typ 2		AC oder DC
Typ 3		AC oder DC
CCS		AC und DC
CHAdeMO		DC

Tabelle 4: Übersicht Steckertypen

Wechselstrom Stecker (lt. IEC 62196):

Typ 1 (SAE-J1772-2009)

Max. Ladespannung: 230V (1-phasig)

Max. Ladeleistung: 7,4kW

Das Hauptverbreitungsgebiet ist Nordamerika und Japan. Europäische Hersteller sehen von einer weiteren Verwendung dieses Modells ab. Abbildung 15 zeigt einen Typ 1 Stecker.



Abbildung 15: IEC 62196 - Typ 1 [wik15]

Typ 2 (Menneckes Stecker)

Max. Ladespannung: 400V (3-phasig)

Max. Ladeleistung: 43,5kW

Ab 2017 soll dieser Stecker als Standard für die europäische Automobilindustrie gelten. In Abbildung 16 ist ein Typ 2 Stecker samt fahrzeugseitiger Buchse dargestellt.



Abbildung 16: IEC 62196 - Typ 2 [est15]

Typ 3 (EV Plug Alliance)

Diese Ausführung ist eine italienisch-französische Entwicklung. Nachdem nun auch Italien den Typ 2 als Standard eingeführt hat, ist es sehr wahrscheinlich dass die Einführung dieses Modells nicht weiter verfolgt wird. Abbildung 17 zeigt den Stecker Typ 3 mit den von Frankreich vehement eingeforderten Shutter (Schutzklappe).



Abbildung 17: EV Plug Alliance - Typ 3 [est15]

Gleichstromstecker:

Combined Charging System - CCS (lt. IEC 62196)

Nennspannung: 480V / 850V

Max. Ladeleistung: 30kW / 106kW

Quelle: [wik15]

Je nach vorhandener Stromquelle ist das Laden mit Gleich- und Wechselstrom möglich. Wie in Abbildung 18 dargestellt, ist das fahrzeugseitige Steckgesicht mit einem Typ 2 (Wechselstrom)- als auch einem Combo (Gleichstrom)- Anschluss kompatibel. Ladungen mit Gleichstrom sind aufgrund der hohen Ladeleistung vor allem bei schnellen Zwischenladungen auf längeren Strecken von Vorteil.



Abbildung 18: CCS – Stecker [est15], [Sou12]

CHAdeMO

Nennspannung: 500V

Max. Ladeleistung: 100kW

Quelle: [wik15]

Der in Japan entwickelte Stecker unterstützt ausschließlich die Ladung mit Gleichstrom. Im Gegensatz zum CCS ist er aber schon praxiserprobt und bei vielen japanischen Fahrzeugen Standard. Mehrere Fahrzeughersteller gaben bekannt, dass sie nicht unbedingt von einem Verdrängungskampf der beiden Gleichstromladesysteme ausgehen. Öffentliche Ladestellen könnten unter geringen finanziellen Aufwand für beide Systeme kompatibel ausgeführt werden.



Abbildung 19: CHAdeMO – Stecker [wik15]

Einige Hersteller wie z.B. Tesla verwenden fahrzeugseitig unternehmenseigene Anschlussstellen. Aufgrund genormter Anschlüsse an öffentlichen Ladesäulen werden diese dann meist über einen Adapter mit den hier beschriebenen Stecksystemen verbunden. Genormte Stecker sind untereinander nur sehr begrenzt kompatibel.

Die in der Steckerbeschreibung angegebenen Leistungs- und Spannungswerte zeigen die zum heutigen Tage erwarteten Maximalwerte. Bereits errichtete Ladestellen können über eine durchaus geringere Leistung verfügen.

In den Betrachtungen dieser Arbeit werden hinsichtlich der Energieaufnahme von E-Fahrzeugen nur Auflade-Systeme berücksichtigt. Dazu bestehen zwei weitere Alternativen. Akkuwechsel-Systeme haben sich in ersten Praxiseinsätzen nicht bewährt und bedürfen in der Einführungsphase großer finanzieller Aufwände. Induktive Ladestellen haben noch nicht die serienreife erlangt. Des Weiteren ist hier die Übertragung größerer Energiemengen problematisch.

2.2.4 Modellübersicht

In Kapitel 2.2.1 wurde eine Segmentierung hinsichtlich verschiedener Fahrzeugausführungen vorgenommen. Im Folgenden wird von jeder Kategorie dieser Segmentierung ein Modell näher spezifiziert um charakteristische Merkmale hervorzuheben. Im anschließenden Abschnitt folgt eine Gegenüberstellung der wichtigsten Merkmale.

Sämtliche mit „*“ gekennzeichnete Angaben sind Messwerte die im realen Einsatz ermittelt wurden. Gegenüber Normwerten oder Herstellerangaben bilden sie die realen Gegebenheiten exakter ab.

Pedelec

Modell: Flyer Cargo XT Deluxe S-Pedelec



Abbildung 20: Pedelec [ebi15]

Typ: Fahrrad mit elektrischem Hilfsantrieb; 1-spurig

Reichweite: ca. 65 km

Höchstgeschwindigkeit: 45 km/h

Nutzlast: 93 kg

Laderaum: ca. 150l, wenige kleine Pakete

besondere Bedingungen: Ein Teil der Antriebsleistung muss durch Muskelkraft des Fahrers erbracht werden. Somit ist beim Fahrer eine dem Tourenumfang angemessene Kondition notwendig.

Unterstützter Steckertyp: 230V Schuko-Stecker

Energieverbrauch je km: 0,7 kWh/100km

Akkumiete: -

Anschaffungskosten: € 4.290,-

Reichweiten Einfluss: Kein besonderer Einfluss vorhanden.

Lastenrad

Modell: Butchers & Bicycles MK1 E



Abbildung 21: Lastenrad [ebi15]

Typ: Lastenfahrrad mit elektrischem Hilfsantrieb; 2-spurig

Reichweite: ca. 50 km

Höchstgeschwindigkeit: 25 km/h

Nutzlast: 100 kg

Laderaum: 324 l

besondere Bedingungen: Ein Teil der Antriebsleistung muss durch Muskelkraft des Fahrers erbracht werden. Somit ist beim Fahrer eine dem Tourenumfang angemessene Kondition notwendig.

Unterstützter Steckertyp: 230V Schuko-Stecker

Energieverbrauch je km: 0,9 kWh/100km

Akkumiete: -

Anschaffungskosten: € 4.995,-

Reichweiten Einfluss: Kein besonderer Einfluss vorhanden.

E-Moped

Modell: iO SCOOTER King Kong



Abbildung 22: Elektro-Scooter [ios15]

Typ: Elektro-Leichtmotorrad; 1-spurig

Reichweite: ca. 105 km

Höchstgeschwindigkeit: 45 / 72 km/h

Nutzlast: ca. 180 kg

Laderaum: ca. 150 l

besondere Bedingungen: eingeschränkte Nutzbarkeit bei winterlichen Bedingungen

Unterstützter Steckertyp: 230V Schuko-Stecker

Energieverbrauch je km: 5 kWh/100km*

Akkumiete: -

Anschaffungskosten: € 8.890,-

Reichweiten Einfluss: Je nach Zuladung, Steigung und Temperatur variiert die Reichweite zwischen 70 und 140 km.

Microcar

Modell: Renault Twizy Cargo 80



Abbildung 23: E-Microcar [REN15]

Typ: BEV; 2-spurig

Reichweite: ca. 70 km*

Höchstgeschwindigkeit: 80 km/h

Nutzlast: ca. 200 kg

Laderaum: 156 l (50x55x95cm)

besondere Bedingungen: Anzahl nutzbarer Parkplätze erhöht sich durch die kompakten Karosserieabmessungen.

Unterstützter Steckertyp: 230V Schuko-Stecker

Energieverbrauch je km: 9 kWh/100km*

Akkumiete: 30-60 € monatlich

Anschaffungskosten: 8.860 €

Reichweiten Einfluss: Extreme Witterungseinflüsse reduzieren die Reichweite auf ca. 45km.

PKW

Modell: Renault Zoe

**Abbildung 24: E-PKW [REN15]**

Typ: BEV; 2-spurig

Reichweite: ca. 147 km

Höchstgeschwindigkeit: 135 km/h

Nutzlast: 440 kg

Laderaum: 338 l bzw. 1225 l

besondere Bedingungen: keine

Unterstützter Steckertyp: Wechselstrom Typ 2

Energieverbrauch je km: 15 kWh/100km*

Akkumiete: 79-142 € monatlich

Anschaffungskosten: € 21.180,-

Reichweiten Einfluss: Extreme Witterungseinflüsse reduzieren die Reichweite auf ca. 96km.

Lieferwagen

Modell: Renault Kangoo Z.E. Maxi



Abbildung 25: E-Lieferwagen [REN15]

Typ: BEV; 2-spurig

Reichweite: ca. 129 km

Höchstgeschwindigkeit: 130 km/h

Nutzlast: 595 kg

Laderaum: 4.000 l bzw. 4.600 l

besondere Bedingungen: keine

Unterstützter Steckertyp: Wechselstrom Typ 2

Energieverbrauch je km: 17 kWh/100km

Akkumiete: 73-126 € monatlich

Anschaffungskosten: € 25.800,-

Reichweiten Einfluss: Extreme Witterungseinflüsse reduzieren die Reichweite auf ca. 85km.

LKW

Modell: UPS P80-E



Abbildung 26: E-LKW [efa15]

Typ: LKW mit Elektroantrieb; 2-spurig

Reichweite: ca. 100 km

Höchstgeschwindigkeit: 80 km/h

Nutzlast: 3.450 kg

Laderaum: 23.000 l

besondere Bedingungen: -

Unterstützter Steckertyp: 400V Drehstrom – IEC 60309

Energieverbrauch je km: 50 kWh/100km

Akkumiete: -

Anschaffungskosten: ca. € 100.000,- (davon Umbaukosten: ca. 40.000,-)

Reichweiten Einfluss: Kein besonderer Einfluss bekannt.

Quelle: <http://efa-s.de/Eigene%20Dateien/UPS%20Datenblatt%20deutsch.pdf>
http://efa-s.de/Eigene%20Dateien/VR_UPS.pdf

Sonderbauform

Aufgrund verschiedenartigster Ausführungsvarianten gibt es in diesem Segment kein Modell dessen Eigenschaften kennzeichnend für die gesamte Fahrzeugkategorie sind.

2.2.5 Vergleich

Folgende Diagramme geben einen Überblick bzgl. der wichtigsten Eigenschaften verschiedener Fahrzeugausführungen. Verglichen werden Reichweite (Abbildung 27), Nutzlast (Abbildung 28), Ladevolumen (Abbildung 29), Anschaffungskosten (Abbildung 30) und Energieverbrauch (Abbildung 31). Anhand dieser Aufstellung kann eine grundsätzliche Vorauswahl bzgl. geeigneter Fahrzeugtypen getroffen werden.

Anmerkung: Zur besseren Übersichtlichkeit ist der dargestellte Wertebereich in einigen Darstellungen so gewählt, dass die Maximalwerte von „Ausreißern“ darin nicht mehr enthalten sind. Zu erkennen ist dies daran, dass der Wertebalken den Maximalwert der Skalierung erreicht. Bei Bedarf können diese Zahlenwerte den vorangegangenen Fahrzeugbeschreibungen entnommen werden.

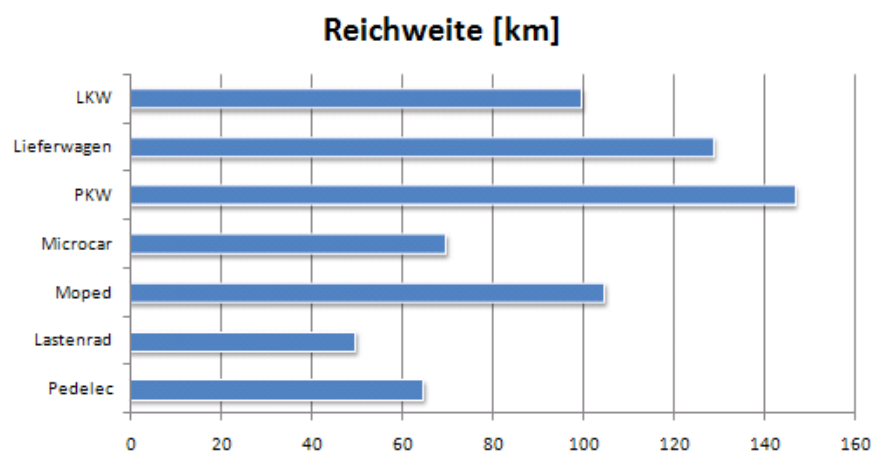


Abbildung 27: Modellvergleich - Reichweite

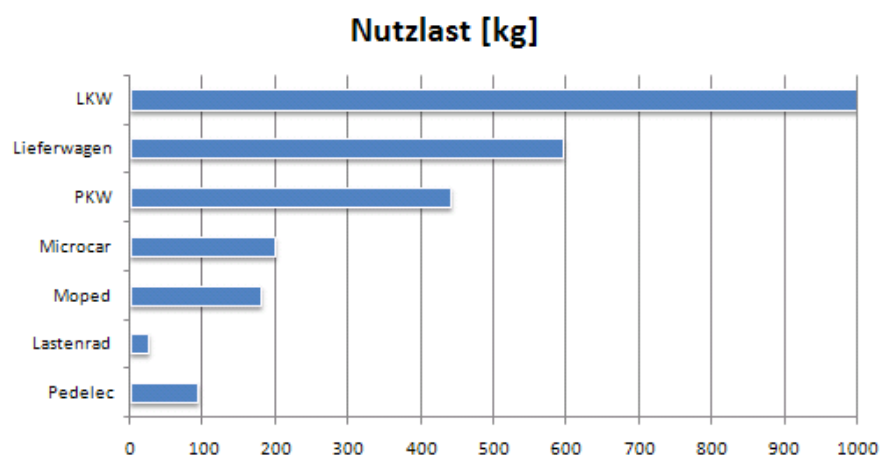


Abbildung 28: Modellvergleich - Nutzlast

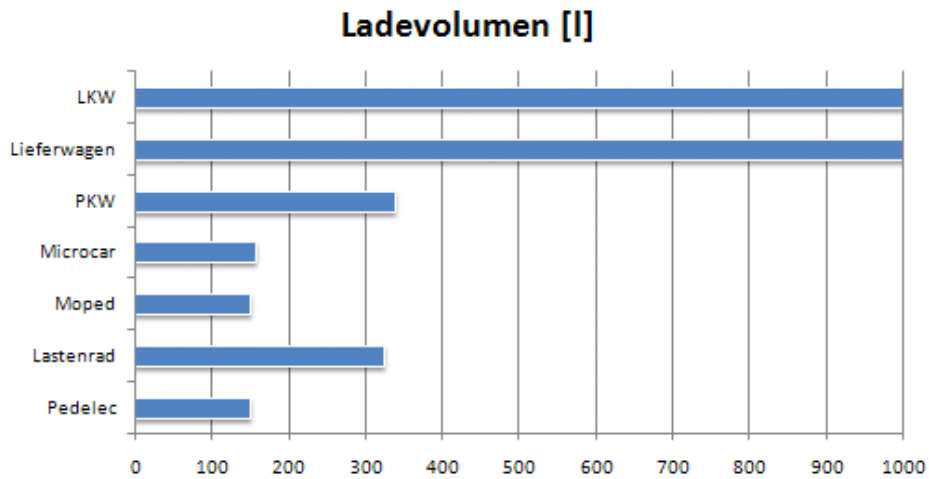


Abbildung 29: Modellvergleich - Ladevolumen

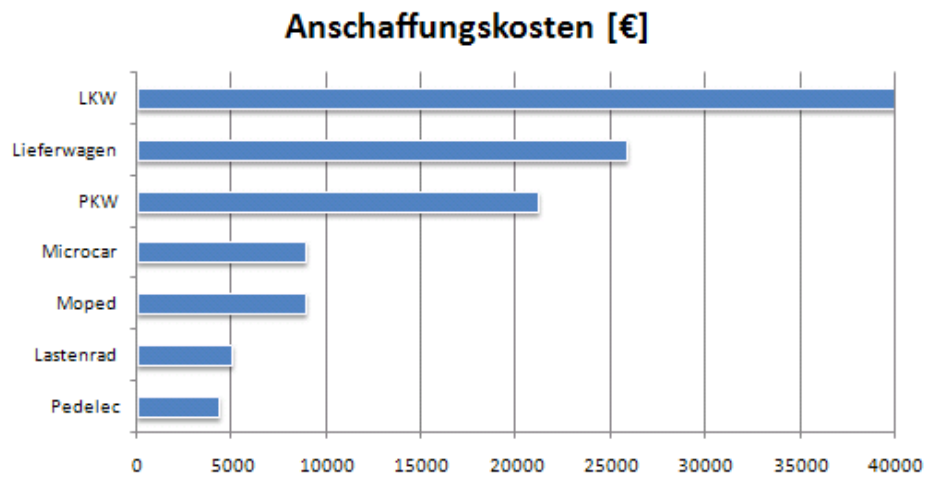


Abbildung 30: Modellvergleich - Anschaffungskosten

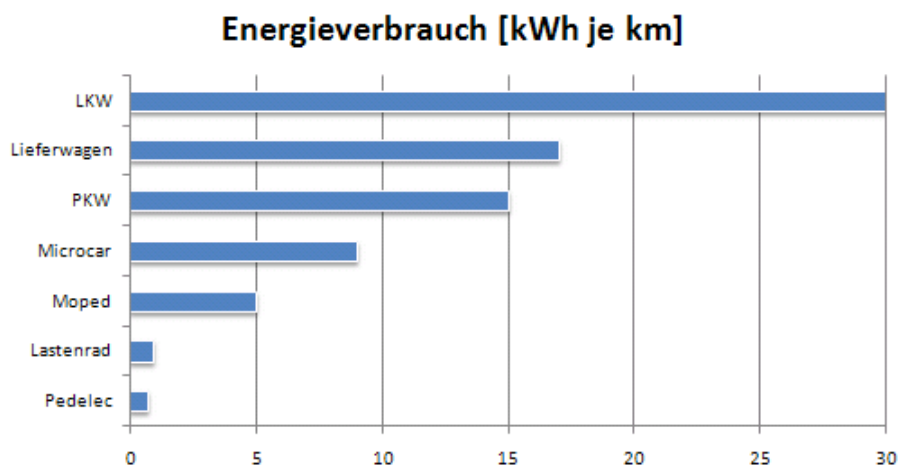


Abbildung 31: Modellvergleich - Energieverbrauch

2.2.6 Resümee

Mikro-Betrachtung

Im Zusammenhang mit einem innovativen Logistikmodell zeigen Elektrofahrzeuge großes Potential. Je nach Anwendungsfall können sich unterschiedliche Fahrzeugmodelle als geeignet erweisen. Aufgrund diverser technischer Eigenheiten der verschiedenen Ausführungen ist eine eingehende Fahrzeug-Analyse vor der Anschaffung notwendig. Tendenziell sind die Anschaffungskosten auf einem etwas höheren Niveau als bei konventionellen Fahrzeugen. Zusätzlich müssen auch Kosten für die notwendige Infrastruktur berücksichtigt werden. Einsparungen im Betrieb, das Lukrieren von Wettbewerbsvorteilen und eine umweltschonende Arbeitsweise stehen dem gegenüber. Näheres dazu Kapitel 4.

Makro-Betrachtung

Die Möglichkeiten von BEV im Vergleich zu konventionellen Varianten sind in bestimmten Bereichen eingeschränkt. Beim Dreh- und Angelpunkt, der Akkutechnologie, werden mittel- bis langfristig wesentlichen Fortschritten erwartet. Sowohl mit einer Steigerung der Leistungsfähigkeit als auch mit einem Fallen der Herstellungskosten ist zu rechnen. Höhere Absatzzahlen von E-Fahrzeuge senken ebenso die Produktionskosten und verteilen die Entwicklungskosten auf eine größere Menge von Fahrzeugen. Bis diese Verbesserungen in die Realität umgesetzt wurden und damit E-Fahrzeuge auf ein ähnliches Kosten-Nutzen-Niveau wie Verbrenner heben, sind Förderungen aus öffentlicher Hand notwendig um den Umstellungsvorgang in Gang zu halten. Ein weiterer wesentlicher Faktor für den es die Unterstützung der öffentlichen Seite bedarf, ist der Ausbau der Ladeinfrastruktur. Einige weniger öffentliche Ladestationen wurden bereits realisiert. In Summe handelt es sich dabei aber um ein „Inseldasein“. Der angedachte Zweck, die Energieversorgung von Elektrofahrzeugen im Alltagsbetrieb sicherzustellen, kann nur bei einem flächendeckenden Ausbau erfüllt werden. Des Weiteren ist auch ein einheitliches Zahlungs- und Verrechnungssystem wünschenswert um auch Ortsfremden einen problemlosen Zugriff zu ermöglichen. Es wäre von Vorteil wenn dies rasch durchgeführt werden würde. Am Beispiel der Ladestecker ist zu erkennen, dass eine schleppende Vereinheitlichung viele verschiedene Varianten entstehen lässt und somit die Einführung eines Standards noch komplizierter wird. Dabei wird die Entscheidung meist auf politischer Ebene getroffen, wodurch nicht unbedingt die techn. vielversprechendste Variante zum Zug kommt.

2.3 Total Cost of Ownership

Zur Findung einer Investitionsentscheidung können verschiedene Analysemethoden herangezogen werden. Grundlegend wird dabei zwischen statischen und dynamischen Verfahren unterschieden. Die vergleichsweise kurze Nutzungsdauer von Lieferfahrzeugen führt dazu, dass eine statische Betrachtung (d.h. ohne Verzinsung) zweckmäßig ist. Folgende statische Betrachtungen stehen zur Auswahl:

- Kostenvergleich
- Gewinnvergleich
- Rentabilitätsvergleich
- Amortisationsvergleich

Die Vergleichsbetrachtungen in dieser Arbeit basieren auf der Annahme, dass ein konventionelles Fahrzeug durch eine elektrische Ausführungen mit zumindest derselben Leistungsfähigkeit (=Ertragseinbringung) ersetzt wird. Sollte darüber hinaus die Möglichkeit zur Erbringung von Zusatzleistungen bestehen, so werden diese anhand qualitativer Aussagen festgehalten. Verlässliche quantitative Werte hierzu zu liefern ist nicht möglich. So kann beispielsweise die monetäre Bewertung von ökologischen Verbesserungen oder Wettbewerbsvorteilen höchst unterschiedlich ausfallen.

Außer beim Kostenvergleich fließen aber bei allen statischen Verfahren die erzielten Erträge mit ein. Somit fällt die Wahl auf den Kostenvergleich. Angemerkt sei, dass im Zuge der Entwicklung der Geschäftsmodelle auch Amortisationszeiten angegeben werden. Diese beruhen jedoch nur auf einer ausgabenseitigen Betrachtung und geben an, über welchen Zeitraum bei einem elektrischen Modell dieselben Kosten entstehen wie bei einer konventionellen Ausführung.

Total Cost of Ownership (TCO), zu Deutsch auch Gesamtbetriebskosten genannt, ist eine spezielle Variante des Kostenvergleichs. Dessen wichtigste Eigenschaft ist, dass alle mit der Investition im Zusammenhang stehenden Kosten berücksichtigt werden. Dies betrifft direkte und indirekte Kosten als auch Anschaffungs- und Folgekosten. Bei der Anschaffung von Fahrzeugen werden meist nur der Neupreis und die Kraftstoff-/Energie-Verbrauchswerte diskutiert. Je nach Fahrzeugtyp können aber weitere wesentliche Einflüsse auftreten. Im Zuge der Betrachtungen in dieser Arbeit

werden alle bekannten Faktoren mit einbezogen um eine möglichst umfangreiche Aussage treffen zu können. Abbildung 32 zeigt eine Übersicht der Kostentreiber in den verschiedenen Entstehungsphasen.

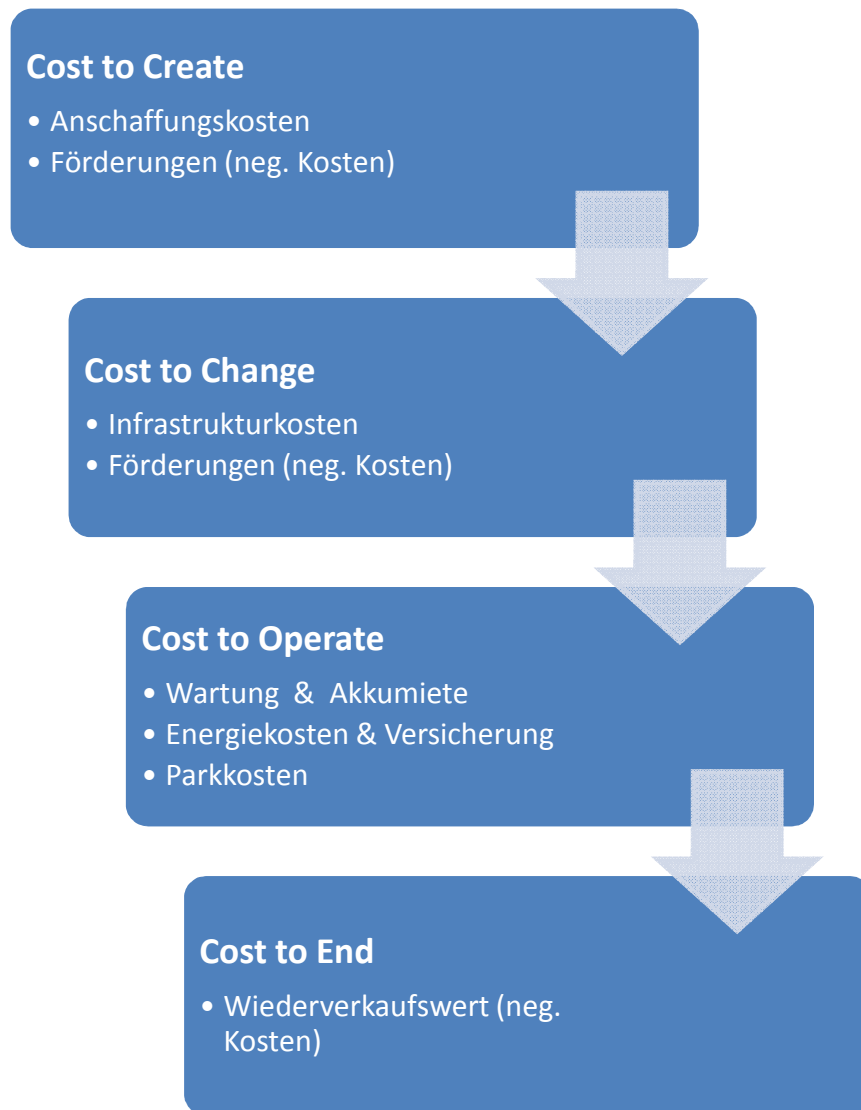


Abbildung 32: Bereiche des TCO (in Anlehnung an [Cab15])

„Der Total-Cost-of-Ownership Ansatz verfolgt das Ziel alle mit einer Vergabeentscheidung verbundenen Kosten zu identifizieren und dadurch die kostenoptimale Allokation zu ermöglichen.“ [Wil08]

Hinsichtlich der genauen Ausführung eines TCO-Vergleichs gibt es keine einheitliche Richtlinie. Abhängig von Anwendungsgebiet und Literaturquelle sind verschiedene Ausführungsvarianten bekannt. Was alle eint ist der Grundsatz einer vollständigen Erfassung der Kosten.

3 Entwicklung eines Geschäftsmodells

Bei der Erstellung der Geschäftsmodelle für e-basierte Lieferservices stehen die technische Machbarkeit sowie der wirtschaftliche Erfolg im Zentrum der Bemühungen. Weiters soll ein möglichst großer ökologischer Nutzen lukriert werden. Diese Themen werden in der vorliegenden Arbeit auf den drei Betrachtungsebenen, Einzelfahrzeug, Flotte und urbaner Raum analysiert. Abbildung 33 zeigt die Vorgangsweise. Basis für die Analysen auf allen Ebenen ist die Betrachtung technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Aspekte beim Einzelfahrzeug. Die nächstfolgende Ebene im „bottom-up“-Prozess ist die Flottenbetrachtung. Sie fasst die Analyse mehrerer Einzelfahrzeuge (eines Unternehmens) zusammen. Resultierend daraus folgt eine Menge an technischen, ökonomischen und ökologischen Kenngrößen. Dies entspricht gleichzeitig dem quantitativen Teil der Geschäftsmodelle. Nicht quantifizierbare Eigenschaften werden in den Kapiteln 4 und 6 durch qualitative Aussagen erfasst. Bei der Untersuchung des Stadtgebiets werden bisher verwendete Analysemethoden um statistische Größen erweitert. Resultierend daraus folgen Angaben zu den Auswirkungen einer (Teil-)Elektrifizierung eines gesamten Ballungsraumes.

