

# JUNGE

## wissenschaft

JungforscherInnen publizieren  
online | *peer reviewed* | original



Technik

## Weiche Roboter – die Helfer der Zukunft?

Optimierung eines künstlichen  
Muskels auf Silikon-Basis

*Soft Robotics ist ein Teilgebiet der Robotik, das sich mit der Entwicklung weicher Roboter beschäftigt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein aus der Literatur bekannter künstlicher Muskel aus Silikon optimiert, indem verschiedene Lösungsmittel und Drähte getestet wurden. Für Messungen wurde eine selbstentwickelte Methode eingesetzt.*



### DIE JUNGFORSCHERIN



**Flurina Zahn (1999)**

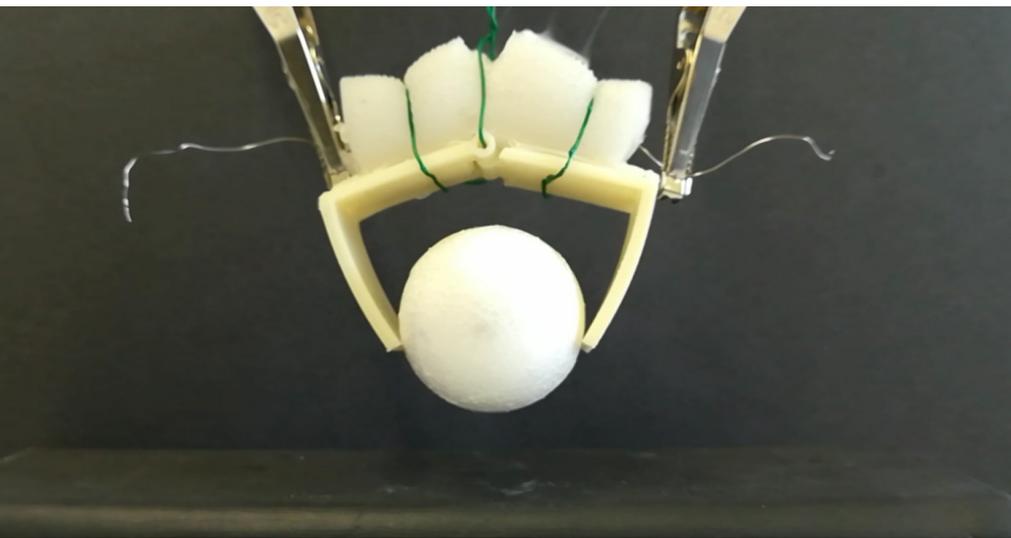
Regionales Gymnasium  
Laufental-Thierstein,  
Laufen

**Eingang der Arbeit:**

31.5.2020

**Arbeit angenommen:**

6.10.2020



# Weiche Roboter – die Helfer der Zukunft?

Optimierung eines künstlichen Muskels auf Silikon-Basis

## 1. Einleitung

### 1.1 Soft robotics

Seit einigen Jahren geben die sogenannten *soft robotics* dem Feld der Roboter und Maschinen eine ganz neue Richtung. Es sollen Roboter geschaffen werden, die sich ihrer Umwelt anpassen können. Dabei wird Inspiration aus der Natur und vor allem von Weichtieren gezogen [2].

Der Ursprung der Bewegung liegt dabei nicht mehr in elektrischen Motoren und komplizierten Mechanismen, sondern es werden neue Technologien entworfen, die die Roboter antreiben sollen. So werden oftmals kanalisierte Luftströme, Druckprozesse oder chemische Vorgänge benutzt, um die Roboter in Bewegung zu versetzen [2].

Diese Roboter bieten viele Vorteile. Einerseits sind sie nicht so sperrig wie die herkömmlichen Roboter und können deswegen gut im Kontakt mit Menschen eingesetzt werden beispielsweise als Pflegeroboter. Andererseits passen sich ihre Bewegungen durch ihre weiche Struktur von selbst an die Umwelt

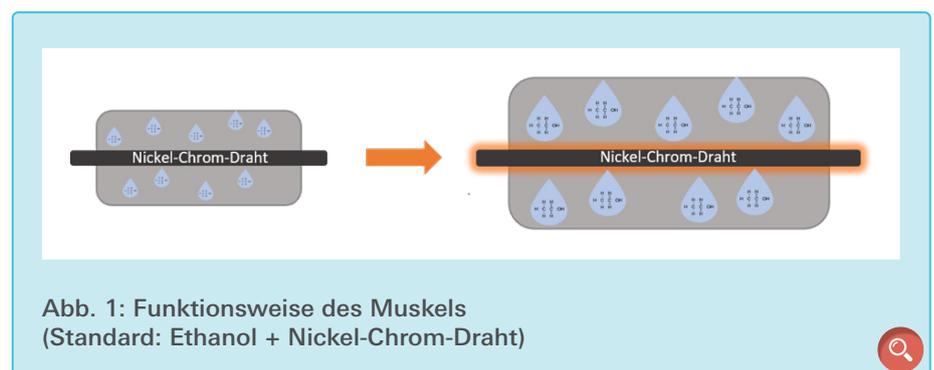
an, und es ist nicht mehr nötig, sie für verschiedene Situationen zu programmieren, da ein meist relativ einfacher Mechanismus immer wieder die gleichen Bewegungen auslöst [3].

Dieses Gebiet lässt viel Platz für neue Erfindungen und kreatives Denken und stellt Wissenschaftler aus aller Welt vor eine spannende Herausforderung. Vor allem die Kombination aus „harten“ und „weichen“ Robotern ist für die Zukunft sehr vielversprechend. So wäre der optimale Roboter hart, wenn es darum geht, große Kraftakte auszuführen. Ginge es allerdings darum, mit der Umwelt zu interagieren, würden die *soft robotics* ins Spiel kommen und dem Roboter das nötige Feingefühl geben.

