

LOGFOR

Verbundprojekt LOGFOR

Logistik Online Forwarding 2020

Logistik-Forschung und Logistik-Ausbildung Ruhr

Dipl.-Kff. Alessa Münchow-Küster, Tim Bollens, B.Sc.

Analyse des Einsatzes alternativer Antriebsarten im Bereich des Straßengüterverkehrs mit Hilfe des computergestützten Programms SEN

gefördert durch:



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Ziel2.NRW
Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung

Ministerium für Wirtschaft, Energie,
Bauen, Wohnen und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen



LOGFOR-Projektbericht Nr. 2

ISSN

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Symbolverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis.....	VIII
1. Grundriss der Problematik des Einsatzes von alternativen Antrieben in der Logistik.....	1
1.1 Hintergrund zur Problemstellung	1
1.2 Wissenschaftliche Problemstellung.....	3
1.3 Aufbau der Arbeit	4
2. Einsatzbereiche der Antriebsarten.....	5
2.1 Darstellung des Logistikbereiches zur Einführung in die Problemstellung.....	5
2.2 Begriffsabgrenzung „Logistik“	5
2.3 Güterverkehr.....	7
2.4 Auswirkungen des Verkehrs: Externe Effekte.....	8
3. Gegenüberstellung der Fahrzeugtechnologien	10
3.1 Herkömmliche Fahrzeugtechnologien	10
3.2 Alternative Kraftstoffe	12
3.2.1 Positionierung der alternativen Kraftstoffe	12
3.2.2 Flüssiggasfahrzeuge.....	12
3.2.3 Erdgasfahrzeuge.....	13
3.3 Alternative Antriebsarten bezogen auf Elektromobilität.....	15
3.3.1 Elektrofahrzeuge	15
3.3.2 Hybridfahrzeuge	17
3.3.2.1 Technischer Aufbau der Hybridfahrzeuge	17
3.3.2.2 Parallel Hybrid.....	18
3.3.2.3 Serieller Hybrid	18
3.3.2.4 Leistungsverzweigender Hybrid.....	18
3.3.3 Akkumulator:	20
3.4 Detaillierte Darstellung der Fahrzeugtechnologien.....	21

4. Kostenvergleichsrechnung der Antriebsarten	23
4.1 Einführung in die Kostenvergleichsrechnung.....	23
4.2 Analyse der relevanten Kosten	25
4.3 Exemplarische Anwendung des Kostenvergleiches.....	26
4.3.1 Kostenvergleich der Fahrzeugklasse PKW	26
4.3.2 Kostenvergleich der Fahrzeugklasse Kastenwagen bis 3,5t.....	27
4.4 Darstellung der Ergebnisse der Kostenvergleiche.....	27
5. Vorstellung der empirischen Erhebung über die Präferenzen der Logistikunternehmen. ..	30
5.1 Zielsetzung der empirischen Erhebung.....	30
5.2 Entwicklung der Datenerhebung der empirischen Erhebung	30
5.3 Auswertung der empirischen Erhebung.....	31
5.4 Darstellung der Erkenntnisse der empirischen Erhebung	32
5.5 Fazit der empirischen Erhebung mit Ausblick auf die Szenario-Analyse	33
6. Szenario-Analysen anhand eines neuronalen Netzes „SEN“	34
6.1 Einweisung in das Themengebiet der neuronalen Netze.....	34
6.2 Einleitung der Szenarien.....	36
6.3 Aufbau der Szenario-Analyse und Erläuterung des Programms „SEN“	36
6.4 Darstellung der Szenarien 2011 & 2020.....	41
6.4.1 Szenario 2011 der Kategorie PKW	41
6.4.2 Szenario 2020 der Kategorie PKW	45
6.4.3 Interpretation der Ergebnisse der Kategorie PKW	48
6.4.4 Szenario 2011 der Kategorie Kastenwagen bis 3,5 t.....	49
6.4.5 Szenario 2020 der Kategorie Kastenwagen bis 3,5 t.....	51
6.4.6 Interpretation der Ergebnisse der Kategorie Kastenwagen bis 3,5 t.....	52
7. Handlungsempfehlung.....	53
Literaturverzeichnis.....	55

Abkürzungsverzeichnis

ADAC	Allgemeine Deutsche Automobil-Club e.V.
Anschaffungskosten	Anschaffungskosten
Akku.	Akkumulator
Aufl.	Auflage
BiFuel	Erdgas/Benzin
bival.	bivalent
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BRD	Bundes Republik Deutschland
bzw.	beziehungsweise
C ₃ H ₈	Propan
C ₄ H ₁₀	Methan
ca.	cirka
CH ₄	Methan
CNG	Compressed Natural Gas
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
dB:	Dezibel
de	Deutschland
Def.	Definition
Dipl.	Diplom
DKV	Deutscher Kraftverkehr
Dr.	Doktor
e-books	electronic book
e-mail	electronic mail
et al.	et alii
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
evtl.	eventuell
f.	folgende Seite
ff.	folgende Seiten
Flüssig.	Flüssiggas
g	Gramm
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung

Gruppe H	High caloric gas
Gruppe L	Low caloric gas
HC	Kohlenwasserstoff
Hr.	Herr
Hrsg.	Herausgeber
http	Hypertext Transfer Protocol
i. H. v.	in Höhe von
i	Kalkulationszins
IV	Inputvektor
Jh.	Jahrhundert
Kaff.	Kaufmann/frau
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KFZ	Kraftfahrzeug
kg.	Kilogramm
km	Kilometer
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
l	Liter
Lkw	Lastkraftwagen
LNG	Liquefied Natural Gas
LPG	Liquefied Petroleum Gas
Max	Maximum
MB	Mercedes Benz
Min.	Minute
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarde
Na/NiCl ₂	Natrium-Nickelchlorid
ND	Nutzungsdauer
NGV	Natural Gas Vehicle
NO _x	Stickstoffoxid
o.V.	ohne Verfasser
o.A.	ohne Angaben
o.O	ohne Ort
PDF	Portable Document Format
PKW	Personenkraftwagen

Prof.	Professor
S.	Seite
SEN	Self Enforcing Network
St.	Stunde
Tel.	Telefonnummer
t.	Tonne
TDI	Turbo-Diesel-Injection
Tkm	Tonnenkilometer
u.	und
UBA	Umweltbundesamt
Univ. –Prof .	Universitäts-Professor
URL	Uniform Resource Locator
V	Volt
Vgl.	vergleiche
Vol.	Volumen
VW	Volkswagen
W/kg	Watt pro Kilogramm
Wh/kg	Wattstunde pro Kilogramm
www.	world wide web
z.B.	zum Beispiel
ZEBRA	Zero Emission Battery Research Achitivity

Symbolverzeichnis

-	Bindestrich
–	minus
+	plus
%	Prozent
&	und
(runde Klammer auf
)	runde Klammer zu
[offene eckige Klammer
]	zue eckige Klammer
*	mal
/	geteilt durch
@	At-Zeichen
“	Anführungsstriche oben
„	Anführungsstriche unten
€	Euro
=	gleich
>	größer als
°C	Celsius
Σ	Summe
Ø	Durchschnitt

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: PKW- & Nutzfahrzeugbestände nach Kraftstoffarten	1
Abbildung 2: Aufbau der Arbeit.	4
Abbildung 3: Externe Verkehrskosten nach den Verursachern 2005.....	9
Abbildung 4: PKW-Bestände nach Kraftstoffarten.....	11
Abbildung 5: Nutzfahrzeugbestände nach Kraftstoffarten 2011.....	11
Abbildung 6: Aufbau Parallel Hybrid ¹⁴⁴	18
Abbildung 7: Aufbau Serieller Hybrid ¹⁵⁰	18
Abbildung 8: Aufbau Leistungsver-.....	18
Abbildung 9: Elektrischer Anteil der Antriebsarten.	19
Abbildung 10: Kostenverlauf der Kategorie PKW.....	28
Abbildung 11: Grundeinstellung des neuronalen Netzes	36
Abbildung 12: Phase „Netz erstellen"	37
Abbildung 13: Phase „Start gedrückt" mit der Gewichtsmatrix.....	39
Abbildung 14: Phase „Start gedrückt" Visualisierungsteil	40
Abbildung 15: Semantische Matrix mit den Werten der Fahrzeugklasse PKW	42
Abbildung 16: Phase Darstellung des Visualisierungsteils.....	42
Abbildung 17: Phase „Inputvektor ausgewählt“	44
Abbildung 18: Phase „Simulation durchlaufen“ Ergebnis PKW Szenario 2011	44
Abbildung 19: Nominelles Ergebnis PKW Szenario 2011	45
Abbildung 20: Phase „Simulation durchlaufen“ Ergebnis PKW Szenario 2020	48
Abbildung 21: Nominelles Ergebnis PKW Szenario 2020.....	48
Abbildung 22: Phase „Simulation durchlaufen“ Ergebnis Kastenwagen bis 3,5t Szenario 2011	50
Abbildung 23: Nominelles Ergebnis Kastenwagen bis 3,5t Szenario 2011	51
Abbildung 24: Phase „Simulation durchlaufen“ Ergebnis Kastenwagen bis 3,5t Szenario 2020	52
Abbildung 25: Nominelles Ergebnis Kastenwagen bis 3,5t Szenario 2020	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Güterverkehr im Jahre 2010	7
Tabelle 2: Straßengüterverkehr im Jahre 2010.	8
Tabelle 3: Externe Verkehrskosten in der BRD aus dem Jahre 2005.	10
Tabelle 4: Aktuell eingesetzte Akkumulatoren.....	21
Tabelle 5: Fahrzeugvergleich.....	22
Tabelle 6: Kostenvergleich der Fahrzeugklasse PKW.....	27
Tabelle 7: Kostenvergleich der Fahrzeugklasse Kastenwagen bis 3,5t	27
Tabelle 8: Kostenvergleich der Kastenwagen bis 3,5t mit einer Nutzungsdauer von 21 Jahren.	29
Tabelle 9: Ausschnitt der Excel-Tabelle „Auswertung der empirischen Erhebung“.....	31
Tabelle 10: SEN-Werte für die semantische Matrix PKW	41
Tabelle 11: Ausschnitt aus der Excel-Tabelle „Auswertung empirische Erhebung“ Frage 10.....	43
Tabelle 12: Bewertung der Attribute für die Analyse.....	43
Tabelle 13: SEN-Werte für Szenario 2020 PKW	46
Tabelle 14: SEN-Werte für Szenario 2011 Kastenwagen bis 3,5t	50
Tabelle 15: SEN-Werte für das Szenario 2020 Kastenwagen bis 3,5t.....	51

1. Grundriss der Problemstellung des Einsatzes von alternativen Antrieben in der Logistik

1.1 Hintergrund zur Problemstellung

Insgesamt gibt es in Deutschland zum 1. Januar 2011, 51 Millionen Kraftfahrzeuge¹, von denen sich nur 43.361 Fahrzeuge mit alternativen Antriebsarten² fortbewegen³. Diese Zahl zeigt, dass Fahrzeuge mit alternativen Antriebsarten in Deutschland noch nicht weit verbreitet sind. Vor allem im Bereich der Nutzfahrzeuge, die einen Fahrzeugbestand von 1.500 mit alternativen Antriebsarten aufweisen⁴, ist zu erkennen, dass der Einsatz dieser Antriebsarten kaum genutzt wird. Die Gründe liegen zum einen an der Technologie selber und zum anderen an der geringen Verfügbarkeit der alternativen Fahrzeuge in der Automobilbranche. Die nachstehend angeführte Grafik gibt Auskunft über die prozentualen Bestände der PKW's und Nutzfahrzeuge, aufgesplittet nach Kraftstoffarten⁵.

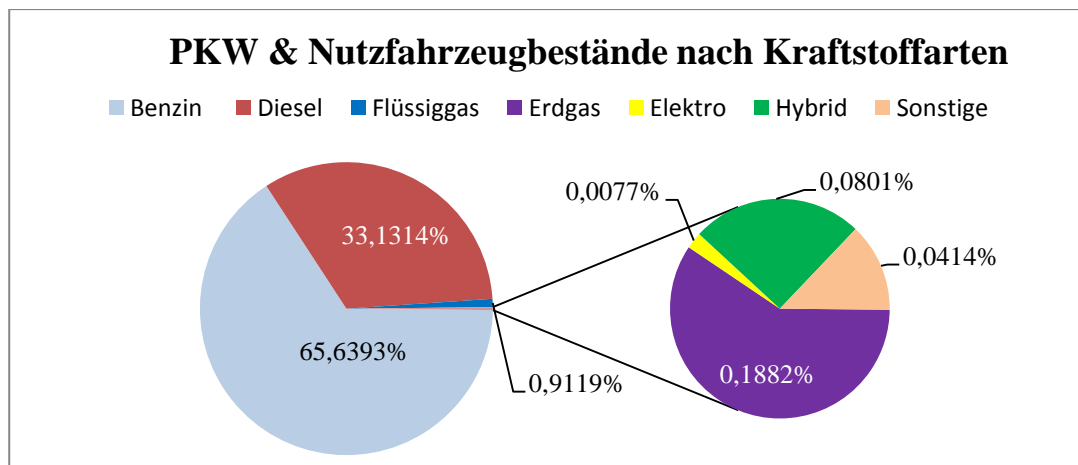


Abbildung 1: PKW- & Nutzfahrzeugbestände nach Kraftstoffarten⁶

Die Fahrzeuge mit alternativen Antriebsarten verfügen im Gegensatz zu herkömmlichen Fahrzeugen über eine geringere Reichweite⁷ und höhere Anschaffungskosten⁸. Die geringe Verfügbarkeit dieser Art von Fahrzeugen ist dadurch zu erklären, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt kaum Serienfertigungen in der Automobilbranche durchgeführt werden⁹. Das ist

¹ Vgl. KRAFTFAHRT BUNDESAMT (2011b), S. 1 f.

² Alternative Antriebsarten beschreiben Elektrofahrzeuge und Hybridfahrzeuge sowie die der Kategorie der herkömmlichen Fahrzeuge zugehörigen alternativen Kraftstoffe Erdgas- und Flüssiggas, die in dieser Arbeit dargestellt werden.

³ Von den 43.361 Fahrzeugen fallen 2.307 in den PKW- und 1.136 in den Nutz- und Elektrofahrzeugbereich und 37.256 in den PKW- und 92 in den Nutz- und Hybridfahrzeugbereich. Vgl. KRAFTFAHRT BUNDESAMT (2011b), S. 1 f.

⁴ Zum 01.01.2011 lag der Bestand der Nutzfahrzeuge bei 2.441.377. Vgl. KRAFTFAHRT BUNDESAMT (2011b), S. 1 f.

⁵ Die Tabelle betrachtet nur PKW und Nutzfahrzeuge. Die Fahrzeugarten, wie z.B. Krafträder, Kraftomnibusse und sonstige Fahrzeugarten, werden nicht betrachtet.

⁶ Eigene Darstellung. Die Informationen sind aus einem Interview mit dem KBA. Vgl. KRAFTFAHRT BUNDESAMT (2011b), S. 1 f.

⁷ Vgl. o.V. (2009a).

⁸ Vgl. o.V. (2010), S. 92.

⁹ Vgl. HÜTTL/PISCHETSRIEDER/SPATH (2010), S. 50.

darauf zurückzuführen, dass sich die meisten Unternehmen der Automobilbranche noch in der Testphase der Prototypen befinden¹⁰.

Aus den bereits aufgeführten Gründen resultiert das Realproblem, dass Logistikunternehmen nicht wissen, ob ein Umstieg auf alternative Antriebsarten wirtschaftlich effizient ist bzw. ab wann dieser Einsatz wirtschaftlich effizient sein wird.

Für Logistikunternehmen gewinnt die Problemstellung an Prägnanz, da der Druck, den Stakeholder auf die Unternehmen ausüben, die Denkweise der Unternehmen dahingehend beeinflusst, umweltschonender zu agieren¹¹. Zu den Stakeholdern, die den Einsatz alternativer Antriebsarten wünschen, zählen der Staat, die Kunden und Nichtregierungsorganisationen¹².

Der Staat verfolgt das Ziel der CO₂ Reduzierung von 1990 bis 2020 um 40%¹³. In Bezug auf die Erreichung des Ziels betrachtet der Staat den Verkehrssektor, der den zweitgrößten Emissionsausstoß nach dem Energiesektor verursacht¹⁴, da der Verkehrssektor unter anderem große Einsparpotentiale von CO₂ bietet. Anlässlich der Relevanz des Verkehrssektors plant die Bundesregierung die Durchführung des „Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität der BRD“, der zum Ziel hat, bis zum Jahr 2020 eine Millionen Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen zuzulassen¹⁵.

Neben dem Staat zählen die Kunden zu den Stakeholdern. Bei der Wahl eines geeigneten Logistikunternehmens berücksichtigen die Kunden nicht nur die Kosten, sondern ziehen die „Umweltbelastung“ als Entscheidungskriterium hinzu¹⁶. Das Umweltbundesamt bestätigt das Umweltbewusstsein der Bevölkerung in regelmäßig stattfindenden Bevölkerungsumfragen. Im Gegensatz zum Jahr 2006 ist im Jahr 2010 eine Rückentwicklung bei der Umfrage der Bevölkerung „Was zählt zu den wichtigsten Problemen Deutschlands“¹⁷ zu verzeichnen. Das Umweltbewusstsein lag 2006 mit 25% auf Position 2 hinter dem Arbeitsmarkt mit 63%¹⁸. 2010 hingegen sank die Bedeutung des Umweltschutzes um 5 % und landete auf Position 3 hinter den Bereichen der Wirtschafts- und Finanzpolitik mit 24% und dem Arbeitsmarkt mit 51%¹⁹. Aktuelle Themen, wie z. B. die Umweltkatastrophe in Japan und die daraus resultierende weltweite Atomdiskussion, lassen vermuten, dass das Umweltbewusstsein in 2011 wieder ansteigen wird. Die Wahlergebnisse der letzten Landtagswahl in Baden-

¹⁰ Auf dieser Seite sind alle Elektrofahrzeuge gelistet, die es aktuell als Serienfahrzeug oder Prototyp gibt. Vgl. o.V. (2011a).

¹¹ Vgl. SCHÖNBERGER (2010), S. 693.

¹² Vgl. BRETZKE/BARKAWI (2010).

¹³ Vgl. UMWELTBUNDESAMT (2011a).

¹⁴ Der Energiesektor verursachte 2009 45% und der Verkehr 25% energiebedingte Treibhausgase (CO₂). Vgl. UMWELTBUNDESAMT (2009).

¹⁵ Vgl. DIE BUNDESREGIERUNG (2009), S. 2.

¹⁶ Vgl. o.V. (1994), S. 60.

¹⁷ KUCKARZT/RÄDIKER/RHEINGANS-HEINTZE (2006), S. 14.

¹⁸ Vgl. KUCKARZT/RÄDIKER/RHEINGANS-HEINTZE (2006), S. 14.

¹⁹ Vgl. BORGSTEDT/CHRIST/REUSSWIG (2010), S. 16.

Württemberg, in der die Fraktion Bündnis 90/Die Grünen zum ersten Mal in ihrer Parteigeschichte mit Winfried Kretschmann einen Ministerpräsidenten stellt²⁰, unterstreicht diese Vermutung. Logistikunternehmen sind daran interessiert, dem Druck der Stakeholder nachzugeben, in dem sie durch den Einsatz von alternativen Fahrzeugen umweltbewusster agieren, um mögliche Wettbewerbsvorteile zu generieren²¹. Vor dem Hintergrund dieser Diskussion gilt es für Logistiker den Einsatz alternativer Antriebe zu überprüfen. Neben der nicht zu bezweifelnden Umweltfreundlichkeit rücken dabei vor allem Überlegungen zu Wirtschaftlichkeit und Leistung in den Mittelpunkt der Analyse.

1.2 Wissenschaftliche Problemstellung

Wissenschaftliche Untersuchungen zu der Wirtschaftlichkeit der alternativen Antriebsarten im Straßengüterverkehr und was noch erfolgen muss, um den Einsatz wirtschaftlich zu gestalten, sind noch nicht erschöpfend bearbeitet worden. Der State of the Art in der Fachliteratur weist auf, dass bisher keine Szenario-Analyse hinsichtlich der Thematik der Einsatzmöglichkeiten der alternativen Antriebsarten im Bereich des Straßengüterverkehrs durchgeführt wurde. Bisher wurden in der Fachliteratur diesbezüglich nur folgende Thematiken aufgegriffen: Es wurden wissenschaftliche Ausarbeitungen zu den Themen „Fahrzeugtechnik“, „Leistung und Funktionalität des Akkumulators“ sowie „Infrastrukturelle Bedingungen für diese Art von Fahrzeugen“ untersucht. Des Weiteren wurden die Möglichkeiten, Elektrofahrzeuge als Speichermedium für erneuerbare Energien zu nutzen, beschrieben. In Kombination mit der Logistik wurden die Themen hinsichtlich der Alltagstauglichkeit, Chancen sowie Potentiale dieser Antriebsarten erforscht. Betriebswirtschaftlich wünschenswert ist es zu analysieren ob bzw. ab wann die alternativen Antriebsarten von den Logistikunternehmen in der Logistik eingesetzt werden können, um dem Druck der Stakeholder gerecht zu werden und Wettbewerbsvorteile generieren zu können. Daraus erfolgt eine nicht triviale Diskrepanz zwischen dem State of the Art und dem betriebswirtschaftlich wünschenswertem aufgrund eines Erkenntnisproblems, da die oben beschriebene Problemstellung bisher noch nicht wissenschaftlich untersucht worden ist. Das Erkenntnisproblem existiert aufgrund der fehlenden Analyse, die die Wirtschaftlichkeit von alternativen Antriebsarten untersucht. Daraus entwickelt sich das wissenschaftliche Problem dieser Arbeit, das anhand einer Szenario Analyse, mit dem computergestützten Programm „SEN“²² gelöst werden soll. Unterstützend wird eine Befragung in der Logistikbranche durchgeführt, um die Attribute für die Szenario-Analyse identifizieren und bewerten zu können. Zur Beurteilung der Effizienz der alternativen An-

²⁰ Vgl. ROTH/ÖZDEMİR (2011).

²¹ Vgl. KOPLIN (2006), S. 231.

²² „Self Enforcing Network“

triebsarten zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird ein Kostenvergleich durchgeführt. Das intendierte Ergebnis dieser Arbeit ist die Erkenntnis über die Wirtschaftlichkeit und der Akzeptanz von alternativen Antrieben in der Zukunft.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau und die Vorgehensweise der Arbeit.

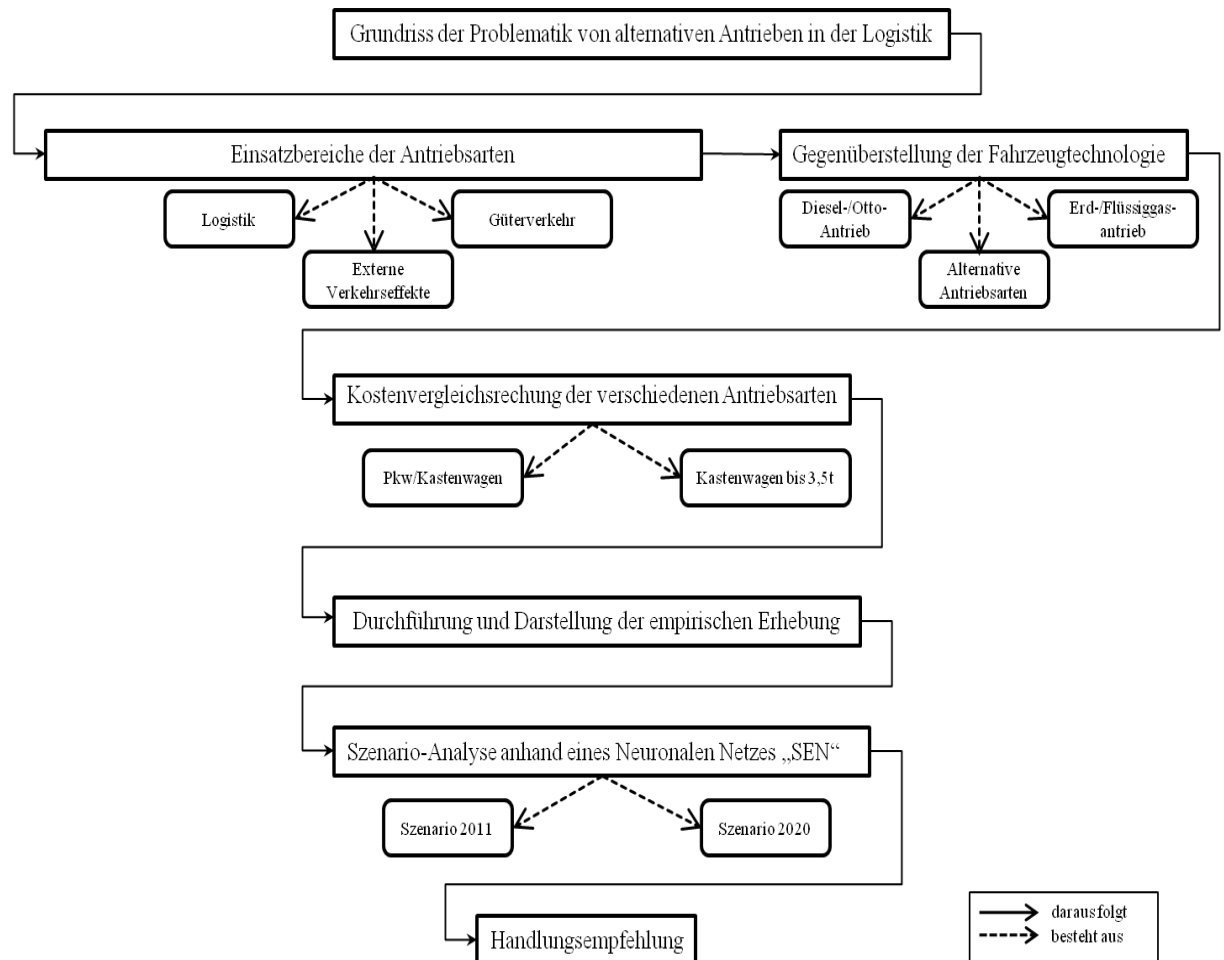


Abbildung 2: Aufbau der Arbeit²³

Die Arbeit ist sinngemäß in 7 Kapitel gegliedert. Im ersten Bereich wurde bereits die Grundproblematik und welche Themenbearbeitung daraus resultiert dargestellt. Anschließend folgen die theoretischen Bereiche zum Verständnis für die weitere Bearbeitung, die Darstellung des Logistikbereiches sowie die Darstellung der relevanten Fahrzeugtechnologien. Danach wird zum praktischen Teil übergeleitet, in dem zunächst ein Kostenvergleich durchgeführt wird. Es folgt die Durchführung einer empirischen Erhebung sowie die Durchführung einer Szenario-Analyse eines neuronalen Netzes SEN. Nach Beendigung des praktischen Teils wird eine Handlungsempfehlung auf Grundlage der vorher erarbeiteten Ergebnisse abgegeben.

²³ Quelle: Eigene Darstellung.

2. Einsatzbereiche der Antriebsarten

2.1 Darstellung des Logistikbereiches zur Einführung in die Problemstellung

Der Begriff der Logistik wird erst seit Anfang der 50er Jahre des letzten Jahrhunderts in der Privatwirtschaft gebraucht²⁴. Ursprünglich beschrieb dieser Begriff die Organisation der Versorgung der Truppen bei militärischen Einsätzen²⁵. Seit den 70er Jahren hat sich der Begriff in der globalen Wirtschaftswelt verbreitet²⁶. Der Grund für diese Entwicklung findet sich in der Globalisierung der Märkte, denen Unternehmen begegnen müssen, wieder. Das hat zur Folge, dass die Unternehmen höhere Anforderungen vor allem in Hinblick auf den Material-, Werte- und Informationsfluss zu bewältigen haben²⁷. Um weltweit konkurrenzfähig zu bleiben, ist es für Unternehmen besonders wichtig, den Fokus auf die logistischen Tätigkeiten zu setzen²⁸. Im Zusammenhang dieser Arbeit umfasst der Bereich Logistik vor allem den Gütertransport. Der Transport der Güter spielt für Unternehmen in jeder Hinsicht eine wichtige Rolle.

Unter Transporte fallen Vorgänge, die die räumliche Perspektive von Gütern beeinflussen²⁹. Damit sind Unternehmen gemeint, die ihre Güter transportieren lassen, oder Unternehmen, die auf Güter zur weiteren Verarbeitung angewiesen sind. Die Lieferzeiten sind einzuhalten, da die meisten Unternehmen heutzutage nach dem Prinzip „just in time“³⁰ produzieren, was zur Folge hat, dass die Ansprüche an die Logistikunternehmen steigen, die Güter zum vereinbarten Zeitpunkt auszuliefern. Das Einhalten der Lieferzeiten, Lieferflexibilität, Lieferqualität sowie die Reduzierung der Logistikkosten beschreiben die klassischen wirtschaftlichen Ziele der Logistik³¹. Die Wichtigkeit der Transporte wird demnach herausgestellt. Im Folgenden wird der Begriff Logistik näher eingegrenzt.

2.2 Begriffsabgrenzung „Logistik“

In der einschlägigen Literatur finden sich verschiedene Definitionen für den Begriff Logistik³². Im Zusammenhang mit dieser Arbeit wird die Definition von SCHULTE gewählt, da diese als zutreffend gilt und weitestgehend die Komplexität, die der Begriff mit sich bringt, berücksichtigt. Laut SCHULTE beinhaltet die Logistik eine „marktorientierte, integrierte

²⁴ Vgl. HEISERICH (2002), S. 4. So entstand in Stanford 1956 das erste Lehrfach für Logistik.

²⁵ Vgl. SCHULTE (2009), S. 1.

²⁶ Vgl. ARNOLD ET AL. (2008), S. 3.

²⁷ Vgl. EHRMANN (2008), S. 13.

²⁸ Vgl. SCHMITT (2006), S. 2.

²⁹ Vgl. IHDE (2001), S. 4.

³⁰ „Just in time“ ermöglicht eine zeitnahe Belieferung der Güter, um somit weitestgehend auf das Zurückgreifen von Lagerbeständen zu verzichten. Prozesse entlang der Wertschöpfungskette im Bereich der Lieferung können dadurch stabilisiert werden. Vgl. IHDE (2001), S. 276.

³¹ Vgl. ARNDT (2008), S. 122.

³² Vgl. ARNOLD/ET AL. (2008), S. 3 f.

Planung, Gestaltung, Abwicklung und Kontrolle des gesamten Material- und dazugehörigen Informationsflusses zwischen einem Unternehmen und seinen Lieferanten, innerhalb eines Unternehmens sowie zwischen einem Unternehmen und seinen Kunden.³³ Die Definition sagt aus, dass die Logistik eine Querschnittsfunktion zwischen den wichtigen Bereichen eines Unternehmens ist. Das ist beispielsweise daran erkennbar, dass sich die logistischen Tätigkeiten in die Beschaffungs-, Produktions-, Distributions- sowie Entsorgungslogistik aufteilen³⁴. Es wird auch von einer so genannten Logistikkette, die das logistische System eines Unternehmens darstellt, gesprochen. Diese beinhaltet den gesamten Güterfluss eines Unternehmens und kann in Transport-, Lager- und Produktionsprozesse aufgeteilt werden. Innerhalb dieser Arbeit wird der Fokus auf den Transportprozess gelegt. Vor allem auf die inner- und außerbetrieblichen Transportsysteme³⁵. Unter den außerbetrieblichen Transportsystemen wird der Güterverkehr verstanden, der das Ziel hat, die Produktions-, Gewinnungs-, Konsumtions- und Entsorgungsstätten optimal miteinander zu verbinden und mit Gütern zu versorgen³⁶. Die innerbetrieblichen Transportprozesse finden innerhalb der Produktionsprozesse Anwendung, demnach zwischen den Produktionsstätten, Lagern und Wareneingängen³⁷. Beide Arten der Transportsysteme bringen Güter in Bewegung³⁸. Die Bewegung der Güter durch die Transporte von A nach B verursacht einen Verkehr, was den Einsatz von geeigneten Verkehrsmitteln erfordert³⁹. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die verschiedenen Verkehrsmittel, die bei Logistikunternehmen zum Einsatz kommen können, vorgestellt. Ein besonderes Augenmerk wird hierbei auf die alternativen Antriebsarten gelegt, da diese im Hinblick der aktuell anfallenden Diskussionen über nachhaltige Logistik⁴⁰, den Umweltzielen der BRD und dem steigenden Druck der Stakeholder an Relevanz gewinnen⁴¹. Der durch die Transportprozesse entstehende Verkehr in einer Volkswirtschaft ist ein ständiger Prozess, da dieser an den Entwicklungen, die durch die technologischen und ökologischen Anforderungen der Gesellschaft, gekoppelt ist⁴². Vor allem geben aktuelle Diskussionen über immer häufiger auftretende Umweltkatastrophen den Anstoß, die ökologischen Anforderungen zu intensivieren. An dieser Stelle setzen auch die Logistikunternehmen an und

³³ SCHULTE (2009), S. 1.

