

| | |
|--|----|
| Abkürzungs- und Symbolverzeichnis | IX |
| 1 Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung für den Einsatz vakuumbasierter Granulatgreifer | 1 |
| 1.1 Herausforderungen, Anwendungsspektren und Potenzialausschöpfung für vakuumbasierte Granulatgreifer..... | 1 |
| 1.2 Inhalt und Vorgehensweise in der Arbeit..... | 3 |
| 2 Grundlagen zur formflexiblen Handhabung | 4 |
| 2.1 Roboterbasierte Greifer in Forschung und Industrie..... | 5 |
| 2.1.1 Ausgangslage für pneumatische Sauggreifer..... | 6 |
| 2.1.2 Forschung im Bereich Soft Robotics bezüglich flexibler Greifer | 9 |
| 2.2 Vorgehensweisen für eine Greifsystemauslegung..... | 13 |
| 2.2.1 Differenzierung der Herausforderungen der Greiferfolg- und Greifkraftvorhersage für die Abhängigkeit von Objektgeometrie und Greiferkonfiguration..... | 14 |
| 2.2.2 Möglichkeiten für eine objektabhängige Greifkraftvorhersage | 15 |
| 2.2.3 Abhängigkeit der erzielbaren Greifkraft von der Konfiguration granulatbasierter Greifer..... | 19 |
| 2.3 Vorstellung des in dieser Arbeit untersuchten vakuumbasierten Granulatgreiferkonzepts | 23 |
| 2.4 Erkenntnisse und Handlungsbedarfe für vakuumbasierte Granulatgreifer | 26 |
| 3 Experimentelle Studie der Einflussfaktoren auf die Greifkraft und Basisprozessdefinition..... | 28 |
| 3.1 Kategorisierung und Eingrenzung der Handlungsfelder auf die erzielbare Greifkraft | 30 |
| 3.1.1 Oberflächenbeschaffenheit und initiale Anpresskraft..... | 31 |
| 3.1.2 Druckdifferenz, Luftundurchlässigkeit und Oberflächengeometrie | 33 |
| 3.2 Aus dem Verhalten der Druckdifferenz und resultierenden Greifkraft abgeleitetes empirisch adaptiertes analytisches Modell für die Objektabhängigkeit | 37 |
| 3.2.1 Auswirkung des gewählten Greifkraftmodells bezüglich der Einschätzung der Größenkalierung zu greifender Geometrien | 41 |
| 3.3 Zwischenfazit zu relevanten Handlungsfeldern | 42 |
| 4 Arbeitshypothesen für die Entwicklung von Methoden für vakuumbasierte Granulatgreifer | 44 |
| 5 Modellierung und Methodenentwicklung für die greifkraftbasierte Greifsystemauslegung | 47 |
| 5.1 Einflüsse und Vorhersage greiferspezifischer Parameter in Bezug auf erzielbare Greifkräfte | 48 |
| 5.1.1 Analyse möglicher Einflussparameter der Greiferkonfiguration auf Basis des Standes der Forschung | 48 |
| 5.1.2 Vorstellung des verwendeten Greiferparcours | 49 |
| 5.1.3 Experimentelle Vorgehensweise zur Ermittlung der konfigurationsabhängigen erzielbaren Greifkräfte | 50 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 5.1.4 | Auswertung der Experimente zu Variationen von Granulat und Membran und deren Einfluss auf die erzielbaren Greifkräfte über den Formfaktor $C_{combined}$ | 57 |
| 5.1.5 | Übertragung der experimentellen Ergebnisse auf beliebige Greiferkonfigurationen durch Interpolation der Formfaktoren | 60 |
| 5.1.6 | Validierung der Interpolationsansätze der Formfaktoren anhand ausgewählter Beispiele | 62 |
| 5.1.7 | Zukünftige Anpassungs- und Optimierungsmöglichkeiten für eine bessere Vorhersagbarkeit erzielbarer Greifkräfte unterschiedlicher Greiferkonfigurationen | 69 |