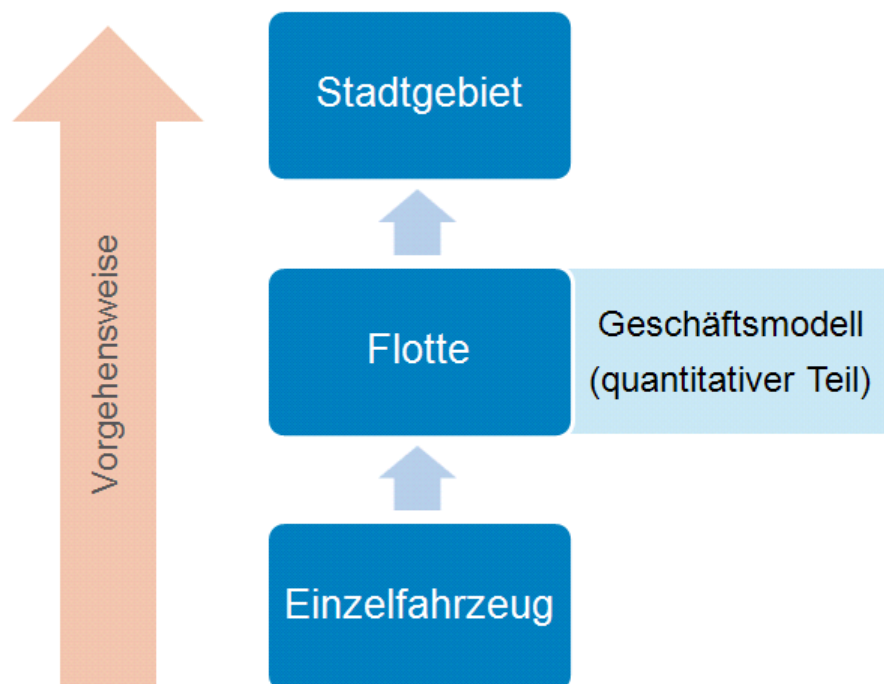


Abbildung 33: Betrachtungsebenen und Vorgangsweise

Das im Zuge dieser Arbeit gewonnene Wissen soll Unternehmen bei der Einführung von E-Fahrzeugen unterstützen. Aus diesem Grund wurde für die drei Betrachtungsebenen jeweils ein eigenes Berechnungstool entwickelt. Somit kann durch Anpassung von Parameter jedes beliebige Szenario ausgewertet werden. Dies ist im Speziellen bei den Berechnungstools für Einzelfahrzeuge und Flotten ohne größeren Aufwand und besonderen Kenntnissen möglich. Die Analyse eines Stadtgebiets setzt jedoch voraus, dass bestimmte statistische Daten für den betreffenden Ballungsraum vorhanden sind.

3.1 Einzelfahrzeug

Die Berechnungstools basieren auf dem Programm Microsoft Excel. Das Basistool „Einzelfahrzeug-Vergleichsrechner“ kommt beim Vergleich unterschiedlicher Fahrzeugtypen (konventionell und elektrifiziert) zu Anwendung. Analysiert werden deren wirtschaftlichen und ökologischen Eigenschaften. In der Standardkonfiguration sind Daten für fünf unterschiedliche Fahrzeugtypen hinterlegt. Dabei handelt es sich um jeweils ein Diesel- und ein Erdgasfahrzeug, sowie drei Elektrofahrzeuge. Weitere Fahrzeugmodelle können durch die Eingabe deren spezifischer Daten hinzugefügt werden. Eine detaillierte Beschreibung zur Verwendung des Rechners und der Implementierung weiterer Fahrzeugmodelle erfolgt in Kapitel 8 unter „Bedienungsanleitung Einzelfahrzeug“.

3.1.1 Aufbau

Abbildung 34 zeigt ein Entity Relationship Modell (ERM) das die Arbeitsweise des Einzelfahrzeug-Rechners darstellt. Im Folgenden werden die einzelnen Objekte mit ihren Zusammenhängen näher erläutert.

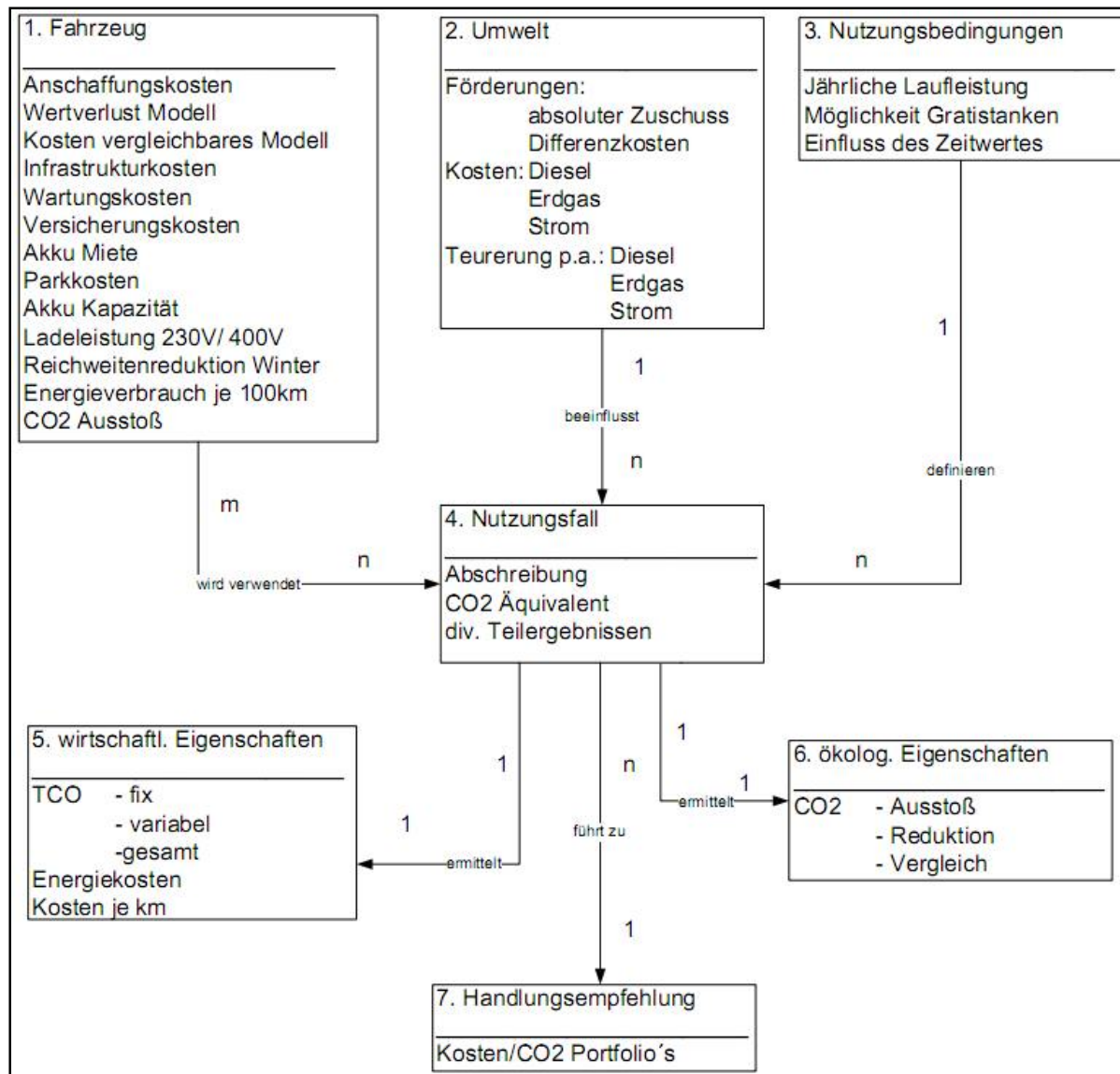


Abbildung 34: ERM - Einzelfahrzeugrechner

3.1.1.1 Input

Die ersten drei Objekte (Fahrzeug, Umwelt und Nutzungsbedingungen) stellen dem Rechner die Inputdaten zur Verfügung. Durch die Aufteilung in diese drei Objekte werden die Attribute nach deren Abstammung getrennt. Die Möglichkeit zur Einflussnahme auf einen Parameter geht wiederum mit der Information zu dessen Herkunft mit ein. Daraus folgt:

- Fahrzeug: leicht beeinflussbar
Diese Attribute lassen sich einfach durch die Wahl eines entsprechenden Fahrzeugmodells beeinflussen.

- Umwelt: nicht beeinflussbar
Faktoren wie Energiekosten sowie Fördermaßnahmen von öffentlicher Seite lassen sich durch den Fahrzeugnutzer nicht beeinflussen.
- Nutzungsbedingungen: bedingt beeinflussbar
In den meisten Fällen sollen Elektrofahrzeuge die Aufgabe von konventionellen Fahrzeugen übernehmen. Damit sind sämtliche Rahmenbedingungen vorgegeben. Es kann aber auch die Möglichkeit zur Neugestaltung des Aufgabengebiets vorhanden sein. Beispielsweise wenn ein Lieferservice zwei lange durch drei kürzere Touren ersetzt. In diesem Fall ist ein beschränkter Einfluss auf die Parameter gegeben.

Die Variabilität von Parametern ist vor allem bei der Analyse der Ergebnisse von Bedeutung. Können Einflussgrößen identifiziert werden die auf das Ergebnis negativ einwirken, so ist zu eruieren ob Gegenmaßnahmen ergriffen werden können.

3.1.1.2 Berechnung

Das Objekt Nutzungsfall inkludiert den Ablauf der eigentlichen Berechnung. Es beinhaltet den Rechenalgorithmus sowie sämtliche für die Berechnung notwendigen Zwischenergebnisse.

Es sei angemerkt, dass bei der Ermittlung der Abschreibung für alle Fahrzeugtypen dasselbe einheitliche Modell verwendet wird. Grund hierfür ist, dass Gebrauchtwagenpreise grundsätzlich nicht exakt festgestellt werden können. Selbst bei Berücksichtigung einer großen Anzahl an Einflussgrößen ist es nicht möglich einen definitiven Marktwert zu ermitteln. Des Weiteren würde, besonders im Zusammenhang mit dem grundsätzlich ähnlichen Verhalten, eine Implementierung von individuellen Rechenmodellen den damit verbundenen Aufwand nicht rechtfertigen. Anhand der Preisentwicklung auf einem Internetportal (<http://derstandard.at/Gebrauchtwagen/Preise>) wurde ein Rechenmodell entwickelt, dass der Preisentwicklung gängiger Nutzfahrzeuge durchwegs nahe kommt. In Abbildung 35 ist der Algorithmus grafisch dargestellt. Es wird angenommen dass der

Wertverlust im ersten Jahr 25% und im jeden weiteren Jahr der Nutzung 10% beträgt. Somit wird das Fahrzeug nach 8 bis 8,5 Jahren bis auf einen pauschalen Restwert von € 500,- abgeschrieben. Zum Vergleich, die gesetzlich angesetzte Nutzungsdauer für in gewerblich genutzte Fahrzeuge liegt ebenso bei 8 Jahren.

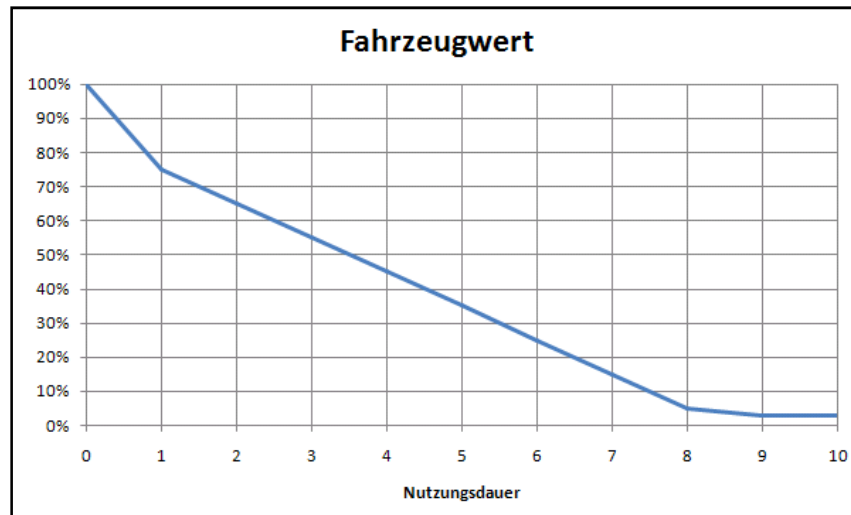


Abbildung 35: Rechenmodell Fahrzeug-Wertentwicklung

3.1.1.3 Output

Wirtschaftliche Eigenschaften

Das Ergebnis der ökonomischen Betrachtungen umfasst die Kostensituation auf Basis des TCO (siehe Kapitel 2.3). Eine weitere wichtige Information welche mit Hilfe des Berechnungsprogrammes analysiert wird, ist die Zusammensetzung dieser. Damit soll die vorhandene Situation möglichst transparent dargestellt werden. Gegebenenfalls können Kostentreiber identifiziert und sofern möglich, Maßnahmen zur Minderung dieser veranlasst werden. Folgende Auswertungen sollen dabei behilflich sein:

- TCO - Gesamt
- TCO - fixer und variabler Anteil
- Energiekosten je 100km
- Gesamtkosten je km
- Anteil der Beschaffungskosten,
- ...

Ökologische Eigenschaften

Durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen wird eine Einsparung von größeren Mengen CO₂ erwartet. In welchem Ausmaß diese Annahme von verschiedenen Elektrofahrzeug-Modellen erfüllt wird, zeigt sich bei der Analyse der ökologischen Eigenschaften. Mehrere grafische Auswertungen betrachten die Thematik aus verschiedenen Blickwinkeln.

Oberste Prämisse der Untersuchungen ist die Ermittlung möglichst realitätsgerechter Resultate. Aus diesem Grund wird bei den Parametern zur Berechnung des CO₂-Austoßes auf Erfahrungswerte aus dem realen Betrieb, anstatt auf realitätsferne Norm-Angaben zurückgegriffen.

Handlungsempfehlung

Die Portfolio-Darstellung kombiniert die Ergebnisse aus den vorangegangenen wirtschaftlichen und ökologischen Betrachtungen. Die grafische Darstellung dient zum Vergleich mehrerer Fahrzeuge. Damit soll die Auswahl des bestgeeigneten Modells unterstützt werden. Abbildung 36 zeigt beispielhaft eine Auswertung. Der grüne Hintergrund markiert den erstrebenswerten Bereich.

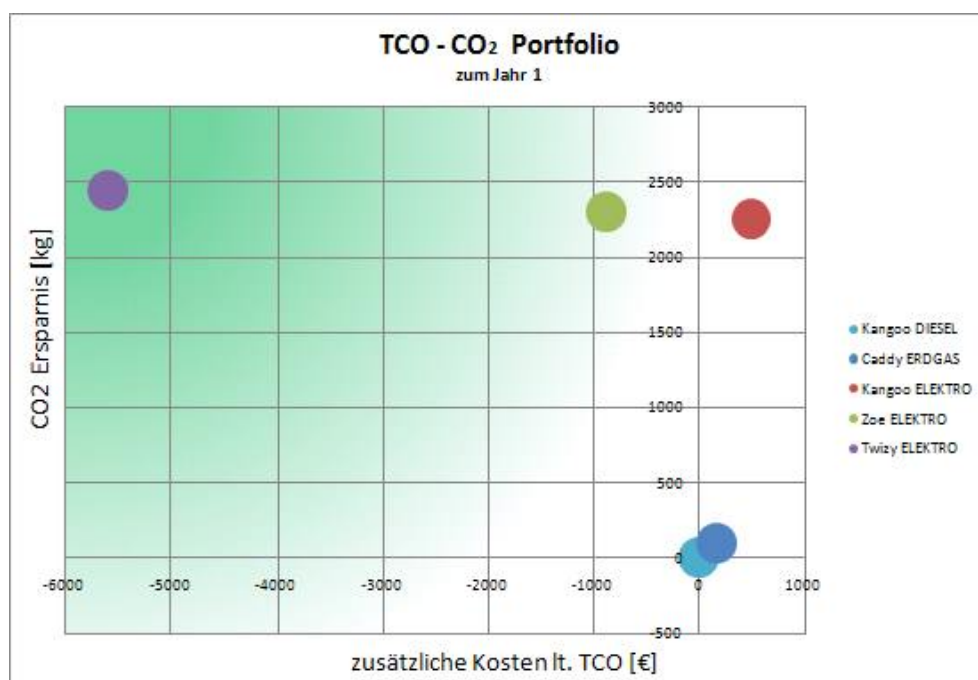


Abbildung 36: Einzelfahrzeug Portfolio-Darstellung

3.2 Fahrzeugflotte

Wie zu Beginn des Kapitels schon einmal erwähnt wurde, basiert das Rechnungstool für die Fahrzeugflotte auf dem für Einzelfahrzeuge. Die Erweiterungen umfassen die Integration eines Tourenplaners sowie die Möglichkeit zum Vergleich ganzer Fahrzeugflotten. Beide Zusatzfunktionen werden in den Unterkapiteln 3.2.1 und 3.2.2 näher behandelt.

Das ERM des Flottenvergleichsrechners ist in Abbildung 37 dargestellt. Sämtliche Objekte des Einzelfahrzeug-ERMs sind darin wieder enthalten. Zusätzlich hinzugekommen ist das Objekt Routenplaner. Eine weitere Differenz sind geänderte Attribute im Objekt Handlungsempfehlung. Begründet ist dies damit, dass neben der ökonomisch-ökologischen Portfolio-Darstellung auch eine Entscheidungshilfe hinsichtlich der technischen Eignung implementiert ist. Hinzugekommen beim Objekt Nutzungsbedingung ist das Attribut Fahrzeuganzahl.

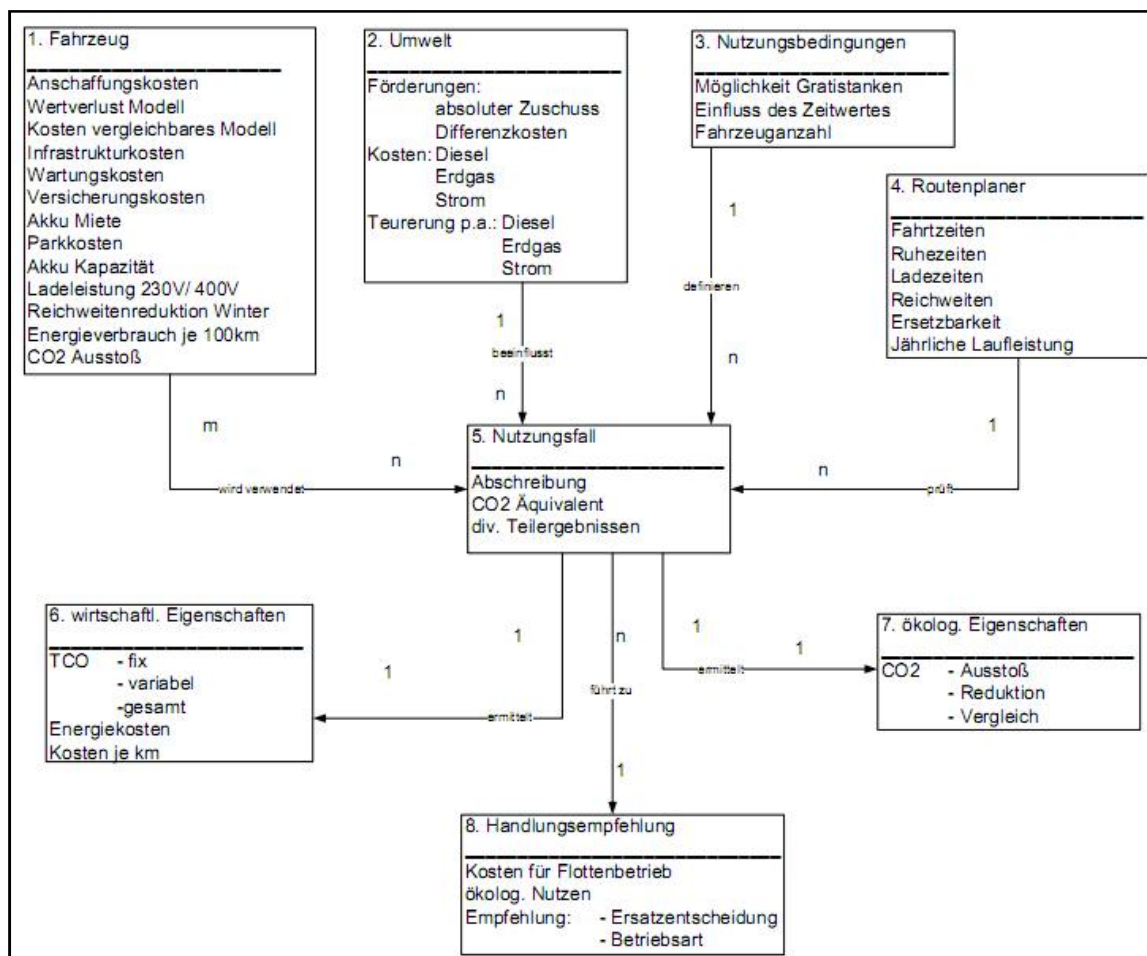


Abbildung 37: ERM - Flottenvergleichsrechner

Abbildung 39 zeigt drei mögliche Ersatz-Empfehlungen aus dem Tourenplaner.

Route	Tourencheck	
	konventionelles durch E-Fahrzeug ersetzbar	Erklärung
1	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
2		
3	NEIN	1. Route kann in dieser Ausführung nicht elektrisch geführt werden, Reichweiten zu gering.
4		
5	MITTEL	1. Routenführung möglich, es wird jedoch ein grenzwertiger Akkuzustand erreicht.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.

Abbildung 39: Tourenplaner - Empfehlung

Bis zu 18 Tagestouren können in einem Datensatz untersucht werden. Für jede einzelne Tour wird auch die Jahreskilometeranzahl errechnet. Dieser Wert stellt einen Inputparameter des Flottenvergleichs dar.

3.2.2 Flottenvergleich

Nach Abklärung der technischen Eignung kann mit der Flottenvergleichs-Funktion die Untersuchung wirtschaftlicher und ökologischer Eigenschaften durchgeführt werden. Der Vergleich erfolgt nach dem gleichen Schema wie beim Einzelfahrzeug, mit dem Unterschied dass eine Mehrzahl an Fahrzeugen betrachtet wird.

3.2.3 Übergang zum Geschäftsmodell

Die Ergebnisse des Flottenvergleichs bilden die Basisdaten für die Erstellung der Geschäftsmodelle. Dabei handelt es sich zur Gänze um quantitative Größen. Analysen hierzu sowie weitere Untersuchungen rund um den Einsatz von Elektrofahrzeugen bilden den qualitativen Teil der Geschäftsmodelle. Am Ende eines jeden Geschäftsmodelles steht ein Resümee, das anhand der durchgeführten Untersuchungen Auskunft über die gegebenen Verhältnisse gibt.

3.3 Urbaner Raum

Die bis hierhin angestellten Betrachtung zur E-Mobilität stehen im Zusammenhang mit dem Einsatz bei einzelnen Unternehmen und sind somit mikroskopischer Art. Von Interesse ist aber auch welche Auswirkungen zu erwarten sind, wenn sich eine größere Zahl von Unternehmen in einem Ballungsraum zur Nutzung von Elektrofahrzeugen entscheidet.

Konstellationen dieserart können mit dem Berechnungstool zur Betrachtung von urbanen Räumen untersucht werden. Die ökonomische und ökologische Beurteilung einer Mehrzahl an Fahrzeugen wird ja schon durch das Flottenvergleichs-Tool ermöglicht. Zur Untersuchung urbaner Räume ist jedoch auch ein entsprechender Daten-Input von Nöten. Somit müssen in erster Linie entsprechende statistische Informationen ermittelt/besorgt und im Weiteren in ein vereinfachtes Modell umgewandelt werden. Dieses Modell muss einerseits ausreichend genau sein um die Situation realistisch abbilden zu können und andererseits auch einfach genug um mit dem City-Tool behandelt werden zu können.

Im Berechnungstool für urbane Räume ist ein solches Modell für die Stadt Graz hinterlegt und steht für die Auswertung verschiedenster Annahmen zur Verfügung. Zur Untersuchung anderer Ballungszentren müssen entsprechende statistische Kennzahlen eingefügt oder das Modell nach Bedarf adaptiert werden.

Weitere Informationen darüber liefern die Untersuchungen in Kapitel 5.

4 Geschäftsmodelle

Kernthema der vorliegenden Masterarbeit ist die Ausarbeitung von Geschäftsmodellen für die Einführung von E-Mobilität bei realen Anwendungsfällen. Basis hierfür ist die im Zuge des Projektes „Urbane e-Lieferservices - Modellregion Graz“ erfolgte Testaktion. Dabei wurde das Tourenverhalten von einzelnen Fahrzeugen bei mehr als zehn Unternehmen erfasst. Die untersuchten Betriebe unterscheiden sich hinsichtlich Branche und Flottengröße. Grundsätzlich wurden aber nur Fahrzeuge/Flotten analysiert, die im Zuge eines Lieferservices in Verwendung stehen oder für Versorgungsfahrten im nahen Umfeld eingesetzt werden.

4.1 Segmentierung / Auswahl

Im Zuge der vorliegenden Arbeit werden drei unterschiedliche Unternehmenstypen analysiert. Damit soll ein möglichst weites Anwenderspektrum abgedeckt werden. Die Auswahl der Unternehmen erfolgt anhand einer Klassifizierung in 5 Kategorien. In Tabelle 5 sind die Kategorien mit der zugehörigen Bewertungsskala dargestellt. Vier Kategorien spezifizieren das Tourenverhalten und eine gibt Auskunft über die Größe des Fuhrparks. Bei der täglichen Nutzdauer ist anzumerken, dass es sich hier nicht um die kumulierte Fahrdauer handelt, sondern um die Zeit in der das Fahrzeug nicht an seinem Stellplatz abgestellt ist. Dies ist speziell für die notwendigen Ladezeiten von Bedeutung.

Anzahl der Fahrzeuge	tägliche Fahrtstrecke [km]	mittlere Nutzlast [kg]	Raumbedarf	tägliche Nutzdauer [h]
1	0-25	0-50	gering	0-5
2-5	25-50	50-250	mittel	5-10
>5	>50	>250	groß	>15

Tabelle 5: Klassifikation für e-basierte Logistiklösungen in Unternehmen

Tabelle 6 zeigt die Datensätze der drei ausgewählten Unternehmen. Bei den angegebenen Werten zu Fahrtstrecke, Nutzlast und Nutzdauer handelt es sich um Mittelwerte aus allen aufgezeichneten Tagestouren.

Anwendungsfall	Anzahl der Fahrzeuge	tägliche Fahrtstrecke [km]	mittlere Nutzlast [kg]	Raumbedarf	tägliche Nutzdauer [h]
Lieferservice	1	24,7	25	gering	3
Bring-Händler	1	56	45,5	mittel	6,3
KEP	6	45	571	groß	7,4

Tabelle 6: Daten zu Szenarien

Abbildung 40 zeigt die Einstufung der drei ausgewählten Unternehmen. Anhand der unterschiedlichen farblichen Markierungen ist ersichtlich, dass es sich um Szenarien mit sehr differenzierten Anforderungen handelt. Von Bedeutung ist auch, dass der Lieferservice und der Bring-Händler im B2C-Handel tätig sind. Das KEP-Unternehmen hingegen bedient sowohl den B2B als auch den B2C-Bereich.

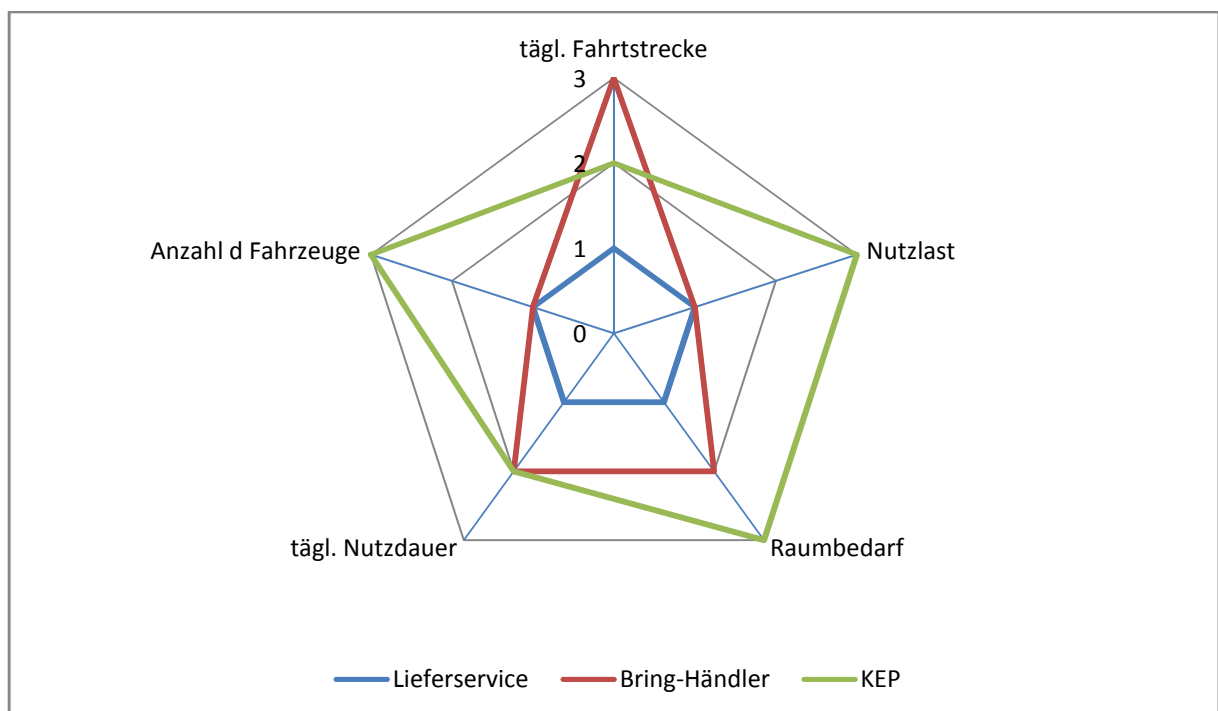


Abbildung 40: Klassifikation der Unternehmen

In Kapitel 4.2 werden die Untersuchungsergebnisse für den Lebensmittellieferservice zusammengefasst. In diesem Szenario sind vor allem die geringen Lademengen und kurze Nutzungszeiten charakteristische Merkmale. Das Elektrofahrzeug wird nur für Kurzstrecken genutzt.

Kapitel 4.3 beinhaltet die Analysen zum des Bring-Händlers. Das Spezifikum dieses Unternehmens sind weitaus längere Wegstrecken als beim Lieferservice. Auch die Zuladung ist höher, liegt aber im unteren Leistungsbereich eines E-Lieferwagens.

Für das in Kapitel 4.4 beschriebene Szenario eines KEP-Unternehmens sind weite Fahrtstrecken mit sehr hohen Nutzlasten charakteristisch. Ein weiterer wesentlicher Unterschied zu den beiden anderen betrachteten Szenarien ist, dass nicht ein Einzelfahrzeug sondern der Ersatz einer aus sechs Fahrzeugen bestehenden Flotte untersucht wird.

In Abbildung 41 sind die derzeit verfügbaren Elektrofahrzeugmodelle der Marke Renault abgebildet. Für die Untersuchung der Szenarien wurden das Microcar Twizy cargo (1.v.l.) sowie der Lieferwagen Kangoo Z.E. (1. v.r.) herangezogen.



