

# Verfahren zur Greifprozessüberwachung fluidischer Sensor-Aktor-Elemente in der Automation

*Dipl.Ing. Aline Defranceski<sup>1</sup>, B.Eng. Benjamin Kern<sup>1</sup>*  
<sup>1</sup>J. Schmalz GmbH, Aacher Straße 29, 72293 Glatten, Deutschland

## Zusammenfassung

Die Messung der Unterdruckkennlinie während der Evakuierung von fluidischen Aktoren ermöglicht eine Prozessüberwachung ohne zusätzliche Sensorik. Dadurch wird der fluidische Aktor zu einem Sensor-Aktor-Element, dessen Evakuierungskennlinie zum einen auf die Ausdehnung des Aktors selbst zurückzuführen ist, zum anderen die vom Aktor ausgehende Kraft repräsentiert. Die Kenntnisse über den Zusammenhang der Vakuumkennlinie mit der Ausdehnung und Kraftausleitung des Aktors eröffnet bei der Verwendung fluidischer Sensor-Aktor-Elemente innerhalb von automatisierten Greifprozessen einfache und effiziente Möglichkeiten zur Greifprozessüberwachung. Fluidische Sensor-Aktor-Elemente können dabei sowohl als direkt an Werkstücke angreifende Elemente, wie elastische Sauggreifer, als auch als indirekt wirkende Komponenten, wie Stellglieder in mechanischen Greifern, Einsatz finden.

**Keywords:** Prozessüberwachung, Fluidaktor, fluidisches Sensor-Aktor-Element, Unterdruckmessung, Handhabungsautomation

## Einleitung

Fluidische Aktoren finden breiten Einsatz in der Automation. Zum einen werden sie verwendet als Stellantrieb, z.B. in Form von Pneumatik-Zylindern. Zum anderen werden sie als Dämpfer, Betätigungsmittel oder auch direkt als Greifelement genutzt [1]. Auf Grund der Kompressibilität der Medien haben fluidische Aktoren den Nachteil, dass in der Regel keine präzise Betätigung vorgenommen werden kann [2]. Eine Zustandsaussage zu tätigen, die darüber hinausgeht, dass der Aktor seine Endposition erreicht hat und in welcher Zeit er das geschafft, kann bislang nur mit aufwendiger zusätzlicher Sensorik gelöst werden. Moderne Automationslösungen fordern neben einer einfachen Zustandskontrolle die Erfassung von weiterführenden Prozessparametern, wie Teileerkennung, Verschleiß und Prozessqualität. Optimaler Weise können möglichst viele dieser Informationen mit einem Sensor generiert werden, der die Abweichung von Ist- und Soll-Auslenkung des Aktors erkennt [3]. Die Kombination dieses Sensors mit dem Fluidaktor wird im Folgenden als Sensor-Aktor-Element bezeichnet. Das in diesem Beitrag beschriebene Verfahren zeigt eine Möglichkeit zur vielfältigen Prozessüberwachung von automatisierten Handhabungsvorgängen unter Verwendung von fluidischen Aktoren am Beispiel von unterdruckaktivierten Faltenbalgen auf. Die Verformung des Faltenbalgs findet sich dabei

im Druckverlauf über der Evakuierungszeit wieder. Welche Rückschlüsse man auf Grund der dadurch gewonnenen Vakuumkennlinie gewinnen kann und wie typische Anwendungsfälle aussehen könnten, werden in diesem Beitrag beschrieben.

## Grundlagen fluidischer Aktoren

Fluidische Aktoren erzeugen eine Kraft oder Bewegung mittels flüssigen oder gasförmigen Medien [4]. Der zugrundeliegende physikalische Zusammenhang wird hierbei durch das Produkt von Druck  $p$  und Fläche  $A$  beschrieben, welches die zur Verfügung stehende Kraft  $F$  beschreibt (siehe Gl. (1)).

$$F = p \times A \quad (1)$$

Ein weiterer wesentlicher physikalischer Zusammenhang fluidischer Aktoren wird über das Boyle-Mariotte-Gesetz beschrieben, welches besagt, dass Druck und Volumen in einem System statischer Temperatur proportional sind [5].

$$p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2 \quad (2)$$

Für die Betrachtung der Evakuierungsverläufe fluidischer Aktoren stellt daher die Gl. (2) einen wesentlichen Zusammenhang dar.

