

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>i</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>vii</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Stand der Forschung . . . . .	1
1.2 Konzept und Ziel . . . . .	4
<b>2 Grundlagen</b>	<b>9</b>
2.1 Micro Electro Mechanical System (MEMS) . . . . .	9
2.1.1 Technologie und typische Anwendungsgebiete . . . . .	9
2.1.2 Beschleunigungsmesser . . . . .	11
2.1.3 Gyroskop . . . . .	13
2.1.4 Magnetfeldsensor . . . . .	15
2.1.5 Barometer . . . . .	16
2.2 Stochastische Filter . . . . .	17
2.2.1 Kalman Filter . . . . .	18
2.2.2 Partikelfilter . . . . .	23
2.2.3 Vergleich von Kalman Filter und Partikelfilter . . . . .	28
2.3 Gebäudepläne und Routing-Netz . . . . .	29
2.4 Graphentheorie und Routingalgorithmen . . . . .	33
2.5 Versuchshardware . . . . .	36
2.5.1 Smartphones mit integrierten MEMS . . . . .	37
2.5.2 Android als Entwicklungsumgebung . . . . .	47
2.5.3 Arbeiten auf Sensorebene am Beispiel von Arduino . . . . .	48
<b>3 Untersuchungen und Kalibrierung von MEMS im Smartphone</b>	<b>54</b>
3.1 Stockwerkserkennung mit Barometer BMP-180 . . . . .	54
3.2 Kalibrierung eines Gyroskops . . . . .	60

3.3	Kalibrierung eines Beschleunigungsmessers . . . . .	70
3.4	Kalibrierung eines Magnetfeldsensors . . . . .	78
3.5	Einfluss der Nicht-Orthogonalität . . . . .	85
3.6	Qualität des Zeitstempels im Nexus 4 . . . . .	90
<b>4</b>	<b>Komponenten einer Smartphone gestützten hybriden Positionsschätzung</b>	<b>95</b>
4.1	Trajektorie aus Smartphone-Sensoren . . . . .	95
4.1.1	Pedestrian Dead Reckoning . . . . .	96
4.1.2	Berechnung einer Trajektorie (2D + 1D) . . . . .	105
4.2	Infrastrukturabhängige Positionsschätzung . . . . .	111
4.2.1	Unterscheidung und Überblick der bekanntesten Verfahren	111
4.2.2	WLAN Fingerprinting am Beispiel des HCU-Gebäudes . . .	122
4.3	Möglichkeiten der Stützung einer INS-basierten Positionsschätzung	129
4.3.1	Weitere Eingrenzung von Stützungsmöglichkeiten . . . . .	130
4.3.2	Favorisierte Komponenten . . . . .	137
<b>5</b>	<b>Gestützte MEMS-basierte Positionsschätzung</b>	<b>140</b>
5.1	Kalman Filter . . . . .	140
5.1.1	Aufbau des Filters . . . . .	140
5.1.2	Ergebnisdiskussion zweier repräsentativer Routen . . . . .	147
5.2	Partikelfilter . . . . .	156
5.2.1	Aufbau des Filters . . . . .	156
5.2.2	Ergebnisdiskussion zweier repräsentativer Routen . . . . .	161
5.3	Topologischer Ansatz auf einem Routing-Graphen . . . . .	164
5.3.1	Zustandsschätzung aus MEMS-Sensordaten . . . . .	166
5.3.2	Ergebnisdiskussion zweier repräsentativer Routen . . . . .	170
5.4	Vergleich und Diskussion der vorgestellten Ansätze . . . . .	176
5.5	Finaler Fusionsalgorithmus - Kantenbasiertes Partikelfilter . . . . .	185
5.5.1	Fusion von Partikelfilter und topologischem Ansatz . . . . .	185
5.5.2	Ergebnisdiskussion zweier repräsentativer Routen . . . . .	190
5.5.3	Untersuchungen zur Zuverlässigkeit . . . . .	200

<b>6</b>	<b>Implementierung für eine Navigationsanwendung</b>	<b>213</b>
6.1	Weitere Komponenten . . . . .	213
6.1.1	Routenberechnung . . . . .	213
6.1.2	Raumattribute . . . . .	216
6.1.3	Erstellung von Visualisierungs- und Routinggrundlage . . .	217
6.2	Voraussetzungen und Zusammenspiel der Komponenten . . . . .	224
6.3	Anwendungen (Apps) . . . . .	227
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>233</b>
	<b>Literatur</b>	<b>239</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>x</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xxii</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>xxiv</b>