Abbildung 41: elektrifizierter Fuhrpark – RENAULT [REN15]

Im Weiteren folgt eine Aufstellung von Daten zu den beiden verwendeten Fahrzeugtypen.

Renault Twizy Cargo 80

Quelle: //www.angebote.renault.at/files/pl_twizy_02_15.pdf

Ladedauer (230 V)	3,5 h
Leistung	13 kW (18 PS)
Reichweite lt. ECE-15	100 km
Speicherkapazität	6,1 kWh
Energieverbrauch lt. ECE-15	0,061 kWh/km
Höchstgeschwindigkeit	80 km/h
Leergewicht (inkl. Batterien)	474 kg
Abmessungen (l x b x h)	2338 x 1381 x 1454 mm
Ladevolumen	156 l
Preis	€ 8.860,- (inkl. Mwst. zzgl. Batteriemiete)



Abbildung 42: Laderaum Renault Twizy [REN15]

Renault Kangoo Z.E. Maxi 2-Sitzer

Quelle: [://www.renault.at/media/-pdf-preisliste-/att00334421/PL_Kangoo_ZE.pdf](http://www.renault.at/media/-pdf-preisliste-/att00334421/PL_Kangoo_ZE.pdf)

Ladedauer (Wall-Box)	6-9 h
Leistung	44 kW (60 PS)
Reichweite lt. ECE-15	170 km
Speicherkapazität	22 kWh
Energieverbrauch lt. ECE-15	0,155 kWh/km
Höchstgeschwindigkeit	130 km/h
Leergewicht (inkl. Batterien)	1580 kg
Abmessungen (l x b x h)	4666 x 1829 x 1844 mm
Ladevolumen	4,0 - 4,6 m ³
Preis	€ 25.800,- (inkl. Mwst. zzgl. Batteriemiete)



Abbildung 43: Laderaum Renault Kangoo Z.E. Maxi 2-Sitzer [REN15]

4.2 Geschäftsmodell - Lieferservice

4.2.1 Erläuterung des Analyse Szenario

Untersucht wird der Ersatz eines konventionellen Fahrzeuges durch ein Elektrofahrzeug, welches zur Lieferung von Delikatessen und Frischkost verwendet wird. Das dabei benötigte Laderaumvolumen ist sehr gering. Es werden zwei Elektrofahrzeugausführungen für diese Anwendung in Betracht gezogen. Erstens ein E-Fahrzeug vom Typ Renault Twizy Cargo 80 (Microcar; =Alternative 1) und zweitens ein Renault Kangoo Z.E. Maxi 2-Sitzer (Lieferwagen; =Alternative 2). Als Referenzmodell für die beiden E-Fahrzeuge nimmt ein dieselgetriebenen Lieferwagen (Renault Kangoo Maxi dCi 90) am Vergleich teil.

4.2.2 Annahmen

Tourenplaner

Die für die Betrachtungen verwendete Tour entstammt der Erfassung in der Testaktion. In Tabelle 6 sind die Rahmenbedingungen dazu angeführt. Abbildung 44 zeigt den Tagesablauf der Tour.

Der Zeitstreifen verläuft darin horizontal, von links nach rechts. In der Zeile unter der Uhrzeit sind die gefahrenen Kilometer im halbstündlichen Intervall als Zahlenwert angeben und orange hinterlegt. Blau hinterlegte „x“ stehen für einen Ladevorgang an der Wallbox. Leere Felder bedeuten den Status quo, also weder fahren noch laden wie z.B. einfaches parken.

Route 1 und 2 beschreiben im Routenplaner dieses Geschäftsmodells dieselbe Wegstrecke. Unter Route 1 erfolgen die Berechnungen für das E-Microcar Renault Twizy cargo (Alternative 1) und unter Route 2 für den Elektrolieferwagen Renault Kangoo Z.E. (Alternative 2).

Route	Fzg-Typ	Uhrzeit																								Tages-km	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
1	5																									25	
2	3																										25

Abbildung 44: Input Tourenplaner – Lieferservice, exemplarisch

Wirtschaftlicher & Ökologischer Vergleich

Tabelle 7 ist ein Ausschnitt aus dem Berechnungstool und zeigt die Aufstellung sämtlicher Input-Parameter für die wirtschaftlichen Untersuchungen. In der linken Hälfte der Tabelle befinden sich die allgemein gültigen Parameter, während in der rechten Hälfte fahrzeugspezifische Zahlen angegeben sind. Folgende numerische Kennzeichnung gilt in dieser Aufstellung:

Fzg. 1: Renault Kangoo Maxi (Diesel Lieferwagen)

Fzg. 3: Renault Kangoo Z.E. Maxi (Elektro Lieferwagen) / Alternative 2

Fzg. 5: Renault Twizy cargo (Elektro Microcar) / Alternative 1

Anmerkung: Wie in Tabelle 7 ersichtlich können für die Elektrofahrzeuge Förderungen in Anspruch genommen werden.

Input			
Daten Allgemein	1 - Einfluss des Fzg-Zeitwertes: Ein (1) oder Aus (0)	1	
	2 - Förderung: prozentuell auf Differenzkosten	0%	und/ oder
	4 - jährliche Kilometerleistung	6.500	3 - Förderung Betrag
	5 - Gratistanken	15%	Fzg
			€
			1 0
			2
			3 2.000
			4 0
			5 2.000
	6 - Kosten - Diesel [€/l]	€ 1,20	
	6 - Kosten - Erdgas [€/l]	€ 1,00	
	6 - Kosten - Strom [€/kWh]	€ 0,22	8 - erwartete Kosten
			Fzg
			Parken p.a.
			Infrastruk.
			1 150 0
			2 150 0
			3 0 1.050
			4 0 1.050
			5 0 0
	7 - Steigerung p.a. - Stromkosten	2,1%	
	7 - Steigerung p.a. - Dieselpreis	4,2%	
	7 - Steigerung p.a. - Gaspreis	4,2%	
	9 - Nutzungsdauer [Jahre]	5	

Tabelle 7: Input Wirtschaftliche Betrachtung – Lieferservice

Für die ökologischen Betrachtungen wird der CO₂ Ausstoß über den Energieverbrauch berechnet. Die hier zugehörigen Umrechnungsfaktoren sind in Tabelle 8 dargestellt.

Kraftstoff	Diesel [l]	Erdgas [kg]	Strom [kWh] lt. Ö-Strommix	Strom [kWh] 100% Ökostrom	Strom [kWh] lt. D-Strommix
CO ₂ [kg]	2,65	2,79	0,157	0	0,562

Tabelle 8: Input, CO₂ Ausstoß je Menge Energieeintrag- Lieferservice

4.2.3 Kurzfassung der Ergebnisse

Die Überprüfung mit dem Routenplaner ergibt, dass die gesamte Tour ohne nachladen absolviert werden kann. Je nach Außentemperatur (gemäßigt oder kalt/warm) und Fahrzeugmodell werden maximal 37% (Alternative 2) bzw. 56% (Alternative 1) der Akkuladung verbraucht. Reine Fahrzeiten von ca. einer Stunde stellen hinsichtlich des Energieverbrauchs der Klimaanlage bzw. Heizung keinen wesentlichen Einfluss dar. Relevant wäre dies ohnehin nur beim Elektrolieferwagen (Alternative 2), da das Microcar (Alternative 1) über keine Heiz- oder Klimatisierungseinrichtungen verfügt. Würden diesbezüglich Problemen auftreten, kann für den Lieferwagen gegen Aufpreis eine Klimaanlage und ein Kraftstoff-Zuheizer geordert werden. Das Fahrzeug kann an der Ladestelle bereits „vorklimatisiert“ in Betrieb genommen werden. Kumuliert auf 250 Arbeitstage wird bei der angegebenen täglichen Wegstrecke, eine Jahres-Kilometerleistung von 6.500 km erreicht.

Der wirtschaftliche Vergleich beruht auf der Berechnung des TCO für die unterschiedlichen Fahrzeugmodelle. Die Analyse zeigt, dass sich bei Nutzung der Bundesförderung (klimaaktiv) für den elektrogetriebenen Lieferwagen jährliche Mehrkosten von ca. € 770,- ergeben bzw. für das Microcar sich ein jährliches Einsparungspotential von € 2.600,- ergibt. Bei der Nutzung von Elektrofahrzeugen ist auch die Möglichkeit einer Umwegrentabilität zu beachten. Diese aufzuzeigen und zu quantifizieren ist jedoch nur mit eingehender Kenntnis des Geschäftskonzeptes möglich und daher nicht Teil dieser Analyse. Anzumerken ist, dass die Landesförderung zum Zeitpunkt der Kostenermittlung nicht mehr zur Verfügung stand. Die Gemeinde Graz stellt nur für ausgewählte Branchen eine Förderung zur Verfügung. Lieferservices sind darin leider nicht inbegriffen.

Beim Modell Twizy ist zu beachten, dass es bei Eigenschaften wie Ladevolumen und Nutzlast starke Einschränkungen gibt. Falls das Fahrzeug ausreichend Platzangebot bietet bzw. die Kostenersparnisse eine entsprechende Umgestaltung der Lieferstrategie rechtfertigen würde, ergäbe sich damit eine kostengünstige Alternative.

Aus ökologischer Sicht kann ein CO₂-Einsparungspotential von 0,9 t/Jahr beim Elektrolieferwagen (Alternative 2) bzw. 1,1 t/Jahr beim Microcar (Alternative 1) erwartet werden. Des Weiteren stoßen die E-Fahrzeuge weniger Feinstaub, Stickoxide usw. aus und reduzieren auch den Lärmpegel im Kreuzungs- und Langsam-Fahrbereich.

4.2.4 Ergebnisse im Detail

4.2.4.1 Reichweite

In den beiden folgenden Balkendiagrammen ist die genutzte Bandbreite des Akkumulators dargestellt. In der jeweils ersten Spalte für das Fahrzeugmodell RENAULT Twizy (Alternative 1) und in der zweiten für den RENAULT Kangoo Z.E. (Alternative 2). Abbildung 45 zeigt die Ergebnisse für den Betrieb bei gemäßigten Temperaturen, Abbildung 46 für den Betrieb bei extremen Temperaturen (sehr heiß oder sehr kalt).

Wie gut zu erkennen ist sinkt bei beiden Modellen, auch bei extremen Temperaturen, der Akkuladestand nicht unter 40% bzw. 70%. Somit kann ein Reichweitenproblem bei dieser Routenführung ausgeschlossen werden.

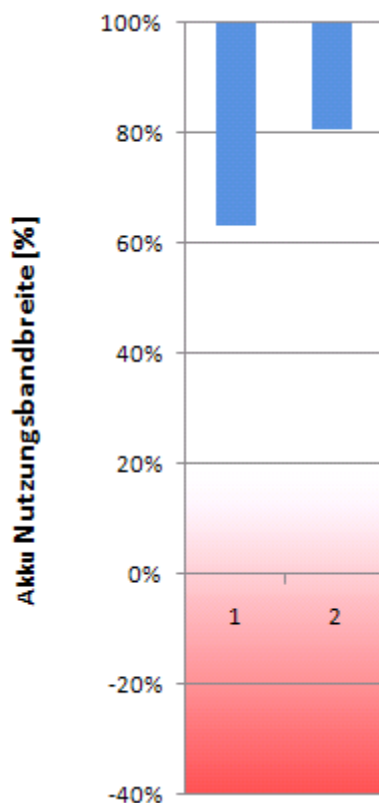


Abbildung 45: Akkubandbreite (gemäßigt) -
Lieferservice

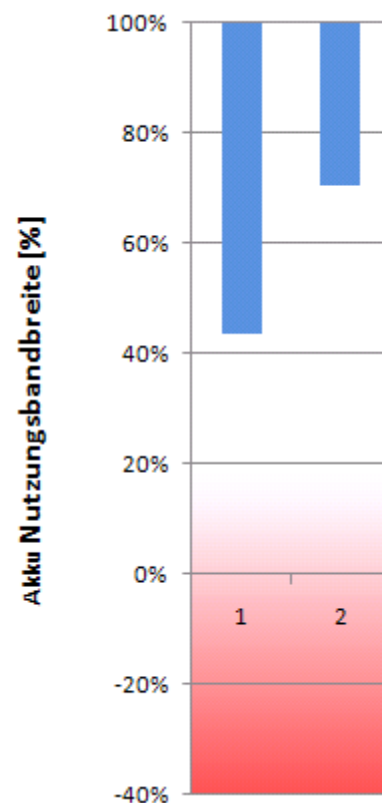


Abbildung 46: Akkubandbreite (heiß/kalt) -
Lieferservice

4.2.4.2 Wirtschaftliche Aspekte

Bei der Gesamtkostenrechnung werden alle anfallenden Kosten berücksichtigt. Als Betrachtungszeitraum werden 5 Jahre angenommen, da dies eine übliche Zeitspanne für die Wiederbeschaffung gewerblicher Fahrzeuge ist. Abbildung 47 zeigt den Vergleich eines konventionellen Fahrzeuges mit einem Elektrofahrzeug gleicher Bauart (Renault Kangoo Z.E.).

Es ist ersichtlich, dass die elektrische Variante zu Mehrkosten führt. Im Detail sind die (kilometerunabhängigen) Fixkosten höher als bei der konventionellen Variante. Als wesentlicher Kostentreiber ist hier neben den höheren Anschaffungskosten die monatliche Akkumiete zu identifizieren. Die geringeren variablen Kosten, aufgrund der niedrigeren Energiekosten, können diese Differenz bei weitem nicht mehr wettmachen.

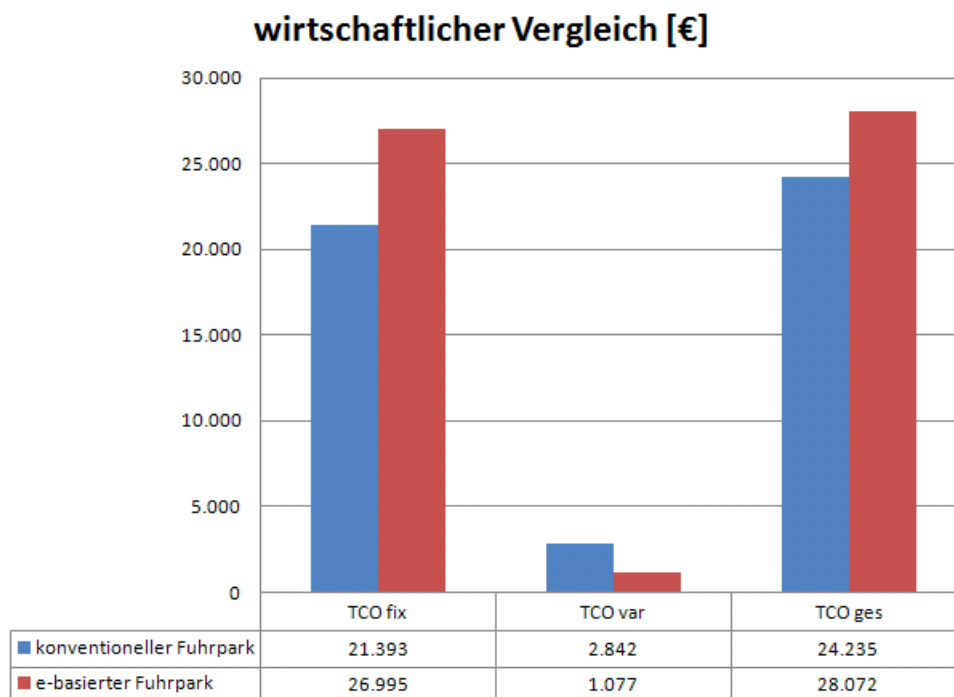


Abbildung 47: TCO Vgl. mit Renault Kangoo Z.E. - Lieferservice

In der folgenden Abbildung 48 wird das konventionelle Fahrzeug mit einem viel kleineren, elektrisch betriebenen Microcar verglichen. Wegen der geringen Zuladung ist die Nutzung eines solchen Fahrzeugtyps denkbar.

Die Gesamtkosten des Microcars betragen in etwa die Hälfte derer, des Diesel Lieferwagens. Bemerkenswert ist, dass die variablen Kosten des E-Fahrzeuges nahezu vernachlässigt werden können. Dies sorgt im Hinblick auf die Preisentwicklung von Energieträgern für eine große Planungssicherheit.

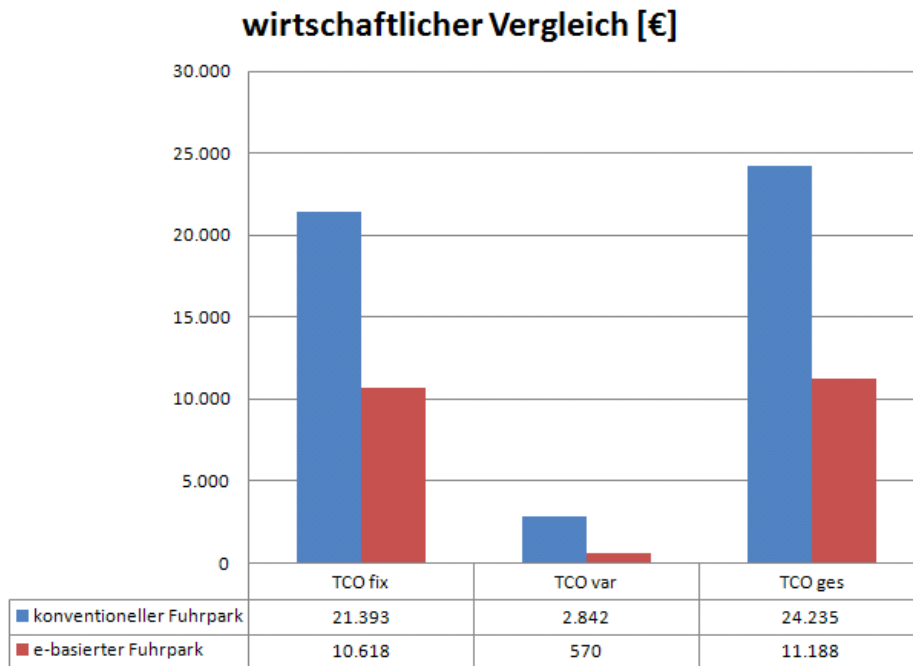


Abbildung 48: TCO Vgl. mit Renault Twizy – Lieferservice

Umweg-Rentabilität

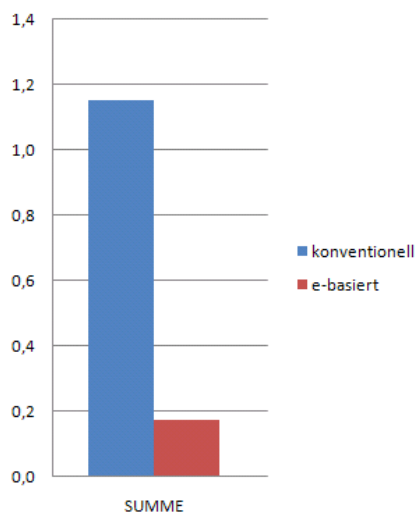
Neben den aufgeführten quantifizierbaren Kenngrößen, wurden im Zuge der Untersuchungen auch einige nicht oder nicht eindeutig quantifizierbare Faktoren ermittelt. Welchen Gegenwert diese darstellen kann nur mit tiefergehender Kenntnis der Marktsituation und der zukünftigen Geschäftsausrichtung abgeschätzt werden. Daher werden die Faktoren im Folgenden ohne Angabe von Zahlenwerten angeführt.

- Imageverbesserung
- Umsatzsteigerung
- Planungssicherheit

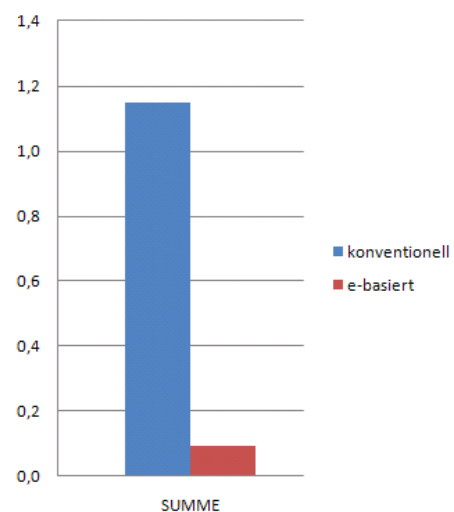
4.2.4.3 Ökologische Aspekte

CO₂ Ausstoß

In Abbildung 49 und Abbildung 50 sind die jährlichen CO₂ Ausstoßmengen aufgetragen. Mit den E-Autos reduziert sich der CO₂ Ausstoß um 84% (Kangoo Z.E.) bzw. 91% (Twizy). Absolut ausgedrückt sind dies ca. 1 t p.a. (Kangoo Z.E.) bzw. 1,1 t p.a. (Twizy). Betrachtet man den Ausstoß des kleineren Twizy auf Basis des größeren Kangoo Z.E., so kann mit dem kleineren E-Fahrzeug wiederum 45% an CO₂ eingespart werden. Grundlegend für die Ersparnisse der E-Fahrzeuge gegenüber dem Dieselfahrzeug ist der umweltfreundliche österreichische Strommix.



**Abbildung 49: CO₂ Vergleich [t/a] –
Lieferservice / Kangoo Z.E.**



**Abbildung 50: CO₂ Vergleich [t/a] –
Lieferservice / Twizy**

4.2.4.4 Weitere Ergebnisauswertung

Tourenplaner

Abbildung 51 zeigt den Verlauf des Akkuladestandes über 24 Stunden unter extremen Wetterbedingungen. Der geringste Akkuladestand beträgt beim E-Lieferwagen 70% (Alternative 2) und beim Microcar 44% (Alternative 1). Somit besteht bei beiden Fahrzeugen kein Reichweitenproblem. Die Nutzung geschieht zwischen 8 und 11 Uhr. Werden die Fahrzeuge gleich nach der Nutzung wieder geladen (entsprechend Abbildung 44), wird um spätestens 15 Uhr wieder der volle Ladestand erreicht.

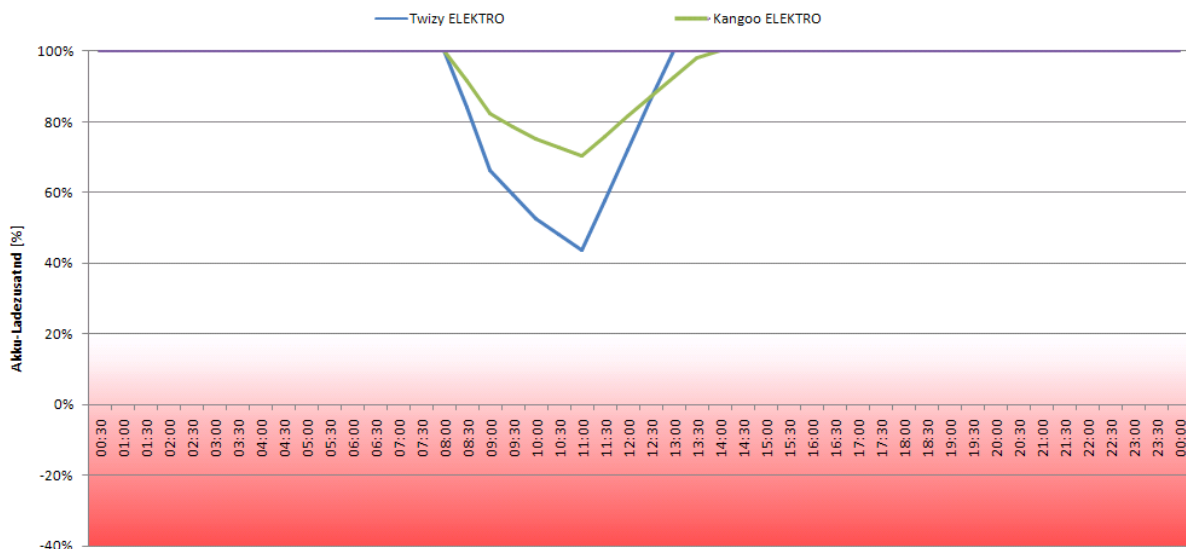


Abbildung 51: zeitlicher Verlauf des Akkuladestatus - Lieferservice

Die Handlungsempfehlungen aus dem Tourenplaner sind in Abbildung 52 dargestellt. Zeile 1 steht für den RENAULT Twizy und Zeile 2 für den RENAULT Kangoo Z.E. Da es keine Probleme mit der Reichweite gibt, fällt die Beurteilung der technischen Machbarkeit auch für beide Fahrzeuge positiv aus.

Route	Tourencheck	
	konventionelles durch E-Fahrzeug ersetzbar	Erklärung
1	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
2	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.

Abbildung 52: Empfehlung lt. Tourenplaner- Lieferservice

Wirtschaftlicher & Ökologischer Vergleich

Tabelle 9 und Tabelle 10 zeigen eine Aufstellung der Kosten sowie des CO₂ Ausstoßes für die beiden Ersatz-Varianten.

- Fuhrpark alt → Verbrenner
- Fuhrpark neu → Elektrofahrzeug

Vergleich mit Alternative 1:

Kangoo Diesel (Fuhrpark alt) / Twizy Elektro (Fuhrpark neu)

Bezeichnung	TCO fix [€]	TCO var [€]	TCO ges [€]	CO2 [t]	€/t
Fuhrpark alt	21.393	2.842	24.235	5,8	
Fuhrpark neu	10.618	570	11.188	0,5	
Ersparnis (gesamt)	10.775	2.271	13.047	5,3	0,0
Ersparnis (pro Jahr)			2.609	1,1	

Tabelle 9: TCO & CO₂ im Vergleich, Twizy- Lieferservice

Vergleich mit Alternative 2:

Kangoo Diesel (Fuhrpark alt) / Kangoo Elektro (Fuhrpark neu)

Bezeichnung	TCO fix [€]	TCO var [€]	TCO ges [€]	CO2 [t]	€/t
Fuhrpark alt	21.393	2.842	24.235	5,8	
Fuhrpark neu	26.995	1.077	28.072	0,9	
Ersparnis (gesamt)	-5.602	1.764	-3.837	4,9	782,7
Ersparnis (pro Jahr)			-767	1,0	

Tabelle 10: TCO & CO₂ im Vergleich, Kangoo Z.E. - Lieferservice

In der folgenden Abbildung 53 ist der Verlauf der Gesamtkosten über die Nutzungsdauer dargestellt. Es ist erkennbar, dass ein Twizy wesentlich kostengünstiger zu betreiben ist als die beiden anderen Modelle. Die Einsparung im Vergleich zum Diesel Lieferwagen beträgt im ersten Jahr € 5.330,- und wächst bis zum Ende der angenommenen Nutzungsdauer von fünf Jahren auf € 13.047,- an. Zwischen dem Elektro- und Diesel-Kangoo wächst die Kostendifferenz aufgrund der sich kumulierenden jährlichen Mehrkosten des Elektrofahrzeuges kontinuierlich. Im ersten Jahr beträgt die Differenz € 916,-. Nach fünf Jahren Nutzungszeit betragen die Mehrkosten € 3.837,-. Die jährlichen Mehrkosten verringern sich jedoch mit der Nutzungsdauer. Somit kann man tendenziell sagen, dass das Elektrofahrzeug mit längerer Nutzungsdauer im Vergleich zum Diesel-Lieferwagen konkurrenzfähiger wird. Der Knick am Ende der Zeitleiste resultiert aus der vollständigen Abschreibung des Fahrzeugwertes.

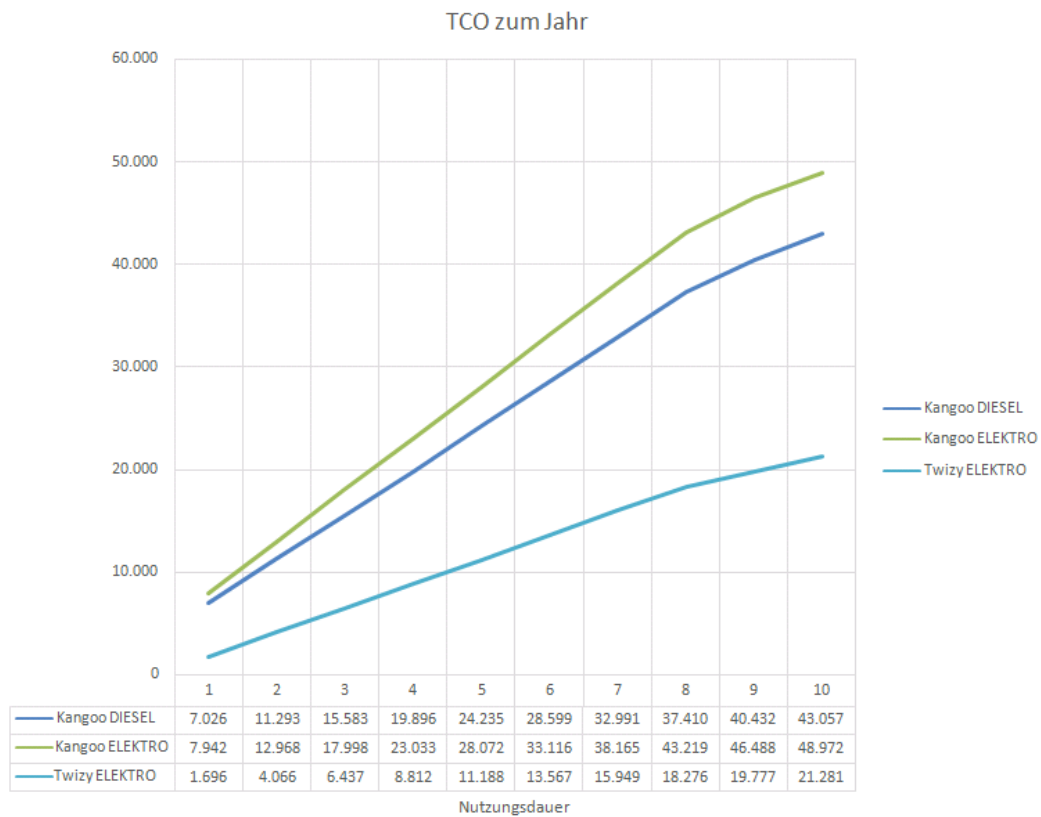


Abbildung 53: TCO Verlauf über Nutzungsdauer- Lieferservice

Abbildung 54 und Abbildung 55 zeigen die relativen Verhältnisswerte hinsichtlich Kosten und CO₂ für die beiden untersuchten Alternativen im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug am Ende der Nutzungsdauer. Beim Twizy können 92% geringere CO₂ Emissionen zusammen mit 54% Kosteneinsparungen realisiert werden. Beim Kangoo Z.E. hingegen entstehen Mehrkosten von 16% und CO₂ Einsparungen von 85%.