## Stand der Technik

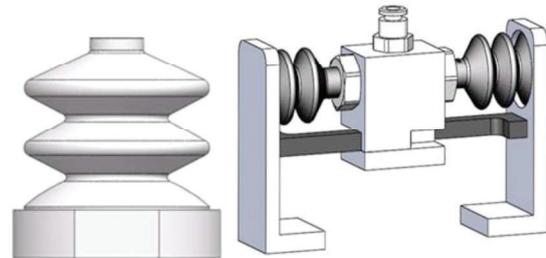
Einfache Fluidaktoren stellen pneumatische Hubzylinder dar, welche vielfältig in der Automatisierungstechnik eingesetzt werden [2]. Um große Kräfte übertragen zu können, werden pneumatische Aktoren in der Regel mit Überdruck betrieben. Einzelne Anwendungen mit fluidischen Aktoren werden mit Unterdruck betrieben oder können durch konstruktive Gestaltung mit unterdruckbetriebenen Aktoren ausgestaltet werden. Der wohl bekannteste unterdruckbetriebene Fluidaktor ist der Faltenbalg. Als Sauger ausgestaltet übernimmt der Faltenbalgaktor eine weitere Funktion – die des Greifelements. Aber auch als Stellglied finden Unterdruckbetriebene Fluidaktoren Anwendung in der Automation sowie der Greifertechnologie. In dieser Arbeit werden primär pneumatische Aktoren betrachtet, welche durch Anlegen von Unterdruck betrieben werden.

In der Handhabungstechnik kommt der Zustandskontrolle eine wesentliche Rolle zu [6]. Insbesondere bei automatisierten Prozessen ist es von Bedeutung während der Handhabung feststellen zu können, ob das Werkstück vom Greifer aufgenommen und an die Zielposition gebracht werden konnte. Auch der Zustand der am Greifprozess beteiligten Komponenten kann bestenfalls bestimmt werden, sodass mögliche Fehler auf Grund von Komponentenverschleiß vor Versagen erkannt werden können [7]. Bei Unterdruckbetriebenen Systemen findet die Prozessüberwachung mit Hilfe von Vakuumsensoren statt. In der Regel wird überprüft ob der Zielvakuumwert innerhalb einer definierten Zeit erreicht wird. Weichen die Evakuierungszeiten von der Norm ab oder stellt sich der Vakuumwert nicht wie erwartet ein, gibt das Rückschlüsse auf die Teileanwesenheit, sowie auf mögliche negative Systemeinflüsse [8]. Weiterführende Informationen, zum Beispiel Informationen über das handzuhabende Werkstück oder über die Position des Faltenbalges können aus den bestehenden Prozessüberwachungsverfahren nicht abgeleitet werden. Der Großteil der Prozessüberwachungsverfahren bezieht sich hauptsächlich auf die Zustandskontrolle des Unterdruckerzeugers, sowie auf eine Verschleißerkennung des Greifergesamtsystems.

## Exemplarischer Versuchsaufbau und Versuchsablauf

Für die Untersuchungen werden zwei Versuchsaufbauten, exemplarisch in *Abb. 1* dargestellt, betrachtet. In Versuchsaufbau 1 steht das Sensor-Aktor-Element in direktem

Kontakt zum Werkstück bzw. ist für Versuche in denen das Handhabungsgewicht keinen Einfluss nehmen soll, los gelagert, sodass sich der Faltenbalg beim Evakuieren gegen eine feststehende Platte zieht. Dadurch wirkt dem Vakuum nur die Eigensteifigkeit des Faltenbalgmaterials entgegen. Äußere Gewichtseinflüsse werden so vermieden. In Versuchsaufbau 2 wird das fluidische Sensor-Aktor-Element als Stellglied in einem mechanischen Greifer verwendet. Hierbei wird die Kraft auf das Werkstück über Greifbacken indirekt durch den Fluidaktor aufgebracht. Damit beim Greifen kein Drehmoment auf die Stellglieder wirkt, welches zu einem Verklemmen der Greifbacken führen kann, wurden zusätzlich zu den Faltenbalgaktoren Führungen angebracht. Beim Evakuieren der Faltenbalge werden die Greifbacken entlang der Führungen zur Mittenachse des Greifers gezogen bis die Faltenbalgaktoren auf Block gefahren sind, oder ein Werkstück eine Gegenkraft aufbaut, welches die Faltenbalge am weiteren Verkürzen hindert.



