

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>V</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>VII</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>XIII</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XV</b>
<b>Nomenklatur</b>	<b>XVII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise .....	4
<b>2 Methodische und technologische Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1 Methodische Grundlagen für die Bewertung komplexer Systeme im Busverkehr .....	7
2.1.1 Einführung in die Lebenszykluskostenbetrachtung.....	7
2.1.2 Einführung in die Prognose von Kostenentwicklungen.....	18
2.1.3 Einführung in die Modellierung von Standortentscheidungen zur Systemauslegung .....	31
2.2 Technologische Grundlagen urbaner elektrischer Bussysteme .....	40
2.2.1 Marktanalyse zu Stadtbussen und Marktchancen für Elektrobusse ..	41
2.2.2 Übersicht zu elektrischen Fahrzeugkonzepten im urbanen Busverkehr und derzeitige Entwicklungstrends .....	50
2.2.3 Eingrenzung der Buskonzepte für die Technologiebewertung.....	61
2.3 Ableitung des Forschungsbedarfs und der Zielsetzung für die vorliegende Arbeit .....	64
<b>3 Modellentwicklung zur technisch-wirtschaftlichen Bewertung     elektrischer Bussysteme</b>	<b>67</b>
3.1 Stand der Wissenschaft – Literaturüberblick.....	70
3.2 Anforderungen an das Modell .....	76
3.3 Modellaufbau und Grundannahmen der Modellierung.....	77
3.4 Energieverbrauchsrechnung und Generierung von Busrouten.....	81
3.5 Modellierung der Gesamtkosten.....	90
3.5.1 Investitionskosten Bus und Infrastruktur .....	93

3.5.1.1	Bus .....	94
3.5.1.2	Infrastruktur .....	98
3.5.1.3	Finanzierungskosten.....	103
3.5.2	Betriebskosten Bus und Infrastruktur.....	104
3.5.2.1	Energie- und Reagenkosten .....	105
3.5.2.2	Instandhaltungskosten .....	107
3.5.2.3	Personalkosten .....	111
3.5.2.4	Emissionskosten .....	113
3.5.2.5	Sonstige Kosten .....	115
3.5.3	Limitationen des Gesamtkostenmodells .....	115
3.6	Kostenprognosen der Modellparameter und der Umgang mit Unsicherheiten.....	116
3.6.1	Bestimmung der Kostendegressionen und Preisentwicklungen.....	119
3.6.2	Stochastische Eingangsparameter und Simulation.....	128
3.6.3	Limitationen bei Kostenprognosen und der Modellierung von Unsicherheiten.....	130
<b>4</b>	<b>Berechnung und Ergebnisanalyse zur Bewertung elektrischer Linienbusflotten</b>	<b>131</b>
4.1	Eingangsparameter und Berechnungsgrößen der Bewertung elektrischer Bussysteme.....	131
4.1.1	Makroökonomische Eingangsgrößen und unternehmensspezifische Randbedingungen zum Kapitaldienst .....	132
4.1.2	Linienprofil- und betriebsabhängige Eingangsgrößen.....	136
4.1.3	Technologieabhängige Parameterwerte und Berechnungsgrößen.....	139
4.2	Ergebnisse und Diskussion der Bewertung elektrischer Bussysteme.....	149
4.2.1	TCO-Ergebnisse der Linienbusflotten.....	149
4.2.2	Diskussion der Ergebnisse .....	165
<b>5</b>	<b>Zwischenfazit</b>	<b>169</b>
<b>6</b>	<b>Optimierung der Systemauslegung zur Elektrifizierung eines Linienbusnetzes</b>	<b>173</b>
6.1	Einordnung und Relevanz des Optimierungsmodells.....	173

6.2	Standortentscheidungen zur Ladeinfrastrukturauslegung – Literaturüberblick .....	175
6.3	Herausforderungen und Einflussfaktoren auf die Schnellladeinfrastruktur im Busverkehr .....	182
6.4	Modellentwicklung zur Systemauslegung .....	186
6.4.1	Modellbildung in der Optimierungsumgebung GAMS.....	187
6.4.2	Simulation des Energiebedarfs und Validierung des Verfahrens mit Messdaten.....	193
6.4.3	Eingangsdaten und Ausgabegrößen der Optimierung .....	202
6.4.4	Grundannahmen der Modellierung .....	203
6.5	Limitationen des Optimierungsmodells.....	206
7	<b>Technologiebewertung zur Elektrifizierung des Berliner Linienbusnetzes</b>	<b>207</b>
7.1	Eingrenzung des betrachteten Busnetzes und Annahmen für die Modellanwendungen.....	207
7.2	Technisch-wirtschaftliche Bewertung der Buslinien auf Basis des TCO- Modells .....	213
7.2.1	Eingangsgrößen des Anwendungsfalls .....	213
7.2.2	Ergebnisse der Linienelektrifizierung .....	214
7.3	Systemauslegung des Linienbusnetzes auf Basis des Optimierungsmodells ..	222
7.3.1	Eingangsgrößen der Optimierung.....	222
7.3.2	Ergebnisse der Systemauslegung .....	227
7.3.3	Validierung des Optimierungsmodells.....	234
8	<b>Fazit</b>	<b>239</b>
8.1	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	239
8.2	Kritische Würdigung und Ausblick.....	244
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>247</b>
	<b>Anhang</b>	<b>285</b>