

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	IX
Tabellenverzeichnis	XI
Codeverzeichnis	XIII
Abkürzungen.....	XV
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung.....	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
2 Grundlagen	3
2.1 Echtzeitdatenübertragung und Industrial Ethernet.....	3
2.1.1 Klassifizierung von Echtzeitkommunikationssystemen	3
2.1.2 Industrial Ethernet.....	4
2.1.3 Zeitschlitzverfahren.....	9
2.1.4 Analyse der Übertragungslatenz	10
2.1.5 Anforderungsparameter	14
2.2 Software Defined Networking (SDN).....	15
2.2.1 OpenFlow	18
2.2.2 POX-Controller	23
2.3 Dijkstra-Algorithmus	25
2.4 Java Script Object Notation (JSON)	27
3 Konzept	29
3.1 Übersicht	29
3.2 Topologie- und Hosterkennung.....	31
3.2.1 Erkennung von Switch-Switch-Verbindungen	31
3.2.2 Erkennung angeschlossener Endgeräte	32
3.3 Erkennung von Kommunikationsmuster und -anforderungen.....	34
3.3.1 Flow-Definition und Anforderungsprofil.....	34
3.3.2 Statischer Modus.....	35
3.3.3 Nichtstatischer Modus	36
3.3.4 Anforderungsparameter und Übertragungslatenz	38

3.4	Routenfindung und Scheduling.....	43
3.4.1	Einfacher Algorithmus.....	45
3.4.2	Optimierungen zur Effizienzverbesserung und Jitterreduzierung	50
3.4.3	Algorithmus mit Optimierungen	54
3.4.4	Übermittlung des Sendezeitplans an die Endgeräte.....	57
3.5	Synchronisierung und Queue	58
3.5.1	Synchronisierung und zeitliche Auflösung.....	58
3.5.2	Queue	64
4	Implementierung	65
4.1	Verwendete Hardware und Software.....	65
4.2	Topologie- und Hosterkennung.....	66
4.3	Erkennung von Kommunikationsmuster und -anforderungen	68
4.4	Routenfindung und Scheduling.....	69
4.5	Synchronisierung und Queue	69
4.5.1	Synchronisierung und zeitliche Auflösung.....	69
4.5.2	Queue	71
5	Inbetriebnahme und Messungen	73
5.1	Aufnahme von Systemeigenschaften.....	73
5.1.1	Bestimmung von $t_{\text{MinSoftware}}$ und $t_{\text{MaxSoftware}}$	74
5.1.2	Bestimmung von $t_{\text{MinSwitch}}$ und $t_{\text{MaxSwitch}}$	77
5.1.3	Bewertung der bestimmten Systemeigenschaften	82
5.2	Überprüfung des Synchronisierungsmechanismus	83
5.3	Verifikation der Einhaltung von Echtzeitanforderungen	84
5.3.1	Single-Switch-Topologie mit HP 2920.....	84
5.3.2	Ringtopologie mit TP-Link WR1043ND	89
5.4	Vergleich von einfachem und erweitertem Algorithmus.....	92
5.5	Demonstration des zur Verfügung stehenden Potentials	94
6	Diskussion und Ausblick.....	99
6.1	Herausforderungen und Nachteile des Konzepts.....	99
6.2	Vorteile des Konzepts	101
6.3	Ausblick	103

7	Verwandte Arbeiten	107
7.1	Achieving end-to-end real-time Quality of Service with Software Defined Networking [35]	107
7.2	Enhancing the Quality Level Support for Real-time Multimedia Applications in Software-Defined Networks [36]	109
8	Zusammenfassung	113
	Literaturverzeichnis	117
	Anhang A: Link-Belegungsplan zu Kapitel 5.5	121