³⁴ Vgl. ARNOLD ET AL. (2008), S. 4. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und den folgenden Satz.

³⁵ Unter dem Begriff wird das Bewegen von Gütern innerhalb der betrieblichen Grenzen verstanden, z.B. zwischen Lager und Produktionsstätten. Die Transportmittel werden in diesem Bereich als Fördermittel bezeichnet. Vgl. WANNENWETSCH (2008), S. 111.

³⁶ Vgl. PLÜMER (2010), S. 89., ARNOLD ET AL. (2008), S. 6.

³⁷ Vgl. ARNOLD ET AL. (2008), S. 6.

³⁸ Vgl. MARTIN (2009), S. 97.

³⁹ Vgl. IHDE (2001), S. 6.

⁴⁰ Vgl. BRETZKE/BARKAWI (2010), S. 10.

⁴¹ Vgl. BUCHHOLZ (1998), S. 299.

⁴² Vgl. HOLDERIED (2010), S. 15.

schreiben den ökologischen Zielen neben den wirtschaftlichen Zielen eine immer größere Bedeutung zu⁴³.

2.3 Güterverkehr

Verkehr bedeutet im Allgemeinen die Bewegung von Personen, Gütern und Nachrichten zu unterschiedlichen Orten⁴⁴. Der Verkehr stellt die Voraussetzung für wirtschaftliches Handeln dar. Für die in dieser Arbeit anstehende Analyse ist in Bezug auf den Verkehr der Güterverkehr relevant. Den Güterverkehr kann man in verschiedene Kategorien untergliedern. Im Zusammenhang mit dieser Arbeit sind die Güterverkehrsarten, die nach der Entfernung und den Verkehrsträgern unterteilt werden, zu nennen. Nach der Entfernung wird unterschieden in Nah-, Regional- und Fernverkehr. Zu den Verkehrsträgern gehören folgende Kategorien⁴⁵:

- Straßengüterverkehr
- Schienengüterverkehr
- Rohrleitungsverkehr
- Binnenschifffahrtsgüterverkehr
- Luftfrachtverkehr
- Seegüterverkehr

Güterverkehr im Jahre 2010

Verkehrsträger	Gütermenge		Verkehrsleistung	
	in Mio. t	in %	in Mrd. tkm	in%
Eisenbahn	355,70	10,75%	95,8	22,44%
Binnenschifffahrt	229,60	6,94%	55,5	13,00%
Straßenverkehr	2.722,10	82,30%	275,6	64,56%
Gesamter Güterverkehr	3.307,40	100%	426,9	100%

Tabelle 1: Güterverkehr im Jahre 2010⁴⁶

Die oben aufgeführte Tabelle beschreibt den Anteil der Verkehrsträger⁴⁷ am gesamten Güterverkehr der BRD. Den Prozentzahlen nach wird deutlich, dass der Straßengüterverkehr eine dominante Stellung innerhalb des Güterverkehrs einnimmt. Alleine im Jahr 2010 spricht man von ca. 3.307,4 Mio. t an Gütern, die transportiert wurden, davon können 82,3% dem Straßengüterverkehr zugeschrieben werden⁴⁸. Die Prognosen für den Straßengüterverkehr liegen für das Jahr 2011 bei den Gütermengen bei einem Anstieg um 3% und bei der Verkehrsleistung⁴⁹ um 5%⁵⁰. Für die folgenden Jahre bis 2014 wird ein Anstieg der Gütermengen um 2,5% und bei der Verkehrsleistung um 4,5% prognostiziert. Durch die aktuelle Dominanz von 82,3%, die der Straßengüterverkehr momentan in der BRD ausmacht,

⁴³ Vgl. ARNOLD ET AL. (2008), S. 8.

⁴⁴ Vgl. BRAESS/SEIFERT (2007), S. 2.

⁴⁵ Vgl. SCHIECK (2009), S. 167.

⁴⁶ Vgl. BUNDESAMT FÜR GÜTERVERKEHR (2010a), S. 14.

⁴⁷ In dieser Tabelle wird sich auf die nationalen Verkehrsträger Eisenbahn, Binnenschifffahrt und Straßenverkehr beschränkt.

⁴⁸ Vgl. Tabelle 1: Güterverkehr im Jahr 2010.

⁴⁹ Die Verkehrsleistung ergibt sich aus der Multiplikation der durchschnittlich zurückgelegten Strecke mit der Gütermenge. Vgl. BUCHHOLZ (1998), S. 3.

⁵⁰ Vgl. RATZENBERGER (2011), S. 28. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und den folgenden Satz.

wird erwartet, dass die aktuelle dominante Stellung beibehalten wird. Neben den Verkehrsträgern spielt auch die Entfernung, die die Güter zurücklegen, eine wichtige Rolle in diesem Themengebiet. Sowohl im allgemeinen Sprachgebrauch als auch in der Fachliteratur wird eine Einteilung in Nah-, Regional- und Fernverkehr vorgenommen. Zum Nahverkehr zählen alle Fahrten bis zu 50 km, die Strecken beim Regionalverkehr liegen zwischen 50 und 150 km und von Fernverkehr spricht man von Strecken, die über 150 km hinausgehen⁵¹. Nachstehend erfolgt eine Tabelle des Straßengüterverkehrs, unterteilt in die oben aufgeführten Verkehrsträger.

Straßengüterverkehr im Jahre 2010

Verkehrsträger	Gütermenge		Verkehrsleistung	
	in Mio. t	in %	in Mrd. tkm	in%
Verkehr im Nahbereich	1.476,40	54,24%	26,5	9,40%
Verkehr im Regionalbereich	607,50	22,32%	54,6	19,37%
Verkehr im Fernbereich	638,20	23,45%	200,8	71,23%
Gesamter Straßengüterverkehr	2.722,10	100%	281,9	100%

Tabelle 2: Straßengüterverkehr im Jahre 2010⁵².

Die Zahlen belegen, dass der Güternahverkehr eine bedeutende Stellung einnimmt und 54,24% der Gütermenge des gesamten Straßenverkehrs bewegt. Das hat zur Folge, dass der ökologische Lebensraum der Bevölkerung innerhalb der Städte durch den Verkehr besonders belastet wird. Mit Hilfe des Einsatzes von alternativen Antriebsarten sollte das Ziel, umweltbewusster zu agieren, erreicht werden.

2.4 Auswirkungen des Verkehrs: Externe Effekte

Im Allgemeinen handelt es sich bei externen Effekten um positive oder negative Wirkungen auf unbeteiligte Dritte⁵³. Bei positiven externen Effekten ist es nicht erforderlich, dass eine Internalisierung erfolgt, da sich niemand benachteiligt fühlt, wohingegen bei negativen externen Effekten der Staat eingreifen muss, um für eine Internalisierung der externen Kosten zu sorgen⁵⁴. Der Empfänger muss für daraus entstehende Vorteile keine Kosten übernehmen bzw. erhält er als Träger für daraus entstehende Nachteile keine Entschädigungen⁵⁵. In Bezug auf die Bachelorarbeit werden die externen Verkehrskosten betrachtet, die durch das Betreiben eines Fahrzeuges im Straßenverkehr entstehen. Die externen Verkehrskosten, die in

⁵¹ Vgl. BUNDESAMT FÜR GÜTERVERKEHR (2010b), S. 12.

⁵² Vgl. BUNDESAMT FÜR GÜTERVERKEHR (2010a), S. 14.

⁵³ Vgl. WILDMANN (2007), S. 123.

⁵⁴ Vgl. PULS (2009), S. 5.

⁵⁵ Vgl. Wildmann (2007), S. 122.

der BRD verursacht werden, belaufen sich auf 80,4 Mrd. Euro⁵⁶. Der Straßenverkehr zählt mit 96% zum Hauptverursacher⁵⁷.

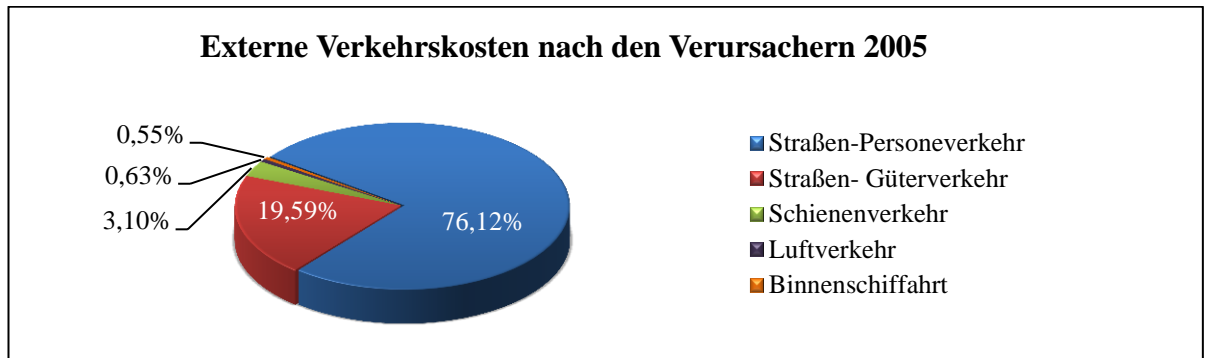


Abbildung 3: Externe Verkehrskosten nach den Verursachern 2005⁵⁸

Durch die Verkehrsaktivitäten entstehen externe Kosten im Gesundheits- und Umweltwesen⁵⁹. Die Auswirkungen, die die Verkehrsaktivitäten mit sich bringen, zeichnen sich auf unterschiedliche Weise aus. Die Umwelt wird z.B. dadurch belastet, dass durch die entstehende Luftverschmutzung die Bevölkerung und das gesamte Ökosystem Schadstoffen ausgesetzt sind. Die Schadstoffe, die die unterschiedlichen Belastungen hervorrufen, entstehen vor allem durch das Kohlenstoffdioxid und Stickstoffoxide, die im Straßenverkehr durch das Verbrennen von fossilen Brennstoffen als Treibstoff freigesetzt werden⁶⁰. Die beiden Bestandteile sind für den sogenannten Smog⁶¹ verantwortlich⁶². Die immer häufiger auftretenden Umweltkatastrophen sowie die Klimaerwärmung resultieren aus den CO₂-Emissionen, die den anthropogenen Treibhauseffekt verursachen⁶³.

Neben der Belastung durch den Ausstoß der Schadstoffe wirkt sich auch der Verkehrslärm negativ auf die Gesundheit der betroffenen Personen aus. Der ständige Straßenlärm verursacht beispielsweise Kopfschmerzen, Schlaflosigkeit und Bluthochdruck⁶⁴. Dies zeigt deutlich, dass sich die hohen Verkehrsaktivitäten vor allem im Straßennahverkehr erheblich und unbewusst auf die Gesundheit der Bevölkerung auswirken. Die erhöhte Anzahl der Verkehrsteilnehmer auf den Straßen führt auch zu einem Anstieg der Verkehrsunfälle, die wiederum weitere externe Kosten verursachen.

In der folgenden Tabelle werden die externen Kosten des Segmentes „Verkehr“ zusammengestellt:

⁵⁶ Vgl. SCHREYER ET AL. (2007), S. 5. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und den folgenden Satz.

⁵⁷ Siehe Abbildung 3, Straßen-Personenverkehr (76,12%) und Straßengüterverkehr (19,59%).

⁵⁸ Vgl. Tabelle 3 „Externe Verkehrskosten in der BRD aus dem Jahr 2005“.

⁵⁹ Vgl. SCHREYER ET AL. (2007), S. 5.

⁶⁰ Vgl. HELMERS (2009), S. 60.

⁶¹ Smog ist in den 60er Jahren aus den beiden englischen Wörtern smoke und fog entstanden und beschreibt die sichtbar industrielle Luftverschmutzung. Vgl. VIEWEG (2010), S. 152.

⁶² Vgl. SCHRAGE (2005), S. 9.

⁶³ Vgl. KÜLL (2009), S. 25.

⁶⁴ Vgl. PULS (2009), S. 17 ff.

Externe Verkehrskosten der BRD aus dem Jahre 2005			Strasse			Schiene	Luft	Binnenschifffahrt
in Mio.€/Jahr	Total	Prozent	Gesamt	Personenverkehr	Güterverkehr	Gesamt	Gesamt	Gesamt
Unfälle	41.766	51,95%	41.683	38.756	2.927	74	8	n.a.
Lärm	9.693	12,06%	8.740	4.726	4.014	828	125	0
Klimakosten	7.694	9,57%	7.064	3.740	3.324	378	17	235
Luftverschmutzung	11.229	13,97%	10.738	7.688	3.050	100	253	138
Natur & Landschaft	3.173	3,95%	3.042	2.207	835	37	59	36
Vor- & nachgelagerte Prozesse	5.445	6,77%	4.574	3.222	1.352	792	46	31
Zusatzkosten in städtischen Räumen	1.389	1,73%	1.104	854	250	286	0	0
Total	80.389,00	100%	76.945	61.193	15.752	2.495	508	440
Anteil am Total	100%		95,72%	76,12%	19,59%	3,10%	0,63%	0,55%

Tabelle 3: Externe Verkehrskosten in der BRD aus dem Jahre 2005⁶⁵.

Die Tabelle zeigt, dass der Straßenverkehr aufgeteilt in Personen- und Güterverkehr gegenüber dem Schienen- und Binnenschifffahrtsverkehr der Hauptantreiber der externen Verkehrskosten ist. Es wird deutlich, dass durch den Verkehr hohe externe Kosten in jeglichen Bereichen anfallen. Zur weiteren Untersuchung in dieser Arbeit werden die negativen externen Effekte und die daraus entstehenden externen Kosten z.B. der Luftverschmutzung, Klimawandels und der Lärmbelästigung als Anlass für Unternehmen genutzt, diese evtl. durch eine Umstellung ihres Fuhrparks auf alternative Antriebsarten zu reduzieren. Die Vorteile, die die alternativen Antriebsarten aufweisen, liegen zum einen in dem geringen CO₂- und NO_x-Ausstoß und zum anderen in der niedrigen Lärmbelästigung.

3. Gegenüberstellung der Antriebsarten

3.1 Herkömmliche Antriebsarten

Bei den herkömmlichen Antriebsarten wird nach zwei verschiedenen Technologien unterschieden:

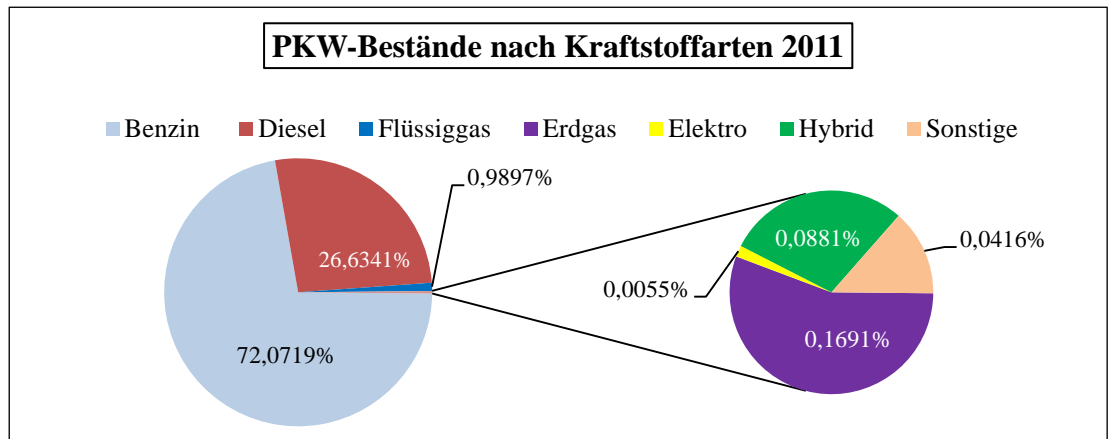
1. Ottomotor
2. Dieselmotor

Der Ottomotor und der Verbrennungsmotor wurde zum Ende des 19. Jahrhunderts von Nicolaus Otto erfunden⁶⁶. Hr. Otto legte mit diesem Verfahren den Grundbaustein für alle bis heute verwendeten Viertaktmotoren. Der Antriebsart kommt heutzutage immer noch eine große Bedeutung zu, was daran erkennbar ist, dass der Großteil, nämlich 72,1% der PKW's, auf deutschen Straßen durch einen Ottomotor angetrieben werden⁶⁷.

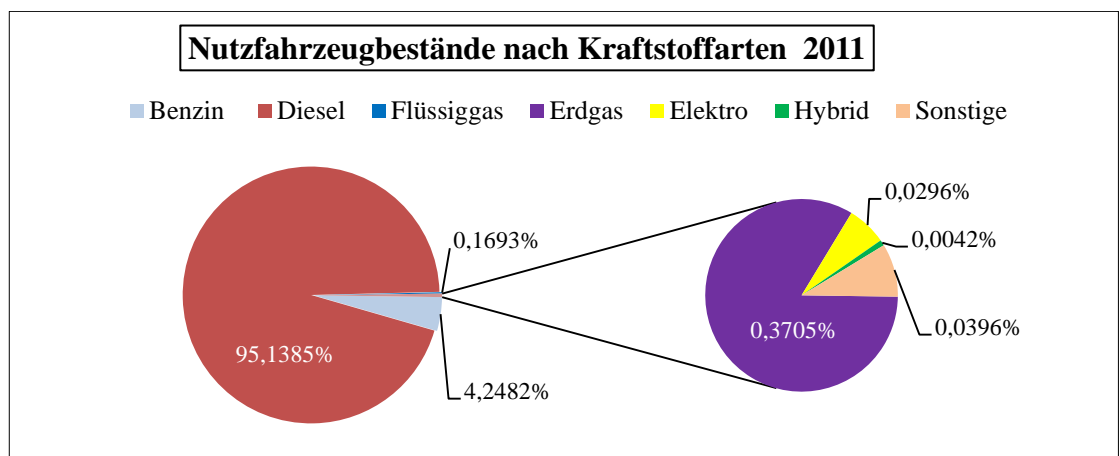
⁶⁵ Vgl. SCHREYER ET AL. (2007), S. 5.

⁶⁶ Vgl. LIST ET AL. (2008), S. 1 f. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und den folgenden Satz.

⁶⁷ Vgl. KRAFTFAHRT BUNDESAMT (2011b). Siehe Abbildung 4: „PKW-Bestände nach Kraftstoffarten 2011.“

Abbildung 4: PKW-Bestände nach Kraftstoffarten⁶⁸

Einundzwanzig Jahre nach der Einführung des Verbrennungsmotors ergriff Rudolf Diesel die Initiative und stellte eine weitere Motorvariante vor⁶⁹. Der sogenannte Dieselmotor erweckte schon damals aufgrund der hohen Leistung in Verbindung mit einem geringen Verbrauch im Gegensatz zum Ottomotor Aufsehen⁷⁰. Bis zum heutigen Zeitpunkt besitzt der Dieselmotor diese Tugenden und sticht durch diese besonderen Fähigkeiten heraus, was daran deutlich wird, dass in 95,14% der Nutzfahrzeuge Dieselmotoren verbaut sind⁷¹. Die nachstehende Abbildung verbildlicht die aktuellen Nutzfahrzeugbestände in der BRD.

Abbildung 5: Nutzfahrzeugbestände nach Kraftstoffarten 2011⁷²

Der Hauptunterschied zwischen den beiden Antriebsarten liegt im Treibstoff. Beim Ottomotor handelt es sich um Benzin und beim Dieselfahrzeug um Diesel. Des Weiteren ist zu beachten, dass beim Ottomotor eine Fremdzündung⁷³ und beim Dieselfahrzeug eine Selbstzündung⁷⁴

⁶⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an Kraftfahrt Bundesamt (2011b).

⁶⁹ 1894 erste Prototyp des Motors aber erst am 16 Juni 1897 wurde diese der Öffentlichkeit vorgestellt, vgl. MOLLENHAUER/TSCHÖKE (2007), S. 3 f.

⁷⁰ Vgl. GROHE (2000), S. 12.

⁷¹ Siehe Abbildung 5: Nutzfahrzeugbestände nach Kraftstoffarten 2011.

⁷² Eigene Darstellung in Anlehnung an KRAFTFAHRT BUNDESAMT (2011b).

⁷³ Bei einer Fremdzündung wird durch einen elektronischen gesteuerten Funken, wird das im Zylinder befindende Gemisch entzündet. Vgl. STAN (2008), S. 12.

⁷⁴ Bei einer Selbstzündung entzündet sich der Treibstoff durch die komprimierte warme Luft beim Einführen in den Zylinder selber. Vgl. STAN (2008), S. 12.

genutzt wird⁷⁵. Das Tankstellennetz für die oben genannten Antriebsarten ist flächendeckend aufgebaut, so dass die Betreiber dieser Fahrzeuge in der BRD auf 14.744 Tankstellen zurückgreifen können⁷⁶.

3.2 Alternative Antriebsarten

3.2.1 Positionierung der alternativen Antriebsarten

Die alternativen Antriebsarten stellen eine ernstzunehmende Alternative zu den herkömmlichen Antriebsarten dar. Aus diesem Anlass wird in diesem Projektbericht neben den herkömmlichen und alternativen Antriebsarten auch auf die alternativen Antriebsarten nämlich Erd- und Flüssiggasfahrzeuge eingegangen. Diese beiden Antriebsarten stellen eine abgeleitete Technologie innerhalb der herkömmlichen Antriebsarten dar⁷⁷. Aus diesem Grund werden diese alternativen Antriebsarten in der vorliegenden Arbeit behandelt. Des Weiteren zeigt die Entwicklung von 2007 bis 2011, dass die Nutzung dieser Art von Fahrzeugen kontinuierlich anstieg⁷⁸.

3.2.2 Flüssiggasfahrzeuge

Flüssiggasfahrzeuge werden durch ein Gemisch aus Flüssiggas angetrieben. Im internationalen Sprachgebrauch bezeichnet man das Flüssiggas und das Autogas auch als Liquefied Petroleum Gas (LPG)⁷⁹. Es handelt sich hierbei um ein Nebenprodukt, das bei der Förderung von Erdgas und Erdöl sowie bei der Verarbeitung von Erdöl entsteht⁸⁰. Es entsteht ein Gemisch aus Propan (C_3H_8) und Butan (C_4H_{10}), das unter einem Druck von 3-8 bar in flüssiger Form in den Tank eines Fahrzeuges gelangt⁸¹.

Flüssiggasfahrzeuge zeichnen sich durch ein bivalentes System aus, was bedeutet, dass diese ein Zweitanksystem verwenden. Zusätzlich zum Flüssiggas kann ein solches Fahrzeug mit Benzin betrieben werden. Der Vorteil des bivalenten Antriebes liegt darin, dass eine hohe Reichweite erreicht werden kann. Es ist möglich, mit einer Tankfüllung Strecken von über 1.000 km abzufahren⁸². Im Vergleich zu herkömmlichen Antriebsarten sind ein Leistungsverlust von 5%⁸³ und ein Mehrverbrauch von 26% auf Grund der geringen Leistungsdichte des Flüssiggases zu erwarten⁸⁴. Der Emissionsausstoß von CO_2 , HC und NO_x

⁷⁵ Vgl. GROHE (2000), S. 12.

⁷⁶ Vgl. MINERALÖLWIRTSCHAFTSVERBAND E.V. (2011).

⁷⁷ Vgl. BAUM/DELFMANN/BÜHNE (2010), S. 87.

⁷⁸ 2007 gab es 98.370 LPG- und 42.759 Erdgasfahrzeuge, 2009 306.402 LPG- und 60.744 Erdgasfahrzeuge und 2011 418.659 LPG- und 71.519 Erdgasfahrzeuge. Vgl. KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2011a).

⁷⁹ Vgl. MOLLENHAUER/TSCHÖKE (2007), S. 110.

⁸⁰ Vgl. GEITMANN (2008), S. 94.

⁸¹ Vgl. DINGEL (2006), S. 130.

⁸² Vgl. BÖTTCHER/SACHSE (2008), S. 93.

⁸³ Vgl. MOLLENHAUER (2002), S. 188.

⁸⁴ Vgl. GEITMANN (2008), S. 98.

sind zu benzinbetriebenen Fahrzeugen ähnlich⁸⁵. Der CO₂-Ausstoß senkt sich um ca. 10% gegenüber dem Ausstoß eines benzinbetriebenen Fahrzeuges⁸⁶. Des Weiteren ist eine Lärmreduzierung um 50% gegenüber Dieselfahrzeugen zu verzeichnen⁸⁷. Heutzutage erfolgt neben wenigen Serienfahrzeugen mit einer Herstellergarantie⁸⁸ in den meisten Fällen eine nachträgliche Umrüstung auf Flüssiggas mit einem monetären Aufwand von 1.800 € -2.500 €⁸⁹. Das Tankstellennetz für Flüssiggasfahrzeuge umfasst eine Anzahl von 6000 öffentlichen Tankstellen und weiteren 1200 Tankstellen, die im Privatbesitz von Flottenbetrieben genutzt werden⁹⁰. Die Besteuerung bei Flüssiggasfahrzeugen liegt bis 2020 bei 9,7 Cent/l im Vergleich zu Benzinfahrzeugen, die bis 2020 mit 65,4 Cent/l besteuert werden⁹¹. Der Preis pro Liter bei Flüssiggas liegt zum gegenwärtigen Zeitpunkt bei 76,1 Cent/l⁹².

3.2.3 Erdgasfahrzeuge

Im internationalen Sprachgebrauch sind Erdgasfahrzeuge auch als Natural Gas Vehicle (NGV) bekannt⁹³. Bei Erdgas handelt es sich, genau wie bei Flüssiggas, Benzin oder Diesel, um einen fossilen Brennstoff. Dieser besteht im Bereich der NGV zu 80-99% aus Methan (CH₄). Der restliche Teil besteht aus NO_x, CO₂ und HC⁹⁴. Positiv zu verzeichnen ist, dass Erdgas zu den drittgrößten Primärenergieträgern⁹⁵ zählt und somit eine weitere Alternative für die Substitution konventioneller Kraftstoffe bietet⁹⁶. Erdgas kann im Gegensatz zu Flüssiggas in beiden herkömmlichen Fahrzeugtechnologien verwendet werden⁹⁷. Die Gasqualität spielt bezogen auf die Reichweite eine bedeutende Rolle. Bei Erdgas wird in zwei Gruppen unterschieden. Zum einen gibt es die Gruppe H⁹⁸ und zum anderen die Gruppe L⁹⁹. Der Unterschied liegt in dem jeweiligen Methananteil¹⁰⁰. Je höher der Methananteil ist, umso höher ist auch der Heizwert im Motor, was demzufolge eine größere Reichweite mit sich bringt als bei geringerem Methananteil.

⁸⁵ Vgl. STAN (2008), S. 188.

⁸⁶ Diese Reduzierung des CO₂-Ausstoßes ist bei reinen Flüssiggasfahrzeugen zu verzeichnen. Bei bivalenten Fahrzeugen hingegen ist ein solcher Wert im Durchschnitt nicht zu erreichen. Vgl. REIF (2010), S. 87.

⁸⁷ In diesem Punkt stimmt die Literatur nicht mit der Realität überein. Der aktuelle technische Stand der Fahrgeräusche, z.B. bei einem VW Caddy TDI (Diesel) und bei einem VW Caddy BiFuel (Flüssiggas), weist bei beiden Fahrzeugen 74 dB auf. Vgl. GEITMANN (2005), Tabelle 5 „Fahrzeugvergleich“.

⁸⁸ Vgl. GEITMANN (2008), S. 111.

⁸⁹ Vgl. GEITMANN (2008), S. 94; ADAC E. V. (2011c).

⁹⁰ Vgl. o.V. (2011b).

⁹¹ Vgl. ADAC E. V. (2011e).

⁹² Vgl. DEUTSCHER VERBAND FLÜSSIGGAS E.V. (2011).

⁹³ Vgl. GEITMANN (2008), S. 119.

⁹⁴ Vgl. ALLGEIER/LANDENFELD (2005), S. 671.

⁹⁵ Unter Primärenergieträger versteht man die in der Natur vorkommenden Brennstoffe. Dazu gehören z.B. Erdöl, Kohle, Uran, Wind, Solarstrahlen. Vgl. REICHEL/CZAMBOR (2010), S. 531.

⁹⁶ Vgl. SCHUBERT/SCHMÄDICKE (2000), S. 367.

⁹⁷ Vgl. SCHUBERT/SCHMÄDICKE (2000), S. 367.

⁹⁸ Gruppe H (High caloric gas) besitzt einen Methananteil von mehr als 90%. Vgl. ALLGEIER/LANDENFELD (2005), S. 671.

⁹⁹ Gruppe L (Low caloric gas) besitzt einen Methananteil von 80–90%. Vgl. ALLGEIER/LANDENFELD (2005), S. 671.

¹⁰⁰ Vgl. GEITMANN (2008), S. 119. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und den folgenden Satz.

Generell kann die Bereitstellung des Treibstoffes Gas auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgen: in flüssiger Form¹⁰¹ und in gasförmigem Zustand. In der Automobilindustrie hat sich die zweite Variante durchgesetzt. Mit einem Druck von ca. 200-250 bar wird das Gas dem Tank eines Fahrzeuges zugefügt¹⁰². Offiziell spricht man vom Compressed Natural Gas – CNG. Der Vorteil gegenüber herkömmlichen Antriebsarten liegt z.B. in den geringeren CO₂-Emissionen. Gegenüber Benzinmotoren verursachen NGV ca. 25% weniger CO₂¹⁰³. Im Vergleich zu Dieselfahrzeugen ist eine Reduzierung von CO₂ um 35% und ein Rückgang von NO_x, CO und HC zu verzeichnen¹⁰⁴.

Zu erwähnen sind die zwei unterschiedlichen Fahrzeug-typen in der Kategorie der NGV. Dazu zählen die bivalenten Varianten als auch die monovalenten Varianten. Die bivalente Variante besitzt neben einem Erdgastank noch einen Benzintank. Bei dieser Betriebsform ist im Gegensatz zum monovalenten System ein Rückgang der Motorleistung von ca. 10-15% zu erwarten¹⁰⁵. Bezogen auf die Reichweite ist allerdings bei dem monovalenten System eine Reduzierung zu vermerken. Die Reichweite liegt im Schnitt bei 250 km¹⁰⁶. Beim bivalenten System hingegen wird durch das zusätzliche Einschalten des ursprünglichen Benzintanks eine Reichweitenverlängerung erzielt. Um die Vorteile eines solchen Fahrzeuges auch nutzen zu können besteht z.B. für Unternehmen die Möglichkeit, ihre zurzeit noch durch Ottomotoren betriebenen Fahrzeuge auf Erdgas umzurüsten. Die Nachrüstung erfordert einen Aufwand von 2.500 bis 4.000 €¹⁰⁷. Außerdem besteht die Möglichkeit der Anschaffung eines Neufahrzeuges mit Herstellergarantie¹⁰⁸.

