

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	92 (2001)
<b>Heft:</b>	9
<b>Artikel:</b>	Flexible Fluidaktoren und ihre praktische Anwendung
<b>Autor:</b>	Schulz, Stefan / Pylatiuk, Christian / Bretthauer, Georg
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-855697">https://doi.org/10.5169/seals-855697</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Flexible Fluidaktoren und ihre praktische Anwendung

In der Automatisierungstechnik sind pneumatische und hydraulische Aktoren von elementarer Bedeutung [1]. Sie wurden bislang in den Bereichen Maschinenbau, Transportsysteme und Schwerindustrie eingesetzt und neuerdings auch in medizintechnischen Geräten. Der im folgenden Artikel vorgestellte neuartige flexible Fluidaktor unterscheidet sich grundlegend von

diesen konventionellen Aktoren: Er verbindet die Vorteile konventioneller Fluidaktoren bezüglich hoher Energiedichte und hoher Dynamik mit der Möglichkeit, durch die höhere Beweglichkeit komplexe Bewegungsabläufe zu erzielen. Auf Grund der kompakten Bauweise und

*Stefan Schulz, Christian Pylatiuk,  
Georg Brethauer*

günstigen Produktionskosten können eine Vielzahl von flexiblen Fluidaktoren in einen Roboter integriert werden.

Zur Konstruktion von komplexeren Antriebsmechanismen werden mathematische Berechnungsmodelle für das Kontraktions- und Expansionsverhalten

der Aktoren eingesetzt. Praktische Anwendungen finden sich in unterschiedlichen technischen Bereichen wie Medizin (Handprothesen, endoskopische Instrumente) oder Robotik.

## Mechanischer Aufbau

Das einzelne Aktorelement kann z.B. aus zwei Kunststofffolien bestehen, die so miteinander verschweisst sind, dass über einen Steuerkanal Luft oder Flüssigkeit in eine «Kammer» zugeführt werden kann, die das eigentliche Aktorelement bildet (Bild 1). Die «Kammer» verformt sich beim Befüllen dreidimensional. Bei diesem Vorgang wird Volumenarbeit in mechanische Bewegung umgewandelt

(Bild 2). Zwei Eigenschaften des Antriebselementes stehen dabei im Vordergrund:

### – Das Expansionsverhalten:

Wird der Fluidaktor befüllt, vergrößert sich sein Volumen, und die Höhe des Kammerelementes senkrecht zur Folienoberfläche nimmt zu. Diese Abstandsänderung der gegenüberliegenden Kammerflächen wird als Expansionseigenschaft bezeichnet.

### – Das Kontraktionsverhalten:

Durch das Befüllen des Fluidaktors verkürzt sich dieser in Querrichtung. Diese Verkürzung wird als Kontraktionseigenschaft bezeichnet.

Mit dem gleichen Aktorelement können verschiedene Gelenkvarianten hergestellt werden. Der prinzipielle Aufbau einer Variante nach dem Kontraktionsprinzip und einer nach dem Expansionsprinzip ist in Bild 3 ersichtlich. Die Verbindung mehrerer Aktorelemente und auch die gleichzeitige Nutzung von Expansion und Kontraktion erlauben die Konstruktion verschiedenartiger komplexer Antriebsmechanismen.

## Mathematische Berechnungsmodelle

Um komplexere Antriebsmechanismen aus flexiblen Fluidaktoren konstruieren zu können, sind mathematische Modelle erforderlich, mit denen sich die Verformungseigenschaften und die mit dem Aktor zu erzielenden Kraftwirkungen sowohl für die Expansion wie auch für die Kontraktion berechnen lassen.

### Expansionsmodell

Um die Kraftwirkung eines Fluidaktors in Abhängigkeit vom Plattenabstand sowie vom Innendruck berechnen zu können, ist es zunächst erforderlich, seine Geometrie in jeder Phase der Verformung mathematisch zu beschreiben. Bei der Expansion eines Fluidaktors zwischen zwei parallelen Platten kann davon ausgegangen werden, dass sich das in Kontakt mit den Platten befindliche Folienmaterial zu einem Teil direkt an diese flach andrückt. Das übrige Material spannt eine Membran zwischen den beiden Platten auf (Bild 4).

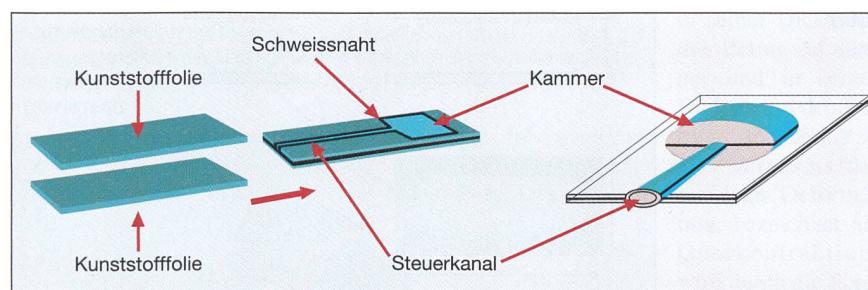


Bild 1 Aufbau eines Fluidaktors aus zwei Folienschichten

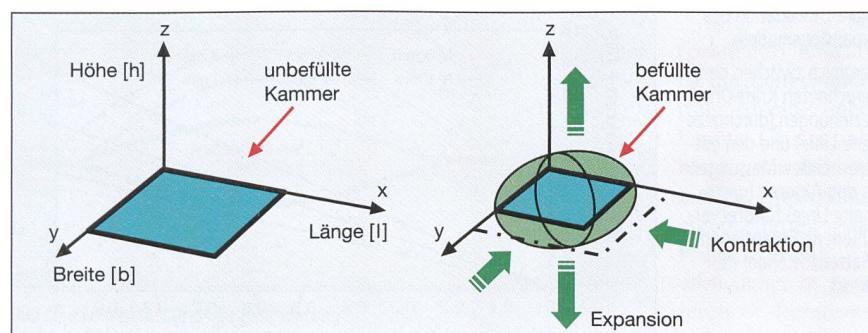


Bild 2 Formveränderung des Aktors beim Befüllen als Antriebsgrundlage



Bild 3 Schematische Gestaltung von Gelenken nach dem Kontraktions- bzw. dem Expansionsprinzip

