

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	III
Kurzfassung	V
Abstract	VI
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation	1
1.2 Begriffsdefinitionen	5
1.3 Einordnung und Ziele dieser Arbeit	7
1.4 Forschungsfragen	10
1.5 Gliederung	11
2 Schutz-, Leit- und Automatisierungssysteme für Smart Grids.....	13
2.1 Kategorisierung	14
2.2 Anforderungen	18
2.3 Stand von Forschung und Technik	21
2.4 Zusammenfassung.....	28
3 Engineering und Projektierung elektrischer Energieanlagen	29
3.1 Bisherige Engineering- und Projektierungsprozesse	31
3.1.1 Anwendungsbeispiel Transportnetzbetreiber	32
3.1.2 Anwendungsbeispiel Verteilnetzbetreiber	37
3.1.3 Zusammenfassung.....	39
3.2 Die Normenreihe IEC 61850.....	40
3.3 Datenmodelle nach IEC 61850-6.....	43
3.3.1 System Configuration description Language.....	43
3.3.2 Sprachelemente.....	44
3.4 Der Engineeringprozess nach IEC 61850-6.....	49
3.4.1 Verfügbare Engineeringwerkzeuge	59
3.5 Zusammenfassung.....	62
4 Realisierung einer Smart-Grid-Automatisierungsarchitektur	63
4.1 Systemplattform	64
4.2 Softwareframework	68

4.3	Funktionen.....	70
4.3.1	Schutzfunktionen.....	71
4.3.2	Spannungsregelung	76
4.3.3	Netzzustandsschätzung	77
4.3.4	Weitere Funktionen und Algorithmen	82
4.4	Kommunikation und Datenhaltung.....	83
4.4.1	UDP	83
4.4.2	IEC 61850-8-1 (MMS, GOOSE)	86
4.4.3	TCP	87
4.4.4	Modbus	88
4.4.5	SQLite	89
4.5	Systemkonfiguration	90
4.5.1	Genutzte SCL-Sprachelemente	90
4.5.2	Automatische Gerätekonfiguration.....	105
4.5.3	Programmablaufsteuerung	112
4.6	Zusammenfassung.....	116
5	Verifikation der Smart-Grid-Automatisierungsarchitektur.....	117
5.1	Schutzfunktionen.....	117
5.1.1	Eigenschaften des implementierten Distanzschutzes.....	117
5.1.2	Prüfablauf	119
5.1.3	Ergebnisse der Distanzschutzprüfung	120
5.2	Netzzustandsschätzung	125
5.2.1	Netzmodellaufbereitung und Erstellung einer Prüfumgebung.....	126
5.2.2	Verifikation des Algorithmus der Netzzustandsschätzung	132
5.2.3	Darstellung der Gesamtsystemstruktur	133
5.2.4	Engineering und Konfiguration des Gesamtsystems	135
5.2.5	Vorprüfung der Komponenten im Labor	144
5.2.6	Einbringung der Komponenten in das Feld	145
5.2.7	Durchführung und Ergebnisse des Feldtests	146
5.3	Zusammenfassung.....	153

6	Zusammenfassung und Ausblick	155
6.1	Zusammenfassung.....	155
6.2	Bewertung	157
6.3	Ausblick.....	159
	Abkürzungsverzeichnis.....	163
	Formelverzeichnis	169
	Literaturverzeichnis	171
	Wissenschaftlicher Tätigkeitsnachweis	183
Anhang A	Strukturierung der Namensräume	189
Anhang B	Protokolldetails der TCP-Kommunikation	191
Anhang C	Modellierung der Modbus-Kommunikation	193
Anhang D	Konfiguration der binären Ein- und Ausgänge	195