

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	V
Abstract	VII
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XV
Abkürzungsverzeichnis	XVII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Problemstellung	1
1.2 Zielstellung	3
1.3 Gliederung der Arbeit	6
2 Grundlagen 3D-Bildverarbeitung	9
2.1 3D-Bilddaten	9
2.1.1 Repräsentation und Datenstrukturen	9
2.1.2 Messtechnologien und Sensoren	10
2.1.3 Geometrische Merkmale von Punktwolken	13
2.2 3D-Objekterkennung	15
2.2.1 Segmentierung	16
2.2.2 Merkmalsbasierte 3D-Objekterkennung	21
2.2.3 Modelleinpassung	25
3 Einordnung des Themas und Stand der Technik	31
3.1 Einordnung in die Logistik	31
3.2 Objekterkennung von Stückgütern	34
3.2.1 Roboter-basierte Handhabungssysteme für Stückgüter	34
3.2.2 Methoden zur Objekterkennung von Stückgütern	41
3.3 Ableitung der Forschungsfrage	49
4 3D-Objekterkennung ungeordneter Stückgüter	53
4.1 Systemarchitektur und Methodenauswahl	53
4.2 Vorverarbeitung	55
4.3 Segmentierung	57
4.3.1 Krümmungsbasierte Segmentierung	57
4.3.2 Graphbasierte Segmentierung	60
4.3.3 Graphbasierte Segmentierung mit Nachsegmentierung	62
4.4 Objekterkennung	63
5 Sensordatensimulation	69
5.1 Modell der Messunsicherheit	69
5.1.1 Einfluss der Entfernung in Abhängigkeit von der Objektoberfläche	70

5.1.2	Einfluss des Einstrahlwinkels	72
5.1.3	Simulation des Mixed Pixels Effektes	73
5.2	Virtuelle Packszenarien	74
5.2.1	Modellierung quaderförmiger Stückgüter	76
5.2.2	Modellierung zylindrischer Stückgüter	77
5.2.3	Modellierung sackförmiger Stückgüter	78
5.2.4	Generierung virtueller Packszenarien	78
5.3	Sensorsimulation	79
5.4	Verdeckungssimulation	81
6	Experimentelle Evaluation	87
6.1	Parameterkonfiguration	87
6.2	Experimente	91
6.2.1	Objekterkennung	91
6.2.2	Genauigkeit der Lokalisierung	95
6.2.3	Verdeckungsanalyse	99
6.2.4	Vollständige Containerentladung	104
6.3	Diskussion der Ergebnisse	106
7	Fazit und Ausblick	113
7.1	Zusammenfassung und Fazit	113
7.2	Ausblick	116
	Literaturverzeichnis	121
	Anhang	131