



Hochschule für Angewandte  
Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

Department Maschinenbau und Produktion

# **Analyse und Vergleich konventioneller und elektrisch angetriebener Nutzfahrzeuge mittels dynamischer Investitionsrechenverfahren**

Bachelorarbeit

vorgelegt von

Falk Hormes

Sommersemester 2012

Erstprüfer:	Prof. Dr. Tobias Held
Zweitprüferin:	Tessa Taefi, Dipl.-Ing. (FH)
Abgabedatum:	14.09.2012

## Aufgabenstellung

# Aufgabenstellung

für die Bachelorthesis

von Herrn/Frau **Falk Hormes**

Matrikel-Nummer: 1892518

**Thema:**

**„Analyse und Vergleich konventioneller und elektrisch angetriebener Nutzfahrzeuge mittels dynamischer Investitionsrechenverfahren“**

**Schwerpunkte:**

Deutschland soll Leitanbieter und Leitmarkt der Elektromobilität werden. Im Jahr 2020 sollen ca. 1 Mio. Elektrofahrzeuge Deutschlands Straßen befahren. Ob sich dieses bewahrheitet, hängt in großem Maße von der Wirtschaftlichkeit der Elektrofahrzeuge ab.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es konventionell angetriebene und elektrisch angetriebene Nutzfahrzeuge gleicher Bauform zu vergleichen und zu bewerten. Der Vergleich erfolgt mittels Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung. Im Fokus der Betrachtung steht die Auszahlungsseite. Mithilfe einer Software werden unterschiedliche Szenarien abgebildet, wobei die Einflussgrößen entsprechend variiert werden.

Folgende Aufgabenfelder sind zu erarbeiten:

- Wissenschaftliche Grundlagen der Bereiche:
  - o Antrieb konventionelle Fahrzeuge vs. elektrische Fahrzeuge
  - o dynamische Investitionsrechenverfahren
- Recherche zu den Kosteneinflussfaktoren der Fahrzeugtypen
- Recherche zu Prognosen über Entwicklungen von Kosteneinflussfaktoren
- Vergleich zweier Fahrzeuge mit ausgewählten Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung
- Bewertung der Ergebnisse

---

Datum

---

1. Prüfer/in

# Inhaltsverzeichnis

<b>Aufgabenstellung</b> .....	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>II</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Formelverzeichnis</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>Symbolverzeichnis</b> .....	<b>X</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung der Arbeit .....	2
1.2 Struktur der Arbeit .....	3
<b>2. Literaturrecherche</b> .....	<b>5</b>
2.1 Allgemeine Literaturrecherche .....	5
2.1.1 Vorgehen bei der allgemeinen Literaturrecherche .....	5
2.1.2 Ergebnisse der allgemeinen Literaturrecherche .....	6
2.2 Spezifische Literaturrecherche zum Thema Kosteneinflussfaktoren .....	7
2.2.1 Vorgehen bei der spezifischen Literaturrecherche .....	7
2.2.2 Ergebnisse der spezifischen Literaturrecherche .....	8
<b>3. Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>9</b>
3.1 Nutzfahrzeuge: Definition und Abgrenzung .....	9
3.2 Antriebsvarianten von Nutzfahrzeugen .....	10
3.2.1 Abgrenzung des Antriebskonzeptes .....	14
3.2.2 Konventioneller Antrieb .....	14
3.2.3 Elektrischer Antrieb .....	16
3.2.4 Gegenüberstellung der vorgestellten Antriebe .....	18
3.3 Grundlagen der Investitionsrechnung .....	20
3.3.1 Investitionsrechnung .....	21
3.3.2 Statische Investitionsrechnung .....	23
3.3.3 Dynamische Investitionsrechnung .....	24
3.3.3.1 Grundlagen der Finanzmathematik .....	25
3.3.3.2 Bestimmung des Kalkulationszinssatzes .....	28
3.3.3.3 Kapitalwertmethode .....	29
3.3.3.4 Interne-Zinssatz-Methode .....	30
3.3.3.5 Annuitätenmethode .....	32

3.3.3.6	Dynamische Amortisationsrechnung.....	33
3.3.4	Gegenüberstellung der Rechenverfahren .....	34
<b>4.</b>	<b>Kosteneinflussgrößen.....</b>	<b>38</b>
4.1	Identifikation der Kosteneinflussgrößen .....	38
4.2	Auswahl des Referenzfahrzeugs und der Rahmenbedingungen.....	41
4.3	Kosteneinflussgrößen des konventionellen Nutzfahrzeugs .....	44
4.3.1	Fixkosten des konventionellen Nutzfahrzeugs .....	45
4.3.2	Variable Kosten des konventionellen Nutzfahrzeugs .....	48
4.3.3	Kosten für das konventionelle Referenzfahrzeug .....	49
4.4	Kosteneinflussgrößen des elektrischen Nutzfahrzeugs.....	50
4.4.1	Fixkosten des elektrischen Nutzfahrzeugs.....	51
4.4.2	Variable Kosten des elektrischen Nutzfahrzeugs .....	55
4.4.3	Kosten für das elektrische Referenzfahrzeug.....	57
<b>5.</b>	<b>Entwicklung ausgewählter Kosteneinflussgrößen.....</b>	<b>58</b>
5.1	Entwicklung des Batteriepreises .....	58
5.2	Entwicklung des Strompreises.....	62
5.3	Entwicklung des Dieselpreises.....	64
<b>6.</b>	<b>Erstellung des Rechenmodells.....</b>	<b>66</b>
6.1	Auswahl des Rechenverfahrens .....	66
6.2	Zusammenführen der Eingangsgrößen.....	66
6.3	Definition der Ausgangsgrößen.....	67
6.4	Beschreibung der Vergleichsrechnung .....	67
6.5	Grafische Aufbereitung des Rechenmodells .....	69
<b>7.</b>	<b>Durchführung der Vergleichsrechnungen .....</b>	<b>70</b>
7.1	Betrachtung der Ausgangssituation .....	72
7.2	Änderung des Energiepreisverlaufs .....	76
7.3	Änderung des Batteriepreisverlaufs .....	77
7.4	Änderung des Kalkulationszinssatzes .....	80
7.5	Änderung des Anschaffungspreises.....	82
<b>8.</b>	<b>Reflexion der Ergebnisse.....</b>	<b>84</b>
8.1	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	84
8.2	Diskussion der Ergebnisse .....	84
8.3	Diskussion der Methode .....	88
<b>9.</b>	<b>Fazit und Ausblick.....</b>	<b>89</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>

<b>Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung</b> .....	<b>VI</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>VI</b>
Anh. 1: Brainstorming zur allgemeinen Literaturrecherche .....	VI
Anh. 2: Brainstorming zur spezifischen Literaturrecherche .....	VII
Anh. 3: Protokoll des Interviews mit Herrn Lembke (Citroën).....	VIII
Anh. 4: Protokoll des Telefonats mit Carsten Busch (ABB).....	XI
Anh. 5: Protokoll des Telefonats mit Frau Kleinhanß (DB Energy).....	XII
Anh. 6: Angebot der Kfz-Versicherung .....	XIII
Anh. 7: Darstellungen aus dem entworfenen Dashboard.....	XV
Anh. 8: Darstellungen aus der entworfenen Excel-Arbeitsmappe .....	XVII

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Entwicklungsphasen des Leitmarkts Elektromobilität.....	2
Abb. 2: Struktur der Arbeit .....	4
Abb. 3: Anteile zugelassener NFZ nach Antriebskonzept (Stand 1.1.2012) .....	11
Abb. 4: Differenzierung unterschiedlicher Antriebskonzepte .....	13
Abb. 5: Standardantrieb eines konventionellen Fahrzeugs .....	15
Abb. 6: Elektrisches Fahrzeug mit Frontantrieb .....	16
Abb. 7: Mögliche Entscheidungssituationen in der Investitionstheorie .....	21
Abb. 8: Ausgewählte Investitionsrechenverfahren bei Datensicherheit .....	23
Abb. 9: Berechnung des Endwerts mittels Aufzinsungsfaktors .....	25
Abb. 10: Berechnung des Endwerts mittels Endwertfaktors.....	26
Abb. 11: Berechnung des Barwerts mittels Abzinsungsfaktors .....	27
Abb. 12: Berechnung des Barwerts mittels Diskontierungssummenfaktors.....	28
Abb. 13: Berlingo HDi 75 .....	41
Abb. 14: Berlingo First Electric .....	41
Abb. 15: Auswertung von Prognosen über den Batteriepreis bis 2030 .....	59
Abb. 16: Entwicklung des Strompreises von 2007–2011 .....	62
Abb. 17: Entwicklung des Strompreises auf Basis von Prognosen .....	63
Abb. 18: Entwicklung des Dieselpreises von 2000–2011 .....	64
Abb. 19: Entwicklung des Dieselpreises auf Basis von Prognosen.....	65
Abb. 20: Schematische Darstellung der Vergleichsrechnung.....	68
Abb. 21: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen Ausgangssituation.....	74
Abb. 22: Auszahlungen nach Kostengröße in der Ausgangssituation (2030).....	75
Abb. 23: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen „Energiepreise Prognosen“ .....	77
Abb. 24: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen „hoher Batteriepreis“ .....	78
Abb. 25: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen „niedriger Batteriepreis“.....	79
Abb. 26: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen „niedriger Kalkulationszins“ .....	81
Abb. 27: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen „hoher Kalkulationszins“ .....	82
Abb. 28: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen „reduzierter NFZ-Preis“ .....	83
Abb. 29: Einfluss der Kostengrößen auf die Kapitalwertdifferenz konventionell .....	85
Abb. 30: Einfluss der Kostengrößen auf die Kapitalwertdifferenz elektrisch.....	86
Abb. 31: Einfluss des Kalkulationszinses auf die Kapitalwertdifferenz .....	86

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Kriterien der allgemeinen Literaturrecherche .....	6
Tab. 2: Ergebnisse der allgemeinen Literaturrecherche.....	6
Tab. 3: Kriterien der spezifischen Literaturrecherche.....	7
Tab. 4: Ergebnisse der spezifischen Literaturrecherche .....	8
Tab. 5: Übersicht der Nutzfahrzeugklassen.....	10
Tab. 6: Batteriesysteme im Vergleich .....	18
Tab. 7: Gegenüberstellung der vorgestellten Antriebsvarianten.....	19
Tab. 8: Gliederung von Investitionsarten nach Kruschwitz.....	20
Tab. 9: Statische versus dynamische Investitionsverfahren.....	34
Tab. 10: Gegenüberstellung der vorgestellten dynamischen Verfahren.....	37
Tab. 11: Betrachtete Kosten- und TCO-Analysen aus der Literatur .....	39
Tab. 12: Kostenbegriffe zusammengefasst zu Kategorien.....	40
Tab. 13: Basisdaten der Referenzfahrzeuge .....	42
Tab. 14: Gegenüberstellung der Kostenkategorien (konventionell).....	44
Tab. 15: Ranking der Kostenkategorien (konventionell).....	45
Tab. 16: Kosten des konventionellen Referenzfahrzeugs .....	49
Tab. 17: Gegenüberstellung der Kostenkategorien (elektrisch) .....	50
Tab. 18: Ranking der Kostenkategorien (elektrisch) .....	51
Tab. 19: Angefragte Versicherungen bez. einer Police für elektrische NFZ .....	53
Tab. 20: Kosten des elektrischen Referenzfahrzeugs.....	57
Tab. 21: Wertetabelle der Batteriepreisverläufe bis 2030 .....	61
Tab. 22: Zu betrachtende Entwicklungen mittels Vergleichsrechnung .....	71
Tab. 23: Basisdaten der Ausgangssituation.....	73
Tab. 24: Ergebnisse der Ausgangssituation .....	73
Tab. 25: Basisdaten „Energiepreise Prognosen“ .....	76
Tab. 26: Ergebnisse „Energiepreise Prognosen“ .....	76
Tab. 27: Basisdaten „hoher Batteriepreis“ .....	77
Tab. 28: Ergebnisse „hoher Batteriepreis“ .....	78
Tab. 29: Basisdaten „niedriger Batteriepreis“.....	79
Tab. 30: Ergebnisse „niedriger Batteriepreis“ .....	79
Tab. 31: Basisdaten „niedriger Kalkulationszins“ .....	80
Tab. 32: Ergebnisse „niedriger Kalkulationszins“ .....	80
Tab. 33: Basisdaten „hoher Kalkulationszins“ .....	81
Tab. 34: Ergebnisse „hoher Kalkulationszins“ .....	81
Tab. 35: Basisdaten „reduzierter NFZ-Preis“ .....	82
Tab. 36: Ergebnisse „reduzierter NFZ-Preis“ .....	82

Tab. 37: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Rechenvergleiche (2030) ..... 84

## Formelverzeichnis

(1)	Formel Endwert (1) .....	25
(2)	Formel Endwert (2) .....	25
(3)	Formel Endwert mittels EWF (1) .....	26
(4)	Formel Endwert mittels EWF (2) .....	26
(5)	Formel Barwert (1) .....	26
(6)	Formel Barwert (2) .....	26
(7)	Formel Barwert mittels DSF (1) .....	27
(8)	Formel Barwert mittels DSF (2) .....	27
(9)	Formel Kapitalwert nach Olfert .....	29
(10)	Formel Kapitalwert (1) .....	30
(11)	Formel Kapitalwert (2) .....	30
(12)	Formel Interner Zinssatz .....	31
(13)	Formel Annuität .....	32
(14)	Formel Amortisationszeit (1) .....	33
(15)	Formel Amortisationszeit (2) .....	33
(16)	Formel Restwertbestimmung Fahrzeug .....	47
(17)	Formel Restwertbestimmung Batterie .....	52

## Abkürzungsverzeichnis

ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.
AfA	Absetzung für Abnutzung
AU	Abgasuntersuchung
EWf	Endwertfaktor
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
DSF	Diskontierungssummenfaktor
EDI	Electronic Data Interchange
HU	Hauptuntersuchung
KBA	Kraftfahrzeug-Bundesamt
KW	Kapitalwert
kWh	Kilowattstunde
KZA	Kundenzufriedenheitsanalyse
LKW	Lastkraftwagen
NfZ	Nutzfahrzeug
Pkw	Personenkraftwagen
TCO	Total Cost of Ownership
TÜV	Technischer Überwachungs-Verein
Vgl.	Vergleiche
VKM	Verbrennungskraftmaschine

## Symbolverzeichnis

a	Auszahlung (Kapitel 3.3.3)
a	Parameter Wertverlust Neuwagen (Kapitel 4)
b	Parameter Wertverlust Fahrleistung
$C_0$	Kapitalwert
$C_n$	Kumulierter Kapitalwert, nach Periode n
d	Annuität
e	Einzahlung
g	Wert im Zeitpunkt $t_0$
i	Kalkulationszinssatz (Kapitel 3.3.3)
i	Periode (Kapitel 4)
I	Anschaffungspreis
$K_n$	Kapital am Ende des n-ten Jahres
$K_0$	Barwert
M	Fahrleistung pro Jahr (km)
n	Anzahl der Jahre
$q^n$	Aufzinsungsfaktor
$q^{-n}$	Abzinsungsfaktor
r	interner Zinssatz
RW	Restwert
T	Anzahl der Perioden
$V_0$	Anschaffungskosten
$\Delta V_i$	Wertverlust pro Periode

## 1. Einleitung

Um in Zukunft eine klimafreundliche und effiziente Möglichkeit zu schaffen, den Warenverkehr zu bewältigen, bedarf es neuer Wege und innovativer Konzepte. Eine wichtige Rolle nimmt dabei das Thema Elektromobilität ein. Die Elektromobilität ist von zentraler Bedeutung für Deutschland, denn sie bietet neben der Möglichkeit, Transporte emissionsfrei durchzuführen, die Chance auf Wachstum und Beschäftigung.<sup>1</sup> Die Rahmenbedingungen stehen gut, um der Elektromobilität mehr Attraktivität zu verschaffen. Die Verteuerung von fossilen Treibstoffen wie Benzin und Diesel, die strengeren Auflagen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion sowie die Zunahme der Fahrzeugzulassungen stellen die konventionellen Antriebskonzepte infrage. Im Hinblick auf Lebensqualität in Ballungsräumen ist der Verbrennungsmotor immer mit lokalen Emissionen verbunden. Diese Tatsache wird der Elektromobilität vor allem im urbanen Umfeld zu mehr Attraktivität verhelfen.<sup>2</sup> Die Logistikbranche kann ihren Beitrag zur Verbesserung der Lebensqualität in Ballungsräumen leisten, so eignen sich beispielsweise elektrisch angetriebene Nutzfahrzeuge gut für den innerstädtischen Warenverkehr mit häufigen Anfah- und Abbremsvorgängen. Durch Rekuperationsbremsen lässt sich ein Großteil der Energie zurückgewinnen.<sup>3</sup> „In erster Linie kommen dafür typische Verteilerfahrzeuge, also Transporter und Verteiler-LKW bis 12 Tonnen, infrage“<sup>4</sup>, so Herr Hipp (MAN-Forschungsabteilung) zum Thema elektrisch angetriebene Nutzfahrzeuge. Das Ergebnis des Feldversuchs „E-City-Logistik“ der Modellregion Berlin/Potsdam zeigt, dass im innenstädtischen Warenwirtschaftsverkehr elektrische Nutzfahrzeuge gut einsetzbar sind. So erfüllt ein konventionelles Nutzfahrzeug, das auf einen elektrischen Antrieb umgerüstet wurde, die Anforderungen im Regelverkehr der Warendistribution.<sup>5</sup> Auch die oft angeführten Reichweiteneinschränkungen machten „keine veränderte Tourenplanung erforderlich“<sup>6</sup>. Zwar gibt es Einschränkungen wie Fehleranfälligkeit der Batterie und hohe Anschaffungskosten für das elektrische Nutzfahrzeug, dennoch ist der Feldversuch positiv verlaufen, sodass die Ergebnisse für die Öffentlichkeitsarbeit, sogenannter „Schaufensterprojekte“ genutzt werden.<sup>7</sup>

Nach dem Phasenmodell der Nationalen Plattform Elektromobilität befindet sich Deutschland in der Marktvorbereitungsphase bis 2014 (vgl. Abb. 1). Die Bundesregierung förderte im Zeitraum von 2009 bis 2011 die Forschungsanstrengungen auf dem Gebiet der Elektromobilität mit ca. 500 Millionen Euro. Für weitere Forschungsprojekte stehen Fördergelder bereit.<sup>8</sup> Zum

---

<sup>1</sup> vgl. Nationale Plattform Elektromobilität 2011a, S. 5.

<sup>2</sup> vgl. Hüttl, Pischetsrieder, Spath 2010, S. 11.

<sup>3</sup> vgl. Bundesumweltministerium 2010.

<sup>4</sup> vgl. Swantusch 2011, S. 25.

<sup>5</sup> vgl. Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2011, S. 135.

<sup>6</sup> vgl. Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2011, S. 135.

<sup>7</sup> vgl. Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2011, S. 135–136.

<sup>8</sup> vgl. Nationale Plattform Elektromobilität 2012, S. 3.

Ende der Markthochlaufphase wird sich vermehrt die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der Elektromobilität stellen.



Abb. 1: Entwicklungsphasen des Leitmarkts Elektromobilität<sup>9</sup>

Die Frage nach den Kosten eines Elektrofahrzeugs ist für den Kunden oft von zentraler Bedeutung. So berichtet Prof. Dr. Willi Diez, Direktor des Instituts für Automobilwirtschaft an der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt in Nürtingen-Geislingen: „Das Elektroauto ist noch nicht wettbewerbsfähig. Nicht die Technik ist das Problem, sondern der Preis“.<sup>10</sup> Es bleibt abzuwarten, wie sich die Preise für elektrische (Nutz-) Fahrzeuge in der Zukunft entwickeln und wie das Thema Elektromobilität von den Kunden angenommen wird.

### 1.1 Zielsetzung der Arbeit

Wie in der Einleitung beschrieben, wird kleinen elektrisch angetriebenen Nutzfahrzeugen besonders im Bereich des urbanen Warenwirtschaftsverkehrs großes Potenzial eingeräumt. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Aspekt der Wirtschaftlichkeit von elektrisch angetriebenen Nutzfahrzeugen im Vergleich zu konventionell angetriebenen Nutzfahrzeugen näher zu beleuchten. Dieses erfolgt mittels Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung. Zu Beginn der Arbeit wird eine Wissensbasis anhand einer Literaturrecherche geschaffen. Die technischen Grundlagen des konventionellen und des elektrischen Antriebs beim Fahrzeug werden erarbeitet. Aus wirtschaftlicher Sicht werden die Grundlagen der dynamischen Investitionsrechnung betrachtet. Für den Vergleich mittels dynamischer Investitionsrechenverfahren der Nutzfahrzeuge werden die relevanten Kosteneinflussgrößen und deren Entwicklung auf Basis einer Literaturrecherche ermittelt. Es wird ein Referenzfahrzeugtyp gleicher Bauform (konventionell sowie elektrisch) ausgewählt, um ein hohes Maß der Vergleichbarkeit zu erzielen. Nachdem die benötigten Informationen vorliegen, werden die Fahrzeuge anhand ausgewählter Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung verglichen. Die Auszahlungsseite steht im Fokus der Betrachtung. Die Einzahlungsseite wird vernachlässigt. Ausgewählte Kosteneinflussgrößen werden beim Vergleich variiert und dessen Ergebnisse werden diskutiert und bewertet. Der Vergleich der Referenzfahrzeuge erfolgt mittels Softwareunterstützung, wobei die Rechnung und die Visualisierung der Ergebnisse von der Software übernommen wird.

---

<sup>9</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Nationale Plattform Elektromobilität 2012, S. 3.

<sup>10</sup> vgl. Zunke 2012, S. 67.

### 1.2 Struktur der Arbeit

In Kapitel 1 erfolgt die Einführung ins Thema, hier wird die aktuelle Ausgangssituation geschildert und das Ziel der Arbeit erörtert. Kapitel 2 beschreibt das Vorgehen bei der Literaturrecherche und stellt die aggregierten Ergebnisse dar.

In Kapitel 3 werden die theoretischen Grundlagen zur Bearbeitung des Themas vorgestellt. Es wird abgegrenzt, welche Nutzfahrzeugklassen sich für den Einsatz im urbanen Wirtschaftsverkehr eignen. Aus technischer Sicht werden unterschiedliche Antriebsvarianten vorgestellt und es wird vertieft auf die elektrische und konventionelle Antriebsvariante eingegangen. Aus wirtschaftlicher Betrachtungsweise werden die Grundlagen der Investitionsrechnung erörtert und die Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung vorgestellt, da diese die Grundlage für den Vergleich der Nutzfahrzeuge bilden.

Kapitel 4 setzt sich mit den Kosteneinflussgrößen auseinander. Durch die Gegenüberstellung unterschiedlicher TCO- und Fahrzeugkostenanalysen werden die relevanten Einflussgrößen bestimmt. Für zwei zu vergleichende Referenzfahrzeuge werden praxisnahe Werte bestimmt, die unter anderem die Eingangsgrößen für den Rechenvergleich bilden. In Kapitel 5 wird näher auf die Entwicklung von Treibstoff- und Batteriepreis eingegangen. Hier werden auf Basis unterschiedlicher veröffentlichter Prognosen und auf Basis von statistischen Vergangenheitswerten Preisentwicklungen abgeschätzt, die anschließend in die Vergleichsrechnung einfließen.

Kapitel 6 geht näher auf den Rechenvergleich der Nutzfahrzeuge ein. Die ausgewählte Rechenmethode sowie die Eingangs- und Ausgangsgrößen werden erörtert. Weiter werden die Visualisierung und die Aufbereitung der Ergebnisse beschrieben.

In Kapitel 7 erfolgt die Durchführung des Rechenvergleichs unter Variation ausgewählter Kosteneinflussfaktoren abweichend von einer gewählten Ausgangssituation. Die Ergebnisse des jeweiligen Vergleichs werden in Zahlenwerten und grafisch dargestellt. Kapitel 8 beinhaltet die Diskussion der Ergebnisse und der Methode. Es wird erörtert, welches die Ursachen für die Vorteilhaftigkeit des entsprechenden Nutzfahrzeugtyps sind und welchen Einfluss unterschiedliche Faktoren auf das Ergebnis des Vergleichs haben. Im abschließenden Kapitel 9 wird ein Fazit über die Arbeit gegeben. Dem folgt ein Ausblick über mögliche zukünftige Entwicklungen, absehbare Trends und zu vertiefende Themen. Abb. 2 stellt die Struktur der Arbeit grafisch dar.

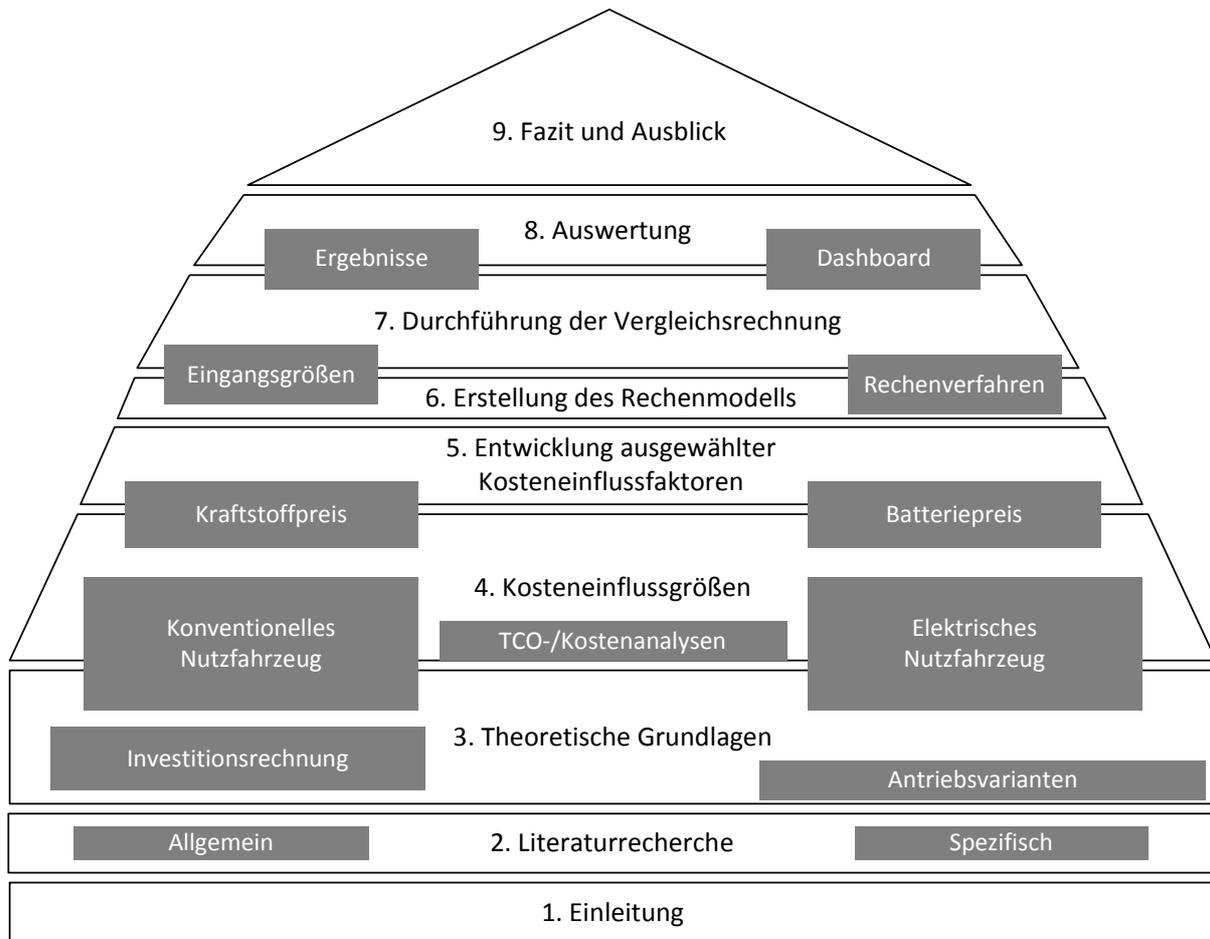


Abb. 2: Struktur der Arbeit

## **2. Literaturrecherche**

Im Vorfeld der Arbeit wurde eine Literaturrecherche mit zwei unterschiedlichen Schwerpunkten durchgeführt. Ein Schwerpunkt bestand darin sich einen Überblick zum Thema „Analyse und Vergleich konventioneller und elektrisch angetriebener Nutzfahrzeuge mittels dynamischer Investitionsrechenverfahren“ zu verschaffen. Hier wurde Literatur angrenzender Themengebiete wie Investitionsrechnung, Fahrzeugtechnik und Elektromobilität betrachtet, um eine Wissensgrundlage zu schaffen. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird von einer allgemeinen Literaturrecherche gesprochen.

Der zweite Schwerpunkt der Recherche war, spezifische Literatur zum Thema „Kosteneinflussfaktoren bei konventionellen und elektrisch angetriebenen Fahrzeugen“ ausfindig zu machen, um Ausgangsdaten für die dynamische Vergleichsrechnung zu ermitteln. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird von einer spezifischen Literaturrecherche gesprochen.

### **2.1 Allgemeine Literaturrecherche**

#### **2.1.1 Vorgehen bei der allgemeinen Literaturrecherche**

Bei der Recherche wurden ausgewählte elektronische Datenbanken nach vorher definierten Suchbegriffen durchsucht. Die Ergebnisse wurden nach unterschiedlichen Ausschlusskriterien gefiltert (vgl. Tab. 1). Die Datenbanken und Bibliotheken wurden nach Verfügbarkeit im Raum Hamburg ausgewählt. Die Begriffe zur Suche entstammen einem Brainstorming zum Thema der Arbeit (vgl. Anh. 1). Die Ausschlusskriterien sind in erster Linie Aktualität der Literatur (2000–2012) und Kontext der Literatur zum Thema der Arbeit. Im ersten Schritt der Recherche wurde die Literatur gesichtet und ein Quellenverzeichnis mit den möglichen relevanten Titeln erstellt. Um weitere Quellen aufzufinden, wurden die Literaturverzeichnisse der bereits gefundenen Quellen betrachtet.

Recherchequelle	Suchbegriffe	Ausschlusskriterium
<ul style="list-style-type: none"> <li>• HAW-Katalog</li> <li>• TU-HH-Katalog</li> <li>• Uni-HH-Katalog</li> <li>• WISO.net (nur E-Books und Fachzeitschriften)</li> <li>• HSU-Katalog</li> <li>• Springerlink</li> <li>• Google Scholar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionsrechnung</li> <li>• Dynamische Investitionsrechenverfahren</li> <li>• Elektrischer Antriebsstrang</li> <li>• Konventioneller Antriebsstrang</li> <li>• Elektromobilität Herausforderung</li> <li>• Elektromobilität Entwicklung</li> <li>• Batterie Elektrofahrzeug</li> <li>• Kostenanalyse Nutzfahrzeug</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Literatur älter als 2000</li> <li>• Titel der Literatur passt nicht zum Kontext</li> <li>• Inhaltsverzeichnis passt nicht zum Kontext der Arbeit</li> <li>• Abstrakt passt nicht zum Kontext der Arbeit</li> <li>• Quelle erscheint unseriös</li> <li>• Kostenaufwand der Beschaffung</li> </ul>

Tab. 1: Kriterien der allgemeinen Literaturrecherche

### 2.1.2 Ergebnisse der allgemeinen Literaturrecherche

Die Ergebnisse der allgemeinen Literaturrecherche bilden zum größten Teil die Basis für das Kapitel „Theoretische Grundlagen“. In Tab. 2 werden die aggregierten Ergebnisse der Recherche dargestellt.

Suchbegriff	Anzahl Treffer	Davon relevant
Investitionsrechnung	177	18
dynamische Investitionsrechenverfahren	145	5
elektrischer Antriebsstrang	38	12
konventioneller Antriebsstrang	29	8
Elektromobilität Herausforderungen	27	9
Elektromobilität Entwicklungen	3	3
Batterie Elektrofahrzeug	42	6
Kostenanalyse Nutzfahrzeug	0	0

Tab. 2: Ergebnisse der allgemeinen Literaturrecherche

Die Datenbanken Wiso.net, Springerlink und Google Scholar lieferten bei der Suche nach dem Begriff „Investitionsrechnung“ jeweils weit über 1500 Einträge; da bereits eine große Menge Literatur in den anderen Datenbanken gefunden wurde, wurden die Ergebnisse nicht weiter betrachtet. Die allgemeine Literaturrecherche lieferte ausreichende Ergebnisse, um sich über den aktuellen Stand im Bereich Elektromobilität zu informieren sowie die technischen und wirtschaftlichen Grundlagen zu erarbeiten.

Der Suchbegriff „Kostenanalyse Nutzfahrzeuge“ lieferte unbefriedigende Ergebnisse. Die Kostenanalyse und die Entwicklung der Kosten sollen die Grundlage für den dynamischen

Investitionsvergleich bilden. Aus diesem Grund wurde eine spezifische Literaturrecherche zum Thema Kosteneinflussfaktoren und deren Entwicklung durchgeführt.

## 2.2 Spezifische Literaturrecherche zum Thema Kosteneinflussfaktoren

### 2.2.1 Vorgehen bei der spezifischen Literaturrecherche

Bei der spezifischen Literaturrecherche wurden die gleichen elektronischen Datenbanken genutzt wie bei der allgemeinen Literaturrecherche. Es wurden andere Suchbegriffe durch ein erneutes Brainstorming generiert (vgl. Anh. 2). Die Ergebnisse wurden nach unterschiedlichen Ausschlusskriterien gefiltert (vgl. Tab. 3).

Recherchequelle	Suchbegriffe	Ausschlusskriterium
<ul style="list-style-type: none"> <li>• HAW-Katalog</li> <li>• TU-HH-Katalog</li> <li>• Uni-HH-Katalog</li> <li>• WISO.net (nur E-Books und Fachzeitschriften)</li> <li>• HSU-Katalog</li> <li>• Springerlink</li> <li>• Google Scholar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostentreiber Fahrzeug</li> <li>• TCO Fahrzeug</li> <li>• Kostenanalyse Fahrzeug</li> <li>• Elektrofahrzeug Betriebskosten</li> <li>• Konventionelles Fahrzeug Betriebskosten</li> <li>• Elektrofahrzeug sonstige Kosten</li> <li>• Entwicklung Benzinpreis/Dieselpreis</li> <li>• Entwicklung Strompreis</li> <li>• Entwicklung Steuern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Literatur älter als 2010</li> <li>• Titel der Literatur passt nicht zum Kontext</li> <li>• Inhaltsverzeichnis passt nicht zum Kontext der Arbeit</li> <li>• Abstrakt passt nicht in den Kontext der Arbeit</li> <li>• Quelle erscheint unseriös</li> <li>• Kostenaufwand der Beschaffung</li> </ul>

Tab. 3: Kriterien der spezifischen Literaturrecherche

Das Thema Kosteneinflussfaktoren bei (Nutz-)Fahrzeugen ist sehr aktuell und die Informationsslage befindet sich in ständigem Wandel. Aus diesem Grund ist die Aktualität der Literatur (2010–2012) ein wichtiges Kriterium. Außerdem muss der Kontext zum Thema Nutzfahrzeuge gegeben sein.

### 2.2.2 Ergebnisse der spezifischen Literaturrecherche

Die Ergebnisse der spezifischen Literaturrecherche bilden zum großen Teil die Basis des Kapitels 4. In Tab. 4 werden die aggregierten Ergebnisse der Recherche dargestellt.

<b>Suchbegriff</b>	<b>Anzahl Treffer</b>	<b>Davon relevant</b>
Kostentreiber Fahrzeug	61	10
TCO Fahrzeug	62	9
Kostenanalyse Fahrzeug	27	1
Elektrofahrzeug Betriebskosten	48	15
Elektrofahrzeug Ladeinfrastruktur	52	9
Konventionelles Fahrzeug Betriebskosten	26	1
Elektrofahrzeug sonstige Kosten	17	5
Entwicklung Benzin-/ Dieselpreis	8	5
Entwicklung Strompreis	218	16
Entwicklungen Steuern	186	7

Tab. 4: Ergebnisse der spezifischen Literaturrecherche

Während der Recherche wurde deutlich, dass sehr wenig Literatur zum Thema Kosteneinflussgrößen mit Zahlen zu den einzelnen Kostenpositionen existiert. Die meisten Treffer ergaben aktuelle Automobilzeitschriften wie beispielsweise vom ADAC. Bezüglich Prognosen und Entwicklungen der ausgewählten Kosteneinflussfaktoren (Strom-, Benzin-, Dieselpreis) verhielt sich der Sachverhalt ähnlich. Es ergaben sich wenige Quellen mit quantitativen Daten oder sie wurden unter Vorbehalt in Abhängigkeit von bestimmten Bedingungen genannt.

## 3. Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen der Bachelorarbeit aus technischer und wirtschaftlicher Sicht vorgestellt. Zuerst erfolgt eine Abgrenzung der zu betrachtenden Nutzfahrzeuge. Aus technischer Sicht wird ein Überblick über eine Auswahl von Antriebsvarianten für Nutzfahrzeuge gegeben. Die konventionelle (Verbrennungsmotor) und die elektrische (batterieelektrische) Antriebsvariante eines Nutzfahrzeugs werden exemplarisch näher erläutert. Die Varianten werden verglichen und die Hauptunterschiede herausgearbeitet. Aus wirtschaftlicher Sicht werden die Grundlagen der Investitionsrechnung sowie die statische und die dynamische Investitionsrechnung vorgestellt. Im Anschluss werden die klassischen Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung vorgestellt, da diese die Grundlage für den wirtschaftlichen Vergleich der Nutzfahrzeuge bilden.

### 3.1 Nutzfahrzeuge: Definition und Abgrenzung

„Das Nutzfahrzeug als Lastkraftwagen oder Lastzug hat die Aufgabe, eine Nutzlast mit möglichst geringem Aufwand über kürzere oder längere Strecken von Haus zu Haus zu transportieren.“<sup>11</sup> Die Nutzfahrzeuge gehören laut EG-Richtlinie 70/156/EWG der Fahrzeugklasse N an, beschrieben als „für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern“<sup>12</sup>. Unterteilt werden drei Klassen:

- N1: Für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von bis zu 3,5 Tonnen
- N2: Für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3,5 Tonnen bis zu 12 Tonnen.
- N3: Für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 12 Tonnen<sup>13</sup>

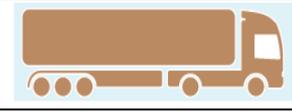
Im Verlauf der Arbeit bezieht sich der Begriff Nutzfahrzeug auf die Nutzfahrzeugklassen N1 und N2, da ab einem höheren Gewicht die Nutzfahrzeuge für die Elektrifizierung des Antriebsstrangs nicht geeignet sind (vgl. Kapitel 1). Hauptaugenmerk der Arbeit liegt auf Nutzfahrzeugen, deren Anwendungsbereich im urbanen und regionalen Verteilerverkehr liegt (vgl. Tab. 5).

---

<sup>11</sup> vgl. Hoepke, Breuer, S. 1.

<sup>12</sup> vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2012b.

<sup>13</sup> vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2012b.

Nutzfahrzeugklasse		Zulässiges Gesamtgewicht	Typisches Einsatzgebiet
	Leichte Nutzfahrzeuge (N1)	bis unter 3,5 t	Dienstleistungs- und Lieferfahrzeug
	Leichte LKW (N2)	ab 3,5 bis unter 7,5 t	Auslieferung im Nahverkehr
	Schwere nicht mautpflichtige LKW (N2)	ab 7,5 bis unter 12 t	Auslieferung im Regionalverkehr, Transport von Volumengütern
	Schwere LKW (N3)	ab 12 t	Als Motorwagen eines Gliederzuges im Güterfernverkehr, Baustellenverkehre
	Sattelzugmaschinen (in der Regel N3)	in der Regel bis 40 t oder 44 t	Güterfernverkehr

Tab. 5: Übersicht der Nutzfahrzeugklassen<sup>14</sup>

### 3.2 Antriebsvarianten von Nutzfahrzeugen

Der Antrieb ist die „Triebkraft, bewegendende Kraft“<sup>15</sup> beim Nutzfahrzeug. Es gibt eine Vielzahl von Antriebsvarianten für Nutzfahrzeuge. An den Antrieb werden eine Reihe von Anforderungen gestellt. Die wichtigsten Anforderungen sind die schnelle Regelbarkeit der Drehzahl und des Antriebsmoments für dynamische Fahrvorgänge. Der Antrieb muss, bei kleiner Bauform und geringem Gewicht, dynamischen Belastungen standhalten. Außerdem muss der Energieträger zum Betreiben des Antriebs ausreichend verfügbar und speicherbar sein, um eine hohe Reichweite des Fahrzeugs zu ermöglichen. Im vergangenen Jahrhundert hat sich in der Nutzfahrzeugindustrie der Hubkolben-Verbrennungsmotor gegenüber anderen Antriebsvarianten durchgesetzt.<sup>16</sup>

Abb. 3 zeigt die Anteile der in der Bundesrepublik Deutschland zugelassenen Nutzfahrzeuge Anfang 2012, differenziert nach ihrem Antriebskonzept. Dabei machen die Hubkolben-Verbrennungsmotoren mit ca. 99 % den größten Anteil aus. Der Anteil der anderen Antriebskonzepte von ca. 1 % ist im Vergleich dazu sehr gering.

<sup>14</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Lenz 2010, S. 19.

<sup>15</sup> vgl. Duden 2012a.

<sup>16</sup> vgl. Braess 2011, S. 158.

