

Dipl.-Kff. Perihan Cinibulak

**Wirtschaftlichkeitsanalyse für monetäre sowie nicht monetäre Kriterien
des Einsatzes von Elektroantrieben im City-nahen Güterverkehr**

**– Beurteilung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit
mithilfe der Analysemethode PROMETHEE –**

ELOKOV-Projektbericht Nr. 5

PIM-Projektberichte
ISSN 2195-3627

**Wirtschaftlichkeitsanalyse für monetäre sowie nicht monetäre Kriterien
des Einsatzes von Elektroantrieben im City-nahen Güterverkehr**

**– Beurteilung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit
mithilfe der Analysemethode PROMETHEE –**

Studie im Rahmen des Projekts ELOKOV
(E-Logistics für regionale Güterverteilerverkehre zur Steigerung
der Wettbewerbsfähigkeit des Kombinierten Verkehrs)

Gefördert durch:

Karl-Vossloh-Stiftung

Abstract:

Es wird ein ganzheitliches Konzept zur Beurteilung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit von Investitionen in E-Mobilität entwickelt, die auf den Einsatz von Elektro-Lkw für regionale Güterverteilerverkehre im Vor- und Nachlauf des Kombinierten Verkehrs zugeschnitten sind.

Das Forschungsprojekt „E-Logistics für regionale Güterverteilerverkehre zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des Kombinierten Verkehrs“ (ELOKOV) wird mit Finanzmitteln der Karl-Vossloh-Stiftung gefördert (Projektnummer: S047/10027/2012). Die Projektmitglieder danken für die großzügige Unterstützung ihrer Forschungsarbeiten.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1 Ziele des Vorhabens.....	1
1.1 Realproblem und Stand der Forschung.....	1
1.2 Spezifizierung des wissenschaftlichen Problems.....	2
2 Aufstellung der Kriterien für die Wirtschaftlichkeitsanalyse	5
3 Ausarbeitung des Konzepts für die Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	7
3.1 Festlegung der Nutzfahrzeugalternativen	7
3.2 PROMETHEE.....	11
4 Fazit.....	16
5 Literaturverzeichnis	17
Anhang	21
Anhang 1: Berechnung der Treibstoffkosten.....	21
Anhang 2: Berechnung der Wartungskosten	21
Anhang 3: Berechnung der Abschreibungsbeträge	21
Anhang 4: Berechnung der kalkulatorischen Zinsen.....	21
Anhang 5: Berechnung der Batteriemiete.....	22
Anhang 6: Berechnung der Kfz-Steuer.....	22
Anhang 7: Berechnung der Reichweite für Dieselfahrzeuge	23
Anhang 8: Berechnung der Tankzeiten für Erdgasfahrzeuge.....	23

1 Ziele des Vorhabens

1.1 Realproblem und Stand der Forschung

Aufgrund des Klimawandels und steigender Öl-Preise gewinnt das Thema „Nachhaltigkeit“ für Industrie, Handel und Logistikdienstleister zunehmend an Bedeutung. Der Kombinierte Verkehr mit dem Einsatz von relativ umweltfreundlichen Güterzügen oder Binnenschiffen im Hauptlauf sowie von wesentlich flexibleren Lastkraftwagen (Lkw) im Vor- und Nachlauf für die regionalen Güterverteilerverkehre gilt weithin als das leistungsfähigste Verkehrskonzept zur Realisierung von „Green Logistics“. Allerdings leidet der Kombinierte Verkehr u.a. darunter, dass die ökologischen Vorteile von Gütertransporten per Eisenbahn oder Schiff durch die Umweltbelastungen von Lkw mit Dieselantrieb im Vor- und Nachlauf erheblich beeinträchtigt werden. Daher wird oftmals der Einsatz von Lkw mit Elektroantrieb (Elektro-Lkw) für die regionalen Güterverteilerverkehre des Kombinierten Verkehrs empfohlen. Dennoch wird der Einsatz von Elektro-Lkw für regionale Güterverteilerverkehre derzeit in der Regel als „zu teuer“ abgelehnt. Dieses Vorurteil, das ein wesentliches Hemmnis gegenüber Investitionen in E-Mobilität darstellt, beruht auf einer einseitigen Kostenfokussierung. Um dieses Investitionshemmnis zu überwinden, wird ein Konzept für eine Erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse des Einsatzes von Elektro-Lkw (E-Lkw) im gewerblichen Güterverkehr entwickelt, das weithin übersehene Nutzenaspekte in den Mittelpunkt einer ganzheitlichen betriebswirtschaftlichen Betrachtungsweise rückt. Dieser Analyseansatz befähigt betriebliche Entscheidungsträger dazu nachzuweisen, unter welchen Bedingungen sich Elektro-Lkw für die regionalen Güterverteilerverkehre des Kombinierten Verkehrs wirtschaftlich vorteilhaft einsetzen lassen.

Der Stand der Forschung in der einschlägigen Fachliteratur zum Thema „E-Mobilität“ ist dadurch gekennzeichnet, dass hauptsächlich die Konstruktion von Elektroautos (Elektrofahrzeugen) und die zugehörige technische Infrastruktur erörtert werden. Zwar wird oftmals erwähnt, wie wichtig die Anschaffungs- und die Betriebskosten für die zukünftige Entwicklung von Elektroautos sind, jedoch wird das betriebswirtschaftlich entscheidende Nutzen-Kosten-Verhältnis von Elektroautos nicht oder allenfalls in rudimentärer Weise betrachtet. Die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Elektroautos bleibt in den vorherrschenden Darstellungen, die vornehmlich auf die „Weltsicht“ von Ingenieuren ausgerichtet sind, aus Sicht der Betriebswirtschaftslehre bis heute ein weitgehend unerforschtes Gebiet. Daher ist es größtenteils noch unbekannt, wie sich der Einsatz von Elektroautos auf den wirtschaftlichen Erfolg von Unternehmen auswirkt.

Darüber hinaus wird das Thema „E-Mobilität“ überwiegend aus der Perspektive des Personenverkehrs behandelt. Der Einsatz von Elektrofahrzeugen im gewerblichen Güterverkehr, d.h. von Elektro-Lkw, wird in der einschlägigen Fachliteratur kaum aufgegriffen. Die noch seltenen Beiträge, die sich im Hinblick auf den gewerblichen Güterverkehr mit dem Thema „E-Logistics“ befassen, konzentrieren sich auf die Beiträge von betriebswirtschaftlichen Konzepten des E-Business, nicht jedoch auf die betriebswirtschaftliche Beurteilung des Einsatzes von Elektro-Lkw im gewerblichen Güterverkehr.

Hinsichtlich des Aspekts regionaler Güterverteilerverkehre existiert zwar eine einschlägige Fachdiskussion, die sich unter das Thema „City Logistics“ subsumieren lässt. Diese Forschungsrichtung gilt als umstritten, weil sich die ursprünglich avisierten Fortschritte, insbesondere mithilfe von unternehmensübergreifenden Bündelungseffekten, in der betrieblichen Realität kaum realisieren ließen. Im Kontext des hier durchgeführten Forschungsprojekts ist vor allem herauszustellen, dass in Publikationen zum Thema „City Logistics“ der Einsatz von Elektrofahrzeugen im gewerblichen Güterverkehr bislang noch nicht in nennenswertem Umfang analysiert wurde.

Schließlich ist darauf hinzuweisen, dass in der einschlägigen Fachliteratur zum Kombinierten Verkehr dessen ökologische Vorteilhaftigkeit gegenüber reinen Lkw-Transporten zwar immer wieder betont wird. Aber der kontraproduktive Beitrag des Einsatzes von Lkw mit (vorwiegend) Dieselantrieb oder Benzinantrieb im Vor- und Nachlauf wird kaum thematisiert, sondern anscheinend als „unvermeidliches Übel“ stillschweigend akzeptiert.