Zur Berechnung der mechanischen Eigenschaften des Fluidaktors wurde der Zeitpunkt betrachtet, in dem der Fluidaktor maximal mit einem Druckmedium gefüllt ist. Das resultierende isoperimetrische<sup>1</sup> Randwertproblem kann dann mit der Lagrangeschen Multiplikatorenregel gelöst werden. Es ergibt sich eine halbkreisförmige Form des Folienmaterials zwischen den Platten nach Gleichung 1 (Bild 5).

$$\lambda^2 = \left(\frac{h}{2}\right)^2 \cdot \left[y + \sqrt{\left(\lambda^2 - \frac{h^2}{4}\right)^2}\right] \quad (1)$$

wobei gilt:

- $\lambda$ : Lagrangescher Multiplikator, entspricht hier dem Radius der kreisbogenförmigen Aktormembran
- $h$  [mm]: Sekante der Aktormembran, entspricht bei der Expansion der Aufpumphöhe bzw. dem Plattenabstand und bei der Kontraktion der Einspannlänge des Antriebselementes
- $x, y$  [mm]: kartesisches Koordinatensystem zur Darstellung der Aktorgeometrie, wobei die  $x$ -Achse die Spannweite der Aktormembran und  $y$  deren Höhe bezeichnet.

Unter dieser Annahme kann dann die Expansionskraft  $F$  auf die begrenzenden Platten aus dem Produkt der Plattenbeührungsfläche mit dem Fluidaktor und

dessen Innendruck  $p$  nach Gleichung 2 berechnet werden (Bild 6).

$$F = p \cdot \left[ \frac{\pi}{4} \cdot \left( l - \frac{\pi \cdot h}{2} \right)^2 + (b - l) \cdot \left( l - \frac{\pi \cdot h}{2} \right) \right] \quad (2)$$

wobei gilt:

- $F$  [N]: Expansionskraft des Fluidaktors auf die parallelen Platten, zwischen denen er aufgepumpt wird
- $p$  [N/mm<sup>2</sup>]: Fluiddruck, mit dem der Fluidaktor aufgepumpt wird
- $b$  [mm]: Breite des Fluidaktors
- $l$  [mm]: Länge des Fluidaktors in Expansionsrichtung
- $h$  [mm]: Höhe des Fluidaktors zwischen den Platten bzw. Plattenabstand

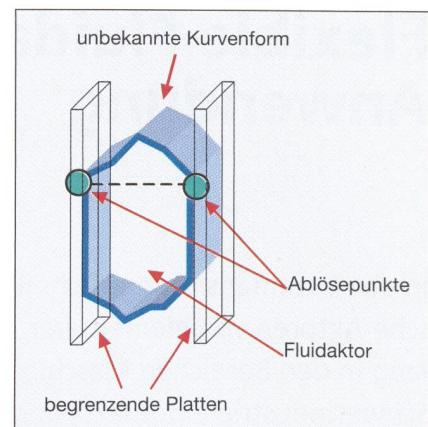


Bild 4 Querschnitt durch den Aktor während der Expansion

## Kontraktionsmodell

Zum Erzeugen einer Kontraktion wird die Membran des Aktors zwischen zwei Fixierungspunkten aufgepumpt, was zu einer Annäherung dieser Punkte führt (Bild 8).

Auch im Falle der Kontraktion ist die geometrische Form der Aktormembran ein Kreisbogen. Allerdings gibt es hier im Gegensatz zur Expansion keine geraden

Um das dargestellte Berechnungsmodell zu evaluieren, wurden verschiedene isometrische Kraft-Druck-Messungen für verschiedene Plattenabstände durchgeführt, die eine hohe Übereinstimmung mit den berechneten Werten ergeben. Beide zeigen eine lineare Beziehung zwischen der Expansionskraft  $F$  und dem im Aktor wirkenden Fluiddruck  $p$  (Bild 7).

Bild 5 Kreisbogen als maximale Fläche (A)