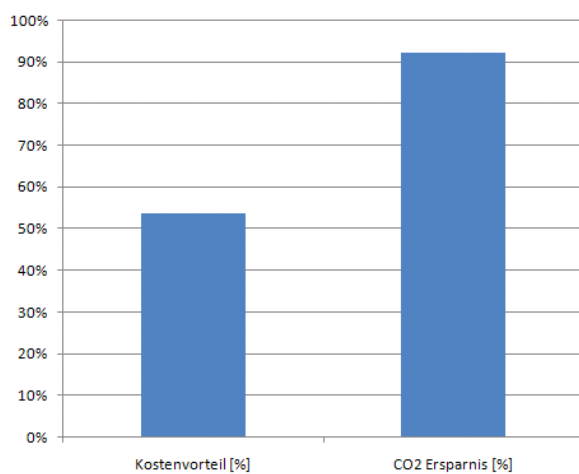


Abbildung 54: rel. Vergleich, Twizy- Lieferservice

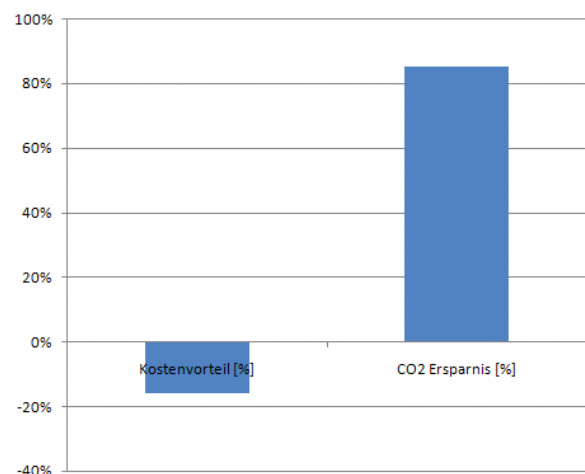


Abbildung 55: rel. Vergleich, Kangoo Z.E. - Lieferservice

4.2.5 Resümee zum Anwendungsfall

Wie die Ergebnisse aus Kapitel 4.2.4.1 zeigen, ist aus technischer Hinsicht eine Nutzung ohne Einschränkung möglich. Der Ersatz eines dieselbetriebenen Lieferwagen durch eine elektrische Variante in Form eines Renault Kangoo Z.E. ist trotz Förderung mit jährlichen Mehrkosten von ca. € 770,- (+16 %) verbunden. Die finanzielle Zusatzbelastung kann möglicherweise mit der Aussicht auf eine Umwegrentabilität ausgeglichen werden. Mit dem Einsatz eines Twizy cargo beschreitet man einen neuartigen Ansatz. Dem verhältnismäßig eingeschränkten Laderaum (31l) stehen jährliche Einsparungen von € 2.600,- (54%) sowie eine besondere Wendigkeit, mithilfe der selbst in den engsten Gassen bis vor die Haustür geliefert werden kann, gegenüber. Die Investitionsentscheidung ist aber nicht nur von den hier ermittelten, wirtschaftlichen und ökonomischen Kennzahlen abhängig. Eine weitere Voraussetzung ist die Kompatibilität mit der Unternehmensstrategie der kommenden Jahre.

4.3 Geschäftsmodell - Bring-Händler

4.3.1 Erläuterung des Analyse Szenario

Es wird die Eignung eines Elektrofahrzeugs für einen Zustellservice von Lebensmittel und Artikel des täglichen Bedarfs überprüft. Die Kunden die mit dem Fahrzeug beliefert werden befinden sich im urbanen Raum sowie in nahen Umlandgemeinden. Verglichen wird ein Lieferwagen mit konventionellen Antrieb (Typ: Renault Kangoo Maxi dCi 90) mit dessen elektrischer Variante (Typ: Renault Kangoo Z.E. Maxi 2-Sitzer).

4.3.2 Annahmen

Tourenplaner

Die für die Betrachtungen verwendeten Touren entstammen der Erfassung in der Testaktion. In Tabelle 6 sind die wichtigsten Parameter dazu angeben. In Abbildung 56 sind die Tagesabläufe der Touren dargestellt.

Der Zeitstreifen verläuft darin horizontal, von links nach rechts. In den Zeilen unter der Uhrzeit sind die gefahrenen Kilometer im halbstündlichen Intervall als Zahlenwert angeben und orange hinterlegt. Blau hinterlegte „x“ stehen für einen Ladevorgang. Leere Felder bedeuten den Status quo, also weder fahren noch laden wie z.B. einfaches parken. Jede Zeile entspricht einer erfassten Tagestour.

Route	Fzg.-Typ	Uhrzeit																								Tages-km
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
		0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	0 30	
1	3	x	x	x	x	x	x																			71
2	3	x	x	x	x	x	x																			59
3	3	x	x	x	x	x	x																			34
4	3	x	x	x	x	x	x																			73
5	3	x	x	x	x	x	x																			43

Abbildung 56: Input Tourenplaner - Bring Händler

Wie in der vorangegangenen Abbildung ersichtlich, ist bei allen Routen von 16 Uhr bis zum Zustellbeginn am nächsten Morgen ein durchgehender Ladevorgang möglich.

Wirtschaftlicher & Ökologischer Vergleich

Tabelle 11 zeigt eine Aufstellung sämtlicher Input-Parameter für den wirtschaftlichen Vergleich der beiden Fahrzeugvarianten. In der linken Hälfte der Tabelle befinden sich die allgemein gültigen Parameter, während in der rechten Hälfte fahrzeugspezifische Zahlen angegeben sind. Folgende numerische Kennzeichnung gilt in dieser Aufstellung:

Fzg. 1: Renault Kangoo Maxi (Diesel Lieferwagen)

Fzg. 3: Renault Kangoo Z.E. Maxi (Elektro Lieferwagen)

Input					
Daten Allgemein	1 - Einfluss des Fzg-Zeitwertes: Ein (1) oder Aus (0)	1	Fzg	€	
	2 - Förderung: prozentuell auf Differenzkosten	0%	3 - Förderung Betrag	1	0
	4 - jährliche Kilometerleistung	14.000		2	800
	5 - Gratistanken	5%		3	2.000
				4	2.000
				5	2.000
	6 - Kosten - Diesel [€/l]	€ 1,20	8 - erwartete Kosten		
	6 - Kosten - Erdgas [€/l]	€ 1,00	Fzg	Parken p.a.	Infrastruk.
	6 - Kosten - Strom [€/kWh]	€ 0,22	1	150	0
			2	150	0
	7 - Steigerung p.a. - Stromkosten	2,1%	3	0	1.050
	7 - Steigerung p.a. - Dieselpreis	4,2%	4	0	1.050
	7 - Steigerung p.a. - Gaspreis	4,2%	5	0	0
	9 - Nutzungsdauer [Jahre]	7			

Tabelle 11: Input Wirtschaftliche Betrachtung - Bring Händler

Für die ökologischen Betrachtungen wird der CO₂ Ausstoß über den Energieverbrauch berechnet. Die hier zugehörigen Umrechnungsfaktoren sind in Tabelle 8 dargestellt.

4.3.3 Kurzfassung der Ergebnisse

Die bei der Testaktion erfassten Fahrtstrecken bewegen sich zwischen 34 und 73km pro Tag. Bei der längsten Tagestour verbleibt bei gemäßigten Temperaturen eine Restladung von 44% im Akku. Falls die Tour bei heißen/kalten Umgebungstemperaturen absolviert wird, sind am Ende der Tour 14% an Restladung im Akku. Somit verbraucht das E-Fahrzeug bei extremen Temperaturen zwar einen Großteil der verfügbaren Energie, doch kann die Tour auch im „worst-case“-Szenario mit über 10% Restladung geführt werden. Der Einfluss der warmen Jahreszeit auf die Reichweite wird im Gegensatz zur kalten Jahreszeit geringer sein, da sich die täglichen Einsatz-

zeiten weitgehend vom Tagesbeginn bis zum Vormittag erstrecken. Dort sind die Temperaturen auch an heißen Tagen nicht sehr hoch, wodurch der Einfluss der Klimatisierung begrenzt ist.

Die wirtschaftlichen Betrachtungen basieren auf einer Jahresfahrleistung von 14.000km. Durch die Nutzung des Elektrolieferwagens entstehen pro Jahr Mehrkosten von ca. € 410,-. Daneben ist auch die Höhe des gebundenen Kapitals zu berücksichtigen. Setzt man ein konventionelles Fahrzeug ein, werden im ersten Jahr ca. € 21.500,- zur Finanzierung benötigt. Im Falle eines Elektrofahrzeugs erhöht sich der Betrag auf ca. € 27.600,-. Betrachtet man den gesamten Nutzungszeitraum von 7 Jahren kumulieren sich die Beträge auf € 40.500,- bei der konventionellen und € 44.500,- für die elektrifizierte Variante. Des Weiteren gilt es bei der Nutzung von E-Fahrzeugen auch die Möglichkeit einer Umwegrentabilität zu beachten. Diese aufzuzeigen und zu quantifizieren ist jedoch nur mit eingehender Kenntnis des Geschäftskonzeptes möglich und somit nicht Teil dieser Analysen.

Statt 2,5t CO₂/Jahr werden nur 0,4t CO₂/Jahr ausgestoßen, was einer Reduktion um 85% gleich kommt.

4.3.4 Ergebnisse im Detail

4.3.4.1 Reichweite

Die Überprüfung der Reichweiten wird anhand der fünf erfassten Tagestouren durchgeführt. In den folgenden Balkendiagrammen ist die genutzte Bandbreite des Akkus dargestellt. Jede Spalte bildet dabei eine zurückgelegte Tour ab.

Abbildung 57 zeigt die Ergebnisse für den Betrieb bei gemäßigten Temperaturen und Abbildung 58 für den Betrieb bei extremen Temperaturen. Bei sehr heißem oder kaltem Wetter wird nach Absolvierung der anspruchsvollsten Tour (Route 4) ein Akkuladestand von 14% erreicht. Die Streckenführung ist somit auch im worst case – Szenario bei allen fünf Touren mit ausreichender Ladungsreserve möglich. Gemäßigte Temperaturen führen auf Route 4 zu einem Rest-Ladestand von 44% und lassen somit noch eine Ausweitung der Streckenführung zu.

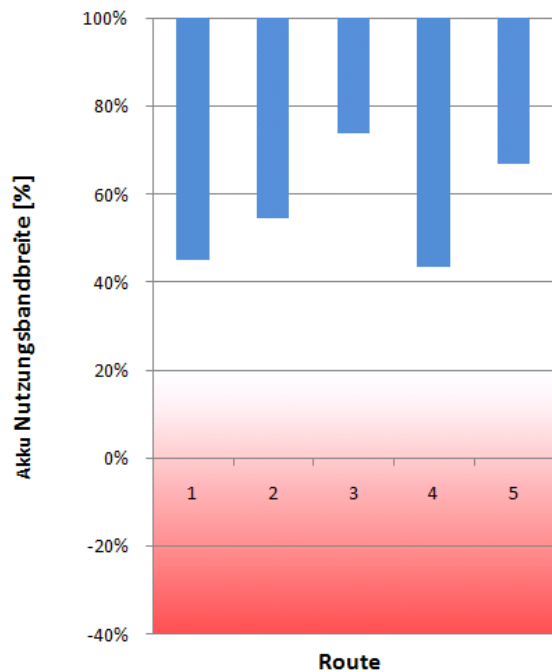


Abbildung 57: Akkubandbreite (gemäßigt) -
Bring Händler

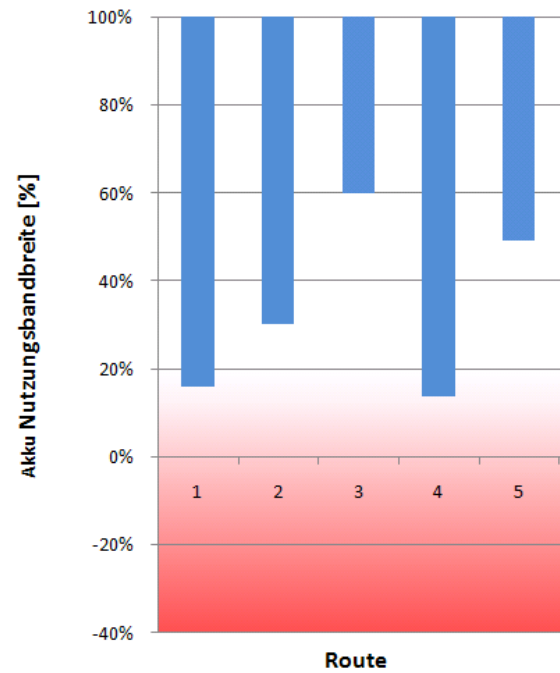


Abbildung 58: Akkubandbreite (heiß/kalt) -
Bring Händler

4.3.4.2 Wirtschaftliche Aspekte

Bei der Gesamtkostenrechnung werden alle anfallenden Kosten berücksichtigt. Im Gegensatz zum Anwendungsfall Bring-Händler (5 Jahre) wird hier mit einem längeren Betrachtungszeitraum von 7 Jahren kalkuliert. Damit sollen etwaige Auswirkungen einer längeren Nutzungszeit untersucht werden. In Abbildung 59 sind die Gesamtkosten der beiden Antriebskonzepte dargestellt.

Die fixen Kosten des Elektrofahrzeuges sind um ca. € 8.089,- höher als beim Dieselfahrzeug. Umgekehrt sind die variablen Kosten des E-Fahrzeuges um € 5.235,- geringer. Somit ergeben sich für das Elektrofahrzeug im Betrachtungszeitraum von 7 Jahren Mehrkosten von knapp € 2.854,- oder € 400,- p.a.

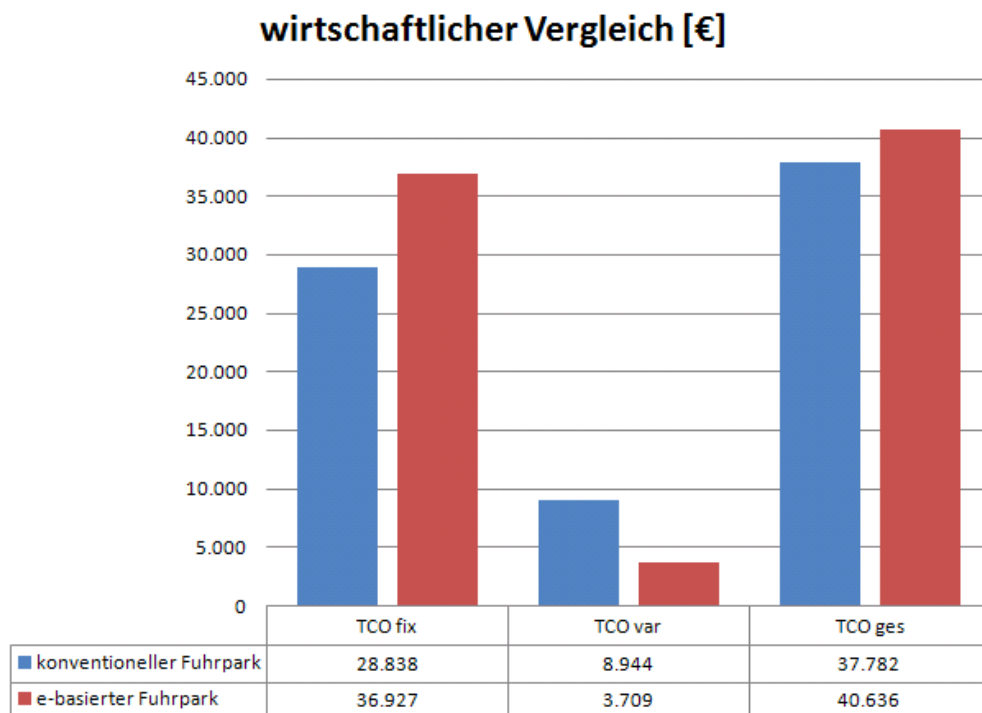


Abbildung 59: TCO Vergleich - Bring Händler

Umweg-Rentabilität

Neben den aufgeführten quantifizierbaren Kenngrößen, wurden im Zuge der Untersuchungen auch einige nicht oder nicht eindeutig quantifizierbare Faktoren ermittelt. Welchen Gegenwert diese darstellen kann nur mit tiefergehender Kenntnis der Marktsituation und der zukünftigen Geschäftsausrichtung abgeschätzt werden. Daher werden die Faktoren im Folgenden ohne Angabe von Zahlenwerten angeführt.

- Imageverbesserung
- Umsatzsteigerung
- Planungssicherheit

4.3.4.3 Ökologische Aspekte

CO₂ Ausstoß

Abbildung 60 zeigt den jährlichen CO₂ Ausstoß der beiden Fahrzeugvarianten. Das E-Fahrzeug verringert den CO₂ Ausstoß gegenüber dem Dieselfahrzeug um 84% oder 2,1t pro Jahr.

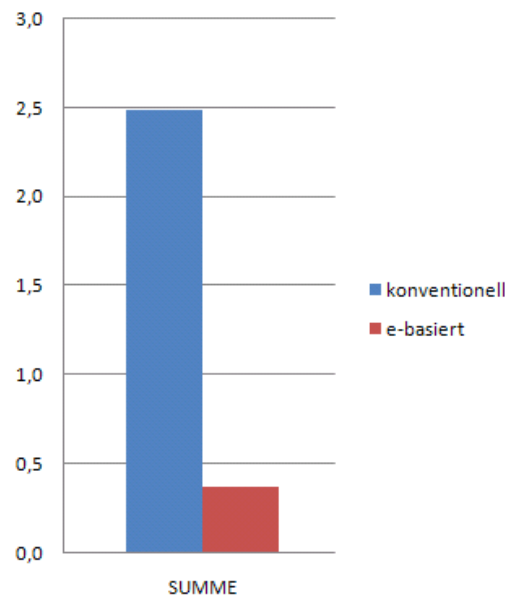


Abbildung 60: CO₂ Vergleich [t/a] - Bring Händler

4.3.4.4 Weitere Ergebnisauswertung

Tourenplaner

Abbildung 61 zeigt den Verlauf des Akkuladestandes über 24 Stunden unter extremen Wetterbedingungen. Es sind die drei Tagestouren mit dem größten Stromverbrauch dargestellt (siehe Abbildung 57 und Abbildung 58). Der geringste Ladezustand beträgt 44% bei Tagestour Nummer 4. Somit besteht bei keiner Tagestour ein Reichweitenproblem. Die Kernzeiten der Nutzung sind zwischen 4 und 15 Uhr. Mit den in Abbildung 56 dargestellten Ladezeiten ist der Akku des Elektrofahrzeuges um spätestens 21 Uhr wieder zu 100% geladen.

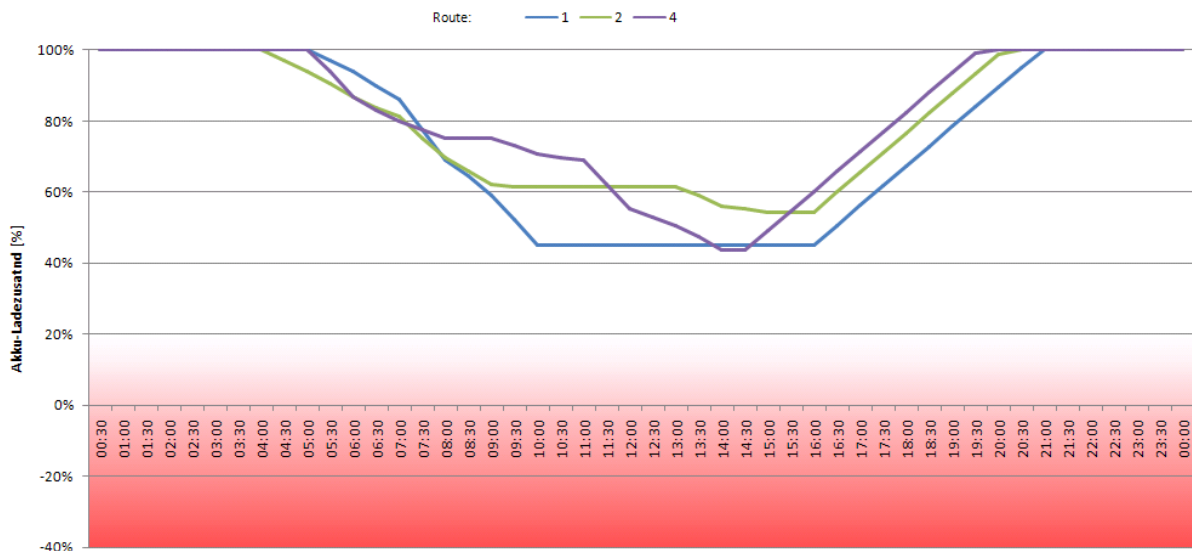


Abbildung 61: zeitlicher Verlauf des Akkuladezustandes - Bring Händler

In Abbildung 62 sind die Handlungsempfehlung aus dem Tourenplaner für die einzelnen Tagestouren aufgelistet. Aufgrund der ausreichenden Reichweiten ergeben sich bezgl. der Ersatzentscheidung ausschließlich positive Beurteilungen.

Route	Tourencheck	
	konventionelles durch E-Fahrzeug ersetzbar	Erklärung
1	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
2	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
3	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
4	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
5	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.

Abbildung 62: Empfehlung lt. Tourenplaner - Bring Händler

Wirtschaftlicher & Ökologischer Vergleich

Tabelle 12 zeigt eine Aufstellung der Kosten und des CO₂ Ausstoßes für die beiden Antriebsvarianten.

- Fuhrpark alt → Verbrenner
- Fuhrpark neu → Elektrofahrzeug

Bezeichnung	TCO fix [€]	TCO var [€]	TCO ges [€]	CO2 [t]	€/t
Fuhrpark alt	28.838	8.944	37.782	17,4	
Fuhrpark neu	36.927	3.709	40.636	2,6	
Ersparnis (gesamt)	-8.089	5.235	-2.854	14,8	193,0
Ersparnis (pro Jahr)			-408	2,1	

Tabelle 12: TCO & CO2 im Vergleich - Bring Händler

In der folgenden Abbildung 63 ist der Verlauf der Gesamtkosten über die Nutzungsdauer dargestellt. Prinzipiell ist die Nutzung des Elektrofahrzeuges mit Mehrkosten verbunden. Im ersten Jahr betragen diese € 647,-. Die Differenz der kumulierten Kosten steigt bis zum Ende der Abschreibung (Nutzungsjahr 8) auf € 3.064,- an. Danach nähern sich die beiden Kostenkurven bis zum zehnten Nutzungsjahr wieder auf € 2.239,- an.

Werden die jährlich entstehenden Kosten betrachtet, lässt sich folgende Information ableiten. Die jährlichen Kosten des Elektromobils sind vom ersten Jahr an höher, nähern sich aber stetig denen des Dieselfahrzeuges an ohne diese je zu erreichen.

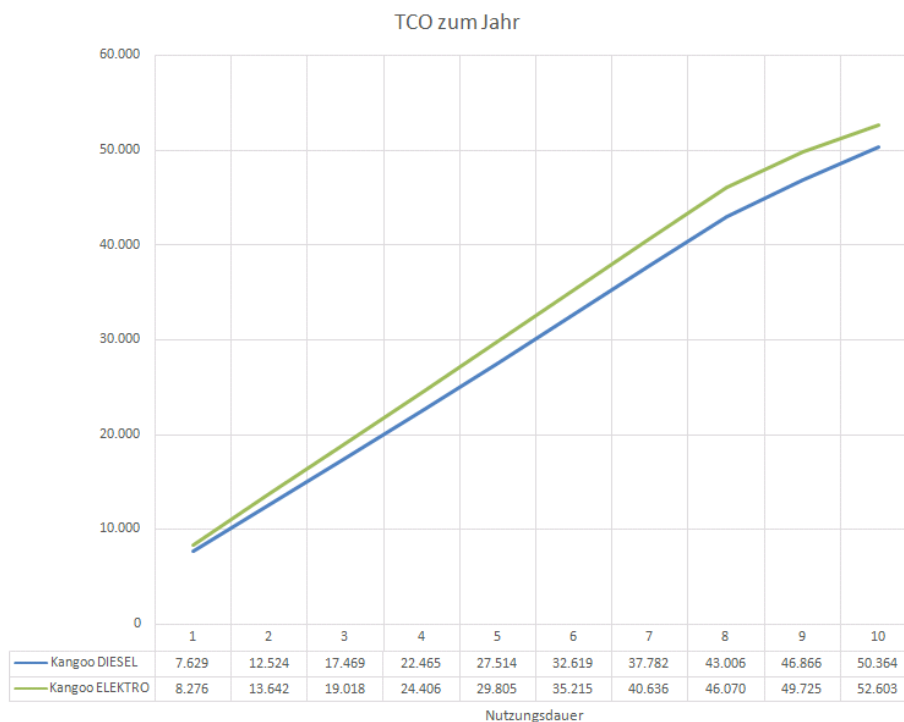


Abbildung 63: TCO Verlauf über Nutzungsdauer - Bring Händler

Abbildung 64 zeigt die relativen Verhältniswerte hinsichtlich Kosten und CO₂. Verglichen wird das Elektrofahrzeug mit dem konventionellen Fahrzeug am Ende der Nutzungsdauer von 7 Jahren. Beim E-Fahrzeug entstehen Mehrkosten von 8% und CO₂ Einsparungen von 85%.

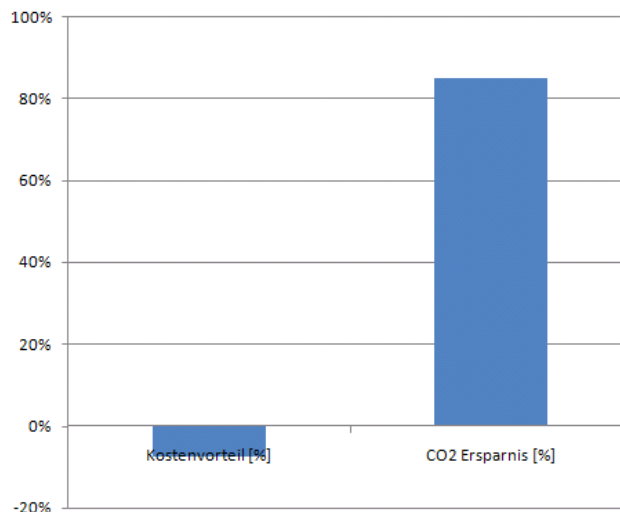


Abbildung 64: relativer Vergleich - Bring Händler

4.3.5 Resümee zum Anwendungsfall

Wie die Ergebnisse aus Kapitel 4.3.4.1 zeigen, ist aus technischer Hinsicht eine Nutzung ohne Einschränkung möglich.

Der Ersatz der Diesel-Variante durch einen Kangoo Z.E. ist trotz Förderung mit jährlichen Mehrkosten von € 408,- (+7,5%) verbunden. Betrachtet man die drei analysierten Szenarien, erhält man bei diesem Anwendungsfall das günstigste Verhältnis von CO₂ Reduktion zu Mehrkosten sofern zwei gleichwertige Fahrzeuge gegenübergestellt werden. Somit fallen auch die geringsten CO₂ Vermeidungskosten an. Sie betragen für diesen Anwendungsfall € 194,- je t CO₂.

Die finanzielle Zusatzbelastung kann möglicherweise mit Gegenleistungen der Umweltrentabilität ausgeglichen werden.

4.4 Geschäftsmodell – KEP-Unternehmen

4.4.1 Erläuterung des Analyse Szenario

Insgesamt werden sechs verschiedene Liefertouren eines Kurier-, Express- und Paketdienstes hinsichtlich der Nutzung von Elektrofahrzeugen analysiert. Die kürzeste Tagestour umfasst 48km Wegstrecke und die Längste 61km. Die Strecken wurden in einer reinen Fahrzeit von 1,5h bis 3,5h absolviert. Laut der durchgeführten Testaktion gelten diese Annahmen als repräsentative Werte für das Tourenverhalten von KEP-Diensten im innerstädtischen Bereich. Für alle Touren wird der Ersatz eines dieselbetriebenen Lieferwagens (Renault Kangoo Maxi dCi 90) durch eine elektrische Ausführung desselben Modells (Renault Kangoo Z.E Maxi 2-Sitzer) untersucht.

4.4.2 Annahmen

Tourenplaner

Die für die Betrachtungen verwendeten Touren entstammen der Erfassung in der Testaktion. In Tabelle 6 sind die wichtigsten Parameter dazu angegeben.

Aufgrund der großen Anzahl an Tagestouren wurde die Darstellung der Tagesabläufe auf zwei Abbildungen (Abbildung 65 und Abbildung 66) aufgeteilt. Der Zeitstreifen verläuft darin horizontal, von links nach rechts. In den Zeilen unter der Uhrzeit sind die gefahrenen Kilometer im halbstündlichen Intervall als Zahlenwert angegeben und orange hinterlegt. Blau hinterlegte „x“ stehen für einen Ladevorgang. Leere Felder bedeuten den Status quo, also weder fahren noch laden wie z.B. einfaches parken.

In der ersten Spalte auf der linken Seite steht die Bezeichnung der Tagestour vermerkt. Die ersten drei Ziffern stehen für die Tour-Nummer. Jede Tour wurde an vier- bis fünf aufeinanderfolgenden Tagen erfasst. Diese unterscheiden sich durch die letzte Zahl, die mit einem Unterstrich von der Tour-Nummer getrennt ist.