1.2 Spezifizierung des wissenschaftlichen Problems

Der Einsatz von Elektro-Lkw auf der „ersten“ oder „letzten Meile“ des Kombinierten Verkehrs hat bislang im Stand der Forschung noch kaum Beachtung gefunden. Weiterhin ist festzustellen, dass derzeit keine verlässlichen Erkenntnisse zur wirtschaftlichen Beurteilung des Einsatzes von Elektro-Lkw für die regionalen Güterverteilerverkehre im Vor- und Nachlauf des Kombinierten Verkehrs angeboten werden.

Um diese Wissenslücke zu schließen, bedarf es einer betriebswirtschaftlich verlässlichen Nutzen-Kosten-Analyse, um die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Elektro-Lkw für die regionalen Güterverteilerverkehre im Vor- und Nachlauf des Kombinierten Verkehrs zu beurteilen. In methodischer Hinsicht existieren zwar durchaus Ansätze für eine solche Beurteilung. Dazu gehören vor allem Kostenvergleichsrechnungen, Scoring-Methoden sowie Cost-Effectiveness-Analysen.

Die Kostenvergleichsrechnungen, die in der betrieblichen Praxis weit verbreitet sind, leiden jedoch unter der Ausblendung von Nutzenaspekten und führen daher zu einer systematischen Verzerrung der Beurteilungsergebnisse.

Scoring-Methoden sind zwar darauf zugeschnitten, insbesondere auch Nutzenaspekte in ein betriebswirtschaftliches Entscheidungskalkül einzubeziehen, leiden jedoch unter erheblichen Manipulationsmöglichkeiten (z. B. in Bezug auf willkürlich festlegbare Kriteriengewichte und Schwellenwerte für Scoring-Skalen) sowie unter einem unvermeidbaren „Skalenbruch“ anlässlich der Transformation ursprünglich ordinaler Bewertungsurteile für einzelne Bewertungskriterien in kardinal aggregierte Gesamtergebnisse.

Cost-Effectiveness-Analysen zeichnen sich zwar dadurch aus, dass sie sowohl Kosten- als auch Nutzenaspekte („Effectiveness“) berücksichtigen. Sie finden jedoch in der betrieblichen Praxis kaum Berücksichtigung, weil sie primär auf volkswirtschaftliche Kosten- und Nutzenabwägungen zugeschnitten sind und daher für betriebliche Praktiker weitgehend „unverständlich“ wirken.

Aus den vorgenannten Gründen besteht ein signifikanter Mangel an einem Konzept für erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalysen, die drei Anforderungen erfüllen:

- Sie müssen erstens neben Kosten- auch Nutzenaspekte umfassen, und zwar in möglichst zahlreichen Nutzendimensionen (Desiderat der Ganzheitlichkeit). Dies betrifft z. B. die Umweltverträglichkeit von Gütertransporten, den Reputationsgewinn eines Logistikdienstleisters aufgrund seiner Orientierung an Maximen der „Green Logistics“ mit entsprechenden Auftragsakquisitions- und Mehrerlöspotenzialen sowie die Kompatibilität mit hoheitlich vorgegebenen Restriktionen, wie etwa emissionsbedingten Fahrverboten in Innenstadtbereichen für Lkw mit Dieselantrieb.
- Zweitens müssen die Erweiterten Wirtschaftlichkeitsanalysen an die Bedürfnisse der betrieblichen Praxis hinsichtlich Begrifflichkeiten sowie Kostenarten und Nutzendimensionen angepasst sein, um hinreichende Akzeptanz finden zu können (Desiderat der Praktikabilität aus Unternehmenssicht).
- Drittens ist es erforderlich, dass die Erweiterten Wirtschaftlichkeitsanalysen an die speziellen Kontextbedingungen des Einsatzes von Elektro-Lkw für die regionalen Güterverteilerverkehre im Vor- und Nachlauf des Kombinierten Verkehrs angepasst sind (Desiderat der Spezifität für „E-Logistics“).

Für die Handlungsalternativen von Investitionen in einen betrieblichen Fuhrpark wird das Bewertungsverfahren PROMETHEE¹ eingesetzt. Das Bewertungsverfahren ist aufgrund der verschiedenen für ein Unternehmen relevanten Ziele ein multikriterielles Bewertungsverfahren, das in einem Beurteilungsprozess gleichzeitig mehrere Kriterien berücksichtigt. Multikriterielle Entscheidungen beziehen sich auf Beurteilungsprozesse,² die mehrere Ziele verfolgen. Die Ziele stehen oft in einem Konfliktverhältnis. Gewöhnlich werden die Kriterien auf unterschiedlichen Skalenniveaus gemessen, somit besteht die Gefahr, dass eine „Unvergleichbarkeit“ zwischen den Handlungsalternativen besteht.³ Um die Handlungsalternativen bewerten zu können, werden im Entscheidungsfeld Kriterien für die Handlungsalternativen herangezogen. Die Kriterien werden in der Literatur auch als Attribute oder Merkmale bezeichnet.⁴ Die Kriterien des Entscheidungsträgers werden repräsentiert durch ökonomische, ökologische sowie gesellschaftliche Ziele, die in der ersten Hierarchieebene auch Oberziele genannt werden und zusammen eine Zielgruppe darstellen.

Ziel ist es, die in den Forschungsprojekten 2, 3 und 4 aufgestellten Kriterien in Form eines Konzepts für eine Erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse zu integrieren, um die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit des Einsatzes von Elektro-Lkw beurteilen zu können.

-
- 1) Es existieren in der einschlägigen Fachliteratur zu Erweiterten Wirtschaftlichkeitsanalysen insbesondere drei Gruppen von Bewertungsverfahren, die auch die Berücksichtigung verschiedener Nutzendimensionen erlauben: a) klassische Bewertungsverfahren, wie z. B. AHP (Analytic Hierarchy Process) und ANP (Analytic Network Process); b) effizienzorientierte Bewertungsverfahren, wie z. B. OCRA (Operational Competitiveness Rating) und TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution); c) entscheidungstechnologische Bewertungsverfahren, wie z. B. ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) und PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation). Ein Überblick sowie detaillierte Beschreibungen der genannten Bewertungsverfahren und die Auswahl der geeigneten Bewertungsverfahren für das Forschungsprojekt ELOKOV wird in dem ELOKOV-Projektbericht Nr. 1 ausführlich erörtert. Vgl. CINIBULAK (2013), S. 12 ff.
 - 2) Zur Handlungsauswahl im Rahmen von multikriteriellen Entscheidungsprozessen werden in der Regel zwei Gruppen von Bewertungsverfahren differenziert: Die einen Bewertungsverfahren beziehen sich auf Entscheidungsprozesse, bei denen mehrere, aber endlich viele diskrete Handlungsalternativen zur Auswahl stehen, mehrere Ziele zur Bewertung der Handlungsalternativen berücksichtigt werden müssen und sich keine der Handlungsalternativen als eine dominante Handlungsalternative erweist. In diesem Fall wird von Bewertungsverfahren für Multi-Attributentscheidungen – auf Englisch „Multi Attribute Decision Making (MADM)“ – gesprochen. Vgl. KÖNIG/ROMMELFANGER/OHSE (2003), S. 158; ZIMMERMANN/GUTSCHE (1991), S. 260. Die anderen Bewertungsverfahren erstrecken sich auf Entscheidungsprozesse, bei denen nicht endlich viele diskrete Handlungsalternativen bekannt sind, sondern die innerhalb eines kontinuierlichen Handlungsraumes liegen und durch situationsspezifische Nebenbedingungen definiert werden. In diesem Fall liegen Bewertungsverfahren für Multi-Objektentscheidungen – auf Englisch „Multi Object Decision Making (MODM)“ – vor. Vgl. GÖTZE (2008), S. 173; KÖNIG/ROMMELFANGER/OHSE (2003), S. 158; ZIMMERMANN/GUTSCHE (1991), S. 260.
 - 3) Vgl. ZIMMERMANN/GUTSCHE (1991), S. 21 f.
 - 4) Vgl. SCHNEEWEIß (1991), S. 19.