### 1.2 Künstlicher Muskel auf Silikon-Basis

In [1] berichten Aslan Miriyev, Kenneth Stack und Hod Lipson der Columbia University New York über die Entwicklung eines künstlichen Muskels auf Silikon-Basis. Dabei war es das Ziel, einen möglichst einfachen Muskel zu entwerfen. Die Herstellung des Muskels dokumentierten sie in einem Video [1]. Zusätzlich wurde berichtet, dass für eine bessere Haltbarkeit die Muskeln in einem luftdicht verschlossenen Behälter aufbewahrt wurden.

Die Funktionsweise des Muskels beruht auf einem einfachen Prinzip. Ein Lösungsmittel (je nach Typ entweder Ethanol, Methanol oder Pentan) wird durch Rühren in das noch flüssige Silikon eingearbeitet. Dadurch bilden sich



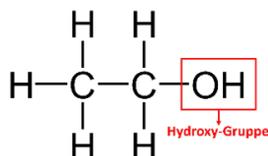


Abb. 2: Strukturformel von Ethanol

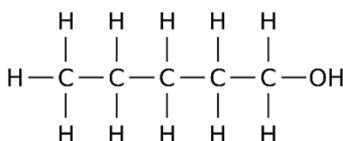


Abb. 3: Strukturformel von Pentan

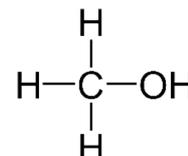


Abb. 4: Strukturformel von Methanol

kleine Bläschen im Silikon gefüllt mit diesem Lösungsmittel. Anschließend wird ein spiralförmiger Draht im Inneren des Muskels platziert und das Silikon zur Aushärtung beiseitegestellt.

Der Draht im Inneren des Silikons erwärmt sich beim Anschluss an ein Netzgerät und erhitzt gleichzeitig den Muskel. Wird die Siedetemperatur von beispielsweise Ethanol erreicht, verdampft dieses. Die Bläschen vergrößern sich und aufgrund der Elastizität des Silikons expandiert der Muskel.

Wird die Stromzufuhr abgestellt, kühlen der Draht und das Silikon ab und das verdampfte Lösungsmittel kehrt in den flüssigen Aggregatzustand zurück. Der Muskel kontrahiert. Entscheidend ist, dass die Chemikalie im gasförmigen Zustand nicht entfliehen kann, da sonst nach Abkühlung eine erneute Expansion unmöglich ist. [1]

Das Ziel dieser Arbeit ist es, den in [1] vorgestellten Muskel zu optimieren.

## 2. Auswahl der Komponenten

### 2.1 Lösungsmittel

Die Lösungsmittel wurden aufgrund ihrer unterschiedlichen Siedepunkte ausgesucht.

Ethanol ( $C_2H_5OH$ ) bildet aufgrund seiner Hydroxygruppe (siehe Abb. 2) ein Dipolmoment und somit eine starke Polarität aus [4], weswegen sein Siedepunkt bei  $78,4\text{ }^\circ\text{C}$  liegt [5].

Pentan ( $C_5H_{12}$ ) besteht nur aus Wasserstoff- und Kohlenstoffatomen, welche sich in ihrer Elektronegativität (Wasserstoff 2,2; Kohlenstoff 2,5) kaum unterscheiden. Somit entsteht kein Dipolmoment. Der Siedepunkt dieses unpolaren Lösungsmittels liegt bei  $36,1\text{ }^\circ\text{C}$  [5].

Auch Methanol ( $CH_4O$ ) gehört zur Gruppe der Alkohole [6]. Wie bei Ethanol ermöglicht es die polare Hydroxygruppe dem Molekül Wasserstoffbrücken auszubilden (siehe Abb. 4), was zu dem hohen Siedepunkt von  $64,7\text{ }^\circ\text{C}$  führt [5]. Die etwas tiefere Siedetemperatur als die von Ethanol lässt sich durch die schwächeren intermolekularen Van-der-Waals-Kräfte erklären [7].

### 2.2 Heizdrähte

Die verwendeten Drähte sind Heizleiterlegierungen und wurden ausgewählt, da sie sich besonders gut eignen, in E-Zigaretten Liquide zum Verdampfen zu bringen, was dem gleichen Prinzip entspricht, das beim Silikon-Muskel angewendet wird.

Es wurde ein Nickel-Chrom-Draht mit einem Durchmesser von  $0,25\text{ mm}$  und ein Kanthal-Draht mit einem Durchmesser von  $0,30\text{ mm}$  gewählt. Beim Clapton-Draht wird ein Kanthal-Draht um einen etwas dickeren Kanthal-Draht gewickelt [8] (siehe Abb. 5). Durch diesen Manteldraht wird die Oberfläche stark vergrößert und die Wärme wird dadurch besser und schneller geleitet.

### 2.3 Silikon

Handelsüblicher Silikonkautschuk wird üblicherweise als Ein- und Zweikomponentensystem angeboten. Bei dem in dieser Arbeit verwendeten Silikon handelt es sich um ein Zweikomponentensystem (häufig als RTV-2 – Raumtemperatur-Vernetzung – bezeichnet).

Das Silikon wird in zwei Teilen (A und B) geliefert und verfestigt sich erst nach Mischung dieser zwei Komponenten. Nach Zugabe der Härtekomponente vulkanisiert die flüssige Masse zu gummiartigem Silikon [9].

Als Vulkanisation wird ein Verfahren zur Vernetzung von Polymerketten bezeichnet [10]. Im Rahmen dieses Verfahrens werden Si-O-Si-Brücken (in Abb. 6 rot markiert) aus Si-OR und Si-OH hergestellt. Diese Si-O-Si-Brücken übertreffen C-C-Bindungen in ihrer Bindungsenergie deutlich, weswegen Silikone besonders stabil sind [9].