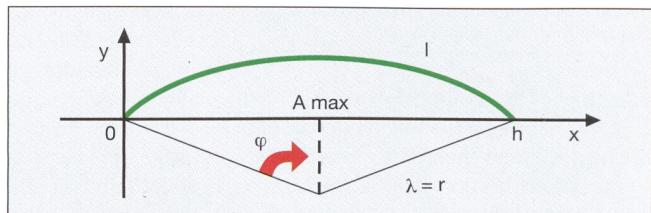


Bild 6 Querschnitte durch den Aktor zwischen zwei parallelen Platten

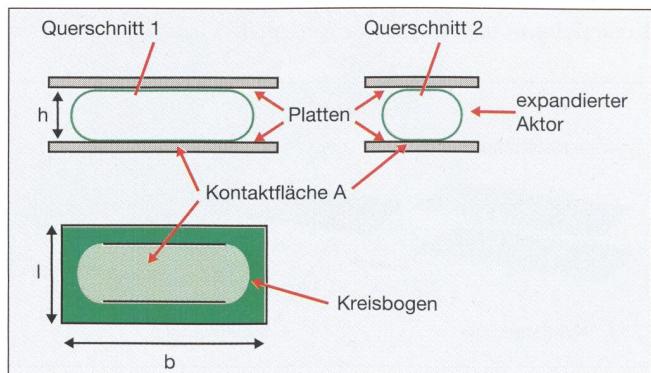
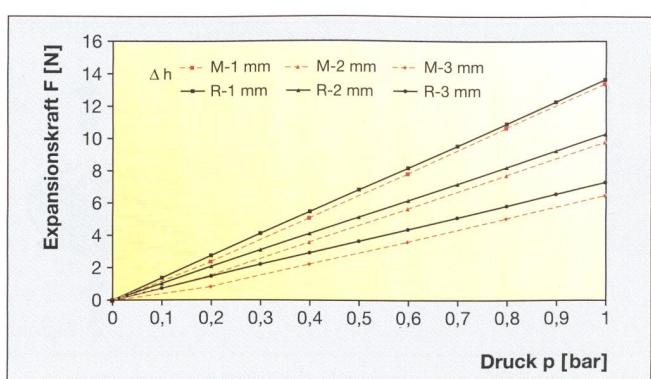


Bild 7 Evaluation des Expansionsmodells

Vergleich zwischen den berechneten Kraft-Druck-Beziehungen (durchgezogene Linie) und den entsprechenden Messungen an den Aktoren (gestrichelte Linie) für drei verschiedene Expansionen (Plattenabstände) des Aktors



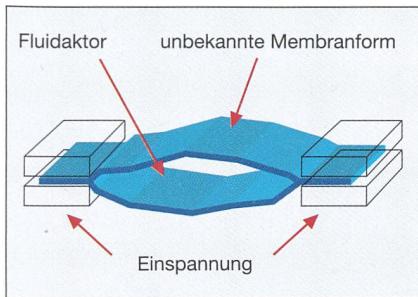


Bild 8 Querschnitt durch den kontrahierenden Aktor

Elemente der Membranoberfläche. Je nach Kontraktionszustand des Fluidaktors wird der Kreisbogen von einer an nähernd gestreckten bis halbkreisförmigen Kurve vollständig durchlaufen. Zur Berechnung der möglichen Kontraktionskräfte müssen die Wechselwirkungskräfte mit den Einspannungen berücksichtigt werden. Durch «Freischneiden» des Folienelementes an einem zu untersuchenden Abschnitt wer-

den dort die Schnittgrößen sichtbar (Bild 9).

Im geschilderten Fall muss ein Gleichgewicht zwischen den inneren und äusseren Kräften und Momenten bestehen. Die Kontraktionskraft  $F_f$  kann aus dem Gleichungssystem, das aus den Variablen des Schnittmodells (Fluidaktorlänge  $l$ , Befülldruck  $p$ , Membranhöhe  $y$ , Anstellwinkel  $\varphi$ ) besteht, berechnet werden. Daraus können aber keine exakten Werte für die resultierende Kontraktionskraft berechnet werden, da die elastischen Konstanten des Materials in die Berechnung eingehen müssen.

Der Zusammenhang zwischen der Zugkraft auf einen Körper und dessen Längenänderung findet Ausdruck im Hook'schen Gesetz. Seine Anwendung auf den Fluidaktor ist in Bild 10 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass für eine gegebene Kontraktionslänge durch die Ausdehnung des Folienmaterials auch eine Vergrösserung des Anstellwinkels bewirkt wird, was wiederum die Geometrie der Folie verändert.

Dagegen bleibt auch für ein elastisches Folienmaterial die gesamte Kreisbogenform erhalten.

Im Falle eines aufgepumpten Aktors wird das Folienmaterial durch die wirkenden Kräfte nicht nur in einer Richtung ausgedehnt, sondern auch in seiner Dicke um den Betrag  $\Delta d$  dünner und in seiner Breite  $b$  um den Betrag  $\Delta b$  verkürzt. Das Verhältnis der relativen Deformation, bezeichnet als Querkontraktion, wird durch die Poisson-Zahl  $\mu$  beschrieben.

Wie die zu berechnende Kraft  $F$  ist die Längenänderung  $\Delta l$  eine unbekannte Größe, abhängig von den speziellen Elastizitäts-eigenschaften des Folienmaterials. Sie wird daher in mehreren Iterations-schritten berechnet (Bild 11).

Das mathematische Modell für die Berechnung der Kontraktionskraft eines Fluidaktors unter Berücksichtigung seiner linear-elastischen Materialeigenschaften lautet wie folgt:

$$\Delta l_0 = 0 \quad (3)$$

$$\Delta l_{n+1} = \frac{p \cdot k \cdot l}{E \cdot d \cdot (1 - \frac{\Delta l_n}{l} \cdot \mu) \cdot \sin \sqrt{10 - \sqrt{\frac{120 \cdot k}{l + \Delta l_n} - 20}}} \quad (4)$$

ist  $\Delta l_{n+1} \neq \Delta l_n$  dann  $\Delta l_n = \Delta l_{n+1} \Rightarrow (4)$   
ist  $\Delta l_{n+1} = \Delta l_n$  dann  $\Rightarrow (5)$

$$F = \frac{p \cdot k}{\tan \sqrt{10 - \sqrt{\frac{120 \cdot k}{l + \Delta l_n} - 20}}} \cdot [b \cdot (1 - \frac{\Delta l_n}{l} \cdot \mu) - k \cdot \frac{1 - \cos \sqrt{10 - \sqrt{\frac{120 \cdot k}{l + \Delta l_n} - 20}}}{\sin \sqrt{10 - \sqrt{\frac{120 \cdot k}{l + \Delta l_n} - 20}}} \quad (5)$$