2 Aufstellung der Kriterien für die Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Tabelle 1 fasst die im Projektbericht 2 (monetäre Kriterien) und Forschungsbericht 3 (nicht- monetäre Kriterien) vorgestellten Kriterien zusammen.⁵

Kriterien	monetär	nicht- monetär	Kriterien	monetär	nicht- monetär
Abschreibungen	✓		Lade-/Tankzeit		✓
Anschaffungskosten	✓		Lärmemission		✓
CO ₂ -Emission		✓	Treibstoffkosten	✓	
Image		✓	Reichweite		✓
kalkulatorische Zinsen	✓		Versicherungen	✓	
Kfz-Steuer	✓		Wartungen	✓	

Tabelle 1: Monetäre und nicht monetäre Kriterien

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von Güterverkehren auf der „ersten“ oder „letzten Meile“ im Bereich der City-Logistik wurden zunächst konzeptionell erarbeitete Kriterien für die Bedürfnisse der betrieblichen Praxis aufgestellt. Um die ermittelten Kriterien auf die betriebliche Praxistauglichkeit zu prüfen, wurden im Forschungsprojekt 4 Hypothesen aufgestellt.⁶

Mithilfe der ersten Hypothese (monetäre Kriterien für den Einsatz von E-Lkw sind: Anschaffungskosten, Treibstoffkosten, Versicherungen, Kfz-Steuer, Wartungen, Abschreibungen und kalkulatorische Zinsen) konnte gezeigt werden, dass die monetären Kriterien den Bedürfnissen der Praxis entsprechen. Weiterhin konnte aufgezeigt werden, dass Anschaffungskosten und Treibstoffkosten stärker berücksichtigt werden sollten als Versicherungskosten, Kfz-Steuer und Wartungen. Zusätzlich sollten entweder die Abschreibungen oder die Anschaffungskosten betrachtet werden. Somit werden in diesem Projektbericht nur Anschaffungskosten berücksichtigt und die Abschreibungskosten werden vernachlässigt.

Mithilfe der zweiten Hypothese (nicht-monetäre Kriterien für den Einsatz von E-Lkw sind: CO₂-Emission, Lärmemission, Reichweite, Lade-/Tankzeit und Image) konnte gezeigt werden, dass die nicht monetären Kriterien den Bedürfnissen der Praxis entsprechen. Weiterhin

5) Ein Überblick sowie detaillierte Beschreibungen der genannten Kriterien und die Auswahl der geeigneten Kriterien für das Forschungsprojekt ELOKOV werden in dem ELOKOV-Projektbericht Nr. 2 (monetäre Kriterien) und ELOKOV-Projektbericht Nr. 3 (nicht-monetäre Kriterien) ausführlich erörtert. Vgl. CINIBULAK/ALIUSTA/BATASUL (2013), S. 13 ff.; CINIBULAK/ALIUSTA/BATASUL (2013a), S. 6 ff.

6) Mithilfe einer empirischen Studie wurde ermittelt, ob die aufgestellten Hypothesen den Bedürfnissen der Praxis entsprechen. Die Erhebung erfolgte in Form einer Online-Befragung. Befragt wurden insgesamt 680 Personen, 36 Befragte haben vorzeitig die Online-Befragung verlassen und 88 Befragte haben die Online-Befragung vollständig bearbeitet. Vgl. CINIBULAK (2014), S. 8 ff.

konnte aufgezeigt werden, dass die nicht monetären Kriterien Reichweite und Lade-/Tankzeit stärker berücksichtigt werden sollten als Lärmemission, Image und CO₂-Emission.

3 Ausarbeitung des Konzepts für die Wirtschaftlichkeitsanalyse

3.1 Festlegung der Nutzfahrzeugalternativen

Zwecks einer besseren Orientierung in Bezug auf die Festlegung der Nutzfahrzeugalternativen werden ausschließlich Fahrzeuge mit etwa gleichen Nutzlasten herangezogen sowie verglichen. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die zugeordneten Nutzlasten in Kategorie 1 sowie Kategorie 2 und die zu vergleichenden Nutzfahrzeugmodelle in den jeweiligen Kategorien.

Nutzfahrzeugmodelle			
Nutzlasten	Elektronutzfahrzeuge	Dieselnutzfahrzeuge	Erdgasnutzfahrzeuge
Kategorie 1 (ca. 650-800 kg)	Renault Kangoo Maxi Z.E.	Renault Kangoo Rapid Maxi (Extra dCi 90)	Fiat Doblò Cargo Maxi Basis Natural
Kategorie 2 (ca. 850-1000 kg)	Mercedes-Benz Vito E-CELL	Mercedes-Benz Vito 113 CDI	Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT

Tabelle 2: Überblick über die betrachteten Nutzfahrzeugmodelle

Die Tabellen 3, 4, 5 und 6 auf den nächsten Seite fassen die Bewertungen der sechs Nutzfahrzeugmodelle, die in der Tabelle 2 als (Handlungs-) Nutzfahrzeugalternativen vorgestellt wurden, im Hinblick auf die monetären sowie nicht-monetären Kriterienausprägungen zusammen.⁷

7) Vgl. CINIBULAK/ALIUSTA/BATASUL (2013), S. 13 ff.; CINIBULAK/ALIUSTA/BATASUL (2013a), S. 6 ff.

Nutzfahrzeugmodelle	Kriterien	CO ₂ -Emission	Lärmemission	Reichweite	Lade-/Tankzeit	Image
Elektrofahrzeuge	Einheiten	g/km	dB	km	Minuten	Scores
Renault Kangoo Maxi Z.E.		0 ⁸	68 ⁹	170 ¹⁰	450 ¹¹	5
Mercedes-Benz Vito E-CELL		0	69	130	300	5
Dieselfahrzeuge						
Renault Kangoo Rapid Maxi (Extra dCi 90)		130	77 ¹²	1.154 ¹³	3 ¹⁴	1
Mercedes-Benz Vito 113 CDI		199 ¹⁵	78 ¹⁶	806 ¹⁷	3	1
Erdgasfahrzeuge						
Fiat Doblò Cargo Maxi Basis Natural		173	73 ¹⁸	325 ¹⁹	3	3
Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT		231 ²⁰	77 ²¹	300	3	3

Tabelle 3: Nicht-monetäre Kriterien

-
- 8) Vgl. RENAULT DEUTSCHLAND AG (2013a), S. 10.
 - 9) Telefoninterview mit der Renault Deutschland AG.
 - 10) Vgl. RENAULT DEUTSCHLAND AG (2013a), S. 11.
 - 11) Die Ladedauer (0 % auf 100 %) beträgt 6 bis 9 Stunden. Vgl. Renault Deutschland AG (2013a), S. 11. Hier wurde ein durchschnittlicher Betrag $[(6+9/2)*60 \text{ Minuten}]$ von 450 Minuten angenommen.
 - 12) Telefoninterview mit der RENAULT DEUTSCHLAND AG.
 - 13) Ausführliche Berechnungen der Reichweite siehe Anhang 7.
 - 14) Ausführliche Berechnungen der Reichweite siehe Anhang 7.
 - 15) Der CO₂-Ausstoß ist mit einem Mittelwert von 199 g/km (203-195 g/km) eingeflossen. Vgl. Daimler AG (2013c), S. 47.
 - 16) E-Mail-Kontakt mit der DAIMLER AG.
 - 17) Ausführliche Berechnungen der Reichweite siehe Anhang 7.
 - 18) Vgl. FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2013b), S. 2.
 - 19) Telefoninterview mit einem Verkaufsberater, Fiat Deutschland AG, Niederlassung Rhein-Ruhr.
 - 20) Der CO₂-Ausstoß hat einen Durchschnittswert von 231 g/km (235-226 g/km). Vgl. DAIMLER AG (2013d), S. 62.
 - 21) E-Mail-Kontakt mit der DAIMLER AG. Die Quelle gilt auch für die Reichweite.