Abschließend kann zu Erdgasfahrzeugen gesagt werden, dass sich der gasförmige Treibstoff deutlich besser im Motorraum mit der angesaugten Luft vermischt und dadurch ein saubereres und effizienteres Verbrennen ermöglicht wird¹⁰⁹. Das Resultat ist ein deutlich homogenerer Treibstoff als bei Fahrzeugen mit flüssigen Treibstoffen. Die NGV werden durch ein nachhaltiges Mobilitätskonzept und den bis 2020 erreichten gemäßigten Mineralölsteuersatz gefördert. Ein Kilogramm Erdgas der Kategorie H besitzt einen Energie-

¹⁰¹ Diese Form ist sehr aufwendig, denn das Gas verflüssigt sich erst ab einer Temperatur von -167°C (Liquefied Natural Gas- LNG) Vgl. GEITMANN (2005), S. 80.

¹⁰² Vgl. MOLLENHAUER/TSCHÖKE (2007), S. 110.

¹⁰³ Vgl. REIF/DIETSCHKE (2011), S. 596.

¹⁰⁴ Vgl. ADAC E. V. (2011a).

¹⁰⁵ Vgl. ALLGEIER/LANDENFELD (2005), S. 671.

¹⁰⁶ Vgl. GEITMANN (2008), S. 120.

¹⁰⁷ Vgl. ADAC E. V. (2011b).

¹⁰⁸ Vgl. ADAC E.V. (2011d), Diese Quelle gibt eine Liste aller NGV an die zum gegenwärtigen Zeitpunkt direkt vom Hersteller bezogen werden können.

¹⁰⁹ Vgl. GEITMANN (2008), S. 120. Diese Eigenschaft gilt auch für Flüssiggas. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und den folgenden Satz.

gehalt von ca. 1,5 l Benzin. Das bedeutet, dass ein Preis von 47 Cent/l¹¹⁰ erzielt wird und die Fahrzeuge somit attraktiver für die Logistikunternehmen werden¹¹¹.

3.3 Alternative Antriebsarten bezogen auf Elektromobilität

3.3.1 Elektrofahrzeuge

Elektrofahrzeuge¹¹² werden durch einen oder mehrere Elektromotoren angetrieben, die den Verbrennungsmotor vollständig ersetzen¹¹³. Die hierzu benötigte Energie wird den Elektromotoren durch den Akkumulator, der in dem Fahrzeug verbaut ist, zur Verfügung gestellt. Der Akkumulator bildet das Herzstück eines solchen Fahrzeuges und besitzt die Fähigkeit sich über eine externe Steckdose wieder neu aufzuladen.

Der bei dem Vorgang verwendete Strom entsteht aus nicht regenerativen¹¹⁴ sowie regenerativen¹¹⁵ Energiequellen, die den Strommix bilden¹¹⁶. Der CO₂-Ausstoß im Bereich der Stromerzeugung lag im Jahr 2009 bei 565 g/kWh und wurde im Jahr 2010 auf 563 g/kWh prognostiziert¹¹⁷. In den Jahren von 1990 bis 2009 ist eine kontinuierliche Verringerung des CO₂-Emissionsfaktors zu erkennen¹¹⁸. Der Grund für diese Entwicklung liegt in der ständigen Weiterentwicklung des technischen Fortschrittes¹¹⁹ und dem immer größer werdenden Anteil der erneuerbaren Energien¹²⁰. Der größte Nachteil der erneuerbaren Energien ist deren hohe Fluktuation. Insbesondere bezogen auf die Wind- und Sonnenenergie, die aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit die Stromnachfrage nicht immer zum geforderten Zeitpunkt befriedigen kann. Zudem weisen die erneuerbaren Energien einen geringeren Wirkungsgrad¹²¹ auf als Kraftwerke, die fossile Energieträger zur Stromerzeugung nutzen¹²². Der Akkumulator, der die Grundlage der Technologie darstellt, muss demnach gewisse Anforderungen erfüllen, um die anfallenden Nachteile zu schmälern. Gefordert wird eine

¹¹⁰ Vgl. o.V. (2009b). Der aktuelle Preis für ein Kilogramm im Jahr 2011 beläuft sich auf 0,989€/kg.

¹¹¹ Vgl. DIGITAL BUSINESS CLIENT USER (2006), S. 2.

¹¹² Elektrofahrzeuge werden in der Fachliteratur auch als Electric Vehicle (EV) bezeichnet.

¹¹³ Vgl. o.V. (2006), S. 699. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und den folgenden Satz.

¹¹⁴ Nicht regenerative Energiequellen sind fossile Brennstoffe (Kohle, Erdgas und Erdöl) und Uran.

¹¹⁵ Regenerative Energiequellen sind Energiequellen, die sich stetig erneuern, z.B. Solarthermie, Photovoltaik, Wasserkraft, Windenergie, Geothermie und Bioenergie.

¹¹⁶ Strommix: „Aufteilung der Stromerzeugung nach verschiedenen Primärenergieträgern“. PASCHOTTA, R. (2011). Im Jahre 2010 bestand der Energiemix in der BRD aus 57% fossilen Brennstoffen (14% Erdgas, 24% Braunkohle und 19% Steinkohle), 22% Kernenergie und 17% aus erneuerbaren Energien (2,0% Photovoltaik, 3,2% Wasserkraft, 5,6% Biomasse und 6,2% Windenergie). Vgl. o.V. (2011c).

¹¹⁷ Vgl. UMWELT BUNDESAMT (2011c). Die Aktualisierung für 2010 und die Schätzung für 2011 erfolgt im Jahr 2012.

¹¹⁸ Vgl. UMWELT BUNDESAMT (2011c).

¹¹⁹ Vgl. BULLINGER (2007), S. 332.

¹²⁰ 1998 lag der Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Endenergieverbrauch bei 3,2 %, 2004 bei 5,9% und im Jahr 2010 bei 11%. Vgl. UMWELTBUNDESAMT (2011b).

¹²¹ Der Wirkungsgrad beschreibt das Verhältnis zwischen zugeführter Leistung und abgegebener Leistung, der sogenannten Nutzleistung. Vgl. KALTSCHMITT/STREICHER/WIESE (2006), S. 14.

¹²² Der Wirkungsgrad bei einem modernen Kohlekraftwerk liegt bei 43-46% und bei einem Gasgroßkraftwerk sogar bei 59%, wohingegen mit einer Photovoltaik-Anlage ca.10-20% Wirkungsgrad erzielt werden.

hohe Energiedichte für eine hohe Reichweite, eine lange Lebensdauer sowie eine hohe Leistungsdichte, um eine akzeptable Geschwindigkeit zu erreichen¹²³.

Allerdings stellt die Reichweite zurzeit immer noch das größte technologische Problem dar, da die Leistung des Akkumulators den generellen Ansprüchen nicht genügt¹²⁴. Heutzutage lassen sich durchschnittliche Reichweiten von 165,91 km mit einer durchschnittlichen Akkuleistung von 49,71 kW erreichen¹²⁵. Ein weiterer Nachteil, der das Durchsetzen der Fahrzeuge momentan noch erschwert sind neben der langen Ladezeit der Akkumulatoren¹²⁶ die hohen Anschaffungskosten¹²⁷. Die hohen Preise entstehen durch die zurzeit anfallenden Entwicklungs- und Herstellungskosten im Bereich der Akkumulatoren. Diese liegen aktuell zwischen 16.000 und 40.000 €¹²⁸. Der Grund, dieses Defizit zu vernachlässigen und auf die alternative Technologie zurückzugreifen, liegt zum großen Teil darin, dass der Emissionsausstoß durch die Nutzung von Strom vor Ort bei 0% liegt¹²⁹.

Des Weiteren bewegt sich ein Elektrofahrzeug im Gegensatz zu einem herkömmlichen Fahrzeug geräuschloser über die Straßen¹³⁰. Daraus resultiert der Vorteil, zu jeder Tag- und Nachtzeit Güter ohne negative Einflüsse auf die Stadtbewohner bewegen zu können. Ein weiterer Vorteil findet sich in dem technischen Aufbau eines solchen Fahrzeuges wieder. Dieser gestaltet sich wesentlich einfacher als der Systemaufbau eines Benzin- oder Dieselfahrzeuges. Das ist daran zu erkennen, dass in einem Elektrofahrzeug weniger technische Komponenten verbaut werden müssen, die bei einem herkömmlichen Fahrzeug unersetzlich sind. Beispielsweise fallen Teile wie der Anlasser, Kühler, Getriebe oder Katalysator vollständig weg¹³¹. Der Aufbau des Antriebsstranges verdeutlicht die vereinfachte Struktur, da dieser ausschließlich aus den Komponenten Energiespeicher, Elektromotor und Steuergerät zusammengesetzt ist.

Bei der Technologie des Elektrofahrzeuges handelt es sich um den klassischen Aufbau eines Elektromotors, der wie bei herkömmlichen Fahrzeugen im vorderen oder im hinteren Bereich des Fahrzeuges verbaut ist. Eine weitere Variante stellt der sogenannte Radnabenmotor dar, in der zwei oder vier Motoren einzeln in den Rädern des Fahrzeuges verbaut sind. Dies bedeutet,

¹²³ Vgl. BRAESS/SEIFFERT/BRAESS-SEIFFERT (2007), S. 116. Der Lithium/Ionen-Akkumulator besitzt eine Energiedichte von 120-150 Wh/kg. Zielwerte der Automobileindustrie liegt bei 100-200 Wh/kg. Die Leistungsdichte liegt bei einem Lithium/Ionen-Akkumulator bei 400-600 W/kg, die Automobileindustrie hat in diesem Bereich einen Anspruch von 75-200 W/kg. Die Lebensdauer des Akkumulators liegt bei 10 Jahren.

¹²⁴ Aus der Frage 5 der empirischen Erhebung ergibt sich eine Reichweite von durchschnittlich 165 km/Tag für PKW und eine Reichweite von 287 km/Tag für die Fahrzeugklasse Kastenwagen bis 3,5t.

¹²⁵ Vgl. VIEWEG (2010), S. 36 f.

¹²⁶ Die Ladezeiten belaufen sich auf durchschnittlich auf 6-8 St. bei normalen Haushaltsstrom.

¹²⁷ Vgl. VIEWEG (2010), S. 46. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und den folgenden Satz.

¹²⁸ Vgl. HÜTTL/PISCHESTRIEDER/SPATH (2010), S. 26. Heutzutage kostet die Herstellung einer kWh eines Lithium/Ionen-Akkumulator 800€ bis 1.200€, dies bedeutet, dass der Akkumulator eines Fahrzeuges mit z.B. 20 kW 16.000 € und mit 49,71 kW 39.76 8€ kostet. In der Zukunft werden Preise von 300 bis 500 €/kWh prognostiziert.

¹²⁹ Vgl. KRÜGER (2010), S. 83.

¹³⁰ Vgl. SCHWARZ (2007), S. 39.

¹³¹ Vgl. YAY (2010), S. 48.

dass alle 4 Räder einzeln gesteuert werden können¹³². Positiv erwähnenswert ist das Generieren von Energie beim Bremsen und im Schiebetrieb¹³³. Experten bezeichnen diesen Vorgang als Rekuperation¹³⁴. Das Elektrofahrzeug nutzt 63% seiner Energie, was bedeutet, dass es mit einer kWh eine Strecke von 6,5 km zurücklegt¹³⁵. Diesel- und Benzinfahrzeuge hingegen nutzen nur 33% ihrer zugefügten Energie. Abhängig vom Verbrauch erreichen Diesel- und Benzinfahrzeuge mit einer kWh eine Strecke von 1,5 bis 2,5 km. Dieser Unterschied zeigt auf, welches Potential in der Technologie der Elektrofahrzeuge steckt.

Die Situation der Elektrofahrzeuge zeigt, dass es sich um ein aktuell diskutiertes Thema auf politischer, technologischer und gesellschaftlicher Ebene handelt. Ende des Jahres 2010 verzeichnete die BRD 844 öffentliche Elektrotankstellen¹³⁶. Weitere Tankstellen sind in Planung, um die Technologie in vollem Umfang durchzusetzen. Darüber hinaus ist es möglich, die Elektrofahrzeuge an jeder konventionellen Steckdose zu laden.

Die Kosten für eine Aufladung eines Elektrofahrzeuges liegen bei 22 cent/kWh¹³⁷. Bei einem Elektrofahrzeug mit einem 22 kWh starken Akkumulator entstehen Kosten i. H. v. 4,84€.

3.3.2 Hybridfahrzeuge

3.3.2.1 Technischer Aufbau der Hybridfahrzeuge

Hybridfahrzeuge zeichnen sich dadurch aus, dass mindestens zwei unterschiedliche Energieumwandler inkl. der dazugehörigen Energiespeicher verbaut sind¹³⁸. Dabei handelt es sich um einen Verbrennungsmotor mit einem Treibstofftank und um einen Elektromotor mit einem Akkumulator. Der Unterschied zu den reinen Elektrofahrzeugen liegt demnach darin, dass bei den Hybridfahrzeugen zwei Systeme zusammengeführt werden. Daraus ergibt sich ein erhöhter Wirkungsgrad bezüglich des geräusch- und emissionsfreien Fahrens, der Wiedergewinnung von Bremsenergie und den reduzierten Treibstoffverbrauchs gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen. Die beiden unterschiedlichen Komponenten ermöglichen verschiedene Fahrzeugkonfigurationen¹³⁹, was eine Einteilung in unterschiedliche Varianten begründet. Unterschieden wird nach seriellen, parallelen und leistungsverzweigenden Hybriden¹⁴⁰.

¹³² Vgl. STAN (2008), S. 275.

¹³³ Vgl. NAUNIN (2007b), S. 28. Dieser Vorteil ist besonders interessant für Niederflurfahrzeuge, wie z.B. Niederflurbusse im öffentlichen Dienst.

¹³⁴ Vgl. YAY (2010), S. 142.

¹³⁵ Vgl. VIEWEG (2010), S. 44. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und die beiden folgenden Sätze.

¹³⁶ Vgl. KRAFT (2010).

¹³⁷ Vgl. RWE AG (2011).

¹³⁸ Vgl. BIERMANN (2007), S. 67. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und die beiden folgenden Sätze.

¹³⁹ Vgl. LENZ ET AL. (2010), S. 44 f.

¹⁴⁰ Vgl. VIEWEG (2010), S. 114.

3.3.2.2 Parallel Hybrid

Wie der Name bereits deutlich macht, werden bei dieser Variante beide Systeme parallel im Fahrzeug verbaut. Das bedeutet, dass sowohl der Elektromotor als auch der Verbrennungsmotor einzeln oder gemeinsam auf die Antriebsachsen zugreifen können¹⁴¹. Damit ein fast emissionsfreies Fahren bei Stadtfahrten ermöglicht wird, schaltet sich der Elektromotor grundsätzlich als „buster“¹⁴³ ein¹⁴⁴. Eine Zuschaltung des Verbrennungsmotors erfolgt erst bei zu schneller und hoher Beschleunigung und auf längeren Strecken¹⁴⁵. Die Variante des Parallel-Hybrids ermöglicht somit das Fahren entweder auf Basis eines Elektromotors oder eines Verbrennungsmotors sowie das gleichzeitige Nutzen beider Systeme¹⁴⁶. Ein weiterer Vorteil dieses Systems ergibt sich durch den Vorgang der Rekuperation.

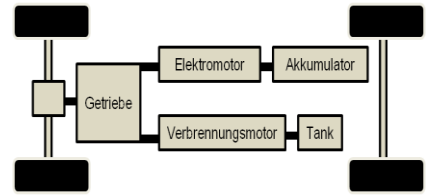


Abbildung 6: Aufbau Parallel Hybrid¹⁴⁴.

3.3.2.3 Serieller Hybrid

Hier ist der Elektromotor mit dem Verbrennungsmotor in einer Reihe geschaltet. Der serielle Hybrid wird ausschließlich durch den Elektromotor fortbewegt¹⁴⁷. Der Verbrennungsmotor lädt lediglich die Batterie auf, um eine größere Reichweite zu realisieren. Von Experten wird das System auch als „Range Extender“ beschrieben¹⁴⁹.

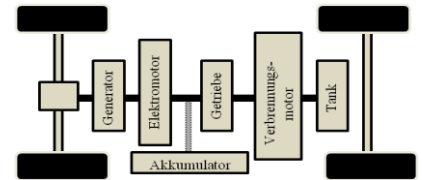


Abbildung 7: Aufbau Serieller Hybrid¹⁵⁰.

3.3.2.4 Leistungsverzweigender Hybrid

Leistungsverzweigende Hybride sind eine Mischform aus den bereits beschriebenen Varianten „serieller Hybrid“ und „paralleler-Hybrid“¹⁵⁰. Durch das Zusammenfügen der beiden Methoden ist ein rein elektrisches Fahren bei gleichzeitigem Laden des Akkumulators möglich. Die Fortbewegung ausschließlich auf Basis des Verbrennungsmotors ist außerdem gewährleistet¹⁵². Obwohl diese Technik die komplizierteste Variante darstellt, zählt diese zum gegenwärtigen Zeitpunkt

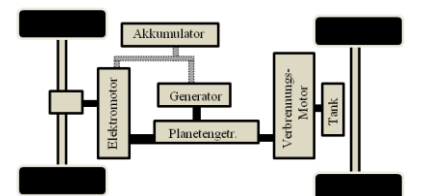


Abbildung 8: Aufbau Leistungsverzweigender Hybrid¹⁵³.

¹⁴¹ Vgl. HOFMANN (2010), S. 21.

¹⁴² Eigene Darstellung in Anlehnung an BIERMANN, J.W. (2007), S. 68.

¹⁴³ Dieser Begriff beschreibt die positive Beschleunigungseigenschaft eines EV. Vgl. BIERMANN (2007), S. 68.

¹⁴⁴ Vgl. BIERMANN (2007), S. 68.

¹⁴⁵ Vgl. VIEWEG (2010), S. 114.

¹⁴⁶ Vgl. HOFMANN (2010), S. 21.

¹⁴⁷ Vgl. BIERMANN (2007), S. 68.

¹⁴⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an BIERMANN (2007), S. 68.

¹⁴⁹ Vgl. VIEWEG (2010), S. 114.

¹⁵⁰ Vgl. WALLENTOWITZ/REIF (2011), S. 88.

¹⁵¹ Eigene Darstellung in Anlehnung an BIERMANN (2007), S. 69.

¹⁵² Vgl. BORGEEST (2010), S. 35.

zu der erfolgreichsten Methode¹⁵³. Die elektronische Steuereinheit entscheidet, welche der zuvor beschriebenen Antriebsarten die effektivste zum Fortbewegen des Fahrzeuges hinsichtlich des Verbrauches und des Abgasausstoßes ist¹⁵⁴. Wie weit ein Hybridfahrzeug auf Basis von elektrischer Leistung fährt, geben die Klassen Mikro-¹⁵⁵, Mild-¹⁵⁶ und Full-Hybrid¹⁵⁷/Plug in Hybrid¹⁵⁸ an. Die folgende Abbildung beschreibt den elektronischen Anteil (gelb) dieser Technologien.

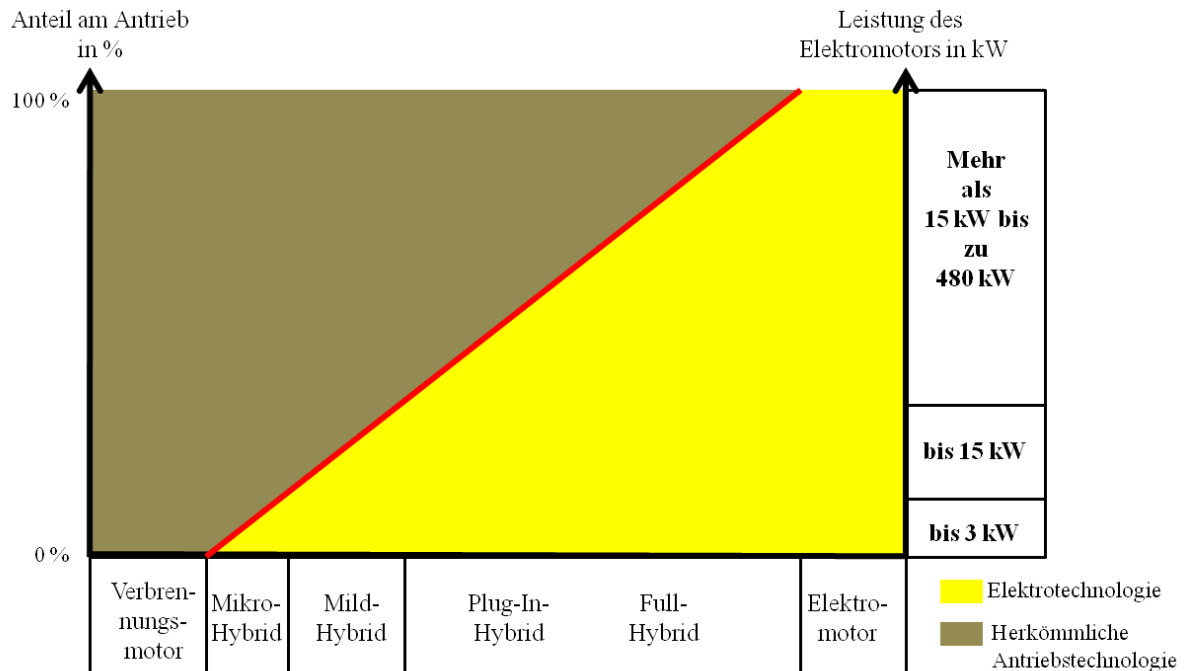


Abbildung 9: Elektrischer Anteil der Antriebsarten¹⁵⁹

Die Hybridtechnologie wird zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur in Personenfahrzeugen, Bussen und versuchsweise in Lkw's bis 12t¹⁶⁰ eingesetzt¹⁶¹. Dennoch ist die Technologie Bestandteil dieser Arbeit, da diese sowohl in der Öffentlichkeit als auch für die nutzende Industrie eine sinnvolle Alternative darstellt. Dies zeigt sich unter anderem darin, dass 46% der im Rahmen der Arbeit befragten Unternehmen Hybridtechnologien bei Ihren Anschaffungs-

¹⁵³ Toyota verwendet diese Variante im „Prius“, welcher schon 2 Mio. Mal verkauft wurde. Vgl. VIEWEG (2010), S. 117.

¹⁵⁴ Vgl. VIEWEG (2010), S. 116 f.

¹⁵⁵ Beim Mikro-Hybrid unterstützt der Elektromotor den Verbrennungsmotor nicht im Antrieb, sondern beim Start des Fahrzeuges. Die sogenannte Start-Stopp-Automatik fällt in diese Rubrik. Vgl. STAN (2008), S. 299.

¹⁵⁶ Die Mild-Hybrid-Klasse steht für die Fahrzeuge, die den Antrieb des Fahrzeuges unterstützen und die Fähigkeit besitzen, Energie zu generieren. Vgl. STAN (2008), S. 300.

¹⁵⁷ Der Voll-Hybrid beschreibt Fahrzeuge, die auf Basis des Elektromotors, ohne den Verbrennungsmotor hinzuschalten, angetrieben werden. Vgl. STAN (2008), S. 300.

¹⁵⁸ Der Plug-in Hybrid kombiniert einen Verbrennungsmotor mit einem Elektromotor, der extern aus dem Stromnetz aufgeladen werden kann. Im Gegensatz zu den oberen Varianten wird bei dieser der Verbrennungsmotor nur zum Beladen des Akkumulators genutzt. Vgl. HOFMANN (2010), S. 46 f.

¹⁵⁹ Eigene Darstellung in Anlehnung an VIEWEG (2010), S. 36 f. & 109.; HOFMANN (2010), S. 19.; WALLENTWOITZ/BADY (1998).

¹⁶⁰ Die Klasse beinhaltet „leichte Lkw“ von 3,5 bis 7,5t und „schwere nicht Mautpflichtige Lkw“ von 7,5 bis 12t. Vgl. LENZ ET AL. (2010), S. 19.

¹⁶¹ Vgl. STAN (2008), S. 301.

überlegungen den anderen Technologien gegenüber bevorzugen¹⁶². Außerdem geben 42% der Teilnehmer der empirischen Erhebung, die in Kapitel 5 erläutert wird, an, dass die Wahl bei der Neuanschaffung alternativer Antriebsarten auf die Hybridtechnologie fallen würde. Dadurch, dass die Industrie nicht genügend stichhaltige Informationen zur Verfügung stellen kann, wird die Hybridtechnologie weder im Kostenvergleich noch in der Szenario-Analyse vertiefend behandelt. Das ist damit zu erklären, dass die Industrie zum gegenwärtigen Zeitpunkt ausschließlich mit Kleinserien in Produktion geht bzw. dass es sich momentan um Prototypen handelt¹⁶³.

3.3.3 Akkumulator

Wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt ist der Akkumulator das Herzstück eines Elektrofahrzeuges und eines Hybridfahrzeuges. Der Akkumulator ist aus dem Grund so entscheidend, da er die wichtigsten Eigenschaften eines solchen Fahrzeuges beeinflusst. Er bestimmt sowohl die Reichweite der zugelassenen Fahrzeuge als auch den Preis.

Ein Akkumulator muss verschiedene Eigenschaften besitzen, um sowohl den Ansprüchen eines Elektrofahrzeuges als auch denen eines Hybridfahrzeuges gerecht zu werden. Bei den Elektrofahrzeugen spielt die Speicherkapazität der Batterie eine große Rolle¹⁶⁴. Überdies hinaus sollte sie gewichtsarm und platzsparend sein, um eine hohe Reichweite zu sichern. Eine bedeutende Stellung des Akkumulators bei den Hybridfahrzeugen kommt der hohen Leistungsdichte zu, da sie nur für kurze Lade- und Entladezyklen genutzt wird.

Im weiteren Verlauf werden die aktuell eingesetzten Akkumulatortypen beschrieben. Die Unterschiede der verschiedenen Akkumulatoren liegen hauptsächlich in ihrer Nennspannung, ihrer chemischen Zusammensetzung, ihrer Energiedichte und sich daraus ergebendem Einsatzpotential. Die vier betrachteten Varianten heißen Natrium-Nickelchlorid-Akkumulator¹⁶⁵, Lithium-Ionen-Akkumulator, Nickel-Metall-Hybrid-Akkumulator und Blei-Säure-Akkumulator. Die beiden erstgenannten Varianten werden auf Grund der höheren Energiedichte und Nennspannung eher in Elektrofahrzeugen eingesetzt, wohingegen die Nickel-Metall-Hybrid-Akkumulatoren und Blei-Säure-Akkumulatoren auf Grund ihrer Leistungsdichte in Hybridfahrzeugen eingesetzt werden¹⁶⁶. Die folgende Tabelle gibt eine Aufschlüsselung der aktuell genutzten Akkumulatoren mit ihren verschiedenen Eigenschaften an.

¹⁶² Vgl. Kapitel 5.

¹⁶³ Vgl. WITTENBRINK (2011), S. 87.

¹⁶⁴ Vgl. KÖHLER (2007), S. 34. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und die beiden folgenden Sätze.

¹⁶⁵ Dieser Akkumulator ist in den Fachkreisen unter dem Namen „ZEBRA-Batterie“ bekannt. ZEBRA steht für Zero Emission Battery Research Activity. Vgl. RUMMICH (2009), S. 165.

¹⁶⁶ Vgl. VIEWEG (2010), S. 67.

Akkumulator	Blei-Säure-Akku.	Nickel-Metallhydrid-Akku.	Natrium-Nickelchlorid-Akku.	Lithium-Ionen-Akku.
Energiedichte (Wh/kg)	20-45	55-85	100-120	90-200
Nennspannung pro Zelle in Volt	2	1,2	2,6	3,6
Leistungsdichte (w/kg)	100	750	180	bis zu 2000
Betriebstemperatur (°C)	0-45	-40-50	300-350	-40-60
Zyklen/Lebensdauer	500-1500 4 Jahre	300-1000 2-5 Jahre	600-1000 4 Jahre	> 1000 4-10 Jahre

Tabelle 4: Aktuell eingesetzte Akkumulatoren¹⁶⁷

Die größte Bedeutung in der Zukunft wird dem Lithium-Ionen-Akkumulator zugeschrieben, da die Bundesregierung diese durch den „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität der BRD“ fördert. Dieser Plan stellt Forderungen an die Industrie, die festgelegten Ziele bis 2020 zu erreichen. Unter den Zielen befindet sich zum einen die Senkung der Batteriekosten von aktuell 1.000-1.200 €/kWh¹⁶⁸ auf 300-500€ /kWh und zum anderen die Steigerung der Energiedichte und der Lebensdauer, die Verkürzung der Ladezeit und die Verbesserung der Infrastruktur¹⁶⁹.

3.4 Detaillierte Darstellung der Fahrzeugtechnologien

Die folgende Tabelle „Fahrzeugvergleich“ beinhaltet alle relevanten Kosten und Durchschnittswerte der PKW und der Kastenwagen bis 3,5 t mit den ausgewählten Fahrzeugmodellen für die jeweiligen Antriebsarten. In der ersten Zeile werden neben den unterschiedlichen Antriebsarten die Anforderungen, die die Logistikunternehmen an die Fahrzeugtechnologie stellen, aufgezeigt. Die erste Spalte ist unterteilt in die Kategorien PKW und Kastenwagen bis 3,5t. Innerhalb der Kategorien findet eine Aufschlüsselung in die unterschiedlichen Antriebsarten mit den jeweils ausgewählten Fahrzeugmodellen statt. Es werden pro Antriebsart Durchschnittswerte (gelbmarkiert) gebildet, um repräsentative Werte zu erzielen. Ein Beispiel für einen Durchschnittswert stellen die Netto-Anschaffungskosten der Dieselfahrzeuge der Kategorie PKW mit 13.338,97 € dar, die Anwendung im Kostenvergleich finden. Die durchschnittlichen Werte, die in der Tabelle aufgeführt sind, bilden die Grundlage für den anschließenden Kostenvergleich, in dem diese noch näher erläutert werden.

¹⁶⁷ Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an HOFMANN (2010), S. 168; WALLENTOWITZ/FREIALDENHOVEN/ OLSCHESKI (2010), S. 87; REBHAN (2002), S. 658; HEINLOTH (2003), S. 189; YAY. (2010), S. 55; KÖHLER (2007), S. 36 ff.; STAN (2008), S. 241; HOFMANN (2010), S. 164 ff.

¹⁶⁸ Vgl. BMBF (2009), S. 10.

¹⁶⁹ Vgl. VIEWEG (2010), S. 68; BMBF (2009), S. 17 ff.