- $F$  [N]: Kontraktionskraft des dreidimensionalen Fluidaktors
- $p$  [N/mm<sup>2</sup>]: Fliddruck: Druck, mit dem der Fluidaktor aufgepumpt wird
- $l$  [mm]: Länge des Fluidaktors
- $b$  [mm]: Breite des Fluidaktors
- $d$  [mm]: Dicke des Folienmaterials
- $k$  [mm]: Länge des Fluidaktors im verkürzten Zustand
- $\mu$ : Poisson-Zahl bzw. Querkontraktion
- $E$  [N/mm<sup>2</sup>]: Elastizitätsmodul
- $\Delta l_n$  [mm]: Längenänderung der Folie als Vorlaufwert
- $\Delta l_{n+1}$  [mm]: Längenänderung der Folie durch Dehnung

Für den Winkel  $\varphi$  wurde die Taylor-Reihen-Approximierung verwendet. Sie lautet:

$$\varphi = \sqrt{10 - \sqrt{\frac{120 \cdot k}{l} - 20}} \quad (6)$$

Wie beim Expansionsmodell wurden die berechneten Werte mit gemessenen Daten verglichen (Bild 12).

Die relativ gute Übereinstimmung der Kurvenverläufe von Modellrechnung und Experiment zeigt, dass die aus den Modellrechnungen gewonnenen Daten zur Dimensionierung der Aktorgeometrie verwendet werden können.

## Praktische Anwendungen

### Künstliche Hände

Weltweit werden in Forschungslabors Roboter entwickelt, die dem Menschen (besonders älteren Menschen und solchen mit Behinderungen) bei der Bewältigung alltäglicher Tätigkeiten helfen sollen.

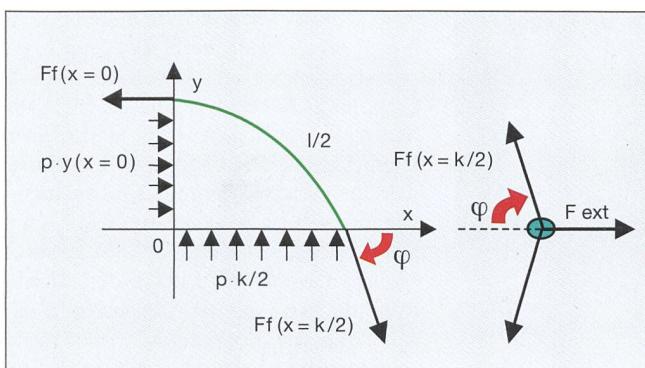


Bild 9 Variablen des Schnittmodells

$F_f$  = Kontraktionskraft der Membran;  $F_{ext}$  = Kontraktionskraft des Fluidaktors;  $p$  = Befülldruck;  $y$  = Höhe des Aktorelementes;  $\varphi$  = Anstellwinkel;  $x$  = Achse entlang der Kontraktionsrichtung;  $k$  = Abstand zwischen den beiden Einspannungen des Aktorelementes

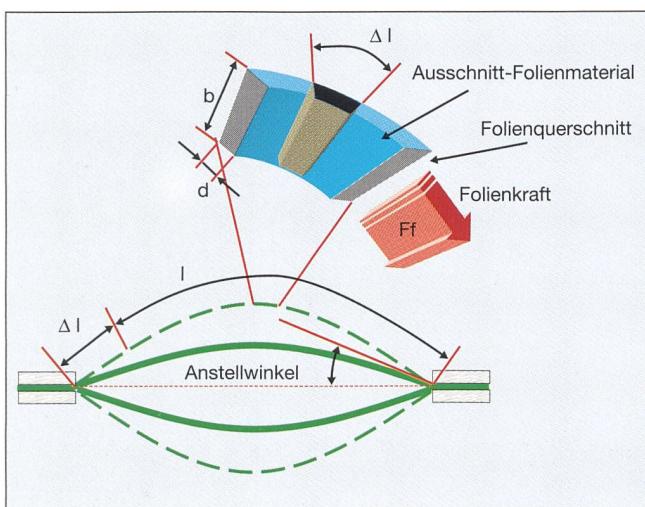


Bild 10 Folienkraft und Längenänderung

$l$  [mm] = Länge des Fluidaktors;  $\Delta l$  [mm] = Längenänderung der Folie durch Dehnung;  $b$  [mm] = Breite des Fluidaktors;  $d$  [mm] = Dicke des Folienmaterials

## Aktoren

Diese Roboter sind mit Greifsystemen ausgestattet, die eine Vielzahl unterschiedlicher Gegenstände greifen und handhaben sollen. Im direkten Kontakt mit dem Menschen muss zudem eine Sicherheit gewährleistet sein, die bei herkömmlichen Greifsystemen jedoch problematisch ist, da sie nicht flexibel sind und eine grosse Masse besitzen. Durch den Einsatz der im Forschungszentrum Karlsruhe entwickelten flexiblen Fluidaktoren konnte eine künstliche Hand realisiert werden, die sehr elastisch und äusserst beweglich ist und nur eine geringe Masse besitzt, so dass die Verletzungsgefahr minimiert wird (Bilder 13, 14).

Insgesamt 20 Fluidaktoren sorgen dafür, dass jeder der fünf Finger unabhängig jeweils eine  $180^{\circ}$ -Flexion und -Extension beschreiben kann und auch im Handgelenk eine Beugebewegung von  $30^{\circ}$  möglich ist. Die Fluidaktoren selber können an einen Drucksensor angeschlossen werden, so dass über eine Druckerhöhung im System auf die Gegenkraft geschlossen werden kann. Der einzelne Finger wiegt dabei weniger als 20 Gramm.