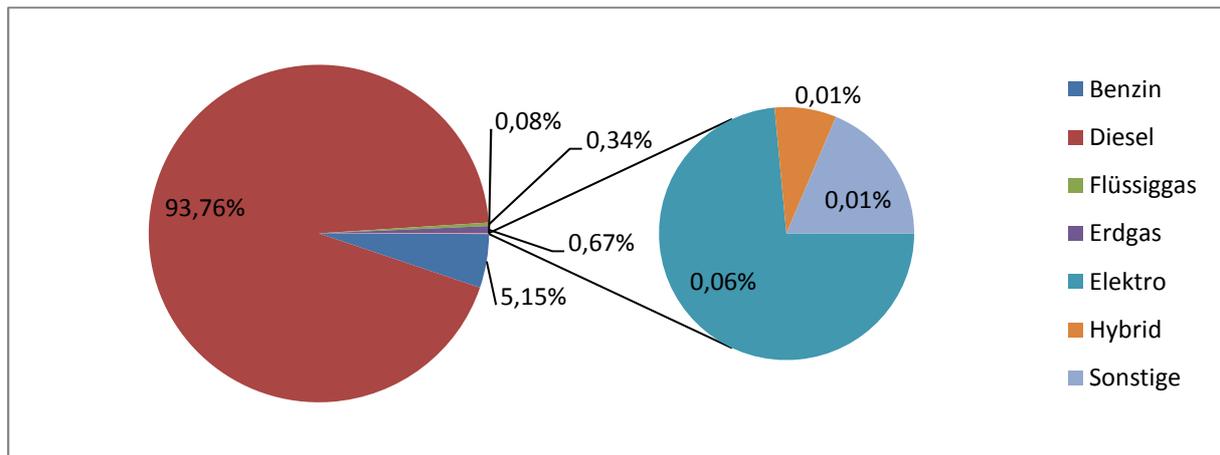


Abb. 3: Anteile zugelassener NFZ nach Antriebskonzept (Stand 1.1.2012)<sup>17</sup>

Der Hubkolben-Verbrennungsmotor funktioniert nach dem Prinzip des Otto- oder des Dieselmotors. Die Art der Zündung ist bei den Motorvarianten der Hauptunterschied (Dieselmotor – Selbstzündung, Ottomotor – Fremdzündung).<sup>18</sup> Ein Nischenprodukt ist der Wasserstoffverbrennungsmotor, er ist ähnlich aufgebaut wie der Ottomotor, wird aber mit Knallgas betrieben, das in der Brennkammer entzündet wird.<sup>19</sup>

Der Hybridantrieb ist ein kombiniertes Antriebskonzept aus Verbrennungs- und Elektromotor. Er nutzt die Vorteile beider Antriebe, wie schnelles Beschleunigen, hohe Reichweite, schnelles Nachtanken und Rückgewinnung der Bremsenergie, die je nach Energiespeicher in einem Akku, einer Batterie oder einem Kondensator gespeichert wird.<sup>20</sup> Im Folgenden wird von der Speicherung in einer Batterie ausgegangen. Es gibt unterschiedliche Ausprägungen der Hybridisierung, so wird unterschieden zwischen Parallel-Hybrid und Seriell-Hybrid. Beim Konzept des Parallel-Hybrids treibt der Elektromotor entweder parallel zum Verbrennungsmotor das Fahrzeug an, oder er befindet sich im Generatorbetrieb, um Energie zurückzugewinnen (Bremsen, Rollen).<sup>21</sup> Es gibt unterschiedlich starke Ausprägungen des Parallel-Hybrids. Es lassen sich Mikro-Hybrid (Start-Stop-Funktion), Mild-Hybrid (Bremsenergieerückgewinnung, Unterstützung beim Beschleunigen), Basic-Hybrid (wie Mild-Hybrid, nur wesentlich leistungsfähiger) und Voll-Hybrid (Trennkupplung, rein elektrisches Fahren möglich) unterscheiden.<sup>22</sup> Beim Seriell-Hybrid erfolgt der Antrieb des Fahrzeugs immer elektrisch. Die elektrische Energie wird von der Batterie bereitgestellt, die von einem Generator gespeist wird. Dieser wiederum wird von dem Verbrennungsmotor angetrieben.<sup>23</sup>

<sup>17</sup> Eigene Darstellung auf Datenbasis vom Kraftfahrt-Bundesamt 2012.

<sup>18</sup> vgl. Braess 2011, S. 158.

<sup>19</sup> vgl. Basshuysen 2007, S. 429.

<sup>20</sup> vgl. Voß 2005, S. 3.

<sup>21</sup> vgl. Voß 2005, S. 5.

<sup>22</sup> vgl. Voß 2005, S. 128–131.

<sup>23</sup> vgl. Braess 2011, S. 136.

Beim vollelektrischen Antriebskonzept erfolgt der Antrieb der Räder durch einen oder mehrere Elektromotoren. Man differenziert zwischen dem Speichermedium und der Energie für den Antrieb. Zum einen kann die Energie in einer leistungsstarken Batterie gespeichert werden, die vor dem Betrieb des Fahrzeugs am elektrischen Versorgungsnetz geladen werden muss, oder die Energie wird durch eine Brennstoffzelle mittels Wasserstoff bereitgestellt. Die Speicherung des flüssigen Wasserstoffs erfolgt in Hochdrucktanks. Im Brennstoffzellen-Stack wird der Wasserstoff in elektrische Energie umgewandelt und versorgt den Antrieb bzw. eine Batterie zur Zwischenspeicherung der Energie.<sup>24</sup>

Einen Überblick über die vorgestellten Antriebskonzepte und einige Untervarianten bietet Abb. 4. Es gibt weitere Kombinationen und Ausprägungen von Antriebsvarianten, diese werden hier aber nicht aufgeführt, da sie nur sehr geringe Unterschiede zu den hier vorgestellten Konzepten besitzen und sich aus ihnen ableiten lassen.

---

<sup>24</sup> vgl. Braess 2011, S. 113–121.

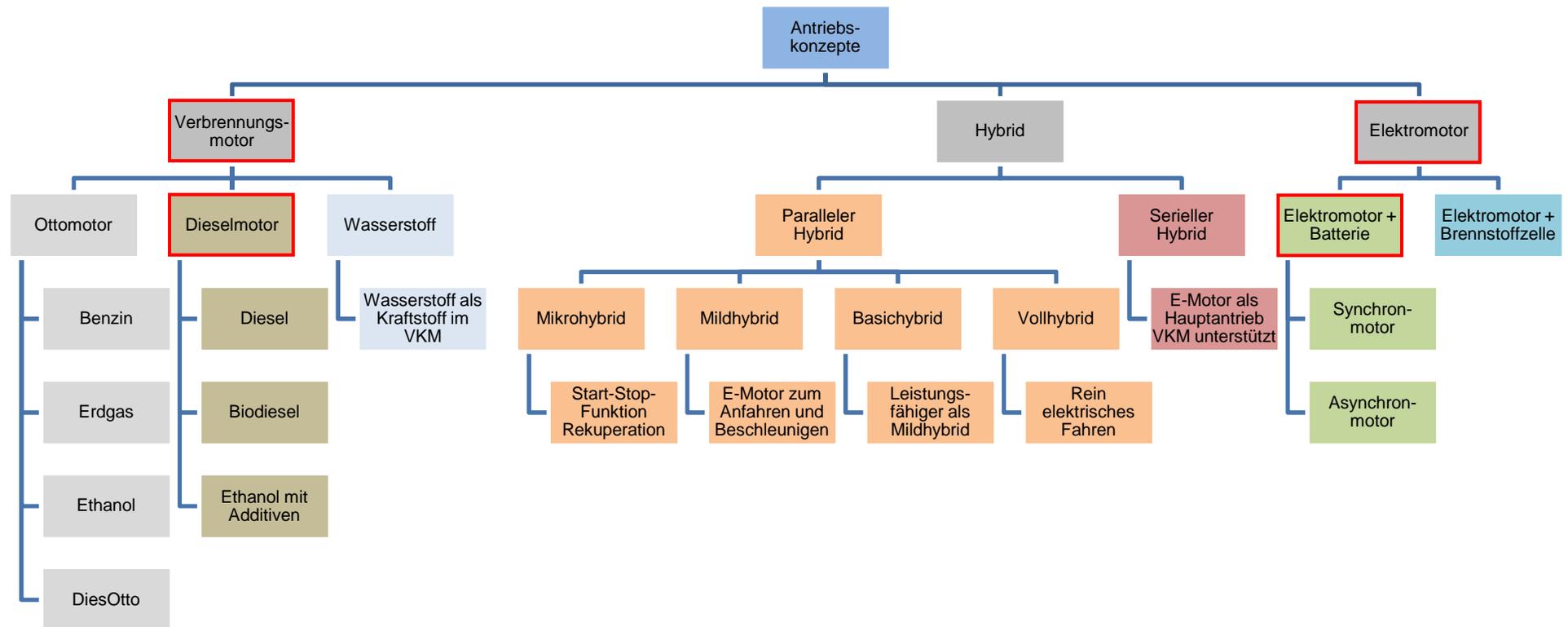


Abb. 4: Differenzierung unterschiedlicher Antriebskonzepte<sup>25</sup>

<sup>25</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: Abele 2009, S.2, Braess 2011, S. 158, Korthauer 2011, S. 47.

#### 3.2.1 Abgrenzung des Antriebskonzeptes

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden Nutzfahrzeuge mit konventionellem (Dieselverbrennungsmotor) und rein elektrischem Antrieb (Energiespeicher: Batterie) betrachtet (vgl. Abb. 4, rote Umrandung). Der Anteil der Nutzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor beträgt ca. 99% und liegt damit am höchsten. Bei den anderen Antriebsvarianten liegt der Anteil der elektrischen Antriebe mit 0,06% am höchsten was vergleichsweise niedrig ist gegenüber den konventionellen Antrieben (vgl. Abb. 3).

Es wird nur die batterieelektrische Antriebsvariante betrachtet, da eine flächendeckende Infrastruktur zur Betankung des elektrischen Nutzfahrzeugs mit Wasserstoff zurzeit nicht besteht. In Deutschland sind bis 2012 erst 15 Wasserstofftankstellen vorhanden.<sup>26</sup>

#### 3.2.2 Konventioneller Antrieb

Konventionell bedeutet „herkömmlich, hergebracht“<sup>27</sup>. Im Falle des Antriebs bezieht sich der Begriff in der vorliegenden Arbeit auf Otto- und Dieselmotoren, da diese die am weitesten verbreiteten Antriebe sind (vgl. Kapitel 3.2).

Das Getriebe ist neben dem Verbrennungsmotor innerhalb des Antriebsstrangs von besonderer Bedeutung, da es seine Schwächen kompensiert. Es ist verantwortlich für die optimalen Übersetzungen zum Beschleunigen des Wagens, zum Anpassen des geforderten Drehmoments an das Zugmoment und für das Rückwärtsfahren des Wagens.<sup>28</sup> Weitere Komponenten sind notwendig, um das Fahrzeug anzutreiben, dazu gehören:

- Anfahr- und Trennkupplung
- Achsgetriebe
- Differential für Antriebsachse
- Wellen, Gelenke
- Bedienelemente<sup>29</sup>

---

<sup>26</sup> vgl. Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2012.

<sup>27</sup> vgl. Duden 2012b.

<sup>28</sup> vgl. Braess 2011, S. 277.

<sup>29</sup> vgl. Braess 2011, S. 279.

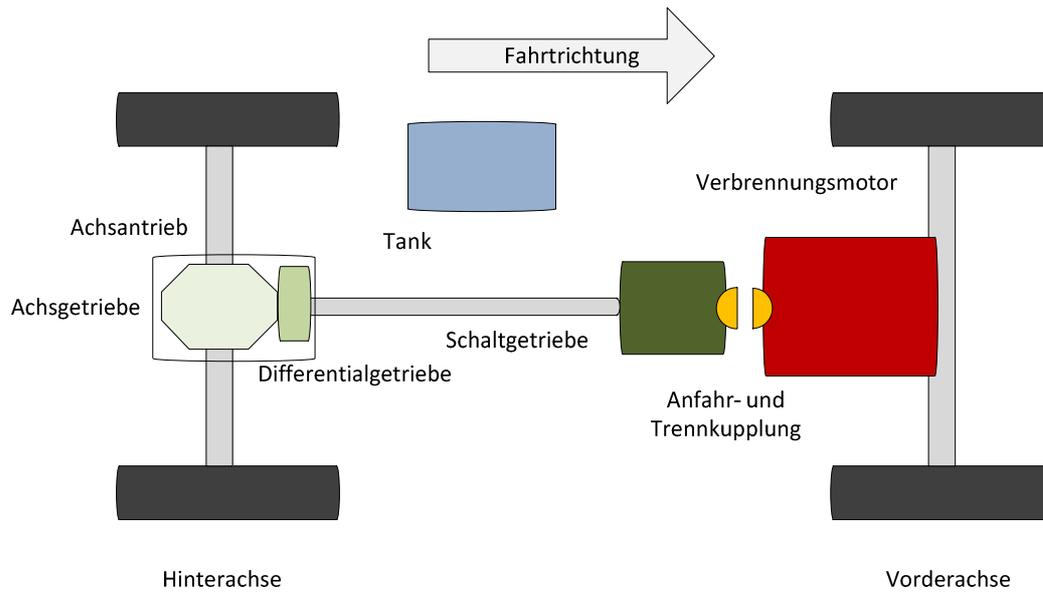


Abb. 5: Standardantrieb eines konventionellen Fahrzeugs<sup>30</sup>

Abb. 5 zeigt den schematischen Aufbau eines Antriebs. Es handelt sich hierbei um einen Standardantrieb, als Längsmotor und Heckantrieb ausgeführt. Mittels Verbrennung des Treibstoffs wird im Motor ein Drehmoment erzeugt. Das Schaltgetriebe ist in Reihe montiert und leitet das Drehmoment weiter. Vom Getriebeabtrieb wird das Drehmoment über eine Gelenkwelle auf das Hinterachsgetriebe mit integriertem Differentialgetriebe übertragen. Über die Hinterachswelle erfolgt der Antrieb der Räder. Zum Entkuppeln von Motor und Radantrieb befindet sich eine Anfahr- und Trennkupplung im Antriebsstrang. Der Tank dient als Speicher für den Kraftstoff.

Der Hauptunterschied zwischen Dieselmotor und Ottomotor ist die Art der Entzündung des Gemisches aus Treibstoff und Luft. Beim Ottomotor erfolgt die Zündung zeitlich gesteuert mittels Fremdzündung, wohingegen sich das Gemisch beim Dieselmotor durch die hohe Verdichtung und die daraus resultierende Temperatur entzündet.<sup>31</sup> Vor der Entzündung muss der Treibstoff aufbereitet werden, dabei wird er in die Brennkammer, in der sich bereits hochverdichtete Luft befindet, eingespritzt. Anschließend tritt die Selbstzündung ein.<sup>32</sup> Die bei der Verbrennung frei werdenden Kräfte werden im Triebwerk in ein Drehmoment umgesetzt und über die Abtriebswelle an das Schaltgetriebe weitergeleitet.

Im Fall des Schaltgetriebes werden die Gänge formschlüssig geschaltet. Zum Wechseln des Ganges muss der Kraftfluss zwischen Motor und Getriebe mittels Kupplung getrennt werden. Der Schaltvorgang ist abgeschlossen, wenn der vorherige Gang herausgenommen wurde,

<sup>30</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Pentz, Nitsch 2000, S. 160.

<sup>31</sup> vgl. Basshuysen, Schäfer 2005, S. 11.

<sup>32</sup> vgl. Braess 2011, S. 222.

die Synchronisation des neuen Schaltelements erfolgt ist und der neue Gang formschlüssig eingelegt wurde. Damit verschiedene Übersetzungen realisiert werden können, befindet sich eine Anzahl von Zahnradpaaren im Schaltgetriebe. Der Rückwärtsgang wird über ein Zwischenrad realisiert.<sup>33</sup>

Das Differentialgetriebe wird eingesetzt, um Drehzahldifferenzen, die beispielsweise aus Kurvenfahrten resultieren, zwischen den Rädern auszugleichen. Das Rad mit dem niedrigeren Reibbeiwert bestimmt den Ausgleich, es rutscht bei zu hohem Drehmoment durch. Das Differentialgetriebe bildet gemeinsam mit dem Achsantrieb das Achsgetriebe.<sup>34</sup>

#### 3.2.3 Elektrischer Antrieb

Im Bereich der Elektrofahrzeuge gibt es unterschiedliche Grade der Elektrifizierung, wie im Kapitel 3.2 bereits beschrieben. Hier wird nur der reine Elektroantrieb mit Batterie als Speichermedium betrachtet. Die wichtigsten Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs sind der Elektromotor mit entsprechendem Getriebe, die Batterie zum Speichern der Antriebsenergie, die Ladeelektronik und die Leistungselektronik.<sup>35</sup>

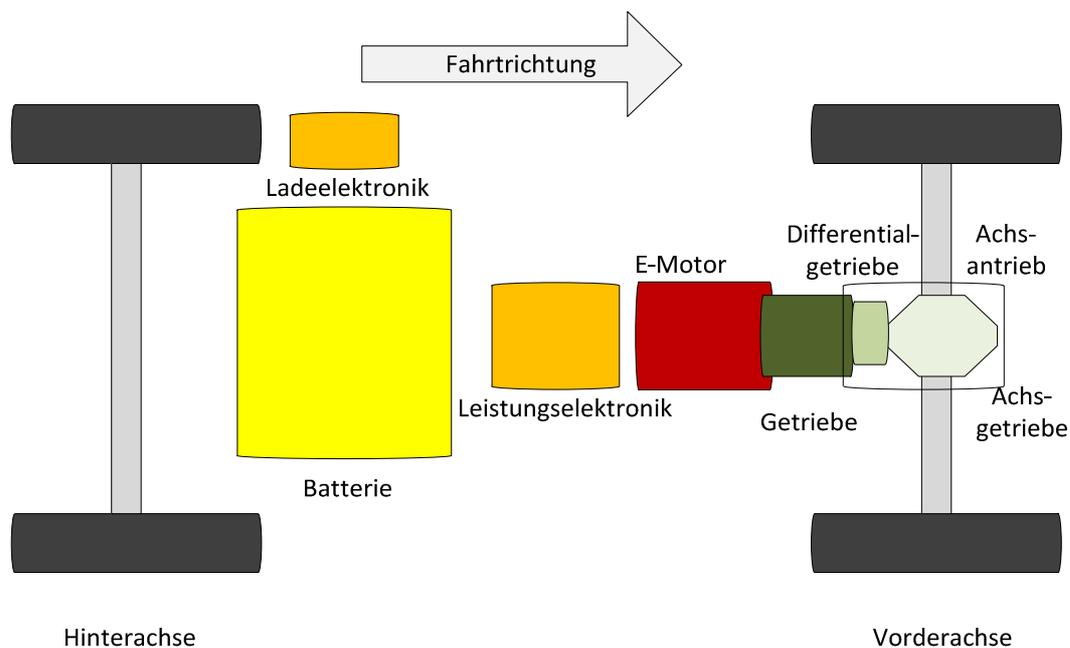


Abb. 6: Elektrisches Fahrzeug mit Frontantrieb<sup>36</sup>

Abb. 6 zeigt die Prinzipdarstellung eines vollelektrischen Antriebsstrangs, der als Frontantrieb ausgeführt ist. In diesem Fall wird das Fahrzeug mit einem zentralen Elektromotor und einem Getriebe angetrieben. Das Differential und der Achsantrieb bilden wie beim konven-

<sup>33</sup> vgl. Braess 2011, S. 287.

<sup>34</sup> vgl. Braess 2011, S. 279.

<sup>35</sup> vgl. Hüttl, Pischetsrieder, Spath 2010, S. 77.

<sup>36</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Braess 2011, S. 112.

tionellen Antriebsstrang das Achsgetriebe. Es leitet das Drehmoment an die Räder der Vorderachse weiter.<sup>37</sup> Als Energiespeicher dient eine wiederaufladbare Batterie, die über die Ladeelektronik geladen wird. Sie stellt die Energie für den Elektromotor bereit, der über die Leistungselektronik geregelt wird. Neben der Bereitstellung der Energie hat die Batterie die Aufgabe, die durch Rekuperation gewonnene Energie zu speichern. In diesem Fall wird der Elektromotor nicht als Motor, sondern als Generator betrieben.<sup>38</sup>

Elektromotoren sind für den Einsatz in Nutzfahrzeugen gut geeignet, da sie einen großen Drehzahl- und Drehmomentbereich abdecken und dabei leise mit hohem Wirkungsgrad arbeiten. Bereits im Stillstand ist fast das komplette Drehmoment verfügbar und bleibt bis in den hohen Drehzahlbereich erhalten. Elektromotoren sind kurzzeitig überlastbar, sodass für kurze Beschleunigungsmanöver zusätzlich Drehmoment zur Verfügung steht. Die genannten positiven Eigenschaften des Motors begünstigen die Auswahl des Getriebes. Meist ist ein mehrstufiges Schaltgetriebe nicht nötig. Für den Einsatz im Fahrzeug kommen drei unterschiedliche Typen von Elektromotoren zum Einsatz: Gleichstrommotoren, Drehstrommotoren und Spezialmotoren. Gleichstrommotoren haben heute nur noch eine sehr geringe Bedeutung in der Fahrzeugindustrie. Sie sind zwar preiswert, aber haben eine geringe Leistungsdichte, eine geringere Drehzahl und einen geringen Wirkungsgrad.<sup>39</sup> Heutzutage werden in Elektrofahrzeugen hauptsächlich Drehstrommotoren verbaut. Voraussetzung für den Einsatz ist die Bereitstellung von Wechselspannung durch die Leistungselektronik mittels eines Pulswechselrichters. Während der Energierückgewinnung, z.B. beim Bremsen, wird der erzeugte Wechselstrom aus dem Drehstrommotor von der Leistungselektronik mit einem Vierquadrantensteller in Gleichstrom umgewandelt und in der Batterie gespeichert.<sup>40</sup> Vorteile des Drehstrommotors sind die höhere Drehzahl und ein hoher Wirkungsgrad über einen breiten Funktionsbereich.<sup>41</sup> Es gibt eine Anzahl an unterschiedlichen Spezialmotoren, die auf dem Prinzip des Gleich- oder Drehstrommotors basieren, bei ihnen sind einige Komponenten anders ausgeführt.

Die Batterie ist die teuerste Komponente des Elektrofahrzeugs. Ihre Kapazität bestimmt entscheidend die Reichweite, das Gewicht und die Kosten des Elektrofahrzeugs. Verbaut werden je nach Fahrzeugklasse Batterien mit einer Kapazität von 15–35 kWh.<sup>42</sup>

---

<sup>37</sup> vgl. Braess 2011, S. 112.

<sup>38</sup> vgl. Voß 2005, S. 80.

<sup>39</sup> vgl. Braess 2011, S. 113–114.

<sup>40</sup> vgl. Wallentowitz, Freialdenhoven, Olschewski 2010, S. 79.

<sup>41</sup> vgl. Stan 2012, S. 273–274.

<sup>42</sup> vgl. Braess 2011, S. 116.

Es gibt unterschiedlichste Batteriesysteme, die wichtigsten Systeme mit den Merkmalen Energiedichte, Leistungsdichte, Lebensdauer und Kosten zeigt Tab. 6. Die Werte der Batteriesysteme variieren. „Die große Hoffnung der Automobilindustrie liegt zurzeit auf der Lithium-Technologie.“<sup>43</sup> Sie bietet eine hohe Leistungs- und Energiedichte bei einer relativ hohen Lebensdauer.

Batterietyp	Energiedichte	Leistungsdichte	Lebensdauer		Kapazitätskosten
	Wh/kg	W/kg	Zyklen	Jahre	€/kWh
<b>Blei</b>	30–35	200–300	300–1500	2–3	100–150
<b>Nickel/Cadmium</b>	35–50	200–300	>2000	3–10	250
<b>Nickel/Metallhybrid</b>	60–75	200–300	>2000	10	300–350
<b>Natrium/Nickelchlorid</b>	100–120	160	1000	5–10	<250
<b>Lithium/Ionen</b>	120–150	400–600	2000	10	300–600
<b>Lithium/Polymer</b>	110–130	ca. 300	<600	k.A.	300
<b>Zink/Luft</b>	100–220	ca. 100	k.A.	k.A.	60
<b>Zielwerte</b>	100–200	75–200	1000	10	100–150

Tab. 6: Batteriesysteme im Vergleich<sup>44</sup>

Zum Laden der Batterie wird meistens die On-Board-Ladeelektronik verwendet. Der Wechselstrom aus dem öffentlichen Stromnetz wird dabei in Gleichstrom umgewandelt und in der Batterie gespeichert. Die Ladeleistung der Ladeelektronik hängt stark von den örtlichen Begebenheiten (Netzspannung, Netzstrom) ab. Der Ladevorgang an einer gewöhnlichen 230-Volt-Steckdose bei 3,6 kWh kann von fünf bis zu zehn Stunden dauern.<sup>45</sup> Steht ein Kraftstromanschluss (400 V/32 A) mit einer fest installierten Schnellladestation zur Verfügung, dauert der Ladezyklus unter Berücksichtigung der Batteriekapazität im besten Fall nur 30 Minuten. Allerdings muss die Batterietechnik für Schnellladung ausgelegt sein.<sup>46</sup>

### 3.2.4 Gegenüberstellung der vorgestellten Antriebe

Beim Vergleich der Karosserien von elektrischen und konventionellen Nutzfahrzeugen weisen diese meist wenige Unterschiede auf. Oft ist auf den ersten Blick nicht zu erkennen, dass es sich um ein elektrisches Nutzfahrzeug handelt. Werden die vorgestellten Antriebsvarianten gegenübergestellt, so ergeben sich deutliche Unterschiede. In Tab. 7 werden die Merkmale des konventionellen und elektrischen Antriebs gegenübergestellt. Die Hauptunterschiede bestehen demnach im Bereich des Motors und der damit verbundenen Energieversorgung. Beim konventionellen Antrieb wird die Energie in chemischer Form als Benzin oder Dieseltreibstoff im Tank gespeichert. Die Speicherung der Energie erfolgt beim elektrischen

<sup>43</sup> vgl. Hrach, Cifrain 2011, S. 18.

<sup>44</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Braess 2011, S. 117.

<sup>45</sup> vgl. Braess 2011, S. 118.

<sup>46</sup> vgl. Dominsky 2012, S. 22.

Antrieb in elektrischer Form in der Batterie. Folglich unterscheiden sich die Fahrzeuge auch im Auffüllen des Energiespeichers. Konventionelle Nutzfahrzeuge werden in der Regel an der Tankstelle innerhalb von wenigen Minuten über den Tankeinfüllstutzen betankt. Elektrische Nutzfahrzeuge können ihren Energiespeicher auf zwei Arten füllen: indem die Batterie mittels Ladeelektronik aufgeladen wird oder durch Energierückgewinnung beim Bremsen. Die Bereitstellung des Drehmoments erfolgt beim elektrischen Antrieb mittels Elektromotor, dieser deckt einen breiten Drehmoment- und Drehzahlbereich ab, sodass meist kein mehrstufiges Getriebe benötigt wird. Der konventionelle Antrieb wird mit einem mehrstufigen Schaltgetriebe ausgeführt.

<b>Merkmal</b>	<b>Komponente</b>	
	<b>konventioneller Antrieb</b>	<b>elektrischer Antrieb</b>
<b>Motor</b>	Otto-/Dieselmotor	Elektromotor
<b>Drehmoment-änderung</b>	Mehrstufiges Schaltgetriebe	Einstufiges Getriebe, Leistungselektronik
<b>Kraftübertragung an Räder</b>	Achsgetriebe	Achsgetriebe
<b>Kraftstoff</b>	Diesel	Strom
<b>Energie</b>	Chemisch	Elektrisch
<b>Energiespeicher</b>	Tank	Batterie, Akkumulator
<b>Auffüllen des Energiespeichers</b>	Tankeinfüllstutzen	Ladeelektronik, Rekuperation
<b>Energierückgewinnung</b>	Nicht möglich	Elektromotor Leistungselektronik

Tab. 7: Gegenüberstellung der vorgestellten Antriebsvarianten

Die hier vorgestellten technischen Unterschiede der Antriebe wirken sich sowohl auf die Anschaffungskosten als auch auf die Betriebskosten aus. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird näher auf die sich daraus ergebenden Kosteneinflussgrößen eingegangen (vgl. Kapitel 4).

### 3.3 Grundlagen der Investitionsrechnung

Dieses Kapitel dient dazu, sich mit den Grundbegriffen und den klassischen Verfahren der Investitionsrechnung vertraut zu machen. Im Folgenden wird verstärkt auf die Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung eingegangen, da sie die Grundlage dieser Arbeit für den Vergleich der Nutzfahrzeuge bilden. Es gibt unterschiedliche Definitionen des Begriffs Investition. Ein Beispiel liefert folgende Definition nach Heesen: „Jede Auszahlung, mit der sich die Erwartung verbindet, Einzahlungen erzielen zu können, kann als Investition verstanden werden.“<sup>47</sup> Der Investitionsbegriff kann laut dieser Definition sehr weit gefasst werden. Im Folgenden soll sich der Begriff auf die „Anlage finanzieller Mittel in Anlagegüter“<sup>48</sup> beschränken.

Anlagegüter sind Güter mit längerfristiger Nutzungsdauer, wie Immobilien, Maschinen oder Fahrzeuge. Es gibt unterschiedlichste Gliederungsmerkmale für Investitionen. Kruschwitz beschränkt sich beispielsweise auf die Gliederung nach Art des Vermögens und der Wirkung der Investition, wie in Tab. 8 dargestellt.

Gliederungsmerkmal	Gliederungsform	Investitionsart
Art des Vermögensgegenstandes	Finanzvermögen	Finanzinvestitionen
	Sachvermögen	Real- oder Sachinvestitionen
	Immaterielles Vermögen	Immaterielle Investitionen
Wirkung der Investition	Keine Kapazitätserhöhung	Ersatzinvestitionen
	Kapazitätserhöhung	Rationalisierungs- und Erweiterungsinvestitionen

Tab. 8: Gliederung von Investitionsarten nach Kruschwitz<sup>49</sup>

Ähnlich wie in der Unternehmensbilanz wird bei der Art des Vermögensgegenstandes nach Finanz-, Sach- und immateriellen Investitionsgütern unterschieden. Beispiele für Finanzinvestitionsgüter sind Aktien oder Darlehen. Unter Sachinvestitionsgütern versteht man beispielsweise Immobilien und Maschinen. Immaterielle Investitionsgüter beinhalten zum Beispiel Patente und Lizenzen.<sup>50</sup> Je nach Absicht des Investors kann die Investition unterschiedliche Wirkungen haben. Die Ersatzinvestition beinhaltet keine Erhöhung der Kapazität. Es wird beispielsweise eine alte Maschine gegen eine neue ausgetauscht. Bei der Erweiterungsinvestition beabsichtigt der Investor eine Steigerung der Kapazität.<sup>51</sup>

<sup>47</sup> vgl. Walz, Gramlich 2004, S. 11.

<sup>48</sup> vgl. Heesen 2010, S. 11.

<sup>49</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Kruschwitz 2009, S. 15.

<sup>50</sup> vgl. Kruschwitz 2009, S. 15.

<sup>51</sup> vgl. Kruschwitz 2009, S. 15.

#### 3.3.1 Investitionsrechnung

Es gibt eine Vielzahl von Entscheidungssituationen in der Investitionstheorie, wobei die Problemstellungen sehr unterschiedlich gelagert sind. Die Investitionsrechnung bietet verschiedene Verfahren, um diese Entscheidungssituationen zu bearbeiten.

Abb. 7 gibt einen Überblick über mögliche Entscheidungssituationen in der Investitionstheorie, die im Folgenden näher erläutert werden.

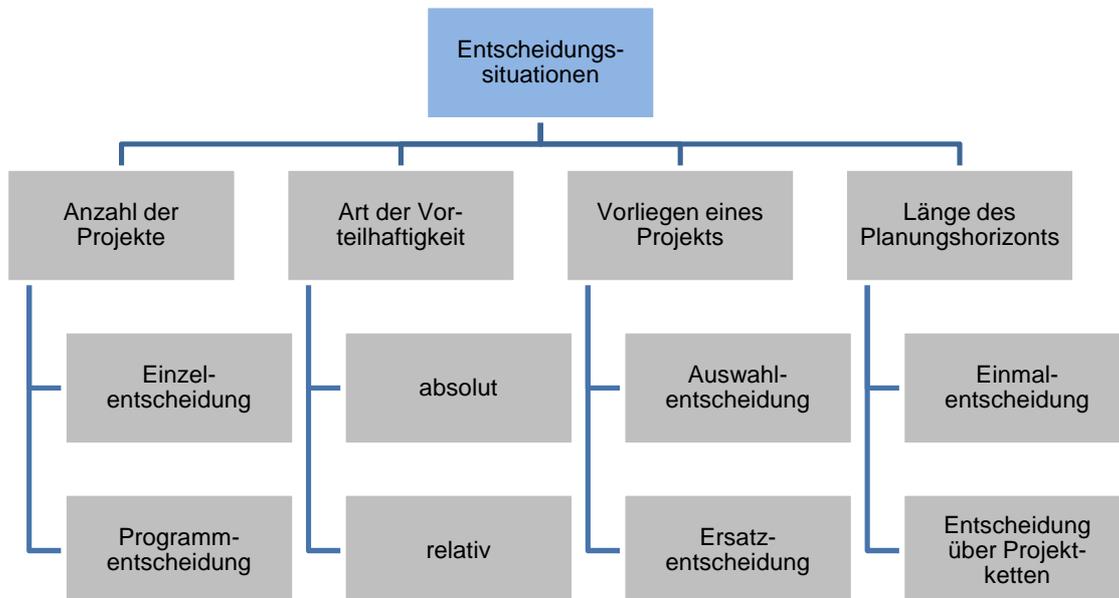


Abb. 7: Mögliche Entscheidungssituationen in der Investitionstheorie<sup>52</sup>

**Anzahl der Projekte:** Bei der Beurteilung von Investitionen können Einzelinvestitionen oder komplette Investitionsprogramme betrachtet werden. Steht dem Investor ausreichend Kapital zur Verfügung, so kann das Problem der Programmentscheidung unberücksichtigt bleiben, da sich der Investor nicht auf eine Auswahl von Investitionen beschränken muss, sondern alle Investitionen, je nach Vorteilhaftigkeit durchführen kann.<sup>53</sup>

**Art der Vorteilhaftigkeit:** Bei der Untersuchung eines Investitionsprojektes auf absolute Vorteilhaftigkeit wird ein isoliertes Projekt betrachtet. Sie liegt vor, „wenn eine Investition der Unterlassensalternative vorzuziehen ist.“<sup>54</sup> Bei der Untersuchung auf relative Vorteilhaftigkeit erfolgt immer ein Vergleich unterschiedlicher Investitionsalternativen. Die Alternative mit den höchsten Einkommens- und Vermögensvorteilen ist den anderen vorzuziehen. Bei ihr besteht relative Vorteilhaftigkeit. Eine Untersuchung auf relative Vorteilhaftigkeit ist nur sinnvoll, wenn die absolute Vorteilhaftigkeit der einzelnen Alternativen vorliegt.<sup>55</sup>

<sup>52</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Walz, Gramlich 2004, S. 24.

<sup>53</sup> vgl. Walz, Gramlich 2004, S. 24–25.

<sup>54</sup> vgl. Götze, Bloech 2002, S. 49.

<sup>55</sup> vgl. Walz, Gramlich 2004, S. 25.

**Vorliegen eines Projekts:** Eine Auswahlentscheidung liegt vor, wenn noch keine der möglichen Investitionsalternativen beim Investor durchgeführt wurde (z.B. Neukauf einer Maschine). Eine Ersatzinvestition liegt vor, wenn eine bereits bestehende Investition durch eine neue ausgetauscht wird (z.B. Ersetzen einer alten Maschine durch eine neue).<sup>56</sup>

**Länge des Planungshorizonts:** Bei der Untersuchung der Investition kann der Planungshorizont variiert werden. Es besteht die Möglichkeit, eine Investition nur über die Nutzungsdauer zu betrachten oder darüber hinaus. Je nachdem wie lange der Zeitraum gewählt wird, müssen nicht mehr einzelne Investitionen, sondern Investitionsketten betrachtet werden.<sup>57</sup>

Je nach Entscheidungssituation ist das passende Verfahren auszuwählen. Es gibt eine Vielzahl von Investitionsrechenverfahren. Wie bei den Investitionsarten lässt sich auch hier nach unterschiedlichsten Kriterien gliedern. Die Verfahren lassen sich einteilen nach:

- Verfahren mit oder ohne Berücksichtigung des Risikos
- Qualitative und quantitative Verfahren
- Verfahren mit eindimensionaler und mehrdimensionaler Zielfunktion
- Verfahren zur Beurteilung von Einzelinvestitionen oder Investitionsprogrammen

Weiter lassen sich die Verfahren zu Verfahrensgruppen zusammenfassen:

- Statische Investitionsrechnungsverfahren
- Dynamische Investitionsrechnungsverfahren
- Simultanmodelle des Kapitalbudgets
- Verfahren zur Berücksichtigung des Risikos<sup>58</sup>

Da im weiteren Verlauf der Arbeit vertieft auf die Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung eingegangen wird, beschränkt sich die Darstellung der Verfahren auf diejenigen, die bei Datensicherheit für Einzelinvestitionen eingesetzt werden. Abb. 8 gibt einen Überblick über die Verfahren.

---

<sup>56</sup> vgl. Walz, Gramlich 2004, S. 25–26.

<sup>57</sup> vgl. Walz, Gramlich 2004, S. 26–27.

<sup>58</sup> vgl. Poggensee 2009, S. 16.

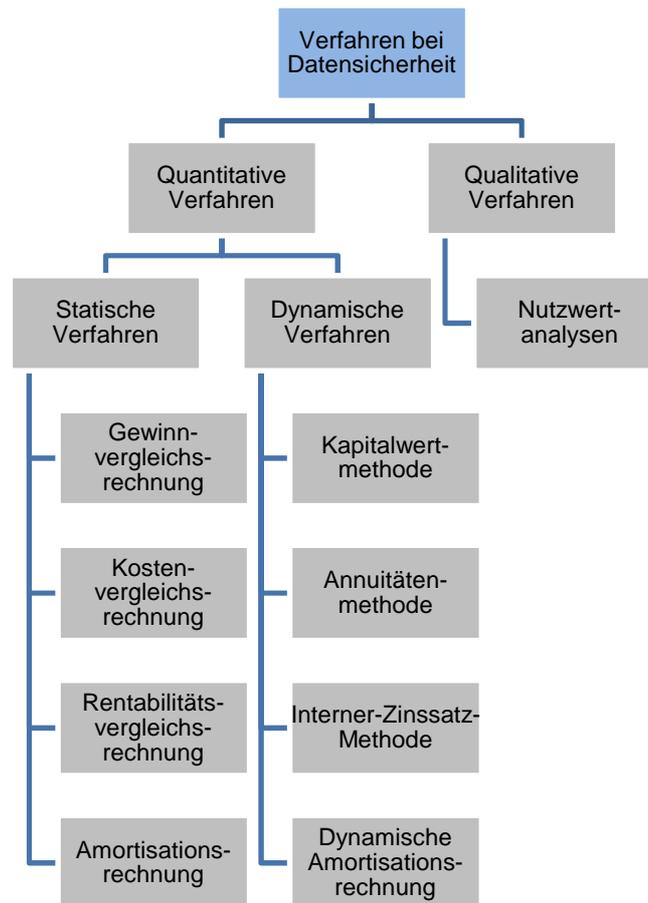


Abb. 8: Ausgewählte Investitionsrechenverfahren bei Datensicherheit

#### 3.3.2 Statische Investitionsrechnung

Zu den klassischen Verfahren der statischen Investitionsrechnung zählen:

- Gewinnvergleichsrechnung
- Kostenvergleichsrechnung
- Renditevergleichsrechnung
- Amortisationsrechnung<sup>59</sup>

„Alle statischen Verfahren sind periodische Verfahren, betrachten also nur die wirtschaftliche Situation in einer einzigen Periode, also nur in einem einzigen Jahr.“<sup>60</sup> Das bedeutet, dass die zeitliche Struktur der Erfolgsströme nicht berücksichtigt wird. In der Realität fallen die Ein- und Auszahlungen allerdings meist nicht in einer Periode an. Zu Beginn der Investition stehen meist große Anfangsauszahlungen geringen Einzahlungen gegenüber. Dieses ändert sich im Verlauf der Zeit, sodass geringe Auszahlungen beispielsweise für Betriebskosten großen Einzahlungen aus Absätzen oder Dienstleistungen gegenüberstehen. Um dieser

<sup>59</sup> vgl. Kruschwitz 2009, S. 31.

<sup>60</sup> vgl. Poggensee 2009, S. 39.

Problematik zu begegnen, bedienen sich die statischen Verfahren durchschnittlicher Erfolgsgrößen. Der Vorteil der Verfahren liegt in der Einfachheit der Rechenverfahren und in dem geringen Aufwand der Datenbeschaffung (aus dem Rechnungswesen).<sup>61</sup> Problematisch sind die Verfahren, wenn es darum geht, Investitionsalternativen so zu definieren, dass diese vergleichbar sind.<sup>62</sup> Statische Verfahren sollten aus diesem Grunde nur angewendet werden, wenn sich die Investitionen gegenseitig ausschließen und für die gleiche Nutzungsdauer vorgesehen sind.<sup>63</sup>

Die einzelnen Verfahren der statischen Investitionsrechnung werden hier nicht weiter vorgestellt, da sie in der vorliegenden Arbeit nicht zur Anwendung kommen.

#### 3.3.3 Dynamische Investitionsrechnung

Wie bereits aus Abb. 8 hervorgeht, gehören zu den klassischen Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung:

- Kapitalwertmethode
- Annuitätenmethode
- Interne-Zinssatz-Methode
- Dynamische Amortisationsrechnung

Die dynamischen Verfahren setzen an den Kritikpunkten der statischen Verfahren an.<sup>64</sup> Der grundlegende Unterschied zwischen den Verfahrensgruppen ist die Betrachtungsweise über den zeitlichen Verlauf der Investition. Im Gegensatz zur einperiodischen Betrachtungsweise der statischen Verfahren betrachten die dynamischen Verfahren mehrere Perioden. Die unterschiedlichen Ansätze der Verfahren haben großen Einfluss auf die Interpretierbarkeit der Ergebnisse.<sup>65</sup> In der Praxis werden dynamische Verfahren öfter eingesetzt als statische, da sie eine höhere Aussagekraft und eine höhere Genauigkeit besitzen. Der Grund dafür ist die differenzierte Betrachtungsweise der Ein- und Auszahlungsströme über die einzelnen Perioden der gesamten Nutzungsdauer und die Anwendung finanzmathematischer Methoden. Die zeitliche Bedeutung der Zahlungsströme wird durch Verzinsung erreicht, wobei der Kalkulationszinssatz vom Unternehmen festzulegen ist.<sup>66</sup>

---

<sup>61</sup> vgl. Poggensee 2009, S. 39.

<sup>62</sup> vgl. Kruschwitz 2009, S. 31.

<sup>63</sup> vgl. Poggensee 2009, S. 40.

<sup>64</sup> vgl. Kruschwitz 2009, S. 43.

<sup>65</sup> vgl. Walz, Gramlich 2004, S. 36.

<sup>66</sup> vgl. Olfert, Reichel 2009, S. 185–186.

