

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	x
Abkürzungen und Nomenklatur	xi
1. Einleitung	1
1.1. Thematischer Hintergrund und Motivation der Arbeit	2
1.2. Wissenschaftliche Fragestellung und fachlicher Beitrag	4
1.3. Methodik und Aufbau der Arbeit	4
2. Verkehrswirtschaft	9
2.1. Individualverkehr	9
2.1.1. Konventioneller Personenkraftverkehr	10
2.1.2. Elektromobiler Personenkraftverkehr	12
2.2. Öffentlicher Personenverkehr	16
2.2.1. Eisenbahn	18
2.2.2. Stadtbahn	25
2.2.3. Bus	28
2.3. Güterverkehr	32
3. Energiewirtschaft	35
3.1. Erzeugung	35
3.1.1. Konventionelle Energiegewinnung	35
3.1.2. Erneuerbare Energiegewinnung	44
3.2. Übertragung	49
3.2.1. Wechselstromübertragungssysteme	50
3.2.2. Gleichstromübertragungssysteme	53
3.3. Verbrauch	54
3.3.1. Stationäre Energieverbraucher	54
3.3.2. Mobile Energieverbraucher	56
3.4. Speicherung	58
3.4.1. Kurzzeitspeicher	60
3.4.2. Langzeitspeicher	63
3.4.3. Saisonspeicher	66
3.5. Regelung	69
3.5.1. Kraftwerkeinsatzplanung	70
3.5.2. Maßnahmen der Netzregelung	72

4. Transformation von Versorgungsnetzen	75
4.1. Energie- und Verkehrswende	75
4.1.1. Anfänge und Motivation	77
4.1.2. Umsetzung und Herausforderungen	79
4.2. Digitalisierung	80
4.2.1. Internet of Things – IoT	81
4.2.2. Smart – Infrastructure, Energy, Grid	82
4.2.3. Smart – Transport, Mobility, Cars	83
4.3. Aktuelle Forschungsprojekte und Lösungsansätze	85
4.3.1. Energieversorgung	85
4.3.2. Mobilitätsversorgung	87
4.4. Verknüpfung von Energie- und Verkehrsmanagement	89
5. Fahrdynamische Untersuchung eines Batterie-Oberleitungsbusses	95
5.1. Fahrzeug- und Infrastrukturaufbau	95
5.1.1. Solaris Trollino 18,75	95
5.1.2. Solinger Oberleitungsnetz	99
5.2. Energiebedarfskomponenten	101
5.2.1. Fahrwiderstandskräfte und Antriebsleistung	102
5.2.2. Nebenaggregate und Komfortverbraucher	106
5.3. CAN-Bus Datenlogging	108
5.3.1. Einführung in das Controller Area Network	108
5.3.2. Datenerfassung im Fahrzeug	113
5.3.3. Datenaufbereitung	120
5.3.4. Auswertung und Interpretation	125
5.4. Streckendaten	133
5.4.1. Linienverlauf und Haltestellendichte	133
5.4.2. Streckenspezifische Höhenprofile	136
5.5. Fahrgastzahlen und Fahrzeugmasse	138
5.5.1. Fahrzeugmasseermittlung mittels Luftdrucksensoren	138
5.5.2. Fahrgastzählung und ToF-Scanning	141
5.6. Weitere Einflussfaktoren	143
5.6.1. Fahrverhalten	143
5.6.2. Wetter, Witterung und Klima	145
5.6.3. Unvorhersehbarkeiten	147
6. Entwicklung und Modifikation der Prädiktionsalgorithmik	149
6.1. Grundlagen des maschinellen Lernens	150
6.1.1. Ursprung und Intention	150
6.1.2. Vorstellung gängiger Ansätze	151
6.1.3. Anwendungsbeispiele und Selektion	154
6.2. Vorstellung ausgewählter Modelle	155
6.2.1. Regressionsanalyse	156
6.2.2. Neuronale Netze	159
6.3. Gegenüberstellung und Implementierung	162
6.3.1. Adaption auf die Energiebedarfsprognose	162
6.3.2. Vergleichsanalyse zur Methodenevaluation	164

7. Modellierung und Simulation zur Auslastungsoptimierung	169
7.1. Modellaufbau und Programmablauf	169
7.1.1. Aufbau des Simulationsdatensatzes	169
7.1.2. Integration der Prädiktionsalgorithmik	174
7.2. Power Demand Management	178
7.2.1. Entscheidungsgrundlage	178
7.2.2. Verteilungsalgorithmus	186
7.3. Auswertung der Simulationsergebnisse	189
7.3.1. Isolierte Fahrzeugbetrachtung	189
7.3.2. Netzweite Auswirkungen	193
7.3.3. Interpretation und Einordnung	196
7.4. Qualitative Sensitivitätsbetrachtung	197
7.4.1. Genauigkeit der Prognosealgorithmik	197
7.4.2. Umlaufplanmanagement und Beförderungsaufkommen	199
7.4.3. Weitere Faktoren	201
7.5. Modelltransfer	201
7.5.1. Integration anderer Netzpläne und Streckendaten	202
7.5.2. Systemtraining für weitere Fahrzeuge	203
7.5.3. Anpassung weiterer Randbedingungen	204
8. Potentialanalyse und weitere Anwendungsgebiete	207
8.1. Betriebseffizienzsteigerung in infrastrukturgebundenen Verkehrssystemen	207
8.1.1. Leistungspreisoptimierung	207
8.1.2. Ausfallprävention und Regenergie	214
8.1.3. Taktverdichtung	216
8.2. Infrastrukturausbau- und Elektrifizierungsplanung	218
8.2.1. Anpassung der Algorithmik	218
8.2.2. Anwendungsszenarien	220
8.3. Übertragbarkeit auf andere Verkehrssysteme	221
8.3.1. Schienenpersonen- und -güterverkehr	221
8.3.2. Oberleitungslastkraftwagen	222
9. Schlussbetrachtung	227
9.1. Zusammenfassung	227
9.2. Fazit	229
9.3. Ausblick	230
Literaturverzeichnis	xx
A. Publikationen	lxii
A.1. Eigene Veröffentlichungen	lxii
A.2. Mitwirken an weiteren Veröffentlichungen	lxiii
B. Betreute Abschlussarbeiten	lxiv
B.1. Masterarbeiten	lxiv
B.2. Bachelorarbeiten	lxv
C. Bildmaterial der Beladungsfahrten	lxvi