170171172

170

171

172

Pkw Modelle	Antriebs- technologien	niedrige Anschaffungs- kosten		niedrige Treibstoffkosten pro 100km	hohe Reichweite mit einer Tankfüllung	niedrige Verschleißungs- kosten	geringer Emissionsausstoß	geringe Kfz-Steuer	umweltschonendes Innen- geräusch	niedriger Lärm- ausstoß (Fahrgeräusch)	schnelles Betanken	niedrige Wartungskosten	ständige Verfügbarkeit	Angebotvielfalt d. Fahrzeuge	hohe Lebensdauer	
		Netto	Brutto													Verbrauch in l/100km
				in l/100km	l/€ (173)	€/100km	in l	in km (174)	in € (175)	in € o.-Wert (176)	(177)	in dB	in Min.	€/km (178)	(179)	(180)
Renault Kangoo Rapid dCi 70 (181)	Diesel	11.615,00 €	14.339,50 €	5,30	1,411	7,48	60	1132	1.834,32	146	184,00 €		72,4 (182)	Gesetzlicher Mindestwert sind 35 l pro Min.	0,0210	
Citroën Berlingo HDI 75 (183)	Diesel	13.927,95 €	17.195,00 €	5,70	1,411	8,04	60	1053	1.583,03	147	212,00 €		74,5 (184)		0,0220	
Fiat Doblo Cargo 1.3 Multijet (186) (187)	Diesel	13.446,00 €	16.600,00 €	5,20	1,411	7,34	60	1154	1.794,29	136	203,00 €		73 (188)		0,0230	
VW Caddy 1.6 TDI (189)	Diesel	14.366,93 €	17.736,95 €	5,60	1,411	7,90	60	1071	1.837,46	147	206,00 €		74 (190)	74 (190) (185)	0,0290	
Durchschnittswert	Diesel	13.338,97 €	16.467,86 €	5,45	1,411	7,69	60	1101	1.762,28	144	201,25 €	gering	0,00	1,43	0,0238	sehr hoch
Renault Kangoo Rapid 1.6 8V 90 (181)	Ottomotor	10.593,26 €	13.078,10 €	8	1,539	12,31	60	750	1.863,30	190	172,00 €		70 (182)	Gesetzlicher Mindestwert sind 35 l pro Min.	0,0210	
Citroën Berlingo VTI 95 (183)	Ottomotor	13.494,60 €	16.660,00 €	7,1	1,539	10,93	60	845	1.566,95	164	100,00 €		73,5 (184)		0,0220	
Fiat Doblo Cargo 1.6 8V 90 (186) (187)	Ottomotor	12.241,53 €	15.113,00 €	7,2	1,539	11,08	60	833	1.477,51	169	112,00 €		72 (188)		0,0230	
VW Caddy 1.2 TSI (189)	Ottomotor	13.253,63 €	16.362,50 €	6,7	1,539	10,31	60	896	1.523,78	156	96,00 €		72 (190)	(185)	0,0290	
Durchschnittswert	Ottomotor	12.395,75 €	15.303,40 €	7,25	1,539	11,16	60	828	1.607,89	169,75	120,00 €	gering	0,00	1,43	0,0238	sehr hoch
Renault Kangoo Rapid (181)	Flüssiggas Biva-(92) (Ottomotor)	14.497,06 €	17.897,60 €	Otto 10,3 Flüssig. 7,9	0,76 1,539	7,83	30 60	291 759	1.566,95	170 187	166,00 €		74 (182)	2-3 Min. (194)	0,0210	
VW Caddy BiFuel (189)(191)	Flüssiggas Biva(192)	16.395,94 €	20.241,90 €	Otto 10,3 Flüssig. 8,0	0,75 1,539	7,83	44 60	430 670	1.831,48	167 187	166,00 €		74 (190)	2-3 Min. (194)	0,0290	
Durchschnittswert	Flüssiggas Biva. (Ottomotor)	15.446,50 €	19.069,75 €	10,3 7,95	0,76 1,540	7,83	37 60	1075	1.699,22	177,5	166,00 €	mittel	74	2 bis 3	0,0250	sehr hoch
Fiat Doblo Cargo CNG (186) (196) (205)	Erdgas (Ottomotor)	16.820,06 €	20.765,50 €	5,9 kg 9,21	0,99 €/kg 1,539	5,84	16,15 kg 221	325 295	1.691,49	134 173	56,00 €		72 (188)	2-3 Min. (197)	0,0230	
VW Caddy 2.0 Eco Fuel (189)	Erdgas (Ottomotor)	17.234,53 €	21.277,20 €	5,7 kg 8,21	0,99 €/kg 1,539	5,64	26 kg 131	450 140	1.831,48	156 195	112,00 €		74 (190)	2-3 Min. (197)	0,0290	
Opel Combo 1.6 CNG (198)	Erdgas (Ottomotor)	14.944,50 €	18.450,00 €	4,9 kg 8,481	0,99 €/kg 1,539	4,85	17,5 kg 141	350 165	1.902,97	133 186	58,00 €		73 (199)	2-3 Min. (197)	0,0200	
Durchschnittswert	Erdgas (Ottomotor)	16.333,03 €	20.164,23 €	5,5 kg 8,631	0,99 €/kg 1,539	5,45	19,33 kg 16,331	575	1.808,65	141	75,33 €	mittel	73	2 bis 3	0,0240	sehr hoch
Renault Kangoo Maxi ZE (207)	Elektro	26.609,24 €	27.912,64 €(208)	12,94	0,22	2,85	22 kWh	170	1.863,30	0	0		68,3 (209)	230 V = 6-7 St.	0,0126	
Citroen Berlingo First Elektro (210)	Elektro	41.399,51 €	51.110,50 €	19,17	0,22	4,22	23 kWh 201	120	1.769,03	0	0		70 (184)	231 V = 6-7 St.	0,0132	
Fiat Doblo Cargo (211)	Elektro	54.268,96 €	66.998,72 €	16,92	0,22	3,72	22 kWh	130	1.928,59	0	0		68 (188)	230V = 9 St. 400V = 3 St.	0,0138	
Durchschnittswert	Elektro	40.759,24 €	48.673,95 €	16,34	0,22	3,60	22,33 kWh	140	1.853,64	0,00 €	0	hoch	68,76	7,33	0,0132	sehr gering
MB Sprinter 316 CDI (212)(213)	Diesel	32.412,96 €	40.016,00 €	7,9	1,411	11,15	75	950	3.026,69	222	210		76 (214)	Gesetzl.Mind. sind 35 l pro Min. somit für 81l=	0,0440	
Iveco Daily 35S11V (215)	Diesel	27.345,84 €	33.760,30 €	8,52	1,411	12,02	78	915	3.026,69	224	210		77 (216)		0,0400	
Fiat Ducato L2H1 (217)(218)	Diesel	18.873,00 €	23.300,00 €	8,3	1,411	11,71	90	1084	2.875,74	220	210		78(188)		0,0360	
Durchschnittswert	Diesel	26.210,60 €	32.358,77 €	8,24	1,41	11,63	81,00	983	2.976,37	222,00	210,00	gering	77	2,19	0,0400	sehr hoch
MB Sprinter 316NGT Bivalent (212)(213)	Erdgas (Ottomotor)	35.603,57 €	43.955,03 €	9,3	0,99	9,21	o.a.	470	3.026,69	272 317	210		76(214)	4-5 Min.(197)	0,0390	
Iveco Daily 35S14GV (219)	Erdgas	38.189,72 €	47.147,80 €	8,3	0,99	8,22	31,2 kg 141	372	3.026,69	222	210		77(216)	4-5 Min.(197)	0,0400	
Fiat Ducato L1H2 Natural Power (217)(218)	Erdgas	25.839,00 €	31.900,00 €	8,8	0,99	8,71	37 kg	420	3.026,69	239,00			78(188)	4-5 Min.(197)	0,0360	
Durchschnittswert		33.210,76 €	41.000,94 €	8,80	0,99	8,71	0,00	421	3.026,69	153,67	210,00	mittel	77	4 bis 5	0,0383	sehr hoch
Iveco Daily Electric (220)	Elektro	81.000,00 €	100.000,00 €	48,46	0,22	10,66	63	130	941,01	0	210		o.A.	8 St.	0,0240	
Fiat Dukato 35 L4H2 Elektro 110 (217) (221)	Elektro	80.030,45 €	98.803,02 €	37,27	0,22	8,20	41	110	1.651,28	0	210		o.A.	230V = 12,1 St. 400V = 4 St.	0,0216	
Durchschnittswert		80.515,22 €	99.401,51 €	42,87	0,22	9,43	52,00	120	1.296,15	0,00	210,00	hoch	68,76 (222)	600,00	0,0228	sehr gering

Tabelle 5: Fahrzeugvergleich²²³

4. Kostenvergleichsrechnung der Antriebsarten

4.1 Einführung in die Kostenvergleichsrechnung

Die Kostenvergleichsrechnung beschreibt ein Verfahren zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit einer Investition und gehört somit zu den monetären Investitionsrechnungsverfahren. Dabei werden ausschließlich Kosten erfasst und miteinander verglichen²²⁴. Wie der Name schon

¹⁷³ Vgl. Aral AG (2011b).

¹⁷⁴ Formel für die Berechnung der Reichweite: Tankvolum/Verbrauch * 100.

¹⁷⁵ Die Versicherungskosten für die einzelnen Fahrzeugtypen sind in Zusammenarbeit mit einem großen Versicherungsunternehmen berechnet worden.

¹⁷⁶ Vgl. ADAC E.V. (2011f); ADAC E. V. (2011g).

¹⁷⁷ Vgl. Auswertung der empirischen Erhebung in Kapitel 5.

¹⁷⁸ Vgl. REGNIET (2011). Diese Internetplattform bietet eine ausführliche Darstellung der Wartungskosten bzw. Unterhaltskosten aller Fahrzeugtypen.

¹⁷⁹ Vgl. KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2011a). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Spalte.

¹⁸⁰ Vgl. KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2011c). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Spalte.

¹⁸¹ Vgl. RENAULT DEUTSCHLAND AG. (2011a). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Zeile.

¹⁸² E-Mail-Kontakt. Der Kontakt möchte allerdings namentlich nicht genannt werden.

¹⁸³ Vgl. CITROEN DEUTSCHLAND GMBH (2011a). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Zeile.

¹⁸⁴ E-Mail-Kontakt. Der Kontakt möchte allerdings namentlich nicht genannt werden.

¹⁸⁵ Vgl. BUNDESANZEIGER VERLAGSGESELLSCHAFT GMBH (2011).

¹⁸⁶ Vgl. FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2011a).

¹⁸⁷ Vgl. FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2011b).

¹⁸⁸ Telefonisches Interview Fiat Group Automobiles Germany AG Kundenservice (Tel. 00800 3428 0000).

¹⁸⁹ Vgl. VOLKSWAGEN AG (2011a). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Zeile.

¹⁹⁰ Telefonisches Interview Nutzfahrzeuge Volksagen AG Kundenservice.

¹⁹¹ Vgl. VOLKSWAGEN AG (2011b).

¹⁹² Flüssiggastank=30l, Benzintank=60l.

¹⁹³ Vgl. DEUTSCHER VERBAND FLÜSSIGGAS E.V. (2011).

¹⁹⁴ Telefonisches Interview Renault Deutschland AG. Kundenservice (Tel. 0180 5156509).

¹⁹⁵ Vgl. o.V. (2009b).

¹⁹⁶ Vgl. FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2011c). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Zeile.

¹⁹⁷ E-Mail-Kontakt. Der Kontakt möchte allerdings namentlich nicht genannt werden.

¹⁹⁸ Vgl. ADAM OPEL AG (2011). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Zeile.

¹⁹⁹ Telefonisches Interview Adam Opel AG (Tel. 0180 55510).

²⁰⁰ $100/\text{Reichweite} * \text{Tankvolum}$ bzw. $\text{Akkuvolum} = \text{Verbrauch kWh auf 100 km}$.

²⁰¹ Vgl. RWE AG (2011).

²⁰² $\text{Verbrauch auf 100km} * \text{Kosten für eine kWh} = \text{Kosten auf 100km}$.

²⁰³ Vor Ort entstehen im Elektrobetrieb keine Emissionen.

²⁰⁴ Elektrofahrzeuge sind für fünf Jahr von der Kfz-Steuer nach dem Steuergesetz §3b befreit. Vgl. BUNDES REPUBLIK DEUTSCHLAND (2011).

²⁰⁵ Vgl. o.V. (2011e).

²⁰⁶ Aktuell beläuft sich die Lebensdauer eines Akku auf maximal ca. 10 Jahre, Vgl. Tabelle 4.

²⁰⁷ RENAULT DEUTSCHLAND AG (2011b) Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Zeile.

²⁰⁸ Auf den Kaufpreis kommt noch eine monatliche Miete (85,86€) für den Akku. hinzu(Laufleistung des Leasingvertrag 48 Monate). In der Tabelle sind die Kosten des Akku auf den Kaufpreis addiert. Vgl. RENAULT DEUTSCHLAND AG (2011b).

²⁰⁹ Telefonisches Interview Renault Deutschland AG Service Zentrale (Tel. 02232/73-0).

²¹⁰ Vgl. CITROEN DEUTSCHLAND GMBH (2011b).

²¹¹ Vgl. o.V. (2011f).

²¹² Vgl. MERCEDES BENZ AG (2011a). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Zeile.

²¹³ Vgl. MERCEDES BENZ AG (2011b). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Zeile.

²¹⁴ E-Mail-Kontakt. Der Kontakt möchte allerdings namentlich nicht genannt werden.

²¹⁵ Vgl. IVECO MAGIRUS AG (2011a). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Zeile.

²¹⁶ Telefonisches Interview mit Iveco Magirus AG.

²¹⁷ Vgl. FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2011d). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Zeile.

²¹⁸ Vgl. FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2011e). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Zeile.

²¹⁹ Vgl. IVECO MAGIRUS AG (2011b). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Zeile.

²²⁰ Vgl. IVECO MAGIRUS AG (2011c). Diese Quelle bezieht sich auf die ganze Zeile.

²²¹ Vgl. o.V. (2011g).

²²² In diesem Fall werden die Lärmemission der Elektrofahrzeuge aus dem Bereich PKW herangezogen.

²²³ Quelle: Eigene Darstellung. Die Zahlen in den Klammern stehen für die Fußnoten.

²²⁴ Vgl. REICHMANN (2006), S. 446.

ausdrückt, geht es bei dieser Rechnung darum, mehrere Alternativen zu vergleichen und diese für evtl. anfallende Ersatz-, Rationalisierungs- oder Umstellungsinvestitionen anzuwenden²²⁵. Das Ziel ist die Ermittlung der Alternative mit dem größten Kostenvorteil aufzuzeigen²²⁶. Demnach werden die Kosten als Entscheidungskriterium herangezogen, was bedeutet, dass die Erlöse entscheidungsirrelevant sind²²⁷. Als statisches Verfahren ist es dahingehend gekennzeichnet, dass für den gesamten Betrachtungszeitraum nur eine repräsentative Periode in Betracht gezogen wird²²⁸. Die Vorgehensweise zur Anwendung eines solchen Verfahrens lässt sich im Allgemeinen in die folgenden drei Schritte unterteilen:

1. Definition der Entscheidungsalternativen
2. Identifikation relevanter Kosten
3. Kostenvergleich und Alternativenbewertung

Bezogen auf die Analyse des Einsatzes der alternativen Antriebsarten im Güterverkehr wird im Folgenden ein Kostenvergleich durchgeführt, da das Elektrofahrzeug sehr hohe Anschaffungskosten aufweist und somit auf den ersten Blick für Nutzer bzw. Logistikunternehmen unattraktiv erscheint. Aus diesem Grund wird ein Kostenvergleich durchgeführt, um die anfallenden Kosten aufzuschlüsseln und eine Auskunft zu erhalten, welche Technologie bei gleicher Laufleistungs- und Nutzungsdauer den größten Kostenvorteil besitzt. Darüber hinaus wird herausgestellt, zu welchem Zeitpunkt die alternativen Fahrzeuge im Gegensatz zu den herkömmlichen Fahrzeugen rentabel sind.

In der folgenden Ausführung des Kostenvergleiches wird die Fahrzeugklasse des PKWs²²⁹ in den unterschiedlichen Antriebsarten Benzin, Diesel, Erdgas, Flüssiggas und Elektro durchgeführt. Eine weitere Unterscheidung wird dahingehend getätigt, dass den Kastenwagen bis 3,5t die Antriebsarten Elektro, Diesel und Erdgas zugeteilt werden. Diese Unterteilung wurde aufgrund der aktuellen Marktsituation gewählt. In der Fahrzeugklasse bis 3,5 t wird kaum auf Benzinfahrzeuge zurückgegriffen, was die Einschränkung auf Diesel-, Elektro- und Erdgasfahrzeuge erklärt. Des Weiteren findet keine Berücksichtigung der Flüssiggasfahrzeuge statt, da der Ottomotor die Grundlage für einen Umbau darstellt und zum aktuellen Zeitpunkt ausschließlich eine geringe Verfügbarkeit von Serienfahrzeugen vorzuweisen ist²³⁰.

²²⁵ Vgl. ANDREE (2011), S. 151.

²²⁶ Vgl. RÖHRICH (2007), S. 117.

²²⁷ Vgl. RÖHRICH (2007), S. 121.

²²⁸ Vgl. MENSCH (2002), S. 44.

²²⁹ PKW sind Fahrzeuge, die als Personalfahrzeuge und auch als Lastenfahrzeuge von den Herstellern angeboten werden. Zu diesen Fahrzeugen gehören z.B. der VW Caddy sowie alle weiteren Fahrzeuge unter dieser Rubrik, die im Kostenvergleich berücksichtigt wurden und in der Tabelle 5 "Fahrzeugvergleich" aufgeführt sind.

²³⁰ Vgl. REIF (2010), S. 87.

4.2 Analyse der relevanten Kosten

Nach der Auswahl entscheidungsrelevanter Alternativen werden im nächsten Schritt die für den Kostenvergleich relevanten Kosten identifiziert. Zu den ausgewerteten Kosten gemäß Tabelle 5 „Fahrzeugvergleich“ gehören die Anschaffungs-, Treibstoff-, Wartungs-, Schmierstoff-, Versicherungskosten und die KFZ-Steuer. Bei den zu berücksichtigten Kosten handelt es sich um die Kosten, die zur Inbetriebnahme und Nutzung eines Nutzfahrzeuges wesentlich sind. Weitere Angaben zu den aufgeführten Kosten können der Tabelle 5 „Fahrzeugvergleich“ entnommen werden.

Um die Kostenvergleichsrechnung wissenschaftlich anwenden zu können, sind Angaben zum kalkulatorischen Zins, Abschreibungen und den Schmierstoffen erforderlich. Gerechnet wird mit einem angenommenen kalkulatorischen Zins von 8,5%²³¹. Die Schmierstoffe sind Bestandteil der Treibstoffkosten. Als Annahme gilt hier, dass die Schmierstoffe 4% der Treibstoffkosten ausmachen²³². Zur Ermittlung der jährlichen Abschreibungen findet eine Aufteilung im Verhältnis 30% zu 70% in Leistungs- und Zeitabschreibung statt²³³. Die Leistungsabschreibung beschreibt den Werteverzehr eines Fahrzeuges, der aufgrund der Nutzung dieses Fahrzeuges entsteht, wohingegen die Zeitabschreibung äußere Einflüsse, wie z.B. den technischen Fortschritt, der zur Wertminderung eines Fahrzeuges führt, berücksichtigt.

Im weiteren Gang der Arbeit werden die Rechnungen zur Leistungs- und Zeitabschreibung und zu den kalkulatorischen Zinsen am Beispiel eines Dieselfahrzeuges der Kategorie PKW im nachstehenden Ausschnitt aus der im Anhang beigefügten Excel-Tabelle „Kostenvergleich“ erläutert. Die Leistungsabschreibung pro 100 km eines Dieselfahrzeuges der Kategorie PKW setzt sich aus den Anschaffungskosten von 13.338,97 € multipliziert mit dem prozentualen Anteil der Leistungsabschreibung von 30% zusammen. In den nächsten Schritten wird zunächst durch die Nutzungsdauer in Jahren dividiert, die im Zusammenhang dieser Arbeit auf 6 Jahre²³⁴ gesetzt wurde, anschließend wird durch die Jahreslaufleistung²³⁵ pro Jahr dividiert und im letzten Schritt wird das Ergebnis mit 100 multipliziert, um die Leistungsabschreibung pro 100 km zu erhalten. Aus den dargestellten Schritten zur Berechnung der Leistungsabschreibung ergibt sich folgende Formel:

$$\left(\frac{\text{Anschaffungskosten} * \text{Leistungsabschreibungsanteil}}{\text{Nutzungsdauer} * \text{Jahreslaufleistung}} \right) * 100$$

²³¹ Telefonisches Interview mit einem Bank Mitarbeiter.

²³² Vgl. HOEPKE (1997), S. 106.

²³³ Vgl. VAHRENKAMP/SIEPERMANN (2005), S. 265.

²³⁴ Vgl. o.V. (2011d).

²³⁵ Die Jahreslaufleistung wird nach den Fahrzeugklassen sortiert. Die Werte stammen aus der empirischen Erhebung der Frage 5 und es werden 288 Werkstage angenommen: PKW: 47.520 ≈ 50.000 km/Jahr; Kastenwagen bis 3,5t: 83.656 ≈ 85.000 km/Jahr.

Bezogen auf das unten aufgeführte Rechenbeispiel ergibt sich folgender Wert für die Leistungsabschreibung eines Dieselfahrzeuges:

$$\left(\frac{13.338,97 * 0,30}{6 * 50.000} \right) * 100 = 1,33\text{€}/100\text{km}$$

Nach der anteilmäßigen Berechnung der Leistungsabschreibung folgt im nächsten Schritt die Berechnung der Zeitabschreibung, die 70% der jährlichen Abschreibung ausmacht. Die Vorgehensweise ist ähnlich der zur Berechnung der oben aufgeführten Leistungsabschreibung außer, dass zu Beginn der prozentuale Anteil der Zeitabschreibung verwendet wird und keine Berücksichtigung der Jahreslaufleistung in km stattfindet, sodass sich im Allgemeinen folgende Formel ergibt:

$$\frac{\text{Anschaffungskosten} * \text{Zeitabschreibungsanteil}}{\text{Nutzungsdauer}}$$

Bezogen auf die im Kostenvergleich angewendeten Zahlen ergibt sich folgendes Ergebnis:

$$\frac{13.338,97 * 0,70}{6} = 1.556,21 \text{ €/Jahr}$$

Im letzten Schritt folgt die Berechnung der kalkulatorischen Zinsen²³⁶. Identisch zu der Rechnung der jährlichen Abschreibung werden als Basis die Anschaffungskosten von 13.338,97€ angesetzt. Diese werden zunächst durch 2 dividiert und anschließend mit dem angenommenen kalkulatorischen Zins von 8,5% multipliziert, die zuletzt noch durch 100 dividiert werden. Es ergibt sich folgende Formel:

$$\frac{\text{Anschaffungskosten}}{2} * \frac{\text{kalkulatorischer Zins}}{100}$$

Bezogen auf die Excel-Tabelle werden folgende Werte eingesetzt:

$$\frac{13.338,97}{2} * \frac{8,5}{100} = 566,91\text{€}$$

4.3 Exemplarische Anwendung des Kostenvergleiches

4.3.1 Kostenvergleich der Fahrzeugklasse PKW

Die folgende Tabelle ist eine Zusammenstellung der im vorigen Kapitel beschriebenen Komponenten, die für den Kostenvergleich benötigt werden, um ein fundiertes Ergebnis zu erzielen. Des Weiteren werden die Ergebnisse des Kostenvergleiches der Gesamtkosten pro Jahr und über die gesamte Nutzungsdauer aufgezeigt.

²³⁶ Die kalkulatorischen Zinsen stellen den entgangenen Gewinn dar, der durch den besten alternativen Einsatz des Kapitals erreicht worden wäre und gehören somit zu den Opportunitätskosten. Vgl. KAESLER (2007), S. 35.

Pkw/Kastenwagen	Diesel	Benzin	Flüssiggas	Erdgas	Elektro
	Leistungsabschreibung/100km	1,33	1,24	1,54	1,63
Treibstoffkosten €/100km	7,69	11,16	7,83	5,45	3,60
Schmierstoffkosten €/100km	0,31	0,45	0,31	0,22	0,14
Wartungskosten €/100 km	0,024	0,024	0,025	0,024	0,013
Summe variabler Kosten €/100km	9,36	12,87	9,71	7,32	7,70
Zeitabschreibung/Jahr	1556,21	1446,17	1802,09	1905,52	4599,69
Kalkulatorische Zinsen	566,91	526,82	656,48	694,15	1675,60
Kfz Steuer	201,25	120	166	75,33	0
Versicherungskosten	1762,275	1607,885	1699,215	1808,65	1853,64
Summe fixer Kosten €/Jahr	4086,64	3700,88	4323,78	4483,65	8128,93
Summe fixer Kosten /km	0,082	0,074	0,086	0,090	0,163
Summe fixer Kosten €/100 km	8,17	7,40	8,65	8,97	16,26
Gesamtkosten/100 km	17,53	20,27	18,36	16,29	23,95
Gesamtkosten/km	0,18	0,20	0,18	0,16	0,24
Gesamtkosten pro Jahr	8.764,24 €	10.134,57 €	9.179,17 €	8.143,71 €	11.976,50 €
Gesamtkosten gesamte ND	52.585,45 €	60.807,41 €	55.075,00 €	48.862,23 €	71.859,01 €

Tabelle 6: Kostenvergleich der Fahrzeugklasse PKW²³⁷.

4.3.2 Kostenvergleich der Fahrzeugklasse Kastenwagen bis 3,5t

In diesem Kapitel erfolgt die Darstellung des Kostenvergleiches der Kategorie Kastenwagen bis 3,5 t. Für diese Kategorie werden aus den bereits erwähnten Gründen die Antriebsarten Diesel, Erdgas und Benzin betrachtet. Die Berechnungen wurden, wie bereits in Kapitel 4.1 erläutert, auf Grundlagen dieser Annahmen durchgeführt. Abweichend ist zu nennen, dass mit einer Laufleistung von 85.000 km pro Jahr gerechnet wurde. Alle anderen notwendigen Angaben sind gleichgeblieben. Aus den gegebenen Umständen ergibt sich folgendes Ergebnis:

Kastenwagen bis 3,5t	Diesel	Erdgas	Elektro
	Gesamtkosten pro Jahr	18.980,71 €	14.890,58 €
Gesamtkosten gesamte ND	113.884,24 €	89.343,46 €	152.441,20 €

Tabelle 7: Kostenvergleich der Fahrzeugklasse Kastenwagen bis 3,5t²³⁸

4.4 Darstellung der Ergebnisse der Kostenvergleiche

Im folgenden Text wird auf die Ergebnisse beider Kostenvergleiche eingegangen. Zunächst erfolgt die Analyse des Kostenvergleiches der Kategorie PKW. Auf den ersten Blick ist zu erkennen, dass unter dem Kostenaspekt das Erdgasfahrzeug mit Gesamtkosten von 48.862,23 € die wirtschaftlichste bzw. kostengünstigste Alternative darstellt. Im Vergleich dazu weist das Elektrofahrzeug mit 71.859,01 € die höchsten Kosten auf. Im Folgenden werden nur die Diesel- und Benzinfahrzeuge und die Elektrofahrzeuge näher betrachtet. Die Erklärung liegt darin, dass die Unternehmen in dieser Fahrzeugkategorie zum heutigen Zeitpunkt ausschließlich Diesel- und Benzinfahrzeuge einsetzen. Die Gesamtkosten pro Jahr sind nicht allein ausschlaggebend. Aus diesem Grund wird auf die Anschaffungskosten der Fahrzeuge,

²³⁷ eigene Darstellung in Anlehnung an GRÜNING (2007/2008).

²³⁸ eigene Darstellung in Anlehnung an GRÜNING (2007/2008). Eine detailliertere Variante befindet sich im Anhang.

die im Kostenvergleich ausschließlich durch die Leistungs- und Zeitabschreibung anteilig verrechnet werden, eingegangen. Die Anschaffungskosten eines Dieselfahrzeuges liegen durchschnittlich bei 13.338,97 €, die eines Benzinfahrzeuges bei 12.395,75 € und eines Elektrofahrzeuges bei 39.425,90 €. Es wird ersichtlich, dass eine große Differenz zwischen den herkömmlichen und dem Elektrofahrzeug im Bereich der Anschaffungskosten herrscht. Der Unterschied der Anschaffungskosten zwischen dem Benzinfahrzeug und dem Elektrofahrzeug liegt bei 27.030,15€. Das ist ein Grund, weswegen das Elektrofahrzeug auf Basis des Kostenvergleiches zunächst nicht wirtschaftlich erscheint. Da der gesamte Kostenaspekt nicht nur die Anschaffungskosten betrifft, ist es wichtig, alle anderen anfallenden Kosten auf eine bestimmte Dauer gesehen einzubeziehen. Bei dieser Betrachtung werden wie bereits im vorangegangenen Kapitel die unterschiedlichen Kosten betrachtet, die in der Tabelle 5 ersichtlich sind. Das Ergebnis zeigt, dass die Gesamtkosten der gesamten Nutzungsdauer geringer ausfallen als ursprünglich bei ausschließlicher Betrachtung der Anschaffungskosten eines Elektrofahrzeuges angenommen. Die Gesamtkosten eines Elektrofahrzeuges pro Jahr betragen 71.859,01€, die eines Benzinfahrzeuges 60.807,41€ und die eines Dieselfahrzeuges 52.585,45€. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist der Einsatz von Dieselfahrzeugen, auf Kostenbasis betrachtet, wirtschaftlicher als der von Benzinfahrzeugen und Elektrofahrzeugen. Bei steigender Nutzungsdauer der Fahrzeuge wird deutlich, dass sich die Position des Elektrofahrzeug stetig verbessert. Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen Kosten/Jahr und der Nutzungsdauer.

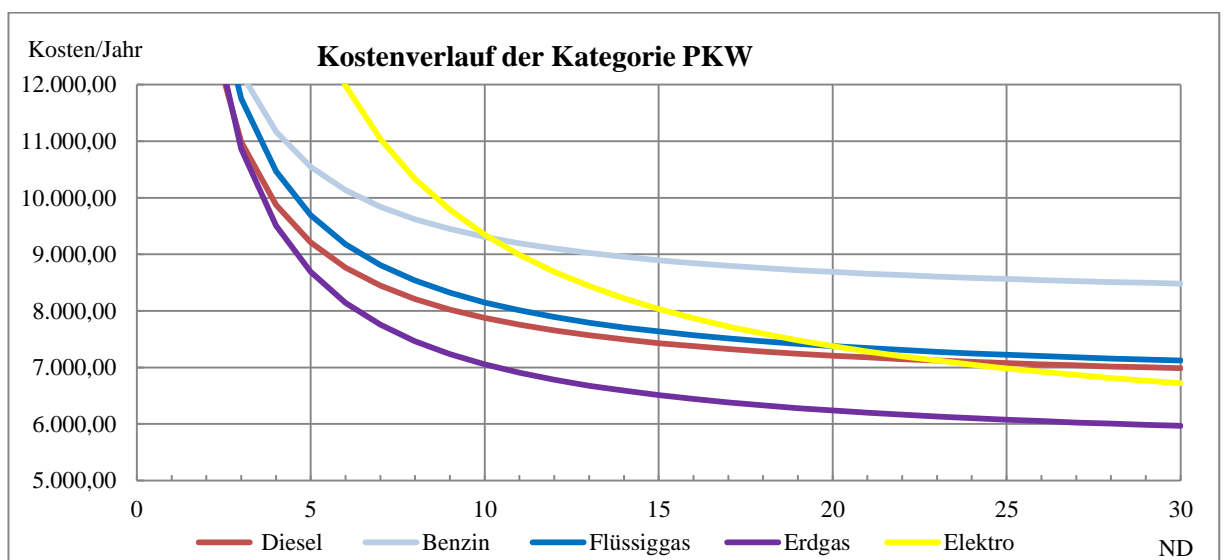


Abbildung 10: Kostenverlauf der Kategorie PKW²³⁹.

Bei einer Erhöhung der Nutzungsdauer auf 11 Jahre ist erkennbar, dass die Kosten/Jahr der Elektrofahrzeuge dann geringer ausfallen als die eines Benzinfahrzeuges. Um im Vergleich

²³⁹ eigene Darstellung.

mit den Dieselfahrzeugen kostengünstiger zu sein, müsste die Nutzungsdauer bei 23 Jahren liegen.