3.3.3.1 Grundlagen der Finanzmathematik

Zum besseren Verständnis der dynamischen Verfahren erfolgt hier ein Einschub aus der finanzmathematischen Theorie. Diese besagt, dass sich Ein- und Auszahlungen über die Zeit verschieben lassen. Für die Investitionsrechnung bedeutet dieses, dass sich Zahlungsströme unter Beachtung von Zins und Zinseszins auf dem Zeitstrahl zeitlich verschieben lassen.<sup>67</sup>

Erfolgt die Verschiebung in Richtung Zukunft (auf dem Zeitstrahl nach rechts), so spricht man vom Aufzinsen (vgl. Abb. 8). Es ergibt sich der sogenannte Endwert. Er gibt an, welchen Wert eine Zahlung am Ende der ausgewählten Periode hat bzw. mehrere Zahlungen am Ende der Periode haben.<sup>68</sup> Der Endwert ergibt sich durch Multiplikation der Zahlung mit dem Aufzinsungsfaktor. Bei einmaliger Zahlung gilt folgende Formel:

$$K_n = K_0 * q^n \tag{1}$$

oder

$$K_n = K_0 * (1+i)^n \tag{2}$$

- $K_n$  = Kapital am Ende des n-ten Jahrs
- $K_0$  = Wert zum Zeitpunkt  $t_0$
- $q^n$  = Aufzinsungsfaktor
- $i$  = Kalkulationszinssatz

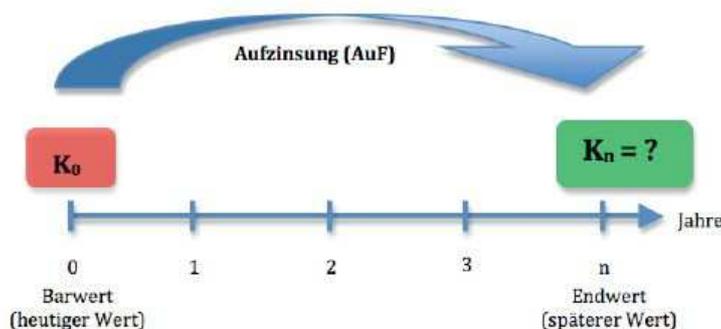


Abb. 9: Berechnung des Endwerts mittels Aufzinsungsfaktors<sup>69</sup>

Der Endwert mehrerer gleich großer Zahlungen am Ende der Betrachtungsperiode lässt sich mittels Endwertfaktor (EWF) berechnen. Der Endwert ergibt sich durch Multiplikation der Zahlung mit dem Endwertfaktor (vgl. Abb. 10).<sup>70</sup>

<sup>67</sup> vgl. Poggensee 2009, S. 116.

<sup>68</sup> vgl. Olfert, Reichel 2009, S. 189.

<sup>69</sup> Quelle: Simon 2012.

$$K_n = g * \frac{q^n - 1}{q - 1} \quad (3)$$

oder

$$K_n = g * \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (4)$$

$K_n$  = Endwert

$g$  = Wert zum Zeitpunkt  $t_0$

$\frac{q^n - 1}{q - 1}$  = Endwertfaktor

$i$  = Kalkulationszinssatz

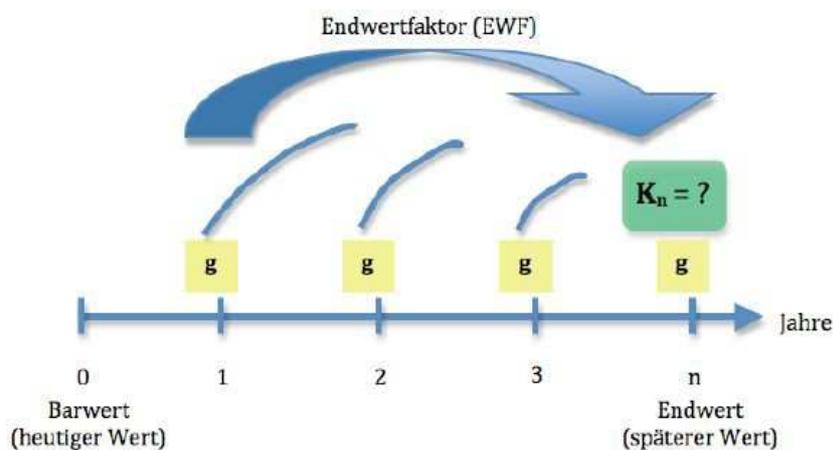


Abb. 10: Berechnung des Endwerts mittels Endwertfaktors<sup>71</sup>

Erfolgt eine Verschiebung zukünftiger Zahlungen in die Gegenwart (auf dem Zeitstrahl nach links), spricht man vom Abzinsen oder auch Diskontieren (vgl. Abb. 11). Durch Abzinsen ergibt sich der Barwert. Bei einer einzelnen Zahlung errechnet sich der Barwert durch die Multiplikation der zukünftigen Zahlung mit dem Abzinsungsfaktor.<sup>72</sup>

$$K_0 = K_n * q^{-n} \quad (5)$$

oder

$$K_0 = K_n * (1+i)^{-n} \quad (6)$$

<sup>70</sup> vgl. Olfert, Reichel 2009, S. 190.

<sup>71</sup> Quelle: Simon 2012.

<sup>72</sup> vgl. Olfert, Reichel 2009, S. 186–187.

- $K_n$  = Kapital am Ende des n-ten Jahrs  
 $K_0$  = Barwert  
 $q^{-n}$  = Abzinsungsfaktor  
 $i$  = Kalkulationszinssatz

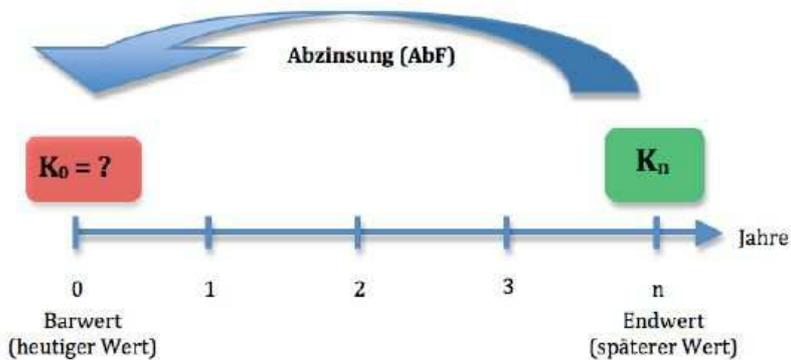


Abb. 11: Berechnung des Barwerts mittels Abzinsungsfaktors<sup>73</sup>

Der Barwert errechnet sich bei mehreren zukünftigen Zahlungen gleicher Größe mittels Diskontierungssummenfaktor (DSF) (vgl. Abb. 12). Durch Multiplikation von Diskontierungssummenfaktor und Zeitwert der unterschiedlichen Zahlungen ergibt sich der Barwert.<sup>74</sup>

$$K_0 = g * \frac{q^n - 1}{q^n(q - 1)} \quad (7)$$

oder

$$K_0 = g * \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (8)$$

- $K_0$  = Barwert  
 $g$  = Zahlungen  
 $\frac{q^n - 1}{q^n(q - 1)}$  = Diskontierungssummenfaktor  
 $i$  = Kalkulationszinssatz

<sup>73</sup> Quelle: Simon 2012.

<sup>74</sup> vgl. Olfert, Reichel 2009.

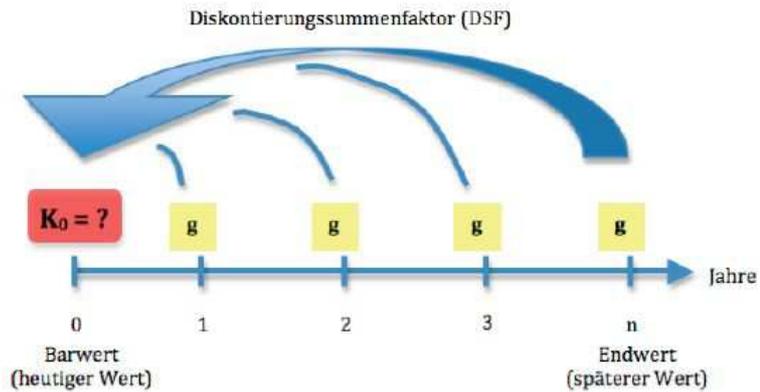


Abb. 12: Berechnung des Barwerts mittels Diskontierungssummenfaktors<sup>75</sup>

#### 3.3.3.2 Bestimmung des Kalkulationszinssatzes

Der Kalkulationszinssatz wird bestimmt von den unternehmerischen Wagnissen, einem Risikoaufschlag und der geforderten Mindestverzinsung des Investors für die Investition. Die Mindestverzinsung ergibt sich beim Einsatz von Eigenkapital für die Investition durch die Habenzinsen beim Anlegen der Investitionssumme auf der Bank. Bei Finanzierung der Investition durch Fremdkapital ergibt sie sich durch die Sollzinsen für die Kreditaufnahme. Der prozentuale Aufschlag für Risiko und unternehmerische Wagnisse hängt stark von Unternehmen und Branche ab.<sup>76</sup>

---

<sup>75</sup> Quelle: Simon 2012.

<sup>76</sup> vgl. Schmeisser u. a. 2009, S. 172–173.

#### 3.3.3.3 Kapitalwertmethode

Diese Methode beurteilt Investitionsalternativen nach deren Kapitalwerten ( $C_0$ ). Becker definiert den Kapitalwert wie folgt: „Der Kapitalwert einer Investition bestimmt sich durch Diskontierung der zu den einzelnen Zeitpunkten gegebenen Einzahlungen und Auszahlungen. Dabei erfolgt die Abzinsung (Diskontierung) mit dem geeigneten Zinssatz.“<sup>77</sup> Die Kapitalwertmethode bestimmt also den Gegenwartswert einer Investition. Der Kapitalwert ist eine absolute Größe, die den Überschuss der Investition zum Zeitpunkt Null ermittelt.<sup>78</sup>

Unter Berücksichtigung des gewählten Kalkulationszinssatzes gilt:

- Ist der Kapitalwert einer Investition positiv, wird das über die Betrachtungsperioden investierte Kapital zurückgewonnen und ein Gewinn erwirtschaftet (absolut vorteilhaft)
- Bei einem Kapitalwert von null wird das investierte Kapital zurückgewonnen, aber kein Überschuss erwirtschaftet (noch absolut vorteilhaft)
- Ist der Kapitalwert einer Investition negativ, wird das eingesetzte Kapital nicht zurückgewonnen (absolut unvorteilhaft)

Mithilfe der Kapitalwertmethode lassen sich Investitionen bezüglich

- absoluter Vorteilhaftigkeit ( $C_0 \geq 0$ ),
- relativer Vorteilhaftigkeit ( $C_{01} \geq C_{02}$ )
- optimalem Ersatzzeitpunkt ( $C_{0n} = \max.$ )

beurteilen.<sup>79</sup>

Nach Olfert lässt sich der Kapitalwert einer Investition mit folgender Gleichung errechnen:<sup>80</sup>

$$C_0 = \frac{e_1 - a_1}{q^1} + \frac{e_2 - a_2}{q^2} + \frac{e_3 - a_3}{q^3} + \dots + \frac{e_n - a_n}{q^n} + \frac{L}{q^n} - a_0 \quad (9)$$

$C_0$	=	Kapitalwert
$e$	=	Einzahlung
$a$	=	Auszahlung
$q^{-n}$	=	Abzinsungsfaktor
$a_0$	=	Anfangsauszahlung
$L$	=	Liquidationserlös

---

<sup>77</sup> vgl. Becker 2012, S. 60.

<sup>78</sup> vgl. Poggensee 2009, S. 126.

<sup>79</sup> vgl. Olfert, Reichel 2009, S. 193–194.

<sup>80</sup> vgl. Olfert, Reichel 2009, S. 195.

Vorteile der Methode gegenüber den statischen Rechenverfahren sind, dass zeitlich differenzierte Zahlungsströme betrachtet werden können und ein Kapitalzinssatz berücksichtigt wird. Nachteil der Methode ist die Datenermittlung, hier liegt ein großes Maß an Unsicherheit begründet, denn Zahlungsreihen, Nutzungsdauer und Verzinsung basieren oft auf Prognosen.<sup>81</sup>

#### 3.3.3.4 Interne-Zinssatz-Methode

Bei der Interne-Zinssatz-Methode dient der interne Zinssatz als Beurteilungskriterium. Werden die Ein- und Auszahlungen mit dem internen Zinssatz diskontiert, ist der Kapitalwert gleich null. Wird der interne Zinssatz als Rechengrundlage angenommen, so wird genau die Summe des investierten Kapitals unter Berücksichtigung von Zinseinflüssen zurückgewonnen.<sup>82</sup> Mithilfe der Interne-Zinssatz-Methode lassen sich Investitionen bezüglich

- absoluter Vorteilhaftigkeit ( $r \geq i_{\min}$ ),
- relativer Vorteilhaftigkeit ( $r_1 \geq r_2$ )
- optimalem Ersatzzeitpunkt

beurteilen.<sup>83</sup>

Die Gleichung zur Berechnung des internen Zinssatzes basiert auf der Formel der Kapitalwertmethode. Als Bedingung gilt, dass der Kapitalwert gleich null ist. Der Liquiditätserlös wird aus Gründen der Einfachheit vernachlässigt. Der Kalkulationszinssatz  $i$  wird durch den internen Zinssatz  $r$  ersetzt. In Anlehnung an Olfert lässt sich folgende Gleichung herleiten:<sup>84</sup>

$$C_0 = \frac{e_1 - a_1}{q^1} + \frac{e_2 - a_2}{q^2} + \frac{e_3 - a_3}{q^3} + \dots + \frac{e_n - a_n}{q^n} - a_0 \quad (10)$$

Mit der Bedingung

$$C_0 = 0$$

und

$$q = (1+r)$$

ergibt sich

$$0 = \frac{e_1 - a_1}{(1+r)^1} + \frac{e_2 - a_2}{(1+r)^2} + \frac{e_3 - a_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{e_n - a_n}{(1+r)^n} - a_0 \quad (11)$$

---

<sup>81</sup> vgl. Götze, Bloech 2002, S. 80.

<sup>82</sup> vgl. Walz, Gramlich 2004, S. 64.

<sup>83</sup> vgl. Olfert, Reichel 2009, S. 206.

<sup>84</sup> vgl. Olfert, Reichel 2009, S. 204.

$C_0$	=	Kapitalwert
$e$	=	Einzahlung
$a$	=	Auszahlung
$q^{-n}$	=	Abzinsungsfaktor
$a_0$	=	Anfangsauszahlung
$i$	=	Kalkulationszinssatz
$r$	=	interner Zinssatz
$n$	=	Nutzungsperiode

Die Gleichung muss nach  $r$  umgestellt werden. Dieses kann sich als schwierig erweisen, da es sich je nach Anzahl der Nutzungsperioden  $n$  um ein Polynom  $n$ -ter Ordnung handelt.<sup>85</sup> Der interne Zinssatz kann auf zwei Arten bestimmt werden, durch grafische Bestimmung oder durch Interpolation.

Grafische Bestimmung:

Zwei unterschiedliche Zinssätze werden frei angenommen. Für beide werden die jeweiligen Kapitalwerte mittels Kapitalwertmethode bestimmt. Anschließend werden die Werte grafisch dargestellt, der Kapitalwert entlang der Abszisse und der Zinssatz entlang der Ordinate. Die sich ergebenden Punkte werden mittels einer Geraden verbunden. Der Schnittpunkt der Geraden mit der Ordinate gibt den internen Zinssatz an. Die Genauigkeit des Ergebnisses hängt stark von der Auswahl der angenommenen Zinssätze und den sich daraus ergebenden Kapitalwerten ab. Je näher sie beim Wert Null liegen, desto genauer die Ergebnisse.<sup>86</sup>

Rechnerische Bestimmung:

Wie bei der grafischen Lösung nimmt man zwei Zinssätze frei an und bestimmt die zugehörigen Kapitalwerte. Anschließend setzt man die Werte in folgende Gleichung ein, um den internen Zinssatz zu bestimmen. Durch das Wiederholen des Vorgangs lassen sich die Ergebnisse beliebig präzisieren. Die Gleichung basiert auf einer Interpolationsformel zur Bestimmung von Nullstellen, auf dessen Herleitung hier verzichtet wird.<sup>87</sup>

$$r = i_1 - C_{01} * \frac{i_2 - i_1}{C_{02} - C_{01}} \quad (12)$$

$r$	=	interner Zinssatz
$i$	=	angenommene Zinssätze
$C_0$	=	Kapitalwerte bei jeweiligen Zinssätzen

---

<sup>85</sup> vgl. Walz, Gramlich 2004, S. 65.

<sup>86</sup> vgl. Olfert, Reichel 2009, S. 205.

<sup>87</sup> vgl. Heesen 2010, S. 68.

Kritisch zu bewerten ist, dass die Methode nicht immer sicher anwendbar ist. Da es sich um ein Interpolationsverfahren handelt, kann es vorkommen, dass bei häufigem Vorzeichenwechsel der periodischen Zahlungsströme oder bei ungünstig gewählten Zinssätzen das Ergebnis ungenau oder nicht vorhanden ist. Zur Durchführung sind die gleichen Daten erforderlich wie bei der Kapitalwertmethode, die mit einem Maß an Unsicherheit belegt sind. Die Interne-Zinssatz-Methode wird in der Praxis meist nur als Zusatzverfahren zur Kapitalwertmethode angewendet.<sup>88</sup>

#### 3.3.3.5 Annuitätenmethode

Bei der Annuitätenmethode dient die Annuität als Beurteilungskriterium. Sie ist eine „Folge gleich hoher Zahlungen, die in einer Periode des Betrachtungszeitraums anfallen“.<sup>89</sup> Die Methode basiert auf der Kapitalwertmethode, bezieht sich aber nicht auf den Totalerfolg, sondern auf den Periodenerfolg.

Mithilfe der Annuitätenmethode lassen sich Investitionen bezüglich

- absoluter Vorteilhaftigkeit ( $d \geq 0$ ),
- relativer Vorteilhaftigkeit ( $d_1 \geq d_2$ )
- optimalem Ersatzzeitpunkt

bewerten.<sup>90</sup>

Zuerst wird durch Diskontieren der periodischen Zahlungsströme der Kapitalwert ermittelt. Anschließend wird er in folgende Gleichung eingesetzt und es ergibt sich die Annuität:

$$d = C_0 * \frac{q^n(q - 1)}{q^n - 1} \quad (13)$$

$C_0$  = Kapitalwerte bei jeweiligen Zinssätzen

$d$  = Annuität

$\frac{q^n(q - 1)}{q^n - 1}$  = Kapitalwiedergewinnungsfaktor<sup>91</sup>

Vorteil der Methode ist, dass je nach Investitionsvorhaben der Erfolg periodisiert ausgewiesen wird. Da die Annuitätenmethode auf der Kapitalwertmethode basiert, ergibt sich der gleiche Nachteil, die Unsicherheit der Daten.<sup>92</sup>

---

<sup>88</sup> vgl. Heesen 2010, S. 69.

<sup>89</sup> vgl. Götze, Bloech 2002, S. 93.

<sup>90</sup> vgl. Olfert, Reichel 2009, S. 214–215.

<sup>91</sup> vgl. Olfert, Reichel 2009, S. 214.

<sup>92</sup> vgl. Götze, Bloech 2002, S. 95.

#### 3.3.3.6 Dynamische Amortisationsrechnung

Bei der dynamischen Amortisationsrechnung dient die Amortisationszeit zur Bewertung der Investition. „Bei der Amortisationszeit handelt es sich um den Zeitraum, in dem das für eine Investition eingesetzte Kapital aus den Einzahlungsüberschüssen des Objektes wiedergewonnen wird.“<sup>93</sup> Nicht die Rentabilität der Investition steht im Vordergrund der Betrachtung, sondern die Sicherheit. Grundgedanke des Verfahrens ist, dass eine Investition umso sicherer wird, je kürzer die Amortisationsdauer ist.<sup>94</sup>

Mithilfe der dynamischen Amortisationsrechnung lassen sich Investitionen bezüglich

- absoluter Vorteilhaftigkeit (wenn ein Grenzwert gegeben ist ( $t_1 \leq t_{\text{geg.}}$ )) und
- relativer Vorteilhaftigkeit ( $t_1 \geq t_2$ )

beurteilen.<sup>95</sup>

Zur exakten Berechnung der Amortisationsdauer kann folgende Gleichung genutzt werden:

$$\sum_{n=1}^t (e_n - a_n) * (1 + i)^{-n} \quad (14)$$

t	=	Amortisationszeit
i	=	Kapitalzinssatz
a	=	Auszahlungen
e	=	Einzahlungen
n	=	Nutzungsperiode

Zur Berechnung der Amortisationszeit muss die Gleichung nach t umgestellt werden.<sup>96</sup> Da dieses je nach Anzahl der Perioden nicht möglich ist, wird in der Praxis schrittweise vorgegangen. Zur Bestimmung der Amortisationszeit werden für jede Periode die kumulierten Barwerte der Zahlungsströme errechnet. Der kumulierte Barwert entspricht dem Kapitalwert bis zur betrachteten Periode. Solange dieser Wert negativ ist, ist der Amortisationszeitpunkt noch nicht erreicht. Wird er positiv, ist der Amortisationszeitpunkt überschritten. Die Amortisationszeit lässt sich dann mit folgender Gleichung berechnen:<sup>97</sup>

$$t = n + \frac{C_n}{C_n + C_{n+1}} \quad (15)$$

---

<sup>93</sup> vgl. Götze, Bloech 2002, S. 107.

<sup>94</sup> vgl. Walz, Gramlich 2004, S. 83.

<sup>95</sup> vgl. Götze, Bloech 2002, S. 64.

<sup>96</sup> vgl. Walz, Gramlich 2004, S. 106.

<sup>97</sup> vgl. Götze, Bloech 2002, S. 108.

t = Amortisationszeit

n = Nutzungsperiode

$C_n$  = Kumulierter Barwert, Kapitalwert nach Periode n

Grundlage des Modells ist die Kapitalwertmethode. Kritisch zu beurteilen ist aus diesem Grund die Beschaffung und die Unsicherheit der Daten. Der Rechenaufwand ist größer als bei der Kapitalwertmethode, da eine schrittweise Näherung an das Ergebnis durchgeführt wird. Größter Nachteil der Methode ist, dass Zahlungen nach dem Amortisationspunkt nicht berücksichtigt werden. Deswegen sollte man die Methode nur ergänzend anwenden.

### 3.3.4 Gegenüberstellung der Rechenverfahren

In diesem Kapitel werden die Verfahrensgruppen der statischen und dynamischen Verfahren gegenübergestellt (vgl. Tab. 9). Anschließend erfolgt eine Gegenüberstellung der vorgestellten dynamischen Verfahren (vgl. Tab. 10).

	<b>Statische Verfahren</b>	<b>Dynamische Verfahren</b>
<b>Zeitliche Betrachtung</b>	Einperiodisch	Mehrperiodisch
<b>Zinsen</b>	Keine Berücksichtigung	Berücksichtigt Kalkulationszins
<b>Datenquelle</b>	Finanzbuchhaltung	Prognosen
<b>Daten</b>	Durchschnittswerte	Zahlungsströme pro Periode
<b>Kapitalbindung</b>	Durchschnittswert	Periodische Betrachtung
<b>Rechenaufwand</b>	Gering	Hoch
<b>Komplexität</b>	Niedrig	Hoch
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hohe Datensicherheit</li> <li>- Einfache Datenermittlung</li> <li>- Einfacher nachzuvollziehen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zeitliche Komponente berücksichtigt</li> <li>- Hoher Realitätsbezug</li> <li>- Genauer</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zeitliche Komponente nicht berücksichtigt</li> <li>- Geringer Realitätsbezug</li> <li>- Ungenau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geringe Datensicherheit</li> <li>- Schwierige Datenermittlung</li> <li>- Schwerer nachzuvollziehen</li> </ul>

Tab. 9: Statische versus dynamische Investitionsverfahren

Je nach Investitionssituation ist abzuwägen, welche Verfahren zum Einsatz kommen. Doch sind die dynamischen Verfahren den statischen Verfahren vorzuziehen, da sie aufgrund der periodischen Betrachtung genauer sind.

Bei der Gegenüberstellung der vorgestellten dynamischen Verfahren (vgl. Tab. 10), fällt auf, dass sie viele Gemeinsamkeiten, wie Dateninput, Vorteile und Nachteile besitzen. Grund dafür ist, dass sie alle auf der Kapitalwertmethode basieren.<sup>98</sup> In der Praxis wird so vorgegangen, dass zuerst die Kapitalwertmethode angewendet wird und zusätzlich, je nach Problemstellung, die anderen Verfahren durchgeführt werden.<sup>99</sup>

---

<sup>98</sup> vgl. Götze, Rehme 2011b, S. 93–110.

<sup>99</sup> vgl. Walz, Gramlich 2004, S. 104–106.

	<b>Kapitalwertmethode</b>	<b>Interne-Zinssatz-Methode</b>	<b>Annuitätenmethode</b>	<b>Dynamische Amortisationsrechnung</b>
<b>Beurteilungsmerkmal</b>	Kapitalwert	Interner Zinssatz	Annuität	Amortisationszeit
<b>Zielgröße</b>	Gesamterfolg	Rentabilität	Periodenerfolg	Sicherheit
<b>Dateninput</b>	Nutzungsdauer Auszahlungen Einzahlungen Kapitalzinssatz	Nutzungsdauer Auszahlungen Einzahlungen angenommener Kapitalzinssatz	Nutzungsdauer Auszahlungen Einzahlungen Kapitalzinssatz Kapitalwert	Nutzungsdauer Auszahlungen Einzahlungen Kapitalzinssatz
<b>Anwendungsbedingung</b>	Keine	$C_0 \geq 0$ werden	Keine	$C_0 \geq 0$ werden
<b>Berechnung</b>	Formel	Interration	Formel	Interration Formel
<b>Kriterium absolut vorteilhaft</b>	$C_0 \geq 0$	$r \geq i_{\min}$	$d \geq 0$	$t_1 \leq t_{\text{geg.}}$
<b>Kriterium relativ vorteilhaft</b>	$C_{01} \geq C_{02}$	$r_1 \geq r_2$	$d_1 \geq d_2$	$t_1 \geq t_2$

	<b>Kapitalwertmethode</b>	<b>Interner Zinssatz Methode</b>	<b>Annuitätenmethode</b>	<b>Dynamische Amortisationsrechnung</b>
<b>Optimaler Ersatzzeitpunkt</b>	Nach Periode $C_{0n} = \max.$	Sehr komplexe Berechnung in Praxis nicht angewendet <sup>100</sup>	Nach Periode $d_{\text{neu}} \geq d_{\text{alt}}$	Kein geeignetes Verfahren
<b>Vorteile</b>	Differenzierte Erfassung der Zahlungsreihen  Geringster Rechenaufwand	Differenzierte Erfassung der Zahlungsreihen  Aussage über Rentabilität	Differenzierte Erfassung der Zahlungsreihen  Aussage über Periodenerfolg	Differenzierte Erfassung der Zahlungsreihen
<b>Nachteile</b>	Datenunsicherheit  Ungenaue Aussage zur tatsächlichen Rentabilität	Datenunsicherheit  Eindeutigkeit der Ergebnisse  Vergleichbarkeit von Investitionsalternativen bei unterschiedlichem Input kompliziert  Interrationsverfahren	Datenunsicherheit	Datenunsicherheit  Zahlungen nach Amortisationszeitpunkt werden nicht berücksichtigt  Interrationsverfahren
<b>Einstufung</b>	Hauptverfahren	Zusatzverfahren	Zusatzverfahren	Zusatzverfahren

Tab. 10: Gegenüberstellung der vorgestellten dynamischen Verfahren

<sup>100</sup> vgl. Olfert, Reichel 2009, S. 213.

## 4. Kosteneinflussgrößen

Dieses Kapitel soll Aufschluss über die Kosteneinflussgrößen geben, die in den dynamischen Investitionsvergleichsrechnungen verwendet werden. Grundlage der genutzten Informationen ist die spezifische Literaturrecherche und ein leitfadengestütztes qualitatives Interview (vgl. Anh. 3). Zu Beginn des Kapitels werden die Kosteneinflussgrößen identifiziert, anschließend wird auf Grundlage von unterschiedlichen Prognosen aus der Literatur ein Entwicklungstrend für die Hauptkostengrößen abgeleitet. Wie im Kapitel 3.2.4 beschrieben, gibt es technische Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den Fahrzeugen, die folglich zu unterschiedlichen und gemeinsamen Kosteneinflussgrößen führen.

### 4.1 Identifikation der Kosteneinflussgrößen

Zur Identifikation der relevanten Kosteneinflussgrößen wurden unterschiedliche Kostenanalysen und TCO-Analysen (Total Cost of Ownership) für Fahrzeuge betrachtet und miteinander verglichen. TCO-Analysen werden in der Praxis eingesetzt, um die gesamten Kosten von Gütern über ihren Lebenszyklus zu betrachten. Ziel ist es, nicht nur den Einkaufspreis, sondern auch Folgekosten, wie beispielsweise Betriebskosten, Wartungskosten und Entsorgungskosten zu berücksichtigen.<sup>101</sup>

In den jeweiligen Analysen weichen die verwendeten Begrifflichkeiten für Kosteneinflussgrößen teilweise voneinander ab, sodass beispielsweise von Anschaffungspreis, Listenpreis und Kaufpreis gesprochen wird. Da es bei dem Vergleich der Analysen in erster Linie um die Art und die Anzahl der Kosteneinflussgrößen geht und nicht um „begriffliche Spitzfindigkeiten“, werden die Begriffe zu Kategorien zusammengefasst. Das Zusammenfassen geschieht, um eine Vergleichbarkeit zwischen den Analysen zu schaffen.

Vorgehen beim Bilden der Kategorien:

1. Auswahl von Kostenanalysen und TCO-Analysen aus der Literaturrecherche (vgl. Tab. 11)
2. Tabellarische Auflistung der genannten Kostenbegriffe aus jeder Analyse
3. Gegenüberstellung und Vergleich der Kostenbegriffe
4. Zusammenfassen der Begriffe zu Kostenkategorien (vgl. Tab. 12)

---

<sup>101</sup> vgl. Geißdörfer 2009, S. 2.

Folgende Kosten- und TCO-Analysen wurden ausgewählt und betrachtet:

Nr.	Name	Herausgeber	Jahr
1	Trendmonitor 2010. Leichtes Nutzfahrzeug der Zukunft <sup>102</sup>	MBtech Consulting GmbH	2010
2	Total Cost of Ownership <sup>103</sup>	Arval – BNP Paribas Group	2011
3	Antriebstechnik im Vergleich – Die günstige Variante <sup>104</sup>	Beschaffung Aktuell	2012
4	CO <sub>2</sub> -Minderungspotenziale durch den Einsatz von elektrischen Fahrzeugen in Dienstwagenflotten <sup>105</sup>	Öko-Institut e.V.	2011
5	Electrification of the Automotive Industry – The European Consumer's View <sup>106</sup>	EurotaxGlass's International AG	2011
6	Total Costs of Ownership von Elektrofahrzeugen unter besonderer Berücksichtigung von Batteriekosten, Wertverlust und Batteriealterung <sup>107</sup>	Forschungszentrum Jülich GmbH	2011
7	Elektromobilität – Herausforderungen und Lösungenaus wirtschaftlicher Sicht <sup>108</sup>	TU Chemnitz	2011
8	Auf Heller und Cent <sup>109</sup>	bfp Fuhrpark + Management	2011
9	Cost Analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles Including Maintenance & Repair Costs and Resale Values <sup>110</sup>	EVS26 International Vehicle Symposium	2012
10	Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität <sup>111</sup>	Nationale Plattform Elektromobilität	2011
11	A Portfolio of Power-Trains for Europe: a Fact-Based Analysis <sup>112</sup>	McKinsey & Company	2010

Tab. 11: Betrachtete Kosten- und TCO-Analysen aus der Literatur

<sup>102</sup> vgl. MBtech Consulting GmbH 2010, S. 3.

<sup>103</sup> vgl. Arval - BNP Paribas Group 2011, S. 8.

<sup>104</sup> vgl. Ohler, Ohler 2012, S. 45–46.

<sup>105</sup> vgl. Zimmer 2011b, S. 40.

<sup>106</sup> vgl. Kleber 2011, S. 8.

<sup>107</sup> vgl. Bickert 2011, S. 6.

<sup>108</sup> vgl. Götze, Rehme 2011, S. 21.

<sup>109</sup> vgl. Mag 2011, S. 74.

<sup>110</sup> vgl. EVS26 International Vehicle Symposium 2012, S. 7.

<sup>111</sup> vgl. Nationale Plattform Elektromobilität 2011b, S. 26.

<sup>112</sup> vgl. McKinsey & Company 2010, S. 18.

Aus der Zusammenfassung der Kostenbegriffe ergaben sich folgende Kostenkategorien:

Nr.	Kategorie	Beinhaltete Begriffe
1	Anschaffungskosten	Kaufpreis, Anschaffungspreis, Listenpreis
2	Steuern	Steuern, Kfz-Steuer, Steuervergünstigung
3	Wartung, Service, Reparatur	Wartung, Fahrzeugpflege, Reparaturen, Reifen, Service, Reifenverschleiß, Pflege, Wartungskosten
4	Versicherung	Versicherung, Haftpflichtversicherung, Vollkaskoversicherung
5	Verwaltungsgebühren	Fuhrparkmanagement, Verwaltungsgebühren, Verwaltungskosten
6	Inspektion	TÜV, AU, HU, Inspektion
7	Kraftstoffkosten	Kraftstoff, Verbrauch, Kraftstoffkosten, Verbrauchskosten, Energiekosten, Treibstoffkosten
8	Schmierstoffkosten	Schmierstoffe
9	Wertverlust, Abschreibung	Wertverlust, Wiederverkaufswert, Restwert, Abnutzung, Leasingrate, AfA, Zinsen, Abschreibungen
10	Ladeinfrastruktur	Ladeinfrastruktur, Gebühren für Infrastruktur

Tab. 12: Kostenbegriffe zusammengefasst zu Kategorien

In den folgenden Kapiteln 4.3 und 4.4 werden die Kosten- und TCO-Analysen anhand der Kategorien aus Tab. 12 verglichen. Da sich einige Analysen auf konventionelle, auf elektrische oder auf beide Fahrzeugtypen beziehen, wird je nach Fahrzeugtyp differenziert.

Die Mehrzahl der Analysen beschränkt sich auf wirtschaftlich einfach zu erfassende Kennzahlen wie Verbrauch, Versicherung etc. Keine Berücksichtigung finden Kosten, die sich beispielsweise durch die Umstellung eines konventionell angetriebenen Fahrzeugs auf ein elektrisch angetriebenes Fahrzeug ergeben können. Beispiele wären Kosten für Fahrertrainings, Einweisung oder neue Routenplanungssoftware.

Während der Recherche wurde deutlich, dass es bereits mehrere Feldversuche mit unterschiedlichen elektrischen Nutzfahrzeugen gab, es jedoch sehr wenige veröffentlichte quantitative Daten zu den Kosteneinflussgrößen gibt. Aus diesem Grund wurde entschieden, beim dynamischen Investitionsvergleich einen Referenzfahrzeugtyp auszuwählen und die Rahmenbedingungen grob einzuschränken, um so quantitative Daten für diesen Fahrzeugtyp zu ermitteln.

## 4.2 Auswahl des Referenzfahrzeugs und der Rahmenbedingungen

Das ausgewählte Referenzfahrzeug soll der Nutzfahrzeugklasse N1 oder N2 zugeordnet sein und für den innerstädtischen Warenverkehr eingesetzt werden (vgl. Kapitel 1 und Kapitel 2.1). Die Wahl fiel auf das Modell Berlingo von Citroën. Ausschlaggebend für die Auswahl war, dass die elektrische Version des Nutzfahrzeugs bei der französischen Post in einer Stückzahl von 250 Einheiten eingesetzt wird.<sup>113</sup> Dieses beweist eine fortgeschrittene Praxistauglichkeit des elektrischen Referenzfahrzeugs im urbanen Wirtschaftsverkehr. Des Weiteren gibt es ein konventionelles Modell des Nutzfahrzeugs mit ähnlicher Motorisierung (vgl. Abb. 13 und Abb. 14).

Konventionelles Referenzfahrzeug:



Abb. 13: Berlingo HDi 75<sup>114</sup>

Elektrisches Referenzfahrzeug:



Abb. 14: Berlingo First Electric<sup>115</sup>

Das elektrisch angetriebene Modell des Referenzfahrzeugs nennt sich Berlingo First Electric. Das konventionell angetriebene Modell gibt es mit unterschiedlicher Motorisierung. Hier fiel die Wahl auf ein Modell mit Dieselmotor, wie es im Kurier-Express-Paket-Dienst (KEP) zum Einsatz kommt.<sup>116</sup> Die Größe des Dieselmotors wurde nach der Leistung des Elektromotors ausgewählt. Nach Herstellerangaben hat der Motor des elektrischen Modells eine Leistung von 42 kW bei einem maximalen Drehmoment von 137 Nm.<sup>117</sup> Am nächsten an diese Kennzahlen kommt das kleinste konventionelle Modell mit einem 55-kW-Dieselmotor und einem maximalen Drehmoment von 185 Nm heran. Um neben der Karosserie auch bei der Motorisierung eine gute vergleichbare Ausgangssituation zu schaffen, wurde das Modell mit dem 55-kW-Dieselmotor ausgewählt. Die genaue Bezeichnung ist Berlingo L1 Diesel HDi 75, 55 kW.<sup>118</sup> In Tab. 13 finden sich die technischen Daten der Fahrzeuge wieder.

---

<sup>113</sup> vgl. electricvehiclesresearch.com 2011.

<sup>114</sup> Quelle: mobile.de 2012.

<sup>115</sup> Quelle: blogautomobile.fr 2010.

<sup>116</sup> vgl. DVZ Deutsche Logistikzeitschrift 2010, S. 8.

<sup>117</sup> vgl. Citroën 2011, S. 2.

<sup>118</sup> vgl. Citroën 2010.

<b>Fahrzeugdaten</b>	<b>Elektrofahrzeug</b>	<b>Konventionelles Fahrzeug</b>
Hersteller	Citroën	Citroën
Modell-Bezeichnung	Berlingo First Electric	Berlingo L1 Kastenwagen Niveau A
Antrieb/Motor	Asynchron-Drehstrommotor	Dieselmotor Hdi 75
Leistung (kW)	42	55
Getriebe	1-Gang	Mech. 5-Gang
Fahrzeugmaße mm (L/B/H)	4137/1960/1834	4137/1960/1834
max. Reichweite elektrisch km	120	-
Höchstgeschwindigkeit km/h	110	152
Batterietyp	Nickel-Natrium-Chlorid	-
Batterie-Kapazität kWh	23,5	-
Stromverbrauch Schnitt kWh/100km	21	-
Tankvolumen (l)	-	60
Kraftstoffverbrauch l/100km (innerorts/außerorts/kombiniert)	-	5,9 / 4,7 / 5,1
CO <sub>2</sub> -Emission (g/100 km)	133	je nach Stromerzeugung
Ladedauer 230V (Std.)	6–7	-
Ladedauer Schnellladung (Std.)	5 (80% der Kapazität)	-
Fahrzeuggewicht in kg	1.391	1.450
zulässiges Gesamtgewicht in kg	2.160	1.890
max. Zuladung in kg, ohne Fahrer	500	485
Anhängerbetrieb (J/N)	J	J
Anhängerbetrieb/-last 12% (kg)	615	995
Listenpreis in €	42.950	14.250

Tab. 13: Basisdaten der Referenzfahrzeuge<sup>119</sup>

Wie bereits in Kapitel 2.2.2 erwähnt, lieferte die spezifische Literaturrecherche nur eine geringe Anzahl von Informationen zum Thema Kosteneinflussfaktoren. Um zusätzliche Informationen über die Referenzfahrzeuge zu bekommen, wurde ein Interview mit Herrn Lembke, Großkundenbetreuer der Citroën-Niederlassung Hamburg, geführt. Neben der Großkundenbetreuung ist er als Kundenberater im Flottenmanagement und im Bereich Elektromobilität tätig.

<sup>119</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Citroën 2010 und Citroën 2011.

Schwerpunkt des leitfadengestützten qualitativen Interviews war das Thema Kosteneinflussfaktoren und deren Entwicklung. Weitere Fragen zielten auf die Erfahrungen mit Nutzung und Betrieb von Elektrofahrzeugen ab. Das Protokoll des Interviews befindet sich im Anh. 3.

Für die Rahmenbedingungen der Nutzung wird angenommen, dass das Nutzfahrzeug im innerstädtischen Waren- und Verteilerverkehr zum Einsatz kommt. An allen sechs Werktagen der Woche wird das Fahrzeug im Einschichtbetrieb genutzt. Auf das Jahr hochgerechnet bedeutet dies eine Nutzungsdauer von 52 Wochen à sechs Tage, ergibt 312 Tage. Subtrahiert man Feiertage und wartungsbedingte Ausfälle, so ergeben sich ca. 300 Nutzungstage. Die täglich zurückgelegte Strecke soll bei maximal 80 km liegen. Daraus ergibt sich eine durchschnittlich zurückgelegte Jahresstrecke von 24.000 km. Das Öko-Institut gibt beispielsweise einen Durchschnittswert für gewerblich genutzte Fahrzeuge von 25.500 km pro Jahr an.<sup>120</sup> Damit liegt der angenommene Wert knapp darunter. Die maximale Reichweite von 120 km wird pro Tag nicht überschritten, sodass das Fahrzeug nur einmal pro Tag geladen werden muss (vgl. Tab. 13). Die maximale Strecke von 80 km pro Tag kann unter erschwerten Bedingungen vom elektrisch angetriebenen Fahrzeug nur knapp zurückgelegt werden, da an kalten Tagen die Reichweite des Fahrzeugs um bis zu 60 % abnehmen kann.<sup>121</sup> Gründe sind ein erhöhter Stromverbrauch von 30 % bis 60 % für Nebenverbraucher wie Heizung und Licht.<sup>122</sup> Es ergibt sich eine Reichweitereinschränkung von bis zu ca. 70 km. An kalten Tagen muss der Fahrer also besondere Rücksicht auf die Reichweite nehmen. Durch Maßnahmen wie vorausschauendes Fahrverhalten lässt sich die Reichweite beispielsweise um bis zu 30% steigern.<sup>123</sup> Des Weiteren ist es möglich auf Komfort zu verzichten und die Heizleistung zu reduzieren oder das Radio auszuschalten.

Nachts wird das Nutzfahrzeug auf dem Betriebsgelände abgestellt und im Fall des elektrischen Antriebs auch dort geladen. Zugang zur Ladevorrichtung haben nur Mitarbeiter des Unternehmens.

Da die Vergleichsrechnung mit einer Excel-Arbeitsmappe durchgeführt wird, lassen sich die Werte für die Kosteneinflussfaktoren und Randbedingungen frei ändern. Somit können, auch andere Nutzfahrzeuge unter anderen Randbedingungen miteinander verglichen werden.

---

<sup>120</sup> vgl. Zimmer 2011a, S. 18.

<sup>121</sup> vgl. Dekra 2011, S. 2.

<sup>122</sup> vgl. Deutsche Post DHL Fleet 2012, S. 20.

<sup>123</sup> vgl. Brigham, Walsh, Carroll 2011, S. 34.

### 4.3 Kosteneinflussgrößen des konventionellen Nutzfahrzeugs

Im Folgenden werden die Kostenanalysen und TCO-Analysen, die sich auf konventionelle Fahrzeuge oder auf konventionelle und elektrische Fahrzeuge beziehen, anhand der in Kapitel 4.1 erstellten Begriffskategorien für Kosteneinflussgrößen gegenübergestellt, um einen Überblick über die Relevanz der Kostengrößen zu bekommen (vgl. Tab. 14).

