

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

XIII

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	2
1.2	Zielsetzung und Vorgehen	4
2	Effizienzsteigerung in der vakuumbasierten Handhabung	7
2.1	Grundlagen der vakuumbasierten Handhabung	7
2.1.1	Funktionsweise und Eigenschaften von Saugern	9
2.1.2	Energieeffizienzbewertung von vakuumbasierten Handhabungsprozessen	13
2.2	Betrachtungsebenen der Effizienzsteigerung	18
2.3	Effizienzsteigerung auf Komponentenebene	23
2.3.1	Sauggreifer – Modellierung und Funktionsintegration	24
2.3.2	Effizienzsteigerung mittels druckluftfreier Vakuumerzeugung	27
2.3.3	Optimierung des Vakuumejektors	30
2.3.4	Zusammenfassung und Einordnung	30
2.4	Effizienzsteigerung auf Systemebene	32
2.4.1	Optimierung des Druckluftsystems	32
2.4.2	Greifsystem – Auslegung und Flexibilisierung	34
2.4.3	Zusammenfassung und Einordnung	38
2.5	Effizienzsteigerung auf Prozessebene	39
2.5.1	Bedarfsgerechte Prozessplanung	39
2.5.2	Prozessplanung für flexible Greifsysteme	43
2.5.3	Vakuumbasierte Bin Picking Prozesse	44
2.5.4	Zusammenfassung und Einordnung	45
2.6	Zusammenfassung und Handlungsbedarf	46
3	Experimentelle Studie zur Ermittlung der relevanten Handlungsfelder	53
3.1	Ermittlung der energetisch optimalen Roboterbewegung	55
3.2	Experimentelle Ermittlung der Luftverbräuche	58
3.2.1	Versuchsplanung und -durchführung	59
3.2.2	Auswertung „Stand der Technik“-Konfiguration	62
3.2.3	Vergleich der Saugerdurchmesser	65
3.2.4	Vergleich des Eingangsdrucks	67

3.3	Ableitung der erforderlichen Auslegungsmethoden zur Effizienzsteigerung	69
3.3.1	Implikationen der experimentellen Studie für die Methodenentwicklung	69
3.3.2	Geplante Auslegungsmethoden und zugrundeliegende Vorhersagemodelle	71
4	Entwicklung der Vorhersagemodelle	75
4.1	Einflussgrößenanalyse und Festlegung der Vorhersagemodellparameter	75
4.1.1	Analyse der Größen mit Einfluss auf Leakage und Haltekraft	76
4.1.2	Spezifizierung der Vorhersagemodelle	80
4.2	Versuchsumgebung zur Sauger-Charakterisierung	83
4.2.1	Hardware-Setup	83
4.2.2	Software-Setup	85
4.3	Modell zur Vorhersage der lokal erreichbaren Haltekraft	86
4.3.1	Untersuchung des Einflusses der Objektgeometrie auf die lokal erreichbare Haltekraft	88
4.3.2	Untersuchung des Einflusses der Objekt-Oberflächenrauheit auf die lokal erreichbare Haltekraft	93
4.4	Modell zur Vorhersage der Griffstabilität	96
4.4.1	Versuchsplanung und -durchführung	96
4.4.2	Datenauswertung und Kennfeld-Erstellung	98
4.4.3	Beispielhafte Anwendung des Kennfeld-Modells	105
4.5	Modell zur Vorhersage der Sauger-Objekt-spezifischen Leakage	107
4.5.1	Versuchsplanung und -durchführung	108
4.5.2	Datenauswertung	109
4.6	Vergleich und Einordnung der Beschreibungsmodelle	111
5	Methodenentwicklung für die modellbasierte Greifsystemauslegung	115
5.1	Modellbasierte Greifpunktoptimierung	116
5.1.1	Optimierungskriterien für die Greifpunktoptimierung	118
5.1.2	Einschränkende Randbedingungen für die Greifpunktoptimierung	120
5.1.3	Optimierungsmethode	126
5.1.4	Beitrag zur erreichbaren Effizienzsteigerung	133

5.2	Modellbasierte Greifsystemdimensionierung	136
5.2.1	Berechnungsmethode zur modellbasierten Ermittlung des Luftverbrauchs	137
5.2.2	Optimierung der Greifsystemparameter	140
5.3	Schlussbetrachtung zur erreichbaren Effizienzsteigerung am Beispiel der globalen Automobilproduktion	143
6	Entwicklung einer modellfreien Auslegungsmethode unter Nutzung von Reinforcement Learning	145
6.1	Abstraktion der prozessbedingten Belastungen am GOI . . .	148
6.2	Deep Q-Agent – Konzept und Implementierung	151
6.3	Experimentelle Untersuchung der mittels DQA erreichbaren Effizienzsteigerung	156
6.3.1	Versuchsreihe 1: Effizienzsteigerung für einzelne Tra- jektorien	159
6.3.2	Versuchsreihe 2: Generalisierung mittels mehrerer Tra- jektorien	161
6.4	Diskussion der Versuchsergebnisse und Ausblick	164
6.4.1	Ausblick auf weitergehende Untersuchungen	164
6.4.2	Einordnung des industriellen Umsetzungspotenzials und der erreichbaren Energieeinsparung am Beispiel der Paketbeförderung in Deutschland	165
7	Zusammenfassung und Ausblick	169
7.1	Zusammenfassung	169
7.2	Ausblick und Handlungsempfehlungen	171
Anhang		175
A.1	Trajektorienplanung	175
A.1.1	Berechnungsmethode	176
A.1.2	Wahl der optimalen Trajektorie	185
A.2	Versuchsplanungen	187
A.3	Anhang zur Kartonhandhabung	189
Abbildungsverzeichnis		191
Tabellenverzeichnis		195
Literaturverzeichnis		197