

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Pervasive Kommunikation	3
1.2 Kommunikation für Intelligente Verkehrssysteme	4
1.2.1 Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation	5
1.2.2 Fahrzeug-zu-Infrastruktur Kommunikation	6
1.3 Drahtlose Kommunikation	6
1.3.1 Die WLAN-Standardfamilie	9
1.3.1.1 IEEE 802.11	10
1.3.1.2 Erweiterungen der Bitübertragungsschicht	12
1.3.1.3 Extended Service Set und Zellenwechsel	13
1.3.1.4 Sicherheit in WLAN-Netzwerken	16
1.3.2 Drahtlose Kommunikation für ITS-Dienste	17
1.3.2.1 IEEE 802.11p und IEEE 1609.4	17
1.3.2.2 IEEE 1609.3	18
1.3.2.3 Weitere Standards	20
1.3.3 WiMAX	20
1.3.4 Mobilfunkstandards für Breitbandkommunikation	21
1.3.4.1 UMTS	22
1.3.4.2 LTE	24
1.3.4.3 Infrastrukturtechnologien	24
1.4 Motivation	25
1.5 Zielsetzung der Arbeit	29
1.5.1 Anforderungen	30
1.5.2 Themenschwerpunkte	33

1.5.3	Thematische Abgrenzung	34
1.6	Aufbau der Arbeit	35
2	Stand der Forschung und Klassifikationsschemata	41
2.1	Backbone- und Zugriffsnetworks	43
2.1.1	Modellierung von Netzwerken	43
2.1.2	Topologien von Backbone-Netzwerken	51
2.1.3	Bewertung ausgewählter Eigenschaften von Backbone-Netzwerken	54
2.1.4	Datensicherheit und -integrität	60
2.1.5	Selbstorganisation und -konfiguration	62
2.2	Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs)	64
2.3	Roadside-Backbone-Netzwerke (RBNs)	66
2.3.1	Topologien in anderen Arbeiten	68
2.3.2	Technologien in anderen Arbeiten	72
2.3.3	Mobilitätsmanagement in anderen Arbeiten	73
2.3.3.1	Verfahren auf Schicht 2	74
2.3.3.2	Verfahren auf Schicht 3	75
2.3.4	Lastbalancierung in anderen Arbeiten	77
2.3.4.1	Ortsbasierte Verfahren	78
2.3.4.2	Zeitbasierte Verfahren	79
2.4	Zusammenfassung	82
3	Strukturentwurf von Roadside-Backbone-Netzwerken	85
3.1	Rahmenbedingungen für RBNs	86
3.1.1	Geographische Abdeckung und Bandbreite	87
3.1.2	Kosten	94
3.1.3	Übertragungszeiten und Länge des Kommunikationspfades	99
3.1.4	Robustheit	103
3.1.5	Skalierbarkeit	113
3.1.6	Zusammenfassung	117

3.2	Logische Netzwerknoten	118
3.3	Logische Verbindungen	125
3.4	Technologien	127
3.4.1	Urbane Regionen	128
3.4.2	Ländliche Regionen	130
3.4.3	Zusammenfassung und Leistungsdaten	131
3.5	Ausstattung von Verkehrswegen	131
3.5.1	Eigenschaften der Verkehrswege	134
3.5.2	Allokation von AHs und ANs	134
3.5.3	Cluster-Dimensionierung	138
3.6	Detailmodellierung	138
3.6.1	Leistungseigenschaften	139
3.6.2	Fahrzeugbewegung	142
3.7	Zusammenfassung	154
4	Funktionsprinzipien von Roadside-Backbone-Netzwerken	157
4.1	Anforderungen der Dienste	158
4.2	Modellanalyse	161
4.2.1	Bandbreiten	161
4.2.2	Routing	164
4.2.3	Schlussfolgerungen	165
4.3	Selbstorganisation und -konfiguration	166
4.4	Datensicherheit und -integrität	176
4.5	Hierarchisches und von der Position abstrahierendes Routing .	178
4.5.1	Klassen von Datenpaketen	178
4.5.1.1	Richtung der Kommunikation	178
4.5.1.2	Kommunikationsprotokolle	179
4.5.1.3	Zweck der Kommunikation	179
4.5.2	Routing von Kontrolldaten	181
4.5.3	Routing von Nutzdaten	182
4.5.3.1	Integration von WSMP	183

4.5.3.2	Entkopplung von RBN und Endknotennetzwerk	184
4.5.3.3	Routing und Lastbalancierung innerhalb des RBNs	191
4.5.3.4	Effektivität und Effizienz	192
4.6	Unterstützung von Kommunikationsparadigmen für ITS	193
4.6.1	Geographischer Bezug	193
4.6.2	Temporärer Bezug	195
4.6.3	Semantischer Bezug	196
4.7	Mobilitätsmanagement	198
4.7.1	Positionsbestimmung	201
4.7.2	Prognose zukünftiger Positionen	202
4.7.3	Abonnentenverwaltung	203
4.8	Zusammenfassung	204
5	Mobilitätsbezogene Datenweiterleitung im Voraus	205
5.1	MAFIA und PARP im Vergleich	206
5.2	Bandwidth Wall und grundlegende Funktionsweise	208
5.3	Formales Modell	210
5.3.1	Bandbreitenmodell	210
5.3.2	Routing für Nutzdatenpakete	211
5.3.3	Nutzdatenpakete als Datenfluss und Datenflussblock	213
5.3.4	Servicekurven	214
5.3.5	Planungszeit	219
5.3.6	Prognose der Position und Vorhersagefehler	221
5.4	Planungsalgorithmus	223
5.5	Komponenten	227
5.5.1	MAFIA-Sender	227
5.5.2	MAFIA-Empfänger	231
5.6	Effektivität in Abhängigkeit der Datenflusseigenschaften	233
5.7	Zusammenfassung	234

6 Referenzimplementierung	235
6.1 Das RBN als verteiltes System	236
6.1.1 Identifikation der Subsysteme logischer Netzwerknoten	237
6.1.2 Software	240
6.1.3 Kommunikation zwischen Subsystemen	243
6.1.4 Kommunikation zwischen logischen Netzwerknoten	244
6.1.5 Hardware	245
6.2 OPAL-VCN als Beispiel	249
6.2.1 Hardware-Plattform mit hoher Leistung	250
6.2.2 Hardware-Plattform mit geringer Leistung	251
6.2.3 Logische und physische Netzwerknoten	252
6.2.4 Technologien	254
6.2.5 Technische Besonderheiten	255
6.3 Zusammenfassung	256
7 Evaluation	257
7.1 Routing	257
7.2 MAFIA	260
7.2.1 Systemmodell	261
7.2.1.1 Vereinfachtes RBN-Modell	261
7.2.1.2 Verbindungs freigabe mit MAFIA	263
7.2.1.3 Verbindungs freigabe ohne MAFIA	263
7.2.1.4 Verkehrsmodell	265
7.2.1.5 Datenflüsse	267
7.2.1.6 Mobilitätsmanagement	267
7.2.1.7 Untersuchungsgegenstand	268
7.2.2 Umsetzung des Simulationswerkzeugs	268
7.2.3 Simulationsszenarien und Ergebnisse	270
7.2.3.1 Szenario 1	272
7.2.3.2 Szenario 2	275
7.2.3.3 Szenario 3	277

Inhaltsverzeichnis

7.2.3.4 Szenario 4	278
7.3 Zusammenfassung	281
8 Zusammenfassung und Ausblick	283
8.1 Ergebnisse	284
8.2 Weiterführende Forschungsaufgaben	290
Literaturverzeichnis	293