*Abb. 1: Links: Versuchsaufbau 1 mit direktem Kontakt des Fluidaktors zum Werkstück; Rechts: Versuchsaufbau 2 mit Fluidaktor als Stellglied eines mechanischen Greifers*

Beiden Versuchsaufbauten ist gemein, dass nur die in der Automation bisher verwendeten Komponenten zum Einsatz kommen: ein Vakuumerzeuger der Kategorie Kompaktejektor von Schmalz mit der Bezeichnung *SXPI 25* zur Bereitstellung des Unterdrucks; ein Faltenbalgsauger mit 2,5 Falten ebenfalls von Schmalz mit der Bezeichnung *FSG-62*; und ein Vakuumsensor der Firma Schmalz mit der Bezeichnung *VS-V-SA*. Der Faltenbalg hat einen Durchmesser von 62mm und einen maximalen Hub von ~ 30mm. Er findet in den Versuchen direkt Anwendung als Greifer und indirekt als Stellantrieb für die Greifbacken. Der Ejektor wurde konstant mit 5 bar betrieben, wobei für alle Versuche ein konstanter Unterdruck von 400 mbar absolut als Zielwert eingestellt wurde. Den Versuchen liegt die Annahme zu Grunde, dass bei gleichbleibenden Versuchsaufbauten und Betriebsdrücken der

Verlauf der Vakuumkennlinie herangezogen werden kann, um auf den Zustand des Fluidaktors zu schließen und eine Teile- und Prozessüberwachung ohne zusätzlich Sensorik leisten zu können. Welche Parameter die Vakuumkennlinie bestimmen, wurde mit Versuchsaufbau 1 erfasst. Die aus diesen Versuchen gewonnenen Erkenntnisse über die Zusammenhänge des Vakuumverlaufs mit dem Zustand des Faltenbalgs wurden exemplarisch auf Versuchsaufbau 2 übertragen. Versuchsaufbau 2 stellt ein typisches Szenario dar, indem ein fluidisches Sensor-Aktor-Element in automatisierten Greifprozessen Anwendung finden kann. Mit Versuchsaufbau 2 kann das Verfahren in einer industrienahen Anwendung verifiziert werden. Im Folgenden werden die für eine Greifprozessüberwachung maßgeblichen Parameter und ihren Einfluss auf die Vakuumkennlinie näher beschrieben. Faktoren, welche den Vakuumverlauf beeinflussen, aber für eine Prozessüberwachung nur eine untergeordnete Rolle spielen, beispielweise weil sie durch den konstruktiven Aufbau gegeben und dadurch unveränderlich sind, werden nur kurz beleuchtet.

### Erfassung der Längenänderung

Wird ein fluidischer Aktor evakuiert, so zieht er sich solange zusammen, bis sein inneres Volumen nahezu verschwindet oder die Rückstellkraft des Materials eine gleichwertige Gegenkraft bildet.

Bei einem Faltenbalg legen sich sukzessive die Falten an, bis der Balg auf Block gefahren ist (siehe Abb. 2). Verhindert man die Blockbildung, beispielsweise durch eine von einem Handhabungswerkstück erzeugte Gegenkraft, verharrt der Balg in einer Zwischenposition.



Abb. 2: Verformung eines Faltenbalgs; Links: entspannter Zustand; Mitte: teilweise Verformung; Rechts: Verformung auf Block

Entgegen der Erwartung, dass eine solche Zwischenposition durch eine Veränderung der Evakuierungszeit erfasst werden kann, konnte festgestellt werden, dass in jedem Zustand der Balg gleich schnell komplett evakuiert wird.

Sobald sich die Falten des Balges anlegen, stagniert über einen Zeitraum  $t$  die Zunahme des Unterdrucks im Aktor wie exemplarisch in Abb. 3 dargestellt.