Abb. 5: Aufbau des Clapton-Drahts

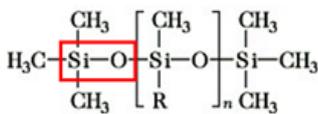


Abb. 6: Strukturformel von linearem Polysiloxan

### 3. Methoden

#### 3.1 Herstellung der Muskel

Bei der Herstellung der Muskel wurde nach Anleitung aus [1] gearbeitet: Das zu testende Lösungsmittel wurde in zwei Schritten mit dem Silikon (*Typ Ecoflex 00-50*) gemischt. Erst wurden 40 ml des Ethanol zu 20 g der Silikon-Komponente A hinzugefügt und kräftig gerührt, bis kein flüssiges Ethanol mehr zu erkennen war. Anschließend wurden weitere 60 ml Ethanol in die Komponente A gerührt. Schlussendlich wurden zu dem Ethanol-Komponenten-A-Gemisch 20 g der Komponente B gegeben und das fertige Silikon-Lösungsmittel-Gemisch in eine Form gegossen, die mittels eines 3D-Druckers hergestellt worden war. Der Draht wurde spiralförmig aufgewickelt und in der Form platziert. Das Silikon floss zwischen die Windungen des Drahts und verhinderte

somit einen Kurzschluss bei der Stromzufuhr. Die hergestellten Muskeln sind 3 cm × 1,5 cm × 1,5 cm groß.

#### 3.2 Messung der Volumenvergrößerung

Es wurden verschiedene Messmethoden ausprobiert. Bei der Schlauch-Methode wird die Kraft des Muskels über die Ausdehnung eines Schlauchs durch den Muskel gemessen. Diese lieferte ebenso wie die Glasrohr-Methode keine verwendbaren Messdaten. Als beste Methode erwies sich die Wasserbad-Methode.

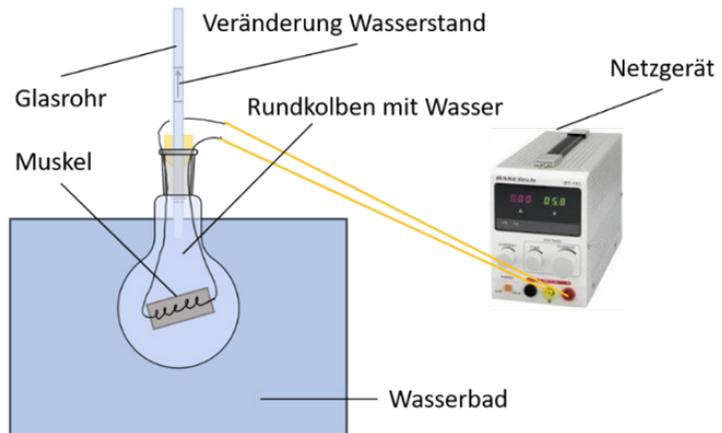


Abb. 7: Schematische Darstellung der Wasserbad-Methode

Abb. 7 zeigt den Aufbau der Wasserbad-Methode. Der Muskel befindet sich vollständig in einem mit Wasser gefüllten Rundkolben, auf dem über einen Pfropfen ein Röhrchen angebracht ist. Wird der Muskel erwärmt, vergrößert er sich und anhand des Anstiegs des Wasserspiegels im Röhrchen kann die Volumenvergrößerung des Muskels berechnet werden. Das Wasserbad verhindert zusätzlich, dass sich der Muskel direkt wieder abkühlt, was die Resultate verfälscht hätte.

Alle Muskeln wurden jeweils an ein Netzgerät angeschlossen, das auf 1,5 V eingestellt war.

Anhand dieser Methode konnte ein Vergleich der Volumenvergrößerung pro Zeit für jeden Muskel-Typ angestellt werden. Zudem wurde diese Methode verwendet, um die Alterung (Veränderung des Verhaltens mit der Zeit) der Muskel zu untersuchen. Dafür wurden sie nach ein, zwei, vier und acht Wochen nach der Herstellung vermessen.

#### 3.3 Auswahl und Herstellung von Testgerüsten

Nach Vorlagen in [1] wurden drei Testgerüste (siehe Abb. 8) hergestellt. Diese wurden mit dem Programm *Cinema 4D* entworfen und mit einem 3D-Drucker ausgedruckt.

Tab. 1: Zusammensetzung der untersuchten Muskeltypen

Muskel	Lösungsmittel	Draht
Muskel A	Ethanol	NiCr
Muskel B	Methanol	NiCr
Muskel C	Pentan95%	NiCr
Muskel D	Ethanol	Kanthal
Muskel E	Ethanol	Clapton
Optimierter Muskel	Methanol	Clapton

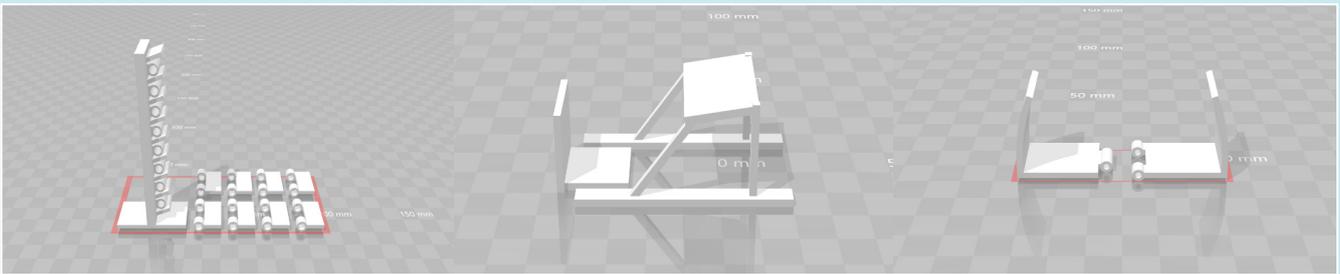


Abb. 8: Die drei Testgerüste. Von links nach rechts der Kletterroboter, der Schlittenroboter, der Klammerroboter.



## 4. Resultate

Tab. 1 gibt einen Überblick über die hergestellten und untersuchten Muskeltypen.