Kostenkategorie	Herausgeber der Analyse									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	MBtech Consulting GmbH	Arval – BNP Paribas Group	Beschaffung Aktuell	Öko-Institut e. V.	EurotaxGlass's International AG	Forschungszentrum Jülich GmbH	TU Chemnitz	EVS26 International Vehicle Symposium	Nationale Plattform Elektromobilität	McKinsey & Company
<b>Anschaffungskosten</b>	X			X	X			X	X	X
<b>Steuern</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<b>Wartung, Service, Reparatur</b>	X	X		X	X	X	X	X	X	X
<b>Versicherung</b>	X	X		X	X	X	X		X	
<b>Verwaltungsgebühren</b>	X	X								
<b>Inspektion</b>	X			X				X		
<b>Verbrauchskosten</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Schmierstoffkosten</b>				X						
<b>Wertverlust, Abschreibung</b>		X		X	X	X	X	X	X	
<b>Ladeinfrastruktur</b>						X	X			

Tab. 14: Gegenüberstellung der Kostenkategorien (konventionell)

Je nach Anzahl der Nennungen ergibt sich folgendes Ranking (vgl. Tab. 15):

Ranking	Anz. Nennungen	Kostenkategorie
1	10	Verbrauchsdaten
2	9	Steuern
2	9	Wartung, Service, Reparatur
3	7	Versicherung
3	7	Wertverlust, Abschreibung
4	6	Anschaffungskosten
5	3	Inspektion
6	2	Verwaltungsgebühren
6	2	Ladeinfrastruktur
7	1	Schmierstoffkosten

Tab. 15: Ranking der Kostenkategorien (konventionell)

Die ersten Ränge werden von den Kostenkategorien Steuern, Verbrauchskosten, Wartung, Service, Reparatur, Versicherung, Wertverlust und Abschreibung belegt. Die Kategorie Anschaffungskosten folgt erst auf dem vierten Platz, obwohl die Anschaffungskosten zu Beginn der Investition meist die größte Kostenposition ausmacht. Im unteren Bereich des Rankings befinden sich die Kategorien Inspektion, Verwaltungsgebühren, Ladeinfrastruktur und Schmierstoffkosten. Die Schmierstoffkosten werden speziell dem konventionellen Nutzfahrzeug zugeordnet und die Ladeinfrastruktur dem elektrischen Fahrzeug. Die Kostenkategorien lassen sich in Fixkosten und variable Kosten unterteilen. In den folgenden zwei Kapiteln werden diese genauer betrachtet. Am Ende des Kapitels werden die ermittelten Daten für das Referenzfahrzeug, den konventionell angetriebenen Citroën Berlingo, tabellarisch dargestellt.

#### 4.3.1 Fixkosten des konventionellen Nutzfahrzeugs

Fixkosten sind die Kosten, „die von der jeweils betrachteten Einflussgröße bzw. Entscheidung unabhängig sind, d.h. Kosten, die sich nicht mit der jeweils betrachteten Einflussgröße ändern“<sup>124</sup>. Die Einflussgröße in diesem Fall ist die Kilometerleistung.

**Steuern:** Die Kraftfahrzeugsteuer wird vom Halter des Fahrzeugs entrichtet. Für die Steuer ist das örtliche Finanzamt zuständig.<sup>125</sup> Der Steuersatz ergibt sich bei „anderen Fahrzeugen (z.B. Lastkraftwagen, Fahrzeuganhängern) nach dem verkehrsrechtlich zulässigen Gesamtgewicht (beträgt das Gesamtgewicht mehr als 3.500 Kilogramm zusätzlich nach Schadstoff- und Geräuschemissionen) zu bemessen.“<sup>126</sup> Unter diese Kategorie fallen auch kleine Trans-

<sup>124</sup> vgl. Gabler Wirtschaftslexikon 2012a.

<sup>125</sup> vgl. Albert, Braun 2008, S. 81.

<sup>126</sup> vgl. Albert, Braun 2008, S. 81.

porter wie der Berlingo. Die zu zahlenden Steuern ergeben sich für den konventionellen Berlingo durch folgende Rechnung: zul. Gesamtgewicht (aufgerundet auf Vielfaches von 200 kg)  $\div$  200 kg  $\times$  12,02 €. <sup>127</sup> Daraus ergeben sich jährliche Steuern von  $2200 \text{ kg} \div 200 \text{ kg} \times 12,02 \text{ €} = 132,22 \text{ €}$ .

**Versicherung:** Die Kfz-Haftpflichtversicherung ist die einzige, die in Deutschland verpflichtend ist. Sie kommt für verursachte Schäden gegenüber Dritten auf. <sup>128</sup> Alle anderen Kfz-Versicherungsarten wie Schutzbrief, Rechtsschutz etc. sind freiwillig. Beim Vergleich der Fahrzeuge wird davon ausgegangen, dass es sich um Neufahrzeuge handelt, aus diesem Grund wird mit einer Vollkaskoversicherung gerechnet. Folglich entstehen Kosten für die Haftpflichtversicherung (unbegrenzte Deckungssumme, Beitragssatz 85%) und die Vollkaskoversicherung (inklusive Teilkasko, 300,- € Selbstbeteiligung, Beitragssatz 85%). Die Basis für die Versicherungspolice bildet ein Telefonat mit Herrn Matthias Oberschelp (Schmitz Horn Treber GmbH) und ein exemplarisches Angebot seinerseits. Seine Versicherungsagentur ist eine von wenigen, die ein beispielhaftes Vergleichsangebot für beide Nutzfahrzeuge erstellen konnte. Während der Recherche stellte sich heraus, dass nur sehr wenige Versicherungsanbieter eine Police für Elektrofahrzeuge anbieten. Eine Auflistung der angefragten Versicherungen befindet sich in Kapitel 4.4.1.

**Wertverlust, Abschreibung:** Die Abschreibungskosten für Nutzfahrzeuge ergeben sich aus der steuerlich zulässigen Abschreibungsdauer, welche vom Bundesministerium für Finanzen in den AfA-Tabellen vorgegeben wird und den Anschaffungskosten. <sup>129</sup> In der dynamischen Investitionsrechnung werden nur auszahlungswirksame Aufwendungen berücksichtigt, aus diesem Grund fließen die Abschreibungskosten nicht in die Rechnung ein. <sup>130</sup>

Unter das Thema Wertverlust fällt nicht nur die steuerliche Abschreibung, sondern auch die Ermittlung des Restwerts des Nutzfahrzeugs. In der dynamischen Investitionsrechnung wird der Restwert als Liquidationserlös angesehen und geht in die Berechnung des Kapitalwerts ein (vgl. Kapitel 3.3.3.3). Der Restwert oder auch Wiederverkaufswert hängt von vielen Faktoren ab, ausschlaggebend sind Art des Fahrzeugs, Image des Fahrzeugherstellers und Zustand des Fahrzeugs. <sup>131</sup> Zur Ermittlung des Restwerts hat sich in der Praxis die Schwacke-Liste etabliert. Diese wird jeden Monat aktualisiert und beinhaltet die Restwerte von über 30.000 Fahrzeugtypen. <sup>132</sup> Da sich die zu ermittelnden Restwerte in zukünftigen Perioden befinden, kann die Schwacke-Liste hier nicht angewendet werden.

---

<sup>127</sup> vgl. Bundesministerium der Finanzen 2001, S. 8.

<sup>128</sup> vgl. Albert, Braun 2008, S. 84.

<sup>129</sup> vgl. Albert, Braun 2008, S. 77.

<sup>130</sup> vgl. Heesen 2010, S. 106.

<sup>131</sup> vgl. Focus Online 2011.

<sup>132</sup> vgl. Spiegel Online 2007.

Zur Bestimmung des Restwertes von konventionellen Fahrzeugen nutzt das Öko-Institut e.V. eine Methode in Anlehnung an Focus Online.<sup>133</sup> Mit folgender Formel wird der Restwert des Fahrzeugs für zukünftige Perioden näherungsweise bestimmt:

$$RW = a * I \left( 1 - b * \frac{M}{15000(\text{km})} \right)^t \quad (16)$$

RW = Restwert/Wiederverkaufswert

I = Investitionskosten/Anschaffungskosten

M = Jahresfahrleistung (km)

a = Parameter zum Berücksichtigen des Neuwagenverlusts (0,6836)

b = Parameter zur Berücksichtigung der Fahrleistung (0,0750)

t = Periode

Für differenziertere Informationen zum Verfahren wird auf die Studie „CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale durch den Einsatz von elektrischen Fahrzeugen in Dienstwagenflotten“ des Öko-Institut e.V. aus dem Jahr 2011 verwiesen.

**Verwaltungsgebühren:** Die Verwaltungsgebühren sind stark abhängig vom Einsatz des Fahrzeugs. Sie variieren je nachdem, ob das Fahrzeug Teil einer großen Fahrzeugflotte ist, oder von einem Einzelunternehmen genutzt wird. Professionelle Flottenmanagement-Anbieter bieten eine Vielzahl von Dienstleistungen an, wie Reporting, Fahrerbetreuung, Rechnungsmanagement, Fahrzeugeinkauf, Fahrzeugverwertung, Logistik etc.<sup>134</sup> Als Halter einer großen Flotte, kann es sinnvoll sein, diese Leistungen in Anspruch zu nehmen. Als selbstständiger Einzelunternehmer mit einem Fahrzeug erscheint die Inanspruchnahme fragwürdig. Aufgrund der starken Abweichungen in Abhängigkeit vom Anwendungsfall und aufgrund der Annahme, dass die Kosten unabhängig vom Nutzfahrzeugtyp in gleicher Höhe anfallen werden, werden diese Kosten im weiteren Verlauf der Arbeit nicht weiter betrachtet.

**Anschaffungskosten:** Die Anschaffungskosten ergeben sich aus dem Listenpreis des Herstellers und den Anschaffungsnebenkosten.<sup>135</sup> In den Anschaffungsnebenkosten werden im weiteren Verlauf der Arbeit nur die Zulassungskosten berücksichtigt.

**Inspektionskosten:** Die Inspektionskosten setzen sich zusammen aus den Kosten für die Hauptuntersuchung und die Abgasuntersuchung. Die Hauptuntersuchung muss bei einer

---

<sup>133</sup> vgl. Zimmer 2011b, S. 43.

<sup>134</sup> vgl. Stenner 2010, S. 117.

<sup>135</sup> vgl. Albert, Braun 2008, S. 1.

Gesamtmasse des Nutzfahrzeugs von maximal 3,5 Tonnen alle 24 Monate durchgeführt werden.<sup>136</sup> Die Abgasuntersuchung findet ebenfalls alle 24 Monate statt.<sup>137</sup>

**Ladeinfrastruktur:** Die Installation einer Ladeinfrastruktur entfällt beim konventionell angetriebenen Fahrzeug.

#### 4.3.2 Variable Kosten des konventionellen Nutzfahrzeugs

Variable Kosten ist die „Bezeichnung für den Teil der Gesamtkosten, dessen Höhe vom Beschäftigungsgrad abhängig ist“<sup>138</sup>. In diesem Fall ist der Beschäftigungsgrad die Kilometerleistung.

**Verbrauchskosten:** Die Verbrauchskosten pro Periode errechnen sich durch Multiplikation von Laufleistung pro Periode (km/Jahr), Verbrauch Dieselkraftstoff (l/100 km) und Preis des Kraftstoffs der Periode (€/l).<sup>139</sup> Der Kraftstoffverbrauchswert wird den Herstellerangaben entnommen, dabei handelt es sich um den Verbrauchswert innerorts. Für den Dieselpreis wird ein Durchschnittswert ermittelt und dessen Entwicklung anhand unterschiedlicher Prognosen abgeschätzt.

**Wartung, Service, Reparatur:** Die Kostenposition Wartung, Service und Reparatur beinhaltet die Kosten für den Reifenersatz, typische Verschleißreparaturen, die Wartungsumfänge des Herstellers und die Pflege. Der Zeitpunkt für den Reifenwechsel hängt stark von unterschiedlichen Faktoren ab, beispielsweise von der Fahrweise des Fahrers, von der Kilometerleistung, Alter und der Qualität der Reifen.<sup>140</sup> Für die Reifenkosten des Citroën Berlingos gibt der ADAC-Autokostenrechner einen Wert von 184,- € bei einer Fahrleistung von 20.000 km pro Jahr an.<sup>141</sup> Folglich wird angenommen, dass die Reifenkosten alle 20.000 km anfallen. Die Pauschale für die weiteren Wartungskosten beträgt nach Herrn Lembke 300 € pro Jahr. Für die Wagenwäsche/Pflege wird vom ADAC eine Pauschale von 250 € pro Jahr angenommen.<sup>142</sup> Die Wartungsintervalle werden für den Berlingo vom ADAC mit 24 Monaten oder einer Laufleistung von 20.000 km angegeben. Der Zahnriemen muss nach 240.000 km oder nach zehn Jahren ersetzt werden.<sup>143</sup>

**Schmierstoffkosten:** Die Schmierstoffkosten sind abhängig von der jeweiligen Laufleistung des Fahrzeugs. Es wird davon ausgegangen, dass ein Ölwechsel nach jedem Wartungsintervall durchgeführt wird.

---

<sup>136</sup> vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2012a.

<sup>137</sup> vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2012a.

<sup>138</sup> vgl. Gabler Wirtschaftslexikon 2012b.

<sup>139</sup> vgl. Ohler, Ohler 2012, S. 45.

<sup>140</sup> vgl. reifen.de 2012.

<sup>141</sup> vgl. ADAC 2012b.

<sup>142</sup> vgl. ADAC 2012a.

<sup>143</sup> vgl. ADAC 2010, S. 9.

4.3.3 Kosten für das konventionelle Referenzfahrzeug

Die Recherche ergab folgende Kosten für das konventionelle Referenzfahrzeug, den Citroën Berlingo L1 Kastenwagen Niveau 1 mit einem 55 kW Dieselmotor:

Kosten	Kosten in €	Quelle
<b>Fixkosten</b>		
<b>Anschaffungskosten</b>		
Listenpreis	14.250	Citroën <sup>144</sup>
Neuzulassung	26,30	LBV Hamburg <sup>145</sup>
Kennzeichen	10,20	LBV Hamburg <sup>146</sup>
<b>Steuern/Jahr</b>	132	vgl. Kapitel 4.3.1
<b>Versicherung (KH + VK)</b>	1.764	Oberschelp <sup>147</sup>
<b>Inspektionskosten</b>		
HU/24 Monate	53,5	TÜV-Hanse <sup>148</sup>
AU/24 Monate	32	TÜV-Hanse <sup>149</sup>
<b>Wagenwäsche/Pflege/Jahr</b>	250	ADAC <sup>150</sup>
<b>Variable Kosten</b>		
<b>Verbrauchskosten</b>		
Verbrauch (innerorts): 5,9 l/100 km	Variabel	Citroën <sup>151</sup>
<b>Wartung, Service, Reparatur</b>		
Reifenkosten/Intervall	184	ADAC <sup>152</sup>
Wartungskosten/Wartungsintervall	300	Lembke <sup>153</sup>
Kosten Zahnriemenwechsel/Intervall	173–485 ( Mittelwert: 329)	deine-autoreparatur.de <sup>154</sup>
<b>Schmierstoffkosten</b>	55–142 ( Mittelwert 98,5)	deine-autoreparatur.de <sup>155</sup>

Tab. 16: Kosten des konventionellen Referenzfahrzeugs

<sup>144</sup> vgl. Citroën 2012.

<sup>145</sup> vgl. LBV Hamburg 2012.

<sup>146</sup> vgl. LBV Hamburg 2012.

<sup>147</sup> vgl. Oberschelp 2012.

<sup>148</sup> vgl. TÜV Hanse 2012.

<sup>149</sup> vgl. TÜV Hanse 2012.

<sup>150</sup> vgl. ADAC 2012a.

<sup>151</sup> vgl. Citroën 2012.

<sup>152</sup> vgl. ADAC 2012b.

<sup>153</sup> vgl. Lembke 2012.

<sup>154</sup> vgl. deine-autoreparatur.de 2012b.

<sup>155</sup> vgl. deine-autoreparatur.de 2012a.

#### 4.4 Kosteneinflussgrößen des elektrischen Nutzfahrzeugs

Im Folgenden werden die Kostenanalysen, die sich auf elektrische Fahrzeuge (oder auf konventionelle und elektrische Fahrzeuge) beziehen, anhand der in Kapitel 4.1 erstellten Begriffskategorien für Kosteneinflussgrößen gegenübergestellt, um einen Überblick über die Relevanz der Kostengrößen zu bekommen (vgl. Tab. 17).

	Herausgeber der Analyse								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Kostenkategorie</b>									
<b>Anschaffungskosten</b>		X	X				X	X	X
<b>Steuern</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	
<b>Wartung, Service, Reparatur</b>		X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Versicherung</b>		X	X	X	X	X		X	
<b>Verwaltungsgebühren</b>						X			
<b>Inspektion</b>		X					X		
<b>Verbrauchskosten</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Schmierstoffkosten</b>		X							
<b>Wertverlust, Abschreibung</b>		X	X	X	X	X	X	X	
<b>Ladeinfrastruktur</b>				X	X				

Tab. 17: Gegenüberstellung der Kostenkategorien (elektrisch)

Je nach Anzahl der Nennungen ergibt sich folgende Reihenfolge (vgl. Tab. 18):

Ranking	Anz. Nennungen	Kostenkategorie
1	9	Verbrauchsdaten
2	8	Steuern
2	8	Wartung, Service, Reparatur
3	7	Wertverlust, Abschreibung
4	6	Versicherung
5	5	Anschaffungskosten
6	2	Inspektion
6	2	Ladeinfrastruktur
7	1	Schmierstoffkosten
7	1	Verwaltungsgebühren

Tab. 18: Ranking der Kostenkategorien (elektrisch)

Die ersten Ränge werden belegt von den Kostenkategorien Verbrauchskosten, Steuern, Wartung, Service, Reparatur, Wertverlust, Abschreibung und Versicherung. Die Kategorie Anschaffungskosten folgt erst auf dem fünften Platz, obwohl die Anschaffungskosten beim elektrischen Nutzfahrzeug die größte Kostenposition ausmachen. Im unteren Bereich des Rankings befinden sich die Kategorien Inspektion, Ladeinfrastruktur, Verwaltungsgebühren und Schmierstoffkosten. Die Schmierstoffkosten werden speziell dem konventionellen Fahrzeug zugeordnet und die Ladeinfrastruktur dem elektrischen Fahrzeug. In keiner der TCO-Analysen wurden die Kosten für eine Ersatzbatterie berücksichtigt. Im Kapitel 4.4.2 wird aus diesem Grund auf die Problematik „Ersatzbatterie“ eingegangen. Die Kostenkategorien lassen sich in Fixkosten und variable Kosten unterteilen. In den folgenden zwei Kapiteln werden diese genauer betrachtet.

#### 4.4.1 Fixkosten des elektrischen Nutzfahrzeugs

**Steuern:** Nach dem Beschluss des Kabinetts in Berlin vom 23.05.2012, soll die Steuerbefreiung für Elektrofahrzeuge um fünf Jahre verlängert werden. Sie gilt für reine Elektrofahrzeuge, die zwischen Mai 2011 und Dezember 2020 zugelassen werden. Für den dynamischen Investitionsvergleich der Nutzfahrzeuge bedeutet dieses, dass die Kosten für Kfz-Steuern bei Elektrofahrzeugen, die bis 2020 zugelassen wurden, vernachlässigt werden können.<sup>156</sup> Nach zehn Jahren erfolgt die Besteuerung nach Gesamtgewicht. „Bis zu einem zulässigen Gesamtgewicht von 2.000 kg beträgt der Satz 11,25 € je angefangene 200 kg. Über 2.000 kg bis 3.000 kg erhöht sich der Steuersatz auf 12,02 €, über 3.000 kg bis 3.500 kg beträgt die KFZ Steuer 12,78 € pro 200 kg. Von dieser gewichtsbezogenen Steuer fallen

<sup>156</sup> vgl. Spiegel Online 2012.

für das elektrische Nutzfahrzeug nur 50% an.“<sup>157</sup> Das bedeutet für den Berlingo bei einem zulässigen Gesamtgewicht von 1.890 kg gleich 56,25 € im Jahr.

**Wertverlust, Abschreibung:** Beim Vergleich der Nutzfahrzeuge werden keine Abschreibungskosten angesetzt, da in der dynamischen Investitionsrechnung nur auszahlungswirksame Zahlungsflüsse berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 4.3.1).

Die Restwertermittlung erfolgt ebenfalls wie beim konventionellen Fahrzeug (vgl. Kapitel 4.3.1), wobei die Batterie gesondert betrachtet wird, da sie einen großen Teil der Anschaffungskosten ausmacht und je nach Anzahl möglicher Ladezyklen und Nutzungsdauer ausgetauscht wird. Dies bedeutet, dass der Restwert des Fahrzeugs nach dem Austausch der Batterie sprunghaft ansteigt. Das Forschungszentrum Jülich GmbH schlägt drei Modelle zur Restwertbestimmung der Batterie vor:

1. Lineare Abschreibung in Abhängigkeit der Zeit
2. Abschreibung analog zu Fahrzeugen
3. Lineare Abschreibung nach technischem Zustand (state of health)

Von den drei vorgestellten Modellen wird in der Vergleichsrechnung die Abschreibung analog zum Fahrzeug angewendet. Dieses erscheint praxisnah, da es bei der Bestimmung des Restwerts nicht um den zeitlichen oder technischen Wert der Batterie geht, sondern um den Wiederverkaufswert bzw. den möglichen Liquidationserlös. Folgende Formel wird nach Angaben des Forschungszentrums Jülich GmbH angewendet, um den Restwert der Batterie zu ermitteln.<sup>158</sup>

$$\Delta V_i = \begin{cases} 0,30 * V_0, & i = 1 \\ 0,07 * V_0, & i > 1 \end{cases} \quad (17)$$

$V_0$  = Anschaffungskosten

$\Delta V_i$  = Wertverlust pro Periode

$i$  = Periode

Um abzuschätzen, ob der errechnete Restwert des elektrischen Nutzfahrzeugs in etwa mit einem Restwert aus der Praxis übereinstimmt, wurden die einschlägigen Internetseiten für gebrauchte Fahrzeuge ([www.autoscout24.de](http://www.autoscout24.de), [mobile.de](http://mobile.de), [ebay.de](http://ebay.de), [ebay.fr](http://ebay.fr) und [fr.automobile.de](http://fr.automobile.de)) nach dem Modell Berlingo First Electric durchsucht (Überprüfungsdatum 06.09.2012). Aus der Recherche ergab sich, dass nur Neuwagen des Modells existieren, diese allerdings mit reduziertem Preis von 19.490 € angeboten werden (vgl. Bemerkung unter Anschaffungskosten S.54). Die Recherche ließ keinen Rückschluss auf den Restwert des elektrischen Nutzfahrzeugs zu.

---

<sup>157</sup> vgl. GoingElectric.de 2012.

<sup>158</sup> vgl. Bickert 2011, S. 17.

**Versicherung:** Wie bereits in Kapitel 4.3.1 erwähnt, gibt es bis jetzt nur wenige Versicherungen, die eine Police für elektrisch angetriebene Nutzfahrzeuge anbieten. Die Anfrage bei 20 Versicherungen ergab, dass nur drei von ihnen einen Tarif anbieten (vgl. Tab. 19). Nach Aussage von Herrn Matthias Oberschelp (Schmitz Horn Treber GmbH) wird die Police für Elektrofahrzeuge nur auf Grundlage des Nettoneuwerts berechnet, da es seitens der Versicherer noch keine ausreichenden Erfahrungswerte gibt. Herr Lembke (Citroën) bestätigte diese Aussage im Interview.<sup>159</sup>

<b>Angefragte Versicherungen am 18.06.2012</b>	
<b>Name</b>	<b>Police für E-Fahrzeuge</b>
Alte Leipziger	Ja
HDI-Gerling Kraftfahrtversicherung	Ja
Debeka Allgemeine Versicherung AG	Nein
Schmitz Horn Treber GmbH	Ja
Deutsche Internet Versicherung AG	Nein
AXA Versicherung	Nein
EUROPA Versicherungen	Nein
Fahrlehrerversicherung VaG	Nein
DA Deutsche Allgemeine Versicherung	Nein
AachenMünchener Versicherung AG	Nein
CosmosDirekt	Nein
Bayerische Beamten Versicherungen	Nein
Gothaer	Nein
Berlin Brandenburg Versicherung AG	Nein
Signal-Iduna	Nein
VRK Versicherungsverein	Nein
D.A.S. Rechtsschutzversicherung	Nein
ERGO Versicherung	Nein
DBV-Winterthur	Nein

Tab. 19: Angefragte Versicherungen bez. einer Police für elektrische NFZ

**Anschaffungskosten:** Die Anschaffungskosten ergeben sich wie beim konventionell angetriebenen Fahrzeug aus dem Listenpreis des Herstellers und den Anschaffungsnebenkosten.<sup>160</sup> In den Anschaffungsnebenkosten werden im weiteren Verlauf der Arbeit nur die Zulassungskosten berücksichtigt.

<sup>159</sup> vgl. Lembke 2012, S. 1.

<sup>160</sup> vgl. Albert, Braun 2008, S. 1.

Die Batterie wird aktuell als Hauptpreistreiber für elektrisch angetriebene Nutzfahrzeuge gesehen. Die Batterie des Vergleichsfahrzeugs Berlingo kostet beispielsweise nach Angabe von Herrn Lembke (Citroën) ca. 20.000 €. <sup>161</sup> Bei einem Listenneupreis von 42.950 € <sup>162</sup> machen die Kosten für die Batterie fast die Hälfte des Fahrzeugpreises aus.

Eine Anmerkung gibt es zum Listenpreis, denn einige Händler bieten das Modell Berlingo First Electric für 19.490 € an. <sup>163</sup> Nach Information von Herrn Lembke sind, die Einführung des neuen Modells und die damit verbundene Produktionsumstellung die Gründe dafür. Denn es werden die Restbestände des alten Modells günstig abgegeben. Das neue Modell wird am 20.9.2012 auf der Internationalen Automobil Ausstellung in Berlin vorgestellt. <sup>164</sup>

Im Verlauf der Arbeit wird der Listenpreis von Citroën berücksichtigt, da nicht davon auszugehen ist, dass im Normalfall ein Preisverfall von ca. 60 % bei einem neuen Nutzfahrzeug eintritt. Zu Versuchszwecken wird dennoch eine Vergleichsrechnung mit dem reduzierten Listenpreis durchgeführt.

**Inspektion:** Da das elektrisch angetriebene Nutzfahrzeug keinen Verbrennungsmotor besitzt, entfallen die Kosten für die Abgasuntersuchung. Die Hauptuntersuchung muss wie beim konventionell angetriebenen Nutzfahrzeug alle 24 Monate durchgeführt werden. <sup>165</sup>

**Ladeinfrastruktur:** In zwei der betrachteten TCO-Analysen wird das Thema Kosten für die Ladeinfrastruktur aufgegriffen (vgl. Tab. 18). Nach eigener Recherche (Telefonat DB Energy, ABB) ist die Kostenentwicklung stark von den örtlichen Begebenheiten sowie den Anforderungen an die Ladetechnik abhängig <sup>166</sup>. So variieren die Kosten zwischen 0,- €, beim Laden des Fahrzeugs beispielsweise an einer vorhandenen 230-V-Steckdose, bis zu 20.000,- €, wenn eine Ladesäule mit Schnellladetechnik und Datenaustausch im öffentlichen Raum genutzt wird. <sup>167</sup> Zu geringfügig unterschiedlichen Ergebnissen kommt ein Bericht des Fraunhofer-Instituts. Hier werden die Kosten unterteilt nach Zugänglichkeit der Ladeinfrastruktur:

- Private Anschlüsse (200–1250 €), Bsp. Garage, Einfamilienhaus
- Halböffentliche Stationen, beschränkter Zugang (1250–3250 €), Bsp. Firmengelände
- Öffentliche Stationen (4.000–17.000 €), Bsp. Innenstadt <sup>168</sup>

Eine genaue Kostenbetrachtung ist also nur möglich, wenn die örtlichen Begebenheiten und die Anforderungen an die Ladeinfrastruktur bekannt sind. Das kann ein Grund sein, warum sie als Kostenfaktor in vielen Kostenbetrachtungen vernachlässigt wird. Im Folgenden wird

---

<sup>161</sup> vgl. Lembke 2012.

<sup>162</sup> vgl. Citroën 2011.

<sup>163</sup> vgl. elektroauto-gebraucht-kaufen.de 2012.

<sup>164</sup> vgl. Lembke 2012.

<sup>165</sup> vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2012a.

<sup>166</sup> vgl. Busch 2012.

<sup>167</sup> vgl. Kleinhanß 2012.

<sup>168</sup> vgl. Doll 2011, S. 8–9.

angenommen, dass es sich beim Laden von Nutzfahrzeugen um eine halböffentliche Ladestation auf dem Firmengelände handelt, die im besten Fall 1250 € kostet.

Weitere Kosten können für Stillstandzeiten anfallen, in denen das Fahrzeug geladen werden muss. Hierdurch ist die Verfügbarkeit geringer. Je nach Ladeinfrastruktur und Batterie kann die Stillstandzeit stark variieren.<sup>169</sup> Die unternehmerische Bewertung der Stillstandzeiten kann stark abweichen. Wird das Fahrzeug im Einschichtbetrieb genutzt und überschreitet seine Reichweite nicht, kann es nachts geladen werden. In diesem Fall ist die Stillstandzeit unproblematisch. Wird das Fahrzeug im Mehrschichtbetrieb genutzt oder übersteigt es seine maximale Reichweite, fällt es während des Ladevorgangs aus. Gegebenenfalls können Aufträge nicht angenommen werden. Es entstehen Ausfallkosten. Da je nach Einsatz des Fahrzeugs die Ausfallkosten stark variieren können und die Einzahlungsseite vernachlässigt wird, werden sie in der dynamischen Vergleichsrechnung nicht berücksichtigt. Unter der Annahme, dass das Nutzfahrzeug eine maximale Strecke von 80 km zurücklegt, kann die angesprochene Problematik unberücksichtigt bleiben.

**Verwaltungsgebühr:** Die Verwaltungsgebühr bleibt wie beim konventionell angetriebenen Fahrzeug unberücksichtigt. (vgl. Kapitel 4.3.1)

#### 4.4.2 Variable Kosten des elektrischen Nutzfahrzeugs

**Verbrauchskosten:** Wie beim konventionellen Nutzfahrzeug errechnen sich die Verbrauchskosten pro Periode durch Multiplikation von Laufleistung pro Periode (km/Jahr), Stromverbrauch (kWh/km) und Strompreis (€/kWh).<sup>170</sup> Der Verbrauchswert wird den Herstellerangaben von Citroën entnommen. Für den Strompreis wird ein aktueller Durchschnittswert für Haushaltsstrom angenommen und dessen Entwicklung anhand unterschiedlicher Prognosen für jede Periode abgeschätzt.

Anmerkung zum Stromtarif: Da keine Informationen über den Jahresverbrauch sowie die Verbrauchsspitzen oder die Tarifpräferenzen des Fahrzeugnutzers vorliegen, wird ein normaler Haushaltstarif angenommen. Wenn das Fahrzeug CO<sub>2</sub>-neutral betrieben werden soll, muss ein Ökostromtarif angewendet werden. Preise für Ökostrom unterscheiden sich regional sehr stark. Tendenziell ist der Preis für Ökostrom in den letzten Jahren gesunken, teilweise liegt er sogar unter dem Preis des „herkömmlichen“ Stroms.<sup>171</sup>

**Schmierstoffkosten:** Die Schmierstoffkosten entfallen beim elektrischen Nutzfahrzeug, da es aufgrund des Elektromotors keine Schmierstoffe benötigt.

---

<sup>169</sup> vgl. Doll 2011, S. 9.

<sup>170</sup> vgl. Ohler, Ohler 2012, S. 45.

<sup>171</sup> vgl. stromauskunft.de 2012.

**Wartung, Service Reparatur:** Für die Kostenposition Wartung, Service, Reparatur ergeben sich die Kosten ähnlich wie beim konventionell angetriebenen Fahrzeug. Für die Reifenkosten wird wie beim konventionellen Modell eine Pauschale von 184 € pro 20.000 km angenommen. Eine Anmerkung gibt es zum Verschleiß der Reifen beim elektrischen Modell, denn laut Herrn Lembke (Citroën) fällt dieser aufgrund des Bremsens mittels Rekuperation geringer aus als beim konventionellen Modell. Quantitative Werte oder eine Formel zur Bestimmung des Reifenverschleißes gibt es nach seinen Angaben allerdings nicht.<sup>172</sup> Für die Wagenwäsche/Pflege wird nach ADAC-Angaben eine Pauschale von 250 € pro Jahr angenommen.<sup>173</sup> Abweichend vom konventionellen Fahrzeug beträgt die Pauschale für weitere Wartungs- und Reparaturkosten nach Herrn Lembke nur 150 € pro Jahr.<sup>174</sup> Die Angaben für Wartungsintervalle werden vom konventionell angetriebenen Berlingo übernommen. Der ADAC gibt einen Wert von 24 Monaten oder eine Laufleistung von 20.000 km an.<sup>175</sup>

**Ersatzbatterie:** Das Thema Ersatzbatterie wird in keiner der TCO- oder Kostenanalysen aufgegriffen, dennoch ist zu beachten, dass die meisten Batteriehersteller nur eine Garantie über 1.000 Ladezyklen übernehmen. Es sollen jedoch bis zu 4.000 Ladezyklen möglich sein.<sup>176</sup> Herr Lembke von Citroën bestätigte die Garantie von 1.000 Ladezyklen von Herstellerseite für die im Auslieferungszustand verbaute Batterie, wies aber darauf hin, dass bis zu 2.000 Ladezyklen durchaus möglich sind.<sup>177</sup> Das Paul Scherrer Institut (PSI) geht in seinen Berechnungen von 1.500 Ladezyklen aus.<sup>178</sup>

Wird das Nutzfahrzeug länger betrieben, ist ein Batteriewechsel nötig, der je nach aktuellem Batteriepreis hohe Kosten verursachen kann. Wird davon ausgegangen, dass das Fahrzeug an 300 Tagen im Jahr genutzt wird (52 Wochen à 6 Arbeitstage, minus Feiertage/Urlaub) und an jedem dieser Tage geladen wird, so muss die Batterie nach fünf Jahren gewechselt werden. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird daher ein möglicher Batteriewechsel im Vergleich der Nutzfahrzeuge nach 5 Jahren berücksichtigt.

Im Auslieferungszustand des Herstellers ist im Referenzfahrzeug Citroën Berlingo First Electric eine ZEBRA-Batterie verbaut.<sup>179</sup> Ihre Kosten belaufen sich auf ca. 20.000 € laut Angabe von Herrn Lembke.<sup>180</sup> Beim Austausch der Batterie wird in der Vergleichsrechnung davon ausgegangen, dass es möglich ist, einen zu dem Austauschzeitpunkt aktuellen Batterietypen zu verwenden, dessen Kosten sich aus der Kapazität der alten Batterie von 23,5 kWh

---

<sup>172</sup> vgl. Lembke 2012.

<sup>173</sup> vgl. ADAC 2012a.

<sup>174</sup> vgl. Lembke 2012.

<sup>175</sup> vgl. ADAC 2010.

<sup>176</sup> vgl. Motorvision.de 2011.

<sup>177</sup> vgl. Lembke 2012, S. 1.

<sup>178</sup> vgl. Bauer, Simons 2010, S. 6.

<sup>179</sup> vgl. Citroën 2012.

<sup>180</sup> vgl. Lembke 2012.

und dem zur Periode aktuellen Batteriepreis pro kWh (€) zusammensetzen. Weiter wird davon ausgegangen, dass die Kapazität der Batterie konstant bleibt. Eine Abschätzung über die Entwicklung des Batteriepreises wird in Kapitel 5.1 vorgenommen.

#### 4.4.3 Kosten für das elektrische Referenzfahrzeug

Die Recherche ergab folgende Kosten für das elektrische Referenzfahrzeug, den Citroën Berlingo First Electric:

Kosten	Kosten in €	Quelle
<b>Fixkosten</b>		
<b>Anschaffungskosten</b>		
Netto-Listenpreis	42.950	Citroën <sup>181</sup>
Neuzulassung	26,3	LBV Hamburg <sup>182</sup>
Kennzeichen	10,2	LBV Hamburg <sup>183</sup>
<b>Kosten Ladeinfrastruktur (€)</b>	1.250	Angenommener Wert, Doll <sup>184</sup>
<b>Steuern/Jahr</b>	0	Spiegel Online <sup>185</sup>
<b>Steuern nach 10 Jahren/Jahr</b>	56,25	GoingElectric.de <sup>186</sup>
<b>Versicherung (KH + VK)</b>	605	Oberschelp <sup>187</sup>
<b>Inspektionskosten</b>		
HU/24 Monate	53,5	TÜV - Hanse <sup>188</sup>
AU/24 Monate	0	
<b>Wagenwäsche/Pflege/Jahr</b>	250	ADAC <sup>189</sup>
<b>Variable Kosten</b>		
<b>Verbrauchskosten</b>		
Verbrauch: 21 kWh/100 km	Variabel	ADAC <sup>190</sup>
<b>Wartung, Service, Reparatur</b>		
Reifenkosten/Intervall	184	ADAC <sup>191</sup>
Wartungskosten/Wartungsintervall	150	Lembke <sup>192</sup>
Ersatzbatterie nach 1.500 Zyklen	Variabel	PS-Institut <sup>193</sup>

Tab. 20: Kosten des elektrischen Referenzfahrzeugs

<sup>181</sup> vgl. Citroën 2010.

<sup>182</sup> vgl. LBV Hamburg 2012.

<sup>183</sup> vgl. LBV Hamburg 2012.

<sup>184</sup> vgl. Doll 2011, S. 8–9.

<sup>185</sup> vgl. Spiegel Online 2012.

<sup>186</sup> vgl. GoingElectric.de 2012.

<sup>187</sup> vgl. Oberschelp 2012.

<sup>188</sup> vgl. TÜV Hanse 2012.

<sup>189</sup> vgl. ADAC 2012a.

<sup>190</sup> vgl. ADAC 2012c.

<sup>191</sup> vgl. ADAC 2012b.

<sup>192</sup> vgl. Lembke 2012.

<sup>193</sup> vgl. Bauer, Simons 2010.

## 5. Entwicklung ausgewählter Kosteneinflussgrößen

„Die zukünftige Energiepreisentwicklung ist von maßgeblicher Bedeutung für die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Pkw. Gleichzeitig sind Prognosen zur Energiepreisentwicklung mit großen Unsicherheiten behaftet.“<sup>194</sup>

Das Zitat bringt die Herausforderung auf den Punkt, denn um eine Aussage über die zukünftige Vorteilhaftigkeit von konventionell angetriebenen oder elektrisch angetriebenen Fahrzeugen machen zu können, bedarf es möglichst gesicherter Angaben über die Kosteneinflussgrößen. Um deren Entwicklung abschätzen zu können, werden unterschiedliche Prognosen miteinander verglichen und ein zu erwartender Kostenverlauf ermittelt.

Neben der Energiepreisentwicklung ist die Entwicklung des Fahrzeugpreises für Elektrofahrzeuge von großer Bedeutung. Eine ausschlaggebende Einflussgröße ist die Batterie, die zurzeit zwischen 15.000 und 20.000 € kostet.<sup>195</sup>

Kritisch ist anzumerken, dass für die Preisverläufe von einfachen Kurvenverläufen (linear, exponentiell) ausgegangen wird, in der Realität sind die Verläufe meist komplexer. Bei aktuelleren oder genaueren Erkenntnissen lassen sich die Werte in der dynamischen Vergleichsrechnung ändern. Es ist davon auszugehen, dass bei einem schnelllebigen Thema wie Elektromobilität und Energie, die Prognosen ggf. angepasst werden müssen.

### 5.1 Entwicklung des Batteriepreises

Der heutige Trend zeigt ein Sinken des Batteriepreises. Aktuellste Prognosen der Unternehmens- und Strategieberatung McKinsey & Company sagen eine Preissenkung von heute 500–600 US\$/kWh auf ca. 200 US\$/kWh im Jahr 2020 voraus. Bis 2025 sollten die Preise sogar auf 160 US\$/kWh fallen.<sup>196</sup> Begründet wird die Entwicklung durch Skaleneffekte, Optimierung der Produktionsprozesse und eine Verteilung der Fixkosten auf größere Stückzahlen.<sup>197</sup>

Aus der Literaturrecherche ergaben sich neun relevante Prognosen zur Entwicklung des Batteriepreises. Deren Aktualität reicht von 2009 bis 2012.

---

<sup>194</sup> vgl. Zimmer 2011a, S. 9.

<sup>195</sup> vgl. Focus Online 2008.

<sup>196</sup> vgl. McKinsey & Company 2012, S. 1.

<sup>197</sup> vgl. McKinsey & Company 2012, S. 2.