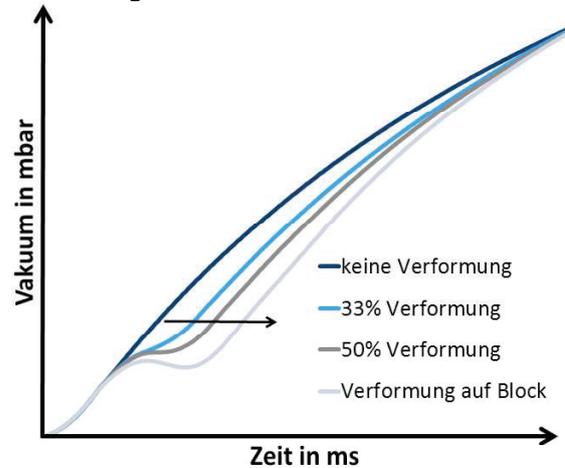


Abb. 3: Schematischer Verlauf von Vakuumkennlinien bei unterschiedlichen Verformungsgraden des Faltenbalgs

Je nach Materialeigenschaften des Balges bewirkt ein sprunghaftes Anlegen der Falten eine Druckerhöhung im System. Dies ist darauf zurück zu führen, dass sich schlagartig das innere Volumen um einen großen Betrag ändert. Dies hat gemäß dem Boyle-Mariotte-Gesetz eine Druckerhöhung zur Folge. Ob es beim einer abrupten Volumenänderung zu einer Stagnation oder einer temporären Zunahme des Unterdrucks kommt, wird vom Unterdruckerzeuger mit bestimmt. Je größer dessen Volumenstrom, umso geringer fällt die Stagnation aus, da umso schneller evakuiert werden kann.

Eine Stagnation des Unterdruckaufbaus findet nur dann statt, wenn der Balg sich soweit Verformen kann, dass sich Falten anlegen. Besitzt der Balg mehrere Falten so können mehrere Stagnationen während der Evakuierung auftreten, sofern das System ein stufenweises Anlegen der Falten zulässt. Ein solches Verhalten kann insbesondere auch dann entstehen, wenn mehrere Faltenbalgaktoren in einem System verbaut sind und sich die anliegende Kraft auf viele Aktoren gleichzeitig verteilt.

Ist keine Stagnation der Kennlinie zu entnehmen, kann man rückschließen, dass der Faltenbalg bereits vor Anlage der Falten in seiner Bewegung begrenzt wurde. Hindert man den Aktor komplett an einer Verformung zeichnet sich ein quasi linearer Unterdruckverlauf ab. Abweichungen zu einem linearen Verlauf kann man auf geringe Volumenveränderungen zurückführen. Auf

Grund des höheren Unterdrucks, welches gegen die Eigensteifigkeit des Materials wirkt, wird das innere Volumen des Balges entlang der Horizontalen komprimiert. Die Vakuumkennlinie eines beliebig in seiner Ausdehnung gehinderten Balges liegt immer zwischen den Kennlinien der vollen Verformung und der keiner Verformung. Die Kennlinien bilden sich reproduzierbar ab, sodass der Kennlinienverlauf der getesteten Aktoren mit einer Genauigkeit von  $\pm 5\%$  einer absoluten Verformung des Balges zugewiesen werden kann.