### 4.1 Expansion und Kontraktion

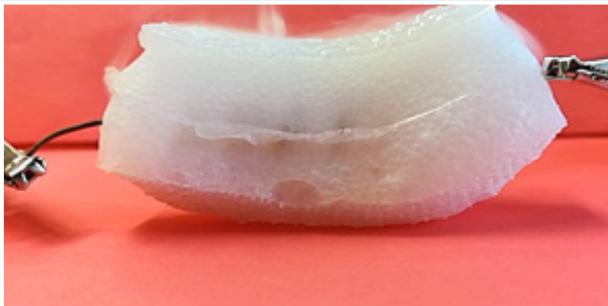
Bei Erwärmung der Drähte war klar zu erkennen, dass sich die Muskeln ausdehnen, also expandieren. Wie erwar-

tet wies der optimierte Muskel die besten Ergebnisse auf.

Bei den verschiedenen Muskeln fiel auf, dass die Platzierung des Drahtes einen großen Einfluss auf die Ausdehnung des Muskels hat. Wird der Draht eher am Rand des Muskels platziert, dehnt sich der Muskel stärker aus, als wenn er genau in der Mitte liegt. Wie aus dem Vergleich von Abb. 9 und Abb. 10 zu erken-

nen ist, verbiegt sich der Muskel. Dies könnte an der Platzierung des Drahtes oder einer ungleichen Verteilung des Lösungsmittels liegen.

Des Weiteren entwich bei allen Muskeln ein weißer Rauch, wenn die Stromzufuhr erfolgte.

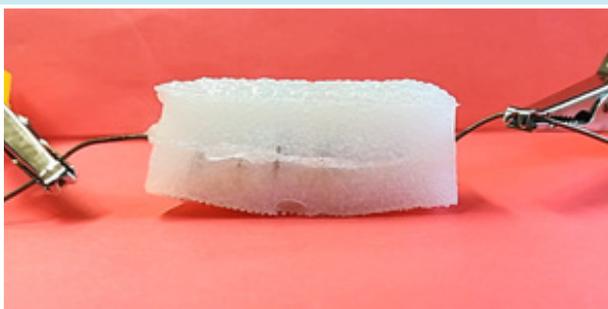


a) von der Seite

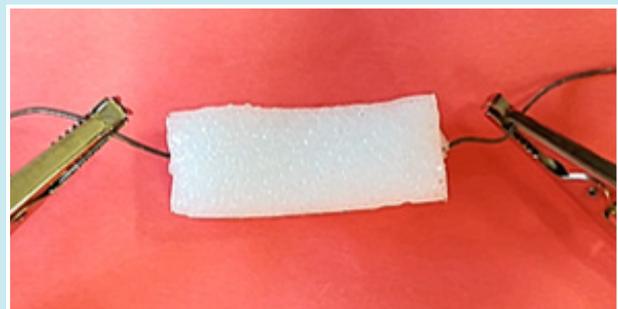


b) von oben

Abb. 9: Der optimierte Muskel im expandierten Zustand



a) von der Seite



b) von der Seite

Abb. 10: Der optimierte Muskel im kontrahierten Zustand



Tab. 2: Einzelmessungen für den Muskel A

Muskel A: Ethanol + Nickel-Chrom-Draht			
	Muskel 1	Muskel 2	Muskel 3
Zeit bis komplette Ausdehnung in s	178	190	183
$\Delta h$ in mm	30	34	35
$\Delta V$ in mm <sup>3</sup>	905,7	1026,5	1056,7
Volumen/Zeit in mm <sup>3</sup> /s	5,1	5,4	5,8

## 4.2 Volumenzunahme

Bei der Wasserbad-Methode wird gemessen, um wie viel Kubikmillimeter sich die verschiedenen Muskeltypen ausdehnen.

Den Berechnungen liegt folgende Formel zugrunde, wobei  $\Delta V$  die Volumenvergrößerung,  $r = 3,1$  mm der Radius des Glasrohrs und  $\Delta h$  der Unterschied in der Wasserhöhe ist:

$$\Delta V = \pi r^2 \Delta h$$

Tab. 2 zeigt beispielhaft die Messdaten des Muskels A und Abb. 11 zeigt die durchschnittliche Volumenzunahme für alle untersuchten Muskeltypen. Die durchschnittliche Volumenzunahme

pro Zeit für alle untersuchten Muskeltypen ist in Abb. 12 dargestellt. Da es nicht immer eindeutig war, wann die Muskeln vollständig ausgedehnt waren und dies einen erheblichen Einfluss auf die Resultate hat, sind diese Werte mit einem gewissen Fehler behaftet.

Man erkennt, dass mit dem Lösungsmittel Methanol die besten Ergebnisse erzielt werden. Die schnellste Ausdehnung erfolgte mit dem Clapton-Draht. Daher wurden für den Optimierten Muskel Methanol und Clapton kombiniert. Dieser Muskel erreichte für die Volumenvergrößerung pro Zeit eine 20,1-fache Verbesserung gegenüber dem Muskeltyp A aus Ethanol und Nickel-

Chrom.

## 4.3 Alterung

Bei den Haltbarkeitsversuchen war klar zu erkennen, dass die Expansionsfähigkeit der Muskeln nach dem ersten Gebrauch stark abnimmt (siehe Abb. 13). Es scheint jedoch keinen Unterschied zu bewirken, ob die Muskeln in einem verschlossenen, luftdichten Gefäß oder direkt an Luft aufbewahrt wurden.