Input			
Daten Allgemein	1 - Einfluss des Fzg-Zeitwertes: Ein (1) oder Aus (0)	1	
	2 - Förderung: prozentuell auf Differenzkosten	0%	und/ oder
	4 - jährliche Kilometerleistung	12.000	3 - Förderung Betrag
	5 - Gratistanken	5%	
	6 - Kosten - Diesel [€/l]	€ 1,20	Fzg
	6 - Kosten - Erdgas [€/l]	€ 1,00	1
	6 - Kosten - Strom [€/kWh]	€ 0,22	2
			3
			4
			5
			8 - erwartete Kosten
			Fzg
			1
			2
			3
			4
			5
			Parken p.a.
			1
			2
			3
			4
			5
			Infrastruk.
			1
			2
			3
			4
			5
	7 - Steigerung p.a. - Stromkosten	2,1%	
	7 - Steigerung p.a. - Dieselpreis	4,2%	
	7 - Steigerung p.a. - Gaspreis	4,2%	
	9 - Nutzungsdauer [Jahre]	5	

Tabelle 13: Input Wirtschaftliche Betrachtung - KEP

Für die ökologischen Betrachtungen wird der CO₂ Ausstoß über den Energieverbrauch berechnet. Die hier zugehörigen Umrechnungsfaktoren sind in Tabelle 8 dargestellt.

4.4.3 Kurzfassung der Ergebnisse

Die Betrachtungen im Tourenplaner zeigen, dass alle Touren selbst bei extremen Wetterbedingungen mit mehr als 25% Rest-Akkuladung absolviert werden können. Wie in Tabelle 6 angegeben ist die Zuladung in diesem Anwendungsfall sehr hoch. Sie beträgt zwischen 267kg und 875kg. Da derzeit keine gesicherten Informationen bzgl. Zuladung und dem daraus resultierenden Mehrverbrauch verfügbar sind, war es auch nicht möglich diese bei der Reichweiten-Kalkulation zu berücksichtigen. Eine der angegebenen Transportlasten in diesem Szenario überschreitet die zulässige Nutzlast des Elektro-Kangoo. Die Verwendung eines alternativen Elektrofahrzeug-Modells schafft hier auch keine Abhilfe, da derzeit kein E-Mobil mit ausreichender Nutzlast verfügbar ist. Um den Einsatz eines Elektrofahrzeuges zu ermöglichen muss daher die Lademenge reduziert werden.

Die Gesamtkosten für den konventionellen Diesel-Lieferwagen sind pro Jahr um € 559,- geringer als beim E-Lieferwagen. Im Falle einer Substitution in allen sechs betrachteten Zustellfahrten ergeben sich für den elektrischen Fuhrpark somit € 3.354,- an jährliche Mehrkosten. Als Gegenleistung ist die Möglichkeit einer Umwegrentabilität zu beachten. Diese aufzuzeigen und zu quantifizieren ist jedoch nur mit eingehender Kenntnis des Geschäftskonzeptes möglich und somit nicht Teil dieser Analyse. Des Weiteren verringert sich der Ausstoß von CO₂ um 10,9 t pro Jahr.

Somit sind in diesem Anwendungsfall die CO₂-Vermeidungskosten mit € 308,- je Tonne anzugeben.

Aufgrund der notwendigen Ladezeiten ist die Verwendung der Elektro-Lieferwägen für einen zwei-schichtigen Betrieb nicht möglich.

4.4.4 Ergebnisse im Detail

4.4.4.1 Reichweite

In den Balkendiagrammen in Abbildung 67 und Abbildung 68 ist die genutzte Bandbreite des Akkus bei extremen Wetterbedingungen dargestellt. Bei den sechs erfassten Touren wurde jeweils die längste ausgewählt und für den Reichweiten-Check herangezogen. Die Maximalwerte sind in den Diagrammen mit schwarzstrichlierten Linien markiert.

Alle Touren können mit einer Restladung von über 20% absolviert werden. Eine Verwendung von Elektrofahrzeugen ist aus Sicht der notwendigen Reichweiten problemlos möglich.

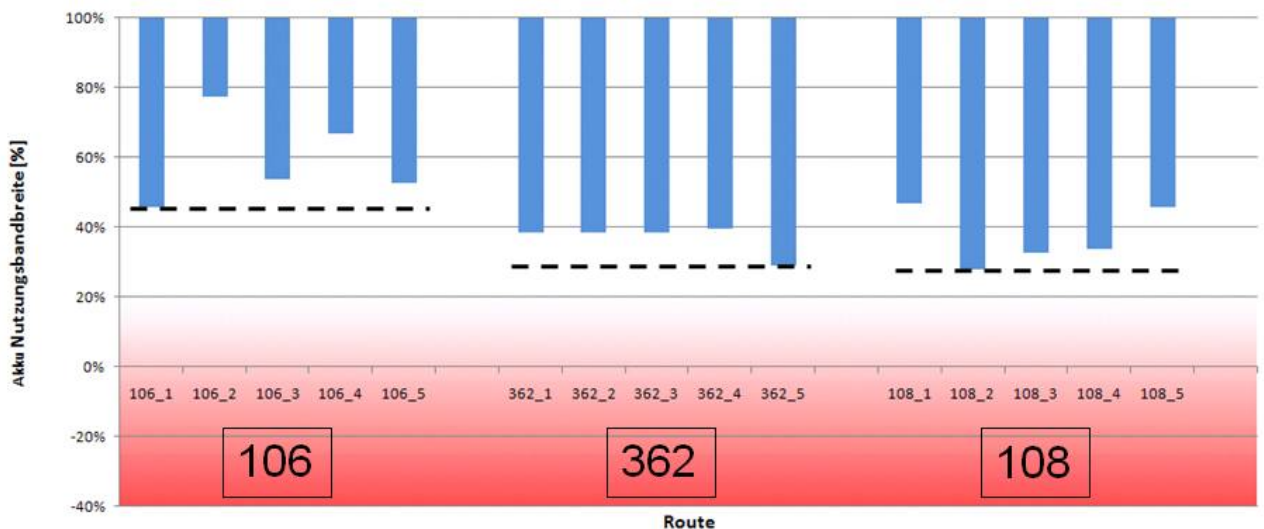


Abbildung 67: Akkubandsbreiten 1 (heiß/kalt) – KEP

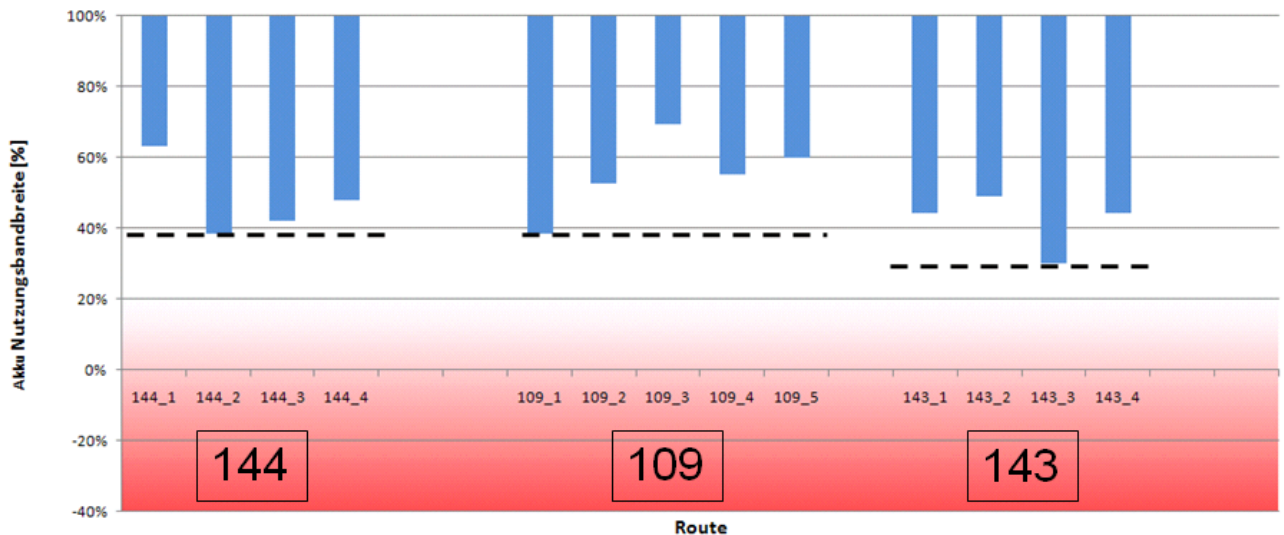


Abbildung 68: Akkubandbreiten 2 (heiß/kalt) – KEP

4.4.4.2 Wirtschaftliche Aspekte

Bei der Gesamtkostenrechnung werden alle Kosten die im Betrachtungszeitraum von fünf Jahren anfallen berücksichtigt. Abbildung 69 zeigt das Ergebnis für die gesamte Fahrzeugflotte von sechs Fahrzeugen.

Wie schon bei vorangegangenen Betrachtungen führt die Verwendung von Elektrofahrzeugen wieder zu Mehrkosten. Im angenommen Betrachtungszeitraum betragen sie für den gesamten Fuhrpark € 16.766,- oder € 559,- pro Fahrzeug und Nutzungsjahr. Grund für die Teuerung sind die um € 34.907,- höheren Fixkosten, denen Einsparungen von € 18.141,- bei den variablen Kosten gegenüberstehen.

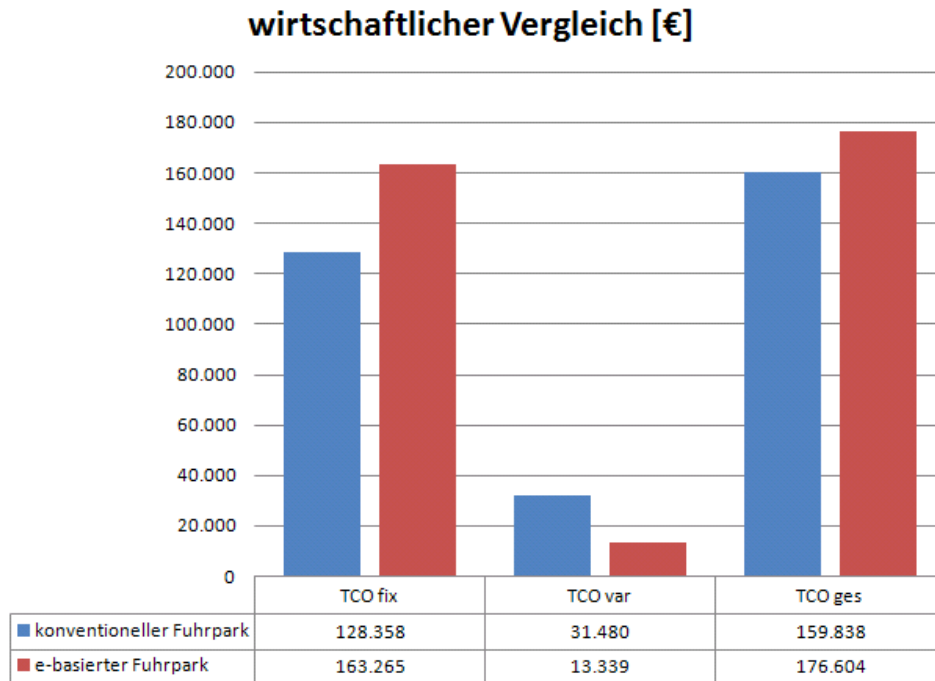


Abbildung 69: TCO Vergleich - KEP

Umweg-Rentabilität

Neben den aufgeführten quantifizierbaren Kenngrößen wurden im Zuge der Untersuchungen auch einige nicht oder nicht eindeutig quantifizierbare Faktoren ermittelt. Welchen Gegenwert diese darstellen kann nur mit tiefergehender Kenntnis der Marktsituation und der zukünftigen Geschäftsausrichtung abgeschätzt werden. Daher werden die Faktoren im Folgenden ohne Angabe von Zahlenwerten aufgeführt.

- Imageverbesserung
- Umsatzsteigerung
- Planungssicherheit

4.4.4.3 Ökologische Aspekte

CO₂ Ausstoß

Abbildung 70 zeigt den jährlichen CO₂ Ausstoß der beiden Flottenvarianten. Die Differenz beträgt 10,9t pro Jahr. In Summe lassen sich über den Betrachtungszeitraum von fünf Jahren somit 54,3t CO₂ einsparen. Relativ ausgedrückt sind das Einsparungen im Umfang von 84%.

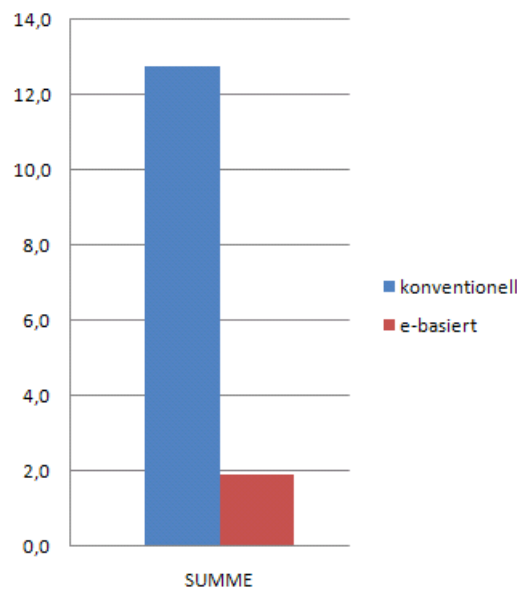


Abbildung 70: CO₂ Vergleich [t/a] – KEP

4.4.4.4 Weitere Ergebnisauswertung

Tourenplaner

Abbildung 71 und Abbildung 72 zeigen den Verlauf des Akkuladestandes über 24 Stunden unter extremen Wetterbedingungen. Dargestellt sind die jeweils längsten Strecken der sechs Touren.

Ad Tourenplaner Datensatz 1 (Abbildung 71):

Die Mindest-Ladestände betragen zwischen 29% und 33%.

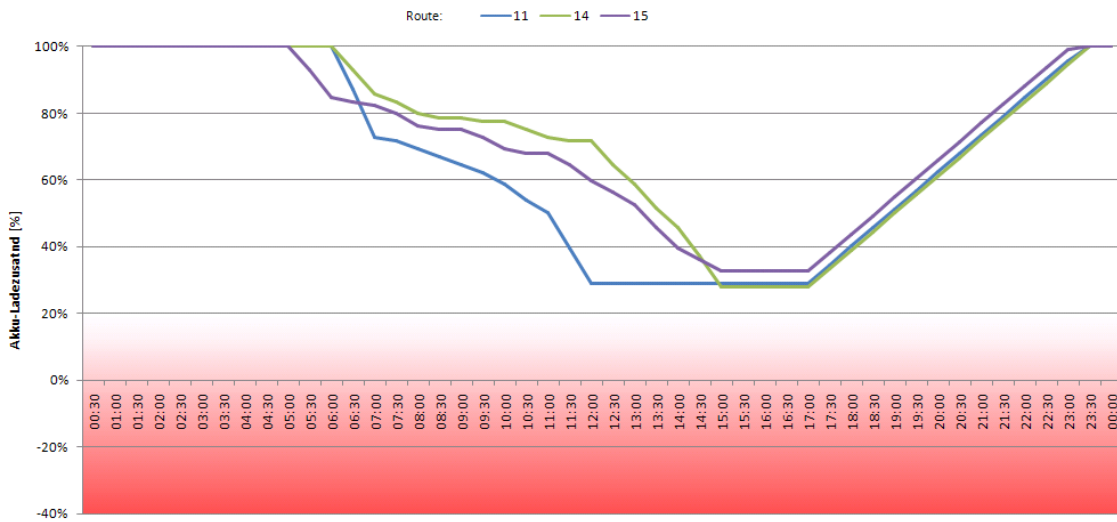


Abbildung 71: zeitlicher Verlauf des Akkuladestandes 1 - KEP

Ad Tourenplaner Datensatz 2 (Abbildung 72)

Die Mindest-Ladestände betragen zwischen 30% und 39%.

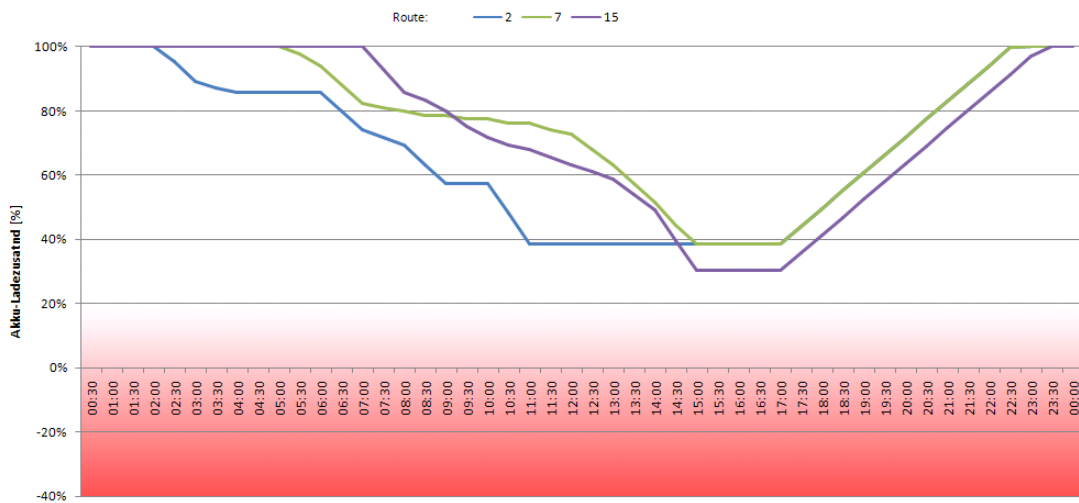


Abbildung 72: zeitlicher Verlauf des Akkuladestandes 2 - KEP

Es besteht bei keiner Tour ein Reichweitenproblem. Zum Tageswechsel sind die Fahrzeuge aller Touren bereits wieder vollständig aufgeladen. Insofern sind die verfügbaren Ladezeiten mehr als ausreichend.

Die Handlungsempfehlung aus dem Tourenplaner sind in Abbildung 72 und Abbildung 73 dargestellt. Jede Zeile beschreibt eine aufgezeichnete Tagestour. Die unterschiedlichen Touren sind durch eine leere Zeile getrennt. Aufgrund der ausreichenden Reichweiten ergeben sich bezgl. der Ersatzentscheidung durchgehend positive Empfehlungen.

Route	Tourencheck	
	konventionelles durch E-Fahrzeug ersetzbar	Erklärung
1	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
2	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
3	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
4	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
5	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
6		
7	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
8	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
9	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
10	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
11	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
12		
13	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
14	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
15	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
16	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
17	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.

Abbildung 73: Empfehlung lt. Tourenplaner Datensatz 1 – KEP

1	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
2	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
3	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
4	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
5		
6		
7	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
8	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
9	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
10	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
11	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
12		
13	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
14	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
15	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.
16	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.

Abbildung 74: : Empfehlung lt. Tourenplaner Datensatz 2 – KEP

Wirtschaftlicher & Ökologischer Vergleich

Tabelle 14 zeigt eine Aufstellung der Kosten und des CO₂-Ausstoßes für die beiden Antriebsvarianten.

Fuhrpark alt → Verbrenner
Fuhrpark neu → Elektrofahrzeug

Bezeichnung	TCO fix [€]	TCO var [€]	TCO ges [€]	CO2 [t]	€/t
Fuhrpark alt	128.358	31.480	159.838	63,9	
Fuhrpark neu	163.265	13.339	176.604	9,6	
Ersparnis (gesamt)	-34.907	18.140	-16.766	54,3	308,7
Ersparnis (pro Jahr)			-3.353	10,9	

Tabelle 14: TCO & CO2 im Vergleich - KEP

Abbildung 75 zeigt den Verlauf der Gesamtkosten über die Nutzungsdauer. Die Verwendung eines Elektrofahrzeugs ist über den gesamten dargestellten Zeitraum von zehn Jahren mit Mehrkosten verbunden. Im ersten Jahr der Nutzung betragen diese € 737,- je Fahrzeug. Mit längerer Nutzungsdauer wird die Kostendifferenz, jährlich betrachtet, etwas geringer. Nach der, für dieses Szenario angenommenen, Verwendungszeit von 5 Jahren betragen die gesamten Mehrkosten € 2.794,-

oder auf ein Jahr bezogen € 559,-. Im 8. Jahr der Nutzung macht der Verlauf der Kosten einen Knick da die Fahrzeuge vollständig abgeschrieben sind.

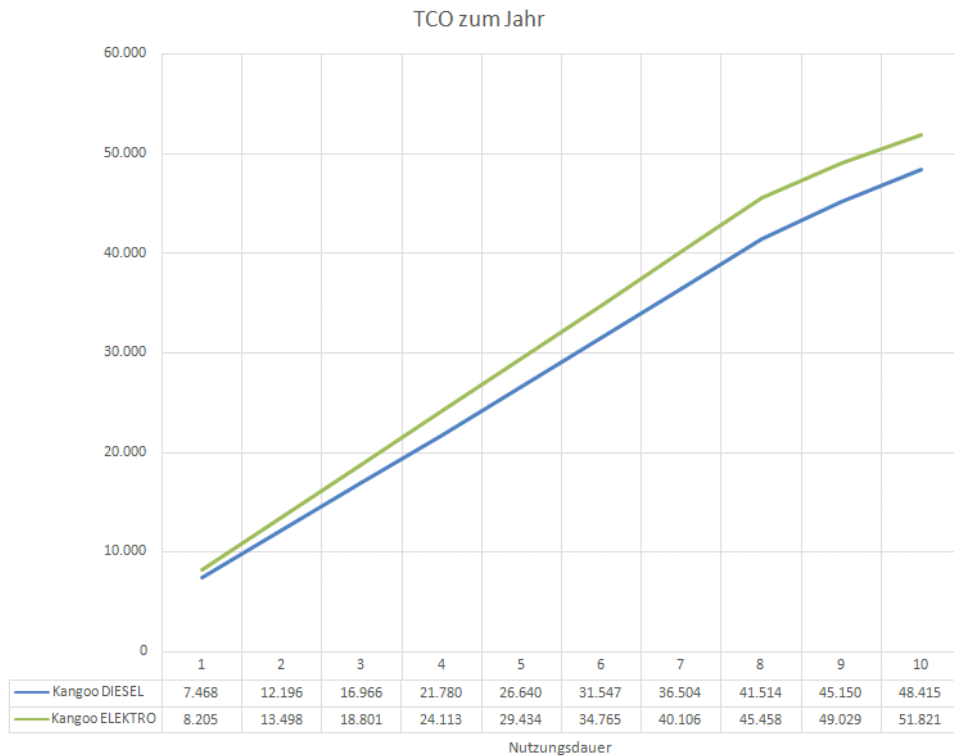


Abbildung 75: TCO Verlauf der Kosten je Fahrzeug über Nutzungsdauer - KEP

Abbildung 76 zeigt die relativen Verhältniswerte hinsichtlich Kosten und CO₂ nach fünf Jahren Nutzungsdauer. So ergeben sich für den elektrischen Fuhrpark CO₂-Einsparungen von 84% und Mehrkosten von 10,5%.

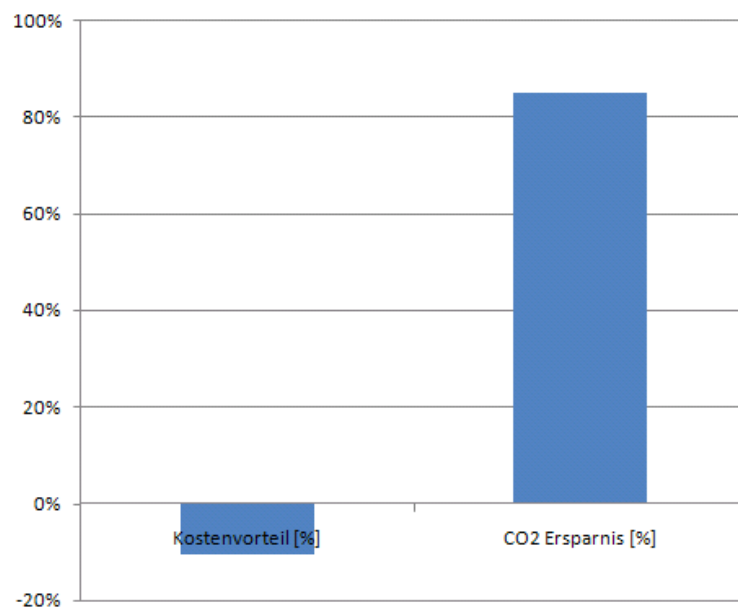


Abbildung 76: Relativer Vergleich - KEP

4.4.5 Resümee zum Anwendungsfall

Wie die Ergebnisse aus Kapitel 4.4.4.1 zeigen, kann aus technischer Sicht eine Nutzung ohne Einschränkungen gewährleistet werden.

Der Ersatz der Diesel-Variante durch einen Kangoo Z.E. ist trotz Förderung mit jährlichen Mehrkosten von ca. € 559,- je Fahrzeug (+10,5 %) verbunden. Jeder Lieferwagen spart pro Jahr 1,8t CO₂ ein. Somit ergeben sich je Tonne CO₂-Vermeidungskosten von € 308,-.

Die finanzielle Zusatzbelastung kann mit möglichen Gegenleistungen der Umwegrentabilität abgewogen werden.

Die Ergebnisse aus den drei untersuchten Geschäftsfällen werden in Kapitel 6 zusammengefasst und analysiert.

5 Untersuchungen - Urbaner Raum

Nach den Untersuchungen zur Elektrifizierung einzelner Unternehmen folgt die Betrachtung gesamter Ballungsräume. Die Fragestellung lautet, welche Auswirkungen betrieblich genutzte, (teil-)elektrifizierte Fahrzeugflotten auf den gesamten urbanen Raum haben.

Mit dem City-Tool soll dies für die Stadt Graz analysiert werden. Nicht alle statistische Werte zur Stadt Graz, die hierfür erforderlich sind, waren auch verfügbar. Nicht vorhandene Informationen werden durch ein Modell, das auf statistischen Erhebungen im deutschsprachigen Raum basiert, angenähert. Im Anschluss an die Berechnungen werden die Ergebnisse am Ende des Kapitels analysiert.

5.1 Rechenmodell zur Stadt Graz

5.1.1 Basisdaten - Stadt Graz

Quellen: [Sta13], [Gra15]

Einwohner (lt. 31.12.2014): 276.526

KFZ je 1000 Einwohner: 598,7

→ Anzahl gemeldeter KFZ: 165.556

Abbildung 77 zeigt die Fahrzeughalterdichte in Österreich. Umso strukturschwächer eine Region ist, desto mehr ist die örtliche Bevölkerung auf ein eigenes KFZ angewiesen. Folgedessen ist auch die Dichte an zugelassenen Fahrzeugen höher.

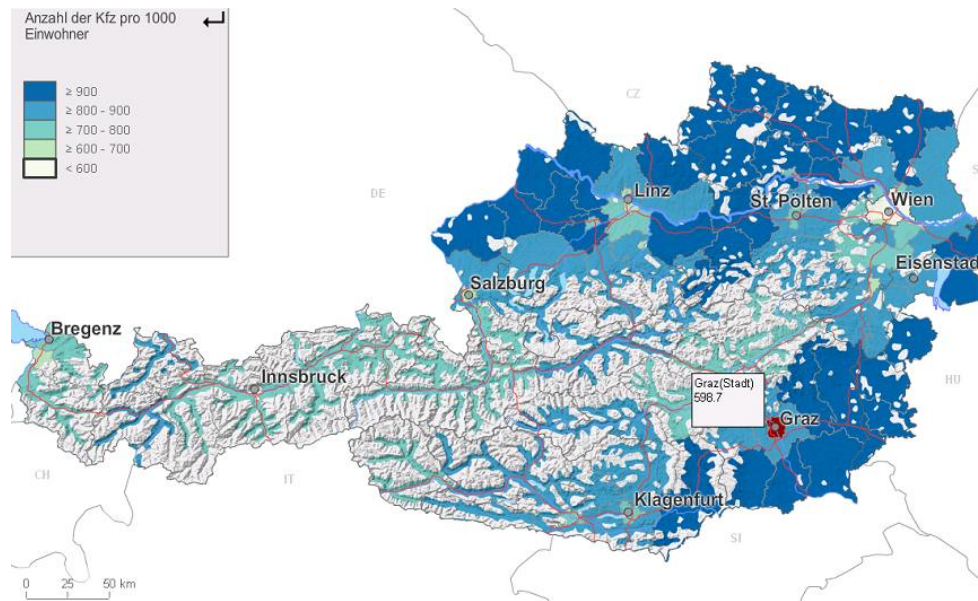


Abbildung 77: Fahrzeughalterdichte Österreich [Sta13]

5.1.2 Näherungsmodell

Folgende Daten wurden für die Bundesrepublik Deutschland erhoben. Aufgrund sehr ähnlicher Gegebenheiten gelten diese näherungsweise auch für Österreich.

Quelle: [KiD10]

Anteil gewerblich genutzter Fahrzeuge <3,5t

Das Angebot an Elektrofahrzeugen über 3,5t höchst zulässigem Gesamtgewicht ist äußerst beschränkt. Dabei handelt es sich durchwegs um Sonderanfertigungen, die mit entsprechend hohen Kosten verbunden sind und deren Leistungsfähigkeit vergleichsweise eingeschränkt ist. Außer bei Spezialanwendungen ist eine wirtschaftlich tragbare Verwendung solcher Fahrzeuge derzeit äußerst unwahrscheinlich. Daher wird in diesem Rechenmodell nur die Elektrifizierung von Fahrzeugen unter 3,5t in Betracht gezogen.

Abbildung 78 zeigt den Anteil der einzelnen Fahrzeugarten am Gesamtbestand mit der Zusatzinformation, ob sie privat oder gewerblich genutzt werden. Alle relativen Angaben beziehen sich auf den Gesamtbestand.