Folgende Studien wurden verwendet:

- Credit Suisse (2009)<sup>198</sup>
- Öko-Institut (2009)<sup>199</sup>
- Bain & Company (2010)<sup>200</sup>
- Boston Consulting Group (2010)<sup>201</sup>
- Roland Berger Consultants (2010)<sup>202</sup>
- McKinsey & Company (2010)<sup>203</sup>
- Boston Consulting Group (2011)<sup>204</sup>
- Nationale Plattform Elektromobilität (2011)<sup>205</sup>
- McKinsey & Company (2012)<sup>206</sup>

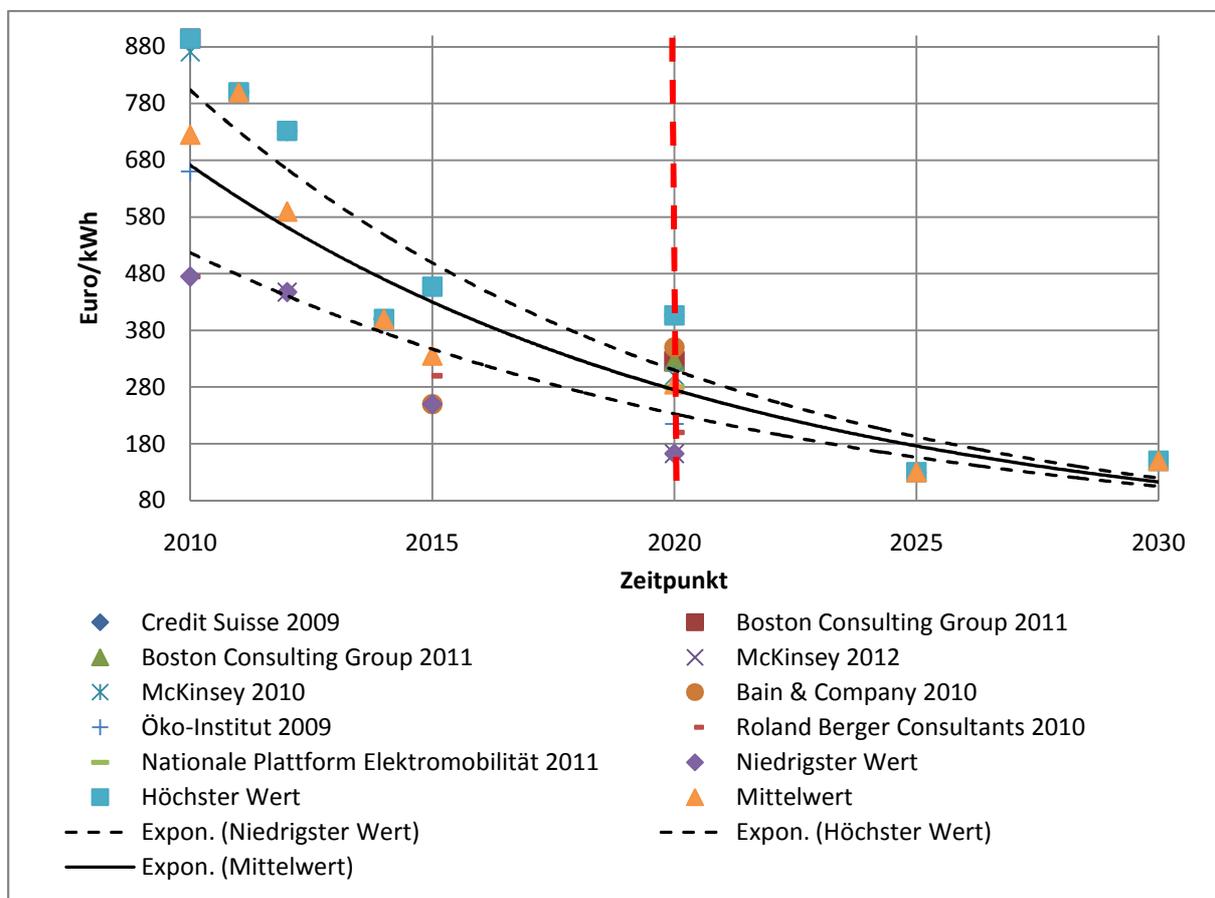


Abb. 15: Auswertung von Prognosen über den Batteriepreis bis 2030

<sup>198</sup> vgl. Credit Suisse 2009, S. 30.

<sup>199</sup> vgl. Zimmer 2011a, S. 128.

<sup>200</sup> vgl. Bain & Company 2010, S. 15.

<sup>201</sup> vgl. Boston Consulting Group 2010, S. 5.

<sup>202</sup> vgl. Roland Berger Strategy Consultants 2010, S. 5.

<sup>203</sup> vgl. McKinsey & Company 2010, S. 35.

<sup>204</sup> vgl. Boston Consulting Group 2011, S. 6.

<sup>205</sup> vgl. Nationale Plattform Elektromobilität 2011b, S. 27.

<sup>206</sup> vgl. McKinsey & Company 2012, S. 2.

Abb. 15 veranschaulicht die Preise je kWh, die sich aus unterschiedlichen Batteriepreisprognosen von 2010 bis 2030 ergeben. Bei angegebenen Dollarpreisen wurden die Werte in Euro umgerechnet (aktueller Dollarkurs von 1,23 €, Stand 01.08.2012).

Tendenziell ist ein Rückgang des Preises zu erkennen. Zur Abschätzung der Preisentwicklung wurden die Maximal- und die Minimalwerte sowie ein Durchschnittswert je Prognosezeitpunkt ermittelt. Eine exponentiell abnehmende Trendlinie passt sich gut den Werten an. Aus theoretischer Überlegung lässt sich der exponentiell abnehmende Trend durch Skaleneffekte, Optimierung der Produktionsprozesse und eine Verteilung der Fixkosten auf größere Stückzahlen begründen, wie in der neusten Studie von McKinsey & Company beschrieben.<sup>207</sup> Es ist wahrscheinlich, dass sich der Batteriepreis über einen längeren Zeitraum betrachtet einem Endwert annähert und nicht null wird, wie beispielsweise bei einem linear abnehmenden Trend. Nach dem Jahr 2020 (rote Linie) beschränkt sich die Zahl der Daten auf einen Wert für 2025 und einen Wert für 2030, sodass eine Preisvorhersage auf Basis mehrerer Daten nicht möglich ist. Martin Winter, Leiter des Batterieforschungszentrums der Uni Münster, ist zurückhaltender mit weitreichenden Prognosen, er geht davon aus, „dass diese Prognosen noch mehrfach angepasst werden, je näher wir 2020 kommen“<sup>208</sup>. Gestützt wird diese Aussage durch die abweichenden Preisangaben der Batteriepreisprognosen. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird das ermittelte Preisintervall zwischen der oberen und unteren Trendlinie (schwarz, gestrichelt) betrachtet. Aus den Gleichungen der Trendlinien (hohe, mittlere, niedrige) ergeben sich folgende Wertepaare (vgl. Tab. 21).

---

<sup>207</sup> vgl. McKinsey & Company 2012, S. 2.

<sup>208</sup> vgl. Mock 2012, S. 1.

## 5. Entwicklung ausgewählter Kosteneinflussgrößen

---

<b>Jahr</b>	<b>Hohe Trendlinie</b>	<b>Mittlere Trendlinie</b>	<b>Niedrige Trendlinie</b>
2012	658,63 €	556,53 €	419,67€
2013	598,74 €	509,03 €	387,48€
2014	544,29 €	465,59 €	357,76€
2015	494,79 €	425,85 €	330,32€
2016	449,80 €	389,51 €	304,98€
2017	408,90 €	356,26 €	281,59€
2018	371,71 €	325,86 €	259,99€
2019	337,91 €	298,05 €	240,05€
2020	307,18 €	272,61 €	221,64€
2021	279,25 €	249,34 €	204,64€
2022	253,85 €	228,06 €	188,95€
2023	230,77 €	208,60 €	174,45€
2024	209,78 €	190,79 €	161,07€
2025	190,71 €	174,51 €	148,72€
2026	173,37 €	159,62 €	137,31€
2027	157,60 €	145,99 €	126,78€
2028	143,27 €	133,53 €	117,06€
2029	130,24 €	122,14 €	108,08€
2030	118,40 €	111,71 €	99,79€

Tab. 21: Wertetabelle der Batteriepreisverläufe bis 2030

## 5.2 Entwicklung des Strompreises

**Vergangenheitswerte:** Zur Vorhersage des Strompreises werden durchschnittliche Strompreisdaten aus vergangenen Jahren betrachtet. Aus diesen Daten werden Rückschlüsse über zukünftige Entwicklungen geschlossen. Datenquelle ist das Statistische Bundesamt mit Verweis auf Eurostat, Energiestatistik.<sup>209</sup> Abb. 16 zeigt exemplarisch die Entwicklung des Strompreises inklusive Steuern für die Abgabe an Haushaltskunden vom Jahr 2007 bis zum Jahr 2011. In den Jahren vor 2007 erfolgte die Berechnung des durchschnittlichen Strompreises auf Basis eines abweichenden Verfahrens.

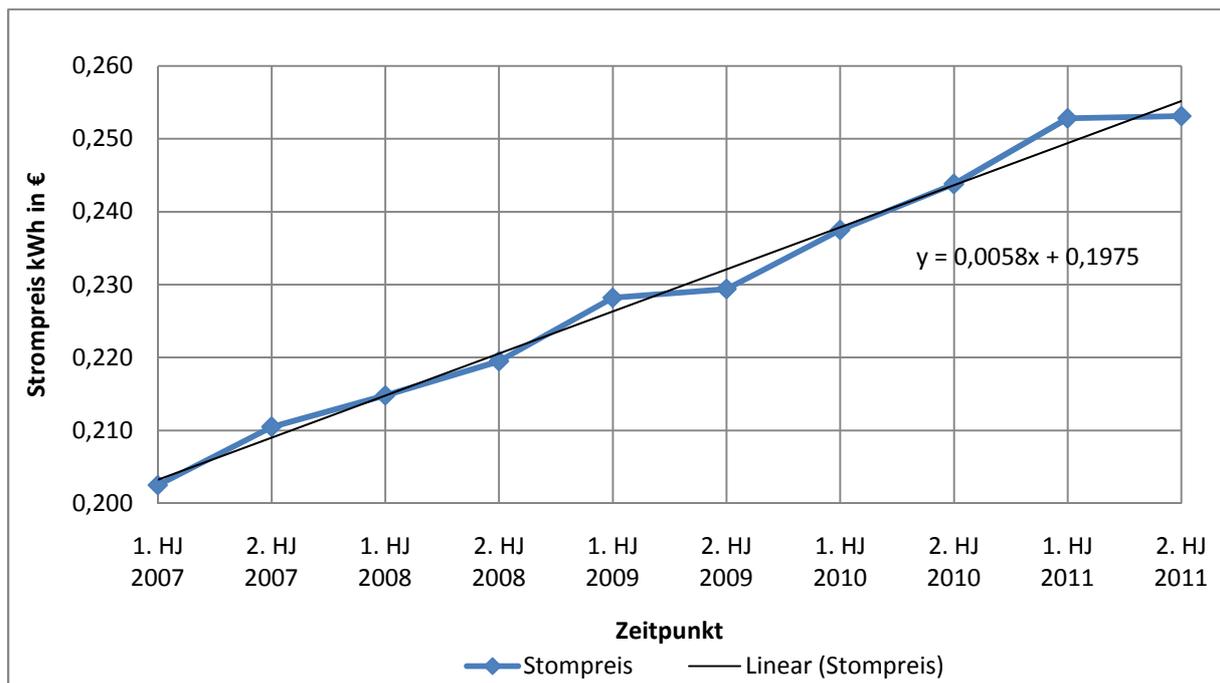


Abb. 16: Entwicklung des Strompreises von 2007–2011

Vom Jahr 2007 bis zum Jahr 2011 ist ein relativ konstanter Anstieg des Strompreises zu erkennen. Eine positiv verlaufende lineare Trendlinie (Steigungsfaktor 0,0058) passt sich gut dem Verlauf der Punkte an. Setzt sich dieser Trend fort, so würde 2020 der Strom ca. 0,43 €/kWh, im Jahr 2030 ca. 0,55 €/kWh kosten. Für die Berechnung zukünftiger Preise muss beachtet werden, dass der Steigungsfaktor verdoppelt werden muss, da die Skalierung in Abb. 16 halbjährlich ist, dadurch ergibt sich ein Steigungsfaktor von 0,0116. Das bedeutet, dass der Strompreis jährlich um 1,16 Cent/kWh steigt.

<sup>209</sup> vgl. Statistisches Bundesamt 2012.

**Prognosewerte:** Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie prognostizierte (2010) einen Strompreis von 0,234 €/kWh für 2020 und 0,226 €/kWh für 2030.<sup>210</sup> Das Öko-Institut e.V. (2011) geht von einem Strompreis von 0,217/kWh € für 2020 und 0,222 €/kWh für 2030 aus.<sup>211</sup> In Jahren, in denen mehrere Werte gegeben sind, werden Mittelwerte gebildet, ansonsten werden die Werte grafisch dargestellt und ebenfalls eine Trendlinie (Steigungsfaktor  $-0,0001$ ) ermittelt (vgl. Abb. 17).

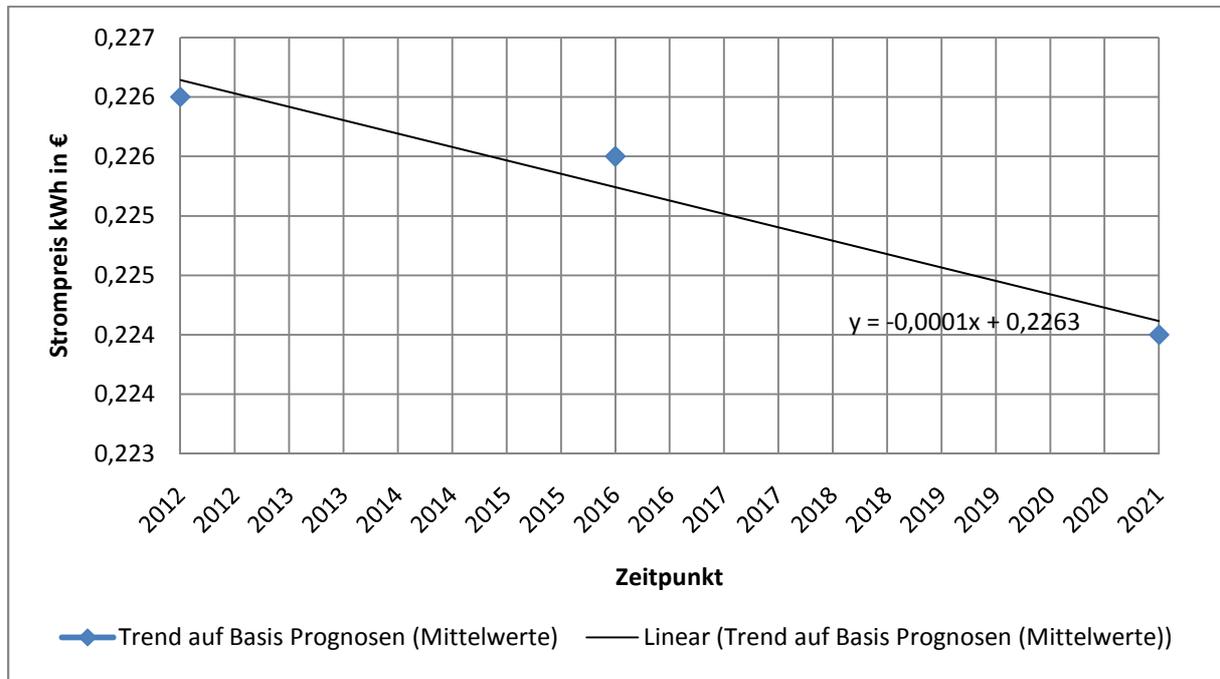


Abb. 17: Entwicklung des Strompreises auf Basis von Prognosen

Bei einem Steigungsfaktor von  $-0,0001$  ist der Verlauf der Strompreisentwicklung fast konstant, sogar leicht rückläufig. Dieser Trend muss kritisch betrachtet werden, da Vergangenheitswerte und Pressemitteilungen eine andere Entwicklung vorhersagen. Im Rechenvergleich werden beide Preisverläufe berücksichtigt.

<sup>210</sup> vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 2010, S. 4.

<sup>211</sup> vgl. Zimmer 2011a, S. 9.

### 5.3 Entwicklung des Dieselpreises

**Vergangenheitswerte:** Um eine Vorhersage zur Entwicklung des Dieselpreises zu treffen, werden die Preisdaten aus vergangenen Jahren betrachtet. Datenquelle ist das Statistische Bundesamt. Es werden die Preisindizes (Jahresdurchschnitt) für „Diesel ab Tankstelle“ von 2000 bis 2011 als Datenbasis verwendet. Abb. 18 zeigt den grafischen Verlauf des Dieselpreises von 2000 bis 2011.

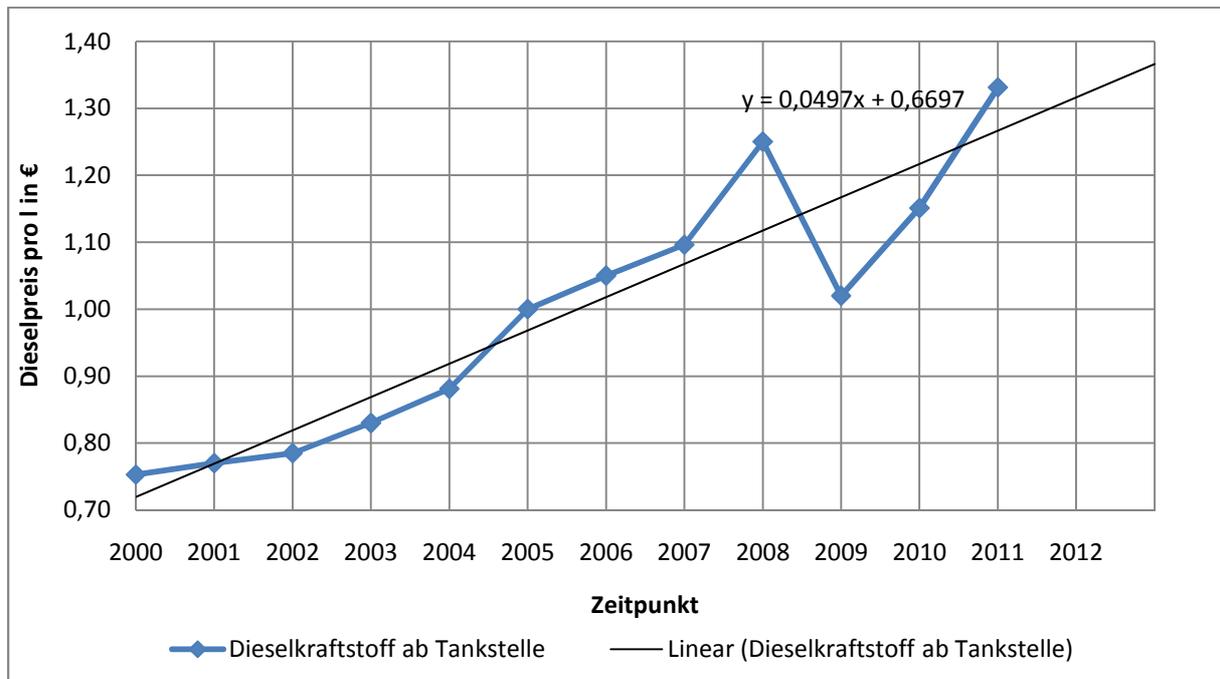


Abb. 18: Entwicklung des Dieselpreises von 2000–2011<sup>212</sup>

Der Preisverlauf zeigt einen positiven Trend, allerdings mit einigen Schwankungen. Fügt man eine lineare Trendlinie ein, zeigen sich die größten Preisschwankungen in den Jahren 2008 und 2009 vermutlich aufgrund der Finanzkrise.<sup>213</sup> Bei angenommener Fortsetzung des Trends (Steigungsfaktor 0,0497 entspricht einer jährlichen Preissteigerung von 4,97 Cent/l) würde sich im Jahr 2020 ein Dieselpreis von 1,66 €/l und für 2030 ein Preis von 2,16 €/l ergeben.

<sup>212</sup> Eigene Darstellung auf Datenbasis des Statistischen Bundesamtes 2012.

<sup>213</sup> Kearney, A. T. 2009

**Prognosewerte:** Prognosen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (2010)<sup>214</sup>, des Instituts für Verkehrswissenschaften der Uni Köln (2011)<sup>215</sup> und des Öko-Instituts e.V. (2011)<sup>216</sup> gehen ebenfalls von steigenden Preisen aus. Allerdings unterscheiden sich die Prognosen in der Höhe der Preise. Das Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie gibt Preise von 1,29 €/l (2012), 1,52 €/l (2020) und 1,69 €/l (2030) an, das Institut für Verkehrswissenschaften der Uni Köln Preise von 1,74 €/l (2015) und 2,16 €/l (2020) und das Öko-Institut e.V. 1,44 €/l (2020) und 1,61 €/l (2030). In Jahren in denen mehrere Werte gegeben sind, werden Mittelwerte gebildet, ansonsten werden die Werte grafisch dargestellt und ebenfalls eine Trendlinie (Steigungsfaktor 0,0122 entspricht einer Preissteigerung von 1,22 Cent/l pro Jahr) ermittelt (vgl. Abb. 19). Aufgrund der stark variierenden Preisprognosen verläuft die Trendlinie relativ weit entfernt von den einzelnen Werten.

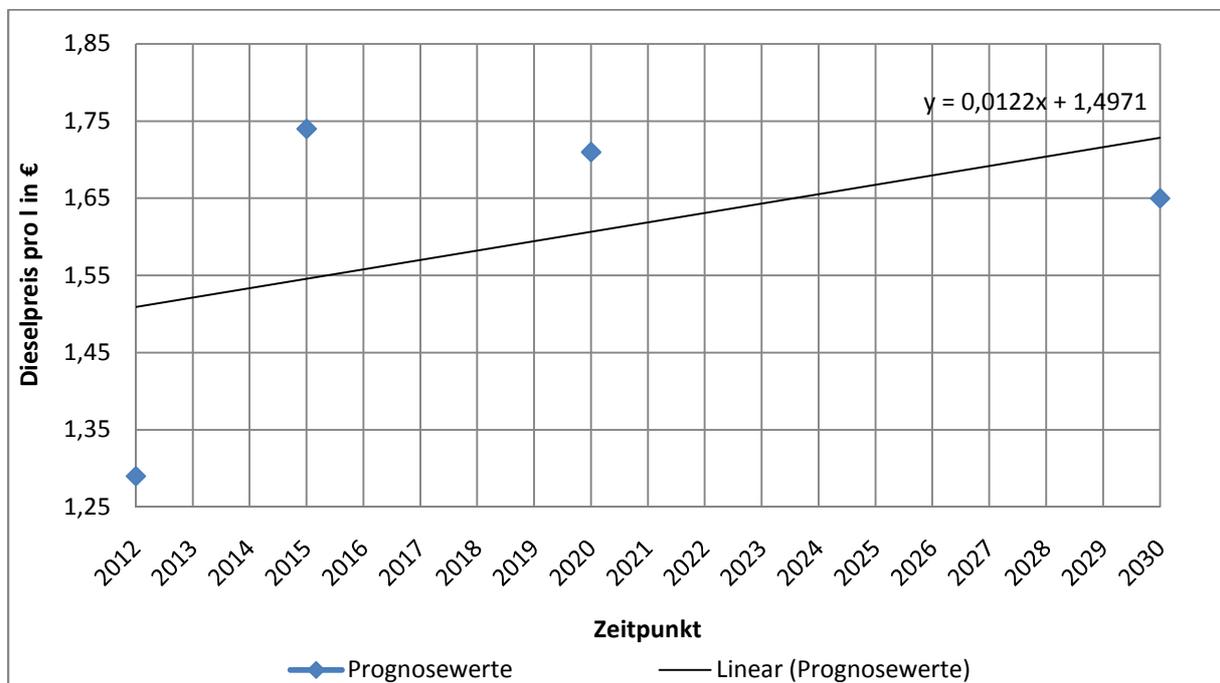


Abb. 19: Entwicklung des Dieselpreises auf Basis von Prognosen

<sup>214</sup> vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 2010.

<sup>215</sup> vgl. Baum 2011, S. 9.

<sup>216</sup> vgl. Zimmer 2011a.

## 6. Erstellung des Rechenmodells

Im bisherigen Verlauf der Arbeit wurden die Grundlagen erarbeitet, um den Vergleich der Referenzfahrzeuge mittels Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung durchzuführen. In diesem Kapitel wird beschrieben, welches Rechenverfahren eingesetzt wird, welche Eingangsfaktoren in die Rechnung eingehen und welche Ergebnisse aus der Vergleichsrechnung folgen.

### 6.1 Auswahl des Rechenverfahrens

Aus den Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung wird die Kapitalwertmethode angewendet. Alle anderen vorgestellten Verfahren basieren auf dieser Methode. Die anderen Verfahren werden meist zusätzlich durchgeführt (vgl. Kapitel 3.3.4). Wie bereits in Kapitel 1.1 beschrieben, werden die Einzahlungsströme, bis auf den Liquidationserlös, bei der Vergleichsrechnung vernachlässigt. Dieses hat zur Folge, dass nur mit Auszahlungen gerechnet wird. Beim Anwenden der Kapitalwertmethode folgt daraus ein negativer Kapitalwert. Voraussetzung für die Anwendung der Interne-Zinssatz-Methode und der dynamischen Amortisationsrechnung ist die Bedingung, dass der Kapitalwert null wird (vgl. Kapitel 3.3.3.4 und Kapitel 3.3.3.6). Da dieses unter Vernachlässigung der Einzahlungen nicht eintreten kann, kommen die beiden Verfahren nicht zur Anwendung. Die Annuitätenmethode gibt Auskunft über den Periodenerfolg einer Investition, wobei sie den Kapitalwert gleichmäßig auf alle Perioden verteilt (vgl. Kapitel 3.3.3.5). Die Information über den negativen Periodenerfolg ergibt beim Vergleich der Nutzfahrzeuge keinen Mehrwert, deshalb wird die Annuitätenmethode nicht angewendet. Eine weitere Folge der Vernachlässigung der Einzahlungen ist, dass zwischen den Nutzfahrzeugen nur die relative Vorteilhaftigkeit festgestellt werden kann. Zur Ermittlung der absoluten Vorteilhaftigkeit müsste der Kapitalwert positiv werden.

### 6.2 Zusammenführen der Eingangsgrößen

Die Eingangsgrößen ergeben sich zum größten Teil aus der spezifischen Literaturrecherche (vgl. Kapitel 2.2). In Kapitel 4.3 und Kapitel 4.4 wurden die Hauptkosteneinflussfaktoren aus den TCO-Analysen definiert und praxisnahe Kostenwerte für die Referenzfahrzeuge des Modells Berlingo von Citroën bestimmt. Neben den Kosteneinflussfaktoren gehen die Prognosen über Batteriepreis, Strompreis und Dieselpreis in die Vergleichsrechnung ein (vgl. Kapitel 5). Sonstige Daten über Verbrauch, Wartungsintervalle, Reichweite, Batteriekapazität etc. entstammen ebenfalls der Literaturrecherche. Sie finden sich in Kapitel 4.2, Kapitel 4.3 und in Kapitel 4.4. Die Eingangsgrößen Kalkulationszins, Dieselpreisverlauf, Strompreisverlauf und Batteriepreisverlauf können unter gewissen Annahmen in der Vergleichsrechnung auf dem Arbeitsblatt „Auswertung“ variiert werden.

Falls andere Eingangsgrößen geändert werden sollen, kann dieses in der Excel-Arbeitsmappe „Rechenvergleich“ vorgenommen werden. Die möglichen änderbaren Werte sind grün hinterlegt und befinden sich auf den Arbeitsblättern „Rechenmodell“.

### **6.3 Definition der Ausgangsgrößen**

Durch Anwendung der Kapitalwertmethode und die Vernachlässigung der Einzahlungsseite, wie in Kapitel 6.1 beschrieben, ist das Ergebnis der Vergleichsrechnung ein negativer Kapitalwert. Dieser ergibt sich abhängig von der Nutzungsperiode jeweils für das konventionelle sowie für das elektrische Nutzfahrzeug. Für den Vergleich der Nutzfahrzeuge dient also der negative Kapitalwert als Vorteilhaftigkeitskriterium. Das Nutzfahrzeug ist vorteilhafter, je positiver sein Kapitalwert, bzw. je weniger negativ er ist.

Grafisch wird der Verlauf der Kapitalwerte des konventionellen und des elektrischen Nutzfahrzeugs abhängig von den Perioden in einem Diagramm dargestellt. Je nach Nutzfahrzeug werden in zwei Kreisdiagrammen die Summen der abgezinsten Auszahlungen über alle Perioden gegenübergestellt. Sie sind gegliedert nach Kostenpositionen, sodass sich erkennen lässt, welche der Positionen über die gesamte Nutzungsdauer den größten Anteil an den Gesamtauszahlungen und somit am Kapitalwert haben.

Die Ergebnisse der Rechnung befinden sich in der Excel-Arbeitsmappe auf dem Tabellenblatt „Auswertung“. Hier finden sich die grafische Auswertung und die wichtigsten Zahlen wieder. Für Zwischenergebnisse wird auf das Tabellenblatt „Rechenmodell“ verwiesen.

### **6.4 Beschreibung der Vergleichsrechnung**

Der dynamischen Vergleichsrechnung hinterliegt eine Excel-Arbeitsmappe (vgl. Anh. 8) mit den recherchierten Werten für die Kosteneinflussgrößen und den sonstigen Daten wie z.B. Nutzungsdauer, Kalkulationszins, Wartungsintervalle etc. Für die Nutzungsdauer vom Jahr 2012 bis zum Jahr 2030 werden die Auszahlungen periodisch untereinander aufgelistet, daraus werden die Summen der Auszahlungen ermittelt und diese entsprechend der Periode mit dem Kalkulationszins abgezinst. Die abgezinsten Summen der Auszahlungen werden ab der ersten Periode kumuliert und durch Addition des entsprechenden Liquidationserlöses (Restwert der Periode) wird der Kapitalwert der jeweiligen Periode errechnet. Der beschriebene Vorgang geschieht für jedes Nutzfahrzeug separat. Abb. 20 stellt schematisch die Eingangs- und Ausgangsgrößen der Rechnung dar.

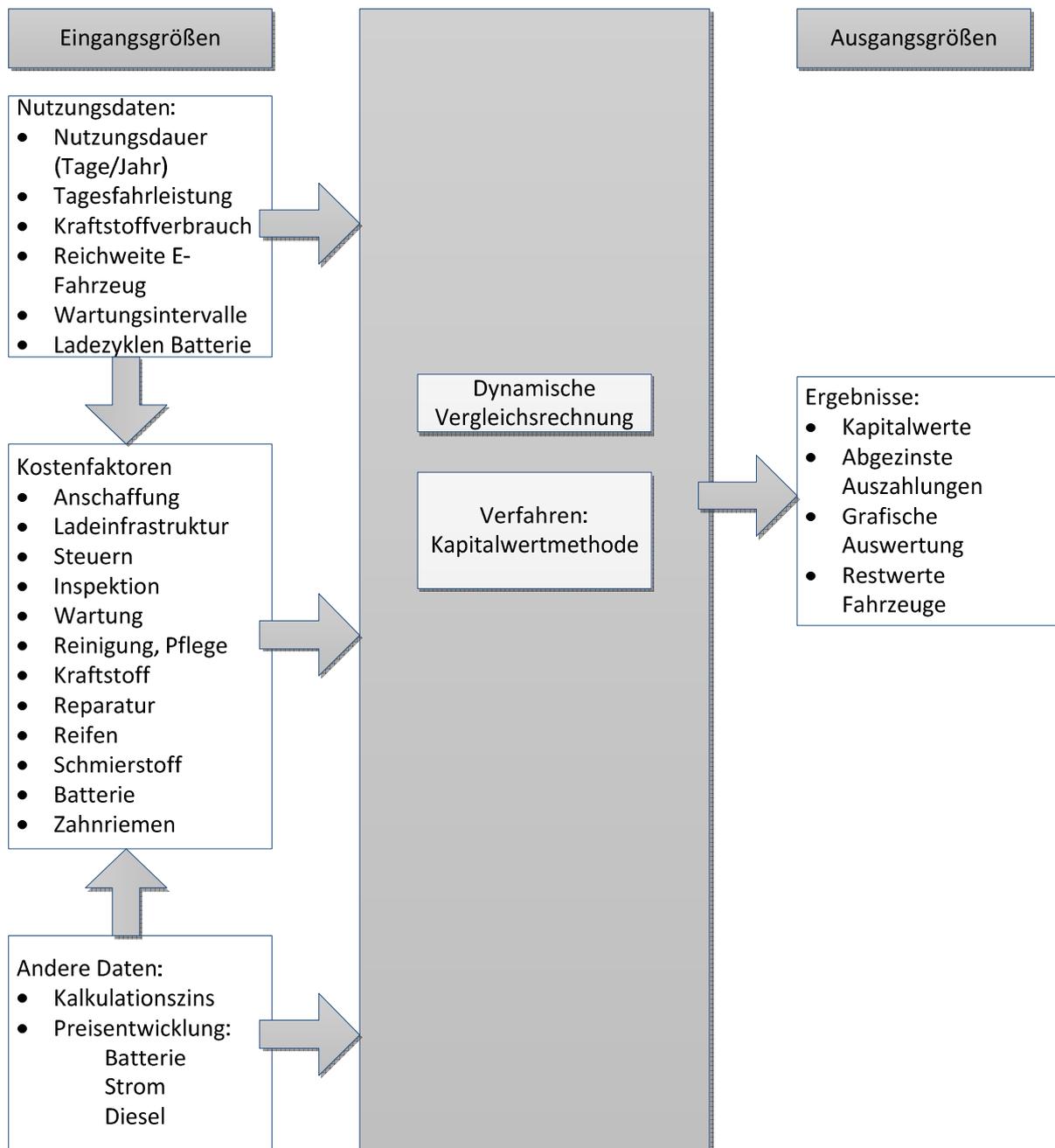


Abb. 20: Schematische Darstellung der Vergleichsrechnung

### 6.5 Grafische Aufbereitung des Rechenmodells

Zur besseren Anwendbarkeit und Erhöhung der Aussagekraft des Rechenmodells findet eine grafische Aufbereitung statt. In Excel wurde ein Arbeitsblatt erstellt, das die wichtigsten Daten und deren grafische Auswertung beinhaltet.

Um die Vergleichsrechnung auch ohne Excel durchführen zu können und zur Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit wurde eine grafische Oberfläche, ein sogenanntes „Dashboard“, erstellt. Der englische Begriff „dashboard“ bedeutet wörtlich übersetzt Instrumententafel oder Kennzahlen-Cockpit. „Auf einen Blick kann der Betrachter auf Basis einer Zusammenstellung von Messinstrumenten alle entscheidungsrelevanten Informationen und eventuelle Warnungen erfassen. Ein Dashboard kann somit als ein Analyseinstrument zum Zweck der Entscheidungsunterstützung definiert werden, welches EDV-gestützt eine einheitliche und übersichtliche Visualisierung einer ausgewählten Anzahl von Indikatoren in Echtzeit generiert.“<sup>217</sup> Zur Umsetzung des Dashboards wurde die Software Dashboard Design von SAP eingesetzt. Dazu wurde die Excel-Arbeitsmappe mit der Vergleichsrechnung in die Software importiert. Im Grafikarbeitsbereich wurde die Oberfläche des Dashboards mit Diagrammen, Eingabefeldern, Tabellen etc. erstellt und im Anschluss mit dem Excel-Arbeitsblatt verknüpft. Im Anh. 7 befinden sich vier Darstellungen des entwickelten Dashboards, um dem Leser einen Eindruck von der Bedienoberfläche zu vermitteln. Für weitere Informationen über den Umgang mit der Software Dashboard Design von SAP wird auf das Benutzerhandbuch und die Hilfe der Software verwiesen.<sup>218</sup>

---

<sup>217</sup> vgl. Lachmann, Wenger 2011, S. 224.

<sup>218</sup> vgl. SAP AG 2012.

## 7. Durchführung der Vergleichsrechnungen

In diesem Kapitel werden die Referenzfahrzeuge unter Variation ausgewählter Eingangsgrößen miteinander verglichen. Ziel der Vergleichsrechnung ist es zu zeigen, unter welchen Voraussetzungen das konventionelle oder das elektrische Nutzfahrzeug von Vorteil ist. Während ein Faktor variiert wird, werden die anderen Eingangsgrößen konstant gehalten. Es wird eine definierte Ausgangssituation angenommen, abgeleitet von ihr werden unterschiedliche Entwicklungen betrachtet. Die angenommene Ausgangssituation wird ausführlich betrachtet, wohingegen bei den folgenden Vergleichen die Ergebnisse nur kurz vorgestellt werden. Eine Betrachtung der Kapitalwerte vom Jahr 2012 bis 2030 ist möglich. Der Zeitraum wurde verhältnismäßig groß (18 Jahre) gewählt, damit Zinseffekte und die Veränderungen der ausgewählten Kosteneinflussfaktoren zum Tragen kommen. Die durchschnittliche Nutzungsdauer eines Nutzfahrzeugs liegt im Regelfall unter 18 Jahren, sie ist allerdings immer von Anwendungsfall abhängig. Das Durchschnittsalter eines Lastkraftwagens liegt laut Kraftfahrt-Bundesamt bei ca. 7,6 Jahren.<sup>219</sup> Aus diesem Grund werden als Ergebnisse der Vergleichsrechnung zwei Kapitalwerte (incl. Restwert) angegeben, einer für das Jahr 2020, dieser entspricht ungefähr dem angegebenen Durchschnittsalter von Nutzfahrzeugen (nach KFB) und einer für das Jahr 2030. Des Weiteren lassen sich die Zwischenwerte der Excel-Arbeitsmappe entnehmen, oder aus den Grafiken der Kapitalwertverläufe ablesen.

In der Durchführung der Vergleichsrechnung sollen folgende Eingangsgrößen als variabel angenommen werden:

- Kalkulationszins
- Dieselpreis mittels Steigungsfaktor
- Strompreis mittels Steigungsfaktor
- Batteriepreisverlauf
- Anschaffungspreis

Es soll von möglichst plausiblen Bedingungen ausgegangen werden. So ist beispielsweise zu erwarten, dass die Preise für Energie weiter steigen werden. Weiter ist anzunehmen, dass die Preissteigerungen unterschiedlicher Energieträger in Relation zueinander stehen. Daher wird vermutlich bei einer starken Preissteigerung des Dieseltreibstoffs auch der Strompreis entsprechend steigen. Die angenommenen Preisentwicklungen basieren auf Kapitel 5.

---

<sup>219</sup> vgl. Kraftfahrt-Bundesamt 2012.

Folgende Entwicklungen sollen betrachtet werden (vgl. Tab. 22):

Name	Beschreibung	Eingangsgrößen
1. Ausgangssituation	Steigerung der Kraftstoffkosten, Entwicklung auf Basis von Vergangenheitswerten (vgl. Kapitel 5.2, Kapitel 5.3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalkulationszins 8,12 %</li> <li>• Dieselpreis (1,33 €/l)</li> <li>• Strompreis (0,253 €/kWh)</li> <li>• Steigungsfaktor Dieselpreis (0,0497)</li> <li>• Steigungsfaktor Strompreis (0,0116)</li> <li>• Batteriepreisverlauf: mittlere Preistrendlinie</li> </ul>
Name	Beschreibung	Zu ändernde Eingangsgrößen
2. „Energiepreise Prognosen“	Steigerung der Kraftstoffkosten, Entwicklung auf Basis von Prognosen (vgl. Kapitel 5.2, Kapitel)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigungsfaktor Dieselpreis (0,0112)</li> <li>• Steigungsfaktor Strompreis (-0,0001)</li> </ul>
3. „hoher Batteriepreis“	höherer Batteriepreisverlauf (vgl. Kapitel 5.1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Batteriepreisverlauf: hohe Preistrendlinie</li> </ul>
4. „niedriger Batteriepreis“	niedrigerer Batteriepreisverlauf (vgl. Kapitel 5.1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• batteriepreisverlauf: niedrige Preistrendlinie</li> </ul>
5. „niedriger Kalkulationszins“	Niedriger (angenommener) Kalkulationszinssatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapitalzins: 0,12 %</li> </ul>
6. „hoher Kalkulationszins“	Hoher (angenommener) Kalkulationszinssatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapitalzins: 20 %</li> </ul>
7. „reduzierter Anschaffungspreis“	Anschaffungspreis E-Nutzfahrzeug reduziert auf 19.490 € (vgl. Kapitel 4.4.1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anschaffungspreis Berlingo First Electric: auf 19.490 €</li> </ul>

Tab. 22: Zu betrachtende Entwicklungen mittels Vergleichsrechnung

## 7.1 Betrachtung der Ausgangssituation

**Kalkulationszinssatz:** Der angenommene Kalkulationszinssatz wird bestimmt von der geforderten Mindestverzinsung, unternehmerischen Wagnissen und dem Risikoaufschlag (vgl. Kapitel 2.3.3.2). Die geforderte Mindestverzinsung wird aus dem Basiszinssatz abgeleitet. Dieses ist der Zinssatz, der vom Bundesministerium für Finanzen für eine risikolos erzielbare Rendite herausgegeben wird. Er beträgt zurzeit (11.08.2012) 0,12 %.<sup>220</sup> Der Risikoaufschlag ist schwierig zu bestimmen, in den meisten Fällen wird zur Bestimmung das Capital Asset Pricing Model angewendet.<sup>221</sup> Da zur Anwendung des Modells konkrete Unternehmenszahlen benötigt werden, lässt es sich nicht anwenden. Die *DVZ – Deutsche Logistikzeitschrift* gibt je nach betrachtetem Markt und Zeitraum einen Risikoaufschlag von drei bis sieben Prozentpunkten an.<sup>222</sup> Es wird ein Mittelwert von fünf Prozent angenommen. Das unternehmerische Wagnis variiert je nach Unternehmen. Es ist das unvorhersehbare und nicht berechenbare persönliche Risiko oder Kapitalrisiko des Unternehmers.<sup>223</sup> In der Vergleichsrechnung wird ein Zuschlag von drei Prozentpunkten für das Unternehmenswagnis angenommen, da keine konkreten Unternehmensdaten vorliegen. Durch die Summierung von Mindestverzinsung, Risikoaufschlag und Zuschlag für das unternehmerische Wagnis, ergibt sich ein angenommener Kalkulationszins von 8,12 %.

**Dieselpreis, Dieselpreisentwicklung:** Als Basispreis für die Periode 2012 wird der Durchschnittspreis des Jahres 2011 angenommen, dieser beträgt laut Statistischem Bundesamt 1,33 €/l.<sup>224</sup> Für die Preissteigerung wird angenommen, dass sich der Trend auf Basis von Vergangenheitswerten fortsetzt. Der Steigungsfaktor beträgt 0,0497 und entspricht einer jährlichen Preissteigerung von 4,97 Cent/l (vgl. Kapitel 5.3).

**Strompreis, Strompreissteigerung:** Als Basispreis für die Periode 2012 wird der Durchschnittspreis des Jahres 2011 angenommen, dieser beträgt laut Statistischem Bundesamt 0,253 €/kWh.<sup>225</sup> Für die Preissteigerung wird angenommen, dass sich der Trend auf Basis von Vergangenheitswerten fortsetzt. Der Steigungsfaktor 0,0116 entspricht einer jährlichen Preissteigerung von 1,16 Cent/kWh (vgl. Kapitel 5.2).

**Batteriepreisverlauf:** Für den Batteriepreisverlauf wird der Verlauf der mittleren Trendlinie angenommen (vgl. Kapitel 5.1).

---

<sup>220</sup> vgl. Deutsche Bundesbank 2012.

<sup>221</sup> vgl. Gabler Wirtschaftslexikon 2012c.

<sup>222</sup> vgl. Schneider 2005.

<sup>223</sup> vgl. Gabler Wirtschaftslexikon 2012d.

<sup>224</sup> vgl. Statistisches Bundesamt 2012.

<sup>225</sup> vgl. Statistisches Bundesamt 2012.