Kriterien	Anschaffungskosten		Treibstoffkosten pro 100 km			laufende Kosten pro Jahr			
	Kaufpreis	Ladestation	Verbrauch kWh/100 km	€/kWh ²²	€/100 km	Versicherung ²³	Kfz- Steuer ²⁴	Wartung ²⁵	kalk. Zinsen ²⁶
Elektronutfahrzeuge									
Renault Kangoo Maxi Z.E.	21.500,00 € ²⁷	924,00 € ²⁸	15,50 ²⁹	0,20	3,10	3.670,17 €	0,00 €	360,00 €	896,96 €
Mercedes-Benz Vito E-CELL	57.600,00 € ³⁰	710,00 € ³¹	25,20 ³²	0,20	5,04	4.536,20 €	0,00 €	576,00 €	2.332,40 €

Tabelle 4: Monetäre Kriterien Elektronutfahrzeuge

-
- 22) Der Preis bezieht sich auf Naturstrom aus erneuerbaren Energien. Vgl. WEMAG AG (2013), S. 1.
- 23) Die Versicherungskosten in den Tabellen 2 und 3 wurden durch die Wüstenrot & Württembergische AG berechnet.
- 24) Lt. Telefoninterview mit Finanzamt Essen-NordOst beträgt die Kfz-Steuer 0,- €. Für die ausführlichen Berechnungen der Kfz-Steuer (Tabelle 3) siehe Anhang 6.
- 25) Vgl. REGNIET (2013). Die Wartungskosten der Nutzfahrzeuge mit Elektroantrieb sind geschätzt worden. Es wurde bei den Berechnungen als Basis eine Fahrleistung von 25.000 km/Jahr genommen. Ausführliche Berechnungen siehe Anhang 2.
- 26) Für ausführliche Berechnungen, siehe Anhang 4.
- 27) Vgl. RENAULT DEUTSCHLAND AG (2013a), S. 2.
- 28) Vgl. RENAULT DEUTSCHLAND AG (2013a), S. 7.
- 29) Vgl. RENAULT DEUTSCHLAND AG (2013a), S. 10.
- 30) Hier wird von einer Zusammensetzung des Kaufpreises ausgegangen, die sich wie folgt darstellt: monatliche Netto-Leasingrate von 1.069,- € abzgl. 263,- € (Versicherung 70,- € + Batteriemiete 145,- € + Wartung 48,- € = 263,- €) = 806,- € \approx 800,- € x 12 Monate x 6 Jahre (ND) = 57.600,- €.
- 31) Vgl. DAIMLER AG (2013a), S. 1.
- 32) Vgl. DAIMLER AG (2013a), S. 1.

Kriterien	Anschaffungskosten	Treibstoffkosten pro 100 km			laufende Kosten pro Jahr			
		Verbrauch kWh/100 km	€/l ³³	€/100 km	Versicherung	Kfz- Steuer	Wartung	kalk. Zinsen
Dieselnutzfahrzeuge	Kaufpreis							
Renault Kangoo Rapid Maxi (Extra dCi90)	18.400,00 € ³⁴	5,20 ³⁵	1,24	6,46	3.224,41 €	124,00 €	528,00 €	736,00 €
Mercedes-Benz Vito 113 CDI	27.360,00 € ³⁶	9,30 ³⁷	1,24	11,56	4.043,43 €	185,00 €	828,00 €	1.094,40 €

Tabelle 5: Monetäre Kriterien Dieselfahrzeuge

Kriterien	Anschaffungskosten	Treibstoffkosten pro 100 km			laufende Kosten pro Jahr			
		kg/100 km	kg/€	€/100 km	Versicherung	Kfz- Steuer	Wartung	kalk. Zinsen
Erdgasnutzfahrzeuge	Kaufpreis							
Fiat Doblò Cargo Maxi Basis Natural	18.400,00 € ³⁸	6,9 ³⁹	0,92	6,31	3.576,30 €	148,00 €	576,00 €	744,00 €
Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT	27.360,00 € ⁴⁰	10,8	0,92	9,88	4.333,37 €	210,00 €	996,00 €	1.522,40 €

Tabelle 6: Monetäre Kriterien Erdgasnutzfahrzeuge

33) Für Dieselnutzfahrzeuge wurde der Lkw-Diesel-Preis zugrunde gelegt. Vgl. ARAL AG (2013), S. 1. Ausführliche Berechnung siehe Anhang 1.

34) Vgl. RENAULT DEUTSCHLAND AG (2013b), S. 2.

35) Vgl. RENAULT DEUTSCHLAND AG (2013b), S. 11.

36) Vgl. DAIMLER AG (2013c), S. 12.

37) Der Verbrauch beträgt innerorts 9,5 l/100 km, durchschnittlich 9,3 l/100 km [(9,5 l/100 km + 9,1 l/100 km)/2]. Vgl. DAIMLER AG (2013c), S. 47.

38) Vgl. RENAULT DEUTSCHLAND AG (2013b), S. 2.

39) Vgl. FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2013a), S. 46.

40) Vgl. DAIMLER AG (2013c), S. 12.

3.2 PROMETHEE

Im Jahr 1986 konzipierten BRANS/VINCKE/MARSHAL das Preference-Ranking-Organisation-Method-for-Enrichment-Evaluation-(PROMETHEE)-Verfahren.⁴¹ Das PROMETHEE-Verfahren gehört zu den Outranking-Verfahren und ist zusammen mit dem ELECTRE-Verfahren eines der bekanntesten und verbreitetsten Outranking-Verfahren.⁴²

Mithilfe des PROMETHEE-Verfahrens werden Kriterien $k = 1, \dots, K$ in Paarvergleichen in Bezug auf die betrachteten Nutzfahrzeugalternativen (Elektronutzfahrzeug A_1 , Dieselnutzfahrzeug A_2 und Erdgasnutzfahrzeug A_3) beurteilt, hierbei wird die Präferenz des Entscheidungsträgers aufgezeigt.

Bei der Überführung der Präferenzvorstellungen des Entscheidungsträgers in mathematische Modelle werden zwei klassische Präferenzarten definiert:

- indifferente Präferenzen (I)
 $k_1(A_1) = k_1(A_2)$ Elektronutzfahrzeug und Dieselnutzfahrzeug sind gleichwertig
- strikte Präferenzen (P)
 $k_1(A_1) > k_1(A_2)$ Elektronutzfahrzeug wird Dieselnutzfahrzeug vorgezogen

Erweiterungen der klassischen Präferenzmodelle:

- schwache Präferenzen (Q)
 $k_1(A_1) \geq k_1(A_2)$ Elektronutzfahrzeug ist mindestens so gut wie Dieselnutzfahrzeug
- Unvergleichbarkeit (R)
Elektronutzfahrzeug und Dieselnutzfahrzeug sind nicht vergleichbar, da zwar das Elektronutzfahrzeug gegenüber dem Dieselnutzfahrzeug hinsichtlich mindestens eines Kriteriums überlegen ist, jedoch auch hinsichtlich mindestens eines anderen Kriteriums unterlegen ist.

Für die Präferenzen werden sechs verschiedene Präferenzfunktionen von BRANS, VINCKE und MARSHAL vorgeschlagen. Die Präferenzfunktionen werden als die Differenz der jeweiligen Paarvergleiche für jedes Kriterium bestimmt. Um einen realistischen Vorzug für eine Nutzfahrzeugalternative geben zu können werden den Differenzschwennenwerte (Präferenz-

41) In dem vorliegenden Forschungsprojektbericht wird das klassische PROMETHEE-Verfahren dargestellt und untersucht. In der Literatur existieren Modifikationen, die hier nicht weiter betrachtet werden.

