

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
1.1 Forschungsfragen	6
1.2 Struktur der Dissertation	8
2 Stand der Wissenschaft und Technik	11
2.1 Beobachtung und Messung von Niederspannungsnetzen	12
2.1.1 Künstliche neuronale Netze.....	14
2.1.2 Analyse von Methoden der SE und Beobachtung von Niederspannungsnetzen.....	21
2.2 Gesteuertes Laden von EFs.....	23
2.2.1 Zentrale, dezentrale und verteilte Systeme	26
2.2.2 Markow-Entscheidungsprozess und Reinforcement Learning....	27
2.2.3 Analyse von Methoden der Ladesteuerung von EFs	33
2.3 Zusammenfassung.....	37
3 Definition eines Netzmodells zum Training und Validierung der MLs	39
3.1 Allgemeiner Netzaufbau des Modells von Niederspannungsnetzen	41
3.2 Haushaltslasten.....	42
3.2.1 Generierung Validierungs- und Testprofile der HSHs.....	45
3.2.2 Generierung Trainingsprofile der HSHs.....	47
3.3 PV-Anlagen.....	50
3.4 EF-Ladung	51
3.4.1 Generierung Validierungs- und Testprofile der EF-Ladung	51
3.4.2 Generierung Trainingsprofile der EF-Ladung	56
3.4.3 RL-Modell der EF-Ladung	58
3.5 Zusammenfassung.....	59
4 Parametrierung und Definition verwendeter MLs.....	61
4.1 Generierung des Zustands mittels ANN	61
4.1.1 Optimale μ PMU Platzierung	63
4.1.2 Definition der ANN-Parameter.....	68
4.2 MA RL Steuerung zum optimierten Laden von EFs als DDQN	72
4.3 Zusammenfassung.....	78
5 Optimierte Steuerung von EFs als MDP mittels MLs	81

5.1	Modifiziertes Modell des CIGRE-Niederspannungsnetzes.....	81
5.2	ANN-SE des CIGRE-Niederspannungsnetzes.....	83
5.2.1	Optimale μ PMU Platzierung am CIGRE Niederspannungsnetz.....	84
5.2.2	Analyse der Methoden zur Generierung pseudo-historischer Daten.....	85
5.2.3	Analyse ANN SE bei unterschiedlichen Anteilen an EFs.....	94
5.3	Lösung des MDP mittels MA RL.....	112
5.3.1	Steuerung der Ladeleistung der EFs in Szenario 2	117
5.3.2	Steuerung der Ladeleistung der EFs in Szenario 3	121
5.4	Zusammenfassung.....	124
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	127
6.1	Beantwortung der Forschungsfragen	127
6.2	Ausblick.....	131
7	Literaturverzeichnis	133
A.	Anhang	145
A.1	Verwendete statistische Daten zur Generierung EF-Verläufe	145
A.2	Spitzenlasten Haushalte und PV-Anlagen Beispielnetz	147
A.3	Hyperparameter aller ANNs	148
A.4	Fehler ANN als Heatmap	152
B.	Abkürzungsverzeichnis	177
C.	Formelverzeichnis	179
D.	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	185