Ein weiteres Einsatzgebiet für künstliche, mit flexiblen Fluidaktoren angetriebene Hände ist die Prothetik. Nur ein kleiner Teil der Handprothesenträger ist bislang mit einer Prothese versorgt, die durch Fremdenergie bewegt wird. Die Mehrzahl ist mit einer rein kosmetischen oder gar keiner Handprothese versorgt. Untersuchungen ergaben zudem, dass etwa ein Drittel der Besitzer einer Handprothese diese nicht regelmäßig trägt. Die Gründe dafür liegen in der Unzulänglichkeit der verfügbaren Prothesen, die nur eingeschränkte Bewegungsmöglichkeiten mit unnatürlich wirkenden

Bild 12 Evaluation des Kontraktionsmodells

Vergleich zwischen den berechneten Kraft-Druck-Beziehungen (durchgezogene Linie) und den entsprechenden Messungen an den Aktoren (gestrichelte Linie) für drei verschiedene Kontraktionslängen  $\Delta l$  ( $M$  = Messung,  $R$  = Rechnung)

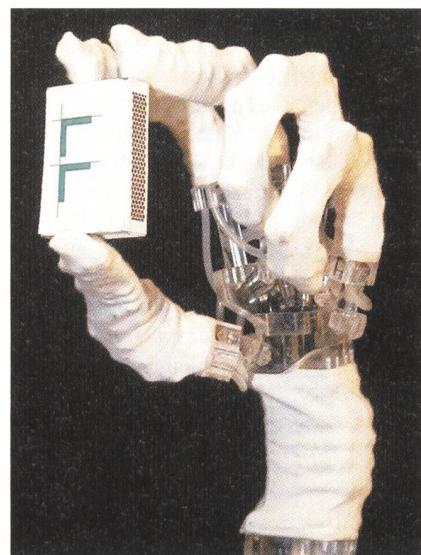
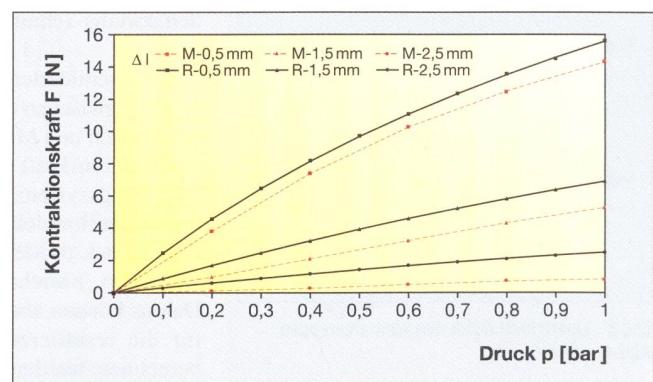


Bild 13 Künstliche Hand

Die künstliche Hand wird durch 18 Fluidaktoren nach dem Expansionsprinzip angetrieben und kann Gegenstände unterschiedlicher Form und Grösse greifen.

Bewegungsabläufen bieten und beim Händegeben auf Grund der verwendeten Materialien (Metall, Kunststoff, Holz) ein unnatürliches Härtegefühl spüren lassen. Außerdem sind herkömmliche Prothesen sehr schwer und ermüden den Träger. Durch die Verwendung flexibler Fluidaktoren und elastischer Oberflächenmaterialien konnte der Prototyp einer neuartigen Handprothese aufgebaut werden, der leichter und beweglicher als herkömmliche Handprothesen ist und sich beim Berühren natürlicher anfühlt.

### Endoskopie

Für die endoluminale Diagnose<sup>2</sup> und Therapie werden Instrumente mit immer grösserer Beweglichkeit benötigt, die zudem kompakt sein müssen. Mit herkömmlichen Bowdenzugantrieben<sup>3</sup> sind die konstruktiven Grenzen schnell erreicht. Auf der Basis flexibler Fluidaktoren konnte die Austrittsdüse eines Hochdruck-Wasserstrahlenschneiders rasch

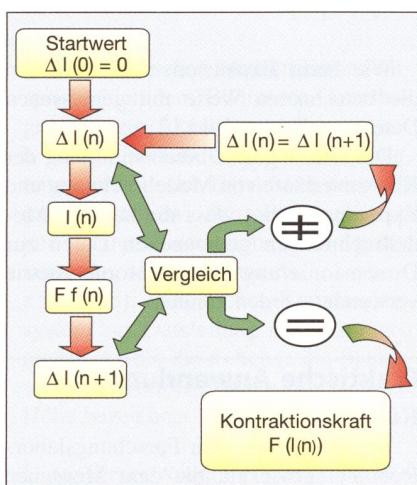


Bild 11 Iterationsschleife zur Berechnung der Kontraktionskraft  $F_f$  und zugehöriger Längenänderung  $\Delta l$

abgewinkelt werden, wie es zum gleichmässigen Schneiden von Gewebe benötigt wird.

Des Weiteren wurde ein Kamera-Aufnahmesystem für endoskopische Eingriffe entworfen, das nach dem Kontraktionsprinzip arbeitet und als Wegwerfartikel konzipiert ist.