42) Für die folgenden Darstellungen sowie Erklärungen für PROMETHEE vgl. BRANS/VINCKE (1985), S. 647 ff.; BRANS/ VINCKE/MARSHAL (1986), S. 228 ff.; ZIMMERMANN/GUTSCHE (1991), S. 207 ff.; RUHLAND (2004), S. 25 ff.; GELDERMANN (2005), S. 126 ff.; GÖTZE (2008), S. 217 ff., BAMBERG/ COENENBERG/KRAPP (2012), S. 61 ff.

schwollen und Indifferenzschwellen) zugeordnet, die der Entscheidungsträger frei bestimmen kann.

Weiterhin ist es möglich den Kriterien Gewichte zuzuordnen, jedoch muss die Summe 1 ergeben. Um die Praxisorientierung des vorliegenden Projektberichtes hervorzuheben und gleichzeitig das Konzept der Literatur zu ergänzen, werden die Gewichte aus dem Projektbericht Nr. 4 (ELOKOV-Online-Befragung) übernommen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Gewichte, die von den Befragungsteilnehmern den jeweiligen Kriterien zugeordnet. Hierbei hatten die Befragungsteilnehmer die Möglichkeit, 1=sehr niedrig bis 5=sehr hoch als Antwortoption auszuwählen.

Kriterien	1	2	3	4	5	Median	Gewichtung
Anschaffungskosten	7	2	5	12	39	5	0,13
CO ₂ -Emission	6	9	22	16	19	3	0,08
Image	19	14	19	14	6	3	0,08
kalk. Zinsen	18	22	12	6	7	3	0,08
Kfz-Steuer	6	21	21	11	6	3	0,08
Lade-/Tankzeit	3	8	6	20	35	4	0,10
Lärmemission	15	17	24	9	7	3	0,08
Reichweite	5	1	5	9	52	5	0,13
Treibstoffkosten	3	5	9	24	24	4	0,10
Versicherung	6	24	23	9	3	3	0,08
Wartungen	4	11	20	21	9	3	0,08
Summe	92	134	166	151	207	39	1,00 ⁴³

Tabelle 7: Gewichtung der Kriterien⁴⁴

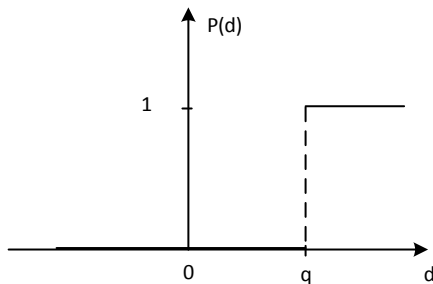
43) Aufgrund der Rundung nach der zweiten Dezimalstelle ergibt sich hier nicht genau der Wert 1, sondern der Wert 1,02. Diese „Rundungsfehler“ werden in dem vorliegenden Projektbericht vernachlässigt.

44) Vgl. CINIBULAK (2014), S. 20 u.22.

Die folgende Abbildung zeigt eine exemplarische Präferenzfunktion.

Quasi-Kriterium:

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{falls } d \leq q \\ 1, & \text{falls } d > q \end{cases}$$



d = Differenz der Kriterienausprägung

p = Präferenz

q = Indifferenzschwelle

$P(d)$ = Präferenzfunktion

Abbildung 1: Quasi-Kriterium

Es wird eine Indifferenzschwelle q festgelegt. Bleibt die Differenz bei einem Paarvergleich einer Kriterienausprägung innerhalb der festgelegten Indifferenzschwelle, ist der Entscheidungsträger indifferent. Überschreitet die Differenz bei den Kriterienausprägungen für zwei Nutzfahrzeugalternativen in Bezug auf ein Kriterium die festgelegte Indifferenzschwelle, liegt eine strikte Präferenz vor.

Um eine Entscheidung für den betrieblichen Fuhrpark treffen zu können werden die Kriterienausprägungen für zwei Nutzfahrzeugsalternativen (mit etwa gleich großen Nutzlasten) in Bezug auf ein Kriterium miteinander verglichen. Der Vergleich wird mithilfe der Software Visual PROMETHEE durchgeführt.

A_1 = Renault Kangoo Maxi Z.E. (Elektronutzfahrzeug)

A_2 = Renault Kangoo Rapid Maxi (Extra dCi 90) (Dieselnutzfahrzeug)

A_3 = Fiat Doblò Cargo Maxi Basis Natural (Erdgasnutzfahrzeug)

Weiterhin werden die Kriterien in monetäre sowie nicht monetäre Kriterien gruppiert:

◆ = monetäre Kriterien

■ = nicht monetäre Kriterien

Anschließend werden den Kriterien Höhenpräferenzen sowie Artenpräferenzen (Gewichtungen) zugeordnet. Abschließend wird die Präferenzfunktion Quasi-Kriterium ausgewählt⁴⁵ sowie die Indifferenzschwelle definiert. Die Indifferenzschwelle wird mithilfe der Höhenpräferenzen der jeweiligen Kriterien bestimmt. Abhängig von der Höhenpräferenz z.B. Anschaffungskosten sollen minimiert werden, daraus folgt für die Indifferenzschwelle bis 15%⁴⁶ von der Kriterienausprägung der Nutzfahrzeugalternative mit der maximalen Kriterienausprägung gilt als Indifferenzobergrenze. Die Reichweite sollen maximiert werden, daraus folgt für die Indifferenzschwelle bis 15% von der Kriterienausprägung der Nutzfahrzeugalternative mit der minimalen Kriterienausprägung gilt als Indifferenzobergrenze.

Die folgende Abbildung gibt einen Gesamtüberblick über die Nutzfahrzeugalternativen, Kriterien sowie Kriterienausprägungen, Gruppierung der Kriterien, Präferenzfunktion, Indifferenzschwelle sowie statistische Werte z. B. Mittelwert.

Visual PROMETHEE Academic - 1-3.vpg (not saved)

File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GJS Custom Assistants Snapshots Options Help

	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Fuhrpark	Anschaftung...	Treibstoffko...	Versicherung	Reichweite	Lade-/Tankzeit	CO2-Emissio...	Lärmemission	Kfz Steuer	Wartung	Image	kalk. Zinsen
Unit	€	€/100km	€/Jahr	km	Min	g/km	dB	€	€	unit	€	
Cluster/Group	◆	◆	◆	■	■	■	■	◆	◆	■	◆	
Preferences												
Min/Max	min	min	min	max	min	min	min	min	min	min	max	min
Weight	0,13	0,10	0,08	0,13	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Preference Fn.	U-shape	U-shape	U-shape	U-shape	U-shape	U-shape	U-shape	U-shape	U-shape	U-shape	U-shape	U-shape
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	3.363,60 €	0,97 €	550,53 €	25,50	67,50	25,95	11,55	22,20	86,40	0,15	134,54	
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Statistics												
Minimum	18.400,00 €	3,10 €	3.224,41 €	170,00	3,00	0,00	68,00	0,00	360,00	1,00	736,00	
Maximum	22.424,00 €	6,46 €	3.670,17 €	1154,00	450,00	173,00	77,00	148,00	576,00	5,00	896,96	
Average	19.808,00 €	5,29 €	3.490,29 €	549,67	152,00	101,00	72,67	90,67	488,00	3,00	792,32	
Standard Dev.	1.851,59 €	1,55 €	191,87 €	431,99	210,72	73,54	3,68	64,86	92,61	1,63	74,06	
Evaluations												
<input checked="" type="checkbox"/> A1	●	22.424,00 €	3,10 €	3.670,17 €	170,00	450,00	0,00	68,00	0,00	360,00	5,00	896,96
<input checked="" type="checkbox"/> A2	■	18.400,00 €	6,46 €	3.224,41 €	1154,00	3,00	130,00	77,00	124,00	528,00	1,00	736,00
<input checked="" type="checkbox"/> A3	■	18.600,00 €	6,31 €	3.576,30 €	325,00	3,00	173,00	73,00	148,00	576,00	3,00	744,00

Abbildung 2: Gesamtüberblick über Kriterien und Kriterienausprägungen

45) Für den vorliegenden Projektbericht wird für alle Kriterien die Quasi-Kriterium-Präferenzfunktion ausgewählt. Allerdings ist es möglich, für Kriterien auch unterschiedliche Präferenzfunktionen auszuwählen.