### Erfassung der Gewichtskraft

Die Kraft, die ein handzuhabendes Werkstück dem Greifer entgegengesetzt, wirkt sich direkt auf den Vakuumverlauf während der Evakuierung aus. Je größer die Kraft des Handhabungsobjektes, desto schneller steigt der Vakuumwert beim Evakuieren zu Beginn an. Sobald der anliegende Unterdruck einen Wert erreicht, der größer der Gewichtskraft und der Rückstellkraft des Fluidaktors ist, beginnt der Aktor mit der Komprimierung seines Volumens. Entsprechend dem Verhalten bei Längenänderung findet anschließend eine Stagnation bzw. ein stark verlangsamtes Ansteigen des Vakuumverlaufes statt, bis das Anlegen der Falten erreicht wurde. Große Massen verschieben demnach die Komprimierung des Aktors in höhere Vakuumbereiche. Vergleicht man die Vakuumkennlinien unterschiedlich schwerer Massen bei einem Handhabungsprozess gemäß Versuchsaufbau 1 wird man feststellen, dass die einzelnen Kennlinien sich überschneiden. Die Kennlinie einer leichten Masse weist früh eine Stagnation des Vakuumwertes auf, um anschließend stark anzusteigen. Die Kennlinie einer schweren Masse hingegen, stagniert erst bei einem hohen Vakuumwert, wobei nach Faltenanlage ein eher moderater Anstieg des Vakuumverlaufes zu verzeichnen ist. Weitere Massen, welche mit ihrem Gewicht zwischen der schwersten und leichtesten betrachteten Masse liegen, verhalten sich analog (siehe Abb. 4).

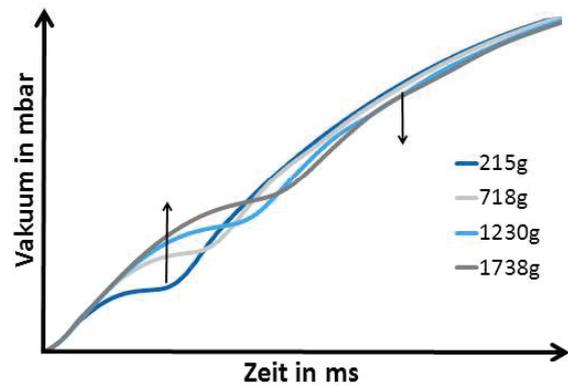


Abb. 4: Schematischer Verlauf von Vakuumkennlinien bei unterschiedlicher Krafteinwirkung auf den Faltenbalg

Eine Erhöhung der auf den Fluidaktor wirkenden Gegenkraft, zum Beispiel in Form eines Handhabungsobjektes, bewirkt eine Verschiebung der Blockbildung in Richtung höherer Vakuumwerte, sowie ein gemäßigteres Ansteigen des Vakuumwertes nach der Blockbildung.

### Überlagerung von Gewichtskraft und Längenänderung

In der Handhabungsautomation können Prozesse auftreten, bei denen zugleich eine Begrenzung des Aktorhubs sowie veränderliche Gegenkräfte auftreten. Gegebenenfalls bedingen sich beide Zustände, zum Beispiel bei der Handhabung einer Masse, welche im Grenzbereich der Haltekraft des Sauggreifers liegt und demnach eine Blockbildung desselbigen verhindert. Der Versuch zeigt, dass auch dann noch auf die Längenänderung sowie die Gewichtskraft geschlossen werden kann, wenn beide Zustände sich überlagern (siehe Abb. 5).

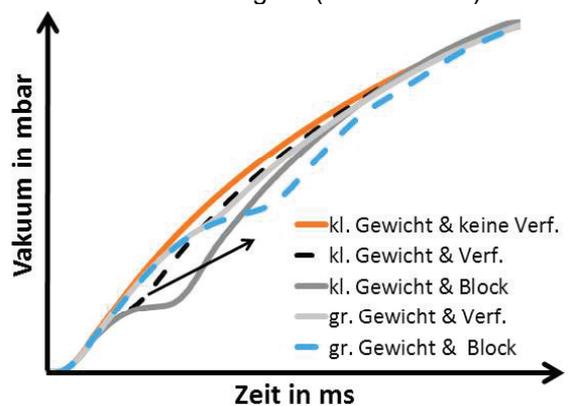


Abb. 5: Schematischer Verlauf von Kennlinien mit Überlagerung des Einflusses von Gewicht und Verformung

Wie auch bei der isolierten Betrachtung eines einzelnen Parameters wirken sich die Zustände entsprechend auf die Vakuumkennlinie aus. Beispielsweise kann ein hohes Gewicht durch ein späteres Anlegen der Falten weiterhin erkannt werden. Wird zeitgleich die Blockbildung des Faltenbalges eingeschränkt – was beispielsweise aus einem zu hohen Gewicht resultieren kann – steigt die Vakuumkennlinie schneller an.

