

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	I
Kurzfassung	VII
Abstract	IX
1. Einleitung	1
1.1. Problemstellung	3
1.2. Lösungskonzept	5
1.3. Gliederung der Arbeit	6
2. Heutiger Fußgängerschutz	9
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
3. Herleitung eines neuen Fußgängerschutzsystems	37
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

III

4. Eingesetzte Sensorik im Fahrzeug	49
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
5. Umfeldmodellierung und Einzelobjektinterpretation	75
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
6. Situatives Bewegungsverhalten von Fußgängern	91
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 Bewegungspfaden	106
6.3.2. Konzept zur Beschreibung von Bewegungspfaden .	108
6.3.3. Automatische Extraktion häufiger Pfade	109
6.4. Erkenntnisse über das Fußgänger-Bewegungsverhalten	127
6.4.1. Diskussion der betrachteten Standorte	127
6.4.2. Konvergenzanalyse	138
6.4.3. Gemeinsamkeiten der betrachteten Szenarios	139
7. Situationsinterpretation und Bewegungsvorhersage	141
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
8. Umsetzung der Schutzfunktion	161
8.1. Kollisionserkennung	161
8.1.1. Kriterien und Kenngrößen	163
8.1.2. Modell zur Kollisionserkennung	164
8.1.3. Achsenséparation	167
8.2. Entscheidung zum autonomen Eingriff	171
8.2.1. Entscheidung zum Bremseingriff in Stufe 2 . .	173
8.2.2. Entscheidung zum Lenkeingriff in Stufe 1 . .	178
8.3. Ansteuerung der Aktorik	180
8.3.1. Bremssystem	181
8.3.2. Lenksystem	185
9. Bewertung des aktiven Fußgängerschutzsystems	191
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. Korrektlauslöseverhalten	229
9.6.3. Effektivitätsbewertung	232
10. Diskussion und Ausblick	235
A. Abkürzungsverzeichnis	241