46) Von der Verfasserin willkürliche festgesetzt.

Die folgende Abbildung 3 veranschaulicht die Präferenzen für die Nutzfahrzeugalternativen hinsichtlich der Kriterienausprägungen. Hierbei wird der Vergleich mithilfe des Ausgangsflusses Φ^+ (Maß für die Stärke z. B. A_1 gegenüber A_2 und A_3) und des Eingangsflusses Φ^- (Maß für die Schwäche z. B. A_1 gegenüber A_2 und A_3) dargestellt. Das Ergebnis kann durch einen gerichteten Graphen dargestellt werden: Der Pfeil bedeutet, dass die Nutzfahrzeugalternative A_2 die Nutzfahrzeugalternative A_3 im Sinne der PROMETHEE-Relation dominiert. Weiterhin ist Nutzfahrzeugalternative A_1 unvergleichbar.

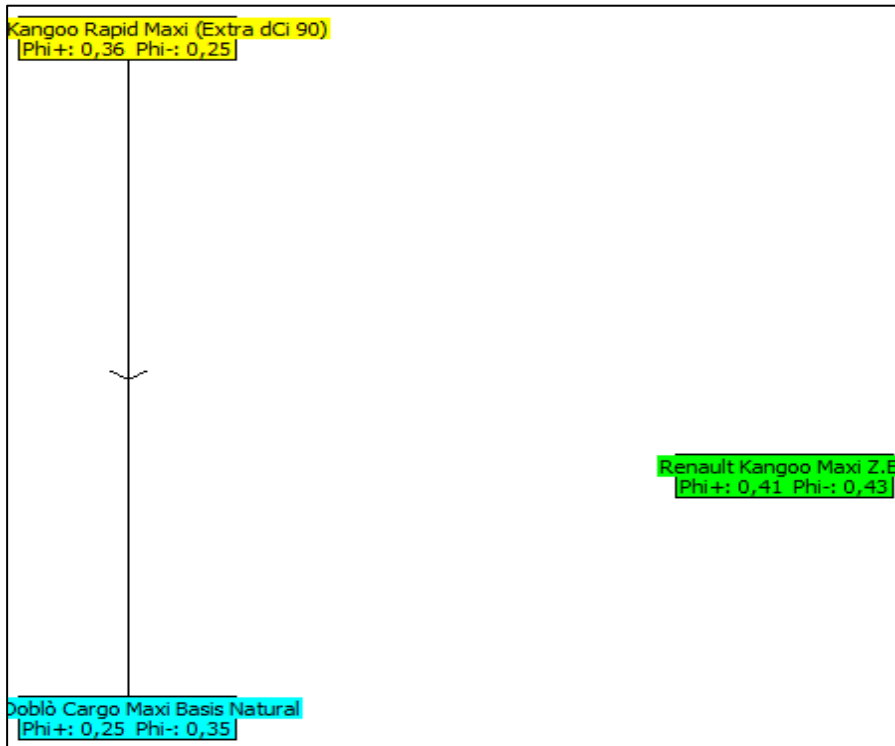


Abbildung 3 : PROMETHEE-gerichteter Graph

Mithilfe des PROMETHEE-I-Verfahrens wird nur eine Präordnung (unvollständige Ordnung) der Handlungsalternativen aufgezeigt. Erst mithilfe des Nettoflusses ($\Phi = \Phi^+ - \Phi^-$), also des PROMETHEE-II-Verfahrens, kann eine vollständige Ordnung geschaffen werden. Siehe hierzu die folgende Abbildung.

PROMETHEE Flow Table				
	Car	Phi	Phi+	Phi-
1	Renault Kangoo Rapid	0,1127	0,3578	0,2451
2	Renault Kangoo Maxi	-0,0196	0,4118	0,4314
3	Fiat Doblò Cargo Maxi	-0,0931	0,2549	0,3480

Abbildung 4: PROMETHEE-Nettofluss

4 Fazit

Ziel ist es, die in den Forschungsberichten 2, 3 und 4 aufgestellten Kriterien sowie Nutzfahrzeugalternativen (Nutzfahrzeugmodelle aus unterschiedlichen Antrieben (Elektronutzfahrzeuge, Dieselnutzfahrzeuge sowie Erdgasnutzfahrzeuge)) in Form eines Konzepts für eine Erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse zu integrieren, um die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit des Einsatzes von Elektronutzfahrzeugen beurteilen zu können.

Mithilfe des PROMETHEE-Verfahrens wurden die Handlungsalternativen paarweise miteinander verglichen. Folgende Ergebnisse können festgehalten werden:

- Durch die Anwendung des PROMETHEE-I-Verfahrens konnte aufgezeigt werden, dass das Dieselnutzfahrzeug das Erdgasnutzfahrzeug dominiert. Jedoch bleibt das Elektronutzfahrzeug unvergleichbar.
- Durch die Anwendung des PROMETHEE-II-Verfahrens ergab sich eine vollständige Rangfolge. Hierbei besetzte das Dieselnutzfahrzeug den ersten Rang. Den zweiten Rang erhielt das Elektronutzfahrzeug und Rang drei das Erdgasnutzfahrzeug.

Erst mit dem Nettofluss konnte eine vollständige Rangordnung geschaffen werden, jedoch wurde diese vollständige Rangfolge mithilfe von Kompensationen unter den Kriterienausprägungen realisiert. Aus ethischer Sicht werden solche Kompensationen als problematisch empfunden, wenn z.B. Kosten und Umweltbelastungen miteinander „verrechnet“ werden.

5 Literaturverzeichnis

BAMBERG/COENENBERG/KRAPP (2012)

BAMBERG, G.; COENENBERG, A.; KRAPP, M.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 15. Aufl., München 2012.

BRANS/VINCKE (1985)

BRANS, J. P.; VINCKE, P.: A Preference Ranking Organisation Method. In: Management Science, Vol. 31 (1985), No. 6, S. 647-656.

BRANS/VINCKE/MARESCHALE (1986)

BRANS, J. P.; VINCKE, P.; MARESCHALE, B.: How to select and how to rank projects. In: European Journal of Operational Research, Vol. 24 (1986), S. 228-238.

CINIBULAK (2013)

Cinibulak, P.: Analysemethoden sowie Konzeptausarbeitung für das Forschungsprojekt ELOKOV. ELOKOV-Projektbericht Nr. 1, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, Essen 2013.

CINIBULAK/ALIUSTA/BATASUL (2013a)

Cinibulak, P.; Aliusta, H.; Batasul, S.: Einfache Wirtschaftlichkeitsanalyse – Aufstellung eines Katalogs für monetär messbare Kriterien zur Beurteilung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit von Nutzfahrzeugen im City-nahen Güterverkehr. ELOKOV-Projektbericht Nr. 2, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, Essen 2013.

CINIBULAK/ALIUSTA/BATASUL (2013b)

Cinibulak, P.; Aliusta, H.; Batasul, S.: Erweiterung der einfachen Wirtschaftlichkeitsanalyse – Aufstellung eines Katalogs für Nutzenkriterien zur Beurteilung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit von Nutzfahrzeugen im City-nahen Güterverkehr. ELOKOV-Projektbericht Nr. 3, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, Essen 2013.

CINIBULAK (2014)

Cinibulak, P.: Wirtschaftlichkeitsanalyse von Nutzfahrzeugen im City-nahen Güterverkehr – Validierung der Kriterien zur Beurteilung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit. ELOKOV-Projektbericht Nr. 4, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, Essen 2014.