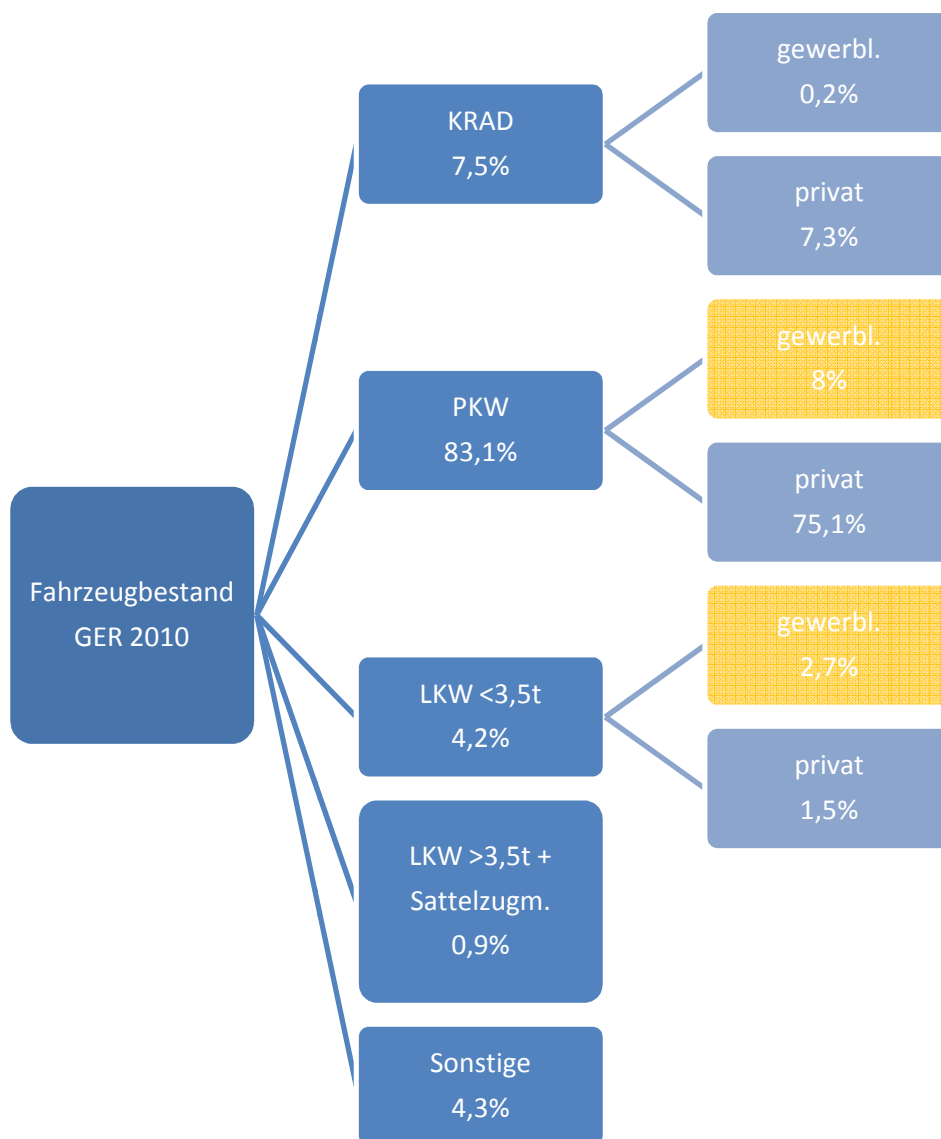


Abbildung 78: Fahrzeugbestand Deutschland 2010 (nach [KiD10])

Anteil der gewerblich genutzter Fahrzeuge <3,5t: 10,7%
 → entspricht in Graz absolut: 17.770

Verhältnis gewerblicher PKW zu LKW unter 3,5t

PKW 75% → entspricht in Graz absolut: 13.266
 LKW 25% 4.504

Tägliche Fahrleistung <80km

Elektrofahrzeuge sind aufgrund ihrer beschränkten Reichweite zur Führung langer Touren ungeeignet. Angenommen wird, dass eine durchschnittliche Wegstrecke von 80km je Tag für eine Flotte von Elektrofahrzeugen machbar ist. Dies soll in die Berechnungen mit einfließen.

Tabelle 15 enthält Kennzahlen wie konventionelle Fahrzeuge im Wirtschaftsverkehr eingesetzt werden.

Tägliche Laufleistung		
	Mittelwert [km]	obere Grenze [km]
PKW	72,2	74,9
LKW <3,5t	61,1	63,1

Tabelle 15: tägl. Laufleistung je Fahrzeugtyp

Die obere Grenze der Statistik bedeutet, dass 75% der Gesamtmenge über einen geringeren Wert verfügen. Daraus folgt die Annahme: Folgender Anteil absolviert eine geringere durchschnittlichen Fahrleistung als 80km/Tag:

PKW	80%	→ entspricht in Graz absolut:	10.612
LKW <3,5t	85%		<u>3.603</u>
Summe			14.215

Durchschnittliche Wegstrecke

Diese beträgt für alle gewerbliche eingesetzten PKW's und LKW's <3,5t pro Tag 69,4km. Aufgerechnet auf ein Jahr mit 250 Arbeitstagen ergibt sich eine Jahreskilometerleistung von 17.347 km.

5.1.3 Zusammenfassung

Folgende Kennzahlen wurden für die Stadt Graz ermittelt:

- Potential für Elektrofahrzeuge <3,5t im Gewerbe 14.215 Stk.
- Durchschnittliche Jahreskilometerleistung 17.347 km/Jahr

Diese Basisdaten werden für den folgenden Berechnungsfall herangezogen.

5.2 Fallbeispiel – Ökologischer Fuhrpark

5.2.1 Weitere Annahmen

5.2.1.1 Zusammensetzung des Fuhrparks

Die Zusammensetzung des vorhandenen Fuhrparks ist in Abbildung 79 ersichtlich. Sie entspricht in etwa den heute vorherrschenden Verhältnissen.

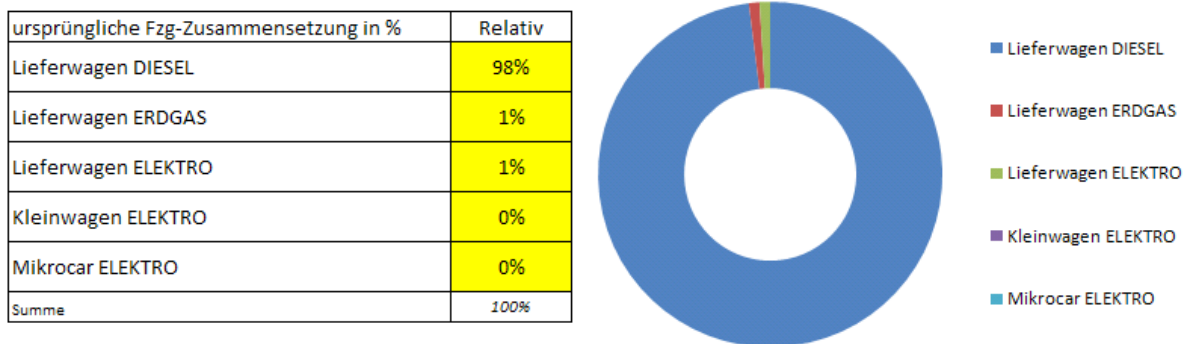


Abbildung 79: Fallbeispiel – Fuhrpark derzeit

Untersucht wird ein Zukunftsszenario bei dem ein Großteil der dieselbetriebenen Lieferfahrzeuge durch eine elektrische Variante ersetzt wird. Für spezielle Anwendungen ist im geringen Umfang auch die Verwendung von kleinen wendigeren Ausführungen angedacht. Der Nutzung von Erdgas-Fahrzeugen wächst auf 10% an.

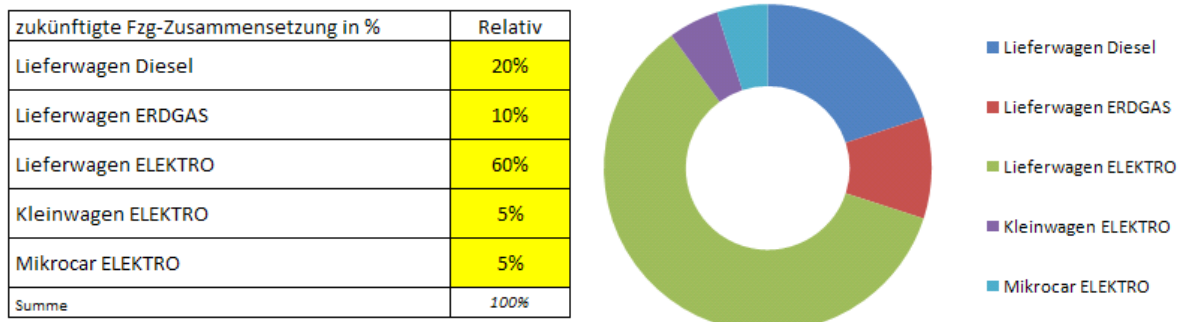


Abbildung 80: Fallbeispiel - Fuhrpark zukünftig

5.2.1.2 Wirtschaftliche Faktoren

Die für die Kalkulation verwendeten ökonomischen Rahmenbedingungen sind in Abbildung 81 angeführt. Die Fördermaßnahmen wurden entsprechend aktuell vorhandener Maßnahmen angenommen.

Input				
Daten Allgemein	1 - Einfluss des Fzg-Zeitwertes: Ein (1) oder Aus (0)	1		
	2 - Förderung: prozentuell auf Differenzkosten	0%		
	4 - jährliche Kilometerleistung	17.347		
	5 - Gratistanken	10%		
	6 - Kosten - Diesel [€/l]	€ 1,20		
	6 - Kosten - Erdgas [€/l]	€ 1,00		
	6 - Kosten - Strom [€/kWh]	€ 0,22		
	7 - Steigerung p.a. - Stromkosten	2,1%		
	7 - Steigerung p.a. - Dieselpreis	4,2%		
	7 - Steigerung p.a. - Gaspreis	4,2%		
9 - Nutzungsdauer [Jahre]	5			
	3 - Förderung Betrag			
		Fzg	€	
		Lieferwagen Diesel	0	
		Lieferwagen Gas	800	
		Lieferwagen Elektro	2.000	
		Kleinwagen Elektro	2.000	
		Microcar Elektro	2.000	
	8 - erwartete Kosten	Fzg	Parken p.a.	Infrastruk.
		Lieferwagen Diesel	150	0
		Lieferwagen Gas	150	0
		Lieferwagen Elektro	0	1,050
		Kleinwagen Elektro	0	1,050
		Microcar Elektro	0	0

Abbildung 81: Fallbeispiel – ökonomischer Rahmenbedingungen

5.2.2 Ergebnisse

Abbildung 82 zeigt die Umwelt-Auswirkungen der geänderten Fuhrpark-Zusammensetzung. Der CO₂-Ausstoß kann in Summe um 60% verringert werden. Der Vollständigkeit halber muss angemerkt werden, dass die zukünftige Fahrzeugflotte zu je 5% aus E-Kleinwagen und E-Microcars besteht. Diese befinden sich hinsichtlich der Fahrzeuggröße und Leistungsfähigkeit nicht auf dem Niveau eines Lieferwagens. Würden diese, in Summe 10%, ebenfalls von E-Lieferwagen ausgeführt werden, verbleiben dennoch über 59% an CO₂-Einsparung. Insofern ist gut erkennbar, dass der Einsatz von E-Fahrzeugen unabhängig von deren Ausführung, große CO₂-Einsparungen mit sich bringt. Der Hintergrund warum im zukünftigen Fuhrpark auch Fahrzeuge kleinerer Bauart inkludiert sind ist der, dass Unternehmen speziell für Anwendungen in Stadtzentren vermehrt auf flexible und wendigere Fahrzeuge setzen werden.

Es ist auffallend, dass die Erdgaslieferwägen trotz verhältnismäßig geringem Anteil an der gesamten Flotte doch sehr hohe Mengen an CO₂ ausstoßen.

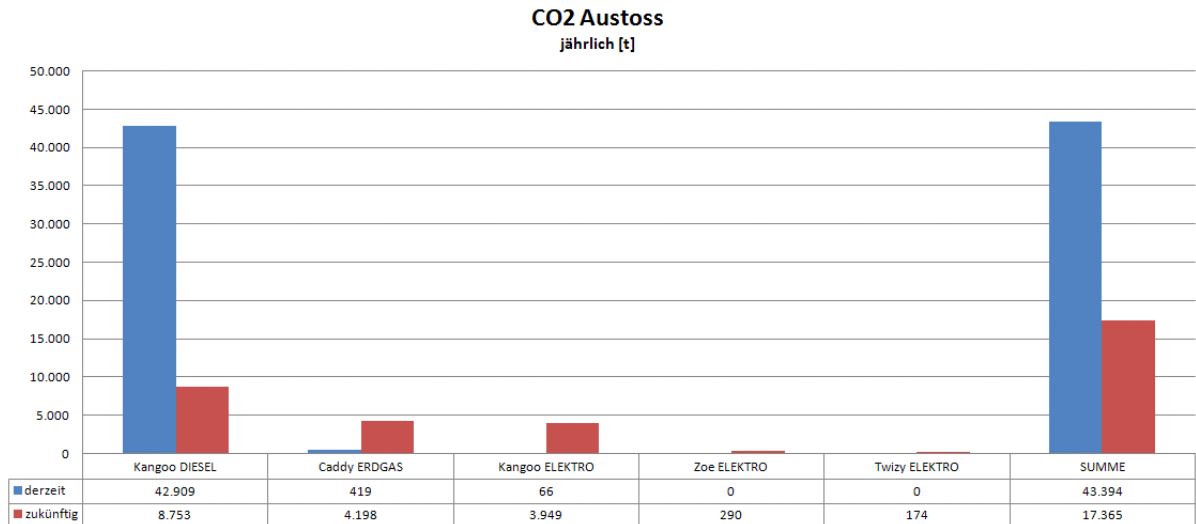


Abbildung 82: Fallbeispiel - CO₂ Ergebnis

In Abbildung 83 ist die TCO-Kostensituation der beiden Fuhrpark-Konfigurationen dargestellt. Bei den fixen und variablen Anteilen zeigt sich ein gegensätzliches Verhalten. Der bestehende Fuhrpark ist bei den fixen Kosten um über 18% im Vorteil. Mit dem neuen Fuhrpark kommt es dafür fast zu einer Halbierung der variablen Kosten. In Summe sind die Kosten für den bestehenden Fuhrpark um ca. 2% geringer.

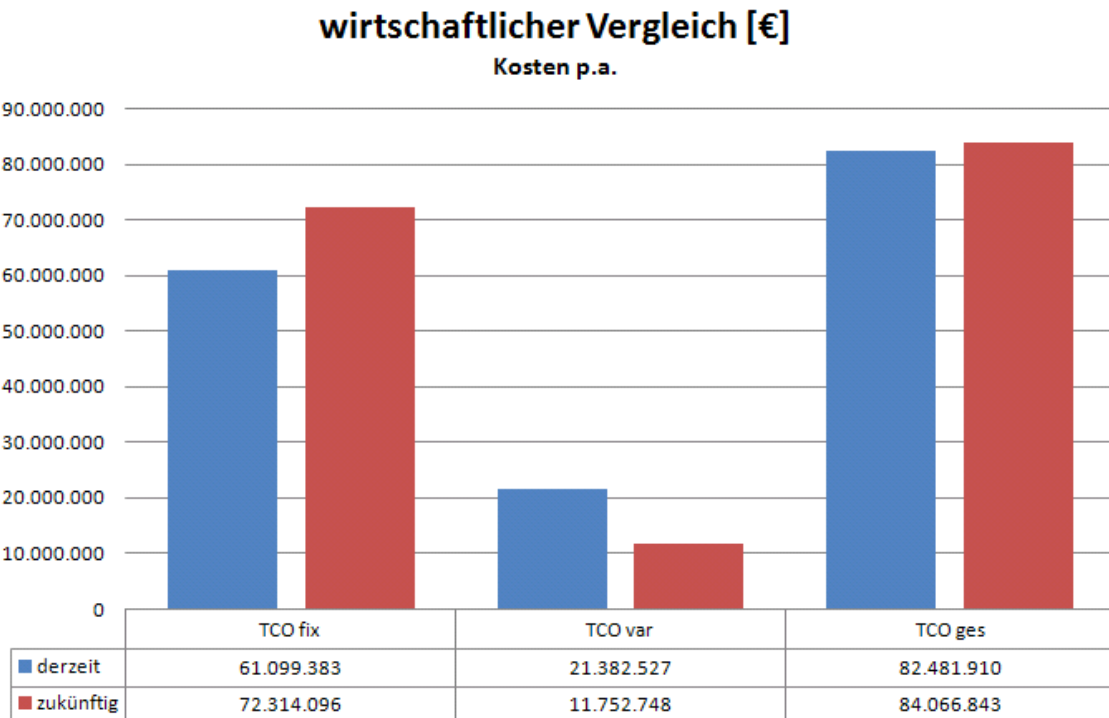


Abbildung 83: Fallbeispiel - TCO Ergebnis

Abbildung 84 stellt ökologischen Nutzen und finanziellen Aufwand gegenüber. Mit Mehrkosten von etwa 2% lässt sich eine CO₂-Reduktion von 60% erreichen.

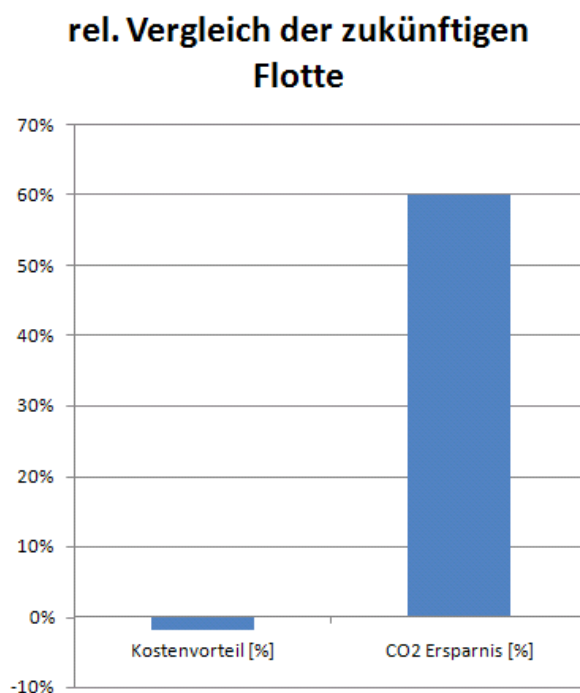


Abbildung 84: Fallbeispiel - relativer Vergleich

Für eine wie im Fallbeispiel beschriebene Verbreitung von E-Fahrzeugen ist der Unternehmerwille von entscheidender Bedeutung. Abbildung 85 stellt die Situation aus Sicht des Unternehmers dar. Die jährlichen Mehrkosten je Fahrzeug betragen im Durchschnitt etwa € 111. In Zeiten des harten Wettbewerbs, bei dem eine ständige Optimierung der Kosten notwendig ist kann dies jedoch der entscheidende Nachteil sein. Nicht zu vergessen sind die in Kapitel 4.2.4.2 beschriebenen Möglichkeiten der Umwegrentabilität. Sollten diese die Mehrkosten nicht rechtfertigen, bleibt für die Zukunft zu hoffen dass die Weiterentwicklung der E-Fahrzeuge die Anschaffungskosten senkt. Eine Erhöhung der Fördergelder ist eher unwahrscheinlich. Hier geht die Tendenz aufgrund leerer Staatskassen eher in Richtung Reduktion.

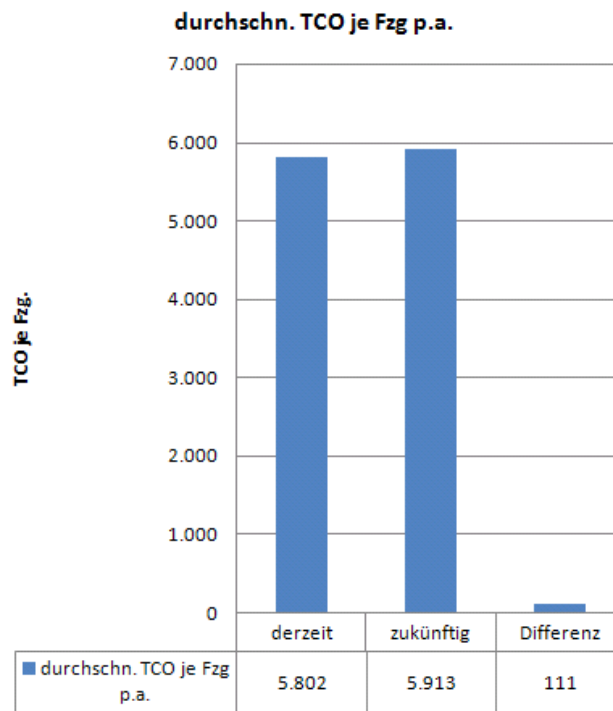


Abbildung 85: Fallbeispiel - TCO je Fzg.

Da nun Kosten und Nutzen der Maßnahme bekannt sind, können diese mit anderen CO₂-Reduktionsmaßnahmen verglichen werden. Aus dem Fallbeispiel gehen CO₂-Vermeidungskosten von 61 € je Tonne (Fördergelder sind darin nicht berücksichtigt) hervor.

Eine Untersuchungen über Vermeidungskosten in Oberösterreich (Quelle:[SSG11]) liefert Vergleichswerte von 56 unterschiedlichen Maßnahmen. In Abbildung 86 sind deren Vermeidungskosten sowie die Reduktionsmenge aufgetragen. Die Kennzahlen des Fallbeispiels sind vom Koordinatenursprung ausgehend in oranger Farbe eingezeichnet. Hierfür wird die vermeidbare Menge über das Verhältnis der Einwohnerzahlen von Oberösterreich und Graz skaliert und beträgt 135.243 t CO₂ pro Jahr.

Unter Kennzahl „V8“ sind Werte für E-Fahrzeuge die mit erneuerbare Energie betrieben werden zu finden. Der Differenzwert zwischen Fallbeispiel (61 €) und gegebenem Wert (478 €) folgt zum Großteil aus den unterschiedlichen Energiequellen. 100% erneuerbare Energie ist wesentlich teurer als die entsprechend dem österreichischen Strommix. Um beim Fallbeispiel auf dieselben Kosten zu kommen muss mit einem Strompreis von 0,63 €/kWh kalkuliert werden. Die vermeidbare Emissionsmenge ist bei „V8“ ebenso höher, da der gesamte Fahrzeugbestand ohne jegliche Einschränkungen in Betracht gezogen wird.

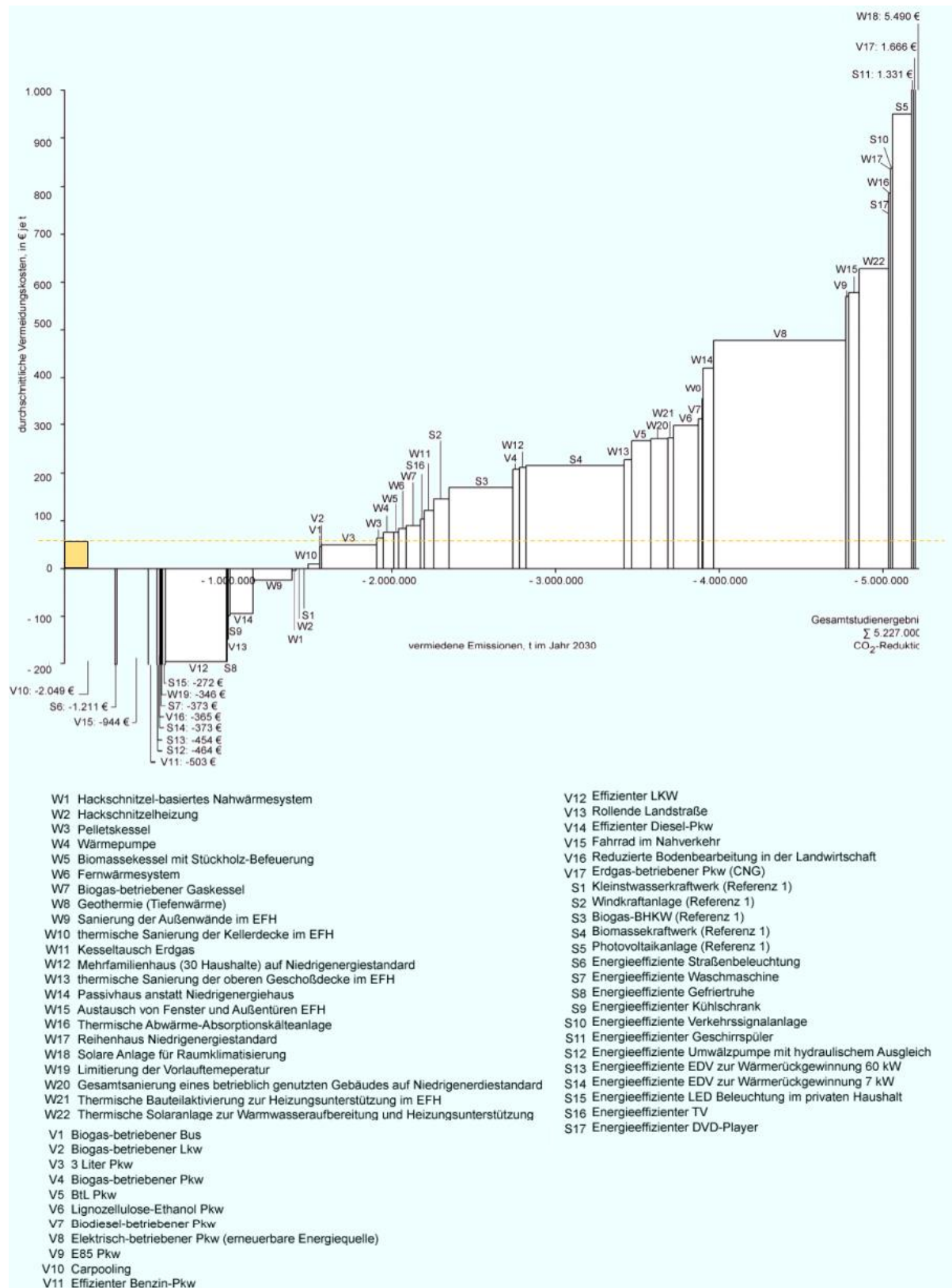


Abbildung 86: CO2 Vermeidungskosten im Vergleich (vgl. [SSG11])

Erkenntnisse aus den Betrachtungen zu einem flächendeckenden Einsatz von Elektrofahrzeugen in einem Ballungszentrum:

- E-Fahrzeuge führen im Betrieb zu wesentlichen CO₂-Einsparungen, unabhängig vom verwendeten Fahrzeugmodell.
- Erdgasfahrzeuge führen zu keiner wesentlichen Verbesserung in punkto CO₂-Emission.
- Eine „grüne“ Fahrzeugflotte ist mit höheren Fixkosten und geringeren variablen Kosten verbunden.
- In Summe ist ein umweltfreundlicher Fuhrpark derzeit geringfügig teuer.
- Umwegrentabilität ist derzeit die einzige Möglichkeit den Kostennachteil wettzumachen.
- Damit E-Fahrzeuge in Zukunft eine größere Verbreitung finden, könnte man die Fördermaßnahmen erhöhen. Andernfalls ist auf eine Kostensenkung im Zuge der fortschreitenden Fahrzeugentwicklung zu hoffen.
- In den Berechnungen sind die Kosten für eine flächendeckende Lade-Infrastruktur nicht enthalten. Für eine weite Verbreitung von E-Fahrzeugen wäre eine flächendeckende Applikation solcher Einrichtungen von Nöten.
- Die CO₂-Vermeidungskosten liegen im Vergleich zu diversen anderen Maßnahmen auf einem eher mäßigen Niveau.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Betrachtung der Geschäftsmodelle brachte im Kern folgendes Resultat:

Zwei von drei Fällen ergaben, dass Elektrofahrzeuge aus technischer Sicht für die angedachte Aufgabe geeignet sind. Für den dritten Fall verfügen die E-Fahrzeuge über eine ausreichende Reichweite, aber die maximal zulässige Nutzlast wird überschritten. Die Gesamtkosten für den Einsatz von E-Fahrzeuge sind in drei von drei Fällen trotz Fördermaßnahmen höher als bei konventionellen Fahrzeugen. In drei von drei Fällen wird mit Elektromobilen ein Großteil der CO₂-Emissionen vermieden.

Ursachen und Hintergründe zu den einzelnen Ergebnissen werden im folgenden Unterkapitel genauer beschrieben.

6.1 Reichweite

Stand der Technik

Elektrofahrzeuge nach derzeitigem Stand der Technik bieten ohne Nachladen und bei widrigen Bedingungen zumeist eine Mindestreichweite von 80km. Für viele Anwendung im urbanen Umfeld ist dies ausreichend. So zeigt zum Beispiel die Studie „KiD 2010“, dass die durchschnittliche Fahrtstrecke von gewerblich genutzten PKW/LKW<3,5t in Deutschland nur 72,2km/61,1km pro Tag beträgt. (vgl.[KiD10])

In vielen Fällen wird die Befürchtung des Betreibers, dass ein Fahrzeug aufgrund unzureichender Reichweite liegen bleibt, überbewertet. Mit dem erstellten Routenplaner kann diese Thematik rasch überprüft und potentielle Nutzer darüber aufgeklärt werden. Dementsprechend kann zu umweltfreundlichen Investitionen motiviert oder von möglichen Fehlinvestitionen abgehalten werden.

Fahrstil

Oftmalig wird dieser Faktor in technischen Betrachtungen nicht berücksichtigt. Die Folgen der Vernachlässigung sind in mehreren Erfahrungsberichten erkennbar, in denen im Testbetrieb bzw. bei der Einführung von Elektrofahrzeugen keine ausreichenden Reichweiten erzielt wurden. Die maximal erreichbaren Reichweiten lagen um bis zu 50% unter den erwarteten Werten. Ursache dessen war ein für Elektrofahrzeuge unpassender Fahrstil, bei dem die Möglichkeit des Rekuperierens in zu geringem Umfang genutzt wird. Das bei konventionellen Fahrzeugen übliche rasche Abbremsen des Fahrzeuges (z.B. vor Kreuzungen) soll bei E-Mobilen durch vorausschauendes Rekuperieren im Schubbetrieb ersetzt werden. Die Bremsenergieerückgewinnung hat einen wesentlichen Anteil am geringen Energieverbrauch von E-Fahrzeugen. Eine falsche Bedienung in der Anfangsphase führt möglicherweise zu einer negativen Investitionsentscheidung, da die Leistungsfähigkeit des Systems dadurch enorm eingeschränkt wird.

