

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XI
Symbolverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Gegenstand der Arbeit	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
2 Einflussfaktoren auf die Ladeinfrastrukturplanung in Deutschland	4
2.1 Die deutsche Energiewende als Treiber der Elektromobilität	4
2.2 Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität	5
2.3 Restriktionen der Ladeinfrastrukturplanung für Elektrofahrzeuge	9
2.3.1 Ökonomische Anforderungen und Rahmenbedingungen	9
2.3.2 Politisch-rechtliche Anforderungen und Rahmenbedingungen	12
2.3.2.1 Anforderungen der Gesetzgebung	12
2.3.2.2 Förderung von Elektromobilität und Ladeinfrastruktur	13
2.3.3 Verkehrstechnische und verkehrsverhaltensbezogene Anforderungen und Rahmenbedingungen	14
2.3.4 Energietechnische Anforderungen und Rahmenbedingungen	15
2.3.4.1 Laden von Elektrofahrzeugen	15
2.3.4.2 Ladetechniken von Elektrofahrzeugen	16
2.3.4.3 Determinanten und Belastungsgrenzen des elektrischen Versorgungs- netzes und der Betriebsmittel in Deutschland	18
2.4 Akzeptanzprobleme der Elektromobilität	22
2.4.1 Abgrenzung von öffentlicher, halböffentlicher und privater Lade- infrastruktur	22
2.4.2 Reichweite als Akzeptanzhindernis und der Ausbau von Ladeinfra- strukturen zur Steigerung der Akzeptanz von Elektrofahrzeugen	23
2.5 Zusammenfassung	25

3	Problemkennzeichnung	27
3.1	Darstellung des Problems und Definition der Forschungslücke	27
3.2	Anforderungen an die Modellentwicklung	28
4	Modelltheoretische Grundlagen der flussbasierten Ladeinfrastrukturplanung für Elektrofahrzeuge	31
4.1	Definition grundlegender Begriffe.....	31
4.2	Optimierungsmodelle für die Ladeinfrastrukturplanung	33
4.2.1	Entwicklungsverlauf der Modellansätze zur Ladeinfrastrukturplanung....	33
4.2.2	Das Flow-Capturing Location Model nach Hodgson	36
4.3	Das Flow-Refueling Location Model (FRLM) als Grundmodell der flussbasierten Ladeinfrastrukturplanung.....	39
4.3.1	Grundlegende Annahmen und Vorüberlegungen	39
4.3.2	Formalmathematische Modellformulierung des FRLM	43
4.4	Erweiterungen des FRLM für die flussbasierte Ladeinfrastruktur-planung ..	46
4.5	Wahl des FRLM als Ausgangsmodell für die Modellentwicklung	50
5	Entwicklung eines Entscheidungsmodells zur Ladeinfrastrukturplanung unter Beachtung der Restriktionen des elektrischen Versorgungsnetzes	52
5.1	Grundlegende Überlegungen und Anforderungen.....	52
5.2	Modellstufe I: Erweiterung des FRLM um Ausbaustufen im elektrischen Versorgungsnetz	53
5.2.1	Notation und Annahmen.....	53
5.2.2	Das Flow-Refueling Location Model with Capacity Constraints and Extension Stages (FRLM-CC-ES).....	60
5.2.3	Fallbeispiel zum FRLM-CC-ES.....	63
5.3	Modellstufe II: Erweiterung des FRLM-CC-ES um eine mehrperiodige Betrachtung und dynamische Nachfrage	69
5.3.1	Zusätzliche Notation und Annahmen	69
5.3.2	Das Multi-Period Flow-Refueling Location Model with Capacity Constraints and Expansion Stages (M-FRLM-CC-ES)	73
5.3.3	Fallbeispiel zum M-FRLM-CC-ES	74

6	Erweiterung des Entscheidungsmodells um eine Investitionsrechnung	83
6.1	Grundlegende Überlegungen und Anforderungen	83
6.2	Ökonomische Bewertung der Ladeinfrastruktur durch eine Investitionsrechnung	84
6.3	Modellstufe III : Integration der Investitionsrechnung in das Entscheidungsmodell	86
6.3.1	Zusätzliche Notation und Annahmen	86
6.3.2	Das Multi-Period Flow-Refueling Location Model with Capacity Constraints and Expansion Stages with an Investment Appraisal (M-FRLM- CC-ES-IA)	92
6.3.3	Fallbeispiel zum M-FRLM-CC-ES-IA	96
7	Validierung des Entscheidungsmodells im Rahmen einer Fallstudie	106
7.1	Grundlegende Annahmen und Vorbereitungen für den Aufbau der fiktiven Fallstudie	106
7.1.1	Stufenweiser Ausbau des elektrischen Versorgungsnetzes	106
7.1.1.1	Notwendigkeit des Betriebsmittelausbaus im elektrischen Versorgungsnetz beim Aufbau einer Ladeinfrastruktur	106
7.1.1.2	Additive Ausbaustufen im elektrischen Versorgungsnetz	108
7.1.1.2.1	Ausbaustufe I: Grundstufe der Betriebsmittel	108
7.1.1.2.2	Ausbaustufe II: Erster Ausbau des Betriebsmittels Transformator	108
7.1.1.2.3	Ausbaustufe III: Zweiter Ausbau des Betriebsmittels Transformator	108
7.1.2	Beispiel zu den additiven Ausbaustufen	109
7.1.3	Kapitalwertberechnung der Ladeinfrastruktur	113
7.1.3.1	Auszahlungen zur Beschaffung der Ladestation	113
7.1.3.1.1	Preis der Anlage	113
7.1.3.1.2	Anschaffungsnebenkosten	114
7.1.3.1.3	Erweiterungsinvestitionen	115
7.1.3.2	Auszahlungen für den Betrieb	115
7.1.3.3	Finanzierungsmöglichkeiten	116

7.1.3.4	Einzahlungen aus dem Betrieb der Ladeinfrastruktur	117
7.1.3.5	Liquidationserlös und Restwert im Zeitverlauf	117
7.1.3.5.1	Liquidationserlös von Ladeinfrastrukturen	117
7.1.3.5.2	Restwertentwicklung von Ladeinfrastrukturen.....	117
7.2	Parametrisierung der Fallstudie.....	119
7.3	Berechnung und Ergebnisdarstellung.....	126
7.3.1	Berechnung der Fallstudie.....	126
7.3.2	Ergebnisauswertung der Fallstudie	126
7.3.3	Ableitung von Handlungsempfehlungen	134
7.4	Fazit zur Fallstudie.....	135
8	Schlussbemerkungen	137
8.1	Zusammenfassung	137
8.2	Ausblick	138
9	Literaturverzeichnis	140