DAIMLER AG (2013a)

DAIMLER AG: Mercedes Benz – Vito E-CELL Kastenwagen – Technische Daten. Im Internet unter der URL: „http://www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/van/home/new_vans/models/vito_639/e-cell/data/data.html“, Zugriff am 09.07.2013.

DAIMLER AG (2013b)

DAIMLER AG: Mercedes Benz – Vito E-CELL Kastenwagen – Produktvorteile – Einsatzgebiete – Nachhaltig ohne Einschränkungen. Im Internet unter der URL: „http://www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/van/home/new_vans/models/vito_639/e-cell/advantages/application_area.html“, Zugriff am 09.07.2013

DAIMLER AG (2013c)

DAIMLER AG: Mercedes-Benz Transporter – Vito – Kastenwagen – Beratung & Kauf – Preisliste. Im Internet unter der URL: „http://www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/van/home/new_vans/models/vito_639/panel_van/_advice_sales/pricelist.html“, Zugriff am 09.07.2013

DAIMLER AG (2013d)

DAIMLER AG: Mercedes-Benz Transporter – Sprinter – Kastenwagen – Beratung & Kauf – Preisliste. Im Internet unter der URL: „http://www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/van/home/new_vans/models/sprinter_906/panel_van/_advice_sales/pricelist.html“, Zugriff am 09.07.2013

DIEFENBACH/VORDANK (2007)

Diefenbach, T.; Vordank, T.: Erfassung und Bewertung von intangible assets im Rahmen betrieblicher Meß- und Bewertungssysteme. In: Moldaschl, M. (Hrsg.): Immaterielle Ressourcen. 2. Aufl., München 2007, S. 219-258.

FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2013a)

FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG: Modelle – Prospekte & Preise – Doblò Cargo Warentransport – Preisliste. Im Internet unter der URL „http://www.fiatprofessional.dede/CMSDE/Pdf/Doblo_Preisliste.pdf“, Zugriff am 16.07.2013

FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2013b)

FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG: Technische Daten. In: Karabag CCF Centro Commerciale GmbH Transporter- & Wohnmobil – Fachbetrieb: Fahrzeuge – Modelle – Doblo Kastenwagen – Technische Daten. Im Internet unter der URL: „http://www.karabag.de/uploads/media/120725_FP_DobloCargo_Kastenwagen_1.4_TJet_16V_NaturalPower_88kW_TD_05.pdf“

GELDERMANN (2005)

GELDERMANN, J.: Mehrzielentscheidungen in der industriellen Produktion. Habilitation an der Universität Karlsruhe 2005. Karlsruhe 2005.

GÖTZE (2008)

Götze, U.: Investitionsrechnung – Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 6. Aufl., Heidelberg 2008.

KÖNIG/ROMMELFANGER/OHSE (2003)

König, W.; Rommelfanger, H.; Ohse, D.: Taschenbuch der Wirtschaftsinformatik und Wirtschaftsmathematik. 2. Aufl., Frankfurt am Main 2003.

PFOHL/BRAUN (1981)

Pfohl, H.-C.; Braun, G.: Entscheidungstheorie – Normative und deskriptive Grundlagen des Entscheidens. München 1981.

REGNIET (2013)

REGNIET, B.: Der Autokostencheck – wie teuer ist mein Auto im Unterhalt. Im Internet unter der URL: „<http://www.autokostencheck.de>“, Zugriff am 13.07.2013.

RENAULT DEUTSCHLAND AG (2013a)

RENAULT DEUTSCHLAND AG: Der Renault Kangoo Z.E. – Preise und Ausstattungen. Im Internet unter der URL „http://www.renault-preislisten.de/fileadmin/user_upload/Preisliste_Kangoo_ZE.pdf“, Zugriff am 08.07.2013.

RENAULT DEUTSCHLAND AG (2013b)

RENAULT DEUTSCHLAND AG: Der Renault Kangoo Rapid – Broschüre und Preisliste als Download – Preisliste. Im Internet unter der URL http://www.renault-preislisten.de/fileadmin/user_upload/Preisliste_Kangoo_LKW.pdf, Zugriff am 08.07.2013.

SCHNEEWEIß (1991)

Schneeweiß, C.: Planung 1. Systemanalyse und entscheidungstheoretische Grundlagen. Berlin 1991.

WEMAG AG (2013)

WEMAG AG: Gewerbekunden. Im Internet unter der URL: „<https://www.wemio.de/?kt=gewerbe>“, Zugriff am 07.07.2013.

YAY (2012)

Yay, M: Elektromobilität – Theoretische Grundlagen, Herausforderungen sowie Chancen und Risiken der Elektromobilität, diskutiert an den Umsetzungsmöglichkeiten in die Praxis. 2. Aufl., Frankfurt am Main 2012.

ZIMMERMANN/GUTSCHE (1991)

Zimmermann, H.-J.; Gutsche, L.: Multi-Criteria Analyse – Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen. Berlin / Heidelberg 1991.

Anhang

Anhang 1: Berechnung der Treibstoffkosten

- LKW-Diesel in €/l: Preis brutto 1,479 € pro Liter / 1,19 \approx 1,243 (netto)
- Erdgas in kg/€: Preis brutto 1,089 € pro kg / 1,19 \approx 0,915 (netto)

Anhang 2: Berechnung der Wartungskosten

Annahme für die monatlichen Wartungskosten für Nutzfahrzeuge mit Elektroantrieb: 30 % geringere Wartungskosten als bei einem vergleichbaren Dieselfahrzeug.

- Berechnung der Wartungskosten für Renault Kangoo Maxi Z.E.: Wartungskosten für Renault Kangoo Rapid Maxi (Diesel) abzgl. 30 % \Rightarrow 44,- € abzgl. 30 % (13,20 €) = 30,80 € \approx 30,- €, jährliche Wartungskosten: 12 * 30,- € = 360,- €
- Berechnung der Wartungskosten für Mercedes-Benz Vito E-CELL: Wartungskosten für Mercedes-Benz Vito 113 CDI (Diesel) abzgl. 30 % \Rightarrow 69,- € abzgl. 30 % (20,70 €) = 48,30 € \approx 48,- €, jährliche Wartungskosten: 12 * 48,- € = 576,- €

Anhang 3: Berechnung der Abschreibungsbeträge

Renault Kangoo Maxi Z.E.:	22.424,- € / 6 Jahre = 3.737,33 €
Mercedes-Benz Vito E-CELL:	58.310,- € / 6 Jahre = 9.718,33 €
Renault Kangoo Rapid Maxi:	18.400,- € / 6 Jahre = 3.066,67 €
Mercedes-Benz Vito 113 CDI:	27.360,- € / 6 Jahre = 4.560,00 €
Fiat Doblò Cargo Maxi Basis Natural:	18.600,- € / 6 Jahre = 3.100,00 €
Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT:	38.060,- € / 6 Jahre = 6.343,33 €

Anhang 4: Berechnung der kalkulatorischen Zinsen

Renault Kangoo Maxi Z.E.:	22.424,- € / 2 * 8 % = 896,96 €
Mercedes-Benz Vito E-CELL:	58.310,- € / 2 * 8 % = 2.332,40 €
Renault Kangoo Rapid Maxi:	18.400,- € / 2 * 8 % = 736,00 €
Mercedes-Benz Vito 113 CDI:	27.360,- € / 2 * 8 % = 1.094,40 €
Fiat Doblò Cargo Maxi Basis Natural:	18.600,- € / 2 * 8 % = 744,00 €

Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT: $38.060,- \text{ €} / 2 * 8 \% = 1.522,40 \text{ €}$

Anhang 5: Berechnung der Batteriemiete

Die monatliche Batteriemiete des Renault Kangoo Z.E. i. H. v. 106,- € (bei einer Laufleistung von 25.000 km/Jahr) wurde durch die Motorleistung geteilt, um die Batteriemiete pro kW Motorleistung auszurechnen. Zur Motorleistung des Renault Kangoo Maxi Z.E. in der Höhe von 44 kW; vgl. RENAULT DEUTSCHLAND AG (2013a), S. 2.

