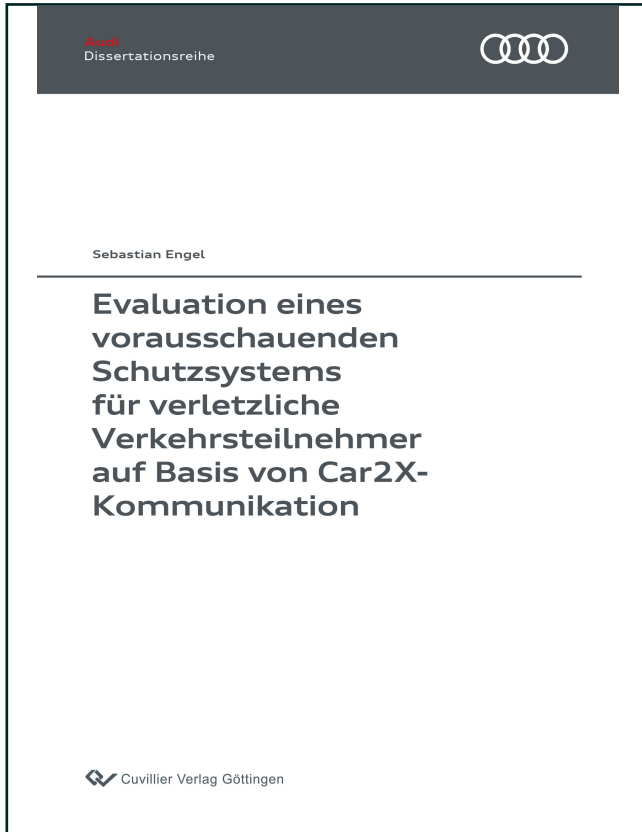




Sebastian Engel (Autor)  
**Evaluation eines vorausschauenden Schutzsystems für  
verletzliche Verkehrsteilnehmer auf Basis von Car2X-  
Kommunikation**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7856>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation vorausschauender Schutzsysteme für verletzbare Verkehrsteilnehmer . . . . .	3
1.2	Problemstellung und Ziele der Arbeit . . . . .	6
1.3	Gliederung der Arbeit . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Unfallanalyse</b>	<b>9</b>
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 verletzbare Verkehrsteilnehmer . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>21</b>
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
<b>4</b>	<b>Analyse der Sensoren und Funkschnittstellen von Smartphones und Eignung von Smartphones für ein funkbasiertes VRU-Schutzsystem</b>	<b>59</b>
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 Fußgänger- schutz . . . . .	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 Fuß- gängerschutz . . . . .	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 Fußgänger- schutz und Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes . . . . .	98



<b>5</b>	<b>Analyse des Bewegungsverhaltens von Fußgängern und Radfahrern mittels Smartphone-Sensorik</b>	<b>103</b>
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
<b>6</b>	<b>Konzeption und Umsetzung einer Sensordatenfusion zur verbesserten Positionsbestimmung von Fußgängern und Radfahrern</b>	<b>135</b>
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
<b>7</b>	<b>Umsetzung eines funkbasierten Schutzsystems für Fußgänger und Radfahrer</b>	<b>173</b>
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
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>199</b>
<b>A</b>	<b>Gruppierung der Unfalltypen</b>	<b>203</b>
<b>B</b>	<b>Global Positioning System</b>	<b>213</b>
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
<b>C</b>	<b>Weiterführende Informationen und mathematische Herleitungen</b>	<b>225</b>
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
<b>D Weiterführende Informationen zu Messreihen</b>	<b>233</b>
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
<b>Eigene Veröffentlichungen und Patente</b>	<b>261</b>
<b>Betreute Arbeiten</b>	<b>265</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>267</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>281</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>287</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>291</b>