Die Ergebnisse zeigen, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt das Elektrofahrzeug in keinem Maße konkurrenzfähig gegenüber den herkömmlichen Antriebsarten ist, da die zurzeit in der Regel genutzte Nutzungsdauer in der Industrie von 6 Jahren deutlich überschritten werden müsste. Das Ergebnis der Kategorie der Kastenwagen bis 3,5t zeigt auch, dass die Erdgasfahrzeuge auf Kostenbasis gesehen am wirtschaftlichsten sind. Sie weisen Kosten i. H. v. 89.343,46€ auf. Die Gesamtkosten der gesamten Nutzungsdauer eines Dieselfahrzeuges belaufen sich auf 113.884,24€ und die eines Elektrofahrzeuge auf 152.441,20€. Da hier ausschließlich eine anteilmäßige Betrachtung der Anschaffungskosten erfolgt, werden die reinen Anschaffungskosten der Diesel- und Elektrofahrzeuge betrachtet. Die Anschaffungskosten eines Dieselfahrzeuges betragen 26.210,60€ und die eines Elektrofahrzeuges 80.515,22€. Im Gegensatz zu der Kategorie der PKW ist der Unterschied zwischen den Anschaffungskosten der Fahrzeuge der Kategorie Kastenwagen bis 3,5t erheblich höher, dieser beläuft sich auf 54.304,62€. Die höheren Anschaffungskosten in der Kategorie sind damit zu begründen, dass ein größeres Fahrzeug einen größeren und somit deutlich teureren Akkumulator mit mehr Leistung benötigt. Das lässt darauf schließen, dass der kommerzielle Einsatz des Elektrofahrzeuges eher bei den PKW gesehen wird als bei den Kastenwagen bis 3,5t.

Kastenwagen bis 3,5t	Diesel	Erdgas	Elektro
Gesamtkosten pro Jahr	15.860,40 €	10.936,91 €	15.821,72 €
Gesamtkosten gesamte ND	333.068,35 €	229.675,19 €	332.256,13 €

Tabelle 8: Kostenvergleich der Kastenwagen bis 3,5t mit einer Nutzungsdauer von 21 Jahren²⁴⁰

Die Tabelle 8 zeigt, dass erst ab einer Verlängerung der Nutzungsdauer von 21 Jahren das Elektrofahrzeug in der Kategorie Kastenwagen bis 3,5t gegenüber dem Dieselfahrzeug wirtschaftlich ist. Der Kostenvergleich hat gezeigt, dass das Elektrofahrzeug, unabhängig von der Kategorie, zum gegenwärtigen Zeitpunkt auf Kostenbasis noch nicht wirtschaftlich ist. Der Hauptgrund liegt nicht in den variablen Kosten, da die Elektrofahrzeuge in diesem Bereich zu den günstigsten Alternativen gehören, sondern in den hohen Anschaffungskosten, die entsprechend hohe Abschreibungskosten mit sich bringen. Zukünftig gesehen kann das Elektrofahrzeug mit einer Reduzierung der Anschaffungskosten, die entsprechende Maßnahmen²⁴¹ benötigt, schon nach kürzerer Nutzungsdauer als berechnet konkurrenzfähig sein. Im

²⁴⁰ eigene Darstellung in Anlehnung an GRÜNING (2007/2008). Eine detailliertere Variante befindet sich im Anhang.

²⁴¹ Der Nationale Entwicklungsplan beinhaltet die in dem Zusammenhang erwähnten Maßnahmen.

Gegensatz zum Elektrofahrzeug besitzt das Erdgasfahrzeug schon heute großes Potential, den herkömmlichen Fahrzeugarten Konkurrenz zu bieten.

5. Vorstellung der empirischen Erhebung über die Präferenzen der Logistikunternehmen.

5.1 Zielsetzung der empirischen Erhebung

Nachdem im vorherigen Verlauf der Arbeit die Grundlagen der Logistik, die Darstellung der Antriebsarten sowie ein Kostenvergleich der unterschiedlichen Antriebsarten erfolgt ist, soll im nachstehenden Kapitel die Akzeptanz der Logistikunternehmen gegenüber diesen Antriebsarten gezeigt werden und darüber hinaus auch für die anschließende computergestützte Analyse „SEN“ dienen.

Die folgende empirische Studie setzt sich einerseits damit auseinander, welche alternativen Technologien zum gegenwärtigen Zeitpunkt genutzt werden, und andererseits gibt es auch an, welche Antriebsarten die besten Chancen besitzen, sich am Markt durchzusetzen. Des Weiteren zielt die empirische Studie darauf ab herauszufinden, welche Technologien von den Logistikunternehmen bevorzugt werden, welche Mehrkosten diese in Kauf nehmen und zu welchem Zeitpunkt diese die Anschaffung solcher Fahrzeugtechnologien für wirtschaftlich sinnvoll erachten. Der erste Schritt, um die Analyse durchführen zu können, liegt in der Datenerhebung.

5.2 Entwicklung der Datenerhebung der empirischen Erhebung

Die empirische Erhebung basiert auf einer standardisierten schriftlichen Befragung in Form eines Fragebogens. Aufgrund der Objektivität und einer relativ großen Anzahl von Merkmalsträgern fiel die Entscheidung auf den Fragebogen als Erhebungsinstrument. Den Befragten wurde zugesichert, dass die Daten der Primärerhebung anonym behandelt werden.

Die Entwicklung des Fragebogens basiert auf den Ergebnissen mündlicher Befragungen von Experten und einer intensiven Literaturrecherche. Anschließend wurde im Rahmen der Entwicklung des Fragebogens ein Pre-Test durchgeführt, um evtl. bestehende Unklarheiten im Vorfeld auszuräumen²⁴². Dafür ist der Fragebogen am 30.09.2011 an 580 ausgewählte Ansprechpersonen bzw. Unternehmen per E-Mail, die im Güterverkehr tätig sind, verschickt worden. Zusätzlich wurden auch Telefonate mit den entsprechenden Ansprechpartnern der Unternehmen geführt, um den Prüfprozess zu beschleunigen. Der Fragebogen²⁴³ setzt sich aus 14 unterschiedlichen Fragen zusammen. Die meisten Fragen sind nach dem Multiple Choice Prinzip aufgebaut. Eine Ausnahme stellt die Frage 10 dar, in der eine skalierte Fragestellung

²⁴² Vgl. HEERLEIN (2008), S. 131.

²⁴³ Der Fragebogen sowie die zugehörigen Antworten befinden sich im Anhang.

mit einer Bewertung von 1-5²⁴⁴ vorgenommen werden muss. Es wurde eine einheitliche Betrachtungsweise bezogen auf die Abstände der Werte 1-5 unterstellt. Die Wahl auf die Art der Fragen fällt auf die Zeitersparnis bei der Beantwortung der Fragen zurück. Es ist den Personen in den meisten Fällen jedoch möglich, die Fragen so zu ergänzen, dass fehlende Aspekte mitaufgeführt werden.

Der Fragebogen lässt sich in zwei Bereiche einteilen. Die ersten 6 Fragen beschäftigen sich mit den allgemeinen Umständen der Unternehmen. Es werden generelle Informationen zu den Unternehmen eingeholt sowie beispielsweise über den Einsatzbereich und den aktuell zur Verfügung stehenden Fahrzeugbestand. Die weiteren Fragen zielen auf benötigte Informationen für die noch folgende Szenario-Analyse „SEN“ ab und sollen die Akzeptanz der Unternehmen im Hinblick auf den Einsatz alternativer Fahrzeugtechnologien erfassen.

5.3 Auswertung der empirischen Erhebung

Nach Ablauf des Befragungszeitraumes²⁴⁵ zum 01.12.2011 wurden die bis dahin zurückgesendeten Fragebögen gesammelt. Die Grundlage für die anstehende Szenario-Analyse sind 23 von insgesamt 580 Fragebögen, die einer Rücklaufquote von 4% entsprechen. Die Auswertung der Fragebögen wurde mit Hilfe einer eigenständig angelegten Excel-Tabelle durchgeführt, um einen Überblick über das Untersuchungsfeld zu erlangen. Die Fragen sind so konstruiert worden, dass die Erfordernisse einer Auswertung mit dem Excel-Programm ohne Hindernisse durchgeführt werden kann. Das Ziel ist es, Teile der erzielten Ergebnisse in eine noch folgende computergestützte Szenario-Analyse einfließen zu lassen, um anschließend eine fundierte Handlungsempfehlung abgeben zu können.

Im Folgenden wird ein kurzer Abschnitt der Excel-Tabelle „Auswertung der Fragebögen“, die sich im Ganzen im Anhang befindet, aufgezeigt, um das Grundprinzip zu verdeutlichen:

Anzahl der befragten Unternehmen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit			
Frage 1)																												
Fernverkehr					x									x										x			3	13%
Nahverkehr	x		x	x				x										x									5	22%
beide Arten		x				x	x		x	x	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x	x			15	65%	
																											23	100%

Tabelle 9: Ausschnitt der Excel-Tabelle „Auswertung der empirischen Erhebung“²⁴⁶

Der Ausschnitt aus der Tabelle zeigt zunächst die Anzahl der antwortenden Unternehmen. Zur Verdeutlichung wird, wie im Ausschnitt ausgewählt, die Vorgehensweise anhand der Frage 1 erklärt. Bei der Frage 1 markieren die Unternehmen ihren Einsatzbereich mit einem „x“. Ziel

²⁴⁴ 1 trifft vollständig zu; 2 trifft fast vollständig zu; 3 trifft teilweise zu; 4 trifft etwas zu; 5 trifft nicht zu.

²⁴⁵ Der Befragungszeitraum erstreckte sich über den Zeitraum vom 30.09.2011 bis zum 01.12.2011.

²⁴⁶ eigene Darstellung.

ist es herauszufinden, wie viel Prozent sich von den befragten Unternehmen im entweder Nah- oder Fernverkehr oder in beiden Bereichen befinden. Wie die Tabelle zeigt, befinden sich 22% der Unternehmen im Nahverkehr, 13% im Fernverkehr und 65% sind in beiden Bereichen tätig. Auf die Interpretation bzw. welche Auswirkungen diese Sachverhalte auf die Untersuchung der vorliegenden Arbeit haben, wird in den folgenden Kapiteln eingegangen.

5.4 Darstellung der Erkenntnisse der empirischen Erhebung

In diesem Abschnitt werden die gesammelten Ergebnisse bezugnehmend auf die anstehende Szenario-Analyse interpretiert. Dabei wird auf die Ergebnisse der relevanten Fragen konkret eingegangen. Die 1. Frage gibt Auskunft darüber, in welchen Bereichen die meisten Unternehmen tätig sind. Das Ergebnis zeigt, dass 65% der Unternehmen sowohl im Fern- als auch im Nahverkehr tätig sind und somit zum größten Teil die im Kostenvergleich aufgeführten Fahrzeuge nutzen. Durch die 4. Frage wird deutlich, dass die Unternehmen durch die ständig steigenden Kraftstoffpreise²⁴⁷, vor allem für Benzin und Diesel, unter Druck geraten, da diese einen erheblichen Anteil ihrer Betriebskosten ausmachen²⁴⁸. 48% der befragten Unternehmen fühlen sich durch die steigenden Kraftstoffpreise „sehr stark“ belastet. Gerade in dem Bereich der Kosten ist es für Logistikunternehmen naheliegend, andere Antriebsarten in Betracht zu ziehen, da diese im Vergleich günstiger ausfallen²⁴⁹.

Ein weiterer Aspekt, der bei dem Gedanken, Elektrofahrzeuge einzusetzen, unerlässlich ist, ist die benötigte Stillzeit/Standzeiten solcher Fahrzeuge. Die Frage 6 greift diesen Aspekt auf und zielt darauf ab zu erfahren, auf wie viele Stunden sich die Stillzeit der zurzeit eingesetzten Fahrzeuge beläuft. 67% der Unternehmen geben an, dass die Stillzeit ihrer Fahrzeuge über 8 St. beträgt. Hier liegt ein verstecktes Potential der Elektrofahrzeuge, da während dieser Zeit die Akkumulatoren der Elektrofahrzeuge ohne Probleme aufgeladen werden können. Dies würde einen reibungslosen Arbeitsablauf gewährleisten. Nur 4% geben eine Stillzeit von unter 2 St. an, bei der ein Einsatz von Elektrofahrzeugen aus diesem Grund wahrscheinlich nicht sinnvoll wäre.

Da der kommerzielle Einsatz alternativer Antriebsarten noch in der Zukunft liegt, ist es wichtig zu wissen, welchen Antriebsarten Unternehmen zukünftig die größte Chance geben. Wie bereits in Kapitel 3.3.2 erwähnt, beschränkt sich die Hybridtechnologie zum gegenwärtigen Zeitpunkt auf reine PKW, Busse, Prototypen sowie auf Kleinserien im Bereich der leichten

²⁴⁷ Der Kraftstoffpreis lag im Jahr 2009 für Benzin bei 1,289 €/l, für Diesel bei 1,088 €/l, für Erdgas bei 0,966 €/kg, Flüssiggas bei 0,615 €/l. Für das Jahr 2011 gilt aktuell ein Durchschnittspreis für Benzin von 1,539 €/l, Diesel von 1,411 €/l, Erdgas von 0,989 €/kg, Flüssiggas von 0,761 €/l. Vgl. Aral AG. (2011); DEUTSCHER VERBAND FLÜSSIGGAS E.V. (2011); o.V. (2009b).

²⁴⁸ Vgl. ALBERT/BRAUN (2008), S. 85 f.

²⁴⁹ Vgl. Tabelle 5.

Lkws. Die Hybridtechnologie besitzt allerdings einen hohen Stellenwert bei den befragten Unternehmen. Das wird durch das Ergebnis der Frage 7 „Welcher Antriebsart geben Sie die größten Chancen?“ deutlich. 46% der Unternehmen weisen der Hybridtechnologie die größten Chancen zu²⁵⁰. Um einen Überblick darüber zu erhalten, wie viel Prozent der Unternehmen zum jetzigen Zeitpunkt auf alternative Antriebsarten zurückgreifen, wurde die Frage 11 in den Fragebogen einbezogen. Das Ergebnis lässt erkennen, dass 30%²⁵¹ der Unternehmen bereits alternative Antriebsarten bzw. Fahrzeuge mit alternativen Kraftstoffen besitzen. Die Infrastruktur alternativer Antriebsarten ist gegeben, jedoch zeigen die Prozentzahlen, dass diese Antriebsarten bisher kaum eingesetzt werden.

Um zu erfahren, ob die Unternehmen zukünftig bereit sind, auf andere Antriebsarten umzustellen, und somit ihren Fuhrpark dahingehend zu erweitern, wird in der 12. Frage erörtert. Zunächst müssen die Befragten Überlegungen treffen, ob sie ihren Fuhrpark zukünftig ergänzen, wenn das der Fall ist, dann müssen sie zusätzlich angeben, zu welchem Zeitpunkt die Ergänzung geschehen soll und auf welche Antriebsarten sie zurückgreifen würden. Der Großteil der Befragten, nämlich 65%, steht einer Ergänzung ihres Fuhrparks um alternative Antriebsarten zwischen 2014 und 2016 positiv entgegen. Das zeigt, dass der Gedanke der alternativen Antriebsarten aktuell ist. Bestätigt wird dies, indem alle beteiligten Unternehmen eine Umstellung noch vor 2020 für notwendig halten.

Die Frage 13 beschäftigt sich mit den Mehrkosten, die bei der Anschaffung alternativer Antriebsarten im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen anstehen. 52% der Unternehmen sind zum aktuellen Zeitpunkt bereit 1-9,9% Mehrkosten in Kauf zu nehmen. 48% wären bereit, 10-20% an Mehrkosten auf sich zu nehmen. Mehr als 20% Mehrkosten in der Anschaffung im Gegensatz zu herkömmlichen Fahrzeugen ist zum jetzigen Zeitpunkt kein Unternehmen bereit zu zahlen. Das lässt vermuten, dass die Anschaffungskosten zu den wichtigsten Aspekten gehören, die alternativen Antriebsarten im Güterverkehr zu verbreiten.

5.5 Fazit der empirischen Erhebung mit Ausblick auf die Szenario-Analyse

Die Umfrage weist nach, dass bei den an der Umfrage beteiligten Unternehmen großes Interesse besteht, den Schritt zu alternativen Antriebsarten zu tätigen. Alle beteiligten Logistikunternehmen möchten ihren Fuhrpark mittelfristig in den nächsten neun Jahren auf alternative Antriebsarten aufstocken. Neben monetären Beweggründen wird dieser Gedanke auch durch den Umweltaspekt gefördert. Den meisten Unternehmen ist daran gelegen, über ein positives Umweltimage nach außen hin zu verfügen, um dem Druck der Stakeholder standzuhalten und

²⁵⁰ Zudem sahen 34% der Befragten die Gasfahrzeuge und 20% die Elektrofahrzeuge als die Technologie mit den größten Chancen, sich am Markt durchzusetzen.

²⁵¹ Unter diesen 30% befindet sich ein Unternehmen, das Elektrofahrzeuge einsetzt, zwei Unternehmen, die Hybridfahrzeuge nutzen sowie vier Unternehmen, die auf die NGV-Technologie zurückgreifen.

innerhalb der Logistikbranche wettbewerbsfähig zu bleiben. 25% gaben als Grund für die Umstellung ihres Fuhrparks die Wichtigkeit des öffentlichen Images ihres Unternehmens an. Die steigende Tendenz Umweltbewusstsein verdeutlicht die Prägnanz des Themas für die aktuelle Fuhrparkgestaltung der Logistikunternehmen.

Die nachfolgende computergestützte Analyse „SEN“ zeigt, welche Fahrzeuge die aktuellen Ansprüche erfüllen und welche sich demnach zum gegenwärtigen und zukünftigen Zeitpunkt am Markt durchsetzen könnten. Zuletzt erfolgt ein Zukunftsszenario, das den Bezug zu dem nationalen Entwicklungsplan der Elektromobilität herstellt.

6. Szenario-Analysen anhand eines neuronalen Netzes „SEN“

6.1 Einweisung in das Themengebiet der neuronalen Netze

Der Beginn der Geschichte der neuronalen Netze ist Waren McCulloch und Walter Pitts zuzuschreiben²⁵². Diese fassten den Gedanken der neuronalen Netze 1943 in ihrer Forschungsarbeit auf, in der sie aufzeigten, dass mit Hilfe neuronaler Netze jede arithmetische oder logische Funktion berechnet werden kann. 1949 erweiterte Donald O. Hebb dieses Modell um die Hebbsche Lernregel, die bis heute die Basis der meisten neuronalen Lernverfahren darstellt. Mit Lernverfahren ist in diesem Zusammenhang gemeint, inwieweit sich die Art der Aktivitätsausübung verändern kann²⁵³.

Die Strukturen neuronaler Netze knüpfen an die eines biologischen Prozesses im Gehirn an²⁵⁴. Ein Neuron im Gehirn besitzt die Aufgabe, ankommende Impulse, die durch Dendriten aufgenommen werden, zu addieren. Sobald die im Soma ankommenden Aktivitäten einen bestimmten Schwellenwert erreichen²⁵⁵, übernimmt das Axon, Fortsatz eines Neurons, die Aufgabe, die Informationen an andere Neuronen zu übermitteln, das wiederum andere Neuronen hemmen oder erregen kann. Den Kontakt zu den anderen Neuronen, den diese Übermittlung fordert, stellen die sogenannten Synapsen her²⁵⁶. Die Synapsen tragen dafür Sorge, dass die ausgetauschten Impulse unter den Neuronen nach Bedarf gekappt bzw. hergestellt werden²⁵⁷. Das Ziel eines solchen Vorgangs ist der Austausch von Informationen²⁵⁸. Die Anzahl und die Vernetzung der Neuronen beschreiben die Struktur/Topologie eines neuronalen Netzes, die in einzelnen Schichten aufgeteilt sind. Zu den Schichten zählen die Input-, die Output- sowie die Zwischenschicht, die als hidden layer ge-

²⁵² Vgl. HAMANN (2007), S. 28. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und die beiden folgenden Sätze.

²⁵³ Vgl. STOICA-KLÜVER/KLÜVER/SCHMIDT (2009), S. 101.

²⁵⁴ Vgl. SCHMIDT/KLÜVER/KLÜVER (2010), S. 140.

²⁵⁵ Vgl. SCHMIDT/KLÜVER/KLÜVER (2010), S. 100.

²⁵⁶ Vgl. SCHMIDT/KLÜVER/KLÜVER (2010), S. 100.

²⁵⁷ Vgl. Campbell/Reece (2011), S. 615.

²⁵⁸ Vgl. Campbell/Reece (2011), S. 623.

nannt wird²⁵⁹. In der Inputschicht werden die Neuronen „extern aktiviert“. Die Outputschicht hingegen beinhaltet Informationen über das zu verzeichnende Ergebnis eines neuronalen Netzes²⁶⁰. Die letzte zu erwähnende Schicht ist die so genannte Zwischenschicht, die allerdings nicht bei jedem neuronalen Netz vorhanden ist. Die Formulierung „verborgene Schicht“ kann zu Verwirrungen führen, da diese Schichten nichts verbergen.

Neuronale Netze sind gemäß ihren Verbindungen zu klassifizieren in „Feed Forward“- und in „Feed Back“-Netze²⁶¹. Der Unterschied liegt in der Richtung des Informationsflusses. Die „Feed Forward“-Netze sind ausschließlich in der Lage, Verbindungen in eine Richtung vorwärts durchzuführen (Inputschicht -> Zwischenschicht -> Outputschicht) wohingegen bei „Feed Back“-Netzen auch rückläufige Verbindungen möglich sind.

Daneben ist eine weitere Klassifizierung, bezogen auf den Lerntypus eines neuronalen Netzes, zu berücksichtigen. Zu den 3 bedeutendsten Lernformen gehören²⁶²:

- Überwachtes Lernen (supervised learning)²⁶³,
- Bestärkendes Lernen (reenforcing learning)²⁶⁴ und
- Selbstorganisiertes Lernen (self-organized learning)²⁶⁵.

Vor allem bei den immer komplexeren wirtschaftlichen Themengebieten finden neuronale Netze Anwendung, um konkrete Anwendungsprobleme lösen zu können. Bezogen auf die vorliegende Arbeit wird konkret untersucht, wie sich der Einsatz alternativer Antriebsarten zum jetzigen Zeitpunkt gestalten wird bzw. ab wann der Einsatz für Logistikunternehmen effizient sein wird.

In der vorliegenden Analyse der Arbeit findet das von Priv.-Doz. CHRISTINA KLÜVER und PROF. DR. JÜRGEN KLÜVER entwickelte neuronale Netz „SEN“ Anwendung. Unter SEN (Self Enforcing Network) versteht man ein „selbstverstärkendes Netzwerk“, das in vier Phasen²⁶⁶, eingeteilt wird²⁶⁷. Diese werden im weiteren Verlauf näher beschreiben. Das SEN bringt rekurrente, selbstorganisierende Eigenschaften mit sich, die ein selbstverstärkendes Lernverfahren innehaben²⁶⁸. In dem Zusammenhang bezeichnet rekurrent rückläufige

²⁵⁹ Vgl. KLÜVER/KLÜVER (2011), S. 54. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und die beiden folgenden Sätze.

²⁶⁰ Vgl. KLÜVER/KLÜVER (2011), S. 54. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und die drei folgenden Sätze.

²⁶¹ Vgl. STOICA-KLÜVER/KLÜVER/SCHMIDT (2009), S. 110f.; KLÜVER/KLÜVER (2011), S. 54. Diese Quellen beziehen sich auf diesen und die beiden folgenden Sätze.

²⁶² Vgl. KLÜVER/KLÜVER (2011), S. 55.

²⁶³ Die Merkmale beim überwachten Lernen liegen zum einen darin, dass von Außen auf das Netz eingewirkt wird und zum anderen vorausgesetzt wird, dass Trainingsdaten vorhanden sind. Vgl. LIPPE (2006), S. 56.

²⁶⁴ Der Unterschied zum überwachten Lernen besteht darin, dass dem Netz lediglich mitgeteilt wird, ob seine Ausgabe korrekt oder inkorrekt war. Der exakte Wert des Unterschiedes wird dem Netz nicht bekannt gegeben. Der Ursprung des Lernverfahrens liegt in der Art des Lernens bei der Erziehung von Tieren. Vgl. LIPPE (2006), S. 56.

²⁶⁵ Das „selbstorganisierende Lernen“ beschreibt eine Variante, die keine externen Lehrer einschaltet und das Netz somit die zur Verfügung stehenden Informationen selbständig bearbeitet. Vgl. LIPPE (2006), S. 56.

²⁶⁶ 1.: Netz erstellt, 2.: Start gedrückt, 3.: Input-Vektor ausgewählt, 4.: Simulation durchgeführt.

²⁶⁷ Vgl. KLÜVER/KLÜVER (2011), S. 56.

²⁶⁸ Vgl. KLÜVER/KLÜVER (2011), S. 55. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und den folgenden Satz.

Vorgänge, was bedeutet, dass rückläufige Verbindungen von Neuronen einer Schicht sowohl zu vorgelagerten als auch zu derselben Schicht durchgeführt werden können.

6.2 Einleitung der Szenarien

Im weiteren Abschnitt wird der Vorgang der durchzuführenden Szenario-Analyse erklärt. Das Ziel, das mit der Durchführung der Szenario-Analyse erreicht werden soll, liegt darin, den aktuellen sowie den zukünftigen (2020) technologischen Stand anhand der herausgefundenen Präferenzen der Unternehmen im Hinblick auf den Einsatz der bereits genannten Fahrzeugtechnologien zu ermitteln. Das Zukunftsszenario baut auf den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität der BRD auf. Im weiteren Verlauf wird zunächst die Oberfläche von SEN dargestellt sowie die Neuronen²⁶⁹ und Referenztypen, die die Basis für die Umsetzung der Szenario-Analyse bilden.

6.3 Aufbau der Szenario-Analyse und Erläuterung des Programms „SEN“

Im ersten Schritt ist es erforderlich, die Grundeinstellungen für den weiteren Verlauf und für ein sicheres Ergebnis festzulegen. Der folgende Screenshot zeigt die Grundeinstellung für eine Neuerstellung eines neuronalen Netzes. Die Einstellungen der Dämpfung und Skalierung wird auf 0 gesetzt, da diese für den weiteren Verlauf nicht relevant sind. Die Skalierung wird von 0 bis 1 reell codiert.

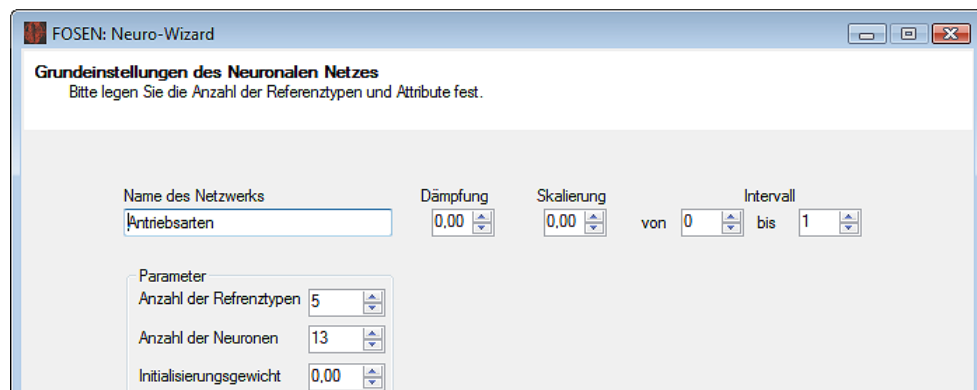


Abbildung 11: Grundeinstellung des neuronalen Netzes²⁷⁰

Die Wahl auf die in der Analyse aufgeführten Attribute fiel aufgrund der Ergebnisse intensiver Literaturrecherche und Gesprächen mit Experten. Hinter den Referenztypen verbergen sich die Antriebsarten Diesel, Verbrennungsmotor, Elektro sowie die Antriebsarten mit den Treibstoffen Erdgas und Flüssiggas. Unter dem Punkt „Anzahl der Neuronen“ sind die folgenden 13 Attribute gemeint²⁷¹.

²⁶⁹ Zum besseren Verständnis wird in dieser Arbeit nicht mit dem Wort „Neuronen“, sondern mit dem Wort „Attribute“ gearbeitet.

²⁷⁰ eigene Darstellung.

²⁷¹ Diese Attribute sind im Zusammenhang mit der empirischen Erhebung erarbeitet und in der Frage 10 von den befragten Unternehmen bewertet worden.

1. geringe Anschaffungskosten
2. geringe Versicherungskosten
3. Umweltbewusstes Image
4. hohe Reichweite mit einer Tankfüllung
5. geringer Emissionsausstoß
6. Angebotsvielfalt der Fahrzeuge
7. geringe Instandhaltungs-/Wartungskosten
8. geringe Treibstoffkosten
9. geringer Lärmausstoß
10. ständige Verfügbarkeit
11. schnelles Betanken
12. geringe Kfz-Steuer
13. hohe Lebensdauer

Anschließend werden die Referenzwerte und Attribute in das System implementiert und bewertet. Der folgende Screenshot gibt einen Einblick über den Vorgang. Es werden die erweiterten Einstellungen (rechte Seite), die semantische Matrix (oberer Teil) und die Gewichtsmatrix (unterer Teil) betrachtet.

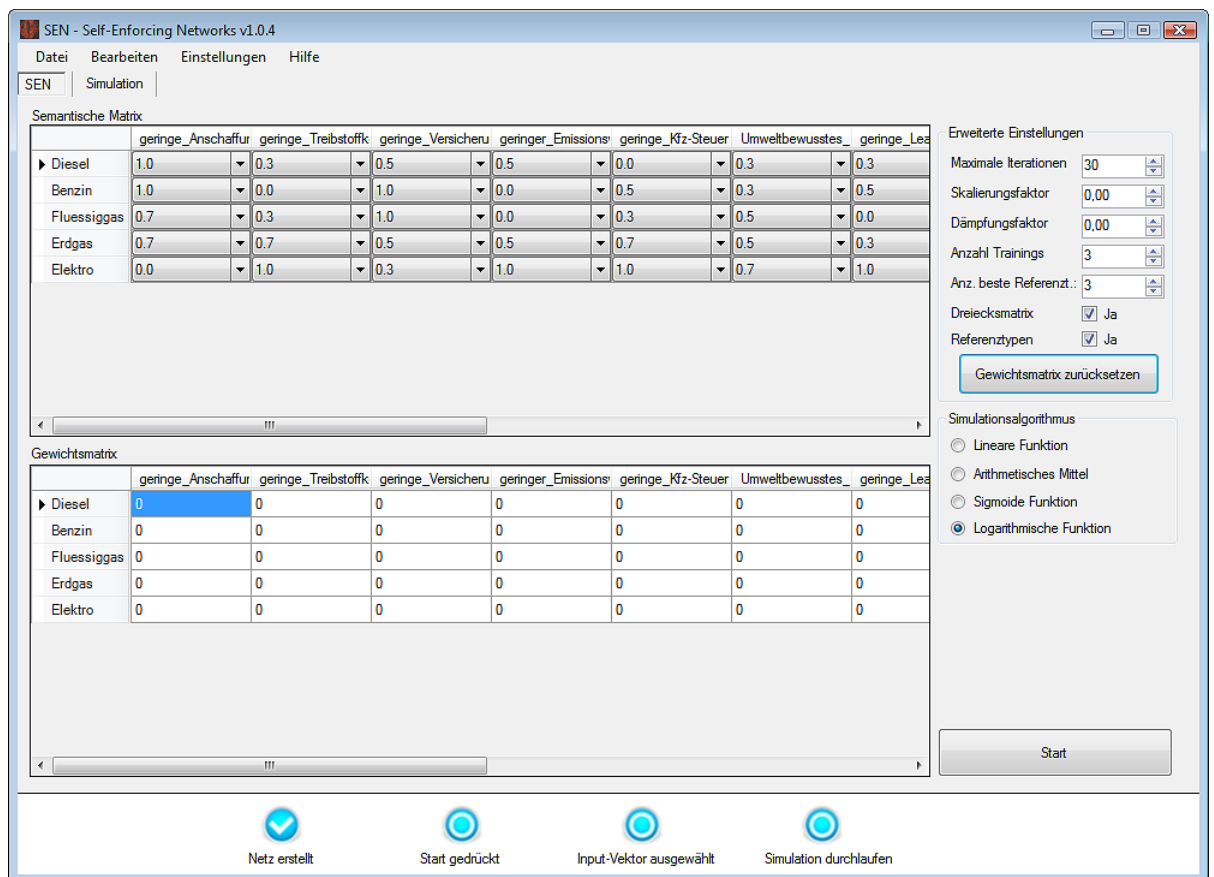


Abbildung 12: Phase „Netz erstellen“²⁷²

Die untere Zeile der Maske gibt durch Häkchen an, in welcher Phase man sich zum aktuellen Zeitpunkt befindet. Es gibt die Phasen „Netz erstellt“, „Start gedrückt“, „Input-Vektor ausgewählt“ und „Simulation durchlaufen“. Momentan wird die Phase „Netz erstellt“ vorgestellt. Die Grundinformationen, die in das Programm SEN einfließen, berufen sich auf die im Anhang befindliche Excel-Tabelle „SEN Semantische Matrix“²⁷³. Die erweiterten Einstellungen

²⁷² eigene Darstellung.