### Weitere Ergebnisse

Neben der Längenänderung und der Gewichtskraft einer anliegenden Masse wird die Vakuumkennlinie von den Materialdaten und der Gestalt des Aktors bestimmt. Von Relevanz ist hier neben dem Volumen, welches maßgeblich durch den Hub und den Durchmesser bestimmt wird, die Rückstellkraft und Eigensteifigkeit des verwendeten Materials, sowie die Gestalt, beispielsweise die Anzahl der Falten. Während die Volumeneigenschaften über die Zeit gleich bleiben, können sich die Materialparameter über die Zeit verändern. Bei Elastomeren entweichen beispielsweise Weichmacher, welche den Aktor steifer machen. Ein häufig betätigter Aktor kann mit der Zeit aber ebenso weicher werden, da beispielsweise Knickbereiche der Falten an Widerstandskraft verlieren und so die vom Aktor ausgehende Gegenkraft verringert wird, was zu einer schnelleren Volumenverringern und damit zu einem anschließend steileren Vakuumverlauf führt. Da sich eine Änderung der Materialwerte an anderen Bereichen der Vakuumkennlinie auswirken, wie die Längenänderung oder der Masseneinfluss kann mittels der Vakuumkennlinie auch auf Alterungsprozesse des Aktors rückgeschlossen werden.

Weiter nimmt der Vakuumerzeuger Einfluss auf die Ausprägung der charakteristischen Verläufe, indem ein an das Volumen der Fluidaktoren angepasster Volumenstrom Änderungen hervorheben lässt oder in negativer Weise durch zu große Leistung quasi verschluckt.

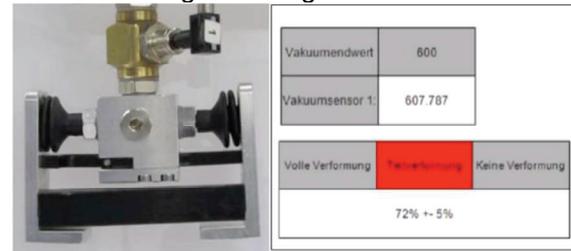
### Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit Versuchsaufbau 1

Als die den Handhabungsprozess maßgeblich beeinflussenden Faktoren wurde die Längenänderung  $\Delta L$  und die zu manipulierende Gewichtskraft  $M$  definiert. Weiter hat die Gestalt des fluidischen Aktors, wie Anzahl Falten und konstruktive Ausführung der Knickstellen, sowie Materialparameter wie Rückstellkraft und Eigenspannung einen bestimmenden Einfluss auf die Ausbildung der Verformung unter Last. Ferner bestimmt der

Verschleiß  $V$  des Faltenbalgs den Handhabungsprozess. Längenänderung  $\Delta L$ , Gewichtskraft  $M$  und Verschleiß  $V$  werden als diejenigen Parameter angesehen, die es über das entwickelte Verfahren im automatisierten Handhabungsprozess über die Analyse der Vakuumkennlinie zu bestimmen gilt.

### Verifizierung des Verfahrens

Die vielfältigen Erkenntnisse, welche mit dem Versuchsaufbau 1 gewonnen werden konnten, wurden im Versuchsaufbau 2, als prototypischer Aufbau in *Abb. 6* dargestellt, verifiziert. Dabei wurden unterschiedlich große Bauteile mit dem mechanischen Greifer gegriffen. Die Analyse der Vakuumkennlinie sollte demnach eine Bauteilerkennung ergeben. Hierzu wurden die Vakuumkennlinien der Extrema – Stellglieder auf Block und Stellglieder nicht verformt - in der Steuerung hinterlegt. Zu einem definierten Zeitpunkt  $t$  wird der Vakuumwert  $p_u$  gemessen und mit dem in der Steuerung hinterlegten Vakuumwerten abgeglichen. Woraufhin in der Auswerteeinheit über eine prozentuale Verformung des Aktors die Werkstückgröße festgestellt werden kann.