**Rechenvergleich bei gegebener Ausgangssituation:**

Daten	Wert	Einheit
Kalkulationszins	8,12	%
Dieselpreis	1,33	€/l
Steigerungsfaktor	0,0497	k.E.
Strompreis	0,253	€/kWh
Steigerungsfaktor	0,0116	k.E.
Batteriepreisverlauf	mittlere Preistrendlinie	

Tab. 23: Basisdaten der Ausgangssituation

Ergebnisse	konventionell	elektrisch	Differenz	Differenz
Kapitalwert (2020)	-41.273,12 €	-60.161,47 €	18.888,35 €	31,40 %
Kapitalwert (2030)	-63.338,17 €	-80.518,39 €	17.180,22 €	20,34 %

Tab. 24: Ergebnisse der Ausgangssituation

Die Ergebnisse des Rechenvergleichs (2030) zeigen, dass der Kapitalwert des elektrisch angetriebenen Nutzfahrzeugs bei -80.518,39 € liegt, im Vergleich dazu liegt der Wert des konventionell angetriebenen Nutzfahrzeugs bei -63.338,17 €. Das ist eine Differenz von 20,34 %. Abb. 21 zeigt den Zusammenhang zwischen Auszahlungen pro Periode und Kapitalwerten. Es ist zu erkennen, dass die Kapitalwertverläufe in der Anfangsperiode knapp über dem Wert null beginnen. Dieses liegt an der Annahme, dass der Listenpreisneupreis dem Wiederverkaufswert entspricht. Somit ergibt sich der Kapitalwert nur aus den Zulassungskosten bzw. aus den Zulassungskosten und den Kosten für die Ladeinfrastruktur beim elektrischen Nutzfahrzeug. Die beschriebene Annahme für die nullte Periode hat auf die folgenden Ergebnisse des Rechenvergleichs keinen Einfluss. Des Weiteren hat der Kapitalwert der Anfangsperiode in der Praxis eines Logistikdienstleisters keine Relevanz, da nicht davon auszugehen ist, dass ein Nutzfahrzeug beschafft wird, um es direkt wieder zu verkaufen, sondern es über mehrere Perioden zu nutzen. Die Kapitalwertverläufe steigen bzw. sinken jeweils um die abgezinste Auszahlung und den abgezinsten Restwert der Periode. Der Kapitalwertverlauf des elektrischen Nutzfahrzeugs ist über alle Perioden negativer als der Kapitalwertverlauf des konventionellen Nutzfahrzeugs. Das elektrische Nutzfahrzeug ist also über den gesamten Betrachtungszeitraum relativ unvorteilhafter gegenüber dem konventionellen Nutzfahrzeug.

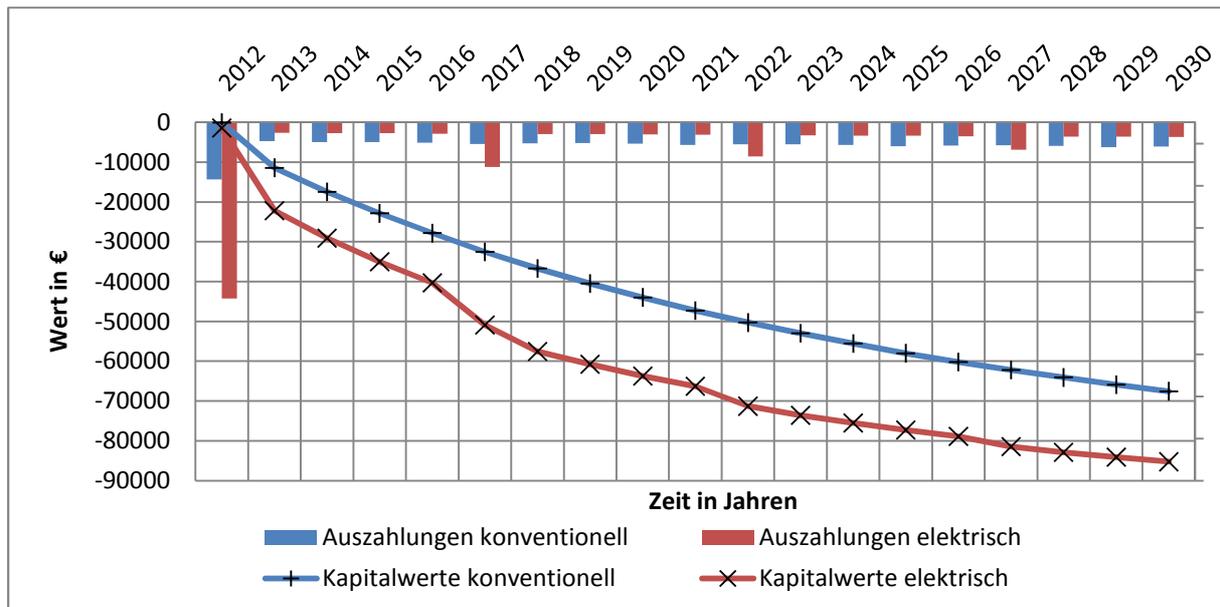


Abb. 21: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen Ausgangssituation

Vergleicht man die Auszahlungen über alle Perioden (Abb. 21), so wird deutlich, dass die Anfangsauszahlung für das elektrische Nutzfahrzeug ca. dreimal höher ist als für das konventionelle. Ansonsten sind die Auszahlungen des elektrischen Nutzfahrzeugs pro Periode niedriger, abgesehen von den Perioden, in denen ein Batteriewechsel stattfindet.

Abb. 22 zeigt die gesamten abgezinsten Auszahlungen über alle Nutzungsperioden aufgeteilt nach Kosteneinflussfaktor.

Die größten Anteile beim konventionellen Nutzfahrzeug machen die Kraftstoffkosten (35,12 %), die Versicherungskosten (25,80 %) und die Anschaffungskosten (22,48 %) aus. Beim elektrischen Nutzfahrzeug haben die Anschaffungskosten (52,80 %), die Kraftstoffkosten (19,54 %) und die Kosten für die Ersatzbatterie (11,28 %) die größten Anteile. Über den Kreisdiagrammen werden die abgezinsten Auszahlungen nach Kosteneinflussfaktor in € dargestellt. Hier werden die Unterschiede zwischen den Nutzfahrzeugen noch deutlicher, denn sie lassen sich direkt vergleichen. Z.B. ist die Auszahlung für die Anschaffungskosten beim elektrischen Nutzfahrzeug dreimal höher als beim konventionellen. Darüber hinaus sind die Kraftstoffkosten beim konventionellen Nutzfahrzeug um ca. ein Drittel höher.

## 7. Durchführung der Vergleichsrechnungen

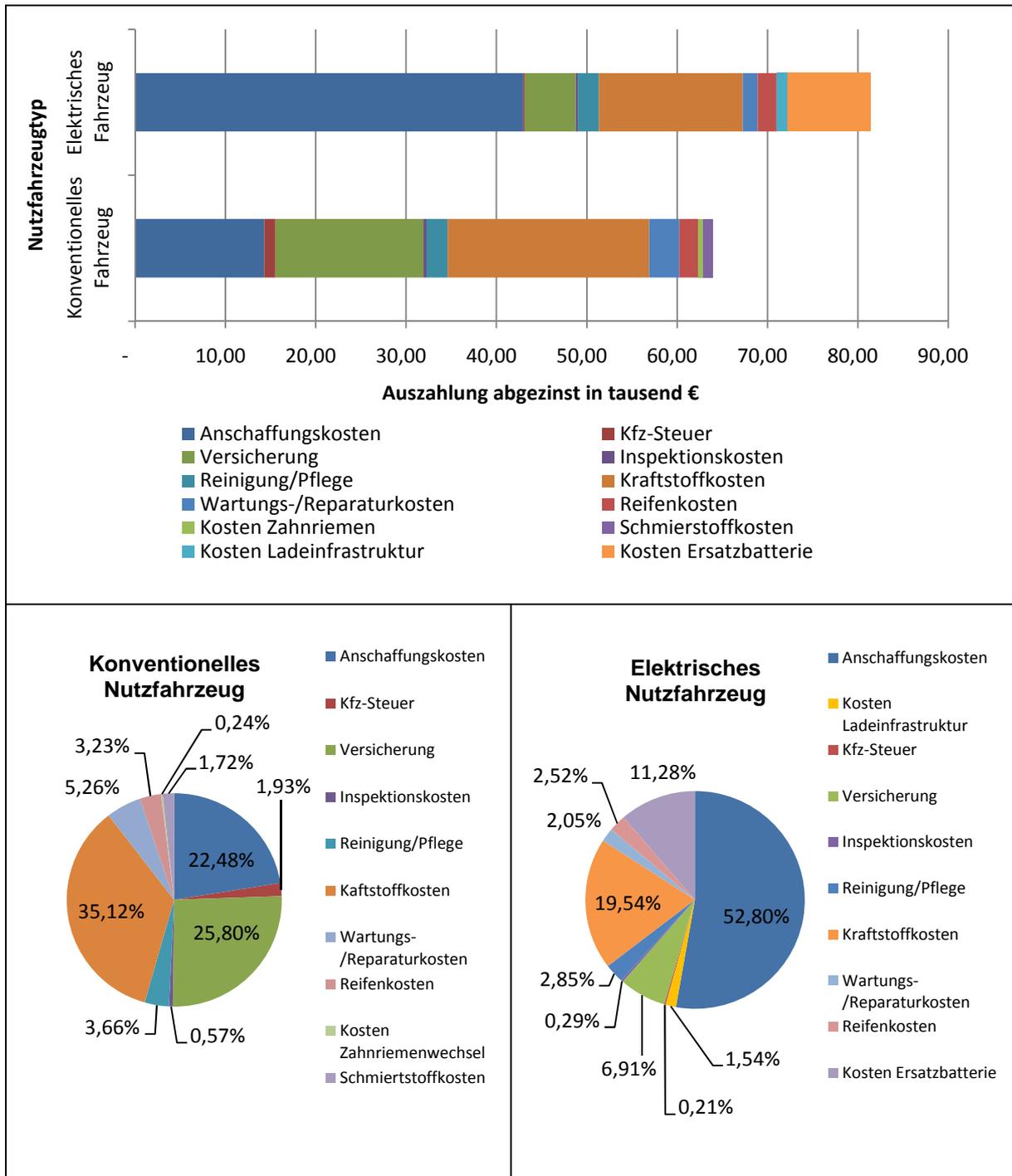


Abb. 22: Auszahlungen nach Kostengröße in der Ausgangssituation (2030)

## 7.2 Änderung des Energiepreisverlaufs

Im folgenden Rechenvergleich werden abweichend von der Ausgangssituation nur die Werte der Steigungsfaktoren der Kraftstoffpreise geändert. Die Werte ergeben sich aus Kapitel 5.1 und Kapitel 5.2.

### Rechenvergleich „Energiepreise Prognosen“:

Daten	Wert	Einheit
Kalkulationszins	8,12	%
Dieselpreis	1,33	€/l
<i>Steigerungsfaktor</i>	<i>0,0112</i>	<i>k.E.</i>
Strompreis	0,253	€/kWh
<i>Steigerungsfaktor</i>	<i>-0,0001</i>	<i>k.E.</i>
Batteriepreisverlauf	mittlere Preistrendlinie	

Tab. 25: Basisdaten „Energiepreise Prognosen“

Ergebnisse	konventionell	elektrisch	Differenz	Differenz
Kapitalwert (2020)	-40.047,15 €	-58.780,84 €	18.733,69 €	31,87 %
Kapitalwert (2030)	-59.606,22 €	-76.427,13 €	16.820,91 €	22,01 %

Tab. 26: Ergebnisse „Energiepreise Prognosen“

Die Ergebnisse des Rechenvergleichs (2030) zeigen, dass der Kapitalwert des elektrisch angetriebenen Nutzfahrzeugs bei -76.427,13 € liegt, im Vergleich dazu der des konventionell angetriebenen Nutzfahrzeugs bei -59.606,22 €. Das ist eine Differenz von 22,01 %. Beide Kapitalwerte sind aufgrund des geringeren Preisanstiegs der Kraftstoffe gegenüber der Ausgangssituation positiver geworden.

Daraus ergibt sich: Das konventionell angetriebene Fahrzeug ist relativ vorteilhafter gegenüber dem elektrischen Nutzfahrzeug. Der grafische Verlauf der Kapitalwerte (vgl. Abb. 23) zeigt über alle Perioden einen negativeren Verlauf der Kapitalwerte des elektrischen Nutzfahrzeugs, es ist also über den gesamten Betrachtungszeitraum relativ unvorteilhafter. Es ist zu erkennen, dass die Auszahlungen beider Fahrzeuge über die Perioden leicht positiver geworden sind. Somit sind die Kapitalwertverläufe beider Nutzfahrzeuge ebenfalls leicht positiver. Dieses liegt an den geringeren Ausgaben für den Kraftstoff.

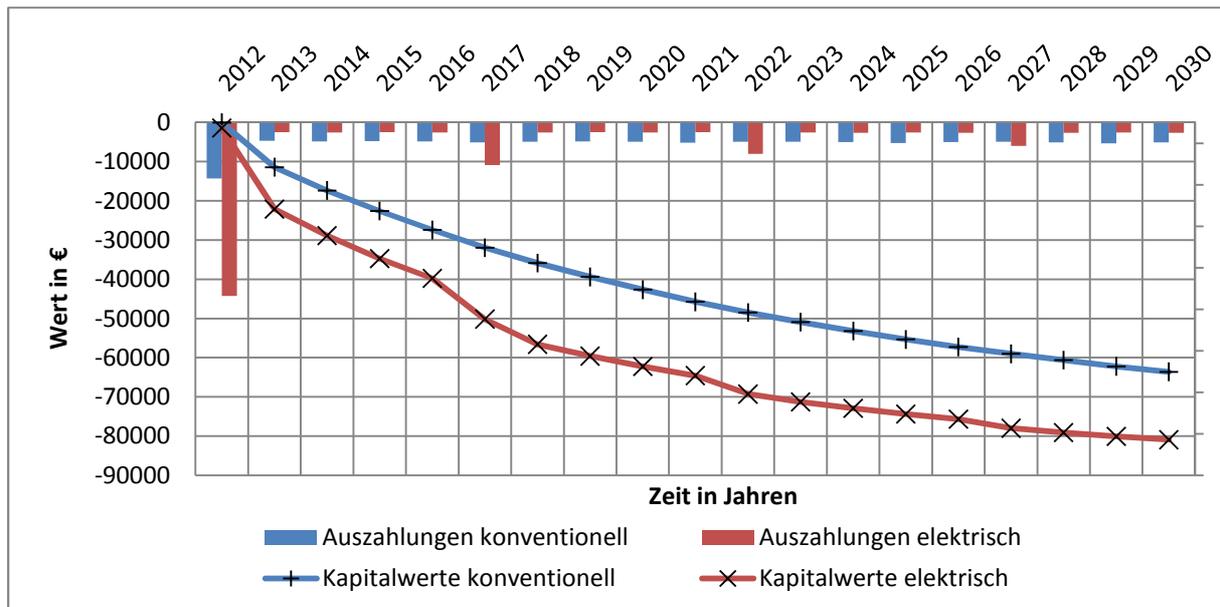


Abb. 23: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen „Energiepreise Prognosen“

Es stellt sich die Frage, wie sich der Preis entwickeln muss, damit das elektrische Nutzfahrzeug nach einer praxisnahen Nutzungsdauer von 8 Jahren (2020) von Vorteil ist. Bei konstantem Strompreis (0,253 €/kWh) und mittels Zielwertermittlung in Excel ergibt sich ein Steigungsfaktor von 0,59 (entspricht einer jährlichen Preissteigerung von 59 Cent/l), was eine Preissteigerung auf 6,07 €/l bis zum Jahr 2020 zur Folge hätte. Prozentual wäre das von 2012 bis 2030 eine Preissteigerung von 1,33 €/l auf 6,07 €/l von ca. 450 %.

### 7.3 Änderung des Batteriepreisverlaufs

Im folgenden Rechenvergleich werden abweichend von der Ausgangssituation nur die Werte für den Batteriepreisverlauf geändert. Es wird der Verlauf der oberen und der unteren Preistrendlinien, die sich aus Kapitel 5.1 ergeben haben, betrachtet.

#### Rechenvergleich „hoher Batteriepreis“:

Daten	Wert	Einheit
Kalkulationszins	8,12	%
Dieselpreis	1,33	€/l
Steigerungsfaktor	0,0497	k.E.
Strompreis	0,253	€/kWh
Steigerungsfaktor	0,0116	k.E.
Batteriepreisverlauf	hohe Preistrendlinie	

Tab. 27: Basisdaten „hoher Batteriepreis“

Ergebnisse	konventionell	elektrisch	Differenz	Differenz
Kapitalwert (2020)	-41.273,12 €	-60.597,61 €	19.324,49 €	31,89 %
Kapitalwert (2030)	-63.338,17 €	-81.677,25 €	18.339,07 €	22,45 %

Tab. 28: Ergebnisse „hoher Batteriepreis“

Die Ergebnisse des Rechenvergleichs (2030) zeigen, dass der Kapitalwert des elektrisch angetriebenen Nutzfahrzeugs bei -81.667,25 € liegt, im Vergleich dazu liegt der des konventionell angetriebenen Nutzfahrzeugs bei -63.338,17 €.

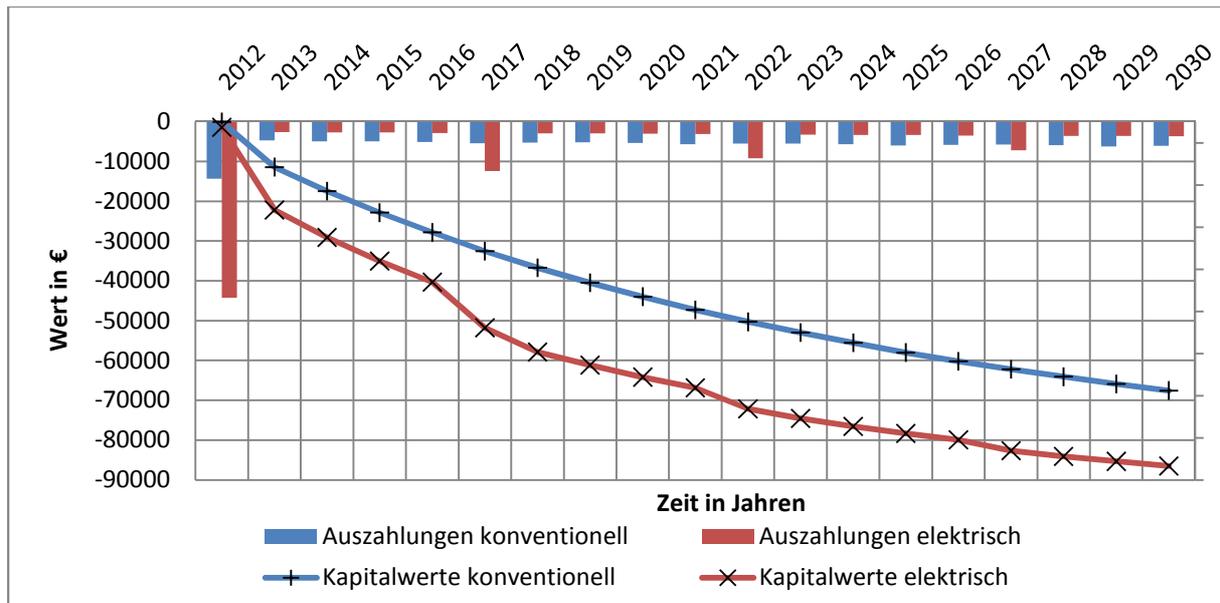


Abb. 24: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen „hoher Batteriepreis“

Der Kapitalwert entspricht dem der Ausgangssituation, da der Batteriepreis keinen Einfluss auf ihn hat. Die Differenz beträgt 22,45 %. Der Kapitalwert des elektrischen Nutzfahrzeugs ist aufgrund des stärkeren Preisanstiegs gegenüber dem Ausgangssituation negativer geworden (vgl. Abb. 24). Der Preisanstieg zeigt sich anhand der negativeren Auszahlungen in den Jahren 2017, 2022 und 2027. In diesen Jahren ist ein Batteriewechsel nötig. Das konventionell angetriebene Fahrzeug ist relativ vorteilhafter gegenüber dem elektrischen Nutzfahrzeug. Der grafische Verlauf der Kapitalwerte zeigt über alle Perioden einen negativeren Verlauf der Kapitalwerte des elektrischen Nutzfahrzeugs, es ist also über den gesamten Betrachtungszeitraum relativ unvorteilhafter.

## Rechenvergleich „niedriger Batteriepreis“:

Daten	Wert	Einheit
Kalkulationszins	8,12	%
Dieselpreis	1,33	€/l
Steigerungsfaktor	0,0497	k.E.
Strompreis	0,253	€/kWh
Steigerungsfaktor	0,0116	k.E.
Batteriepreisverlauf	<i>niedrige Preistrendlinie</i>	

Tab. 29: Basisdaten „niedriger Batteriepreis“

Ergebnisse	konventionell	elektrisch	Differenz	Differenz
Kapitalwert (2020)	-41.273,12 €	-59.542,72 €	18.269,59 €	30,68 %
Kapitalwert (2030)	-63.338,17 €	-78.836,72 €	15.498,55 €	19,66 %

Tab. 30: Ergebnisse „niedriger Batteriepreis“

Im Rechenvergleich mit niedrigem Batteriepreisverlauf ist der Kapitalwert des konventionellen Nutzfahrzeugs wieder unverändert in Bezug auf die Ausgangssituation. Er beträgt -63.338,17 €. Der Kapitalwert des elektrischen Nutzfahrzeugs ist aufgrund des niedrigeren Batteriepreisverlaufs leicht positiver geworden und beträgt -78.836,72 €. Die prozentuale Differenz beträgt 19,66 %. Zwar ist der Kapitalwertverlauf des elektrischen Nutzfahrzeugs aufgrund der niedrigeren Batteriepreise positiver, dennoch ist er (vgl. Abb. 25) über alle Perioden negativer als der Kapitalwertverlauf des konventionellen Nutzfahrzeugs. Das elektrische Nutzfahrzeug ist also über den gesamten Betrachtungszeitraum relativ unvorteilhafter.

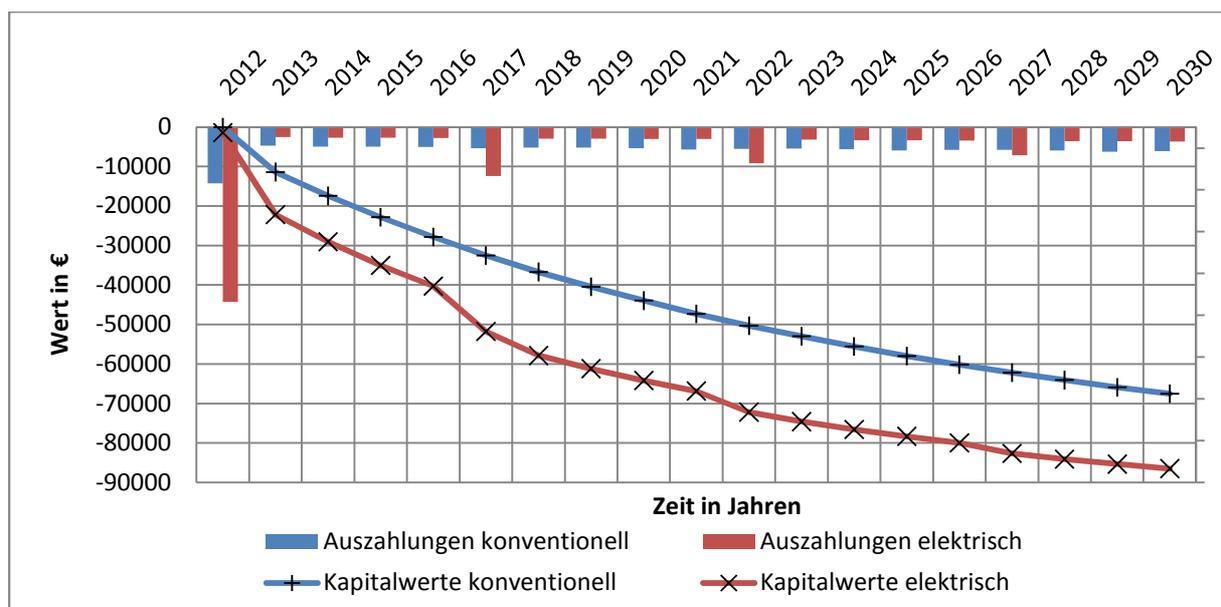


Abb. 25: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen „niedriger Batteriepreis“

#### 7.4 Änderung des Kalkulationszinssatzes

Wie in Kapitel 3.3.3.2 bereits beschrieben, ist der Kalkulationszins von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Im folgenden Kapitel wird ausgehend von der Ausgangssituation der Kalkulationszins variiert, um seinen Einfluss auf die Rechnung zu untersuchen.

##### Rechenvergleich „niedriger Kalkulationszins“:

Es wird angenommen, dass der Anteil für das Risiko und das unternehmerische Wagnis vernachlässigt wird. Das bedeutet, der Kalkulationszins liegt bei 0,12 %.

Daten	Wert	Einheit
Kalkulationszins	0,12	%
Dieselpreis	1,33	€/l
Steigerungsfaktor	0,0497	k.E.
Strompreis	0,253	€/kWh
Steigerungsfaktor	0,0116	k.E.
Batteriepreisverlauf	mittlere Preistrendlinie	

Tab. 31: Basisdaten „niedriger Kalkulationszins“

Ergebnisse	konventionell	elektrisch	Differenz	Differenz
Kapitalwert (2020)	-51.220,68 €	-64.391,59 €	13.170,91 €	20,45 %
Kapitalwert (2030)	-111.340,25 €	-113.518,92 €	3.178,67 €	2,80 %

Tab. 32: Ergebnisse „niedriger Kalkulationszins“

Bei einem niedrigen Kalkulationszins beträgt der Kapitalwert des konventionellen Nutzfahrzeugs -111.340,25 €. Der Kapitalwert des elektrischen Nutzfahrzeugs beträgt -113.518,92 €. Die Kapitalwerte steigen wesentlich schneller als in der Ausgangssituation, da die Auszahlungen kaum abgezinst werden. Es ergibt sich eine prozentuale Differenz der Kapitalwerte von 2,80 %. Gegenüber der Ausgangssituation ist diese um das ca. 20-Fache geringer. Bei der Betrachtung der Kapitalwertverläufe, erkennt man, dass sie sich gegen Ende des Betrachtungszeitraums annähern. Dennoch ist der Kapitalwertverlauf des elektrischen Nutzfahrzeugs über alle Perioden negativer und somit relativ unvorteilhafter (vgl. Abb. 26).

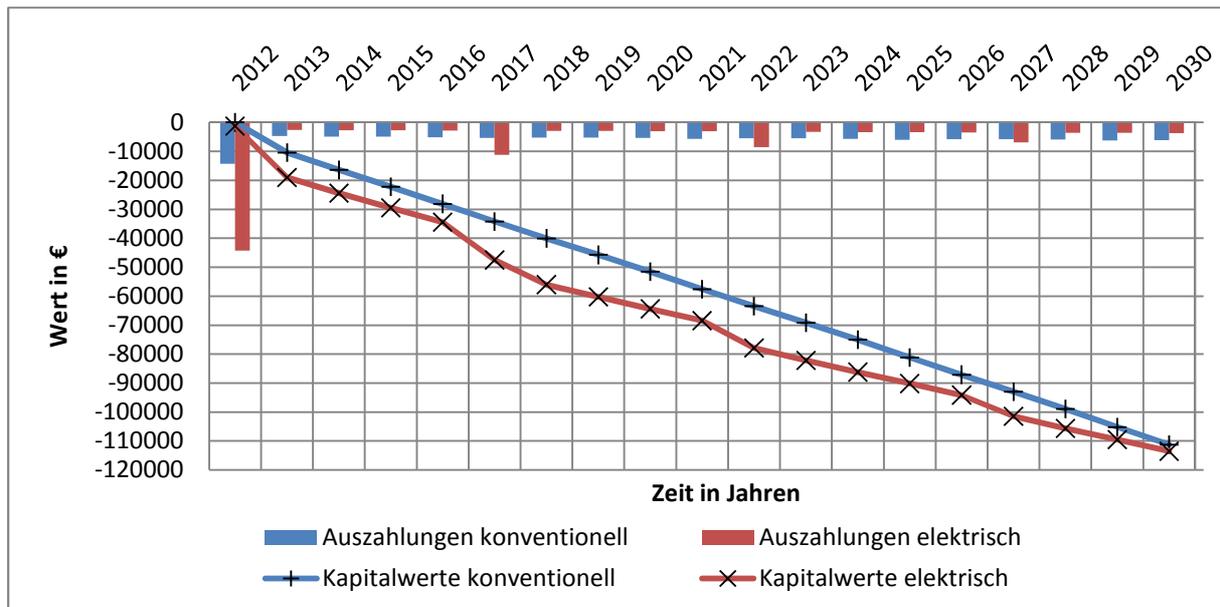


Abb. 26: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen „niedriger Kalkulationszins“

**Rechenvergleich „hoher Kalkulationszins“:**

Es wird angenommen, dass der Kapitalzins auf 20 % steigt, da Mindestverzinsung und Risikozuschlag gestiegen sind.

Daten	Wert	Einheit
Kalkulationszins	20	%
Dieselpreis	1,33	€/l
Steigerungsfaktor	0,0497	k.E.
Strompreis	0,253	€/kWh
Steigerungsfaktor	0,0116	k.E.
Batteriepreisverlauf	mittlere Preistrendlinie	

Tab. 33: Basisdaten „hoher Kalkulationszins“

Ergebnisse	konventionell	elektrisch	Differenz	Differenz
Kapitalwert (2020)	-32.668,65 €	-55.717,06 €	23.048,41 €	41,37 %
Kapitalwert (2030)	-38.975,93 €	-62.382,96 €	23.407,61 €	37,52 %

Tab. 34: Ergebnisse „hoher Kalkulationszins“

Der Kapitalwert des konventionellen Nutzfahrzeugs liegt bei -38.975,93 €, der Kapitalwert des elektrischen Nutzfahrzeugs liegt bei -62.382,96 €. Daraus ergibt sich eine prozentuale Differenz von 37,52 %. Abb. 27 zeigt einen flachen Kapitalwertverlauf nach ca. sechs Perioden. Sie verlaufen dann fast parallel.

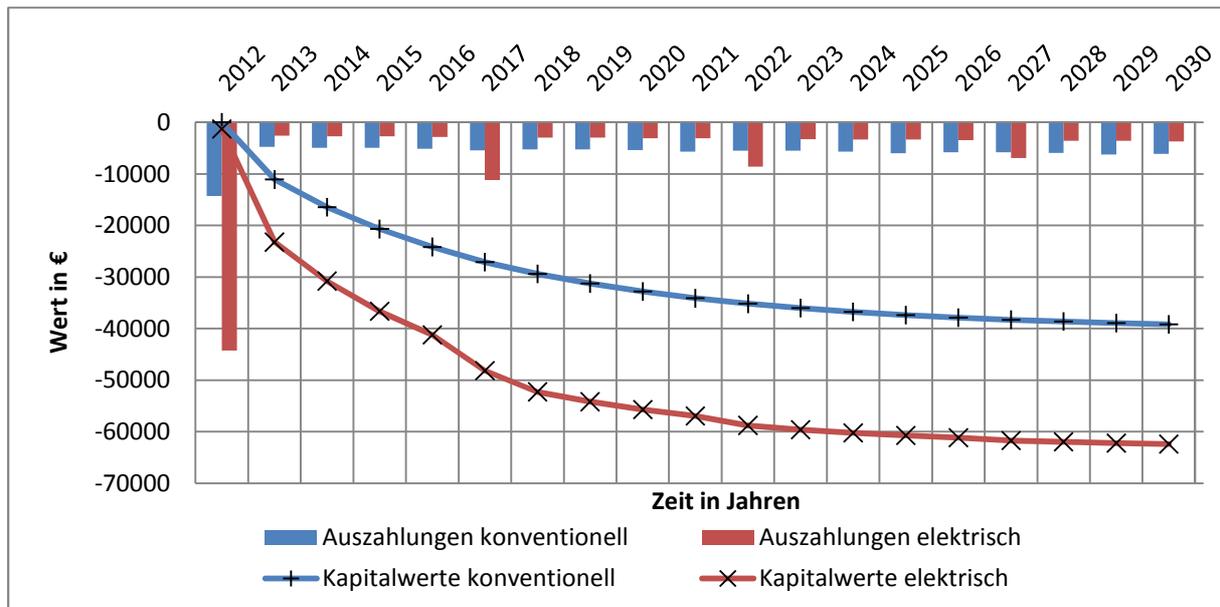


Abb. 27: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen „hoher Kalkulationszins“

### 7.5 Änderung des Anschaffungspreises

Wie in Kapitel 4.4.1 bereits erwähnt, bieten einige Händler das Modell Citroën First Electric für 19.490 € an. In diesem Rechenvergleich soll betrachtet werden, welche Auswirkungen eine Senkung des Anschaffungspreises von über 50 % hat.

#### Rechenvergleich „reduzierter NFZ-Preis“:

Ausgehend von der Ausgangssituation wird angenommen, dass der Anschaffungspreis des elektrischen Nutzfahrzeugs auf 19.490 € sinkt (vgl. Kapitel 4.4.1).

Daten	Wert	Einheit
Kalkulationszins	0,12	%
Dieselpreis	1,33	€/l
Steigerungsfaktor	0,0497	k.E.
Strompreis	0,253	€/kWh
Steigerungsfaktor	0,0116	k.E.
Batteriepreisverlauf	mittlere Preistrendlinie	
Anschaffungspreis elektrisches NFZ	19.490	€

Tab. 35: Basisdaten „reduzierter NFZ-Preis“

Ergebnisse	konventionell	elektrisch	Differenz	Differenz
Kapitalwert (2020)	-41.273,12 €	-39.789,94 €	-1.483,19 €	-4,29 %
Kapitalwert (2030)	-63.338,17 €	-57.452,40 €	-5.885,77 €	-10,24 %

Tab. 36: Ergebnisse „reduzierter NFZ-Preis“

In diesem Fall ist der Kapitalwert des elektrischen Nutzfahrzeugs positiver und beträgt  $-57.452,40 \text{ €}$ . Der Kapitalwert des konventionellen Nutzfahrzeugs beträgt  $-63.338,17 \text{ €}$ , was eine prozentuale Differenz von  $-10,24 \%$  bedeutet. Zu Beginn der Betrachtung ist noch das konventionelle Nutzfahrzeug vorteilhafter, im Jahr 2013 schneiden sich die Kapitalwertverläufe bereits und das elektrische Nutzfahrzeug wird vorteilhafter. Die Verläufe schneiden sich ein zweites Mal in den Jahren 2017 und 2019, kurzzeitig ist das konventionelle Nutzfahrzeug vorteilhafter. Ab 2019 ist der Kapitalwertverlauf des elektrischen Nutzfahrzeugs bis zum Ende des Betrachtungszeitraums wieder positiver und damit ist es vorteilhafter.

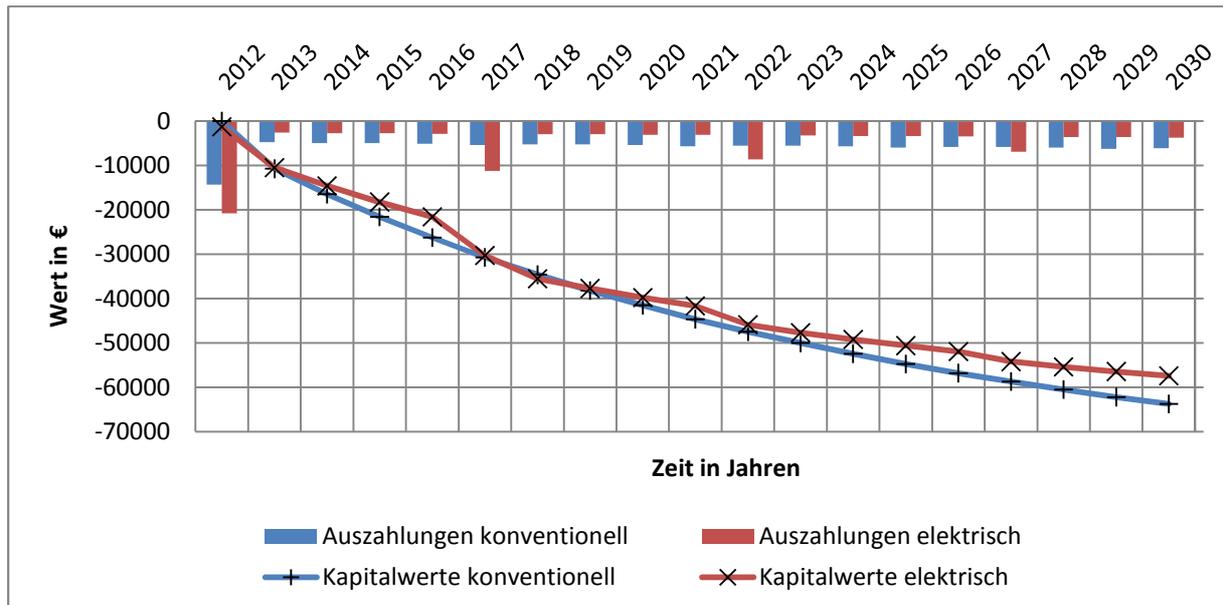


Abb. 28: Kapitalwertverlauf und Auszahlungen „reduzierter NFZ-Preis“

## 8. Reflexion der Ergebnisse

### 8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei der Gegenüberstellung der Kapitalwerte (2030) wird deutlich, dass in sechs von sieben Fällen das konventionelle Nutzfahrzeug relativ vorteilhafter ist, als das elektrische Nutzfahrzeug (vgl. Tab. 37). Die Kapitalwertdifferenzen sind teilweise erheblich. Die Kapitalwertdifferenzen (2020) sind meist noch größer.

Nr.	Name	Kapitalwert konventionell	Kapitalwert elektrisch	Differenz
1	Ausgangssituation	-63.338,17 €	-80.518,39 €	20,34 %
2	Energiepreise Prognosen	-60.047,62 €	-76.427,13 €	21,43 %
3	hoher Batteriepreis	-63.338,17 €	-81.677,25 €	22,45 %
4	niedriger Batteriepreis	-63.338,17 €	-78.836,72 €	19,66 %
5	niedriger Kalkulationszins	-111.340,25 €	-113.518,92 €	2,80 %
6	hoher Kalkulationszins	-38.975,93 €	-62.382,96 €	37,52 %
7	reduzierter NFZ-Preis	-63.338,17 €	-57.452,40 €	-10,24 %

Tab. 37: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Rechenvergleiche (2030)

Im letzten Fall ist das elektrische Nutzfahrzeug relativ vorteilhafter. Zu berücksichtigen ist die Annahme einer starken Preisreduzierung von über 50 %.

Es stellt sich die Frage, warum das elektrische Nutzfahrzeug im dynamischen Investitionsvergleich relativ schlecht gegenüber dem elektrischen Nutzfahrzeug abschneidet. Diese Frage soll im folgenden Kapitel 8.2 diskutiert werden.

### 8.2 Diskussion der Ergebnisse

Um zu klären, welchen Einfluss die unterschiedlichen Kosteneinflussgrößen auf die Kapitalwertdifferenz der Nutzfahrzeuge haben, wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Hierzu wird eine relative Preisänderung der jeweiligen Kosteneinflussgröße, ausgehend vom Preis der Ausgangssituation angenommen. Der Preis der jeweiligen Kosteneinflussgröße wird von 0 % bis 75 % gesteigert und die zugehörigen prozentualen Kapitalwertdifferenzen der Nutzfahrzeuge im Jahr 2030 ermittelt. Es wird immer nur eine Kosteneinflussgröße in 5 %-Schritten variiert, die anderen Größen werden konstant gehalten. Ausgehend von der Kapitalwertdifferenz der Ausgangssituation werden die entsprechenden prozentualen Kapitalwertdifferenzen zur jeweiligen Preissteigerung ermittelt und grafisch gegeneinander aufgetragen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden zwei Diagramme erstellt, jeweils ein Diagramm für jeden Nutzfahrzeugtypen. Die Kosten, die bei beiden Nutzfahrzeugen in gleicher Höhe angesetzt sind wie Reifenkosten, Reinigung etc. werden vernachlässigt.

Abb. 29 zeigt, dass beim konventionellen Nutzfahrzeug die Kosteneinflussgrößen Dieselpreis, Versicherung und Fahrzeugpreis den größten Anteil an der relativen Kapitalwertdifferenz haben. Die anderen Kosteneinflussgrößen bewirken nur eine sehr geringe Änderung der Kapitalwertdifferenz. Da nicht zu erwarten ist, dass es starke Preisänderungen bei konventionellen Nutzfahrzeugen im Bereich Versicherungen und Fahrzeugpreisen geben wird, bleibt der Dieselpreis die Kosteneinflussgröße mit dem höchsten Potenzial, um Einfluss auf das Ergebnis der Vergleichsrechnung zu nehmen. Der Dieselpreis unterliegt den stärksten Preisschwankungen (vgl. Kapitel 5.3).

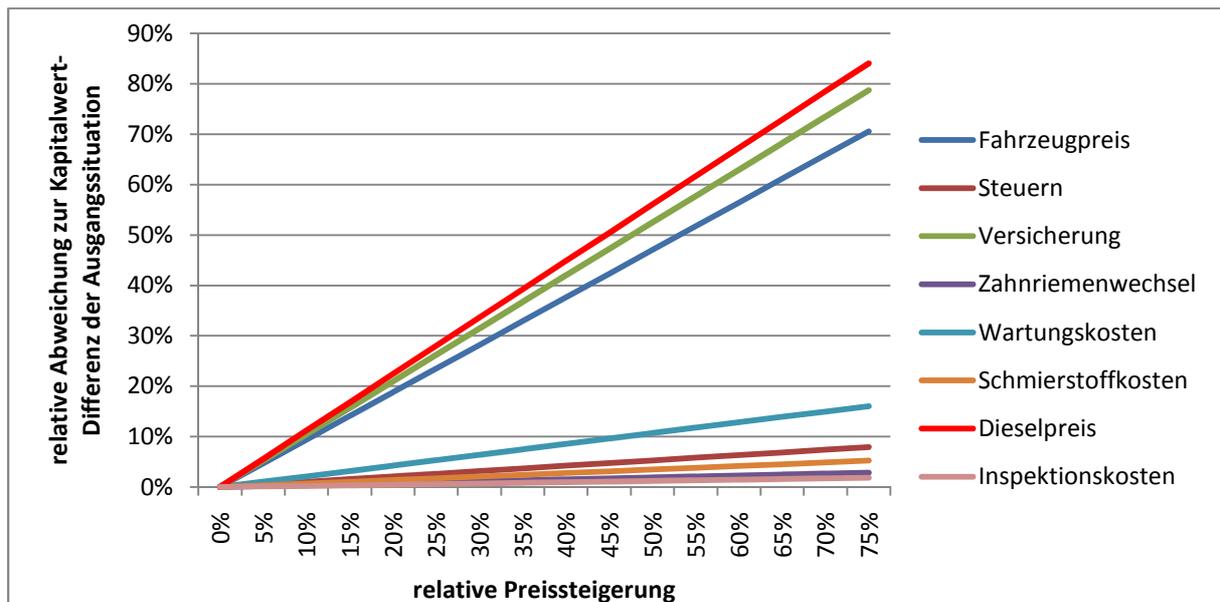


Abb. 29: Einfluss der Kostengrößen auf die Kapitalwertdifferenz konventionell

Abb. 30 zeigt, dass beim elektrischen Nutzfahrzeug die Kosteneinflussgrößen Fahrzeugpreis, Strompreis und Preis für die Wechselbatterie den größten Einfluss auf die relative Kapitalwertdifferenz haben, wobei der Anschaffungspreis den relevantesten Anteil ausmacht. Der Anschaffungspreis wird stark vom Batteriepreis beeinflusst, sodass ein Sinken des Batteriepreises einen positiven Effekt auf den Anschaffungspreis und auf die Kosten für den Austausch der Batterie hätte. Der Strompreis ist ein weiterer Faktor, der starken Einfluss auf die Kapitalwertdifferenz hat. Da bei den Faktoren Anschaffungspreis, Batteriepreis und Strompreis mit Preisänderungen zu rechnen ist, besitzen sie das größte Potential um in Zukunft Einfluss auf das Ergebnis des Rechenvergleichs zu nehmen.