²⁷³ Die Grundlage dieser SEN Werte ist die Tabelle 5 „Fahrzeugvergleich“.

auf der rechten Seite, die zum Teil bereits bei der Grundeinstellung erfolgten, werden durch die nachstehend beschriebenen Aspekte ergänzt. Die Maximale Iteration wird auf 30 gesetzt, da dann erfahrungsgemäß ein fundierteres Ergebnis erzielt wird. Die „Anzahl der Trainings“ hingegen wurde aufgrund der Erfahrungswerte mit dem Umgang dieses Programms gewählt und muss auf jedes einzelne Szenario neu abgestimmt werden²⁷⁴. Unter der Rubrik beste Referenztypen versteht man die Anzahl der besten Antriebsarten, die sich am nächsten zum Zentrum befinden. In dieser Arbeit werden die 3, die dem Zentrum am nächsten sind, nochmals separat angezeigt und eingetragen. Zudem wird die Dreiecksmatrix gewählt (Ja), um die Rekurrenz auszuschalten. Das hat zur Folge, dass keine Rückkopplung im Netzwerk möglich ist und somit das Netz auf der Basis eines Feed Forward Netzes besteht. Dadurch wird ein deutlich stabileres Ergebnis erzielt, da eine gegenseitige Verstärkung ausgeschlossen wird. Bei den Referenztypen wird „Ja“ angekreuzt, da mit Referenztypen gearbeitet wird. Für die anstehende Untersuchung in dieser Arbeit wurde die „logarithmische Funktion“ bei dem Simulationsalgorithmus eingestellt, da dadurch ein genaueres und stabileres Ergebnis erreicht wird²⁷⁵. Aus diesem Grund sind die erweiterten Einstellungen mit Sorgfalt zu tätigen. Nachdem auf die erweiterten Einstellungen eingegangen wurde, wird im Folgenden die Semantische Matrix beschrieben. Hier werden die logisch-semantischen Beziehungen zwischen den Referenztypen, welche sich in den Zeilen befinden, und den Attributen, welche sich in den Spalten wiederfinden, erstellt. Jedem Referenztyp wird eine bestimmte Eigenschaft in einer bestimmten Ausprägung zugeschrieben. Im Zusammenhang mit dieser Arbeit reicht eine binäre Codierung²⁷⁶ nicht aus. Es gilt nicht nur auszudrücken, ob ein Attribut vorliegt oder nicht, sondern in welchem Maße dieses vorliegt. Das heißt, dass die Matrix reell codiert wird. Die Ausprägungen nehmen Skalierungen zwischen 0 und 1 an. In dieser Arbeit wird die Codierung wie folgt gewählt:

- 0,0 trifft nicht zu,
- 0,3 trifft etwas zu,
- 0,5 trifft teilweise zu,
- 0,7 trifft fast vollständig zu,
- 1,0 trifft vollständig zu.

Die Grundlage der Referenzwerte sind, wie mehrfach erwähnt, die 5 Antriebsarten. Zu den Attributen zählen die Eigenschaften, die Logistikunternehmen bei Fahrzeugen als bedeutend einstufen.

²⁷⁴ Grundsätzlich sind 3-5 Trainings anzuwenden, um das Ergebnis so fundiert wie möglich zu gestalten.

²⁷⁵ Vgl. KLÜVER/KLÜVER (2011), S. 58.

²⁷⁶ Der Binärcode drückt durch 2 verschiedene Symbole Informationen durch Sequenzen aus. Häufig werden die Symbole 1/0 oder wahr/falsch verwendet. Vgl. SEILER (2011), S. 161.

Im unteren Teil befindet sich die Gewichtsmatrix, die die Berechnungsgrundlage der Simulation darstellt²⁷⁷. Erst durch das Betätigen der Starttaste werden Elemente aus der semantischen Matrix in die Gewichtsmatrix implementiert²⁷⁸ und man gelangt in die nächste Phase „Start gedrückt“. Es gibt fortan keine Möglichkeit mehr, diese Werte manuell zu korrigieren bzw. zu ändern. Der folgende Screenshot zeigt diese und die sich daraus ergebenden Einstellungen in der Gewichtsmatrix.

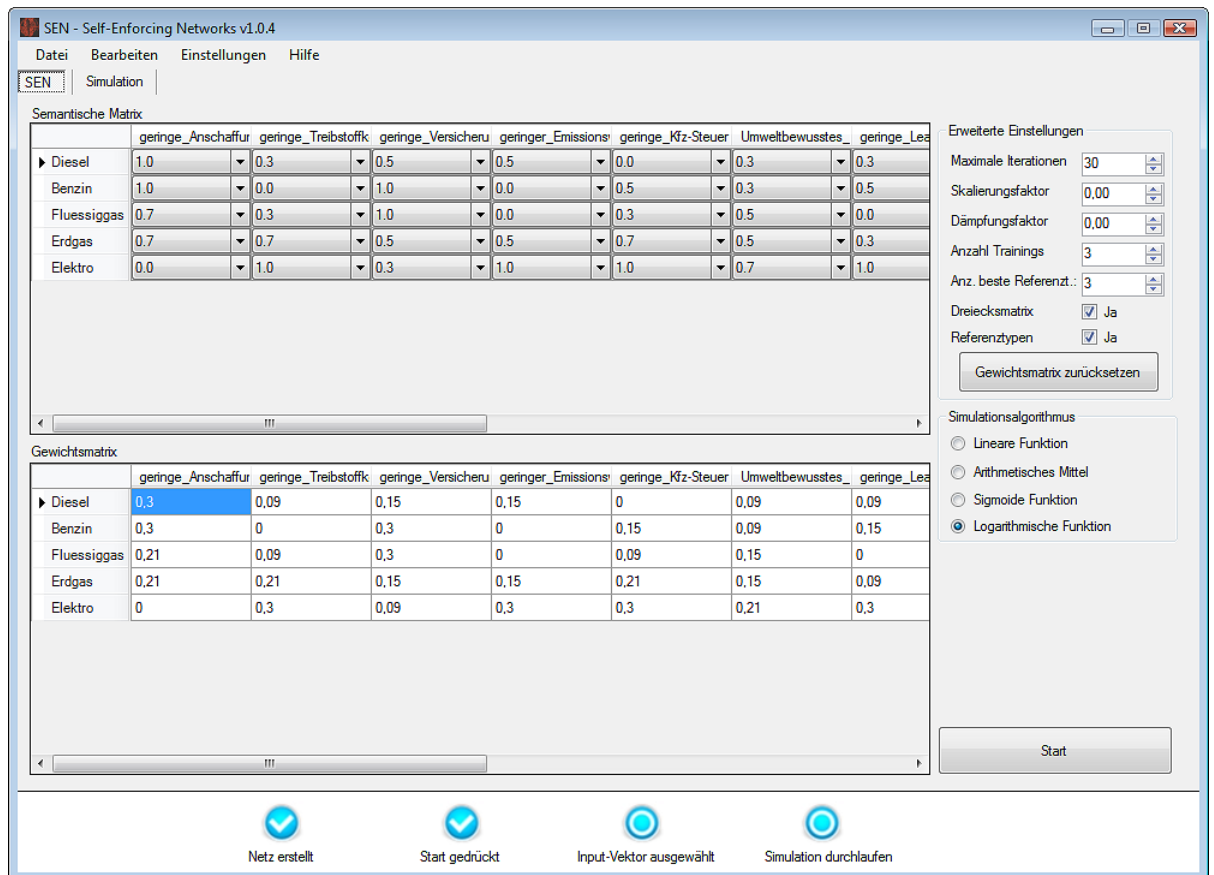


Abbildung 13: Phase „Start gedrückt“ mit der Gewichtsmatrix²⁷⁹

Die Menüleiste besitzt keine Funktionen, die das erzielte Ergebnis beeinflussen können, dennoch sollen die 4 Punkte der Vollständigkeit halber kurz erläutert werden. Unter dem Punkt „Datei“ ist es möglich, ein neu angelegtes Netz zu speichern, ein gespeichertes Netz zu laden oder zu löschen sowie ein neues Netz zu erstellen. Am Ende kann das Programm über diese Funktion die Referenzwerte oder generelle Einträge in der semantischen Matrix ergänzen, verändern, löschen, speichern oder beenden. Mit der Funktion „Bearbeiten“ kann in bereits laufende Netze korrigierend eingegriffen werden. Damit ist gemeint, bereits bestehende Attribute bzw. Referenztypen zu verändern zu ergänzen oder zu eliminieren. Die Funktion „Einstellungen“ verbirgt neben der Tätigkeit, das Netz in eine andere Sprache zu übersetzen, die

²⁷⁷ Vgl. STOICA-KLÜVER/KLÜVER/SCHMIDT (2009), S. 108.

²⁷⁸ Vgl. KLÜVER/KLÜVER (2011), S. 58. Als Beispiel wird der Referenzwert „Diesel“ mit dem Attribut „geringe Anschaffungskosten“ betrachtet. Semantische Matrix: 1,0; Gewichtsmatrix: 0,3.

²⁷⁹ eigene Darstellung.

Zusatzfunktion „Expertenwissen“, auf die im späteren Verlauf noch eingegangen wird. Unter dem Punkt „Hilfe“ werden die Personen, die bei der Entwicklung des Programms mitgewirkt haben, benannt.

Zur Fortführung der Analyse ist es notwendig, die Starttaste zu betätigen, um in den Visualisierungsteil zu gelangen.

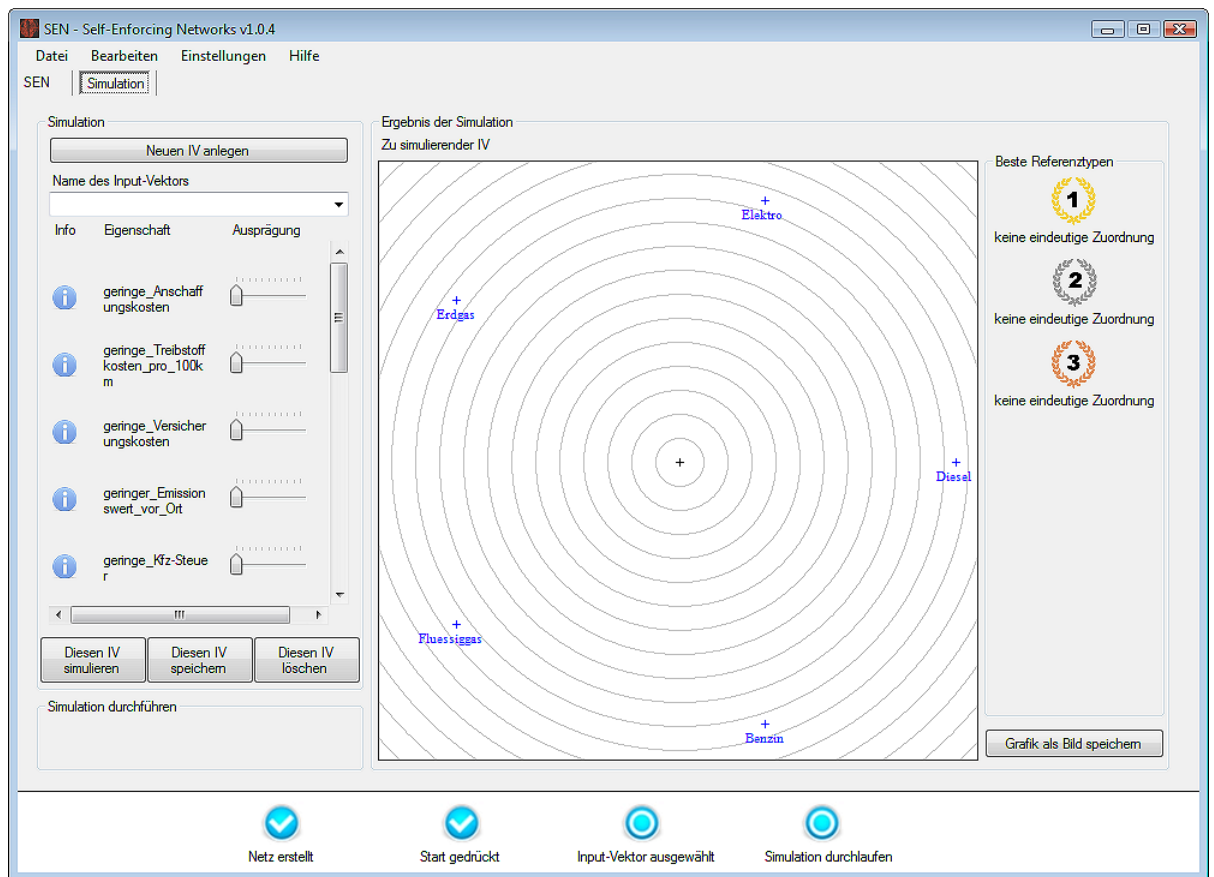


Abbildung 14: Phase „Start gedrückt“ Visualisierungsteil²⁸⁰

Dieser Teil stellt den Visualisierungsteil dar. Zunächst kann unter „neuen IV anlegen“ ein Szenario festgelegt werden. Der Visualisierungsteil sagt aus, dass die Ähnlichkeit der unterschiedlichen Referenztypen von der Stärke der Endaktivierungen²⁸¹ abhängt²⁸². Die entsprechenden Attribute eines Szenarios werden manuell auf der linken Seite eingestellt. Im Zentrum der Maske ist die visuelle Gestaltung des Ergebnisses platziert, was bedeutet, dass durch den Visualisierungsalgorithmus die Attribute geometrisch angeordnet sind. Am rechten Bildrand ist das visuell dargestellte Ergebnis hierarchisch aufgestellt. In der vorliegenden Analyse ist die Antriebsart, die eine räumlich semantische Ähnlichkeit aufzeigt, die Antriebsart, die den eingegebenen Bewertungen der Attribute am meisten zuspricht, wohin-

²⁸⁰ eigene Darstellung.

²⁸¹ Endaktivierung: gibt das Verhältnis der unterschiedlichen Objekte zueinander an. Vgl. KLÜVER, C./KLÜVER, J. (2011), S. 59.

²⁸² Vgl. KLÜVER/KLÜVER (2011), S. 59. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und die beiden folgenden Sätze.

gegen räumliche Distanzen aussagen, dass von den eingegebenen Bewertungen der Referenztypen abgewichen wird²⁸³.

6.4 Darstellung der Szenarien 2011 & 2020

6.4.1 Szenario 2011 der Kategorie PKW

In dem Szenario 2011 wird anhand der aktuellen Präferenzen der Logistikunternehmen der aktuelle Stand gegenüber dem Einsatz der in der Arbeit aufgeführten Antriebsarten untersucht dargestellt. Nach den bereits erarbeiteten „erweiterten Einstellungen“ wird im ersten Schritt die semantische Matrix, die auf Basis der nachstehenden Tabelle erfolgt, modelliert.

Pkw/Kastenwagen	Diesel		Benzin		Flüssiggas		Erdgas		Elektro	
		SEN		SEN		SEN		SEN		SEN
geringe Anschaffungskosten in €:	13.338,97	1,0	12.395,75	1,0	15.446,50	0,7	16.333,03	0,7	39.425,90	0,0
geringe Treibstoffkosten pro 100km	7,69	0,3	11,16	0,0	7,83	0,3	5,45	0,7	3,60	1,0
hohe Reichweite mit einer Tankfüllung in km	1.100,92	1,0	827,59	0,7	1.075,00	1,0	575,00	0,5	140,00	0,0
geringe Versicherungskosten in €:	1.762,28	0,5	1.607,89	1,0	1.607,89	1,0	1.808,65	0,5	1.853,64	0,3
geringer Emissionsausstoß in mg/km vor Ort:	144,00	0,5	169,75	0,0	177,50	0,0	141,00	0,5	0,00	1,0
geringe Kfz-Steuer in €:	201,25	0,0	120,00	0,5	166,00	0,3	75,33	0,7	0,00	1,0
umweltbewusstes Image:	gering	0,3	gering	0,3	mittel	0,5	mittel	0,5	hoch	0,7
geringer Lärmstoß:	73,48	0,3	71,88	0,5	74,00	0,0	73,00	0,3	68,77	1,0
schnelles Betanken in Min.:	1,43	1,0	1,43	1,0	2 bis 3	0,7	2 bis 3	0,7	440,00	0,0
geringe Wartungskosten in €/km:	0,0238	0,5	0,0238	0,5	0,0250	0,3	0,0240	0,5	0,0132	1,0
ständige Verfügbarkeit:	sehr hoch	1,0	sehr hoch	1,0	sehr hoch	1,0	sehr hoch	1,0	sehr gering	0,0
Angebotsvielfalt d. Fahrzeuge:	sehr hoch	1,0	hoch	0,7	gering	0,3	mittel	0,5	sehr gering	0,0
höhe d. Lebensdauer	sehr hoch	1,0	hoch	0,7	hoch	0,7	hoch	0,7	sehr gering	0,0

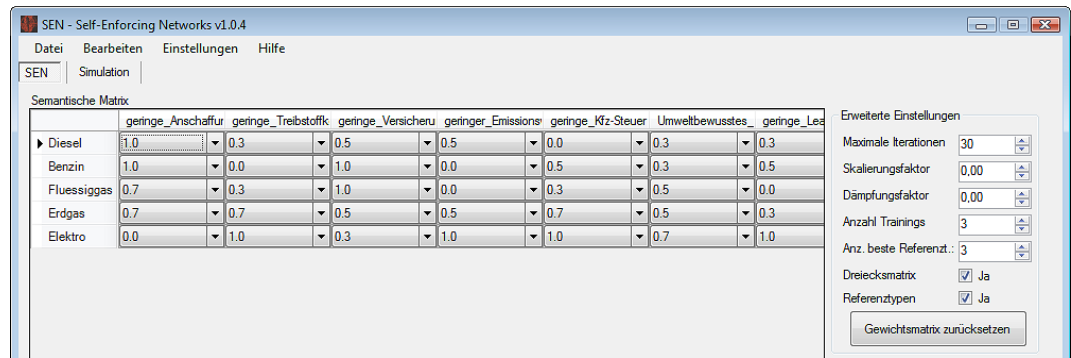
Tabelle 10: SEN-Werte für die Semantische Matrix PKW²⁸⁴

Aus der Tabelle gehen die SEN-Werte (grün hinterlegt), die für die semantische Matrix benötigt werden, hervor. Die Werte entwickeln sich aus den Angaben des Fahrzeugvergleiches²⁸⁵, die zur Erklärung noch mit angegeben sind, aber in diesem Zusammenhang nicht weiter zu beachten sind.

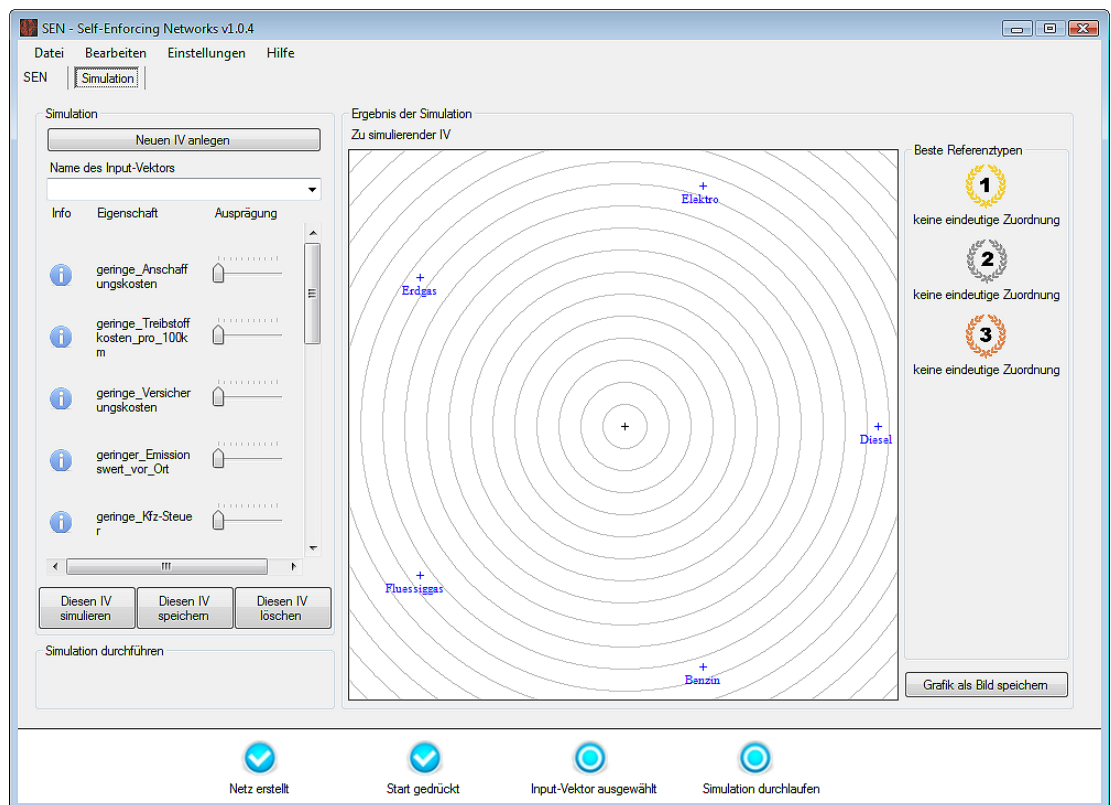
²⁸³ Vgl. KLÜVER/KLÜVER (2011), S. 59.

²⁸⁴ eigene Darstellung.

²⁸⁵ Vgl. Tabelle 5 „Fahrzeugvergleich“.

Abbildung 15: Semantische Matrix mit den Werten der Fahrzeugklasse PKW²⁸⁶

Wie bereits bei der Oberflächenerklärung beschrieben wird im weiteren Schritt die Starttaste betätigt, um die Gewichtsmatrix zu generieren. Anschließend öffnet sich der Visualisierungsteil. Dieser Vorgang wird mit dem Schritt begonnen, den Input-Vektor „Präferenzen der Unternehmen“ auszuwählen.

Abbildung 16: Phase Darstellung des Visualisierungsteils²⁸⁷

Auf den Schritt folgt die Einstellung der Ausprägungen der Attribute für den Input-Vektor „Präferenzen der Unternehmen“. Die Herangehensweise zur Ermittlung der SEN-Werte, die aus der empirischen Erhebung hervorgehen, wird anhand eines Beispiels für das Attribut „geringe Treibstoffkosten pro 100 km“ verdeutlicht.

²⁸⁶ eigene Darstellung.

²⁸⁷ eigene Darstellung.

SEN 1 = 1,0 2 = 0,7 3 = 0,5 4 = 0,3 5 = 0,0 SEN

geringe Treibstoffkosten pro 100km

1	x		x	x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		x		x	16	70%	1,0
2		x					x					x	x						x		x		7	30%	
3																							0	0%	
4																							0	0%	
5																							0	0%	
Summe:																						23	100%		

Tabelle 11: Ausschnitt aus der Excel-Tabelle „Auswertung empirische Erhebung“ Frage 10²⁸⁸

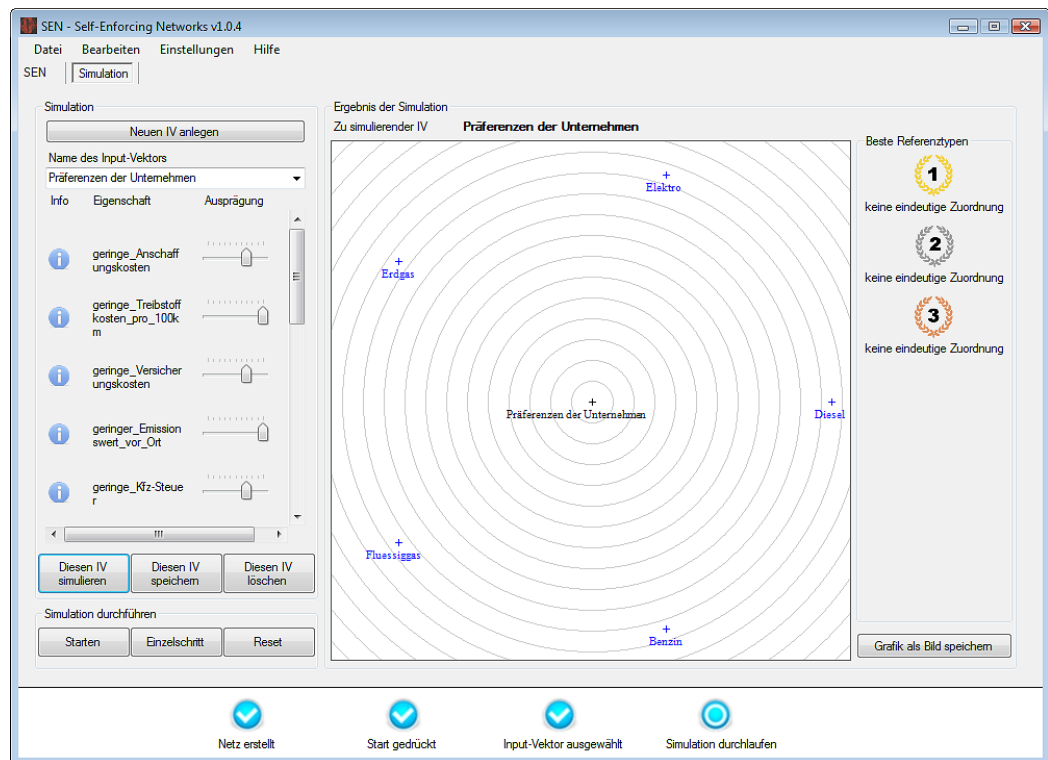
Die Zuordnung der Werte 1=1,0; 2=0,7; 3=0,5; 4=0,3 und 5= 0,0 gehen aus der Fragestellung der Frage 10, die die Grundlage für die aktuellen Bedürfnisse der Logistikunternehmen widerspiegeln, hervor. Die Befragten wurden aufgefordert die einzelnen Attribute nach ihren Präferenzen anzukreuzen. Die Bedeutung der Werte kann in der Oberflächenerklärung nachgelesen werden. Das Attribut „geringe Treibstoffkosten pro 100 km“ ist für die Befragten ausschlaggebend, da 70%, der an der empirischen Erhebung beteiligten Logistikunternehmen, diese mit 1,0 einstufen. Daher wird die Ausprägung des Attributes auf 1,0 eingestellt. Die anderen Ausprägungen der Attribute wurden mit dem gleichen Verfahren ermittelt und kann durch die im Anhang zugefügte Excel-Tabelle „Auswertung empirische Erhebung. Frage 10“ nachvollzogen werden. Die nachstehende Tabelle zeigt die Ausprägungen der Attribute sowie die Attribute selbst.

Attribute:	Bewertung:
geringe Anschaffungskosten	0,7
geringe Treibstoffkosten pro 100km	1,0
geringe Versicherungskosten	0,7
geringe Lärmausstoß	0,7
umweltbewusstes Image	0,7
Ständige Verfügbarkeit	1,0
schnelles Betanken	0,7
geringer Emissionsausstoß	1,0
Angebotsvielfalt d. Fahrzeuge	0,7
hohe Reichweite mit einer Tankfüllung	1,0
geringe Kfz-Steuer	0,7
hohe Lebensdauer	1,0
geringe Wartungskosten	0,7

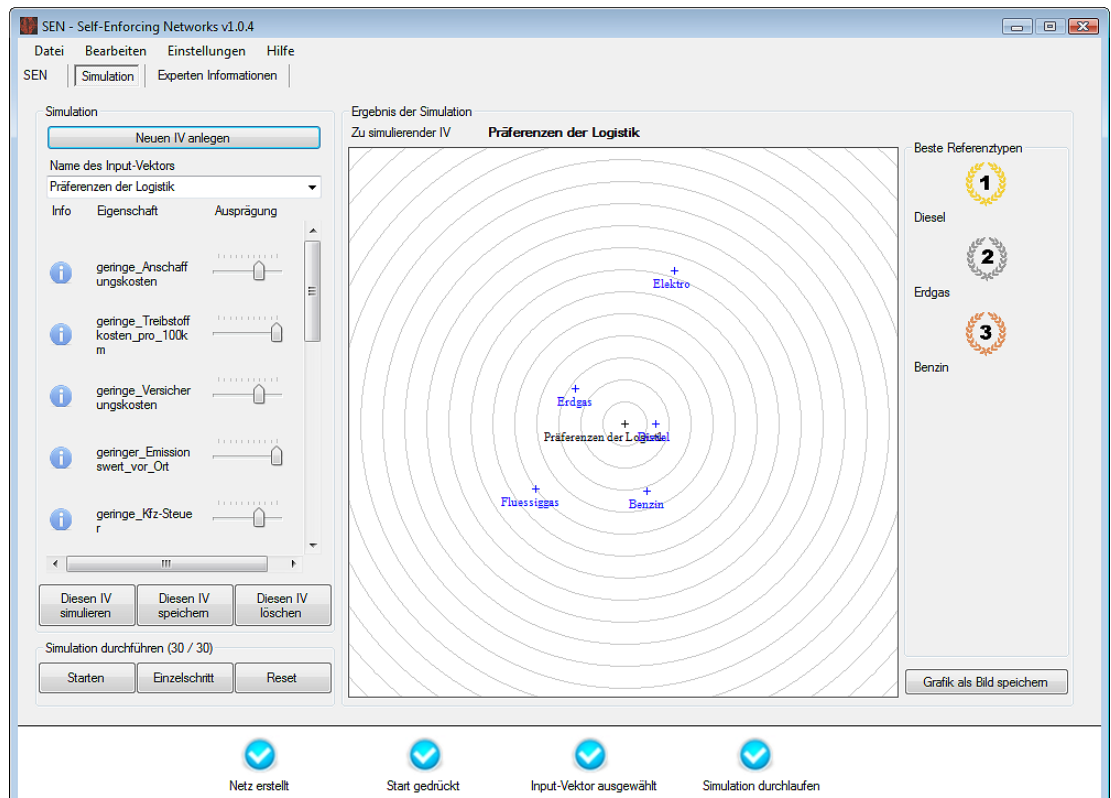
Tabelle 12: Bewertung der Attribute für die Analyse²⁸⁹

Nachdem die Einstellungen getätigt wurden, ist die Taste „Diesen IV simulieren“ zu drücken, um die Phase „Input-Vektor ausgewählt“, die bei dem theoretischen Teil der Vorstellung der Oberfläche nicht beschrieben wurde, zu erreichen.

²⁸⁸ eigene Darstellung.²⁸⁹ eigene Darstellung.

Abbildung 17: Phase „Inputvektor ausgewählt“²⁹⁰

Zur Durchführung der Simulation wird die Starttaste betätigt, um ein Ergebnis zu erhalten.

Abbildung 18: Phase „Simulation durchlaufen“ Ergebnis PKW Szenario 2011²⁹¹

²⁹⁰ eigene Darstellung.

²⁹¹ eigene Darstellung.

Das Ergebnis wird sowohl visuell (im Zentrum) als auch hierarchisch (am rechten Rand) angezeigt. Die hierarchische Darstellung kann über die Funktion „Einstellung→ Experten Informationen, nominell angezeigt werden. Die blau hinterlegten Zahlenwerte spiegeln das Ergebnis des neuronalen Netzes „SEN“ wieder²⁹³.