| 5.1.8 | Zusammenfassung zu Einfluss und Modellierung von greiferspezifischen Parametern in Bezug auf erzielbare Greifkräfte | 70 |
| 5.1.9 | Betrachtung der Streuungen und Abweichungen der erzielbaren Greifkräfte für das untersuchte Greiferkonzept und die untersuchten Greiferkonfigurationen | 72 |
| 5.2 | Einflüsse und Vorhersage objektgeometrieabhängiger Parameter in Bezug auf erzielbare Greifkräfte | 77 |
| 5.2.1 | Differenzierung der Vorhersagemöglichkeiten für objektgeometrieabhängige Greifkräfte | 77 |
| 5.2.2 | Anwendbarkeit und Auswahl von Greifbarkeitsvorhersagemethoden des Standes der Forschung für den untersuchten Greifer | 78 |
| 5.2.3 | Übersicht über die betrachteten Möglichkeiten zur objektbasierten Greifkrafteinschätzung | 80 |
| 5.2.4 | Übersicht über die experimentellen Randbedingungen und verwendeten Objekte für die untersuchten Greifkraftvorhersagemodelle | 82 |
| 5.2.5 | Analytische Kennwertentwicklung zur Kontaktmodellierung auf Basis der charakteristischen Greiferfunktionsweise | 84 |
| 5.2.6 | Greifkraftvorhersage durch einen Ähnlichkeitsvergleich zu bekannten objektbezogenen Greifkräften mittels des Coherent Point Drift Algorithmus | 95 |
| 5.2.7 | Validierung der Kennwert- sowie CPD-basierten Greifkraftvorhersage | 97 |
| 5.2.8 | Diskussion und Erweiterungsmöglichkeiten der Kennwert- und CPD-basierten Greifkraftvorhersage | 103 |
| 5.2.9 | Zwischenfazit zur geometriebasierten Kennwertentwicklung und CPD-basierten Greifkraftvorhersage | 107 |
| 5.2.10 | Greifkraftvorhersage auf Basis eines Ähnlichkeitsvergleichs über geometriebeschreibende Parameter | 108 |
| 5.2.11 | Zusammenfassung der betrachteten Möglichkeiten zur Vorhersage der objektgeometrieabhängigen Greifkraft | 113 |
| 5.3 | Einflüsse und Möglichkeiten zur Integration angepasster Greifstrategien in den Handhabungsprozess | 117 |
| 5.3.1 | Grundlagen und Orientierungsmöglichkeiten für angepasste Greifstrategien | 117 |
| 5.3.2 | Experimentelles Vorgehen für die experimentelle Bestimmung des Einflusses von Greifstrategien auf erzielbare Greifkräfte | 118 |
| 5.3.3 | Definition der zu untersuchenden Ansatzpunkte im Greifprozess für den Einsatz von angepassten Greifstrategien | 119 |
| 5.3.4 | Experimentelle Ergebnisse für den Einfluss der Greifstrategien auf die erzielbare Greifkraft und Vergleich der Potenziale | 121 |
| 5.3.5 | Kritische Betrachtung und Potenziale für eine Anwendung von Greifstrategien zur Beeinflussung der erzielbaren Greifkraft | 130 |
| 5.3.6 | Zusammenfassung der Potenziale und der Anwendungsmöglichkeiten einer angepassten Greifstrategie zur Beeinflussung der resultierenden Greifkraft | 137 |
| 6 | Übergeordnete Vorgehensmethode für eine Auslegung des Greifprozesses | 138 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 6.1 | Zusammenfassung der Prozessrandbedingungen und deren Beeinflussbarkeit innerhalb individueller Handhabungsaufgaben | 138 |
| 6.2 | Auslegung des Greifprozesses auf Basis der aufgezeigten Erkenntnisse..... | 140 |
| 7 | Zusammenfassung der entwickelten Methoden zur Greifkraftvorhersage und weitere Handlungsempfehlungen | 143 |
| 8 | Anhang | 146 |
| | Abbildungsverzeichnis..... | 152 |
| | Tabellenverzeichnis | 158 |
| | Literaturverzeichnis | 159 |