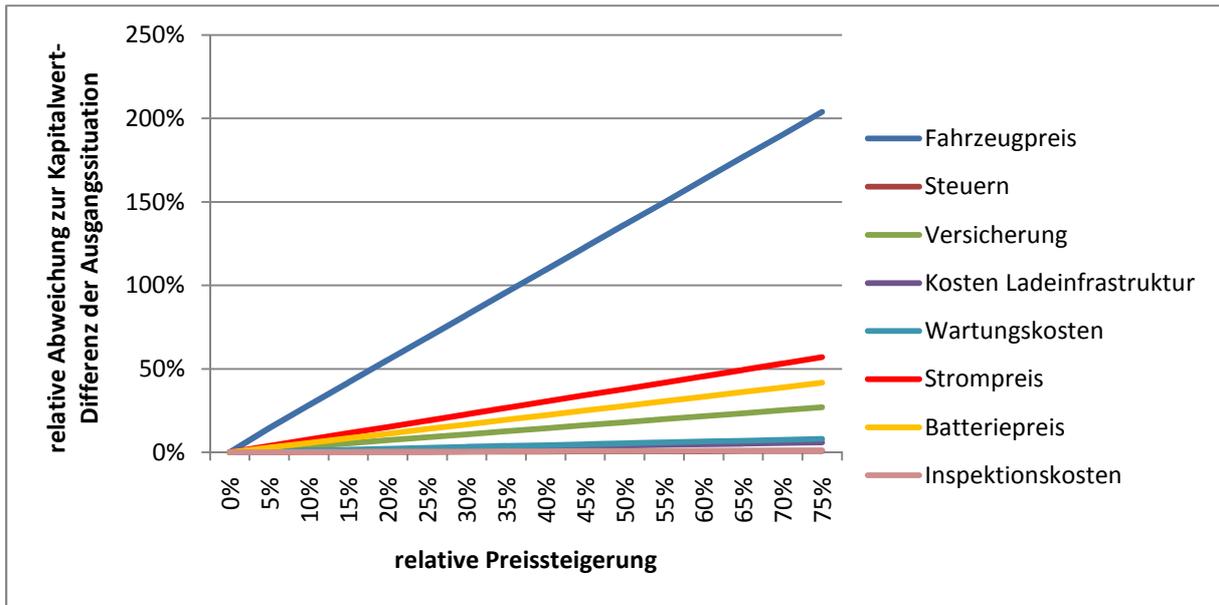


Abb. 30: Einfluss der Kostengrößen auf die Kapitalwertdifferenz elektrisch

In Abb. 29 und Abb. 30 wird der Einfluss des Kalkulationszinses nicht betrachtet. Auf ihn wird gesondert in Abb. 31 eingegangen. Er wird von 0 % bis 40 % variiert und die entsprechende Differenz der Kapitalwerte beider Nutzfahrzeuge ermittelt. Anschließend wird die relative Abweichung zur Kapitalwertdifferenz der Ausgangssituation ermittelt und diese an der Y-Achse aufgetragen. Die aufgetragenen Werte ergeben einen exponentiellen Verlauf. Bei einem Kalkulationszins von 0 % bis 16 % ist der Verlauf noch sehr steil, danach flacht er ab und nähert sich dem Wert von ca. -60 % an.

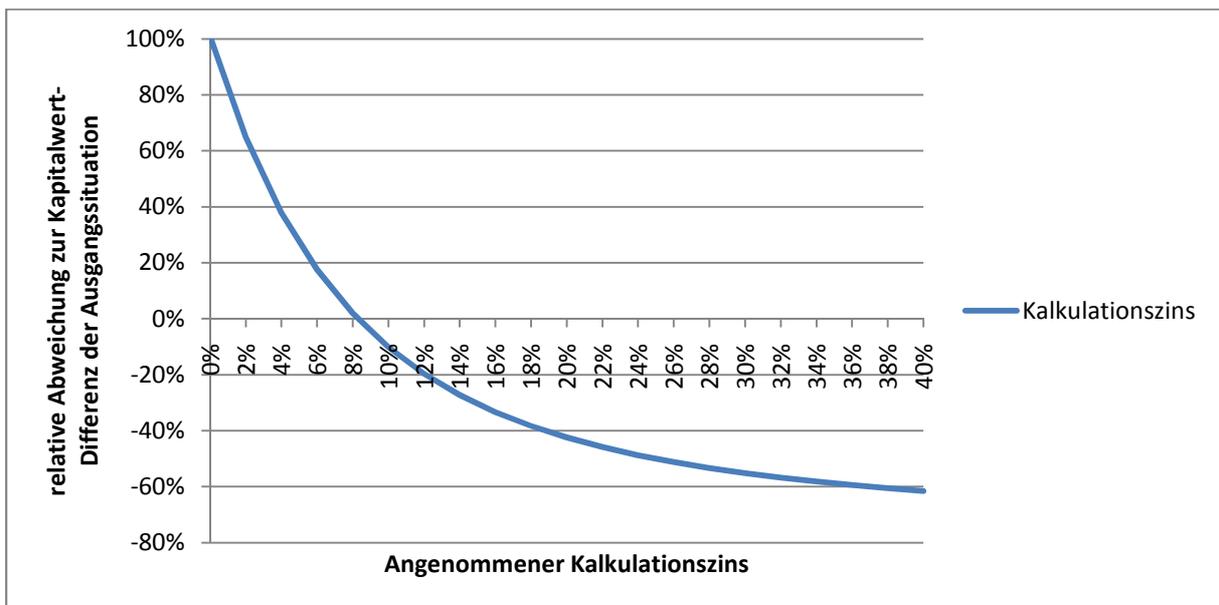


Abb. 31: Einfluss des Kalkulationszinses auf die Kapitalwertdifferenz

Beim Zinssatz der Ausgangssituation (8,12 %) ist die Abweichung 0 %. Bei einem geringeren Zinssatz als 8,12 % verläuft die Kurve im positiven Wertebereich, da Auszahlungen späterer Perioden, in erster Linie Betriebskosten, stärker ins Gewicht fallen. Die Betriebskosten des konventionellen Nutzfahrzeugs sind fast immer höher als die des elektrischen Nutzfahrzeugs, außer in den Perioden, in denen ein Batteriewechsel stattfindet. Die Betriebskosten beider Fahrzeuge werden folglich in der Vergleichsrechnung stärker gewichtet. Der negative Kapitalwert des konventionellen Nutzfahrzeugs steigt demzufolge schneller an, als der des elektrischen. Die Kapitalwertdifferenz, die durch den ca. dreimal höheren Anschaffungspreis des elektrischen Nutzfahrzeugs zustande kommt, gleicht sich also über die Perioden schneller an (vgl. Abb. 26). Daraus resultiert die größere Kapitalwertdifferenz zur Ausgangssituation.

Übersteigt der Kalkulationszinssatz 8,12 %, so verläuft die Kurve im negativen Wertebereich, denn der Angleich der Kapitalwerte findet relativ langsamer statt als in der Ausgangssituation, daraus resultiert die größere prozentuale Kapitalwertdifferenz. Bei einem sehr hoch gewählten Zinssatz findet in späteren Perioden fast kein Angleich mehr statt, denn es wird unmöglich, die hohen Anschaffungskosten des elektrischen Nutzfahrzeugs durch geringere Betriebsausgaben wieder auszugleichen (vgl. Abb. 27).

Die Betriebsausgaben hängen stark von der Fahrleistung und der Preisentwicklung des Kraftstoffes ab. Bei tendenziell geringerer Fahrleistung wird das konventionelle Nutzfahrzeug vorteilhafter, denn die Betriebsausgaben sinken und der Anschaffungspreis ist geringer. Bei tendenziell höherer Fahrleistung wird das elektrische Nutzfahrzeug vorteilhafter, zwar steigen die Betriebsausgaben, aber in geringerem Maße als beim konventionellen Fahrzeug. Durch die tendenziell geringeren Betriebsausgaben lässt sich bis zu einem gewissen Grad der höhere Anschaffungspreis kompensieren, jedoch lässt sich unter den getroffenen Annahmen in Kapitel 4.2 bzw. Kapitel 7 keine Vorteilhaftigkeit des elektrischen Nutzfahrzeugs erreichen. Nur die Annahme, dass der Anschaffungspreis des elektrischen Nutzfahrzeugs um die Hälfte sinkt, lässt es relativ vorteilhafter gegenüber dem konventionellen Nutzfahrzeug aus dem Vergleich hervorgehen.

Zu berücksichtigen ist, dass im Rechenvergleich ein Zeitraum von 18 Jahren betrachtet wird, die durchschnittliche Nutzungsdauer des Fahrzeugs in der Praxis aber wesentlich darunter liegt. Geht man von einer Nutzungsdauer des Nutzfahrzeugs entsprechend dem statistischen Durchschnittsalter von 7,4 Jahren aus, so muss innerhalb dieses Zeitraums die hohe Anfangsauszahlung des elektrischen Nutzfahrzeugs kompensiert werden. Das elektrische Nutzfahrzeug kann nur mit dem konventionellen Nutzfahrzeug konkurrieren, wenn der Anschaffungspreis stark sinkt. Er darf unter den getroffenen Annahmen in der Ausgangssituation ca. 25% höher sein als der des konventionellen Nutzfahrzeugs.

Es ist festzustellen, dass die Steuern einen sehr geringen Einfluss auf den Kapitalwert des elektrischen Nutzfahrzeugs haben (vgl. Abb. 30 und Abb. 22). Dieses liegt an der zehnjährigen Steuerbefreiung für Elektrofahrzeuge, aber auch an der allgemein sehr geringen Besteuerung für E-Fahrzeuge. So fällt nach den zehn Jahren der Steuerbefreiung eine Steuer von 56,25 € jährlich an. Auch ohne die Steuerbefreiung hätten sie kaum einen Einfluss im Rechenvergleich.

### **8.3 Diskussion der Methode**

Die Kapitalwertmethode als Rechenverfahren eignet sich, um die relative Vorteilhaftigkeit zwischen den Nutzfahrzeugen festzustellen. Sie gewichtet je nach Kalkulationszins die Auszahlungen der Anfangsperioden stärker. Das ist für die relative Vorteilhaftigkeit des elektrischen Nutzfahrzeugs ungünstig, da es aufgrund des hohen Anschaffungspreis eine ca. dreimal höhere Anfangsauszahlung als das konventionelle Nutzfahrzeug aufweist. Unter plausiblen Annahmen (vgl. Kapitel 7) ist diese hohe Anfangsauszahlung auch durch geringere Betriebsausgaben nicht zu kompensieren. Zumal die geringeren Betriebsausgaben der Folgeperioden bei der Kapitalwertmethode je nach Kalkulationszins geringere Gewichtung finden.

Die Ergebnisse des Rechenvergleichs werden stark von den angenommenen Rahmenbedingungen beeinflusst.

## 9. Fazit und Ausblick

Die Analyse und der Vergleich der konventionellen und elektrischen Nutzfahrzeuge mittels Rechenverfahren der dynamischen Investitionsrechnung haben ergeben, dass unter den angenommenen und recherchierten Bedingungen konventionelle Nutzfahrzeuge relativ vorteilhafter gegenüber elektrisch angetriebenen Fahrzeugen sind. Der ca. dreimal höhere Anschaffungspreis des elektrischen Nutzfahrzeuges lässt sich durch die günstigeren Betriebskosten bei einer praxisnahen Nutzungsdauer von ca. acht Jahren oder mehr nicht kompensieren. Um dem elektrischen Fahrzeug einen Vorteil zu verschaffen, müsste der Anschaffungspreis stark sinken oder dieser durch Zuschüsse gemindert werden. Förderungen oder Zuschüsse für Elektrofahrzeuge von staatlicher Seite sind zwar immer wieder im Gespräch, aber greifbare Beschlüsse liegen bis auf die Steuerbefreiung über zehn Jahre nicht vor. Wenn im konkreten Fall die steuerliche Entlastung berechnet wird, liegt diese über den geltenden Zeitraum von 10 Jahren bei insgesamt ca. 560,00 € (vgl. Tab. 20), was sich bei einem Anschaffungspreis von 42.950,00 € sehr geringfügig auswirkt. Kritisch ist anzumerken, dass für konventionelle Nutzfahrzeuge der Klasse N1 allgemein nur geringe Steuern anfallen, da das zulässige Gesamtgewicht von 3,5 t nicht überschritten wird und keine Steuer für Emissionen erhoben wird (vgl. Kapitel 4.3.1).

Es liegen große Hoffnungen in der Entwicklung der Batterie- und der Fahrzeugtechnik, um den Fahrzeugpreis zu senken und die mögliche Reichweite zu erhöhen. Eine weitere Möglichkeit, um eine hohe Anfangsauszahlung zu vermeiden, sind Leasingkonzepte für die Batterie oder das komplette Fahrzeug.<sup>226</sup> Es ist jedoch zu beachten, dass sich das Leasingmodell auch für den Anbieter rechnen muss und die Leasingraten dementsprechend hoch sein werden. Die Raten fallen allerdings durch das Abzinsen mittels Kalkulationszins bei der Kapitalwertmethode wesentlich weniger ins Gewicht. Für zukünftige Arbeiten kann es interessant sein, unterschiedliche Leasingkonzepte für Batterien und Elektrofahrzeuge zu erarbeiten oder bestehende Konzepte zu analysieren. Anschließend kann eine dynamische Vergleichsrechnung unter der Annahme, dass beide Fahrzeuge geleast werden, durchgeführt werden.

Im Rechenvergleich werden nur monetäre Größen betrachtet, Vorteile und Nachteile, die durch andere Faktoren wie Imagegewinn oder Ausfallzeiten wegen Ladevorgängen entstehen, werden nicht betrachtet. Ggf. könnten sie Einfluss auf das Ergebnis haben. Es ist jedoch schwierig diese Einflussfaktoren durch Zahlungsströme zu quantifizieren. Für weitere Studien wäre es interessant, diese Faktoren aufzufindig zu machen und sie monetär zu bewerten, um sie in die dynamische Vergleichsrechnung einfließen zu lassen.

---

<sup>226</sup> vgl. VDI Technologiezentrum GmbH 2011, S. 36.

Wie in Kapitel 1 bereits beschrieben birgt die Elektromobilität im urbanen Warentransport viele Potenziale. Die Anschaffungskosten der Fahrzeuge sind jedoch zurzeit noch zu hoch, als dass sich ihr Einsatz rentiert. In Zukunft wird sich durch die Verknappung des Rohöls und den damit verbundenen Preisanstieg für Treibstoff sowie die Weiterentwicklung der elektrischen Fahrzeuge die Elektromobilität in gewissen Anwendungsbereichen immer mehr lohnen und etablieren. Eine Konkurrenz für den konventionellen Antrieb auf dem Massenmarkt und für große Nutzfahrzeuge werden elektrische Antriebe in naher Zukunft aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht darstellen.

## Literaturverzeichnis

**Abele, Eberhard (2009):** *Wandel im PKW-Antriebsstrang: Auswirkung auf Produktionskonzepte*. Hg. v. Technologie und Werkzeugmaschinen PTW – Institut für Produktionsmanagement. TU Darmstadt.

[http://www.werkzeug-neu.de/downloads/Maschinenbau\\_Metallbearbeitung\\_PTW\\_Eric\\_von\\_Wihr.pdf](http://www.werkzeug-neu.de/downloads/Maschinenbau_Metallbearbeitung_PTW_Eric_von_Wihr.pdf), zuletzt geprüft am 25.06.2012.

**ADAC (Hg.) (2010):** *Citroën Berlingo Kombi HDi 110 FAP Multispace*.

[http://www.adac.de/\\_ext/itr/tests/Autotest/AT4370\\_Citroën\\_Berlingo\\_Kombi\\_HDi\\_110\\_FAP\\_Multispace/Citroën\\_Berlingo\\_Kombi\\_HDi\\_110\\_FAP\\_Multispace.pdf](http://www.adac.de/_ext/itr/tests/Autotest/AT4370_Citroën_Berlingo_Kombi_HDi_110_FAP_Multispace/Citroën_Berlingo_Kombi_HDi_110_FAP_Multispace.pdf) – Überprüfungsdatum 2012-07-24.

**ADAC (Hg.) (2012a):** *ADAC Autokosten. Berechnungsgrundlagen für die standardisierte Kostenberechnung*. ADAC Fahrzeugtechnik.

[http://www.adac.de/\\_mmm/pdf/autokosten\\_grundlagen\\_47084.pdf](http://www.adac.de/_mmm/pdf/autokosten_grundlagen_47084.pdf), zuletzt geprüft am 24.07.2012.

**ADAC (Hg.) (2012b):** *ADAC Autokostenrechner: Citroën Berlingo Kombi HDi 75*. ADAC Fahrzeugtechnik.

<http://www.adac.de/infotestrat/autodatenbank/detail.aspx?KFZID=231973&activeTab=3>, zuletzt geprüft am 16.08.2012.

**ADAC (Hg.) (2012c):** *Elektroautos: Marktübersicht/Kenndaten*. ADAC Fahrzeugtechnik.

[http://www.adac.de/\\_mmm/pdf/27373\\_46583.pdf](http://www.adac.de/_mmm/pdf/27373_46583.pdf), zuletzt geprüft am 25.07.2012.

**Ahmad, Sayyid Mukhtār (2010):** *High performance AC drives. Modelling analysis and control*. London: Springer Verlag.

**Albert, Daniel; Braun, Sven (Hg.) (2008):** *Kfz im Ertrags- und Umsatzsteuerrecht*. Wiesbaden: Gabler.

**Arval - BNP Paribas Group (Hg.) (2011):** *Total Cost of Ownership*.

[http://www.arval.de/ger/High/full-service-leasing/unternehmen/veranstaltungen/firmenauto-des-jahres/6317/arval-tco-firmenauto\\_2011\\_endversion.pdf](http://www.arval.de/ger/High/full-service-leasing/unternehmen/veranstaltungen/firmenauto-des-jahres/6317/arval-tco-firmenauto_2011_endversion.pdf), zuletzt geprüft am 17.07.2012.

**Autobild (Hg.) (2012):** *Autokosten*.

<http://download.autobild.de/dl/326362/Autokosten.pdf>, zuletzt geprüft am 08.09.2012.

**Babiel, Gerhard (2009):** *Elektrische Antriebe in der Fahrzeugtechnik. Lehr- und Arbeitsbuch*. In: *Elektrische Antriebe in der Fahrzeugtechnik*.

**Bain & Company (Hg.) (2010):** *Zum E-Auto gibt es keine Alternative*.

[http://www.e-connected.at/userfiles/Bain%20Brief\\_Zum%20E-Auto%20gibt%20es%20keine%20Alternative\\_2010\\_Final.pdf](http://www.e-connected.at/userfiles/Bain%20Brief_Zum%20E-Auto%20gibt%20es%20keine%20Alternative_2010_Final.pdf), zuletzt geprüft am 28.08.2012.

**Basshuysen, Richard; Schäfer, Fred (2005):** *Handbuch Verbrennungsmotor. Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven*. 3. Aufl. Wiesbaden: Vieweg.

**Basshuysen, Richard (Hg.) (2007):** *Ottomotoren mit Direkteinspritzung. Verfahren, Systeme, Entwicklung, Potenzial*. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg.

**Bauer, Christian; Simons, Andrew (2010):** *Ökobilanz Elektromobilität Schlussbericht*. Hg. v. Paul Scherrer Institut.

<http://gabe.web.psi.ch/>, zuletzt geprüft am 28.08.2012.

**Baum, Herbert (2011):** *Nutzen-Kosten-Analyse der Elektromobilität*. Hg. v. Institut für Verkehrswissenschaft Universität Köln.  
[http://www.uni-koeln.de/wiso-fak/verkehr/Baum\\_Dobberstein\\_NKA%20Elektromobilitaet\\_Feb2011.pdf](http://www.uni-koeln.de/wiso-fak/verkehr/Baum_Dobberstein_NKA%20Elektromobilitaet_Feb2011.pdf), zuletzt geprüft am 04.08.2012.

**Bayer, Marc (2010):** *Leichtes Nutzfahrzeug der Zukunft. Optimierung der Total Cost of Ownership vor dem Hintergrund zukünftiger Antriebskonzepte und Rahmenbedingungen*. Hg. v. MBtech Consulting GmbH. Sindelfingen.  
[http://www.mbtech-group.com/fileadmin/media/pdf/consulting/downloads/Trend\\_Monitor\\_\\_2010\\_DE.pdf](http://www.mbtech-group.com/fileadmin/media/pdf/consulting/downloads/Trend_Monitor__2010_DE.pdf), zuletzt geprüft am 08.09.2012.

**Becker, Hans Paul (2012):** *Investition und Finanzierung*. Wiesbaden: Gabler Verlag.

**Becks, Thomas (2010):** *Wegweiser Elektromobilität*. Berlin; Offenbach: VDE Verlag.

**Bickert, Stefan (2011):** *Total Costs of Ownership von Elektrofahrzeugen unter besonderer Berücksichtigung von Batteriekosten, Wertverlust und Batteriealterung*. Hg. v. Forschungszentrum Jülich GmbH. Forschungszentrum Jülich GmbH.  
[http://www.net-elan.de/lw\\_resource/datapool/publications/Total\\_Costs\\_of\\_Ownership\\_von\\_Elektrofahrzeugen.pdf](http://www.net-elan.de/lw_resource/datapool/publications/Total_Costs_of_Ownership_von_Elektrofahrzeugen.pdf), zuletzt geprüft am 17.07.2012.

**Bieger, Thomas; Knyphausen-Aufseß, Dodo zu; Krysz, Christian (Hg.) (2011):** *Geschäftsmodellwandel in der Automobilindustrie – Determinanten, zukünftige Optionen, Implikationen*. Berlin, Heidelberg: Springer.

**Bingham, C.; Walsh, C.; Carroll S. (2011):** *Impact of driving characteristics on electric vehicle energy consumption and range*. In: *IET Intelligent Transport Systems* (2012), Nr. 6, S. 29–35.

**blogautomobile.fr (Hg.) (2010):** *Berlingo First Electric*.  
<http://cdn.blogautomobile.fr/wp-content/uploads/2010/09/Berlingo-first-Electrique.jpg>, zuletzt geprüft am 16.08.2012.

**Boston Consulting Group (Hg.) (2010):** *Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020*. Wien.  
<http://electricdrive.org/index.php?ht=a/GetDocumentAction/id/27906>, zuletzt geprüft am 08.09.2012.

**Boston Consulting Group (Hg.) (2011):** *Powering Autos to 2020: The Era of the Electric Car?*  
<http://www.autonews.com/assets/pdf/ca74364614.pdf>, zuletzt geprüft am 04.08.2012.

**Braess, Hans-Hermann (2011):** *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik; mit 122 Tabellen*. 6. Aufl. Wiesbaden: Vieweg & Teubner.

**Bundesministerium der Finanzen (2001):** *Kfz-Steuer für Nutzfahrzeuge*.  
<http://www.vw-bus-land.de/tips/Kfz-Steuer-fuer-Nutzfahrzeuge.pdf> – Überprüfungsdatum 2012-07-10.

**Bundesministerium der Finanzen (2012):** *AfA-Tabellen, vom 12.04.1989*. Fundstelle: BStBl I 1989, 125.  
[http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere\\_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/afa-tabellen-anl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/afa-tabellen-anl.pdf?__blob=publicationFile&v=3), zuletzt geprüft am 25.08.2012.

**Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2012a):** § 29 StVZO, Anlage VIII.

[http://www.gesetze-im-internet.de/stvzo\\_2012/anlage\\_viii\\_133.html](http://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/anlage_viii_133.html), zuletzt geprüft am 24.07.2012.

**Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2012b):** Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung. StVZO. Fundstelle: Anlage XXIX (zu § 20 Absatz 3a Satz 4) EG-Fahrzeugklassen.

<http://www.buzer.de/gesetz/10146/a176024.htm>, zuletzt geprüft am 08.08.2012.

**Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hg.) (2010):** *Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030.*

[http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/energieprognose2009/Energieprognose\\_2009\\_Hauptbericht.pdf](http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/energieprognose2009/Energieprognose_2009_Hauptbericht.pdf), zuletzt geprüft am 08.08.2012.

**Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hg.) (2011):** *Regierungsprogramm Elektromobilität.* Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.

[http://www.bmbf.de/pubRD/programm\\_elektromobilitaet.pdf](http://www.bmbf.de/pubRD/programm_elektromobilitaet.pdf), zuletzt geprüft am 08.08.2012.

**Bundesumweltministerium (Hg.) (2010):** Start für Elektromobilität im Wirtschaftsverkehr. Bundesumweltministerium.

[http://www.bmu.de/pressemitteilungen/aktuelle\\_pressemitteilungen/pm/pdf/46380.pdf](http://www.bmu.de/pressemitteilungen/aktuelle_pressemitteilungen/pm/pdf/46380.pdf), zuletzt geprüft am 31.07.2012.

**Busch, Carsten (2012):** *Ladeinfrastruktur (ABB)*, 2012 an Falk Hormes. Im Anhang.

**Citroën (Hg.) (2010):** *Citroën Berlingo First Electric, Kastenwagen Vorabpreisliste. Preise • Technische Daten • Ausstattungen.*

[http://www.luzzi-luzzi.de/carpool/data/f51614407b26c2885738ac41ac99c776.preisliste\\_berlingo\\_first\\_electric.pdf](http://www.luzzi-luzzi.de/carpool/data/f51614407b26c2885738ac41ac99c776.preisliste_berlingo_first_electric.pdf), zuletzt aktualisiert am 2011, zuletzt geprüft am 25.07.2012.

**Citroën (Hg.) (2011):** *Der neue CITROËN BERLINGO Kastenwagen • Kastenwagen mit Doppelkabine • Plattform-Fahrgestell. Preise • Technische Daten • Ausstattungen.*

[http://www.citroen.de/Resources/Content/DE/10\\_pdf/07\\_preislisten/preisliste\\_berlingo\\_nfz.pdf](http://www.citroen.de/Resources/Content/DE/10_pdf/07_preislisten/preisliste_berlingo_nfz.pdf), zuletzt geprüft am 24.08.2012.

**Citroën (Hg.) (2012):** *Citroën Berlingo First Electric.*

<http://www.Citroën.ch/de/citroen-business/elektrische-fahrzeuge/citroen-berlingo-first-electrique/#/de/citroen-business/elektrische-fahrzeuge/citroen-berlingo-first-electrique/>, zuletzt geprüft am 09.08.2012.

**Credit Suisse (Hg.) (2009):** *Electric Vehicles - Back to the Future.* Credit Suisse.

<http://www.miaccess24.com/chargeaccess24/electricvehicles.pdf>, zuletzt geprüft am 27.08.2012.

**deine-autoreparatur.de (Hg.) (2012a):** *Citroën Berlingo - Ölwechsel - Kostenübersicht.*

<http://www.deine-autoreparatur.de/kosten/citroenberlingo/oelwechsel/774.html>, zuletzt geprüft am 25.07.2012.

**deine-autoreparatur.de (Hg.) (2012b):** *Citroën Berlingo - Zahnriemenwechsel – Kostenübersicht.*

<http://www.deine-autoreparatur.de/kosten/citroenberlingo/zahnriemenwechsel/789.html>, zuletzt geprüft am 03.08.2012.

**Dekra (2011):** *Mit der Temperatur sinkt die Reichweite.* Unter Mitarbeit von Norbert Kühnl. [http://www.dekra.de/de/pressemitteilung?p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_id=ArticleDisplay\\_WAR\\_ArticleDisplay&\\_ArticleDisplay\\_WAR\\_ArticleDisplay\\_articleID=7200581](http://www.dekra.de/de/pressemitteilung?p_p_lifecycle=0&p_p_id=ArticleDisplay_WAR_ArticleDisplay&_ArticleDisplay_WAR_ArticleDisplay_articleID=7200581), zuletzt aktualisiert am 2011, zuletzt geprüft am 17.08.2012.

**Deutsche Bundesbank (Hg.) (2012):** *Basiszinssatz nach § 247 BGB.* <http://www.bundesbank.de/Redaktion/DE/Standardartikel/Bundesbank/Zinssaetze/basiszinssatz.html>, zuletzt geprüft am 11.08.2012.

**Deutsche Post DHL Fleet (Hg.) (2012):** *Elektrofahrzeuge – Erfahrungen aus dem Bereich der Nutzfahrzeuge (Transporter) am Beispiel Deutsche Post DHL.* Essen.

**Doll, Claus (2011):** *Integration von Elektrofahrzeugen in Carsharing-Flotten.* Hg. v. Fraunhofer ISI.

[http://www.elektromobilitaet.fraunhofer.de/Images/FSEM\\_Elektromobilitaet\\_und\\_Carsharing\\_fin-2011-05-06\\_tcm243-90486.pdf](http://www.elektromobilitaet.fraunhofer.de/Images/FSEM_Elektromobilitaet_und_Carsharing_fin-2011-05-06_tcm243-90486.pdf), zuletzt geprüft am 28.08.2012.

**Dominsky, Steffen (2012):** *Citroën: Wir sind ein Pionier der Elektromobilität.* In: *kfz-betrieb* 2012 (3), S. 22–23.

[http://www.wiso-net.de/webcgi?START=A20&T\\_FORMAT=5&DOKM=2035509\\_ZECO\\_0&REFERER\\_NR=2&WID=95252-9850482-61724\\_5](http://www.wiso-net.de/webcgi?START=A20&T_FORMAT=5&DOKM=2035509_ZECO_0&REFERER_NR=2&WID=95252-9850482-61724_5), zuletzt geprüft am 28.08.2012.

**Duden (2012a):** *Stichwort: Antrieb.*

<http://www.duden.de/rechtschreibung/Antrieb>, zuletzt geprüft am 27.08.2012.

**Duden (2012b):** *Stichwort: konventionell.*

<http://www.duden.de/rechtschreibung/konventionell#Bedeutung2>, zuletzt aktualisiert am 27.06.2012, zuletzt geprüft am 27.06.2012.

**Duden (2012c):** *Stichwort: Nutzfahrzeug.*

<http://www.duden.de/rechtschreibung/Nutzfahrzeug>, zuletzt aktualisiert am 27.06.2012, zuletzt geprüft am 27.06.2012.

**DVZ Deutsche Logistikzeitschrift (Hg.) (2010):** *Der ökologische Cityflitzer.*

[http://www.dvz.de/fileadmin/user\\_upload/06\\_iaa-aktuell2010.pdf](http://www.dvz.de/fileadmin/user_upload/06_iaa-aktuell2010.pdf), zuletzt geprüft am 02.08.2012.

**electricvehiclesresearch.com (Hg.) (2011):** *La Poste receive first electric delivery vans.*

<http://www.electricvehiclesresearch.com/articles/la-poste-receive-first-electric-delivery-vans-00003107.asp?sessionid=1>, zuletzt geprüft am 31.07.2012.

**elektroauto-gebraucht-kaufen.de (Hg.) (2012):** *Citroën Berlingo First Electric kaufen 60 Prozent Rabatt.*

<http://www.elektroauto-gebraucht-kaufen.de/schnaepchen/citron-berlingo-first-electric-kaufen/>, zuletzt geprüft am 09.08.2012.

**EVS26 International Vehicle Symposium (Hg.) (2012):** *Cost analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles including Maintenance & Repair Costs and Resale Values.* EVS26 International Vehicle Symposium.

[http://elib.dlr.de/75697/1/EVS26\\_Propfe\\_final.pdf](http://elib.dlr.de/75697/1/EVS26_Propfe_final.pdf), zuletzt geprüft am 17.07.2012.

**Focus Online (Hg.) (2008):** *Größtes Problem sind die hohen Kosten.*

[http://www.focus.de/auto/ratgeber/unterwegs/tid-11103/elektroautos-groesstes-problem-sind-die-hohe-kosten\\_aid\\_317323.html](http://www.focus.de/auto/ratgeber/unterwegs/tid-11103/elektroautos-groesstes-problem-sind-die-hohe-kosten_aid_317323.html), zuletzt geprüft am 27.08.2012.

**Focus Online (Hg.) (2011):** *Auto Restwert 2015: So wird der Wertverlust ermittelt.*  
[http://www.focus.de/auto/ratgeber/kosten/tid-21978/auto-restwert-2015-so-wird-der-wertverlust-ermittelt\\_aid\\_618333.html](http://www.focus.de/auto/ratgeber/kosten/tid-21978/auto-restwert-2015-so-wird-der-wertverlust-ermittelt_aid_618333.html), zuletzt geprüft am 27.08.2012.

**Gabler Wirtschaftslexikon (Hg.) (2012a):** *Stichwort: fixe Kosten.*  
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/1288/fixe-kosten-v9.html>, zuletzt geprüft am 23.07.2012.

**Gabler Wirtschaftslexikon (Hg.) (2012b):** *Stichwort: variable Kosten.*  
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/1287/variable-kosten-v6.html>, zuletzt geprüft am 11.08.2012.

**Gabler Wirtschaftslexikon (Hg.) (2012c):** *Stichwort: Unternehmensbewertung.*  
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/5094/unternehmensbewertung-v7.html>, zuletzt geprüft am 11.08.2012.

**Gabler Wirtschaftslexikon (Hg.) (2012d):** *Stichwort: Unternehmerwagnis.*  
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/12500/unternehmerwagnis-v9.html>, zuletzt geprüft am 11.08.2012.

**Geißdörfer, Klaus (2009):** *Total Cost of Ownership (TCO) und Life Cycle Costing (LCC). Einsatz und Modelle: Ein Vergleich zwischen Deutschland und USA.* 1. Aufl. Münster, Westf: LIT.

**GoingElectric.de (Hg.) (2012):** *Elektroauto KFZ Steuer.*  
<http://www.goingelectric.de/2012/05/29/wissen/elektroauto-kfz-steuer/>, zuletzt geprüft am 13.08.2012.

**Götze, Uwe; Bloech, Jürgen (2002):** *Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben.* 3. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer.

**Götze, Uwe; Rehme, Marco (2011):** *Elektromobilität - Herausforderungen und Lösungen aus wirtschaftlicher Sicht.* TU Chemnitz.  
<http://www.tu-chemnitz.de/wirtschaft/bwl3/Publikationen/Elektromobilitaet.pdf>, zuletzt geprüft am 17.07.2012.

**Heesen, Bernd (2010):** *Investitionsrechnung für Praktiker. Fallorientierte Darstellung der Verfahren und Berechnungen.* 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler.

**Hoepke, Erich; Breuer, Stefan (Hg.) (2010):** *Nutzfahrzeugtechnik. Grundlagen, Systeme, Komponenten ; mit 35 Tabellen.* 6. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.

**Hofmann, Erik; Maucher, Daniel; Hornstein, Jens (Hg.) (2012):** *Instrumente und Methoden des Investitionsgütereinkaufs in Bezug auf die Eigenschaften der Beschaffungsobjekte.* Berlin, Heidelberg: Springer.

**Holler, Doris (2011):** *Elektroauto: Citroën Berlingo First Electric Sonderedition BVmobil.* Hg. v. oekonews.at.  
[http://www.oekonews.at/index.php?mdoc\\_id=1064782](http://www.oekonews.at/index.php?mdoc_id=1064782), zuletzt aktualisiert am 11.11.2011.

**Hrach, D.; Cifrain, M. (2011):** *Batterietechnik und -management im Elektrofahrzeug.* In: *Elektrotech. Inftech.* 128 (1-2), S. 16–21.

**Hüttl, Reinhard; Pischetsrieder, Bernd; Spath, Dieter (2010):** *Elektromobilität. Potenziale Und Wissenschaftlich-Technische Herausforderungen.* Berlin, Heidelberg: Springer.

- Kampmann, Ulrich R. (2005):** *Fahrzeug-Kostenrechnung - Güterkraftverkehr. Fachbuch & Kalkulationsprogramm auf CD-ROM*. 1. Aufl. Recklinghausen: Kampmann.
- Kearney, A. T. (2009):** *Von der Finanzkrise zur Energiekrise?* Hg. v. A.T. Kearney GmbH. zuletzt geprüft am 06.09.2012.
- Kleber, Michael (2011):** *Electrification of the Automotive Industry – The European Consumer's View*. Hg. v. EurotaxSchwacke GmbH.  
[http://www.e-motility.com/Whitepaper\\_The\\_Electrification\\_of\\_the\\_Automotive\\_Industry\\_The\\_Consumer\\_View\\_20110331.pdf](http://www.e-motility.com/Whitepaper_The_Electrification_of_the_Automotive_Industry_The_Consumer_View_20110331.pdf), zuletzt geprüft am 17.07.2012.
- Kleinhanß, Nadine (2012):** *Ladeinfrastruktur (DB Energy)*, 2012 an Falk Hormes. Im Anhang.
- Korthauer, Reiner (Hg.) (2011):** *Handbuch Elektromobilität*. 2. Aufl. Frankfurt am Main [u.a.]: EW Medien und Kongresse.
- Kraftfahrt-Bundesamt (Hg.) (2012):** *Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2012*.  
[http://www.kba.de/nn\\_124584/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand\\_\\_node.html?\\_\\_nnn=tue](http://www.kba.de/nn_124584/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand__node.html?__nnn=tue), zuletzt aktualisiert am 16.08.2012.
- Kruschwitz, Lutz (2009):** *Investitionsrechnung*. 12. Aufl. München: Oldenbourg.
- Lachmann, Maik; Wenger, Felix (2011):** *Dashboards im Gesundheitswesen – Integrierende Analyseinstrumente für das Krankenhaus-Controlling*. In: *Z Control Manag* 55 (4), S. 224–227.
- LBV Hamburg (Hg.) (2012):** *Zulassungskosten*.  
<http://www.hamburg.de/lbv-gebuehren/317812/gebuehren-kfz.html>, zuletzt geprüft am 25.07.2012.
- Lembke, Daniel (2012):** *Interview mit Herrn Daniel Lembke (Citroën)*. Hamburg, 2012. Persönliches Interview mit Falk Hormes. Im Anhang.
- Lenz, Barbara (2010):** *Shell Lkw-Studie. Fakten, Trends und Perspektiven im Straßengüterverkehr bis 2030*. Hg. v. Shell Deutschland; Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V.  
[http://elib.dlr.de/64553/1/shell\\_truck\\_study\\_2030.pdf](http://elib.dlr.de/64553/1/shell_truck_study_2030.pdf), zuletzt geprüft am 16.08.2012.
- Mag, Hans-Joachim (2011):** *Auf Heller und Cent*. In: *bfp Fuhrpark + Management* 34 (1), S. 74.  
[http://www.fuhrpark.de/fileadmin/epaper/bfp/bfp\\_2011\\_01/bfp\\_2011\\_01.pdf](http://www.fuhrpark.de/fileadmin/epaper/bfp/bfp_2011_01/bfp_2011_01.pdf), zuletzt geprüft am 17.07.2012.
- MBtech Consulting GmbH (Hg.) (2010):** *Trendmonitor 2010. Leichtes Nutzfahrzeug der Zukunft*.  
[http://www.mbtech-group.com/fileadmin/media/pdf/consulting/downloads/Trend\\_Monitor\\_\\_2010\\_DE.pdf](http://www.mbtech-group.com/fileadmin/media/pdf/consulting/downloads/Trend_Monitor__2010_DE.pdf), zuletzt geprüft am 17.07.2012.
- McKinsey & Company (Hg.) (2010):** *A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis*.  
[http://www.fch-ju.eu/sites/default/files/documents/Power\\_trains\\_for\\_Europe.pdf](http://www.fch-ju.eu/sites/default/files/documents/Power_trains_for_Europe.pdf), zuletzt geprüft am 26.07.2012.

**McKinsey & Company (Hg.) (2012):** *Battery technology charges ahead.*

[http://www.mckinseyquarterly.com/Battery\\_technology\\_charges\\_ahead\\_2997](http://www.mckinseyquarterly.com/Battery_technology_charges_ahead_2997), zuletzt geprüft am 08.09.2012.

**mobile.de (Hg.) (2012):** *Citroën Berlingo Kasten HDi 75.*

[http://www.mobile.de/modellverzeichnis/citroen/berlingo-tab-bild-cit\\_ber\\_08\\_kt\\_1.html](http://www.mobile.de/modellverzeichnis/citroen/berlingo-tab-bild-cit_ber_08_kt_1.html), zuletzt aktualisiert am 16.08.2012.

**Mock, Wolfgang (2012):** *Batterien bleiben die größte Hürde für Stromer.* In: *VDI Nachrichten* 2012 (26), S. 1.

**Motorvision.de (Hg.) (2011):** *Elektro-Transporter: Stille Post.*

<http://www.motorvision.de/artikel/stille-post,12829.html>, zuletzt geprüft am 30.07.2012.

**Müller, David (2006):** *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure.* Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.

**Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (Hg.) (2011):** *NOW Ergebnisbericht 2011. Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie.*

[http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user\\_upload/RE-Downloads/RE\\_DL\\_MR-Ergebnisbericht\\_2011/RE\\_DL\\_NOW\\_Ergebnisbericht\\_2011.pdf](http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/RE-Downloads/RE_DL_MR-Ergebnisbericht_2011/RE_DL_NOW_Ergebnisbericht_2011.pdf), zuletzt geprüft am 31.07.2012.

**Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (Hg.) (2012):** *50 Wasserstofftankstellen für Deutschland.*

<http://www.now-gmbh.de/de/presse/2012/50-wasserstofftankstellen-fuer-deutschland.html>, zuletzt geprüft am 10.08.2012.

**Nationale Plattform Elektromobilität (Hg.) (2010):** *Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität.* Berlin.

[http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bericht\\_emob\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bericht_emob_bf.pdf), zuletzt geprüft am 10.08.2012.

**Nationale Plattform Elektromobilität (Hg.) (2011a):** *Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität.* Berlin.

<http://www.bmu.de/verkehr/downloads/doc/47370.php>, zuletzt geprüft am 10.08.2012.