Die Anfangswerte entsprechen den Volumenänderungen der untersuchten Muskeln beim ersten Versuch. Es handelt sich hier jedoch nicht um einen Durchschnittswert von drei Muskeln, sondern es wurde nur ein einzelner Muskel pro Typ und Aufbewahrungs-

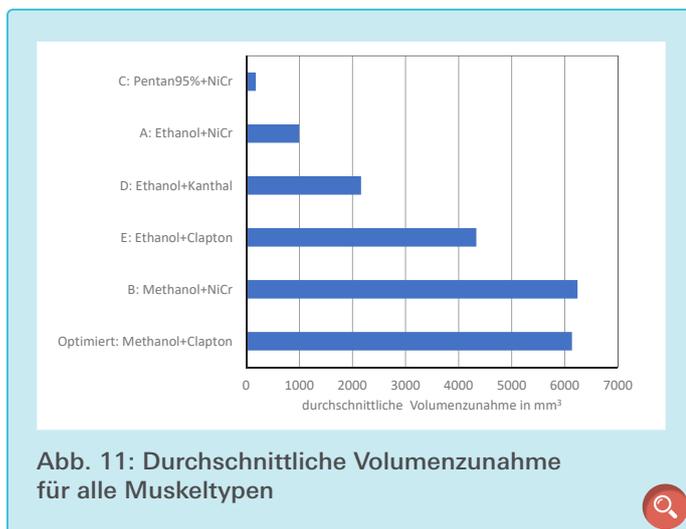


Abb. 11: Durchschnittliche Volumenzunahme für alle Muskeltypen

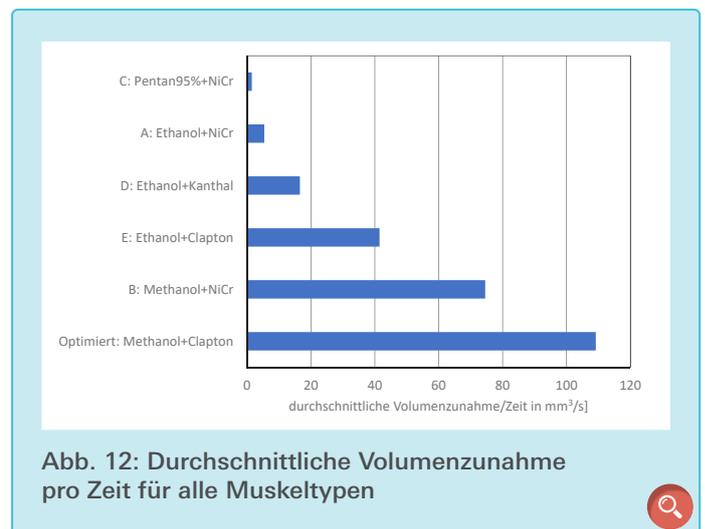
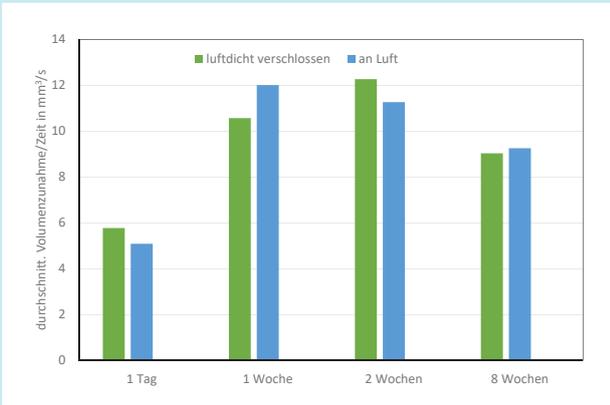
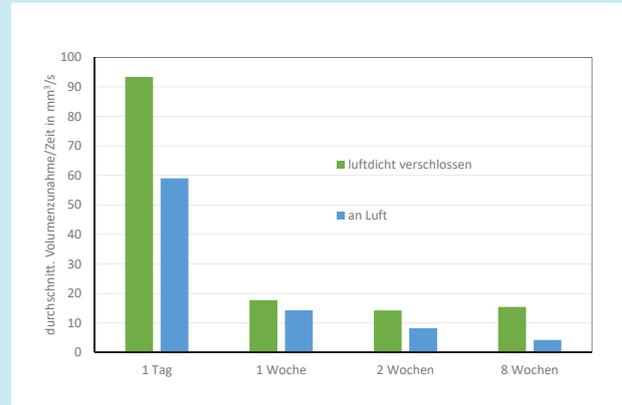


Abb. 12: Durchschnittliche Volumenzunahme pro Zeit für alle Muskeltypen



a) Ethanol + NiCr-Draht



b) Methanol + NiCr-Draht

Abb. 13: Alterung der Muskeltypen



methode untersucht. Die Differenz zwischen beispielsweise „Methanol luftdicht“ und „Methanol Luft“ kann über die individuellen Formen der einzelnen Muskeln erklärt werden. Wie im obigen Abschnitt erwähnt spielt die Platzierung des Drahts eine große Rolle in der Ausdehnungsfähigkeit.

#### 4.4 Einsatz in Testgerüst

Von den Testgerüsten stellte sich ausschließlich der Klammer-Roboter als funktionsfähig heraus. Er war in der Lage, einen Styropor-Ball zu greifen und ihn auch in der Luft festzuhalten. Die anderen zwei Testgerüste, der

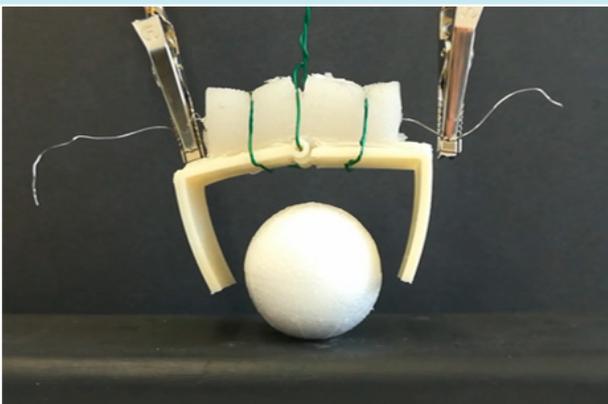
Schlitten-Roboter sowie der Kletter-Roboter, bedürfen starker Verbesserung.