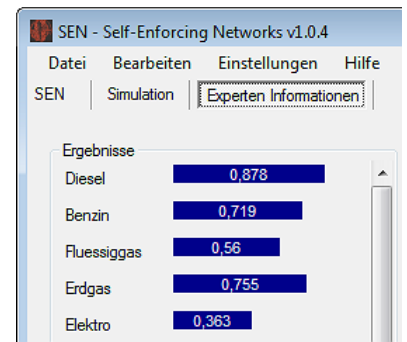


Abbildung 19: Nominelles Ergebnis PKW Szenario 2011²⁹⁴

6.4.2 Szenario 2020 der Kategorie PKW/ Kastenwagen

In der Analyse des Szenarios 2020 wird der zukünftige Stand der Elektromobilität bis zum Jahre 2020 betrachtet. Als Grundlage der zukünftigen Betrachtung dient der nationale Entwicklungsplan Elektromobilität der BRD, dessen Ziel es ist, die Forschung und Entwicklung sowie die Markteinführung von Fahrzeugen mit Elektromotoren zu fördern und sich somit sowohl auf der dynamischen technischen Ebene als auch in wirtschaftlicher Ebene zu verändern. Die BRD setzt in den Bereichen Kosten, Akkumulator, Leistungsfähigkeit und Ladezeit Veränderungen an und versucht diese durch Forschungsmittel zu stärken, um dem Ziel, bis 2020 1 Mio. Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen zuzulassen, näher zu rücken. Um eine breite Markteinführung zu erlangen, werden im Bereich der Akkumulatoren große Anstrengungen unternommen, damit diese Fahrzeuge auf dem bestehenden Markt konkurrenzfähig sein können.

Der Vorgang der Analyse Zukunftsszenario 2020 erfolgt, technisch gesehen, wie die bereits vorangegangene Analyse. Allerdings werden die Präferenzen der Logistikunternehmen beim Kauf eines Fahrzeuges, die aus der Entwicklung der empirischen Erhebung stammen, angenommen. Der Grund dieser Annahme ist beispielsweise damit zu belegen, dass die Logistikunternehmen im Jahr 2020 weiterhin geringe Anschaffungskosten sowie ein hohes Umweltbewusstsein bevorzugen. Der größte Unterschied liegt in einigen Attributen, die aufgrund des nationalen Entwicklungsplans in der semantischen Matrix verändert wurden. Die Grundeinstellungen werden in diesem Zusammenhang nicht mehr erläutert, da die Entstehung dieser Werte bereits erklärt worden ist. Die Bewertungen der Attribute ergeben sich auch in diesem Szenario aus der Tabelle 5 „Fahrzeugvergleich“. Es sind nur Veränderungen bei den Elektrofahrzeugen in einigen Attributen vorgenommen worden. Die

²⁹² Quelle: Eigene Darstellung.

²⁹³ Die Zahl eins spiegelt das Zentrum wieder.

folgende Tabelle zeigt die Veränderungen der Ausprägungen²⁹⁴, die Veränderungen wurden durch die rote Farbmarkierung ersichtlich gemacht.

Pkw/Kastenwagen	Diesel	Benzin	Erdgas	Flüssiggas	Elektro
Attribute:	SEN	SEN	SEN	SEN	SEN
geringe Anschaffungskosten in €:	1,0	1,0	0,7	0,7	0,5
geringe Treibstoffkosten pro 100km	0,3	0,0	0,3	0,7	1,0
hohe Reichweite mit einer Tankfüllung in km	1,0	0,7	1,0	0,5	0,3
geringe Versicherungskosten in €:	0,5	1,0	1,0	0,5	0,3
geringer Emissionsausstoß in mg/km:	0,5	0,0	0,0	0,5	1,0
geringe Kfz-Steuer in €:	0,0	0,3	0,7	0,5	1,0
umweltbewusstes Image:	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7
geringer Lärmausstoß:	0,3	0,5	0,0	0,3	1,0
schnelles Betanken in Min.:	1,0	1,0	0,7	0,7	0,3
geringe Wartungskosten in €/km:	0,5	0,5	0,3	0,5	1,0
ständige Verfügbarkeit:	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3
Angebotsvielfalt d. Fahrzeuge:	1,0	0,7	0,3	0,5	0,3
höhe d. Lebensdauer	1,0	0,7	0,7	0,7	0,3

Tabelle 13: SEN-Werte für Szenario 2020 PKW²⁹⁵

Die erste deutliche Änderungen der Ausprägung des Attributes „geringe Anschaffungskosten in €“ von 0,0 auf 0,5 ist damit zu begründen, dass eine Senkung der Anschaffungskosten eine wichtige Voraussetzung ist, um an den Entwicklungsplan festzuhalten und die größten Potentiale dafür mit sich bringt. Zum jetzigen Zeitpunkt liegen die Kosten, wie bereits erwähnt, bei 1000-1200 € pro kWh²⁹⁶. Bis 2020 wird ein Kostenreduzierung von 300-500€ pro kWh angestrebt. Dadurch, dass dieses Ziel unabdingbar ist, kann mit einer deutlichen Veränderung, in diesem Fall von 0,0 auf 0,5, gerechnet werden. Eine minimale Veränderung von 0,0 auf 0,3 wurde hingegen in dem Punkt „hohe Reichweite mit einer Tankfüllung in km“ angenommen. Die BRD hat das Ziel, die Energiedichte eines Akkumulators zukünftig auf einen Wert von 1000 Wh/kg zu bringen²⁹⁷. Aus heutiger Sicht können max. 200 Wh/kg²⁹⁸ erreicht werden, daher benötigt die Erreichung des Ziels einen langen Forschungszeitraum. Voraussichtlich wird bis 2020 eine Verbesserung der Energiedichte im Vergleich zum heutigen Zeitpunkt erreicht werden. Der Grund für die minimale Veränderung von 0,3 liegt darin, dass eine Verbesserung in diesem Bereich zwar notwendig und realistisch ist, aber die Reichweite der Elektrofahrzeuge im Jahre 2020 geringe Chancen aufweisen, um mit der Reichweite der herkömmlichen Fahrzeuge zu konkurrieren.

Die Aspekte schnelles Betanken und ständige Verfügbarkeit hängen stark zusammen, da beispielsweise eine Reduzierung der Ladezeit gleichzeitig auch eine erhöhte Verfügbarkeit gewährleistet. Das Attribut „schnelles Betanken“ ist um 0,3 höher bewertet worden. Auch hier

²⁹⁴ Die in rot geschriebenen Zahlen sind auf Grund des nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität der BRD verändert worden.

²⁹⁵ eigene Darstellung.

²⁹⁶ Vgl. BMBF (2009), S. 10. Diese Quelle bezieht sich auf diesen und den folgenden Satz.

²⁹⁷ Vgl. BMBF (2009), S. 10.

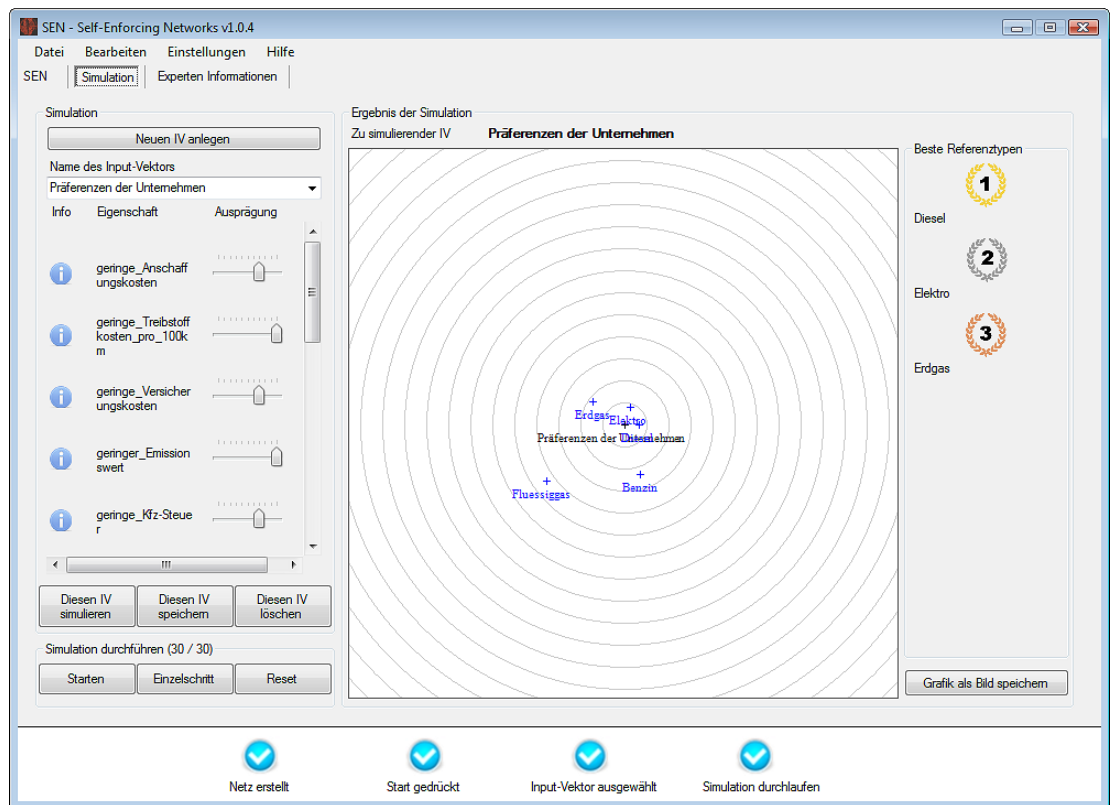
²⁹⁸ Siehe Tabelle 4 „Aktuell eingesetzte Akkumulatoren“.

wird nur eine minimale Veränderung angenommen, die dadurch zu begründen ist, dass zwar Forschungen zur Verkürzung der Ladezeit unternommen werden²⁹⁹, diese aber nicht vergleichbar sein werden mit der Tankzeit eines herkömmlichen Fahrzeuges. Da die ständige Verfügbarkeit und die Tankzeit voneinander abhängen, wird diese Ausprägung ebenfalls von 0,0 auf 0,3 geändert. Das letzte zu verändernde Attribut „Lebensdauer“ wird ebenfalls um 0,3 hochgesetzt. Auch bei der Lebensdauer³⁰⁰ bzw. den Ladezyklen ist eine Verbesserung bis zum Jahr 2020 vorgesehen. Die Forderung liegt darin, dass die Lebensdauer des Akkumulators gleichzusetzen ist mit der, des Fahrzeuges. In Zukunft soll eine Lebensdauer von 10-15 Jahren und somit auch die Fähigkeit von 3000-5000 Ladezyklen erreicht werden³⁰¹. Nach der Erklärung der vorgenommenen Änderungen für das Zukunftsszenario werden die „SEN-Werte“ in die semantische Matrix übernommen. Die weiteren Vorgänge gleichen denen aus dem Szenario 2011. Der Startknopf wird getätigt, um die Werte in die Gewichtsmatrix zu implementieren. Im nächsten Schritt folgt die Visualisierungsmaske, gleichzeitig wird der Input-Vektor „Präferenzen der Unternehmen“ hervorgerufen. Um die Analyse in Gang zu setzen, wird erneut der Startknopf betätigt. Das Ergebnis der Szenario-Analyse wird in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

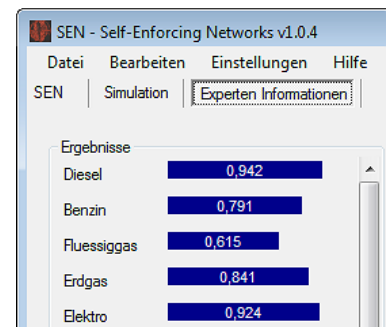
²⁹⁹ Vgl. BMBF (2009), S. 10.

³⁰⁰ Man unterscheidet die Zyklen-Lebensdauer und die kalendarische Lebensdauer. Die Zyklen-Lebensdauer beschreibt die Anzahl der Ladungen und Entladungen eines Akkumulators, bis die Batterie bei Vollladung nur noch eine Kapazität von 80% besitzt. Die kalendarische Lebensdauer beschreibt die Jahreslebensdauer unberücksichtigt von den Zyklen. Vgl. BRAESS/SEIFFERT (2007), S. 117.

³⁰¹ Vgl. BMBF (2009), S. 10.

Abbildung 20: Phase „Simulation durchlaufen“ Ergebnis PKW Szenario 2020³⁰²

Neben der visuellen Darstellung kann, wie bereits erwähnt, das Ergebnis (blau hinterlegte Zahlen) über „Experten Informationen“ wie folgt abgerufen werden:

Abbildung 21: Nominelles Ergebnis PKW Szenario 2020³⁰⁵

6.4.3 Interpretation der Ergebnisse der Kategorie PKW

Das Ergebnis der Analyse für das Jahr 2011 zeigt, dass nach dem aktuellen technologischen Stand und den Präferenzen der Unternehmen die Antriebsarten Diesel, Erdgas und Benzin die wirtschaftlich sinnvollsten darstellen. Die Zahlen der hierarchischen Ergebnisdarstellung belegen diese Tatsache. Dieselfahrzeuge liegen mit 0,878 am deutlichsten im Zentrum, danach folgen die Erdgasfahrzeuge mit 0,755 und die Benzinfahrzeuge mit 0,719³⁰⁴. Die Elektrofahrzeuge sind zum jetzigen Zeitpunkt kaum wirtschaftlich, was das Ergebnis von 0,363 bestätigt. Es wird deutlich, dass im Bereich der Elektrofahrzeuge einiges unternommen

³⁰² eigene Darstellung.

³⁰³ eigene Darstellung.

³⁰⁴ Siehe Abbildung 19 „Nominelles Ergebnis PKW Szenario 2011“.

werden muss, um den Einsatz effizient bzw. attraktiv erscheinen zu lassen. Der nationale Entwicklungsplan Elektromobilität der BRD setzt hier an. Das Ergebnis der Analyse im Jahre 2020 zeigt gemäß den Präferenzen der Unternehmen, dass, zukünftig gesehen, die Elektrofahrzeuge immer näher an die Diesel- und Erdgastechnologie heranrücken und diesen somit Konkurrenz bieten werden³⁰⁵. Die hierarchische Ergebnisdarstellung zeigt, dass Diesel mit 0,942 immer noch auf Platz 1 steht, allerdings liegt das Elektrofahrzeug mit 0,924 dicht hinter dem Dieselfahrzeug. Das Erdgasfahrzeug hat sich mit 0,841 auf Platz 3 angesiedelt, gefolgt vom Benzinfahrzeug mit 0,791 und dem Flüssiggasfahrzeug mit 0,615³⁰⁶.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Einsatz der alternativen Antriebsarten, vor allem bezogen auf die Elektrofahrzeuge, in der Zukunft liegt und eine ernstzunehmende Alternative zu den bis dato eingesetzten Diesel- und Benzinfahrzeugen bietet. Die Analyse zeigt auf, dass nach heutigem Stand der Technologie und der Präferenzen der Unternehmen das Erdgasfahrzeug gegenüber den herkömmlichen Fahrzeugen eine konkurrenzfähige Alternative sein könnte.

6.4.4 Szenario 2011 der Kategorie Kastenwagen bis 3,5t

In diesem Szenario wird die Fahrzeugklasse „Kastenwagen bis 3,5 t“ mit den Antriebsarten Diesel, Erdgas und Elektro betrachtet³⁰⁷. Die Vorgehensweise der Szenario-Analyse wurde zuvor ausführlich erläutert, daher werden hier nur die wesentlichen Punkte angesprochen. Die SEN-Werte, die die folgende Tabelle aufbereitet, werden in die semantische Matrix übernommen, damit die Analyse gestartet werden kann.

³⁰⁵ Siehe Abbildung 20 „Phase „Simulation durchlaufen“ Ergebnis PKW Szenario 2020“.

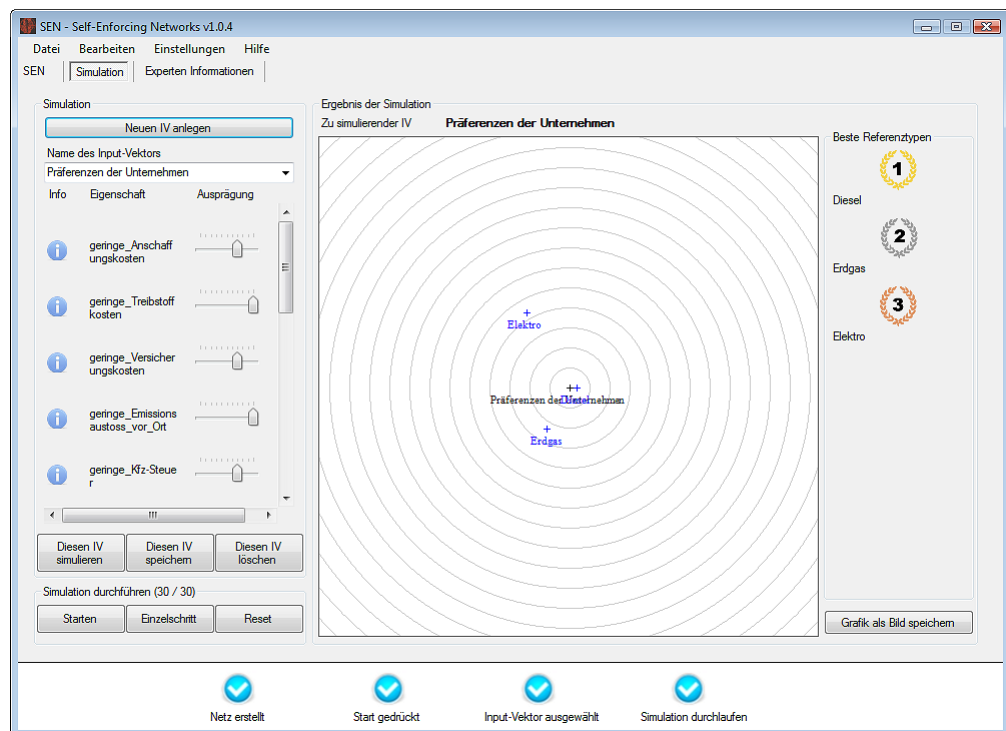
³⁰⁶ Siehe Abbildung 21 „Nominelles Ergebnis PKW Szenario 2020“:

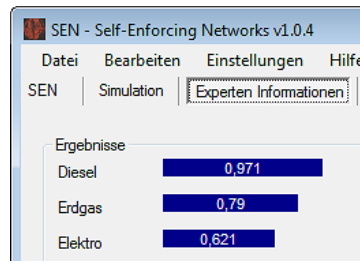
³⁰⁷ Der Grund für die Betrachtung von nur drei Antriebsarten wurde in Kapitel 4 auf S. 23 f. erläutert.

Kastenwagen bis 3,5t	Diesel		Erdgas		Elektro	
		SEN		SEN		SEN
Attribute						
geringe Anschaffungskosten in €:	26.210,60	1,0	33.210,76	0,7	80.515,22	0,0
geringe Treibstoffkosten pro 100km	11,63	0,3	8,71	0,7	9,43	0,5
hohe Reichweite mit einer Tankfüllung in km	983,00	1,0	420,67	0,5	120,00	0,0
geringe Versicherungskosten in €:	2.976,37	0,3	3.026,69	0,0	1.296,15	1,0
geringer Emissionsausstoß in mg/km:	222,00	0,0	153,67	0,5	0,00	1,0
geringe Kfz-Steuer in €	210,00	0,0	210,00	0,0	210,00	0,0
umweltbewusstes Image:	gering	0,3	mittel	0,5	hoch	0,7
geringer Lärmausstoß:	77,00	0,3	77,00	0,3	68,77	1,0
schnelles Betanken in Min.	2,19	1,0	4 bis 5	0,7	600,00	0,0
geringe Wartungskosten in €/km	0,0400	0,5	0,0383	0,5	0,0228	1,0
ständige Verfügbarkeit	sehr hoch	1,0	sehr hoch	1,0	sehr gering	0,0
Angebotsvielfalt d. Fahrzeuge	sehr hoch	1,0	mittel	0,5	sehr gering	0,0
höhe d. Lebensdauer	sehr hoch	1,0	hoch	0,7	sehr gering	0,0

Tabelle 14: SEN-Werte für das Szenario 2011 Kastenwagen bis 3,5 t³⁰⁸

Nachdem bereits beschriebenen Procedere der Szenario-Analyse ergeben sich visuell bzw. nominell folgende Ergebnisse für die Kategorie der Kastenwagen bis 3,5t:

Abbildung 22: Phase „Simulation durchlaufen“ Ergebnis Kastenwagen bis 3,5t Szenario 2011³⁰⁹³⁰⁸ eigene Darstellung.³⁰⁹ eigene Darstellung.

Abbildung 23: Nominelles Ergebnis Kastenwagen bis 3,5t Szenario 2011³¹⁰

6.4.5 Szenario 2020 der Kategorie Kastenwagen bis 3,5t

Nachdem das Szenario 2011 für die Kategorie der Kastenwagen bis 3,5t durchgeführt wurde, widmet sich dieses Kapitel dem Szenario 2020.

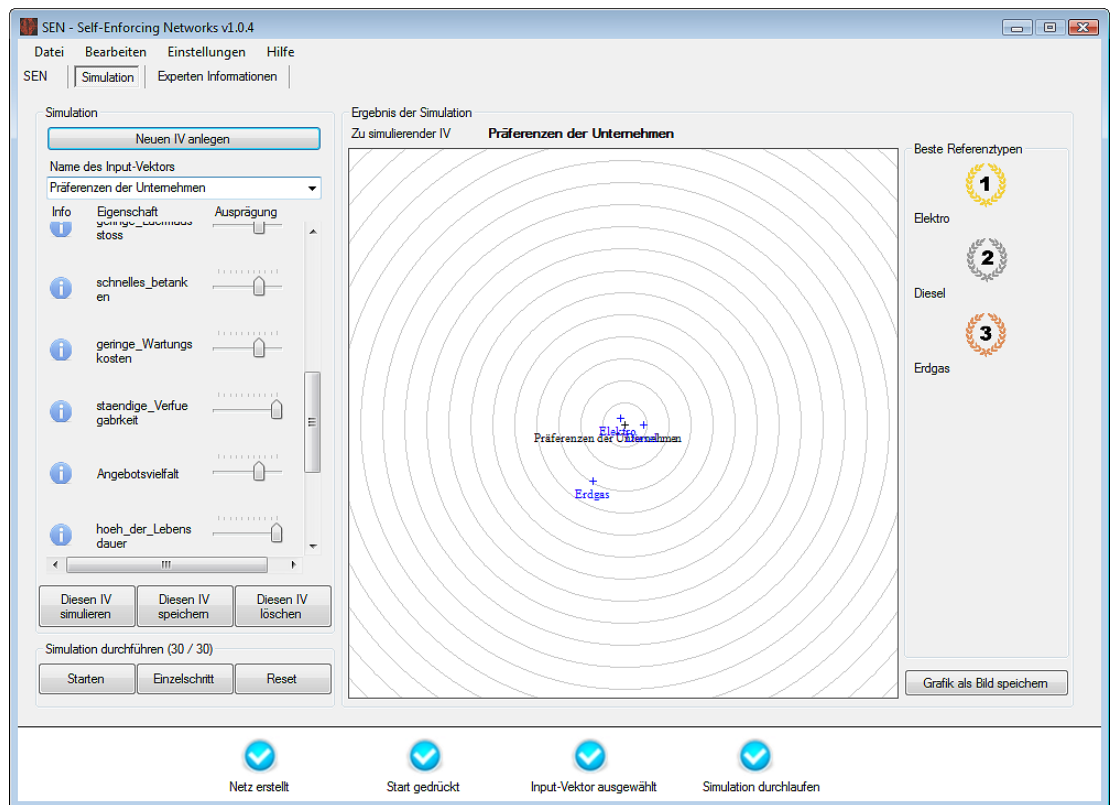
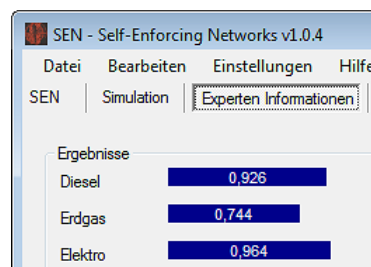
Kastenwagen bis 3,5t	Diesel	Erdgas	Elektro
Attribute:	SEN	SEN	SEN
geringe Anschaffungskosten in €:	1,0	0,7	0,5
geringe Treibstoffkosten pro 100km	0,3	0,7	0,5
hohe Reichweite mit einer Tankfüllung in km	1,0	0,5	0,3
geringe Versicherungskosten in €:	0,3	0,0	1,0
geringer Emissionsausstoß in mg/km:	0,0	0,5	1,0
geringe Kfz-Steuer in €:	0,0	0,0	1,0
umweltbewusstes Image:	0,3	0,5	1,0
geringer Lärmausstoß:	0,3	0,3	1,0
schnelles Betanken in Min.:	1,0	0,7	0,3
geringe Wartungskosten in €/km:	0,5	0,5	1,0
ständige Verfügbarkeit:	1,0	1,0	0,3
Angebotsvielfalt d. Fahrzeuge:	1,0	0,5	0,3
höhe d. Lebensdauer	1,0	0,7	0,3

Tabelle 15: SEN-Werte für das Szenario 2020 Kastenwagen bis 3,5 t³¹¹

In der Tabelle 15 werden die SEN-Werte (rotmarkiert), die für das Szenario 2020 herangezogen werden, aufgezeigt. Die Werte sind, wie in Kapitel 6.4.2 beschrieben, aufgrund des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität der BRD verändert worden. Die Abbildungen 24 und 25 zeigen sowohl das visuelle als auch das nominelle Ergebnis.

³¹⁰ eigene Darstellung.

³¹¹ eigene Darstellung.

Abbildung 24: Phase „Simulation durchlaufen“ Ergebnis Kastenwagen bis 3,5t Szenario 2020³¹²Abbildung 25: Nominelles Ergebnis Kastenwagen bis 3,5t Szenario 2020³¹³

6.4.6 Interpretation der Ergebnisse der Kategorie Kastenwagen bis 3,5 t

Das Szenario 2011 für die Kategorie der Kastenwagen bis 3,5 t zeigt, dass die Dieselfahrzeuge mit 0,971, die Erdgasfahrzeuge mit 0,79 und die Elektrofahrzeuge mit 0,621 ähnlich wie bei der Kategorie der PKW abschneiden³¹⁴. Es ist erkennbar, dass die Elektrofahrzeuge noch deutlich vom Zentrum entfernt liegen. Das Szenario 2020 zeigt, dass bei vorgesehener Umsetzung des Entwicklungsplans das Elektrofahrzeuge den anderen Antriebsarten Konkurrenz bietet. Das Ergebnis gibt an, dass das Elektrofahrzeuge mit 0,964 vor den Dieselfahrzeugen mit 0,926 rückt. Die Erdgasfahrzeuge stehen mit 0,744 auf Platz 3³¹⁵.

³¹² eigene Darstellung.

³¹³ eigene Darstellung.

³¹⁴ Siehe Abbildung 23 „Nominelles Ergebnis Kastenwagen bis 3,5 t Szenario 2011“.

³¹⁵ Siehe Abbildung 25 „Nominelles Ergebnis Kastenwagen bis 3,5 t Szenario 2020“.

7. Handlungsempfehlung

Die Ergebnisse der Arbeit verdeutlichen sowohl im Kostenvergleich als auch in den darauf folgenden Szenario-Analysen 2011, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt der Einsatz der alternativen Antriebsarten für Logistikunternehmen noch keine wirtschaftlich vorteilhafte Alternative darstellt. Zum einen kann der technologische Stand noch nicht mit dem der herkömmlichen Fahrzeuge konkurrieren und zum anderen sind die Kosten, die beim Kauf von Elektrofahrzeugen anfallen, sehr hoch. Anders hingegen verdeutlichen die Szenario-Analysen 2020, dass mit den Präferenzen der Unternehmen und der weiteren Entwicklung des technologischen Standes die alternativen Antriebsarten gegenüber den herkömmlichen Technologien Diesel und Benzin konkurrenzfähig sein werden. Eine Voraussetzung für diese Vermutung ist die Einhaltung des nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität der BRD, dessen Erfüllung mit großem Interesse zu beobachten ist.

Der aktuelle Stand bezogen auf den Einsatz der alternativen Antriebsarten gibt der Industrie den Anstoß, sich regelmäßig über die verfügbaren Alternativen und die Stakeholderinteressen zu informieren bzw. diese ernsthaft in Betracht zu ziehen und zu überprüfen. Alternativen gegenüber dem Elektrofahrzeug können beispielsweise in der Hybridtechnologie und den Erdgasfahrzeugen gesehen werden, da diese den Ansprüchen der Stakeholder bzgl. der Umweltfreundlichkeit zum jetzigen Zeitpunkt gerecht werden. Aus der empirischen Erhebung ging bereits hervor, dass eine Vielzahl der an der Befragung teilnehmenden Unternehmen in der Hybridtechnologie eine Chance sehen, da die bis dato erzielten Erkenntnisse ergeben, dass die Technologie durch die Eigenschaft der Rekuperation und der ständigen Verfügbarkeit (durch den Verbrennungsmotor) eine ideale Übergangslösung bis zur einer vollständigen Elektrisierung des Verkehrs darstellt. Vor allem im Bereich der Nutzfahrzeuge bis und ab 3,5 t können diese eingesetzt werden. Interessant wäre es hier zu verfolgen, wie sich die Technologie, die sich momentan noch in den Anfängen im Bereich des Güterverkehrs befindet, durchsetzen wird. Ebenso ergeben die Erkenntnisse aus der Arbeit, dass die Erdgasfahrzeuge eine weitere Alternative zum jetzigen Zeitpunkt darstellen, da diese sowohl im Kostenvergleich als auch in den Szenario-Analysen gut abschneiden.

Der Staat sollte seinen Fokus gezielt auf die Einhaltung des nationalen Entwicklungsplans der Elektromobilität setzen, damit die gewünschte Wirtschaftlichkeit beim Einsatz alternativer Antriebsarten erreicht werden kann. Im Bereich der Forschung ist es von hoher Bedeutung, die Ziele, die durch den Nationalen Entwicklungsplan festgelegt sind, innerhalb der Fristen zu erfüllen. Der Schwerpunkt der Forschung ist die Erhöhung der Energiedichte bzw. Leistungsdichte der Akkumulatoren.

Abschließend ist zu erwähnen, dass aufgrund der Präferenzen der Stakeholder Veränderungen in Bezug auf umweltbewussteres Handeln getätigt werden müssen. Gerade im Güterverkehr wird Potential gesehen, dieses durch den Einsatz alternativer Antriebsarten zu fördern und Logistikunternehmen an die Rahmenbedingungen der Stakeholder anzupassen. Logistikunternehmen, die ihren Fokus eher auf die ökologischen Aspekte als auf die Kostenaspekte setzen, haben aus technischer Sicht bereits heute die Möglichkeit, Elektrofahrzeuge einzusetzen. Allerdings müssen Sie bereit, sein höhere Kosten auf sich zu nehmen. Zukünftig gesehen wird die Elektromobilität in Deutschland immer mehr an Prägnanz gewinnen.

Literaturverzeichnis

ADAC E. V. (2011a)

Adac e. V.: Erdgas. Im Internet unter der URL „<http://www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/erdgas/default.aspx?tabid=tab4>“, Zugriff am 07.07.2011.

ADAC E.V. (2011b)

Adac e.V.: Erdgas. Im Internet unter der URL „<http://www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/erdgas/default.aspx?tabid=tab2>“, Zugriff am 07.07.2011.

ADAC E.V. (2011c)

Adac e.V.: Erdgas. Im Internet unter der URL „<http://www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/erdgas/default.aspx?ComponentId=28471&SourcePageId=61719>“, Zugriff am 02.08.2011.

ADAC E.V.(2011d)

Adac e. V.: Ab Werk lieferbare Erdgas-Fahrzeuge. Im Internet unter der URL „http://www.adac.de/_mm/pdf/Erdgasfzg_ab_Werk_23KB_30151.pdf“, Zugriff am 02.09.2011.

