

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1. Motivation .....	1
1.2. Problemstellung.....	2
1.3. Zielsetzung der Arbeit.....	2
1.4. Übersicht Methodik .....	3
1.5. Struktur der Arbeit .....	4
1.6. Bisherige Arbeiten .....	4
1.7. Herausforderungen.....	6
2. Grundlagen .....	7
2.1. Einleitung.....	7
2.2. Netzbetriebsführung.....	7
2.3. Leitwarten für den Betrieb von Stromnetzen.....	8
2.3.1. Prozessführung und Prozessleitsysteme .....	8
2.3.2. Netzeleittechnik .....	8
2.3.3. Netzeleitstellen .....	10
2.3.4. Digitale Lösungen für die Integration erneuerbarer Energien .....	13
2.4. Verteilte Softwaresysteme und Datenintegration .....	14
2.4.1. Verteilte Systeme .....	14
2.4.2. SOA: Konzept für Heterogenität.....	14
2.4.3. Datenintegration .....	16
2.5. Systemarchitektur, Kommunikationsstandards und Datenmodelle im Energiesektor .....	20
2.5.1. Smart Grid Architecture Model .....	20
2.5.2. Kommunikationsprotokoll IEC 60870-5-104/IEC 60870-5-101 .....	21
2.5.3. Kommunikationsprotokoll IEC 61850 .....	22
2.5.4. TASE.2/ICCP .....	25
2.5.5. Datenmodell CIM - Common Information Model .....	27
2.5.6. Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den Kommunikationsprotokollen.....	29
2.5.7. Verwendung der Kommunikationsstandards innerhalb der Leitwarte....	30
3. Methodik.....	33
3.1. Generelle Beschreibung .....	33
3.2. Ermittlung eines geeigneten Datenmodells .....	36
3.3. Architektur und Aufbau .....	37

3.4. Vereinheitlichung des Zugriffs über verschiedene Programmiersprachen .....	39
3.4.1. Einleitung .....	39
3.4.2. Homogene Schnittstelle .....	39
3.4.3. Softwaretechnische Methodik zur Umsetzung der Architektur .....	40
3.4.4. Methodik zur Umsetzung des Proxys in Java .....	41
3.4.5. Methodik zur Umsetzung des Proxys in C-Sharp und .NET .....	45
3.4.6. Methodik zur Umsetzung des Proxys in Python .....	46
3.4.7. Unterschiede und Gemeinsamkeiten der softwaretechnischen Methodik zur Umsetzung des Proxys .....	48
3.4.8. Methodik für die Bereitstellung von Energiedaten als CIM .....	49
3.5. Differenzialanalyse und Persistierung von CIM Daten in periodisch bereitgestellten RDF Dateien.....	51
3.5.1. Einleitung .....	51
3.5.2. Erfassung der CIM-Dateien .....	51
3.5.3. Energiedatenaustausch im CIM-Modell mit anderen Services.....	55
3.5.4. Softwaretechnische Methodik zur Umsetzung der Differenzialanalyse und Persistierung von periodischen bereitgestellten CIM-Dateien .....	56
3.6. Transformation von Daten über Protokolle der Netzleit- und Fernwirktechnik nach CIM .....	58
3.6.1. Einleitung .....	58
3.6.2. Methodik für die Transformation der Daten über Protokolle der Netzleit- und Fernwirktechnik nach CIM .....	58
3.6.3. Softwaretechnische Methodik zur Transformation von Daten über Protokolle der Netzleit- und Fernwirktechnik nach CIM .....	61
3.7. Transformierung und Bezug von Daten aus Quellen, die keine Protokolle der Netzleit- und Fernwirktechnik verwenden.....	63
3.7.1. Einleitung .....	63
3.7.2. Synchronisation über Datenintegrationstools.....	64
3.7.3. Generalisierte Transformation von beliebigen Datenquellen nach CIM ..	64
3.7.4. Kommunikation mit den anderen Services .....	64
3.7.5. Softwaretechnische Methodik zur Transformation von Daten aus Quellen, die keine Protokolle der Netzleit- Fernwirktechnik verwenden .....	65
3.8. Zusammenfassung der Methoden .....	67
<b>4. Umsetzung: Bestimmung Leistungspotenziale.....</b>	<b>69</b>
4.1. Einleitung .....	69
4.2. Anwendungsfall Bestimmung von Leistungspotenzialen .....	69
4.3. Umsetzung des Anwendungsfalls .....	69
4.3.1. Erfassung von Kraftwerkeinsatzplänen durch die Datenintegrationsmethode .....	70
4.3.2. Konvertierung von Datenmodellen zur Netzberechnung .....	75

4.3.3. Berechnung von Wirk- und Blindleistungspotenzialen für aktuelle und zukünftige Netzzustände.....	76
4.3.4. Visualisierung von Energiedaten im CIM-Modell.....	78
4.3.5. Softwaretechnische Methodik zur Visualisierung von CIM-Daten .....	79
4.3.6. Grafische Oberfläche zur Visualisierung von CIM-Daten.....	80
<b>5. Evaluation der Methoden bzgl. Performance, Datenvolumen und Handhabung .....</b>	<b>83</b>
5.1. Aspekte der Auswertung.....	83
5.2. Auswertung zur Differenzialanalyse und Persistierung von CIM-Daten aus periodischen bereitgestellten RDF-Dateien .....	85
5.2.1. Auswertung des Datenvolumens .....	85
5.2.2. Auswertung der Schnittstellen.....	86
5.2.3. Analyse der Performance für die Erfassung und Konvertierung von CIM-Dateien .....	88
5.3. Auswertung zur Transformation von Daten über Protokolle der Netzleit- und Fernwirktechnik nach CIM.....	94
5.4. Analyse für die Transformation von weiteren Datenquellen.....	100
5.4.1. Transformation von weiteren Datenquellen mit der Hilfe von Datenintegrationstools .....	100
5.4.2. Bewertung für die Methodik mit Hilfe von Datenintegrationstools .....	101
5.4.3. Transformation von weiteren Datenquellen mit manueller Implementierung .....	101
5.4.4. Verarbeitung der CIM-Daten von anderen Services .....	102
5.5. Bewertung zur Methodik für die Visualisierung von CIM-Daten.....	103
5.6. Vergleich mit monolithischer Lösung .....	103
5.7. Überblick der eigenen Weiterentwicklungen und Vergleich mit anderen Lösungen .....	106
5.7.1. OpenKonsequenz .....	107
5.7.2. ESOSEG.....	108
5.7.3. GridApps .....	109
5.8. Zusammenfassung .....	111
<b>6. Zusammenfassung .....</b>	<b>115</b>
<b>7. Anhang .....</b>	<b>119</b>
7.1. Deutsches Stromnetz .....	119
7.2. Kommunikation .....	120
7.3. Datenmodellierung .....	125
7.3.1. Klassen und Objekte .....	125
7.3.2. Beziehungen zwischen Klassen.....	126

8. Veröffentlichungen und Betreuung studentischer Arbeiten .....	129
9. Abbildungsverzeichnis .....	133
10. Tabellenverzeichnis .....	137
11. Literaturverzeichnis .....	139