

**Inhalt**

**Vorwort..... II**

**Kurzzinhalt..... III**

**Short Summary .....IV**

**Abkürzungsverzeichnis .....IX**

**Abbildungsverzeichnis.....XIV**

**Tabellenverzeichnis.....XVIII**

  

**1 Einleitung..... 1**

1.1 Motivation..... 1

1.2 Inhalt der Arbeit..... 3

1.3 Problemstellung ..... 3

1.4 Gliederung der Arbeit ..... 4

  

**2 Ausgangssituation..... 6**

2.1 Begriffe und Definitionen..... 6

2.2 Bekannte Überwachungsstrategien..... 8

2.2.1 Wachpersonal ..... 8

2.2.2 Festinstallationen..... 9

2.2.3 Sicherheitsroboter..... 9

2.3 Analyse von Einsatzfällen ..... 12

2.3.1 Anwendungsfälle im Innenbereich..... 14

2.3.2 Anwendungsfälle im Außenbereich ..... 15

2.3.3 Definition der für diese Arbeit relevanten potentiellen Einsatzszenarien ..... 16

  

**3 Stand der Technik ..... 17**

3.1 Drahtlose Sensornetzwerke zur Überwachung..... 17

3.2 Funkprotokolle..... 18

3.3 Ausbringstrategien ..... 20

3.3.1 Genetische Algorithmen..... 20

3.3.2 Potenzialfelder..... 21

3.3.3 Maximal-Breach Path Optimierung mit Voronoi-Diagrammen ..... 22

3.3.4 Gridkarten..... 23

3.4 Sensorsonden ..... 23

3.4.1	Potentielle Sensoren zur Bestückung von Sensorsonden .....	24
3.4.2	Drahtlose Übertragungsformen .....	24
3.4.3	Geeignete Schnittstellen zwischen Sensor und drahtloser Übertragung .....	25
3.4.4	Energieversorgung von Sensorsonden .....	26
<b>4</b>	<b>Anforderungsanalyse .....</b>	<b>28</b>
4.1	Anforderungen an Sensorsonden .....	28
4.1.1	Grundsätzliche Anforderungen .....	28
4.1.2	Weiterführende Anforderungen .....	29
4.2	Anforderungen an Ausbringeinheiten .....	30
4.2.1	Allgemeine Anforderungen .....	30
4.2.2	Mechanische Anforderungen .....	30
4.2.3	Elektrische Anforderungen .....	31
4.3	Ausbringstrategien .....	31
4.3.1	Analyse der Hauptszenarien und abgeleitete Anforderungen .....	31
4.3.2	Analyse der verschiedenen Ausbringstrategien .....	33
<b>5</b>	<b>Konzeption .....</b>	<b>37</b>
5.1	Konzeption der Sensorsonden .....	37
5.1.1	Konzeption der Schnittstelle von Sensorsonden .....	38
5.1.2	Lösbarer Kraftschluss .....	38
5.1.3	Offsetausgleich .....	42
5.1.4	Verdrehungsausgleich .....	44
5.1.5	Elektrische Schnittstelle .....	47
5.1.6	Bereitzustellende Informationen .....	47
5.1.7	Zusammenfassung der Konzeption der Sensorsonde .....	48
5.2	Konzeption einer Ausbringeinheit .....	49
5.2.1	Aufbewahrung der Sonden .....	50
5.2.2	Handhabung der Sonden .....	54
5.2.3	Identifikation der Sensorsonden .....	57
5.2.4	Steuerung der Ausbringeinheit .....	58
5.2.5	Schnittstelle zum Überwachungsroboter .....	61
5.2.6	Zusammenfassung der Konzeption einer Ausbringeinheit .....	62
5.3	Konzeption der Ausbringstrategien .....	64
5.3.1	Genetische Algorithmen .....	64
5.3.2	Gridkartenansatz .....	72
<b>6</b>	<b>Realisierung .....</b>	<b>76</b>
6.1	Realisierung der Sensorsonden .....	76

6.1.1	Verwendete Sensoren .....	76
6.1.2	Verwendete drahtlose Übertragungsform .....	77
6.1.3	Funkprotokolle .....	79
6.1.4	Verwendete Energieversorgung .....	80
6.1.5	Zusammenfassung der Realisierung von Sensorsonden .....	81
6.2	Realisierung einer Ausbringeinheit .....	83
6.3	Aufbau der Simulationsumgebung .....	87
6.3.1	Anforderungen.....	88
6.3.2	Vereinfachungen .....	88
6.3.3	Darstellung der Umgebung .....	89
6.3.4	Darstellung der Sensoren.....	89
6.3.5	Berechnung der abgedeckten Fläche .....	90
6.3.6	Berechnung der abgedeckten Grenzlinie.....	93
6.3.7	Ergebnis.....	94
6.4	Demonstrator Überwachungsroboter.....	95
7	<b>Optimierung und Bewertung der Ausbringstrategien.....</b>	<b>96</b>
7.1	Beschreibung der Einsatzfälle .....	96
7.1.1	Fertigungshalle mit Foyer .....	96
7.1.2	Bürogebäude.....	97
7.1.3	Lagerhalle .....	99
7.1.4	Definition eines Benchmarks .....	100
7.2	Experimentelle Verifikation und Benchmark in simulierten Beispielszenarien.....	102
7.2.1	Genetischer Algorithmus zur Positionierung der Sensorsonden.....	102
7.2.2	Gridkartenansatz mit Greedy-Algorithmus zur Sensorsondenpositionierung.....	103
7.2.3	Quantifizierung der zusätzlichen Überwachungsleistung durch Sensorsonden.....	104
7.3	Ergebnisse der Simulation .....	105
7.3.1	Optimierung genetischer Algorithmus – Erster Abschnitt .....	105
7.3.2	Optimierung genetischer Algorithmus – Zweiter Abschnitt .....	110
7.3.3	Optimierung Gridmap mit Greedy Ansatz .....	117
7.3.4	Ergebnis Roboter ohne Sensorsonden.....	119
7.3.5	Ergebnis für Roboter mit Sensorsonden.....	120
7.4	Realer Überwachungseinsatz und Vergleich mit den Simulationsergebnissen .....	121
7.5	Fazit .....	124
8	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>126</b>
8.1	Zusammenfassung .....	126
8.2	Ergebnisanalyse .....	128

8.3	Aktuelle Weiterentwicklungen .....	129
8.4	Ausblick .....	130
9	Summary .....	131
10	Literaturverzeichnis .....	134
11	Anhang .....	139
11.1	Ergebnisse der Simulationen des GA – Erste Optimierungsphase .....	139
11.1.1	Plots der arithmetischen Mittelwerte der Perimeterabdeckungen .....	139
11.1.2	Plots der Standardabweichungen .....	143
11.1.3	Plots der Berechnungsdauern .....	147
11.1.4	Ergebnisse in tabellarischer Form .....	150
11.1.5	Darstellung der Abdeckung der jeweils besten Individuen .....	157
11.2	Ergebnisse der Simulationen zur Optimierung des GA – Zweiter Abschnitt .....	163
11.2.1	Plots der arithmetischen Mittelwerte der Perimeterabdeckungen .....	163
11.2.2	Plots der Standardabweichungen .....	167
11.2.3	Plots der Berechnungsdauern .....	171
11.2.4	Ergebnisse in tabellarischer Form .....	174
11.2.5	Darstellung der Abdeckung der jeweils besten Individuen .....	180
11.3	Trajektorien für Überwachungsroboter ohne Sensorsonden .....	186