Also ähnlich wie in Fahrschulen die Verwendung der Retarder-Bremse für den LKW gelehrt wird, sollte auch hier eine kurze Aufklärung zum Thema Elektrofahrzeug stattfinden.

Zuladung

Dass Elektromobile als Nutzfahrzeuge verwendet werden ist zurzeit noch eher eine Randerscheinung. Dementsprechend wurde der Einfluss der Nutzlast auf den Energieverbrauch bisher noch nicht näher untersucht und findet in bisherigen Betrachtungen auch nur ungenügende Berücksichtigung.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass Elektrofahrzeuge aufgrund des Zusatzgewichts der Akkus eine etwas geringere maximale Nutzlast aufweisen. Der Stauraum muss dadurch nicht unbedingt eingeschränkt sein. Beispielsweise beträgt die Nutzlast beim Renault Kangoo Maxi 2-Sitzer dieselgetrieben 768kg, während sie bei der Elektroversion nur 595kg beträgt.

Klimatisierung

Der Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Betrieb von Elektrofahrzeugen beruht auf mehreren Mechanismen. Bei niedrigen Temperaturen setzt sich die Reichweitenreduktion aus einer geringeren Akkukapazität (-entladung) und einer zusätzlich benötigten Heizleistung zusammen. Bei hohen Temperaturen hingegen benötigt die Klimaanlageleistung viel Energie. Elektrofahrzeuge nach derzeitigem Stand der Technik verlieren bei minus 5°C bis zu 50% der Reichweite die sie bei 23°C besitzen. Dabei macht die verminderte Akkukapazität ca. 40% der Verluste aus, während die restlichen 60% aus der zusätzlich erforderlichen Heizleistung resultieren. Bei hohen Temperaturen betragen die Einbußen zwischen 5% und 25% der üblichen Reichweite. (vgl. [Blo11]; [Fra14]; [ADA15])

Für die Heizung des Fahrzeuginnenraums gibt es reichweitenneutrale Abhilfen wie Diesel- oder Pflanzenöl-Zuheizer. Zur Steigerung der verfügbaren Akkukapazität bei niedrigen Temperaturen können separate Akku-Heizungen verbaut werden. Nur beim Thema Klimaanlage gibt es „on-board“ keine Möglichkeit den Mehrverbrauch zu reduzieren. Einigen Fahrzeugen steht zumindest ein „pre-conditioner“ zur Verfügung, der das Fahrzeug an der Ladestelle schon einmal auf die gewünschte Temperatur vorklimatisiert.

Auch die Art der Nutzung, wie z.B. das Verhältnis Fahrt- zu Standzeit oder die Anzahl der Türöffnungen kann einen merkbaren Einfluss auf den Stromverbrauch haben. Daher gilt es jeden Nutzungsfall auf besondere Merkmale zu prüfen um diese beim Eignungs-Check berücksichtigen zu können.

6.2 Kostensituation

Die Gesamtkostenanalysen der untersuchten Nutzungsfälle zeigen, dass die Verwendung von Elektrofahrzeugen zum jetzigen Zeitpunkt mit Mehrkosten verbunden ist. In den untersuchten Szenarien und unter Berücksichtigung von Fördermaßnahmen wurden Mehrkosten von 7,5% bis 15,8% ermittelt. Dies bedeutet pro Fahrzeug und Jahr absolute Mehrkosten von € 408,- bis € 707,-. Ohne jegliche Fördergelder aus öffentlicher Hand liegen die Zusatzkosten in einen Bereich, der eine gewerbliche Nutzung äußerst unwahrscheinlich macht. Mit Fördergeld wird die Lücke, ab-

hängig von deren Umfang, beträchtlich kleiner. Dennoch muss der Unternehmer einen speziellen Nutzen lukrieren können, damit er höhere Kosten in Kauf nimmt. Es gilt für jeden Anwendungsfall zu prüfen welche individuellen Vorteile realisiert werden können.

Beispiele für mögliche Beweggründe:

- Image verbessern
- Differenzierungsmöglichkeit
- zukünftige gesetzliche Auflagen (City Maut)
- Unternehmenskultur

Laufleistung & Nutzungsdauer

Umso höher die Laufleistung eines Elektrofahrzeugs ist, desto geringer werden die Mehrkosten im Vergleich zu einem konventionellem Modell. Aufgrund der eingeschränkten Tagesreichweite ist die Jahreskilometerleistung aber nach oben hin begrenzt. Bei der Annahme von 250 Arbeitstagen mit einer Fahrtstrecke von 75 km/Tag ergibt sich ein Richtwert von 18.750km/Jahr, der als gängiger Grenzwert angesehen werden kann.

Je länger der Betrachtungsraum für einen Kostenvergleich gewählt wird, desto geringer wird die Kostendifferenz zwischen Elektro- und Verbrennungsmotor. In keinem der untersuchten Anwendungsfälle kommt es bei E-Fahrzeugen (in vergleichbarer Größe) zu geringeren Kosten. Grundsätzlich gilt, die Akku-Miete/Abschreibung kompensiert einen Großteil der Kostenvorteile bei Versicherung, Wartung, und die günstigeren Energiekosten, sodass die verbleibenden Ersparnisse die Zusatzkosten beim Fahrzeugkauf nicht abdecken.

Oftmals werden bei den Vorteilen der Elektrofahrzeuge geringere Ausfallzeiten aufgrund der weniger komplexen Antriebstechnik angeführt. Aus Erfahrungsberichten ist zu entnehmen, dass dies aktuell meist nicht zutrifft. Im Falle eines Defektes steht oft nur unerfahrenes Personal zur Verfügung. Weiters liegen benötigte Ersatzteile

meist nicht auf Lager. Deshalb bringen die (möglicherweise) wenigen Ausfälle weit- aus längere Standzeiten mit sich.

Förderungen

Derzeit ist eine Vielzahl an Fördermaßnahmen verfügbar. Die meisten verfügen über spezielle Einschränkungen (Regionen, zeitliche Beschränkung, Branche, sonstige). Themen-Einsteigern wird es somit schwer gemacht einen Überblick zu gewinnen. Aufgrund der Komplexität der Situation bieten diverse Stellen auch an, sich gegen ein Entgelt um das Lukrieren von Fördermitteln zu kümmern. Oftmalig lässt sich bei gegebener Situation im Vorhinein gar nicht feststellen welcher Förderumfang später zugestanden wird. Dies führt zu Unsicherheiten in der Projektierung. Wünschenswert wäre ein geschlossenes Vorgehen sämtlicher öffentlicher Stellen um die Elektromobilität voran zu bringen. Aus Sicht der Fördergeber könnte mit weniger Aufwand mehr erreicht werden.

Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung

Die Besteuerung auf den Verkauf fossiler Brennstoffe ist eine wesentliche Einnahmequelle des österreichischen Staates. So bringt die Mineralölsteuer jedes Jahr mehrere Milliarden Euro ein. Beim Thema Elektromobilität ist die Situation derzeit umgekehrt. Damit Bürger auf die umweltfreundliche Elektromobilität umsteigen müssen Gelder aus öffentlicher Hand zugeschossen und auf Steuereinnahmen teilweise verzichtet werden. Ebenfalls ungeklärt ist die Finanzierung öffentlicher Ladeinfrastruktur wenn diese in größerem Umfang benötigt wird.

Insofern ist die Frage nach den volkswirtschaftlichen Kosten für den Fall einer flächendeckenden Elektrifizierung noch zu ungeklärt.

6.3 Ökologische Vorteile

CO₂-Reduktion

Im Zuge dieses Projektes wird ausschließlich der CO₂-Ausstoß während des Betriebs analysiert. Jener aus Fahrzeug-Herstellung und Entsorgung bleibt außer Betracht. Aufgrund des geringen CO₂-Ausstoßes bei der Stromerzeugung in Österreich fällt die CO₂-Bilanz von Elektrofahrzeugen deutlich positiv aus. Über 80% Kohlendioxid-Reduktion gegenüber einem Dieselfahrzeug sind möglich.

Wie bei konventionell angetriebenen Fahrzeugen kann der CO₂-Ausstoß auch bei E-Fahrzeugen je nach Fahrzeugmodell variieren. Übliche Emissionswerte (in Österreich) liegen zwischen 15 und 40 g/km. Im Vergleich mit einem üblichen Diesel Fahrzeug (170-180g/km) sind diese sehr gering. Da als Basis für einen relativen Vergleich meist ein Verbrenner herangezogen wird, variieren die Einsparungspotentiale der verschiedenen Elektrofahrzeugmodelle nur um wenige Prozent obwohl es bei den absoluten Verbrauchswerten große Unterschiede gibt.

In anderen Ländern sieht die CO₂-Bilanz für dieselben Fahrzeuge ganz anders aus. Zum Beispiel sind in Deutschland die Emissionswerte bei gleichem Stromverbrauch ca. 3,5-fach höher. Dies bedeutet dass Elektrofahrzeuge dort zwischen 55 und 145g CO₂ je km emittieren.

Für die Ermittlung der CO₂-Emissionen eines E-Fahrzeuges wird der CO₂-Emissionsfaktor des nationalen Strommix herangezogen. Da ein wesentlicher Teil der Ladetätigkeit zu Zeiten von Stromspitzen stattfinden wird, ergibt sich eine zusätzliche Problematik. Die bisher vorhandenen Stromspitzen erhöhen sich weiter und werden wiederum vor allem durch fossile Kraftwerke abgedeckt. Somit entsteht in der Realität je kWh-„E-Auto Ladestrom,, viel mehr CO₂ als durch die Kennzahl des nationalen Strommix angegeben wird. Diesbezüglich lässt sich diskutieren ob für eine realitätsgetreue Betrachtung tatsächlich der CO₂-Ausstoß des nationalen Strommix als Kalkulationsbasis verwendet werden kann.

Überraschend ist die Erkenntnis, dass die als umweltfreundlich beworbene Erdgas Fahrzeuge im Vergleich zu einem gleichartigen Dieselfahrzeug mehr CO₂ aussto-

ßen. Erdgas hat zwar je kJ chem. Energie einen höheren Wasserstoff- zu Kohlenstoffanteil als Diesel, erzeugt in Summe aufgrund des schlechteren motorischen Wirkungsgrades (wie Benziner) jedoch mehr Kohlendioxid. Somit kann man diversen Öko-Förderungen für Erdgasfahrzeuge bescheinigen, dass diese nicht zur Schonung der Umwelt beitragen.

Lärm

Der Vorteil einer geringeren Lärmemission von Elektrofahrzeugen ist bis zu Geschwindigkeiten von 25 km/h gegeben, da in diesem Bereich die Geräusche der Antriebseinheit dominieren. Speziell beim Anfahrvorgang sind Elektroautos wesentlich leiser. Über 25 km/h sind die Abroll- und Windgeräusche für den Großteil der Lärmentwicklung verantwortlich. Diese unterscheiden sich beim E-Fahrzeug nicht von denen eines konventionellen Fahrzeuges. Deshalb wird der Vorteil geringerer Lärmemission vor allem im Kreuzungsbereich und in Bereichen mit langsamem Verkehrsfluss deutlich. Betrachtet man die in Städten weit verbreitete Geschwindigkeitsbeschränkung von 30 km/h auf Nebenstraßen, so ist hinsichtlich einer Lärmreduktion großes Potential zu erkennen.

Da bei Zweirädern immer die Antriebseinheit die vorrangige Geräuschquelle darstellt, bietet deren Elektrifizierung hier ein weitaus höheres Verbesserungspotential. Bei LKWs erhöht sich der Bereich, in der die Antriebseinheit die vorrangige Geräuschquelle bildet, auf ca. 50km/h. Daher bieten LKWs die Großteils im städtischen Bereich unterwegs sind, wie Busse oder Müllabfuhr-Fahrzeuge, ein besonders großes Potential zur Lärmreduktion. Sie beschleunigen oftmals und fahren nur selten über 50 km/h. (vgl. [Dud15]; [Umw13])

Feinstaub

Bei Diesel-Neufahrzeugen wurde das Feinstaubproblem mit der flächendeckenden Einführung von Partikelfiltern, zumindest für den antriebsbedingten Anteil, gelöst. Bei Benziner wird das Problem aufgrund des vermehrten Einsatzes von Direkteinspritzungen derzeit akut, da durch eine zunehmend feinere Verbrennung vermehrt

Feinstaub entsteht. Es sind hier ähnlich wie beim Diesel einige Gegenmaßnahmen verfügbar. Diese sind aufgrund der zusätzlich anfallenden Kosten noch nicht sehr verbreitet. Beim Elektrofahrzeug arbeitet die Antriebseinheit (ohne Gegenmaßnahmen) lokal absolut feinstaubfrei.

7 Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

- [BCV98] Buchholz J.; Clausen U.; Vastag A.: Handbuch der Verkehrslogistik. 1. Auflage, Berlin: Springer, 1998 - ISBN 3-540-64517-9
- [BrB12] Bretzke W. ; Barkawi K.: Nachhaltige Logistik. 2. Auflage, Springer-Vieweg, 2012 - ISBN 978-3-642-29369-6
- [CIG13] Clausen U. ; Geiger Ch.: Verkehrs- und Transportlogistik. 2. Auflage, Dortmund: Springer, 2013 – ISBN 978-3-540-34298-4
- [CRS09] Crainic T.G. ; Ricardi N. ; Storchi G.: Models for Evaluating and Planning City Logistics Systems. URL <https://www.cirrelt.ca/DocumentsTravail/CIRRELT-2009-11.pdf> – Abrufdatum: 07.03.2015
- [Erd15] Erd J.: Stand und Entwicklung von Konzepten zur City-Logistik. 1. Auflage, Berlin: Springer Gabler, 2015 – ISBN 978-3-658-09139-2
- [KiD10] WVI, IVT, DLR, KBA (Hrsg.): Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 – Schlussbericht. Braunschweig: 2012
- [Möl12] Möller D.P.F.: Multimodaler Transport und Logistik. Vortrag: Seminar 64.168 – Modul IP12, WS 2012/13
- [OEC03] Organisation for Economic Co-Operation and Development / OECD (Hrsg.): Delivering the Goods - 21st Century Challenges to Urban Goods Transport. 2003
- [Pet08] Peters K.: Skriptum zur Vorlesung Verkehrslogistik. Dresden: 2008

- [Pfo04] Pfohl H.C.: Logistiksysteme – Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 2.Auflage, Springer, 2004 - ISBN 978-3-642-04162-4
- [PGH03] Pfohl H.C. ; Gomm M. ; Hofmann E.: Netzwerke in der Transportlogistik – Eine Studie über Potentiale und Zukunftsaussichten in der Neugestaltung von Transporten im Komplettladungssegment. Darmstadt: 2003 – ISBN 3-924606-39-0
- [Sch09] Schaarschmidt K.: REGLOG – A successful city logistics project: An exceptional case in Germany? München: LMU Ludwig-Maximilians-University, 2009
- [SSG11] Schwarz M. ; Schmidthaler M. ; Goers S.: Vermeidung von Treibhausmissionen in Oberösterreich. Vortrag: 7. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 2011
- [Tru13] Trummer W.: FFG-Projekt eCiLo – Ergebnisbericht Teil A. Projektbericht, TU Graz, Institut für technische Logistik, 2013
- [VQM10] vanDuin J.H.R. ; Quak H. ; Munuzuri J.: New challenges for urban consolidation centres – A case study in The Hague. Vortrag: The Sixth International Conference on City Logistics, 2010
- [VCB98] Vastag A. ; Clausen U. ; Buchholz J.: Handbuch der Verkehrslogistik. 1. Auflage, Springer, 1998 - ISBN 3-540-64517-9
- [Wil08] Wildemann H.: Total Cost of Ownership. 2. Auflage, TCW-Verlag, 2008
- [ADA15] ADAC (Hrsg.). URL <https://www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/alternative-kraftstoffe/elektroantrieb/> - Abrufdatum: 03.06.2015

- [ATB07] Allen J. ; Thorne G. ; Browne M.: Bestufs – Praxisleitfaden für den städtischen Güterverkehr. Bericht, URL http://www.bestufs.net/download/BESTUFS_II/good_practice/German_BESTUFS_Guide.pdf – Abrufdatum: 13.03.2015
- [Blo11] Bloch A.: Elektroauto – Reichweite bis zu 47 Prozent geringere Reichweite im Winter. In: Auto Motor und Sport, URL <http://www.auto-motor-und-sport.de/news/elektroauto-reichweite-bis-zu-47-prozent-geringere-reichweite-im-winter-3295701.html> - Abrufdatum: 03.05.2015
- [Cab15] Cabinet Office UK (Hrsg.): Total Cost of Ownership – Things to consider. URL https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/78970/Total-Cost-of-Ownership-things-to-consider-v1.pdf – Abrufdatum: 02.09.2015
- [DHL15] DHL (Hrsg.): TTS principles. URL https://www.dhl-Discoverlogistics.com/cms/de/course/services/tts/tts_principles.jsp – Abrufdatum: 11.06.2015
- [Dud15] Duddenhöfer K.: Lärmemission von Elektroautos. In: ELEKTRO-MOBILITÄT, 01-13, S.40-41, URL https://www.uni-due.de/~hk0378/publikationen/2013/201301_HZwei.pdf – Abrufdatum: 23.02.2015
- [ebi15] ebikefinder (Hrsg.): Flyer Cargo XT deluxe s pedelec. URL <http://www.e-bike-finder.com/ebike/flyer-cargo-xt-deluxe-s-pedelec-2014/> - Abrufdatum: 03.09.2015
- [efa15] efa (Hrsg.): UPS P80 Data. URL http://www.efa-s.de/html/ups_p80-e.html - Abrufdatum: 12.09.2015
- [est15] e-stations (Hrsg.): Stecker. URL <http://www.e-stations.de/stecker.php> - Abrufdatum: 19.08.2015

- [Fra14] Frank G.H.: Reichweite bricht ein – Elektroautos versagen bei Kälte. URL: <http://www.handelsblatt.com/auto/test-technik/reichweite-bricht-ein-elektroautos-versagen-bei-kaelte/9284156.html> - Abrufdatum: 23.04.2015
- [gne10] gnewtcargo (Hrsg.): Cargocycle Trial Evaluation. URL: http://gnewtcargo.co.uk/wp-content/uploads/2010/08/uow_cargocycle_trialevaluation.pdf – Abrufdatum: 12.01.2015
- [Gra15] Stadt Graz (Hrsg.): Einwohnermeldezahlen. URL <http://www.graz.at/cms/beitrag/10104210/2058071/> - Abrufdatum: 03.03.2015
- [ios15] io-scooter (Hrsg.): io scooter king kong – Datenblatt. URL <http://www.io-scooter.com/io-scooter-modelluebersicht/io-scooter-king-kong/> - Abrufdatum: 11.09.2015
- [Kel15] Kelag (Hrsg.): Ladetechnik Renault. URL http://haushalte.kelag.at/content/page_Ladetechnik-Renault.jsp - Abrufdatum: 12.04.2015
- [Qua13] Quak H.: BESTFACT. URL http://www.bestfact.net/wp-content/uploads/2013/10/BESTFACT_Amsterdam_Cluster_1_12_06_22_TNO_BINNENSTADSERVICE.pdf – Abrufdatum 22.06.2015
- [REN15] Renault (Hrsg.): Produktdatenblätter Kangoo Z.E./Zoe/Twizy. URL <http://www.renault.de> – Abrufdatum: 14.04.2015
- [Sou12] Soufian H.: Laden von Elektro-PKW. URL http://www.abgnova.de/pdf/pdf-sophienhofabende/2012-10-10_Laden-von-Elektro-Pkw-in-der-privaten-Garage-in-Tiefgaragen-und-Firmenparkusern-Houness..pdf - Abrufdatum: 11.07.2015

- [Sta13] Statistik Austria (Hrsg.): Verkehrsstatistik. URL http://www.statistik.at/web_de/statistiken/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_bestand/index.html - Abrufdatum: 03.03.2015
- [Tes15] Tesla (Hrsg.): Supercharger. URL http://www.teslamotors.com/de_AT/supercharger - Abrufdatum: 11.08.2015
- [Umw13] Umweltbundesamt (Hrsg.): Lärm im Verkehr. URL http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/position_kurzfristig_kaum_laermminderung_im_verkehr.pdf - Abrufdatum: 09.03.2015
- [ele15] Elektroauto News (Hrsg.): Renault Kangoo Z.E. – Transporter für die City. URL <http://www.elektroauto-news.net/elektroautos/renault/renault-kangoo-ze-elektro-transporter-fuer-die-city> – Abrufdatum: 23.03.2015
- [wik15] Wikipedia (Hrsg.): IEC 62196. URL https://de.wikipedia.org/wiki/IEC_62196 - Abrufdatum: 19.08.2015

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klassifizierung Transportkette (nach [Pfo04])	2
Abbildung 2: Transportkette der Logistik [DHL15]	3
Abbildung 3: Zielsysteme der City-Logistik (nach [Erd15], Abb. 9)	10
Abbildung 4: Entwicklung von City Logistik Projekten in Deutschland [Sch09]	12
Abbildung 5: Entwicklung der City-Logistik	13
Abbildung 6: konventionelles Logistikmodell [gne10]	14
Abbildung 7: City-Hub Logistikmodell[gne10]	14
Abbildung 8: Ansätze zur Vorteilsgewinnung - City Hub	15
Abbildung 9: ERM City-Hub	18
Abbildung 10: Kundensegmente	21
Abbildung 11: IKT-Systeme im Überblick (in Anlehnung an [VCB98])	24
Abbildung 12: Bewertungskategorien für E-Fahrzeuge	29
Abbildung 13: Ladeinfrastruktur Varianten [Kel15] [ele15]	33
Abbildung 14: Tesla Supercharger [Tes15]	35
Abbildung 15: IEC 62196 - Typ 1 [wik15]	37
Abbildung 16: IEC 62196 - Typ 2 [est15]	37
Abbildung 17: EV Plug Alliance - Typ 3 [est15]	38
Abbildung 18: CCS – Stecker [est15], [Sou12]	39
Abbildung 19: CHAdeMO – Stecker [wik15]	39
Abbildung 20: Pedelec [ebi15]	41
Abbildung 21: Lastenrad [ebi15]	42
Abbildung 22: Elektro-Scooter [ios15]	43
Abbildung 23: E-Microcar [REN15]	44
Abbildung 24: E-PKW [REN15]	45
Abbildung 25: E-Lieferwagen [REN15]	46
Abbildung 26: E-LKW [efa15]	47
Abbildung 27: Modellvergleich - Reichweite	48
Abbildung 28: Modellvergleich - Nutzlast	48
Abbildung 29: Modellvergleich - Ladevolumen	49
Abbildung 30: Modellvergleich - Anschaffungskosten	49
Abbildung 31: Modellvergleich - Energieverbrauch	49
Abbildung 32: Bereiche des TCO (in Anlehnung an [Cab15])	52

Abbildung 33: Betrachtungsebenen und Vorgangsweise	53
Abbildung 34: ERM - Einzelfahrzeugrechner.....	55
Abbildung 35: Rechenmodell Fahrzeug-Wertentwicklung	57
Abbildung 36: Einzelfahrzeug Portfolio-Darstellung.....	58
Abbildung 37: ERM - Flottenvergleichsrechner	59
Abbildung 38: Tourenplaner - Verlauf Akkuladung	60
Abbildung 39: Tourenplaner - Empfehlung	61
Abbildung 40: Klassifikation der Unternehmen	64
Abbildung 41: elektrifizierter Fuhrpark – RENAULT [REN15].....	65
Abbildung 42: Laderaum Renault Twizy [REN15].....	66
Abbildung 43: Laderaum Renault Kangoo Z.E. Maxi 2-Sitzer [REN15]	67
Abbildung 44: Input Tourenplaner – Lieferservice, exemplarisch	68
Abbildung 45: Akkubandbreite (gemäßigt) - Lieferservice	71
Abbildung 46: Akkubandbreite (heiß/kalt) - Lieferservice.....	71
Abbildung 47: TCO Vgl. mit Renault Kangoo Z.E. - Lieferservice.....	72
Abbildung 48: TCO Vgl. mit Renault Twizy – Lieferservice.....	73
Abbildung 49: CO ₂ Vergleich [t/a] –	74
Abbildung 50: CO ₂ Vergleich [t/a] –	74
Abbildung 51: zeitlicher Verlauf des Akkuladezustandes - Lieferservice	75
Abbildung 52: Empfehlung lt. Tourenplaner- Lieferservice	75
Abbildung 53: TCO Verlauf über Nutzungsdauer- Lieferservice	77
Abbildung 54: rel. Vergleich, Twizy- Lieferservice	77
Abbildung 55: rel. Vergleich, Kangoo Z.E. - Lieferservice.....	77
Abbildung 56: Input Tourenplaner - Bring Händler	79
Abbildung 57: Akkubandbreite (gemäßigt) - Bring Händler.....	82
Abbildung 58: Akkubandbreite (heiß/kalt) - Bring Händler.....	82
Abbildung 59: TCO Vergleich - Bring Händler	83
Abbildung 60: CO ₂ Vergleich [t/a] - Bring Händler	84
Abbildung 61: zeitlicher Verlauf des Akkuladezustandes - Bring Händler.....	85
Abbildung 62: Empfehlung lt. Tourenplaner - Bring Händler.....	85
Abbildung 63: TCO Verlauf über Nutzungsdauer - Bring Händler	86
Abbildung 64: relativer Vergleich - Bring Händler	87
Abbildung 65: Input Tourenplaner Datensatz 1 - KEP	89
Abbildung 66: Input Tourenplaner Datensatz 2 - KEP	89

Abbildung 67: Akkubandbreiten 1 (heiß/kalt) – KEP	91
Abbildung 68: Akkubandbreiten 2 (heiß/kalt) – KEP	92
Abbildung 69: TCO Vergleich - KEP	93
Abbildung 70: CO ₂ Vergleich [t/a] – KEP	94
Abbildung 71: zeitlicher Verlauf des Akkuladezustandes 1 - KEP	95
Abbildung 72: zeitlicher Verlauf des Akkuladezustandes 2 - KEP	95
Abbildung 73: Empfehlung lt. Tourenplaner Datensatz 1 – KEP	96
Abbildung 74: : Empfehlung lt. Tourenplaner Datensatz 2 – KEP	97
Abbildung 75: TCO Verlauf der Kosten je Fahrzeug über Nutzungsdauer - KEP	98
Abbildung 76: Relativer Vergleich - KEP	98
Abbildung 77: Fahrzeughalterdichte Österreich [Sta13]	101
Abbildung 78: Fahrzeugbestand Deutschland 2010 (nach [KiD10])	102
Abbildung 79: Fallbeispiel – Fuhrpark derzeit.....	104
Abbildung 80: Fallbeispiel - Fuhrpark zukünftig	104
Abbildung 81: Fallbeispiel – ökonomischer Rahmenbedingungen	105
Abbildung 82: Fallbeispiel - CO ₂ Ergebnis.....	106
Abbildung 83: Fallbeispiel - TCO Ergebnis.....	106
Abbildung 84: Fallbeispiel - relativer Vergleich	107
Abbildung 85: Fallbeispiel - TCO je Fzg.	108
Abbildung 86: CO ₂ Vermeidungskosten im Vergleich (vgl. [SSG11]).....	109

7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eigenschaft von Kundengruppen (nach [Erd15], Abb.6)	23
Tabelle 2: Fahrzeugvarianten BEV	28
Tabelle 3: Vergleich Ladeinfrastruktur [Kel15]	34
Tabelle 4: Übersicht Steckertypen	36
Tabelle 5: Klassifikation für e-basierte Logistiklösungen in Unternehmen	63
Tabelle 6: Daten zu Szenarien	64
Tabelle 7: Input Wirtschaftliche Betrachtung – Lieferservice	69
Tabelle 8: Input, CO ₂ Ausstoß je Menge Energieeintrag- Lieferservice	69
Tabelle 9: TCO & CO ₂ im Vergleich, Twizy- Lieferservice	76
Tabelle 10: TCO & CO ₂ im Vergleich, Kangoo Z.E. - Lieferservice	76
Tabelle 11: Input Wirtschaftliche Betrachtung - Bring Händler	80
Tabelle 12: TCO & CO ₂ im Vergleich - Bring Händler	86
Tabelle 13: Input Wirtschaftliche Betrachtung - KEP	90
Tabelle 14: TCO & CO ₂ im Vergleich - KEP	97
Tabelle 15: tägl. Laufleistung je Fahrzeugtyp	103

7.4 Abkürzungsverzeichnis

AC	Wechselstrom
B2A	Business to Administration
B2B	Business to Business
B2C	Business to Consumer
BEV	battery electric vehicle
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
DC	Gleichstrom
E-Fzg.	Elektrofahrzeug
ERM	Entity Relationship Model
etc.	et cetera
GVZ	Güterverteilzentrum
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
inkl.	Inklusive
KEP	Kurier-, Express- und Paketdienst
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
KRAD	Kraftrad
LKW	Lastkraftwagen
NoVa	Norm-Verbrauchsabgabe
CO ₂	Kohlendioxid
PPP	Private Public Partnership
PKW	Personenkraftwagen
rel.	Relativ
Stk.	Stück
TCO	Total Cost of Ownership

UCC	Urban Consolidation Center
usw.	und so weiter
USt.	Umsatzsteuer
Vgl.	Vergleich
v.l.	von links
v.r.	von rechts
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr

8 Anhang

8.1 Bedienungsanleitung Einzelfahrzeug-Rechner



Institut für
Technische
Logistik

Bedienungsanleitung

Elektrofahrzeug - Vergleichsrechner

HÜTTER Gernot
08.09.2015
080915_Bedienungsanleitung_Fahrzeugvergleich.ppt



TU
Graz

Inhalt des Foliensatzes

- Funktionsumfang des Rechners
- Bedienungsanleitung

Unterstützung der Entscheidungsfindung durch:

- **Wirtschaftlichen Vergleich**
- **Ökologischen Vergleich**
- **Kombination beider Themen**

Bis zu 5 verschiedene Fahrzeugtypen können in einer Kalkulation miteinander verglichen werden.

Basisprogramm für Berechnungstool : MS-Excel.