**Nationale Plattform Elektromobilität (Hg.) (2011b):** *Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität Anhang.* Berlin.

[http://www.bmbf.de/pubRD/anhang\\_zweiter\\_bericht\\_nationale\\_plattform\\_elektromobilitaet.pdf](http://www.bmbf.de/pubRD/anhang_zweiter_bericht_nationale_plattform_elektromobilitaet.pdf), zuletzt geprüft am 04.08.2012.

**Nationale Plattform Elektromobilität (Hg.) (2012):** *Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (Dritter Bericht).* Berlin.

<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/fortschrittsbericht-der-nationalen-plattform-elektromobilitaet,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>, zuletzt geprüft am 25.08.2012.

**Naunin, Dietrich (2007):** *Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge. Technik, Strukturen und Entwicklungen; mit 8 Tab.* 4. Aufl. Renningen: Expert.

**Oberschelp, Matthias (2012):** *Versicherungsangebot Berlingo (Schmitz Horn Treber GmbH),* 19.06.2012 an Falk Hormes. Anhang.

**Ohler, Armin; Ohler, Sebastian (2012):** *Antriebstechnik im Vergleich - Die günstige Variante.* In: *BA Beschaffung aktuell*, 2012 (5), S. 45.

**Öko-Institut e.V.; DLR-Institut für Verkehrsforschung (Hg.) (2009):** *RENEWABILITY „Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030“.* [http://www.renewbility.de/fileadmin/download/endbericht\\_renewbility\\_teil1.pdf](http://www.renewbility.de/fileadmin/download/endbericht_renewbility_teil1.pdf), zuletzt geprüft am 08.09.2012.

**Olfert, Klaus; Reichel, Christopher (2009):** *Investition.* 11. Aufl. Ludwigshafen (Rhein): Kiehl.

**Pehnt, M.; Nitsch, J. (2000):** *Ökobilanzen und Markteintritt von Brennstoffzellen im mobilen Einsatz - Life Cycle Assessment and Market Entry of Mobile Fuel Cell Systems.* In: *Innovative Fahrzeugantriebe - Innovative Power Train Systems 2000 (1565)*, S. 323–347.

**Pfaffenbichler, Paul Christian (2009):** *Pre-Feasibility-Studie zu Markteinführung Elektromobilität in Österreich.* Hg. v. Austrian Energy Agency. Wien. [http://www.bmvit.gv.at/bmvit/innovation/downloads/markteinfuehrung\\_elektromobilitaet1.pdf](http://www.bmvit.gv.at/bmvit/innovation/downloads/markteinfuehrung_elektromobilitaet1.pdf).

**Poggensee, Kay (2009):** *Investitionsrechnung. Grundlagen - Aufgaben - Lösungen.* 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler.

**Proff, Heike; Schönharting, Jörg; Schramm, Dieter; Ziegler, Jürgen (Hg.) (2012):** *„Grüne Showrooms – Gestaltungskomponenten eines Handelskonzepts für Elektromobilität.* Wiesbaden: Gabler Verlag.

**Proff, Heike; Schönharting, Jörg; Schramm, Dieter; Ziegler, Jürgen (Hg.) (2012):** *Management-Herausforderungen für FORD im Übergang zur Elektromobilität.* Wiesbaden: Gabler Verlag.

**Proff, Heike; Schönharting, Jörg; Schramm, Dieter; Ziegler, Jürgen (Hg.) (2012):** *Veränderte Kundenwünsche als Chance zur Differenzierung.* Wiesbaden: Gabler Verlag.

**Reif, Konrad (Hg.) (2010):** *Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe.* Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage, Wiesbaden.

**reifen.de (Hg.) (2012):** *Tipps zum Fahren.* <http://www.reifen.de/fahren.html>, zuletzt geprüft am 24.07.2012.

**Roland Berger Strategy Consultants (Hg.) (2010):** *Powertrain 2020 - Li-Ion batteries – the next bubble ahead?* [http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland\\_Berger\\_Li-Ion\\_batteries\\_20100222.pdf](http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_Li-Ion_batteries_20100222.pdf).

**Rother, Franz (2012):** *PSA PEUGEOT CITROËN PHILIPPE VARIN Ladehüter E-Auto.* In: *WirtschaftsWoche* (12), S. 12.

**SAP AG (Hg.) (2012):** *Benutzerhandbuch für Dashboards und Presentation Design.* SAP BusinessObjects 4.0 Feature Pack 3. SAP AG. [http://help.sap.com/businessobject/product\\_guides/boexir4/de/xi4\\_dashD\\_user\\_de.pdf](http://help.sap.com/businessobject/product_guides/boexir4/de/xi4_dashD_user_de.pdf), zuletzt geprüft am 22.08.2012.

**Schmeisser, Wilhelm; Görlitz, Bennet; Spree, Julia; Clausen, Lydia; Schindler, Falko (Hg.) (2009):** *Einführung in die Unternehmensbewertung.* 1. Aufl. Mering: Rainer Hampp Verlag.

- Schneider, Christian (2005):** *Zwei Wege führen zum selben Ziel.* In: *DVZ Deutsche Logistik-Zeitung* 2005 (73).  
[http://www.wiso-net.de/webcgi?START=A40&OVVAR=DOK\\_SPEICHERN,EINZEL\\_DOK,EINZEL\\_TITEL,PDF\\_ALLOW,RTF\\_ALLOW&DOK\\_SPEICHERN=1&EINZEL\\_DOK=314249\\_ZECO\\_0&EINZEL\\_TITEL=Zwei\\_Wege\\_fuehren\\_zu&PDF\\_ALLOW=1&RTF\\_ALLOW=1&WID=33642-6250352-72228\\_9](http://www.wiso-net.de/webcgi?START=A40&OVVAR=DOK_SPEICHERN,EINZEL_DOK,EINZEL_TITEL,PDF_ALLOW,RTF_ALLOW&DOK_SPEICHERN=1&EINZEL_DOK=314249_ZECO_0&EINZEL_TITEL=Zwei_Wege_fuehren_zu&PDF_ALLOW=1&RTF_ALLOW=1&WID=33642-6250352-72228_9), zuletzt geprüft am 11.08.2012.
- Simon, Fabian (Hg.) (2012):** *Abbildung: Finanzmathematische Grundlagen.*  
<http://www.rechnungswesen-verstehen.de>, zuletzt geprüft am 08.09.2012.
- Spiegel Online (Hg.) (2007):** *50 Jahre Schwacke-Liste: Bibel der Gebrauchtwagen.* Unter Mitarbeit von Tom Grünweg.  
<http://www.spiegel.de/auto/aktuell/50-jahre-schwacke-liste-bibel-der-gebrauchtwagen-a-517264.html>, zuletzt geprüft am 07.08.2012.
- Spiegel Online (Hg.) (2012):** *Gesetzentwurf der Regierung: Elektroautos fahren zehn Jahre steuerfrei.*  
<http://www.spiegel.de/auto/aktuell/keine-kfz-steuer-fuer-elektroautos-zehn-jahre-lang-a-834800.html>, zuletzt geprüft am 23.07.2012.
- Stan, Cornel (2012):** *Alternative Antriebe für Automobile. Hybridsysteme, Brennstoffzellen, alternative Energieträger.* 3. Aufl. Berlin: Springer Berlin.
- Statistisches Bundesamt (Hg.) (2012):** *Daten zur Energiepreisentwicklung.*  
[https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/EnergiepreisentwicklungPDF\\_5619001.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/EnergiepreisentwicklungPDF_5619001.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 27.08.2012.
- Statistisches Bundesamt (Hg.) (2011):** *Gebrauchsvermögen privater Haushalte in Deutschland.* Unter Mitarbeit von Oda Schmalwasser, Müller Aloysius und Nadine Weber.  
[https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/VGR/Gebrauchsvermoegen\\_62011.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/VGR/Gebrauchsvermoegen_62011.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 27.08.2012.
- Stenner, Frank (Hg.) (2010):** *Handbuch Automobilbanken. Innovative Problemlösungen für das Fuhrparkmanagement.* Unter Mitarbeit von Peter Zieringer. 1. Aufl. Heidelberg: Springer.
- stromauskunft.de (Hg.) (2012):** *Ökostrom Preise - StromAuskunft.*  
<http://www.stromauskunft.de/de/html/oekostrom/oekostrom-preise.html>, zuletzt geprüft am 22.07.2012.
- Swantusch, Rocco (2011):** *Große Ziele für eine Miniflotte.* In: *Verkehrs Rundschau* 2011 (1), S. 25, zuletzt geprüft am 24.08.2012.
- Tietze, Jürgen (2011):** *Einführung in die Finanzmathematik. Klassische Verfahren und neuere Entwicklungen: Effektivzins- und Renditeberechnung, Investitionsrechnung, Derivative Finanzinstrumente.* 11. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.
- Trautmann, Siegfried (2006):** *Investitionen.* New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- TÜV Hanse (Hg.) (2012):** *Gebühren Fahrzeugprüfung TÜV.*  
[http://www.tuev-sued.de/hanse/fahrzeugpruefungen/gebuehren\\_fuer\\_fahrzeugpruefungen\\_auszug\\_ab\\_01.01.2010](http://www.tuev-sued.de/hanse/fahrzeugpruefungen/gebuehren_fuer_fahrzeugpruefungen_auszug_ab_01.01.2010), zuletzt geprüft am 25.07.2012.
- VDI Technologiezentrum GmbH (Hg.) (2011):** *Elektromobilität. ITA-Kurzstudie.* Düsseldorf.  
<http://www.vditz.de/fileadmin/media/publications/pdf/Elektromobilitaet.pdf>, zuletzt geprüft am 10.08.2012.

**Voß, Burghard (2005):** *Hybridfahrzeuge. Mit 16 Tabellen ; [die erste von der IAV und dem HdT gemeinschaftlich veranstaltete Berliner Tagung zum Thema "Hybridantriebsentwicklung"; Vorträge]*. Renningen: Expert-Verl.

**Wallentowitz, Henning; Freialdenhoven, Arndt; Olschewski, Ingo (2010):** *Strategien zur Elektrifizierung des Antriebstranges. Technologien, Märkte und Implikationen*. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.

**Walz, Hartmut; Gramlich, Dieter (2004):** *Investitions- und Finanzplanung. Eine Einführung in finanzwirtschaftliche Entscheidungen unter Sicherheit ; mit 13 Tabellen sowie einer CD-ROM zur Durchführung von Investitions- und Liquiditätsrechnungen*. 6. Aufl. Heidelberg: Verl. Recht und Wirtschaft.

**Wünsche, Manfred (Hg.) (2010):** *Finanzwirtschaft der Bilanzbuchhalter. Dynamische Investitionsrechnung*. Wiesbaden: Gabler.

**Yay, Mehmet (2011):** *Elektromobilität. Theoretische Grundlagen, Herausforderungen sowie Chancen und Risiken der Elektromobilität, diskutiert an den Umsetzungsmöglichkeiten in die Praxis*. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Lang, Peter Frankfurt.

**Zimmer, Wiebke (2011a):** *CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale durch den Einsatz von elektrischen Fahrzeugen in Dienstwagenflotten*. Hg. v. Öko-Institut e.V. Berlin.  
<http://www.oeko.de/oekodoc/1343/2011-027-de.pdf>, zuletzt geprüft am 08.09.2012.

**Zimmer, Wiebke (2011b):** *Betrachtung der Umweltentlastungspotenziale durch den verstärkten Einsatz von kleinen, batterieelektrischen Fahrzeugen im Rahmen des Projekts „E-Mobility“*. Hg. v. Öko-Institut e.V. Berlin.  
<http://www.oeko.de/oekodoc/1344/2011-007-de.pdf>, zuletzt geprüft am 08.09.2012.

**Zunke, Karsten (2012):** *Elektrolieferwagen - Günstiger Betrieb, teurer Kauf*. In: *ProFirma* (12), S. 66–68.  
[http://www.wiso-net.de/webcgi?START=A20&T\\_FORMAT=5&DOKM=2058149\\_ZECO\\_0&T\\_REFERRER\\_NR=3&WID=51372-0330922-32223\\_11](http://www.wiso-net.de/webcgi?START=A20&T_FORMAT=5&DOKM=2058149_ZECO_0&T_REFERRER_NR=3&WID=51372-0330922-32223_11), zuletzt geprüft am 27.08.2012.

# Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences  
Department Maschinenbau und Produktion

## Formblatt Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Bachelorthesis

Zur Erläuterung des Zweckes dieses Blattes:

§ 16 Abs. 5 der APSOTIBM lautet:

„Zusammen mit der Thesis ist eine schriftliche Erklärung abzugeben aus der hervorgeht, dass die Arbeit bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit (§18 Absatz 1) ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Dieses Blatt mit der folgenden Erklärung ist nach Fertigstellung der Arbeit durch jede/n Kandidat/en/in auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt des als Prüfungsexemplar der Bachelorthesis gekennzeichneten Exemplars einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann - auch nachträglich - zur Ungültigkeit des Bachelorabschlusses führen.

### Erklärung

Hiermit versichere ich,

Name: Hormes

Vorname: Falk

dass ich die vorliegende Bachelorthesis – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema

"Analyse und Vergleich konventioneller und elektrisch angetriebener Nutzfahrzeuge mittels

dynamischer Investitionsrechenverfahren"

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der Bachelorthesis ist erfolgt durch

Hamburg

Ort

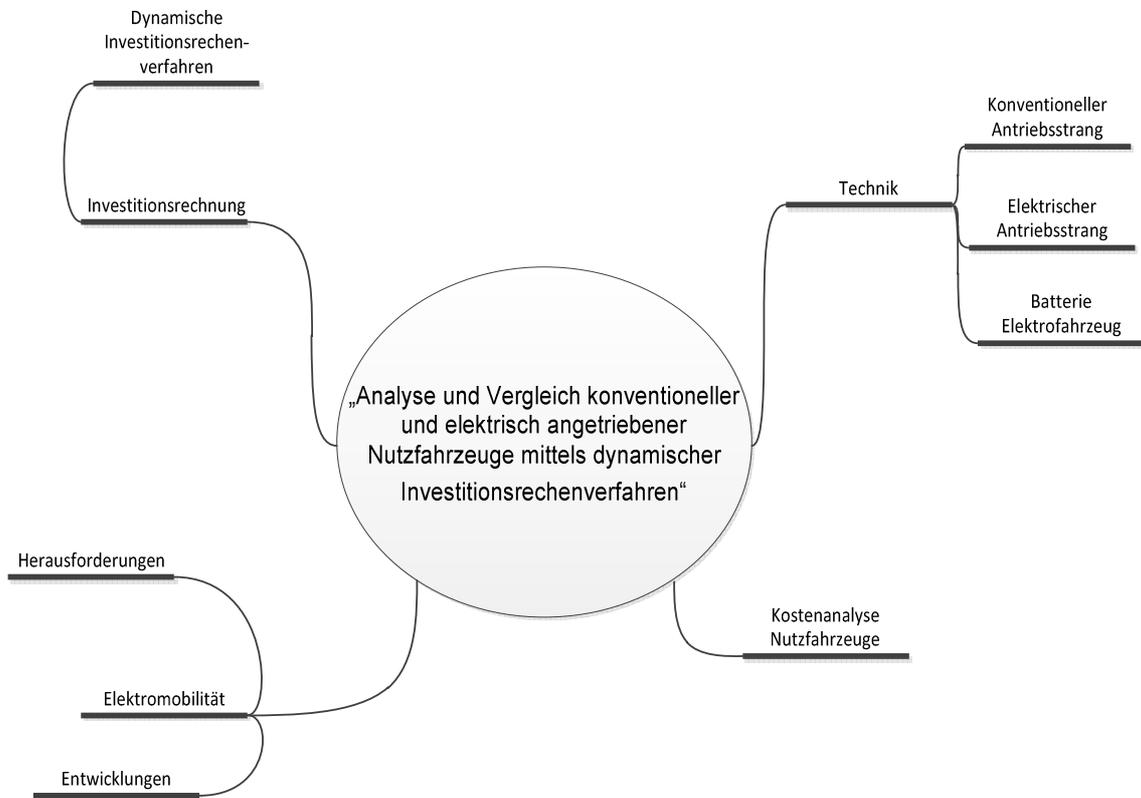
14.09.2012

Datum

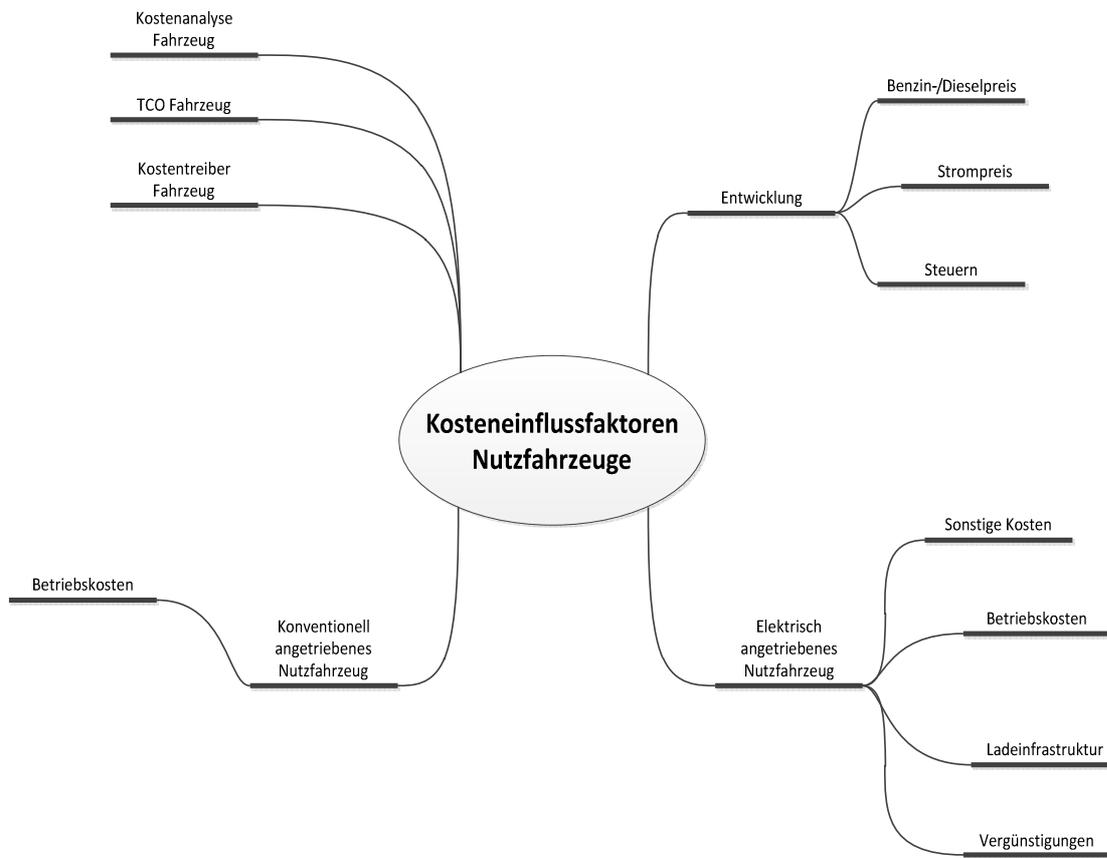
Unterschrift im Original

# Anhang

## Anh. 1: Brainstorming zur allgemeinen Literaturrecherche



## Anh. 2: Brainstorming zur spezifischen Literaturrecherche



### Anh. 3: Protokoll des Interviews mit Herrn Lembke (Citroën)

## Protokoll: Interview: Herr Lembke (Citroën Hamburg)

Datum: 22.06.2012

Ort: Citroën-Niederlassung Hamburg, Süderstraße 160

- 1) Wie ist Ihr beruflicher Werdegang und was sind Ihre Qualifikationen?
  - Ausbildung Automobilkaufmann
  - Weiterbildung Flottenmanagement, Großkunden
  - Weiterbildung Ökomanagement für Fuhrparks
  - Weiterbildung Elektromobilität
  
- 2) Was ist Ihr Aufgabenbereich bei Citroën Hamburg und welche Erfahrungen konnten Sie im Zusammenhang mit Elektromobilität sammeln?
  - Vertrieb E-Fahrzeuge
  - Großkundengeschäft
  - Beratung Flottenmanagement
  
- 3) Wie schätzen Sie persönlich die Entwicklung der Elektromobilität in den nächsten Jahren ein?
  - Zunahme der Relevanz
  - Im Bereich City-Logistik sehr gut einsetzbar
  
- 4) Was können Sie zur Lebensdauer der Batterie (Ladezyklen, Kilometerleistung, Alter) und zur Garantie des Herstellers sagen?
  - Abhängig von der Ladeinfrastruktur und der regelmäßigen Nutzung: Lange Stillstandzeiten haben negativen Einfluss
  - 1.000 Zyklen Garantie vom Hersteller
  - 2.000 Zyklen durchaus möglich
  
- 5) Meine Recherche hat unterschiedliche Kostengrößen für die Fahrzeuge hervorgebracht, – können Sie quantitative Werte zu den relevanten Größen nennen?
  - Kostengrößen abhängig von den Einsatzrahmenbedingungen
  - Es handelt sich um grobe Richtwerte

<b>Fahrzeugkosten</b>	<b>Angaben Herr Lembke</b>	
<b>Hersteller</b>	Citroën	Citroën
<b>Modellbezeichnung:</b>	Berlingo First Electric	Berlingo L1 Kastenwagen Niveau A Hdi 75 55kW Diesel
Anschaffungspreis (€)	15.000 (1)	14.250
Reifenkosten (€/Wechsel) (2)	400 (Weniger Abrieb)	400
Wartungskosten (€/Jahr)	150	300
Schmierstoffkosten (€/Wechsel)	0	80
Versicherungen ges. (€/Jahr)	600–1.500	2.000
Haftpflichtversicherung (€/J.)	-	-
Teilkaskoversicherung (€/J.)	-	-
Vollkaskoversicherung (€/J.)	-	-
Kfz-Steuer (€/Jahr)	0	180
Hauptuntersuchung (€/2 Jahre)	53,50	53,50
Abgasuntersuchung (€/2 Jahre)	0	32
Ersatzbatterie (€/Wechsel)	20.000	0
Restwert (€)	k.A.	k.A.
Ladeinfrastruktur (gewerblich) (€)	1500	0

- (1) Anmerkung Listenpreis: Da erstes Modell vom First Electric ausläuft und neues Modell auf IAA (20.9.12) vorgestellt wird, werden Restbestände für 15.000 Euro (Nettopreis) an Händler verkauft, Preis für Endnutzer liegt bei ca. 20.000 Euro
- (2) Anmerkung Reifen: der Reifenwechsel erfolgt je nach Fahrweise, beim First Electric halten die Reifen länger, da Rekuperationsbremsung weniger Abrieb erzeugt (keine quantitativen Werte für die Abnutzung).
- 6) Wie werden sich die Kosten für die Versicherung entwickeln, zurzeit gibt es ja nur eine sehr begrenzte Anzahl von Versicherungen für Elektrofahrzeuge?
- Zurzeit wenige Versicherer, weil es noch keine Erfahrungswerte gibt
  - Policen sind noch relativ niedrig, werden aber steigen
- 7) Welche Trends sehen Sie bei der Preisentwicklung der Elektrofahrzeuge?
- Richtet sich sehr nach Strategie der Mitbewerber
  - Tendenz fallend
  - Verlustgeschäft für Hersteller, Sammeln von Erfahrungen
  - Einstieg in das Segment
  - Je nach Modell Anschaffungspreis von 30.000–100.000 Euro
- 8) Welche Trends sehen Sie bei der Preisentwicklung der Batterie?
- Für das Jahr 2020: 5.000–10.000 Euro, bei doppelter Leistung
  - Batterien werden modulweise aufgebaut werden, Reparaturkosten sinken, da nur Austausch einzelner Module

- 9) Welche Trends sehen Sie bei der Ladeinfrastruktur?
- Tendenz wachsend, aber oft noch Prestigeprojekte, äußere Bezirke nicht gut angebunden
  - Projekte bei Arbeitgebern, E-Quartier, HVV plant Projekte
  - Leider Zuparken von Stellplätze für E-Fahrzeuge
- 10) Wie sind Ihre Erfahrungen mit technischen Problemen und Ausfallquoten (pro Jahr) bei Elektrofahrzeugen?
- Bei richtiger Nutzung 1 Tag auf 300 Werktage pro Jahr gesehen
  - Bei hoher Zuladung sinkt die Reichweite unter 100 km
  - Fahrzeuge müssen bewegt werden, sonst Schädigung der Batterie
  - Im Winter Probleme mit Akkus, Heizung lässt sich nicht gut betreiben
- 11) Was sind die wichtigsten Gründe, warum die Einführung der Elektromobilität nur langsam voran geht?
- Berührungspunkte der Verbraucher
  - Sehr hohe Erwartungshaltung der Verbraucher
  - Reichweiteneinschränkungen
- 12) Existiert eine Roadmap für Elektrofahrzeuge von Citroën?
- Region Hamburg: Ab 1.9. verstärkt Werbeaktionen
  - Budget 30.000 Euro
- 13) Ab wann beginnt die Serienproduktion des Berlingo 2 und ab wann wird er erhältlich sein?
- Ab 20.9. erste Ausstellung IAA
  - Keine Angabe
- 14) Gibt es die Möglichkeit zu Fahrertrainings bei Citroën?
- Externer Dienstleister: ECO Consulting, bei Großkunden
  - Citroën zahlt die Einweisung (ca. 5 Stunden)
  - Kennenlernen des Fahrzeugs und Erklären der optimalen Fahrweise
- 15) Wie fährt man am energieeffizientesten mit einem Elektrofahrzeug (Rollen, starkes Bremsen,...)?
- Anzeige im Auto – ECO-Management
  - Kein starkes Beschleunigen und Bremsen
  - Bei 70 km/h geringster Verbrauch

#### Anh. 4: Protokoll des Telefonats mit Carsten Busch (ABB)

### Telefonprotokoll

Datum 14.06.2012  
Thema: Ladeinfrastruktur  
Name: Hr. Carsten Busch  
Unternehmen: ABB Automation Products GmbH  
Tel. Kontakt +491752683019

#### Fragen:

Wie hoch liegen die Kosten für die komplette Ladeinfrastruktur für ein elektrisches Nutzfahrzeug?

- Keine genauen Angaben möglich, je nach Rahmenbedingungen
- Bei langsamen Laden, Wechselstrom:  
Wallbox: ca. 700-800 € Ladesäule: ca. 2.000 – 3.000 €
- Bei schnellem Laden, Gleichstrom:  
Wallbox: ca. 15.000 € Ladesäule: ca. 25.000 €
- Zuzüglich Installation und Stromanschluss, je nach örtlichen Begebenheiten  
(im öffentlichen Raum 10.000 – 15.000 €)

Was sind die Einflussfaktoren für die Kosten?

- Ladezeit und damit der Strombedarf
- Beim schnellen Laden werden bis zu 50 kW benötigt – so besteht die Möglichkeit, in 15-30 Minuten zu laden

Gibt es Erfahrungen über Störungen, Ausfall der Technik?

- Keine bekannt

## Anh. 5: Protokoll des Telefonats mit Frau Kleinhanß (DB Energy)

### Telefonprotokoll

Datum: 13.06.2012  
Thema: Ladeinfrastruktur  
Name: Frau Kleinhanß  
Unternehmen: DB Energy  
Tel. Kontakt +496926523734

#### Fragen:

Wie hoch liegen die Kosten für die komplette Ladeinfrastruktur für ein elektrisches Nutzfahrzeug?

- Keine konkrete Angabe, sehr abhängig von den örtlichen Begebenheiten, von den Funktionsumfängen der Ladetechnik
- Angebotserstellung erst nach Ortsbegehung

Was sind die Einflussfaktoren für die Kosten?

- Geforderte Stromabgabe (normales Laden, schnelles Laden)
- Vorhandensein des benötigten Stromanschlusses (ggf. neue Leitungen)
- Standort der Ladetechnik: privat, öffentlich
- Abrechnung, Datenerfassung der Ladesäule

Gibt es geschätzte Werte für unterschiedliche Varianten?

- Günstigste: Haushaltsstrom direkt an Steckdose (privat): 0,-€
- Mittlere: Ladebox (16 A) mit geringem Installationsaufwand (privat/firmenintern): ca. 1.500 € - 3.000 €
- Teure Variante: öffentlicher Raum, Schnellladetechnik, Datenkommunikation... bis 30.000 €

Gibt es Erfahrungen über Störungen, Ausfall der Technik?

- Bei fachgerechter Installation nicht

## Anh. 6: Angebot der Kfz-Versicherung

### Falk Hormes

---

**Von:** oberschelp@schmitz-horn.de  
**Gesendet:** Dienstag, 19. Juni 2012 10:11  
**An:** Hormes, Falk  
**Betreff:** Re: Anfrage Versicherung Elektrofahrzeug Citroen Berlingo First Electric  
**Anlagen:** HAW Hamburg.pdf

Aktivität: 830551  
(Bitte bei allen Rückfragen und Antworten angeben!)

---

Sehr geehrter Herr Hormes,

beigefügt erhalten Sie unsere Angebotsübersicht für die von Ihnen angefragten Fahrzeuge.

Kurz zu den jeweiligen Angeboten:

Angebot Elektrofahrzeuge: es handelt sich hier um feste Stückbeiträge, deren Berechnungsgrundlage der Nettoneuwert des jeweiligen Fahrzeuges ist. Schadenfreiheitsklassen können hinterlegt werden, haben aber keinen Einfluss auf die Beiträge.

Das Angebot für den Citroen Berlingo mit konventionellem Antrieb liegt SF 1 (85 % Beitragssatz) zugrunde.

Für die Beantwortung Ihrer Fragen stehen wir gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen aus Solingen

i. A. Matthias Oberschelp

Schmitz Horn Treber GmbH  
ASSEKURANZMAKLER  
Kieler Str. 15  
42697 Solingen

Telefon: (0212) 26 26 6 - 255  
Telefax: (0212) 26 26 6 - 265  
Besuchen Sie uns auch mal im Internet: [www.schmitz-horn.de](http://www.schmitz-horn.de)  
Besuchen Sie auch unser Portal zur Elektromobilität: [www.emc24.com](http://www.emc24.com)

Geschäftsführer: Torsten Horn, Bernd Schmitz, Christian Treber  
Sitz der Gesellschaft: Solingen  
Registergericht: Wuppertal HRB 18082  
Steuernummer: 129/5834/0290

---

#### [Information gemäß § 11 Versicherungsvermittlungsordnung](#)

Wir wollen Ihnen optimalen Service bieten. Wenn uns das einmal nicht gelingen sollte, informieren Sie uns bitte telefonisch unter 0212-262660 oder per E-mail an [schmitz@schmitz-horn.de](mailto:schmitz@schmitz-horn.de). Wir reagieren unverzüglich und suchen gemeinsam mit Ihnen eine Lösung.

---

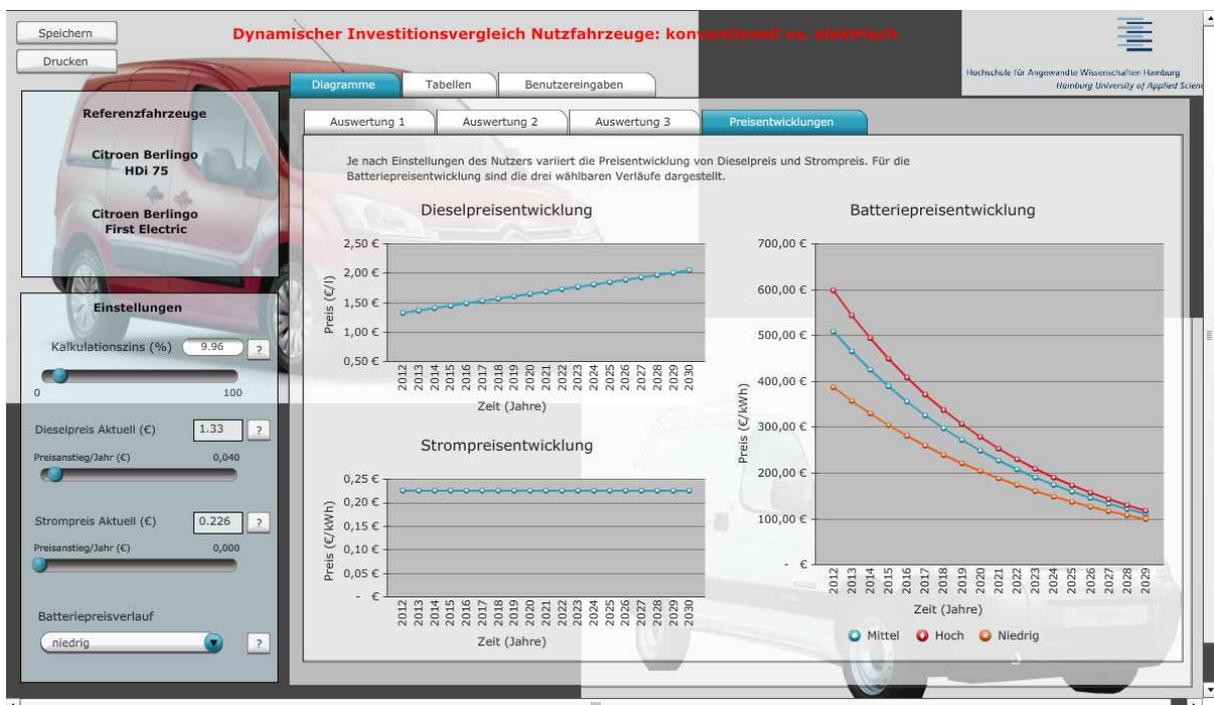
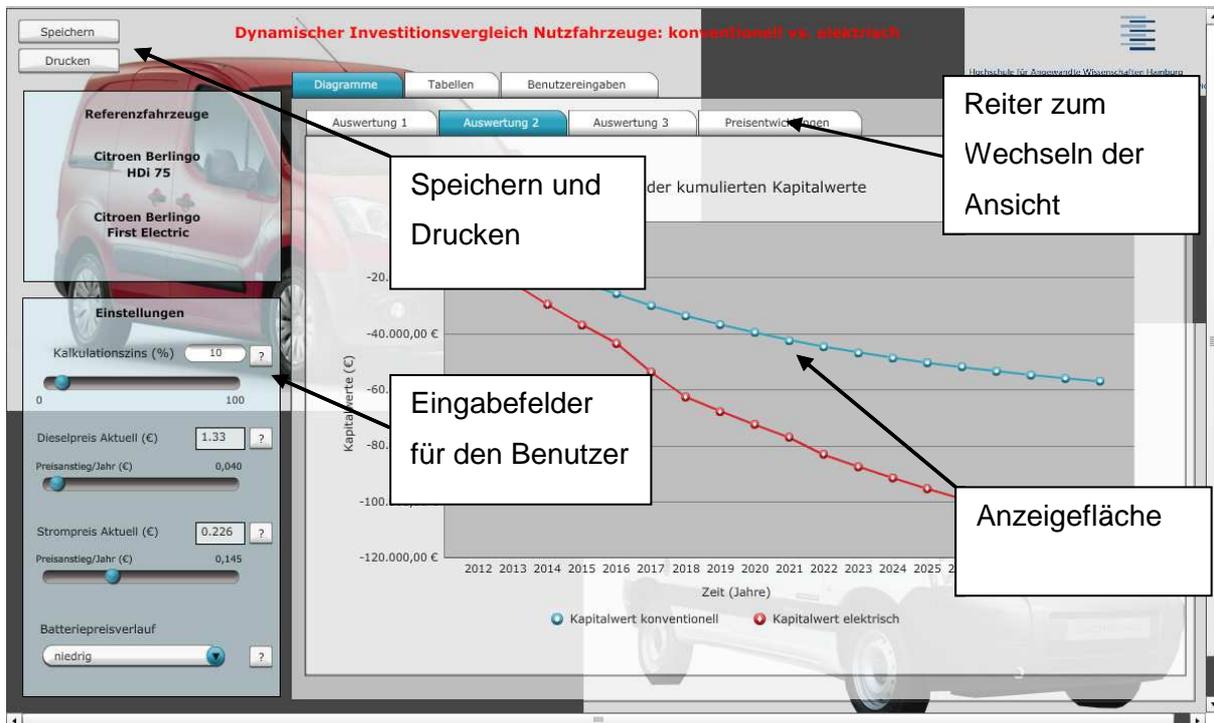
Aus Rechts- und Sicherheitsgründen ist die in dieser E-Mail gegebene Information nicht rechtsverbindlich. Eine rechtsverbindliche Bestätigung reichen wir Ihnen gerne auf Anforderung in schriftlicher Form nach. Beachten Sie bitte, dass jede Form der unautorisierten Nutzung, Veröffentlichung, Vervielfältigung oder Weitergabe des Inhalts dieser E-Mail nicht gestattet ist. Diese Nachricht ist ausschließlich fuer den bezeichneten Adressaten oder dessen Vertreter bestimmt. Sollten Sie nicht der vorgesehene Adressat dieser E-Mail oder dessen Vertreter sein, so bitten wir Sie, sich mit dem Absender der E-Mail in Verbindung zu setzen.

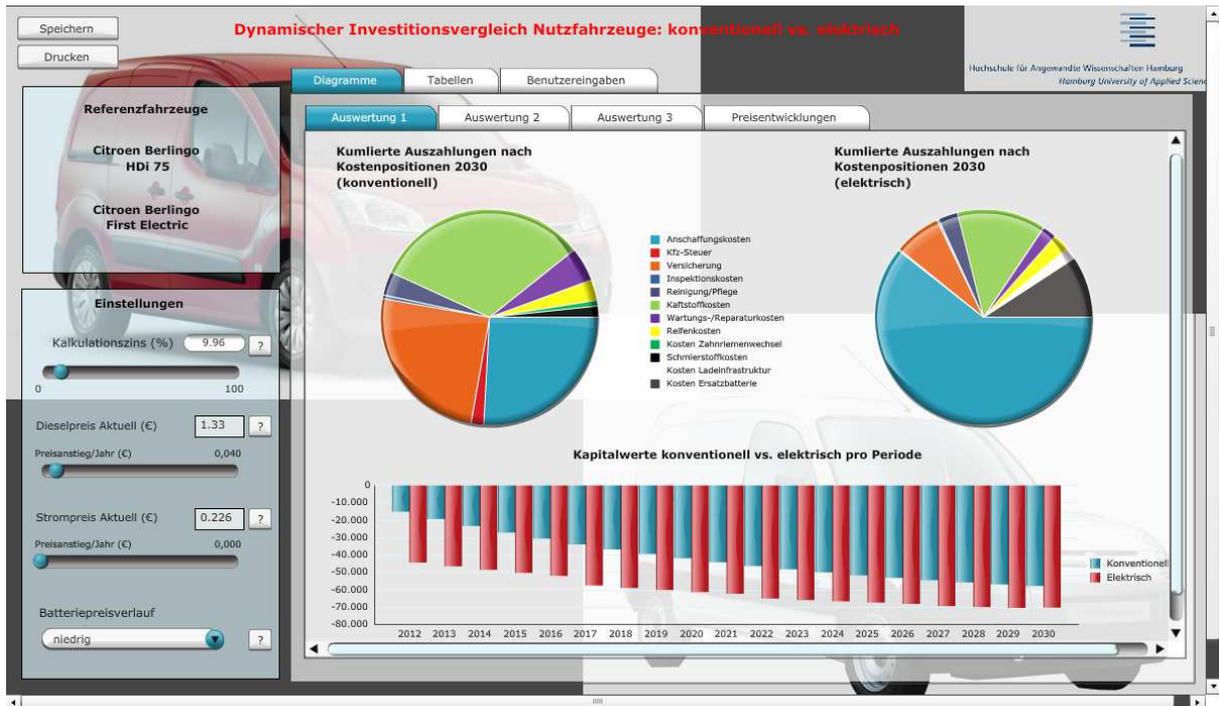
---

For legal and security reasons the information provided in this e-mail is not legally binding. Upon request we would be

<b>Neuwert (netto)</b>	<b>Mercedes Vito E-Cell</b>	<b>Citroen Berlingo First Electric</b>	<b>Citroen Berlingo 1.6 HDI</b>
	52.000,00 €	43.000,00 €	15.000,00 €
<b>KH</b>		<b>Bruttojahresbeitrag</b>	
<b>KH + TK 150,- € SB</b>	209,00 €	209,00 €	1.055,94 €
<b>KH + VK 300,- € SB inkl. TK 150,- € SB</b>	220,00 €	220,00 €	1.141,84 €
	605,00 €	605,00 €	1.764,43 €
<b>KH</b>	<b>TK</b>	<b>VK</b>	
Haftpfllicht	Teilkasko	Vollkasko	

Anh. 7: Darstellungen aus dem entworfenen Dashboard





**Dynamischer Investitionsvergleich Nutzfahrzeuge: konventionell vs. elektrisch**

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences

Speichern | Drucken

Diagramme | Tabellen | Benutzereingaben

Kapitalwertvergleich | **Kosten Konventionelles Fahrzeug** | Kosten Elektrisches Fahrzeug | Preisentwicklungen

**Referenzfahrzeuge**

Citroen Berlingo HDI 75  
Citroen Berlingo First Electric

**Einstellungen**

Kalkulationszins (%)  ?

Dieselpreis Aktuell (€)  ?  
Preisanstieg/Jahr (€)

Strompreis Aktuell (€)  ?  
Preisanstieg/Jahr (€)

Batteriepreisverlauf  ?

**Kostenpositionen des konventionelles Fahrzeug**

Jahr	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Anschaffungskosten	-14.986,50 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kfz-Steuer	- €	132,00 €	132,00 €	132,00 €	132,00 €	132,00 €	132,00 €
Versicherung	- €	1.764,00 €	1.764,00 €	1.764,00 €	1.764,00 €	1.764,00 €	1.764,00 €
Inspektionskosten	- €	- €	85,50 €	- €	85,50 €	- €	85,50 €
Reinigung/Pflege	- €	250,00 €	250,00 €	250,00 €	250,00 €	250,00 €	250,00 €
Kraftstoffkosten	- €	1.883,28 €	1.996,56 €	2.053,20 €	2.109,84 €	2.166,48 €	2.223,12 €
Wartungs-/Reparaturkosten	- €	360,00 €	360,00 €	360,00 €	360,00 €	360,00 €	360,00 €
Reifenkosten	- €	220,80 €	220,80 €	220,80 €	220,80 €	220,80 €	220,80 €
Kosten Zahnriemenwechsel	- €	- €	- €	- €	- €	329,00 €	- €
Schmierstoffkosten	- €	117,60 €	117,60 €	117,60 €	117,60 €	117,60 €	117,60 €
Kosten Ladeinfrastruktur	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Ersatzbatterie	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
<b>Auszahlungen</b>	<b>-14.986,50 €</b>	<b>-4.727,68 €</b>	<b>-4.926,46 €</b>	<b>-4.897,60 €</b>	<b>-5.039,74 €</b>	<b>-5.339,88 €</b>	<b>-5.153,02 €</b>