Eine weitere Anwendung in diesem Bereich ist das fluidisch angetriebene Koloskop<sup>4</sup> (Bild 17). Das Gerät unterscheidet sich von konventionellen Koloskopen vor allem dadurch, dass es sich aus eigenem Antrieb durch den zu untersuchenden Darm bewegt und der Arzt die Steuerung mit dem Joystick übernehmen kann. Der Vorteil liegt vor allem darin, dass die Darmspiegelung damit schmerzfrei möglich ist, weil sich das Gerät selbstständig fortbewegt und sich durch seine Flexibilität und Elastizität den Darmkrümmungen anpasst. So entfällt das schmerzhafte Befradigen von Darm-schlingen durch das Vorschieben des relativ steifen herkömmlichen Koloskops. Außerdem kann auf die Schmerzmedikamentenabgabe vor der Untersuchung verzichtet werden.

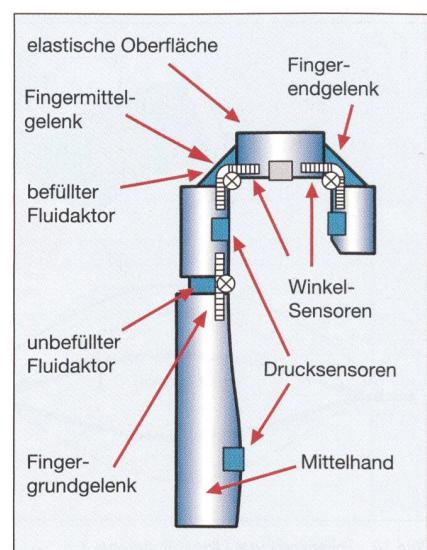


Bild 14 Schematischer Querschnitt durch die künstliche Hand

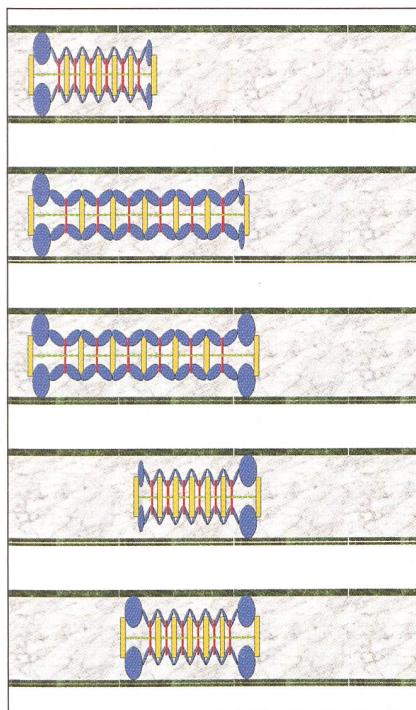


Bild 16 Funktionsprinzip der Inchworm-Fortbewegung

Das Koloskop setzt sich aus verschiedenen Teilsystemen zusammen: dem Visualisierungssystem und dem Antriebsmechanismus. Das Visualisierungssystem an der Koloskopspitze umfasst Kamera, Beleuchtung, Arbeits- und Spülkanal. Der Antriebsmechanismus funktioniert nach dem Bewegungsprinzip des Inchworm (Bild 16). An jedem Ende des Koloskops befindet sich ein Fluidaktor, der eine Fixierung an der Darmwand ermöglicht. Das Bewegungsmuster nach dem Inchworm-Prinzip beginnt mit der Füllung des proximalen<sup>5</sup> Aktors. Anschliessend streckt sich der distal<sup>6</sup> liegende Koloskopteil durch das Befüllen der mittleren Aktoren. Danach wird der distale Aktor befüllt und dadurch das Koloskop an der Darmwand fixiert. Erste Tests in einem annähernd realistisch auf-

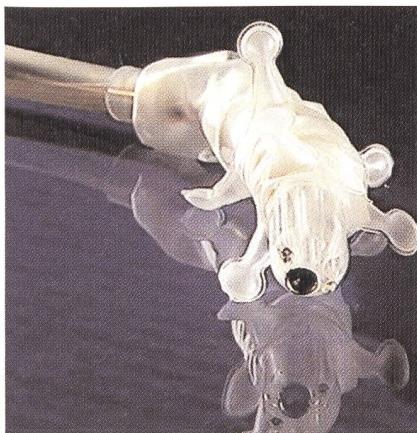


Bild 17 Koloskop

gebauten Darmmodell wurden mit positivem Ergebnis durchgeführt.

## Bio-Robotik

Dass sich flexible Fluidaktoren auch zur Animation grösserer Robotersysteme eignen, konnte anhand zweier Demonstratoren gezeigt werden. Mit der Konstruktion von «Black Spider» konnte eine kompakte, pneumatische achtbeinige Laufmaschine aufgebaut werden, die nicht auf eine externe Versorgung mit Druckluft und elektrischer Energie angewiesen ist. Das Funktionsprinzip der Antriebselemente orientiert sich dabei am biologischen Vorbild der Vogelspinne, die zum Strecken der Beine ein Fluidum in die Gelenke «pumpt». Es wurden dafür insgesamt 48 flexible Fluidaktoren in die Beine integriert, die ein aktives Heben und Senken sowie eine Vor- und Rückwärtsbewegung der Beine ermöglichen. Das Gerät kann preiswert in Serie gefertigt werden, da ausschliesslich einfache, robuste Elemente verwendet wurden. In Zukunft soll ein Navigationssystem in die Laufmaschine integriert werden.

Neun unabhängig voneinander steuerbare Antriebe bewegen den rund 3 kg schweren Kopf der etwa einen halben Meter hohen Schlange (Bild 18). Nach diesem Vorbild ist die Konstruktion neuartiger Inspektions- und Serviceroboter auf der Basis flexibler Fluidaktoren geplant, die in bislang nur schwer zugänglichen Umgebungen eingesetzt werden könnten.