#### 5. Diskussion

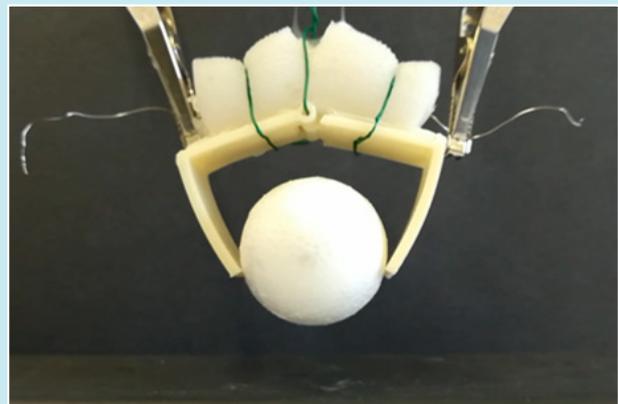
Die Fragestellung dieser Arbeit lautete: „Wie kann man einen künstlichen Muskel auf Silikon-Basis so optimieren, dass er eine möglichst hohe Leistungsfähigkeit beziehungsweise Schnelligkeit erlangt?“ Weiter kam die Frage auf, inwiefern man den hergestellten Muskel in einen Roboter integrieren kann.

Die Fragestellung konnte nur teilweise beantwortet werden. Der Vergleich

zwischen den verschiedenen Muskeltypen wurde anhand des Ausdehnungsvolumens pro Zeit angestellt. Aufgrund von Schwierigkeiten bei der Entwicklung von Messmethoden konnte die Leistungsfähigkeit (wie diese gemessen wird, wäre von der Messmethode abhängig) beziehungsweise Schnelligkeit (das heißt, die Zeit, die der Muskel bis zur fertigen Ausdehnung beziehungsweise erneuten Kontraktion benötigt) nicht untersucht werden. Weitere Experimente, die im Folgenden angesprochen werden, würden dazu genauere Aussagen liefern.



a) Ausgangsposition



b) Zugreifen bei expandiertem Muskel

Abb. 14: Einsatz des Optimierten Muskels im Klammer-Roboter



## 5.1 Lösungsmittel

Pentan erzielte trotz des tiefsten Siedepunkts die schlechtesten Ergebnisse: Der Pentan-Muskel dehnte sich kaum aus. Die Ursache dafür könnte beim Mischprozess liegen. Es ist gut möglich, dass ein Großteil des Pentans bereits beim Mischen verdampft ist, da dort Wärme entsteht. Somit wäre es gar nicht ins Silikon eingearbeitet worden, was erklären würde, wieso sich diese Art von Muskel kaum ausdehnt.

Bezüglich der Lösungsmittel wäre es interessant, eine Tropfenanalyse der verschiedenen Muskeltypen anzulegen. Bei der Tropfenanalyse würden mehrere Querschnitte durch den Muskel angefertigt werden. Für jeden Querschnitt würde die Anzahl der zu erkennenden Tropfen mit Lösungsmittel ausgezählt werden. Die Querschnitte könnten zu einem Bild der Verteilung der Tropfen im Muskel zusammengesetzt werden. Dies vor und nach dem ersten Gebrauch zu machen, würde zudem Aufschlüsse über die Abnutzung der Muskeln liefern.

## 5.2 Drähte

[Abb. 11](#) zeigt, dass die Volumenzunahme bei den Muskeln mit Methanol am höchsten ist. Die Muskeln mit NiCr-Draht und Clapton-Draht liegen dabei etwa gleich auf und erreichen etwa eine sechsfache Vergrößerung gegenüber dem Originalmuskel aus Ethanol und NiCr. Einen deutlichen Unterschied sieht man bei der Volumenzunahme pro Zeit in [Abb. 12](#): Hier zeigt der Optimierte Muskel mit Methanol und Clapton-Draht deutlich die besten Ergebnisse. Der Clapton-Draht beschleunigt ganz offensichtlich die Ausdehnung. Dies liegt offensichtlich an dem besonderen Aufbau des Clapton-Drahts.

Die absoluten Werte aus [Abb. 12](#) enthalten jedoch einen gewissen Fehler, da nicht immer klar zu erkennen war, wann

die Ausdehnung abgeschlossen war. Bei weiteren Versuchen wäre es sinnvoll, die Stromzufuhr nach einer gewissen Zeit auszuschalten und die Volumenzunahme zu dokumentieren. Dies würde aussagekräftigere Resultate erlauben.

Eine spannende Weiterentwicklung des Muskels könnte sein, beispielsweise mehrere Drähte pro Muskel einzuarbeiten oder die Lage der Drähte zu verändern, da sich gezeigt hat, dass nicht-zentral platzierte Drähte zu einer größeren Ausdehnung führen.

## 5.3 Silikon

Das verwendete Silikon eignete sich sehr gut zur Herstellung der Muskel. Als weiterführende Experimente wäre es sowohl interessant, die Porosität des Silikons zu prüfen, als auch dessen Gasdurchlässigkeit. Eventuell könnte eine andere Art von Silikon oder gar ein anderes Material ausprobiert werden. Zusätzlich könnte ein wärmeleitendes Material in das Silikon eingearbeitet werden.

## 5.4 Haltbarkeit

Die Daten der Haltbarkeits-Versuche lassen sich schwer deuten, wie in [Abb. 13](#) zu erkennen ist. Vermutlich ist die Wasserbad-Methode für so kleine Unterschiede in der Volumenvergrößerung, wie sie für die verschiedenen Messungen entstanden, zu ungenau. Es wäre zudem sinnvoller gewesen, die Volumenvergrößerung nach einer zuvor definieren Zeiteinheit zu dokumentieren, anstatt auf das Ende der Expansion zu warten, da dieses nicht immer klar ersichtlich war.

## 5.5 Testgerüste

Leider erwies sich nur der Klammer-Roboter als funktionsfähig. Bei dem Schlitten-, sowie auch dem Kletter-Roboter müsste an den Winkeln und bei dem Schlitten-Roboter an der Aufla-

ge, auf der er sich bewegt, gearbeitet werden. Da es aber ein sehr aufwendiger Prozess war, die Roboter zu gestalten und auszudrucken, wurde dies nicht umgesetzt.

## 6. Zusammenfassung

Im Rahmen der Arbeit wurden sechs verschiedene Muskel-Typen miteinander verglichen. Da für jeden Muskeltyp drei Muskel hergestellt wurden, konnten anhand der Wasserbad-Methode aussagekräftige Resultate gewonnen werden. Anhand dieser wurde festgestellt, dass sich als Lösungsmittel vor allem Methanol besonders gut geeignet. Der Clapton-Draht erwies sich dank seines speziellen Aufbaus als gute Alternative zum Nickel-Chrom-Draht.