*Abb. 6: Versuchsaufbau 2 mit Auswerteeinheit beim Erfassen einer Verformung von 72% der Faltenbalgaktoren über einen Vakuumwert-Abgleich*

Die Untersuchungen mit Versuchsaufbau 2 konnten zeigen, dass es mit dem beschriebenen Verfahren möglich ist, eine Teileanwesenheit zu erfassen. Darüber hinaus konnte mittels Analyse des Vakuumverlaufs eine prozentuale Verformung der Faltenbalgaktoren festgestellt werden, welche es ermöglicht auf Basis der konstruktiven Parameter die Werkstückbreite zu berechnen.

### Weitere Anwendungen

Übergeordnet kann das Verfahren der Vakuumkennlinienanalyse in den bereits beschriebenen Greifsystemtypen zur Prozessüberwachung und Zustandsbestimmung verwendet werden. Weiter können die Werkstückeigenschaften erfasst werden, was es beispielsweise beim „Griff in die Kiste“ ermöglicht, Bauteile zu kategorisieren und dadurch bestenfalls zu

identifizieren, indem über die Vakuumkennlinie das Gewicht oder bei mechanischen Greifern die Breite des Werkstücks erfasst werden kann. Ferner kann über die Bauteilerkennung die für die Handhabung optimale Kraft eingestellt werden, indem der angelegte Unterdruck geregelt wird. Hierfür kann beispielsweise die verzögerte oder ausbleibende Stagnation des Vakuumwertes bei Faltenanlegung herangezogen werden.

Bei labilen oder empfindlichen Werkstücken kann durch Überwachung des Vakuumverlaufs vermieden werden, dass diese durch den Greifprozess in unzulässigem Maße verformt werden. Dies kann dadurch erreicht werden, dass während der Evakuierung auf eine definierte Vakuumkennlinie geregelt wird. Hierzu sollte der Volumenstrom des Unterdruckerzeugers anpassbar sein. Dies kann beispielsweise durch einen einstellbaren Strömungswiderstand erzielt werden, welcher das Greifsystem erweitert, oder der Unterdruckerzeuger kann sowohl im Vakuumwert als auch im Volumenstrom einstellbar sein.

Neben den Anwendungen in automatisierten Greifprozessen, ist es denkbar, dass die Kenntnisse über den Vakuumverlauf auch bei manuell getätigten Handhabungsanwendungen ihren Einsatz finden. Naheliegend sind hier Anwendungen, bei welchen ein unterdruckbetriebener Hubschlauch als Hebegerät eingesetzt wird, wie es in vielen Logistikprozessen der Fall ist.



Abb. 7: Potentielle Anwendung in manuellen unterdruckbetriebenen Hebegeräten zur Teile- und Prozesskontrolle

Hierbei kann über den Vakuumverlauf zum einen eine Teilekontrolle stattfinden, welche es ermöglicht unsichere Prozessbedingungen zu erfassen. Zum anderen kann das Werkstück, beispielsweise ein Paket, über das Handhabungsgerät gewogen werden. Die Zustandsaussage kann dem Bediener über

beispielsweise einer visuellen Ausgabereinheit am Bediengriff übermittelt werden.

In wie weit sich die aufgeführten Anwendungen umsetzen lassen, muss in weiteren Untersuchungen überprüft werden. Ebenso bietet die Analyse der Vakuumkennlinie in anderen, hier nicht explizit aufgeführten Anwendungen, Möglichkeiten der Prozessüberwachung.

### Integration in die Automation

Da einem Sensor-Aktor-Element ein charakteristischer Vakuumkennlinienverlauf zuzuordnen ist, muss dieser bei der Implementierung in eine Handhabungseinrichtung bekannt sein. Dies kann zum einen durch einen Teach-In-Prozess erfolgen, der bei Inbetriebnahme der Handhabungseinrichtung oder dem Wechsel des Fluidaktors stattfinden kann. Zum anderen können die Daten von einer Datenbank bereitgestellt und auf die Auswerteeinheit überspielt werden.

Soll über den Vakuumkennlinienverlauf auf Bauteileigenschaften geschlossen werden, kann ein zugehöriger Algorithmus im System hinterlegt werden, welcher es ermöglicht jedem Verlauf eindeutige Zustände zuzuordnen.