## Referenz

- [1] H. Töpfer, A. Schwarz (Hrsg.): *Wissensspeicher Fluidtechnik*. Leipzig, Fachbuchverlag 1988.

## Weiterführende Literatur

A New Class of Flexible Fluidic Actuators and their Applications in Medical Engineering. *Automatisierungstechnik* 47(1999)8, S. 390–395, Oldenbourg-Verlag.

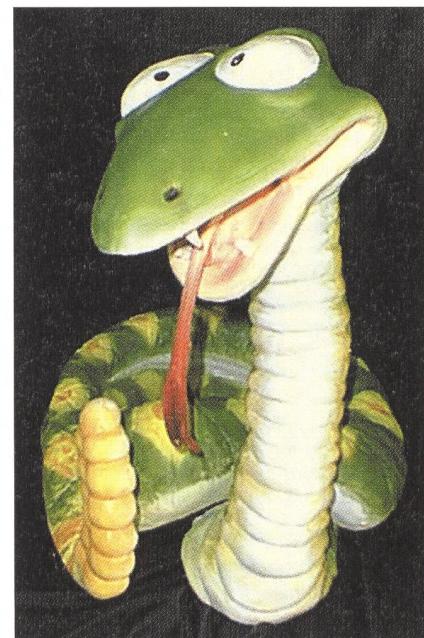


Bild 18 Die Schlange «Kaa»

S. Schulz, C. Pylatiuk, G. Bretthauer: Künstliche Hand mit flexiblen Fluidaktoren. *VDMA-Nachrichten* 11(2000), S. 27–28

## Links

Institut für Angewandte Informatik (IAI): [www.iai.fzk.de](http://www.iai.fzk.de)  
Fluidgruppe: [www.fzk.de/fluidgruppe](http://www.fzk.de/fluidgruppe)

## Adresse der Autoren

Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Angewandte Informatik (IAI), D-76021 Karlsruhe: Dipl. Ing. Stefan Schulz, schulz@iai.fzk.de, Dr. med. Christian Pylatiuk, pylatiuk@iai.fzk.de, Prof. Dr.-Ing. habil. Georg Bretthauer, bretthauer@iai.fzk.de

<sup>1</sup> Isoperimetrisch = von gleichem Ausmass (von Längen, Flächen und Körpern)

<sup>2</sup> Medizinische Untersuchungen in Hohlorganen wie Blutgefässen, Magen und Darm, Lufttröhre usw.

<sup>3</sup> Bei Bowdenzugantrieben wird meist über ein sehr dünnes, langes Metallseil eine Bewegung bzw. eine Kraft über eine längere Distanz übertragen.

<sup>4</sup> Gerät zur direkten Untersuchung des Grimmdarms. Die Abwickelung einer Koloskopspitze wird beispielsweise über vier Bowdenzüge realisiert.

<sup>5</sup> Proximal = der Körpermitte zu gelegen

<sup>6</sup> Distal = weiter von der Körpermitte entfernt

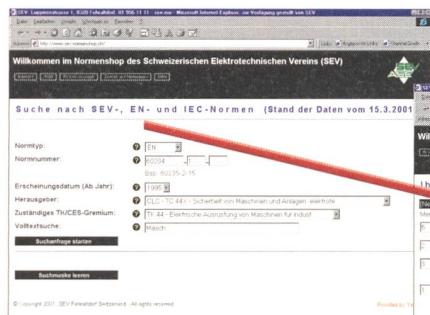
## Les actionneurs fluidiques et leur utilisation pratique

L'actionneur fluidique flexible et d'un genre nouveau présenté ici se distingue des actionneurs pneumatiques et hydrauliques conventionnels. En vue de la construction de mécanismes complexes d'entraînement, on a recours à des modèles de calcul mathématiques pour le comportement de contraction et d'expansion des actionneurs. On trouve des applications pratiques dans divers domaines techniques tels que la médecine (prothèses de la main, instruments endoscopiques) ou la robotique.

# Online-Bestellung von Normen beim SEV

## In nur 4 Schritten zu Ihrer Norm.

Ab sofort können Sie dank modernster Datenbanktechnik in über 11 000 Normen beim SEV recherchieren, suchen und bestellen.



1. recherchieren



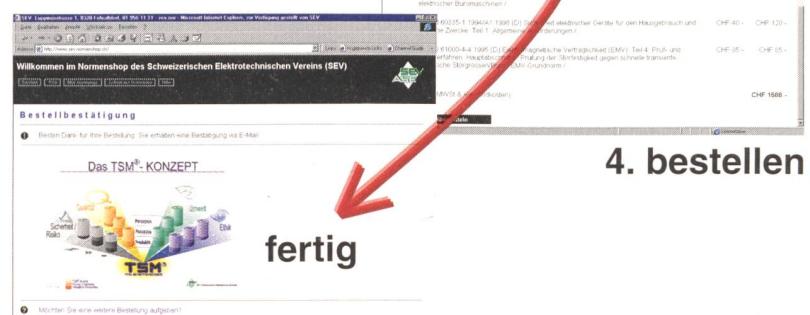
2. auswählen



3. Daten erfassen

[www.sev.normenshop.ch](http://www.sev.normenshop.ch)

[www.sev-tsm.ch](http://www.sev-tsm.ch)



4. bestellen

fertig

**In diesem Shop sind folgende aktuell gültigen Normen aus dem Fachgebiet Elektrotechnik enthalten:**

<b>International:</b>	IEC (International Electrotechnical Commission) Internationale Norm oder Technical Reports Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques
<b>Europa:</b>	CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) Europäische Norm Europäische Vornorm Harmonisierungsdokument Europäische Spezifikation
<b>National:</b>	CES (Comité Electrotechnique Suisse) Schweizerische Norm (nationale Norm)

