

# Inhaltsverzeichnis

Danksagung	I
Kurzfassung	VII
Abstract	IX
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Problemstellung . . . . .	3
1.2. Lösungskonzept . . . . .	5
1.3. Gliederung der Arbeit . . . . .	6
<b>2. Heutiger Fußgängerschutz</b>	<b>9</b>
2.1. Fußgänger-Unfallstatistik . . . . .	10
2.2. Identifikation relevanter Unfallszenarios . . . . .	13
2.2.1. German In-Depth Accident Study (GIDAS) . . . . .	14
2.2.2. Extraktion häufiger Szenarios . . . . .	17
2.3. Entwicklungen im Fußgängerschutz . . . . .	21
2.3.1. Aktiver Fußgängerschutz heutiger Fahrzeuge . . . . .	23
2.3.2. Fußgängerschutzkonzepte in der Forschung . . . . .	27
2.3.3. Grenzen heutiger Systeme und Maßnahmen . . . . .	31
<b>3. Herleitung eines neuen Fußgängerschutzsystems</b>	<b>37</b>
3.1. Anforderungen und Ziele . . . . .	37
3.2. Diskussion möglicher Schutzkonzepte . . . . .	39
3.2.1. Verzögerung durch eine frühzeitige Fahrerwarnung . . . . .	39
3.2.2. Autonome Vollverzögerung . . . . .	40
3.3. Neues Fußgängerschutzsystem . . . . .	41
3.3.1. Umfeldwahrnehmung . . . . .	43
3.3.2. Interpretation der Sensordaten . . . . .	43
3.3.3. Bewegungsvorhersage . . . . .	44
3.3.4. Schutzfunktion . . . . .	45

<b>4. Eingesetzte Sensorik im Fahrzeug</b>	<b>49</b>
4.1. Versuchsfahrzeug . . . . .	49
4.2. Koordinatensysteme . . . . .	52
4.3. Sensoranforderungen in Multi-Sensor-Systemen . . . . .	55
4.4. Aktive Entfernungsbildkamera (PMD) . . . . .	56
4.4.1. Messprinzip des PMD . . . . .	56
4.4.2. Integration in das Versuchsfahrzeug . . . . .	59
4.4.3. Sensordaten . . . . .	60
4.4.4. Kalibrierung . . . . .	61
4.5. Passive Entfernungsbildkamera (Stereo) . . . . .	62
4.5.1. Messprinzip der Stereokamera . . . . .	62
4.5.2. Integration in das Versuchsfahrzeug . . . . .	67
4.5.3. . Sensorausgaben . . . . .	69
4.5.4. Kalibrierung . . . . .	70
4.6. Videokamera . . . . .	71
4.7. Sensoren zur Fahrzeug-Eigenzustandsbestimmung . . . . .	72
<b>5. Umfeldmodellierung und Einzelobjektinterpretation</b>	<b>75</b>
5.1. Umfeldmodellierung aus Sensordaten . . . . .	75
5.1.1. Oriented Bounding Box (OBB)-Modell . . . . .	77
5.1.2. Bedeutung der Bodenebene . . . . .	79
5.1.3. Objektverfolgung . . . . .	80
5.2. Bildgestützte Einzelobjektinterpretation . . . . .	84
5.2.1. Fußgängererkennung . . . . .	85
5.2.2. Fahrbahnerkennung . . . . .	88
5.2.3. Zebrastreifenerkennung . . . . .	89
<b>6. Situitives Bewegungsverhalten von Fußgängern</b>	<b>91</b>
6.1. Methodik . . . . .	91
6.2. Datenerhebung zum Bewegungsverhalten von Fußgängern .	93
6.2.1. Messaufbau zur Fußgängerbeobachtung . . . . .	93
6.2.2. Konzept zur Aufzeichnung von Bewegungsverhalten	96
6.2.3. Bildverarbeitung im Onlinesystem . . . . .	98
6.2.4. Rekonstruktion von 3D-Bewegungspfaden . . . . .	101

