

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Motivation vorausschauender Schutzsysteme für verletzliche Verkehrsteilnehmer	3
1.2 Problemstellung und Ziele der Arbeit	6
1.3 Gliederung der Arbeit	7
2 Unfallanalyse	9
2.1 Tageszeit	10
2.2 Niederschlag	11
2.3 Ortslage	12
2.4 Geschwindigkeit des PKWs	12
2.5 Unfalltyp	14
2.6 Fazit: Anforderungen an den Sensor eines vorausschauenden Schutzsystems für verletzliche Verkehrsteilnehmer	17
3 Stand der Technik	21
3.1 Maßnahmen der Post-Crash-Phase	22
3.2 Maßnahmen der In-Crash-Phase	22
3.2.1 Passive Strukturmaßnahmen	23
3.2.2 Crash-aktive Strukturmaßnahmen	24
3.3 Maßnahmen der Pre-Crash-Phase	25
3.3.1 Maßnahmen während der Unvermeidbarkeit	25
3.3.2 Maßnahmen während der Unfallgefahr	25
3.3.3 Maßnahmen während des normalen Fahrzustandes	26
3.3.4 Aktionskonzepte für die Pre-Crash-Phase	26
3.4 Umfeldsensorik für die Pre-Crash-Phase	27
3.4.1 Kamerasensoren	29
3.4.2 Radarsensoren	32

3.4.3	Lasersensoren	33
3.4.4	Infrarotsensoren	34
3.4.5	Photonic Mixer Device Sensor	35
3.5	Funkbasierte Sensorik für die Pre-Crash-Phase	36
3.5.1	Funkmessung	38
3.5.2	Funkkommunikation	47
3.6	Fazit: Sensorvergleich und Vorteile kooperativer Sensorik	55
4	Analyse der Sensoren und Funkschnittstellen von Smartphones und Eignung von Smartphones für ein funkbasierter	
	VRU-Schutzsystem	59
4.1	Sensoren	59
4.1.1	Kompass	60
4.1.2	Drehratensensor	61
4.1.3	Beschleunigungssensor	65
4.1.4	Global Positioning System Sensor	68
4.1.5	Näherungssensor	68
4.1.6	Helligkeitssensor	69
4.1.7	Fazit: Geeignete Sensoren für den funkbasierten Fußgängerschutz	69
4.2	Funkschnittstellen	70
4.2.1	Bluetooth	70
4.2.2	Zellulare Netze	72
4.2.3	Wireless Local Area Network	78
4.2.4	Near Field Communication	82
4.2.5	Fazit: Geeignete Funkschnittstellen für den funkbasierten Fußgängerschutz	82
4.3	Untersuchung der Sensor- und Schnittstelleneigenschaften	83
4.3.1	Erreichbare Sensorgenauigkeiten	84
4.3.2	Erreichbare Positionierungsgenauigkeiten	87
4.3.3	Erreichbare Kommunikationsreichweiten	92
4.4	Smartphone-Verbreitung	96
4.5	Fazit: Eignung von Smartphones für den funkbasierten Fußgängerschutz und Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes	98

5 Analyse des Bewegungsverhaltens von Fußgängern und Radfahrern mittels Smartphone-Sensorik	103
5.1 Grundlagen der Aktivitätserkennung	103
5.1.1 Maschinenlernverfahren und Mustererkennung	104
5.1.2 Klassifikation mittels k-Nearest Neighbor Algorithmus	107
5.1.3 Klassifikation mittels Entscheidungsbaum	109
5.1.4 Merkmalsextraktion	112
5.2 Konzeption und Umsetzung einer Aktivitätserkennung auf Basis von Smartphone-Sensorik	117
5.2.1 Konzept der Aktivitätserkennung	118
5.2.2 Umsetzung der Aktivitätserkennung	123
5.3 Fazit: Eignung von Smartphones für die Aktivitätserkennung	132
6 Konzeption und Umsetzung einer Sensordatenfusion zur verbesserten Positionsbestimmung von Fußgängern und Radfahrern	135
6.1 Grundlagen der Sensordatenfusion	135
6.1.1 Ausprägungen der Sensordatenfusion	136
6.1.2 Ebenen der Sensordatenfusion	137
6.1.3 Zeitlicher Ablauf der Fusion	139
6.1.4 Bayes'sche Filter	140
6.1.5 Kalman Filter	142
6.2 Analyse der Smartphone-Sensorinformationen bei Durchführung verschiedener Bewegungsabläufe und Generierung neuer Eingangssignale	144
6.2.1 Änderung der Geschwindigkeit	144
6.2.2 Änderung der Bewegungsrichtung	145
6.2.3 Nutzung der Smartphone-Sensorinformationen zur Generierung zusätzlicher Eingangsdaten für den Fusionsalgorithmus	146
6.3 Konzept der Sensordatenfusion für Fußgänger und Radfahrer	149
6.3.1 Spezifikation des allgemeinen Zustandsübergangsmodells	151
6.3.2 Spezifikation des Zustandsübergangsmodells für die Aktivität <i>Stehen</i>	152
6.3.3 Spezifikation des Zustandsübergangsmodells für den Fußgänger	152
6.3.4 Spezifikation des Zustandsübergangsmodells für den Radfahrer	154
6.4 Auswertung der Positionsverbesserung	156
6.4.1 Beschreibung der Testszenarien	157

6.4.2	Erzielte Ergebnisse	158
6.4.3	Untersuchung bezüglich der Echtzeitfähigkeit	165
6.5	Fazit: Möglichkeiten der Positionsverbesserung durch Sensordatenfusion im Smartphone	167
7	Umsetzung eines funkbasierten Schutzsystems für Fußgänger und Radfahrer	173
7.1	Umsetzung des Schutzsystems	173
7.1.1	Datenprotokoll	173
7.1.2	Fahrzeugaufbau	177
7.1.3	VRU-Schutzfunktion im Fahrzeug	179
7.1.4	Ausblick auf Erweiterungsmöglichkeiten des VRU-Schutzsystems	187
7.2	Effektivitätsbewertung anhand von Simulationen realer Unfallszenarien	189
7.2.1	Beschreibung der Simulation	189
7.2.2	Ermittlung der Verletzungswahrscheinlichkeit und Ableitung der Effektivität	193
7.3	Fazit: Eignung eines funkbasierten Schutzsystems auf Basis von Smartphones	197
8	Zusammenfassung und Ausblick	199
A	Gruppierung der Unfalltypen	203
B	Global Positioning System	213
B.1	Systemüberblick	213
B.2	Satellitensignale	214
B.3	GPS-Empfänger	215
B.4	Positionsbestimmung mittels GPS	216
B.5	Fehlerquellen bei der Positionsbestimmung	219
C	Weiterführende Informationen und mathematische Herleitungen	225
C.1	Herleitung der Hall-Spannung	225
C.2	Netzwerkarchitekturen verschiedener Kommunikationstechnologien .	226
C.2.1	Bluetooth	226
C.2.2	UMTS	227
C.2.3	LTE	229

C.2.4 WLAN	229
D Weiterführende Informationen zu Messreihen	233
D.1 Ergebnisse der Sensor-Genauigkeitsmessungen	233
D.2 Ergebnisse und Aufnahmen der GPS-Genauigkeitsmessungen	237
D.3 Ergebnisse der Reichweitentests	248
D.4 Ergebnisse der Probandentests zur Klassifikatorauswahl	251
Eigene Veröffentlichungen und Patente	261
Betreute Arbeiten	265
Literaturverzeichnis	267
Abbildungsverzeichnis	281
Tabellenverzeichnis	287
Abkürzungsverzeichnis	291