**Wir freuen uns auf Ihren Besuch.  
Ihr Normen-Team.**

Ringkern-  
trafos  
Front-  
platten  
Folien-  
versorgungen  
Kabelver-  
schraubung  
Steck-  
verbinde  
Schilder  
Etiketten  
Spezial-  
etiketten  
Drucker  
Systeme  
Software

Fordern Sie den Katalog an

## Artenreich. Unübersehbar. Schilder

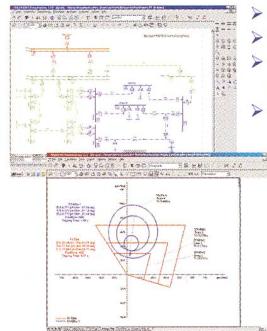


admin@suk.ch [www.suk.ch](http://www.suk.ch)



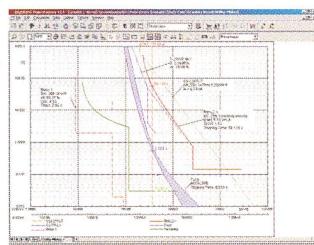
Ihr Partner  
für kompetentes  
Hoch- und Mittel-  
spannungs- Engineering

### DigSILENT - die Nummer 1, in der Simulation elektrischer Netze



- Interaktive Windows-Grafik
- GIS Integration
- Lastflussrechnung, Betriebs-Optimierung
- Fehlerberechnung (IEC 909, VDE 102, 103), Mehrfachfehler

- Transiente Vorgänge
- Stabilitätsberechnung
- Oberschwingungsanalyse



- Koordination von Überstrom- und Distanzschutz
- Übernahme von aktuellen Messpunkten zur Netz - Onlinesimulation
- Ankoppelung an NSE Datenbank über Standleitung oder Internet

NSE GmbH Schweiz  
Bremgarterstrasse 54  
5610 Wohlen

Tel: 056 621 92 92  
Fax: 056 621 92 82  
Mail: [info@nse.ch](mailto:info@nse.ch)

NEU!

Premium-Multimeter für  
anspruchsvolle Anwendungen

**FLUKE®**

### Entscheiden Sie sich für die neue Serie 180...

#### Vielseitige Messbereiche – hervorragende Genauigkeit

- Grundgenauigkeit 0,025 %
- Anzeigenumfang 50.000 Digits, Auflösung 1 µV
- 100-kHz-Bandbreite
- Erweiterte Messbereiche: 500 MΩ, 50.000 µF, 1 MHz

#### Beeindruckende Leistungsmerkmale

- Großes Multi-Display
- Echteffektiv-Messfunktionen
- PC-Schnittstelle und optionale Software

#### Sicherheit – Langlebigkeit – Zuverlässigkeit

- Lebenslange Gewährleistung
- Höchste Sicherheitsspezifikation – CAT III 1000 V / CAT IV 600 V
- ... oder für die extra robuste Serie 80

#### Hochwertig, leistungsstark und preiswert

Die Multimeter der Serie 80 III sind seit Jahren die bewährtesten Handmultimeter der Premium-Klasse – mit vielseitigen Messfunktionen und lebenslanger Gewährleistung. Ab CHF 440.00 \*  
\* zuzüglich MwSt.

**Fluke.** Damit Ihre Welt intakt bleibt



**01 580 75 00**

Weitere Informationen erhalten Sie hier  
oder bei Ihrem Fluke Distributor.

**Fluke (Switzerland) AG**

Industrial Division  
Leutschenbachstrasse 95, CH-8050 Zürich  
Telefon 01 580 75 00, Fax 01 580 75 01  
Internet: [www.fluke.ch](http://www.fluke.ch), e-mail: [info@ch.fluke.nl](mailto:info@ch.fluke.nl)

#### Lebenslange Gewährleistung

Damit Ihr Fluke Messgerät  
immer einsatzbereit ist  
Für Multimeter der  
Serie 20, 70, 80  
& 180



# Einen echten Kick für durchgängige Prozessketten gibts in der Schweiz nur einmal: 15. – 18. Mai 2001, Messe Zürich.

**ABB**  
ABB Flexible Automation AG

**afag**  
components

**Atlas Copco**

**BACHOFEN**  
Industrielle Automation

**BOSCH**  
Automation

**FANUC**  
Robotics

**FESTO**

**FLENDER**

**NORD**  
Getriebbau NORD

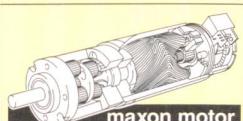
**KUKA**

**Lim@tec**



**KAESER**  
KOMPRESSOREN

*balzers*



**OMRON**

**PHÖNIX**  
CONTACT  
INNOVATION IN INTERFACE

**EME**  
AG MotionControl

**Rockwell**  
Automation

**SIBOS**



SSS-Fördertechnik AG

**steyer**antriebstechnik

**WAGO**  
INNOVATIVE CONNECTIONS

**Industrial  
Handling  
best**  
bewegen steuern

Senden Sie mir:  Ex. Besucherprospekt (gratis)  Ex. Messekatalog mit CD-ROM (Fr. 20.– plus Porto)

Vorname/Name:

Firma:

Adresse:

PLZ/Ort:

Senden an: Reed Messen (Schweiz) AG, Bruggacherstrasse 26, Postfach 185, CH-8117 Fällanden-Zürich  
Hotline +41 (0)1 806 33 88, Fax +41 (0)1 806 33 43, E-Mail: info@ih-best.ch, www.reed.ch