Der Optimierte Muskel mit Methanol und Clapton-Draht erreichte für die Volumenvergrößerung pro Zeit eine 20,1-fache Verbesserung gegenüber dem Muskeltyp A aus Ethanol und NiCr.

Die Implementierung in die Testgerüste war weniger erfolgreich. Es wäre jedoch spannend, diese Versuchsreihe aufzugreifen, um zu sehen, welche Möglichkeiten der Optimierte Muskel bietet.

## 7. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei Peter Sandmeier bedanken, der mir die Idee für dieses Maturaarbeitsthema vorschlug und mir immer tatkräftig und mit interessanten Einfällen half, wenn ich mal nicht weiterwusste. Herzlicher Dank gilt auch Maurizio Gullo, der mich während des Wettbewerbs von Schweizer Jugend forscht unterstützte, und mir sein Labor zur Verfügung stellte und die Arbeit kritisch begutachtete. Außerdem möchte ich mich bei Monika Fluri und Roland Zumsteg bedanken, die mich mit ihrem technischen Wissen immer wieder unterstützten. Weiterer Dank gilt Urs Meier und Joël Vöglin, die mir bei meinen Versuchen mit dem 3D-Drucker zur Seite standen. Auch meinen Eltern und Paul Klösel möchte ich herzlich für ihre Unterstützung danken.

## Literatur-Verzeichnis

- [1] Aslan Miriyev, Kenneth Stack u. a. 2017. „soft material for soft actuators“, nature communications, Columbia University New York. <https://www.nature.com/articles/s41467-017-00685-3> (23.9.18)
- [2] Jens Lubaadeh. Softies mit Zukunft. <https://www.nzz.ch/wissenschaft/robotik-softies-mitzukunftld.1292598> (23.9.18)
- [3] Helen Shen. Die Softies kommen. <https://www.spektrum.de/news/weiche-roboter-nachdem-vorbildwirberlloser-tiere/1406588> (12.9.18)
- [4] Harold Hart, Leslie Craine u. a. 2007. Organische Chemie. Wiley. Weinheim. S. 329
- [5] Claudia Synowietz, Klaus Schäfer. 1984. Chemiker-Kalender. Springer. Berlin.
- [6] Harold Hart, Leslie Craine u. a. 2007. Organische Chemie. Wiley. Weinheim. S. 257
- [7] Harold Hart, Leslie Craine u. a. 2007. Organische Chemie. Wiley. Weinheim. S. 59
- [8] O. A. Clapton-Coil. <https://www.dampferzuflucht.de/wiki:clapton-coil> (30.8.2018)
- [9] O. A. 2011. Silicone – Verbindungen und Eigenschaften. Wacker Chemie AG. München. <https://www.wacker.com/h/en-cn/medias/6415-DE-Silicone.pdf> (30.8.2018)
- [10] Ian Smallwood. 1996. Handbook of organic solvent properties. Hodder Headline. England S. 66

# Publiziere auch Du hier!

Forschungsarbeiten von  
Schüler/Inne/n und Student/Inn/en

In der Jungen Wissenschaft werden Forschungsarbeiten von SchülerInnen, die selbstständig, z. B. in einer Schule oder einem Schülerforschungszentrum, durchgeführt wurden, veröffentlicht. Die Arbeiten können auf Deutsch oder Englisch geschrieben sein.

## Wer kann einreichen?

SchülerInnen, AbiturientInnen und Studierende ohne Abschluss, die nicht älter als 23 Jahre sind.

## Was musst Du beim Einreichen beachten?

Lies die [Richtlinien für Beiträge](#). Sie enthalten Hinweise, wie Deine Arbeit aufgebaut sein soll, wie lang sie sein darf, wie die Bilder einzureichen sind und welche weiteren Informationen wir benötigen. Solltest Du Fragen haben, dann wende Dich gern schon vor dem Einreichen an die Chefredakteurin Sabine Walter.

Lade die [Erstveröffentlichungserklärung](#) herunter, drucke und fülle sie aus und unterschreibe sie.

Dann sende Deine Arbeit und die Erstveröffentlichungserklärung per Post an:

### Chefredaktion Junge Wissenschaft

Dr.-Ing. Sabine Walter  
Paul-Ducros-Straße 7  
30952 Ronnenberg  
Tel: 05109 / 561508  
Mail: [sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de](mailto:sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de)

## Wie geht es nach dem Einreichen weiter?

Die Chefredakteurin sucht einen geeigneten Fachgutachter, der die inhaltliche Richtigkeit der eingereichten Arbeit überprüft und eine Empfehlung ausspricht, ob sie veröffentlicht werden kann (Peer-Review-Verfahren). Das Gutachten wird den Euch, den AutorInnen zugeschickt und Du erhältst gegebenenfalls die Möglichkeit, Hinweise des Fachgutachters einzuarbeiten.

Die Erfahrung zeigt, dass Arbeiten, die z. B. im Rahmen eines Wettbewerbs wie **Jugend forscht** die Endrunde erreicht haben, die besten Chancen haben, dieses Peer-Review-Verfahren zu bestehen.

Schließlich kommt die Arbeit in die Redaktion, wird für das Layout vorbereitet und als Open-Access-Beitrag veröffentlicht.

## Was ist Dein Benefit?

Deine Forschungsarbeit ist nun in einer Gutachterzeitschrift (Peer-Review-Journal) veröffentlicht worden, d. h. Du kannst die Veröffentlichung in Deine wissenschaftliche Literaturliste aufnehmen. Deine Arbeit erhält als Open-Access-Veröffentlichung einen DOI (Data Object Identifier) und kann von entsprechenden Suchmaschinen (z. B. BASE) gefunden werden.