Die Motorleistung des Mercedes-Benz Vito E-CELL beträgt 60 kW [vgl. DAIMLER AG (2013a), S. 1]. Berechnung: monatliche Batteriemiete Vito E-CELL : $106,- / 44 \text{ kW} \times 60 \text{ kW} = 144,55 \text{ €} \approx 145,- \text{ €}$

=> Batteriemiete pro Jahr: $12 * 145,- \text{ €} = 1.740,- \text{ €}$

Anhang 6: Berechnung der Kfz-Steuer

Laut telefonischem Interview mit dem Finanzamt Essen-NordOst vom 09.07.2013 wurde die „Übersicht zur Kraftfahrzeugsteuer für Nutzfahrzeuge“ als Berechnungsgrundlage genommen.

Kfz-Steuer für Renault Kangoo Rapid Maxi (Diesel):

Zulässiges Gesamtgewicht ist 2.200 kg. Vgl. RENAULT DEUTSCHLAND AG (2013b), S. 11.

⇒ D. h., es gibt 11 „je angefangene 200 kg“, 10-mal bis 2.000 kg-Stufe (die Steuer beträgt 11,25 €), 1-mal 2.000-3.000 kg-Stufe (die Steuer beträgt 12,02 €).
 $= (10 \times 11,25 \text{ €}) + (1 \times 12,02 \text{ €}) = 124,52 \text{ €}$, abgerundet auf volle Euro => 124,- €

Kfz-Steuer für Mercedes-Benz Vito 113 CDI (Diesel):

Zulässiges Gesamtgewicht ist 3.050 kg. Vgl. DAIMLER AG (2013c), S. 47.

⇒ D. h., es gibt 16 „je angefangene 200 kg“, 10-mal bis 2.000 kg-Stufe (die Steuer beträgt 11,25 €), 5-mal 2.000-3.000 kg-Stufe (die Steuer beträgt 12,02 €) und 1-mal 3.000 – 4.000 kg-Stufe (die Steuer beträgt 12,78 €).
 $= (10 \times 11,25 \text{ €}) + (5 \times 12,02 \text{ €}) + (1 \times 12,78 \text{ €}) = 185,38 \text{ €}$, abgerundet auf volle Euro
=> 185,- €

Kfz-Steuer für Fiat Doblò Cargo Maxi Basis Natural (Erdgas):

Zulässiges Gesamtgewicht ist 2.470 kg. Vgl. FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2013a), S. 21.

⇒ D. h., es gibt 13 „je angefangene 200 kg“, 10-mal bis 2.000 kg-Stufe (die Steuer beträgt 11,25 €), 3-mal 2.000-3.000 kg-Stufe (die Steuer beträgt 12,02 €).
 $= (10 \times 11,25 \text{ €}) + (3 \times 12,02 \text{ €}) = 148,56 \text{ €}$, abgerundet auf volle Euro $\Rightarrow 148,- \text{ €}$

Kfz-Steuer für Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT (Erdgas):

Zulässiges Gesamtgewicht ist 3.500 kg. Vgl. DAIMLER AG (2013d), S. 10.

⇒ D. h., es gibt 18 „je angefangene 200 kg“, 10-mal bis 2.000 kg-Stufe (die Steuer beträgt 11,25 €), 5-mal 2.000-3.000 kg-Stufe (die Steuer beträgt 12,02 €) und 3-mal 3.000 – 4.000 kg-Stufe (die Steuer beträgt 12,78 €).
 $= (10 \times 11,25 \text{ €}) + (5 \times 12,02 \text{ €}) + (3 \times 12,78 \text{ €}) = 210,94 \text{ €}$, abgerundet auf volle Euro
 $\Rightarrow 210,- \text{ €}$

Anhang 7: Berechnung der Reichweite für Dieselfahrzeuge

Die Reichweite wird durch die folgende Formel berechnet:

Reichweite = Tankvolumen/Verbrauch*100 km.

- Renault Kangoo Rapid Maxi: $60 \text{ l} / 5,2 \text{ l} * 100 \text{ km} = 1.153,85 \text{ km} \approx 1.154 \text{ km}$
 [Tankvolumen ist 60 l, vgl. RENAULT DEUTSCHLAND AG (2013b), S. 11.]
- Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT: $75 \text{ l} / 9,3 \text{ l} * 100 \text{ km} = 806,45 \text{ km} \approx 806 \text{ km}$

Anhang 8: Berechnung der Tankzeiten für Erdgasfahrzeuge

Die Tankzeit vom Erdgasfahrzeug (VW Caddy) beträgt 4,5 Minuten und hat ein Tankvolumen von 26 kg, vgl. AUTOHAUS GLINICKE GMBH & CO. VERTRIEBS KG (2008), S. 6 f.

D. h. Tankzeit pro kg = 4,5 Minuten / 26 kg = 0,173 Minuten

- Fiat Doblò Cargo Maxi Basis Natural: $0,173 * 20,8 \text{ kg} = 3,6$ aufgerundet auf volle Minute = 4 Minuten. [Tankvolumen beträgt 20,8 kg. Vgl. FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2013b), S. 2.]
- Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT: $0,173 * 19,7 \text{ kg} = 3,41$ aufgerundet auf volle Minuten = 3 Minuten.
- Mittelwert für Erdgasfahrzeuge: $4 + 3 = 7 \text{ Minuten} / 2 \Rightarrow 3,5 \text{ Minuten} \approx 3 \text{ Minuten}$
- Annahme für Dieselfahrzeuge: Die Tankzeiten sind gleich wie bei den Erdgasfahrzeugen, daher wird hier auch ein Wert von 3 Minuten angenommen.

Autorin:

Dipl.-Kffr. Perihan Cinibulak

Wissenschaftliche Mitarbeiterin des Instituts für
Produktion und Industrielles Informationsma-
nagement

Tel: +49(0)201/183-4919

Fax: +49(0)201/183-4017

E-Mail: Perihan.Cinibulak@pim.uni-due.de

Impressum:

Institut für Produktion und
Industrielles Informationsmanagement
Universität Duisburg-Essen, Campus Essen
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Universitätsstraße 9, 45141 Essen

Website (Institut PIM): www.pim.wiwi.uni-due.de

Website (Projekt EKOKOV):
<http://www.elokov.wiwi.uni-due.de/>

ISSN: 2195-3627

Universität Duisburg-Essen – Campus Essen
Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement

Projektberichte des Forschungsprojekts ELOKOV

ISSN 2195-3627

- Nr. 1 Perihan Cinibulak: Analysemethoden sowie Konzeptausarbeitung für das Forschungsprojekt ELOKOV. Essen 2013.
- Nr. 2 Perihan Cinibulak / Hülya Aliusta / Senay Batasul: Einfache Wirtschaftlichkeitsanalyse – Aufstellung eines Katalogs für monetär messbare Kriterien zur Beurteilung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit von Nutzfahrzeugen im City-nahen Güterverkehr. Essen 2013.
- Nr. 3 Perihan Cinibulak / Hülya Aliusta / Senay Batasul: Erweiterung einer einfachen Wirtschaftlichkeitsanalyse – Aufstellung eines Katalogs für Nutzenkriterien zur Beurteilung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit von Nutzfahrzeugen im City-nahen Güterverkehr. Essen 2013.
- Nr. 4 Perihan Cinibulak: Wirtschaftlichkeitsanalyse von Nutzfahrzeugen im City-nahen Güterverkehr – Validierung der Kriterien zur Beurteilung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit. Essen 2014.
- Nr. 5 Perihan Cinibulak: Wirtschaftlichkeitsanalyse für monetäre sowie nicht monetäre Kriterien des Einsatzes von Elektroantrieben im City-nahen Güterverkehr – Beurteilung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit mithilfe der Analysemethode PROMETHEE. Essen 2014.