ADAC E.V. (2011e)

Adac e.V.: Autogas. Im Internet unter der URL „<http://www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/autogas/default.aspx?tabid=tab2>“, Zugriff am 10.07.2011.

ADAC E.V.(2011f)

Adac e.V.: Kraftfahrzeugsteuer nach Hubraum und CO₂ Ausstoß ab 1. Juli 2009 – Für den Ottomotor. Im Internet unter der URL „http://www.adac.de/_mm/pdf/Steuer_otto_32KB_33331.pdf“, Zugriff am 11.11.2011.

ADAC E.V.(2011g)

Adac e.V.: Kraftfahrzeugsteuer nach Hubraum und CO₂ Ausstoß ab 1. Juli 2009 – Für den Dieselmotor. Im Internet unter der URL „http://www.adac.de/_mm/pdf/Steuer_diesel_32KB_33330.pdf“, Zugriff am 11.11.2011.

ADAM OPEL AG (2011)

Adam Opel AG: Opel Combo 1.6 CNG eco Flex mit Erdgasantrieb. Im Internet unter der URL „<http://www.opel-osv.de/downloads/uploads/all/EB8D549E5DF048F7E99B4F7F5B139F0311082-hgfuumvj.pdf>“, Zugriff am 06.09.2011.

ALBERT/BRAUN (2008)

Albert, D.; Braun, S.: Kraftfahrzeuge im Ertrag- und Umsatzsteuerrecht - Von der Anschaffung bis zur Veräußerung. Wiesbaden 2008.

ALLGEIER/LANDENFELD (2005)

Allgeier, T.; Landenfeld, T.: Alternativer Ottomotorbetrieb. In: Robert Bosch GmbH, (Hrsg.): Fachwörterbuch Kraftfahrzeugtechnik - Autoelektrik, Autoelektronik, Motor-Management, Fahrsicherheitssysteme. 25. Aufl., Wiesbaden 2003, S. 668-675.

ANDREE (2011)

Andree, U.F.H.: Wirtschaftlichkeitsanalyse öffentlicher Investitionsprojekte - Investitionen sicher und zuverlässig planen. Freiburg im Breisgau 2011.

ARAL AG. (2011)

Aral AG.: Jahresüberischt Tankstellenpreise. Im Internet unter der URL „<http://www.aral.de/toolserver/retaileurope/annualstatement.do>“, Zugriff am 01.10.2011.

ARNDT (2008)

Arndt, H.: Supply Chain Management - Optimierung logistischer Prozesse. 4. Aufl., Wiesbaden 2008.

ARNOLD/ISERMANN/KUHN ET AL. (2008)

Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K.: Handbuch Logistik. 3. Aufl., Berlin, Heidelberg 2008.

BAUM/DELFMANN/BÜHNE (2010)

Baum, H.; Delfmann, W.; Bühne, J.A.: Strategische Handlungsoptionen der deutschen Automobilindustrie in der Wirtschaftskrise - Sachverständigen-Expertise für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Köln 2010.

BIERMANN(2007)

Biermann, J.W.: Der Elektro-Hybrid – eine Übersicht zu einem erfolgsversprechenden, alternativen Fahrzeugantrieb. In Naunin, D, (Hrsg.): Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge - Technik, Strukturen und Entwicklungen. 4. Aufl. Renningen 2007, S. 65-77.

BMBF (2009)

BMBF: Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung August 2009. Im Internet unter der URL, http://www.bmbf.de/pubRD/nationaler_entwicklungsplan_elektromobilitaet.pdf, Zugriff am 10.10.2011.

BORGEEST (2010)

Borgeest, K.: Elektronik in der Fahrzeugtechnik - Hardware, Software, Systeme und Projektmanagement. 2. Aufl., Wiesbaden 2010.

BORGSTEDT/CHRIST/REUSSWIG (2010)

Borgstedt, S.; Christ, T.; Reusswig, F.: Umweltbewusstsein in Deutschland 2010 - Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Heidelberg, Potsdam 2010.

BÖTTCHER/SACHSE (2008)

Böttcher, K.; Sachse, J.: Umweltgerecht Auto fahren. Berlin et al. 2008.

BRAESS/SEIFFERT (2007)

Braess, H.H.; Seiffert, U.: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. 5. Aufl., Wiesbaden 2007.

BRETZKE/BARKAWI (2010)

Bretzke, W.R.; Barkawi, K.: Nachhaltige Logistik - Antworten auf eine globale Herausforderung. Berlin, Heidelberg 2010.

BUCHHOLZ/CLAUSEN/VASTAG (1998)

Buchholz, J.; Clausen, U.; Vastag, A.: Handbuch der Verkehrslogistik. Berlin et al. 1998.

BULLINGER (2007)

Bullinger, H.J.: Technologieführer - Grundlagen, Anwendungen. Berlin 2007.

BUNDESAMT FÜR GÜTERVERKEHR (2010a)

Bundesamt für Güterverkehr: Marktbeobachtung Güterverkehr. Im Internet unter der URL „http://www.bag.bund.de/cae/servlet/contentblob/56656/publicationFile/4966/Markt_2010_Jahresber.pdf“, Zugriff am 31.08.2011.

BUNDESAMT FÜR GÜTERVERKEHR (2010b)

Bundesamt für Güterverkehr: Marktbeobachtung Güterverkehr. Im Internet unter der URL „http://www.bag.bund.de/cae/servlet/contentblob/54108/publicationFile/4282/Markt_2010_Herbst.pdf“, Zugriff am 01.09.2011.

BUNDESANZEIGER VERLAGSGESELLSCHAFT GMBH (2011)

Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft GmbH. Im Internet unter der URL „[http://www.bgbl.de/Xaver/text.xav?bk=Bundesanzeiger_BGBI&start=%2F%2F*\[%40attr_id%3D%27bgb1156s0163.pdf%27\]&wc=1&skin=WC](http://www.bgbl.de/Xaver/text.xav?bk=Bundesanzeiger_BGBI&start=%2F%2F*[%40attr_id%3D%27bgb1156s0163.pdf%27]&wc=1&skin=WC)“, Zugriff am 30.08.2011.

BUNDES REPUBLIK DEUTSCHLAND (2011)

Bundesrepublik Deutschland: Gesetze im Internet – Kraftfahrzeugsteuergesetz. Im Internet unter der URL „<http://www.gesetze-im-internet.de/kraftstg/BJNR005090927.html>“, Zugriff am 25.08.2011.

CAMPBELL/REECE (2011)

Campbell, N.A.; Reece, J.B.: Biologie - Gymnasiale Oberstufe. München 2011.

CITROEN DEUTSCHLAND GMBH (2011a)

Citroen Deutschland GmbH: Citroen Berlingo Kastenwagen – Preisliste, Technische Daten, Ausstattung., Im Internet unter der URL „http://www.citroen.de/Resources/Content//DE/10_pdf/07_preislisten/preisliste_berlingo_nfz.pdf“, Zugriff am 15.08.2011.

CITROEN DEUTSCHLAND GMBH (2011b)

Citroen Deutschland GmbH: Citroen Berlingo Electro Kastenwagen – Preisliste, Technische Daten, Ausstattung. Im Internet unter der URL „http://www.citroen.de/Resources/Content/DE/10_pdf/07_preislisten/Preisliste_Berlingo_Electro.pdf“, Zugriff am 15.08.2011.

DEUTSCHER VERBAND FLÜSSIGGAS E.V. (2011).

Deutscher Verband Flüssiggas e.V.: Entwicklung Autogaspreise 2005-2010. Berlin 2011.

DIE BUNDESREGIERUNG (2009)

Die Bundesregierung: Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung. 2009.

DIGITAL BUSINESS CLIENT USER (2006)

Digital Business Client User: Aral Charity Walk 2004. Im Internet unter der URL „http://www.aral.de/aral/liveassets/bp_internet/aral/aral_de/STAGING/local_assets/press_releases/310105_pm_100_erdgastankstelle_komplett.pdf“, Zugriff am 04.10.2011.

DINGEL (2006)

Dingel, O.: Gasfahrzeuge II - Auf dem Weg aus der Nische? Renningen 2006.

EHRMANN (2008)

Ehrmann, H.: Kompakt-Training Logistik. 4. Aufl., Ludwigshafen (Rhein) 2008.

FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2011a)

Fiat Group Automobiles Germany AG: Der Neu Fiat Doblo Cargo. Im Internet unter URL „http://www.fiatprofessional.de/de/CMSDE/Pdf/DobloCargo_Warentransport_Katalog.pdf“, Zugriff am 10.09.2011.

FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2011b)

Fiat Group Automobiles Germany AG: Doblo Cargo Preisliste und Technische Daten. Im Internet unter URL „http://www.fiatprofessional.de/de/CMSDE/Pdf/DobloCargoKombi_Preisliste_032011.pdf“, Zugriff am 10.09.2011.

FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2011c)

Fiat Group Automobiles Germany AG: Der Fiat Doblo Cargo Natural Power – Der Erdgastransporter. Im Internet unter URL „http://www.fiatprofessional.de/de/CMSDE/Pdf/FIAT_DOBLO_CARGO_NATURAL_POWER.pdf“, Zugriff am 10.10.2011.

FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2011d)

Fiat Group Automobiles Germany AG: Fiat Ducato Warentransport Broschüre. Im Internet unter URL „http://www.fiatprofessional.de/de/CMSDE/Pdf/Ducato_Warentransport_Katalog_032011.pdf“, Zugriff am 10.11.2011.

FIAT GROUP AUTOMOBILES GERMANY AG (2011e)

Fiat Group Automobiles Germany AG: Fiat Ducato Warentransport Technische Daten und Ausstattung. Im Internet unter URL „http://www.fiatprofessional.de/de/CMSDE/Pdf/Ducato_Warentransport_TechDaten.pdf“, Zugriff am 10.09.2011.

GEITMANN (2005)

Geitmann, S.: Erneuerbare Energien und alternative Kraftstoffe - Mit neuer Energie in die Zukunft. 2. Aufl., Kremmen 2005.

GEITMANN (2008)

Geitmann, S.: Alternative Kraftstoffe - Womit fahre ich am besten? ; Erdgas & Flüssiggas, Biodiesel & Pflanzenöl, Ethanol & Wasserstoff. Oberkrämer 2008.

GROHE (2000)

Grohe, H.: Otto- und Dieselmotoren – Arbeitsweise: Aufbau und Berechnung von Zweitakt- und Viertakt-Verbrennungsmotoren. 12. Aufl., Würzburg 2000.

GRÜNING (2007/2008)

Grüning, G.: Kostenrechnung – gut gerechnet. In: Nutzfahrzeug (2007/2008), S. 254-256.

HAMANN (2007)

Hamann, T.: Lernfähige intelligente Produktionsregelung. Berlin - Bremen 2007.

HEERLEIN (2008)

Heerlein, A.: Einflussfaktoren auf die Kapazität der Internen Revision. Wiesbaden - Potsdam 2008.

HEINLOTH (2003)

Heinloth, K.: Die Energiefrage - Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten. 2. Aufl., Braunschweig 2003.

HEISERICH (2002)

Heiserich, O.E.: Logistik - Eine praxisorientierte Einführung. 3. Aufl., Wiesbaden 2002.

HELMERS (2009)

Helmers, E.: Bitte wenden Sie jetzt - Das Auto der Zukunft. Weinheim 2009.

HOEPKE (1997)

Hoepke, E.: Der Lkw im europäischen Strassengüter- und kombinierten Verkehr - Verkehrspolitische, technische, logistische, kalkulatorische und ökologische Aspekte. Renningen - Malmsheim 1997.

HOFMANN (2010)

Hofmann, P.: Hybridfahrzeuge – Ein alternatives Antriebskonzept für die Zukunft. Wien 2010.

HOLDERIED (2010)

Holderied, C.: Güterverkehr, Spedition und Logistik - Managementkonzepte für Güterverkehrsbetriebe, Speditionsunternehmen und logistische Dienstleister. München 2010.

HÜTTL/PISCHETSRIEDER/SPATH (2010)

Hüttl, R.F.; Pischetsrieder, B.; Spath, D.: Elektromobilität. Im Internet unter der URL <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-16254-1>, Zugriff am 02.10.2011.

IHDE (2001)

Ihde, G.: Transport, Verkehr, Logistik - Gesamtwirtschaftliche Aspekte und einzelwirtschaftliche Handhabung. 3. Aufl., München 2001.

IVECO MAGIRUS AG (2011a)

Iveco Magirus AG: Iveco Daily 35S11V Kastenwagen Technische Daten. Im Internet unter der URL „http://web.iveco.com/germany/collections/technical_sheets/Documents/ecodaily_kastenwagen/Kastenwagen/35S11V.pdf“, Zugriff am 24.11.2011.

IVECO MAGIRUS AG (2011b)

Iveco Magirus AG: Iveco Daily Elektrik. Im Internet unter der URL „http://web.iveco.com/germany/Neufahrzeuge/Pages/elektroantrieb_Daily_elektrik_vorteile_kunden.aspx“, Zugriff am 24.11.2011.

IVECO MAGIRUS AG (2011c)

Iveco Magirus AG: Iveco Daily Erdgas - ECODAILY CNG 35S14GV EEV / 35S14GV/P EEV Kastenwagen Technische Daten. Im Internet unter der URL „http://web.iveco.com/germany/collections/technical_sheets/Documents/EcoDaily_Natural_Power/35S14GV EEV.pdf“, Zugriff am 24.11.2011

KAESLER (2007)

Kaesler, C.: Kosten- und Leistungsrechnung der Bilanzbuchhalter. Wiesbaden 2007.

KALTSCHMITT/STREICHER/WIESE (2006)

Kaltschmitt, M.; Streicher, W.; Wiese, A.: Erneuerbare Energien - Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 4 Aufl., Berlin - Heidelberg 2006.

KLOSS (1996)

Kloss, A.: Elektrofahrzeuge - Vom Windwagen zum Elektromobil. Berlin 1996.

KLÜVER/KLÜVER (2011)

Klüver, C.; Klüver, J.: IT-Management durch KI - Methoden und andere naturanaloge Verfahren. Wiesbaden 2011.

KOPLIN (2006)

Koplin, J.: Nachhaltigkeit im Beschaffungsmanagement. Wiesbaden 2006.

KÖHLER (2007)

Köhler, U.: Batterie für Elektro- und Hybridfahrzeuge. In Naunin, D. (Hrsg.): Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge - Technik, Strukturen und Entwicklungen. 4. Aufl. Renningen 2007, S. 34-48.

KRAFT (2010)

Kraft, P.: Stromtankstellen Deutschland. Im Internet unter der URL „http://www.stromtankstellen.eu/stromtankstelle_deutschland.html“, Zugriff am 16.08.2011.

KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2011a)

Kraffahrt-Bundesamt: Emission, Kraftstoffe - Zeitreihe 2002-2011. Im Internet unter der URL „http://www.kba.de/cln_033/nm_269000/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Emissionen/Kraftstoffe/b_emi_z_teil_2.html“, Zugriff am 05.07.2011.

KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2011b)

Kraffahrt Bundesamt: Bestand an Kraftfahrzeugen am 1. Januar 2011 nach Bundesländern und Kraftstoffarten. O.O. 2011

KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2011c)

Kraffahrt Bundesamt: Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Ländern und Kraftstoffarten von 2007 bis 2010.

KRÜGER (2010)

Krüger, G.: Kernkraft – Kohle – Klima - Energiewende nachgefragt. 2. Aufl., Norderstedt 2010.

KUCKARZT/RÄDIKER/RHEINGANS-HEINTZE (2006)

Kuckarzt, U.; Rädiker, S.; Rheingans-Heintze, A.: Umweltbewusstsein in Deutschland 2006- Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin 2006.

KÜLL (2009)

Küll, C.: Grundrechtliche Probleme der Allokation von CO₂-Zertifikaten. Berlin - Heidelberg 2009.

LENZ ET AL. (2010)

Lenz, B.; Lischke, A.; Knitschky, G.; Adolf, J.; Ceng, F.B.; Ströver, J.; Leschus, L.; Bräuninger, M.: Shell LKW-Studie. Im Internet unter der URL „http://www-static.shell.com/static/deu/downloads/aboutshell/our_strategy/truck_study/shell_truck_study_2030.pdf“, Zugriff am 16.08.2011.

LIPPE (2006)

Lippe, W.M.: Soft-Computing - Mit Neuronalen Netzen, Fuzzy-Logic und Evolutionären Algorithmen. Berlin - Heidelberg 2006.

LIST/ET AL. (2008)

List, H.; Eichlseder, H.; Klütting, M.; Piock, W.F.: Grundlagen und Technologien des Ottomotors. Wien - New York 2008.

MARTIN (2009)

Martin, H.: Transport- und Lagerlogistik- Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. 7. Aufl., Wiesbaden 2009.

MERCEDES BENZ AG (2011a)

Mercedes Benz AG: Sprinter Modelle - 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/sprinter_906/panel_van_/data/engines.html“, Zugriff am 20.09.2011.

MERCEDES BENZ AG (2011b)

Mercedes Benz AG: Sprinter Modelle – Preisliste PDF. Stuttgart 20.09.2011.

MENSCH (2002)

Mensch, G.O.: Investition - Investitionsrechnung in der Planung und Beurteilung von Investitionen. München 2002.

MINERALÖLWIRTSCHAFTSVERBAND E.V. (2011)

Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Entwicklung des Tankstellbestandes. Im Internet unter der URL „<http://www.mwv.de/index.php/daten/statistikenpreise/?loc=14>“, Zugriff am 05.08.2011.

MOLLENHAUER (2002)

Mollenhauer, K.: Handbuch Dieselmotoren. 2. Aufl., Berlin 2002.

MOLLENHAUER/TSCHÖKE (2007)

Mollenhauer, K.; Tschöke, H.: Handbuch Dieselmotoren. Im Internet unter der URL <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-72165-9>, Zugriff am 08.08.2011.

NAUNIN (2007a)

Naunin, D.: Elektrofahrzeuge seit 100 Jahren. In Naunin, D. (Hrsg.): Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge - Technik, Strukturen und Entwicklungen. 4. Aufl., Renningen 2007, S. 1-5.

NAUNIN (2007b)

Naunin, D.: Elektrische Antriebssysteme. In Naunin, D. (Hrsg.): Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge - Technik, Strukturen und Entwicklungen. 4. Aufl., Renningen 2007, S. 20-33.

o.V. (1994)

o.V.: Tendenzen der Logistik - Vereinfachte Regelkreise und mehr Umweltbewusstsein. In: Beschaffung aktuell (1994) 9, S. 60.

o.V. (2009a)

o.V.: Elektrofahrzeuge: Autofahrer erwarten hohe Reichweite. In: mid Motor-Informationen-Dienst (2009).

o.V. (2009b)

O.V.: Preisfindung. Im Internet unter der URL „<http://www.gibgas.de/Fakten/Preis/Preisfindung>“, Zugriff am 16.08.2011.

o.V. (2010)

o.V.: Marketing Absatzförderung. In: Automobil-Industrie, Jg. 2010. Nr. 212, S. 92.

o.V. (2011a)

o.V.: Elektro-Fahrzeuge. Im Internet unter der URL „<http://www.hybrid-autos.info/elektro-fahrzeuge/>“, Zugriff am 06.06.2011.

o.V. (2011b)

o.V.: Tanken. Im Internet unter der URL „<http://www.autogastanken.de/de/tanken/>“, Zugriff am 03.08.2011.

o.V. (2011c)

o.V.: Der Strommix in Deutschland im Jahr 2010. Im Internet unter der URL „<http://www.unendlich-viel-energie.de/de/startseite/detailansicht/article/19/der-strommix-in-deutschland-im-jahr-2010.html>“, Zugriff am 02.08.2011.

o.V. (2011d)

o.V.: AfA-Tabelle Personen- und Güterbeförderung. Im Internet unter der URL „<http://www.urbs.de/afa/change.htm?afa90.htm>“, Zugriff am 01.10.2011.

o.V. (2011e)

o.V.: Harz Energie GmbH & Co. KG, Erdgasfahrzeuge - Fiat Doblò Cargo Natural Power. Im Internet unter der URL „<http://erdgasfahrzeuge.harzenergie.de/Framework.aspx?mpid=178&ch=3>“, Zugriff am 05.09.2011

o.V. (2011f)

o.V.: Karbag GmbH - Fiat Doblo Cargo Basis Kastenwagen Elektroauto 140. Im Internet unter der URL „[http://elektroauto.karabag.de/\(S\(zudxkv45hsmfoublexegrqfu\)\)/default.aspx](http://elektroauto.karabag.de/(S(zudxkv45hsmfoublexegrqfu))/default.aspx)“, Zugriff am 16.08.2011.

o.V. (2011g)

o.V.: Karbag GmbH - Fiat Ducato Cargo Basis Kastenwagen Elektroauto 140. Im Internet unter der URL „[http://elektroauto.karabag.de/\(S\(h0qe2iyelcspq0p55mvxik4j1\)\)/default.aspx](http://elektroauto.karabag.de/(S(h0qe2iyelcspq0p55mvxik4j1))/default.aspx)“, Zugriff am 16.08.2011.

PASCHOTTA (2011)

Paschotta, R.: Strommix. Im Internet unter der URL „<http://www.energie-lexikon.info/strommix.html>“, Zugriff am 04.08.2011.

PLÜMER (2010)

Plümer, T.: Logistik und Produktion. München 2010.

PULS (2009)

Puls, T.: Externe Kosten am Beispiel des deutschen Straßenverkehrs - Ökonomisches Konzept, politische Relevanz, praktische Möglichkeiten und Grenzen. Köln 2009.

RATZENBERGER (2011)

Ratzenberger, R.: Mittelfristprognose Winter 2010/11. Im Internet unter der URL „http://www.bag.bund.de/cae/servlet/contentblob/56878/publicationFile/4993/Verkehrsprognose_Winter_2010_2011.pdf“, Zugriff am 01.09.2011.

REBHAN (2002)

Rebhan, E.: Energiehandbuch - Gewinnung, Wandlung und Nutzung von Energie. Berlin 2002.

REGNIET (2011)

Regniet, B.: Der Autokostencheck - wie teuer ist mein Auto im Unterhalt. Im Internet unter der URL „<http://www.autokostencheck.de>“, Zugriff am 01.09.2011.

REICHEL/CZAMBOR (2010)

Reichel, M.; Czambor, F.: Alternative Ansätze von Energieerzeugung und Energieverbrauch. In: Kramer, M. (Hrsg.): Intergratives Umweltmanagement – Systemorientierte Zusammenhänge zwischen Politik, Recht, Management und Technik. Wiesbaden 2010, S. 529-552.

REICHMANN (2006)

Reichmann, T.: Controlling mit Kennzahlen und Management-Tools - Die systemgestützte Controlling-Konzeption. 7. Aufl., München 2006.

REIF (2010)

Reif, K.: Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe - Mit Brennstoffzellen und alternativen Kraftstoffen. Wiesbaden 2010.

REIF/DIETSCH (2011)

Reif, K.; Dietsche, K.H.: Kraftfahrtechnisches Taschenbuch. 27. Aufl., Wiesbaden 2011.

RENAULT DEUTSCHLAND AG (2011a)

Renault Deutschland AG: Renault Preisliste und Technische Daten. Im Internet unter der URL „http://re-naultpreislisten.de/fileadmin/user_upload/Preisliste_Kangoo-LKW_0501.pdf“, Zugriff am 01.09.2011.

RENAULT DEUTSCHLAND AG (2011b)

Renault Deutschland AG: Renault ZE Technische Daten. Im Internet unter der URL „<http://www.renault-ze.com/de-de/gamme-voitures-electriques-renault-z.e./kangoo-z.e./vorstellung-642.html>“, Zugriff am 01.09.2011.

ROTH/ÖZDEMİR (2011)

Roth, C.; Özdemir, C.: Brief Cem Claudia zu Kretschwahl. Im Internet unter der URL „http://www.gruene-partei.de/cms/files/dokbin/380/380617.brief_cem_claudia_zu_kretschwahl.pdf“, Zugriff am 08.06.2011.

RÖHRICH (2007)

Röhrich, M.: Grundlagen der Investitionsrechnung - Eine Darstellung anhand einer Fallstudie., München - Wien 2007.

RUMMICH (2009)

Rummich, E.: Energiespeicher- Grundlagen, Komponenten, Systeme und Anwendungen ; mit 22 Tabellen., Renningen 2009.

RWE AG. (2011)

RWE AG: Tarifübersicht für Autostrom. Im Internet unter der URL „<http://www.rwemobility.com/web/cms/de/448202/rwemobility/produkte/rwe-autostrom-natur/>“, Zugriff am 30.07.2011.

SANNE, D. (2011)

Sanne, D.: Mit der Kraft der zwei Herzen. In: Güterverkehr-Fachzeitschrift für Transport und Technik, Sonderdruck Heft 3. (2011), S. 2-3.

SCHIECK (2009)

Schieck, A.: Internationale Logistik - Objekte, Prozesse und Infrastrukturen grenzüberschreitender Güterströme., München 2009.

SCHMIDT/KLÜVER/KLÜVER (2010)

Schmidt, J.; Klüver, C.; Klüver, J.: Programmierung naturanaloger Verfahren - Soft Computing und verwandte Methoden. Wiesbaden 2010.

SCHMITT (2006)

Schmitt, A.: 4PL-Providing™ als strategische Option für Kontraktlogistikdienstleister. Wiesbaden 2006.

SCHÖNBERGER (2010)

Schönberger, R.: Dimensionen der Logistik - Funktionen, Institutionen und Handlungsebenen. Wiesbaden 2010.

SCHRAGE (2005)

Schrage, A.: Straßenmaut und Verkehrsstaus. Tübingen - Regensburg 2005.

SCHREYER ET AL. (2007)

Schreyer, C., Maibach, M., Sutter, D., Doll, C., Bickel, P.: Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland. Zürich 2007.

SCHUBERT/SCHMÄDICKE (2000)

Schubert, W.; Schmädicke, J.: Verkehrslogistik - Technik und Wirtschaft. München 2000.

SCHULTE (2009)

Schulte, C.: Logistik - Wege zur Optimierung der Supply Chain. 5. Aufl., München 2009.

SCHWARZ (2007)

Schwarz, S.: Fahrspaß Mit Dem Auto Ohne Umweltschäden. Raleigh - North Carolina, USA 2007.

SEILER (2011)

Seiler, J.: Der große Gehirntrainer - Besser lernen, schneller denken, mehr behalten. München 2011.

STAN (2008)

Stan, C.: Alternative Antriebe für Automobile - Hybridsysteme, Brennstoffzellen, alternative Energieträger. 2. Aufl., Berlin - Heidelberg 2008.

STOICA-KLÜVER/KLÜVER/SCHMIDT (2009)

Stoica-Klüver, C.; Klüver, J.; Schmidt, J.: Modellierung komplexer Prozesse durch naturanaloge Verfahren - Komplexe adaptive Systeme - Modellbildungen und -theorie - neuronale Netze - Soft Computing und verwandte Techniken. Wiesbaden 2009.

UMWELTBUNDESAMT (2009)

Umweltbundesamt: Energiebedingte Emissionen von Luftschadstoffen. Im Internet unter der URL „<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=3604>“, Zugriff am 28.09.2011.

UMWELTBUNDESAMT (2011a)

Umweltbundesamt: Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. Im Internet unter der URL „<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=3152>“, Zugriff am 27.09.2011.

UMWELTBUNDESAMT (2011b)

Umweltbundesamt: Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Primärenergieverbrauch und am gesamten Enenergieverbrauch. Im Internet unter der URL „<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=20790>“, Zugriff am 25.09.2011.

UMWELTBUNDESAMT: (2011c)

Umweltbundesamt: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2009 und erste Schätzung 2010 im Vergleich zu CO₂-Emissionen der Stromerzeugung. Im Internet unter der URL „<http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf>“, Zugriff am 23.07.2011.

VAHRENKAMP/SIEPERMANN (2005)

Vahrenkamp, R.; Siepermann, C.: Logistik - Management und Strategien. 5.Aufl., München 2005.

VIEWEG (2010)

Vieweg, C.: E-Autos - So fahren wir in die Zukunft. Bielefeld 2010.

VOLKSWAGEN AG. (2011a)

Volkswagen AG.: Nutzfahrzeuge – Der Caddy Preisliste und Technische Daten. Im Internet unter der URL „http://www.volkswagen-nutzfahrzeuge.de/content/medialib/vwd4/de_vwn/pdf/preislisten/2011-10-kw45-preislisten/caddy-cu/_jcr_content/renditions/rendition.file/pl_caddy_kasten_kombi_2011-11.pdf“, Zugriff am 04.09.2011.

VOLKSWAGEN AG. (2011b)

Volkswagen AG.: Nutzfahrzeuge – Der neu Caddy-bifuel. Im Internet unter der URL „http://www.volkswagen-nutzfahrzeuge.de/de/kunden/menschen_mit_behinderung/news.suffix.html/menschen_mit_behinderung~2F2011-05-13_caddy-bi.html“, Zugriff am 04.09.2011.

WALLENTWOITZ/BADY (1998)

Wallentowitz, H.; Bady, R.: Chancen durch das Elektroauto. Im Internet unter der URL „<http://www.ika.rwth-aachen.de/forschung/veroeffentlichung/1998/17.-18.02/>“, Zugriff am 02.10.2011.

WALLENTOWITZ/FREIALDENHOVEN/OLSCHEWSKI (2010)

Wallentowitz, H.; Freialdenhoven, A.; Olschewski, I.: Strategien zur Elektrifizierung des Antriebstranges - Technologien, Märkte und Implikationen. Wiesbaden 2010.

WALLENTOWITZ/REIF/ (2011)

Wallentowitz, H.; Reif, K.: Handbuch Kraftfahrzeugelektronik - Grundlagen – Komponenten - Systeme - Anwendungen. 2. Aufl., Wiesbaden 2011.

WANNENWETSCH (2008)

Wannenwetsch, H.: Intensivtraining Produktion, Einkauf, Logistik und Dienstleistung - Mit Aufgaben und Lösungen. Wiesbaden 2008.

WILDMANN (2007)

Wildmann, L.: Wirtschaftspolitik - Module der Volkswirtschaftslehre, Bd. III. München 2007.

WITTENBRINK (2011)

Wittenbrink, P.: Transportkostenmanagement im Straßengüterverkehr - Grundlagen Optimierungspotenziale - Green Logistik. Wiesbaden 2011.

YAY (2010)

Yay, M.: Elektromobilität - Theoretische Grundlagen, Herausforderungen sowie Chancen und Risiken der Elektromobilität. Frankfurt am Main. 2010.

Autoren:**Dipl.-Kff. Alessa Münchow-Küster**E-Mail: alessa.muenchow@pim.uni-due.de**Tim Bollens, B.Sc.**E-Mail: tim.bollens@web.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.deWebsite (Projekt LOGFOR):
<http://www.logfor.wiwi.uni-due.de/>EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung**Ziel2.NRW**
Regionale Wettbewerbsfähigkeit und BeschäftigungMinisterium für Wirtschaft, Energie,
Bauen, Wohnen und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen

Das Verbundprojekt Logistik Online Forwarding 2020 – Logistik-Forschung und Logistik Ausbildung (LOGFOR) – wird im Rahmen des EU-NRW-Ziel-2-Programms „Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007 – 2013“ mit Finanzmitteln der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert (Förderkennzeichen: 290028112). Die Projektpartner danken dem zuständigen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen und dem Projektträger, der NRW.Bank, für die großzügige und kompetente Unterstützung ihrer Forschungs- und Transferarbeiten.

Partner des Verbundprojekts:

Gesellschaft für Wirtschaftsförderung Duisburg mbH

Industrie- und Handelskammer für Essen, Mülheim an
der Ruhr, Oberhausen zu EssenNiederrheinische Industrie- und Handelskammer
Duisburg-Wesel-Kleve zu DuisburgInstitut für Logistik- & Dienstleistungsmanagement
der FOM University of Applied Sciences

Schenker Deutschland AG, Geschäftsstelle Duisburg

Universität Duisburg-Essen, Institut für Produktion
und Industrielles Informationsmanagement