Die Junge Wissenschaft wird zusätzlich in wissenschaftlichen Datenbanken gelistet, d. h. Deine Arbeit kann von Experten gefunden und sogar zitiert werden. Die Junge Wissenschaft wird Dich durch den Gesamtprozess des Erstellens einer wissenschaftlichen Arbeit begleiten – als gute Vorbereitung auf das, was Du im Studium benötigst.



# Richtlinien für Beiträge

Für die meisten Autor/Inn/en ist dies die erste wissenschaftliche Veröffentlichung. Die Einhaltung der folgenden Richtlinien hilft allen – den Autor/innen/en und dem Redaktionsteam

Die Junge Wissenschaft veröffentlicht Originalbeiträge junger AutorInnen bis zum Alter von 23 Jahren.

- Die Beiträge können auf Deutsch oder Englisch verfasst sein und sollten nicht länger als 15 Seiten mit je 35 Zeilen sein. Hierbei sind Bilder, Grafiken und Tabellen mitgezählt. Anhänge werden nicht veröffentlicht. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis zählen nicht mit.
- Formulieren Sie eine eingängige Überschrift, um bei der Leserschaft Interesse für Ihre Arbeit zu wecken, sowie eine wissenschaftliche Überschrift.
- Formulieren Sie eine kurze, leicht verständliche Zusammenfassung (maximal 400 Zeichen).
- Die Beiträge sollen in der üblichen Form gegliedert sein, d. h. Einleitung, Erläuterungen zur Durchführung der Arbeit sowie evtl. Überwindung von Schwierigkeiten, Ergebnisse, Schlussfolgerungen, Diskussion, Liste der zitierten Literatur. In der Einleitung sollte die Idee zu der Arbeit beschrieben und die Aufgabenstellung definiert werden. Außerdem sollte sie eine kurze Darstellung schon bekannter, ähnlicher Lösungsversuche enthalten (Stand der Literatur). Am Schluss des Beitrages kann ein Dank an Förderer der Arbeit, z. B. Lehrer und Sponsoren, mit vollständigem Namen angefügt werden. Für die Leser kann ein Glossar mit den wichtigsten Fachausdrücken hilfreich sein.
- Bitte reichen Sie alle Bilder, Grafiken und Tabellen nummeriert und zusätzlich als eigene Dateien ein. Bitte geben Sie bei nicht selbst erstellten Bildern, Tabellen, Zeichnungen, Grafiken etc. die genauen und korrekten Quellenangaben an (siehe auch [Erstveröffentlichungserklärung](#)). Senden Sie Ihre Bilder als Originaldateien oder mit einer Auflösung von mindestens 300 dpi bei einer Größe von 10 · 15 cm! Bei Grafiken, die mit Excel erstellt wurden, reichen Sie bitte ebenfalls die Originaldatei mit ein.
- Vermeiden Sie aufwendige und lange Zahlentabellen.
- Formelzeichen nach DIN, ggf. IUPAC oder IUPAP verwenden. Gleichungen sind stets als Größengleichungen zu schreiben.
- Die Literaturliste steht am Ende der Arbeit. Alle Stellen erhalten eine Nummer und werden in eckigen Klammern zitiert (Beispiel: Wie in [12] dargestellt ...). Fußnoten sieht das Layout nicht vor.
- Reichen Sie Ihren Beitrag sowohl in ausgedruckter Form als auch als PDF

ein. Für die weitere Bearbeitung und die Umsetzung in das Layout der Jungen Wissenschaft ist ein Word-Dokument mit möglichst wenig Formatierung erforderlich. (Sollte dies Schwierigkeiten bereiten, setzen Sie sich bitte mit uns in Verbindung, damit wir gemeinsam eine Lösung finden können.)

- Senden Sie mit dem Beitrag die [Erstveröffentlichungserklärung](#) ein. Diese beinhaltet im Wesentlichen, dass der Beitrag von dem/der angegebenen AutorIn stammt, keine Rechte Dritter verletzt werden und noch nicht an anderer Stelle veröffentlicht wurde (außer im Zusammenhang mit **Jugend forscht** oder einem vergleichbaren Wettbewerb). Ebenfalls ist zu versichern, dass alle von Ihnen verwendeten Bilder, Tabellen, Zeichnungen, Grafiken etc. von Ihnen veröffentlicht werden dürfen, also keine Rechte Dritter durch die Verwendung und Veröffentlichung verletzt werden. Entsprechendes [Formular](#) ist von der Homepage [www.junge-wissenschaft.ptb.de](http://www.junge-wissenschaft.ptb.de) herunterzuladen, auszudrucken, auszufüllen und dem gedruckten Beitrag unterschrieben beizulegen.
- Schließlich sind die genauen Anschriften der AutorInnen mit Telefonnummer und E-Mail-Adresse sowie Geburtsdaten und Fotografien (Auflösung 300 dpi bei einer Bildgröße von mindestens 10 · 15 cm) erforderlich.
- Neulingen im Publizieren werden als Vorbilder andere Publikationen, z. B. hier in der Jungen Wissenschaft, empfohlen.



# Impressum

[JUNGE]  
wissenschaft



## Junge Wissenschaft

c/o Physikalisch-Technische  
Bundesanstalt (PTB)  
[www.junge-wissenschaft.ptb.de](http://www.junge-wissenschaft.ptb.de)

## Redaktion

Dr. Sabine Walter, Chefredaktion  
Junge Wissenschaft  
Paul-Ducros-Str. 7  
30952 Ronnenberg  
E-Mail: [sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de](mailto:sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de)  
Tel.: 05109 / 561 508

## Verlag

Dr. Dr. Jens Simon,  
Pressesprecher der PTB  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig  
E-Mail: [jens.simon@ptb.de](mailto:jens.simon@ptb.de)  
Tel.: 0531 / 592 3006  
(Sekretariat der PTB-Pressestelle)

## Design & Satz

Sebastian Baumeister  
STILSICHER - Grafik & Werbung  
E-Mail: [baumeister@stilsicher.design](mailto:baumeister@stilsicher.design)  
Tel.: 05142 / 98 77 89