6.3.	Zusammenfassen häufiger Fußgänger-Bewegungspfade . . .	105
6.3.1.	Visualisierung von Bewegungspfad . . . . .	106
6.3.2.	Konzept zur Beschreibung von Bewegungspfad .	108
6.3.3.	Automatische Extraktion häufiger Pfade . . . . .	109
6.4.	Erkenntnisse über das Fußgänger-Bewungsverhalten . . .	127
6.4.1.	Diskussion der betrachteten Standorte . . . . .	127
6.4.2.	Konvergenzanalyse . . . . .	138
6.4.3.	Gemeinsamkeiten der betrachteten Szenarios . . . .	139
<b>7.</b>	<b>Situationsinterpretation und Bewegungsvorhersage</b>	<b>141</b>
7.1.	Situationsinterpretation . . . . .	141
7.1.1.	Konzept zur Situationsinterpretation . . . . .	143
7.1.2.	Vorbereitung der Wissensdatenbank . . . . .	145
7.1.3.	Umsetzung im Fahrzeugsystem . . . . .	149
7.2.	Fahrzeugeigene Bewegungsvorhersage . . . . .	152
7.3.	Bewegungsvorhersage für Fußgänger . . . . .	153
7.3.1.	Klassische Bewegungsvorhersage . . . . .	154
7.3.2.	Situationsadaptive Bewegungsvorhersage . . . . .	155
<b>8.</b>	<b>Umsetzung der Schutzfunktion</b>	<b>161</b>
8.1.	Kollisionserkennung . . . . .	161
8.1.1.	Kriterien und Kenngrößen . . . . .	163
8.1.2.	Modell zur Kollisionserkennung . . . . .	164
8.1.3.	Achsen separation . . . . .	167
8.2.	Entscheidung zum autonomen Eingriff . . . . .	171
8.2.1.	Entscheidung zum Bremsen eingriff in Stufe 2 . . . . .	173
8.2.2.	Entscheidung zum Lenken eingriff in Stufe 1 . . . . .	178
8.3.	Ansteuerung der Aktorik . . . . .	180
8.3.1.	Bremssystem . . . . .	181
8.3.2.	Lenksystem . . . . .	185
<b>9.</b>	<b>Bewertung des aktiven Fußgängerschutzsystems</b>	<b>191</b>
9.1.	Bewertungskriterien . . . . .	192
9.1.1.	Umfeldwahrnehmung und -modellierung . . . . .	193
9.1.2.	Situationsinterpretation . . . . .	193
9.1.3.	Bewegungsvorhersage . . . . .	195
9.1.4.	Schutzfunktion . . . . .	195

9.2. Umgesetzte Bewertungskonzepte . . . . .	197
9.2.1. Versuchsfahrten auf dem Prüfgelände . . . . .	197
9.2.2. Versuchsfahrten im öffentlichen Verkehr . . . . .	204
9.2.3. Hybride Simulation von Pkw-Fußgänger-Situationen . . . . .	205
9.3. Bewertung der Wahrnehmung und des Umfeldmodells . . . . .	206
9.3.1. Stehender Fußgänger . . . . .	207
9.3.2. Bewegter Fußgänger . . . . .	212
9.3.3. Verdeckter Fußgänger . . . . .	212
9.3.4. Fußgänger quert an Fußgängerinsel . . . . .	213
9.3.5. Fußgänger bei Straßenbauarbeiten . . . . .	214
9.3.6. Erschwerte Witterungsbedingungen . . . . .	215
9.4. Bewertung des Interpretationsmoduls . . . . .	216
9.5. Bewertung der situativen Fußgängervorhersage . . . . .	221
9.6. Bewertung der Schutzfunktion . . . . .	222
9.6.1. Falschauslöseverhalten . . . . .	224
9.6.2. Korrektauslöseverhalten . . . . .	229
9.6.3. Effektivitätsbewertung . . . . .	232
<b>10.Diskussion und Ausblick</b>	<b>235</b>
<b>A. Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>241</b>