Wirtschaftlicher Vergleich

Basierend auf der Methode des „Total Cost of Ownership“.

Grundlage dafür ist die Erfassung aller Kosten.

Ökologischer Vergleich

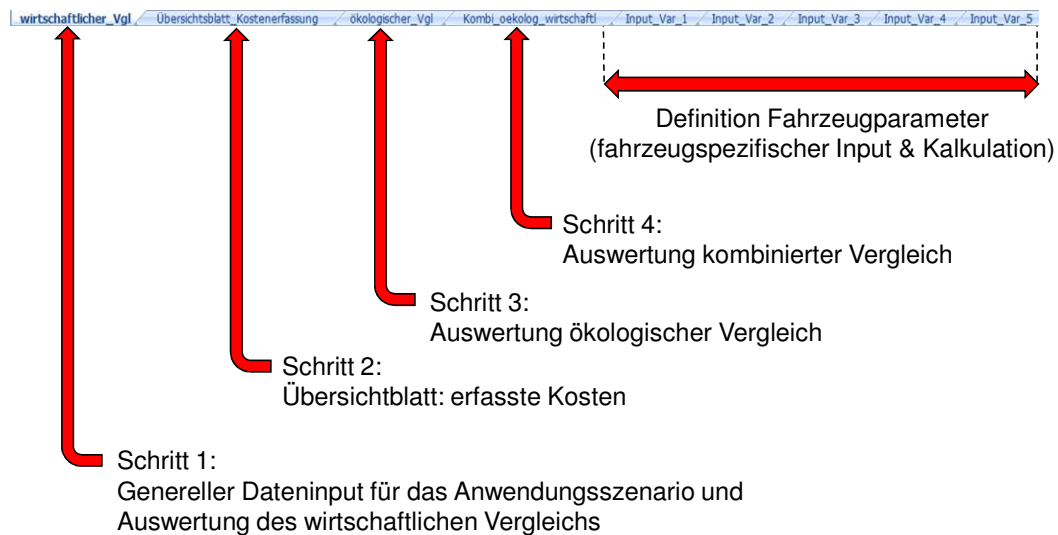
Berechnung des lokalen CO₂-Ausstoßes.


Kombination beider Themengebiete

Portfolio-Darstellung

--> Grafische Aufbereitung der ermittelten Werte

Berechnungstool bestehend aus 8 Tabellenblättern:





Bedienungsanleitung

Wirtschaftlicher_Vgl
Übersichtsblatt_Kostenerfassung
ökologischer_Vgl
Kombi_ökolog_wirtschaftl
Input_Var_1
Input_Var_2
Input_Var_3
Input_Var_4
Input_Var_5

Definition Anwendungsfall - Dateninput:

Input			
1 - Einfluss des Fzg-Zeitwertes: Ein (1) oder Aus (0)	1	3- Erörterung Betrag	Fzg €
2 - Förderung: prozentuell auf Differenzkosten	0%	1	0
4 - jährliche Kilometerleistung	15.000	2	800
5 - Gratistanken	25%	3	2.000
6 - Kosten - Diesel (€/l)	€1,20	4	2.000
6 - Kosten - Erdgas (€/l)	€1,00	5	2.000
8 - Kosten - Strom (€/kWh)	€0,22		
7 - Steigerung p.a. - Stromkosten	2,1%		
7 - Steigerung p.a. - Dieselpreis	4,2%		
7 - Steigerung p.a. - Gaspreis	4,2%		

8 - erwartete Kosten		Fzg	Parken	Infrastruktur
1	150	1	0	0
2	150	2	0	0
3	0	3	1.000	0
4	0	4	0	3.000
5	0	5	0	0

INFOBOX


Für Auskünfte zu den Eingabeparametern, die Parameter-Kennzahl in folgendes Feld eintragen: 1

Aktiviert man den Zeitwert_Lao bezieht sich der TCO darauf, dass in dem jeweiligen Jahr das Fahrzeug verkauft wird und die Erlöse aus dem Fahrzeugverkauf eingeschrieben werden.

Allgemeiner Dateninput:
Sämtliche Parameter die das Einsatz-Szenario beschreiben sind hier einzugeben


Infobox:
Hier können nähere Info's zu den einzelnen Input-Parametern abgefragt werden.

Im gesamten Tool ist nur bei gelb hinterlegten Feldern eine Dateneingabe erforderlich/möglich.



080915_Bedienungsanleitung_Fahrzeugvergleich

6



Bedienungsanleitung

Wirtschaftlicher_Vgl
Übersichtsblatt_Kostenerfassung
ökologischer_Vgl
Kombi_ökolog_wirtschaftl
Input_Var_1
Input_Var_2
Input_Var_3
Input_Var_4
Input_Var_5

Wirtschaftliche Auswertung:

folgt nach Runterscrollen.

→ Unterschiedliche Auswertungen zur Analyse der Ergebnisse.


4 - jährliche Kilometerleistung	15.000
5 - Gratistanken	25%
6 - Kosten - Diesel (€/l)	€1,20
6 - Kosten - Erdgas (€/l)	€1,00
8 - Kosten - Strom (€/kWh)	€0,22
7 - Steigerung p.a. - Stromkosten	2,1%
7 - Steigerung p.a. - Dieselpreis	4,2%
7 - Steigerung p.a. - Gaspreis	4,2%

8 - erwartete Kosten		Fzg	Parken	Infrastruktur
1	150	1	0	0
2	150	2	0	0
3	0	3	1.000	0
4	0	4	0	3.000
5	0	5	0	0

Parameter-Kennzahl in folgendes Feld eintragen: 1

Aktiviert man den Zeitwert_Lao bezieht sich der TCO darauf, dass in dem jeweiligen Jahr das Fahrzeug verkauft wird und die Erlöse aus dem Fahrzeugverkauf eingeschrieben werden.

Output



080915_Bedienungsanleitung_Fahrzeugvergleich

7

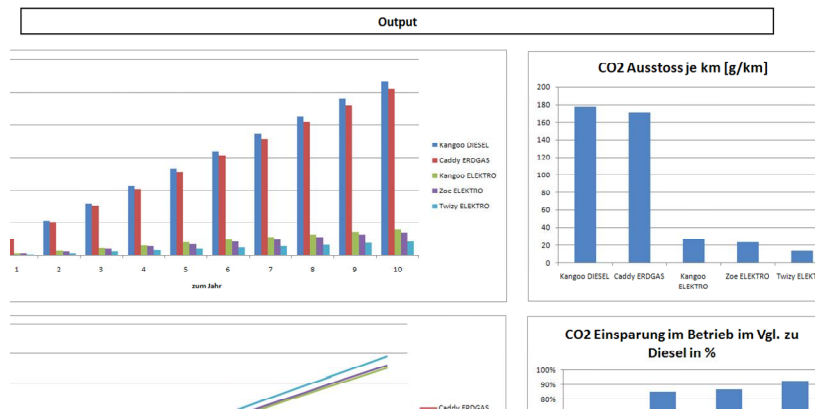
Übersichtsdarstellung:


Auflistung der erfassten Kosten bei den jeweiligen Fahrzeugmodellen.

Kostenart	Erfasst	Modell				
		Kangoo DIESEL = Var_1	Caddy ERDGAS = Var_2	Kangoo ELEKTRO = Var_3	Zoe ELEKTRO = Var_4	Twizy ELEKTRO = Var_5
Anschaffungskosten	✓	●	●	●	●	●
Wiederverkaufswert	✓	●	●	●	●	●
diverse Forderungen	✓	●	●	●	●	●
Versicherung	✓	●	●	●	●	●
Wartungskosten	✓	●	●	●	●	●
Akkumiete	✓	●	●	●	●	●
Parkkosten	✓	●	●	●	●	●
Infrastrukturkosten	✓	●	●	●	●	●
Treibstoffkosten	✓	●	●	●	●	●
"Gratistanken"	✓	●	●	●	●	●

Legende: ● >0€
● 0

Ökologische Auswertung:

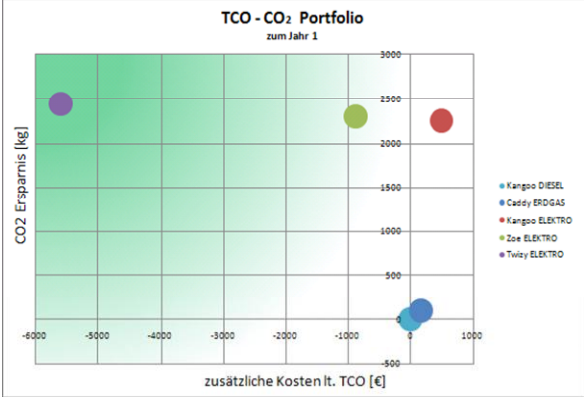





Bedienungsanleitung

wirtschaftlicher_Vgl
Übersichtsblatt_Kostenerfassung
ökologischer_Vgl
Kombi_ökolog_wirtschaftl
Input_Var_1
Input_Var_2
Input_Var_3
Input_Var_4
Input_Var_5


Ökologisch-Wirtschaftlicher Vergleich:





080915_Bedienungsanleitung_Fahrzeugvergleich

10




Bedienungsanleitung

wirtschaftlicher_Vgl
Übersichtsblatt_Kostenerfassung
ökologischer_Vgl
Input_Var_1
Input_Var_2
Input_Var_3
Input_Var_4
Input_Var_5

Parameter der Vergleichsfahrzeuge:

- 5 unterschiedliche Varianten können gleichzeitig verglichen werden.
- Jede Tabelle (Input_Var1 bis ..5) beinhaltet den Datensatz für eine Variante.
- Für die Implementierung eines neuen Modells sind die gelben Felder in einem bestehenden Datensatz zu überschreiben.

Kangoo Express Maxi Energy 61 90		Treibstoff: (Erdgas, Strom, Diesel)		monatlich Akkumulator bis km/ta			
				10.001	15.001	20.001	25.001
meter				0	0	0	0
Elektro-Förderfaktor				0	0	0	0
jährliche Kilometerleistung				12000	12000	12000	12000
*Anschaffungskosten vergleichbarer konventioneller Antrieb				18540	18540	18540	18540
Berücksichtigung Zeitwert Ein (1) oder Aus (0)				1	1	1	1
Förderung Fixbetrag				0	0	0	0
kosten							
Anschaffungskosten				18.540	18.540	18.540	18.540
Verkaufswert				13.905	12.051	10.197	8.343
Förderungen				0	3.245	2.781	2.549
jährliche Abschreibung - statisch (über Nutzungsdauer)				4.635	3.245	2.781	2.549
jährliche Versicherungsprämie				1.239	1.239	1.239	1.239
jährliche Wartungskosten (Ersatz & Reparaturen im Durchschnitt)				479	479	479	479
jährliche Akkumulator - autom. angepasst				0	0	0	0
Parkkosten [€/a]				150	150	150	150
Infrastrukturkosten - y1 absolut, dann jährlich (falls nötig)				0	0	0	0
jährliche Fixkosten (statisch pro Jahr)				6.504	5.113	4.650	4.418
TCO-Fix zum Jahr				6.504	10.227	13.950	17.672



080915_Bedienungsanleitung_Fahrzeugvergleich

11

8.2 Bedienungsanleitung Fahrzeugflotten-Rechner

Bedienungsanleitung

Elektroflotten - Vergleichsrechner

HÜTTER Gernot

08.09.2015

080915_Bedienungsanleitung_Flottenvergleich.ppt

Inhalt

Inhalt des Foliensatzes

- Funktionsumfang des Rechners

- Bedienungsanleitung

Unterstützung der Entscheidungsfindung durch:

- Überprüfung der technischen Eignung**
- Wirtschaftlichen Vergleich**
- Ökologischen Vergleich**
- Kombination technischer & wirtschaftlicher Aspekte**

Das Flottenrechner basiert auf den Funktionen des Fahrzeug-Vergleichsrechners.

Bis zu 5 verschiedene Fahrzeuge können in einer Kalkulation miteinander verglichen werden.

Basisprogramm für Berechnungstool : MS-Excel.

Wirtschaftlicher Vergleich

Basierend auf der Methode des „Total Cost of Ownership“.

Grundlage dafür ist die Erfassung aller Kosten.


Ökologischer Vergleich

Berechnung des lokalen CO₂-Ausstoßes.

Kombinierter Vergleich

via Portfolio.

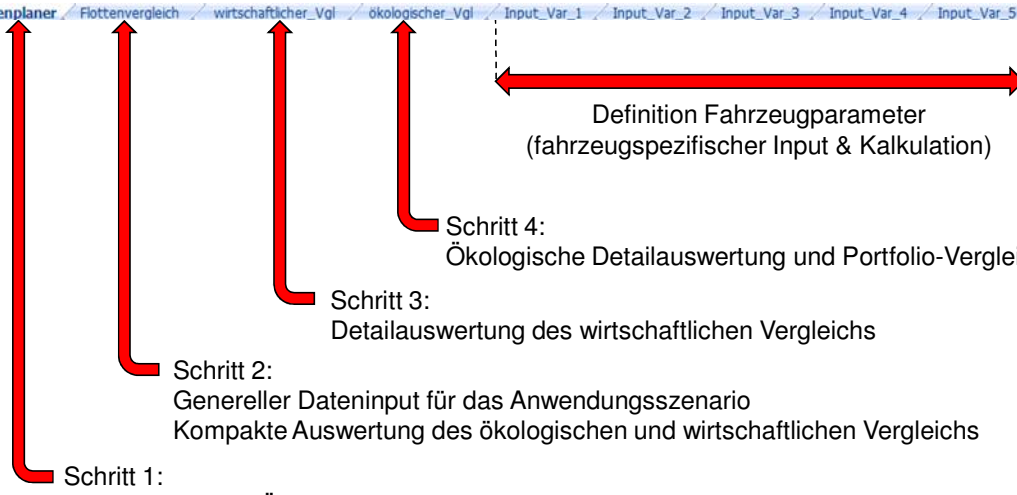
--> Grafische Aufbereitung der ermittelten Werte



Bedienungsanleitung

Berechnungstool bestehend aus 9 Tabellenblättern:

Tourenplaner
Flottenvergleich
wirtschaftlicher_Vgl
ökologischer_Vgl
Input_Var_1
Input_Var_2
Input_Var_3
Input_Var_4
Input_Var_5




Definition Fahrzeugparameter
(fahrzeugspezifischer Input & Kalkulation)

Schritt 4:
Ökologische Detailauswertung und Portfolio-Vergleich

Schritt 3:
Detailauswertung des wirtschaftlichen Vergleichs


Schritt 2:
Genereller Dateninput für das Anwendungsszenario
Kompakte Auswertung des ökologischen und wirtschaftlichen Vergleichs

Schritt 1:
Tourenplaner zur Überprüfung der technischen Eignung



080915_Bedienungsanleitung_Flottenvergleich

5

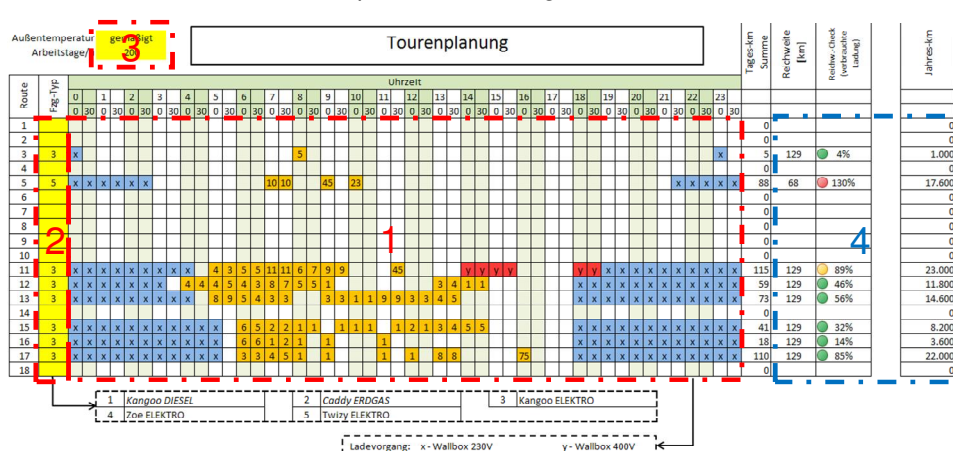


Bedienungsanleitung

Tourenplaner
Flottenvergleich
wirtschaftlicher_Vgl
ökologischer_Vgl
Input_Var_1
Input_Var_2
Input_Var_3
Input_Var_4
Input_Var_5


Tourenplaner – Ansicht 1

Eingabefenster: Input → Markierung 1, 2, 3
Output → Markierung 4



1 Kangoo DIESEL 2 Caddy ERDGAS 3 Kangoo ELEKTRO
4 Zow ELEKTRO 5 Twizy ELEKTRO

Ladevorgang: x - Wallbox 230V y - Wallbox 400V



080915_Bedienungsanleitung_Flottenvergleich

6

Alle Felder im Rechner in die Werte eingegeben werden können sind gelb hinterlegt. Die einzige Ausnahme bildet die Eingabefläche für die zurückgelegten Kilometer bzw. den Ladevorgängen (=Markierung 1).

Markierung 1: Wegstrecke / Ladevorgang

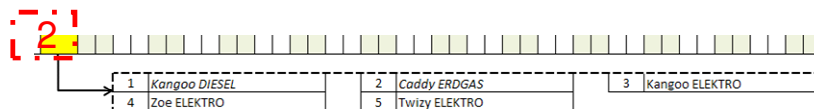
Jede Zeile → eine Route
Spalten → halbstündlicher Zeit-Intervall

Route	Fzg.-Typ	Zeit-Intervall			
		0	1	2	3
1	4	x	x	y	4
2	3				
3	3	x			

Zelleneintrag:

- leer: Fahrzeug abgestellt ohne Ladevorgang (grau)
- Zahlenwert: die in einer halben Stunde zurückgelegte Wegstrecke (orange)
- „x“: Ladevorgang an 230V Ladevorgang (blau); sofern verfügbar
- „y“: Ladevorgang an 400V Ladevorgang (rot); sofern verfügbar

Markierung 2: Auswahl Fahrzeugtyp



Kennzahl entsprechend der Legende auswählen.

Markierung 3: Temperatur/Arbeitstage

Außentemperatur
Arbeitstage/

Auswahl der Temperaturverhältnisse und der Einsatzstage pro Jahr.

Bedienungsanleitung

Markierung 4: Ausgabe

Reichweite [km]	Reichw.-Check (Volltour ohne Nachladen)	Jahres-km
147	89%	26.000
129	4%	1.000
68	130%	17.600

- Fahrzeugreichweite (Fahrzeugspezifisch)
- Reichweiten-Check: Zeigt wie viel Prozent einer Akkuladung bei der Tagestour verbraucht werden (ohne zwischenzeitlichem Nachladen).
 - grün → OK
 - gelb → kritisch
 - rot → mehr als 100% Verbrauch
- Jahreskilometeranzahl: Errechnet sich aus der täglichen Wegstrecke und den jährlichen Arbeitstagen.

080915_Bedienungsanleitung_Flottenvergleich
9

Bedienungsanleitung

Tourenplaner – Ansicht 2

Von hier an werden zwischenzeitliche Ladevorgänge in den Ergebnissen berücksichtigt.

Route	Startkapazität
1	100%
2	100%
3	100%

Kalkulationstabelle (inkl. Startwert)

Wiederholbarkeit
●
●
●


mind. Akkuladestand
11%
100%
96%

Akkustand zum Tageswechsel:
Sofern am Vortag um 24 Uhr nicht 100% Akkuladung erreicht werden, hier anpassen (iterativer Vorgang).

Wiederholbarkeit:
Zeigt ob die Tagestour beliebig oft wiederholt werden kann.

Mind. Akkuladestand:
Zeigt den geringsten Akkuladestand über den Tag (unter Berücksichtigung von Zwischenladevorgängen)

080915_Bedienungsanleitung_Flottenvergleich
10



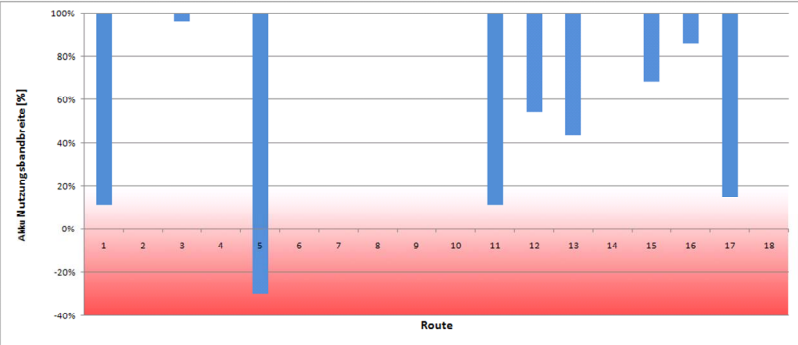
Institut für
Technische
Logistik


Bedienungsanleitung

Tourenplaner – Ansicht 3


Grafische Darstellung der genutzten Akkubandbreite

Grafische Auswertung





080915_Bedienungsanleitung_Flottenvergleich
11




Institut für
Technische
Logistik


Bedienungsanleitung

Tourenplaner – Ansicht 4


Akku-Ladezustand über 24h betrachtet. Die Auswahl der drei gleichzeitig dargestellten Touren erfolgt über die Tourennummer-Einträge in den gelben Feldern.

Route	Tag	Typ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
11	3	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
12	3	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
13	3	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L





080915_Bedienungsanleitung_Flottenvergleich
12



Institut für Technische Logistik

Bedienungsanleitung

Tourenplaner – Ansicht 4

Tourencheck

Route	konventionelles durch E-Fahrzeug ersetzbar	Erklärung
1	NEIN	1. Routenführung möglich, es wird jedoch ein grenzwertiger Akkuzustand erreicht.; 2. ACHTUNG: Tägliche Wiederholung der Route nicht möglich.
2		
3	GUT	1. Akkukapazität ohne Zwischenladung für Route ausreichend.; 2. Tägliche Wiederholung der Route möglich.

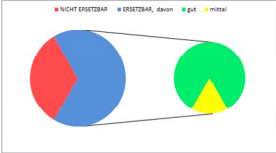
Gibt Empfehlungen zu den Ersatzentscheidungen ab.


Tourenplaner – Ansicht 5

Statistik bezüglich aller betrachteten Touren.

Tourencheck


Summe der eingegebenen Routen		9	100%
davon ersetzbar		6	67%
GUT		5	56%
MITTEL		1	11%
davon NICHT ersetzbar		3	33%





080915_Bedienungsanleitung_Flottenvergleich

13



Institut für Technische Logistik


Bedienungsanleitung

Tourenplaner
Flottenvergleich
wirtschaftlicher Vol
ökologischer Vol
Input_Var_1
Input_Var_2
Input_Var_3
Input_Var_4
Input_Var_5

Definition Anwendungsfall - Dateninput:


Input								
Daten Allgemein	1- Einfluss des Fzg-Zeitwertes: Ein (1) oder Aus (0)	1	und/ oder	3 - Förderung Betrag	Fzg	€		
	2- Förderung: prozentuell auf Differenzkosten	0%		1	0			
	4- jährliche Kilometerleistung	17.500		2	800			
	5- Gratisstanken	10%		3	2.000			
				4	2.000			
			5	2.000				
	6- Kosten - Diesel [€/l]	€ 1,20	8 - erwartete Kosten			Fzg	Parken p.a.	Infrastruk.
	6- Kosten - Erdgas [€/l]	€ 1,00				1	150	0
	6- Kosten - Strom [€/kWh]	€ 0,22				2	150	0
	7- Steigerung p.a. - Stromkosten	2,1%	3	0	1.050			
7- Steigerung p.a. - Dieselpreis	4,2%	4	0	1.050				
7- Steigerung p.a. - Gaspreis	4,2%	5	0	0				
9- Nutzungsdauer [Jahre]	5							

Allgemeiner Dateninput:
Sämtliche Parameter die das Einsatz-Szenario beschreiben sind hier einzugeben.



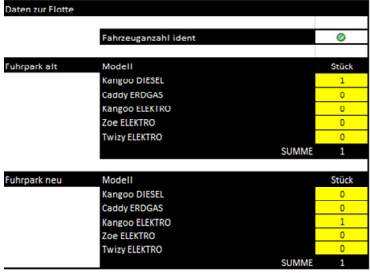
080915_Bedienungsanleitung_Flottenvergleich

14



Bedienungsanleitung

Definition Anwendungsfall - Dateninput:



↑

Zusammensetzungen der Fahrzeugflotten Alt und Neu.

Übersicht - Daten laut Tourenplaner			
Fzg-ID	Typ	Jahres-km	Ersetzbar
1	Zoe ELEKTRO	26.000	NEIN
2			
3	Kangoo ELEKTRO	1.000	GUT
4			
5	Twizy ELEKTRO	17.600	NEIN
6			
7			
8			
9			
10			
11	Kangoo ELEKTRO	23.000	MITTEL
12	Kangoo ELEKTRO	11.800	GUT
13	Kangoo ELEKTRO	14.600	GUT
14			
15	Kangoo ELEKTRO	8.200	GUT
16	Kangoo ELEKTRO	3.600	GUT
17	Kangoo ELEKTRO	22.000	NEIN
18			

↑

Übersicht der im Tourenplaner ermittelten Daten.

INFOBOX


Für Auskünfte zu den Eingabeparametern, die Parameter-Kennzahl in folgendes Feld

	1
--	---


Aktiviert man den Zeitwert, so bezieht sich der TCO darauf, dass in dem jeweiligen Jahr das Fahrzeug verkauft wird und die Erlöse aus dem Fahrzeugverkauf gutgeschrieben werden.

↑

Infobox:
Hier können nähere Info's zu den einzelnen Input-Parametern abgefragt werden.

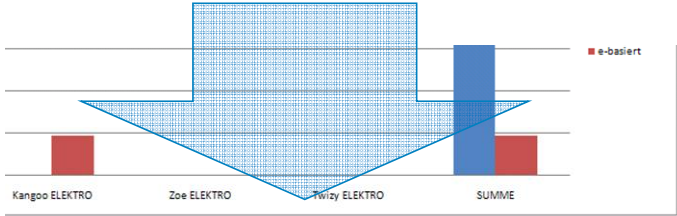


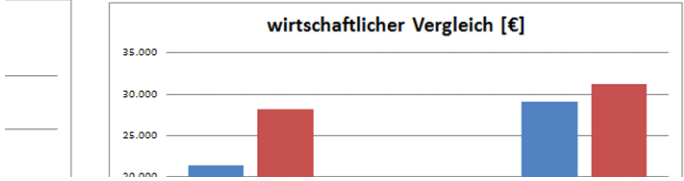
080915_Bedienungsanleitung_Flottenvergleich 15




Bedienungsanleitung


Eine kompakte Auswertung ökologischer und ökonomischer Ergebnisse folgt durch runter scrollen.







080915_Bedienungsanleitung_Flottenvergleich 16



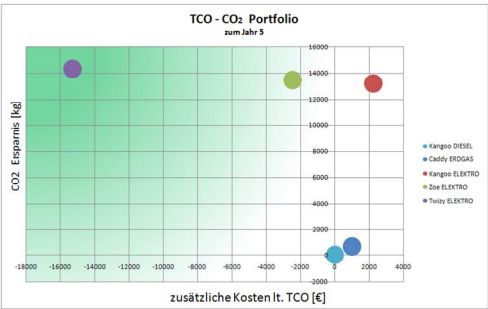
Institut für
Technische
Logistik


Bedienungsanleitung

Tourenplaner
Flottenvergleich
wirtschaftlicher_Vgl
ökologischer_Vgl
Input_Var_1
Input_Var_2
Input_Var_3
Input_Var_4
Input_Var_5

wirtschaftlicher und ökologischer Vergleich:


Eine detaillierte Auswertung der Ergebnisse für die verschiedenen Fahrzeugtypen erfolgt unter diesen beiden Reitern. Im Reiter ökologischer_Vgl. ist auch die kombinierte Portfolio-Betrachtung enthalten. Hier können Gesamtkosten und CO₂-Einsparungen der Fahrzeugtypen verglichen werden.





080915_Bedienungsanleitung_Flottenvergleich

17



Institut für
Technische
Logistik


Bedienungsanleitung

Tourenplaner
Flottenvergleich
wirtschaftlicher_Vgl
ökologischer_Vgl
Input_Var_1
Input_Var_2
Input_Var_3
Input_Var_4
Input_Var_5

Parameter der Vergleichsfahrzeuge:

- 5 unterschiedliche Varianten können gleichzeitig verwendet werden.
- Jede Tabelle (Input_Var1 bis .5) beinhaltet den Datensatz für eine Variante.
- Für die Implementierung eines neuen Modells sind die gelben Felder in einem bestehenden Datensatz zu überschreiben.

Kangoo Express Mail Energy 611 90	Treibstoff: (Erdgas, Strom, Diesel)		Emission: Akkumulator bis km/h			
18540	18540	18540	10.001	15.001	20.001	25.001
meter	0	0	0	0	0	0
*Elektron.-Steuerfaktor	0	0	0	0	0	0
jährliche Kilometerleistung	15000	15000	15000	15000	15000	15000
Abkühlung/Leistungseingangsverhältnis/Leistungseingangsleistung	18540	18540	18540	18540	18540	18540
Benötigter Zylinderwert Ein (1) oder Aus (0)	1	1	1	1	1	1
Förderungs-Faktor	0	0	0	0	0	0
kosten						
Abkühlungskosten	18.540	18.540	18.540	18.540	18.540	18.540
Verkaufswert	13.905	12.051	10.197	8.343		
Förderungen	0	0	0	0	0	0
jährliche Abschreibung - statisch über Nutzungsdauer	4.635	3.245	2.791	2.549		
jährliche Versicherungskosten	1.239	1.239	1.239	1.239		
jährliche Wartungskosten (Service & Reparaturen im Durchschnitt)	479	479	479	479		
jährliche Akkumulator - autom. angepasst	0	0	0	0		
Parkkosten [€/h]	150	150	150	150		
Infrastrukturkosten - y1 absolut, dann jährlich (falls nötig)	0	0	0	0		
jährliche Fixkosten (statisch pro Jahr)	6.504	5.113	4.650	4.418		
TCO fix zum Jahr	6.504	10.227	13.950	17.672		



080915_Bedienungsanleitung_Flottenvergleich

18