Die Zuordnung im System kann beispielsweise durch eine vom übergeordneten Steuerungssystem unabhängige Recheneinheit realisiert werden. In der Regel verfügt der Sensor, welcher zur Überwachung des Vakuums eingesetzt wird, bereits über einen Microcontroller. Dieser kann beispielsweise um eine Auswerteeinheit erweitert werden. So bleibt das Handhabungssystem unabhängig von übergeordneter Steuerungssoftware und ermöglicht eine schnellere und damit präzisere Auswertung.

Eine weitere Möglichkeit der effizienten Implementierung ist die Datenauswertung auf wenige definierte Zeitpunkte zu begrenzen. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass lediglich zu einzelnen festgelegten Zeitpunkten nach Start der Evakuierung der Vakuumwert gemessen und mit dem Basiswert verglichen wird (siehe Abb. 8). Auf Grund der Charakteristika der Kennlinie genügen wenige oder sogar nur ein einzelner Wert zu einem definierten Zeitpunkt  $t$  um genaue Aussagen über den Prozesszustand treffen zu können.

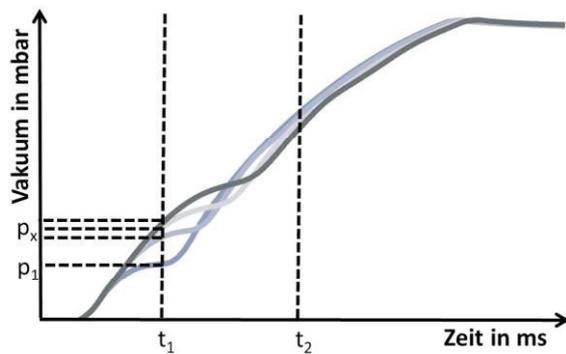


Abb. 8: Beispielhafte Auswertung des Vakuumverlaufs durch gezielte Auswahl weniger charakteristischer Messpunkte  $p_x(t_1)$

### Ausblick

Eine intensive Auseinandersetzung mit den Vakuumkennlinien kann ein Ableiten physikalischer Zusammenhänge ermöglichen, welche in Algorithmen erfasst werden können. Weiterführende Algorithmen zur genauen Berechnung des erwarteten Vakuumwertes zu einem definierten Zeitpunkt ermöglichen eine einfache Prozessintegration des Verfahrens in die automatisierte Handhabung. Auch können die Erkenntnisse dazu führen, dass bei der Auslegung und Auswahl des Greifsystems der Unterdruckerzeuger und die zugehörigen Komponenten derart gewählt werden, dass eine möglichst aussagekräftige Prozesskontrolle über den Vakuumverlauf ermöglicht wird. Weiter kann überprüft werden, in welchem Umfang sich die Ergebnisse, welche für vakuumbetriebene Faltenbalgaktoren gewonnen wurden, auf andere pneumatische Fluidaktoren übertragen lassen. Hier liegt es nahe, dass der Druckverlauf eines Überdruckgesteuerten Aktors vergleichbare Kennlinien abbildet. Dies gilt es in weiterführenden Untersuchungen zu evaluieren.

### Literaturnachweis

- [1] J. Gevatter, U. Grünhaupt, Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik in der Produktion; Springer (VDI); ISBN 978-3-540-21207-2
- [2] H. Czichos, Mechatronik (2015); Springer Vieweg; DOI 10.1007/978-3-658-09950-3
- [3] H. Janocha, Unkonventionelle Aktoren (2013); S.7f ;Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH; ISBN 978-3-486-71886-7
- [4] W.Roddeck, Einführung in die Mechatronik (1997); B.G. Teubner Stuttgart; DOI 10.1007/978-3-322-96736-7
- [5] E.Doering, H. Schedwill, M. Dehli, Grundlagen der Technischen Thermodynamik (2008); Vieweg + Teubner Verlag; ISBN 978-3-8351-0149-4

- [6] Komponenten für die Automatisierungstechnik – effiziente und nachhaltige Technologien (2012), VDMA; 1.Auflage;
- [7] J. Bischoff, Erschließen der Potenziale der Anwendungen von „Industrie 4.0“ im Mittelstand (2015); Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)
- [8] J. Schmalz GmbH, Stark Verbessert; S 52f; Artikel in MaschinenMarkt März 2013; Vogel Business Media GmbH Co. KG